

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Vitaminy v jedlém hmyzu

Bakalářská práce

Veronika Valášková

Kvalita potravin a zpracování zemědělských produktů

Ing. Petra Škvorová

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vitaminy v jedlém hmyzu" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 21.4.2023 _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Petře Škvorové za pomoc při vedení bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat rodině a přátelům za podporu po celou dobu mého studia.

Vitaminy v jedlém hmyzu

Souhrn

Bakalářská práce na téma „Vitaminy v jedlém hmyzu“ byla zpracována jako literární rešerše.

V úvodních kapitolách práce popisuje jedlý hmyz jako takový a uvádí výčet hlavních řádů této třídy. Dále je popsána konzumace jedlého hmyzu, a to z pohledu, kde a v jakých formách je běžně konzumován. Následně práce popisuje pozitiva konzumace, nutriční složení a výhodu vysoké konverze krmiva. Známá jsou také rizika jeho konzumace, zde jsou například zahrnuty předsudky, zdravotní bezpečnost a možnosti alergie. Dále práce seznamuje čtenáře se způsoby využití jedlého hmyzu jako suroviny pro výrobu například mouky či pasty a změnou senzorických vlastností výrobků, kde je hmyz obsažen jako součást potraviny.

V hlavní části je rozebráno nutriční složení hmyzu s důrazem na vitaminy, které jsou v této práci též popsány, včetně jejich účinků na lidské zdraví. Navíc jsou zde popsány i další důležité živiny obsažené v hmyzu jako jsou bílkoviny či tuky. Popsány jsou zde také způsoby, jakými lze ovlivnit obsah vitaminů v jedlém hmyzu. Uvedeny jsou i příklady, jakými lze obsah vitaminů zvýšit a také případy, kdy dochází ke jejich ztrátám. Ke zvýšení obsahu může docházet vhodnými podmínkami chovu nebo obohacováním krmné dávky. Ke ztrátám pak dochází zejména při kulinářském zpracování například vlivem vysoké teploty.

Závěr se práce zabývá možnostmi stanovení obsahu vybraných vitaminů. Jedná se o vitaminy skupiny B, a to konkrétně B₁, B₂ a B₁₂, dále vitamin C, vitamin A a β-karoten. K určení výše jejich obsahu byla použita chromatografická stanovení.

Klíčová slova: Entomofágie, kulinární úpravy, vysokoúčinná kapalinová chromatografie, nová potravina, konzumace

Vitamins in edible insects

Summary

The bachelor thesis on "Vitamins in edible insects" was prepared as a literature search.

In the introductory chapters the thesis describes edible insects as such and lists the main orders of this class. It then describes the consumption of edible insects, in terms of where and in what forms they are commonly consumed. It then describes the benefits of consumption, the nutritional composition and the advantage of high feed conversion. The risks of consuming it are also known, for example, prejudice, health safety and the possibility of allergy are included. Furthermore, the work introduces the reader to the ways in which edible insects can be used as raw material for the production of, for example, flour or paste, and the change in sensory properties of products where insects are included as part of the food.

In the main part, the nutritional composition of insects is discussed with emphasis on vitamins, which are also described in this thesis, including their effects on human health. In addition, other important nutrients contained in insects such as proteins and fats are also described. Ways in which the vitamin content of edible insects can be influenced are also described. Examples of ways in which the vitamin content can be increased and cases where vitamins are lost are also given. Increasing the content can be achieved by suitable rearing conditions or by enriching the diet. Losses occur in particular during culinary processing, for example due to high temperatures.

Finally, the thesis deals with the possibilities of determining the content of selected vitamins. These are the B vitamins, namely B₁, B₂ and B₁₂, vitamin C, vitamin A and β -carotene. Chromatographic determination was used to determine the amount of their content.

Keywords: Entomophagy, culinary treatments, high-performance liquid chromatography, novel food, consumption

Obsah

1 Úvod	9
2 Cíl práce a hypotéza.....	10
3 Literární rešerše.....	11
3.1 Jedlý hmyz	11
3.1.1 Taxonomické zařazení a charakteristika	12
3.1.2 Řády	12
3.1.2.1 Coleoptera	12
3.1.2.2 Lepidoptera	12
3.1.2.3 Hymenoptera	12
3.1.2.4 Orthoptera	13
3.1.2.5 Hemiptera.....	13
3.1.2.6 Blattodea	14
3.1.2.7 Isoptera.....	14
3.1.3 Konzumace jedlého hmyzu.....	14
3.1.4 Pozitivní dopad zařazení jedlého hmyzu do jídelníčku.....	15
3.1.5 Rizika konzumace jedlého hmyzu	16
3.1.5.1 Předsudky	16
3.1.5.2 Zdravotní nebezpečí	16
3.1.5.3 Alergie.....	17
3.1.6 Využití	18
3.1.7 Zpracování	19
3.1.8 Senzorické vlastnosti	20
3.2 Nutriční složení.....	20
3.2.1 Proteiny	21
3.2.2 Tuky	22
3.2.3 Vitaminy a minerální látky	23
3.2.3.1 Thiamin	24
3.2.3.2 Riboflavin.....	25
3.2.3.3 Vitamin B ₆	26
3.2.3.4 Kobalamin	27
3.2.3.5 Niacin	28
3.2.3.6 Vitamin D.....	29
3.2.3.7 Vitamin C.....	30
3.2.3.8 Vitamin A.....	31

3.2.3.9	Vitamin K	32
3.2.4	Vliv na obsah vitamínu v jedlém hmyzu	32
3.2.4.1	Zvýšení obsahu vitamínu	32
3.2.4.2	Vliv kulinářských a technologických úprav na obsahu vitamínů	33
3.3	Stanovení obsahu vitamínu ve vzorcích jedlého hmyzu	34
3.3.1	Vysokoúčinná kapalinová chromatografie B ₁₂	34
3.3.2	Stanovení obsahu vitamínů v <i>Tenebrio molitor</i> krmeného odpadními pomerančovými slupkami	35
3.3.2.1	Stanovení β-karotenu a vitamínu A	35
3.3.2.2	Stanovení vitamínu C	36
3.3.3	Stanovení obsahu vitamínů v čerstvých housenkách <i>Hemijana variegata</i>	36
4	Závěr.....	37
5	Literatura	38

1 Úvod

Díky neustále narůstající lidské populaci a zároveň neustále se snižující se rozlohy zemědělské půdy je potřeba vyhledávat i alternativní zdroje potravy, aby byla zajištěna dostatečně výživná strava pro všechny obyvatele Země. Jednou z těchto možností je právě využití hmyzu jako složky potravy. Velkou výhodou této alternativy je její nižší zátěž na životní prostředí oproti bílkovinám masa hospodářských zvířat. Tato výhoda je ještě navíc podpořena tím, že energetická hodnota získávaná z hmyzu je srovnatelná se zdrojem bílkovin z masa. Lidstvo postupně přichází na chuť této nové alternativě potravy a nyní je již možné nalézt výrobky z hmyzu v běžné velkoobchodní síti. Jedná se například o proteinové tyčinky, či například těstovin s hmyzím proteinem.

Vitaminy jsou základní organické sloučeniny, které jsou potřebné ke správnému fungování lidského těla. Hrají roli v základních procesech důležitých v udržování dobrého zdraví.

Jedlý hmyz je již znám pro svou vysokou výživovou hodnotu. Je bohatým zdrojem bílkovin a tuků a dále i zdrojem některých vitaminů. K nejčastěji obsaženým patří vitaminy skupiny B. Hmyz je znám jako dobrý zdroj vitamínu B₁₂, který se obvykle nachází pouze v živočišných produktech. Při možnostech stanovení obsahu těchto vitaminů je používána převážně kapalinová chromatografie společně s dalšími metodami. Studií jedlého hmyzu se zaměřením na stanovení obsahu vitaminů však není mnoho.

Jedlý hmyz je konzumován v mnoha oblastech světa. Jeho konzumace se nazývá entomofágie. Je možné jej konzumovat v syrovém stavu, ale i po různých kulinářských a technologických úpravách. Nejčastěji dochází k sušení nebo pražení, aby došlo ke zlepšení chuti a prodloužení trvanlivosti. Hmyz je dále možno také vařit nebo smažit. Jedlý hmyz je také možno rozdrtit a přidat do mouk nebo těst. Tyto kulinářské úpravy však mohou mít vliv na jeho nutričního složení. Konzumace jedlého hmyzu je i přes jeho vysokou nutriční hodnotu spojována z neofobií.

2 Cíl práce a hypotéza

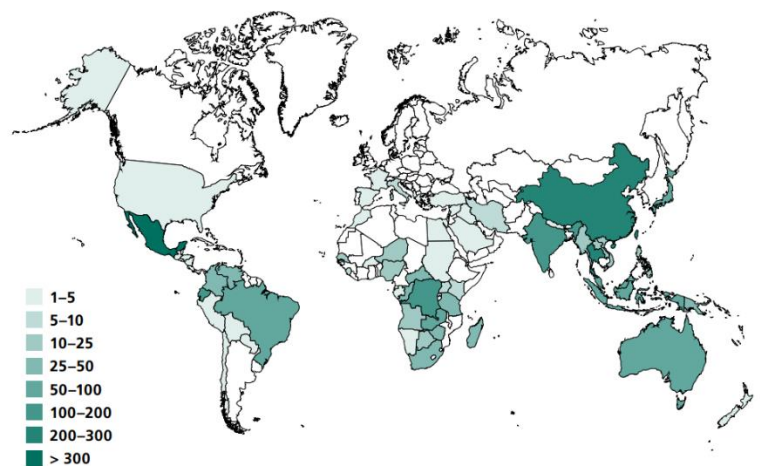
Cílem bakalářské práce je zpracování literární rešerše zaměřené na vytvoření přehledu vitamínů v jedlém hmyzu, možnosti jejich stanovení a ovlivnění jejich obsahu v průběhu chovu.

Hypotézou je, že obsah vitamínů v jedlém hmyzu lze ovlivnit způsobem chovu, výživou nebo technologickým a kulinárním zpracováním.

3 Literární rešerše

3.1 Jedlý hmyz

Hmyz byl tradičně důležitým zdrojem potravy již pro rané lidské společnosti. Jeho sběr byl relativně snazší než lov jiných živočichů (Kim et al. 2022). Hmyz je součástí tradiční stravy odhadem nejméně pro 2 miliardy lidí. K potravě je údajně využíváno více než 1900 druhů (Melgar-Lalanne et al. 2019). Jednotlivé počty druhů jedlého hmyzu lze vidět na obrázku 1. Není však využito všech potenciálně jedlých hmyzů. Existuje řada seznamů jedlých druhů, ale stále je potřeba informace shromáždit a potvrdit. Tyto seznamy je také potřeba pravidelně aktualizovat. Starší seznamy je potřeba přehodnocovat, jelikož dané skupiny hmyzu se již nemusí konzumovat (Yen 2009). Je obtížné poskytnout přesné údaje o počtu jedlých druhů hmyzu na celém světě, jelikož v mnoha kulturách je pro jeden druh používáno více názvů (Huis 2013).



