Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

Rostlinné nápoje – vhodný zdroj aminokyselin a ostatních živin?

Diplomová práce

Bc. Matyáš Chalupný

Výživa a potraviny

Ing. Matyáš Orsák, Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Rostlinné nápoje – vhodný zdroj aminokyselin a ostatních živin?" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 18.4. 2024 _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Matyášovi Orsákovi, Ph.D. za poskytování cenných rad a připomínek v průběhu zpracování mé diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat panu Ing. Vlastimilovi Mikšíkovi Ph.D. za pomoc při přípavě vzorků, paní Ing. Zoře Kotíkové Ph.D. za pomoc při analýze dat a v neposlední řadě i Bc. Patrikovi Kosztolányimu za podání pomocné ruky v laboratořích.

Rostlinné nápoje – vhodný zdroj aminokyselin a ostatních živin?

Souhrn

Rostlinné nápoje jsou potenciálně významnou potravinou moderní doby, která by díky svým senzorickým vlastnostem mohla sloužit jako přiměřená alternativa kravského mléka. Z nutričního hlediska se však mléko a rostlinné nápoje rozcházejí v celé řadě aspektů, z nichž pravděpodobně nejvýznamnějším je bílkovinné složení. Práce se zabývala obsahovými látkami rostlinných nápojů ve srovnání s kravským mlékem, a to zejména z hlediska obsahu bílkovin, jejich aminokyselinové kompozice a plnohodnotnosti.

V laboratorních podmínkách byly připraveny nápoje máku, ovsa, sóji a lupiny, které se následně, po kyselé a alkalické hydrolýze, navzorkovaly a podrobily analytickému rozboru bílkovin na LC-ESI-MS/MS. Přítomné aminokyseliny rostlinných nápojů byly přepočteny na objem 100 ml nápojů a dále se porovnaly s aminokyselinovým profilem kravského mléka a referenční bílkoviny. Bílkoviny mléka jsou považovány za plnohodnotné s výbornou využitelností, kterou tato studie při hodnocení bílkovin rostlinných nápojů nezohledňovala. Limitujícími aminokyselinami mléka jsou pak methionin s cysteinem (AAS 109). Ačkoliv měření této studie vykazovalo významně vyšší hodnoty AAS sirných aminokyselin rostlinných nápojů oproti mléku, hodnoty AAS methioninu se, vyjma máku (AAS 91), pohybovaly v nižších číslech – v případě sóji (AAS 36), ovsa (AAS 55) a lupiny (AAS 23). Z celkového obsahu bílkovin pak mléko převyšovalo pouze makový nápoj, a to jen o nepatrné množství. Ovesný nápoj byl na bílkoviny o přibližně 10 % bohatší. Markantní rozdíly v obsahu bílkovin bylo možné sledovat u sójového a lupinového nápoje, které disponovaly až téměř třikrát vyšším obsahem bílkovin vůči mléku. Z hlediska plnohodnosti bílkovin rostlinných nápojů byl za plnohodnotnou potravinu shledán pouze sójový nápoj. Limitující aminokyselinou byl v případě sójového nápoje valin (AAS 121). Makový i ovesný nápoj vykazoval deficienci v obsahu lysinu (AAS 98; AAS 93) a lupinový nápoj se jevil jako chudý zdroj tryptofanu (AAS 83).

Klíčová slova: Lisování; mák; sója; mléko; ovesné vločky; lupina

Vegetable drinks – a suitable source of amino acids and other nutrients?

Summary

Vegetable drinks are potentially important food of the modern era, which, due to its sensory properties, could serve as a reasonable alternative for cow's milk. However, from a nutritional point of view, milk and plant-based drinks differ in a number of aspects. Probably the most important is protein composition. This study has looked at the content of plant-based beverages compared with cow's milk, particularly in terms of protein content and amino acid composition.

Poppy, oats, soya and lupin beverages were prepared under laboratory conditions and underwent acid and alkaline hydrolysis. After the hydrolysis, vegetable drinks were sampled and subjected to protein analysis by LC-ESI-MS/MS. The amino acids present in each drink were recalculated to 100 ml volume and they were further compared with the amino acid profile of cow's milk and reference protein. Milk proteins are considered to be complete with excellent utility, which was not considered in this study. The limiting amino acids of milk are methionine and cystein (AAS 109). Although the measurements of this study showed significantly higher AAS values for the sulfur amino acids of plant beverages, the AAS values for methionine were in the lower range, except for poppy (AAS 91). Soybean had (AAS 36), oats (AAS 55) and lupin (AAS 23). In terms of total protein yield, milk then exceeded only poppy seed by a small amount. The oat drink was approximately 10 % richer in overall protein content. Significant differences in protein content were observed for the soya and lupin drinks, which had up to almost three times the protein content of milk. In terms of protein completeness of the vegatable drinks, only the soya drink could be found to be a complete food, containing all the essenetial amino acids in suitable amount. The limiting amino acid was valine in soy beverage (AAS 121). Both the poppy and oat beverage were deficient in lysine (AAS 98; AAS 93) and the lupin drink appeared to be a poor source of tryptophan (AAS 83).

Keywords: Pressing; poppy; soya; milk; oatmeal; lupin

Obsah

1 Úvod **9**

2 Vědecká hypotéza a cíle práce **10**

3 Literární rešerše **11**

3.1 Mléko **11**

3.2 Rostlinné alternativy mléka **11**

3.2.1 Charakteristika vybraných plodin a jejich role ve výživě 12

3.2.1.1 Mák setý 12

3.2.1.2 Sója luštinatá 13

3.2.1.3 Oves nahý 14

3.2.1.4 Lupina 14

3.3 Aminokyseliny **15**

3.3.1 Osud aminokyselin v organismu 16

3.3.2 Esenciální aminokyseliny 17

3.3.2.1 Větvené aminokyseliny (BCAA) 18

3.3.2.2 Lysin 20

3.3.2.3 Threonin 21

3.3.2.4 Methionin 21

3.3.2.5 Fenylalanin 21

3.3.2.6 Tryptofan 22

3.3.2.7 Histidin 22

3.3.3 Neesenciální aminokyseliny 23

3.3.3.1 Glycin 23

3.3.3.2 Alanin 24

3.3.3.3 Serin 24

3.3.3.4 Asparagová kyselina a asparagin 25

3.3.3.5 Glutamová kyselina a glutamin 25

3.3.3.6 Prolin 26

3.3.4 Semiesenciální aminokyseliny 26

3.3.4.1 Tyrosin 26

3.3.4.2 Cystein 27

3.3.4.3 Arginin 27

3.4 Mastné kyseliny **28**

3.4.1 Osud mastných kyselin v organismu 29

3.5 Chemické složení kravského mléka 30
3.5.1 Proteiny mléka 30
3.5.2 Mastné kyseliny v kravském mléce 31
3.6 Chemické složení vybraných plodin 31
3.6.1 Obsahové látky máku 31
3.6.2 Obsahové látky soji 33
3.6.3 Obsahové látky ovsa nahého 35
3.6.4 Obsahové látky lupiny 36

4 Metodika 37
4.1 Příprava vzorků 37
4.2 Analýza aminokyselin 38
4.2.1 Příprava vzorků pro stanovení aminokyselin v rostlinném materiálu 38
4.2.1.1 Příprava vzorků pro stanovení aminokyselin po kyselé hydrolýze ... 39
4.2.1.2 Příprava vzorků pro stanovení tryptofanu po alkalické hydrolýze 39

5 Výsledky 40
5.1 Analýza aminokyselin LC-ESI-MS/MS 40
5.1.1 Aminokyselinové složení makového nápoje 41
5.1.2 Aminokyselinové složení sójového nápoje 42
5.1.3 Aminokyselinové složení ovesného nápoje 43
5.1.4 Aminokyselinové složení lupinového nápoje 44
5.2 Ekonomické hledisko výroby nápojů 45

6 Diskuze 47

7 Závěr 56

8 Literatura 57
8.1 Tištěné monografie 57
8.2 Články v periodikách 58
8.3 Webové stránky 67

9 Samostatné přílohy I

1 Úvod

V současnosti se stravování velké části lidské populace podvoluje trendům konzumace nových potravin. Nejčastěji se nahrazují živočišné produkty jejich rostlinnými alternativami, což nastává z několika možných důvodů. Děje se tomu buď z hlediska zdravotního – lidé trpící alergiemi či intolerancemi na nejrůznější složky potravin, jako například laktosa, gluten či histamin, vyhledávají útěchu v chuťově i vzhledově podobných alternativách potravin běžně obsahujících tyto látky, aby předevšli zdravotním komplikacím souvisejících s digescí (Sethi et al. 2016). Druhou skupinu populace konzumující nové potraviny pak sestávají skupiny obyvatelstva dodržující alternativní směry stravování, jakými jsou veganství, vegetariánství, makrobiotika a jiné. Dalšími pohnutky k vynechávání běžných potravin pak mohou být v neposlední řadě i sociální či náboženské aspekty. Není však pravidlem, že každý jedinec, konzumující tyto potraviny, spadá do některé ze zmíněných skupin. Se současným rozvojem potravinářských technologií a vědy vznikají ve světě kvanta nových potravin, ve kterých lidé nacházejí zalíbení z různých důvodů. Ať už je však důvod konzumace alternativních potravin jakýkoliv, světová poptávka po těchto komoditách stoupá.

Tato diplomová práce se bude zabývat rostlinnými nápoji, jako alternativou ve vztahu ke kravskému mléku, z hlediska výživového – a to především porovnáním obsahu a složením bílkovin. Okrajově bude také zkoumáno složení lipidů a dalších látek.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Vědecké hypotézy:

1) Rostlinné alternativy mléka lze připravit z různých surovin i v domácích podmínkách s využitím dostupných postupů.
2) Rostlinné nápoje jsou zdrojem důležitých živin a jeví se tedy jako přiměřené a vhodné náhrady mléka.
3) Rostlinné nápoje jsou ekonomicky dražší oproti mléku.

Cíle práce:

1) Získat dostatek relevantních literárních zdrojů týkajících se rostlinných nápojů jakožto náhrad mléka, jejich složení, pozitiva a negativa jejich konzumace.
2) Z vybraných plodin připravit rostlinné nápoje v domácích podmínkách.
3) Provést analytické zhodnocení obsahu vybraných živin a porovnat mezi jednotlivými druhy jejich množství.
4) Provést ekonomické porovnání a zhodnocení rostlinných nápojů v porovnáním s mlékem.

3 Literární rešerše

3.1 Mléko

Mléko je přirozenou součástí lidského stravování. Člověk, a ostatní savci, se s konzumací mléka poprvé setkávají ihned po porodu, kdy matka produkuje tzv. mateřské mléko, které obsahuje celou řadu látek nezbytných pro zdravý vývoj dítěte (Castellote et al. 2011). Děti se obvykle kojí do dvou let života. Tato doba se však může lišit a u každého jedince je značně individuální (Eidelman et al. 2012; Ballard & Morrow 2013). Po odstavení mateřského mléka se do jídelníčku zařazuje běžné konzumní mléko, v naší zeměpisné šířce nejčastěji kravského původu, o kterém budou podrobnější zmíňky v následujících odstavcích.

Konzumní mléko hospodářských zvířat se do lidského jídelníčku zařadilo již přibližně před 8000 lety (Fox 2008). V současnosti je jen těžko nahraditelnou složkou v lidském stravování. Obsahuje totiž důležité látky s velmi dobrou stravitelností, od proteinů a sacharidů přes lipidy, vitaminy a mnohé minerální látky s výbornou využitelností. Dostálová (2014) tvrdí, že ačkoliv je trendem moderního stravování mléko spíše vynechávat, zdraví jedinci by jej měli v rozumné míře konzumovat, právě pro jeho exluzivní složení (viz kapitola 3.5). Nejvýznamnějším mlékem v potravinářství je mléko kravské, které světově nabylo obrovského významu. Kromě konzumace samotného mléka se dále mléko také uplatňuje jako surovina pro výrobu celé řady potravin. Technologickým zpracovaním z něj lze připravit množství dalších výrobků. Jedná se například o máslo, sýry, jogurty či doplňky stravy (Fox 2008). U některých produktů dochází během procesu zpracování k redukci některých mléčných složek. Typickým příkladem mohou být zrající sýry, u kterých se při procesu zrání odbourává laktosa a její obsah se snižuje na minimální množství. Takovéto výrobky jsou i přes jejich mléčný původ vhodné ke konzumaci jedinci trpící laktosovou intolerancí.

3.2 Rostlinné alternativy mléka

Nové potraviny je označení pro potraviny, u kterých nebyl doložen záznam jejich konzumace před datem 15.5. 1997 (eAgri 2023). Mezi tyto potraviny spadají mimo jiné, právě rostlinné alternativy mléka, které jsou laicky často mylně označované jako „rostlinná mléka“. Terminologicky se správně jedná o rostlinné nápoje, které vznikají rozemletím určitých částí rostlin s vodou za vzniku emulze příslušné plodiny, charakteristicky připomínající svým vzhledem, a zdánlivě i chutí, mléko. V moderním stravování se poptávka po těchto potravinách rapidně zvyšuje (Sethi et al. 2016). Hlavním důvodem vynechávání mléka je, z hlediska

zdravotního, alergie na kravské mléko (CMPA), při které lidské tělo autoimunitně odpovídá na přítomnost mléčné bílkoviny kaseinu (Sousa & Kopf-Bolanz 2017). Dalším běžným důvodem je laktosová intolerance, která je však na rozdíl CMPA řešitelná konzumací bezlaktosových produktů. Vzhledem k nasládlému charakteru bezlaktosových výrobků ale mnoho osob, trpící touto formou intolerance, preferuje jiné produkty, jimiž jsou právě rostlinné nápoje. Další velkou skupinou populace vynechávající mléko jsou pak lidé, dodržující alternativní výživové směry, kteří se vyhýbají konzumaci živočišných produktů záměrně z osobních důvodů (Sethi et al. 2016). Dle průzkumu Euromonitor International Dairy (2016) je hlavním důvodem konzumace rostlinných nápojů, že jsou konzumenty často považovány za zdravější a přirozenější než živočišné mléko. Sethi et al. (2016) tvrdí, že rostlinné alternativy k mléku nejsou nutričně vyvážené tak, jako mléko samotné. Ačkoliv konzumace rostlinných alternativ přináší do těla řadu cenných látek, je otázkou dalších výzkumů a vědy, do jaké míry a z jakých aspektů dokážou v jídelníčku běžné kravské mléko nahradit.

3.2.1 Charakteristika vybraných plodin a jejich role ve výživě

3.2.1.1 Mák setý

Mák (*Papaver* sp.) spadá do čeledi makovitých rostlin (*Papaveraceae*). Jedná se o bylinu řádu makotvarých (*Papaverales*), řadící se mezi dvouděložné angiospermní rostliny. Makovité rostliny jsou charakteristické přítomností mléčnic obsahujících latex, jehož složením jsou mimo jiné chemické látky i toxické alkaloidy (Kubánek 2009; Novák & Skalický 2017). Dohromady existuje 58 taxonů rodu Papaver a 36 druhů, z čehož 15 jich je endemických (Guner et al. 2012). V lidské výživě se pak uplatňuje odrůda mák setý (*Papaver somniferum*).

V zemědělství lze rozdělit dva typy kultivarů pěstovaného máku setého. Jedná se jednak o kultivary potravinářské (semenné/olejné), pěstované za účelem produkce makových semen užívaných ve výživě lidí, a jednak kultivary technické (průmyslové), které se pěstují pro vysoké výnosy alkaloidů, dále zpracovaných ve farmaceutickém průmyslu pro syntézu léků, včetně nejvýznamnějšího analgetika morfinu. V praxi se ale také často lze setkat s termínem „opiové odrůdy“, čímž je míněn veškerý mák pěstovaný za nelegální produkcí drog (Český modrý mák 2022). Právě pro nelegální produkci alkaloidů opiového máku je pěstování máku ve většině zemí světa striktně regulováno, či v některých dokonce úplně zakázáno (Cihlář et al. 2004; Kubánek 2009). Z tohoto důvodu se významnost v pěstování potravinářského máku připisuje pouze několika zemím. Největšími producenty potravinářského máku jsou slovanské země EU

a Turecko (Vašák et al. 2010). Mezi nejvýznamnější producenty technického máku se pak řadí Indie a, stejně jako u potravinářského máku, Turecko (Gurkok et al. 2015).

V České republice se v současnosti pěstuje pouze mák setý semenný sloužící výhradně k potravinářským účelům (Kubánek 2009). Dle dat z Českého modrého máku se k roku 2022 připisují jako nejpěstovanější odrůdy Aplaus, Major, Maratón, Gerlach, Onyx, Opal, MS Harlekýn a Oz. Na rozkvětu jsou ale i další odrůdy jakými je například Azurit či MS Diamant a mnoho dalších (Český modrý mák 2022).

3.2.1.2 Sója luštinatá

Sója luštinatá (*Glycine max* L.) je jednou z nejstarších kulturních plodin. Řadí se do čeledi bobovitých (*Fabaceae*) a spadá mezi dvouděložné samosprašné rostliny. Sója je luštěnina, charakteristická vysokým obsahem proteinů, lipidů, minerálních látek i vlákniny (Wang et al. 2022), díky čemuž se stala významným předmětem potravinářského průmyslu moderní doby (Saldivar et al. 2011). Disponuje blahodárnými vlastnostmi a může působit příznivě při prevenci i léčbě některých chronických onemocnění (Messina 2016). Ponnusha et al. (2011) ve své studii zmiňuje, že má značné antioxidační vlastnosti bojující proti různým typům rakoviny, ateroskleróze či osteoporóze. Je ale také na místě zmínit že sója, či její produkty, mohou u některých jedinců působit i jako alergen (Cabanillas et al. 2018). Wang et al. (2022) tvrdí, že se právě sója řadí mezi jeden z nejkritičtějších alergenů, který může při větších dávkách způsobit i smrt. Sója, napříč svému příznivému složení, obsahuje i antinutriční látky, které mohou využitelnost ostatních živin značně ovlivnit. Jedná se například o lektiny či inhibitory proteas (Liener 1994). Z tohoto důvodu je nutné sóju před konzumací tepelně upravit.

