

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
Zemědělská fakulta**

**ORGANICKÁ CHEMIE  
PŘÍRODNÍCH LÁTEK A KONTAMINANTŮ**

prof. Ing. Pavel KALAČ, CSc.

**Recenzent: prof. Ing. Jiří Davídek, DrSc.**

**VŠCHT Praha**

# OBSAH

---

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| SEZNAM ZKRATEK .....                                                                                         | 7  |
| 1. ÚVOD .....                                                                                                | 9  |
| 2. AMINOKYSELINY, PEPTIDY A BÍLKOVINY .....                                                                  | 11 |
| 2.1 Aminokyseliny .....                                                                                      | 11 |
| 2.2 Peptidy .....                                                                                            | 21 |
| 2.3 Bílkoviny (členění, struktura, srážení, hydrolýza, výživová hodnota) .....                               | 23 |
| 2.4 Toxické aminokyseliny, peptidy, bílkoviny a produkty přeměn aminokyselin .....                           | 29 |
| 2.4.1 Aminokyseliny .....                                                                                    | 29 |
| 2.4.2 Peptidy .....                                                                                          | 30 |
| 2.4.3 Bílkoviny .....                                                                                        | 30 |
| 2.4.4 Produkty přeměn aminokyselin .....                                                                     | 30 |
| 3. LIPIDY .....                                                                                              | 33 |
| 3.1 Mastné kyseliny (charakteristika a členění, reakce, výživová hlediska) .....                             | 34 |
| 3.2 Homolipidy (jednoduché lipidy) .....                                                                     | 39 |
| 3.2.1 Tuky (reakce, kritéria pro hodnocení jakosti) .....                                                    | 39 |
| 3.2.2 Vosky .....                                                                                            | 42 |
| 3.3 Heterolipidy (složené lipidy) .....                                                                      | 43 |
| 3.4 Komplexní lipidy .....                                                                                   | 44 |
| 3.5 Doprovodné látky lipidů .....                                                                            | 45 |
| 4. SACHARIDY .....                                                                                           | 46 |
| 4.1 Monosacharidy (charakteristika a členění, vlastnosti, nejdůležitější monosacharidy) .....                | 47 |
| 4.2 Deriváty monosacharidů .....                                                                             | 54 |
| 4.2.1 Cukerné alkoholy .....                                                                                 | 54 |
| 4.2.2 Cukerné kyseliny .....                                                                                 | 55 |
| 4.2.3 Deoxycukry .....                                                                                       | 56 |
| 4.2.4 Aminocukry .....                                                                                       | 56 |
| 4.2.5 Estery .....                                                                                           | 57 |
| 4.3 Oligosacharidy .....                                                                                     | 57 |
| 4.4 Polysacharidy a složené sacharidy .....                                                                  | 59 |
| 4.4.1 Polysacharidy rostlin (škrob, fruktany, celulóza, hemicelulózy, pektiny, rostlinné gumy a slizy) ..... | 60 |
| 4.4.2 Polysacharidy a složené sacharidy živočichů (glykogen, chitin, mukopolysacharidy) .....                | 63 |
| 4.4.3 Polysacharidy mikroorganismů, vyšších hub a mořských řas .....                                         | 64 |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 5. GLYKOSIDY .....                                               | 65 |
| 5.1 Glukosinoláty .....                                          | 65 |
| 5.2 Kyanogenní glykosidy.....                                    | 67 |
| 5.3 Saponiny .....                                               | 67 |
| 5.4 Kardiotonické glykosidy .....                                | 68 |
| 6. ROSTLINNÉ FENOLY.....                                         | 69 |
| 6.1 Třísloviny (hydrolyzovatelné, kondenzované, vlastnosti)..... | 69 |
| 6.2 Lignin .....                                                 | 72 |
| 6.3 Další rostlinné fenoly .....                                 | 73 |
| 7. TERPENY.....                                                  | 75 |
| 7.1 Monoterpeny a seskviterpeny.....                             | 75 |
| 7.2 Diterpeny a triterpeny.....                                  | 76 |
| 7.3 Tetraterpeny – karotenoidy.....                              | 76 |
| 7.4 Polyterpeny.....                                             | 78 |
| 8. STEROIDY .....                                                | 79 |
| 8.1 Steroly .....                                                | 79 |
| 8.2 Žlučové kyseliny .....                                       | 81 |
| 9. ALKALOIDY .....                                               | 82 |
| 9.1 Steroidní glykoalkaloidy .....                               | 83 |
| 9.2 Některé další alkaloidy .....                                | 84 |
| 10. PŘÍRODNÍ BARVIVA.....                                        | 87 |
| 10.1 Karotenoidy .....                                           | 87 |
| 10.2 Pyrrolová barviva .....                                     | 87 |
| 10.3 Flavonoidní barviva.....                                    | 89 |
| 10.4 Betalainy.....                                              | 90 |
| 10.5 Další barviva.....                                          | 90 |
| 11. TOXICKÉ A ANTINUTRIČNÍ LÁTKY .....                           | 91 |
| 11.1 Mykotoxiny .....                                            | 92 |
| 11.2 Karcinogenní látky .....                                    | 93 |
| 11.3 Fytoestrogeny .....                                         | 95 |
| 11.4 Látky zhoršující využitelnost minerálů .....                | 96 |



|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 12. SPECIFICKY ÚČINNÉ LÁTKY .....                                 | 97  |
| 12.1 Antioxidanty .....                                           | 97  |
| 12.2 Emulgátory .....                                             | 99  |
| 13. ORGANICKÉ KONTAMINANTY A POLUTANTY .....                      | 100 |
| 13.1 Rezidua pesticidů a veterinárních léčiv .....                | 100 |
| 13.2 Persistentní organochlorové sloučeniny .....                 | 100 |
| 13.2.1 Chlorované pesticidy .....                                 | 101 |
| 13.2.2 Polychlorované bifenylly .....                             | 101 |
| 13.2.3 Dioxiny .....                                              | 102 |
| 13.2.4 Freony .....                                               | 103 |
| 13.2.5 Trihalogenmethany .....                                    | 104 |
| 13.3 Polycyklické aromatické uhlovodíky .....                     | 104 |
| 13.4 Ftaláty .....                                                | 105 |
| 13.5 Ropné produkty .....                                         | 105 |
| 13.6 Skleníkové plyny .....                                       | 106 |
| 14. ANGLICKO-ČESKÝ A ČESKO-ANGLICKÝ TERMINOLOGICKÝ SLOVNÍČEK..... | 107 |
| 15. SLOVNÍČEK ČÁSTÍ CIZÍCH SLOV .....                             | 113 |
| 16. VĚCNÝ REJSTŘÍK.....                                           | 115 |



## Seznam zkratk

|      |                                                                             |
|------|-----------------------------------------------------------------------------|
| ADI  | acceptable daily intake (přijatelný denní příjem)                           |
| AK   | aminokyselina                                                               |
| AWI  | acceptable weekly intake (přijatelný týdenní příjem)                        |
| CFC  | chlorofluorocarbon (= freon)                                                |
| FAO  | Food and Agriculture Organisation – Organizace OSN pro zemědělství a výživu |
| IB   | isoelektrický bod                                                           |
| MK   | mastná kyselina                                                             |
| PAH  | polycyclic aromatic hydrocarbon (srovnej PAU)                               |
| PAU  | polycyklické aromatické uhlovodíky (srovnej PAH)                            |
| PCB  | polychlorované bifenyly                                                     |
| PCDD | polychlorované dibenzo- <i>p</i> -dioxiny                                   |
| PCDF | polychlorované dibenzofurany                                                |
| THM  | trihalogenmethany                                                           |
| TMK  | těkavá mastná kyselina                                                      |
| UV   | ultraviolet (ultrafialový)                                                  |
| VMK  | vyšší mastná kyselina                                                       |
| WHO  | World Healthy Organisation – Světová zdravotnická organizace (SZO)          |



## 1. ÚVOD

Vývoj poznání a rozšíření výuky organické chemie s biologickým zaměřením na více fakult JU si vyžádaly přepracovat stejnojmenné skriptum z roku 1992. Kapitoly o přírodních a kontaminujících látkách navazují na obecnou organickou chemii, obsaženou ve skriptu JU „Organická chemie – základní část“ z roku 1996. Tam, kde je to účelné pro připomenutí některých teoretických základů a pro pochopení souvislostí, jsou v tomto učebním textu *odvolávky* na prvou část označené *I / příslušná strana*.

Některé přírodní látky, zejména vitaminy, hormony a nukleové kyseliny, budou probírány až v biochemii. Členění přírodních látek je vesměs podle jejich chemické podstaty, ale zčásti bylo nutné použít uspořádání podle biologických účinků a vlastností (kapitoly 10 až 12).

Do skriptu byla rovněž zahrnuta krátká souhrnná informace o nejzávažnějších organických kontaminantech potravního řetězce a o látkách narušujících atmosféru.

Skriptum je určeno jako základní studijní materiál pro individuální studium. Nemá však a svým rozsahem nemůže představovat jediný zdroj informací. Jeho posláním je poskytnout celkový přehled a úvod do problematiky. Proto budu všem uživatelům vděčný za kritické připomínky a náměty pro jeho zlepšení.

Nutnost pracovat s další literaturou, běžně i s primárními zdroji informací, vyžaduje zvládnout anglickou terminologii. Proto je ve skriptu i malý anglicko-český a česko-anglický slovníček základních termínů chemie přírodních látek. Pro snadnější pochopení a zafixování cizojazyčných pojmů používaných v češtině je zařazen také slovníček částí cizích (vesměs latinských a řeckých) slov. A konečně je součástí skriptu i věcný rejstřík, který by měl usnadnit orientaci v textu při vyhledávání údajů.

Upřímně děkuji všem, kteří mi pomohli při zpracování tohoto skriptu:

- recenzentovi prof. Ing. Jiřímu Davídkovi, DrSc. z Vysoké školy chemicko-technologické v Praze,
- spolupracovníkovi Ing. Jiřímu Špičkoví, CSc. za počítačové zpracování velké části vzorců
- a pracovnícím edičního střediska ZF JU paní Jaroslavě Pudivítrové a paní Olze Dobré za pečlivou přípravu rukopisu pro tisk.

V Českých Budějovicích 15. listopadu 2001

Pavel Kalač



## 2. AMINOKYSELINY, PEPTIDY A BÍLKOVINY

Bílkoviny představují základní složky živé hmoty. Jejich stavebními jednotkami jsou **aminokyseliny** (angl. amino acids), které jsou vázány peptidovými vazbami  $\text{--CO--NH--}$  (angl. peptide bonds) a vytvářejí:

- **oligopeptidy** (di- až deka-) obsahující 2 až 10 vázaných aminokyselin,
- **polypeptidy** obsahující 11 a více vázaných aminokyselin. Horní hranice však není jednoznačně vymezena. Obvykle se udává 100 aminokyselin, nebo  $M_r = 10000$  Da. To vede k nejednotnosti, takže určitá látka je někdy označována jako polypeptid, jindy jako bílkovina,
- **bílkoviny** (proteiny) s větší molekulou než polypeptidy.

### 2.1 Aminokyseliny

Aminokyseliny (AK) jsou karboxylové kyseliny substituované vesměs jednou primární aminoskupinou  $\text{--NH}_2$ , méně často sekundární aminoskupinou  $\text{--NH--}$ , vázanou v cyklu (především AK prolin). Z biologických materiálů, zejména z rostlin a mikroorganismů, bylo izolováno již kolem 700 aminokyselin. Na stavbě bílkovin se podílí jen 20 základních AK, které se v biochemii označují jako tzv. kódované. V nativních biologických materiálech je naprostá většina AK vázána v bílkovinách a peptidech, jen malý podíl je ve volné formě. K intenzivní proteolýze, tedy k enzymové hydrolýze bílkovin, však dochází po přerušení normálních životních pochodů, např. v pokosených rostlinách či v mase poražených zvířat. Pak se podíl peptidů a volných AK zvyšuje.

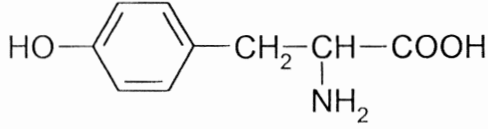
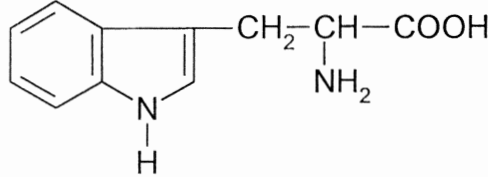
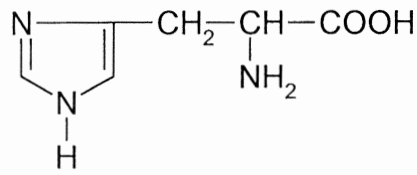
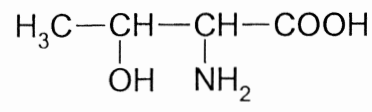
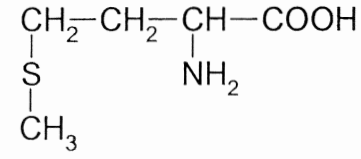
Běžné aminokyseliny mají vžitá triviální názvy, jejichž česká forma se liší od anglické jen minimálně: např. fenylalanin – phenylalanine, glutamová kyselina – glutamic acid. Pro zjednodušení zápisu makromolekul bílkovin a peptidů se tyto AK označují symboly. Ty jsou buď třípísmenové (vesměs z prvních třech písmen triviálních názvů), nebo jednopísmenové. Systematické názvy jsou pro praktické použití příliš dlouhé. Např. L-cystein má systematický název kyselina L- $\alpha$ -amino- $\beta$ -merkaptopropionová. Tyto názvy se však používají pro méně běžné volné (nebílkovinné, angl. free či non-protein) aminokyseliny.

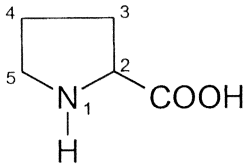
Přehled základních AK je uveden v **tabulce 2.1**. Aminokyseliny jsou řazeny podle počtu uhlíků základní karboxylové kyseliny, od níž se odvozují.

**Tab. 2.1** Přehled 20 základních aminokyselin vytvářejících bílkoviny

| Počet uhlíků<br>základní<br>kyseliny | Vzorec                                                                                                                                                                   | Triviální<br>název | Symboly |   | Relativní<br>molekulová<br>hmotnost<br>(Da) | Isoelektrický<br>bod (pH) |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------|---|---------------------------------------------|---------------------------|
| C <sub>2</sub>                       | $\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{---COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$                                                                                             | glycin             | Gly     | G | 75                                          | 5,97                      |
| C <sub>3</sub>                       | $\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C---CH---COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$                                                                                        | alanin             | Ala     | A | 89                                          | 6,01                      |
|                                      | $\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{---CH---COOH} \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$                                                                | serin              | Ser     | S | 105                                         | 5,68                      |
|                                      | $\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{---CH---COOH} \\   \quad   \\ \text{SH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$                                                                | cystein            | Cys     | C | 121                                         | 5,02                      |
|                                      |  $\begin{array}{c} \text{---CH}_2\text{---CH---COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$ | fenylalanin        | Phe     | F | 165                                         | 5,48                      |

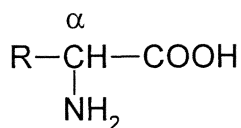


|                |                                                                                     |           |     |   |     |      |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----|---|-----|------|
|                |    | tyrosin   | Tyr | Y | 181 | 5,68 |
|                |    | tryptofan | Trp | W | 204 | 5,89 |
|                |    | histidin  | His | H | 155 | 7,59 |
| C <sub>4</sub> |   | threonin  | Thr | T | 119 | 5,64 |
|                |  | methionin | Met | M | 149 | 5,74 |

|                 |                                                                                                                                                                                                                      |         |     |   |     |       |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----|---|-----|-------|
| C <sub>5</sub>  |                                                                                                                                     | prolin  | Pro | P | 115 | 6,40  |
|                 | $\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \qquad \qquad \qquad   \\ \text{NH} \qquad \qquad \text{NH}_2 \\   \\ \text{C} = \text{NH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$ | arginin | Arg | R | 174 | 10,76 |
| C <sub>5i</sub> | $\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH} - \text{CH} - \text{COOH} \\ \diagup \qquad   \\ \text{H}_3\text{C} \qquad \text{NH}_2 \end{array}$                                                   | valin   | Val | V | 117 | 5,97  |
| C <sub>6</sub>  | $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C} - (\text{CH}_2)_3 - \text{CH} - \text{COOH} \\   \qquad \qquad \qquad   \\ \text{NH}_2 \qquad \qquad \text{NH}_2 \end{array}$                                                   | lysin   | Lys | K | 147 | 9,59  |
| C <sub>6i</sub> | $\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COOH} \\ \diagup \qquad \qquad   \\ \text{H}_3\text{C} \qquad \qquad \text{NH}_2 \end{array}$                       | leucin  | Leu | L | 131 | 5,98  |

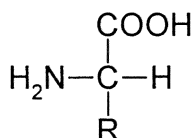
|                |                                                                                                                                                                                                                                                |                     |     |   |     |      |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----|---|-----|------|
|                | $  \begin{array}{c}  \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2 \\  \quad \quad \quad \diagdown \\  \quad \quad \quad \text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\  \quad \quad \quad \diagup \quad   \\  \text{H}_3\text{C} \quad \quad \text{NH}_2  \end{array}  $ | isoleucin           | Ile | I | 131 | 5,94 |
| C <sub>4</sub> | $  \begin{array}{c}  \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\  \quad \quad \quad   \\  \quad \quad \quad \text{NH}_2  \end{array}  $                                                                                                   | kyselina asparagová | Asp | D | 133 | 2,98 |
|                | $  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{NOC}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\  \quad \quad \quad   \\  \quad \quad \quad \text{NH}_2  \end{array}  $                                                                                          | asparagin           | Asn | N | 132 | 5,41 |
| C <sub>5</sub> | $  \begin{array}{c}  \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\  \quad \quad \quad \quad   \\  \quad \quad \quad \quad \text{NH}_2  \end{array}  $                                                                           | kyselina glutamová  | Glu | E | 147 | 3,22 |
|                | $  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{NOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\  \quad \quad \quad \quad \quad   \\  \quad \quad \quad \quad \quad \text{NH}_2  \end{array}  $                                                      | glutamin            | Gln | Q | 146 | 5,65 |

Pro základní AK jsou charakteristické následující vlastnosti, které je možné odvodit z jejich obecného vzorce:



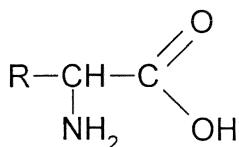
obecný vzorec přirozené AK

- a) primární aminoskupina (až na AK prolin) je vůči karboxylu vždy na alfa-uhlíku,
- b) na alfa-uhlíku jsou vázány čtyři různé substituenty (až na nejjednodušší AK glycin, kde R=H). Tento uhlík je proto asymetrický a molekula je opticky aktivní (chirální, enantiomerní – srovnej I/9). Aminokyseliny patří do řady L-. D-aminokyseliny se vyskytují v omezené míře v buněčných stěnách některých mikroorganismů a v některých antibiotikách, příp. vznikají z L-aminokyselin při úpravách potravin za vysokých teplot nebo v zásaditém prostředí.

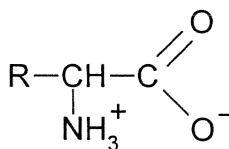


L-forma aminokyseliny

- c) přítomnost kyselé karboxylové skupiny a zásadité aminoskupiny umožňuje ve vodném prostředí tvorbu vnitřních solí:

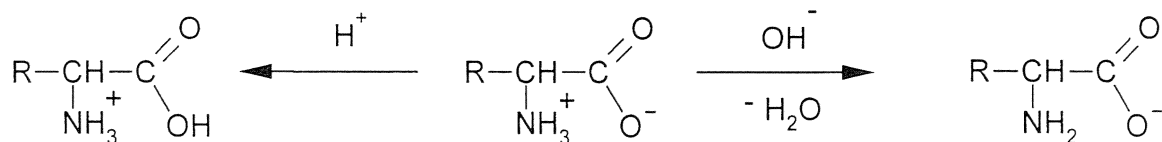


neionizovaná AK



vnitřní sůl AK

Aminokyseliny jsou proto amfolyty, tj. mají amfoterní charakter kyseliny a zásady zároveň. V kyselém prostředí se projevuje zásaditý charakter, v prostředí zásaditém kyselý.



amfoterní charakter aminokyseliny

Je třeba připomenout, že u řady AK se uplatní rovněž kyselý či zásaditý charakter dalších skupin. Při určitém pH roztoku dojde k vyrovnání všech kladných a záporných nábojů v molekule, aminokyselina je v isoelektrickém stavu. Ten je charakterizován *isoelektrickým bodem* (IB, příp. pI, angl. isoelectric point IEP, příp. zero point of charge). Jedná se tedy o takovou hodnotu pH, při níž AK nepatří ve stejnosměrném elektrickém poli. Hodnoty IB základních AK jsou uvedeny v tabulce 2.1.

Základní AK se člení podle několika hledisek. Pro naše účely je vhodné **třídění podle chemické povahy**, tedy podle struktury postranního řetězce R– a v něm přítomných funkčních skupin:

- neutrální alifatické AK: glycin, alanin, valin, leucin a isoleucin,
- alifatické hydroxyaminokyseliny: serin a threonin,
- sirné AK: cystein a methionin,
- monoaminodikarboxylové kyseliny (kyselé AK) a jejich amidy: kyselina asparagová a kyselina glutamová, asparagin a glutamin,
- zásadité AK: lysin, arginin a histidin,
- aromatické a heterocyklická: fenylalanin a tyrosin, tryptofan,
- cyklická (dříve označovaná jako iminokyselina): prolin.

Podle charakteru funkčních skupin v postranním řetězce se základní AK rovněž **člení podle polarity**, a to na

- *hydrofobní* s nepolárním postranním řetězcem: valin, leucin, isoleucin, methionin, fenylalanin, tyrosin a prolin. K nim se ještě řadí poněkud polárnější glycin, alanin a tryptofan, zatímco
- *hydrofilní* AK mají v postranním řetězci polární skupiny: serin, threonin, cystein, kyselina asparagová, kyselina glutamová a jejich amidy asparagin a glutamin, lysin, arginin a histidin.

Třetím pohledem je **členění podle nutričních hledisek**. Mikroorganismy a rostliny dokáží syntetizovat všechny aminokyseliny potřebné pro výstavbu vlastních bílkovin (proteosyntézu) z anorganických sloučenin – vody, oxidu uhličitého a některých dusíkatých látek. Naproti tomu živočichové mají schopnost syntetizovat z jiných zdrojů (zejména z jiných AK, glukosy, mastných kyselin) jen část základních AK. Přitom jsou pro syntézu jejich bílkovin nezbytné všechny základní (proteinogenní) AK. Ty, které si živočich syntetizovat nedokáže, musí přijímat potravou. Označují se jako *esenciální* (nepostradatelné, angl. essential či indispensable). U rychle rostoucích organismů (dětí, mláďat) syntéza některých *neesenciálních* AK nestačí potřebě, takže se závislost na přísunu potravou rozšiřuje. Takové AK se pak označují jako *semiesenciální*. Ve výživě člověka se základní AK člení na:

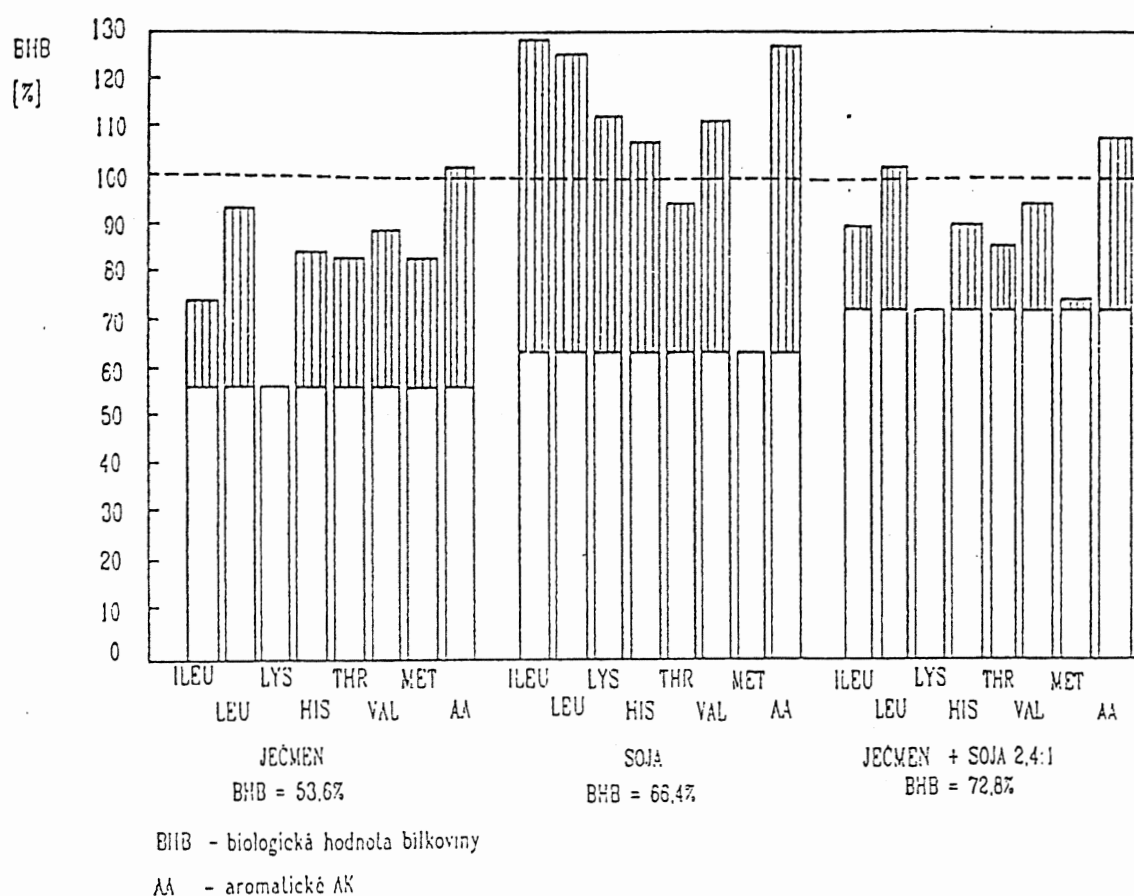
- 8 esenciálních: valin, leucin, isoleucin, threonin, methionin, lysin, fenylalanin a tryptofan,
- 2 semiesenciální: arginin a histidin,
- 10 neesenciálních: zbývající AK.

U zvířat existují určité odlišnosti, např. pro ptáky je esenciální i alanin. U přežvýkavců, jejichž bachorová mikroflóra dokáže syntetizovat i řadu esenciálních AK, je závislost na jejich přívodu v potravě nižší, než u zvířat monogastričtých.

Při syntéze živočišných bílkovin se může stát, že některé z esenciálních AK je méně, než je pro tvorbu bílkovin nezbytné. Takováto AK se stává *limitující*, protože se proteosyntéza

zastaví a nejsou využity ty esenciální AK, kterých je k dispozici dostatek. Jejich využití např. pro udržení tělesné teploty či pro syntézu tuků je v chovu hospodářských zvířat neekonomické.

Tyto vztahy jsou zřejmé z **obrázku 2.1**, který udává relativní zastoupení esenciálních AK v bílkovinách zrna ječmene a sójových bobů vůči bílkovině vepřového masa. Tento příklad lze zobecnit: bílkoviny semen i píce z čeledi lipnicovitých (obilniny a trávy) obsahují esenciálních AK málo a limitující je lysin. Bílkoviny rostlin z čeledi bobovitých (luštěniny, vojtěška, jetele aj.) mají aminokyselinové složení podstatně příznivější, avšak limitující AK je methionin. Biologickou hodnotu bílkovin lze proto zvýšit vhodnou kombinací krmiv a účinně tak omezit ztráty. Další cestou je doplňování limitujících AK ve výživě prasat a drůbeže, a to připravených buď synteticky, nebo kvasnou cestou. Vesměs se však získává racemická směs, z níž je zvířetem využit jen L-antipod.



**Obr. 2.1** Relativní zastoupení esenciálních aminokyselin v bílkovinách ječmene a sóji vůči bílkovině vepřového masa

Zastoupení esenciálních AK v bílkovinách některých potravin a krmiv je uvedeno v **tabulce 2.2**. Pro srovnání je uvedeno složení tzv. standardního proteinu (podle FAO/WHO), což je fiktivní bílkovina s optimálním zastoupením esenciálních aminokyselin z hlediska výživy člověka. Této „ideální bílkovině“ se nejvíce blíží bílkoviny slepičího vejce nebo kravského mléka.

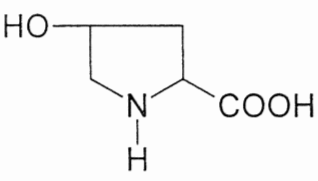
**Tab. 2.2** Zastoupení esenciálních aminokyselin v některých bílkovinách (v % z celkových aminokyselin)

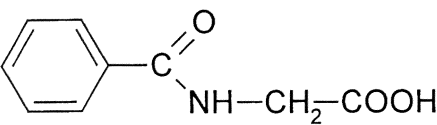
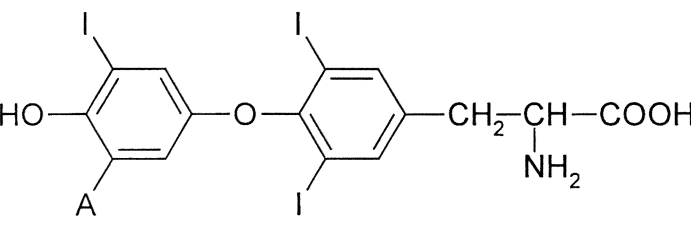
|                         | Val | Leu | Ile | Phe | Trp | Thr | Met | Lys |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Standardní protein      | 5,0 | 7,0 | 4,0 | 6,1 | 1,0 | 4,0 | 3,5 | 5,4 |
| Mléko kravské           | 5,8 | 9,5 | 4,7 | 5,4 | 1,4 | 4,5 | 2,5 | 7,8 |
| Maso vepřové            | 5,2 | 7,6 | 5,1 | 4,2 | 1,4 | 4,9 | 2,7 | 8,1 |
| Vejce slepičí celá      | 6,8 | 8,8 | 6,3 | 5,7 | 1,6 | 5,1 | 3,4 | 7,0 |
| Pšenice – zrno          | 4,4 | 6,7 | 3,3 | 4,5 | 0,9 | 2,9 | 1,5 | 2,9 |
| Rýže - zrno             | 5,5 | 8,2 | 3,8 | 5,2 | 0,8 | 3,9 | 2,3 | 3,8 |
| Hrách – semena          | 4,7 | 7,8 | 4,3 | 4,6 | 1,4 | 4,1 | 0,9 | 7,5 |
| Jetel luční před květem | 5,4 | 7,2 | 4,2 | 4,7 | 1,1 | 4,4 | 1,6 | 5,0 |
| Kukuřice - píce         | 5,0 | 6,9 | 4,0 | 4,6 | -   | 3,8 | 1,8 | 4,2 |

Řada základních aminokyselin ve volném stavu se vyznačuje sladkou, kyselou či hořkou chutí. Nejznámější je v tomto směru kyselina glutamová, která se používá pro zvýraznění chuti řady potravin a je podstatnou složkou např. polévkového koření či sójové omáčky.

Základních 20 aminokyselin představuje v biologických materiálech kolem 90 % ze všech aminokyselin. Zbytek tvoří jejich deriváty a další aminokyseliny. Přehled některých významných AK z této skupiny je uveden v **tabulce 2.3**.

**Tab. 2.3** Některé další významné aminokyseliny

| Vzorec                                                                                                                                                                                                 | Triviální název |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| $  \begin{array}{c}  \text{CH}_2\text{—CH—COOH} \\    \quad   \\  \text{S} \quad \text{NH}_2 \\    \quad   \\  \text{S} \quad \text{NH}_2 \\    \quad   \\  \text{CH}_2\text{—CH—COOH}  \end{array}  $ | cystin          |
|                                                                                                                     | 4-hydroxyprolin |

| Vzorec                                                                                                                                                                              | Triviální název                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|  <chem>O=C(NCC(=O)O)c1ccccc1</chem>                                                                | kyselina hippurová                         |
| $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}-\text{COOH} \\   \qquad \qquad   \\ \text{NH}_2 \qquad \text{NH}_2 \end{array}$                                      | ornithin                                   |
| $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}-\text{COOH} \\   \qquad \qquad   \\ \text{NH} \qquad \text{NH}_2 \\   \\ \text{C=O} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$ | citrullin                                  |
|  <chem>Oc1cc(I)cc(Oc2cc(I)cc(CCN)cc2)c1A</chem>                                                   | thyroxin (A = I)<br>trijódthyronin (A = H) |
| $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2-\text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$                                                                                       | β-alanin                                   |
| $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$                                                                           | kyselina γ-aminomáselná                    |
| $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\   \qquad \qquad   \\ \text{OH} \qquad \text{NH}_2 \end{array}$                                            | homoserin                                  |
| $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\   \qquad \qquad   \\ \text{SH} \qquad \text{NH}_2 \end{array}$                                            | homocystein                                |



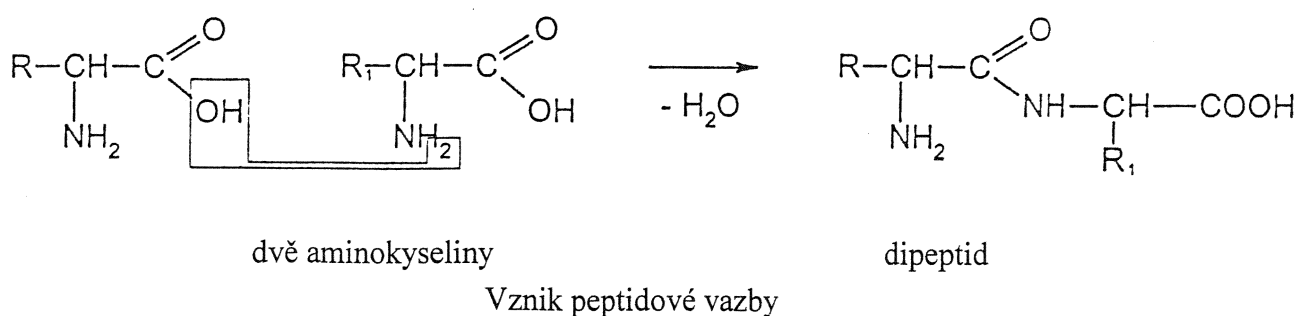
Patří mezi ně např.:

- L-cystin, vznikající oxidací ze dvou molekul cysteinu,
- L-4-hydroxyprolin (popř. isomerní L-3-hydroxyprolin) vyskytující se v bílkovině kolagenu a z ní vznikající želatině,
- kyselina hippurová (N-benzoylglycin) vzniká při detoxikaci kyseliny benzoové v živočišném organismu. Kyselina benzoová se vyskytuje, vesměs jen v malých množstvích, v mnoha rostlinách, např. ovoci, zelenině a pícech. Kyselina hippurová je vylučována především močí, zčásti přechází do mléka,
- součástí vylučování nadbytečného dusíku u savců v močovinovém (ornithinovém) cyklu jsou aminokyseliny L-ornithin (kyselina  $\alpha,\delta$ -diaminovalerová) a L-citrullin (kyselina  $\alpha$ -amino- $\delta$ -ureidovalerová), které geneticky souvisejí s L-argininem,
- funkci hormonů štítné žlázy plní aminokyseliny thyroxin a trijódthyronin, geneticky související s AK tyrosinem, obsahující ve svých molekulách jód,
- příkladem  $\beta$ -aminokyseliny je  $\beta$ -alanin, který vzniká enzymovou dekarboxylací kyseliny asparagové a je součástí kyseliny pantotenové (dříve označované jako vitamin B<sub>5</sub>),
- kyselina  $\gamma$ -aminomáselná (často též GABA z angl. **gamma-aminobutyric acid**) vzniká dekarboxylací kyseliny glutamové,
- jako homoaminokyseliny se označují takové, kdy se v alifatickém řetězci mezi  $\alpha$ -uhlíkem, nesoucím aminoskupinu a dalším uhlíkem, nesoucím jiný substituent, objevuje další uhlík  $-\text{CH}_2-$ . Příklady jsou homoserin či homocystein, ale vyskytují se i homomethionin, homoarginin a další.

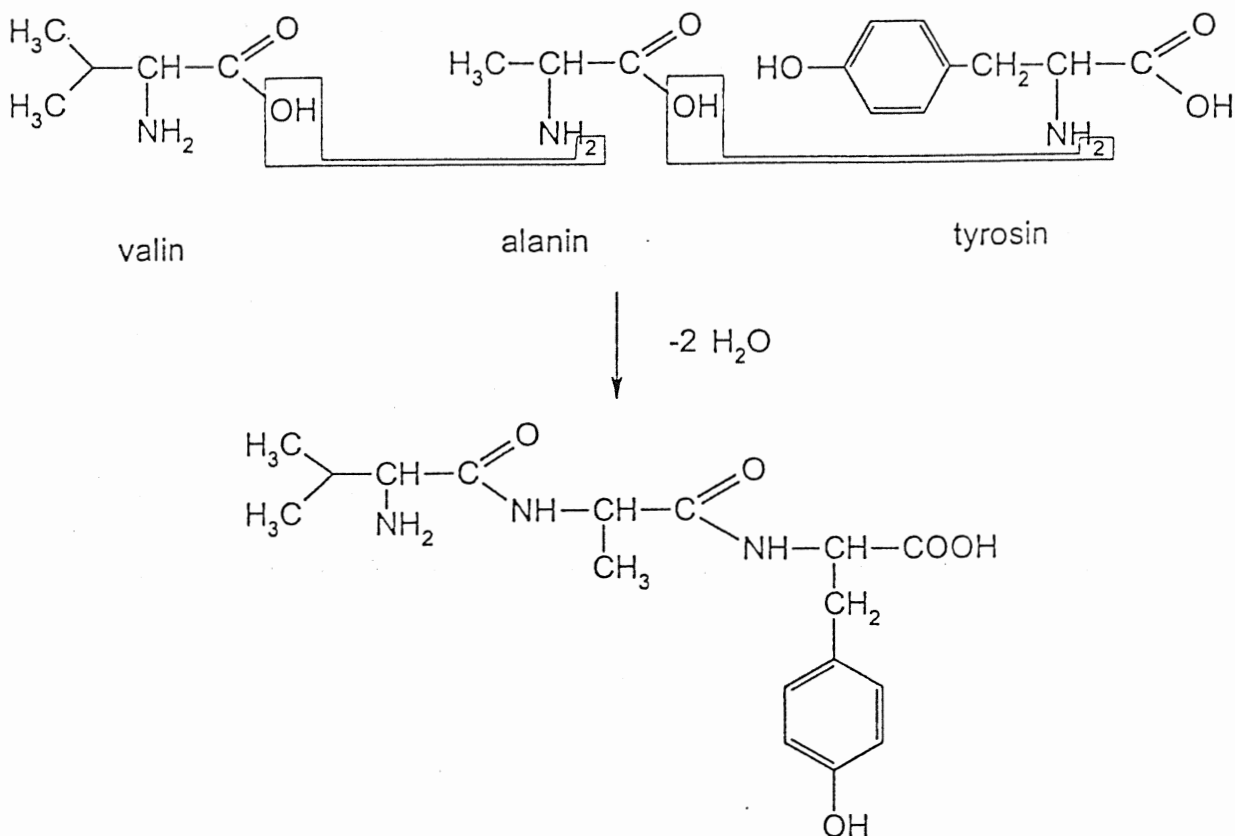
Některé volné aminokyseliny se škodlivými účinky budou uvedeny v kap. 2.4.1.

## 2.2 Peptidy

Peptidy jsou sloučeniny, ve kterých je karboxyl jedné AK vázán amidovou vazbou na aminoskupinu druhé AK. Toto spojení  $-\text{CO}-\text{NH}-$  se nazývá **peptidová** (příp. peptidická) **vazba**:



Zápis větších peptidů či dokonce bílkovin vzorci by byl pracný a nepřehledný. Proto se využívá symbolů aminokyselin uvedených v tabulce 2.1. Zápis Val-Ala-Tyr znamená, že valin se vázal svým karboxylem s aminoskupinou alaninu za vzniku jedné peptidové vazby a karboxyl alaninu s aminoskupinou tyrosinu vytvořil druhou peptidovou vazbu:



Odvození vzorce tripeptidu Val-Ala-Tyr

Peptidy se považují za acylované aminokyseliny, takže uvedený lineární tripeptid Val-Ala-Tyr se jmenuje L-valyl-L-alanyl-L-tyrosin. Vlevo se jako první uvádí AK s volnou aminoskupinou, vpravo jako poslední AK s volným karboxylem. Zápis Tyr-Ala-Val již představuje jiný tripeptid s jinými vlastnostmi i biologickými účinky. U cyklických peptidů se směr označuje šipkou.

Obecně lze peptidy i bílkoviny chápat jako polyamidy vytvořené mnohonásobnou mezimolekulární kondenzací aminokyselin:

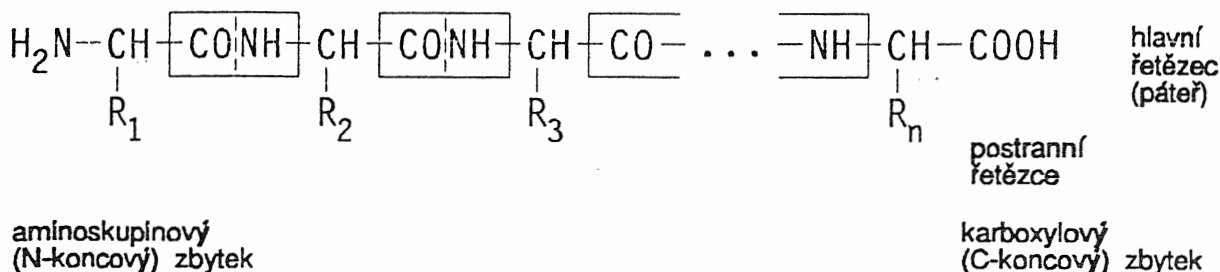


Schéma výstavby řetězců peptidů a bílkovin

Peptidová vazba je svým charakterem rigidním (nepoddajným, tuhým) útvarem a šest atomů (C=O, N-H a dva sousedící  $\alpha$ -uhlíky) vytváří téměř rovinný útvar, což umožňuje vznik

*cis-trans* uspořádání. Peptidové vazby v přirozených peptidech i bílkovinách mají energeticky výhodnější konformaci *trans*.

Pokud se v molekulách peptidů a bílkovin vyskytují jen peptidové vazby, mluvíme o *homodetních* peptidech či bílkovinách. Jestliže se však vyskytují rovněž disulfidické ( $-S-S-$ , tj. v cystinu, viz tab. 2.3) nebo esterové vazby, jedná se o *heterodetní* peptidy (depsipeptidy) či bílkoviny.

Peptidů lze odvodit obrovské množství: z pěti AK 120 různých pentapeptidů, avšak ze 20 AK již  $2,4 \cdot 10^{18}$  různých eikosapeptidů.

Kromě peptidů, které jsou složeny výlučně z aminokyselin, existují i sloučeniny obsahující další složky. Podle jejich charakteru pak hovoříme o nukleo-, lipo-, glyko- fosfo-, chromo- a metalopeptidech (srovnej s obdobnou existencí složených bílkovin v kap. 2.3).

Ve stavbě peptidů se vyskytuje několik odlišností od bílkovin:

- vyskytují se i jiné než základní aminokyseliny,
- do peptidových vazeb vstupují i jiné než  $\alpha$ -karboxylové skupiny (např.  $\gamma$ -karboxyl v kyselině glutamové),
- vyskytují se i D-aminokyseliny.

Většina přirozených i syntetických oligopeptidů má hořkou chuť (např. hydrolyzáty mléčné bílkoviny kaseinu či sójových bílkovin), méně běžná je sladká (např. syntetické sladidlo aspartam je methylester L-aspartyl-L-fenylalaninu), či slaná.

Mezi významné peptidy patří:

- *glutathion* ( $\gamma$ -L-glutamyl-L-cysteinylglycin,  $\gamma$ -Glu-Cys-Gly) je běžný od mikroorganismů po savce a plní několik biochemických funkcí,
- od AK histidinu jsou odvozeny dipeptidy *karnosin* a *anserin* vyskytující se ve svalovině,
- lineárními či cyklickými peptidy jsou některé hormony (*insulin*, *oxytocin*, *vasopresin*)
- a antibiotika (*polymyxin*, *bacitracin*, *nisin* v kysaných mléčných výrobcích).

