

2. přednáška

Téma přednášky:

1. Dusíkaté látky a jejich význam ve výživě zvířat
2. Lipidy a jejich význam ve výživě zvířat

Cíl přednášky:

První část druhé přednášky bude zaměřena na bílkoviny a aminokyseliny. Studenti se seznámí se stavbou bílkovin a aminokyselin a s jejich fyzikálními a chemickými vlastnostmi, s jejich syntézou a hydrolýzou. Pozornost bude rovněž věnována významu a potřebě bílkovin ve výživě zvířat.

Ve druhé části přednášky budou studenti podrobně informováni o fyzikálních a chemických vlastnostech jednotlivých typů tuků. Budou seznámeni s jejich strukturou, syntézou a hydrolýzou. Pozornost bude rovněž věnována významu a potřebě tuků ve výživě zvířat.

Dusíkaté látky

Dusíkaté látky (NL) v krmivu se nejčastěji stanovují **metodou dle KJELDAHLA**, přičemž se dusík násobí faktorem dusíku.

Dusíkaté látka se dělí:

1. Bílkoviny – se stanovují ve dvou fázích a) vysrážení bílkovin metodou dle Barnsteina
b) stanovení dusíku metodou dle Kjeldahla
2. Dusíkaté látky nebílkovinné

Bílkoviny

Bílkoviny (proteiny – z řeckého proteios = prvořadý) jsou základní látkou jakéhokoliv živého systému. Jsou to vysokomolekulární látky složené z 20 aminokyselin.

Bílkoviny jsou polymery stavebních složek - aminokyselin, které vznikly procesem proteosyntézy v buněčných organelách, které nazýváme **ribosomy**.

Bílkoviny obsahují v molekule většinou od 100 do 1000000 aminokyselin, vzájemně provázaných **peptidovými vazbami**. Význačnější roli ve výživě zvířat představuje cca 20 aminokyselin a z nich **10 esenciálních aminokyselin,** které musí zvíře dostat potravou (nedokáže si je syntetizovat v játrech ze složek nebílkovinné povahy transaminací). Příjem bílkovin potravou je nezbytným zdrojem dusíku a síry a esenciálních aminokyselin, které si živočišný organismus není schopen vytvořit endogenně.

Bílkoviny tvoří, vedle vody většinu hmoty živých organismů.

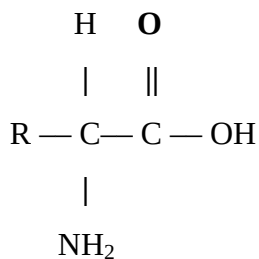
Podle **biologické funkce,** kterou vykonávají se rozlišují na **proteiny strukturální** (tvoří stavební části živočišných pletiv – tkáně a orgány), **katalytické (enzymy), transportní** (umožňující přenos dalších sloučenin-například hemoglobin pro přenos kyslíku), **pohybové** (například svalové aktiny, myozin, aktomyozin), **obranné (imunoglobuliny - protilátky), zásobní (ferritin aj.), regulační (hormony) a konečně výživové (hlavní zdroj dusíku v potravě - aminokyseliny sloužící k výstavbě a obnově tkání).**

Základním stavebním kamenem jsou **aminokyseliny**

Esenciální (nepostradatelné) – lysin, metionin, treonin, tryptofan, fenylalanin, valin, leucin, isoleucin, arginin, histidin

Non esenciální (postradatelné) – tyrozin, cystin, cystein, alenin, serin, kyselina asparagová, asparagin, kyselina glutamová, glutamin, prolin, hydroxyprolin

Základní vzorec všech aminokyselin



R = organický radikál, kterým se aminokyseliny od sebe odlišují

NH₂ = aminová skupina

COOH = karboxylová skupina

Živočišný organismus je závislý na pravidelném a vyrovnaném přísunu aminokyselin, neboť dokáže vytvářet **zásobu aminokyselin pouze na jeden den a to v játrech**. Tuto jednodenní zásobu aminokyselin nazýváme **aminokyselinový pool**. Zbylé aminokyseliny je organismus nucen odbourat. Zásoby tělesného proteinu a aminokyselin představují vedle aminokyselinového poolu i svaly, dále proteiny a aminokyseliny v krevní plazmě a v trávicí soustavě. Z tohoto důvodu se aminokyseliny konzumované v nadbytku neskladují a jsou degradovány za vzniku urey a ketokyselin, užívaných jako přímý zdroj energie, ke glukoneogenezi a přeměně na tuk.

Proteosyntéza = proces tvorby bílkovin řetěžením aminokyselin

- ribosomy
- endoplasmatické retikulum
- zákon minima
- limitující aminokyselina

Degradace a resyntéza bílkovin probíhá v těle nepřetržitě. Při resyntéze dochází k **ztrátám aminokyselin oxidačními pochody za vzniku metabolických produktů**: urey, kreatininu a dalších. Aminový dusík představuje 16 % hmotnosti proteinu. **Nejvýznamnější jsou ztráty dusíku močí, dále ve výkalech, potu, odloupaných epitelích a kožních derivátech.** Dusíková bilance je rozdíl mezi přijatým a vyloučeným dusíkem.

Zdroje aminokyselin ve výživě zvířat:

1. **Krmivo** – hydrolyza bílkovin na jednotlivé aminokyseliny
2. **Tkáňový rozklad bílkovin vlastního organismu**
3. **Transaminace** – z čpavku a příslušné ketokyseliny, za pomoci transamináz vznikne nová aminokyselina, kterou organismus potřebuje k výstavbě určité bílkoviny svého těla. Vzniká takto malé množství aminokyselin a to pouze aminokyseliny postradatelné.

Optimální je co největší shoda bílkoviny krmiva se skladbou bílkoviny, která v těle vzniká.

Stupeň využití aminokyselin (bílkovin) krmiva závisí na těch aminokyselinách, které jsou vzhledem k potřebě zvířete v minimu (Zákon minima)

Aminokyselina, která je z hlediska potřeby zvířete v minimu a určuje tak průběh proteosyntézy a kvalitu syntetizované bílkoviny je označována jako aminokyselina limitující.

Limitující aminokyselina obiloviny – lysin (Tr je druhou limitující aminokyselinou u pšenice a u kukuřice Trp), luštěnin – metionin.

Živočišný organismus by měl v krmivu přijímat dostatečné, ale ne nadbytečné množství bílkovin s optimálním složením aminokyselin, které budou organismem maximálně využity.

Obsah esenciálních aminokyselin krmiva by se měl co nejvíce blížit požadavkům zvířete

– dva způsoby (kombinace více krmiv s různým aminokyselinovým spektrem, včetně zařazení krmiv živočišného původu, zařazování syntetických doplňků aminokyselin, zejména Lys, Met, Thr, Trp.

Nadbytek bílkovin (dusíkatých látek) vede k přetížení detoxikační kapacity jater, deaminaci aminokyselin a poškozování vylučovacích systémů. Naopak deficit dusíkatých látek zpomaluje růst zvířat a zhoršuje konverzi krmiva.

Z hlediska příjmu bílkovin rozdělujeme bílkoviny podle původu na živočišné a rostlinné, kdy živočišné mají vyšší obsah a zároveň také většinou zastoupení všech esenciálních aminokyselin a jsou lépe vstřebatelné, na rozdíl od rostlinných bílkovin. **Výživová**

(biologická) hodnota každé bílkoviny se určuje pomocí tzv Essential Amino Acid Index

(EAAI) a aminokyselinového skóre. Aminokyselinové skóre (Chemical score) - poměrné zastoupením konkrétní, zpravidla esenciální aminokyseliny ve vyšetřované bílkovině ve srovnání s jejím zastoupením v referenčním proteinu, kterým je bílkovina vejce, mléka kravského a mléka prasnice. Ve výživě monogastrů je z hlediska dostupnosti určující příjem lysinu, dále aminokyselin obsahujících síru (methionin, cystein), treoninu a tryptofanu.

Činitelé ovlivňující potřebu a stravitelnost aminokyselin:

1. **Růst a hmotnost zvířete** – potřeba amk. u mláďat je větší než u dospělých zvířat
2. **Energetická hodnota krmné dávky** – se zvýšením en. hodnoty KD roste potřeba es. aminokyselin. Při nedostatku energie v KD dochází k deaminaci amk. a přeměně bezdusíkatého zbytku v energii.
3. **Hladina NL** – při vyšší hladině NL v KD stoupá potřeba es aminokyselin.
4. **Snížení hladiny nonesenciálních aminokyselin v KD** – jestliže hladina nones. aminokyselin v KD je nižší, nežli je potřeba k tvorbě tkání organismu, pak se zvyšuje potřeba es. aminokyselin. Část es. aminokyselin se mění v nones. aminokyselin, avšak omezeně. Zbývající potřeba nones. amk. je uhrazena organismem z ketokyselin transaminací.
5. **Stravitelnost aminokyselin** – velké rozdíly mezi krmivy.
 - inhibitory v sóji
 - Maillardova reakce – při nešetrném tepelném zpracování a dehydrataci dochází k tzv. neenzymatickému hnědnutí, kdy spolu reagují bílkoviny a cukry. Hnědnutí je způsobeno

vazbou volných aminoskupin v aminokyselinách bílkovin s cukry. Tato vazba je enzymorezistentní. Tato reakce postihuje především lysin – má vždy volnou aminoskupinu

- uzení masa – formaldehyd obsažený v kouři proniká do masa a snižuje celkovou využitelnost aminokyselin

Trávení a metabolismus bílkovin

Proces trávení bílkovin je enzymová hydrolýza, která probíhá na několika stupních, z nichž každý v jiné části trávicího ústrojí a reakce jsou katalyzovány jinými enzymy.