Obrázek 1- Počty druhů jedlého hmyzu (Huis 2013)

Hmyz hraje důležitou roli také jako opylovač a při zlepšování úrody prostřednictvím biokonverze odpadů a přirozené biologické kontrole škůdců. Poskytuje také řadu pro člověka cenných produktů, mezi které patří med a hedvábní. Jeho využití nalezneme i v lékařství, a to při léčbě larvami (Melgar-Lalanne et al. 2019).

Do hlavních řádů patří brouci (Coleoptera), motýli, housenky a můry (Lepidoptera), vosy, včely a mravenci (Hymenoptera), cvrčci, kobylky a sarančata (Orthoptera), cikády, mravenec medonoš, mšice, Fulgoroidea, křískovití, červci a ploštice (Hemiptera). Jako další jsou zde švábi a termiti. Jedlý hmyz obsahuje základní živiny jako jsou bílkoviny, vitaminy, minerální látky a mastné kyseliny (Acosta-Estrada et al. 2021).

Velkou výhodou jedlého hmyzu je jeho schopnost rozmnožování v průběhu celého roku, a také vysoká míra konverze krmiva, a s tím související nízký dopad na životní prostředí. To vše díky nízkým emisím skleníkových plynů, malým nárokům na chovný prostor a u některých druhů schopnost recyklovat organické vedlejší průmyslové a zemědělské produkty po krmení hospodářských zvířat nebo výživě lidí (Caparros Megido et al. 2016).

3.1.1 Taxonomické zařazení a charakteristika

Hmyz můžeme tak, jako například korýše zařadit mezi členovce a má více než milion druhů. Třidu hmyzu dále dělíme na řády Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Homoptera, Hymenoptera, Isoptera, Lepidoptera a Orthoptera. Z hlediska životního cyklu lze hmyz dělit na holometabolní a hemimetabolní. Holometabolní hmyz prochází pravou metamorfózou od vajíčka nebo embrya přes larvu, kuklu až k dospělci. U hemimetabolního hmyzu dochází k neúplné metamorfóze od vajíčka přes nymfu až k dospělci (Rumpold & Schlüter 2013).

3.1.2 Řády

3.1.2.1 Coleoptera

Zástupci rodu Coleoptera se vyskytují ve většině suchozemských a sladkovodních biotopů. Známý je výskyt v mořském prostředí. U brouků je nejběžnějším typem životního cyklu holometabolie. Známé jsou však i jiné specializovanější cykly, které zahrnují výskyt larválních instarů u parazitoidních druhů (Bouchard et al. 2017). Jedná se o nejpočetnější řád. Ke vzniku kožovitých krovek na zadečku dochází přeměnou prvního páru křídel (Hmyz 2019).

3.1.2.2 Lepidoptera

Lepidoptera patří mezi řády hmyzu k vývojově nejpokročilejším a druhově nejbohatším. Je známo více než 150 000 druhů. Vývoj má v rámci dokonalé proměny stadia vajíčka, housenky, kukly a imaga neboli dospělce (Kovařík 2000).

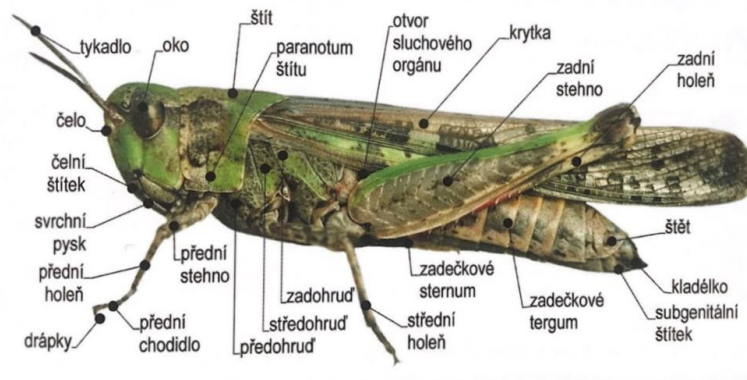
3.1.2.3 Hymenoptera

Jedná se o blanokřídlý hmyz, který zahrnuje více než 153 000 popsaných a pravděpodobně až milion nepopsaných existujících druhů (Peters et al. 2017). Patří tak k jednomu z největších řádů hmyzu (Chow et al. 2008). Mezi rody s nejvyšším počtem jedinců patří mravenci, včely a vosy nebo sršni. Žijící i vymřelé druhy byly rozděleny do dvou velkých skupin, a to jsou Symphyta a Apocrita. Mezi Symphyta řadíme nepřimitivnější druhy, které tvoří téměř 5 % dochovaných blanokřídlých. Apocrita zahrnují asi 96 % blanokřídlých a dále se dělí na Aculeata a Parasitica. Mezi Aculeata řadíme druhy jako jsou již zmínění mravenci, vosy a včely. Parasitica zahrnují rozmanitou a početnou skupinu obvykle malých a nenápadných druhů, z nichž většina parazituje na hmyzu a pavoucích (Huber 2017). Hymenoptera mají 4 poměrně málo žilkovaná křídla, kdy zadní pár je výrazně menší než přední (Hmyz 2019).

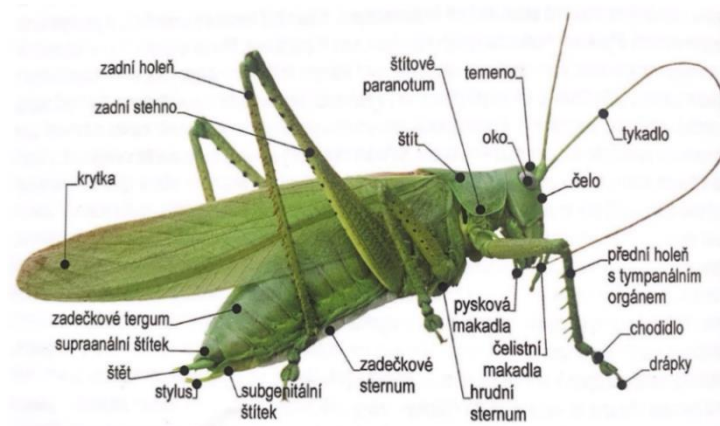
Blanokřídlí hrají roli prakticky ve všech suchozemských ekosystémech a mají značný hospodářský význam jako predátoři a opylovači (Peters et al. 2017). Většina blanokřídlých je pro lidstvo také prospěšná a užitečná, například včela medonosná jako producent medu. Důležitou roli hrají také jako opilovači kvetoucích rostlin (Chow et al. 2008).

3.1.2.4 Orthoptera

Jedná se o rovnokřídlý hmyz, jehož druhy patří mezi vzhledově nápadný, středně velký až velký hmyz s předním párem křídel přeměněným v krytky. Tyto krytky kryjí druhý pár blanitých křídel, která jsou vějířovitě složená. Charakteristickou vlastností většiny druhů je schopnost vydávat pronikavé zvuky. Děje se tak nejčastěji pomocí vzájemného tření krytek nebo zadních stehen o krytky. V dnešní době patří rovnokřídlý hmyz do jedné z nejlépe prostudovaných skupin hmyzu žijícího v Evropě. Jedná se o početnou skupinu hmyzu, která má přibližně 26 000 dosud popsanych druhů v asi 4 200 rodech. Tato skupina se dělí na dva zřetelně definované podřády, a to jsou kobyly (Ensifera) a sarančata (Caelifera). Stavbu těla kobyly lze vidět na obrázku 2, stavba těla sarančete je na obrázku 3. Většina druhů se řadí mezi teplomilné a největší druhová diverzita se vyskytuje v tropických a subtropických oblastech (Kočárek 2013).



Obrázek 2 Kobylyka černotrná (*Tettigonia caudata*) (Kočárek 2013)



Obrázek 3 Saranče slaništní (*Aiolopus thalassinus*) (Kočárek 2013)

3.1.2.5 Hemiptera

Jedná se o polokřídlý hmyz (Song et al. 2019). Tvar a velikost těla polokřídých je rozmanitá. Vždy mají ostrý bodavý sosák, který využívají k sání šťáv z rostlin a tekutin živočichů (Hmyz 2019).

3.1.2.6 Blattodea

Vyskytují se na nejrůznějších stanovištích, mezi která patří mrtvé či tlející listy na stromech, jeskyně. Nalézt je možné také pod kameny či v hnízdech sociálního hmyzu. Jedná se většinou o mrchožrouty a živí se organickým materiálem. Většina druhů se rozmnožuje pohlavně. Partenogeneticky, tedy vývojem jedince z neoplozeného vajíčka, se rozmnožují pouze některé populace druhu *Pycnoscelus surinamensis*. Tento hemimetaboloidní hmyz produkuje ztvrdlé ootéky, jež jsou inkubovány v plodovém vaku v těle samice. U některých druhů nalezneme vysokou úroveň rodičovské péče (Rasplus et al. 2010).

3.1.2.7 Isoptera

Isoptera zahrnují více než 2 600 převážně tropických druhů. Jedná se o termity, kteří jsou nestarší společenskou skupinou hmyzu se složitým uspořádáním společenstva. Jejich počátky sahají do období rané křídy. V Evropě nalezneme pouze 12 druhů. Termiti jsou jediný hemimetaboloidní hmyz, který vykazuje skutečně sociální chování. Staví si velká hnízda, ve kterých žije celá kolonie. V koloniích nalezneme dospělé rozmnožující se jedince (jednu královnu a jednoho krále) a stovky nebo tisíce nedospělých jedinců, kteří slouží jako dělníci a vojáci. Termity považujeme za důležité rozkladače v nížinných tropických ekosystémech. Dokáží trávit celulózu pomocí střevních symbiontů. Živí se především odumřelým rostlinným materiálem (Rasplus et al. 2010).