Peptidy s toxickými účinky budou uvedeny v kap. 2.4.2.

## 2.3 Bílkoviny

Jak již bylo uvedeno na počátku kap. 2, jsou bílkoviny (proteiny) makromolekulární polyamidy s lineárními (nerozvětvenými) řetězci, složené z více než stovky AK, resp. o relativní molekulové hmotnosti vyšší než 10000 Da. Molekulová hmotnost některých bílkovin činí až miliony Da. Spolu s polysacharidy představují nejrozšířenější biopolymery. Vzhledem k velikosti molekul se u bílkovin používají jen triviální názvy.

V biosféře žijí asi dva miliony biologických druhů, z nichž každý obsahuje několik tisíc různých bílkovin. Počet druhů existujících bílkovin se proto odhaduje asi na  $10^{10}$ . To je však jen nepatrný zlomek z existujících možností: již ze stovky kódovaných AK, tedy na spodní hranici velikosti bílkovin, existuje matematicky  $10^{130}$  různých molekul.

## Členění

Vzhledem k rozmanitému složení a vlastnostem se bílkoviny dělí do skupin. Tato tradiční dělení se nepovažují za zcela vyhovující, ale stále se používají, protože zatím není přesnější, ale zároveň přiměřeně jednoduché členění. **Podle chemického složení** se bílkoviny dělí na *jednoduché* (angl. simple proteins), složené pouze z aminokyselin a *složené* (konjugované, angl. composite proteins) v jejichž struktuře se kromě aminokyselin vyskytují i další složky. Pro složené bílkoviny se ve starší literatuře používal termín proteidy. Přehled základních skupin složených bílkovin je uveden v **tabulce 2.4**.

**Tab. 2.4** Přehled základních skupin složených bílkovin

| Skupina        | Nebílkovinná (prostetická) složka | Příklady výskytu                                                                                             |
|----------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fosfoproteiny  | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>    | kasein v mléce, fosfovitín ve žloutku                                                                        |
| Nukleoproteiny | nukleové kyseliny, nukleotidy     | chromatin v chromosomech, viry                                                                               |
| Lipoproteiny   | lipidy, steroly                   | v krevním séru, v membránách, nervových tkáních a žloutku                                                    |
| Glykoproteiny  | sacharidy                         | alfa-ovomukoid v bílku, součásti chrupavek                                                                   |
| Chromoproteiny | barevné sloučeniny                | hemoglobin, myoglobin, pigmenty kůže a vlasů (melanoproteiny)                                                |
| Metaloproteiny | kovy                              | hemoglobin (Fe <sup>2+</sup> ), ferritin (Fe <sup>3+</sup> ), enzym alkoholdehydrogenasa (Zn <sup>2+</sup> ) |

Další je **dělení podle rozpustnosti** ve vodě, příp. v roztocích kyselin a zásad. Toto členění není jednoznačné, mezi jednotlivými skupinami nejsou ostré hranice. Ve vodě rozpustné jsou *albuminy* (např. v bílku, mléku či krevním séru), *histony* (zejména v buněčných jádrech, ale také globin v hemoglobinu a myoglobinu) a omezeně se vyskytující *protaminy* (v mlíčí ryb). Nerozpustné jsou nejrozšířenější *globuliny* a dále *gluteliny* a *prolaminy* (*gliadiny*), běžné zejména v zrnech obilovin. Nerozpustné jsou rovněž *skleroproteiny* (keratin, kolagen a elastin).

**Podle biologické funkce** se v biochemii bílkoviny dělí zejména na:

- strukturní - jsou stavebními složkami buněk, pletiv a tkání - např. skleroproteiny,
- pohybové - např. aktin a myosin ve svazech,
- katalytické - enzymy a hormony,
- transportní - zprostředkovávají přenos různých sloučenin - např. hemoglobin dýchacích plynů, či transferrin železitých iontů,
- obranné (imunitní) - např. imunoglobuliny,
- zásobní - organismus si v nich ukládá rezervu určité potřebné složky - např. železo ve ferritinu.

## Struktura

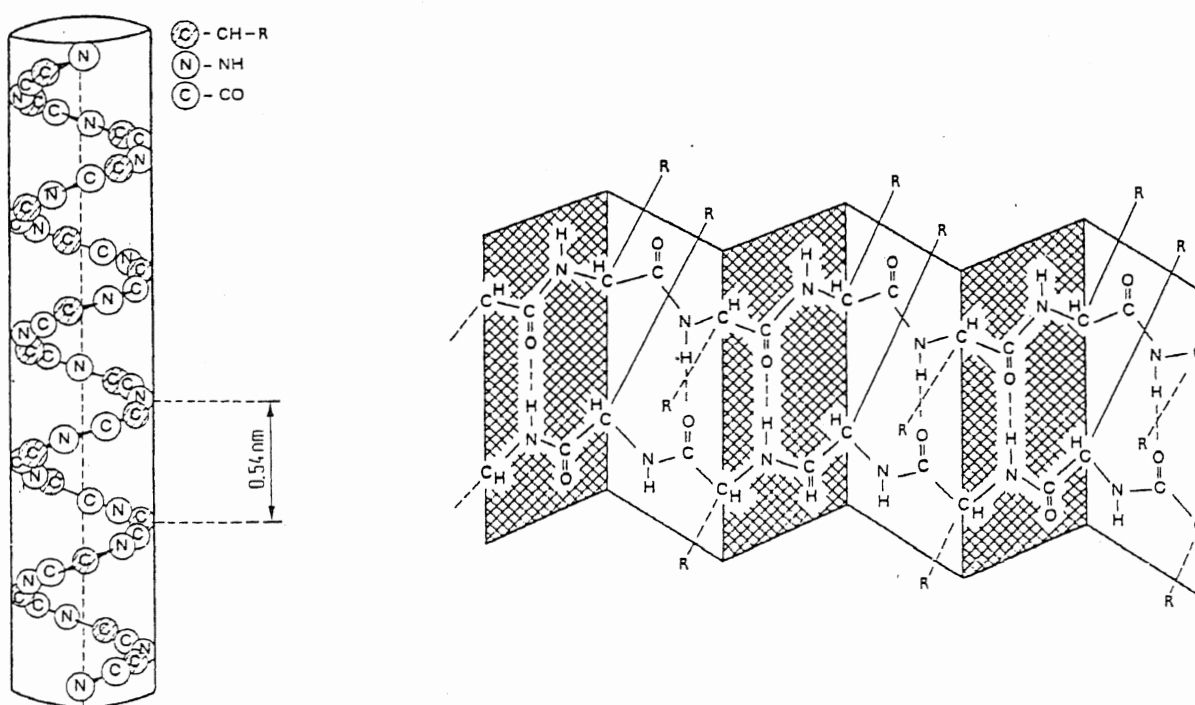
Pro pochopení řady vlastností bílkovin je nezbytná znalost jejich struktury. Ta se člení do čtyř úrovní - primární až kvartérní (angl. primary, secondary, tertiary, quaternary).

**Primární struktura** poskytuje údaje o počtu a pořadí (sekvenci, posloupnosti) AK v řetězci, příp. informace o charakteru, počtu a poloze příčných (vedlejších) kovalentních vazeb (např. disulfidových můstků  $-S-S-$ ).

Jako **sekundární struktura** se označuje určité prostorové uspořádání (konformace) různých částí řetězce nativních (přírodních) bílkovin. Toto uspořádání je určováno jednak primární strukturou, jednak mezimolekulárními silami (přitažlivými či odpudivými), kterými na sebe působí části aminokyselin v postranních řetězcích. Nejrozšířenější jsou dvě sekundární struktury:

- **šroubovice** (helixy, helikální uspořádání) vznikají stáčením rovin peptidových vazeb ve stále stejném smyslu. Jsou fixovány vodíkovými můstky mezi peptidovými skupinami nad sebou ležících závitů. Šroubovice se liší průměrem závitů, jeho stoupáním (tj. počtem AK na jednu obrátku) a smyslem otáčení (většina je pravotočivých). Velmi běžný je pravotočivý  $\alpha$ -helix, jehož závit je tvořen 3,6 aminokyselinovými zbytky,
- **$\beta$ -struktury** (tzv. skládaný list, angl.  $\beta$ -sheet, neboli hřebeny, zřasené struktury, pásy) vznikají spojením dvou paralelně, nebo častěji antiparalelně orientovaných řetězců (vláken) prostřednictvím vodíkových můstků. Běžná  $\beta$ -struktura se skládá ze 6 vláken.

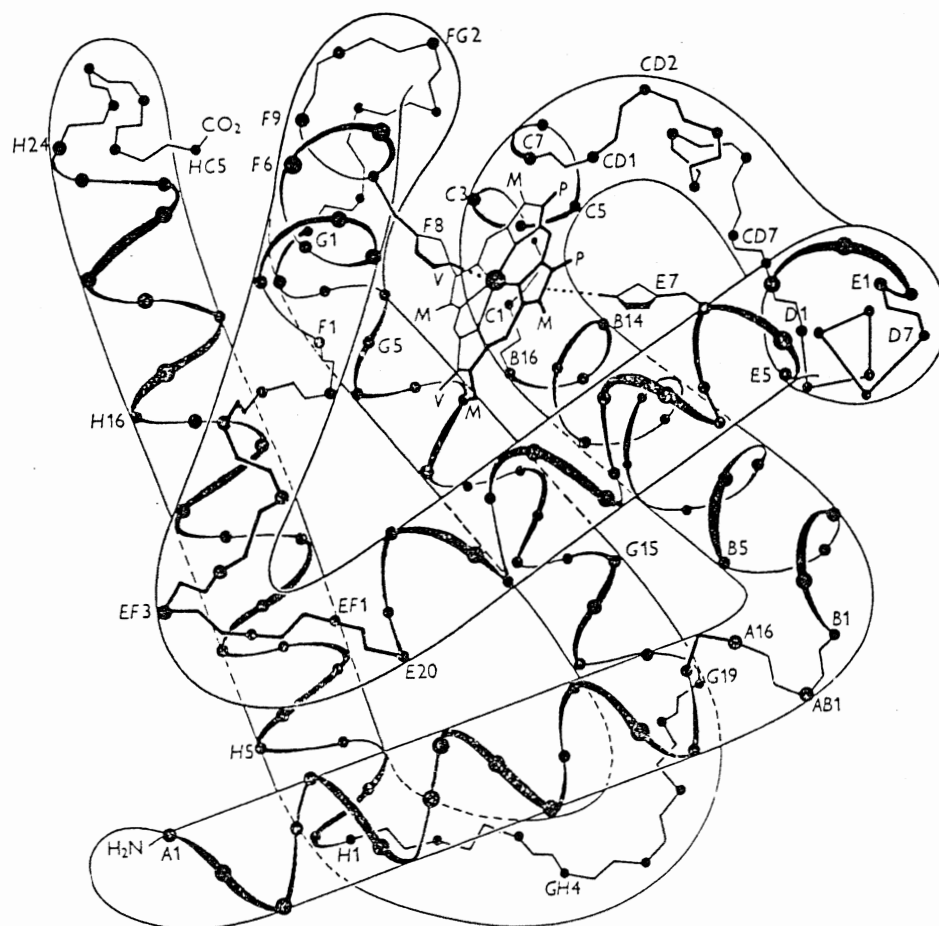
Schéma obou těchto uspořádání je uvedeno na **obr. 2.2**.



**Obr. 2.2** Sekundární struktura bílkovin. Schéma  $\alpha$ -helixu a dvouvláknového antiparalelního listu. Vodíkové můstky jsou znázorněny  $=O \cdots H-$ .

**Terciární struktura** určuje celkovou konformaci (prostorové uspořádání) řetězce bílkoviny, tzn. jednotlivých částí jeho sekundární struktury a postranních řetězců. Dílčí úseky

řetězce bílkoviny, které se mohou lišit svojí sekundární strukturou, nejsou rovinné úseky, ale mohou být různým způsobem spojené, svinuté, či prohnuté. Často se jedná o ohyb, kterým se mění určitým organizovaným způsobem průběh hlavního řetězce do protisměru. Tím se části řetězce k sobě přiblíží a mohou se vytvářet další vnitromolekulové vztahy, zejména vznikem vodíkových můstků. Představu o terciární struktuře poskytuje **obr. 2.3**.



Hlavní řetězec myoglobinu tvoří osm různě velkých šroubovic, označených A až H. Číslo značí pořadí aminokyselin v jednotlivých šroubovicích. Šroubovice se nemohou ohýbat, ohyby umožňují nešroubovicové úseky, ve schématu znázorněné slabšími čarami. Molekula začíná aminokyselinou A1, končí aminokyselinou HC5. V prostoru tzv. kapsy (ve schématu „pod“ řetězcem C) je molekula barviva hemu (srovnej kap. 10.2).

**Obr. 2.3** Terciární struktura (konformace) svalového myoglobinu.

Většina molekul bílkovin má tvar oblý až kulovitý a označují se proto jako *globulární* (či sféroproteiny). Jejich molekula má nepolární jádro a polární obal, což umožňuje hydrataci a rozpustnost ve vodě ve formě koloidních roztoků. Bílkoviny, plnící funkce konstrukční, podpůrné, umožňující svalové stahy (kontrakci) apod., vytvářejí skupinu *fibrilárních* (vláknitých) proteinů (skleroproteinů), které nejsou ve vodě rozpustné.

**Kvartérní strukturu** vytvářejí takové bílkoviny, které jsou složeny z několika buď stejných, nebo různých řetězců. Několik základních jednotek (monomerů, angl. units) pak vytváří komplexní strukturu. Jednotky jsou navzájem tvarově přizpůsobené a jsou k sobě

poutány buď méně pevnými vazbami (vodíkovými můstky), nebo vazbami pevnými (zejména disulfidovými). Např. hemoglobin či enzym  $\beta$ -amylasa jsou tvořeny čtyřmi jednotkami.

### Srážení bílkovin

Pro pochopení této velmi významné vlastnosti bílkovin je třeba nejdříve vysvětlit hydrataci jejich molekul. Řada funkčních skupin bílkovin ( $C=O$ ,  $N-H$  v peptidové vazbě,  $O-H$ ) má nesdílený elektronový pár, takže může poutat vodíkovými můstky molekulu vody. Kyslíkový atom vody však může svým nesdíleným elektronovým párem vázat další molekulu vody atd. Molekula bílkoviny je proto obklopena vodním filmem, a to vesměs v množství 20 až 50 % vlastní hmotnosti. Tyto roztoky nativních (přirozených ve smyslu nenarušených) bílkovin se označují jako koloidní.

Jak již bylo uvedeno, ve vodě rozpustné jsou jen globulární proteiny. Jejich molekula má polární (tedy hydratovatelné) skupiny aminokyselin orientované na povrch (obal), zatímco nepolární části dovnitř. Takové uspořádání se označuje jako molekulární micela.

Prostorové uspořádání molekul nativních bílkovin, tzn. jejich kvartérní, terciární i sekundární struktura, může být narušeno řadou faktorů. Ty mohou být jednak fyzikální (teplota, tlak, ultrazvuk), jednak chemické (řada látek). Tím se samozřejmě mění vlastnosti bílkovin i jejich biologické účinky. Výraznější konformační změny se projevují jako srážení bílkovin.

Srážecí reakce mohou být buď dočasné, *vratné* (reverzibilní), nebo *nevratné* (ireverzibilní), kdy dochází k **denaturaci**.

Vratné srážení je z biologického hlediska šetrné a způsobují je látky, které váží vodu a snižují tak stupeň hydratace bílkovin (např. ethanol, aceton), nebo zvyšují iontovou sílu roztoku – tuto vlastnost mají roztoky solí. V laboratorních podmínkách se často používá síran amonný.

Denurací se struktura bílkoviny mění v méně uspořádanou a dochází ke ztrátě původních biologických vlastností a funkcí. Denuraci vyvolávají zejména tyto faktory:

- působení **vysokých a nízkých teplot**. Ve vlhkých materiálech dochází k prakticky úplné denaturaci již při teplotách do  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  (nejvíce v intervalu  $70\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), zatímco v materiálech suchých až při  $120\text{--}150\text{ }^{\circ}\text{C}$  působících po delší dobu. Dlouhodobé působení vysokých teplot však může vyvolat hlubší zásahy do struktury bílkoviny, která se stává degradovanou, klesá její stravitelnost a dokonce mohou vznikat i zdraví škodlivé produkty, např. heterocyklické aminy (srovnej kap. 11.2). Z nízkých teplot vyvolává účinnou denuraci interval  $0$  až  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Naproti tomu rychlé a hluboké zmrazení je šetrné a daří se udržet nativní charakter bílkovin. Příkladem je zmrazování spermatu v kapalném dusíku při teplotách téměř  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , či konzervace např. mikroorganismů lyofilizací, kdy se z materiálu zmrazeného při  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  odstraní voda za velmi nízkých tlaků,
- srážení kyselinami či zásadami **v isoelektrickém bodu** (srovnej kap. 2.1). Při vyrovnání elektrických nábojů má bílkovina minimální rozpustnost a snadno se vysráží. Známými příklady je srážení zkyslého mléka, či hromadění kyseliny mléčné ve svalcích při nedostatečném přívodu kyslíku, které vede ke svalové únavě, křečím, v mezním případě až k posmrtnému ztuhnutí (*rigor mortis*),
- působením **tríslovin**, které jako polyfenoly s bílkovinami vytvářejí četné vodíkové můstky (srovnej kap. 6.1). Vznikající komplexy se pak vysrážejí,

- působením solí tzv. **těžkých kovů**. To má zejména nepříznivé důsledky na snížení aktivity některých citlivých enzymů a představuje významný podíl na toxických účincích těchto kovů,
- **různými chemickými činidly**, jakými jsou kyselina trichloroctová,  $\text{HPO}_3$  či močovina.

Z výživového hlediska je denaturace vesměs žádoucí, protože trávicí enzymy mají k denaturovaným bílkovinám lepší přístup než k nativnímu prostorovému uspořádání. Denaturací se také snižují rizika vyplývající z výskytu některých toxických bílkovin (srovnej kap. 2.4.1).

### **Hydrolýza bílkovin**

Hydrolýza je pochod, při kterém se štěpí vazby mezi aminokyselinami, tedy především peptidové, za vzniku peptidů až volných aminokyselin. Hydrolýza může probíhat třemi způsoby:

- **enzymová** působením trávicích enzymů proteinas a peptidas (pepsin, trypsin, chymotrypsin aj.), které specificky štěpí vazby mezi určitými aminokyselinami. Tyto pochody probíhají jednak při trávení, ale rovněž v odumírajících pletivech (zde se často používá termín *autolýza*),
- **kyselá** se vesměs provádí varem s kyselinou chlorovodíkovou. Dochází však k rozkladu tryptofanu a sirných AK. Předností je uchování AK v L-konfiguraci,
- méně běžná **zásaditá** hydrolýza se zpravidla provádí varem s hydroxidem sodným. Rozkládá se arginin, cystin a zčásti i lysin. Ve značném rozsahu dochází k racemizaci AK, tedy k přechodu značné části AK na D-konfiguraci.

Velmi odolné vůči hydrolýze jsou skleroproteiny. Částečnou kyselou hydrolýzou kolagenu vzniká želatina, hlubším štěpením kliš.

### **Výživová hodnota**

Bílkoviny jsou pro živočichy nezbytné, protože jsou hlavním zdrojem nepostradatelných AK a dusíku vůbec pro výstavbu a obnovu tkání. Pro dospělého člověka je optimální příjem asi 1 g bílkovin na kg tělesné hmotnosti denně. Vyšší potřebu mají mláďata, kojící matky, rekonvalescenti, kulturisté aj.

Bílkoviny masa a vajec obsahují cca 16 % dusíku. Odtud byl odvozen způsob používaný ve výživových tabulkách, při kterém se obsah aminokyselin vyjadřuje na 16 g dusíku, tzn. vlastně na 100 g bílkoviny a přepočítávací faktor mezi analyticky stanoveným obsahem dusíku a bílkovin je 6,25 (= 100:16). Jiné potraviny a krmiva mají obsah dusíku poněkud odlišný.

Vyjadřování biologické hodnoty bílkovin podle zastoupení esenciálních aminokyselin již bylo uvedeno v kap. 2.1.

Celkový obsah bílkovin v biologických materiálech je značně různý:

- vysoký obsah bílkovin mají potraviny a krmiva živočišného původu – maso, vejce, sýry, masové, rybí a krevní moučky, z rostlinných luštěnin (sója, hrách, fazole, čočka) a bobovité píce (vojtěška, jetele) a olejnin (mák, řepka, ořechy),



- střední obsah je v zrnech obilovin (kolem 10 %),
- nízký obsah mají zelenina, brambory, ovoce, píce z čeledi lipnicovitých (trávy).

Pro výživu hospodářských zvířat a v menší míře i lidí se získávají **bílkovinné koncentráty** a **izoláty**. Surovinami jsou nejčastěji šroty olejnin (zejména sóji) zůstávající po extrakci oleje, luštěniny či vojtěška. Méně běžné jsou suroviny živočišného původu, např. syrovátka či rybí moučky. Při zahřátí bílkoviny denaturují a rozpustné složky se oddělí vyluhováním vodou. Bílkoviny se extrahují do zředěných roztoků hydroxidů a následnou neutralizací kyselinami do blízkosti isoelektrického bodu se vysrážejí a suší. Obsah bílkovin v koncentrátech je kolem 50 %, v izolátech až 90 %.

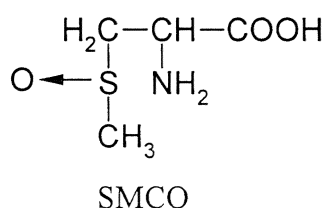
## 2.4 Toxické aminokyseliny, peptidy, bílkoviny a produkty přeměny aminokyselin

Většina těchto látek se podílí na obraně rostlin, příp. i živočichů, proti konzumentům a škůdcům. V Evropě jsou méně časté, hojnější jsou v tropech a v Severní Americe. Některé jsou toxické, většina však působí antinutričně, tzn. zhoršují využitelnost výživově žádoucích složek potravy. Projevují se ve výživě jak člověka, tak hospodářských zvířat, především přežvýkavců.

### 2.4.1 Aminokyseliny

Jedná se buď o AK blízce podobné přirozeným AK (např. selenocystein či selenomethionin obsahující selen místo síry), takže s nimi mohou v metabolismu nežádoucím způsobem interferovat, nebo o AK odlišné povahy (např.  $\beta$ -kyanoalanin), z nichž se uvolňují škodlivé složky. Tyto aminokyseliny se vesměs vyskytují v mimoevropských druzích rostlin.

V našich podmínkách je nejvýznamnější škodlivou aminokyselinou **S-methylcysteinsulfoxid (SMCO)**, vyskytující se jako volná AK v řadě brukvovitých píceň:



Této aminokyselině je např. v krmné kapustě 0,5-2 % v sušině, ve vegetativních částech řepky o něco méně. Činností bacherové mikroflóry se z SMCO uvolňuje dimethyldisulfid  $\text{CH}_3-\text{S}-\text{S}-\text{CH}_3$ , který oxidačně modifikuje -SH skupiny tripeptidu glutathionu v červených krvinkách. Tím dochází k jejich hemolýze (popraskání) s vážnými zdravotními důsledky. Výrazně se tato skutečnost projevuje na zdravotním stavu srnčí zvěře, spásající ve velké míře v zimních měsících porosty řepky, která vyšlechtěním na nízký obsah glukosinolátů (viz kap. 5.1) ztratila odpuzující palčivou chuť.

### 2.4.2 Peptidy

Z této skupiny jsou nejznámější termostabilní cyklické oligopeptidy vyskytující se v řadě druhů vyšších hub, zejména rodu muchomůrka. Tvoří dvě skupiny označované jako amanitiny a falloidiny podle muchomůrky zelené (*Amanita phalloides*). Peptidy jsou jedovaté narušením proteosyntézy a tím i celistvosti buněk. Postižena jsou především játra a ledviny.

Další toxické peptidy se vyskytují ve včelím jedu (mellitiny) a jedech dalšího bodavého hmyzu. Polypeptidické neurotoxiny obsahují také jedy hadů a štírů.

### 2.4.3 Bílkoviny

Mimořádně toxické bílkoviny vytvářejí některé bakterie – např. botulotoxin (*Clostridium botulinum*) či záškrťový toxin. Toxické bílkoviny se vyskytují rovněž v hadích jedech.

Další skupinou jsou bílkoviny některých potravin a krmiv. Hrají spíše roli antinutriční, v některých případech však mohou ohrozit i život konzumenta. Vyskytují se zejména v semenech některých bobovitých rostlin. Jsou to látky poměrně termostabilní, jen málo štěpitelné trávicími proteolytickými enzymy.

**Inhibitory proteas** se vyskytují především v luštěninách, zejména sóje. Narušují činnost proteas, se kterými reagují na neúčinné sloučeniny a při dlouhodobém působení nepříznivě ovlivňují i slinivku, která trávicí enzymy produkuje. Mláďata jsou vůči těmto bílkovinám citlivější než dospělí jedinci. Inhibitory proteas se inaktivují při tepelných úpravách potravin, avšak ve výživě hospodářských zvířat se mohou projevit jejich nepříznivé účinky.

Rostlinné **lektiny**, dříve nazývané fytohemaglutininy podle schopnosti aglutinovat (shlukovat) červené krvinky *in vitro*, obvykle doprovázejí inhibitory proteas. Vyskytují se především v bobech fazolu obecného, kde tvoří 10-15 % z celkových bílkovin, v menší míře i v sóji, podzemnici olejné, pšeničných klíčcích či bramborách, minimálně je jich však v hrachu a čočce. U mláďat narušují funkci střev a syntézu svalových bílkovin. Pro potlačení toxických účinků je třeba vařit nabobtnalé fazole při 100 °C po dobu 15-20 minut. Úpravy suchým teplem (pražení apod.) jsou méně účinné. Při klíčení klesá obsah lektinů ve větší míře až po 4-6 dnech.

Třetí skupinou jsou **alergenní bílkoviny**. U některých jedinců, především dětí, mohou vyvolat určité bílkoviny z potravy výrazně nepříznivou odezvu organismu – alergii. Nejčastěji to bývají málo běžné nízkomolekulární bílkoviny tresky, sóji, podzemnice, ale také rýže, bílku či mléka.

### 2.4.4 Produkty přeměn aminokyselin

Aminokyseliny uvolněné enzymovou hydrolýzou, tj. proteolýzou, mohou podléhat nežádoucím změnám působením mikroorganismů, vedoucím k poklesu jejich biologické hodnoty, příp. i ke tvorbě zdravotně škodlivých sloučenin.

Přeměny AK probíhají především jako deaminace a dekarboxylace:

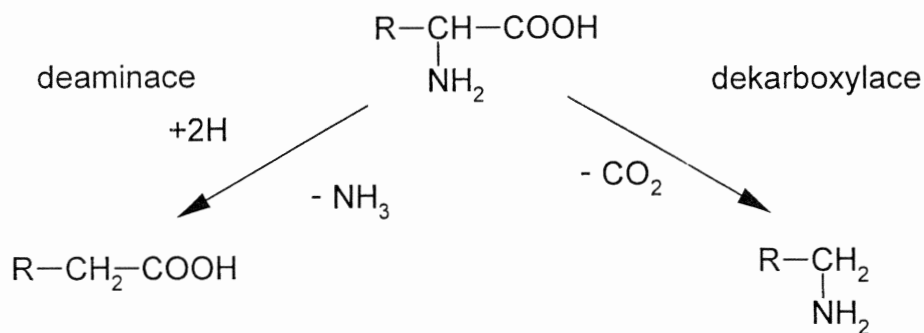


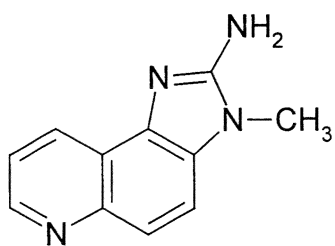
schéma nežádoucích přeměn aminokyselin

**Deaminace** vede především k poklesu nutriční hodnoty, protože jí podléhají i esenciální aminokyseliny. Tímto způsobem vznikají v biologických materiálech z valinu, leucinu, příp. isoleucinu karboxylové kyseliny s rozvětvenými řetězci. Při **dekarboxylaci** vznikají **biogenní aminy**, zejména:

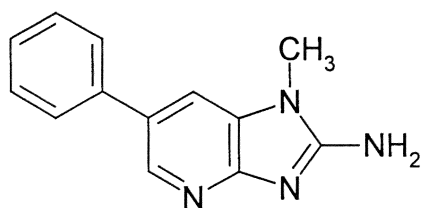
lysín → kadaverin (1,5-pentandiamin; kadavery jsou těla uhynulých živočichů)  
 ornithin → putrescin (1,4-butandiamin, od lat. slova hnilý)  
 histidin → histamin  
 tyrosin → tyramin

Biogenní aminy jsou vytvářeny především hnilobnými baktériemi (zejména kadaverin a putrescin), ale rovněž mnoha druhy rozšířených mléčných baktérií (zejména tyramin). Proto se zvýšená množství biogenních aminů vyskytují jak v potravinách a krmivech, v nichž proběhl větší rozklad bílkovin, tak v mléčně kvašených produktech (sýrech, kysaném zelí, siláži). Biogenním aminům se vesměs přisuzují škodlivé účinky na živočichy. Putrescin je výchozí látkou pro biosyntézu sloučenin nezbytných pro růst a dělení rostlinných i živočišných buněk. Jeho větší příjem potravou proto může podporovat růst nádorů. Další údaje o biogenních aminech jsou v části I/90-91.

Při působení vysokých teplot nad 200 °C (pyrolýze) na bílkoviny, peptidy i uvolněné aminokyseliny vznikají **heterocyklické aminy**, kterých je nyní známo již několik desítek. Jedná se o složité heterocyklické dusíkaté sloučeniny s obvykle jednou primární aminoskupinou. Jejich chemické názvy jsou již značně komplikované, proto se pro ně používají zkratky (např. IQ, Trp-P-1, PhIP atp.). Představu o jejich struktuře poskytují vzorce dvou z nich:



IQ



PhIP

Heterocyclické aminy jsou silnými karcinogeny a mutageny.

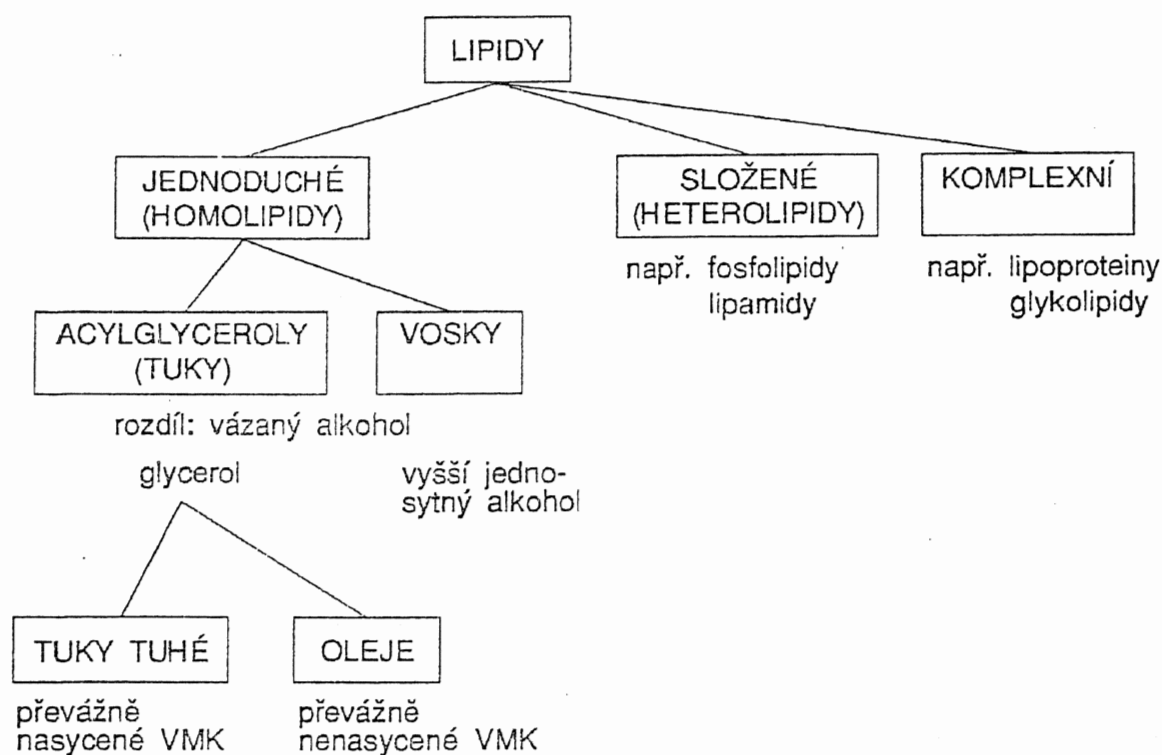
### 3. LIPIDY

Pro lipidy, přestože se jedná o jednu z nejrozšířenějších a pro výživu živočichů nejzávažnějších skupin látek, neexistuje přesná chemická charakteristika. Označují se tak zejména přírodní látky, které jsou estery mastných kyselin (**MK**) o řetězci s alespoň 4 atomy uhlíku a alifatických alkoholů. V obecnějším pojetí se k lipidům řadí i volné MK a lipofilní doprovodné látky, které přecházejí do lipidové frakce při její izolaci z biologických materiálů. Mezi ně patří steroly, lipofilní barviva, lipofilní vitaminy, aj. Tyto látky budou souhrnně uvedeny v kap. 3.5 a podrobněji probrány v následujících kapitolách.

Hlavním kritériem zařazení mezi lipidy tedy není chemická struktura a chemické vlastnosti, ale *hydrofobnost*.

#### Členění

Základní členění podle chemického složení je zřejmé ze schématu (**obr. 3.1**):



**Obr. 3.1** Schéma členění lipidů

Ze schématu je patrné, že se lipidy člení na tři skupiny, i když se někdy uvádí i skupina čtvrtá, kterou tvoří volné MK a jejich soli – mýdla:

1. **Homolipidy** (jednoduché lipidy) jsou pouze dvousložkové, jedná se o estery alkoholů a MK. Řadí se mezi ně:
  - **tuky**, což jsou estery glycerolu a MK. Z praktického hlediska se běžně člení na tuky tuhé a kapalné oleje,

- **estery glykolů**, tedy dvojsytných alkoholů a MK. V lipidech živočišných (až na některé mořské živočichy, např. hvězdice a mlže) i rostlinných se vyskytují jen ve velmi malém množství, běžnější jsou v lipidech mikrobiálních,
  - **vosky**, estery VMK a vyšších jednosytných alkoholů.
2. **Heterolipidy** (složené lipidy) obsahují kromě VMK a alkoholů i další složky. Řadí se mezi ně zejména:
- **fosfolipidy** obsahující  $H_3PO_4$  a vesměs i další látky, zejména dusíkaté (např. glycerolfosfatidy),
  - **sulfolipidy a sulfáty lipidů**, v nichž je buď vázána sulfonová skupina  $-SO_3H$ , nebo esterově vázána  $H_2SO_4$  (některé cerebrosidy),
  - **lipamidy**, ve kterých je na VMK amidovou vazbou vázána nelipidová složka (např. sfingomyeliny).
3. **Komplexní lipidy**, ve kterých jsou na homo- či heterolipidy vázány další složky. Tato vazba není příliš pevná. Patří sem např. lipoproteiny či proteolipidy, glykolipidy, mukolipidy atp.

V biologických materiálech se běžně vyskytuje 1-5 % lipidů v sušině, přičemž složené lipidy představují kolem 0,5-2 %, tedy značný podíl. Naproti tomu rostlinná pletiva a živočišné tkáně, v nichž jsou uloženy lipidy jako energetická rezerva, jich obsahují desítky procent v sušině.

### 3.1 Mastné kyseliny

Mastné kyseliny obsažené v lipidech se dělí podle délky řetězce na *nižší mastné kyseliny* (angl. short-chain fatty acids) se 4-10 atomy uhlíku a na *vyšší mastné kyseliny* (**VMK**, angl. long-chain fatty acids) s více než 10 atomy uhlíku, které jsou v lipidech obsaženy ve výrazně větší míře než nižší MK.

Naprostá většina mastných kyselin přítomných v lipidech je charakterizována těmito vlastnostmi:

- jsou alifatické (= mastné) s délkou nerozvětveného řetězce 4 až 30 atomů uhlíku,
- mají sudý počet atomů uhlíku, protože vznikají biosyntézou přes dvouhlíkový acetyl ( $CH_3CO-$ ),
- buď neobsahují násobné vazby (*nasycené MK*), nebo obsahují jednu dvojnou vazbu (*monoenové MK*), či několik dvojných vazeb (*polyenové MK*). Trojná vazba je vzácná,
- na dvojných vazbách je možná *cis-trans* konfigurace. V lipidech rostlinného původu jsou VMK v konfiguraci *cis*-, v lipidech přežvýkavců je velmi malý podíl v konfiguraci *trans*-.

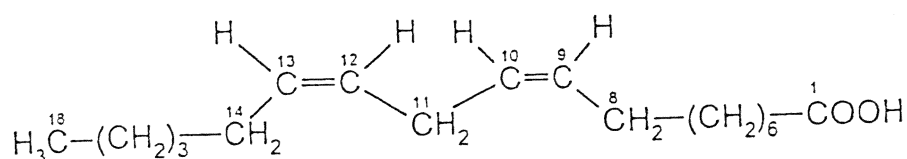
Mastné kyseliny nejvíce zastoupené v tucích jsou uvedeny v **tabulce 3.1**.

**Tab. 3.1** Základní mastné kyseliny v tucích

| Počet atomů uhlíku | Polohy dvojných vazeb | Triviální název kyseliny | Systematický název kyseliny                                    |
|--------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <i>Nasyčené</i>    |                       |                          |                                                                |
| 4                  | -                     | máselná                  | butanová                                                       |
| 6                  | -                     | kapronová                | hexanová                                                       |
| 8                  | -                     | kaprylová                | oktanová                                                       |
| 10                 | -                     | kaprinová                | dekanová                                                       |
| 12                 | -                     | laurová                  | dodekanová                                                     |
| 14                 | -                     | myristová                | tetradekanová                                                  |
| 16                 | -                     | palmitová                | hexadekanová                                                   |
| 18                 | -                     | stearová                 | oktadekanová                                                   |
| 20                 | -                     | arachová                 | eikosanová                                                     |
| 26                 | -                     | cerotová                 | hexakosanová                                                   |
| <i>Monoenové</i>   |                       |                          |                                                                |
| 16                 | 9                     | palmitolejová            | <i>cis</i> -9-hexadecenová                                     |
| 18                 | 9                     | olejová                  | <i>cis</i> -9-oktadecenová                                     |
| 18                 | 9- <i>trans</i>       | elaidová                 | <i>trans</i> -9-oktadecenová                                   |
| 22                 | 13                    | eruková                  | <i>cis</i> -13-dokosenová                                      |
| <i>Polyenové</i>   |                       |                          |                                                                |
| 18                 | 9,12                  | linolová                 | <i>cis,cis</i> -9,12-oktadekadienová                           |
| 18                 | 9,12,15               | $\alpha$ -linolenová     | all- <i>cis</i> -9,12,15-oktadekatrienová                      |
| 18                 | 6,9,12                | $\gamma$ -linolenová     | all- <i>cis</i> -6,9,12-oktadekatrienová                       |
| 20                 | 5,8,11,14             | arachidonová             | all- <i>cis</i> -5,8,11,14-eikosatetraenová                    |
| 20                 | 5,8,11,14,17          | EPA                      | all- <i>cis</i> -5,8,11,14,17-eikosapentaenová                 |
| 22                 | 4,7,10,13,16,19       | DHA                      | all- <i>cis</i> -4,7,10,13,16,19-dokosa <del>h</del> hexaenová |

Poznámka: A ve zkratkách EPA a DHA je z angl. acid = kyselina.

Při vytváření systematických názvů MK vychází číslování od uhlíku karboxylu a končí uhlíkem methylového konce řetězce. U nenasycených mastných kyselin se určuje poloha dvojných vazeb čísla (lokanty) a prostorové uspořádání na dvojných vazbách (konfigurace). Příkladem je systematický název kyseliny linolové:



kyselina *cis,cis*-9,12-oktadekadienová

Zjednodušeně se tato kyselina zapíše symbolem  $C_{18:2}$  či  $C\ 18:2$ , což ovšem informuje pouze o počtu uhlíků a dvojných vazeb, nikoli o poloze dvojných vazeb a o prostorovém uspořádání na nich.

Triviální názvy MK tedy označují určitý isomer a nelze je používat pro celou skupinu isomerů.

Z **nasycených** MK (angl. saturated fatty acids) jsou nejběžnější *kyseliny palmitová* a *stearová*. V mléčném tuku jsou značně zastoupeny kyseliny se 4-12 atomy uhlíku. Kyseliny s nejvyššími počty atomů uhlíku (22-36) se vyskytují ve voscích. Z hlediska fyzikálních vlastností lipidů je významné, že kyseliny s deseti a více atomy uhlíku jsou při teplotě místnosti tuhé, voskovité (kyselina kaprinová  $C_{10:0}$  má teplotu tání  $32\ ^\circ\text{C}$ ). Ve vodě jsou nepatrně rozpustné v důsledku své velmi slabé polaritě, dobře se rozpouštějí v benzínu či v chloroformu. Jsou chemicky velmi stálé.

Mezi **nenasycenými** monoenovými MK (angl. unsaturated fatty acids) je velmi rozšířená *olejová kyselina*. V živočišných lipidech je významně zastoupena *kyselina palmitolejová*. *Kyselina elaidová* jako nejrozšířenější *trans*-kyselina se vyskytuje v mléčném i tělním tuku převýkavců, ale její podíl nebývá vyšší než 1-3 % z celkových MK. Pro lidskou výživu je problematická *kyselina eruková*, která představovala v řepkovém oleji i více než polovinu z MK. Proto byly vyšlechtěny odrůdy řepky, v níž je její obsah jen nízký, někdy i pod 1 %. Z vícenenasycených MK (angl. PUFAs, **polyunsaturated fatty acids**) jsou v rostlinných olejích hojně zastoupeny zejména *kyseliny linolová* a *linolenová*. Vysocenenasycené kyseliny *EPA* a *DHA* (viz tab. 3.1) jsou obsaženy především v rybích olejích, a to především ryb mořských. Ryby je přijímají potravou.

Nenasycené MK mají značně nižší teploty tání než odpovídající kyseliny nasycené, při teplotě místnosti jsou vesměs kapalné.

Zastoupení běžných MK ve významných tucích je uvedeno v **tabulce 3.2**.