Sója je v současnosti jednou z nejpěstovanějších plodin. Největší pěstební plochy se nachází v Brazílii, Argentině, USA, Indii, Kanadě a Číně. V Evropě se řadí mezi největší producenty, mimo jiné, např. Francie. V České republice se sója pěstuje na ploše přibližně 15 tisíc ha. Je předpokládáno, že se tato výměra v následujících letech několikrát znásobí (Zemědelské služby Dynín 2023).

Ze sóji se vyrábí celá řada výrobků. Jedná se například o tofu, sloužící v pokrmech jako náhražka masa, tempeh, či v současnosti jednu z nejpopulárnějších nahrážek kravského mléka – sójového nápoje. Tradičně se sója také využívá pro přípravu sójové omáčky, mouky a oleje (Ekoprodukt spol 2023). Další možnou potravinou ze sóji, užívající se zejména ve východní kuchyni, je tzv. okara. Okara je směs drcených sójových bobů, vznikající při výrobě sójového nápoje. Jelikož se ale jedná o vedlejší produkt výroby, považuje se za odpad a většina

potravinářských podniků s ní dále nepracuje. Vlastnostmi by však okara mohla být zdraví velmi prospěšná. Složením je bohatá na vlákninu (50 %), bílkoviny (25 %) i tuky (10 %) (Colletti et al. 2020). Také obsahuje řadu vitaminů a stopových prvků. Colletti et al. (2020) se okarou, právě kvůli vysokému obsahu vlákniny a nízké produkční ceně, ve své studii zabývali. Pracovali s hypotézou, že by se mohla užívat jako doplněk stravy pro prevenci diabetu, obezity či hyperlipidémie. Úskalím okary je však rychlý stupeň degradace vzhledem k vysokému stupni vlhkosti, pohybující se mezi 70-80 %.

3.2.1.3 Oves nahý

Oves (*Avena*) je vedle pšenice, ječmene a žita řazen do hlavní skupiny obilovin. Jedná se o jednoděložnou rostlinu čeledi lipnicovitých (*Poaceae*).

Potravinářský význam ovsa není tak markantní, jako u ostatních druhů obilovin (Valentine 1995). Vzhledem k jeho nutriční povaze, je však nadále v určité míře pěstován. Oves má poměrně vysokou výživovou hodnotu a příjemnou senzorickou jakost, což z něj činí jak potravinu vhodnou pro lidskou populaci, tak i ideální potravu pro zkrmování hospodářských zvířat (Peltonen-Sainio et al. 2004). Hlavním úskalím ve výživové hodnotě ovsa je jeho silná vláknitá slupka, která značně snižuje digestibilitu této plodiny (Valentine 1995). Podíl slupky vůči obilce je proměnlivý v závislosti na pěstovaném kultivaru. Slupka má především ochranný vliv na obilovinu a jejím odstraněním se obilka vystavuje vyššímu riziku mechanickému poškození (Valentine 1995; Peltonen-Sainio et al. 2004). Postupnou kultivací a mlácením ovsa byl vyšlechtěn oves nahý (*Avena sativa* ssp. *nuda* L.), který má vláknitou slupku zredukovanou na minimální podíl. Oves nahý (*Avena nuda*) je pak tedy vyšlechtěným kultivarem s vysokou výživovou jakostí (Biel et al. 2009). Úskalím ovsa je, že spadá společně s pšenicí, ječmenem a žitem mezi obiloviny první skupiny obsahující jeden z nejvýznamnějších alergenů – lepek. Lepkové proteiny jsou složeny ze dvou frakcí, a to gliadinu a prolaminu. Mezi prolaminy spadá i avenin, který je hlavní bílkovinou ovsa (Biesiekierski 2017). Lepková alergie se pak vyznačuje vážnými zažívacími problémy spočívající v neschopnosti natrávení prolaminových frakcí, což vyvolává vážné poškození střevní sliznice.

3.2.1.4 Lupina

Lupina bílá (*Lupinus albus*) je kulturní plodinou rodu *Lupinus*, který zahrnuje více než 200 druhů této rostliny (Erbas et al. 2005). Jedná se o luštěninu čeledi bobovitých (*Fabaceae*).

Lupina se užívá již po tisíce let jak pro potravinářské, tak pro krmné účely (Huyghe 1997; Prusinski 2017). Nachází také uplatnění jako součást hnojiva zlepšující půdní strukturu. Lupina je oproti výše zmíněným plodinám jen málo pěstovanou plodinou. S moderním stravováním a rozvojem vědy se však přišlo na její blahodárné účinky a opět se její produkce začíná navyšovat (Prusinski 2017). Z potravinářského hlediska lupina dosáhla pozornosti zejména díky vysokému obsahu bílkovin a polynenasycených mastných kyselin (Huyghe 1997; Erbas et al. 2005). Z hlediska obsahu mastných kyselin má také vyvážený poměr omega-3 ku omega-6 mastných kyselin. Konzumace lupiny se také aktivně podílí při boji proti kardiovaskulárním onemocněním a celé řadě chorob trávícího traktu (Prusinski 2017).

3.3 Aminokyseliny

Aminokyseliny (AMK) jsou organické látky, charakteristické přítomností alespoň jedné karboxylové a jedné amino skupiny ve své molekule. Vzhledem k přítomnosti obou těchto skupin je molekula aminokyselin amfionem, který se může v závislosti na prostředí chovat buď jako kyselina či jako zásada. V přírodě bylo k roku 1997 popsáno přes 300 různých zástupců aminokyselin (Massey et al. 1997). Aminokyseliny jsou základní stavební jednotkou makroživin nezbytných pro život – proteinů. V přírodě se jich vyskytuje celá řada, ale pro stavbu bílkovin je jich významných pouze 20, tzv. proteinogenních AMK. Všechny tyto aminokyseliny, s výjimkou prolinu, spadají mezi α-aminokyseliny (Voet & Voetová 1990). Proteinogenní aminokyseliny lze roztřídit na základě chemické struktury do následujících skupin: Aminokyseliny s hydrofobním uhlovodíkovým řetězcem (valin, leucin, isoleucin), dále aminokyseliny s dvěmi karboxylovými skupinami (asparagová kyselina, glutamová kyselina, glutamin a asparagin), aminokyseliny s dvěmi aminoskupinami (lysin a arginin), aromatické aminokyseliny (fenylalanin, tyrosin), sirné aminokyseliny (cystein a methionin), heterocyklické aminokyseliny (tryptofan, histidin a prolin). Zbývající aminokyseliny jsou glycin a alanin s nepolárním postranním řetězcem a threonin a serin s nenabitým postranním řetězcem (Voet & Voetová 1990; Marounek & Havlík 2020).

Molekuly proteinogenních aminokyselin, s výjimkou glycinu, obsahují chirální centrum. Vykazují optickou aktivitu, v biochemii nejčastěji pod označením D a L (Voet & Voetová 1990). Pro člověka mají význam pouze L-aminokyseliny, které se v těle po absorbci buď přímo začlení do proteosyntézy, nebo se dekarboxylují, deaminují či transaminují. Ačkoliv se D-aminokyseliny v potravinách v menším množství také vyskytují, nejsou příliš prozkoumány,

a pro člověka zatím nebyl zjištěn jejich zasádní význam. Po jejich konzumaci se v těle přeměňují na L-aminokyseliny, které lidské tělo využít umí (Voet & Voetová 1990).

Proteinogenní (biogenní) L-aminokyseliny jsou základní stavební jednotkou hlavních biopolymerů živočišné říše – proteinů. Proteiny (bílkoviny) mají nespočet biologických funkcí. Zastupují funkci při výstavbě buněčných struktur, jsou katalyzátory enzymatických reakcí a mají i funkci transportní, imunologickou a regulační. Strukturu bílkovin můžeme vzestupně se vzrůstající složitostí dělit do čtyř hlavních kategorií – primární, sekundární, terciární a kvarterní. Primární struktura se zabývá poskládáním (tj. sekvencí) aminokyselin v bílkovině a peptidovou vazbou. Přesná sekvence aminokyselin exkluzivně kóduje pouze jeden konkrétní protein. Změna, byť jen jedné aminokyseliny by protein denaturovala, či úplně změnila jeho vlastnosti. Sekundární struktura popisuje konformaci molekuly, pod označením α-Helix či ß-skládaný list. Terciární struktura popisuje prostorové uspořádání molekuly bílkoviny a kvarterní struktura spojuje více terciárních struktur dohromady (Voet & Voetová 1990).

V závislosti na délce řetězce a počtu aminokyselin spojených peptidovou vazbou rozeznáváme mimo bílkoviny, které disponují molekulami spojených ze 100 a více jednotek aminokyselin, i peptidy (jedná-li se o látky obsahujících od 2 do 100 molekul aminokyselin). Významným příkladem peptidu je tripeptid glutathion – jeden z nejvýznamnějších endogenních antioxidantů. Vzhledem k potřebě příjmu aminokyselin potravou se AMK člení na esenciální, neesenciální a podmíněně esenciální (semiesenciální) aminokyseliny.

3.3.1 Osud aminokyselin v organismu

Bílkoviny jsou nejprve natráveny v žaludku a poté rozštěpeny peptidasami v tenkém střevě na volné aminokyseliny. Aminokyseliny následně podléhají několika možným procesům. Za prvé mohou být přímo vstřebány a začleněny do proteosyntetických pochodů, čímž dochází k budování vlastních bílkovin těla. V jiném případě mohou být dekarboxylovány, deaminovány či transaminovány. Derkaboxylační proces zahrnuje odštěpení karboxylové skupiny od aminokyseliny a tím dává vzniku biogenních aminů. Deaminační procesy vedou k odštěpení aminoskupiny za vzniku 2-oxokyselin. Odštěpený amoniak je odbourán v ornithinovém (močovinovém) cyklu. Transaminační proces vede k přenosu vlastní aminoskupiny jedné aminokyseliny na jinou 2-oxokyselinu. Tyto kyseliny jsou nadále využity pro syntézu nových aminokyselin či jsou začleněny do dalších biochemických pochodů (Voet & Voetová 1990; Fontana & Lavríková 2018).

3.3.2 Esenciální aminokyseliny

Esenciální aminokyseliny je označení pro AMK, které lidské tělo není schopno samo syntetizovat, a tudíž jsou jejich jediným zdrojem potraviny obsahující příslušné bílkoviny. Mezi esenciální AMK se dle současných poznatků řadí valin, leucin, isoleucin, lysin, threonin, methionin, fenylalanin, a tryptofan. Esencialita AMK se však u různých autorů mírně liší. Například Akram et al. 2011 uvádí, že do esenciálních aminokyselin spadá i histidin či arginin. Požadavky na denní příjem aminokyselin pro 70 kg jedince je uveden v tabulce 1 (Recommended Dietary Allowances 1989):

Tabulka 1 – Denní potřeba esenciálních aminokyselin [mg/70 kg] (RDA: 10th Edition 1989)*

Aminokyselina	Potřeba pro 70 kg osobu [mg/70 kg]
Histidin	700
Fenylalanin	980
Valin	700
Threonin	490
Leucin	980
Lysin	840
Isoleucin	700
Methionin (+ Cystein)	910
Tryptofan	245

*Tabulka potřeb esenciálních aminokyselin byla propůjčena ze zdroje Recommended Dietary Allowances: 10th edition (1989), která shromaždila data od WHO z roku 1985. WHO čerpalo z poznatků vědeckých studií, které následně sesumírovalo v následující tabulku. Tato sumarizace potřeb je výsledkem vícero vědeckých studií (Nakagawa et al. 1964; Fomon & Filer 1967; FAO/WHO 1973; Pineda et al. 1981).

Ačkoliv je daných 8 (popř. 9) esenciálních aminokyselin, které musí být do těla dopraveny výhradně potravinami, některé neesenciální aminokyseliny jsou schopné nahradit z určité části potřebu aminokyselin esenciálních. Jedná se jednak o cystin/cystein, který dokáže pokrýt potřebu methioninu až z 30 % a jednak o tyrosin, který pokrývá potřebu fenylalaninu až z 50 % (Recommended Dietary Allowances 1989).

Kvalita a plnohodnotnost bílkovin konkrétních potravin se hodnotí pomocí výpočtu tzv. aminokyselinového skóre. Aminokyselinové skóre (také AAS) je hodnota udávající procentuální nárust či pokles u jednotlivých esenciálních aminokyselin bílkovin zkoumané potraviny vůči aminokyselinám referenční bílkoviny. Referenční bílkovinou je míněna

pomyslná bílkovina, která by z hlediska lidské potřeby esenciálních aminokyselin byla ideální pro výživu a správné fungování lidského organismu. Hodnoty aminokyselin referenční bílkoviny byly udány a aktualizovány v roce 2007 organizacemi WHO, FAO a UNU.

Tabulka 2 – Referenční bílkovina pro výpočet AAS dle WHO, FAO a UNU (2007)

Esenciální aminokyselina	Obsah [g/100 g proteinu]	AAS [%]
Valin	3,9	100
Leucin	5,9	100
Isoleucin	3,0	100
Lysin	4,5	100
Threonin	2,3	100
Methionin (+ Cystein)	2,2	100
Fenylalanin (+ Tyrosin)	3,8	100
Tryptofan	0,6	100
Histidin	1,5	100

Výpočet AAS je pro jednotlivé aminokyseliny následující:

$$AAS = \frac{Obsah\ aminokyseliny\ v\ referenční\ bílkovině}{Obsah\ aminokyseliny\ ve\ zkoumané\ potravině} \times 100\ [\%]$$

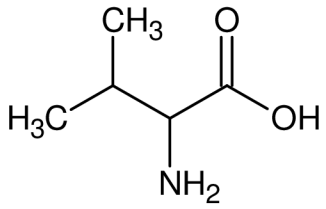
Aminokyselina s nejnižší hodnotou AAS je označována jako limitující aminokyselina, což znamená, že je v potravině z hlediska potřeby pro lidskou výživu nejméně zastoupena. Hodnota limitující aminokyseliny potraviny se udává jako celková hodnota AAS této potraviny. Referenční bílkovina je pak odrazový můstek pro zhodnocení jiných zdrojů aminokyselin. Hodnoty uvedené v tabulce 2 představují AAS 100 pro každou esenciální aminokyselinu, vůči které se dopočítává vlastní hodnota AAS aminokyselin v dalších potravinách.

3.3.2.1 Větvené aminokyseliny (BCAA)

Mezi tzv. větvené aminokyseliny neboli BCAA (Branched Chain Amino Acids), se řadí valin, leucin a isoleucin. Skupina těchto aminokyselin se vyznačuje navzájem podobnou strukturou, a tím i obdobnými vlastnostmi. Mezi nejprozkoumanější se řadí především inhibice proteolýzy bílkovin kosterního svalstva, díky čemuž jsou často využívané ve sportu jako doplňky stravy při budování svalové hmoty (Ferrando et al. 1995; Louard et al. 1995)

3.3.2.1.1 Valin

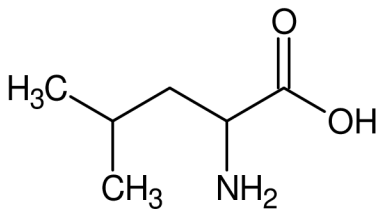
Valin je esenciální aminokyselinou, která se společně s leucinem a izoleucinem řadí mezi větvené aminokyseliny (BCAA). Má široké využití – je důležitým nutrientem v lidské výživě, jelikož podporuje tvorbu svalové tkáně a její obnovu. Také se používá jako přídavek do krmných směsí hospodářských zvířat, využívá se i ve farmacii a je součástí mnoha kosmetických přípravků (Gao et al. 2021). Kromě výše zmíněných atributů disponuje i zvlhčujícími vlastnostmi a podporuje syntézu kolagenu (Gao et al. 2021). Je také kritickým nutričním prvkem pro osoby trpící chronickým onemocněním jater (Kawaguchi et al. 2011). Kromě základní funkce, začleňovat se do proteosyntézy a být tak součástí molekul bílkovin, je valin tělem využíván jako biochemický prekurzor syntéz mnoha dalších látek (Pátek 2007).



Obrázek 1 – Strukturní vzorec valinu

3.3.2.1.2 Leucin

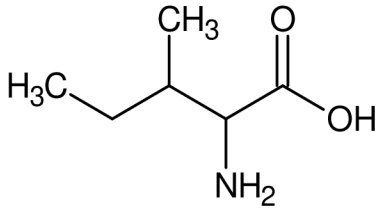
Leucin se přirozeně vyskytuje ve všech proteinech (Wu 2013). Je esenciální aminokyselinou, která se s valinem a isoleucinem řadí mezi větvené aminokyseliny (BCCA). Jedná se o jednu z nejhojněji zastoupených aminokyselin v potravinách s plnohodnotnými bílkovinami (Li et al. 2011; Duan et al. 2015). Massey et al. (1997) označili leucin za výhradně ketogenní aminokyselinu. Leucin má aktivační funkci syntézy bílkovin kosterního svalstva a také značně ovlivňuje stav tukové tkáně (Li et al. 2011). Podporuje metabolismus jednak glukosy a jednak mastných kyselin vlivem aktivace mitochondriální aktivity (Duan et al. 2015). Leucin je považován za aminokyselinu nezbytnou pro zdravý růst a rozvoj všech živočichů včetně člověka (Duan et al. 2015).



Obrázek 2 – Strukturní vzorec leucinu

3.3.2.1.3 Isoleucin

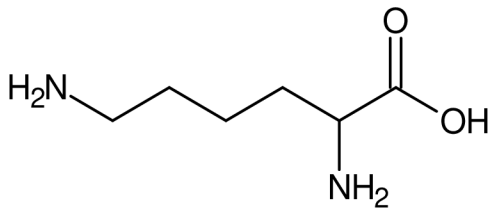
Isoleucin je třetí a poslední esenciální aminokyselina řadící se mezi větvené aminokyseliny (BCCA). Má důležitou roli při fyziologických procesech – je nezbytnou aminokyselinou pro růst, metabolismus bílkovin i tuků a transport glukosy. Dále také podporuje imunitní systém. Z hlediska podpory imunity a obranyschopnosti lidského těla je součástí mnoha peptidů, tzv. defensinů, účastnících se imunitních reakcí v boji proti patogenům (Changsong et al. 2019).