3.1.3 Konzumace jedlého hmyzu

Hmyz je součástí potravy v mnoha oblastech světa. Konzumaci hmyzu nazýváme entomofágie (Varelas 2019). V posledních letech roste zájem o jeho konzumaci bez ohledu na kulturu a zeměpisnou polohu (Kim et al. 2022). Téměř 2,5 miliardy lidí na světě v současnosti doplňuje svou stravu hmyzem. Na celém světě se hmyz konzumuje v 11 evropských zemích, 14 zemích Oceánie, 23 amerických zemích, 29 asijských zemích a 35 afrických zemích. Mezi nejvýznamnější konzumenty na světě řadíme Mexiko, Čínu, Thajsko a Indii, což jsou také země s největším počtem popsáných druhů (Melgar-Lalanne et al. 2019). Konzumace jedlého hmyzu probíhá převážně v tropických oblastech, vyznačujících se vysokou biologickou rozmanitostí (Kim et al. 2022). V Evropě je sušený i čerstvý hmyz považován za novou potravinu, a proto se jeho využití musí řídit právními předpisy EU o nových potravinách (Parniakov et al. 2021). Jedlý hmyz spadá od roku 2018 do nařízení EU o potravinách nového typu (Schmidt et al. 2019).

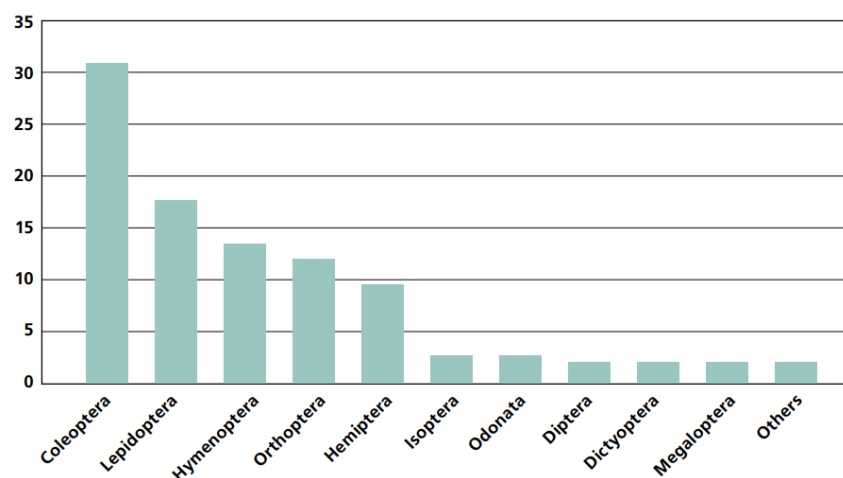
Některé druhy hmyzu se staly častěji konzumovanými díky své velikosti a dostupnosti. Díky epidemii sarančete *Patanga succinca* v roce 1978 v Thajsku došlo ke kampani a podpoře jedlosti sarančat. Sarančata se tak stala oblíbenou pochoutkou (Dobermann et al. 2017).

Stravovací návyky jsou obecně ovlivňovány již v raném dětství. Ženy ze západních zemí konzumaci jedlého hmyzu vyhledávají méně než muži, převážně v případě, kdy je hmyz v podobě, kdy lze rozpoznat. Mezi mladší generací s vyšší úrovní vzdělání je zájem o vyzkoušení potravin na bázi hmyzu větší (Melgar-Lalanne et al. 2019).

Některé druhy jedlého hmyzu je možné konzumovat vařené, pečené, nakládané, nebo dokonce i syrové. Mezi tyto druhy řadíme termity, včely a kobyly. V Angole dochází

ke konzumaci housenky *Imbrasia erimethea* v čerstvém nebo syrovém stavu. V Tanzanii lze konzumovat kobylku *Ruspolia differens* čerstvou či zpracovanou. Mezi další druhy konzumované v syrovém stavu patří například *Oecophylla smaragdina* (Fabr.) a *Parapolybia varia* (Fabr.). U cvrčků dochází před vařením ke smíchání se solí. Dále při zpracování dochází k očištění. V některých případech se jedná o odstranění částí těla jako jsou křídla a nohy. Většina tradičních pokrmů se připravuje s přidáním čerstvých nebo sušených bambusových výhonků (Melgar-Lalanne et al. 2019). Tradičně dochází také k dalšímu zpracování a to sušení, drcení, mletí, nakládání, vaření, smažení, grilování, opékání či uzení. Kromě těchto technik byla navržena například fermentace k obohacení vlastního složení produktů z hmyzu a k navození antimikrobiálních, nutričních a terapeutických vlastností (Meyer-Rochow et al. 2021).

Po celém světě je nevíce konzumovaným hmyzem řád Coleoptera a to z 31 %. V tomto řádu se nachází přibližně 40 % všech známých druhů hmyzu. Řád Lepidoptera je konzumován v subsaharské Africe, a to okolo 18 %. Další jsou Hymenoptera s 14 %, kdy je tento řád konzumován především v Latinské Americe. Orthoptera se využívají v 13 %, Hemiptera v 10 %, Isoptera v 3 %, Odonata v 5 %, Diptera ve 2 % a další řády v 5 %. Celkový přehled je zobrazen na obrázku 4. Jedinci řádu Lepidoptera se konzumují jako housenky a jedinci řádu Hymenoptera jsou konzumováni převážně v larválním stádiu nebo stádiu kukly. U řádu Coleoptera se konzumují larvy i dospělci. Pouze v dospělém stádiu jsou konzumovány řády Orthoptera, Homoptera, Isoptera a Hemiptera (Huis 2013).



Obrázek 4 Počet druhů hmyzu konzumovaných na celém světě podle řádu (Huis 2013)

3.1.4 Pozitivní dopad zažazení jedlého hmyzu do jídelníčku

Hlavní výhodou jedlého hmyzu je především vysoký obsah bílkovin, aminokyselin, lipidů a energie (Varelas 2019). Dle několika studií je jedlý hmyz považován za základní zdroj makroživin, a to převážně bílkovin, dále je zdrojem minerálních látek jako je železo, zinek a hořčík (Egonyu et al. 2021). U cvrčka domácího by mohl obsah vitamínu B₁₂ pomoci při prevenci perniciózní anémie a úbytku kognitivních funkcí. Vitamin B₁₂ také může snižovat riziko kardiovaskulárních onemocnění pomocí snížení koncentrace homocysteinu, který je s rozvojem kardiovaskulárních onemocnění spojován (Nowakowski et al. 2021). Jedlý hmyz

může potenciálně posilovat imunitní funkce, mohl by se tedy využívat jako doplněk stravy a náhražka v lidské stravě (Yen 2009).

Hmyz má obecně vyšší účinnost konverze krmiva ve srovnání s konvenčními hospodářskými zvířaty. Potřebuje tak menší množství krmiva na produkci 1 kg tělesné hmotnosti. Hmyz je všežravý a může tak být krměn i organickým odpadem (Rumpold & Schlüter 2013).

3.1.5 Rizika konzumace jedlého hmyzu

3.1.5.1 Předsudky

I přes mnoho výhod, které konzumace jedlého hmyz představuje, je v západních zemích jasně prokázána neofobie (chorobný strach z něčeho nového) z hmyzích potravin (Caparros Megido et al. 2016). Dalším faktorem způsobujícím předsudky může být celková bezpečnost potravin z jedlého hmyzu. Také se jedná o strach z mikroorganismů, alergických reakcí a toxicity. Nezkušení spotřebitelé tak mohou vnímat hmyz jako zdroj odporu a strachu. Silně odmítají hmyz jako běžnou potravinu a ve svém jídelníčku tak zcela opomíjejí jeho vysokou nutriční hodnotu (Kim et al. 2019). Přijatelnost jedlého hmyzu pro evropské spotřebitele tak zůstává i nadále velmi nízká, a to i přes jeho ekologické a výživové hodnoty (Caparros Megido et al. 2018).

Možností, jak překonat neofobii z jedlého hmyzu by mohla být cesta vzdělání v rámci kulturních, výživových a ekologických témat spojených s entomofágií. Avšak několik studií již ukázalo, že tento přístup není dostatečně účinný (Caparros Megido et al. 2016). Dalším ze způsobů je zvýšení frekvence vystavování lidí jedlému hmyzu a experimentální ochutnávání (Caparros Megido et al. 2014). Lidé, kteří hmyz již v nějaké formě konzumovali, mají výrazně pozitivnější postoj k entomofágii a jsou ochotnější hmyz konzumovat i v budoucnu (Caparros Megido et al. 2016). Mezi americkými studenty byla provedena behaviorální studie, která ukázala, že nepatrná většina studentů souhlasila s dotykem hmyzu rukama, ale když byli požádáni, aby se hmyzu dotkly rty, převážná většina z nich odmítla. Při srovnávání různých alternativních náhrad masa byl viditelný hmyz preferován nejméně (Caparros Megido et al. 2014).

3.1.5.2 Zdravotní nebezpečí

Konzumace jedlého hmyzu může v porovnání se savci a ptáky představovat menší riziko přenosu zoonotických infekcí na člověka a hospodářská zvířata (Huis 2013).

V západním světě je konzumace hmyzu spojována s nebezpečím nákaz a zdravotních rizik, avšak v tropických zemích je součástí kulinářských tradic, a to většinou ve venkovských oblastech. Za největší problém spojovaný s konzumací jedlého hmyzu jsou považovány nevhodné podmínky zpracování a nevhodné podmínky skladování. Jedná se o větší problém než samotná kvalita konzumovaného hmyzu, protože ten většinou není pro člověka toxický (Melgar-Lalanne et al. 2019). Například u moučných červů a cvrčků byly nalezeny bakterie tvořící spory a enterobakterie. Jejich větší množství bylo zjištěno u hmyzu, který byl rozdrcen, což by mohlo být způsobeno uvolněním bakterií ze střeva v průběhu drcení (Dobermann et al. 2017). K dosažení bezpečných a zdravotně nezávadných produktů je zásadní zavedení

vhodných posklizňových technologií, a to pro konzervaci, transformaci, distribuci a následné skladování jedlého hmyzu (Melgar-Lalanne et al. 2019).

Hygienické podmínky jedlého hmyzu nejsou však vždy odpovídající, kvůli chybějícím informacím o kontrole a regulaci rizik spojených s jeho konzumací. Na bezpečnost potravin z jedlého hmyzu mají kromě vlastností hmyzu vliv také další faktory, které ovlivňují hodnocení rizik konzumace hmyzu jako krmiv a potravin. Mezi tyto faktory řadíme pěstování, zpracování a další podmínky skladování. Aby byla zajištěna bezpečnost hmyzu a jeho produktů, musí se při zpracování a skladování dodržet stejné hygienické a sanitační předpisy jako u jiných potravin. Současně by k prodloužení trvanlivosti hmyzu měly být použity techniky konzervace potravin, které kontrolují růst a inaktivují mikroorganismy způsobující kažení a patogenní mikroorganismy. Snížení obsahu vody pomocí sušení a lyofilizace, okyselení nebo tepelné ošetření potravin (vaření, blanšování nebo sterilizace) je nejčastěji používanou strategií konzervace potravin (Acosta-Estrada et al. 2021). Při analýze jedlého hmyzu pro belgický trh bylo u neošetřeného hmyzu nalezeno větší množství aerobních mezofilních mikroorganismů, kvasinek a plísní, než jsou limity pro syrové maso. Tyto hodnoty se dají snížit právě blanšováním, tak aby odpovídaly limitům. Správným zacházením s hmyzem během zpracování jako je mytí a důkladné zahřátí, lze tak jako u ostatních potravin živočišného původu snížit riziko onemocnění přenášených bakteriemi (Dobermann et al. 2017). Možné riziko představuje i amatérský sběr volně žijícího hmyzu, protože lidé mohou sbírat i toxické druhy nebo druhy vystavené působení insekticidů (Shelomi 2015).