**Tab. 3.2** Zastoupení hlavních mastných kyselin v tucích (% z celkových MK)

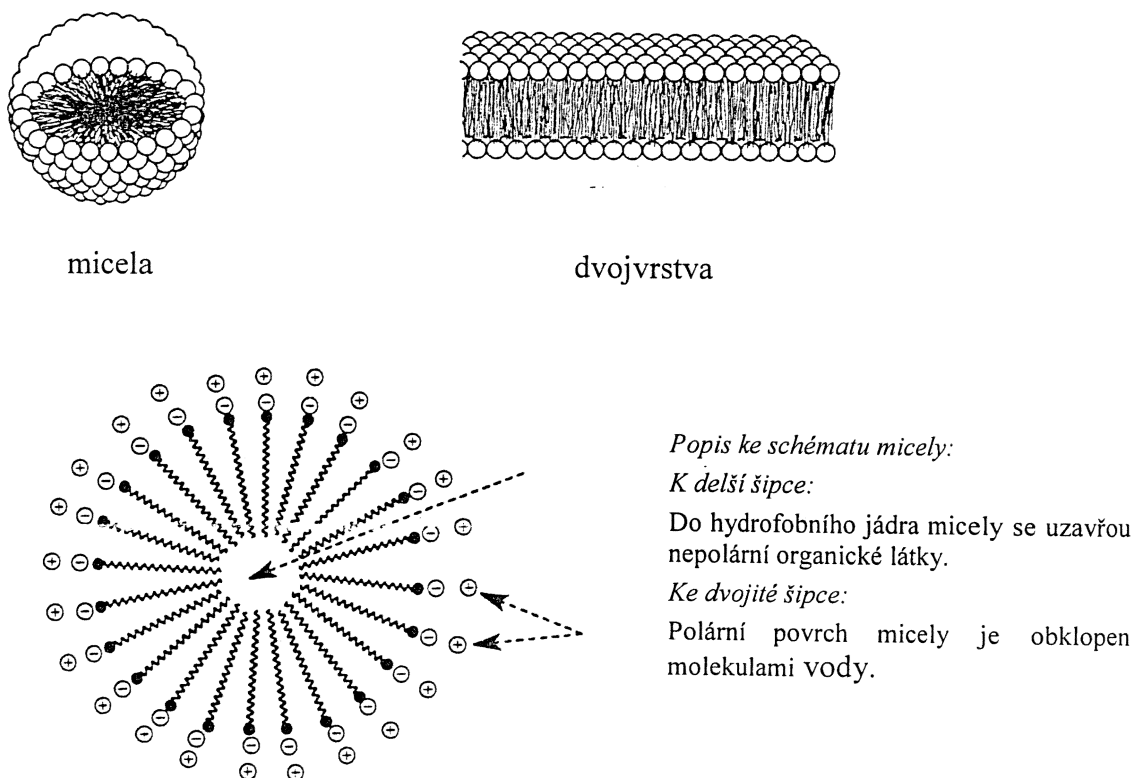
| Kyselina         | Hovězí lůj | Ověčí lůj | Vepřové<br>sádlo | Tuk<br>kravského<br>mléka | Řepkový<br>olej | Sluneč-<br>nicový<br>olej | Olej ze<br>sleďů |
|------------------|------------|-----------|------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|------------------|
| Máselná          | -          | -         | -                | 8-11                      | -               | -                         | -                |
| $C_6+C_8+C_{10}$ | -          | -         | -                | 4-13                      | -               | -                         | -                |
| Laurová          | 1,0        | 0,8       | stopy            | 3-6                       | -               | stopy                     | -                |
| Myristová        | 1,4-7,8    | 2-5       | 0,5-2,5          | 9-14                      | stopy           | stopy                     | 3-10             |
| Palmitová        | 17-37      | 20-27     | 20-32            | 20-32                     | 3,3-6,0         | 5-8                       | 13-25            |
| Stearová         | 6-40       | 23-34     | 5-24             | 8-14                      | 1,1-2,5         | 2,5-7,0                   | 1-4              |
| Olejová          | 26-50      | 30-42     | 35-62            | 17-26                     | 52-67           | 13-40                     | 9-22             |
| Linolová         | 0,5-5,0    | 1,98-2,4  | 3-16             | 0,3-2,2                   | 16-25           | 40-74                     | 1-2              |
| Linolenové       | < 2,5      | 0,6       | < 1,5            | 0,1-0,8                   | 6,4-14          | < 0,3                     | 0,6-2            |
| EPA              | -          | -         | -                | -                         | -               | -                         | -                |
| DHA              | -          | -         | -                | -                         | -               | -                         | 4-10             |

### Reakce mastných kyselin

Mastné kyseliny jsou **slabými kyselinami**, v zásaditém prostředí vytvářejí **solí**, které se označují jako *mýdla* (angl. soaps). Sodné soli jsou tuhé (jádrová mýdla), draselné mazlavé.



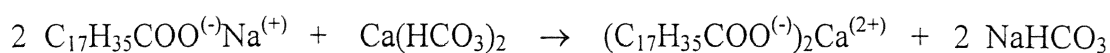
U obou těchto typů mýdel se využívá jejich smáčecích účinků, které jsou dány určitým poměrem mezi nepolární částí řetězce VMK a polární skupinou  $-\text{COO}^{(-)}\text{Me}^{(+)}$  (srovnej I/25 a kap. 3.2.1). Ve vodných roztocích vytvářejí alkalická mýdla micely, příp. dvojvrstvy, v nichž je nepolární řetězec orientován dovnitř a polární skupina vně. Do vnitřní hydrofobní části micely jsou uzavřeny nepolární organické nečistoty, vnější polární obal micely je obklopen molekulami vody. To umožňuje strhnout nečistoty do vodného prostředí. Schematicky jsou tato uspořádání uvedena na **obrázku 3.2**.



**Obr. 3.2** Schéma micely a dvojvrstvy mýdel.

Kroužky představují  $-\text{COO}^{(-)}\text{Me}^{(+)}$ , bičíky uhlíkový řetězec VMK.

Mýdla dvojmocných kovů (nejběžněji vápenatá a hořečnatá) jsou ve vodě nerozpustná a nemají proto mycí a čistící účinky. To se projevuje zejména u tvrdé a mořské vody, kdy při použití sodného či draselného mýdla dojde k vysrážení nerozpustných solí:



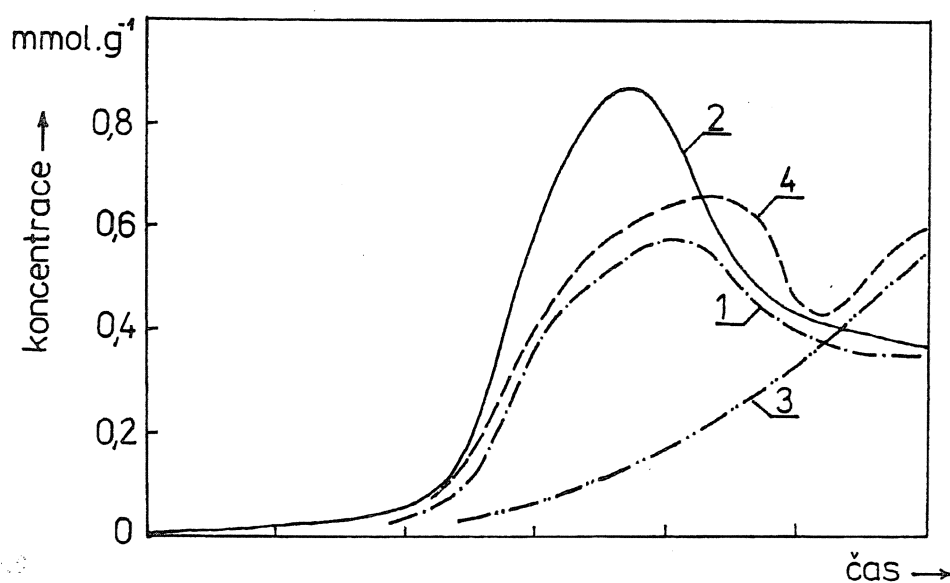
|                       |                 |                          |
|-----------------------|-----------------|--------------------------|
| stearan sodný         | hydrogenuhlíčan | stearan vápenatý         |
| (natrium-stearát)     | vápenatý        | (kalcium-stearát)        |
| rozpustné sodné mýdlo | v tvrdé vodě    | nerozpustná vápenatá sůl |

Při výrobě potravních tuků se využívá procesu **ztužování** (katalyzované tlakové hydrogenace) rostlinných olejů. Podstatou je nasycení části dvojných vazeb, a to v takové míře, aby byl získaný potravní tuk při normální teplotě tuhý. Důvodem je snadnější balení, skladování a dávkování ztužených tuků ve srovnání s kapalnými oleji. Část zbývajících

dvojných vazeb může při tomto procesu přejít v konfiguraci *trans*-. Závisí však na použité technologii.

Významným nežádoucím pochodem je **oxidační žluknutí** (autooxidace, angl. rancidity) působením vzdušného kyslíku, především jeho reaktivních forem vytvářených působením ultrafialového záření. Jedná se soubor dějů, při kterém jsou nejzávažnější vznik radikálů na atomech uhlíku sousedících s dvojnými vazbami a adice kyslíku na dvojné vazby nenasycených VMK, zejména na kyseliny linolovou a linolenovou. Přechodně vznikají zejména hydroperoxy  $-O-OH$ . Tyto silně oxidační meziproducty mohou atakovat řadu oxylabilních složek potravin a krmiv a znehodnocovat je, nebo dokonce vytvářet zdravotně škodlivé producty. Takto je oxidován např. vitamin E, provitaminy A, klesá využitelnost bílkovin.

V další fázi oxidačního žluknutí se uhlíkový řetězec štěpí za vzniku *polárních produktů* - oxosloučenin (aldehydů a ketonů), konečnými producty jsou především karboxylové kyseliny (srovnej s energickou oxidací dvojné vazby, I/67). Současně za oxidačních podmínek, zejména pak při vysokých teplotách, vznikají především z trienových MK jejich *polymery*. Tyto producty vesměs nejsou přirozenými složkami potravin a krmiv, takže se s nimi živočišný organismus musí vyrovnat jako s látkami cizorodými. Potravní oleje by se neměly dále používat, pokud obsah polárních produktů dosáhne 25 % a polymerů 10 % hmotn. Při autooxidaci se mění i sensorické (smyslové, organoleptické) vlastnosti biologického materiálu – jeho vůně, chuť, ale i konzistence a barva. Časový průběh tvorby polárních meziproductů a productů oxidačního žluknutí je patrný z **obrázku 3.3**.



**Obr. 3.3** Vznik meziproductů a productů autooxidace nenasycených mastných kyselin  
 1 ... epoxidové skupiny, 2 ... peroxidové skupiny, 3 ... karboxylové skupiny,  
 4 ... oxoskupiny (aldehydy a ketony)

Průběh autooxidace nenasycených MK v biologickém materiálu lze ovlivnit:

- omezením styku se vzdušným kyslíkem, tj. co nejmenším měrným povrchem,
- snížením skladovací teploty – pokles o 10 °C zpomalí rychlost žluknutí téměř dvakrát,
- omezením vlivu ultrafialového záření skladováním ve tmě, nebo tzv. barevnými filtry obalů (barvy lahvově zelená, žlutá, hnědá),
- působením vysokých teplot jen po co možná nejkratší dobu,

- přidavkem antioxidantů (viz kap. 12.1),
- omezením kontaminace materiálu byť i stopovými množstvími těžkých kovů (měď, železo aj.), které působí jako účinné katalyzátory oxidace.

### Výživová hlediska

Rostliny dokáží syntetizovat všechny MK, zatímco lidský organismus nedokáže syntetizovat některé polyenové MK, které však nezbytně potřebuje k životu, např. pro výstavbu buněčných membrán, pro biosyntézu některých biologicky vysoce účinných sloučenin, jakými jsou dvacetihlíkové eikosanoidy - prostaglandiny, tromboxany aj. Takové MK se označují jako **esenciální**. Dělí se na tzv. n-3 a n-6 (příp.  $\omega$ -3 a  $\omega$ -6, omega podle posledního písmena řecké abecedy) polyenové MK. Označení n-3 znamená, že první dvojná vazba vychází ze 3. atomu uhlíku počítáno od koncového (methylového) uhlíku. Patří mezi ně (srovnej tab. 3.1):

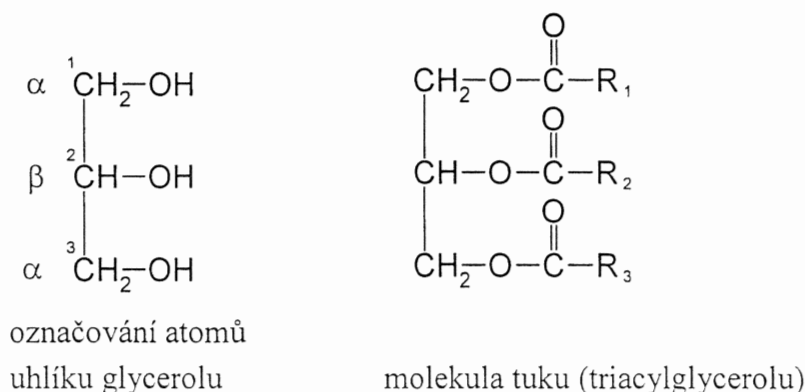
- n-3 VMK:  $\alpha$ -linolenová, EPA a DHA,
- n-6 VMK: linolová,  $\gamma$ -linolenová a arachidonová.

Z hlediska prevence vzniku srdečních a cévních chorob sklerotického charakteru jsou výhodné vícenenasycené VMK v *all-cis*-konfiguraci (angl. all = všechny). Nasycené kyseliny (zejména  $C_{10}$  až  $C_{16}$ ) jsou problematické, protože vytvářejí s cholesterolem (viz kap. 8.1) špatně rozpustné estery, které se usazují v cévách a zhoršují jejich průchodnost a pružnost.

## 3.2 Homolipidy (jednoduché lipidy)

### 3.2.1 Tuky

Tuky jsou estery glycerolu a mastných kyselin. Glycerol (1,2,3-propantriol) může být substituován jedním až třemi acyly mastných kyselin. Vznikají tak mono-, di- a triacylglyceroly, ve starší terminologii mono-, di- a triglyceridy. Tuky jsou převážně triacylglyceroly. Málo běžné jsou jednoduché triacylglyceroly, které obsahují v molekule jen jednu z mastných kyselin (tedy např. tripalmitoylglycerol). V určitém druhu tuku se vesměs vyskytuje současně 5-15 různých MK. Některé vlastnosti tuků, např. štěpitelnost esterové vazby enzymy a tím i stravitelnost, závisí na tom, zda je MK vázána na primární či sekundární alkoholové skupině glycerolu. Atomy uhlíku glycerolu se označují číslováním, dříve řeckými písmeny:



Příkladem názvu smíšeného triacylglycerolu, ve kterém se vyskytují dvě různé VMK, je 2-palmitoyl-1,3-distearoylglycerol.

Informativní údaje o zastoupení MK v některých významných tucích byly uvedeny v tabulce 3.2.

Z chemického hlediska hovoříme o tucích bez ohledu na jejich konzistenci, zatímco z hlediska praktického se názvem tuky rozumějí tuky za normální teploty tuhé a tuky kapalné se označují jako oleje. Zjednodušeně pak platí, že tuky jsou živočišného původu (přestože rybí oleje jsou kapalné) a oleje původu rostlinného (ale třeba kokosový tuk je tuhý).

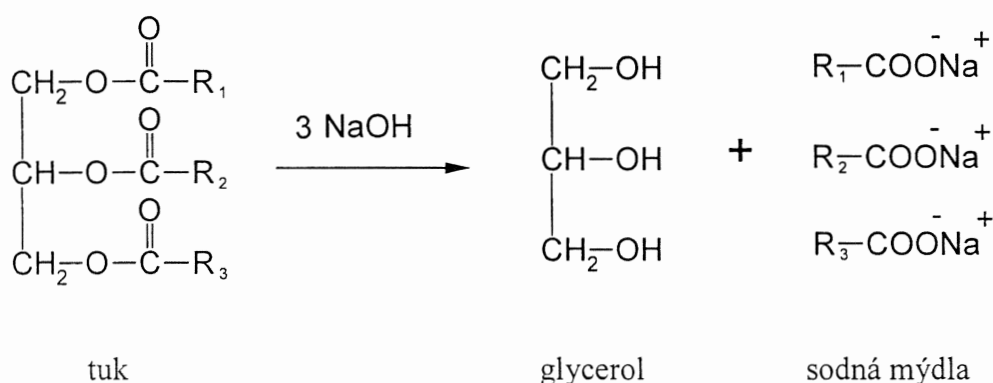
Konzistence tuků je určována zastoupením nasycených a nenasyčených kyselin. Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, nasycené VMK jsou za pokojové teploty tuhé, zatímco většina nenasyčených VMK je kapalná.

## Reakce tuků

Reakce tuků se mohou týkat jednak hydrolýzy esterové vazby, jednak dvojných vazeb nenasyčených MK.

**Hydrolýza** může probíhat enzymově, v zásaditém, příp. i kyselém prostředí, nebo jako reesterifikace. **Enzymová hydrolýza** probíhá při trávení tuků, ale samozřejmě také u živých organismů, které využívají své rezervní tuky jako zdroj energie (např. při klíčení semen, zejména olejin). *Trávení tuků* probíhá především v tenkém střevu. Do dvanáctníku jako jeho počáteční části vylučuje slinivka enzymy lipasy, které katalyzují štěpení esterové vazby. Pro lipasy jsou lépe přístupné esterové vazby olejů. Oleje totiž vytvářejí v trávenině menší kapénky s větším měrným povrchem než tuky tuhé, pro jejichž emulgaci je zapotřebí větší množství emulgátorů. Těmi jsou žlučové kyseliny (viz kap. 8.2), které se do dvanáctníku dostávají jako součást žluči. Proto jsou oleje snadněji stravitelné než tuky tuhé. Přes stěnu střevní se pak vstřebávají volné MK a volný glycerol.

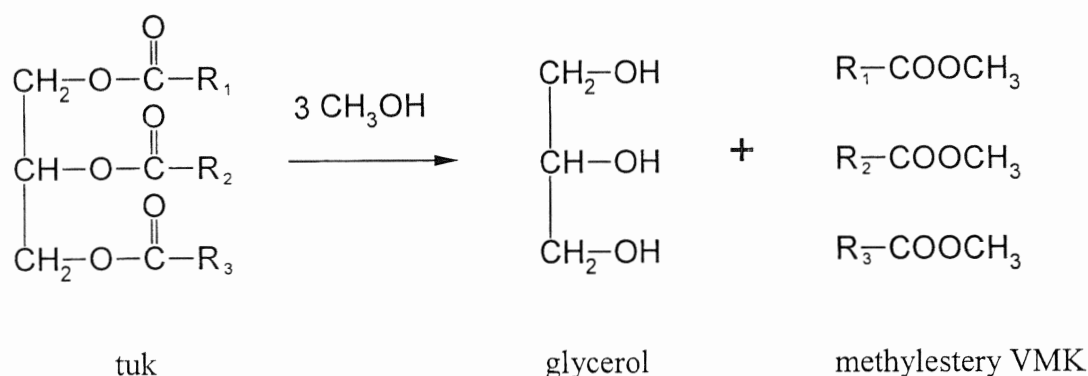
**Zásaditá hydrolýza (zmýdelňování, saponifikace)** probíhá při zahřívání tuků s vodnými roztoky alkalických hydroxidů:



Vlastnosti vznikajících mýdel již byly uvedeny v kap. 3.1.

**Kyselá hydrolýza** tuků poskytne volné MK a volný glycerol. Používá se méně často, probíhá však při hydrolytickém žluknutí.

Při **reesterifikaci** vznikají reakcí tuků s alkoholem jiné estery mastných kyselin a uvolňuje se glycerol. Příkladem je výroba bionafty z řepkového oleje jako methylesterů VMK (srovnej I/64):



Nejvýznamnějšími **reakcemi tuků na dvojných vazbách** jejich nenasycených MK jsou již popsané **ztužování** rostlinných olejů a **oxidační žluknutí** (kap.3.1).

Zajímavá je **enzymová hydrogenace** nenasycených MK, především kyseliny linolenové z rostlinné potravy, v bachoru přežvýkavců. Bachorová mikroflóra produkuje enzymy, které katalyzují adici vodíku na dvojné vazby. Současně mohou vznikat v nevelkém množství i kyseliny s posunutou polohou dvojné vazby a s uspořádáním *trans*- – např. kyselina *cis*, *trans*-9,11-oktadekadienová (jedna z tzv. konjugovaných kyselin linolových), která je pokládána za antikarcinogenní látku. Tyto kyseliny se stávají součástí tělních i mléčných tuků přežvýkavců.

### Kritéria pro hodnocení jakosti tuků

Pro hodnocení chemického složení tuků slouží celá řada ukazatelů, tzv. **tukových konstant**, z nichž se nejčastěji používají:

- **číslo kyselosti** (angl. acid number) se obvykle vyjadřuje v mg KOH, potřebných k neutralizaci *volných MK* v gramu tuku. V čerstvém kvalitním tuku je jeho hodnota desetiny až jednotky. Hodnoty vzrůstají u tuků, u nichž proběhla hlubší autooxidace (srovnej obr. 3.3), nebo ve kterých proběhla větší hydrolýza působením lipas (např. v mechanicky poškozených semenech olejnin),
- **číslo zmýdelnění** (angl. saponification number) se udává jako mg KOH potřebné ke zmýdelnění 1 g tuku (tzv. číslo esterové, ČE) a současně na neutralizaci volných mastných kyselin (= číslo kyselosti, ČK), takže  $\text{ČZ} = \text{ČE} + \text{ČK}$ . Hodnota čísla zmýdelnění je tím vyšší, čím více je v tuku karboxylových skupin, tedy čím kratší je průměrná délka řetězce přítomných MK,
- **jódové číslo** (angl. iodination number) vyjadřuje (v %) množství jódu v gramech, které se může za určitých reakčních podmínek adovat na dvojné vazby 100 g tuku. Je tedy mírou nenasycenosti VMK,
- **peroxidové číslo** (angl. peroxide number) vyjadřuje obsah peroxidů vytvořených v tuku, takže je mírou čerstvosti či žluklosti. Obvykle se kombinuje s číslem kyselosti, aby se postihlo, zda se jedná o počáteční či pokročilou fázi oxidace (srovnej obr. 3.3). Peroxidové číslo se vyjadřuje jako počet molů  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  na 1000 g tuku. Potravní tuky mají hodnoty PČ v desetinách až jednotkách, krmné tuky v jednotkách až desítkách.

Obvyklé hodnoty čísla zmýdelnění a jódového čísla běžných tuků jsou uvedeny v **tabulce 3.3**.

**Tab. 3.3** Čísla zmýdelnění a jódová čísla některých běžných tuků

| Tuk                        | Číslo zmýdelnění<br>(mg KOH/g) | Jódové číslo<br>(%) |
|----------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Vepřové sádlo              | 190 - 200                      | 45 – 70             |
| Hovězí lůj                 | 190 - 200                      | 35 – 50             |
| Mléčný tuk (bezvodé máslo) | 220 - 235                      | 20 – 35             |
| Podzemnicový olej          | 185 - 195                      | 170 – 195           |
| Řepkový olej               | 170 - 180                      | 95 – 105            |
| Sójový olej                | 190 - 195                      | 120 – 140           |
| Slunečnicový olej          | 185 - 195                      | 115 – 140           |
| Lněný olej                 | 190 - 195                      | 120 – 140           |

Dosud uvedená kritéria vystihovala především jakost tuků čerstvých, nebo v počátečním stádiu oxidace. Pro objektivní posouzení hlubší oxidace (žluknutí) je třeba použít i **další ukazatele**. Mohou to být obsahy *karbonylových sloučenin* (oxosloučenin, tedy aldehydů a ketonů), které způsobují zápach a pachutí žluklých tuků, zejména *dialdehydu kyseliny malonové* ( $\text{O}=\text{HC}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{O}$ ). Do této skupiny ukazatelů patří ***p*-anisidinové číslo** a ***2*-thiobarbiturové číslo**. Názvy těchto kritérií jsou odvozeny od činidel, které s různými aldehydy poskytují barevné produkty, jejichž koncentraci lze stanovit. Spolehlivější informace poskytuje stanovení jednotlivých karbonylových sloučenin ***plynovou chromatografií***.

### 3.2.2 Vosky

Triviální název vosky (angl. waxes) je označení pro estery mastných kyselin s jednosytnými alkoholy. Přírodní vosky však představují směs tohoto typu sloučenin s větším či menším množstvím doprovodných látek (viz kap. 3.5).

Mastné kyseliny jsou vesměs nasycené, s počtem atomů uhlíku 20-30. Vázanými alkoholy bývají nejčastěji vyšší nasycené jednosytné alifatické alkoholy o délce řetězce 12-36 atomů uhlíku. Z této struktury pak vyplývají vlastnosti vosků: jsou tuhé, nerozpustné ve vodě, ale dobře rozpustné v benzínu či chloroformu, stálé vůči oxidaci. Pro svoji konzistenci a vodoodpudivost se používají pro úpravu konzistence krémů, mastí, pro výrobu svíček a jako mazadla.

Hlavní biologickou funkcí vosků je tvorba hydrofobních vrstev na povrchu organismů, kterými ovlivňují ztráty vody transpirací a chrání proto vlivům prostředí, hmyzu a parazitům. U živočichů jsou na pokožce, vlasech, srsti či peří, u rostlin jsou jako kutikulární vosky na povrchu plodů, listů a dalších nadzemních částí. V přírodě jsou značně rozšířené, ale jejich množství jsou vesměs jen malá.

Mezi přírodní vosky patří zejména:

#### 1. Vosky živočišného původu:

- ***lanolin*** se získává extrakcí z ovčí vlny a po přečištění se používá v kosmetickém a farmaceutickém průmyslu,

- **vorvaňovina** (cetaceum) se získává z lebečních dutin vorvaňů a příbuzných kytovců pro kosmetické použití,
- **včelí vosk** z pláství.

## 2. Vosky rostlinného původu:

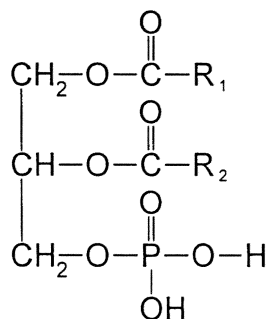
- **čínský vosk** se získává z jasanu čínského,
- **karnaubský vosk** vytváří jihoamerická palma kopernicie voskonosná,
- **jojobový vosk** je tekutý (proto častěji jojobový olej) a získává se ze semen keře *Simmondsia californica*.

## 3.3 Heterolipidy (složené lipidy)

Zatímco homolipidy se skládaly jen ze dvou složek, tj. esterově vázaných MK a alkoholu, heterolipidy obsahují i další složky, podle jejichž charakteru se dělí na fosfolipidy, glykolipidy a sulfolipidy.

### Fosfolipidy

Nejvýznamnějšími fosfolipidy jsou přírodní látky odvozené od fosfatidové kyseliny (přesněji fosfatidových kyselin, protože jsou vázány různé MK), v níž jsou na glycerol esterově vázány dvě MK (tedy jako v tuku), ale na primární alkoholovou skupinu je esterově vázána kyselina trihydrogenfosforečná:



fosfatidová kyselina

Vázaná  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ale může vytvářet s hydroxylovými skupinami další esterové vazby, a to v biologických materiálech zejména s aminoalkoholy odvozenými od aminokyseliny serinu (srovnej I/91). Takto se odvozují následující fosfolipidy (**tab. 3.4**):

**Tab. 3.4** Běžné fosfolipidy

| Vázaný<br>aminoalkohol/amino-<br>kyselina              | Vzorec                                                                                                         | Název tradiční | Název současný               |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------|
| kolamin<br>(2-ethanolamin)                             | $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$                                                                | kefalin        | <i>fosfatidylethanolamin</i> |
| cholin<br>( <i>N,N,N</i> -trimethyl-2-<br>ethanolamin) | $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{N}^+(\text{CH}_3)_3$                                                  | lecithin       | <i>fosfatidylcholin</i>      |
| L-serin                                                | $\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH} \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$ | -              | <i>fosfatidylserin</i>       |

Mezi další fosfolipidy s odlišnou chemickou strukturou patří *fosfatidylinositol*, *plasmalogeny*, *sphingolipidy*.

Fosfolipidy jsou nezbytnou složkou nervových tkání a membrán. Většinu si živočichové dokáží syntetizovat, esenciální však jsou cholin a *myo*-inositol. Bohatým zdrojem jsou nervové tkáně, vaječný žloutek a sója. Pro potravní a krmné účely se získává především sójový lecithin, který je účinným emulgátorem a zároveň antioxidantem (viz kap. 12).

#### Další heterolipidy

**Glykolipidy** doprovázejí fosfolipidy a jsou rovněž součástí buněčných struktur (např. chloroplastů). Nejčastěji přítomným sacharidem je D-galaktosa.

Ještě vzácnější a méně prozkoumané jsou **sulfolipidy**, ve kterých je vázána buď sulfonová skupina  $-\text{SO}_3\text{H}$ , nebo esterově kyselina sírová  $-\text{O}-\text{SO}_3\text{H}$ .

### 3.4 Komplexní lipidy

Komplexní lipidy jsou makromolekulární látky, v nichž je lipidová složka vázána různými typy vazeb a interakcí se složkou nelipidovou. Tou bývají nejčastěji bílkoviny, takže **lipoproteiny** jsou nejvýznamnějšími představiteli této skupiny.

V lipoproteinech obvykle tvoří lipidy jádro makromolekuly a hydratované bílkoviny její obal. To umožňuje buď rozpouštění, nebo dispergování lipoproteinů ve vodě a tím i transport lipidů zejména v krevním séru. Tyto lipoproteiny se dělí na nízkohustotní (LDL z angl. low density lipoproteins) a vysokohustotní (HDL z high density lipoproteins), příp. ještě na VLDL a VHDL od very ...). Lipoproteiny o nízké hustotě mají slabší bílkovinný obal, proto jsou ve vodě méně stabilní a snadněji se usazují na stěnách cév. Navíc se usazuje i cholesterol, jehož jsou přenašeči. Důsledkem jsou sklerotické změny cév.

Lipoproteiny jsou rovněž důležitou součástí membrán.



### 3.5 Doprovodné látky lipidů

Pojem doprovodné látky lipidů vystihuje skutečnost, že při extrakci lipidů (tj. především tuků či vosků) z biologických materiálů přechází do izolátu řada lipofilních látek, které mají odlišnou chemickou strukturu od těch, které byly v předešlých částech kap.3 zařazeny mezi lipidy. Někdy se pro tyto látky používá označení *lipoidy*.

Do této skupiny patří zejména:

- vyšší uhlovodíky,
- vyšší alkoholy,
- steroidy (viz kap. 8),
- lipofilní barviva (viz kap. 10.1),
- přirozené antioxidanty (viz kap. 12.1),
- lipofilní vitaminy (A,D,E – probírají se v biochemii).

*Vyšší uhlovodíky* s 15-35 atomy uhlíku doprovázejí zejména vosky. Vesměs jde o alkany s přímými řetězci a lichým počtem atomů uhlíku. Do jedlých olejů přecházejí z kutikulárních vosků na povrchu semen. Rovněž ve voscích se vyskytují volné primární jednosytné *alkoholy* C<sub>12</sub> až C<sub>36</sub>, tedy složky, jejichž většina je vázána na MK (srovnej kap. 3.2.2).

## 4. SACHARIDY

Název sacharidy se používá pro *polyhydroxyaldehydy* a *polyhydroxyketony* obsahující v molekule alespoň tři atomy uhlíku (**monosacharidy**) a složitější sloučeniny, které se z monosacharidů vytvářejí kondenzací (**oligosacharidy** a **polysacharidy** neboli **glykany**). Nemělo by se pro ně používat označení glycidy, karbohydráty či uhlohydráty, dosud se vyskytující v nechemické literatuře.

*Monosacharidy* se člení

- podle *funkční oxoskupiny* na **aldosy** a **ketosy**,
- podle *počtu atomů uhlíku* na **triosy**, **tetrosy**, **pentosy**, **hexosy**, **heptosy** atd.

Toto členění se kombinuje, takže např. aldohexosa, ketopentosa atp.

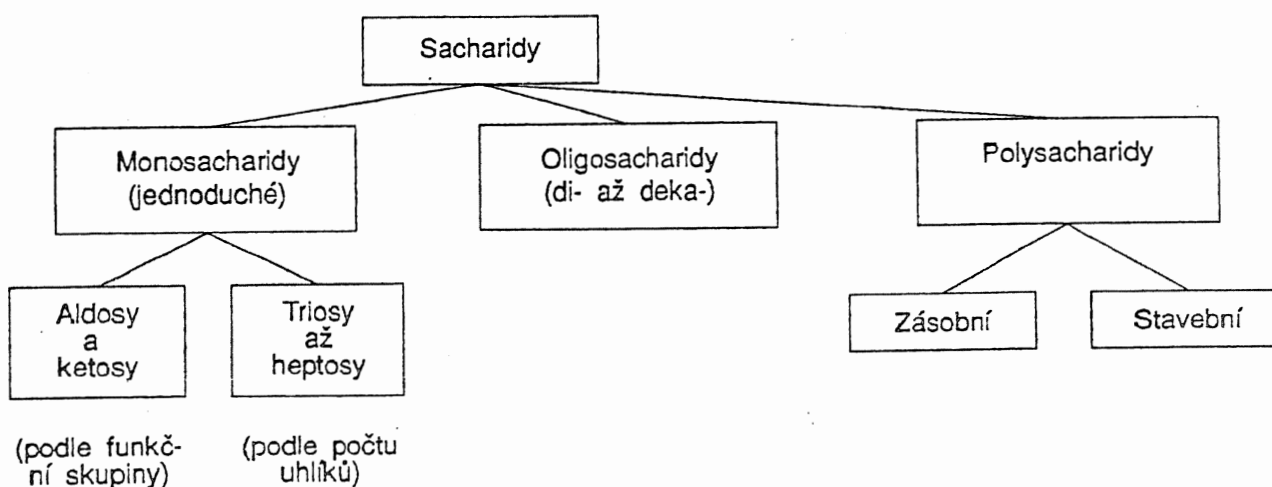
*Monosacharidy* jsou základní jednotkou, *oligosacharidy* jsou tvořeny 2-10 monosacharidy, *polysacharidy* více než 10 monosacharidy.

Pro mono- a oligosacharidy se také používá název **cukry** a vesměs se vyznačují sladkou chutí.

Kromě toho existují **složené** (konjugované, komplexní) **sacharidy**, mezi něž patří např. glykosidy (kap. 5), glykolipidy (kap. 3.3), glykoproteiny a nukleové kyseliny.

K sacharidům se řadí rovněž příbuzné sloučeniny, vznikající zejména jejich oxidací, redukcí či substitucí (viz kap. 4.2).

Základní členění sacharidů je patrné ze schématu na **obrázku 4.1**.



**Obr. 4.1** Schéma základního členění sacharidů

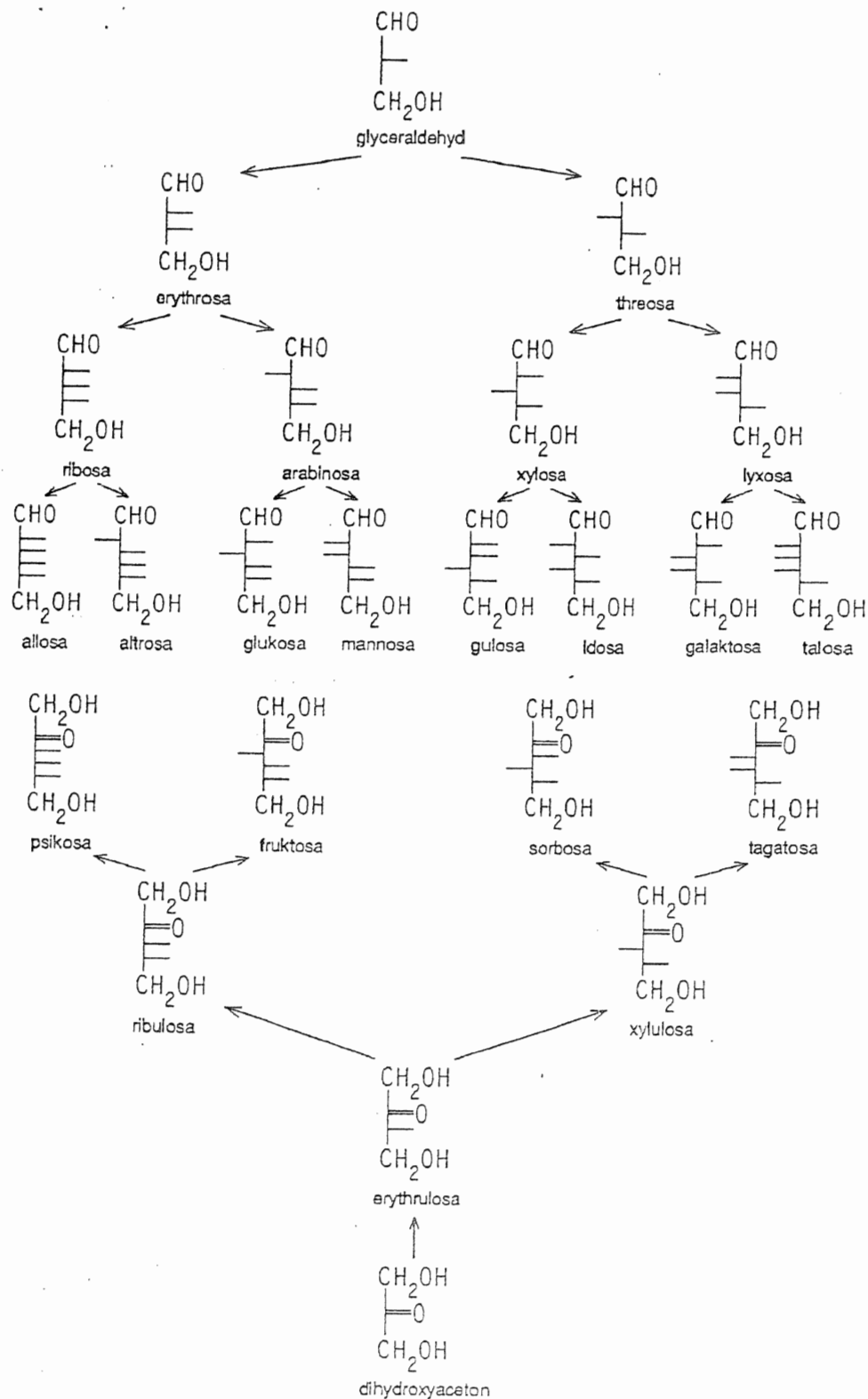
Sacharidy vytvářejí fotoautotrofní organismy fotosyntézou ze vzdušného oxidu uhličitého a z vody s využitím světelné energie. V rostlinných pletivech sacharidy tvoří až 90 % sušiny, v živočišných tkáních jen několik procent sušiny. Plní několik funkcí:

- spolu s lipidy a bílkovinami jsou hlavními živinami heterotrofních organismů<sup>1</sup>,
- některé polysacharidy jsou základní složkou mnoha buněk,
- některé sacharidy jsou biologicky aktivní ať již samotné, nebo jako složka složitějších sloučenin.

<sup>1</sup> Energetická hodnota 1 g sacharidů je 17 kJ, což je stejně jako bílkovin, ale jen polovina než tuků.

## 4.1 Monosacharidy

V přírodě se vyskytují převážně pentosy a hexosy. Genetickou řadu aldós lze odvodit od glycerinaldehydu, řadu ketos od dihydroxyacetonu, které splňují charakteristiku sacharidu. Glycerinaldehyd obsahuje asymetrický (chirální) atom uhlíku, takže se vyskytuje v D- a L-formě. Schéma odvození řady D-aldos a D-ketos je uvedeno na **obrázku 4.2**.



Obr. 4.2 Genetické řady D-aldos a D-ketos

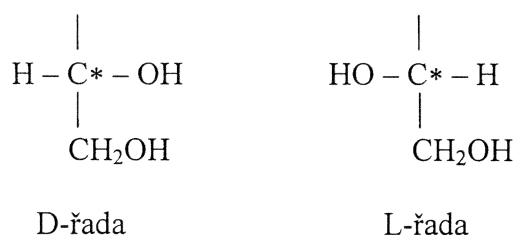
Dihydroxyaceton nemá, na rozdíl od glycerinaldehydu, asymetrický atom uhlíku, takže první D-ketosou je až D-tetrosa. Počet ketos je proto poloviční než aldosa (tab. 4.1).

**Tab. 4.1** Počet D-aldos a 2-D-ketos

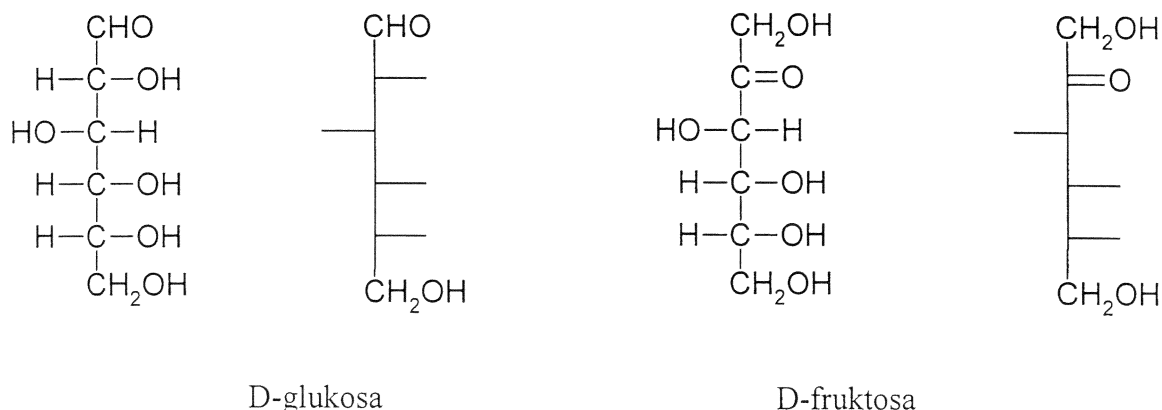
| Počet uhlíků | Skupina | Počet D-aldos | Počet 2-D-ketos |
|--------------|---------|---------------|-----------------|
| 3            | triosy  | 1             | -               |
| 4            | tetrosy | 2             | 1               |
| 5            | pentosy | 4             | 2               |
| 6            | hexosy  | 8             | 4               |

Konfigurační označení Fischerovy projekce D- nebo L- (srovnej I/9) se uvádí před názvem monosacharidu. Je-li účelné vyjádřit optickou otáčivost, vkládá se znaménko (+) či (-), značící směr otáčení vpravo či vlevo, takže např. D-(+)-glukosa či D-(-)-fruktosa. I pro sacharidy platí obecná zásada, že mezi konfigurací a směrem otáčení polarizovaného světla není žádný zákonitý vztah, tzn. D- neznamená pravotočivost a L- levotočivost.

Počínaje aldotetrosami a ketopentosami mají monosacharidy více asymetrických atomů uhlíku. Při průmětu do plochy se molekula orientuje tak, aby oxoskupina byla nahoře a uhlíková osa směřovala dolů. Pro zařazení do D- nebo L-řady je rozhodující poloha hydroxylu na asymetrickém uhlíku s nejvyšším pořadovým číslem, přičemž se čísluje tak, aby oxoskupina měla číslo co nejmenší (srovnej I/10):



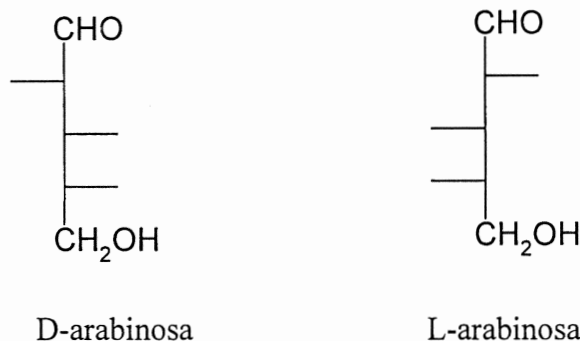
Pro lepší přehlednost a menší pracnost zápisu se často používá projekčních vzorců sacharidů, ve kterých se uhlíková osa vyjádří svislou čarou a hydroxyl čárkou na ni kolmou. Atomy vodíku se nevypisují:



Touto formou zápisu jsou uvedeny monosacharidy v obrázku 4.2. Z tohoto přehledu je patrné, že počínaje aldotetrosami a ketopentosami existují isomerní dvojice, které se liší jen

polohami hydroxylů na atomu uhlíku sousedícím s oxoskupinou – např. ribosa-arabinosa, xylosa-lyxosa či glukosa-mannosa. Tyto dvojice označil E. Votoček jako **epimery**.

Každému monosacharidu D-řady v obr. 4.2 odpovídá jeho antipod L-řady, který se liší polohou **všech** hydroxylových skupin – jedná se tedy o zrcadlový obraz:



Počet D- a L-monosacharidů je proto dvojnásobný, než je uvedeno v tab. 4.1. V biologických materiálech převažuje D-forma sacharidů.

Dosud uváděná forma zápisu monosacharidů se označuje jako **Fischerovy vzorce**. V této acyklické formě se však monosacharidy vyskytují v biologických materiálech, v nichž jsou rozpuštěny ve vodě, jen ve velmi malé míře. Většina aldů zůstává v roztoku v acyklické formě jen z méně než 0,1 %. Výjimkou jsou roztoky D-ribosy, v nichž je 8,5 % molekul v aldehydické formě. To způsobuje její mimořádnou reaktivitu.