První stupeň trávení bílkovin začíná **v žaludku**, kde jsou vystaveny účinku žaludeční šťávy, jejíž pH je 1.5. Jejimi nejdůležitějšími složkami jsou voda, kyselina chlorovodíková a z proteolytických enzymů to jsou především **pepsin a rennin**. Působením pepsinu se dlouhé řetězce aminokyselin naštěpí na kratší úseky, které nazýváme polypeptidy.

Další proces trávení polypeptidů pokračuje **v tenkém střevě**. Zde se uplatňuje pankreatická šťáva (pH 7.5), která obsahuje dva významné proteolytické enzymy – **trypsin a chymotrypsin**. Působením těchto enzymů se polypeptidy štěpí na další kratší úseky oligopeptidy. V tenkém střevě kromě pankreatické šťávy působí také střevní šťáva. Ta obsahuje další specifické proteolytické enzymy, jako jsou **karboxypeptidázy, aminopeptidázy, dipeptidázy**. Uvedené enzymy štěpí oligopeptidy na jednotlivé aminokyseliny.

Aminokyseliny se vstřebávají v tenkém střevě a přecházejí vrátnicovým krevním oběhem do jater nebo do lymfatického oběhu. Nevstřebažené aminokyseliny nebo peptidy jsou dále v tlustém střevě metabolizovány střevní mikroflorou za vzniku produktů hnití (sulfan, indolové deriváty).

Přeměna a odbourávání nadbytečných aminokyselin

Aminokyseliny se mohou také vzájemně přeměňovat, přičemž se po odštěpení amoniaku získá uhlíkatý skelet molekuly, ten se přemění na jiný a ten dává pak s amoniakem jinou aminokyselinu (tento děj není možný u esenciálních aminokyselin). Tento proces se nazývá **transaminace** a je jedním ze tří způsobů odbourávání relativně nadbytečných aminokyselin.

Uhlíkaté skelety aminokyselin se také mohou odbourávat v citrátovém cyklu na oxid uhličitý a vodu, za uvolnění energie. Odbouraný amoniak se v trávicím systému přeměňuje na močovinu a jako součást moče se vyloučí z těla, uhlíkatý zbytek aminokyselin se může využít k syntéze lipidů nebo sacharidů. Takovýto způsob odbourávání aminokyselin označujeme jako **deaminaci (redukční a oxidační)**.

Třetím způsobem odbourávání aminokyselin je **dekarboxylace**, kdy odnětím oxidu uhličitého za pomoci dekarboxyláz se vytváří vysoce biologicky účinné látky, tzv. biogenní aminy:

Lysin – kadaverin, ornitin – putrescin, serin – etanolamin (složka fosfolipidů), cystein – cysteamin (složka koenzymu A), histidin – histamin (tkáňový hormon), tyrosin – tyramin (vliv na kontrakce dělohy), hydroxy-tryptofan – serotonin (tkáňový hormon)

Podle toho, jakým způsobem se aminokyseliny během energetického metabolismu odbourávají, se dělí na tyto skupiny:

- a) **glukogenní** – přeměňují se na glukózu (glycin, alanin, valin, kyselina asparagová a glutamová, serin, treonin, cystein, metionin, prolin, hydroxyprolin, arginin, histidin) a slouží tak k resyntézy glukózy (glukoneogeneze) a to přes látky typu pyruvát, oxalacetát, α – oxoglutarát, sukcinyl – Co A a fumarát.
- b) **ketogenní** – přeměňují se na acetyl Co A (leucin)
- c) **smíšené** – mohou se odbourávat oběma mechanismy (isoleucin, lysin, tryptofan, fenylalanin, tyrosin), tzn. že vznikat může jak acetyl Co A, tak i např. sukcinyl Co A nebo fumarát

Dusíkaté látky nebílkovinné povahy

- amidy (sole aminokyselin)
- nízkomolekulární peptidy
- "volné aminokyseliny
- nukleové látky (nukleové kyseliny, nukleotidy, nukleosidy, volné purinové a pyrimidinové base)

Energetický obsah je zanedbatelný, významnější z pohledu výživy je obsah dusíku.

Významnou skupinou patřící mezi dusíkaté látky nebílkovinné povahy jsou **dusičnany a dusitany obsažené v zelených a jiných krmivech a synteticky vyrobená močovina a amonné soli (síran amonný).**

Dusičnany a dusitany

Obsah dusičnanů je ovlivněn:

- přehnojení N ke krmným plodinám
- krmivo se seká brzy po podání velkých dávek hnojivého N
- snížená fotosyntéza
- stárí porostu

Nežádoucí změny způsobené zvýšeným přívodem N do porostu:

- snížení kvality NL (roste nebílkovinný dusík, bílkoviny jsou stejné)
- pokles energetické hodnoty zelené píče, snižuje se obsah BNLV
- v porostu se snižuje zastoupení luskovin a hodnotných bylin
- mírný pokles dojivosti
- pro rychlý růst rostlin dochází ke snížení akumulace stopových prvků
- zhoršené zabřezávání

Dusičnany jsou obsaženy především v lodyhách rostlin, hlavně ve spodní části, méně v horních částech rostlina a v listech. Květy, plody a podzemní části rostlin téměř neobsahují.

Krmiva, která mohou obsahovat velké množství dusičnanů – kukuřice, slunečnice, krmná kapusta, chrást cukrovky a řepy. Stářím rostliny obsah dusičnanů klesá.

Močovina a amonné soli (síran amonný)

Močovina je organická sloučenina uhlíku, kyslíku, vodíku a dusíku s funkčním vzorcem $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Obsahuje 46 % dusíku, což představuje ekvivalent 281 % dusíkatých látek. Pro zařazení močoviny do krmných dávek skotu však existuje řada pravidel a omezení. Močovina se jako krmivo může využívat **pouze u skotu s plně funkčními předžaludky.** To znamená, **nejdříve od 6. měsíce věku, lépe však až od jednoho roku.** Určité omezení pro zařazení močoviny představuje i složení krmných dávek (KD). KD s vysokým obsahem rozpustného proteinu v objemných krmivech neposkytují místo pro zařazení močoviny. Jedná se většinou o velmi vlhká objemná krmiva, kde může množství rozpustného proteinu dosahovat až 70 % z celkového proteinu. Rovněž dávky s vysokým zastoupením senáží (zejména vojtěškových) nejsou vhodné pro další přírůstek močoviny. Naopak dávky s vysokým podílem kukuřičné siláže poskytují prostor pro zařazení vyšších dávek močoviny. **U dospělých zvířat je maximální hodnota močoviny zařazené do KD 135 g/kus a den. U jalovic pak 50 – 80 g/kus a den. Obecně lze říci, že obsah močoviny by neměl přesáhnout 3 % v doplňkové krmné směsi.** Takto vnesený dusík by měl představovat maximálně 30 % z celkové potřeby dusíkatých látek. Důležitá je pomalá adaptace zvířete na příjem močoviny, může trvat až několik týdnů. Močovinu je vždy vhodné podávat zamíchanou do TMR a nikdy nesmí být podána zvířeti v nápoji. Močovina, jakožto syntetické dusíkaté krmivo bývá zkrmováno **nejčastěji býkům ve výkrmu.**

Močovina se v bacheru mění na CO_2 a amoniak. Za předpokladu, že v krmné dávce přežvýkavců je dostatek lehce využitelných sacharidů, využívá mikroflóra trávicího traktu vzniklý amoniak ke stavbě bílkovin těla. **Mikrobiální biomasa (bakterie a prvoci) je trávena v další části trávicího traktu jako bílkovinné krmivo.**

Vysoké dávky močoviny a amonných solí mohou způsobit těžké otravy. Dalším faktorem, který rozhoduje o vzniku otravy je způsob a technika podání syntetických krmiv. Močovina je v organismu rozkládána na amoniak, který ve zvýšeném množství je hlavní příčinou otravy. **Tyto otravy vznikají: a) zkrmováním velkého množství, b) nedokonalým zamícháním do krmné dávky, c) rozpuštěním ve vodě a vznikem**

vodného roztoku, d) nárazovým krmením, bez předchozího navykání zvířat na

močovinu. Pokud je močovina správně zkrmována a ve vhodném množství, nehrozí přežvýkavcům žádná rizika.