V Belgii byly provedeny studie zaměřené na organické a kovové kontaminanty, mezi které patří polychlorované bifenyly, DDT, dioxinové sloučeniny a těžké kovy. Obsah těchto kontaminantů byl v celém jedlém hmyzu, i ve výrobcích z něj, obecně nižší než v jiných živočišných produktech. Na základě této studie je zřejmé, že konzumace hmyzu není větším mikrobiálním rizikem ani větším rizikem kontaminantů než konzumace jiných zdrojů masa (Dobermann et al. 2017).

Ne všechny hmyz lze konzumovat. Některé druhy obsahují toxiny produkované hmyzem samotným. Někteří lidé mohou být na hmyz alergičtí (Yen 2009). Například kukla afrického bource morušového (*Anaphe venata*), která obsahuje thiaminázu, může způsobit nedostatek thiaminu. Tento hmyz je již 40 let každoročně zodpovědný za sezónní ataxii. Některé druhy hmyzu mohou obsahovat repelentní nebo toxické chemické látky, které fungují jako obranný mechanismus (Rumpold & Schlüter 2013).

3.1.5.3 Alergie

K dalším zmiňovaných rizikům entomofágie patří například alergie u spotřebitelů a zejména pak u pracovníků ve výrobě hmyzu (Shelomi 2015). Ta může být způsobena inhalací a přímým kontaktem při manipulaci s hmyzem. Možné je také bodnutí či kousnutí hmyzem (van der Fels-Klerx et al. 2018). I když již bylo provedeno několik studií týkajících se alergické reakce na jedlý hmyz, stále je také potřeba věnovat pozornost neznámým potenciálním alergenům obsažených v jedlém hmyzu. Aby mohla být zaručena bezpečnost používání hmyzu jako krmiva a potravinového zdroje je potřeba provést další studie a výzkumy k určení nebezpečných látek včetně alergenů, a jejich vlivu na lidský organismus (Kim et al. 2019).

Alergie může také vzniknout kvůli zkřížené reaktivitě mezi příbuznými bílkovinami v jiných potravinách (van der Fels-Klerx et al. 2018). Při studiích této reaktivity mezi korýši byl prokázán vysoký stupeň sekvenční podobnosti s tropomyosinem. Tento protein je hlavním alergenem u korýšů a představuje důležitý senzibilizující alergen, který je zodpovědný za imunologický vztah mezi korýši, švábi a roztoči prachovými. Tropomyosin lze také řadit mezi vysoce konzervované proteiny s mnoha isoformami, které můžeme nalézt ve svalových i nesvalových buňkách všech druhů obratlovců i bezobratlých (Belluco et al. 2013). Váže se také na aktin, který reguluje svalové kontrakce a je dobře známým panalergenem u členovců (van der Fels-Klerx et al. 2018). Tudíž pacienti s alergií na krevety mohou být alergičtí i na jiné korýše. Některé důkazy naznačují možnou zkříženou reakci s členovci jako jsou roztoči prachoví (*Arachnida*) a reakci s hmyzem včetně pakomárovitých, švábů, sarančat a octomilek (Belluco et al. 2013).

Z těl samic červce nopálového se získává karmín, který se používá pro potravinářské barvivo. Toto barvivo může u některých pacientů vyvolat alergickou reakci.

Příznaky alergické reakce po konzumaci hmyzu se pohybují od orální alergie přes svědění či otoky až po astma a anafylaktický šok, popřípadě smrt (van der Fels-Klerx et al. 2018).

3.1.6 Využití

K využívání jedlého hmyzu a také zvýšení zájmu spotřebitelů dochází za pomoci různých technologií jako je například použití hmyzu v přísadách jako je prášek nebo mouka. Při těchto technologiích je zahrnuto sušení a nové zpracovatelské techniky určené převážně k extrakci a zachování integrity bílkovin, tuku a chitinu (Egonyu et al. 2021). Jedlý hmyz lze použít jako přísadu v pekárenství pro různé účely. Například pro zvýšení obsahu bílkovin a vlákniny v reformulovaných výrobcích a jako forma zvýšení množství bílkovin v bezpečných výrobcích (Borges et al. 2022). Na trhu s pečivem se v posledních letech zaměřuje pozornost na změnu složení výrobků. Výrobky obsahující hmyzí mouku se dostávají do popředí zájmu a lze je zařadit do lidské stravy například do chleba, sušenek, muffinů a koláčů. Při použití hmyzí mouky ve výrobcích na bázi obilovin dochází k nutričnímu obohacení potravin, především díky obsahu bílkovin, vlákniny nenasycených lipidů a minerálních látek. Při nahrazení 2 % pšeničné mouky cvrčím práškem byl zaznamenán zvýšený obsah minerálních látek jako je vápník, zinek, mangan, železo, draslík a hořčík. Došlo také ke zvýšení obsahu bílkovin a tuků. Dokazuje to tedy pozitivní nutriční dopad získaný přidáním malého množství hmyzího prášku do receptury. Hmyzí mouka byla již použita jako náhrada 5-40 % obilné mouky v základních potravinách nebo pochutinách. Ideální náhrada by se měla pohybovat kolem 10 % (Acosta-Estrada et al. 2021). Počet spotřebitelů, kteří přijímají výrobky z jedlého hmyzu roste, ale stále má většina spotřebitelů k těmto výrobkům averzi. Většina pekárenských společností tak přijala marketingovou strategii, která spočívá ve vývoji výrobků, ve kterých je hmyz skryt ve formě prášku, takže je pro spotřebitele často nepostřehnutelný (Borges et al. 2022). Došlo také k úspěšnému vytvoření různých "maskovaných výrobků z jedlého hmyzu", mezi které patří například čokoláda, sušenky a mleté hovězí maso. V některých evropských zemích spotřebitelé dokonce projevíli zájem o potravinářské výrobky s jedlým hmyzem jako nerozpoznatelnou složkou. Hmyz lze takto

přidávat i do dalších výrobků jako jsou energetické nápoje a kukuřičné tortilly. U těchto výrobků je větší pravděpodobnost, že je spotřebitelé, a to především mladí lidé, přijmou. Pro zvýšení trvanlivosti bylo zkoumáno několik metod balení v modifikované atmosféře (Melgar-Lalanne et al. 2019).

Jedlý hmyz se v historii používal k entomoterapii. Jedná se o jeho léčebné využití v tradiční medicíně při hojení ran a jako léčebná terapie při dýchacích potížích a bolestech žaludku (D'Antonio et al. 2021).

3.1.7 Zpracování

Doposud byl hmyz ve většině regionů konzumován vcelku technologicky upravený pomocí smažení, vaření, dušení, grilování, sušení nebo jiných tradičních způsobů přípravy. Některé studie prokázaly snížení obsahu hrubých bílkovin, popela a zinku po tepelné úpravě. Tepelné úpravy však mohou obecně zvýšit bezpečnost, chuť, trvanlivost a stravitelnost hmyzu (Kim et al. 2022). Ke zlepšení technologií zpracování byla vyvinuta řada produkčních a skladovacích strategií. Způsoby zpracování jedlého hmyzu se mohou lišit podle preferencí spotřebitelů, dostupnosti a vhodnosti druhů hmyzu, společenských zvyklostí, náboženských rituálů, kmenové etiky a rodinné tradice. V místní komunitě jsou často známy metody pro zlepšení potravin na bázi hmyzu díky tradiční moudrosti založené na zkušenostech generací (Meyer-Rochow et al. 2021).

Z hlediska udržení hygieny a zachování živin jedlého hmyzu je nejlepší metodou vaření jedlého hmyzu nebo vaření ve vakuu. Hmyz má poté velmi měkkou a šťavnatou strukturu. Spotřebitelé však dávají přednost křupavému hmyzu, který lze získat pomocí smažení nebo pečení v troubě. Například potměnkou moučnou připravenou smažením na pánvi nebo pečením v troubě by byl spotřebiteli vnímán nejspíše jako předkrm nebo příloha. Vařený hmyz se používá pro přípravu potravin jako jsou masové kuličky nebo hamburgerové placičky, kde je hmyz neviditelný a pro spotřebitele přijatelnější (Caparros Megido et al. 2018).

Jedlý hmyz lze zpracovávat do různých forem, mezi které patří pasty a prášky. Zvyšuje se tak trvanlivost hmyzu a umožňuje snadné použití při vaření a pečení jako náhrada. Struktura ani vzhled daného pokrmu se použitím těchto forem hmyzu příliš nemění (Nowakowski et al. 2021). Potravinářské výrobky s jedlým hmyzem, který je zpracovaný tak, aby nebyl vidět, jsou slibnou mezerou na trhu, na kterou by se měl zaměřit vývoj potravinářských technologií a inovací (Melgar-Lalanne et al. 2019).

Po sběru je nutno hmyz nechat krátce vyhladovět. Jedná se o jeden až tři dny, poté je hmyz usmrcen před skladováním nebo kulinární úpravou. Díky hladovění tak dojde k odstranění střevních výkalů. Při usmrcování hmyzu nejsou stanoveny žádná zvláštní etická hlediska, protože se předpokládá, že netrpí bolestí. O tomto etickém hledisku se v současnosti vedou diskuse, zda by mohl hmyz cítit bolest. K nejčastějším metodám usmrcení patří blanšírování. Je to tradiční metoda používaná na průmyslové úrovni. Má hygienické výhody a snižuje oxidaci lipidů. Dochází zde při vysoké teplotě k okamžitému usmrcení a snižuje množství mikroorganismů, a tím také zmírňuje mikrobiologická rizika v následných produktech. Lze provádět pomocí horké vody, páry, mikrovlnného ohřevu nebo hydrostatického tlaku (Hernández-Álvarez et al. 2021). Blanšírování také zabraňuje nechtěné enzymatické aktivitě, kam řadíme například hnědnutí. Dochází však ke zvyšování vlhkosti

daného hmyzu nebo jeho larev (Parniakov et al. 2021). Při použití blanširování jako usmrcovací metody byla pozorována lepší stravitelnosti in vitro i lepší konečná barva. Zlepšuje také proces sušení i konečnou kvalitu produktu. Doba a teplota ošetření závisí na druhu hmyzu a jeho růstovém stádiu. Běžně se používá teplota 100 °C po dobu od 40 sekund do 5 minut (Hernández-Álvarez et al. 2021). Před konzumací dochází k jeho uzení, opékání a smažení. Zpracovaný hmyz lze konzervovat pomocí lyofilizace nebo sušení na slunci ve formě konzerv (Meyer-Rochow et al. 2021).