Obrázek 3 – strukturní vzorec isoleucinu

3.3.2.2 Lysin

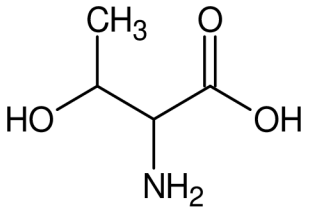
Lysin je esenciální aminokyselinou, vyznačující se dlouhým bočním řetězcem obsahujícím 3 methylové skupiny zakončené aminoskupinou (Azevedo & Saiardi 2015). Jako jediná z esenciálních aminokyselin nepodléhá procesu transaminace a společně s leucinem se označuje jako ketogenní aminokyselina (Massey et al. 1997). Eklund & Agren (1975) tvrdí, že lysin po svém výzkumu shledali jako limitující aminokyselinu proteinového koncentrátu makových semen. Fyziologická funkce lysinu spočívá v podpoře imutniního systému, má zásadní vliv na správnou funkci centrálního nervového systému a disponuje antiseptickými účinky (Massey et al. 1997). Lysin nachází využití v medicínském, chemickém, potravinářském průmyslu a jelikož se často přidává i do krmných směsí hospodářský zvířat, nachází uplatnění i v hospodářství (Savas 2007).



Obrázek 4 – Strukturní vzorec lysinu

3.3.2.3 Threonin

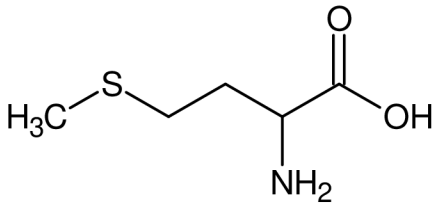
Threonin je esenciální aminokyselina s neutrálním polárním řetězcem (Massey et al. 1997). Threonin je důležitý především při tvorbě nových pojivových tkání, ve kterých je z velké části obsažen v bílkovinách elastinu a kolagenu. Threonin má dále protikřečové vlastnosti a účastní se také procesu syntézy dvou dalších aminokyselin – serinu a glycinu (Tatomir 2021).



Obrázek 5 – strukturní vzorec threoninu

3.3.2.4 Methionin

Methionin je esenciální aminokyselina s postranním řetězcem obsahujícím síru. Uvádí se jako limitující aminokyselina u sóji (Edmonds 1985) a drůbeže (Kalbande 2009). Funkčně je methionin proteinogenní aminokyselina, která má regulační funkci při dělení buněk a také působí jako inhibitor volných kyslíkových radikálů (Kalbande 2009). Dále je důležitou látkou nervového systému, je nezbytný pro tvorbu cholinu, prekurzoru neurotransmiteru acetylcholinu, a myelinizaci nervových vláken. Také hraje zásadní roli při syntéze fosfolipidů (Kohlíková 2012).

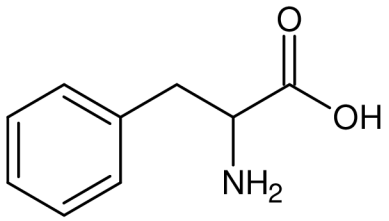


Obrázek 6 – Strukturní vzorec methioninu

3.3.2.5 Fenylalanin

Fenylalanin je esenciální aminokyselina s aromatickým jádrem. Účastní se výstavby proteinů a hraje roli při syntéze jiných aminokyselin – zejména semiesenciálního tyrosinu. V lidském těle také působí jako prekurzor katecholaminů tyraminu, dopaminu či noradrenalinu. Dále má vlastnost stimulace tvorby pigmentu melaninu (The Toxin and Toxin Target Database 2018). S fenylalaninem se pojí velmi závažné vrozené, autozomálně recesivní onemocnění zvané fenylketonurie (Spronsen et al. 2021). Toto onemocnění se vyznačuje absencí enzymu

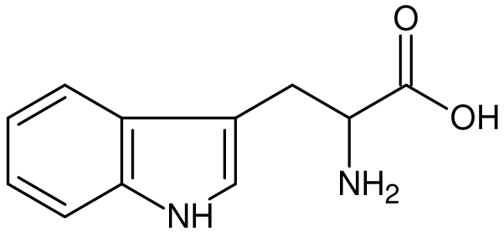
fenylalaninhydroxylasy, která fenylalanin metabolizuje na tyrosin. Důsledkem hromadění fenylalaninu a absencí tyrosinu dochází k závažným poruchám, vedoucím až k těžkým mozkovým dysfunkcím (Blau et al. 2010; Spronsen et al. 2021). Prevalence fenylketonurie je přibližně 1:10000 a jedinou možnou léčbou je alternativní dieta bez fenylalaninu, což ale znamená vynechávat veškeré přirozeně se vyskytující bílkoviny (Spronsen et al. 2021).



Obrázek 7 – Strukturní vzorec fenylalaninu

3.3.2.6 Tryptofan

Tryptofan se řadí mezi esenciální aromatické aminokyseliny. Má významnou roli při celé řadě metabolických procesů a stejně jako ostatní proteinogenní aminokyseliny i výstavbě proteinů (Richard et al. 2009; Kaluzna-Czaplinska et al. 2017). Tryptofan je dále prekurzorem mnoha biologicky aktivních látek. Jedná se například o neurotransmiter serotonin (Richard et al. 2009) či hormon bdění melatonin (Kaluzna-Czaplinska et al. 2019). Jelikož příjem tryptofanu ovlivňuje přímo hladinu serotoninu, považuje se za látku ovlivňující celkovou náladu a kognitivní procesy jednotlivých osob (Riedel et al. 2002; Richard et al. 2009). Dále je také nezbytnou aminokyselinou pro tvorbu důležitých látek, jako například koenzym NAD+, účastnící se přenosu elektronů v citrátovém cyklu a dýchacím řetězci (Palego et al. 2016). Uplatňuje se také při syntéze vitaminu B_3 (Palego et al. 2016).

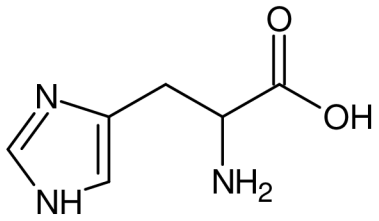


Obrázek 8 – Strukturní vzorec tryptofanu

3.3.2.7 Histidin

Histidin je esenciální aminokyselinou, jejíž postranní řetězec tvoří imidazolová skupina. Právě tato skupina je zodpovědná za mnoho unikátních vlastností histidinu. Jedná se o vlastnosti pufrování protonů (Holeček 2020), antioxidační, protizánětlivou a antisekreční

aktivitu (Peterson et al. 1998). Histidin je také součástí mnoha proteinů a enzymů, u kterých zastává roli jako důležitý acidobazický katalyzátor (Ingle 2011). Dále je nezbytným prekurzorem syntézy řady hormonů a látek ovlivňující funkční systémy lidského těla (Kessler & Raja 2023). Rozkladný produkt histidinu, vznikající jeho dekarboxylací, je biogenní amin histamin, který zastává důležitou roli hormonu, neurotransmiteru a také alergenu.



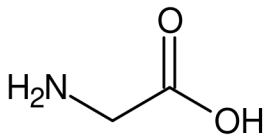
Obrázek 9 – Strukturní vzorec histidinu

3.3.3 Neesenciální aminokyseliny

Neesenciální aminokyseliny je lidské tělo schopno syntetizovat samo. Jedná se o glycin, alanin, serin, asparagovou kyselinu, asparagin, glutamovou kyselinu, glutamin a prolin (Akram et al. 2011; Marounek & Havlík 2020). Akram et al. 2011 do neesenciálních aminokyselin také zařadili cystein a tyrosin.

3.3.3.1 Glycin

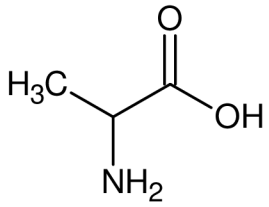
Glycin je neesenciální proteinogenní aminokyselina s nejmenší molekulovou hmotností. Molekulu glycinu tvoří pouze jádro aminokyseliny, centrální uhlík s navázanými dvěma vodíky, a charakteristicky amino a karboxylová skupina. Glycin se jako ostatní proteinogenní aminokyseliny začleňuje do proteosyntézy a napříč jednoduchosti molekuly této látky, je nezbytným prekurzorem syntézy mnoha biologicky aktivních látek (Pérez-Torres et al. 2017; Razak et al. 2017). Jedná se například o gluthathion, tripeptid, který je jedním z hlavních endogenních antioxidantů lidského těla (Pérez-Torres et al. 2017; Razak et al. 2017). Dále je prekurzorem pro hem, puriny a porfyriny (Razak et al. 2017). Dle Razaka et al. (2017) je, mimo jiné, právě z těchto důvodů glycin jednou z nejvýznamnějších neesenciálních aminokyselin v lidském organismu. Pérez-Torres et al. (2017) pak tvrdí, že glycin také disponuje protizánětlivými, cytoprotektivními a imunomodulačními vlastnostmi.



Obrázek 10 – Strukturní vzorec glycinu

3.3.3.2 Alanin

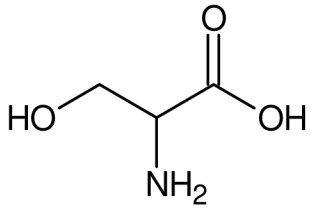
Alanin je neesenciální aminokyselina, která je po glycinu strukturně druhá nejjednodušší látka spadající do skupiny proteinogeních AMK. Ve svém bočním řetězci má na alfa uhlík navázánou pouze jednu methylovou skupinu. Dle databáze The Toxin and Toxin Target Database (2014) je alanin důležitou aminokyselinou sloužící jako primární zdroj energie ve svalech. Z tohoto důvodu je hlavní aminokyselinou vylučovanou kosterní svalovinou (Felig 1973). Databáze také udává, že má alanin význam v regulaci a metabolismu glukosy.



Obrázek 11 – Stukturní vzorec alaninu

3.3.3.3 Serin

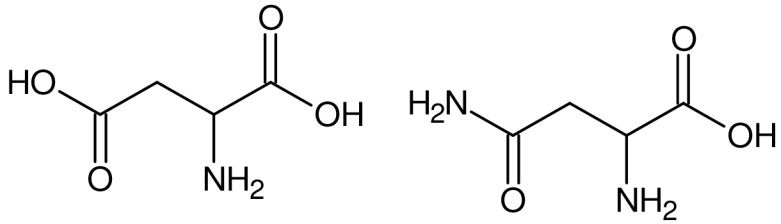
L-Serin je neesenciální aminokyselina lidského těla, která má, mimo proteosyntetických atributů, významnou roli v mnoha biochemických procesech probíhajících na buněčné úrovni (Koning et al. 2003; Holm & Buschard 2019). Metcalf et al. (2018) zastává názor, že by se L-serin měl řadit spíše mezi semiesenciální aminokyseliny, důsledkem jeho vysoké potřeby při řadě biochemických reakcí, které jej vyžadují. Obratlovci, včetně člověka, jej prý nejsou schopny za určitých okolností vyprodukovat potřebné množství. Koning et al. (2003) tvrdí, že L-serin zastupuje významné postavení při buněčném dělení a působí také jako neuroprotektivní látka (Metcalf et al. 2018). Vyšší hladiny L-serinu v těle jsou, dle studie Holma & Buscharda (2019), v pozitivní korelaci s hladinou insulinu a citlivostí insulinových receptorů na hladinu glukosy v krvi. Z tohoto důvodu je L-serin také považován, jako potenciálně terapeuticky významná látka při léčbě onemocnění *diabetes mellitus*.



Obrázek 12 – Strukturní vzorec serinu

3.3.3.4 Asparagová kyselina a asparagin

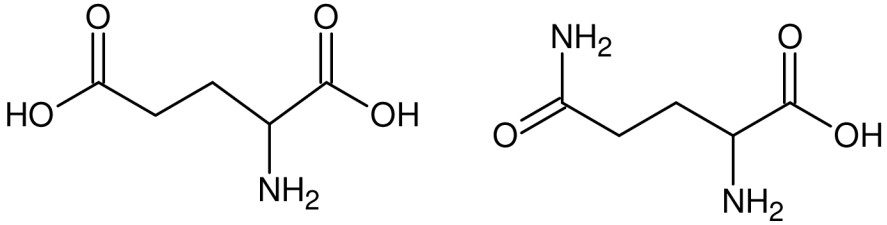
Asparagová kyselina a její amid asparagin jsou významnými neesenciálními proteinogenními aminokyselinami lidského těla. Obě aminokyseliny hrají nepostradatelnou roli při správném fungování imunitního systému (Newsholme et al. 2003; Li et al. 2007). Asparagová kyselina jsou s asparaginem z hlediska struktury příbuzné látky. V metabolismu jsou jejich biochemické cesty často propojené a zastávají podobné funkce. Asparagová kyselina je výchozí látkou syntézy nukleotidů a je nedílným činitelem biochemických pochodů účastnících se proliferace lymfocytů (Newsholme & Calder 1997). Asparagin je zodpovědný za vyvolání přiměřené imunitní odpovědi k různým podnětům působícím na lidské tělo (Li et al. 2007).



Obrázek 13 – Strukturní vzorce asparagové kyseliny (vlevo) a asparaginu (vpravo)

3.3.3.5 Glutamová kyselina a glutamin

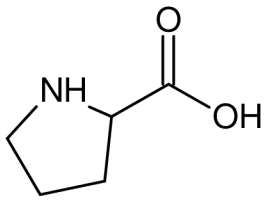
Glutamová kyselina a její amid glutamin, jsou neesenciální proteinogenní aminokyseliny, které jsou stejně jako asparagová kyselina a asparagin významnými substráty při imunitních reakcích (Li et al. 2007). Tyto dvě látky spolu na základě velice podobné struktury v mnoha vlastnostech kolerují. Spektrum vlastností těchto látek je široké. Newsholme et al. (2003) vytyčily glutaminu mnoho vlastností. Tvrdí, že glutamin je jednou z látek sloužících jako prekurzor růstu svalů, či jako látka udržující acidobazickou rovnováhu v ledvinách. Dále je nezbytný pro tvorbu moči a má vlastnost začleňovat se do glukoneogeneze. V neposlední řadě je také součástí významného antioxidantu lidského těla – gluthathionu. Glutamová kyselina je, mimo jiné, považována za důležitou látkou účastnící se synaptických přenosů v nervovém systému (Riedel et al. 2003).



Obrázek 14 – stukturní vzorce glutamové kyseliny (vlevo) a glutaminu (vpravo)

3.3.3.6 Prolin

Prolin je neesenciální proteinogenní aminokyselina, která se od ostatních aminokyselin odlišuje především svojí atypickou chemickou strukturou (viz obr. 15). Z hlediska esenciality je prolin označován za neesenciální aminokyselinu. Při popáleninách či zraněních se však považuje za podmíněně esenciální, jelikož hraje důležitou roli při procesu hojení (Wu et al. 2010). S prolinem je spojován i jeho metabolit – hydroxyprolin, který je společně s prolinem významnou součástí bílkoviny pojivové tkáně kolagenu (Karna et al. 2020). Hydroxyprolin je hlavním komponentem kolagenu, ve kterém zaujímá přibližně 14 % obsahu všech aminokyselin (Cundy et al. 2014). Kromě proteosyntetické funkce je prolin také důležitým substrátem syntézy polyaminů, argininu a kyseliny glutamové (Wu et al. 2010). Dále má význam v antioxidačních a imunitních odpovědích organismu člověka (Wu et al. 2010).



Obrázek 15 – stukturní vzorec prolinu

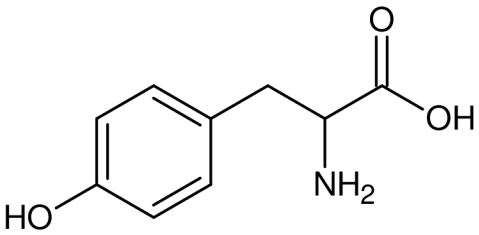
3.3.4 Semiesenciální aminokyseliny

Některé aminokyseliny nelze zařadit do skupiny esenciálních či neesenciálních aminokyselin. Jedná se o aminokyseliny, které za běžných podmínek nejsou u dospělého člověka nedostatkové a nemusí je do těla dodávat. V určitých, zdravotních situacích může nastat jejich zvýšená potřeba a pak je nezbytné je do těla dodávat externími zdroji. Ačkoliv se klasifikace aminokyselin této skupiny dle různých zdrojů spíše rozchází, jedná se především o tyrosin, cystein či arginin (Pohlandt 1974; Appleton 2002; Marounek & Havlík 2020).

3.3.4.1 Tyrosin

Tyrosin je proteinogenní aminokyselina s aromatickým jádrem, která se strukturou podobá esenciálnímu fenylalaninu. Fenylalanin se od tyrosinu odlišuje pouze navázanou hydroxylovou skupinu na čtvrtém uhlíku benzenového jádra. Za běžných podmínek je tyrosin v těle syntetizován dehydroxylací fenylalaninu. Tyrosin je nezbytnou látkou výstavby katecholaminů a hormonů štítné žlázy (Kohlmeier 2003) – thyroxinu a trijodthyroninu. Absence těchto hormonů vede k závažným poruchám a může být, zejména v období vývoje lidského organismu, fatální. Většina nadbytečného tyrosinu je za přítomnosti řady vitaminů

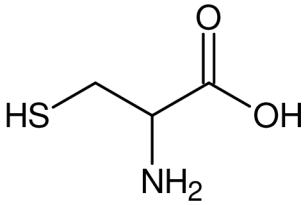
a dalších důležitých látek oxidativně spotřebována jako zdroj energie (Kohlmeier 2003). Zvýšenou potřebu tyrosinu mají především osoby trpící fenylketonurií.