Vysoké dávky amoniaku jsou resorbovány bachorovou stěnou a amoniak je resorbován do krve. V důsledku tohoto jsou velmi těžce postižena játra, srdce, trávicí trakt a nervová soustava. **První příznaky otravy** se projevují do hodiny po zkrmování vysokých dávek je zastavení ruminace - nejsou slyšitelné bachorové ozvy, je porušena bachorová motorika. Prvním viditelným příznakem bývá velmi často velmi silné slinění, zvíře je apatické, má svalový třes, je možné pozorovat nadmutí - tympanii. Zvířata velmi často nepravidelně dýchají a jejich tep je vysoký (až 150 tepů za minutu). Rozvoj této otravy je velmi rychlý a úhyn může nastat v relativně velmi krátké době (do 30 až 60 minut) v závislosti na přijatém množství močoviny. Vysoká koncentrace amoniaku v bachoru vyvolává **bachorovou alkalózu**, takže **léčba** musí být rychlá a musí dosáhnout dosažení optimálního pH bachoru. Toto se zajišťuje podáním 8 % kvasného octu, který se dále musí ředit vodou (u skotu cca 0,75 l octu na 5 litrů vody). Vhodné je podání sacharidů do nálevu, které následně zajistí přirozenou úpravu pH bachoru. Opět je zde nutné podotknout, že základem úspěchu je konzultace s veterinárním lékařem a jeho fyzická přítomnost u zvířete a zahájení terapie. U velmi silných klinických projevů je aplikována infúze roztoku glukózy s přídavkem kofeinu. Základem předcházení otravy je zásada správného zkrmování močoviny, kterému předcházely postupný návyk.

Stanovení dusíkatých látek

Dusíkaté látky (NL) v krmivu se nejčastěji stanovují **metodou dle KJELDAHLA**, přičemž se dusík násobí příslušným **koeficientem dusíku** – **6,25**, který je odvozen ze skutečnosti, že bílkoviny obsahují 16 % dusíku (N). Tento koeficient je u některých krmiv odlišný (např. pro mléko je 6,38, živočišné moučky 6,0, obiloviny a mlýnská krmiva 5,75). Pokud jde o **kvalitu NL**, tak **u monogastrů** se využívají metody sledující stravitelnost - **SNL** (stravitelné dusíkaté látky) a metody sledující výsledky retence v organismu - **BHB (biologická hodnota bílkovin), PER (protein efficiency ratio)**.

Biologickou hodnotu bílkovin vypočteme dle vzorce

$$\text{BHB (\%)} = \frac{N_{\text{prij.}} - (N_{\text{vyk.}} - N_{\text{met.}}) - (N_{\text{moc.}} - N_{\text{end.}})}{N_{\text{prij.}} - (N_{\text{vyk.}} - N_{\text{met.}})} \cdot 100$$

$N_{\text{prij.}}$ = dusík přijatý v krmivu

$N_{\text{vyk.}}$ = dusík vyloučený v pevných výkalech

$N_{\text{met.}}$ = dusík metabolický

$N_{\text{moc.}}$ = dusík vyloučený ve formě kyseliny močové (moči)

$N_{\text{end.}}$ = dusík endogenní

PER (Protein efficiency ratio) – index účinnosti proteinu

$$\text{PER} = \frac{\text{Přírůstek hmotnosti v g}}{\text{Množství přijatých bílkovin v g}}$$

U přežvýkavců se hodnocení dusíkaté složky provádí podle skutečně stravitelných dusíkatých látek v tenkém střevě tzv. **PDI (protein digestible in the intestine)**. Hodnocení dusíkatých látek pro přežvýkavce je závislé na činnosti symbiotické mikroflory, jejich enzymatické aktivitě a vlastních trávicích enzymech přežvýkavců. Vytvořená bílkovina mikroorganismů tvoří potravu pro hostitele.

PDI

Pod pojmem PDI rozumíme dusíkaté látky skutečně stravitelné v tenkém střevě.

PDI je součtem dvou frakcí.

- a) **PDIA** - nedegradované dusíkaté látky krmiva v bachoru, ale skutečně stravitelné v tenkém střevě
- b) **PDIM** - mikrobiální proteiny skutečně stravitelné v tenkém střevě

Vzhledem k tomu, že každé krmivo poskytuje bachorovým mikroorganismům pro zabezpečení proteosyntézy degradovatelné dusíkaté látky a využitelnou energii má PDIM dvě formy.

Mikrobiální protein (PDIM) je v každém krmivu charakterizován dvěma složkami:

1. PDIMN

- množství mikrobiálního proteinu, které může být syntetizováno v bachoru z degradovaného dusíku krmiva, jestliže energie a další živiny nejsou limitující

2. PDIME

- je takové množství mikrobiálního proteinu, které může být syntetizováno z využitelné energie v bachoru, jestliže degradovaný dusík a další živiny nejsou limitující

Pro správnou výživu přežvýkavců je třeba znát:

- potřebu PDI (určena v normách potřeby)
- obsah PDI v krmivech

Pro určování obsahu PDI v krmivech platí:

- a) stanoví se obsah dusíkatých látek v krmivu ($NL = N \times 6,25$)
- b) stanoví se degradovatelnost NL krmiva (DEG nebo deg) standardizovanou metodou in situ

$$\text{DEG (\%)} = \text{degradovatelné NL} \times 100 / \text{přijaté NL}$$

$$\text{deg} = \text{degradovatelné NL} / \text{přijaté NL}$$

- c) stanoví se obsah fermentovatelné organické hmoty (FOH) výpočtem z celkového obsahu stravitelné organické hmoty (SOH) po odečtení obsahu tuku, obsahu nedegradovaných NL krmiva (NdNL) a fermentačních produktů siláží (FermProd)

$$\text{FOH} = \text{SOH} - \text{tuk} - \text{NdNL} - \text{FermProd}$$

$$\text{NdNL} = \text{NL} \times (1.11 \times (1 - \text{deg}))$$

$$\text{FermProd} = \text{kyselina mléčná} + \text{TMK} + \text{alkoholy (g.kgS}^{-1}\text{)}$$

Fermentační produkty se zohledňují pouze u silážovaných krmiv, u jiných krmiv se jejich hodnota rovná nule.

- d) stanoví se skutečná stravitelnost nedegradovaných NL krmiva v tenkém střevě (DSI nebo dsi)

$$\text{DSI (\%)} = \text{strávené NdNL} \times 100 / \text{přijaté NdNL}$$

$$\text{dsi} = \text{strávené NdNL} / \text{přijaté NdNL}$$

Výpočet:

(PDIA, PDIMN, PDIME, NL, FOH jsou uváděny v g/kg sušiny)

$$\text{PDIA} = \text{NL} \times 1.11 \times (1 - (\text{DEG}/100)) \times 1 \times (\text{DSI}/100)$$

$$\text{PDIMN} = \text{NL} \times [1 - (1.11 \times (1 - (\text{DEG}/100)))] \times 0.9 \times 0.8 \times 0.80$$

$$\text{FOH} = \text{SOH} - \text{tuk} - \text{NdNL} - \text{FermProd}$$

$$\text{NdNL} = \text{NL} \times (1.11 \times (1 - \text{deg}))$$

$$\text{FermProd} = \text{kyselina mléčná} + \text{TMK} + \text{alkoholy} \text{ (g.kgS}^{-1}\text{)}$$

$$\text{PDIME} = \text{FOH} \times 0.145 \times 0.8 \times 0.80$$

1.11 - charakterizuje rozdílné podmínky fermentace krmiva v sáčku v porovnání s volně se nacházejícím krmivem v bacheru

1 – vyjadřuje předpoklad, že nedegradované NL jsou výhradně tvořeny bílkovinami

0.9 – charakterizuje účinnost konverze degradovaných NL na mikrobiální NL (90%)

0.8 – vyjadřuje, že mikrobiální protein tvoří 80% z mikrobiálních NL (zbývajících 20% tvoří nukleové kyseliny)

0.80 – vyjadřuje předpokládanou stravitelnost mikrobiální bílkoviny v tenkém střevě (80%)

0.145 - vyjadřuje předpokládanou syntézu mikrobiální bílkoviny z fermentovatelné organické hmoty (145 g.kg⁻¹ FOH)

Pak platí, že:

$$\text{PDIN} = \text{PDIA} + \text{PDIMN}$$

$$\text{PDIE} = \text{PDIA} + \text{PDIME}$$

Každému krmivu pak přiřazujeme dvě proteinové hodnoty:

PDIN a PDIE

Vyšší z obou hodnot je hodnotou potenciální, které může být dosaženo, jestliže je krmivo spojeno s vhodným komplementárním krmivem. Skutečná hodnota PDI krmné dávky pak odpovídá nižší ze sum, buď PDIN nebo PDIE.