3.1.8 Senzorické vlastnosti

U sensorických vlastností potravin na bázi hmyzu hraje hlavní roli jejich výživa. Hmyz přebírá chuť přísad a složek, které konzumuje. Například exoskelet hmyzu má vliv na texturu, a to konkrétně na křupavost. Tuto vlastnost mohou ocenit spotřebitelé díky textuře, která připomíná svým křupavým exoskeletem krekry. V mladších stádiích je chitinů méně než u staršího hmyzu, z tohoto důvodu jsou výrobky méně křupavé, což ale může přispět ke zlepšení jejich stravitelnosti. Mezi další charakteristiky patří barva, která se může měnit v procesu vaření. Barva může být od šedé, hnědé, červené až po černou. Kvůli těmto změnám je potřeba pečlivě vybírat druh hmyzu a způsob jeho zpracování, který bude ve výsledném produktu použit (Acosta-Estrada et al. 2021). Obecně lze říci, že přidání hmyzu do pečiva způsobí tmavší barvu a výraznou vůni, což může často negativně zasahovat do přijatelnosti výrobku. Hmyzí mouka neobsahuje lepek, dochází tedy při jejím použití jako částečné náhrady pšeničné mouky k snížení obsahu lepku, což má dopad na texturu a dochází tak ke snížené tvrdosti, pružnosti, žvýkavosti a soudržnosti výrobku (Borges et al. 2022).

Při sensorickém hodnocení se neprokázaly žádné významné rozdíly ve vůni, chuti, struktuře a celkové přijatelnosti oproti 100% pšeničným houskám. V případě zavádění hmyzu do stravy se doporučuje používat zpracovaný hmyz, aby nebyl v potravě viditelný (Acosta-Estrada et al. 2021). Zařazení hmyzích mouk bez negativního vlivu na technologické a sensorické parametry je možné jen do určité míry. Například do pšeničného chleba byl přidán *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus* a *Acheta domesticus*, a bylo to považováno za přijatelné až do 10 % náhrady pšeničné mouky. U muffinů bohatých na bílkoviny byl přidán *Locusta migratoria* nebo *Tenebrio molitor* v 15 %. Tyto výrobky získaly nižší skóre přijatelnosti než kontrolní vzorek. Naznačuje to tedy, že vyšší koncentrace již spotřebiteli nejsou akceptovány (Borges et al. 2022).

3.2 Nutriční složení

Hmyz je zdrojem vysoce hodnotných bílkovin. Jeho skóre esenciálních aminokyselin se pohybuje mezi 46 až 96 %. Dále se v hmyzu vyskytuje také vysoký obsah minerálních látek, mezi které patří měď, selen, železo, zinek vápník, hořčík, mangan a fosfor (Acosta-Estrada et al. 2021). Mnoho druhů hmyzu je zdrojem vitaminů skupiny B. Obsahuje tedy velké množství živin nezbytných pro lidskou stravu (Nowakowski et al. 2021). Jedlý hmyz by tedy mohl být použit jako zdroj lidské potravy a mohl by tak v rozvojových zemích pomoci pokrýt potřebu bílkovin, tuků, vitaminů a minerálních látek. V rozvinutých zemích by pak mohl být využit jako doplňková strava pro obyvatelstvo (Caparros Megido et al. 2014). Mnoho druhů jedlého hmyzu

má složení živin srovnatelné se složením tradičně konzumovaných rostlinných a živočišných potravin (Yen 2009). Dle nejnovějších výzkumných zpráv obsahuje jedlý hmyz srovnatelné množství bílkovin, tuků, energie, esenciálních aminokyselin, minerálů, flavonoidů a vitamínů jako většina běžných potravin a krmiv. Někdy může mít dokonce i obsah větší (Egonyu et al. 2021). Například konzumace 100 g housenek poskytuje pro člověka 76 % denní potřeby bílkovin a skoro 100 % denní potřeby vitamínů. Tři kukly bource morušového by měly být srovnatelně bohaté na živiny jako jedno slepičí vejce (Rumpold & Schlüter 2013). Jedlý hmyz také obsahuje chitin. Jedná se o látku, která se nachází v tvrdém exoskeletu cvrčka domácího. Je nestravitelná a je dobrým zdrojem vlákniny. Například u prášku z cvrčka domácího vláknina tvoří přibližně 8,5 %. Tato vláknina pochází pravděpodobně z chitinového exoskeletu (Nowakowski et al. 2021).

Kvalita a prodejnost jedlého hmyzu je ovlivněna různými faktory. Výživová hodnota hmyzu závisí na použitém krmivu, způsobu produkce, a také druhu hmyzu (Žuk-Gołaszewska et al. 2022). Obsah bílkovin, sacharidů, tuků, vlákniny, popela a minerálních látek se může mezi dospělci, larvami, kuklami a nymfami lišit (Meyer-Rochow et al. 2021). Jeho nutriční složení se také liší mezi druhy, ale i v rámci jednotlivých druhů. Tyto rozdíly mohou vznikat i v závislosti na prostředí a na potravě daného hmyzu (Dobermann et al. 2017). Již bylo zjištěno, že se zralejšími vývojovými stádii roste i množství obsažených bílkovin. Rozdíl v obsahu aminokyselin, mastných kyselin i minerálních látek pozorovaných v různých vývojových stádiích může být vysvětlen rozdílnou potravou mezi larvami a dospělci. Toto lze pozorovat například u včely medonosné (Meyer-Rochow et al. 2021).

3.2.1 Proteiny

Bílkoviny jsou hlavní složkou nutričního složení hmyzu (Rumpold & Schlüter 2013). Kvalita bílkovin, a tedy i jejich výživová hodnota, je dána aminokyselinovým složením a stravitelností bílkovinné frakce krmiva (Belluco et al. 2013). Bílkoviny ve stravě obsahují 21 různých aminokyselin, včetně esenciálních a neesenciálních. Jejich nedostatečná konzumace by mohla narušit rovnováhu v těle (Kim et al. 2022). Dvacet proteinogenních aminokyselin je klasifikováno jako nepostradatelné nebo postradatelné. Devět aminokyselin je klasifikováno jako esenciální pro člověka, protože nemohou být v lidském těle syntetizovány z přirozeně se vyskytujících prekurzorů, v množství, ve kterém by odpovídaly metabolickým požadavkům. Mezi tyto aminokyseliny řadíme histidin, izoleucin, leucin, lysin, methionin, fenylalanin, treonin, tryptofan a valin. Obsah leucinu ve hmyzu skupiny Orthoptera, včetně cvrčka domácího, je vyšší než v sójové bílkovině přibližně o 13 mg/g. V porovnání s živočišnými zdroji jako je například odstředěné mléko má tato skupina jedlého hmyzu srovnatelné množství leucinu. Lysin, jehož obsah může být v rostlinných zdrojích nízký zdrojích se většinou nachází v jedlém hmyzu ve větším množství (Nowakowski et al. 2021). Další 7 nepostradatelných aminokyselin se transaminačních reakcí může účastnit. Zbývající aminokyseliny jsou považovány za postradatelné v potravě. Řadíme mezi ně alanin, arginin, cystein, glutamin, glycin, prolin, tyrosin, asparagovou kyselinu, asparagin, glutamovou kyselinu a serin (Belluco et al. 2013).

Mezi novými ekologickými zdroji bílkovin je hmyz důležitý také proto, že jeho nutriční hodnoty jsou dlouho známy (Belluco et al. 2013). Hmyz může být také alternativní zdroj

bílkovin k jiným živočišným zdrojům jako je hovězí, rybí a kuřecí maso (Yen 2009). Jeho energetická hodnota se podle průměrných odhadů pohybuje kolem 400-500 kcal na 100 g sušina, dá se tedy srovnat i s jinými zdroji (Dobermann et al. 2017). Aby bylo dosaženo maximální výtěžnosti bílkovin je potřeba zvolit vhodný druh jedlého hmyzu, který se má chovat. Měla by být zhodnocena i přijatelnost pro spotřebitele (Rumpold & Schlüter 2013).

V jedlém hmyzu jsou obsaženy snadno stravitelné a kvalitní bílkoviny se všemi snadno identifikovatelnými esenciálními aminokyselinami. Jedinou výjimkou je methionin a tryptofanu, které jsou přítomny jen v nízkém množství. Nepřítomnost tryptofanu a frakční výtěžnost methioninu a cysteinu se přičítá metodám analýzy, nikoli nutně proto, že skutečně chybí. Například na základě údajů o pěti druzích hmyzu, tj. *Tenebrio molitor*, *Acheta domestica*, *Zophobas morio Fabricius*, *Alphitobius diaperinus Panzer* a *Blaptica dubia Serville*, zjistili, že množství esenciálních aminokyselin je vysoké, a že obsah bílkovin je podobný jako u běžných masných výrobků (Meyer-Rochow et al. 2021). U mnoha druhů hmyzu je obsah bílkovin velmi vysoký. Například Cvrček Domácí (*Acheta domestica*), který byl podáván potkanů, je lepší zdroj aminokyselin než sójový protein při všech úrovních příjmu (Belluco et al. 2013).

Mnoho druhů jedlého hmyzu je bohatých na bílkoviny. Jejich obsah je přibližně 7-48 % v sušině. Například cvrček domácí obsahuje přibližně 65 % bílkovin. Má tak vyšší obsah než jiné živočišné i rostlinné zdroje mezi které patří hovězí maso, vejce, mléko a sója, kde jsou bílkoviny mezi 45-50 % sušiny. Jejich obsah je ovlivněn faktory prostředí, životním stádiem hmyzu, jeho potravou a pohlavím. Doporučení pro lidskou stravu je alespoň 40 % esenciálních aminokyselin. U jedlého hmyzu je obvyklý obsah mezi 46 % až 96 %. Podrobnější přehled o obsahu bílkovin lze vidět v tabulce 1. Cvrček domácí splňuje požadavky na esenciální aminokyseliny, ale jako zdroj methioninu, serinu a tryptofanu není tak dobrý jako jiné živočišné zdroje, například vejce nebo hovězí maso (Nowakowski et al. 2021).