Obrázek 16 – Strukturní vzorec tyrosinu

3.3.4.2 Cystein

Cystein je proteinogenní aminokyselina, která ve svém postranním řetězci obsahuje síru. Role cysteinu spočívá jakožto důležitý katalyzátor mnoha biochemických reakcí lidského těla a aktivní podílení při boji proti oxidačnímu stresu (Mosharov et al. 2000). Antioxidační aktivita cysteinu je založená na syntéze tripeptidu gluthathionu, kde právě cystein je, společně s glutaminem a glycinem, jeho součástí. V neposlední řadě má cystein významnou roli při syntéze bílkovin, ve kterých po začlenění vytvaří tzv. disulfidické můstky, které bílkovinám pomáhají udržet jejich nativní konformaci (Combs & DeNicola 2019).

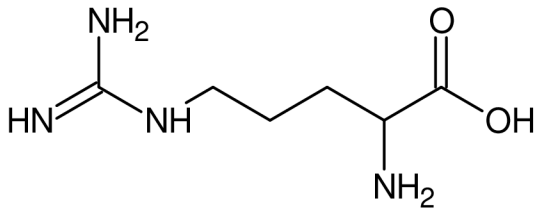


Obrázek 17 – Stukturní vzorec cysteinu

3.3.4.3 Arginin

Arginin je proteinogenní aminokyselina, která se od ostatních zmíněných aminokyselin specifikuje nejvyšším obsahem dusíku ve své molekule. Ačkoliv je lidské tělo schopno si arginin samo syntetizovat, potřeba argininu se při různých stresových reakcích značně navyšuje a musí být přijímán potravou (Nieves & Langkamp-Henken 2002; Tong & Barbul 2004). Zvýšená potřeba argininu také nastává v období růstu či při hojení zranění (Tong & Barbul 2004; Wu et al. 2009). Arginin je složkou téměř každé bílkoviny (Nieves & Langkamp-Henken 2002) a je významným substrátem syntézy řady biologicky aktivních látek (Wu et al. 2009), které jsou nezbytné pro udržování zdravého těla a funkčního imunitního systému. Dále se také podílí na sekreci hormonů, spermatogenezi či agregaci krevních destiček (Tong & Barbul 2004;

Wu et al. 2009). V neposlední řadě je také významný meziproduktem v ornithinovém cyklu při tvorbě močoviny. Spektrum působení této aminokyseliny je velice obsáhlé a zasahuje téměř do každé sféry fungování lidského těla (Wu et al. 2009).



Obrázek 18 – Stukturní vzorec argininu

3.4 Mastné kyseliny

Mastné kyseliny (MK) jsou organické sloučeniny, tvořící nedílnou součást jedné z hlavních skupin makroživin – lipidů. Lipidy je označení pro skupinu látek, zahrnující celou řadu sloučenin, z nichž dieteticky nejvýznamnější jsou tzv. triacylglyceroly, neboli estery glycerolu a tří mastných kyselin. Lipidy je systematicky možné rozdělit následujícími způsoby. Jedná-li se o lipidy živočišného původu, nazývají se tuky, pokud je původ rostlinný, používá se označení oleje. Dle délky řetězce jednotlivých mastných kyselin se mastné kyseliny dělí na: mastné kyseliny s krátkým řetězcem – do 6 uhlíků, mastné kyseliny o střední délce řetězce – 8 až 14 uhlíků a vyšší mastné kyseliny – 16 a více uhlíků. Dále se mastné kyseliny dělí dle počtu dvojných vazeb na nasycené – bez dvojných vazeb, nenasycené – s jednou dvojnou vazbou a polynenasycené mastné kyseliny – více než jedna dvojná vazba. Polynenasycené mastné kyseliny se dále označují řeckým písmenem omega a číslící. Toto označení udává, na kterém uhlíku se od konce řetězce mastné kyseliny vyskytuje první dvojná vazba (Voet & Voetová 1990).

Na lidské tělo působí pozitivně především polynenasycené mastné kyseliny (PUFA). Nasycené (SAFA) mají, i přes možné pozitivní vlastnosti, spíše negativní vliv. Mezi nejvýznamnější zástupce mastných kyselin se řadí zejména dokosahexaenová, arachidonová, linolenová, linolová, olejová, stearová a palmitová kyselina. Dokosahexaenová kyselina (DHA) je jednou z hlavních aminokyselin v membránách nervové tkáně. Důležitým zástupcem je ale i například eikosapentaenová kyselina (EPA), která je jednak prekurzorem DHA a jednak je nezbytná v přítomnosti eikosanoidů pro jejich správné fungování. Arachidonová kyselina se vyskytuje ve fosfolipidech a je prekurzorem eikosanoidů a obou ze zmíněných kyselin (EPA i DHA). Eikosanoidy jsou signální molekuly a mají důležitou imunitní funkci. Linolenová kyselina působí pozitivně na snižování hladiny cholesterolu v krvi,

čímž snižuje riziko kardiovaskulárních onemocnění a má značné protizánětlivé účinky. Linolová kyselina se podílí na různých metabolických procesech (Voet & Voetová 1990; Marounek & Havlík 2020).

Vzhledem k negativnímu dopadu některých mastných kyselin na lidské zdraví je zapotřebí zmínit tzv. trans mastné kyseliny, což jsou nenasycené mastné kyseliny, u nichž došlo k změně konformace dvojné vazby z cis na trans. Jedná se například o kyselinu vakcenovou či elaidovou. Tyto mastné kyseliny mají při vyšší konzumaci negativní dopad na lidské zdraví důsledkem napomáhání rozvoje kardiovaskulárních onemocnění, včetně aterosklerotických změn (Briggs et al. 2017).

Stejně jako u aminokyselin se mastné kyseliny, v závislosti na schopnosti lidského těla je samo syntetizovat, dělí na esenciální, semiesenciální a neesenciální mastné kyseliny. Mezi esenciální mastné kyseliny se řadí linolová (LA) a linolenová kyselina (ALA), ze kterých se dále syntetizuje řada dalších zástupců. Jedná se jednak o gama-linolenovou a arachidonovou kyselinu, jejichž je prekurzor je linolová kyselina a jednak o EPA a jednak DHA, vznikající z linolenové kyseliny (Undurti 2006).

3.4.1 Osud mastných kyselin v organismu

Hlavním trávícím orgánem lipidů je v lidském organismu tenké střevo. V tenkém střevě dochází k rozštěpení triacylglycerolů na dvě volné mastné kyseliny a monoacylglycerol. K efektivnímu metabolismu je však nutné, aby byly tuky nejprve emulgovány žlučovými kyselinami – kyselinou cholovou, chenodeoxycholovou, deoxycholovou a lithocholovou (Voet & Voetová 1990). Emulgace je proces, při kterém se molekulová struktura tuků, či produktů vzniklých jejich rozštěpením, hydrolyticky přemění na kapénky, které jsou schopné procházet střevní sliznicí. V závislosti na délce řetězce se kratší mastné kyseliny vstřebávají přímo do krve a kyseliny s delším řetězcem do enterocytů. V enterocytech jsou posléze volné mastné kyseliny, či mastné kyseliny ve formě monoacylglycerolů, reesterifikovány zpět na triacylglyceroly a zabudovány do tukové tkáně, či dále metabolizovány na glycerol a mastnou kyselinu. K úplnému odbourání mastných kyselin dochází v mitochondriích buněk procesem zvaným β-oxidace mastných kyselin. Jedná se o aerobní proces, ve kterém je mastná kyselina postupně odbourána za vzniku významného množství acetylkoenzymu A. Aby mohla β-oxidace proběhnout, musí být mastná kyselina nejprve přenesena do matrix mitochondrie bílkovinným přenašečem zvaným karnitin (Voet & Voetová 1990; Horák & Staszková 2011; Marounek & Havlík 2020).

3.5 Chemické složení kravského mléka

Kravské mléko je bílá, až mírně nažloutlá, komplexní směs látek. Získává se z mléčné žlázy krav v období laktace. Vedle hlavních složek mléka, kterými jsou voda (~87,5 %), lipidy (~3,5 %), sacharidy (~4,5 %) a bílkoviny (~3,5 %), také obsahuje značné množství minoritně zastoupených látek (<1 %) (Fox 2008; Fox et al. 2017; Mendelova univerzita 2023), z nichž nejvýznamnější je vápník. Nejen, že je vápník z mléka dobře využitelný a slouží tak jako nezbytný element účastnící se výstavby zdravých kostí a zubů. Je také nepostradatelným faktorem vzniku sýřeniny během procesu výroby sýrů (Fox 2008). Mléko dále obsahuje řadu vitaminů, a to vitamin E, A, folát, riboflavin a kobalamin (Haug et al. 2007).

Lipidy mléka jsou až z 98 % triacylglyceroly (Haug et al. 2007; Fox et al. 2017). Zbytek obsahu pak tvoří volné mastné kyseliny, mono a diacylglyceroly, fosfolipidy, cholesterol a vitaminy rozpustné v tucích (Fox et al. 2017). Hlavní mastnou kyselinou těchto lipidů je pak máselná kyselina ($C_{4:0}$). Další obsažené kyseliny jsou i středně dlouhé mastné kyseliny se sudým počtem uhlíku C_6; C_8; C_{10}, tj. kapronová, kaprylová a kaprinová. Mléko obsahuje poměrně nízký obsah polynenasycených mastných kyselin, což je sice z výživového hlediska nežádoucí, ale zvyšuje se tím jeho oxidační stabilita (Fox et al. 2017).

3.5.1 Proteiny mléka

Obsah bílkovin mléka se pohybuje okolo 3,5 % (Fox et al. 2017). Vyskytuje se v něm významné množství proteinů různého charakteru.

Proteiny mléka se dají rozdělit do dvou hlavních skupin. První skupinu označujeme jako skupinu kaseinových bílkovin. Tyto bílkoviny jsou charakteristické schopností srážet se při dosažení hodnoty izoelektrického bodu (pH 4,6). Toho se využívá při výrobě sýrů či tvarohů. Druhá skupina bílkovin, která tomuto srážení nepodléhá a je součástí syrovátky, je označována jako skupina syrovátkových bílkovin. U krav je poměr kaseinových ku syrovátkovým přibližně bílkovinám 4:1 (Fox et al. 2017). Aminokyselinové složení bílkovin kravského mléka je znázorněno v následující tabulce (viz tab. 3) (Claeys et al. 2014). Obsah bílkovin v sušině kravského mléka této studie by se pohyboval okolo 26,7 %.

Tabulka 3 – Obsah aminokyselin kravského mléka ze studie Claeys et al. (2014)

Obsah aminokyselin v bílkovinách kravského mléka		
Aminokyselina	**Obsah [mg/100 ml]**	**Procentuální zastoupení [%]**
His	100	3,0
Phe	160	4,8
Arg	110	3,3
Tyr	150	4,5
Cystein	20	0,6
Ala	100	3,0
Ser	160	4,8
Pro	320	9,6
Val	160	4,8
Thre	150	4,5
Leu	290	8,7
Asp + Asn	260	7,8
Lys	270	8,1
Gly	60	1,8
Glu + Gln	770	23,1
Ile	140	4,2
Met	60	1,8
Trp	50	1,5
Celkem	**3330**	**100,0**

Limitující aminokyselinou kravského mléka ze studie Claeys et al. (2014) je methionin s hodnotou AAS 109.

3.5.2 Mastné kyseliny v kravském mléce

Více než polovinu mastných kyselin v mléce zastupují nasycené mastné kyseliny. Jedná se zejména o máselnou, kaprylovou, kaprinovou, laurovou, myristovou a stearovou kyselinu (Haug et al. 2007). Z nenasycených mastných kyselin se v mléku vyskytuje především olejová kyselina (Haug et al. 2007).

3.6 Chemické složení vybraných plodin

3.6.1 Obsahové látky máku

Majoritní složkou makových semen je jejich olej, který je také hlavním důvodem, za kterým jsou potravinářské odrůdy pěstovány (Vašák et al. 2010). Složení a obsah oleje se mezi jednotlivými kultivary značně liší. V průměru se jeho obsah u vyzrálých semen pohybuje

mezi 46-50 %, s hlavní složkou linolové kyseliny kolísající mezi 60-70 %. (Laryšová et al. 2015). Další přítomné mastné kyseliny v makovém oleji jsou pak palmitová (15,3 %), olejová (11,6 %), stearová (5,5 %), linolenová (4,1 %) a palmitoolejová kyselina (3,9 %) (Vašák et al. 2010). Olej však není jedinou významnou frakcí semen. Po jeho extrakci je možné v semeni pozorovat řadu dalších látek. Těmi jsou například tokoferoly a tokotrienoly, kyselina pantotenová, niacin, thiamin, velké množství vápníku (1400 mg/100 g) (Laryšová et al. 2015), sacharidy (Naczk & Shahidi 2006), aminokyseliny, stopové prvky (Kubánek 2009) a bioaktivní látky fenolové povahy (Naczk & Shahidi 2006). Mimo jiné, právě značné množství vápníku zvyšuje dietetickou hodnotu semen markantním způsobem. Jeho obsah je až 600x vyšší než u pšeničné mouky (Vašák et al. 2010), což ze makových semen činí jeden z nejlepších zdrojů vápníku v rostlinné stravě.

Semena technických odrůd se v chemickém složení značně liší. Indické kultivary pěstované pro produkci alkaloidů obsahují výrazně nižší množství oleje, a to v rozmezí pouhých 26-52 % s obsahem linolové kyseliny kolísajícím od 0,7-72,7 % (Prajapati et al. 2002). Samotná semena máku nedisponují mléčnicemi. Produkují se až po latexu, a proto by neměla obsahovat alkaloidy (Novák & Skalický 2017). Mohou jimi však být kontaminována. Semena jsou totiž velice náchylná k mechanickému poškození. Při penetraci povrchu se z nich uvolňuje olej, na který se nalepí makovinový prach obsahující alkaloidy a dochází ke kontaminaci (Vašák et al. 2010). Takovéto poškození mohou způsobit například škůdci (Kubík & Cuhra 2015) nebo špatně provedená sklizeň (Lopez et al. 2018). Český modrý mák z.s. (2019) na svých stránkách odkazuje na legislativu pěstování máku v České republice z hlediska obsahu morfinových alkaloidů. Zákon stanovuje ohlašovací povinnost všech osob pěstujících mák na pozemku s rozlohou 100 m^2 a větší dle § 29 Zákona č. 167/1998 Sb., o návykových látkách a o změně některých dalších zákonů s účinností od 1. ledna 1999. Příjemce máku musí informovat příslušné dozorové orgány při přijímání máku z jiné země než z členských států EU. Od 1. srpna 2015 dle vyhlášky č. 172/2015 Sb., o informační povinnosti příjemce potravin v místě určení, je také příjemce máku povinen informovat tyto orgány o příjmu potraviny, a to nejpozději 48 hodin před dovozem. Maximální obsah morfinových alkaloidů v semeni pro konzumní účely je 25 mg/kg (vyhláška č. 399/2013 Sb. s účinností od 1. ledna 2014), přičemž tobolka rostliny potravinářského máku může obsahovat nanejvýš 0,8 % morfinanových alkaloidů.

Obsah bílkovin máku se pohybuje okolo 30 % (Eklund & Agren 1975). Aminokyselinové složení proteinů makových semen bylo zhodnoceno následovně (viz tabulka 4). Srinivas & Rao (1981) připravili proteinové koncentráty, kde na 100 g koncentrátu uvedli zastoupení jednotlivých aminokyselin.

Tabulka 4 – Aminokyselinové složení proteinů makových semen (Srinivas & Rao 1981)

Aminokyselina	Obsah AMK v proteinovém koncentrátu máku [g/100 g]
His	2,7
Phe	5,3
Arg	9,9
Tyr	4,2
Met + Cys	2,7
Ala	4,0
Ser	4,5
Pro	4,2
Val	5,2
Thre	4,0
Leu	7,1
Asp + Asn	9,2
Lys	3,5
Gly	4,2
Glu + Gln	24,1
Ile	4,5
Trp	1,0

Dle Eklunda (1975) a Srinivase (1981) byly shledány jako nejméně zastoupené aminokyseliny v proteinech makových semen lysin (3,5 %), histidin (2,7 %), methionin (2,7 %) a tryptofan (1,0 %). Aminokyseliny s nejvyšším zastoupením pak byly arginin (9,9 %), glutamová (24,1 %) a asparagová kyselina (9,2 %). Jako limitující aminokyselina makových semen byl stanoven lysin s hodnotou AAS 77.

3.6.2 Obsahové látky soji

Sója je známá především svým vysokým obsahem rostlinných proteinů a lipidů. Mezi luštěninami a obilninami disponuje nejvyšším obsahem proteinů, až kolem 40 %, a po podzemnici olejné i nejvyšším obsahem oleje kolem 20 % (Liu 1997).

Aminokyselinové zastoupení proteinů sóji bylo dle Perkinse (1995) následovně (viz tabulka 5). Nejvyšší podíl na 100 g proteinového koncentrátu sóji s vodou měla glutamová (18,2 %) a asparagová kyselina (11,6 %). Na třetím místě nejzastoupenější kyseliny byl arginin (7,4 %). Naopak nejméně zastoupenými byly methionin/cystein (2,8 %), tryptofan (1,3 %)

a histidin (2,6 %). Bílkoviny soji jsou řazeny mezi plnohodnotné zdroje bílkovin. Limitující aminokyselinou je methionin/cystein s hodnotou AAS 127.