Lipidy

Obecně můžeme lipidy hodnotit jako skupinu látek, která není v chemickém základu stejná, ale má přímý nebo nepřímý vztah k mastným kyselinám MK. Jsou přítomny jak v rostlinných, tak i v živočišných organismech. Jejich společnou vlastností je nerozpustnost ve vodě ale rozpustnost v organických tzv. lipofilních rozpouštědlech, jako je ether, chloroform, benzen.

Význam lipidů ve výživě zvířat

1. Jsou nejbohatším zdrojem energie ze všech živin (dvakrát vydatnější než sacharidy nebo proteiny). Jako zdroj energie slouží přímo, ale i potencionálně ve formě zásobního tuku uloženého v organismu.
2. Jsou zdrojem esenciálních mastných kyselin a jejich prekursorů (kyselina linolová a linolenová).
3. Jsou zdrojem lipofilních vitamínů a příslušných provitaminů, sterolů (cholesterol a fytosteroly).
4. Vyvolávají po určitou dobu po požití pocit sytosti, který je vyvolán hydrolyzou na mastné kyseliny v tenkém střevě. Tato doba je ale poměrně dlouhá, a pocit nasycení se zpravidla projeví až po požití krmiva – nebezpečí příliš vysokého příjmu energie.
5. Snižují objem krmiva bohatého na energii

Fyziologický význam lipidů

1. Nezastupitelná funkce v metabolismu živočišných organismů.
2. Lipidy jsou nosiči substrátů v enzymatických reakcích.
3. Jsou komponenty biologických membrán.
4. Tuk slouží také jako ochranný materiál v podkožních tkáních a jako ochranný obalový materiál významných orgánů v těle.

Rezervní tuky

Tuky slouží v těle živočišných organismů jako dlouhodobá rezerva energie (zatímco glykogen slouží jako krátkodobá rezerva). Výhodou tuku je, že je poměrně koncentrovaným zdrojem energie a že neváže větší množství vody. Tato tuková rezerva vystačí dodávat potřebnou energii měsíc i déle.

Tělo si tvoří tukové rezervy z těchto důvodů:

1. **Pro krátkodobé hladovění** – při snížené frekvenci krmení
2. **Pro dlouhodobé hladovění** – mělo význam pro přečkání zimy nebo období sucha
3. **Pro období kojení se během březosti** ukládají tukové rezervy

Zdroje tuku

- a) tuk z krmiva
- b) při nedostatku tuku v krmivu a při nadbytku sacharidů se tuk syntetizuje ze sacharidů krmiva
- c) běžně se tuk může hromadit z obou zdrojů současně

Místa ukládání tukových rezerv

- v játrech (jen omezené množství)
- kolem vnitřností (chrání také orgány před nárazy)
- podkožní (většina rezervního tuku) – má funkci ochrany těla před tepelnými ztrátami

Výskyt lipidů v rostlinách a v živočiších

V rostlinách se lipidy vyskytují ve dvou typech - strukturální a zásobní. **Strukturální formu** lipidů nacházíme v různých membránách a ochranných vrstvách. U vyšších rostlin se v jejich listech nachází asi 7% strukturálních lipidů v sušině. Část strukturálních lipidů je tvořena vosky, což jsou substance dlouhých sacharidových řetězců, mastných kyselin a kutinu. Část membránových lipidů se nachází v mitochondriích, endoplasmatickém retikulu a je tvořena glykolipidy a fosfolipidy (40-50%). **Zásobní rostlinné lipidy** se nachází především v semenech rostlin a označujeme je jako oleje.

V živočišných orgánech jsou lipidy uloženy jako zdroj energie v zásobním tuku. Jejich zastoupení v adipózních tkáních může dosahovat až 97%. **Strukturální lipidy** v živočišných tkáních jsou především fosfolipidy tvořící asi 0,5 - 1 % svalové a adipózní tkáně. Jejich koncentrace v játrech avšak dosahuje 2 - 3 %. Velmi důležité jsou v živočišných tkáních neglycerolové, tzv. neutrální lipidové frakce cholesterol a jeho estery, které dohromady tvoří jen 0,06 - 0,09 % svalové a adipózní tkáně.

Následky z nedostatku lipidů

Při narušení metabolismu tuků a při nedostatku sacharidů v krmné dávce **vysokoprodukčních dojnic dochází ke ketózám**. Velmi škodlivý je žluklý tuk, zejména při nízkém obsahu vitamínu E v krmné dávce. Pro stabilizaci tuku se používají antioxidanty.

Zdroje lipidů

V běžných zrninách a olejninách krmiv je od jednoho do 45 % tuku. Ale také v těle zvířat jsou významné rozdíly v jejich zastoupení. Největší obsah lipidů mají:

Živočišný tuk (sádlo, lůj)	99,5 %
Rostlinný olej	99,5 %
Mlezivo	3,4 %
Lněná a slunečnicová semena	37 – 48 %
Zelená píče a siláže	2,1 – 5,0 %
Seno	1,5 – 2,8 %
Zrniny	1,3 – 5,5 %

Z chemického pohledu lze tento extrakt rozdělit podle BLOORA na:

A. Jednoduché lipidy: estery mastných kyselin s různými alkoholy

1. Tuky - estery mastných kyselin a glycerolu. Tuk v kapalném stavu se označuje jako olej

2. Vosky - estery mastných kyselin s vyššími jednosytnými alkoholy než je glycerol

B. Složené lipidy: estery mastných kyselin obsahující vedle alkoholu další skupiny a mastné kyseliny

1. Fosfolipidy - lipidy obsahující vedle mastných kyselin a alkoholu i zbytek kyseliny fosforečné. Jejich součástí jsou i dusíkaté báze a některé další substituenty.

2. Glykolipidy - vedle mastných kyselin obsahují cukry, dusíkaté báze, neobsahují však kyselinu fosforečnou

3. Jiné složené lipidy - do této skupiny se řadí lipoproteiny, sulfolipidy, aminolipidy

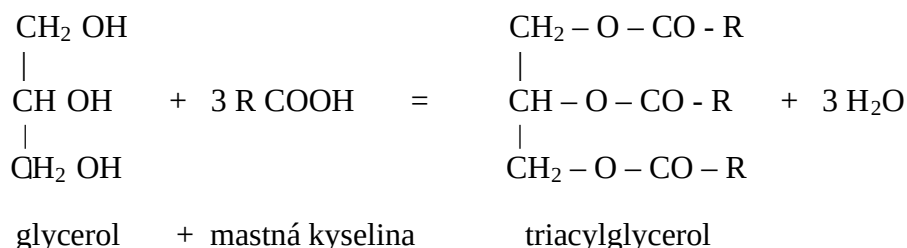
C. Odvozené lipidy: jsou to látky, které můžeme získat hydrolýzou lipidů.

Patří mezi ně mastné kyseliny, a to nasycené i nenasycené, glycerol a další alkoholy, aldehydy mastných kyselin a ketolátky. Dále pak tzv. neutrální lipidy, steroly, cholesterol a estery cholesterolu, protože nemají elektrický náboj.

Tuky (Acylglyceridy)

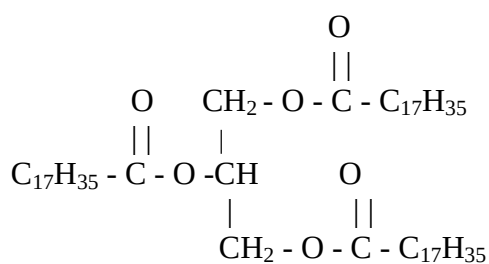
Z pohledu výživy zvířat mají z lipidů největší význam tuky. Ty jsou obsaženy jak v rostlinách, tak i v živočišných tkáních a jsou významným zdrojem energie. Rostlinné i živočišné tuky mají stejnou obecnou strukturu i chemickou skladbu, mají však rozdílné fyzikální vlastnosti. Rostlinné oleje mají při pokojové teplotě charakter kapaliny. Živočišné tuky jsou tuhé. Obou forem tuků však lze využívat stejně, jsou to významné zdroje energie.

Tuky jsou estery **mastných kyselin** s trihydroxyalkoholem-**glycerolem**, chemicky se nazývají **glyceridy nebo acylglyceridy**. Má-li glycerol obsazeny všechny tři alkoholové skupiny, jsou esterifikovány mastnými kyselinami, tvoří triacylglycerol (**triacylglycerid**).