Tabulka 1 Obsah bílkovin ve 100 druzích hmyzu (Kouřimská & Adámková 2016)

Řád	Vývojové stádium	Obsah bílkovin (% v sušině)
Coleoptera	Dospělec a larva	23-66
Lepidoptera	Kukla a larva	14-68
Hemiptera	Dospělec a larva	42-72
Homoptera	Dospělec, larva a vajíčka	45-57
Hymenoptera	Dospělec, kukla, larva a vajíčka	13-77
Odonata	Dospělci a najády	46-65
Orthoptera	Dospělci a nymfy	23-65

3.2.2 Tuky

Hmyz se značně liší obsahem tuku, a tedy i energie (Belluco et al. 2013). Jedná se o druhou nejvýznamnější složku z pohledu nutričního složení (Kim et al. 2019). Jeho obsah v hmyzu je běžně od méně než 10 % do více než 30 % v poměru k čerstvé hmotnosti (Rumpold & Schlüter 2013). Množství obsaženého tuku v hmyzu se pohybuje od 7 g do 77 g/100 g sušiny a kalorická hodnota hmyzu se pohybuje od 293 do 762 kcal/100 g sušiny. Tyto hodnoty jsou závislé na potravě hmyzu, druhu (Belluco et al. 2013) pohlaví, reprodukčním stadiu, ročním

období a stanovišti. Larvy obsahují více tuku než kukly, samice jsou tučnější než samci. Průměrný obsah tuku u druhu Orthoptera je 13,41 %, Lepidoptera 27,66 %, Isoptera 32,74 %, Hemiptera 30,26 % a u Coleoptera 33,40 % (Kim et al. 2019). U některých druhů motýlů (Lepidoptera) byly zjištěny vysoké hodnoty obsaženého tuku. Například larva motýla *Phasus triangularis* má obsah tuku 77 % v sušině, larvy *Aegiale hesperiales* 58,55 % a voskovky *Galleria mellonella* 51,4-60 %. U druhů Coleoptera například u nosatce palmového (*Rhynchophorus phoenicis*) je obsažený tuk na základě sušiny 52,4 – 62,1 % přičemž závisí na vývojovém stádiu, *Scyphorus acupunctatus* obsahuje 52 % a *Oileus rimator* 47 % (Rumpold & Schlüter 2013). Obsah tuku v jedlém hmyzu je také závislý na jeho krmivu. Ve studiích bylo ukázáno, že hladina EPA (eikosapentaenová kyselina) a DHA (dokosahexaenová kyselina) u *Hermetia illucens* lze zvýšit krmením rybími vnitřnostmi (Dobermann et al. 2017).

Jedlý hmyz je bohatý na nenasycené mastné kyseliny a je tak náchylný k oxidaci. Při oxidace lipidů dochází k chemickému procesu, který probíhá reakcí mezi nenasycenými mastnými kyselinami a kyslíkem, který je v prostředí. Dochází k tomu za přítomnosti oxidačních enzymů a při jejich nepřítomnosti reakce probíhá díky světlu. Oxidace negativně ovlivňuje kvalitu sušených potravin (Hernández-Álvarez et al. 2021)

3.2.3 Vitaminy a minerální látky

Z mnoha studií vyplývá, že hmyz má vysoký obsah vitaminů a minerálních látek. Bylo též zjištěno, že angolská housenka *Usta terpsichore* (*Saturnidae*) je bohatým zdrojem železa, mědi, zinku, thiaminu (vitamin B₁) a riboflavinu (vitamin B₂). Další 3 druhy čeledi Saturnidae připravené pomocí tradiční techniky uzení a sušení vykazovaly vysoký obsah riboflavinu a niacinu. V Zairu bylo zkoumáno 21 druhů housenek, u kterých se ukázalo, že jsou dobrým zdrojem železa. 100 g tohoto hmyzu obsahovalo průměrně 33,5 % minimální denní potřeby. Kobylky rodu *Sphenarium* mají vysoký obsah niacinu (Belluco et al. 2013).

Vysoký obsah železa a zinku v mnoha druzích jedlého hmyzu je obzvláště zajímavý jako způsob zmírnění nedostatku, který by se mohl vyskytovat ve stravě žen, zejména těhotných žen v rozvojových zemích, a ve stravě vegetariánů (Belluco et al. 2013). Dle dalších dostupných údajů jedlý hmyz obsahuje karoten, vitaminy B₆, vitamin C, vitamin D, vitamin E a vitamin K, vitamin B₁, vitamin B₂. Orthoptera a Coleoptera obsahují listovou kyselinu (Kim et al. 2019). Více vitaminů nalezených v dalších řádech hmyzu je popsáno v tabulce 2. U vajíček včely medonosné byl zjištěn obsah 12,44 mg vitaminu C, vitaminu B₁₂ a vitaminu A na 100 g sušiny. Obsah v jejich larvách byl 3,24 mg (Raheem et al. 2019). U cvrčka domácího, který je bohatý na vitamin B₁₂ nalezneme přibližně 5,4 mg na 100 g sušiny. Při nutriční analýze cvrččího prášku bylo zjištěno, že obsahuje přibližně 10x více vitaminu B₁₂ než hovězí maso. Cvrček domácí je však bohatý i na ostatní vitaminy skupiny B jako je thiamin, riboflavin a listová kyselina. Dále je dobrým zdrojem i vitaminu A, vitaminu C, vápníku, zinku a sodíku (Nowakowski et al. 2021). Při analýze sušených vzorků cvrčka domácího pomocí kapalinové chromatografie byl zjištěn obsah 0,35 µg/g retinolu, 6,3 µg/g riboflavinu, 15,2 µg/g thiaminu a 331 µg/g vitaminu E (Ayieko et al. 2016). Zinek dosahoval obsahu 5-25 mg na 100 g sušiny. Obsah vápníku se pohyboval v rozmezí 33-341 mg na 100 g sušiny. U cvrčka byl obsah nejvyšší v porovnání s mravenci a termity (Dobermann et al. 2017). Jedlý hmyz obsahuje srovnatelné nebo i větší

množství železa a zinku než běžné živočišné zdroje a díky tomu patří do doporučeného příjmu pro dospělé osoby (Nowakowski et al. 2021).

U železa byl prokázán obsah u různých druhů v rozmezí 18 až 1 562 mg na 100 g sušiny. Nízký obsah mají mravenci, střední obsah termity a nejvyšší obsah mají cvrčci. I když je obsah železa v hmyzu vysoký, při porovnání s rostlinnými zdroji konzumovanými jako náhrada masa, nebylo prokázáno, o jaký typ železa se jedná. U zvířat s krevním oběhovým systémem a hemoglobinem je přítomno tzv. hemové železo, které je pro lidské tělo biologicky dostupnější a má lepší vstřebatelnost, než tzv. nehemové železo přítomné v rostlinách (Dobermann et al. 2017).

U vitamínu D byly zjištěny vyšší koncentrace u volně žijících jedinců, protože mohou být vystaveni UVB záření. U komerčně vyráběného hmyzu byly naměřené koncentrace nižší, protože tyto jedinci nejsou vystaveni UVB záření a vitamín D tak získávají převážně ze stravy. Mezi druhy jedlého hmyzu jsou velké morfologické a ekologické rozdíly, a to včetně vystavení slunečnímu záření. Tyto aspekty mohou ovlivňovat jejich schopnost syntézy vitamínu D, a tedy i obsah vitamínu D (Oonincx et al. 2018).

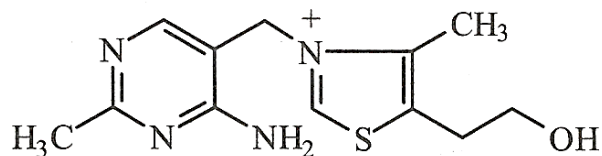
Obecně je hmyz konzumovaný jako potravina a krmivo bohatý na riboflavin, kyselinu pantotenovou a biotin. Naopak chudším zdrojem je u vitamínu A, vitamínu C a niacinu. Ve většině případů i thiaminu. Množství vitamínů je ovlivněno potravou, kterou hmyz konzumuje. Jedlý hmyz lze tedy chovat na farmách, kde se používá strava bohatá na vitamíny (Magara et al. 2021).

Tabulka 2 Obsah vitamínů v některých řádech v Nigérii (Raheem et al. 2019). Hodnoty jsou uvedeny v mg na 100 g v sušině.

	Vitamin A	Vitamin B ₁₂	Vitamin C
Isoptera	0,026 – 0,05	1,54 – 1,98	3,01 – 17,76
Coleoptera	0,086 – 0,125	0,08 – 2,62	4,25 – 7,59
Orthoptera	1,0 – 0,068	0,03 – 0,08	0,0 – 8,64
Lepidoptera	0,028 – 0,034	0,09 – 2,21	1,95 – 4,52

3.2.3.1 Thiamin

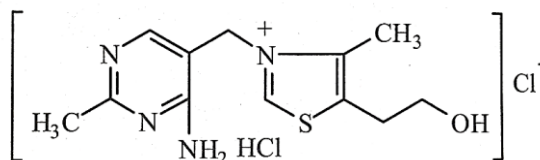
Thiamin byl identifikován jako prvním vitamínem skupiny B, proto je označován jako vitamín B₁ (Fattal-Valevski n.d.). Obsahuje pyrimidinový cyklus (4-amino-2-methylpyrimidin) spojený methylenovou skupinou na C-5 s dusíkem thiazolového cyklu 5-(2-hydroxyethyl)-4-methyl-thiazolu. Jeho strukturní vzorec je zobrazen na obrázku 5. Thiamin je produkován intestinální mikroflórou, avšak toto produkované množství je příliš nízké a potřebné množství je získáváno převážně potravou. Bohatým zdrojem na thiamin je především vepřové maso, které ho obsahuje asi 10x více než jiné druhy masa, šunka a další výrobky z vepřového masa, také ostatní druhy masa, mléko, mléčné výrobky a vejce. Mezi rostlinné zdroje thiaminu patří obiloviny, luštěniny, a obecně semena rostlin. Obiloviny patří k nejdůležitějším zdrojům, a to díky své spotřebě (Velíšek 2009).



Obrázek 5 Thiamin (Velíšek 2009)

Thiamin má kromě koenzymatické funkce v metabolismu také funkci strukturální. Podílí se na struktuře a funkci membrán a působí proti cytotoxicitě. Dále zasahuje do syntaptického přenosu a hraje roli v diferenciaci buněk, tvorbě synapsí, axonálním růstu a myelinogenezi. Během fetálního a časného postnatálního vývoje je vývoj mozku regulován vitaminy a je tedy zranitelný na nedostatky ve výživě. Výsledky ze studií na modelech potkanů ukazují, že nedostatek thiaminu u matky může způsobit významné deficity v míše, mozkových enzimech a lipogenezi. V lidském těle jsou zásoby thiaminu minimální a u dospělých se subjektivní příznaky nedostatku objevují po 2 až 3 týdnech. K prvním příznakům nedostatku patří únava, podráždění, špatná paměť, poruchy spánku, nechutenství a zácpa (Fattal-Valevski n.d.).