Tabulka 5 – Aminokyselinové zastoupení proteinů sóji luštinaté (Perkins 1995)

Aminokyselina	Obsah AMK v proteinovém koncentrátu sóji [g/100 g N]
His	2,6
Phe	5,0
Arg	7,4
Tyr	3,8
Met + Cys	2,8
Ala	4,3
Ser	5,1
Pro	5,4
Val	5,1
Thre	4,1
Leu	7,9
Asp + Asn	11,6
Lys	6,3
Gly	4,2
Glu + Gln	18,2
Ile	4,8
Trp	1,3

Sójový olej je určen výhradně pro lidskou spotřebu. Vykazuje poměrně širokou variaci ve složení mastných kyselin. Nejvyšší zastoupení bylo zaznamenáno u linolové a olejové kyseliny, jejichž obsah se v obou případech pohybuje v rozmezí od 25-60 %. V oleji lze také identifikovat stearovou (3-30 %), palmitovou (8-17 %) a linolenovou kyselinu (2-15 %) (Hammond & Glatz 1989). Olej dále obsahuje fosfolipidy (1-3 %), s hlavní složkou fosfatidylcholinu (lecitinu) s obsahem až 35 % (Liu 1997).

Sacharidy se v sušině sóji pohybují okolo 35 % (Perkins 1995). Vzhledem k vysokému podílu rafinosy a stachyosy mohou vyvolávat u některých jedinců flatulenci. Sója také obsahuje antinutriční látky – lektiny a inhibitory proteáz (Liener 1994).

V neposlední řadě sója obsahuje i minerální látky: draslík (1,50 -1,92 %), sodík (0,40 – 0,61 %), fosfor (0,35 – 0,73 %), vápník (0,024 – 0,063 %), hořčík (0,094 % - 0,208 %) a železo (0,0044 % - 0,0163 %) (Perkins 1995).

3.6.3 Obsahové látky ovsa nahého

Obiloviny pro lidskou výživu by měly být charakteristické žlutou obilkou, vysokým obsahem stravitelných proteinů a výbornými technologickými vlastnostmi pro možné zpracování (Biel et al. 2009). Oves nahý (*Avena nuda* L.) se oproti ostatním obilovinám vyznačuje vyšším obsahem proteinů, hrubého tuku a nízkým obsahem vlákniny důsledkem absence vláknité slupky. Hlavní složkou slupky jsou hemicelulosy, celulosa a lignin (Peltonen-Sainio et al. 2004). Proteiny ovsa mají následující aminokyselinové složení (viz tab. 6).

Tabulka 6 – Aminokyselinové zastoupení proteinů ovsa nahého (Biel et al. 2009)

Aminokyselina	Obsah AMK v proteinovém koncentrátu ovsa [g/100 g]
His	2,4
Phe	4,7
Arg	7,1
Tyr	3,2
Met + Cys	5,0
Ala	5,0
Ser	4,6
Pro	5,4
Val	4,4
Thre	3,5
Leu	7,1
Asp + Asn	9,4
Lys	3,8
Gly	5,2
Glu + Gln	24,4
Ile	3,4
Trp	1,6

Brand a Merwe (1996) a Petkov et al. (2001) zjistili, že kultivary ovsa nahého mají značně vyšší bílkovinnou hodnotu než ostatní obiloviny. Limitující aminokyselinou, stejně jako u ostatních obilovin, však zůstává lysin s AAS 83 (Biel et al. 2009). Procentuální obsah bílkovin se u ovsa pohybuje okolo 12-14 %. Oves nahý je také poměrně dobrým zdrojem nenasycených mastných kyselin (Biel et al. 2009).

3.6.4 Obsahové látky lupiny

Lupina je bohatým zdrojem bílkovin a olejů. Semena lupiny bílé (*Lupinus albus*) disponují obsahem proteinu pohybujícím se v rozmezí 33-47 % (Erbas et al. 2005). Aminokyselinové složení proteinů lupiny je velice specifické (viz tab). Na rozdíl od obilovin probíraných v předešlém odstavci, proteiny lupiny obsahují vysoký obsahu aminokyseliny lysinu, a naopak nízký obsah sirných aminokyselin (Dervas et al. 1999). Právě kvůli lysinu, jež je často limitující aminokyselinou pro mnohá hospodářská zvířata se lupina bílá (*Lupinus albus*) stala významným krmivem. Limitující aminokyselinou lupiny je tryptofan s hodnotou AAS 105. Výsledky tohoto měření poukazují, že by bílkoviny lupiny mohly být plnohodnotným zdrojem všech esenciálních aminokyselin. Obsah oleje se v lupině pohybuje od 6-13 %. Olej má vysoký podíl polynenasycených mastných kyselin (Huyghe 1997).

Tabulka 7 – Aminokyselinové zastoupení proteinů semen lupiny bílé (Sujak et al. 2006)

Aminokyselina	**Obsah AMK v proteinovém koncentrátu lupiny [g/100 g]**
His	3,5
Phe	5,9
Arg	12,0
Tyr	1,8
Met + Cys	2,6
Ala	3,4
Ser	4,7
Val	4,3
Thre	3,7
Leu	8,2
Asp + Asn	10,5
Lys	5,1
Gly	4,5
Glu + Gln	24,7
Ile	4,5
Trp	0,6

4 Metodika

4.1 Příprava vzorků

Semena zkoumaných plodin se navážila (200 g) a nechala nabobtnat po dobu 24 hodin v přibližně 800 ml vody. Následně se semena spolu s přídavkem 200 ml vody rozemlela v mixéru a vzniklý nápoj byl přes mlynářské plátno (Uhelon, 100 % polyamid) přefiltrován. Celkové množství vzniklého nápoje a výlisků bylo zaznamenáno (viz tab. 8).

Tabulka 8 – podíl nápoje po přefiltrování

Surovina	Množství nápoje (g)	Množství výlisku (g)	Podíl nápoje (%)
Soja (SO)	407	235	63,4
Lupina (LU)	550	383	58,9
Mák (PA)	771	168	82,1
Mák (2022)	755	188	80,1
Oves (ON)	792	150	84,1

Pro stanovení sušiny a analýzu aminokyselin byl do předem zvážených vakuových sáčků odpipetován nasledující objem zkoumaných nápojů:

1. Pro stanovení sušiny lyofilizátu bylo odpipetováno přibližně 150 ml nápoje.
2. Pro analýzu aminokyselin se odpipetovalo přesně 100 ml nápoje.

Sáčky se vzorky se následně zvážily, umístily do lyofilizátoru. Po ukončení procesu lyofilizace se dále uložily do mrazáku k pozdější analýze. Stejný postup byl aplikován pro uchování vzorků výlisků, které však tato studie do výzkumu nezahrnula. Do sáčků se navážilo 50 g každého z výlisků zkoumaných nápoju. Vzorky byly následně zlyofilizovány a uloženy do mrazáku pro další studie.

4.2 Analýza aminokyselin

Pro analýzu aminokyselin byly použity zlyofilizované vzorky nápoje.

4.2.1 Příprava vzorků pro stanovení aminokyselin v rostlinném materiálu

Použité chemikálie

- Methanol (HPLC grade; Lachner, Česká republika)
- Kyselina chlorovodíková (35% p.a.; Lachner, Česká republika)
- Hydroxid sodný (p.a.; Lachner, Česká republika)
- Heptafluoromáselná kyselina (HFBA, ≥99,5%; Merck, Německo)
- Směsný standard L-aminokyselin pro kyselou hydrolýzu (96%; Merck, Německo)
- Standard L-tryptofanu (≥98,5%; Merck, Německo)
- Thiodiglykol (≥99%; VWR, Pensylvánie, USA)
- Ultračistá HPLC voda (Merck Millipore, Německo)

Použité přístroje

- Analytické váhy (KERN EW, Kern & Sohn, Německo)
- Lyofilizátor (Lyovac GT2, Steris, Německo)
- Sušárna Venticell BMT (BMT medical technology s.r.o., Česká republika)
- Simplicity UV (Merck Millipore, Německo)
- Kapalinový chromatograf (UltiMate 3000 RS, Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, USA) spojený s hmotnostním detektorem typu hybridní trojitý kvadrupól s lineární iontovou pastí (3200 QTRAP, Sciex, Massachusetts, USA)

Vzorky byly podrobeny kyselé hydrolýze pro stanovení všech proteinogenních aminokyselin vyjma tryptofanu. Pro tryptofan se vzorky podrobily alkalické hydrolýze.

4.2.1.1 Příprava vzorků pro stanovení aminokyselin po kyselé hydrolýze

Zlyofilozované vzorky byly podrobeny laboratorní analýze stanovení celkových aminokyselin po kyselé hydrolýze. Tímto způsobem byly analyzovány všechny aminokyseliny vyjma tryptofanu. Pro analýzu se naváţilo 0,40 g lyofilizátu máku a 0,25 g lyofilizátu lupiny, soji a ovsa do 15 ml uzavíratelných zkumavek z borosilikátového skla. Ke vzorkům se přidalo 10 ml 6M kyseliny chlorovodíkové, zkumavka se uzavřela, promíchala a umístila se do dřevěného stojanu.

Vzorky se následně nechaly sušit při teplotě 110 °C. Hydrolýza probíhala po dobu 24 hodin s promícháním dvě hodiny po začátku hydrolýzy a 5 hodin před koncem hydrolýzy. Po uplynutí 24 hodin se vzorky nechaly schladnout na pokojovou teplotu. Poté se kvantitativně převedly do 100 ml odměrných baněk, které se destilovanou vodou doplnily po rysku a promíchaly. Vzorky byly následně přefiltrovány (přes skládaný papír, nylonový mikrofiltr) a naředily se destilovanou vodou (100 µl vzorku + 900 µl destilované vody).

Vzorky se nechaly analyzovat na LC-ESI-MS/MS.

4.2.1.2 Příprava vzorků pro stanovení tryptofanu po alkalické hydrolýze

Pro stavovení tryptofanu se vzorky prodobily laboratorní analýze stanovení tryptofanu v rostlinném materiálu alkalickou hydrolýzou. Pro alkalickou hydrolýzu bylo naváženo 0,25 g lyofilizátů do borosilikátových zkumavek. Následně bylo přidáno 10 ml 4,2 M hydroxidu sodného, obsah zkumavky byl protřepán a umístěn do dřevěného stojanu.

Vzorky se následně nechaly sušit a hydrolyzovat v sušárně při teplotě 105 °C po dobu 20 hodin. Po uplynutí této lhůty se vzorky vyjmuly, povolily se víčka a nechaly vychladnout na pokojovou teplotu. Vzorky se následně převedly do 100 ml odměrných baněk, s přídavkem 10 ml 6 M kyseliny chlorovodíkové, a doplnily se po rysku. Následovala filtrace vzorků (přes skládaný papír, nylonový mikrofiltr) a naředění vodou v poměru 1:1.

Obsah byl následně protlačen přes mikrofiltr do vialek a podroben analýze na LC-ESI-MS/MS.

5 Výsledky

5.1 Analýza aminokyselin LC-ESI-MS/MS

Aminokyseliny byly separovány za podmínek RP-HPLC iontově párovou chromatografií. Párovým činidlem byla do mobilní fáze přidána kyselina heptafluoromáselná (HFBA). Chromatografická separace probíhla za následujících podmínek:

- Chromatografická kolona: ZORBAX SB-C18, 3,0 x 150 mm, 5 μm (Agilent, Kalifornie, USA).
- Teplota kolony: 25 °C
- Teplota autosampleru: 10 °C
- Mobilní fáze: 5 mM HFBA ve vodě (A), 5 mM HFBA v methanolu (B)
- Gradientová eluce: 0-0,5 min 20 % B izokraticky, 0,5-9 min 60 % B lineární gradient, 9-10 min 60 % B izokraticky, 10-11 min 20 % B lineární gradient, 11-15 min 20 % B izokraticky
- Čas analýzy: 15 min
- Průtok: 0,3 ml/min
- Objem nástřiku 3 μl

Výsledky analýzy aminokyselin neudávají hodnoty cysteinu, který se důsledkem hydrolýzy s následnou oxidací všechen přeměnil na cystin. Stejně tak se přeměnil veškerý asparagin a glutamin na asparagovou a glutamovou kyselinu.

Naměřené hodnoty byly přepočteny na procentuální zastoupení jednotlivých AMK, a jejich celkový obsah v sušině plodin. Skutečné naměřené hodnoty v mg/g DW lze nalézt v příloze 1. Následující část práce se zabývá aminokyselinovým složením rostlinných nápojů.

5.1.1 Aminokyselinové složení makového nápoje

Obsah bílkovin v sušině makového nápoje byl 21,46 %.

Průměrný obsah aminokyselin měření činil 214,61 mg/g lyofizilizátu.

100 ml makového nápoje obsahovalo 15,01 g sušiny, z čehož 3,2 g připadalo na aminokyseliny.

Konkrétní naměřené hodnoty jednotlivých aminokyselin lze nálezt v příloze 1.

Aminokyselinové zastoupení v proteinech makového nápoje je zobrazeno v tabulce 9:

Tabulka 9 – Aminokyselinové složení proteinů makového nápoje [mg/100 ml]

Obsah aminokyselin v bílkovinách makového nápoje		
AMK	**Obsah [mg/100 ml]**	**Procentuální zastoupení [%]**
His	96,8	3,0
Phe	128,9	4,0
Arg	313,6	9,7
Tyr	99,6	3,1
Cystin + Cystein	63,0	2,0
Ala	140,1	4,4
Ser	145,6	4,5
Pro	127,6	4,0
Val	179,2	5,6
Thre	89,5	2,8
Leu	218,4	6,8
Asp + Asn	317,0	9,8
Lys	142,3	4,4
Gly	148,8	4,6
Glu + Gln	787,6	24,5
Ile	127,3	4,0
Met	64,5	2,0
Trp	31,6	1,0
Celkové AMK	**3221,3**	**100,0**

Nejhojněji zastoupenými aminokyselinami bílkovin makového nápoje byly po analýze na chromatografu shledány glutamin/glutamová kyselina, asparagin/asparagová kyselina a arginin. Naopak nejméně zastoupenými byly tryptofan, methionin a cystin/cystein. Limitující aminokyselinou makového nápoje je lysin s hodnotou AAS 98.

5.1.2 Aminokyselinové složení sójového nápoje

Obsah bílkovin v sušině sójového nápoje byl 50,77 %.

Průměrný obsah aminokyselin měření činil 507,7 mg/g lyofizilizátu

100 ml sójového nápoje obsahovalo 18,31 g sušiny, z čehož 9,3 g připadalo na aminokyseliny.

Konkrétní naměřené hodnoty jednotlivých aminokyselin lze nálezt v příloze 1.

Aminokyselinové zastoupení v proteinech sójového nápoje je zobrazeno v tabulce 10:

Tabulka 10 – Aminokyselinové složení proteinů sojového nápoje [mg/100 ml]

Obsah aminokyselin v bílkovinách sójového nápoje		
AMK	**Obsah [mg/100 ml]**	**Procentuální zastoupení [%]**
His	287,8	3,1
Phe	493,6	5,3
Arg	666,4	7,2
Tyr	314,0	3,4
Cystin + Cystein	416,5	4,5
Ala	360,7	3,9
Ser	424,9	4,6
Pro	410,4	4,4
Val	435,5	4,7
Thre	321,5	3,5
Leu	723,5	7,8
Asp + Asn	1115,1	12,0
Lys	611,0	6,6
Gly	388,6	4,2
Glu + Gln	1705,6	18,4
Ile	462,4	5,0
Met	76,0	0,8
Trp	81,0	0,9
Celkem	**9294,5**	**100,0**

Nejhojněji zastoupené aminokyseliny bílkovin sójového nápoje byly shledány asparagin/asparagová kyselina, glutamin/glutamová kyselina a arginin. Nejméně zastoupené byly methionin a tryptofan. Limitující aminokyselinou sójového nápoje je valin s hodnotou AAS 121.

5.1.3 Aminokyselinové složení ovesného nápoje

Obsah bílkovin v sušině ovesného nápoje byl 21,60 %.

Průměrný obsah aminokyselin měření činil 216,0 mg/g lyofizilizátu.

100 ml ovesného nápoje obsahovalo 16,90 g sušiny, z čehož 3,7 g připadalo na aminokyseliny.

Konkrétní naměřené hodnoty jednotlivých aminokyselin lze nálezt v příloze 1.

Aminokyselinové zastoupení v proteinech ovesného nápoje je zobrazeno v tabulce 11:

Tabulka 11 – Aminokyselinové složení proteinů ovesného nápoje [mg/100 ml]

Obsah aminokyselin v bílkovinách ovesného nápoje		
AMK	**Obsah [mg/100 ml]**	**Procentuální zastoupení [%]**
His	103,3	2,8
Phe	192,4	5,3
Arg	191,0	5,2
Tyr	104,6	2,9
Cystin + Cystein	138,8	3,8
Ala	196,0	5,4
Ser	174,0	4,8
Pro	200,7	5,5
Val	183,6	5,0
Thre	124,4	3,4
Leu	284,3	7,8
Asp + Asn	324,9	8,9
Lys	153,5	4,2
Gly	214,2	5,9
Glu + Gln	840,6	23,0
Ile	149,3	4,1
Met	44,4	1,2
Trp	30,3	0,8
Celkem	**3649,8**	**100,0**

Nejhojněji zastoupenými aminokyselinami bílkovin ovesného nápoje jsou glutamová kyselina/glutamin, asparagová kyselina/asparagin a leucin. Naopak nejméně zastoupený je tryptofan, methionin a histidin. Limitující aminokyselinou ovesného nápoje je lysin s hodnotou AAS 93.

5.1.4 Aminokyselinové složení lupinového nápoje

Obsah bílkovin v sušině lupinového nápoje byl 53,72 %.

Průměrný obsah aminokyselin měření činil 537,2 mg/g lyofizilizátu

100 ml lupinového nápoje obsahovalo 15,60 g sušiny, 8,4 g připadalo na aminokyseliny.

Konkrétní naměřené hodnoty jednotlivých aminokyselin lze nálezt v příloze 1.