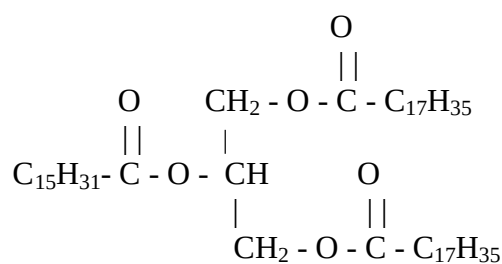


Di- a monoacylglyceroly mohou také existovat v přirozeném stavu, ale v daleko menším množství než triacylglyceroly.

Triacylglyceroly, tzv. neutrální tuky můžeme rozdělit podle povahy a pozice reziduálních mastných kyselin. Jsou - li při hydrolýze zbytkem tři stejné mastné kyseliny jedná se o **jednoduché triacylglyceroly**. Jsou - li zbytkem hydrolýzy různé mastné kyseliny mluvíme o **smíšených triacylglycerolech**. U přirozených tuků je podíl triacylglycerolových molekul obsahujících stejný zbytek mastné kyseliny ve všech esterových polohách velmi malý, téměř všechny ostatní glyceridy jsou smíšené.



tristearin



1,3 - distearopalmitin

Mastné kyseliny

Většina mastných kyselin má jednoduchou karboxylovou skupinu a nevětvený uhlíkový řetězec spojený buď jednoduchou vazbou satureované SMK (nasyčené mastné kyseliny) nebo dvojnou vazbou (nenasyčené mastné kyseliny). Dvojná vazba v uhlíkovém řetězci může být jedna monoenové MMK, nebo více polyenové PMK. S jednou dvojnou vazbou je to např. kyselina olejová 18 : 1; 9, se dvěma dvojnými vazbami kyselina linolová 18 : 2; 9, 12, se třemi dvojnými vazbami kyselina linolenová 18 : 3; 9, 12, 15 a se čtyřmi dvojnými vazbami kyselina arachidonová 20 : 4; 5, 8, 11, 14. Číselné označení znamená 18 uhlíků, 4 počet dvojných vazeb a tyto jsou mezi 5. - 6; 8. - 9; 11. - 12; 14. - 15. uhlíkem.

Významné mastné kyseliny v přírodních tucích a jejich bod tání

1. Nasyčené mastné kyseliny

máselná	$C_{17}H_{35}COOH$	- 7,9 ° C
kapronová	$C_{16}H_{33}COOH$	- 3,2
kaprylová	$C_{18}H_{37}COOH$	16,3
kaprinová	$C_{20}H_{41}COOH$	31,2
laurová	$C_{22}H_{43}COOH$	43,9
myristová	$C_{24}H_{49}COOH$	54,1
palmitová	$C_{26}H_{53}COOH$	62,7
stearová	$C_{28}H_{57}COOH$	69,6
arachová	$C_{30}H_{61}COOH$	76,3
behenová	$C_{32}H_{65}COOH$	

2. Nenasycené mastné kyseliny

palmitoolejová	$C_{16}H_{31}COOH$	0
olejová	$C_{18}H_{33}COOH$	13
linolová	$C_{18}H_{31}COOH$	- 5

linolenová	$C_{18}H_{29}COOH$	- 14,5
arachidonová	$C_{20}H_{31}COOH$	- 49,5

Skutečný poměr jednotlivých typů mastných kyselin v některých jedlých tucích (v % z veškerých mastných kyselin)

Jedlý tuk	Nasyčené kyseliny	Monoenové kyseliny	Polyenové kyseliny
Máslo	53 - 72	26 - 42	2 - 6
Vepřové sádlo	25 - 70	37 - 68	1 - 5
Palmový olej	44 - 56	36 - 42	9 - 13
Palmojádrový tuk	75 - 86	12 - 20	2 - 4
Kokosový tuk	88 - 94	5 - 9	1 - 2
Sójový olej	14 - 20	18 - 26	55 - 68
Slunečnicový olej	9 - 17	13 - 41	42 - 74
Řepkový olej	5 - 10	52 - 76	22 - 40

Zdroj: Velíšek, Hajšlová (2009)

Zastoupení kyseliny linolové a ostatních polyenových kyselin v živočišných tucích v % z celkového obsahu mastných kyselin

Tuk	Kyselina linolová ($\omega - 6$)	Ostatní polyenové kyseliny
Rybí	1 - 3	až 60
Drůbeží	10 - 20	do 1
Vepřový	3 - 16	do 1,5
Hovězí	0,5 - 5	do 2,5
Mléčný	0,9 - 3,7	0,1 - 1,4

Zdroj: Velíšek, Hajšlová (2009)

Obsah ω - 6 a ω - 3 – polyenových mastných kyselin v jedlých olejích

Olej	Kyselina linolová	Kyselina linolenová
Řepkový	21	10
Olivový	9,5	1
Slunečnicový	63	0,3
Sójový	56	8
Z kukuřičných klíčků	39,4 – 60,4	0,7 – 1,3
Z pšeničných klíčků	50 - 56	3,5 - 7

Zdroj: Velíšek, Hajšlová (2009)

Se stupněm nenasycenosti MK klesá bod tání tuků (pevné tuky, kapalné oleje) a roste polarita (a tím rozpustnost ve vodě resp. krevní plasmě). Na druhé straně, ale roste náchylnost k oxidačnímu žluknutí. Všechny tyto aspekty je potom nutno vzít v úvahu při rozhodování, jaký tuk použít pro přípravu pokrmů.

Nenasycené mastné kyseliny mají nízký bod tání, např. triestearin (kyselina stearová je nasycená mastná kyselina) je při tělesné teplotě pevný, ale triolein (kyselina olejová je nenasycená mastná kyselina) je při stejné teplotě kapalný.

SMK a MMK mohou být syntetizovány z acetylkoenzymu A a nejsou proto ve výživě nezbytné.

Esenciální je naopak malé množství PMK, které jsou důležitými prekurzory strukturálních lipidů (fosfolipidů v buněčných membránách) a eikosanoidů, důležitých tkáňových působků zahrnujících prostaglandiny, tromboxany a leukotrieny). **Esenciální MK regulují řadu fyziologických procesů.**

Esenciální mastné kyseliny

K esenciálním mastným kyselinám patří kyseliny s 18 – 24 atomy uhlíku a se systémem dvojných vazeb v pentadienovém uspořádání, které musí být v *cis* konfiguraci a první dvojná vazba musí být na 6. (N - 6) nebo 3. (N - 3) uhlíku od koncového metylu. Typickým zástupcem je kyselina arachidonová, která se však vyskytuje v potravinách jen v malém množství. V organismu se však může syntetizovat z kyseliny linolové.

Ještě nedávno se předpokládalo, že savci nedokáží syntetizovat mastné kyseliny s více než jednou dvojnou vazbou. Proto byly mastné kyseliny s více dvojnými vazbami (linolová, linolenová, arachidonová) považovány za esenciální. Dokonce byly řazeny mezi vitamíny **(vitamín F)**. Dnes již víme, že především kyselina linolová (řadí se mezi tzv. N - 6 mastné kyseliny) je esenciální, že musí být obsažena v dietě. Při jejím dostatečném přísunu může být zdrojem pro kyselinu α - linolenovou (řadí se mezi N - 3 mastné kyseliny) i arachidonovou (řadí se mezi N - 6 mastné kyseliny). V metabolismu savců jsou přítomny enzymové systémy, které jsou schopny zavádět do alifatického řetězce dvojnou vazbu a zároveň jej i prodlužovat. Přesto je vhodné zajistit přísun kyseliny α - linolenové z potravy, neboť její tvorba z kyseliny linolové nemusí být plně dostačující. To samé platí i pro některé další N - 3 mastné kyseliny.

Esenciální mastné kyseliny řady N - 6

Do této skupiny řadíme kyselinu linolovou $C_{17}H_{31}COOH$ (*cis, cis* - 9, 12 - oktadienová), která se v organismu může přeměnit na kyselinu arachidonovou $C_{19}H_{31}COOH$ (*cis, cis, cis, cis* - 5, 8, 11, 14 - eikosatetraenová).

Kyselina linolová se vyskytuje prakticky ve všech běžných tucích. Vysoký obsah je téměř ve všech rostlinných olejích, např. slunečnicovém a sójovém. **Arachidonová kyselina** se vyskytuje zejména ve svalovém (skrytém) tuku, zatímco rezervní živočišné a rostlinné tuky jí obsahují velmi málo. Kromě výše uvedených dvou kyselin řadíme do této skupiny také kyselinu γ - linolenovou $C_{17}H_{29}COOH$ (*cis, cis, cis* - 6, 9, 12 oktadekatrienová), která se však vyskytuje jen v nepatrném množství. Je v přírodě poměrně vzácná, vyšší koncentrace lze najít v některých olejích označovaných jako dietetické (brutnákový nebo pupalkový).