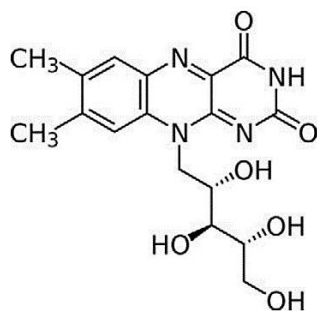
V některých zemích je thiamin používán k fortifikaci potravin jako jsou bílé pšeničné mouky, cereálie a rýže. K těmto účelům je nejčastěji používán syntetický chlorid-hydrochlorid thiaminu, který nazýváme také thiaminhydrochlorid. Jeho strukturní vzorec je zobrazen na obrázku 6. Tato forma je také využívána v multivitaminových přípravcích (Velíšek 2009).



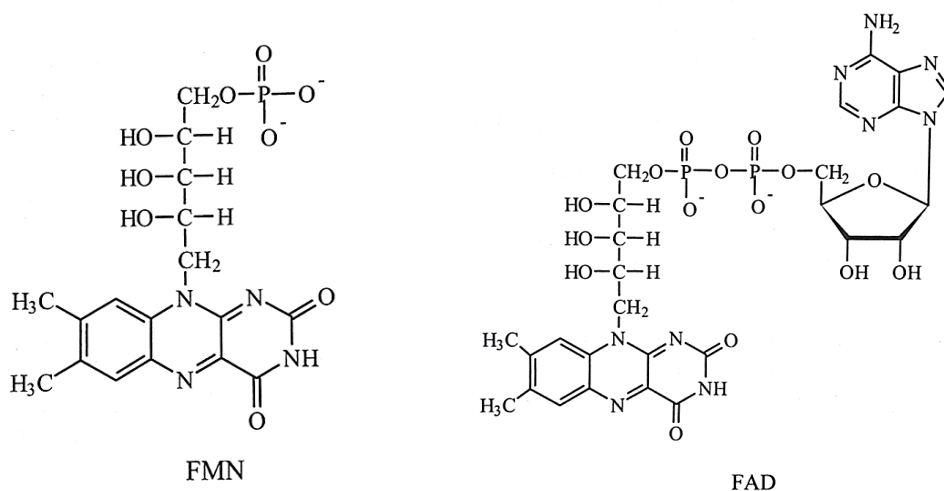
Obrázek 6 Thiaminhydrochlorid (Velíšek 2009)

3.2.3.2 Riboflavin

Riboflavin neboli vitamin B₂, dříve také laktoflavin, ovoflavin, uroflavin a vitamin G, je oxidovanou formou vitamínu nazývaného flavochonin (Pinto & Zemleni 2016). Jeho základem je isoalloxazinové jádro, na které je v poloze N-10 vázán ribitol, aldiol odvozený od D-ribosy. Strukturní vzorec riboflavínu je zobrazen na obrázku 7. Riboflavin se vyskytuje jako volná látka. Převážně se vyskytuje ve formě FMN (flavinmononukleotid) a FAD (flavinadenindinukleotid), které lze vidět na obrázku 8. Tyto sloučeniny jsou kovalentně vázány riboflavin a jedná se o kofaktory enzymů známé jako flavoproteiny (Velíšek 2009).



Obrázek 7 Riboflavin (Buehler & of Pediatrics 2011)



Obrázek 8 FMD a FAD forma riboflavinu (Velíšek 2009)

Poprvé byl izolován z mléčné syrovátky a to koncem 70. let 19. století, jako vodorozpustný žlutavý pigment laktochrom. Při nedostatku riboflavinu se narušuje udržování redukovaného glutathionu, hlavního antioxidantu v buňkách, a dochází tak k narušení obranného mechanismu proti oxidantům. Příčinami nedostatku jsou snížený střevní transport, endokrinní abnormality, specifické léky a konzumace ethanolu (Pinto & Zempleni 2016).

Denní potřeba riboflavinu je od 0,4 mg, a to pro kojence až 1,7 mg u adolescentů a dospělých mužů. U žen není jeho potřeba tak vysoká 1,2 – 1,3 mg a u těhotných, zejména kojících žen je udávána potřeba 1,6 – 1,8 mg i více. Skoro 40 % riboflavinu získaného z potravy zajišťuje mléko a mléčné výrobky, okolo 20 % zajišťuje maso a masné výrobky, 15 % cereálie, skoro 10 % vejce a stejné množství i zelenina. Riboflavin z živočišných zdrojů se v trávicím traktu absorbuje lépe než ten z rostlinných zdrojů. Jeho defice zvaná ariflavinosa je vzácná.

Riboflavin lze využít při fortifikaci některých potravin, mezi které patří pšeničná mouka. Díky své žluto-oranžové barvě jej lze využít i jako barvivo (Velíšek 2009).

3.2.3.3 Vitamin B₆

Jedná se o označení tří strukturně příbuzných biologicky aktivních derivátů pyridoxinu, pyridoxalu a pyridoxaminu. Jejich biologické funkce závisí na metabolismu každého z nich na společnou koenzymovou formu, kterou je pyridoxalfosfát. Tento koenzym hraje rozhodující

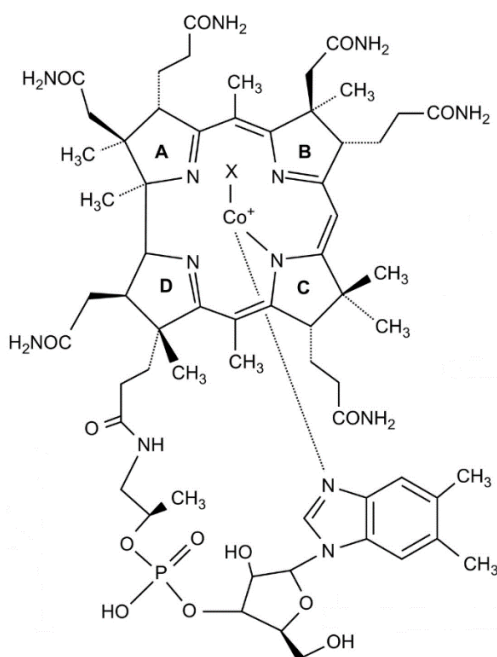
roli při metabolismu aminokyselin. Zdrojem vitamínu B₆ jsou potraviny rostlinného i živočišného původu. Chemické formy vitamínu B₆ se u potravin rostlinného a živočišného původu obvykle liší. V rostlinných tkáních je obsažen především pyridoxin. Živočišné tkáně obsahují převážně pyridoxal a pyridoxamin (Combs, Jr. & McClung 2022).

Doporučený denní příjem vitamínu B₆ je 0,3-2,6 mg. Jeho nedostatek se projevuje dermatitidami a nervovými poruchami. Při dlouhodobých vysokých dávkách může dojít k neurologickým poruchám projevujících se špatnou citlivostí nohou, špatnou koordinací aj. Zvýšený příjem není možný získat pouze ze stravy (Velišek 2009).

Vitamin B₆ je v potravinách stabilní v kyselých podmínkách, přičemž v neutrálních a zásaditých podmínkách je nestabilní, a to zejména při vystavení teplu a světlu. Pyridoxin je stabilnější než ostatní deriváty, a proto jsou ztráty vitamínu B₆ při vaření rozdílné. Rostlinné potraviny, které obsahují pyridoxin, ztrácejí vitamín jen málo nebo ho vůbec neztrácejí. U živočišných produktů, obsahujících pyridoxal a pyridoxamin, dochází ke ztrátám ve značném množství (Combs, Jr. & McClung 2022).

3.2.3.4 Kobalamin

Nejdříve se vitamin B₁₂ vztahoval jen na kyanokobalamin, jedná se o první formu kobalaminu, která byla přečištěna. V dnešní době se termíny vitamin B₁₂ a kobalamin používají zaměnitelně, ale dává se přednost spíše obecnějšímu termínu kobalamin (Ermens et al. 2003). Úplná syntéza byla oznámena v roce 1972 po výsledné spolupráci mnoha vědců trvající jedenáct let (Randaccio et al. 2010). Jedná se o vitamin s největší molekulovou hmotností (1355,4 g/mol) a nejsložitější strukturou ze všech vitaminů. Jeho struktura je zobrazena na obrázku 9. Hromadí se také v živočišných tkáních (Okamoto et al. 2021). Ve středu kruhově uspořádaného modifikovaného tetrapyrrolového makrocyklu koordinovaného přes 4 pyrrolové atomy dusíku je umístěn kobalt. Toto jádro se nazývá korinový kruh (Buehler & of Pediatrics 2011).



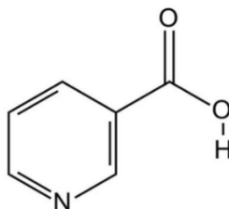
Obrázek 9 Vitamin B₁₂ (Buehler & of Pediatrics 2011)

Je považován za základní živinu pocházející z bakteriálních zdrojů. Kobalamin je v séru vázán na dva proteiny transkobalamin a haptokorin. Transkobalamin je zodpovědný za nezbytnou dodávku kobalaminu do všech tkání. Jeho nedostatek je znám především u vegetariánů. Zvýšené riziko je také u starších osob a HIV pozitivních jedinců. Nedostatkem mohou trpět i jedinci se sníženou schopností štěpit kobalamin z bílkovin potravy (Markle & Greenway 2008).

Kobalamin nemůže být syntetizován vyššími organismy a musí být dodáván se stravou. Jeho nedostatek či porucha vstřebávání může u člověka vyvolat zhoubnou anémii i neurologické poruchy (Randaccio et al. 2010).