Aminokyselinové zastoupení v proteinech lupinového nápoje je zobrazeno v tabulce 12:

Tabulka 12 – Aminokyselinové složení proteinů lupinového nápoje [mg/100 ml]

Obsah aminokyselin v bílkovinách lupinového nápoje		
AMK	**Obsah [mg/100 ml]**	**Procentuální zastoupení [%]**
His	222,2	2,7
Phe	349,7	4,2
Arg	818,8	9,8
Tyr	373,2	4,5
Cystin + Cystein	495,0	5,9
Ala	272,0	3,2
Ser	398,6	4,8
Pro	294,2	3,5
Val	358,1	4,3
Thre	232,1	2,8
Leu	628,2	7,5
Asp + Asn	1025,0	12,2
Lys	441,3	5,3
Gly	331,1	4,0
Glu + Gln	1653,0	19,7
Ile	406,7	4,9
Met	38,8	0,5
Trp	44,1	0,5
Celkem	**8381,9**	**100,0**

Nejhojněji zastoupenými aminokyselinami bílkovin nápoje lupiny bílé jsou glutamin/glutamová kyselina, asparagin/asparagová kyselina a arginin. Lupina měla velice nízký obsah tryptofanu a methioninu, třetí nejméně zastoupenou aminokyselinou byl histidin. Limitující aminokyselinou lupinového nápoje je tryptofan s hodnotou AAS 83.

5.2 Ekonomické hledisko výroby nápojů

Cena rostlinných nápojů závisí na konkrétní zvolené plodině, ze které je nápoj vyráběn. V této studii byl prostudován mák, sója, oves a lupina jako potenciálně vhodná a ekonomicky výhodná surovina pro výrobu alternativního nápoje k mléku.

Portál Mikrop (2023) zveřejnil ekonomické zhodnocení výkupní a tržní ceny mléka za rok 2022. Dle ministerstva zemědělství ČR (2023) se výkupní cena mléka pohybovala okolo 11 Kč/litr. Cena z obchodních řetězců byla pro spotřebitele dostupná za ~21Kč/litr.

Následné ekonomické zhodnocení (viz tab. 13) bylo provedeno na základě aktuálních cen plodin z velkoobchodních řetězců ve srovnání s cenou kravského mléka z roku 2022. Aktuální cena vody se pohybujem okolo 0,11 Kč/litr.

Tabulka 13 – Přibližné ceny semen plodin z velkobchodních řetězců

Surovina	Cena v obchodech [Kč/kg]
Mák	130
Sója	60
Oves	30
Lupina	40

Na základě tabulky aktuálních cen semen plodin z velkobchodních řetězců (viz tab. 13) byly vypočteny náklady pro výrobu 1 litru nápoje (viz tab. 14).

Tabulka 14 – Cena 20% nápoje připraveného z velkobchodních surovin

Surovina	Cena domácí výroby [Kč/litr]
Mák	34
Sója	30
Oves	8
Lupina	15

Pro domací výrobu je příprava lupinového a ovesného nápoje, za předpokladu koupě surovin z velkobchodních řetězců, levnější variantou než koupě kravského mléka. Mák a sója jsou oproti mléku přibližně o polovinu dražší. Nejlevnější surovinou je oves, ze kterého příprava nápoje vychází, oproti koupi mléka, více než dvakrát levněji.

Dle dat ze SZIF a ČSÚ se výkupní cena plodin přímo od zemědelců pohybovala v roce 2023 v dále vypsaných hodnotách (viz tab. 15).

Tabulka 15 – Cena 20% nápoje připraveného za tržní cenu plodin

Surovina	Tržní cena [Kč/kg]	Cena nápoje [Kč/litr]
Mák setý	49	13
Oves potravinářský	7	3

Oves nahý není sledován samostatně, ale společně se všemi druhy ovsa setého. Proto je uváděn jako oves potravinářský. Tržní cena sóji a lupiny nebyla k dispozici, pravděpobobně z důvodu malého počtu subjektů nutných k uveřejnění statistických dat.

V obchodech se můžeme běžně setkat s rostlinnými alternativami k mléku. Mezi nejrozšířenější se řadí mandlový, ovesný, sojový či kokosový nápoj. Po průzkumu aktuálních cen těchto nápojů se ceny se pohybovaly v intervalech následujících hodnot:

Tabulka 16 – Ceny populárních rostlinných nápojů

Surovina	Cena v obchodech [Kč/litr]
Mandle	50 až 90
Oves	30 až 80
Sója	40 až 80
Kokos	35 až 90

Nejdražší rostlinné nápoje z obchodních řetězců měly průměrné zastoupení deklarované plodiny pouhých 2,3 % pro mandlový nápoj; 9,8 % pro ovesný nápoj; 8,0 % pro sojový nápoj a 7,0 % pro kokosový nápoj. Srovnáme-li cenu za litr nápoje vyrobeného v domacím prostředí s nápojem z obchodu, cena za domácí nápoj je jednoznačně nižší. Cena jednotlivých nápojů z obchodů je však proměnlivá a závislá na konkretním výrobci a aktuální poptávce po těchto komoditách. Obecným trendem je však mnohem vyšší nákupní cena, než jsou výrobní výdaje. Příkladem markantního rozdílu v ceně může být sójový či ovesný nápoj. Výrobní cena 20% nápojů této studie se pohybovala okolo 30 Kč/litr pro sójový a 8 Kč/litr pro ovesný nápoj, přičemž nejlevnější cena nápoje z obchodních řetězců se pohybovala okolo 30 Kč/litr pro ovesný a až kolem 40 Kč/litr pro sójový nápoj. Nápoje z obchodů také obsahují až téměř dvakrát nižší zastoupení těchto plodin v nápoji než nápoje připravené v rámci této studie. Vyšší ceny nápojů z obchodních řetězců jsou také ovlivněny přídavkem aditivních látek, které v této studii nebyly použity.

6 Diskuze

V laboratorních podmínkách byly připraveny 20% nápoje vybraných plodin – máku, ovsa, sóji a lupiny. Při výrobě nápojů bylo zjištěno, že plodiny vyžadovaly pro dostatečné nabobtnání přibližně poloviční objem vody, než byl v tomto experimentu použit. Ovesný nápoj se velice snadno filtroval, semena lupiny se náročně mlela, a sójový nápoj se obtížně lisoval – výtěžnost nápoje byla nízká. Mák byl z hlediska filtrace a lisování bezproblémový. Vzniklé nápoje byly následně podrobeny laboratorní analýze pro zjištění obsahu bílkovin a aminokyselinové kompozice. Každý z nápojů byl, za účelem zjištění výživové jakosti, posléze porovnán s kravským mlékem (Claeys et al. 2014) a referenční bílkovinou (FAO/WHO/UNU 2007).

Mléko je z nutričního pohledu jednou z nejvýznamnějších potravin lidského stravování. Obsahuje řadu nutričně cenných látek, a právě díky komplexnosti jeho složení ho lze v jídelníčku pouze stěží nahradit. Z hlediska celkového obsahu bílkovin však mléko předčilo pouze makový nápoj. Zbylé nápoje měly celkový obsah bílkovin vyšší. Porovná-li se obsah sušin rostlinných nápojů se sušinou kravského mléka, která se pohybuje okolo 12,7 % (Fox et al. 2017) celkového složení mléka, pak lze tvrdit, že sušiny rostlinných nápojů dosahovaly významně vyšších hodnot než samotné mléko, s tím že nejvyšší obsah sušiny vykazoval sójový nápoj, který převyšoval sušinu mléka až o 5,6 %. Makový nápoj se naopak v obsahu sušiny mléku nejvíce přibližoval. Podíl sušiny makového nápoje oproti mléku byl pouze o 2,3 % vyšší. Na základě vyšších obsahů sušin a tím i zastoupení bílkovin ve 100 ml nápoje byly hodnoty jednotlivých aminokyselin rostlinných nápojů, oproti mléku, v mnoha ohledech vyšší.

Tabulka 17 – Srovnání sušin nápojů s kravským mlékem a jejich bílkovinný obsah

Surovina	Zastoupení bílkovin v sušině [%]	Sušina [%]
Mléko*	26,7	12,7
Mák	21,5	15,0
Sója	50,8	18,3
Oves	21,6	16,9
Lupina	53,7	15,6

*Zastoupení bílkovin v sušině mléka ze studie Claeys et al. 2014

Při komparaci aminokyselinového složení rostlinných nápojů s kravským mlékem (Claeys et al. 2014) je ale nutné zmínit, že je mléko řazeno mezi plnohodnotné zdroje bílkovin s výbornou využitelností, kterou tato studie u rostlinných nápojů nezohledňovala. Mléko obsahuje v dostatečném množství všechny esenciální aminokyseliny. Aminokyselinové skóre jednotlivých AMK je zaznamenáno v tabulce (viz tab. 18). Proteinogenní aminokyseliny byly

z hlediska obsahu v nápojích porovnány s kravským mlékem ze zmiňované studie Claeys et al. (2014) (viz tab. 23). Z obsahu esenciálních aminokyselin je v mléku, vzhledem k lidské potřebě, nejméně zastoupen methionin. Vypočtená hodnota AAS methioninu v mléku dosahovala hodnoty 109.

Plnohodnotnost bílkovin mléka a rostlinných nápojů byla určena na základě srovnání aminokyselinového složení nápojů s referenční bílkovinou (FAO/WHO/UNU 2007).

Tabulka 18 – AAS esenciálních aminokyselin v rostlinných nápojích této studie [100 ml]

	AAS [%]				
Aminokyselina	**Mléko***	**Makový nápoj**	**Sojový nápoj**	**Ovesný nápoj**	**Lupinový nápoj**
Valin	123	144	121	128	110
Leucin	147	115	132	132	127
Isoleucin	140	133	167	137	163
Lysin	180	98	147	93	118
Threonin	196	122	152	148	122
Methionin + Cystein	109	182	241	227	291
Fenylalanin + Tyrosin	245	187	229	216	229
Tryptofan	250	167	150	133	83
Histidin	200	200	207	187	180

Tabulka 19 – AAS esenciálních aminokyselin semen plodin z vědeckých studií

	AAS [%]				
Aminokyselina	**Mléko ***	**Mák setý 1***	**Sója luštinatá 2***	**Oves Nahý 3***	**Lupina bílá 4***
Valin	123	135	131	113	110
Leucin	147	121	134	120	139
Isoleucin	140	149	160	112	151
Lysin	180	77	139	83	114
Threonin	196	172	180	152	160
Methionin + Cystein	109	122	127	225	119
Fenylalanin + Tyrosin	245	250	230	208	202
Tryptofan	250	165	225	268	105
Histidin	200	178	173	161	231

* AAS kravského mléka ze studie Claeys et al. 2014;

1* Srinivas & Rao 1981; 2* Perkins 1995; 3* Biel et al. 2009; 4* Sujak et al. 2006

Sirné aminokyseliny rostlinných nápojů vykazovaly mnohem vyšší hodnoty AAS, než v mléku ze studie Claeys et al. (2014). Tato skutečnost může být dána selektivní rozpustností jednotlivých aminokyselin, kdy právě sirné aminokyseliny mohou mít, při výrobě nápoje, vyšší afinitu k přechodu do vodné fáze než ostatní aminokyseliny. Také je nutno zohlednit, že jejich hodnoty zahrnovaly do celkového obsahu, společně s methioninem a cysteinem, i cystin. Cystein byl totiž u rostlinných nápojů důsledkem hydrolýzy všechen přeměněn na cystin. Tímto také mohlo dojít k navýšení hodnot AAS sirných aminokyselin u rostlinných nápojů. U porovnávaného mléka ze studie Claeys et al. (2014) se hodnotil pouze obsah methioninu a cysteinu.

Na základě získaných výsledků lze usoudit, že plnohodnotnosti bílkovin ze všech zkoumaných nápojů dosáhl pouze sójový nápoj. Ostatní nápoje vykazovaly deficiency v jedné aminokyselině, a tudíž se i přes svůj poměrně vysoký obsah bíllkovin nedají považovat za potraviny s plnohodnotným proteinem. Výsledky studie se však rozcházejí s výsledky Sujak et al. (2017), který naměřil významně vyšší hodnoty v obsahu tryptofanu u lupiny bílé, což ji v tomto případě umožnilo splnit kritéria plnohodnotnosti.

Mléko je oproti zkoumaným rostlinným nápojům výrazně bohatším zdrojem na lysin, threonin a tryptofan (Claeys et al. 2014). Lysin je často limitující aminokyselinou u mnoha zemědělských plodin, zejména pak obilovin. V mléku je však zastoupen o 80 % více než v referenční bílkovině. Tryptofan má zastoupení až o 150 % vyšší a threonin se vyvyšuje o přibližně 96 %. Mléko dále dominovalo i v obsahu fenylalaninu a tyrosinu. Sirné aminokyseliny byly v mléku naopak zastoupeny v nižší míře. Referenční bílkovinu v obsahu sirných aminokyselin mléko převyšovalo pouze o 9 %, zatímco rostlinné nápoje měli obsah od 82-191 % vyšší. Oproti mléku se rostlinné nápoje tedy dají považovat za vydatnější zdroj sirných aminokyselin. Tato skutečnost je podporována i dalšími studiemi, které se zabývali aminokyselinovým složením semen vybraných plodin (Srinivas & Rao 1981; Perkins 1995; Sujak et al. 2006; Biel et al. 2009). V nápojích této studie byl však obsah sirných aminokyselin u některých plodin až dvakrát vyšší než u jejich semen. U lupiny byl v nápoji dokonce naměřen rozdíl AAS až o 172 %. U sóji o 114 % a u máku o 60 %. Oves ze studie Biel et al. (2009) v obsahu sirných aminokyselin odpovídal naměřeným hodnotám této studie. Jak již bylo zmíněno, vyšší obsah sirných aminokyselin v měření této studie může být dán vyšší selektivní rozpustností sirných aminokyselin a sloučením hodnot cysteinu s cystinem. Hodnoty cysteinu se nemohly sledovat samostatně, jelikož se důsledkem hydrolýzy všechen přeměnil na cystin. Zhodnotí-li se však samostatné hodnoty AAS methioninu (bez cysteinu a cystinu) mléka vůči

rostlinným nápojům (viz tab. 20), je očividné, že, s výjimkou makového nápoje, mléko v obsahu methioninu nad rostlinnými nápoji výrazně dominuje.

Tabulka 20 – porovnání hodnot AAS methioninu

	AAS [%]				
	Kravské mléko*	**Makový nápoj**	**Sójový nápoj**	**Ovesný nápoj**	**Lupinový nápoj**
Methionin	82	91	36	55	23

* AAS kravského mléka ze studie Claeys et al. 2014

Makový nápoj měl celkový obsah bílkovin v sušině přibližně o 100 mg/100 ml nápoje nižší než kravské mléko (Claeys et al. 2014). Z esenciálních aminokyselin pak pouze zanedbatelně převyšoval mléko v obsahu methioninu (o 4 mg/100 ml) a valinu (o 19 mg/100 ml). Histidin, fenylalanin, isoleucin, tryptofan, lysin, leucin a threonin se v makovém nápoji vyskytovali v menší míře než v mléku, přičemž největší rozdíly v obsahu byly zaznamenány u tryptofanu, lysinu, leucinu a threoninu. Nejvyšší deficienci bylo možné sledovat u lysinu, kdy obsah v nápoji oproti kravského mléku kolísal až o 130 mg/100 ml. Lysin byl u makového nápoje určen jako limitující aminokyselina s AAS 98. Oproti referenční bílkovině měl o přibližně 2 % nižší obsah než požadované množství. Ačkoliv je makový nápoj dostačujícím zdrojem většiny esenciálních aminokyselin, vzhledem k nižšímu obsahu lysinu se nedá považovat za plnohodnotný zdroj bílkovin. Je však vhodné podotknout, že se příznivé skladbě aminokyselin v bílkovinách velmi blížil. Srinivas & Rao (1981) prováděli analýzu aminokyselin v makových semenech. Ve své studii uvedli jako limitující aminokyselinu máku také lysin. Oproti hodnotě AAS 98, která byla zjištěna v této studii, však uvedli, že má hodnotu AAS pouze 77. Tento rozdíl mohl být zapříčiněn rozdílnou odrůdou zkoumaného máku. Naměřený obsah ostatních aminokyselin se od sebe lišil pouze nepatrně, přičemž po porovnání žádná z esenciálních aminokyselin neklesla pod limitní hodnotu AAS 100.

Sojový nápoj byl jako jediný ze zkoumaných nápojů zhodnocen jako plnohodnotný zdroj bílkovin. Při srovnání s referenční bílkovinou (FAO/WHO/UNU 2007) byly všechny esenciální aminokyseliny zastoupeny v dostatečném množství. Sojové boby obsahují až kolem 50 % bílkovin v sušině (Perkins 1995), zatímco u mléka se obsah bílkovin pohyboval kolem 27 %. Celkový obsah aminokyselin v sojovém nápoji se pohyboval okolo 9,3 g/100 ml nápoje, čímž se stal, nejen z hlediska esenciálních aminokyselin, ale i z hlediska celkového obsahu bílkovin, nejvydatnějším zdrojem proteinů ze všech zkoumaných nápojů. Sojový nápoj mléko převyšoval v obsahu všech esenciálních aminokyselin, přičemž nejvyšší rozdíl bylo možné

pozorovat v obsahu leucinu (o ~430 mg/100 ml nápoje). Značný rozdíl bylo však také možné sledovat u sirných aminokyselin (o ~410 mg/100 ml nápoje). Limitující aminokyselinou byl u sojového nápoje valin s hodnotou AAS 121. Perkins (1995) uvádí že AAS valinu je u sóji sice 131, ale že limitující aminokyselinou sóji je methionin (+cystein) nabývající hodnot AAS 127. Naměřené hodnoty se s tímto tvrzením značně rozchází. AAS sirných aminokyselin našeho měření nabývá hodnoty 241, což může být opět dáno vyšší rozpustností sirných aminokyselin a zahrnutím cystinu do AAS sirných aminokyselin rostlinných nápojů.