Rozpuštěné monosacharidy vytvářejí tzv. cyklo-acyklo tautomery. Při **cyklizaci** dochází k adici některé z hydroxylových skupin vlastní molekuly na oxoskupinu za vzniku **poloacetalu (hemiacetalu)**. Zde je třeba připomenout tvorbu těchto látek z obecné chemie oxosloučenin (srovnej I/96):

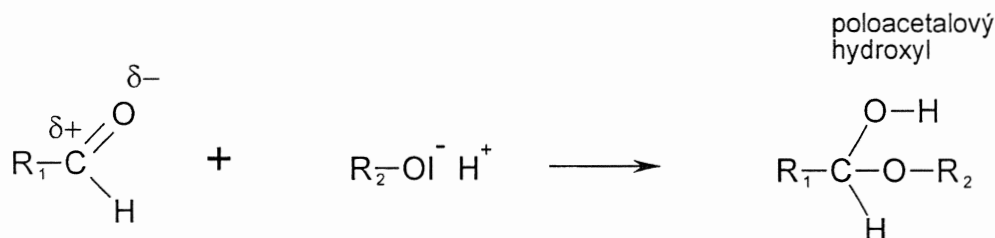
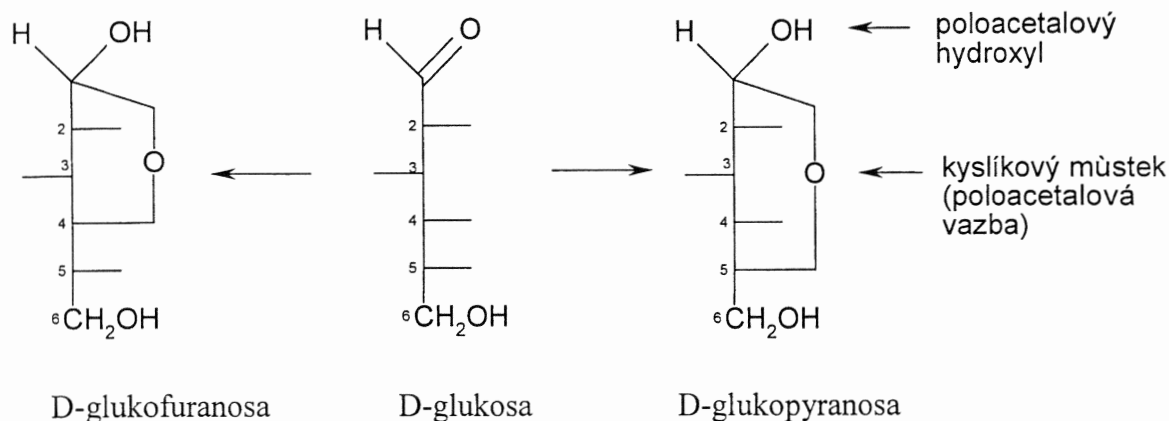


schéma vzniku poloacetalu

Na polární oxoskupinu se aduje hydroxyskupina alkoholu a vzniká nový typ hydroxyskupiny, který se označuje jako **poloacetalový hydroxyl**.

Jak oxoskupina, tak hydroxyl jsou přítomny v každé molekule monosacharidu, takže může docházet k vnitřní (intramolekulární) polacetalizaci. Původní oxoskupina zaniká a vytváří se nový asymetrický (*anomerní*) uhlík. Na něm se vytvořil poloacetalový hydroxyl a poloacetalová vazba, tvořená kyslíkovým (etherovým) můstkem. Největší předpoklady pro vznik a stabilitu mají pětičlenné a šestičlenné kruhy, označované podle příbuzných heterocyklických sloučenin furanu (srovnej I/132) a pyranu (srovnej I/137) **furanosy** a **pyranosy**:

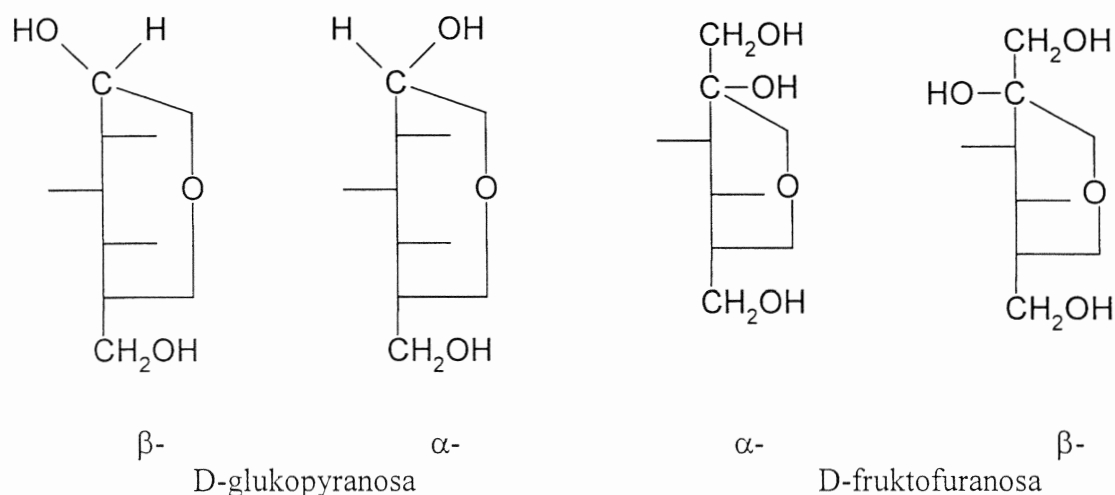


Tyto formy zápisu cyklizovaných monosacharidů se nazývají **Tollensovy vzorce**. Nejběžnější formy cyklizace hexos jsou patrné z **tabulky 4.2**.

**Tab. 4.2** Obvyklé formy cyklizace hexos

| Acyklická struktura  | aldosa                | 2-ketosa              | aldosa                | 2-ketosa              |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Spojení atomů uhlíku | $C_1 \rightarrow C_5$ | $C_2 \rightarrow C_6$ | $C_1 \rightarrow C_4$ | $C_2 \rightarrow C_5$ |
| Cyklická struktura   | pyranosa              |                       | furanosa              |                       |

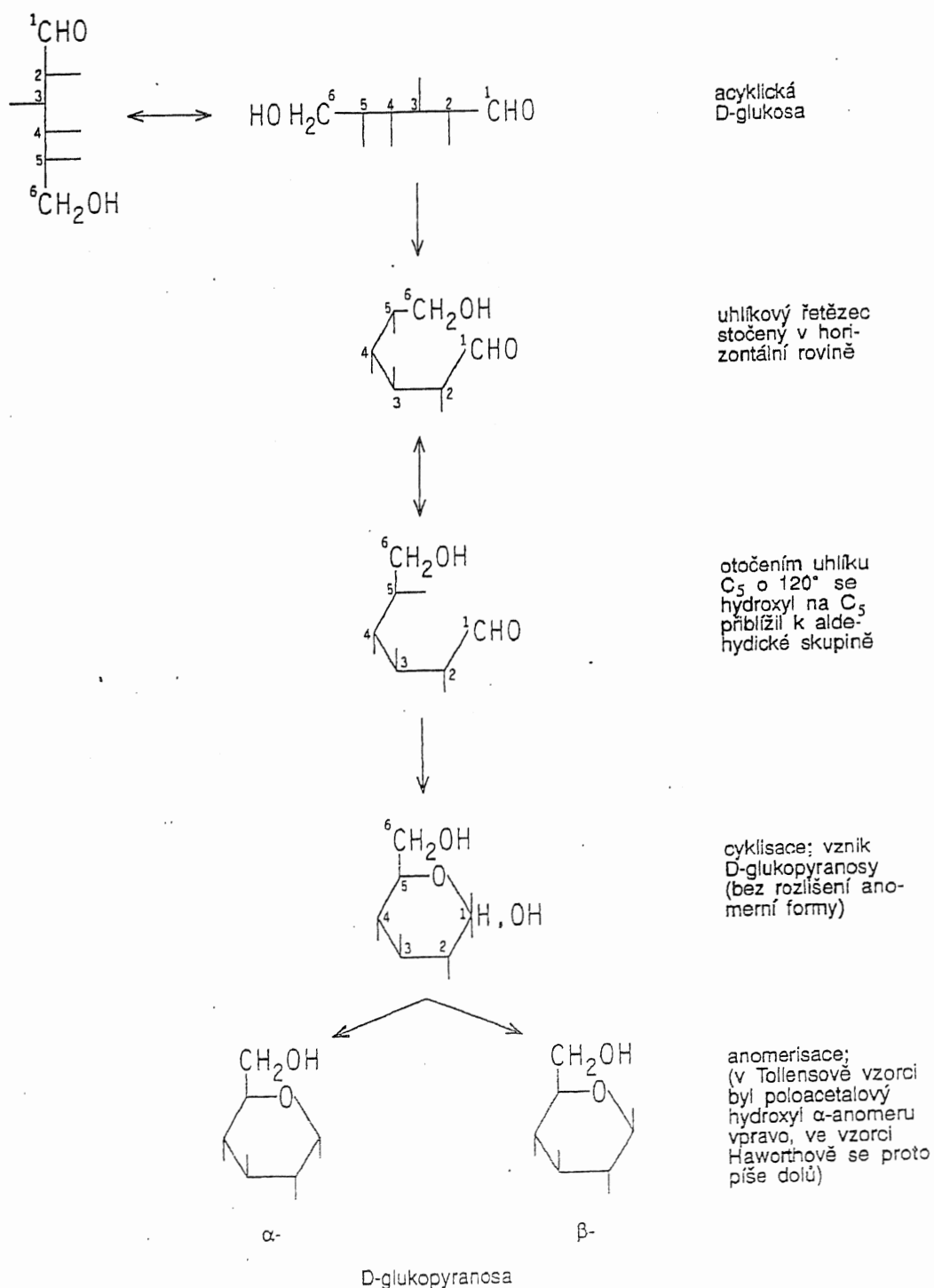
Každá cyklická forma monosacharidu se může v důsledku vzniku nového asymetrického (chirálního) centra z původní oxoskupiny vyskytovat ve dvou stereomerních formách. Tyto isomery se označují jako **anomery** a rozlišují se písmeny  $\alpha$ - a  $\beta$ -. Alfa-anomer je takový, ve kterém poloacetalový hydroxyl na anomerním uhlíku leží v Tollensově vzorci na téže straně uhlíkového řetězce jako hydroxylová skupina nejvzdálenějšího asymetrického uhlíku, tedy vpravo u D-monosacharidů. Leží-li skupiny na opačné straně, jedná se o beta-anomer:



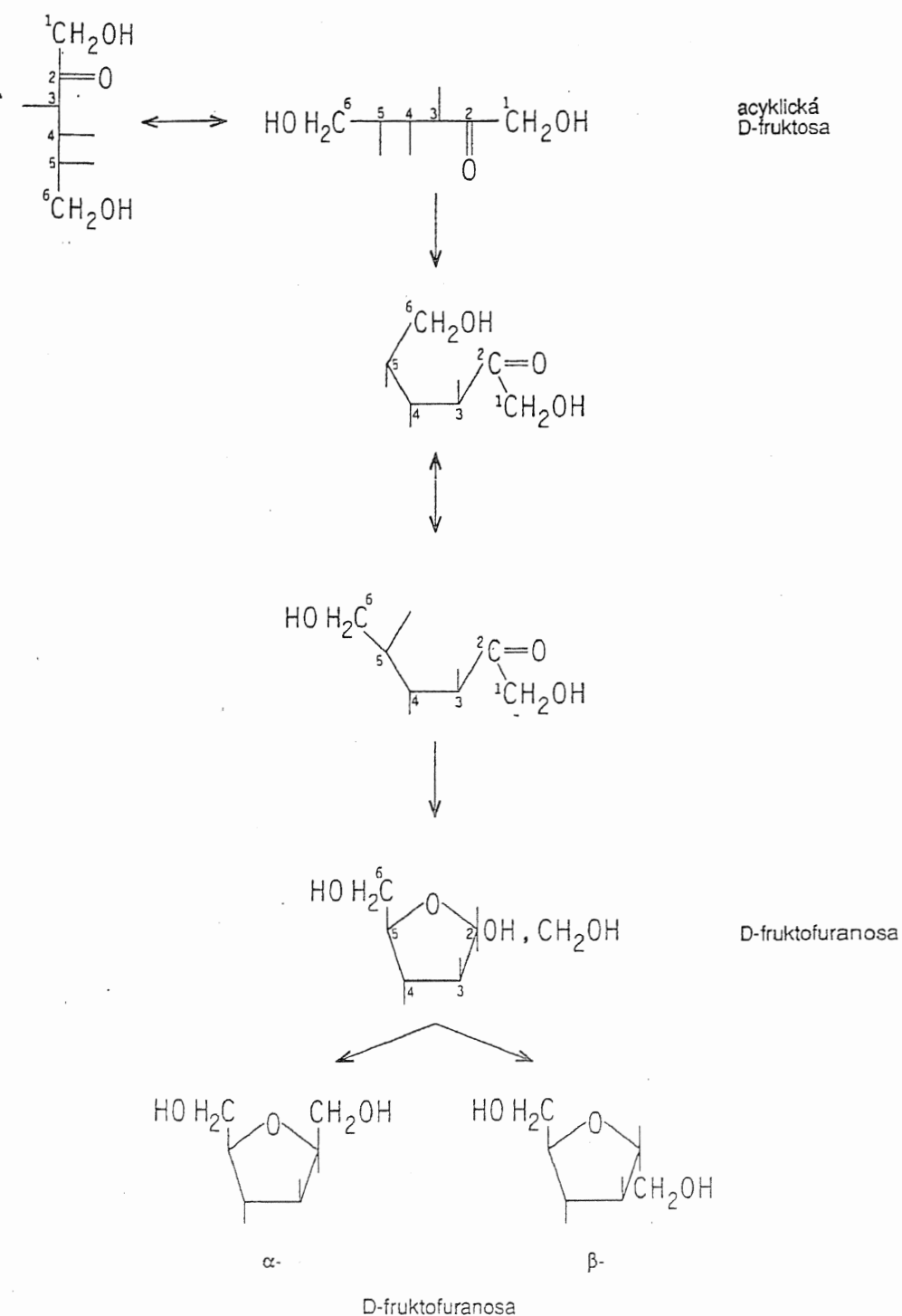
Ve vodném roztoku jsou obě anomerní formy v rovnováze, která je pro každý sacharid charakteristická. Při porušení rovnováhy, ale především po rozpuštění krystalického sacharidu, dochází k ustavování rovnováhy (anomerizaci). Tento pochod je provázen

změnami optické otáčivosti – **mutarotaci**. Až do ustálení rovnováhy, což trvá několik hodin, proto nelze stanovovat koncentraci sacharidu polarimetricky.

Z Tollensových vzorců by vyplývalo, že poloacetalová vazba je podstatně delší než vazby ostatní. Tak tomu však není. Proto byly zavedeny výstižnější **vzorce Haworthovy**. Pyranosy jsou v nich vyznačeny šestiúhelníkem, furanosy pětiúhelníkem, v nichž atomy uhlíku tvoří vrcholy, jak je běžné ve skeletových vzorcích a jedním z vrcholů úhelníku je i atom kyslíku. Hydroxyly, které jsou v Tollensových vzorcích vpravo od svislé uhlíkové osy, se zapisují dolů, hydroxyly vlevo se zapisují nahoru. Postup odvození Haworthových vzorců dvou nejběžnějších monosacharidů je uveden na **obrázcích 4.3 a 4.4**.



Obr. 4.3 Cyklizace D-glukosy a odvození Haworthových vzorců D-glukopyranosy



**Obr. 4.4** Cyklizace D-fruktosy a odvození Haworthových vzorců D-fruktofuranosy

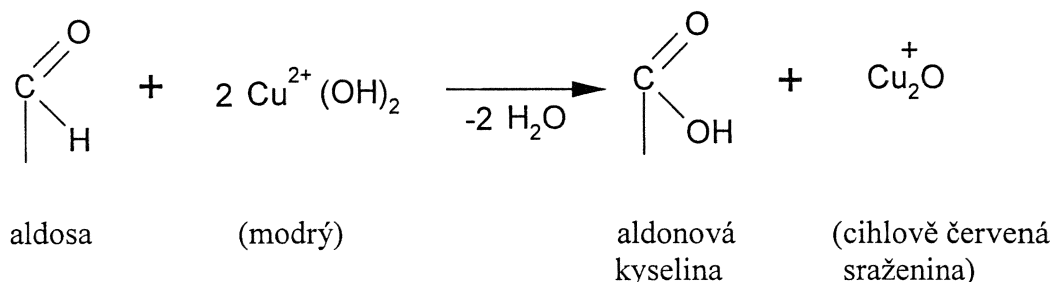
Ani Haworthovy vzorce však nevystihují přesně konformaci molekul. U pyranos se předpokládá – podobně jako u cyklohexanu (srovnej I/8) – jako pravděpodobnější židličková konformace než vaničková.



### Vlastnosti monosacharidů

V důsledku četných vodíkových můstků jsou monosacharidy krystalické a mají poměrně vysoké body tání – u hexos kolem 200 °C. Jako polární látky jsou velmi dobře rozpustné ve vodě, methanolu či ethanolu. Při vysoké koncentraci roztoků vytvářejí viskózní sirupy. V nepolárních rozpouštědlech jsou však prakticky nerozpustné.

Z chemických vlastností je významná snadná **oxidovatelnost** (viz kap. 4.2). Aldosy se snadno, i když ne zcela stechiometricky, oxidují měďnatými solemi ve vinanovém komplexu v alkalickém prostředí (*Fehlingovo činidlo*) na aldonové kyseliny a vysráží se oxid měďný:



Sacharidy poskytující tuto reakci s Fehlingovým činidlem se označují jako *redukující*.

Pro biologické materiály je významná reakce redukujících sacharidů s primárními aminoskupinami, které se vyskytují především v bílkovinách (zejména koncové aminoskupiny lysinu a argininu). Začíná tím sled složitých reakcí, souhrnně označovaných jako **Maillardova reakce**, která je nejvýznamnější ze skupiny tzv. **reakcí neenzymového hnědnutí**. Název vychází z tvorby hnědých produktů (*melanoidinů*) např. ve chlebové kůrce, pražené kávě či sušeném ovoci. Reakce se urychluje s rostoucí teplotou, pozorovatelnou rychlostí probíhá již od teplot kolem 50 °C. Produkty reakce mohou být jak žádoucí, ovlivňující charakteristickou vůni, chuť a barvu, tak nežádoucí - klesá nutriční hodnota zejména reakcemi lysinu a methioninu se sacharidy, mohou vznikat mutagenní sloučeniny, především heterocyklické aminy (srovnej kap. 2.4.4).

### Nejdůležitější monosacharidy

Monosacharidy se vyskytují jako volné jen v omezené míře, většinou jsou vázány jako stavební jednotky polysacharidů a oligosacharidů. Vzorce byly uvedeny v obrázku 4.2.

Nejvýznamnější **pentosy**:

*D-(-)- ribosa* je ve formě ribofuranosy součástí RNA, její derivát *2-deoxy-D-ribofuranosa* je složkou DNA.

*D-ribulosa* se ve formě fosforečnanových esterů účastní fotosyntézy.

*L-(+)-arabinosa* je součástí rostlinných polysacharidů arabanů, vytvářejících klovatinu peckovin, rostlinné gumy a slizy. Je nezkvasitelná, pro živočichy téměř nestravitelná.

*D-(+)-xylosa* je součástí rostlinných polysacharidů xylanů, vyskytujících se zejména ve slámě, pluchách a dřevu listnatých stromů.

Nejběžnější **hexosy**:

*D-(+)-glukosa* (též cukr hroznový, škrobový, dextrosa) je nejrozšířenějším monosacharidem. Volná je v rostlinách jen ve velmi nízkých koncentracích. Je stavební složkou většiny

oligosacharidů (zejména sacharosy) a polysacharidů, ale je vázána i v mnoha glykosidech, v hydrolyzovatelných tříslovinách apod. V krvi živočichů je jí kolem 100 mg ve 100 g.

**D-(-)-fruktosa** (cukr ovocný, levulosa) se vyskytuje volná v rostlinách spolu s glukosou rovněž v nízkých koncentracích. S glukosou tvoří hlavní složky včelího medu. Je součástí sacharosy a stavební jednotkou polysacharidů fruktosanů.

**D-(+)-mannosa** je stavební jednotkou polysacharidů mannanů, obsažených ve skořápkách ořechů, slámě aj.

**D-(+)-galaktosa** se volná vyskytuje jen málo. Je součástí oligosacharidů laktosy, rafinosy a několika dalších.

## 4.2 Deriváty monosacharidů

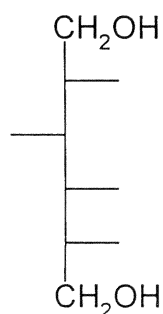
Určitými změnami v molekule se od monosacharidů odvozuje řada jejich derivátů, zejména:

- cukerné alkoholy,
- cukerné kyseliny,
- deoxycukry,
- aminocukry,
- estery,
- glykosidy (heteroglykosidy, viz kap. 5).

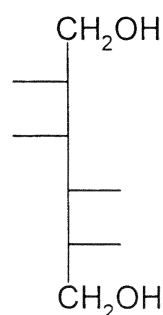
### 4.2.1 Cukerné alkoholy

Cukerné alkoholy (či alkoholické cukry) tvoří dvě skupiny látek s podobnými vlastnostmi – alditoly a cyklitoly.

**Alditoly** vznikají redukcí oxoskupiny aldosa či ketosa, takže se jedná o alifatické polyhydroxysloučeniny. Jejich názvy se vytvářejí náhradou přípony -osa koncovkou -itol (dříve jen -it). Redukcí D-glukosy či D-fruktosy (bylo by to možné i z D-sorbosy, ale ta je málo dostupná - pro pochopení struktury srovnej obr. 4.2) se připravuje **D-sorbitol**, který je sladidlem pro diabetiky. Vyskytuje se i v řadě plodů, zejména v jeřabinách (*Sorbus* sp.). **D-Mannitol** je součástí výronů listnatých stromů a je rovněž obsažen v cukrové řepě.



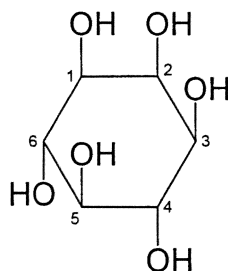
D-sorbitol



D-mannitol

Mezi cukerné alkoholy se řadí také **cyklitoly**, které nejsou odvozeny přímo od monosacharidů. Obecně se jedná o alespoň trojsytné alkoholy s cykloalkanovým skeletem.

Nejvýznamnější z nich se odvozují od cyklohexanu. Jeho hexahydroxyderiváty se nazývají **inositoly**. Existuje osm stereoisomerů (srovnej I/9), z nichž nejrozšířenější je *myo*-inositol (též *meso*-inositol), který je součástí inositolfosfatidů (srovnej kap. 3.3) či kyseliny fytové (viz kap. 11.4).



*myo*-inositol

#### 4.2.2 Cukerné kyseliny

V biologických materiálech se vyskytují jako volné látky i jako složky oligosacharidů, polysacharidů a glykosidů cukerné kyseliny. Jedná se o tři typy karboxylových kyselin odvozených od aldosa, a to oxidací buď aldehydicke skupiny, nebo primární alkoholové skupiny, či obou těchto skupin, jak je patrné ze schématu (bez uvedení atomů uhlíku se sekundárními hydroxyskupinami):

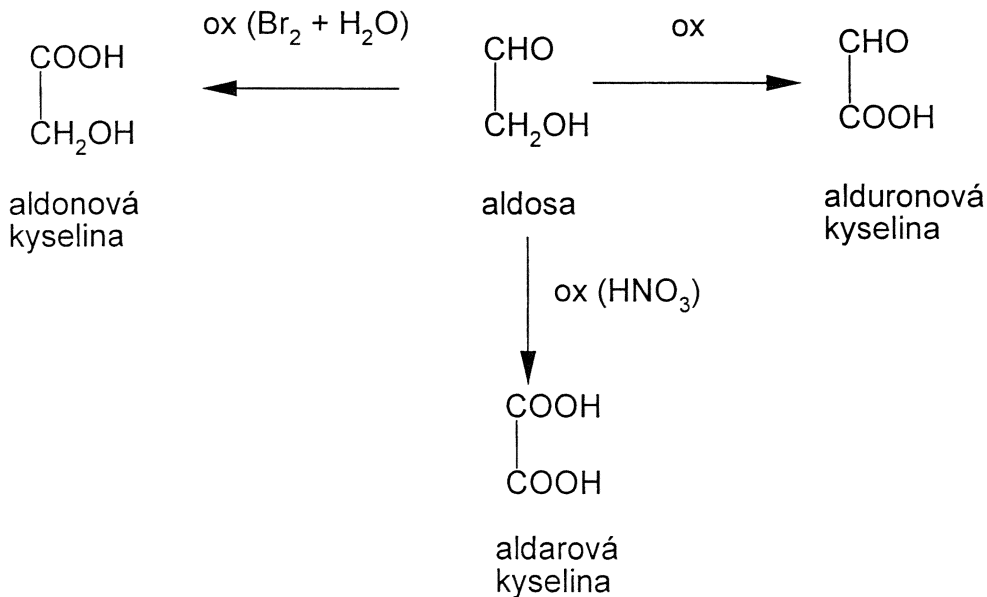


Schéma oxidace aldosa na cukerné kyseliny

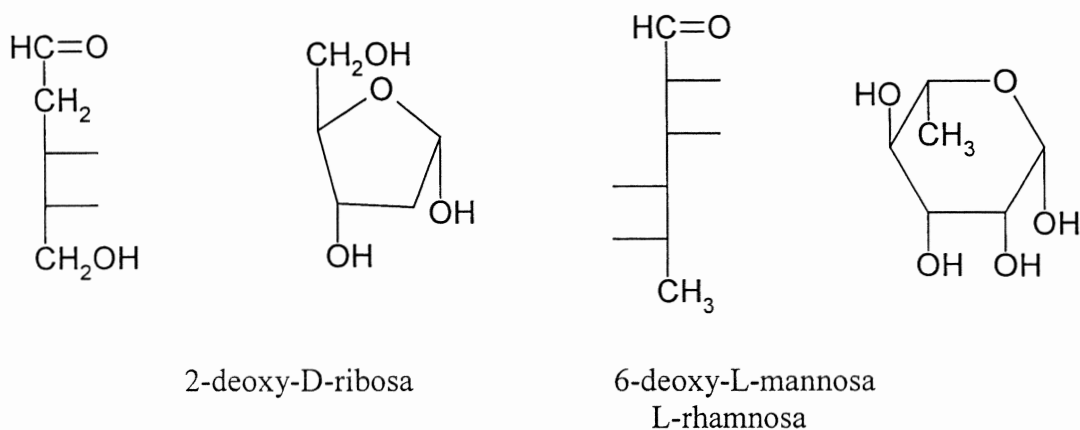
Názvy **aldonových**, **alduronových** a **aldarových** kyselin se vytvářejí z názvu sacharidu náhradou koncovky -osa koncovkou příslušné kyseliny, takže např. od glukosy se odvozují kyseliny glukonová, glukuronová a glukarová. Pro nejběžnější cukerné kyseliny se však používají vžitá triviální názvy.

V přírodě jsou rozšířeny zejména uronové kyseliny, a to převážně vázané v polysacharidech a glykoproteinech:

- *kyselina D-glukuronová* je složkou řady polysacharidů. U živočichů je součástí detoxikačního systému jater, protože dokáže svým karboxylem esterově vázat řadu škodlivých látek obsahujících hydroxylovou skupinu. Na detoxikaci se však podílí i poloacetalový hydroxyl,
- *kyselina D-galakturonová* je stavební jednotkou polysacharidu pektinu.

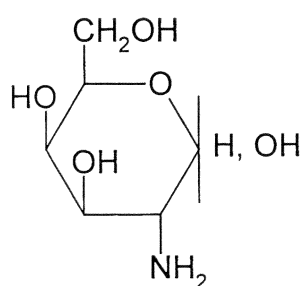
### 4.2.3 Deoxycukry

Jako deoxycukry (ve starší literatuře desoxy-) se označují deriváty monosacharidů, v nichž byla alespoň jedna hydroxylová skupina (nikoli však poloacetalový hydroxyl) nahrazena vodíkem. Názvy se vytvářejí uvedením lokantu, kde došlo k záměně, prefixu deoxy- a názvu základního sacharidu. Nejběžnějšími deoxysacharidy jsou *2-deoxy-D-ribose*, která je složkou DNA a *6-deoxy-L-mannosa* s běžnějším triviálním názvem *L-rhamnosa*, která je součástí četných glykosidů:

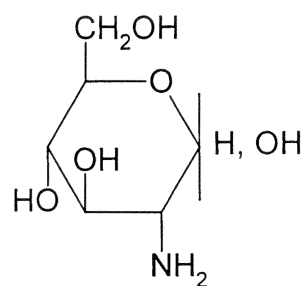


### 4.2.4 Aminocukry

Aminocukry vznikají z monosacharidů náhradou hydroxyskupiny (nikoli však poloacetalového hydroxylu) aminoskupinou. Aminocukry odvozené od aldoses (*aldosaminy*) mají aminoskupinu na atomu uhlíku C-2, *ketosaminy* na uhlíku C-1. Obvykle používané názvy se vytvářejí náhradou koncovky -osa příponou -osamin. Pro dva nejvýznamnější aminocukry se běžně používají názvy triviální:



D-glukosamin  
chitosamin



D-galaktosamin  
chondrosamin

**Chitosamin** se vyskytuje jen ve vázané formě, a to zejména v polysacharidu chitinu. Aminoskupina je často acetylována:  $\text{—NH—CO—CH}_3$ . **Chondrosamin** rovněž často obsahuje acetylovanou aminoskupinu a je součástí složených glykoproteinů, např. pojivových tkání.

#### 4.2.5 Estery

Monosacharidy mohou jako polyhydroxysloučeniny vytvářet estery s řadou kyselin, a to jak karboxylových, tak minerálních. Biologicky nejvýznamnější jsou fosfáty (estery s kyselinou trihydrogenfosforečnou), sulfáty (s kyselinou sírovou) a estery s kyselinou octovou či fenolickými kyselinami.

**Fosfáty** glukosy, fruktosy, ribosy i dalších sacharidů jsou reaktivní formou sacharidů a příbuzných látek při jejich biochemických přeměnách. **Sulfáty** cukrů jsou součástí mukoproteinů živočišných tkání, tvořících např. hleny, ale také složky krve aj.

### 4.3 Oligosacharidy

Mezi oligosacharidy se řadí sacharidy, ze kterých se hydrolýzou uvolňuje 2-10 molekul monosacharidů. Podle počtu vázaných monosacharidů se dělí na di-, tri- až dekasacharidy.

Molekuly monosacharidů se vzájemně váží **glykosidovou vazbou** (též glykosidickou), kterou lze odvodit obdobně jako vazbu v etherech:

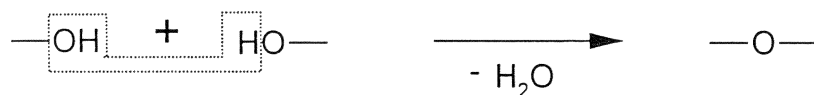
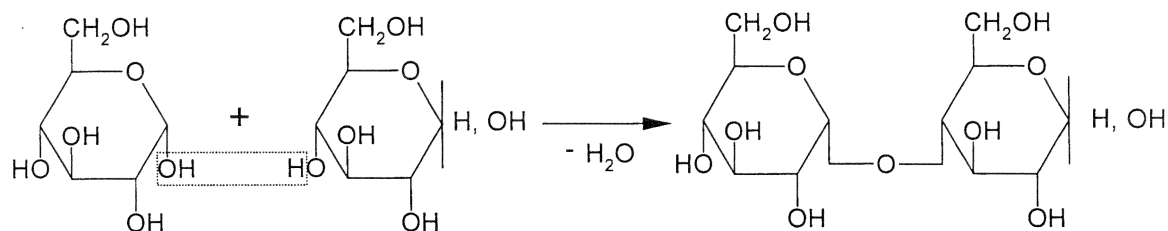


schéma vzniku glykosidové vazby

Tímto způsobem se mohou vzájemně vázat monosacharidy svými poloacetalovými hydroxylly (vazba 1→1, protože probíhá mezi uhlíky C-1 obou molekul). Většinou se však váže poloacetalový hydroxyl jednoho monosacharidu na primární či některou sekundární hydroxyskupinu druhého monosacharidu. Příkladem je vazba 1→4 mezi atomy uhlíku C-1 jednoho monosacharidu a uhlíku C-4 druhého. Monosacharid, jehož poloacetalový hydroxyl se při vzniku glykosidové vazby odtrhl, je považován za substituující jednotku a označuje se

**glykosyl** (např. glukopyranosyl, fruktofuranosyl) Druhý monosacharid je považován za substituovaný.

Tyto zásady jsou zřejmé na příkladu vzniku disacharidu maltosy. V té je  $\alpha$ -D-glukopyranosa vázána svým poloacetalovým hydroxylem glykosidickou vazbou (tedy vyloučením vody) na hydroxyl uhlíku C-4 druhé molekuly D-glukopyranosy. Došlo tedy ke vzniku 1 $\rightarrow$ 4 glykosidické vazby. Systematický název vznikající maltosy je 4-O- $\alpha$ -D-glukopyranosyl-D-glukopyranosa.



$\alpha$ -D-glukopyranosa

D-glukopyranosa

maltosa

substituující  
monosacharid

substituovaný  
monosacharid

Je zřejmé, že systematické názvy sacharidů jsou složité a běžně se proto používá názvů triviálních.

Váží-li se takto na sebe pouze monosacharidy, označují se vznikající oligo- a polysacharidy jako **homoglykosidy**. U heteroglykosidů proběhla podobná reakce mezi sacharidem a necukernou složkou. Obvykle se však pro tyto sloučeniny používá jen označení glykosidy (viz kap. 5).

Pokud zůstane v molekule oligosacharidu alespoň jeden volný poloacetalový hydroxyl, je cukr oxidovatelný Fehlingovým činidlem (srovnej kap. 4.1) a označuje se jako **redukující oligosacharid**. Pokud jsou monosacharidy vázány svými poloacetalovými hydroxylly, oligosacharid s Fehlingovým činidlem nereaguje - je **neredukující**.

Oligosacharidy se štěpí buď příslušnými hydrolytickými enzymy, nebo kyselou hydrolyzou.

Mezi nejvýznamnější oligosacharidy patří (**R** ... redukující, **NR** ... neredukující):

**Sacharosa** (NR, cukr řepný či třtinový) je složena z  $\alpha$ -D-glukopyranosy a  $\beta$ -D-fruktofuranosy, vázaných 1 $\rightarrow$ 2. Je běžná v rostlinách, nejvíce je jí v bulvách cukrové řepy (13-20 %) a v cukrové třtině (14-16 %). Kyselou hydrolyzou nebo enzymem sacharasou (invertasou) se štěpí na své složky. Při tom dochází ke změně směru (inverzi) optické otáčivosti. Vznikající směs glukosy a fruktosy se proto označuje invertní cukr.

**Maltosa** (R, cukr sladový) je složena ze dvou molekul  $\alpha$ -D-glukopyranosy, vázaných 1 $\rightarrow$ 4. Vzniká při enzymové hydrolyze škrobu, např. při klíčení semen.

**Laktosa** (R, cukr mléčný) je tvořena  $\beta$ -D-galaktopyranosou a D-glukopyranosou vázaných 1 $\rightarrow$ 4. V mléce savců představuje snadno využitelnou energetickou složku. V kravském mléce je jí 4-5 %, v mateřském mléce 5,5-7 %. Její sladivost je jen asi 40 % ve srovnání se sacharosou. Snadno podléhá mléčnému kvašení mnoha druhy bakterií za vzniku kyseliny mléčné. Je štěpena v tenkém střevu enzymem laktasou, který se vytváří u většiny lidí jen

v dětském věku, u savců jen u mláďat. Pokud tento enzym chybí, vyvolává konzumace mléka a výrobků obsahujících laktosu zažívací potíže, tzv. *laktosovou intoleranci*. Tato porucha je méně rozšířená mezi bělochy, u ostatních ras je však častá. Zdrojem laktasy mohou být mléčně kvašené výrobky, v nichž jsou tímto enzymem vybaveny přítomné bakterie mléčného kvašení.

**Rafinosa** je nejvíce zastoupeným oligosacharidem ze skupiny obsahující  $\alpha$ -D-galaktopyranosu. Je to neredukující trisacharid obsahující ještě D-glukopyranosu a D-fruktofuranosu. Oligosacharidy obsahující  $\alpha$ -D-galaktopyranosu nejsou štěpitelné v tenkém střevu a podléhají teprve bakteriálnímu štěpení v tlustém střevu za vzniku plynů. Představují proto sacharidy vyvolávající nadýmání (flatulenci). Vyskytují se zejména v luštěninách a probíhá intenzivní šlechtění s cílem snížit jejich obsah.

Redukující **cellobiosa** je složena z  $\beta$ -D-glukopyranosy a D-glukopyranosy, vázaných 1 $\rightarrow$ 4. Je stavební jednotkou celulosy, z níž se uvolňuje částečnou hydrolýzou.

## 4.4 Polysacharidy a složené sacharidy

Polysacharidy se nověji nazývají **glykany**. Do této skupiny se zahrnuje škála sloučenin obsahujících jedenáct až asi milion stavebních jednotek vzájemně vázaných glykosidickými vazbami. Polysacharidy se člení podle několika hledisek:

- **podle stavebních jednotek** na **homopolysacharidy** (homoglykany), které jsou tvořeny stejnými monomery (D-glukosou ve škrobu, glykogenu či celulose) a častější **heteropolysacharidy** (heteroglykany) obsahující dva i více různých monosacharidů,
- **podle uspořádání řetězce** na **lineární** s nevětvenou (např. celulosa), či větvenou (např. amylopektin) strukturou a na **cyklické** (některé dextriny vznikající hydrolýzou škrobu),
- **podle charakteru stavebních jednotek** na **pentosany** (např. xylany tvořené pentosou xylosou), **hexosany** (např. polymery D-glukosy) a **glykuronany** (ve starší terminologii polyuronidy) tvořené uronovými kyselinami. Příkladem je pektin tvořený kyselinou galakturonovou,
- **podle původu** na nejrozšířenější **rostlinné** a méně běžné **živočišné** a **ostatní** (mikrobiální, z řas apod.),
- **z hlediska výživy** na **využitelné** a **nevyužitelné** (dříve označované jako balastní, neštěpitelné hydrolytickými enzymy trávicího traktu daného živočicha)
- a konečně biologicky nejběžnější dělení **podle funkcí** na **rezervní** (zásobní) a **strukturní** (stavební), popř. plnící jiné funkce.

Tyto způsoby členění se vzájemně kombinují.

Polysacharidy mají značně odlišné vlastnosti od mono- a oligosacharidů. Ve vodě botnají, nebo vytvářejí koloidní roztoky, příp. jsou nerozpustné. Lze je štěpit kyselou hydrolýzou či příslušnými hydrolytickými enzymy. Pokud se uvádí jejich relativní molekulová hmotnost či počet stavebních jednotek, jedná se o průměrný údaj, protože stupeň polymerace značně kolísá.

Následující členění polysacharidů podle výskytu v přírodě není jednoznačné - např. chitin se vyskytuje převážně v živočišných organismech, ale také v houbách.

#### 4.4.1 Polysacharidy rostlin

Výrazně nejvýznamnějším rezervním polysacharidem rostlin je škrob. Dalším co do rozšíření je inulin.

V buněčných stěnách je základním strukturním polysacharidem celulósa, kterou mohou doprovázet tzv. necelulosové stavební polysacharidy, zejména hemicelulósy a pektin. Lignin, který tyto látky zpevňuje, není polysacharid, ale rostlinný polyfenol (viz kap. 6.2).

Další polysacharidy již mají odlišné funkce, např. se podílejí na hospodaření rostliny s vodou, působí jako hojivé závaly aj.

Výživová využitelnost (stravitelnost) jednotlivých polysacharidů je různá pro různé skupiny živočichů (monogastrické, přežvýkavce, ptáky). Nestravitelné polysacharidy a lignin se označují jako *vláknina*.

##### Škrob

Škrob (lat. amyllum, angl. starch) se vytváří fotosyntézou. Ve formě tvarově a velikostně charakteristických zrn (granulí) se ukládá v plastidech, především v amyloplastech, což jsou speciální zásobní buňky semen, hlíz, oddenků a kořenů. Nejvýznamnějšími zdroji škrobu v mírném pásu jsou brambory (15-22 % hmotn.), obiloviny (50-80 % hmotn., nejvíce rýže, nejméně oves) a luštěniny (40-65 % hmotn.). Škrob představuje v našich podmínkách asi polovinu příjmu energie ve výživě člověka, stejný podíl představuje v globálním měřítku v energetické spotřebě živočichů.

Škrob není jednotnou látkou. Skládá se z *amylosy* a *amylopektinu*, což jsou homopolysacharidy složené z molekul  $\alpha$ -D-glukopyranosy. Škrob je tedy nejvýznamnějším  $\alpha$ -glukanem. Ve škrobu běžných obilovin a brambor je poměr amylosa : amylopektin přibližně 1 : 3. Byly však vyšlechtěny odrůdy, ve kterých byl tento poměr změněn ve prospěch jedné ze složek (např. tzv. voskové odrůdy obilovin s vysokým zastoupením amylopektinu). Doprovázejícími složkami škrobu jsou i malá množství lipidů a kyseliny trihydrogenfosforečné.

*Amylosa* je  $\alpha$ -glukan s přímými řetězci s vazbami 1→4 mezi molekulami D-glukopyranosy, takže se vlastně jedná o polymer disacharidu maltosy. Její molekulová hmotnost se pohybuje mezi 180-1000 kDa, což odpovídá několika tisícům glukosových jednotek. *Amylopektin* se skládá z obdobných řetězců, z nichž se však po průměrně 25 jednotkách odvětvují postranní řetězce, a to vazbou 1→6. Molekulová hmotnost je podstatně vyšší než amylosy, a to 10-200 MDa, což odpovídá asi 50 tisícům až jednomu milionu jednotek  $\alpha$ -D-glukopyranosy<sup>2</sup>.

Zrna škrobu mají značnou měrnou hmotnost, proto je lze poměrně snadno oddělit z rozmělněného biologického materiálu vypíráním, odstředěním apod.

Izolovaná škrobová zrna váží z ovzduší vodu, a to kolem 15-20 % své hmotnosti. Ve studené vodě jsou nerozpustná, při zahřevu však bobtnají (želatinují), přijímají značná množství vody a vzniká škrobový maz. Jeho ochlazením se obnovují vodíkové můstky, zvyšuje se viskozita a vytváří se škrobový gel.

*Hydrolyza* škrobu může proběhnout buď *enzymově*, nebo v kyselém prostředí. Enzym  $\alpha$ -amylasa štěpí vazby 1→4 nahodile na různých místech řetězce za vzniku vyššemolekulárních *lineárních dextrinů*, maltosy a glukosy. Vyskytuje se běžně v rostlinách,

<sup>2</sup> Ve starší literatuře se uváděly relativní molekulové hmotnosti podstatně nižší, protože při izolaci škrobu dochází ke snadnému štěpení jeho makromolekul.



sladu, mikroorganismech, je součástí trávicích enzymů ve slinách a slinivce. Enzym  $\beta$ -amylasa štěpí 1→4 glykosidové vazby postupně od počátku řetězce za vzniku maltosy, je charakteristický pro rostliny a bakterie. Oba enzymy nedokáží štěpit 1→6 vazbu v místech větvení řetězců, takže vznikají tzv. *limitní dextriny*<sup>3</sup>. Ty jsou pak hydrolyzovány dalším enzymem, a to pullulasou.

**Kyselé hydrolýza** se vesměs provádí varem škrobu s kyselinou chlorovodíkovou. V závislosti na délce a dalších podmínkách působení poskytuje viskózní *maltodextriny* a *škrobové* (též maltosové či glukosové) *sirupy*. Ty se používají zejména do potravin jako sladidla a pro úpravu viskozity.

Mimořádně široké použití v soudobé výrobě potravin, ale i v jiných odvětvích, mají **modifikované škroby**, u kterých bylo různými chemickými a fyzikálními zákroky dosaženo žádoucích vlastností, které nativní škroby nemají - např. schopnosti botnat ve studené vodě, či schopnosti vytvářet stabilnější a čiré gely.