Esenciální mastné kyseliny řady N – 3

Do této skupiny řadíme kyselinu **kyselinu α – linolenovou $C_{17}H_{29}COOH$** (*cis, cis, cis* – 9, 12, 15 oktadekatrienová). V živočišných tucích se vyskytuje velmi málo, vyšší koncentrace jsou v některých rostlinných olejích, např. řepkovém a sójovém. Organismus si ji dokáže syntetizovat z kyseliny linolové. Vlastními esenciálními mastnými kyselinami řady N - 3 jsou kyseliny přítomné v rybích tucích, z nichž nejznámější je **kyselina eikosapentaenová** (*all-cis* – 5, 8, 11, 14, 17, - eikosapentaenová) a **kyselina dokosahexaenová** (*all-cis* – 4, 7, 10, 13, 16, 19 – dokosahexaenová). V rybím oleji se vyskytuje také **kyselina klupanodonová** (*all-cis* – 7, 10, 13, 16, 19 – dokosapentaenová) a řada dalších příbuzných mastných kyselin.

Význam esenciálních mastných kyselin

Největší množství mastných kyselin se spotřebuje na **tvorbu buněčných a intracelulárních membrán, včetně membrán pokožky**. Dále mají esenciální mastné kyseliny významnou úlohu **při rozmnožování, při výstavbě nervových tkání a asi 1 % slouží k syntéze eikosanoidů** (ovlivnění destičkových funkcí, vasomotoriky cévní stěny a zánětlivých odpovědí).

Významnými látkami jsou **prostaglandiny** – **řadí se mezi eikosanoidy do skupiny prostacyklinů**. Jsou to látky, které se syntetizují z kyseliny arachidonové a kyseliny eikosapentaenové v buněčných membránách. Objeveny byly nejdříve v prostatě (odtud název), ale jsou obsaženy ve všech savčích buňkách. Prostacykliny jsou přítomny v endoteliálních buňkách cév. K prostacyklinům patříci prostaglandiny **způsobují stahy dělohy při porodu a ovlivňují také průtok krve orgány**.

Dalšími důležitými eikosanoidy jsou např. **leukotrieny a thromboxany**. **Leukotrieny způsobují kontrakce hladké svaloviny a mají vliv na aktivní pohyb leukocytů, thromboxany jsou přítomny v krvinkách a usnadňují jejich srážení**.

Esenciální mastné kyseliny také zvyšují polaritu a tím i rozpustnost lipoproteinů krevní plasmy.

Při příjmu vysokého množství PMK se zvyšují požadavky na antioxidační látky - především vitamin E.

Nedostatek esenciálních mastných kyselin se projevuje na pokožce - zvýšení propustnosti pro vodu, tvorba ekzémů a šupinatá kůže, suché, lámavá srst. Dále v poruchách

rozmnožování – degenerativní změny na varlatech a vaječnicích (v extrémních případech nastává sterilita), ve větší náchylnosti k infekcím a k špatnému hojení ran, ve snadnější srážlivosti plasmatických lipoproteinů a v poruchách související s nedostatečnou tvorbou eikosanoidů. Pokles užítkovosti, zhoršený růst a vývin. Nedostatek kyseliny linolové u nosnic má negativní vliv na velikost vajec. Nedostatek se rovněž projevuje zvýšeným příjmem vody, snížením odolnosti proti stresu a úhynem.

Z celkové energetické hodnoty krmiva mají esenciální mastné kyseliny tvořit nejméně 1 %.

Špatně metabolizovatelné mastné kyseliny

V souvislosti s mastnými kyselinami se rovněž musíme zmínit o tzv. **trans mastných kyselinách**. *Trans* mastné kyseliny jsou hůře metabolizovatelné mastné kyseliny s *trans* konfigurací dvojně vazby.

Nenasycené mastné kyseliny mají ve svém uhlovodíkovém řetězci jednu nebo více dvojných vazeb. **Každá dvojná vazba může mít dvojí prostorové uspořádání, tedy může obsahovat oba vodíky na dvojně vazbě na stejné straně (vazba *cis*) nebo na různých stranách (vazba *trans*):**



Tento zdánlivě nepatrný rozdíl má za následek značnou změnu ve tvaru molekuly. **Nenasycené mastné kyseliny s vazbou *trans* mají řetězec rovný, kdežto kyseliny s *cis* konfigurací dvojně vazby mají řetězec zahnutý.** To má velký význam v enzymových reakcích a při tvorbě membrán, kdy se tyto kyseliny nejvíce uplatňují. Vzhledem k tomu, že se *trans*-kyseliny v těle chovají dosti odlišně, je dnes tendence množství *trans*-kyselin ve stravě co nejvíce omezovat.

I když *cis*-kyseliny v přírodě převažují, **mohou se *trans*-kyseliny také v přírodě vyskytovat. Jsou běžně obsaženy např. v některých mikroorganismech, mořských živočiších a rostlinách, dokonce i v některých semenech subtropických a tropických rostlin. *Trans*-kyseliny se rovněž vyskytují v tuku přežvýkavců a tedy i v mléčném tuku.**

Tvorba *trans*-kyseliny u přežvýkavců

- v bacheru jsou přítomny enzymy, které kyselinu linolenovou hydrogenují na méně nenasycené MK. Při tomto procesu se jako vedlejší produkt tvoří také *trans*-nenasycené mastné kyseliny, které se vstřebávají střešní stěnou a ukládají se v depotním tuku a přecházejí také do mléčného tuku.
- při výživě dojníc pouze na bázi lučního a pastevního porostu a sena je nižší váhový přírůstek, produkce mléčného tuku je nízká – obsah *trans*-kyselin v tuku dojníc a v mléčném tuku činí 7-9 %.
- při intenzivní výživě dojníc, kdy je krmná dávka rozšířena o kukuřičné siláže a jadrná krmiva bohatá na bílkoviny a energii, je podíl hydrogenačních reakcí podstatně nižší a tím se snižuje i obsah *trans*-kyselin v tuku a v mléčném tuku. Obsah *trans*-kyselin v tuku dojníc a v mléčném tuku u takto kmených dojníc činí pouze 2-3 %. U ovcí a koz, vzhledem k tradičnímu krmení, je obsah *trans*-kyselin podstatně vyšší.

Tvorba *trans*-kyseliny při technologických procesech

- nevhodné skladování, záhřev – oxidace – vznik *trans*-kyselin

Nejčastěji jsou to monoenoové kyseliny s *trans* vazbou, především se jedná o kyselinu olejovou. Kyselina olejová $C_{17}H_{33}COOH$ má 18 uhlíků a je v *cis* konfiguraci, stejná kyselina s *trans* konfigurací dvojně vazby se označuje jako kyselina elaidová. Mléčný tuk jich obsahuje obvykle 5 – 8 %.

Vosky

Mezi jednoduché lipidy patří vedle acylglycerolů vosky, jsou to **ve vodě nerozpustné tuhé estery mastných kyselin s monohydroxylovými alkoholy** s dlouhým lineárním alifatickým řetězcem nebo se steroly.

Vosky plní v organismech především ochranné funkce. Jsou silně hydrofobní. **U rostlin vosky tvoří ochranou vrstvu proti nadměrnému smáčení i nadměrným ztrátám vody a jsou i přirozenou ochrannou proti napadení mikroorganismy. U živočichů se vylučují na kůži a epidermálních útvarech. Nejznámější živočišné vosky jsou lanolin, včelí vosk a tzv. vorvanina, tvořící se v lebeční dutině vorvaně.**

Složené lipidy

Významnou složkou lipidů přítomných ve všech buňkách jsou látky, které **obsahují vedle hydrofobní části (mastné kyseliny) i látky hydrofilní. Nazýváme je polární lipidy.** Tyto sloučeniny jsou **základními strukturními prvky biomembrán.** Přítomnost jak hydrofobní tak i hydrofilní složky v těchto složitých lipidech (amfipatická či amfifilní povaha) **jim umožňuje spojovat se ve vodných roztocích** spontánně a reversibilně za vzniku částíček koloidních rozměrů, zvaných **micely.** A tak se organizovat do monomolekulárních filmů respektive do dvojvrstev. Tato schopnost, kterou polární lipidy mají, je předurčuje jako základní prvek fázových předělů v organismu. **Polární lipidy z pohledu chemického jsou velmi různorodou skupinou látek, které lze třídit :**

- a) **podle hlavního alkoholu** – fosfoacylglyceroly odvozené od glycerolu a
 - sfingolipidy odvozené od aminoalkoholu sfingosinu.

- b) **podle přítomnosti kyseliny fosforečné** - fosfolipidy s kyselinou fosforečnou (fosfoacylglyceroly a početnější sfingomyeliny) a
 - menší skupina neobsahující tuto kyselinu

- c) podle obsahu cukerné složky – glykolipidy (cerebrosidy a gangliosidy – sfingolipidy)
a ostatní

A Fosfolipidy

V hydrofilní části molekuly obsahují kyselinu fosforečnou ve formě esteru či diesteru. Odvozeny jsou od **glycerolu** nebo od **sfingosinu**. Jsou nejrozšířenějšími polárními lipidy, přítomny jsou v každé buňce, jsou podstatou všech biomembrán, některé se účastní přenosu vzruchu v nervové tkáni. Ve velkém zastoupení je nacházíme zejména v mozku a myelinových obalech nervových buněk, ale také ve vejcích a v semenech.