Ovesný nápoj mléko (Claeys et al. 2014) v celkovém obsahu bílkovin převyšoval o přibližně 300 mg/100 ml. Nápoj měl z hlediska esenciálních aminokyselin vyšší obsah histidinu, fenylalaninu, valinu a isoleucinu, než mléko, přičemž nejvyššího rozdílu dosahoval v obsahu fenylalaninu (o 32 mg/100 ml). V zastoupení ostatních esenciálních aminokyselin, oproti ovesnému nápoji, dominovalo mléko. Nejvyšší rozdíl byl stejně jako u makového nápoje zaznamenán v obsahu lysinu. Oproti mléku měl ovesný nápoj o přibližně 120 mg/100 ml obsah této aminokyseliny nižší. Lysin je typicky limitující aminokyselinou u obilovin včetně ovsa nahého. AAS v tomto případě nabývalo hodnoty 93, což značí, že je obsah v bílkovině ovesného nápoje o přibližně 7 % nižší, než by měl být pro dosažení své plnohodnotnosti. Jako limitující aminokyselinu lysin potvrdila i studie Biel et al. (2009), která uvádí u semen lupiny hodnotu lysinu AAS 83.

Lupinový nápoj měl, po sojovém nápoji, druhý nejvyšší obsah bílkovin s přibližně 8,4 g/100 ml nápoje. Z pohledu esenciálních aminokyselin převyšoval mléko v obsahu všech aminokyselin s výjimkou methioninu a tryptofanu, kde byl obsah nižší. Lupinový nápoj převýšil mléko především v obsahu leucinu, a to přibližně o 340 mg. I přes vysoký obsah aminokyselin, lupinový nápoj nebyl vyhodnocen jako plnohodnotný zdroj bílkovin. Úskálím se stal tryptofan, který v nápoji dosahoval pod mezní hodnoty s hodnotou AAS pouhých 83. Sujak et al. (2006) ve své studii uvádí lupinu, jako plnohodnotný zdroj bílkovin. Limitující aminokyselinou je u semen lupiny stále tryptofan, avšak s hodnotou AAS 105. Tato neshoda může být pravděpodobně dána rozdílnými podmínkami pěstování a výživy sledovaných semen lupiny této studie a studie Sujak et al. (2006).

Srovnají-li se rostlinné nápoje mezi sebou a porovná se jejich obsah bílkovin a jednotlivých esenciálních aminokyselin, nejlépe by se jak obsahově, tak kompozičně umístil sójový nápoj. Obsah bílkovin je v něm značně vyšší než v kterémkoliv ze zkoumaných nápojů včetně mléka.

Další nepostradatelnou složkou, mléka i zkoumaných semen plodin, jsou mimo aminokyseliny i mastné kyseliny. Ve výživě je obecně preferována konzumace nenasycených mastných kyselin, nad nasycenými. Zatímco u mléka v obsahu dominovaly především nasycené

mastné kyseliny (Haug et al. 2007), semena zkoumaných plodin se vyznačovala převažujícím obsahem nenasycených mastných kyselin. V majoritním zastoupení byla zejména linolová kyselina jejíž vysoký obsah byl pozorován především u makových semen. Dle studie Laryšové et al. (2015) byla v dominantním zastoupení makových semen právě linolová kyselina, a to až ze 70 % celkového obsahu mastných kyselin. Zbylé plodiny – sója, oves i lupina pak disponovaly převažujícím podílem nenasycených mastných kyselin nad nasycenými (Hammond & Glatz 1989; Huyghe 1997; Biel et al. 2009).

Z hlediska obsahu minerálních látek zastupuje mléko v lidském stravování roli především jako významný zdroj vápníku (~100 mg/100 ml) (Daspher et al. 2012). V příjmu vápníku by mléku mohl konkurovat makový nápoj. Dle Laryšové et al. (2015) se obsah vápníku v makových semenech pohybuje okolo 1400 mg na 100 g semen, což je v přepočtu více než u kravského mléka. Běžnou konzumací máku je ale téměř nemožné do těla dopravit potřebné množství semen pro splnění DDD (~1,0 g) vápníku. Ucházejícího množství by se ale dalo docílit konzumací již 10% makového nápoje, pro jehož výrobu by se použilo právě 100 g semen na 1 litr vody. Tímto způsobem by bylo možné požitím 100 ml nápoje do těla dopravit značné množství vápníku. Využitelnost vápníku obsaženém v máku je však otázkou dalších výzkumů.

Nápoje byly také zhodnoceny z ekonomického hlediska. Studie pracovala s hypotézou, že jsou rostlinné nápoje dražší alternativou ke kravskému mléku. Za předpokladu, že by byly nápoje produkované v domácím prostředím s obsahem 20 % vybrané plodiny by ceny za litr byly následující:

Tabulka 21 – Cena mléka a 20% nápojů ze surovin zakoupených ve velkobochodních řetězcích

Surovina	Cena [Kč/litr]
Mléko	21
Makový nápoj	34
Sójový nápoj	30
Ovesný nápoj	8
Lupinový nápoj	15

Získaná data byla vypočtena na základě aktuálních cen vypsaných komodit z velkoobchodních řetězců dostupných konzumentům. Makový a sójový nápoj byl shledán dražším než kravské mléko. Mák převyšoval cenu mléka až o 14 Kč/litr, sója pak o 10 Kč/litr. Ostatní nápoje byly oproti mléku cenově příznivější. Nejlevnější plodinou byl oves, který byl v porovnání s mlékem více než o polovinu levnější.

Studie se také pokusila do ekonomického zhodnocení zahrnout i tržní ceny plodin od zemědělců. Dle ČSÚ a SZIF byla však cena dohledána pouze u semena máku. Oves nahý se dle SZIF nesleduje samostatně, ale pouze se všemi potravinářskými odrůdami ovsa. Sója ani lupina nebyla rovněž uvedena, pravděpodobně z důvodu malého počtu subjektů nutných k uveřejnění statistických dat. Po vyhodnocení cen těchto komodit od zemědělců pro výrobu 20% nápoje se stalo mléko nejdražší variantou pro kterýkoliv z vyhodnocených nápojů (viz tab. 22).

Tabulka 22 – Cena mléka a 20% nápojů ze surovin zakoupených od zemědelců

Surovina	**Cena [Kč/litr]**
Mléko	11
Makový nápoj	13
Ovesný nápoj	3

Ačkoliv jsou rostlinné nápoje ve velkobchodních řetězcích často drahou komoditou, pravdou je, že jsou v mnoha případech levnější alternativou než kravské mléko. Toto tvrzení závisí především na zvolené surovině pro výrobu nápoje. V rozvojových zemích, kde je produkce mléka nedostatečná, a naopak produkce některých plodin přebytečná, by pro chudší obyvatelsto, které si běžné kravské mléko nemůže dovolit, mohly rostlinné nápoje zaplnit díru na trhu (Sethi et al. 2016). Ve velkobchodních řetězcích se zákazník může setkat s poměrně rozsáhlou škálou rostlinných nápojů. Ty jsou však často mnohem dražší než jejich skutečná výrobní cena. Dosahují cen pohybujících se až okolo 90 Kč/litr nápoje. Kromě jejich vysoké ceny mají také výrazně nižší podíl deklarované plodiny než nápoje vyrobené v domácích podmínkách. Z hlediska výživového, i ekonomického, je tedy jednoznačně výhodnější výroba vlastních nápojů než jejich koupě.

Tabulka 23 – Porovnání obsahu AMK rostlinných nápojů s kravským mlékem [%]

Porovnání obsahu AMK rostlinných nápojů s kravským mlékem [%]					
AMK	**Kravské mléko***	**Makový nápoj**	**Sojový nápoj**	**Ovesný nápoj**	**Lupinový nápoj**
His	3,0	3,0	3,1	2,8	2,7
Phe	4,8	4,0	5,3	5,3	4,2
Arg	3,3	9,7	7,2	5,2	9,8
Tyr	4,5	3,1	3,4	2,9	4,5
Cystin + Cystein	0,6	2,0	4,5	3,8	5,9
Ala	3,0	4,4	3,9	5,4	3,2
Ser	4,8	4,5	4,6	4,8	4,8
Pro	9,6	4,0	4,4	5,5	3,5
Val	4,8	5,6	4,7	5,0	4,3
Thre	4,5	2,8	3,5	3,4	2,8
Leu	8,7	6,8	7,8	7,8	7,5
Asp + Asn	7,8	9,8	12,0	8,9	12,2
Lys	8,1	4,4	6,6	4,2	5,3
Gly	1,8	4,6	4,2	5,9	4,0
Glu + Gln	23,1	24,5	18,4	23,0	19,7
Ile	4,2	4,0	5,0	4,1	4,9
Met	1,8	2,0	0,8	1,2	0,5
Trp	1,5	1,0	0,9	0,8	0,5
Celkem	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**

*Aminokyselinové složení kravského mléka ze studie Claeys et al. 2014

Tabulka 24 – Porovnání obsahu AMK rostlinných nápojů s kravským mlékem [mg/100 ml]

Porovnání obsahu AMK rostlinných nápojů s kravským mlékem [mg/100 ml]					
AMK	**Kravské mléko***	**Makový nápoj**	**Sojový nápoj**	**Ovesný nápoj**	**Lupinový nápoj**
His	100,0	96,8	287,8	103,3	222,2
Phe	160,0	128,9	493,6	192,4	349,7
Arg	110,0	313,6	666,4	191,0	818,8
Tyr	150,0	99,6	314,0	104,6	373,2
Cystin + cystein	20,0	63,0	416,5	138,8	495,0
Ala	100,0	140,1	360,7	196,0	272,0
Ser	160,0	145,6	424,9	174,0	398,6
Pro	320,0	127,6	410,4	200,7	294,2
Val	160,0	179,2	435,5	183,6	358,1
Thre	150,0	89,5	321,5	124,4	232,1
Leu	290,0	218,4	723,5	284,3	628,2
Asp+Asn	260,0	317,0	1115,1	324,9	1025,0
Lys	270,0	142,3	611,0	153,5	441,3
Gly	60,0	148,8	388,6	214,2	331,1
Glu+Gln	770,0	787,6	1705,6	840,6	1653,0
Ile	140,0	127,3	462,4	149,3	406,7
Met	60,0	64,5	76,0	44,4	38,8
Trp	50,0	31,6	81,0	30,3	44,1
Celkem	**3330,0**	**3221,3**	**9294,5**	**3649,8**	**8381,9**

*Aminokyselinové složení kravského mléka ze studie Claeys et al. 2014

7 Závěr

Mléko je komplexní potravina obsahující celou řadu nutričně významných látek, z nichž hlavní místo zaujímají především plnohodnotné bílkoviny mléka kaseiny a syrovátkové bílkoviny. Mléko je také nejvýznamnějším zdrojem vápníku v lidském stravování. Na světě však existuje určité procento lidí, kteří mléko, buď ze zdravotních či jiných důvodů, nekonzumují.

Rostlinné nápoje jsou možnou potravinou budoucnosti. Senzoricky zdánlivě připomínají mléko a z tohoto důvodu by mohly ze zdravotních či jiných aspektů mléko ve výživě zastupovat. Diplomová práce se zabývala složením aminokyselin vybraných rostlinných nápojů ve srovnání s kravským mlékem.

V laboratorních podmínkách byly připraveny rostlinné nápoje ze čtyř plodin, a to z máku, soji, ovsa a lupiny. U každého z nápojů byl následně stanoven obsah bílkovin s jejich aminokyselinovou kompozicí na LC-ESI-MS/MS. Pro jednotlivé nápoje bylo dále vypočteno aminokyselinové skóre a posléze byl obsah esenciálních aminokyselin porovnán s aminokyselinovým složením mléka (Claeys et al. 2014) a referenční bílkovinou (WHO, FAO, UNU 2007). Jako nejhojnější zdroj esenciálních aminokyselin byl shledán sójový nápoj, který nejenže splňoval plnohodnost bílkovin, ale také mléko v obsahu všech esenciálních aminokyselin na 100 ml převyšoval. Aminokyselinové skóre sójového nápoje činilo 121 s limitující kyselinou valinem. Makový, ovesný a lupinový nápoj sice nesplňovaly požadavky pro plnohodnost bílkovin, ale velice se hranici plnohodnotnosti blížily. Limitující aminokyselina byla pro makový nápoj lysin s hodnotou AAS 98, pro ovesný nápoj lysin s AAS 93, a pro lupinový nápoj tryptofan s AAS 83.

Ačkoliv mohou být některé rostlinné nápoje dostačujícím zdrojem aminokyselin, je otázkou vědy a dalších studií, do jaké míry jsou bílkoviny těchto nápojů využitelné. Pro úplné porovnání se složením mléka je také stále zapotřebí prozkoumat i jejich další nutriční aspekty. Dle získaných výsledků lze však konstatovat, že jediný sójový nápoj by mohl, z hlediska potřeby bílkovin, mléko zastupovat.

8 Literatura

8.1 Tištěné monografie

Guner A, Aslan S, Ekim T, Vural M, Babac M. 2012. Turkey Plant List (Vascular Plants). Nezahat Gokyigit Botanical Garden and Flora Research Association Publication, Istanbul.

Fox PF, Guinee TP, Cogan TM, McSweeney PLH. 2017. Fundamentals of Cheese Science. Springer, New York.

Horák V, Staszková L. 2011. Biochemie. FAPPZ ČZU, Praha.

Ingle RA. 2011. Histidine biosynthesis. The Arabidopsis Book.

Kohlíková E. 2012. Patofyziologie ve schématech. Univerzita Karlova, Praha.

Kubánek V. 2009. Konopí a Mák: (pěstování, Výrobky, Legislativa). Tribun EU, Brno.

Liu KS. 1997. Chemistry and Nutritional Value of Soybean Components.

Marounek M, Havlík J. 2020. Živiny a živinové potřeby člověka. FAPPZ ČZU, Praha.

National Research Council (US) Subcommitee on the Tenth Edition of the Recommended Dietary Allowances. 1989 Recommended Dietary Allowances: 10th Edition. National Academies Press, Washington (DC).

Novák J, Skalický M, Dolejš K, Fišer F. 2017. Botanika: Cytologie, Histologie, Organologie a Systematika. Vyd. 2. Powerprint, Praha.

Vašák J, et al. 2010. Mák. Powerprint, Praha.

Voet D, Voet JG. 1990. Biochemie. Victoria Publishing, Praha.

Wu G. 2013. Amino acids: biochemistry and nutrition. CRC Press, Boca Raton.

8.2 Články v periodikách

Akram M, Asif HM, Uzair M, Akhtar N, Madni A, Ali Shah SM, Hasan Z, Ullah A. 2011. Amino acids: A review article. Journal of Medicinal Plants Research. **5(17)**:3997-4000

Appleton J. 2002. Arginine: clinical potential of a semi-essential amino acid. (Arginine). Alternative Medicine Review. **7(6)**:512-522

Azevedo C, Saiardi A. 2015. Why always lysine? The ongoing tale of one of the most modified amino acids. Advances in Biological Regulation. 1-7

Ballard O, Morrow AL. 2013. Human Milk Composition: Nutrients and Bioactive Factors. **60(1)**:49-74

Biesiekierski JR. 2017. What is Gluten? Journal of Gastroenterology and Hepatology. **32**:78-81

Biel W, Bobko K, Maciorowski R. 2009. Chemical composition and nutritive value of husked and naked oats grain. Journal of Cereal Science. **er**:413-418

Blau N, Spronsen FJ, Levy HL. 2010. Phenylketonuria. Seminar. **376**:1417-1427

Brand TS, Merwe JP. 1996. Naked oats (*Avena nuda*) as a substitute for maize in diest for weanling and grower-finisher pigs. Animal Feed Science and Technology. **57**:139-147

Briggs MA, Petersen KS, Kris-Etherton PM. 2017. Saturated Fatty Acids and Cardiovascular Disease: Replacement for Saturated Fat to Reduce Cardiovascular Risk. Healthcare. **5(2):**29

Cabanillas B, Jappe U, Novak N. 2018. Allergy to peanut, soybean, and other legumes: Recent advances in allergen characterization, stability to processing and IgE cross-reactivity. Mol. Nutr. Food Res. **62**:1700446

Castellote C, Casillas R, Ramirez-Santana C. 2011. Premature delivery influences the immunological composition of colostrum and transitional and mature human milk. The Journal of Nutrition. **141(6)**:1181–7.

Cihlář P, Vašák J, Kosek Z, Zukalová H, Roubal T, Klem K, Lošák T, Richter R, Šedivý J, Vlk R. Strana 121-145. 2004. Řepka a mák: Sborník Referátů z Konference Katedry rostlinné výroby ČZU v Praze. Česká zemědělská univerzita, Praha

Claeys WL, Verraes C, Cardoen S, De Block J, Huyghebaert A, Raes K, Dewenttinck K, Herman L. 2014. Consumption of raw or heated milk from different species: An evaluation of the nutritional and potential health benefits. Food Control. **42**:188-201

Colletti A, Attrovio A, Boff L, Mantegna S, Cravotto G. 2020. Valorisation of By-Products from Soybean (Glycine max (L.) Merr.) Processing. Molecules. **25(9)**:2129

Combs JA, DeNicola GM. 2019. The Non-Essential Amino Acid Cystein Becomes Essential for Tumor Proliferation and Survival. Cancers. **11(5)**:678

Cundy T, Reid IR, Grey A. 2014. Metabolic bone disease. Clinical Biochemistry: Metabolic and Clinical Aspects (Third Edition). Chapter 31**. 604-635**

Daspher SG, Saion BN, Stacey MA, Manton DJ, Cochrane NJ, Stanton DP, Yuan Y, Reynolds EC. 2012. Acidogenic potentioal of soy and bovine milk beverages. Journal of Dentistry. **40(9)**:736-741

Dostálová J. 2014. Mléko ničím nenahradíš. Výživa a potraviny. 1/2014

Dervas G, Doxastakis G, Zinoviadi S, Triandatafillakos N. 1999. Lupin flour addition to wheat flour doughs and effect on rhelogical properties. Food Chemistry. **66**:67-73

Duan Y, Li F, Li Y, Tang Y, Kong X, Feng Z, Anthony TG, Watford M, Hou Y, Wu G, Yin Y. 2015. The role of leucine and its metabolites in protein and energy metabolism. Amino Acids. **48**:41-51

Edmonds MS, Parsons CM, Baker DH. 1985. Limiting Amino Acids in Low-Protein Corn-Soybean Meal Diets Fed to Growing Chicks. Poultry Science. **64**:1519-1526

Eidelman AI, Schanler RJ, Johnston M, Landers S, Noble L, Szucs K, Viehmann L. 2012. Breastfeeding and the Use of Human Milk. Section On Breastfeeding. **123(3)**:827-841

Eklund A, Agren G. 1975. Nutritive value of poppy seed protein. Journal of the American Oil Chemists Society. **52(6)**:188-190

Erbas M, Certel M, Uslu MK. 2005. Some chemichal properties of white lupin seeds (*Lupinus albus* L.). Food Chemistry. **89**:341-345

Felig P. 1973. The glucose-alanine cycle. Metabolism. **22(2)**:179-207

Ferrando A, Williams B, Stuart C, Lane H, Wolfe R. 1995. Oral branched-chain amino acids decrease whole-body proteolysis. Journal of Parenteral and Enteral Nutrition. **19**:47-54

Fomon SJ, Filer LJ. 1967. Amino acid requirements for normal growth. Amino Acid Metabolism and Genetic Variation. McGraw-Hill, New York. 391-101 pp.