### Fruktany

Jako fruktany či fruktosany se označují přirozené polymery a oligomery D-fruktosy. Jsou zásobními sacharidy pro asi 15 % rostlinných druhů, k jejich syntéze dochází ve vakuolách ze sacharosy. Jejich stupeň polymerace je podstatně nižší než u škrobu, vesměs se skládají ze 30 až 50 fruktosových jednotek. Nejrozšířenějším představitelem je **inulin**. Ten se vyskytuje zejména v čeledi hvězdnicovité, např. v kořenu čekanky obecné (*Cichorium intybus* L.), hlízách topinamburu, aster či jirín. Příbuzné fruktany se vyskytují i v obilovinách a v řadě píceň čeledi lipnicovité. V rostlinách nepředstavují jen zásobu energie, ale podílejí se navíc na ochraně vůči stresu při nedostatku vody.

Pražením kořenů čekanky se získává náhražka kávy („cikorka“). Současný zvýšený zájem o inulin pro lidskou výživu vychází ze skutečnosti, že člověk nemá ve svém trávicím traktu enzym, který by dokázal hydrolyzovat glykosidické vazby mezi molekulami fruktosy, takže jde o nestravitelný polysacharid, který se stává součástí vlákniny. Z inulinu se rovněž vyrábí fruktosový sirup pro diabetiky.

### Celulosa

Tato vůbec nejrozšířenější přírodní organická sloučenina je základní strukturní složkou buněčných stěn vyšších rostlin (z lat. cellula, angl. cell je odvozen její název, analogicky v češtině buňka – buničina), ale vyskytuje se i v řasách a houbách. Jedná se o nejvýznamnější  $\beta$ -glukan s přímými (lineárními) řetězci, tvořený molekulami  $\beta$ -D-glukopyranosy vázanými 1→4. V řetězci je vázáno až 15 tisíc glukosových jednotek. Jednotlivé řetězce (30-100) se vzájemně přitahují vodíkovými můstky a v buněčných stěnách vytvářejí vyšší celky.

Celulosa, kterou si lze v čistém stavu představit jako vatou či filtrační papír, by neměla mechanické vlastnosti pro rostlinu nezbytné. V rostlinných buňkách je proto stmelována a zpevňována ligninem (viz kap. 6.2), hemicelulosami, pektiny či rostlinnými gumami. Je základem četných prádlných rostlin (kolem 90 % hmotn. ve vláknech bavlníku, 80 % ve lnu atd.) a dřeva (vesměs 40-50 %). V obilovinách a luštěninách jsou jí 2-4 %, při mletí mouky většina přechází do otrub. V ovoci a zelenině tvoří obvykle 1-2 % hmotn. Vyšší obsahy jsou charakteristické pro četné pícniny, zejména trávy.

---

<sup>3</sup> Odlišné typy tzv. *pražných dextrinů* vznikají při záhřevu škrobu na vyšší teploty (např. v kůrce chleba).

Celulosa není rozpustná ve vodě, částečně však v ní botná. Je značně stálá v zásaditém prostředí. V prostředí kyselém však podléhá postupné hydrolýze, která může vést až k D-glukose. **Enzymovou hydrolýzu** vyvolává skupina enzymů celulas, kterými jsou vybaveny mikroorganismy zajišťující v přírodě rozklad celulosy odumřelých rostlin. Postupně odštěpují disacharid cellobiosu, který je následně štěpen cellobiasou na dvě molekuly  $\beta$ -D-glukosy. Těmito enzymy jsou vybaveny rovněž některé bachorové bakterie, takže pro přežvýkavce je celulosa částečně (zejména v závislosti na stupni lignifikace - viz kap. 6.2) stravitelná. Vznikající glukosa je poté bakteriemi prokvašována na těkavé mastné kyseliny (máseľnou, propionovou a octovou), které jsou využívány zvířetem jako živiny. Monogastriční živočichové však celulosu trávit nedokáží, takže z hlediska jejich výživy je základní složkou nerozpustné vlákniny.

Působením celulolytických methanogenních bakterií vzniká z celulosy v anaerobním prostředí *bioplyn*, jehož základem je methan (srovnej I/62). Celulosa je jednou ze základních surovin, ze kterých se v půdě vytváří *humus*.

Technická celulosa - buničina - se získává delignifikací dřeva několika chemickými postupy. Nejvíce se jí spotřebuje pro výrobu papíru, část se zpracovává chemicky. Esterifikací kyselinou dusičnou vznikají *nitráty celulosy*, používané zejména pro výrobu střelného prachu.

### Hemicelulosa

Termínem hemicelulosa se označuje skupina strukturních polysacharidů, které v buněčných stěnách rostlin doprovázejí celulosu tak, že vyplňují prostory mezi jejími vlákny. Kromě hemicelulosy se v buněčných stěnách v menším množství vyskytují i další strukturní polysacharidy, např. heteromannany.

Hemicelulosa tvoří především heteroglukany a heteroxylany. **Heteroglukany** jsou zastoupeny dvěma typy: **xyloglukany** ve dvouděložných rostlinách a  **$\beta$ -glukany** v zrnech obilovin. Ty jsou ve výživě člověka součástí vlákniny, ve výživě drůbeže jsou posuzovány jako antinutriční složka, protože ve střevech vytvářejí gely, které zhoršují vstřebatelnost živin. Základem stavby **heteroxylanů** je pentosa xylosa. Ty z nich, které obsahují další pentosu arabinosu, se nazývají **arabinoxylany** (dříve pentosany). Jsou součástí buněčných stěn vegetativních částí jednoděložných rostlin, ale v lignifikované formě jsou i v rostlinách dvouděložných. Vyznačují se vysokou schopností vázat vodu. Zvláště vysoký obsah je např. v pšeničných pluchách či ve dřevu.

### Pektiny

Pektiny představují skupinu strukturních polysacharidů proměnlivého složení, jejichž základem je řetězec 25-100 jednotek kyseliny D-galakturonové, neúplně (v průměru asi ze 70 %) esterifikované methanolem. Volné karboxyly kyseliny D-galakturonové mohou být neutralizovány kationty, především vápenatými. V různé míře jsou však přítomny i další složky, proto se někdy používá souhrnné označení *pektinové látky*. Pektiny vznikají v rostlinách především v raných fázích růstu a jsou uloženy zejména ve střední lamelle. Značný obsah je v nezralých plodech a zdužnatělých kořenech (řepa, mrkev aj.), kde zajišťují mechanickou tuhost. Komplex pektinů s celulosou se označuje jako *protopektin* a není rozpustný ve vodě. V období zrání se postupně odbourávají působením příslušných pektolytických enzymů a plody měknou.

Z některých druhů ovoce (jablečné výlisky, nezralý angrešt aj.) či cukrové řepy se izoluje ve vodě rozpustný pektin pro výrobu džemů, marmelád a rosolů, protože v kyselém prostředí za přítomnosti sacharosy vytváří stabilní gel, který lze vratně ztekutit zahřátím.

Při kvašení ovoce se z pektinu hydrolýzou uvolňuje methanol (srovnej I/77). Podobně je tomu při silážování píce, avšak bachorová mikroflóra přežvýkavců jej redukuje na methan. Pektiny jsou ve výživě člověka žádoucí složkou - jsou součástí rozpustné vlákniny, protože jsou nestravitelné, navíc snižují hladinu cholesterolu v krvi.

### Rostlinné gumy a slizy

**Rostlinné gumy** (též klovatiny) jsou složeny z alduronových kyselin a některých monosacharidů. Jsou to viskózní, ve vodě dobře rozpustné polysacharidy, které vylučují rostliny jako hojivé závaly (např. klejotoky peckovin), a to i na plodech. Na vzduchu postupně tuhnou v pevnou gumovitou hmotu. Některé tvoří ve vodě gely. V potravinářství se přidávají jako složky poutající vodu, avšak současně nezvyšující energetickou hodnotu, protože nejsou stravitelné. Mezi nejběžnější patří *arabská guma*, *tragant* a *karaja*.

Chemické složení **slizů** je podobné. Ve vodě vytvářejí buď gel, nebo slizovitou hmotu. Známe jsou např. ze semen lnu či brukvovitých rostlin, nebo z plodů černého bezu. Některé se využívají jako léčiva.

### 4.4.2 Polysacharidy a složené sacharidy živočichů

Tato skupina je méně četná než u rostlin. Nejvýznamnějšími živočišnými polysacharidy jsou

- glykogen a chitin,

složenými (konjugovanými, komplexními) polysacharidy, které obsahují i nesacharidové složky, jsou

- mukopolysacharidy a heparin.

#### Glykogen

Glykogen je zásobním zdrojem pohotové energie živočichů, v menší míře se však vyskytuje i v mikroorganismech a vyšších houbách. Centrální zásoba je v játrech (3-8 % jejich hmotnosti), pohotovostní v buňkách svalů (vesměs kolem 0,15 % hmotn.). Svojí funkcí i chemickou strukturou se podobá amylopektinu (proto se někdy používá název živočišný škrob), ale jeho molekulová hmotnost je ještě vyšší (milióny Da) a větvení 1→6 častější. Na rozdíl od škrobu nevytváří ve vodě gel. Glykogen je stravitelný.

Při zvýšené spotřebě energie, zejména při fyzické aktivitě, se z něj rychle uvolňuje glukosa, která je krví transportována na místo spotřeby. Tam dochází při dostatečném přívodu kyslíku k jejímu spalování až na oxid uhličitý a vodu. Za nedostatečného přívodu kyslíku při neobvykle vysoké námaze však je spalování glukosy neúplné a vzniká kyselina mléčná. Ta je příčinou svalové únavy a křečí, což souvisí s okyselením svalu na hodnoty pH blízké isoelektrickému bodu svalových bílkovin.

#### Chitin

Chitin je konstrukční polysacharid tvořený jednotkami  $\beta$ -D-glukosaminu (chitosaminu, srovnej kap. 4.2) a N-acetyl- $\beta$ -D-glukosaminu (tj. se skupinou  $-\text{NH}-\text{CO}-\text{CH}_3$  na 2. uhlíku) v poměru přibližně 1 : 4. V přírodě se vyskytuje často, avšak jeho množství jsou malá (např. v pěstovaných žampionech kolem 1 % hm.). Tvoří podstatnou část vnější kostry korýšů, hmyzu a dalších bezobratlých, je však obsažen i v mikroorganismech a vyšších houbách. Není rozpustný ve vodě.

Pro člověka je téměř nestravitelný, pro některé živočichy (např. ryby či hrabavou drůbež) však ano.

### Mukopolysacharidy

Mukopolysacharidy tvoří složitější struktury s bílkovinami:

- *proteoglykany (mukoproteiny)*, které jsou podstatnou součástí epitelových a pojivových tkání (kůže, šlach, cév, kostí, chrupavek),
- *glykoproteiny* jako rosolovité a slizovité složky synoviální kapaliny kloubů, hlenů, slin aj.

Nejvýznamnějšími složkami mukopolysacharidů jsou

- **kyselina hyaluronová**, která je nejrozšířenější. Skládá se ze stovek až tisíců jednotek  $\beta$ -D-glukuronové kyseliny a *N*-acetyl- $\beta$ -D-glukosaminu a vyznačuje se mimořádnou schopností poutat vodu. V pokožce představuje bariéru proti průniku bakterií do tkání, je součástí chrupavek, kloubní tekutiny a očního sklivce,
- **chondroitinsulfáty** v chrupavkách, šlachách, kostech a pokožce. Skládají se z kyseliny glukuronové a *N*-acetylgalaktosaminu (srovnej kap. 4.2) esterifikovaného na 4. či 6. atomu uhlíku kyselinou sírovou,
- chondroitinsulfátům je chemicky příbuzný **heparin**, který však má zcela odlišnou biologickou funkci. Je uložen ve speciálních buňkách jater, plic a dalších silně prokrvených orgánů a zabraňuje srážení krve<sup>4</sup>.

#### 4.4.3 Polysacharidy mikroorganismů, mořských řas a vyšších hub

Kromě polysacharidů již zmíněných v kap. 4.4.2 produkují mikroorganismy a vyšší houby některé specifické polysacharidy. Tzv. **bakteriální gummy** (slizy) hromadí bakterie vně svých buněk ve formě kapsulí. Pravděpodobně je mají chránit před bakteriofágy, vysycháním, ale také je fixovat k prostředí. Nejznámější jsou **xanthan**, produkováný bakterií rodu *Xanthomonas* a **dextran** vytvářený bakterií *Pseudomonas elodea*. Používají se do potravin jako želírující látky a stabilizátory emulzí.

Z mořských řas se izolují polysacharidy *agary*, *algináty* a *karagenany*, které mají podobné využití jako již uvedené rostlinné gummy (kap. 4.4.1). Přidávají se do potravin jako želírující složky, zahušťovadla apod.

Četné kvasinky, plísňe a vyšší houby produkují  **$\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3)-D-glukany**, vyznačující se schopností posilovat imunitní systém a potlačovat růst nádorů. Příkladem je *lentinan* z houby houževnatce jedlého (*Lentinus edodes*, pěstovaný často pod japonským názvem shii-také).

---

<sup>4</sup> Podobné antikoagulační účinky má hirudin u pijavic, který je však polypeptidem.

## 5. GLYKOSIDY

Glykosidy jsou deriváty cyklických forem monosacharidů, příp. méně často oligosacharidů, ve kterých je vodík poloacetalového hydroxylu nahrazen substituentem různého charakteru. Takovým substituentem formálně může být i další monosacharid. Takto vznikají *homoglykosidy*, s nimiž jsme se již setkali jako s oligosacharidy v kap. 4.3. Pojem glykosidy však bude používán pouze pro **heteroglykosidy**, v nichž je na poloacetalový hydroxyl sacharidu vázána glykosidickou vazbou necukerná složka, nazývaná **aglykon** či **genin**. Tyto glykosidy v užším slova smyslu s vazbou –O–aglykon se též označují *O*-glykosidy, aby se odlišily od *S*-glykosidů (thioglykosidů) s vazbou –S–aglykon (s glukosinoláty jako nejvýznamnějšími představiteli), resp. *N*-glykosidů (glykosylaminů) s vazbou –NH–aglykon, které vznikají při Maillardově reakci (srovnej kap. 4.1).

Z charakteru vazby vyplývá, že glykosidy mají blokovaný poloacetalový hydroxyl. Jsou proto neredukující a neprojevuje se u nich mutarotace (srovnej kap. 4.1). Vesměs jsou rozpustné ve vodě. V zásaditém prostředí jsou stálé, zředěné kyseliny však způsobují hydrolýzu glykosidické vazby za vzniku volného sacharidu a volného aglykonu. Štěpí se rovněž působením specifických enzymů glykosidas, patřících mezi hydrolasy.

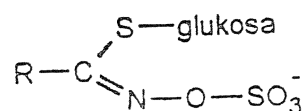
Glykosidy jsou v rostlinách hojně rozšířeny. Některé se vyznačují hořkou chutí, sloužící jako součást chemické obrany proti konzumentům. Jiné mají výraznou vůni, takže se využívají jako koření či ochucovadla, řada z nich má léčivé účinky.

Vesměs se člení podle charakteru aglykonu do několika skupin, z nichž jsou nejdůležitější:

- **glukosinoláty**,
- **kyanogenní glykosidy**,
- **saponiny**,
- **kardiotonické glykosidy**,
- **flavonoidy a anthokyany** (viz kap. 10.3).

### 5.1 Glukosinoláty

Tyto látky se dříve nazývaly thioglukosidy (tj. sirné glukosidy), či hořčičné oleje. Jsou odvozeny od  $\beta$ -D-glukosy. Je známo již přes sto glukosinolátů. Používají se pro ně vesměs triviální názvy, protože názvy systematické jsou dost komplikované. Obecný vzorec glukosinolátů je následující:



obecný vzorec glukosinolátu

Vyskytují se v mnoha rostlinách čeledi brukvovitých (*Brassicaceae*), což se projevuje v triviálních názvech mnoha z nich. Produkty jejich štěpení dodávají semenům i vegetativním částem těchto rostlin palčivou chuť a charakteristickou štiplavou vůni – např. křenu, hořčici, ředkvičky, ale i mnoha dalším druhům zeleniny a krmiv. Přehled nejčastěji se vyskytujících glukosinolátů je uveden v **tabulce 5.1**.

**Tab. 5.1** Nejběžnější glukosinoláty

| Triviální název    | Charakter R–                                       |
|--------------------|----------------------------------------------------|
| sinigrin           | allyl                                              |
| glukonapin         | 3-butenyl                                          |
| progoitrin         | 2-hydroxy-3-butenyl                                |
| glukobrassikanapin | 4-pentenyl                                         |
| glukoiberin        | 3-methylsulfinylpropyl                             |
|                    | $\text{CH}_3\text{--SO--}(\text{CH}_2)_3\text{--}$ |
| sinalbin           | p-hydroxybenzyl                                    |
| glukobrassicin     | 3-indolylmethyl (srovnej I/134)                    |
| neoglukobrassicin  | 1-methoxy-3-indolylmethyl                          |

Glukosinoláty zřejmě představují pro rostlinu součást obranných mechanismů vůči konzumentům, ale také jsou pravděpodobně zásobou síry. Nenarušené (intaktní) glukosinoláty se nevyznačují biologickými účinky vůči živočichům. Jakmile však dojde při porušení buněk ke styku glukosinolátů s hydrolytickými enzymy, především myrosinase (thioglukosidasou), dojde k jejich štěpení na glukosu, síran a řadu biologicky účinných látek. Charakter přeměn a vznikajících produktů závisí jednak na chemické struktuře glukosinolátu, jednak na podmínkách štěpení, zejména hodnotě pH.

**Nitrily** jsou látky všeobecně jedovaté, ale obvykle nevznikají ve významnějších množstvích. **Isothiokyanáty** jsou nositeli palčivé chuti, navíc jsou strumigeny<sup>1</sup>, i když slabšími než thiokyanáty, na něž však mohou isomerizovat v kyselém či zásaditém prostředí. **Thiokyanáty** jsou účinnými strumigeny, protože snižují příjem jódu štítnou žlázou. Doplněním jódu (ve formě jodidů) se dá jejich nepříznivé působení překonat. Citlivé jsou vůči nim především březí bahnice a jehňata.

Progoitrin a příbuzné glukosinoláty s alkoholickou skupinou v řetězci cyklizují. Biologicky nejzávažnějšími produkty těchto přeměn jsou **oxazolidinthiony**, jejichž představitelem je goitrin. Jsou to velmi účinné strumigeny, které zpomalují syntézu hormonů štítné žlázy a doplnění jódu do potravy nepomáhá.

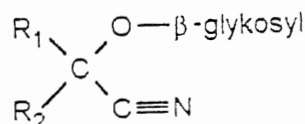
Uvedené skupiny glukosinolátů s nepříznivými biologickými účinky jsou charakteristické pro řepku, a to jak semena, tak vegetativní části a pro příbuzné krmné plodiny z čeledi brukvovitých. Proto byly od 70. let vyšlechtěny odrůdy řepky s nízkým obsahem glukosinolátů (tzv. dvounulové, s již dříve sníženým obsahem kyseliny erukové - srovnej kap. 3.1). Avšak i snížené hladiny glukosinolátů ještě omezují využitelnost řepkových semen pro výživu hospodářských zvířat, a to především pro strumigenní působení.

Pro řadu druhů zeleniny jsou však charakteristické glukosinoláty, které obsahují indolové jádro. U těch se naopak zjišťují některé výživově velmi příznivé vlastnosti, zejména pravděpodobné antikarcinogenní účinky.

<sup>1</sup> Strumigeny (thyreostatika, angl. goitrogens) jsou látky, které narušují normální průběh syntézy hormonů štítné žlázy, tedy thyroxinu a trijódthyroninu.

## 5.2 Kyanogenní glykosidy

V některých krmivech a potravinách se vyskytují glykosidy, z nichž se může uvolňovat jedovatý kyanovodík HCN. Rostliny si zřejmě tyto látky vytvářejí na obranu proti konzumentům. V současnosti je známo přes 30 kyanogenních glykosidů, jejichž struktura vesměs odpovídá obecnému vzorci:



obecný vzorec kyanogenního glykosidu

Nejčastěji vázaným sacharidem je  $\beta$ -D-glukosa, ale vyskytují se i disacharidy. Přehled nejběžnějších kyanogenních glykosidů je uveden v **tabulce 5.2**.

**Tab. 5.2** Nejvýznamnější kyanogenní glykosidy a jejich výskyt

| Glykosid                 | Výskyt v rodech a druzích                                                  |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| amygdalin                | hořké mandle ( <i>Amygdalus</i> sp.), jádra peckovin                       |
| linamarin / faseolunatin | jetel plazivý, maniok / fazol měsíční ( <i>Phaseolus lunatus</i> )         |
| lotaustralin             | štírovník ( <i>Lotus</i> sp.) - štírovník růžkatý, maniok                  |
| dhurrin / taxifyllin     | čirok ( <i>Sorghum</i> sp.) / tis červený ( <i>Taxus baccata</i> ), bambus |
| linustatin               | semena lnu setého ( <i>Linum usitatissimum</i> )                           |
| sambunigrin              | bez černý ( <i>Sambucus nigra</i> )                                        |
| triglochinin             | bařička bahenní ( <i>Triglochin palustre</i> ), zblochan, strdivka         |

Pozn.: pokud jsou uvedeny dva glykosidy s lomítkem, jedná se o optické antipody.

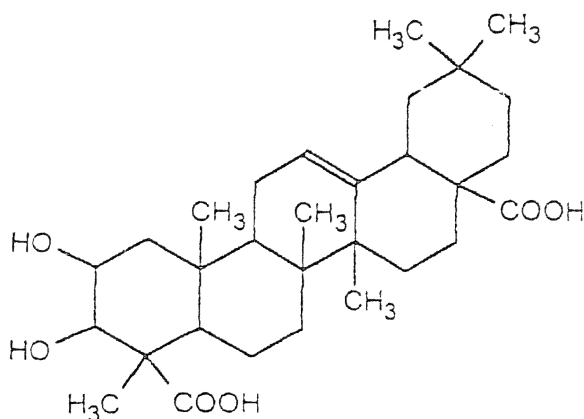
Podobně jako u glukosinolátů dochází k enzymové hydrolýze kyanogenních glykosidů po mechanickém poškození pletiva, které umožní kontakt glykosidu a dosud odděleně uloženého enzymu. Při hydrolýze se uvolňuje nejen kyanovodík, který je toxický tím, že reaguje s kovy metaloenzymů podílejících se na dýchacím řetězci, ale také další složky, např. benzaldehyd či aceton.

U dětí představují určité riziko jádra peckovin (meruněk, broskví) při nekontrolované konzumaci, problémem jsou kyanogenní glykosidy u manioku (tapioka, kassava, *Manihot esculenta*), který je významnou škrobnatou plodinou tropů. Rovněž je třeba brát v úvahu jejich výskyt v píce a některých volně rostoucích rostlinách ve výživě hospodářských zvířat.

## 5.3 Saponiny

Saponiny obsahují jako sacharidickou složku různé monosacharidy, příp. glukuronovou kyselinu. Nesacharidická složka se označuje jako *sapogenin* či *sapogenol* a je dvojího typu: buď steroidní s 27 atomy uhlíku, nebo častěji triterpenoidní se 30 atomy uhlíku vytvářejícími skelet s pěti cykly. Nejznámějšími sapogeniny této druhé skupiny jsou *kyselina*

*medikagenová, sojasapogenoly a hederagenin*. Představu o jejich struktuře poskytuje vzorec kyseliny medikagenové:



kyselina medikagenová

Nejvíce saponinů se vyskytuje v celé rostlině tolíce vojtěšky (*Medicago sativa*). Šlechtění usiluje o snížení podílu nejškodlivějších saponinů obsahujících kyselinu medikagenovou. Saponiny se vylučují z kořenů vojtěšky do půdy a zhoršují klíčivost některých semen vysetých po vojtěšce. Zvýšený obsah saponinů je rovněž v řepném chrástu a v sójových bobech. V některých rostlinách, např. v žen-šenu, se vyskytují saponiny s velmi příznivými účinky.

Vzhledem k polárnímu charakteru sacharidu a nepolární povaze sapogeninu působí saponiny jako povrchově aktivní látky a vytvářejí stabilní pěny. Odtud také pochází jejich název podle výskytu v mydlici lékařské (*Saponaria officinalis*). Účinky tenzidu (smáčedla) jsou nebezpečné zejména pro ryby, u nichž dochází k poškození žaber. U přežvýkavců se mohou podílet na vzniku nadmutí. Zpomalují růst kuřat a snižují snášku vajec. Často se uvádějí jejich hemolytické účinky vůči červeným krvinkám. Ty se však projevují jen *in vitro*, při příjmu potravou saponiny sice poškozují stěnu střevní, ale do krevního oběhu nepronikají.

## 5.4 Kardiotonické glykosidy

Jak vyplývá z názvu, dokáží tyto látky ovlivňovat srdeční činnost - ve velmi nízkých dávkách ji povzbuzují, ve vyšších však zastavují. Jejich aglykony mají steroidní charakter (viz kap. 8). Nejznámější jsou glykosidy z rodu náprstník (*Digitalis* sp.). Z náprstníku červeného se získává směs glykosidů *digitoxinu*, *gitoxinu* a *digoxinu*.



## 6. ROSTLINNÉ FENOLY

Tato skupina sloučenin je chemicky značně různorodá a v důsledku toho jsou pestré i vlastnosti a biologické účinky. Fenolické skupiny vnášejí do těchto látek polaritu, která ovlivňuje:

- rozpustnost ve vodě (v závislosti na poměru počtu těchto skupin k velikosti uhlíkového skeletu),
- tvorbu vodíkových můstků (srovnej I/21),
- slabě kyselý charakter.

Fenolické skupiny umožňují vznik esterových a etherových vazeb. Pokud jsou navzájem v polohách *ortho*- či *para*-, snadno se oxidují na chinony.

Mezi významné rostlinné fenoly (angl. plant phenolics), kterých je zatím známo asi osm tisíc, patří zejména:

- **třísloviny**,
- **lignin**,
- **fenolické kyseliny** a jejich deriváty **lignany** a **sinapiny**,
- fenoly se skeletem odvozeným od flavanu – **anthokyaniny** a **flavonoidy** (srovnej I/137),
- fenoly se skeletem odvozeným od isoflavonu – **isoflavonoidní fytoestrogeny** (viz kap. 11.3).

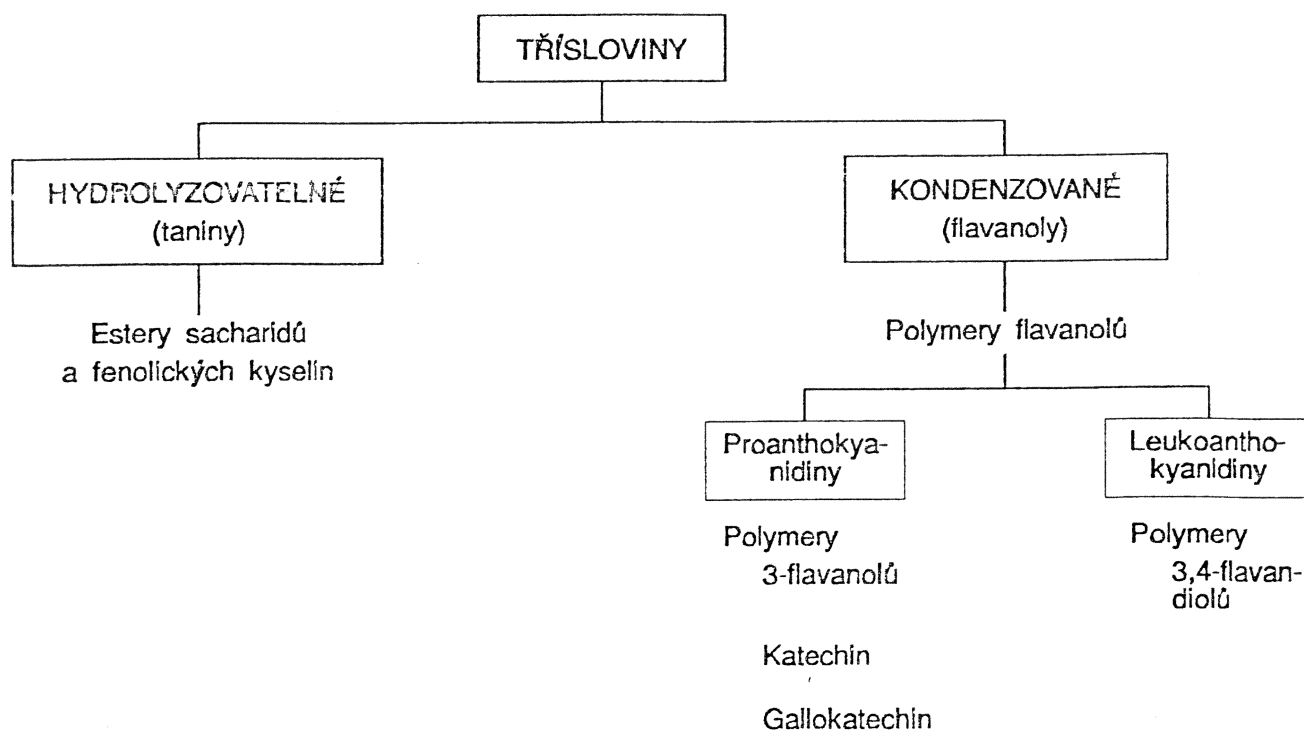
### 6.1 Třísloviny

Vymezení tříslovin (taninů, angl. tannins) není dosud jednoznačné. Často je však přijímána charakteristika, která vystihuje jejich nejvýznamnější vlastnosti:

- jsou to rostlinné polyfenoly rozpustné ve vodě,
- s molekulovou hmotností 500-5000 Da,
- sráží bílkoviny,
- vyznačují se svíravou (trpkou, adstringentní) chutí.

Pro přesnější vyjádření by se měl používat termín rostlinné polyfenoly, zatímco vžitý pojem třísloviny jen ve spojení s upřesněním chemické podstaty, tedy třísloviny hydrolyzovatelné či kondenzované.

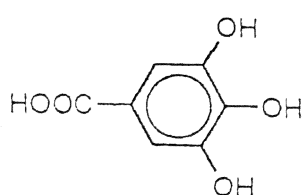
Třísloviny se dělí na dvě velké skupiny, jejichž chemická podstata je odlišná (**obr. 6.1**):



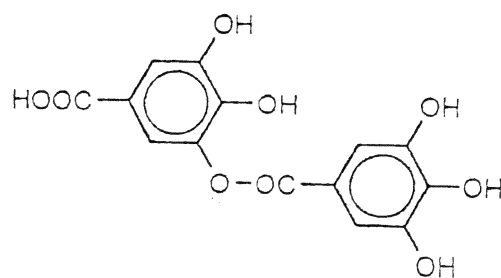
Obr. 6.1 Schéma členění tříslovin

### Hydrolyzovatelné třísloviny

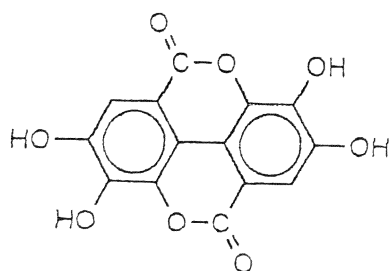
Tento typ tříslovin (angl. tannic acid) dostal označení podle své charakteristické vlastnosti: kyselou hydrolýzou či enzymově (tanasou) se snadno štěpí esterová vazba mezi alkoholickými skupinami sacharidu a karboxylem fenolických kyselin. Uvolňují se základní stavební složky – centrální sacharid, kterým je nejčastěji D-glukosa, a fenolické kyseliny, zejména kyselina gallová a její deriváty (vznikající esterifikací fenolické skupiny jedné molekuly v *meta*-poloze karboxylem druhé molekuly a pokračující stejným způsobem), kyselina ellagová a další.



kyselina gallová



kyselina *m*-digallová  
kyselina *m*-galloylgallová

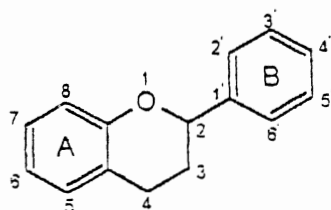


kyselina ellagová

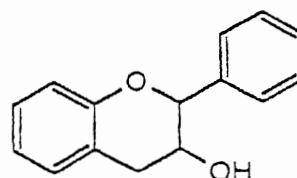
Hydrolyzovatelné třísloviny jsou charakteristické pro duby (kůra, dřevo, duběnky) a řadu léčivých bylin.

### Kondenzované třísloviny

Kondenzované třísloviny (**KT**, angl. condensed tannins) sacharidickou složku ani fenolické kyseliny neobsahují, takže se v nich nevyskytuje esterová vazba. Působením kyselin, a to ani minerálních, se neštěpí. Odvozují se od základního skeletu flavanu, který je substituován alkoholickými skupinami v poloze 3 (3-flavanol), či v polohách 3 a 4 (3,4-flavandiol).

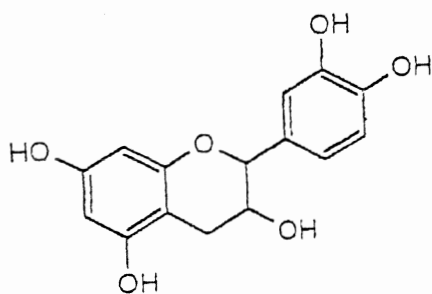


flavan

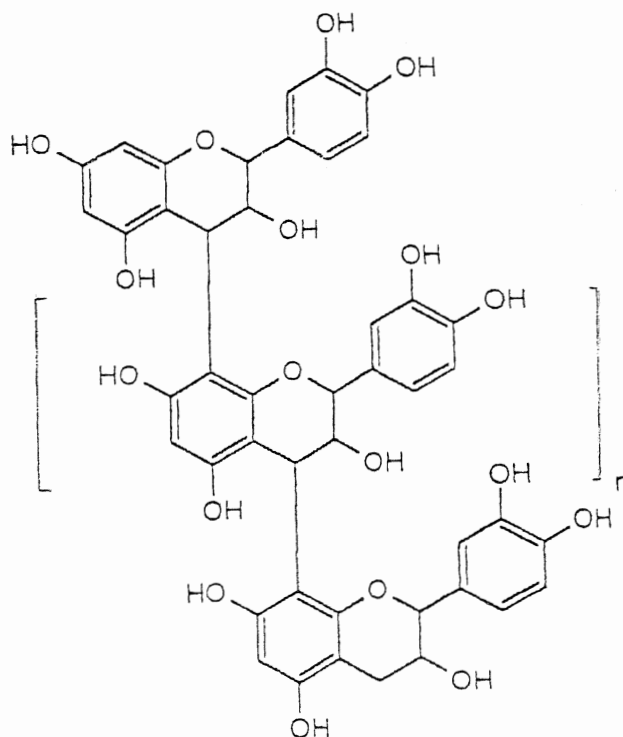


3-flavanol

Další substituce pak nastává na obou aromatických jádrech. Příkladem takové sloučeniny je katechin. Kondenzací těchto monomerů posléze vznikají kondenzované třísloviny. Vazby v KT mohou být přímo mezi atomy uhlíku (C–C vazba) jako v uvedeném vzorci, nebo etherové (C–O–C). Na každých sto jednotek relativní molekulové hmotnosti připadají 1-2 fenolické skupiny.



katechin



kondenzovaná tříslovina

KT se vyskytují častěji než třísloviny hydrolyzovatelné. Jsou součástí mnoha volně rostoucích rostlin, především dvouděložných bylin, některých píceň, ovoce a zeleniny. Chuťově výrazná je jejich přítomnost v čaji, hroznech a vínu zejména červených odrůd (ale ještě silněji v jejich semenech) a v nezralém ovoci (např. banánech, trnkách).

### Vlastnosti tříslovin

Role tříslovin v rostlinách není jasná, nejsou zřejmě významnější obrannou složkou proti konzumentům.

Některé třísloviny se již působením vzdušného kyslíku oxidují na tmavě zbarvená chinonová barviva. Protože je tato reakce katalyzována přítomnými polyfenoloxidasami, označuje se jako **enzymové hnědnutí** (srovnej I/83 a kap. 10.5).

Četné vodíkové můstky fenolických skupin vedou k vytváření příčných můstků, kterými se propojují řetězce bílkovin (ty mají vodíkové můstky v peptidových vazbách a v hydroxyaminokyselinách). Vznik komplexů vede ke **srážení bílkovin**. Tyto pochody se projevují charakteristickou svíravou chutí, která je důsledkem srážení bílkovin slin a v případě většího množství tříslovin až vratného srážení bílkovin tkání ústní dutiny. Srážení bílkovin ve střevech se využívá k léčení průjmů silnými výluhy čaje. Na stejném principu se odedávna činily kůže a kožišiny.

**Z nutričního hlediska** jsou významné především KT. Ty se vyskytují zejména v pícninách rodů štirovník a hrachor, nikoli však ve významných druzích rodů jetel a vojtěška. V čeledi lipnicovitých se KT nevyskytují. Značně jsou zastoupeny v semenech a oplodí bobu obecného, hrachu, čiroku a řepky. Nejvíce je jich v osemení.

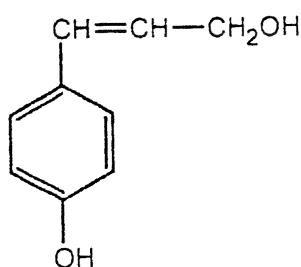
KT reagují s bílkovinami slin, trávicích enzymů, mikroorganismů i krmiv. U ptáků a monogastričních savců tyto reakce zhoršují využitelnost bílkovin a přítomnost KT v krmivu je proto nežádoucí.

U přežvýkavců je situace odlišná. Při obvyklém, téměř neutrálním prostředí bachoru (pH 5,5-7,0) vznikají reakcí bílkovin s KT komplexy, které přecházejí do kyselého prostředí slezu. Tam se rozkládají a bílkoviny se štěpí až v tenkém střevu. Tím se zvyšuje využitelnost bílkovin krmiva, protože při jejich štěpení již v bachoru by část uvolněných aminokyselin mohla podlehnout nežádoucím bakteriálním přeměnám – deaminaci či dekarboxylaci (srovnej kap. 2.4.4). Obsah KT však nesmí být příliš vysoký.

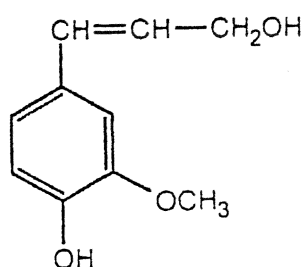
U přežvýkavců se KT navíc příznivě projevují prevencí nadmutí (tympanie). Tu vyvolávají některé rozpustné bílkoviny bobovitých pícnin, které vytvářejí v trávicím traktu stabilní pěnu. Pokud jsou v krmné dávce současně KT, tyto bílkoviny se vysrážejí a pěna nevzniká. U pícnin neobsahujících KT (vojtěška, jetel luční, jetel plazivý) je riziko nadmutí značné.

## 6.2 Lignin

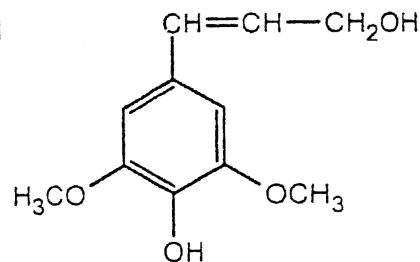
Lignin (z lat. *lignum* = dřevo) je název pro složité polyfenoly nejednotného složení. Jeho stavebními jednotkami jsou aromatické alkoholy a současně fenoly *p-kumarylalkohol*, *koniferylalkohol* a *sinapylalkohol*.



*p*-kumarylalkohol



koniferylalkohol



sinapylalkohol

Tyto stavební jednotky jsou vzájemně vázány řadou typů vazeb, mezi nimž převládají etherové (Ar–O–Ar) a bifenylové (Ar–Ar). Různorodost ligninu různého botanického původu je trojího typu: v zastoupení stavebních jednotek, typech vazeb a v různosti vazeb na další složky buněčných stěn. V nenarušených (nativních) buněčných stěnách je lignin kovalentně vázán na hemicelulose (srovnej 4.4.1). V různých typech rostlinných buněk jsou jak různé polysacharidy, tak různé typy ligninu. Proto i pevnost vazeb, jejich štěpitelnost a stravitelnost pro přežvýkavce jsou u různých rostlinných krmiv značně rozdílné.

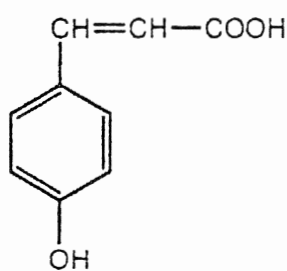
Lignin je obsažen především ve střední lamelle. Při postupující lignifikaci (dřevnatění) dochází ke stmelování pletiv, které přináší až fyziologickou smrt buněk, ale zároveň pletivo zpevňuje. Nejvíce ligninu je ve dřevě jehličnanů (až 30 % hmotn.) a listnáčů (kolem 20 %). Značná množství ligninu se však při stárnutí rostlin hromadí i v objemných krmivech, zejména v pozdě sklizené píce, či ve slámě. Při více než 8 % ligninu v sušině jsou již stavební polysacharidy nepřístupné pro hydrolytické enzymy v bacheru a polysacharidy jsou pro výživu nevyužitelné.

Při izolaci buničiny (celulose) ze dřeva v papírnách se lignin a doprovodné složky musí chemicky odstranit.

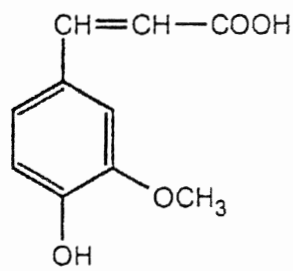
### 6.3 Další rostlinné fenoly

Běžné *fenolické kyseliny* se odvozují zejména od:

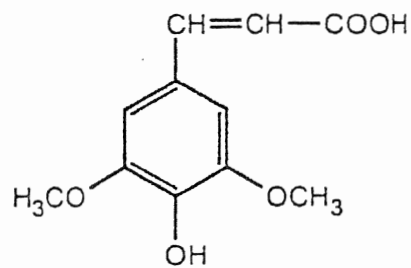
- benzoové kyseliny:
  - kyselina gallová (kyselina 3,4,5-trihydroxybenzoová, vzorec viz hydrolyzovatelné třísliviny).
  - kyselina vanilinová (kyselina 3-methoxy-4-hydroxybenzoová),
- a od kyseliny *trans*-skořicové, které se spolu s geneticky příbuznými alkoholy, z nichž je vystavěn lignin, označují též jako fenypropeny či fenypropanoidy C<sub>6</sub>–C<sub>3</sub>:
  - kyselina *p*-kumarová,
  - kyselina ferulová,
  - kyselina sinapová,
  - kyselina kávová a řada dalších.



kyselina *p*-kumarová



kyselina ferulová

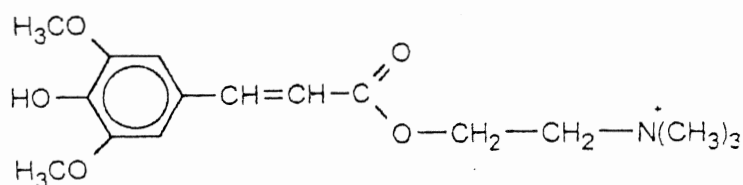


kyselina sinapová

Tyto kyseliny snižují stravitelnost rostlinných buněčných stěn (zejména celulosy) u přežvýkavců, protože působí toxicky na určitou mikroflóru bachoru.

**Lignany** jsou dimery fenypropenových kyselin. Vyskytují se volné či vázané v glykosidech zejména ve vnější vrstvě obilí a tedy i v celozrnném pečivu, v různých semenech (např. lnu setého), ovoci a zelenině. Přisuzují se jim určité antikarcinogenní účinky a účinky estrogení (viz kap. 11.3).

**Sinapiny** jsou estery kyseliny sinapové a příbuzných kyselin s aminoalkoholem cholinem (srovnej kap. 3.3).

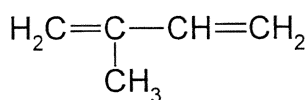


sinapin

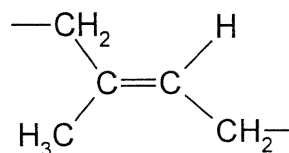
Vyskytují se v semenech řady rostlin z čeledi brukvovitých, zejména řepky. Způsobují hořkou chuť. U některých plemen nosnic se při zkrmování takovýchto semen z cholinu uvolňuje trimethylamin  $(\text{CH}_3)_3\text{N}$ , který vyvolá rybí pach vajec. Proto probíhá šlechtění brukvovitých plodin s cílem snížit jejich výskyt v semenech.