Dělíme je na :

1. Glycerofosfolipidy (fosfoacylglyceroly)

2. Sfingomyeliny tyto fosfolipidy tvoří až 28 % sušiny nervové tkáně

Glycerofosfolipidy (fosfoacylglyceroly)

Základní a společnou částí všech glycerofosfolipidů je **kyselina fosfatidová**, která se skládá z **glycerolu, dvou mastných kyselin a kyseliny fosforečné**. Jednotlivé typy glycerofosfolipidů se liší sloučeninami, které se vážou na kyselinu fosfatidovou. Může se jednat o **ethanolamin, cholin, serin, inositol atd.**

Z hlediska výživy člověka nás bude zajímat nejdůležitější skupina z glycerofosfolipidů a to jsou lecitiny.

Lecitiny

Lecitiny řadíme mezi složené, polární tuky. Tato vlastnost je pro organismus velice důležitá, neboť napomáhají emulgaci tuků a tím umožňují jejich trávení. Jejich působení se však neomezuje pouze na tuto úlohu. **Lecitiny se liší v zastoupení mastných kyselin, dále obsahují glycerol, kyselinu fosforečnou a cholin.**

Pod pojmem lecitin nelze chápat pouze jednu sloučeninu, ale **jedná se o celou řadu velmi podobných sloučenin**. Záleží na zdroji. Jejich biologická role je poměrně rozdílná.

Nejčastější zdroj – **sója** – komerčně propagovaná – 300 – 500 mg ve 100 g sóji

Biologicky nejpřirozenější zdroj – **vaječný žloutek** – 1 700 mg v jednom žloutku

Dalším dobrým zdrojem lecitinu je čokoláda (při výrobě se přidává sójový lecitin).

Největší podíl lecitinu obsažený v těle se účastní procesu vylučování cholesterolu žlučí.

Další význam lecitinů:

Podílí se na mentálních a nervových procesech. Pravděpodobně to souvisí s cholinem, který je **základem pro tvorbu acetylcholinu**. Ten je odpovědný za přenos nervových impulsů mezi buňkami. S přibývajícím věkem klesá produkce acetylcholinu a zvýšený příjem lecitinů by mohl mít příznivý vliv na zlepšení neurologických poruch (špatná koncentrace, snížená pozornost, výpadky krátkodobé paměti).

B Glykolipidy

Tyto složené lipidy **obsahují jednu nebo i více monosacharidických zbytků (glukóza, galaktóza, acetylované aminocukry aj.) glykosidově vázanou na lipidovou část, tvořenou mono, nebo diacylglycerolem a nebo sfingosinem**. Glykolipidy se nachází ve všech tkáních a orgánech, ale můžeme je označit za typické lipidy nervové tkáně. Rozdělení:

C Jiné složené lipidy

Lipoproteiny

Vznikají spojením lipidů se specifickými bílkovinami. Jejich hlavní význam tkví v tom, že bílkovina dělá hydrofobní lipidové struktury dispergovatelné a stabilní ve vodném prostředí. Jsou součástí buněčných membrán, cytoplasmy buněk, krevní plasmy a vaječného žloutku. **Z nich jsou nejvíce sledované a prostudované plasmové lipoproteiny, zajišťující transport a distribuci lipidů diety a vitaminů rozpustných v tucích, prostřednictvím krevního a lymfatického systému – jsou to regulátory metabolismu lipidů.** Jejich struktura sestává z proteinů, triacylglycerolů, cholesterolu, esterů cholesterolu, fosfolipidů a lipofilních vitaminů.

Plasmové lipidy lze rozdělit na jednotlivé frakce, které označujeme jako:

1. **Chilomikra** – tvoří se ve střevní sliznici a lymfatickou cestou jsou přenášeny do krevního oběhu a k periferním tkáním. Jsou tvořeny převážně triacylglyceroly a estery cholesterolu.
2. **Lipoproteiny o velmi nízké hustotě (VLDL)** – jsou průběžně syntetizovány v játrech, ale v malém množství vznikají i v enterocytech. Přenášejí acylglyceridy a mastné kyseliny k periferním tkáním, např. do kosterní svaloviny a nebo do srdečního svalu. Biologický poločas je pouze 30 min.
3. **Lipoproteiny se střední hustotou (IDL)** – vznikají degradací VLDL, jsou meziproduktem syntézy LDL z VLDL. Buď se tedy degradují na LDL, nebo jsou v podobě zbytků VLDL odstraňovány z krevního oběhu. U zdravého organismu se vyskytují jen ve velmi malých množstvích. Biologický poločas je jen několik minut.
4. **Lipoproteiny s nízkou hustotou (LDL)** – Vznikají z VLDL, běžně obsahují přes 60 % plasmatického cholesterolu. Cholesterol syntetizovaný v játrech se tak dostává k periferním tkáním. Naopak jaterní buňky mají tzv. LDL receptory, kterými se cholesterol dostává zpět do jater a vylučuje se převážně ve formě žlučových kyselin. Osoby trpící hypercholesterolémií mají většinou menší počet LDL receptorů. Zvýšená hladina LDL

cholesterolu je významným rizikovým faktorem pro vznik aterosklerozy. Na transportu a ukládání volného cholesterolu se podílí především IDL a LDL.

- Lipoproteiny s vysokou hustotou (HDL)** – tato frakce slouží k přenosu přebytečného cholesterolu z periferních tkání do jater a obsahuje fosfolipidy.. Jsou ve vodném prostředí poměrně stabilní. Zvýšená koncentrace HDL cholesterolu ukazuje na snížení rizika aterosklerozy.

Steroidy

Látky živočišného i rostlinného původu, dovedou je však syntetizovat i primitivní organismy (kvasinky, plísňe i bakterie). Patří mezi ně regulátory životních procesů, jsou součástí buněčných membrán, působí jako emulgátory při procesech trávení, pro některé organismy mají i ochranné funkce a jsou známy i steroidní feromony.

A. Steroly

Podle jejich přítomnosti v organismu je dělíme na fytoosteroly, zoosteroly, mykosteroly a steroly mořských živočichů a rostlin. Jsou velmi významnou součástí membrán. **Nejrozšířenější a nejznámějším steroidem je cholesterol.** Tento je všeobecně rozšířen u eukaryot, ale téměř vůbec ho nenajdeme u prokaryot. V živočišných buňkách se nachází v poměrně vysoké koncentraci, **tvorí zde významnou část jejich plasmových membrán** a tak moduluje jejich tekutost a permeabilitu. Ve větší míře **se nachází v mozkové tkáni,** **ve žluči, v krevní plasmě** (kde je esterifikován nenasycenými mastnými kyselinami a tvoří součást plasmových lipoproteinů), **v nadledvinkách, v nervové tkáni (kde je součástí myelinových obalů nervových buněk),** **v míše, ve vaječném žloutku a v tuku ovčích vlny** (lanolin). **Cholesterol je zcela nezbytný pro tvorbu řady steroidních hormonů, jako jsou např. kortikoidy a některé pohlavní hormony. Pro tvorbu vitamínu D a žlučových kyselin.** Nejsilnější zastoupení ve frakci LDL se saturovanými mastnými kyselinami z exogenních

zdrojů. Značná část cholesterolu se vylučuje ve stolici, z části jako žlučové kyseliny, určité množství je ve střevech recyklováno.

Jako součást necukerné složky heteroglykosidů ve většině rostlin jsou přítomny **fytoosteroly**, které se využívají ve farmacii jako surovina při technické syntéze steroidních hormonů. Nejrozšířenější mykosterol je ergosterol, který se po ozáření UV paprsky může měnit na vitamín D₂.

B. Žlučové kyseliny

Hlavní součástí žluče jsou žlučové kyseliny, které se **syntetizují v játrech z cholesterolu**, **zahušťují se a skladují ve žlučníku odkud vstupují do duodena**. Jsou to steroidní karboxylové kyseliny, obsahující polární i nepolární složku, proto mají vysokou povrchovou aktivitu. **Jsou schopny převádět lipidy a lipofilní vitamíny diety na formu micel**. Aktivují lipázy a působí emulgačně, zvětšují povrch lipidů, čím je usnadněno jejich trávení a vstřebávání.

C. Steroidní hormony

U savců stejně i u řady nižších obratlovců (plazi, obojživelníci, ryby) byly nalezeny steroidy vykazující hormonální aktivitu. Bylo prokázáno, že hormony řídící svlékání hmyzu a korýšů jsou také steroidy. **Nejdůležitější zástupci steroidních hormonů jsou:**

- **adrenokortikoidní hormony**, jejichž vylučování z kůry nadledvinek je stimulováno peptidovým adrenokortikotropním hormonem ACTH. Jde o dva typy velmi podobných sloučenin – glukokortikoidy (kortisol, kortikosteron) a mineralokortikoidy (aldosteron).