Fox PF. 2008. Milk: An overview. Milk Proteins: From Expression to Food.

Gao H, Tuyishime P; Zhang X; Yang T; Xu M, Rao Z. 2021. Engineering of microbial cells for L-valine production: challenges and opportunities. Microbial Cell Factories. **20**:172

Gurkok T, Turktas M, Parmaksiz I, Unver T. 2015. Transcriptome Profiling of Alkaloid Biosynthesis in Elicitor Induced Opium Poppy. Plant Molecular Biology Reporter. **33**:673-688

Hammond EG, Glatz BA. 1989. Biotechnology applied to fats and oils. Development in Food Biotechnology, **173**-217

Haug A, Hostmark A, Harstad OM. 2007. Bovine milk in human nutrition a review. Lipids in Health and Disease. **6**:25

Holeček M. 2020. Histidine in Health and Disease: Metabolism, Physiological Importance, and Use as a Supplement. Nutrients. **12(3)**:848

Holm LJ, Buschard K. 2019. L-serine: a neglected amino acid with a potential therapeutic role in diabetes. Journal of Pathology, Microbiology and Immunology. **127(10)**:655-659

Huyghe C. 1997. While lupin (*Lupinus albus* L.) Field Crops Research. **53**:147-160

Changsong G, Xiangbing M, Daiwen CH, Bing Y, Qing Y. 2019. Isoleucine Plays an Important Role for Maintaining Immune Function. Current Protein and Peptide Science. **8**:644-651

Kalbande VH. Ravikanth K. Maini S. Rekhe DS. 2009. Methionine Supplementation Options in Poultry. International Journal of Poultry Science. **8(6)**:588-591

Kaluzna-Czaplinska J, Gatarek P, Chirumbolo S, Chartrand MS, Bjorklund G. 2019. How important is tryptophan in human health? Critical Reviews in Food Science and Nutrition. **59**:72-88

Karna E, Szoka L, Huynh TYL, Palka JA. 2020. Proline-dependent regulation of collagen metabolism. Cellular and Molecular Life Sciences. **77(10)**:1911-1918

Kawaguchi T, Izumi N, Charlton MR, Sata M. 2011. Branched-chain amino acids as pharmacological nutrients in chronic liver disease. Hepatology. **54:**70-1063

Kessler AT, Raja A. 2023. Biochemistry, Histidine. StatPearls Publishing. PMID: 30855789

Kohlmeier M. 2003. Tyrosine. Nutrient Metabolism, Food Science and Technology. 321-328

Koning TJ, Snell K, Duran M, Berger R, Poll-the BT, Surtees R. 2003. L-Serine in disease and development. Biochemical Journal. **371(3)**:653-661

Kubík M, Cuhra P. 2015. Mák a opiáty – zkušenosti SZPI s kontrolou máku. Výživa a potraviny. 3/2015.

Laryšová A, Endlová L, Vrbovský V, Navrátilová Z. 2015. Analýza alkaloidů v makovině metodou vysokoúčinné kapalinové chromatografie. Chemické listy. **109**:229-234

Li P, Yin YL, Li D, Kim WS, Wu G. 2007. Amino acids and immune function. British Journal of Nutrition **98(2)**:237-252

Li XL, Rezaei R, Li P, Wu G. 2011. Composition of amino acids in feed ingredients for animal diets. Amino Acids. **40**:1159-1168

Liener IE. 1994. Implications of antinutritional components in soybean foods. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. **34**:31-67

Lopez P, Pereboom-de Fauw DPKH, Mulder PPJ, Spanjer M, Stoppelaar J, Mol HGJ, Nij M. 2018. Straightforward analytical method to determine opium alkaloids in poppy seeds and bakery products. Food Chemistry. **242**:443-450

Louard R, Barrett E, Gelfand R. 1995. Overnight branched-chain amino acid infusion causes sustained suppression of muscle proteolysis. Metabolism. **44**:424-429

Massey KA, Blakeslee CH, Pitkov HS. 1997. A review of physiological and metabolic effects of essential amino acids. Amino Acids. **14**:271-300

Messina M. 2016. Soy and health update: Evaluation of the clinical and epidemiologic literature. Nutrients. **8**:754

Metcalf JS, Dunlop RA, Powell JT, Banack SA, Cox PA. 2018. L-Serine: a Naturally-Occurring Amino Acid with Therapeutic Potential. Neurotoxicity Research. **33**:213-221

Milan AM, Hodgkinson A, Mitchell S, Prodhan UK. 2018. Digestive Responses to Fortified Cow or Goat Dairy Drinks: A Randomised Controlled Trial. Nutrients. **10(10)**:1492

Mosharov E, Cranford MR, Banerjee R. 2000. The Quantitatively Important Relationship between Homocysteine Metabolism and Glutathion Synthesis by the Transsulfuration Pathway and Its Regulation by Redox Changes. Biochemistry. **39(42)**:13005-13011

Naczk M, Shahidi F. 2006. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: occurrence, extraction and analysis. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. **41**:1523–1542

Nakagawa I, Takahashi T, Suzuki T, Kobayashi K. 1964. Amino acid requirements of children: nitrogen balance at the minimum level of essential amino acids. The Journal of Nutrition. **83**:115-118

Newsholme EA, Calder PC. 1997. The proposed role of glutamine in some cells of the immune systém and speculative consequences for the whole animal. Nutrition. **13**:728-730

Newsholme P, Procopio J, Lima MMR, Pithon-Curi TC, Curi R. 2003. Glutamine and glutamate – their central role in cell metabolism and function. Cell Biochemistry and function. **21**:1-9

Nieves C, Langkamp-Henken B. 2002. Arginine and immunity: a unique perspective. Biomedicine & Pharmacotherapy. **56(10)**:471-482

Palego L, Betti L, Rossi A, Giannaccini G. 2016. Tryptophan Biochemistry: Structural, Nutritional, Metabolic, and Medical Aspects in Humans. Journal of Amino Acids. **2016**:1-13

Pátek M. 2007. Branded-chain amino acids. In: Wendisch V, editor, Amino acid biosynthesis – pathways, regulation and metabolic engineering, Microbiology monographs. **5**:129-62

Peltonen-Sainio P, Kontturi M, Rajala A. 2004. Impact dehulling oat grain to improve qualitfy of on farm produced feed. I. Hullability and associated changes in nutritive value and energy content. Agricultural and Food Science. **13**:18-28

Peterson JW, Boldogh I, Popov VL, Saini SS, Chopra AK. 1998. Anti-inflammatory and antisecretory potential of histidine in Salmonella-challenged mouse small intestine. Laboratory Investigation; a Journal of Technical Methods and Pathology. **78(5)**:523-534

Petkov K, Biel W, Kowieska A, Jaskowska I. 2001. The composition and nutritive value of naked oat grain (*Avena sativa* var. *nuda*). Journal of Animal and Feed Sciences. **10(2)**:303-307

Perkins EG. 1995. Composition of Soybeans and Soybean Products. Practical Handbook of Soybean Processing and Utilization. **9**-28

Pérez-Torres I, Zuniga-Munoz M, Guarner-Lans V. 2017. Amino Acid Glycine. Mini Reviews in Medicinal Chemistry. **17(1)**:15-32(18)

Pineda O, Torun B, Viteri FE, Arroyave G. 1981. Protein qualitiy in relation to estimates of essential amino acids requirements. AVI Publishing, Westport. 29-42

Pohlandt F. 1974. Cystine. A semi-essential amino acid in the newborn infant. Acta Paediatrica: Nurturing the child. **63(6)**:801-804

Ponnusha BS, Subramaniyam S, Pasupathi P, Subramaniyam B, Virumandy R. 2011. Antioxidant and Antimicrobial properties of Glycine Max-A review. International Journal of Current Biological and Medical Science. **1(2)**:49-62

Prajapati S, Bajpai S, Singh D, Luthra R, Gupta M.M., Kumar S. 2002. Alkaloid profiles of the Indian land races of the opiumpoppy Papaver somniferum L. Genetic Resources and Crop Evolution. **49**:183-188

Prusinski J. 2017. White Lupin (*Lupinus albus* L.) – Nutritional and Health Values in Human Nutrition – a Review. Czech Journal of Food Sciences. **2**:95-105

Razak MA, Begum PS, Viswanath B, Rajagopal S. 2017. Multifarious Beneficial Effect of Nonessential Amino Acid, Glycine: A Review. Oxidative Medicine and Celullar longevity. **2017**:1-8

Richard DM, Dawes MA, Mathias CW, Acheson A, Hill-Kapturczak N, Dougherty DM. 2009. L-Tryptophan: Basic Metabolic Functions, Behavioral Research and Therapeutic Indications. International Journal of Tryptophan Research. **2**:45-60

Riedel G, Platt B, Micheau J. 2003. Glutamate receptor function in learning and memory. Behavioural Brain Research. **140(1,2)**:1-47

Riedel WJ, Klaassen T, Schmitt JAJ. 2002. Tryptophan, mood, and cognitive function. Brain, Behavior and Immunity. **16(5)**:581-589

Saldivar X, Wang YJ, Chen P, Hou A. 2011. Changes in chemical composition during soybean seed develepoment. Food Chemistry. **124**:1369-1375

Savas A. 2007. L-Lysine Fermentation. Recent Patents on Biotechnology. **1(14)**:11-24

Sethi S, Tyagi SK, Anurag RK. 2016. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. Journal of Food Science and Technology. **53(9)**:3408-3423

Sousa A, Kopf-Bolanz KA. 2017. Nutritional Implications of an Increasing Consumption of Non-Dairy Plant-Based Beverages Instead of Cow's Milk in Switzerland. Advances in Dairy Research. **2329-888X**

Spronsen FJ, Blau N, Harding C, Burlina A, Longo N, Bosch AM. 2021. Phenylketonuria. Nature Reviews Disease Primers. **7**:1-19

Srinivas H, Rao MSN. 1981. Studies on the proteins of poppy seed (Papaver somniferum). Journal of Agricultural and Food Chemistry. **29(6)**:1232-1235

Sujak A, Kotlarz A, Strobel W. 2006. Compositional and nutrinitional evaluation of several lupin seeds. Food Chemistry. **98**:711-719

Tong BC, Barbul A. 2004. Cellular and Physiological Effects of Arginine. Medicinal Chemistry. **4(8)**:823-832(10)

Undurti ND. 2006. Essential Fatty Acids – A Review. Current Pharmaceutical Biotechnology. **16**:467-482

Valentine J. 1995. Naked oats. The Oat Crop. 504-532

Wang J, He Z, Raghavan V. 2022. Soybean allergy: characteristics, mechanism, detection and its reduction through novel food processing techniques. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. **63:**6182-6195

WHO. 1985. Energy and Protein Requirements. Report of Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. Technical Report Series 724. World Health Organization, Geneva. 206 pp.

WHO/FAO. 1973. Amino-Acid Content of Foods and Biological Data on Proteins. Food Policy and Food Science Service. Nutrition Division.

Wu G, Bazer FW, Burghardt RC, Johnson GA, Kim SW, Knabe DA, Li P, Li X, McKnight JR, Satterfield MC, Spencer TE. 2010. Proline and hydroxyproline metabolism: implications for animal and human nutrition. Amino Acid. **40**:1053-1063

Wu G, Bazer FW, Davis TA, Kim SW, Li P, Rhoads JM, Satterfield CM, Smith SB, Spencer TE, Yin Y. 2009. Arginine metabolism and nutrition in growth, health and disease. Amino Acids. **37**:153-168

8.3 Webové stránky

Český statistický úřad (ČSÚ). 2023.
Available from: https://www.czso.cz/ (accessed January 2024)

Český modrý mák z.s. 2022. Typy máku.
Available from: Typy máku – Český modrý mák (ceskymodrymak.cz) (accessed July 2023)

Český modrý mák z.s. 2022. Odrůdy v ČR.
Available from: Český modrý mák – Český modrý mák (ceskymodrymak.cz) (accessed July 2023)

Český modrý mák z.s. 2022. Pěstební plochy máku.
Available from: https://ceskymodrymak.cz/cs/mak/obecne-informace (accesed July 2023)

Český modrý mák z.s. 2022. Legislativa v ČR. Obecné informace.
Available from: https://ceskymodrymak.cz/cs/mak-jako-komodita/legislativa-mak (accessed July 2023)

eAgri – 2023. Nové potraviny.
Available from:https://eagri.cz/public/web/mze/potraviny/potraviny-noveho-typu-nove-potraviny/ (accessed july 2023)

Ekoprodukt spol s.r.o. 2023. O sóji.
Available from: https://www.soja.cz/o-soji.html (accessed July 2023)

Euromonitor International Dairy. 2017. Dairy products and Alternatives
Available from: https://www.euromonitor.com/dairy-products-and-alternatives (Accessed July 2023)

Inkospor. Výpočet kvality proteinu. Referenční bílkovina dle WHO, FAO a UNU (2007)
Available from: https://www.inkospor.cz/vypocet-kvality-proteinu/ (accessed November 2023)

Institut klinické a experimentální medicíny 2015-2023. Intolerance laktózy.
Available from: https://www.ikem.cz/cs/intolerance-laktozy/a-4084/ (accesed august 2023)

Lékařská fakulta 3. UK. Metabolismus aminokyselin. 2016-2018.
Available from: https://fblt.cz/skripta/ii-premena-latek-a-energie-v-bunce/12-metabolismus-aminokyselin/ (accesed February 2024)

Mendelova univerzita v Brně 2023. Zpracování mléka. Available from:
https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=1685&typ=html (accessed August 2023)

Mikrop: minerálně-vitaminová výživa zvířat. 2023. Ekonomika výroby mléka za rok 2022.
Available from: https://www.mikrop.cz/magazin/ekonomika-vyroby-mleka-2022~m1554 (accessed Janaury 2024)

National Library of Medicine. 2023. Phenylalanine. PubChem.
Available from: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Phenylalanine (accessed September 2023)

National Library of Medicine 1989. Protein and amino acids. Estimates of Amino Acid requirements. Recommended Dietary Allowances: 10th edition.
Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK234922/ (accessed September 2023)

Státní zemědelský a intervenční fond (SZIF). 2023.
Available from: https://www.szif.cz/cs (accessed January 2024)

Study.com. 2021. Tatomir J. What is Threonine?
Available from: https://study.com/learn/lesson/threonine-amino-acid-structure-benefits.html (accessed September 2023)

The Toxin and Toxin Target Database. 2014. L-Alanine.
Available from: http://www.t3db.ca/toxins/T3D4320 (acessed October 2023)

The Toxin and Toxin Target Database. 2018. L-Phenylalanine.
Available from: http://www.t3db.ca/toxins/T3D4366 (accessed September 2023)

Zemědělské služby Dynín, a.s. 2023. Sója.
Available from: https://www.zsdyn.cz/pestovani-soji-ma-v-nasich-podminkach-sve-limity-presto-lze-v-jejim-pestovani-dosahnout-velmi-dobrych-vysledku-9-3/ (accessed July 2023)

9 Samostatné přílohy

Příloha 1 – naměřené hodnoty aminokyselin lyofilizátů rostlinných nápojů [mg/g DW]

Obsah aminokyselin v makovém nápoji	
AMK	**Obsah [mg/g DW]**
His	6,5
Phe	8,6
Arg	20,9
Tyr	6,6
Cystin + Cystein	4,2
Ala	9,3
Ser	9,7
Pro	8,5
Val	11,9
Thre	6,0
Leu	14,6
Asp + Asn	21,1
Lys	9,5
Gly	9,9
Glu + Gln	52,5
Ile	8,5
Met	4,3
Trp	2,1
Celkové AMK	214,6

Obsah aminokyselin v sojovém nápoji	
AMK	**Obsah [mg/g DW]**
His	15,7
Phe	27,0
Arg	36,4
Tyr	17,2
Cystin + Cystein	22,8
Ala	19,7
Ser	23,2
Pro	22,4
Val	23,8
Thre	17,6
Leu	39,5
Asp + Asn	60,9
Lys	33,4
Gly	21,2
Glu + Gln	93,2
Ile	25,3
Met	4,2
Trp	4,4
Celkové AMK	507,7

Obsah aminokyselin v ovesném nápoji	
AMK	**Obsah [mg/g DW]**
His	6,1
Phe	11,4
Arg	11,3
Tyr	6,2
Cystin + Cystein	8,2
Ala	11,6
Ser	10,3
Pro	11,9
Val	10,9
Thre	7,4
Leu	16,8
Asp + Asn	19,2
Lys	9,1
Gly	12,7
Glu + Gln	49,7
Ile	8,8
Met	2,6
Trp	1,8
Celkové AMK	216,0

Obsah aminokyselin v lupinovém nápoji	
AMK	**Obsah [mg/g DW]**
His	14,2
Phe	22,4
Arg	52,5
Tyr	23,9
Cystin + Cystein	31,7
Ala	17,4
Ser	25,5
Pro	18,9
Val	23,0
Thre	14,9
Leu	40,3
Asp + Asn	65,7
Lys	28,3
Gly	21,2
Glu + Gln	105,9
Ile	26,1
Met	2,5
Trp	2,8
Celkové AMK	537,2