## 7. TERPENY

Terpeny neboli **isoprenoidy** jsou velmi rozsáhlou skupinou přírodních látek, v současnosti je jich známo již kolem pětadvaceti tisíc. Vesměs jsou sekundárními metabolity rostlin, ale vytvářejí je také mikroorganismy (zejména karotenoidy) a živočichové (např. jako meziproducty při syntéze steroidů, či jako feromony hmyzu). Jejich molekuly jsou tvořeny dvěma a více vzájemně vázanými pětiuhlíkovými isoprenoidními jednotkami převážně v *trans*-konfiguraci:



isopren



*trans*-isoprenoidní jednotka

Podle počtu jednotek se terpeny dělí na monoterpeny (C<sub>10</sub>), seskviterpeny (C<sub>15</sub>), diterpeny (C<sub>20</sub>), sesterterpeny (C<sub>25</sub>), triterpeny (C<sub>30</sub>), tetraterpeny (C<sub>40</sub>) a polyterpeny (C<sub>5n</sub>). Uspořádání je acyklické, cyklické i kombinované. Kromě nenasycených uhlovodíků patří mezi terpeny i jejich kyslíkaté deriváty - alkoholy, aldehydy, ketony či karboxylové kyseliny. Těchto polárních skupin je však vesměs vůči velikosti nepolárního uhlíkového skeletu jen malý počet, takže převládá nepolární charakter a terpeny jsou lipofilní.

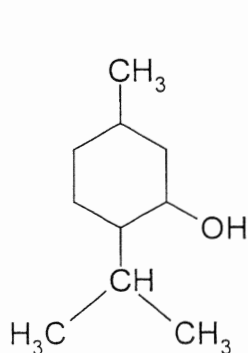
### 7.1 Monoterpeny a seskviterpeny

Nižší isoprenoidy jsou v rostlinách poměrně hojné co do výskytu i do četnosti. V přírodních směsích jsou doprovázeny řadou dalších látek, od nichž se dají oddělit destilací či extrakcí:

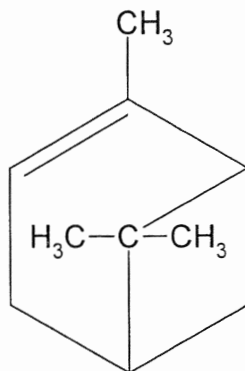
- **silice** neboli **éterické oleje** (angl. volatile oils) jsou těkavé a vonné. Řada z nich se používá jako léky, v kosmetice a jako koření a pochutiny v potravinářství. Některé mají baktericidní účinky,
- **pryskyřice** (angl. resins) se vytvářejí jako hojivé závaly při poranění rostlin, např. jehličnanů (smůla). Jedná se o silice zoxidované vzdušným kyslíkem a ztuhlé, doprovázené řadou dalších látek odlišného chemického charakteru,
- **balzámy** (angl. balsams) jsou polotekuté směsi pryskyřic a silic a doprovodných látek. Spolu s pryskyřicemi se z nich získávají silice.

Monoterpeny se vyznačují výraznou vůní, takže se řada z nich používá k výrobě parfémů a dalších kosmetických výrobků. Jsou také účinnými složkami řady druhů koření, např. kmínu, kopru, koriandru, kůry citrusových plodů, máty peprné aj. Do této skupiny patří např. geraniol, citronelol, citral, limonen a menthol.

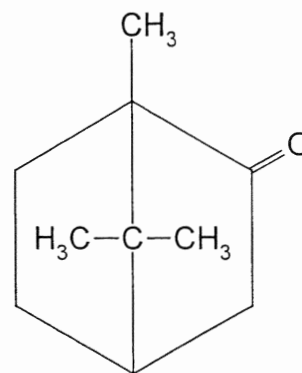
Destilací pryskyřice jehličnanů, zejména borovic (*Pinus* sp.), se získává terpentýnový olej, který je kvalitním rozpouštědlem nepolárních laků a vosků. Jeho podstatnou složkou jsou **pineny**. Olej slouží rovněž k výrobě syntetického **kafru**. Destilačním zbytkem je kalafuna.



menthol



$\alpha$ -pinen



kafr

Ze *seskviterpenů* jsou významné  *$\alpha$ -humulen* a  *$\beta$ -humulen* ve chmelové silici, jejichž hořkost se podílí na chuti piva. Chemicky jsou zajímavé tím, že vytvářejí jedenáctuhlíkový cyklus.

## 7.2 Diterpeny a triterpeny

Mezi *diterpeny* patří *fytol*, alkohol esterově vázaný v chlorofylu. Chemicky sem patří i vitamin A<sub>1</sub> (*retinol*), který však geneticky souvisí s některými tetraterpeny, tj. karotenoidy.

Z *triterpenů* je nejznámější acyklický bezkyslíkatý *skvalen*. Ten se vyskytuje v největších koncentracích v játrech živočichů, zejména některých druhů mořských ryb a název dostal podle žraloků (*Squalus*), z jejichž jater byl poprvé izolován. Skvalen je meziproduktem biosyntézy steroidů. Technicky se využívá jako mazadlo, např. pro hard-disky. Játra mořských ryb jako jeho zdroj již nestačí, proto se získává rovněž z olivového oleje a uvažuje se také o oleji ze semen amarantu (laskavce).

Mezi triterpenoidy patří svojí chemickou strukturou rovněž steroidy, které však jsou jako významná skupina přírodních látek probírány samostatně (kap. 8).

## 7.3 Tetraterpeny – karotenoidy

Přirozených karotenoidů je známo již asi osm set. Syntetizují je rostliny a některé mikroorganismy, u většiny živočichů se již jen ukládají, příp. chemicky pozměňují. Z hlediska funkce v rostlinách se člení na

- *primární*, které doprovázejí chlorofyl v chloroplastech a chrání jej proti poškození ultrafialovým zářením a podílejí se na fotosyntéze a fototropismu. Proto je jich nejvíce v metabolicky nejaktivnějších listech. Tyto karotenoidy vesměs nejsou zjevné (až na některé okrasné žluté a červené rostliny) a objevují se až po odbourání chlorofylu, zejména na podzim,
- *sekundární*, které zbarvují květy či plody a slouží pro přilákání opylovačů či roznašečů semen.



Systém četných konjugovaných dvojných vazeb způsobuje jejich barevnost od žluté přes oranžovou a červenou k purpurové. Protože jsou nepolární, nebo v případě kyslíkatých derivátů téměř nepolární, nejsou rozpustné ve vodě, dobře se však rozpouštějí v lipidech a nepolárních rozpouštědlech. Tím se zřetelně odlišují od červených anthokyanů a betalainů, které jsou ve vodě rozpustné (viz kap. 10). V živočišných produktech, jako jsou vaječný žloutek, máslo či sýry, výrazně ovlivňují barvu a tím i atraktivnost pro spotřebitele.

Mezi nejznámější karotenoidy patří:

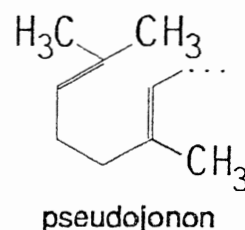
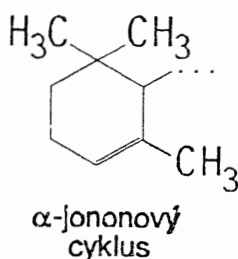
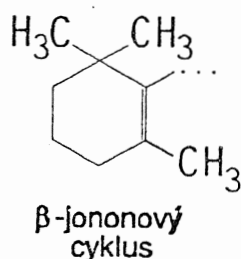
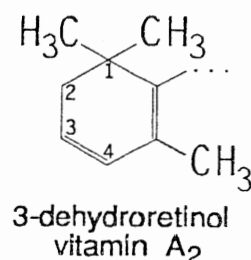
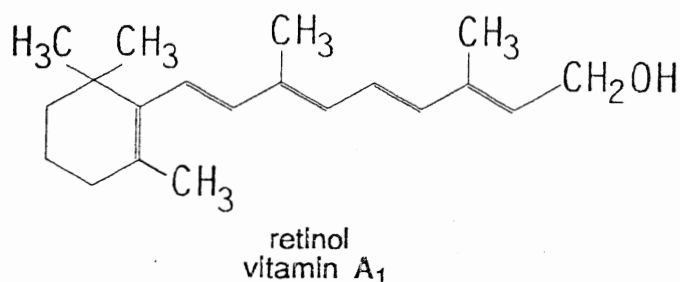
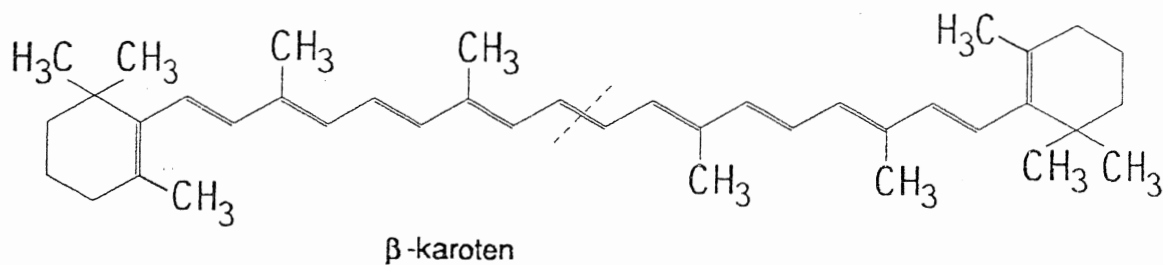
- bezkyslíkaté **karoteny**, které jsou nejvýznamnějšími provitaminy vitaminu A,
- kyslíkaté **xanthofyly**, mezi něž patří zejména **lutein**, **violaxantin**, **neoxanthin** a **kryptoxanthiny** (*xanthos* a *luteus* = žlutý). Doprovázejí chlorofyl, takže se vyskytují např. v píceňkách či listové zelenině,
- rozšířený **lykopen**, způsobující např. červené zbarvení rajčat (*Solanum lycopersicum*), šípku a zčásti i vodního melounu,
- **zeaxantin** je žlutým barvivem kukuřice (*Zea mays*),
- **kapsantin** je barvivem červených paprik (*Capsicum annuum*).

Z biologického působení na živočichy se dříve braly v úvahu pouze karoteny. Od 80. let se ukazuje, že karotenoidy, a to i ty, které nejsou provitaminy A, plní u člověka (a možná i u zvířat) podobnou funkci jako u rostlin - chrání před škodlivými účinky ultrafialové složky slunečního záření. To se týká prevence některých typů rakoviny kůže, plic a trávicího traktu. Karotenoidy převádějí energii ultrafialového záření na tepelnou, proto se řadí mezi tzv. zhášedce, lapače či zametače (z angl. quencher či scavanger). Za velmi účinný se pokládá lykopen. Ten je podstatně lépe vstřebatelný z tepelně upravených výrobků z rajčat než z rajčat syrových.

Kromě této úlohy působí karotenoidy též jako přirozené antioxidanty (srovnej kap. 12.1).

Již velmi dlouho známá je nezbytná úloha **karotenů** jako prekursorů **vitaminu A**. U člověka a zvířat jde o základní složku chemického cyklu umožňujícího vidění. Role vitaminu A a tedy i karotenů je však podstatně širší u přežvýkavců, u nichž patří zejména k základním podmínkám reprodukčních pochodů.

Vitamin A<sub>1</sub> (retinol) a méně významný vitamin A<sub>2</sub> (3-dehydroretinol) mohou teoreticky vznikat z asi 50 karotenoidů. Praktický význam však mají jen karoteny β-, α- a γ-. U těch dochází působením specifických enzymů ve sliznici tenkého střeva a zčásti i v játrech a ledvinách, ke štěpení centrální vazby karotenu a oxidaci štěpů. Z molekuly β-karotenu teoreticky mohou vznikat dvě molekuly retinolu, což však není dosud jednoznačně prokázáno, zatímco z α- a γ-karotenů jen po jedné. To je dáno chemickou strukturou karotenů. Pro vznik retinolu je podmínkou přítomnost β-jononového cyklu. V molekule β-karotenu jsou tyto cykly dva, zatímco v ostatních karotenech jen po jednom.



Vysoký obsah provitaminů A je ve špenátu, zelí, kadeřavé petrželi, mrkvi (*Daucus carota*, podle níž dostaly karoteny název). V ovoci jsou zejména v meruňkách, ale obsah je podstatně nižší než v zelenině, ze živočišných potravin v játrech, v nichž je i vysoký obsah retinolu. V pícninách je poměr  $\beta$ -,  $\alpha$ - a  $\gamma$ -karotenů často asi 100:10:1, takže ve výživě zvířat se často zjednodušuje a počítá se jen s obsahem  $\beta$ -isomeru.

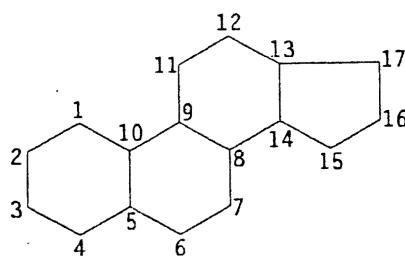
Naprostá většina přirozených karotenoidů má na všech dvojných vazbách *trans*-konfiguraci (tzv. *all-trans*-uspořádání). Vlivem řady fyzikálních faktorů, zejména ultrafialového záření a vyšších teplot, může dojít k částečné *cis*-isomerizaci, což způsobí výrazný pokles provitaminové účinnosti (v retinolu rovněž musí být *all-trans*-uspořádání). To se projevuje zejména při zdlouhavém sušení sena. Jako nenasycené uhlovodíky jsou karotenoidy oxylabilní, podléhají tedy poměrně snadno oxidaci, a to i vzdušným kyslíkem.

## 7.4 Polyterpeny

Polyterpenem je přirozený **kaučuk**, získávaný z latexu kaučukovníku (*Hevea brasiliensis*), tvořený několika sty isoprenoidními jednotkami. Na rozdíl od tetraterpenů se vyznačuje *cis*-uspořádáním, které je podmínkou jeho pružnosti. *Trans*-uspořádání má **gutaperča** (z angl. gutta percha), která se získává z latexu malajského stromu *Isonandra gutta* a není již elastická. Používá se jako izolační hmota v silnoproudé elektrotechnice, pro podmořské kabely apod.

## 8. STEROIDY

Steroidy jsou převážně nenasycené kyslíkaté sloučeniny odvozené od tetracyklického uhlovodíku **gonanu** (původně *steranu*) a příbuzných uhlovodíků cholestanu, estranu, androstanu, testanu, cholanu aj. Většina steroidů doprovází v biologických materiálech lipidy. Z chemického hlediska patří mezi triterpenoidy, protože obsahuje 30 atomů uhlíku odvozených ze šesti isoprenoidních jednotek (srovnej kap. 7). Vzhledem k biologickému významu se však vymezují jako samostatná skupina.



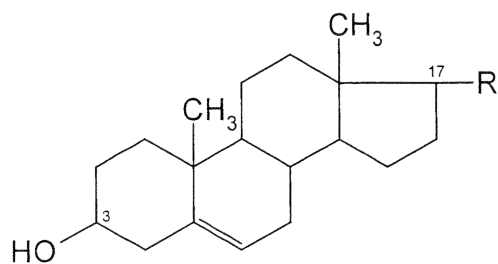
gonan

Podle biologických účinků, chemické struktury a výskytu se steroidy člení do několika skupin:

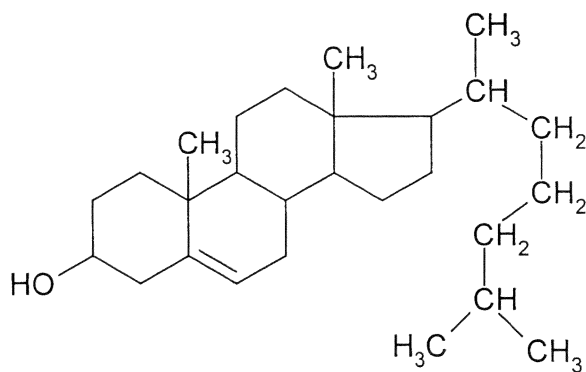
- **steroly**,
- **žlučové kyseliny**,
- **kalciferoly** – vitaminy D<sub>2</sub> (ergokalciferol) a D<sub>3</sub> (cholecalciferol),
- **steroidní hormony** dvou skupin:
  - pohlavní hormony (sexogeny):
    - samčí – androgeny (testosteron, androsteron),
    - samičí – estrogeny (estradiol) a gestageny (progesteron)
  - hormony kůry nadledvinek – kortikoidy (kortisol, kortikosteron, androsteron),
- **steroidní glykoalkaloidy** (viz kap. 9.1),
- **aglykony některých glykosidů**:
  - saponinů (srovnej kap. 5.3) a
  - kardiotonických glykosidů (srovnej kap. 5.4).

### 8.1 Steroly

Jak již bylo uvedeno v kap. 3.5, patří steroly mezi běžné doprovodné látky lipidů. Jedná se o pevné, nepochlupné a tedy ve vodě nerozpustné látky, které se dají dobře extrahovat chloroformem, diethyletherem či horkým ethanolem. Vyskytují se buď volné, nebo esterově vázané svojí sekundární alkoholickou skupinou (v poloze 3) na mastné kyseliny, příp. i glykosidickou vazbou jako aglykony glykosidů. Představu o jejich struktuře poskytuje obecný vzorec, v němž –R tvoří nasycený či nenasycený zbytek uhlovodíku s 8 až 10 atomy uhlíku.



obecný vzorec sterolu



cholesterol

Sterolů je známo již několik desítek. Podle původu se obvykle člení na **mykosteroly**, **fytoosteroly** a **zoosteroly**.

Nejvýznamnějším představitelem mykosterolů v kvasinkách a houbách (tj. plísních a vyšších houbách, *Fungi*) je **ergosterol** (ergot = námel). Je prekursorem (provitaminem) vitamínu D<sub>2</sub>, který z něj vzniká v živočišném organismu působením ultrafialového záření.

Z rostlinných sterolů jsou nejběžnější **sitosterol**, **stigmasterol** a **kampesterol**. Vyskytují se ve vyšších rostlinách, ale i v řasách. Poměr jednotlivých fytosterolů je obvykle pro určitou rostlinu charakteristický a dá se využít např. pro identifikaci původu potravních olejů při podezření, že deklarovaný dražší druh oleje byl nahrazen levnějším. Tyto steroly člověk tráví, ale nedávno se zjistilo, že při jejich zvýšeném příjmu potravou klesá riziko cholesterolu.

Nejznámějším steroidem vůbec je živočišný **cholesterol**. Je třeba doplnit, že se vyskytuje i v rostlinách, zejména v potravních olejích, ale jeho obsah je minimální, výživově zanedbatelný. Cholesterol plní v živočišném organismu řadu závažných funkcí. Je součástí buněčných membrán, lipoproteinů (srovnej kap. 3.4), vznikají z něj žlučové kyseliny (viz kap. 8.2) a pohlavní hormony. Lidský organismus si dokáže potřebný cholesterol syntetizovat (tzv. endogenní cholesterol). Příjem cholesterolu potravou je spojen s rizikem, že se především u geneticky disponovaných osob část cholesterolu ukládá v cévách a vede k **ateroskleróze**. Doporučený maximální denní příjem (exogenní cholesterol) by měl být 300 mg, skutečnost v české populaci je však až dvojnásobná. Základní informace o výskytu cholesterolu v potravinách je uvedena v **tabulce 8.1**.

**Tab. 8.1** Obvyklý obsah cholesterolu v některých potravinách

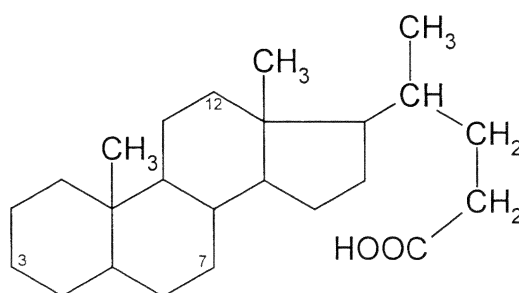
| Potravina                             | Cholesterol (mg ve 100g) |
|---------------------------------------|--------------------------|
| telecí mozeček <sup>1</sup>           | 2000                     |
| žloutek slepičího či křepelčího vejce | 1000                     |
| vepřové ledvinky                      | 400                      |
| vepřová játra                         | 340                      |
| máslo                                 | 240                      |
| škvařené vepřové sádlo                | 100                      |
| drůbeží maso                          | 80                       |
| vepřové maso libové                   | 70                       |
| hovězí maso libové                    | 60                       |

Pozn.: jeden vaječný žloutek obsahuje asi 220-240 mg cholesterolu.

## 8.2 Žlučové kyseliny

Žlučové kyseliny (angl. bile acids) vznikají v jaterních buňkách z cholesterolu. Reagují svým karboxylem s aminoskupinou aminokyselin, především glycinu ( $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$ ), či taurinu ( $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{SO}_3\text{H}$ ) za vzniku amidové vazby. Ve formě sodných solí se pak vylučují ve žluči do dvanáctníku. Tam působí jako účinné *emulgátory*, umožňující nejen přístup lipas k esterovým vazbám tuků a dalších lipidů (srovnej kap. 3.2.1), ale umožňující rovněž vstřebávání doprovodných látek lipidů, např. lipofilních vitaminů.

Skelet žlučových kyselin tvoří **kyselina cholanová**, která se však ve žluči nevyskytuje. Skelet je substituován jednou až třemi alkoholickými skupinami a vlastní žlučové kyseliny se pak nazývají **cholová** (3,7,12-trihydroxycholanová), **deoxycholová** (3,12-dihydroxycholanová) a **lithocholová** (3-hydroxycholanová).



kyselina cholanová

<sup>1</sup> Mozky skotu a ovcí jsou vyřazeny z lidské výživy kvůli riziku BSE.

## 9. ALKALOIDY

Alkaloidy je souhrnné označení pro několik skupin dusíkatých látek různé chemické struktury a biologických účinků. Je jich známo asi dvanáct tisíc. Vesměs se člení do třech skupin:

- **pravé alkaloidy** jsou vesměs heterocyklické dusíkaté báze odvozené od aminokyselin a řadí se mezi ně většina alkaloidů známá svými toxickými účinky,
- **pseudoalkaloidy** jsou rovněž heterocyklické dusíkaté báze, nevznikají však z aminokyselin, ale odvozují se např. od purinu, či od steroidů, které obsahují v molekule dusík. Patří mezi ně např. kofein či solanidin,
- **protoalkaloidy** jsou zásadité aminy, které nemají heterocyklicky vázaný dusík (např. některé biogenní aminy, srovnej kap. 2.4.4, nebo kapsaicin v pálivých paprikách).

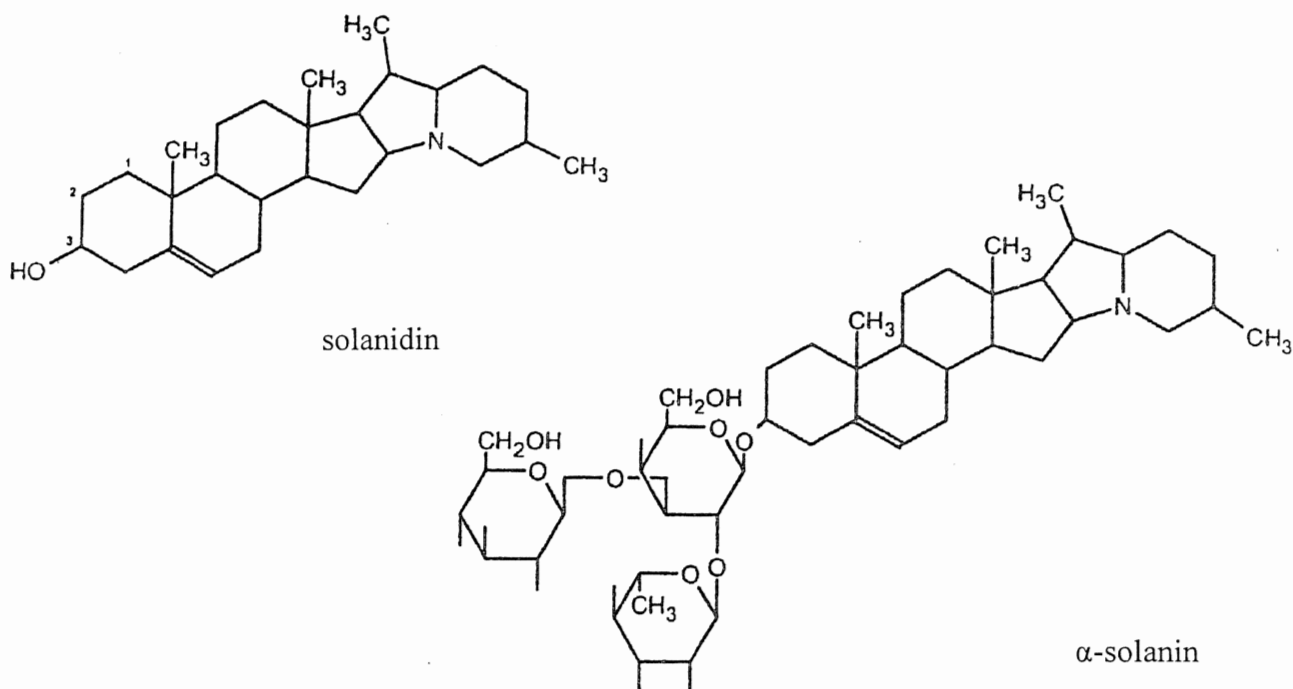
Alkaloidy se vyskytují především v rostlinách, a to asi v pětina druhů. Přítomny jsou zejména v čeledích mákovité, lilkovité, prýšcovité, hvězdnicovité, routovité a zimostroázovité. Méně běžné jsou v některých plavuních, přesličkách, nižších houbách (nejznámější je námel), sinicích a baktériích. Vzácně se vyskytují i u živočichů, např. mloků, žab, či ryb ježíků (tetrodotoxiny).

Pro většinu alkaloidů je možné vymezit některé **společné vlastnosti**:

- rostliny si je vytvářejí zčásti jako součást svých obranných mechanismů proti konzumentům - mj. jsou hořké. Mohou ale být i zásobními formami dusíku, produkty detoxikace některých škodlivých dusíkatých sloučenin, příp. regulátory růstu. Proto se při šlechtění rostlin z hlediska jejich obsahu musí hledat optimální řešení mezi jejich přínosem pro rostlinu a škodlivými účinky pro hospodářská zvířata či člověka,
- vyskytují se v různých částech rostlin, většinou jako směs příbuzných sloučenin,
- jak již bylo uvedeno, vždy obsahují organicky vázaný dusík, především v heterocyklické formě. Podle chemické struktury dusíkatého skeletu se pravé alkaloidy obvykle třídí, často do 10 skupin. Nejpočetnější jsou alkaloidy skupin odvozených od indolu (srovnej I/135) a od isochinolinu (srovnej I/139). Druhý způsob třídění je podle původu, takže např. na alkaloidy tabáku, lupin, bramboru atd.,
- přítomnost dusíku je příčinou zásaditosti. Název alkaloid znamená mající povahu alkálie, tedy zásady. V rostlinách se proto nevyskytují volné, ale ve formě solí s kyselinami,
- pro izolaci alkaloidu je proto třeba jej nejdříve vytěsnit silnější zásadou a pak extrahovat či vydestilovat s vodní parou,
- většina alkaloidů jsou bezbarvé pevné, krystalické, ve vodě málo rozpustné látky, lépe rozpustné ve slabě polárních a nepolárních rozpouštědlech. Ve vodě se rozpouštějí po převedení na soli reakcí s kyselinami. Často jsou opticky aktivní,
- mají značné biologické účinky na živočichy, zejména na nervový systém. Řady z nich se proto využívá jako léčiv, nebo zneužívá jako návykových látek, popř. jako jedů. Podle struktury alkaloidů byla syntetizována řada příbuzných látek, které se uplatňují jako účinná léčiva,
- chemické systematické názvy jsou značně složité, proto se používají názvy triviální. Ty se vytvářejí a vytvářejí zejména z kmenu latinského názvu rostliny, z níž byly izolovány a přípony -in (v angličtině -ine)(např. *Nicotiana* – nikotin), méně často podle jejich biologických účinků (např. narkotin).

## 9.1 Steroidní glykoalkaloidy

V některých významných druzích rodu lilek (*Solanum*), především v bramboru, rajčeti a baklažánu (lilek vejcoplodý) se vyskytují steroidní glykoalkaloidy (SGA). Ze vzorce jednoho z nejvýznamnějších SGA,  $\alpha$ -solaninu, je zřejmé, že se jedná o molekulu složenou z polárního trisacharidu a nepolárního solanidinu, který tvoří steroidní gonan (srovnej kap. 8), kondenzovaný s bicyckickým skeletem obsahujícím dusík.



Je známo přes dvacet SGA. V bramboru včetně hlíz asi 95 % představují  $\alpha$ -solanin a hojnější  $\alpha$ -chaconin. Souhrnně se všechny přítomné SGA označují jako **solanin**. Rostliny si glykoalkaloidy vytvářejí jako součást obranného systému proti býložravcům, hmyzu i plísním. Minoritní skupina glykoalkaloidů chránících vůči mandelince bramborové (*Leptinotarsa decemlineata*) se označuje jako *leptiny*<sup>1</sup>. Představu o rozložení solaninu v rostlině bramboru poskytuje **tabulka 9.1**.

**Tab. 9.1** Obvyklé obsahy celkových steroidních glykoalkaloidů v bramboru

| Pletivo                         | Obsah (mg/kg) |
|---------------------------------|---------------|
| Celá hlíza                      | 75            |
| Dřeň hlízy                      | 12-50         |
| Slupka (3-5 % z hmotn. hlízy)   | 300-600       |
| Slupka (10-15 % z hmotn. hlízy) | 150-300       |
| Slupka s očky                   | 300-500       |
| Klíčky                          | 2000-4000     |
| Bobule                          | 4200          |

<sup>1</sup> Nezaměňujte však s leptinem, což je hormon regulující u člověka chuť k jídlu a ukládání tuků, takže souvisí s obezitou.

Solanin má na člověka výrazně nepříznivé účinky ve dvou směrech:

- narušuje membrány, což způsobuje mj. krvácivost do střev,
- inhibuje přenos nervového vzruchu, působí tedy jako nervový jed.

Toxická a letální dávka pro člověka je překvapivě nízká, někdy se udává dokonce jen pětinasobek množství běžně přijímaného potravou. K lehčím otravám zřejmě dochází zejména při hromadném stravování dětí, příčina však není rozpoznána. Legislativa většiny vyspělých zemí připouští maximální obsah SGA 200 mg/kg, rozumí se však obsah v celých neloupaných hlízách. Oloupáním se odstraní asi polovina solaninu, další část se uvolní do varné vody, protože jde o látky rozpustné ve vodě (v důsledku polarity sacharidické složky). Při jiných tepelných úpravách brambor jsou však SGA stálé.

Protože SGA slouží jako obranné složky, jejich obsah hlízy zvyšují v případě stresu, např.:

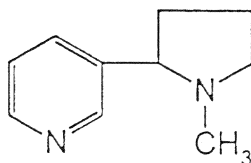
- při poranění, k jakému běžně dochází při mechanizované sklizni a třídění,
- při osvětlení (především u ne zcela vyzrálých hlíz, zejména raných), a to jak při posklizňové manipulaci, tak v obchodech, kdy dojde k zelenání vznikajícím chlorofylem, ale také při delším osvětlení oloupaných brambor připravených jako polotovary,
- při napadení hmyzem či plísněmi.

Hospodářská zvířata jsou vůči solaninu výrazně méně citlivá než člověk.

Nezralá (zelená) rajčata obsahují příbuzný **tomatin**, složený z tomatidinu a tetrasacharidu. Plní obrannou funkci proti napadení mikroorganismy. S postupujícím zráním plodu jeho obsah klesá. Přes dvacet let se mu přisuzovaly značné teratogenní účinky, tj. riziko genetického poškození lidského plodu. V 90. letech se však zjistilo, že nebezpečí je malé.

## 9.2 Některé další alkaloidy

Mezi nejběžnější alkaloidy, s nimiž se část populace setkává, patří alkaloidy tabáku, z nichž je nejvíce zastoupený **nikotin**.



nikotin

Přehled alkaloidů tabáku a pochutin je uveden v **tabulce 9.2**.



**Tab. 9.2** Významné alkaloidy pochutin a tabáku

| Výskyt                                                                                     | Alkaloidy                                                                                  | Účinky                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Káva, čaj, kakao (čokoláda)                                                                | kofein, theofylin, theobromin (srovnej I/141)                                              | povzbuzující, diuretické                                                               |
| Pepř ( <i>Piper</i> sp.)                                                                   | piperin, piperidin                                                                         | palčivost, povzbuzující                                                                |
| Paprika (pálivá) ( <i>Capsicum annuum</i> )                                                | kapsaicin                                                                                  | palčivost                                                                              |
| Kůra chinovníku lékařského ( <i>Cinchona officinalis</i> )                                 | chinin                                                                                     | antimalarikum a antipyretikum, hořčidlo toniků, standard hořkosti                      |
| Listy tabáku ( <i>Nicotiana tabacum</i> ) (ale nízké obsahy i v rajčatech, bramborách aj.) | nikotin, nornikotin, anabasin a anatabin<br>(v cigaretě 1-2 mg, v lehkých - lights - méně) | povzbuzující, stahují cévy, ve vysokých dávkách silně toxické, insekticid proti mšicím |

Výskyt alkaloidů v **pícninách** - především v čeledi lipnicovité, tj. v travách - je velmi omezený. Určitá množství alkaloidů mohou vytvářet jílky (*Lolium*) vytrvalý a mnohokvětý. Nejvýznamnější je **perlolin**, pokládáný za hlavního původce nervosvalového onemocnění skotu a ovcí. V kostřavách (*Festuca*) rákosovité a luční a v jejich mezirodových křížencích s jílky, se spolu s perlolinem vyskytují i deriváty **lolinu**.

Vzhledem k hořké chuti se zvířata rostlinám se zvýšeným obsahem alkaloidů při pastvě vyhýbají. U některých jedinců se však může vytvořit návyk. Možnost výběru je potlačena u rozřezané píce ve žlabu, či po ošetření porostu pesticidy. Riziko otrav alkaloidy je nízké u druhově chudých produkčních porostů, existuje však u nekultivovaných ploch. Mezi rizikové **rostliny a krmiva** patří zejména:

- **námelové alkaloidy** se vytvářejí v námelu (= ergot), což jsou sklerocia houby paličkovice nachové (*Claviceps purpurea*). Ta za určitých klimatických podmínek parazituje na žitu, méně často i na jiných obilovinách a travách. Z četných alkaloidů této skupiny jsou nejznámější **ergotamin**, **ergobasin** a **kyselina lysergová** (její syntetický diethylamid je halucinogenní droga LSD). Tyto alkaloidy vyvolávají stahy hladkého svalstva a využívají se v porodnictví. Způsobují však rovněž zužování periferních cév, což může vyvolat poškození či dokonce odumírání okrajových částí těl živočichů. Námel se proto nesmí dostat do krmného a samozřejmě ani do potravního obilí,
- v různých druzích **vlčího bobu** (lupiny, *Lupinus* sp.), a to ve vegetativních částech i semenech, se vyskytuje řada alkaloidů, zejména **lupanin**, **spartein** a **anagyrin**. Podstatně vyšší obsahy jsou v nešlechtěných, tzv. hořkých druzích, než v druzích kulturních (tzv. sladkých). Nejcitlivější jsou vůči nim ovce,
- v listech, květech i dvounažkách **bolehlavu plamatého** (*Conium maculatum*) se vyskytují alkaloidy, z nichž nejvýznamnější je **koniin**. Vyvolává selhání dýchacích svalů a dušení. Riziko pro zvířata je nejvyšší na jaře u mladých listů, citlivé jsou především krávy,
- **starček přímětník** (*Senecio jacobaeae*) a **starček barborkolistý** obsahují alkaloidy, z nichž nejznámější je **senecionin**. Jsou silně jedovaté, poškozují játra zvířat, zejména koní a skotu. Zůstávají účinné i po usušení rostliny. Navíc jsou karcinogenní a mohou přecházet do kravského a koziho mléka,

- v nadzemní části **ocúnu jesenního** (*Colchicum autumnale*) se vyskytuje silně jedovatý **kolchicin**, který ochrnuje dýchání a srdeční činnost. Jeho mutagenních účinků se využívá k polyploidizaci při šlechtění rostlin,
- v čeledi lilkovité obsahují silně toxický **atropin** **rulík zlomocný** (*Atropa bella-dona*) a semena **durmanu obecného** (*Datura stramonium*) a **hyoscyamin blín černý** (*Hyoscyamus niger*),
- zaschlá šťáva z nezralých makovic **máku setého** (*Papaver somniferum*) je zdrojem zejména **papaverinu, narkotinu, morfinu, kodeinu a thebainu**. V nízkých dávkách se tyto alkaloidy používají k tišení bolesti a jako zklidňující léky (např. proti kašli). Morfin patří mezi silné návykové jedy,
- v **přesličce bahenní** (*Equisetum palustre*) se vyskytuje **palustrin** (equisetin), stálý i po usušení či silážování. Snižuje užitkovost dojníc a jakost mléka.

V posledních létech vzrůstá výskyt alkaloidů **cyanotoxinů** produkovaných sinicemi zejména rodu *Anabaena*, které jsou nervovými jedy. Vytvářejí se ve vodních nádržích, v nichž se v letním období sinice silně pomnoží.

## 10. PŘÍRODNÍ BARVIVA

Přírodní barviva (angl. pigments<sup>1</sup>) jsou barevné látky, které syntetizují živé buňky a následně je buď kumulují, nebo vylučují do prostředí. Jedná se o skupinu s různorodou chemickou strukturou, vlastnostmi i výskytem. Proto existuje několik způsobů dělení:

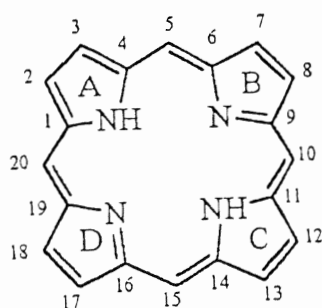
- podle chemické podstaty (především tento pohled bude použit v dalším textu),
- podle důležitých vlastností, zejména rozpustnosti (lipofilní a hydrofilní),
- podle výskytu v biologických materiálech – mikrobiální, vyšších hub, rostlinná, živočišná).

### 10.1 Karotenoidy

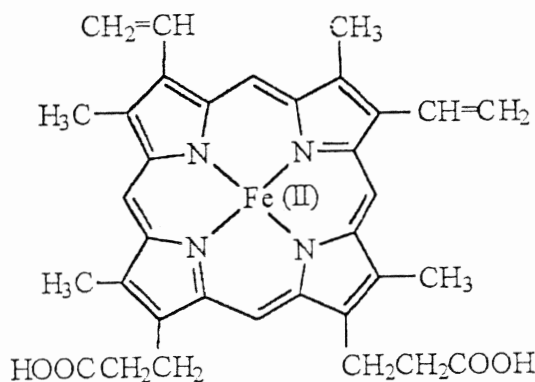
Tato rozšířená a významná skupina sloučenin byla již uvedena jako kapitola 7.3.

### 10.2 Pyrrolová barviva

Tato skupina barviv se vyskytuje od mikroorganismů po živočichy. Nejvýznamnější jsou tetrapyrrolová barviva, jejichž základem je *porfin*. Ten je tvořen čtyřmi molekulami pyrrolu, pospojovaných vzájemně v polohách 2 a 5 methinovými můstky  $-\text{CH}_2=$ . Na jádra jednotlivých molekul pyrrolu se váží různé substituenty, čímž vzniká řada *porfyrinů*. Z nich je významný *protoporfyrin IX*, ve kterém se váže  $\text{Fe}^{2+}$  za vzniku barviva *hemu*.



porfin



hem

Hem vytváří s bílkovinou globinem dvě červená barviva. V *hemoglobinu* v červených krvinkách jsou vázány čtyři molekuly hemu, zatímco v *myoglobinu* (někdy též svalovém hemoglobinu) jen jedna. Větší podíl hemu je vázán v myoglobinu, tedy mimo krevní oběh. Při vysokém parciálním tlaku kyslíku dokáží barviva koordinačně vázat kyslík za vzniku oxyhemoglobinu ( $\text{O}_2\text{Hb}$ ) a oxymyoglobinu ( $\text{O}_2\text{Mb}$ ), aniž by však došlo k oxidaci  $\text{Fe}^{2+}$ . V dýchacím cyklu při změně parciálních tlaků se zpět do plic přenáší  $\text{CO}_2$  jako

<sup>1</sup> Pro syntetická barviva se používá termín colourants.

karboxyhemoglobin (CO<sub>2</sub>Hb). Při specifických oxidačních podmínkách, např. působením dusitanů či aromatických nitrosloúčenin, se však Fe<sup>2+</sup> nevratně zoxiduje na Fe<sup>3+</sup>. Z červeného hemoglobinu vzniká hnědý **methemoglobin**, který již nemá schopnost vázat a přenášet plyny.

Oxidací volného hemu vzniká hnědý **hematin** obsahující Fe<sup>3+</sup>, na něž je vázána hydroxylová skupina. Tyto barevné změny jsou patrné např. na povrchu masa vystaveného působení vzduchu.

Hemoglobin i myoglobin dokáží vázat i další plyny. S *oxidem uhelnatým* reaguje hemoglobin podstatně snadněji než s kyslíkem za vzniku červeného karboxylhemoglobinu (COHb), který je podstatně stálější sloučeninou než O<sub>2</sub>Hb. Stačí již do 1 % obj. CO v ovzduší, aby blokoval polovinu hemoglobinu. To již může být pro citlivější osoby smrtelné.

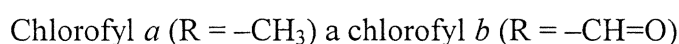
Reakce myoglobinu s *oxidem dusnatým*, který vzniká z přidávaných dusitanů či dusičnanů, se využívá pro tvorbu poměrně stálého červeného zbarvení uzeného masa a uzených masných výrobků.

S hemem souvisejí **žlučová barviva** (angl. bile pigments). Při průběžné obnově červených krvinek se hem uvolní z vazby na globin a uvolní se Fe<sup>2+</sup>, které se využije pro výstavbu nové molekuly hemu. V zanikající molekule hemu se rozštěpí cyklus protoporfyrinu IX mezi pyrrolovými cykly A a B, takže žlučová barviva již nemají cyklický skelet porfinu. Proces probíhá v játrech a barviva se vylučují žlučí (lat. *bilis*, angl. bile) do dvanáctníku. Odtud se po přeměnách část vylučuje stolicí, další část močí, takže žlučová barviva způsobují zbarvení exkrementů. Schematicky jde o následující přeměny:

|                                          |                            |                                            |
|------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|
| <i>žluč</i>                              | biliverdin (modrozelený)   |                                            |
|                                          | ↓ red.                     |                                            |
| <i>střeva</i>                            | bilirubin (žlutooranžový)  |                                            |
|                                          | ↓ red.                     | ox. // ledviny                             |
|                                          | urobilinogen (bezbarvý)    | → <b>urobilin</b> moč (lat. <i>urina</i> ) |
|                                          | ↓ red.                     |                                            |
|                                          | sterkobilinogen (bezbarvý) |                                            |
|                                          | ↓ ox.                      |                                            |
| <i>stolice</i><br>(lat. <i>stercus</i> ) | <b>sterkobilin</b> (hnědý) |                                            |

K narušení tohoto systému dochází při některých onemocněních jater, kdy se barviva zčásti dostávají do krevního oběhu („žloutenka“).

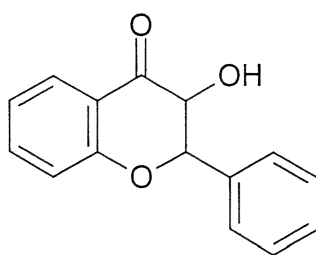
Druhou skupinu cyklických pyrrolových barviv představují **chlorofyly** (*chlorós* = zelený), a to modrozelený chlorofyl *a* a žlutozelený chlorofyl *b* ve vyšších rostlinách, řasách a některých baktériích. V řasách se navíc vyskytují chlorofyly *c* a *d*, v baktériích *bakteriochlorofyly*. Základem je protoporfyrin s koordinačně vázaným Mg<sup>2+</sup>. Chlorofyly jsou v rostlinných buňkách vázány na bílkovinu. Snadno se štěpí působením světla, např. při sušení rostlin, či v kyselém prostředí, kdy vznikají **feofytyny**, které mají olivově zelenou a žlutou barvu. Chlorofyly i feofytyny nejsou rozpustné ve vodě.