- **gonadální hormony** produkované v pohlavních orgánech. V samičím organismu, ve vaječnicích se tvoří dva druhy pohlavních hormonů – estrogény (estron, estradiol, estriol) a gestageny (progesteron). Ve varlatech se tvoří samčí pohlavní hormony androgeny (testosteron).

Všechny steroidní hormony se tvoří z cholesterolu

Glukokortikoidy řídí metabolismus sacharidů, především tím že stimulují biosyntézu glykogenu, na druhé straně brzdí proteosyntézu a podporují degradaci bílkovin a také transformaci aminokyselin na glukosu. Glukokortikoidy vykazují silné protizánětlivé a protialergické působení, čehož se využívá v medicíně. **Mineralokortikoidy** kontrolují metabolismus minerálních látek.

Pohlavní hormony řídí vývoj a funkce pohlavních orgánů, určují jejich charakter (samčí nebo samičí) a vytváření charakteristických sekundárních pohlavních znaků. **Estrogeny** mimoto řídí průběh pohlavních cyklů. **Gestageny** pak připravují děložní sliznice na zahníždění oplozeného vajíčka a udržují započatou graviditu. **Androgeny** vedle působení na zrání spermatu působí anabolicky.

D. Kalciferoly

Tyto v tučných rozpustné látky nejsou v podstatě steroidy, i když se steroidy velmi úzce souvisí. Vznikají z provitaminů, což jsou nenasycené steroly, účinkem ultrafialového záření.

Mezi kalciferoly patří velmi důležitý **ergokalciferol – vitamín D₂** odvozený od ergosterolu jako provitaminu. Dále **cholecalciferol – vitamín D₃**, který se tvoří z 7-dehydrocholesterolu.

Význam vitamínů D₂ i D₃ je především v řízení metabolismu vápníku a fosforu v jejich účasti při mineralizaci kostí. Jejich účinek připomíná spíše hormony než vitamíny.

Hormonální účinek vitamínu D, tj. interakce s jadernou DNA a exprese určitého genu, je závislý na 1,25- dihydroxylaci cholecalciferolu v játrech a ledvinách.

Terpeny

Do této skupiny lipidů patří několik tisíc přírodních látek, které se vyskytují ve všech formách živých organismů. Jejich biologické funkce však známe jen u mála z nich. **Terpeny lze považovat za tzv. smyslové molekuly.** Některé jsou příjemně vonící, jiné barevné, ale jsou i terpeny velmi důležité pro proces vidění.

K **monoterpenům** patří rostlinné substance, které jsou součástí **těkavých éterických olejů a balzámů (menthol, citronellol, kafr aj.)**, ale i toxický produkt brouků kantharidin (španělské mušky – používané jako afrodiziakum).

Nutričně významnější jsou však **diterpeny** jako **retinol – vitamín A**, nebo rostlinné **hormony gibereliny**. Vitamín A je nezbytný pro růst, vývoj kostry, pro vidění, pro normální funkce reprodukčních orgánů a pro udržování diferenciací v tkáních. Vyskytuje se převážně jen v živočišných produktech. **V rostlinách jsou obsaženy provitamíny A - karotenoidy.** Jsou to **tetraterpeny**, z nichž nejvýznamnější jsou žluté, oranžové a červené pigmenty (karoteny a xantofyly). Jejich význam je v jejich účasti při přenosu energie při fotosyntéze, v ochraně prokaryot proti účinkům světla. Mimo to jsou pro některé savce provitamínem A.

Trávení a vstřebávání tuků

Nejdůležitějšími součástmi tuků jsou triacylglyceroly. Trávení a vstřebávání hydrofilních sloučenin (proteiny, sacharidy) je ve vodném prostředí organismu poměrně jednoduché, trávení a vstřebávání lipofilních složek je procesem velmi komplikovaným.

Po požití **v ústech se při mísení potravy se slinami dostávají do sousta lipasy ze žlázek na bázi jazyka, které začínají katalyzovat hydrolýzu tuků.** V ústech se tuky částečně emulgují, aby mohla snadněji proběhnout další fáze trávení, protože lipasy jsou účinné jen na rozhraní vodné a tukové fáze.

V žaludku se tuky mění jen málo, hlavně se tvoří jemná emulze a částečně (asi z 10 %) proběhne lipolýza. Vytvoření emulze je nutné pro tvorbu dostatečné styčné plochy pro působení lipas.

Ve dvanácterníku se emulze ještě stabilizuje solemi žlučových kyselin a tuky se štěpí pankreatickou lipasou, protože se trávenina smísí se šťávou pankreatu a pH se upraví na hodnotu, kdy je pankreatická lipasa aktivní. Jejím působením se nejprve odštěpí mastná kyselina vázaná na krajní skupině glycerolového zbytku a **vznikne směs 1,2- a 2,3 –**

diacylglycerolů. Ty se štěpí dále tak, že se opět oddělí jedna krajní skupina a vznikají monoacylglyceroly. Při obou reakcích se uvolní mastné kyseliny.

V lačníku jsou přítomny **intestinální lipasy**, kterými se odštěpuje z malé části monoacylglycerolů poslední vázaná mastná kyselina a vznikne molekula glycerolu. Dalšími významnými enzymy, které se podílejí na štěpení lipofilních složek jsou **fosfolipasy** a **cholesteroeстераsa**.

Mastné kyseliny a nehydrolyzované monoacylglyceroly odštěpené při hydrolýze triacylglycerolů se emulgují solemi žlučových kyselin pocházejících ze žluči, takže se vytvoří **jemné tukové micely** o velikosti 3 – 6 nm. Rozměr micel je tak malý, že umožňuje přímý kontakt lipofilních látek se střevní sliznicí a jejich vstřebání.

Micely se vstřebávají sliznicí lačníku. Při vstřebání se z nich uvolní žlučové kyseliny. Spolu s mastnými kyselinami se vstřebávají steroly, lipofilní vitamíny a fosfolipidy. **Po průchodu sliznicí se v hladkém endoplasmatickém retikulu enterocytů z mastných kyselin a monoacylglycerolů syntetizují opět triacylglyceroly, které se steroly, lipofilními vitamíny, fosfolipidy a proteinem (apoprotein) vytvoří velké lipoproteinové částice zvané chylomikra**, které se dostávají nejdříve do lymfatického oběhu a působí zákal lymfy. Z lymfatického oběhu pak přecházejí do krevního oběhu. Hydrofilní obal chylomikronů tvoří proteiny, fosfolipidy a cholesterol, hydrofobní látky jsou uvnitř struktury.

Relativně polární mastné kyseliny s řetězcem o 5 – 10 uhlících se nepřevádějí na triacylglyceroly, ale vstřebávají se přímo a jsou transportovány vrátnicovým krevním oběhem do jater, kde se metabolizují.

Vstřebatelnost rostlinných olejů je velmi dobrá a pohybuje se mezi 93 – 98 %.

Odbourávání lipidů v živočišném organismu

Dietní lipidy, ale stejně i zásobní lipidy jsou využívány jako zdroj energie nebo se využívají pro syntézu tělních lipidů, jejichž složení mastných kyselin odpovídá tělnímu tuku. Aby je mohl organismus takto využívat, musí je odbourat hydrolytickým štěpením, při kterém se přeruší esterové vazby a tak se uvolní mastné kyseliny a glycerol. Toto štěpení probíhá za účasti enzymů – lipáz. Uvolněné mastné kyseliny se použijí na resyntézu tuků, nebo se dále odbourávají s cílem získu energie.

Odbourávání probíhá tzv. -oxidací, jde o cyklický pochod, při kterém je postupně zkracován uhlíkový řetězec mastné kyseliny o dva atomy uhlíku. Proces se opakuje až se celá mastná kyselina rozloží na acetylové zbytky vázané na CoA. Vzniklý acetylkoenzym A může být využit v dalších biosyntetických dějích nebo se může dále oxidovat s energetickým ziskem v cyklu kyseliny citronové (Krebsově cyklu) za vzniku energie vázané v makroergních vazbách adenosinfosfátů.

Druhý produkt štěpení lipidů – glycerol, je ve velmi úzkém vztahu k triosafosfátům meziproductům sacharidového metabolismu. Není-li glycerol využit při syntetických procesech pro vznik nových metabolitů, je využíván v energetických přeměnách jako významný zdroj energie.

V organismu jsou uvolněné mastné kyseliny využívány pro resyntézu nebo se odbourávají s cílem získat energii. Energeticky nejvýhodnější cesta u všech živých organismů je tzv. – oxidace (3-oxidace). Která je také nejrozšířenější.