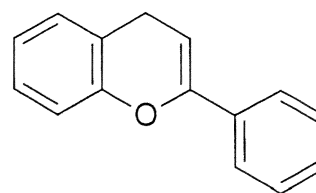
### 10.3 Flavonoidní barviva


O=C1C(=C(C=C1)Oc2ccccc2)Oc3ccccc13

flavon



flavonol



flaven

89

Od skeletu flavenu se odvozují příbuzné aglykony **anthokyanidiny**. Ty se váží glykosidickou vazbou na sacharidy a vznikají tak **anthokyanová barviva**. Ta jsou modrá, fialová a červená a v důsledku polaritý molekuly jsou rozpustná ve vodě. Zatím je jich známo asi tři sta. Jedná se o atraktivní barviva nejen květů, ale i plodů ovoce a zeleniny. Pro barvení potravin se využívá zejména barviv z červených hroznů révy vinné, bezinek, aronie či červeného zelí. Nejrozšířenějšími anthokyanidiny jsou **pelargonidin**, **kyanidin**, **delfinidin**, **petunidin** a **malvidin**. Barviva však nejsou příliš stálá, podléhají řadě změn v závislosti na své struktuře, pH prostředí, teplotě, působení světla a SO<sub>2</sub>. Významná je nejen jejich barevnost, ale rovněž jejich antioxidační účinky.

## 10.4 Betalainy

Tato barviva obsahují ve své molekule heterocyklicky vázaný dusík, avšak na rozdíl od pyrrolových barviv se formálně odvozují od indolu (srovnej I/134). Podobně jako flavonoidy se v rostlinách vyskytují ve formě glykosidů. Jsou buď červená (betakyaniny), nebo žlutá (betaxanthiny), ve vodě rozpustná. Je jich známo asi sedmdesát. Název je odvozen od nejznámějších z nich, barviv červené salátové řepy (jedna z odrůd *Beta vulgaris*). Tato barviva jsou charakteristická i pro květy, listy a semena některých druhů rodu amarant (laskavec) a pro plody jedlých opuncí. Jsou také barvivy některých hub, např. muchomůrky červené. Betalainy se nevyskytují společně s anthokyaniny.

Pro barvení potravin se izoluje z červené řepy směs označovaná **betanin** podle nejvíce zastoupeného barviva.

## 10.5 Další barviva

- modré textilní barvivo **indigo** vzniká oxidací prekursoru indikanu, který se vyskytuje v rostlinách rodu indigovník (*Indigofera*) a je glykosidem indolu a β-D-glukosy,
- rovněž od indolu jsou odvozeny **melaniny** (přesněji eumelaniny), které jsou hnědými až černými pigmenty kůže, vlasů či srsti. Jejich funkcí je zřejmě ochrana proti UV záření,
- od dusíkatého heterocyklu pteridinu se odvozují **pterinová barviva**. Známé jsou zejména bílý *leukopterin* izolovaný z křídel bělásky zelné a žlutý *xanthopterin* z křídel žlutásky citronové, ale i dalšího hmyzu,
- deriváty purinu **guanin**, **xanthin** a **kyselina močová** vytvářejí mikrokrystaly, které způsobují stříbřitou, krémovou či bílou barvu povrchu těla ryb,
- méně rozšířené pigmenty **chalkony**, **aurony** a **xanthony** zbarvují květy některých květin,
- početnou skupinu představují **chinoidní barviva**, chemicky odvozovaná od skeletu 1,4-benzochinonu, 1,4-naftochinonu a 9,10-anthrachinonu (srovnej I/100). Jsou žlutá, červená až hnědá a černohnědá a vyskytují se v některých rostlinách, lišejnících, řasách, houbách a baktériích. Do této skupiny patří např. žlutý **gossypol** v semenech bavlníku (*Gossypium* sp.), který má několik toxických účinků a nesmí proto být součástí bavlníkového oleje či pokrutin. Žlutý **hypericin** je barvivem květů třezalky tečkované (*Hypericum perforatum*). Chemicky příbuzný je tmavě červený **fagopyrin**, barvivo pohanky (*Fagopyrum* sp.). Obě barviva mohou u lidí i zvířat vyvolat fotosensibilizaci, tj. zvýšit citlivost vůči působení ultrafialových paprsků (onemocnění fagopyrismus).

## 11. TOXICKÉ A ANTINUTRIČNÍ LÁTKY

V potravinách a v ještě větší míře v krmivech se vyskytuje řada přirozených látek, které působí na člověka či zvířata škodlivě. Některé se řadí mezi **látky toxické** (angl. toxic compounds). Jejich příjem vesměs není tak vysoký, aby vyvolal akutní otravu. Svými důsledky závažnější je opakovaný, často dlouhodobý příjem nižších (subakutních) dávek, který se neprojeví klinickými příznaky, ale vede k oslabení organismu a u hospodářských zvířat ke snížení užitkovosti. **Antinutriční látky** (angl. antinutritional compounds či antinutrients) narušují využití živin a některých dalších žádoucích složek z potravy. Ve výživě člověka se těmito přirozeným škodlivým látkám (angl. natural toxicants) obou skupin často přisuzuje významnější nepříznivá role než cizorodým látkám kontaminujícím.

Vesměs se jedná o organické látky rostlinného původu. V menší míře co do četnosti, nikoli co do účinků, jsou produkovány mikroorganismy: mykotoxiny vytvářené plísněmi, bakteriální toxiny – např. botulotoxin produkováný *Clostridium botulinum*, tetanotoxin, jedy některých bakterií přijímaných potravou. Škodlivé látky rostlinného původu (angl. plant toxicants) se řadí mezi tzv. sekundární metabolity rostlin a jsou vytvářeny velmi často jako součást přirozeného obranného systému rostlin proti škůdcům – mikroorganismům, hmyzu, ptákům či býložravcům. Z toho vyplývá, že jsou škodlivé i pro člověka a hospodářská zvířata. Podle této obranné role se také označují jako *přirozené pesticidy* (angl. natural pesticides, antifeedants, phytoprotectants).

Jednoduchou formou obrany rostliny je odpuzující chuť – hořká (alkaloidy), palčivá (štěpné produkty glukosinolátů), svíravá (trísloviny) apod. U látek silněji toxických, např. u řady alkaloidů, se zvířata rostlinám vyhýbají, pokud ovšem mají možnost volby (především při pastvě). Technologické úpravy krmiv, jakými jsou sušení, silážování či tepelné zákroky, mohou obsah jednotlivých škodlivých složek snížit, nebo nepříznivé účinky neovlivní, ale může dojít i k zesílení nepříznivého působení na konzumenta. Obecně platí, že snaha o úplné odstranění těchto látek šlechtěním kulturních rostlin není vhodná, protože může dojít k poklesu přirozené odolnosti.

Hospodářská zvířata jsou vůči jednotlivým druhům škodlivých látek různě citlivá. To vyplývá zejména z různé anatomie a funkcí trávicího traktu ptáků, monogastrických zvířat a přežvýkavců. Citlivá jsou zejména mláďata a březí samice.

Chemicky se jedná o pestrou škálu látek. Funkčně sem patří také anorganické dusičnany (nitráty) a dusitany (nitrity), či křemík způsobující drsnost listů některých druhů trav, např. srhy říznačky. Naprosto však převažují látky organické povahy. Řada z nich byla podle své chemické podstaty již zařazena do předchozích kapitol. Členění základních škodlivých látek je následující:

- toxické **aminokyseliny, peptidy, bílkoviny a produkty přeměn aminokyselin** (kap. 2.4),
- **polysacharidy** antinutriční pro drůbež (kap. 4.4),
- štěpné produkty **glukosinolátů** (kap. 5.1),
- **kyanogenní glykosidy** (kap. 5.2),
- **saponiny** (kap. 5.3),
- **trísloviny** a některé další fenolické sloučeniny (kap. 6),
- **alkaloidy** (kap. 9),
- **mykotoxiny**,

- **karcinogenní látky,**
- **fytoestrogeny,**
- **látky narušující využitelnost minerálií z potravy,**
- **látky s různými účinky,** kam patří např.:
  - **antivitaminy** narušující využití vitaminů v živých buňkách, a to některým z následujících principů:
    - jedná se o enzymy štěpící vitaminy na biologicky neúčinné sloučeniny,
    - nebo jde o látky vytvářející s vitaminy nevyužitelné komplexy,
    - příp. se jedná o látky strukturně podobné vitaminům, které se s enzymy váží na neúčinné komplexy,
  - **fotosensibilizátory,** tj. sloučeniny, které zvýší citlivost pokožky proti působení ultrafialového záření. Sem patří např. barviva *hypericin* a *fagopyrin* (kap. 10.5) a *furanokumariny* (z nichž nejrozšířenější je *psoralen*) v nati i bulvách celeru a příbuzných druhů zeleniny,
  - **strumigenní látky,** kterými jsou především produkty štěpení glukosinolátů (kap. 5.1).

K tomuto přehledu je třeba připomenout, že řada uvedených látek může mít v nižších dávkách či v jiných souvislostech účinky příznivé.

## 11.1 Mykotoxiny

Mykotoxiny, neboli plísňové jedy, jsou závažné kontaminanty krmiv a potravin, vznikající při normálním či narušeném metabolismu některých plísní. Prvé z nich – aflatoxiny – byly identifikovány až v roce 1960, v současnosti je známo více než tři sta mykotoxinů. V krmivech a potravinách se jich však v hladinách, která představují zdravotní rizika, vyskytuje jen kolem dvaceti.

Jednotlivé mykotoxiny jsou silně toxické v řadě směrů – vůči játrům (hepatotoxicita), ledvinám (nephrotoxicita), nervovému systému (neurotoxicita), ale řada z nich je účinnými karcinogeny, příp. teratogeny (tj. poškozuje plod). U zvířat způsobují pokles užitkovosti, plodnosti, odolnosti vůči infekcím a invazím parazitů. Při vyšším příjmu vyvolávají onemocnění mykotoxikózy. O jejich toxicitě svědčí mimořádně nízké přípustné limity v krmivech, které se pro jednotlivé druhy a kategorie zvířat pohybují v jednotkách a desítkách  $\mu\text{g/kg}$ , avšak např. pro zvláště citlivé pstruhy jen do 0,1  $\mu\text{g/kg}$ .

Mykotoxiny se nejčastěji zjišťují v zaplísňených krmivech - pokrutinách z tropických a subtropických olejnin, nedostatečně usušeném obilí, senu či silážích ze zavadlé píce. Nelze však zobecnit podmínky, za nichž je plísně vytvářejí. Jejich výskyt je třeba předpokládat zejména na substrátech s alespoň 14 % vody při působení teplot kolem 25 °C a vyšších a současně vysoké relativní vlhkosti prostředí (nad 80 %). Byly však zjištěny i v podmínkách výrazně odlišných. Plíseň je obsažena zejména v mycéliu, z něhož se vylučují do substrátu, ve kterém roste. Nelze je proto zcela odstranit oddělením viditelně plesnivé části krmiva či potravin. Výskyt plísně ještě automaticky neznamená přítomnost mykotoxinů, avšak riziko jejich výskytu existuje.

Velmi nepříznivá je skutečnost, že část mykotoxinů přechází z krmiva do mléka. Dalším problémem je jejich stálost i při značně vysokých teplotách a v kyselém prostředí. Běžné úpravy potravin a krmiv proto nemohou přítomné mykotoxiny odstranit. Řešením je prevence růstu toxinogenních plísní, zejména vytvoření anaerobního prostředí.

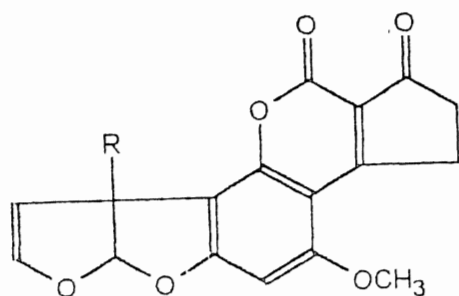


Mykotoxiny vytvářejí především plísně rodů *Aspergillus*, *Penicillium* a *Fusarium*. Často se vyskytuje více mykotoxinů současně. Nejvýznamnější mykotoxiny, jejich producenti a citlivá zvířata jsou uvedeny v **tabulce 11.1**.

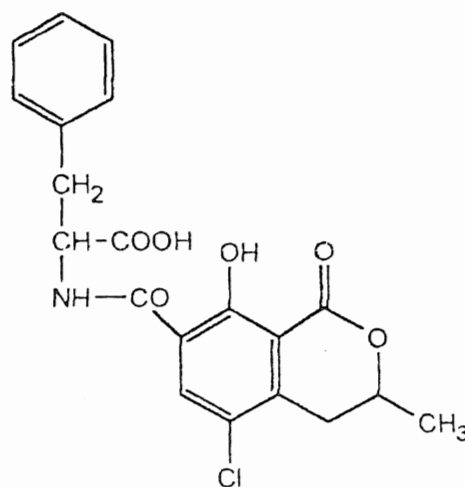
**Tab. 11.1** Nejrozšířenější mykotoxiny

| Mykotoxin                  | Produkující plísně          | Citlivá hospodářská zvířata |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| aflatoxiny (celkem osm)    | <i>Aspergillus flavus</i>   | všechny druhy               |
| parasiticol                | <i>Asp. parasiticus</i>     |                             |
| ochratoxiny (A až D)       | <i>Asp. ochraceum</i>       | prasata, drůbež, skot, koně |
| patulin                    | <i>Penicillium patulum</i>  |                             |
|                            | <i>P. expansum</i>          |                             |
|                            | <i>P. cyclopium</i>         |                             |
| zearalenon                 | <i>Fusarium graminearum</i> | prasat, skot, drůbež        |
| vomitoxin (deoxynivalenol) | <i>F. graminearum</i>       | prasata                     |
| T-2 toxin                  | <i>F. sporotrichoides</i>   | skot, prasata, drůbež       |

Chemicky jsou mykotoxiny různorodé, často to jsou kyslíkaté heterocyklické sloučeniny. Představu o jejich struktuře poskytují vzorce dvou aflatoxinů a ochratoxinu A.



aflatoxin B<sub>1</sub> R = H  
aflatoxin M<sub>1</sub> R = OH



ochratoxin A

## 11.2 Karcinogenní látky

Jako karcinogenní (kancerogenní, rakovinnotvorné) látky se označují chemické látky, fyzikální faktory a viry, kterými lze vyvolat u pokusného zvířete nádorové bujení zhoubného charakteru. Velmi zjednodušeně jde o závažný zásah těchto látek do biochemických funkcí nukleových kyselin.

Několik set karcinogenních látek se podle stupně poznání člení na prokazatelně či pravděpodobně karcinogenní a na podezřelé. Toto rozdělení se průběžně aktualizuje. Jiný způsob členění je uveden v **tabulce 11.2**.

**Tab. 11.2** Významné organické karcinogenní látky

| Chemická podstata /<br>Původ                    | Významné sloučeniny                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Alifatické                                   | tetrachlormethan, chloroform, vinylchlorid, dimethylnitrosamin a řada nitrososloučenin, propanonal (methylglyoxal), formaldehyd, akrylonitril                                                                                                |
| 2. Aromatické                                   |                                                                                                                                                                                                                                              |
| - uhlovodíky                                    | benzen, řada polycyklických aromatických uhlovodíků a jejich nitroderivátů (např. v sazích a dehtu)                                                                                                                                          |
| - aminy                                         | benzidin, 2-naftylamin                                                                                                                                                                                                                       |
| - heterocykly                                   | 1,2,5,6-dibenzokarbazol                                                                                                                                                                                                                      |
| - chlorované                                    | 2,3,5-trichlorfenol, hexachlorbenzen, 2,3,7,8-tetrachlordibenzo- <i>p</i> -dioxin (viz kap. 13.2.3)                                                                                                                                          |
| 3. Přirozené látky                              |                                                                                                                                                                                                                                              |
| - bakteriální                                   | nitrosaminy                                                                                                                                                                                                                                  |
| - vytvářené plísněmi                            | mykotoxiny: aflatoxiny, sterigmatocystin, luteoskyrin aj.                                                                                                                                                                                    |
| - rostlinné                                     | alkaloidy některých starčeků ( <i>Senecio</i> ) – (kap. 9.2),<br>glykosid ptachilosid v kapradině hasivka orličí ( <i>Pteridium aquillinum</i> ),<br>produkt štěpení glykosidu ranunkulinu z pryskyřníku prudkého ( <i>Ranunculus acer</i> ) |
| - živočišné                                     | kantaridin ze španělských mušek ( <i>Cantharis vesicatoria</i> )                                                                                                                                                                             |
| 4. Produkty skladování a úprav potravin a krmiv | mykotoxiny, nitrosaminy, polycyklické aromatické uhlovodíky, heterocyklické aminy (kap. 2.4.4)                                                                                                                                               |

Tak jako u jiných jedů, platí i pro karcinogeny řada podmínek, aby se uplatnila jejich škodlivost. Mají však nebezpečnou specifikou v tom, že stačí jen „bodové ohnisko“, odkud se onemocnění šíří. Závažné je působení **kokarcinogenů**, což jsou látky, které samy o sobě nemají schopnost vyvolat růst nádorů, ale jejichž přítomnost zesiluje účinnost vlastních karcinogenů. Příkladem mohou být některé složky cigaretového kouře, které zesilují účinnost polycyklických aromatických uhlovodíků (viz kap. 13.3).

Nejrozsáhlejší skupinou populace ohrožené karcinogeny jsou kuřáci, rizikové může ale být i pasivní kouření. Cigaretový kouř obsahuje karcinogeny aromatické, heterocyklické, nitrosaminy, kadmium, oxid arsenitý a další složky a navíc kokarcinogeny, kterými jsou některé fenoly a aldehydy. Rizikovost kouření se zesiluje trvalým či dlouhodobým pobytem v prostředí měst s ovzduším se značnými koncentracemi karcinogenů.

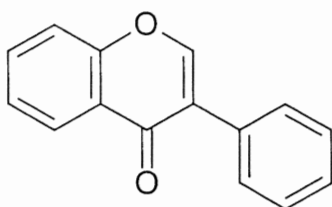
Z hygienického hlediska je rizikový přechod některých karcinogenů z krmiv do mléka, vajec, příp. jejich kumulace v tukových tkáních.

V potravinách a krmivech se spíše než vlastní karcinogeny vyskytují **prokarcinogeny**, tedy sloučeniny, z nichž se karcinogen může uvolnit biochemickými přeměnami až v živočišném organismu. Organismus však má určitou kapacitu detoxikačních mechanismů, kterou je možné zvýšit příjmem sloučenin různého charakteru, označovaných jako **antikarcinogeny**. Tyto látky se vyskytují především v ovoci a zelenině. Chemicky se jedná zejména o fenolické látky a indolylglukosinoláty.

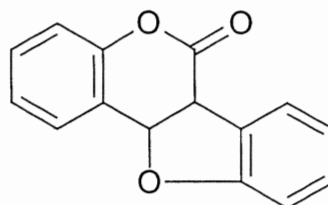
### 11.3 Fytoestrogeny

V některých rostlinách se vyskytují přirozené látky, které po přijetí zvířetem vykazují účinky samičích hormonů (srovnej kap. 8) a zasahují do pohlavního cyklu. Tyto látky byly označeny fytoestrogeny (z lat. *oestrus* = říje). V rostlinách jsou součástí obrany vůči infekci při klíčení semen, ovlivňují růst rostlin a tvorbu květů. Podle dosavadních poznatků je vytváří asi 300 druhů rostlin a rovněž některé plísně – nejznámější je zearalenon řazený mezi mykotoxiny.

Chemicky se fytoestrogeny, kterých je známo kolem třiceti, člení na dvě skupiny, odvozené jako hydroxy- a methoxy (-OCH<sub>3</sub>) deriváty isoflavonu a kumestanu:



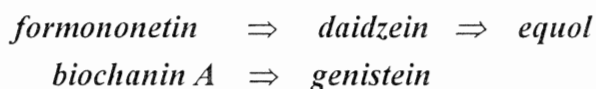
isoflavon



kumestan

**Kumestanové** fytoestrogeny se vyskytují v jetelovinách, zejména v jeteli plazivém Ladino, jeteli nachovém (inkarnátu) a vojtěšce, ale také v semenech a nadzemní hmotě hrachu, fazolí a sóji. Biologicky nejúčinnější je **kumestrol**, dalšími jsou **repensol**, **trifoliol** aj.

**Isoflavonové** fytoestrogeny se vyskytují především v chloroplastech jetele lučního, vojtěšky a v menší míře i v dalších jetelovinách, ale také v srze laločnaté, jílku vytrvalém, řepném chrástu a slunečnici. Nejsilněji se biologické účinky projevují po zkrmování mladých porostů a porostů, které vyrostly za chladného a vlhkého počasí. Sušením se estrogenní aktivita snižuje, silážováním naopak vzrůstá. Biologická účinnost této skupiny estrogenů je nižší než kumestrolu, avšak při trávení a silážování podléhají přeměnám, v jejichž důsledku se estrogenní účinky zesilují:



Na zvířata, především na ovce a skot, působí vysoký příjem estrogenů v píci antifertilně, tj. snižuje plodnost. Předmětem značného výzkumného zájmu jsou estrogeny sójových bobů, protože epidemiologické studie nasvědčují jejich preventivnímu působení vůči rakovině prsu.

## 11.4 Látky zhoršující využitelnost minerálií

Do této skupiny se řadí látky, které různými mechanismy narušují využitelnost minerálních složek potravy, nezbytných pro normální činnost biochemických systémů.

**Strumigeny** zasahují rušivě do metabolismu jódu při tvorbě hormonů štítné žlázy. Jak již bylo uvedeno, nejvýznamnějšími strumigeny jsou produkty štěpení glukosinolátů (kap. 5.1).

**Kyselina fytová** (angl. phytic acid) je úplný ester cyklického šestifunkčního alkoholu *mesoinositolu* (cyklohexanhexolu) s kyselinou trihydrogenfosforečnou. To znamená, že každé ze šesti vázaných molekul  $H_3PO_4$  zůstávají dvě  $-OH$  skupiny schopné vázat kovy. Hořečnatovápenatá sůl je ve vodě téměř nerozpustná a označuje se *fytin*. Vyskytuje se zejména v semenech rostlin a při klíčení slouží jako zásoba fosforu. Naproti tomu sodné a draselné soli (fytáty) jsou rozpustné ve vodě. Přezvýkavci využívají fosfor z fytátů dobře, člověk a prasata méně, ptáci jen velmi málo. Fytáty se vylučují exkrementy a jejich fosfor se podílí na eutrofizaci povrchových vod. Rozpustné fytáty jsou schopné vázat chelátově řadu kationtů kovů, zejména stopových prvků, čímž se značně snižuje jejich využitelnost.

**Kyselina šťavelová** ( $HOOC-COOH$ , oxalová, angl. oxalic acid) je ve vodě dobře rozpustná stejně jako její draselné, sodné a amonné soli. Naproti tomu s vápníkem vytváří nerozpustný šťavelan vápenatý (kalcium-oxalát, angl. calcium oxalate). Tím je živočišný organismus ochuzován o esenciální vápník. Vznikající krystaly se mohou u disponovaných jedinců usazovat v močových cestách (ledvinové kameny), bachorové stěně a dokonce i v mozku, který mohou při akutní otravě vážně poškodit.

Kyselina šťavelová a její soli jsou v rostlinách značně rozšířeny. Nejvíce je jich ze zeleniny v reveni (rebarboře), špenátu a mangoldu, z píce v řepném chrástu, šťovíku kyselém, mokřadních a kyselých porostech. V některých případech je obsah vyšší než 5 % v sušině. Člověk však ani v uvedených druzích zeleniny nepřijímá dávku, která by mohla vyvolat akutní otravu. Dochází však k ochuzování organismu o vápník, který je třeba doplnit mlékem či mléčnými výrobky, ve výživě zvířat mletým vápencem. Dospělý skot je méně citlivý než ostatní hospodářská zvířata, protože bachorová mikroflóra dokáže značnou část oxalátů rozložit.

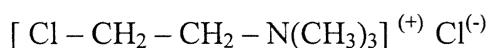
**Kyselina trans-akonitová** (srovnej I/108) se vyskytuje v řadě trav při nízkých teplotách prostředí, tedy především na jaře. Narušuje přeměnu kyseliny citronové na kyselinu *cis*-akonitovou v základním biochemickém (Krebsově) cyklu. Organismus přezvýkavců trpí nedostatkem energie, nahromaděná kyselina citronová váže část vápníku a hořčíku. Důsledkem je onemocnění *p a s t e v n í t e t a n i e*.

## 12. SPECIFICKY ÚČINNÉ LÁTKY

V této kapitole jsou uvedeny některé biologicky významné přirozené i syntetické látky, které se svými účinky a svým použitím vymykají zařazení do kapitol předchozích. Některé z nich budou připomenuty pouze heslovitě, protože se probírají v souběžných či navazujících předmětech.

Významnými látkami této skupiny jsou:

- **antibiotika**, což jsou produkty metabolismu mikroorganismů, rostlin (dříve označované jako fytoncidy) i živočichů, které potlačují růst některých mikroorganismů, příp. virů – působí staticky), nebo je usmrcují – působí cidně (baktericidně, fungicidně, virocidně). Podstatou účinku je narušení syntézy bílkovin. V běžném užším pojetí jsou antibiotika produkována pouze mikroorganismy,
- **regulátory růstu rostlin** (morforegulátory) ovlivňují růst a vývoj rostlin. *Stimulátory* (promotory) urychlují, *inhibitory* (retardanty) zpomalují. Toto členění je však relativní, účinky závisejí především na koncentraci. Významnými stimulátory jsou *auxiny* (srovnej I/135), *cytokininy* (I/140) a *gibereliny*, významnými inhibitory *ethylen* a *chlorcholinchlorid* (CCC)



- **konzervační látky** (konzervanty) mají schopnost potlačovat rozvoj nežádoucích skupin mikroorganismů a tím zvyšovat skladovatelnost (údržnost) biologických materiálů. Vesměs jde o mikrobistatické působení, zastavuje se tedy množení mikroorganismů. Pro konzervaci potravin je povolen jen omezený počet látek, zejména *kyselina sorbová* a některé její soli (srovnej I/108), *kyselina benzoová* a její soli, *kyselina p-hydroxybenzoová* a její estery, z látek anorganických *oxid siřičitý* a *siřičitany*,
- **antioxidanty**,
- **emulgátory**.

### 12.1 Antioxidanty

Oxidační pochody jsou v živých biologických systémech nezbytné pro získávání energie, u rozkládajících se biologických materiálů se podílejí na vzniku jednoduchých sloučenin, které se vracejí do koloběhu prvků v přírodě. Nežádoucí je však oxidace příliš rychlá, nebo příliš velkého rozsahu. Látky, které zpomalují oxidační pochody v metabolismu živočichů, či v potravinách a krmivech, se označují jako antioxidanty.

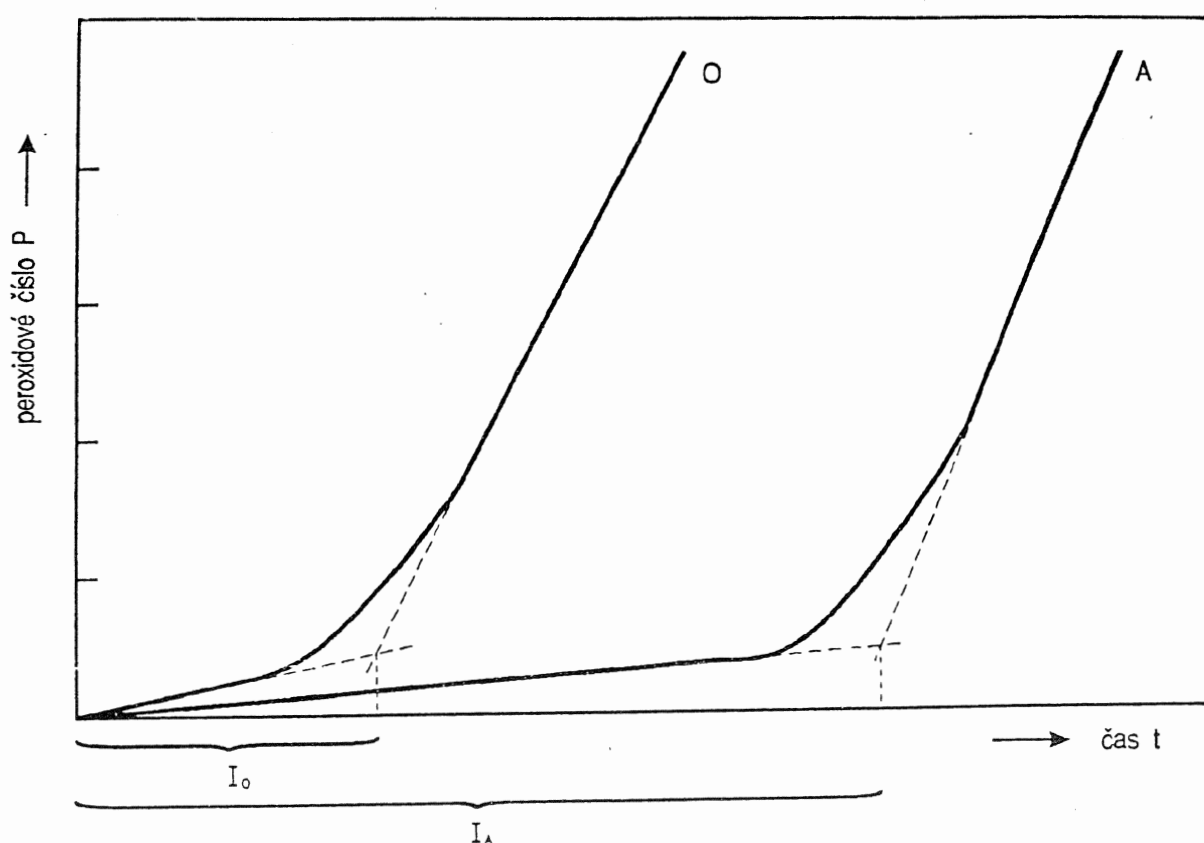
Při autooxidaci (tj. oxidaci vzdušným kyslíkem) iniciované kovy (zejména  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ , železem vázaným v hemových barvivech, ale i mědí aj.) vznikají tzv. *volné radikály*. Roli antioxidantů plní takové sloučeniny, které reagují s volnými radikály a převádějí je na méně reaktivní sloučeniny.

Antioxidanty v potravinách a krmivech se dají členit na přirozené a syntetické, či na přirozeně přítomné a doplňované jako přísady. Přidávat se totiž mohou jak látky syntetické, tak tzv. látky přírodně identické, tedy takové, které se v potravině vyskytují, avšak jejich množství je nedostatečné a proto se přídavkem jejich obsah zvyšuje. Nezáleží na tom, zda byly pro tento účel izolovány z přírodního zdroje, nebo syntetizovány.

**Přirozenými antioxidanty** jsou lipofilní **vitamin E** (tokoferoly a tokotrienoly), **karotenoidy** a **lecithiny** (srovnej kap. 3.3), hydrofilními **vitamin C** (kyselina askorbová), řada rostlinných **fenolických látek**, např. **flavonoidů** a **anthokyanů** (srovnej kap. 10.3). Antioxidační účinky mají také látky, které dokáží vyvázat do neúčinných komplexů uvedené kovy, které iniciují autooxidaci: **kyselina citronová** či **kyselina fytová** (srovnej kap. 11.4). Vysoký obsah přirozených antioxidantů mají např. rozmarýna, šalvěj, dobromysl, saturejka, zelený či černý čaj, z nichž se připravují extrakty. Jejich použití je však často omezoováno hořkou chutí či vůní zdroje, z něhož byly získány.

Pro materiály, které mají nedostatek přirozených antioxidantů a značný obsah oxylabilních složek (zejména nenasycených lipidů) a mohou tedy snadno podléhat autooxidaci, se kromě přirozených antioxidantů mohou doplňovat i **antioxidanty syntetické**. Jsou to však potravinám cizorodé látky a jejich použití se proto omezuje na nezbytnou míru. Vesměs se jedná o fenoly, např. **estery kyseliny gallové** (galláty). Pro zábranu hnědnutí oloupaných brambor, což je oxidace polyfenolů na tmavě zbarvené chinony, se přidávají **sířčitany**, které jsou přednostně oxidovány na sírany.

Přítomnost přirozených či přidaných antioxidantů nezaručuje trvalou ochranu chráněné látky před oxidací. Po určité době se antioxidant vyčerpá, takže oxidaci oddálil, ale nezabránil jejímu pozdějšímu průběhu. Změny jsou patrné z **obrázku 12.1**.



I ... indukční perioda      O ... tuk bez antioxidantu      A ... tuk s antioxidantem

**Obr. 12.1** Prodloužení údržnosti tuku přidávkem antioxidantu

Indukční perioda je období, kdy je chráněná látka poměrně stálá a oxidace probíhá pomalu.

Jak již bylo uvedeno, působení škodlivých volných radikálů je vystaven i člověk a další živočichové. Přijímáme je potravou, především při vysoké spotřebě nenasycených olejů, velmi vysoký výskyt je v cigaretovém kouři, ale jsou také součástí ovzduší, což souvisí s jeho kontaminací organickými látkami. Pokud jejich působení překročí detoxikační kapacitu, nastává tzv. *oxidační stres*. Dochází pak k oxidačnímu poškození celé řady složek buněk, v závažných případech i DNA. To urychluje stárnutí organismu, může však vést až ke vzniku zhoubného bujení.

Proto je nutné, aby tato rizika kompenzoval zvýšený příjem antioxidantů potravou. Přes stěnu střevní jsou antioxidanty vesměs dobře vstřebatelné a dostávají se do krevního oběhu, kde se vytváří jejich rezerva.

## 12.2 Emulgátory

Emulgátory jsou povrchově aktivní látky, jejichž molekuly vytvářejí film na rozhraní polární (voda) a nepolární fáze (oleje, příp. vzduch). Film usnadňuje tvorbu disperze a poté ji stabilizuje. Molekuly emulgátoru se skládají z polární (hydrofilní) a nepolární (hydrofobní, lipofilní) části. Na fázovém rozhraní pak polární část směřuje do vodné fáze, část nepolární do oleje.

Hydrofilní část emulgátoru může mít charakter aniontu, kationtu, nebo neionizované složky. Emulgátory pro potraviny a krmiva jsou vesměs neionizované. Méně polární emulgátory jsou vhodné pro přípravu emulzí typu voda v oleji, zatímco polárnější pro emulze typu olej ve vodě.

V předchozích kapitolách byly uvedeny *přírozené emulgátory: lecithiny* (kap. 3.3) a *žlučové kyseliny* (kap. 8.2).

Nejběžnější *syntetické emulgátory* používané do potravin a krmiv obsahují jako lipofilní součást molekuly zbytky mastných kyselin. Hydrofilní složkou jsou např. esterově vázané dioly, alkoholické cukry, sacharosa, kyselina mléčná aj.

## 13. ORGANICKÉ KONTAMINANTY A POLUTANTY

V této kapitole jsou uvedeny nejzávažnější organické cizorodé látky kontaminující (*xenobiotika*), které znečišťují potravní řetězce (*kontaminanty*), či jednotlivé složky přírodního prostředí (*polutanty*). Důsledkem jejich nepříznivého působení je především zdravotní poškození člověka či zvířat. Jen omezeně působí jako akutní škodliviny, vesměs způsobují chronická poškození zdraví.

Odhaduje se, že na kontaminaci potravního řetězce cizorodými látkami se zemědělství podílí asi 45 %, ostatní lidské činnosti zbývající částí. Vysoký podíl zemědělství je dán především použitím agrochemikálií, a to jak minerálních hnojiv, tak pesticidů.

Nejvyšší přípustná množství (tzv. hygienické limity) kontaminantů v potravinách jsou určena Vyhláškou Ministerstva zdravotnictví ČR 298/97 Sb. a pozdějšími doplňky, obdobné předpisy platí i pro krmiva, vodu, půdu a ovzduší.

### 13.1 Rezidua pesticidů a veterinárních léčiv

Soudobá zemědělská výroba ve vyspělých zemích se bez použití pesticidů a veterinárních léčiv neobejde. Ekologické systémy hospodaření bez použití agrochemikálií se uplatňují až na výjimky několika zemí jen na 1-3 % zemědělské půdy. Postupný přechod od chemizace k biologizaci je však objektivní vývojovou tendencí. Omezuje se chemická ochrana rostlin ve prospěch biologické a mechanické. Od nově vyvíjených pesticidů se požaduje mj. nízká persistence v biologických systémech a rozklad na neškodné, nebo alespoň méně škodlivé zplodiny, než měla výchozí látka.

Hygienické limity reziduí v potravinách jsou stanoveny uvedenou vyhláškou pro všechny povolené účinné složky pesticidů i veterinárních léčiv (řádově jde o několik set látek). Nejčastěji se limity pohybují v rozpětí 0,1-2 mg/kg, u pesticidů ze skupiny zvláště nebezpečných jedů jen kolem 0,01 mg/kg. Obecně se dá říci, že se podíl reziduí pesticidů na ohrožení lidského zdraví ve vyspělých zemích trvale snižuje. Více mohou být kontaminovány potraviny z rozvojových zemí, kde se dosud používají i pesticidy, které byly v zemích vyspělých zakázány v 70. a 80. letech.

Organochlorové pesticidy, jejichž význam ve vyspělých zemích kulminoval v 60. letech, jsou krátce uvedeny v následující kapitole, kam svojí chemickou podstatou patří.

### 13.2 Persistentní organochlorové sloučeniny

Název není zcela přesný, protože v některých látkách této skupiny se vyskytují i jiné halogeny, především brom. Sloučeniny tohoto typu se v přírodě nevyskytují. Proto mechanismy jejich přeměn v biologických systémech mají jen omezenou kapacitu a jsou vesměs velmi pomalé, takže organochlorové sloučeniny jsou v přírodě vysoce persistentní. Jejich přeměny mohou vyvolávat spíše fyzikální (zejména UV záření) či chemické faktory (různé katalyzátory). Vznikající produkty mohou být v některých případech škodlivější než výchozí látky, jindy naopak dochází k poklesu toxicity – např. při substituci halogenů hydroxyly. Přestože jsou vesměs málo těkavé, existuje dálkový přenos řady těchto látek, dosahující až globálních měřítek.



Chlorové sloučeniny vstupují do různých článků potravních řetězců. Jako lipofilní látky se kumulují především v rostlinných a živočišných tucích. Ptáci a ryby je kumulují více než savci, významnou roli hraje potravní spektrum, postavení v potravním řetězci a věk. Na konci potravního řetězce se tyto sloučeniny kumulují v tuku lidí, a to jak v tělních tucích, tak v mateřském mléce. Z dlouhodobého pohledu koncentrace organochlorových sloučenin v potravním řetězci klesají v důsledku zákazu či sníženého používání většiny z nich, u některých z nich (především dioxinů) však situace dosud není vyřešena.

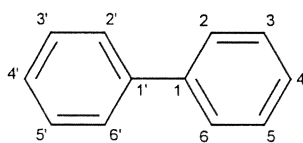
### 13.2.1 Chlorované pesticidy

Etapu rozsáhlého používání insekticidů především v zemědělství zahájil po 2. světové válce **di-*p*-chlordifenyltrichlorethan (DDT)**, který byl u nás povolen pro velkovýrobu do roku 1974. Postupným odbouráváním DDT vzniká několik příbuzných sloučenin. Z nich se nejčastěji vyskytují **DDE** (obsahuje místo  $-\text{CCl}_3$  uspořádání  $=\text{CCl}_2$ ) a **DDD** ( $-\text{CHCl}_2$  místo  $-\text{CCl}_3$ ). Persistence DDT a některých produktů jeho přeměn je velmi vysoká, rezidua DDD a DDE zůstávají v půdě desetiletí. DDE se řadí mezi látky pravděpodobně karcinogenní. S přibývajícím poznatky o nepříznivých důsledcích aplikace DDT se rozšiřovalo použití **HCH** (hexachlorcyklohexanu), z jehož stereoisomerů je insekticidně nejúčinnější  $\gamma$ -isomer, označovaný **lindan** (gammexan), kterého bylo v preparátech jen 12-14 % hmotn. HCH se vyrábí radikálovou chlorací benzenu a technická směs isomerů měla jen omezené použití kvůli nepříjemnému zápachu. Persistence je rovněž značná.

Další organochlorové sloučeniny (**hexachlorbenzen**, **heptachlor**) se využívaly jako fungicidy pro moření osiva a pro dezinfekci půdy, některé (**aldrin**, **dieldrin**, **endrin**) byly účinnými rodenticidy zejména proti hrabošům. Použití těchto látek bylo postupně zakazováno v 70. a 80. letech, jejich rezidua se dosud zjišťují, avšak na zdravotně neškodných hladinách.

### 13.2.2 Polychlorované bifenyly

Polychlorované bifenyly (PCB) je souhrnné označení pro látky vznikající chlorací bifenyly:



bifenylyl

Je zřejmé, že může dojít k navázání 1-10 atomů chloru. Označení poly- se vztahuje až na kongenery se čtyřmi a více atomy chloru. Nejvíce isomerů (45) je možných při pěti atomech chloru.

Chlorací může vznikat 209 kongenerů („sourozenců“). Biologicky významné jsou především kongenery se čtyřmi až sedmi atomy chloru. Průmyslové směsi PCB, které se staly zdroji kontaminace, obsahují až desítky kongenerů. Z toxikologického hlediska jsou významné především kongenery s rovinným (koplanárním) uspořádáním, kterých je jen dvanáct. Analytické stanovení by proto nemělo poskytnout údaje o sumě všech PCB, ale přednostně údaje o koncentracích nejtoxičtějších kongenerů.

PCB se používaly od 30. let v USA a postupně v řadě zemí, v Československu se vyráběly do roku 1984 a o dva roky později bylo zakázáno jejich používání. To však již kontaminace dosáhla globálních měřítek. PCB se používaly pro jejich výhodné fyzikální a chemické vlastnosti, jako je přilnavost, odolnost vůči tepelnému namáhání, chemická stálost a nehořlavost. Přidávaly se do nátěrových hmot, transformátorových, hydraulických a dalších olejů. Jejich persistence je vysoká, odbourávání světlem a mikroorganismy je jen omezené. Pro bezpečnou likvidaci jsou třeba teploty alespoň 1050 °C po dobu dvou sekund za dostatečného obsahu kyslíku, aby nevznikaly ještě toxičtější dioxiny. Takové podmínky jsou dosažitelné fluidním spalováním, tj. ve vzhledu v proudě vzduchu.

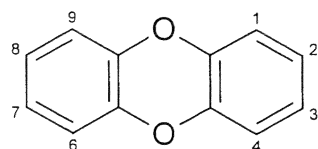
Akutní toxicita není příliš vysoká, chovají se jako typické kumulativní jedy. Snižují imunitu, ohrožují játra a reprodukční funkce, některé z nich se řadí mezi karcinogeny. U ptáků se projevuje značný teratogenní efekt. Mladý organismus je vůči nim podstatně citlivější než dospělý, samice více než samci. Citliví jsou zejména ptáci a norci, poměrně odolné jsou ryby, které je značně kumulují.

Do potravního řetězce se PCB dostávaly především z antikoročních nátěrů sil a stájových zařízení, v menší míře při úniku hydraulických a dalších olejů. V organismu zvířat se kumulují v tucích a přecházejí do mléka. Poločas vylučování u dojnic je 1-4 měsíce.

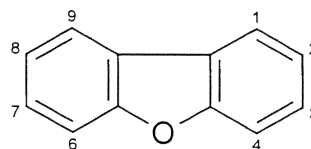
Hygienické limity většiny potravin jsou v desetinách mg/kg tuku příslušné potraviny, pouze u ryb a výrobků z nich v jednotkách mg/kg. Přijatelná denní dávka (ADI) je 1 µg/kg tělesné hmotnosti.

### 13.2.3 Dioxiny

Dioxiny je triviální skupinové označení pro polychlorované **dibenzo-*p*-dioxiny (PCDD)** a polychlorované **dibenzofurany (PCDF)** odvozované od příslušných skeletů:

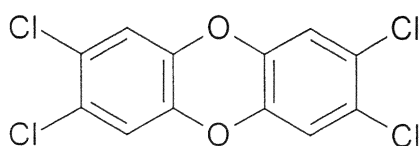


dibenzo-*p*-dioxin



dibenzofuran

Oba typy těchto látek se vesměs vyskytují společně. Ze vzorců je patrné, že může dojít k substituci atomů vodíku 1-8 atomy chloru. Existuje 75 kongenerů PCDD a 135 kongenerů PCDF. Toxikologicky významné jsou až kongenery se čtyřmi a více atomy chloru. Nejzávažnější je symetrický rovinný kongener 2,3,7,8-TCDD (často označovaný jako dioxin), který je pokládán za nejtoxicičtější látku vznikající lidskou činností:



2,3,7,8-tetrachlordibenzo-*p*-dioxin

Toxických je ještě 16 dalších kongenerů substituovaných v polohách 2,3,7,8 a navíc ještě v některých dalších. Jejich relativní toxicita je však výrazně nižší. Byly stanoveny přepočítávací faktory ekvivalentní toxicity (FET), kterými se zjištěné koncentrace jednotlivých kongenerů přepočítávají na standardní 2,3,7,8-TCDD a toxicita všech přítomných kongenerů se udává jako tzv. ekvivalentní toxicita.

PCDD/PCDF jsou podobně jako příbuzné PCB velmi málo těkavé, ve vodě nepatrně rozpustné lipofilní látky. Jsou teplotně velmi stabilní, pro rozklad jsou třeba stejné podmínky, jaké byly uvedeny u PCB, tj. působení alespoň 1050 °C po dobu dvou sekund. Jsou relativně citlivé vůči ultrafialovému záření.

Nejzávažnějším zdrojem dioxinů je spalování sloučenin obsahujících chlor, jako jsou PVC, PCB, pentachlorfenol, ale také hnědé uhlí aj., odkud se dostávají do atmosféry a z ní do dalších složek prostředí. To se týká zejména spaloven tuhých komunálních odpadů. Lokálními zdroji kontaminujícími vodní toky jsou odpadní vody z papíren, v nichž se používá bělení buničiny (celulosa) chlornany.

Dioxiny jsou mimořádně jedovaté. Poněvadž se však nikdy nevyráběly, ale vznikají jen jako nežádoucí vedlejší zplodiny a jejich koncentrace v prostředí jsou proto velmi nízké, nehrozí akutní otravy. Vzhledem k výrazným kumulativním účinkům (poločasy vylučování u člověka jsou pro jednotlivé kongenery několik let) se však hromadí v tukových tkáních a působí chronicky. Účinky na člověka jsou obdobné jako u PCB, ale asi o 5 řádů výraznější. Přijatelná denní dávka (ADI) pro dospělého jedince je jen 10 pg ekvivalentů 2,3,7,8-TCDD na kg tělesné hmotnosti.

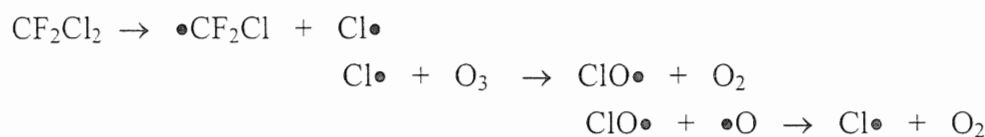
Do lidského organismu se dioxiny dostávají v tukové složce potravin živočišného původu. Kumulují je – podobně jako PCB – ryby. Značná množství dioxinů přecházejí do mateřského mléka. Řešením zdravotních rizik dioxinů je prevence jejich vzniku a vstupu do prostředí.

### 13.2.4 Freony

Freony jsou halogenderiváty methanu a ethanu obsahující fluor a chlor. Freon je jeden z firemních názvů, který se vžil u nás, mezinárodně je běžné označení **CFC** z anglického **chlorofluorocarbons**. Pokud obsahují i brom, označují se jako *halony*. Neúplně halogenované uhlovodíky se označují HCFC z názvu **hydrochlorofluorocarbons**.

Freony byly vyvinuty v USA ve 30. letech jako chladivo nahrazující toxický a nepříjemný amoniak v chladicích systémech. Proto se v angličtině označují rovněž jako chlorinated refrigerants. Později se začaly používat jako vynašeče náplní sprejů, pěnотvorná činidla, čisticí a hasicí prostředky. Jejich výroba dosáhla maxima kolem 800 tisíc tun ročně koncem 70. let, od té doby postupně klesá.

Většina z těkavých freonů (CFCl<sub>3</sub>, CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> a CHF<sub>2</sub>Cl) se dostávala do ovzduší a vzdušným prouděním do stratosféry, jejíž část ve výšce 15-40 km nad mořskou hladinou (ozónosféra) obsahuje ozón jako přirozený filtr proti pronikání nebezpečného ultrafialového záření o vlnových délkách kratších než 320 nm (UV-B a UV-C). Freony se v ozónosféře štěpí a uvolňují atomární chlor, který rozkládá ozón:



Tím vzniká další atomární chlor, který reaguje s další molekulou ozónu. Reakce může proběhnout v řádu tisíců i více, než se atomární chlor setká s jiným radikálem za vzniku stabilního produktu (chlorovodíku, chlornitrátu  $\text{ClONO}_2$ ). Konečnými produkty přeměn freonů v atmosféře jsou  $\text{CO}_2$  a halogenovodíkové kyseliny, které se jako kyselé srážky dostávají na zemský povrch.

Stav ozónosféry se vyjadřuje Dobsonovými jednotkami (DU, Dobson unit). Jedna DU je vrstvička ozónu o síle 0,01 mm za normálního tlaku a teploty. Normální stav nad naším územím se pohybuje kolem 350 DU. Tzv. ozónové díry vznikají dočasně kolem pólů, především v Antarktidě, která je výrazně chladnější než Arktida. Ve stratosféře se během polární zimy vytvářejí mraky ledových krystalků, v nichž se zakonzervuje vytvořený chlornitrát. Po příchodu jara a obnovení intenzivního ozáření těchto mraků ultrafialovým zářením se však chlornitrát rychle rozloží na kyselinu dusičnou a atomární chlor, který lavinovitě rozloží přítomný ozón.

Freony se navíc podílejí i na skleníkovém efektu (viz kap. 13.6).

### 13.2.5 Trihalogenmethany

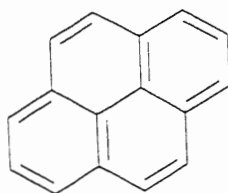
Při chloraci pitné vody vzniká z chloru kyselina chlorná  $\text{HClO}$ , která je nositelem dezinfekčních účinků. Pokud nejsou z vody odstraněny některé organické látky, zejména huminové kyseliny a fulvokyseliny (které jsou součástí humusu) a některé metabolity mikroorganismů, může docházet jejich reakcí s kyselinou chlornou ke vzniku **chloroformu** ( $\text{CHCl}_3$ , trichlormethanu). Kyselina chlorná navíc oxiduje přítomné bromidy na kyselinu bromnou, která pak reaguje s organickými látkami za vzniku dalších **trihalogenmethanů** (THM), např.  $\text{CHBr}_3$ ,  $\text{CHBr}_2\text{Cl}$  či  $\text{CHBrCl}_2$ . Tyto látky jsou podezřelé, že mohou vyvolávat rakovinu močového měchýře a příp. tlustého střeva.

Při vaření vody většina THM vytěká. Mohou však být přítomny v nealkoholických nápojích připravených z chlorované vody. Vystaven je jim člověk i při koupání a sprchování, protože dobře pronikají pokožkou.

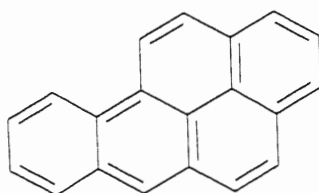
Obsah chloroformu v pitných vodách je v ČR od 80. let pod kontrolou.

## 13.3 Polycyklické aromatické uhlovodíky

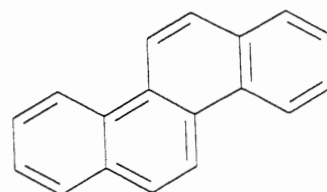
Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU, častěji **PAH** z anglického **hydrocarbons**) jsou významnými kontaminanty, protože u asi dvaceti z nich byly prokázány mutagenní a/nebo karcinogenní účinky. Nejznámějšími představiteli této skupiny jsou **pyren**, **benzo[a]pyren** a **chrysen**:



pyren



benzo[a]pyren



chrysen

Zdravotně rizikové jsou nejen PAH, ale také jejich **nitroderiváty**, které vznikají při provozu motorů, zejména diesellových a v ovzduší reakcí PAH s oxidy dusíku např. z výfukových plynů.

Hlavními zdroji PAH v prostředí jsou spalovací procesy. Více než 90 % emitovaných PAH je sorbováno v aerosolech na velmi malých částicích sazí, popílku a prachu, které se udrží ve vzduchu až stovky hodin. Nejmenší částice pronikají hluboko do plic. PAH z ovzduší kontaminují spadem rostlinné potraviny a krmiva, především druhy s velkou listovou plochou. Do rostlin však mohou přecházet i PAH z půdy, což je patrné zejména na znečištěných stanovištích. Kumulují se v sedimentech vodních nádrží.

V našich podmínkách je obsah v ovzduší výrazně vyšší v zimě a ve městech jako důsledek spalování především tuhých paliv. V zakouřených místnostech je však mutagenita vzduchu řádově vyšší než vnější ovzduší. Nejsilněji ohroženou skupinou jsou kuřáci (tzv. dehtovitými látkami). Nekuřáci přijímají > 90 % PAH potravou, absolutní příjem je ovšem podstatně nižší než u kuřáků. Navíc se zjistilo, že např. benzo[a]pyren je 5-7x rizikovější při vdechování než přijímaný v potravě. Do potravin se PAH dostávají zejména z udícího kouře, při grilování či opékání na otevřeném ohni. Kontaminovány jsou však i obiloviny ze spadu.

## 13.4 Ftaláty

Ftaláty (angl. phthalates) jsou estery kyseliny ftalové (benzen-1,2-dikarboxylové). Patří mezi rozšířené plastifikátory (změkčovadla) umělých hmot, kam se jich přidávají až desítky hmotnostních procent. Nejrozšířenější jsou **di-n-oktylftalát** a **di-(2-ethylhexyl)-ftalát**. V menší míře se používaly a používají i jinde. Důsledkem je jejich rozšíření ve všech článcích potravního řetězce. Toxikologicky byly dlouho považovány za neškodné, nyní jsou řazeny mezi kumulativní jedy srovnatelné např. s PCB. Za jejich největší riziko se považuje narušení plodnosti samců, a to i mužů, některé jsou považovány za pravděpodobně karcinogenní. Podobně jako chlorované sloučeniny přecházejí do mateřského mléka.

Ftaláty jsou vesměs lipofilní, takže se ve vodě rozpouštějí málo. I to je však třeba brát z toxikologického hlediska v úvahu. Lépe se rozpouštějí v tucích a ethanolu. Do potravin proto migrují z umělých hmot obalů, zásobníků, potrubí apod., a to zejména do potravin s vysokým obsahem tuků a do alkoholických nápojů.

Při nízkých teplotách spalování se mohou odpařit a dostat se do ovzduší. Při vdechování jsou výrazně rizikovější než při příjmu potravou.

## 13.5 Ropné produkty

Ropné látky jsou cizorodou složkou našeho přírodního prostředí. Proto jsou rizikem i nevelké úniky pohonných hmot a různých olejů. Benzin se jako napolární látka vsakuje do půdy několikrát rychleji než voda. Po dosažení hladiny podzemních vod začnou ropné látky pronikat horizontálně. Naruší pronikání kyslíku do půdy, čímž ohrozí život půdních mikroorganismů. Zhorší se i filtrační a samočisticí schopnosti půdy. Postupně se s vodou vytváří emulze a ropné látky se dostávají do hlubších půdních a horninových vrstev. Přirozené odbourávání je minimální. Dekontaminace bakteriemi, pro které jsou ropné uhlovodíky živinami, jsou velmi nákladné.

Na vodu působí ropné látky zejména třemi směry:

- ovlivňují pach a chuť vody. Uvádí se, že litr ropné látky smyslově znehodnotí milion litrů vody a více. Takovou vodu nelze použít k pití či přípravě pokrmů, ale ani k chovu ryb či zavlažování zeleniny,
- mění fyzikální vlastnosti vody i její chemické složení. I velice nízká rozpustnost – 0,002 % u motorové nafty a 0,015 % u automobilního benzinu – již ovlivňuje vlastnosti vody. Na jejím povrchu se vytváří film o tloušťce od asi 0,02 mm do několika milimetrů. Při tloušťce vyšší než 0,5 mm je již zřetelně omezen přístup vzdušného kyslíku do vody a nastávají
- změny biologického a mikrobiálního života ve vodě. Může dojít k dušení ryb a dalších vodních živočichů, k utopení ptáků, kterým se rozpouští tuková impregnace peří. Roste podíl anaerobní mikroflóry a probíhá hnilobný rozklad biologických látek ve vodě.

### 13.6 Skleníkové plyny

Dnes se již pokládá za prokázané, že atmosféra podléhá v globálním měřítku oteplování, jehož podstatou je skleníkový efekt (angl. greenhouse effect). K tomu dochází absorbcí rostoucího podílu infračerveného záření, které vyzáří zemský povrch poté, co na něj dopadá sluneční záření kratších vlnových délek. Infračervené záření by se mělo vrátit zpět do kosmu. V troposféře, tj. v části atmosféry do výšky asi 15 km nad mořskou hladinou, se však lidskou činností dynamicky zvyšuje obsah tzv. skleníkových plynů (angl. greenhouse gases), které mají schopnost infračervené záření absorbovat, čímž dochází k oteplování ovzduší. Míra, jakou se v 90. letech jednotlivé skleníkové plyny podílely na zvyšování teploty troposféry, je uvedena v **tabulce 13.1**.

**Tab. 13.1** Podíl skleníkových plynů na zvyšování teploty troposféry

| Plyn          | Podíl (%) |
|---------------|-----------|
| Oxid uhličitý | 60        |
| Methan        | 17        |
| Freony        | 11        |
| Ozón          | 8         |
| Oxid dusný    | 4         |

Jednotlivé plyny mají různou účinnost oteplování: jestliže potenciál CO<sub>2</sub> je považován za rovný jedné, pak methanu činí asi 15 a freonu CHF<sub>3</sub> již 260.

Důsledky oteplování jsou očekávány s obavami, proto probíhají – i když zatím málo úspěšně – politická jednání o snížení emisí skleníkových plynů.

## 14. ANGLICKO-ČESKÝ A ČESKO-ANGLICKÝ TERMINOLOGICKÝ SLOVNÍČEK

Do tohoto slovníčku jsou zařazeny termíny uvedené v tomto skriptu a další, které se často vyskytují v literatuře o přírodních organických sloučeninách. Nejsou uvedeny ty, které se od termínů používaných v češtině liší jen pravopisem a jsou tedy srozumitelné (např. accumulation, phenylalanine či hydrolysis).

|                                |                                       |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| Acid                           | kyselina                              |
| acidity                        | kyselost                              |
| agent                          | činidlo                               |
| alkalinity                     | zásaditost, alkalita                  |
| amino acid                     | aminokyselina                         |
| availability                   | využitelnost                          |
| Bile                           | žluč                                  |
| bile acid                      | žlučová kyselina                      |
| bile pigment                   | žlučové barvivo                       |
| bond                           | vazba                                 |
| butyric acid                   | kyselina máselná                      |
| Chain                          | řetězec (uhlíkový)                    |
| carbohydrate                   | sacharid, cukr                        |
| cell                           | buňka                                 |
| cell wall                      | buněčná stěna                         |
| cleavage                       | štěpení                               |
| composite (e.g. protein)       | složený (např. protein)               |
| composition                    | složení                               |
| compound                       | sloučenina, chemická látka            |
| constituent                    | složka, součást                       |
| content                        | obsah                                 |
| crop                           | plodina                               |
| decomposition                  | rozklad                               |
| Degradation                    | odbourávání                           |
| degree                         | stupeň                                |
| density                        | hustota                               |
| determination                  | stanovení (určení obsahu)             |
| dose                           | dávka                                 |
| double bond                    | vazba dvojná                          |
| dry matter                     | sušina                                |
| Erucic acid                    | kyselina eruková                      |
| essential                      | esenciální, nepostradatelný, nezbytný |
| evaluation                     | ocenění, posouzení, (z)hodnocení      |
| evaporation                    | odpařování                            |
| Fatty acid                     | masťná kyselina                       |
| fertilizer                     | hnojivo                               |
| fibre                          | vláknina                              |
| foam                           | pěna                                  |
| formula ( <i>pl.</i> formulae) | vzorec, vzorce (neprav. mn.č.)        |

|                        |                                       |
|------------------------|---------------------------------------|
| free                   | volný, chemicky nevázaný              |
| Gaseous                | plynný (o skupenství)                 |
| goitrogen              | strumigenní látka                     |
| greenhouse effect      | skleníkový efekt                      |
| Haem                   | hem                                   |
| heating                | záhřev, zahřívání                     |
| humidity               | vlhkost                               |
| hydrocarbon            | uhlovodík                             |
| Impurity               | nečistota                             |
| indispensable          | esenciální, nepostradatelný, nezbytný |
| isoelectric point      | isoelektrický bod                     |
| Lactic acid            | kyselina mléčná                       |
| linoleic acid          | kyselina linolová                     |
| linolenic acid         | kyselina linolenová                   |
| liquid                 | kapalina, kapalný                     |
| long chain fatty acid  | vyšší mastná kyselina                 |
| Malic acid             | kyselina jablečná                     |
| mixture                | směs                                  |
| Natural                | přírodní, přirozený                   |
| nutrient               | živina                                |
| Occurrence             | výskyt                                |
| oxalic acid            | kyselina šťavelová                    |
| Peptide bond           | peptidová vazba                       |
| phytic acid            | kyselina fytová                       |
| pigment                | barvivo (přírodní)                    |
| plant                  | rostlina                              |
| point                  | bod                                   |
| pollution              | znečištění                            |
| primary                | primární                              |
| property               | vlastnost                             |
| Quarternary            | kvarterní                             |
| quencher               | lapač, zhášec                         |
| Rancidity              | žluklost                              |
| resin                  | pryskyřice                            |
| Sample                 | vzorek                                |
| sampling               | vzorkování, odebírání vzorků          |
| saponification         | zmýdelňování, zmýdelnění              |
| saturated              | nasycený                              |
| scavanger              | lapač, zhášec                         |
| secondary              | sekundární                            |
| short chain fatty acid | nižší mastná kyselina                 |
| simple (e.g. protein)  | jednoduchý (např. protein)            |
| single bond            | vazba jednoduchá                      |
| soap                   | mýdlo                                 |
| solid                  | pevná látka, pevný (o skupenství)     |
| soluble                | rozpustný                             |
| solution               | roztok, řešení                        |
| solvent                | rozpouštědlo                          |



|                             |                       |
|-----------------------------|-----------------------|
| starch                      | škrob                 |
| <b>Tannins</b>              | třísloviny            |
| tertiary                    | terciární             |
| triple bond                 | vazba trojná          |
| <b>Unit</b>                 | jednotka (fyzikální)  |
| unsaturated                 | nenasycený            |
| <b>Vapour</b>               | pára                  |
| volatile                    | těkavá látka, těkavý  |
| volatile oil                | silice, éterický olej |
| <b>Wax</b>                  | vosk                  |
| weight                      | hmotnost              |
| <b>Zero point of charge</b> | isoelektrický bod     |

|                                              |                                         |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Aminokyselina</b>                         | amino acid                              |
| <b>Barvivo (přírodní)</b>                    | pigment                                 |
| bod                                          | point                                   |
| buněčná stěna                                | cell wall                               |
| buňka                                        | cell                                    |
| <b>Činidlo</b>                               | agent                                   |
| <b>Dávka</b>                                 | dose                                    |
| <b>Esenciální, nepostradatelný, nezbytný</b> | essential, indispensable                |
| <b>Hem</b>                                   | haem                                    |
| hmotnost                                     | weight                                  |
| hnojivo                                      | fertilizer                              |
| hustota                                      | density                                 |
| <b>Isoelektrický bod</b>                     | isoelectric point, zero point of charge |
| <b>Jednoduchý (např. protein)</b>            | simple (e.g. protein)                   |
| jednotka (fyzikální)                         | unit                                    |
| <b>Kapalina, kapalný</b>                     | liquid                                  |
| kvarterní                                    | quaternary                              |
| kyselina                                     | acid                                    |
| kyselina eruková                             | erucic acid                             |
| kyselina fytoová                             | phytic acid                             |
| kyselina jablečná                            | malic acid                              |
| kyselina linolenová                          | linolenic acid                          |
| kyselina linolová                            | linoleic acid                           |
| kyselina máselná                             | butyric acid                            |
| kyselina mléčná                              | lactic acid                             |
| kyselina šťavelová                           | oxalic acid                             |
| kyselost                                     | acidity                                 |
| <b>Lapač, zhášec</b>                         | quencher, scavenger                     |
| <b>Mastná kyselina</b>                       | fatty acid                              |
| mýdlo                                        | soap                                    |
| <b>Nasycený</b>                              | saturated                               |
| nečistota                                    | impurity                                |
| nenasycený                                   | unsaturated                             |

|                                   |                          |
|-----------------------------------|--------------------------|
| nižší mastná kyselina             | short chain fatty acid   |
| <b>Obsah</b>                      | content                  |
| ocenění, posouzení, (z)hodnocení  | evaluation               |
| odbourávání                       | degradation              |
| odpařování                        | evaporation              |
| <b>Pára</b>                       | vapour                   |
| pěna                              | foam                     |
| peptidová vazba                   | peptide bond             |
| pevná látka, pevný (o skupenství) | solid                    |
| plodina                           | crop                     |
| plynný (o skupenství)             | gaseous                  |
| primární                          | primary                  |
| pryskyřice                        | resin                    |
| přírodní, přirozený               | natural                  |
| <b>Rostlina</b>                   | plant                    |
| rozklad                           | decomposition            |
| rozpouštědlo                      | solvent                  |
| rozpustný                         | soluble                  |
| roztok                            | solution                 |
| <b>Řetězec (uhlíkový)</b>         | chain                    |
| <b>Sacharid, cukr</b>             | carbohydrate             |
| sekundární                        | secondary                |
| silice, éterický olej             | volatile oil             |
| skleníkový efekt                  | greenhouse effect        |
| sloučenina, chemická látka        | compound                 |
| složení                           | composition              |
| složený (např. protein)           | composite (e.g. protein) |
| složka, součást                   | constituent              |
| směs                              | mixture                  |
| stanovení (určení obsahu)         | determination            |
| strumigenní látka                 | goitrogen                |
| stupeň                            | degree                   |
| sušina                            | dry matter               |
| <b>Škrob</b>                      | starch                   |
| štěpení                           | cleavage                 |
| <b>Těkavá látka, těkavý</b>       | volatile                 |
| terciární                         | tertiary                 |
| třísloviny                        | tannins                  |
| <b>Uhlovodík</b>                  | hydrocarbon              |
| <b>Vazba</b>                      | bond                     |
| vazba dvojná                      | double bond              |
| vazba jednoduchá                  | single bond              |
| vazba trojná                      | triple bond              |
| vláknina                          | fibre                    |
| vlastnost                         | property                 |
| vlhkost                           | humidity                 |
| volný, chemicky nevázaný          | free                     |
| vosk                              | wax                      |

|                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|
| výskyt                         | occurrence                     |
| vyšší mastná kyselina          | long chain fatty acid          |
| využitelnost                   | availability                   |
| vzorec, vzorce (neprav. mn.č.) | formula ( <i>pl.</i> formulae) |
| vzorek                         | sample                         |
| vzorkování, odebírání vzorků   | sampling                       |
| Záhřev, zahřívání              | heating                        |
| zásaditost, alkalita           | alkalinity                     |
| zmýdelňování, zmýdelnění       | saponification                 |
| znečistění                     | pollution                      |
| Živina                         | nutrient                       |
| žluč                           | bile                           |
| žlučová kyselina               | bile acid                      |
| žlučové barvivo                | bile pigment                   |
| žluklost                       | rancidity                      |



## 15. SLOVNÍČEK ČÁSTÍ CIZÍCH SLOV

V tomto slovníčku jsou uvedeny předpony a počáteční či koncové části slov s významy, které se vyskytují v tomto skriptu, příp. v celém předmětu. Jejich využití by mělo pomoci orientovat se v častěji se vyskytujících cizojazyčných termínech.

Různé způsoby pravopisu jsou uvedeny v závorkách.

|                       |                                            |
|-----------------------|--------------------------------------------|
| a-, an-               | předpona záporu, ne-                       |
| acido-                | kyselina, kyselý, kyselino-                |
| akva- (aqua-)         | voda, vodní                                |
| algo-                 | vodní řasa, řasový                         |
| allo- (alo-)          | jiný, odlišný                              |
| amfi-, amfo-          | dvojaký, dvoustranný, obojaký, zdvojený    |
| anti-, ant-           | proti-, protiklad, opak                    |
| auto-                 | sám, vlastní, původní                      |
| bi-, bis-, bin-       | dvakrát, dvojité                           |
| cyto-                 | buňka, buněčný                             |
| de-, des- (dez-)      | předpona od, z, pryč                       |
| dys-                  | zeslabení, vada, porucha                   |
| endo-, ento-          | uvnitř, vnitřní                            |
| enter-, entero-       | střevo, střevní                            |
| epi-                  | předpona na-, nad-, po-, při-              |
| ex-                   | u sloves předpona z, ze, ven, vzhůru       |
| exo-                  | zevně, mimo                                |
| ferri- (feri)         | železo, železitý                           |
| ferro- (fero-)        | železo, železnatý                          |
| fibr-                 | vazivo, vazivový                           |
| -fikace               | činnost, utváření                          |
| -filní                | milující (-milný), příznivý (vůči něčemu)  |
| -fobní                | odpuzející, -odpudivý                      |
| foto-                 | světlo, světelný                           |
| fyto-, -fytní         | rostlina, rostlinný                        |
| -genní                | způsobující, působící, jakého rodu (-rodý) |
| geo-                  | Země, zemský                               |
| halo-                 | solný, obsahující halogeny                 |
| hemi- (srovnej semi-) | polovina, poloviční                        |
| hemo- (haemo-)        | krev, krevní                               |
| hepato-               | játra, jaterní                             |
| hetero-               | jiný, různý                                |
| histo-                | tkáň, tkáňový                              |
| homo-                 | 1. shodný, totožný<br>2. člověk            |
| hydro-                | voda, vodní                                |
| hydrogen              | vodík                                      |
| hyper-                | velký, nadbytečný                          |
| hypo-                 | malý, nedostatečný, dolní                  |
| chol-, chole-         | žlučový, žlučnickový                       |
| chondro-              | chrupavka, chrupavčitý                     |

|                          |                                      |
|--------------------------|--------------------------------------|
| chromo-, chromato-       | barva, barvivo, barevný              |
| i-, in-                  | předpona záporu, ne-                 |
| <i>in vitro</i>          | mimo živé tělo, „ve zkumavce“        |
| <i>in vivo</i>           | v živém těle, zaživa                 |
| infra-                   | nízko, dole, pod                     |
| iso- (izo-), isa- (iza-) | stejný, shodný                       |
| kalci-                   | vápník, vápenatý, vápenec, vápencový |
| karcino-, kancero-       | rakovina, rakovinový                 |
| kardio-, kardi-          | srdce, srdeční                       |
| ko-, kon-                | předpona s, spolu                    |
| kon-                     | spolu, s, se                         |
| kryo-                    | mráz, nízká teplota                  |
| lakto-                   | mléko, mléčný                        |
| leuko-                   | bílý, světlý                         |
| lipo-                    | tuk, tukový                          |
| -lýza, -lytický          | rozklad(ný), štěpení, štěpící        |
| melano-, mela-           | tmavý, černý                         |
| -mer                     | -násobek                             |
| meso- (mezo-)            | střední, prostřední                  |
| meta-                    | přes, za, po, mezi, vně, mimo        |
| morfo-, -morfie          | tvář, tvarový, tvárnost              |
| muta-                    | mění se, proměnlivý                  |
| myko-                    | plíseň, houba                        |
| myo-                     | sval, svalový                        |
| nefro-                   | ledvina, ledvinový                   |
| nukleo-                  | jádro, jaderný                       |
| oleo-                    | olej, olejový                        |
| oligo-, olig-            | nečetný, nemnohý                     |
| pan-                     | předpona vše, veškerý                |
| poly-                    | mnoho, hojný, mnohonásobný           |
| psychro-                 | chladný, vlhký                       |
| pyro-                    | oheň, žár, tepelný                   |
| re-, red-                | předpona opět, znovu, zpět, vzad     |
| semi- (srovnej hemi-)    | polovina, poloviční                  |
| sub-                     | předpona pod, dole, nižší, menší než |
| tauto-                   | stejný, shodný                       |
| thio- (tio-)             | obsahující síru, sirný               |
| trans-                   | přes, napříč                         |
| xeno-                    | cizí                                 |
| xero-                    | suchý, suchost                       |
| xylo-                    | dřevo, dřevěný                       |

|                 |                |                            |          |
|-----------------|----------------|----------------------------|----------|
| <b>A</b>        |                | flavonoidní                | 89       |
|                 |                | pterinová                  | 90       |
|                 |                | pyrrolová                  | 87       |
|                 |                | žlučová                    | 88       |
| aflatoxiny      | 92,93          | benzo[a]pyren              | 104      |
| agary           | 64             | betalainy                  | 90       |
| aglykon         | 65,68,79,89    | betanin                    | 90       |
| aktin           | 24             | bilirubin                  | 88       |
| alanin          | 12,17,18       | biliverdin                 | 88       |
| albuminy        | 24             | biogenní aminy             | 31,82    |
| alditoly        | 54             | biochanin A                | 95       |
| algináty        | 64             | bionafta                   | 40       |
| amanitiny       | 30             | bioplyn                    | 62       |
| amfolyt         | 16             | botulotoxin                | 30,91    |
| aminocukry      | 54,56          | buničina                   | 61       |
| aminokyseliny   |                |                            |          |
| limitující      | 17,18          |                            |          |
| proteinogenní   | 17             |                            |          |
| amygdalin       | 67             | <b>C</b>                   |          |
| amylopektin     | 60             | cellobiosa                 | 59,62    |
| amylosa         | 60             | celulosa                   | 61       |
| anabasin        | 85             | cerebrosidy                | 34       |
| anagyrin        | 85             | citrullin                  | 20       |
| anatabin        | 85             | cukr mléčný                | 58       |
| androgeny       | 79             | cukr sladový               | 58       |
| androsteron     | 79             | cyklitoly                  | 54       |
| anomery         | 50             | cystein                    | 12,17    |
| anserin         | 23             | cystin                     | 19,28    |
| anthokyanidiny  | 90             | cytokininy                 | 97       |
| antibiotika     | 23,97          |                            |          |
| antikarcinogeny | 95             | <b>D</b>                   |          |
| antioxidanty    | 45,77,89,97,98 | daidzein                   | 95       |
| antivitaminy    | 92             | DDT                        | 101      |
| apigenin        | 89             | deaminace aminokyselin     | 31       |
| arginin         | 14,17,28       | dekarboxylace aminokyselin | 31       |
| asparagin       | 15,17          | delfinidin                 | 90       |
| aspartam        | 23             | denaturace bílkovin        | 27       |
| atropin         | 86             | deoxycukry                 | 54,56    |
| aurony          | 90             | deoxynivalenol             | 93       |
| auxiny          | 97             | dextran                    | 64       |
|                 |                | dextriny                   | 60,61    |
| <b>B</b>        |                | DHA                        | 35,36,39 |
| bacitracin      | 23             | dhurrin                    | 67       |
| barviva         |                | digitoxin                  | 68       |
| anthokyanová    | 90             | dihydroxyaceton            | 47       |
| betalainová     | 90             | dioxiny                    | 102,103  |
| chinoidní       | 90             |                            |          |

| <b>E</b>              |          | <b>G</b>          |                            |
|-----------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| eikosanoidy           | 39       | galaktosa         | 47,54,58                   |
| elastin               | 24       | genin             | 65                         |
| emulgátory            | 81,97,99 | genistein         | 95                         |
| EPA                   | 35,36,39 | gestageny         | 79                         |
| epimery               | 49       | gibereliny        | 97                         |
| equol                 | 95       | gliadiny          | 24                         |
| ergobasin             | 85       | globuliny         | 24                         |
| ergokalciferol        | 79       | glukany           | 60,61                      |
| ergosterol            | 80       | glukobrassicin    | 66                         |
| ergot                 | 80,85    | glukonapin        | 65                         |
| ergotamin             | 85       | glukosinoláty     | 65,66                      |
| estradiol             | 79       | glutamin          | 15,17                      |
| estrogeny             | 79,95    | glutathion        | 23                         |
|                       |          | gluteliny         | 24                         |
| <b>F</b>              |          | glyceraldehyd     | 47                         |
| fagopyrin             | 90,92    | glycerolfosfatidy | 34                         |
| falloidiny            | 30       | glycin            | 12,16,17                   |
| Fehlingovo činidlo    | 53       | glykany           | 46,59                      |
| fenylalanin           | 12,17    | glykoalkaloidy    | 83                         |
| feofytiny             | 88       | glykogen          | 63                         |
| ferritin              | 24       | glykolipidy       | 34,44,46                   |
| flavan                | 71       | glykoproteiny     | 46,64                      |
| flavonol              | 89       | glykosidy         | 46,52,56,65,66,67,68,89,91 |
| flaven                | 89       | kardiotonické     | 68                         |
| flavonoly             | 89       | kyanogenní        | 65,67,91                   |
| flavony               | 89       | glykosyl          | 58                         |
| formononetin          | 95       | gonan             | 79,83                      |
| fosfatidylethanolamin | 44       | gossypol          | 90                         |
| fosfatidylcholin      | 44       | guanin            | 90                         |
| fosfatidylinositol    | 44       | gumy rostlinné    | 53,63                      |
| fosfatidylserin       | 44       |                   |                            |
| fosfolipidy           | 34,43,44 | <b>H</b>          |                            |
| freony                | 103      | halony            | 103                        |
| fruktany              | 61       | hederagenin       | 68                         |
| ftaláty               | 105      | helix             | 25                         |
| furanokumariny        | 92       | hem               | 87,88                      |
| furanosy              | 49,50    | hematin           | 88                         |
| fykobiliny            | 89       | hemiacetal        | 49                         |
| fytáty                | 96       | hemicelulosity    | 62,73                      |
| fytin                 | 96       | hemoglobin        | 24,26,87                   |
| fytoestrogeny         | 69,92,95 | heparin           | 64                         |
| fytohemaglutininy     | 30       | heterolipidy      | 34,43,44                   |
| fytosteroly           | 80       | hexosany          | 59                         |



|                   |          |
|-------------------|----------|
| HCH               | 101      |
| histamin          | 31       |
| histidin          | 13,17,31 |
| histony           | 24       |
| homoaminokyseliny | 21       |
| homocystein       | 20,21    |
| homolipidy        | 33       |
| homoserin         | 20,21    |
| hydroxylin        | 19,21    |
| hyoscyamin        | 86       |
| hypericin         | 90,92    |

## CH

|                    |          |
|--------------------|----------|
| chaconin           | 83       |
| chalkony           | 90       |
| chinin             | 85       |
| chitin             | 57,63    |
| chitosamin         | 57       |
| chlorofyl          | 76,88    |
| cholekalciferol    | 79       |
| cholesterol        | 44,79,80 |
| chondroitinsulfáty | 64       |
| chondrosamin       | 57       |
| chromoproteiny     | 24       |
| chrysen            | 104      |
| chymotrypsin       | 28       |

## I

|                   |       |
|-------------------|-------|
| imunoglobuliny    | 24    |
| indigo            | 90    |
| inositoly         | 55    |
| insulin           | 23    |
| inulin            | 60,61 |
| isoelektrický bod | 17    |
| isoleucin         | 15,17 |
| isothiokyanáty    | 66    |

## K

|             |       |
|-------------|-------|
| kadaverin   | 31    |
| kalciferoly | 79    |
| kampesterol | 80    |
| kapsaicin   | 82,85 |
| karagenany  | 64    |
| karnosin    | 23    |
| kasein      | 24    |

|                  |          |
|------------------|----------|
| katechin         | 71       |
| kefalin          | 44       |
| kemferol         | 89       |
| keratin          | 24       |
| klih             | 28       |
| klovatiny        | 63       |
| kodein           | 86       |
| koferin          | 82,85    |
| kokarcinogeny    | 94       |
| kolagen          | 24,28    |
| kolamin          | 44       |
| kolchicin        | 86       |
| koniferylalkohol | 72,73    |
| koniin           | 85       |
| kortikoidy       | 79       |
| kumarylalkohol   | 72,73    |
| kumestrol        | 95       |
| kvercetin        | 89       |
| kyanidin         | 90       |
| kyanoalanin      | 29       |
| kyselina         |          |
| akonitová        | 96       |
| aldarová         | 55       |
| aldonová         | 55       |
| alduronová       | 55       |
| aminomáselná     | 20,21    |
| arachidonová     | 35,39    |
| arachová         | 35       |
| asparagová       | 15,17    |
| benzoová         | 21,73    |
| cerotová         | 35       |
| deoxycholová     | 81       |
| digallová        | 70       |
| elaidová         | 35,36    |
| ellagová         | 70       |
| eruková          | 35,36    |
| ferulová         | 73,74    |
| fosfatidová      | 43       |
| fytová           | 96       |
| galakturonová    | 56,62    |
| gallová          | 70,73    |
| glukuronová      | 56       |
| glutamová        | 15,17,19 |
| hippurová        | 20,21    |
| hyaluronová      | 64       |

|               |          |
|---------------|----------|
| cholanová     | 81       |
| cholová       | 81       |
| kávová        | 73       |
| kumarová      | 73,74    |
| laurová       | 35       |
| linolenová    | 36       |
| linolová      | 35,36,40 |
| litocholová   | 81       |
| lysergová     | 85       |
| medikagenová  | 68       |
| močová        | 90       |
| myristová     | 35       |
| palmitolejová | 35,36    |
| palmitová     | 35,36    |
| sinapová      | 73,74    |
| skořicová     | 73       |
| sorbová       | 97       |
| stearová      | 35,36    |
| šťavelová     | 96       |
| vanilinová    | 73       |
| kyseliny      |          |
| mastné        | 34,35,79 |
| žlučové       | 79,81,99 |

## L

|                       |                |
|-----------------------|----------------|
| laktasa               | 58             |
| laktosa               | 58             |
| laktosová intolerance | 59             |
| lanolin               | 42             |
| lecithiny             | 44,98,99       |
| lektiny               | 30             |
| leptiny               | 83             |
| leucin                | 14,17          |
| lignany               | 69,74          |
| lignin                | 61,69,72,73    |
| linamarin             | 67             |
| lipamidy              | 34             |
| lipasy                | 40             |
| lipoproteiny          | 34,44          |
| lotaustralin          | 67             |
| lupanin               | 85             |
| luteolin              | 89             |
| luteoskyrin           | 94             |
| lysin                 | 14,17,18,28,31 |

## M

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| maltodextriny     | 61          |
| maltosa           | 58          |
| malvidin          | 90          |
| manitol           | 54          |
| melaniny          | 90          |
| mellitiny         | 30          |
| metaloproteiny    | 24          |
| methanol          | 63          |
| methemoglobin     | 88          |
| methionin         | 13,17,18    |
| micely            | 37          |
| morfin            | 86          |
| mukolipidy        | 34          |
| mukopolysacharidy | 64          |
| mutarotace        | 51,65       |
| mýdla             | 33,36,37,40 |
| mykosteroly       | 80          |
| mykotoxiny        | 91,92,93,94 |
| myoglobin         | 24,26,87    |
| myosin            | 24          |
| myricetin         | 89          |

## N

|             |          |
|-------------|----------|
| námel       | 80,85    |
| narkotin    | 82       |
| nikotin     | 82,84,85 |
| nisin       | 23       |
| nitrily     | 66       |
| nitrosaminy | 94       |
| nornikotin  | 85       |

## O

|                  |          |
|------------------|----------|
| ochratoxiny      | 93       |
| ornithin         | 20,21,31 |
| ovomukoid        | 24       |
| oxazolidinthiony | 66       |
| oxytocin         | 23       |

## P

|             |    |
|-------------|----|
| palustrin   | 86 |
| papaverin   | 86 |
| parasiticol | 93 |
| patulin     | 93 |

|                                    |             |                  |          |
|------------------------------------|-------------|------------------|----------|
| pektiny                            | 60,62,63    | selenocystein    | 29       |
| pelargonidin                       | 89          | selenomethionin  | 29       |
| pentosany                          | 59,62       | senecionin       | 85       |
| pepsin                             | 28          | serin            | 12,17    |
| perlolin                           | 85          | sexogeny         | 79       |
| petunidin                          | 90          | sfgolipidy       | 44       |
| piperidin                          | 85          | sfgomyeliny      | 34       |
| piperin                            | 85          | sinalbin         | 66       |
| plasmalogeny                       | 44          | sinapiny         | 69,74    |
| polycyklické aromatické uhlovodíky | 104         | sinapylalkohol   | 72,73    |
| polychlorované bifenyly            | 101         | sinigrin         | 66       |
| polymyxin                          | 23          | sitosterol       | 80       |
| progesteron                        | 79          | skleníkové plyny | 106      |
| progoitrin                         | 66          | skleroproteiny   | 24,28    |
| prokarcinogeny                     | 95          | slizy            | 53,63,64 |
| prolaminy                          | 24          | SMCO             | 29       |
| prolin                             | 11,14,16,17 | sojasapogenoly   | 68       |
| prostaglandiny                     | 39          | solanidin        | 83       |
| protaminy                          | 24          | solanin          | 84       |
| proteolipidy                       | 34          | sorbitol         | 54       |
| proteosyntéza                      | 17          | spartein         | 85       |
| protoalkaloidy                     | 82          | steran           | 79       |
| protopektin                        | 62          | sterigmatocystin | 94       |
| protoporfyrin                      | 87,88       | sterkobilin      | 88       |
| pseudoalkaloidy                    | 82          | stigmaterol      | 80       |
| psoralen                           | 92          | strumigeny       | 66,96    |
| putrescin                          | 31          | sulfolipidy      | 34,44    |
| pyranosy                           | 49,50       |                  |          |
| pyren                              | 104         |                  |          |

## R

|                    |       |
|--------------------|-------|
| rafinosa           | 59    |
| reakce Maillardova | 53    |
| reesterifikace     | 40    |
| repensol           | 95    |
| rhamnosa           | 56    |
| ribosa             | 47,53 |
| ribulosa           | 47,53 |

## S

|             |          |
|-------------|----------|
| sacharosa   | 58,99    |
| sambunigrin | 67       |
| sapogenin   | 67       |
| sapogenol   | 67       |
| saponiny    | 65,67,91 |

## Š

|       |       |
|-------|-------|
| škrob | 59,60 |
|-------|-------|

## T

|                  |       |
|------------------|-------|
| testosteron      | 79    |
| thebain          | 86    |
| theobromin       | 85    |
| theofylin        | 85    |
| thioglukosidy    | 65    |
| thiokyanáty      | 66    |
| threonin         | 13,17 |
| thyroxin         | 20,21 |
| tomatin          | 84    |
| triacylglyceroly | 39    |
| trifoliol        | 95    |
| triglochinin     | 67    |
| trijódthyronin   | 20,21 |

|                  |          |
|------------------|----------|
| tromboxany       | 39       |
| trypsin          | 28       |
| tryptofan        | 13,17    |
| třísloviny       | 69-72,91 |
| tukové konstanty | 41,42    |
| tyramin          | 31       |
| tyrosin          | 13,17,31 |

## U

|          |    |
|----------|----|
| urobilin | 88 |
|----------|----|

## V

|             |                |
|-------------|----------------|
| valin       | 14,17,21       |
| vasopresin  | 23             |
| vazba       |                |
| glykosidová | 57             |
| peptidová   | 21             |
| vomitoxin   | 93             |
| vorvaňovina | 43             |
| vosky       | 33,34,42,43,45 |

|                  |    |
|------------------|----|
| vzorce sacharidů |    |
| Fischerovy       | 49 |
| Haworthovy       | 51 |
| Tollensovy       | 50 |

## X

|             |       |
|-------------|-------|
| xanthan     | 64    |
| xanthin     | 90    |
| xenobiotika | 100   |
| xylosa      | 47,62 |

## Z

|                   |       |
|-------------------|-------|
| zearalenon        | 93,94 |
| zmýdelňování tuků | 40    |
| zoosteroly        | 80    |
| ztužování tuků    | 37,41 |

## Ž

|               |       |
|---------------|-------|
| želatina      | 28    |
| žluknutí tuků | 38,41 |