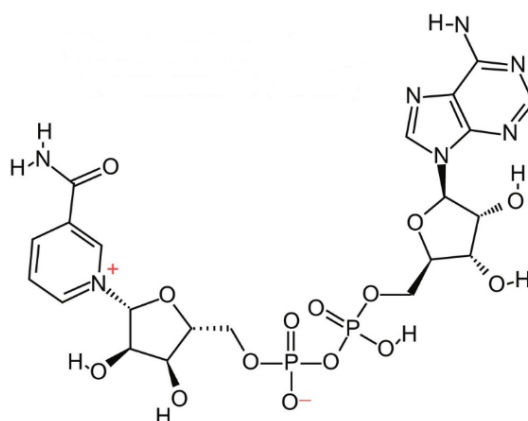
3.2.3.5 Niacin

Niacin byl dříve nazývaná PP kofaktor nebo vitamin PP z anglického Pellagra Preventive Factor. Jeho strukturní vzorec je zobrazen na obrázku 10. Je to společné označení pro nikotinovou kyselinu a její amid nikotinamid. Biologická účinnost obou sloučenin je stejná. Člověk má možnost syntetizovat niacin složitým způsobem z tryptofanu pomocí enzymů obsahujících kofaktor vitamin B₆. Pro biosyntézu 1 mg niacinu je potřeba 34-86 mg tryptofanu. Zdrojem niacinu je především maso a masné výrobky, které pokrývají potřebu vitaminu asi ze 40 %. Dále mléko, které pokrývá asi 10 % potřeby, cereální výrobky asi 20 % a brambory asi 10 %. Jeho nedostatek se nazývá pelagra. Projevuje se poškozením kůže, poruchami funkce trávicího ústrojí a později i mentálními poruchami (demencí) (Velíšek 2009).



Obrázek 10 Niacin (Velíšek 2009)

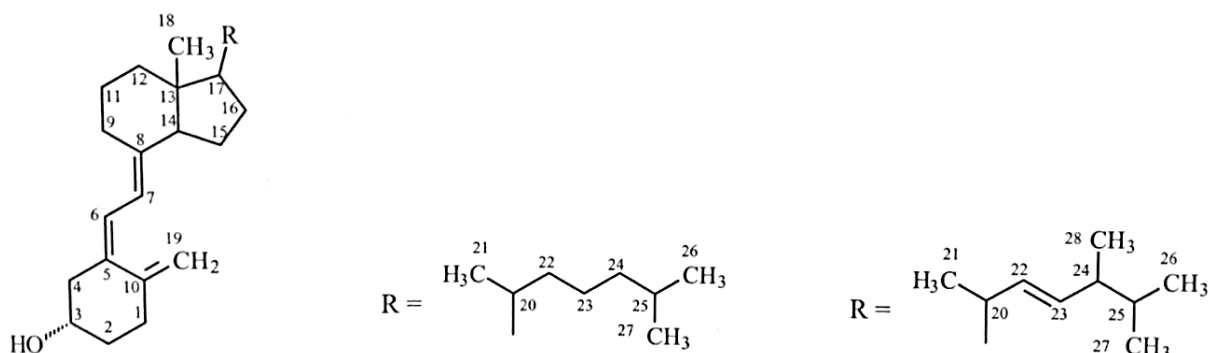
Niacin je přítomný jako funkční skupina v koenzimech nikotinamidadeninukleotid (NAD) a nikotinamidadeninukleotidfosfát (NADP). Tyto koenzymy jsou nezbytné pro oxidační procesy (Kirkland & Meyer-Ficca 2018). Tyto koenzymy se mohou vyskytovat v oxidované formě (NAD⁺ A NADP⁺) a redukované formě (NADH A NADPH) (Velíšek 2009). Oxidovaná forma NAD je zobrazena na obrázku 11.



Obrázek 11 NAD⁺ (Kirkland & Meyer-Ficca 2018)

3.2.3.6 Vitamin D

Jedná se o lipofilní vitamin. Vitamin D je společný název pro skupinu blíže příbuzných lipofilních 9,10-sekosteroidů. Mezi nejznámější patří vitamin D₃ neboli cholekalciferol, a vitamin D₂ neboli ergokalciferol (Velíšek 2009). Jejich rozdílné struktury jsou zobrazeny na obrázku 12.



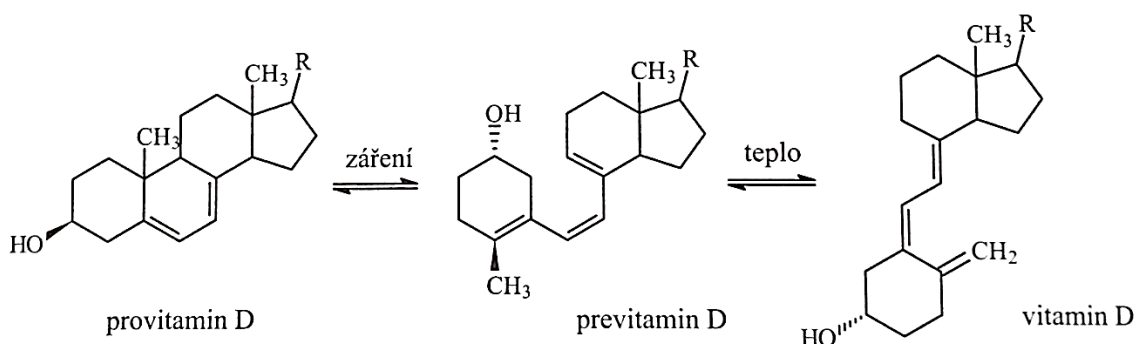
Obrázek 12 Cholekalciferol (vitamin D₃) a ergokalciferol (vitamin D₂) (Velíšek 2009)

Metabolity vitaminu D mají hormonální funkci u mnoha živočišných druhů. Živočichové mohou tento vitamin získávat perorálním příjmem nebo syntézou *de novo*, při které je vyžadováno vystavení prekursoru vitaminu D ultrafialovému záření o vlnové délce mezi 280 a 320 nm (UVb). Lidé, ptáci, plazi, obojživelníci a ryby ho mohou získávat oběma způsoby, avšak syntéza *de novo* je primární cestou, jak získat dostatečné množství. U obratlovců je prekurzorem 7-dehydrocholesterol a tvoří se z něj vitamin D₃. V játrech se obě formy hydroxylují na 25-hydroxycholecalciferol, jež je hlavní cirkulující formou vitaminu D. Dále může být hydroxylován na 1,25-dihydroxykalciferol, který je hormonálně nejaktivnější formou vitaminu D. Tato forma je u obratlovců endokrinním regulátorem metabolismu vápníku a fosforu (Oonincx et al. 2018). Podle výzkumů se vitamin D uplatňuje také při diferenciaci buněk a hraje důležitou roli v imunitním systému. Doporučená denní dávka vitaminu D je 2,5 až 10 µg. Vyšší hodnota potřeby je pro kojence, děti, těhotné a kojící ženy. Potřeba je kryta vitaminem D₃ získávaným z biosyntézy provitaminu 7-dehydrocholesterolu a v jisté míře

vitaminem D₃ nebo D₂ obsaženým v potravě. Syntéza z provitaminu na vitamin D je zobrazena na obrázku 13. Jeho hypovitaminosa se u dětí projevuje jako křivice. Dochází ke změnám na kostře a u dospělých k měknutí a deformaci již vyvinutých kostí. Při dávkách vyšších, než je denní potřeba, může působit negativně. Dlouhodobé vysoké dávky mohou způsobit hyperkalcinemii. V organismu tak dochází k retenci vápníku, z kostí je vyplavován a současně je ukládán v jiných orgánech jako je srdce, plíce a další (Velíšek 2009).

Vyskytuje se v potravinách živočišného původu. Jeho zvýšené koncentrace jsou v jaterních tucích mořských ryb. Dobrým zdrojem je také maso tučných ryb jako je sled', makrela a losos. Menší obsah nalezneme v maso a vnitřnostech hospodářských zvířat a dalších živočišných produktech, mezi které patří mléko, mléčné výrobky a vejce. Obsah vitaminu D₃ v zimním období asi 4x nižší než v letním období (Velíšek 2009).

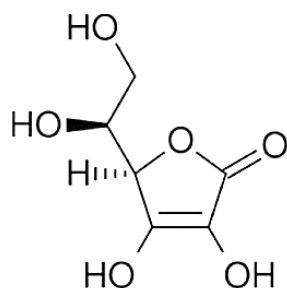
Koncentrace vitaminu D v hmyzu se u jednotlivých druhů značně liší. Vysoké koncentrace jsou uváděny u volně žijících jedinců, kde mohou být vystaveni slunečnímu UVB záření. Většina komerčně vyráběného hmyzu má koncentrace mnohem nižší, jelikož není vystaven slunečnímu ani jinému zdroji UVB záření a vitamin D tak pravděpodobně získává jen ze stravy (Ooninx et al. 2018).



Obrázek 13 Vznik vitaminu D z provitaminu D (Velíšek 2009)

3.2.3.7 Vitamin C

Základní biologicky aktivní sloučeninou je askorbová kyselina. Aktivitu vitaminu C vykazuje pouze jeden ze 4 stereoisomerů, a to L-askorbová kyselina. Její struktura je zobrazena na obrázku 14. Askorbová kyselina je syntetizována všemi zelenými rostlinami, které získávají energii pomocí fotosyntézy. Jedná se tedy o fotoautotrofní rostliny. Funkce askorbové kyseliny je spojena především s jejími redoxními vlastnostmi. U rostlin je využita při fotosyntéze, protože reguluje množství aktivních forem kyslíku a plní funkci při růstu a diferenciaci buněk. Při jejím štěpení také dochází ke vzniku specifických metabolitů jako jsou L-threonová, L-vinná, L-glycerová a šťavelová kyselina. Potřeba vitaminu C je zajištěna z potravy převážně bramborami, které tvoří asi 20–30 %, zelenina tvoří asi 30–40 % a ovoce tvoří asi 30–35 % (Velíšek 2009).



Obrázek 14 L-askorbová kyselina (Bedhiafi et al. 2023)

Vitamin C je nezbytný pro dásně, tepny, ostatní měkké tkáně a kosti, a to především díky syntéze kolagenu. Důležitý je také pro funkci mozku, nervů a pro metabolismus živin, zejména pak železa, bílkovin a tuků. Dále pro antioxidační ochranu a proti volným radikálům, které zvyšují riziko rakoviny a kardiovaskulárního onemocnění (Bedhiafi et al. 2023).

Denní příjem vitamínu C pro dospělé ženy by měl být minimálně 75 mg, u mužů alespoň 90 mg. Jeho potřebu může zvyšovat věk nad 50 let, kouření, namáhavé cvičení, horko, infekce nebo zranění (Bedhiafi et al. 2023). Vyšší dávky okolo 400-1000 i více mg se podávají u pacientů s respiračními chorobami nebo při rekonvalescenci. Při nedostatku dochází k řadě nespecifických příznaků. Může dojít i k syndromu akutní avitaminózy zvané kurděje neboli skorbut (Velíšek 2009). Příznaky zahrnují bolestivé otoky a krvácení do dásní, kloubů a končetin, špatné hojení ran, únavu a zmatenost. Ve většině zemí se skorbut stal vzácným, protože mu zabráňuje 10 mg vitamínu C denně. Při nižším, než optimálním příjmu může dojít ke snížení imunitní funkce, schopnosti hojení ran, zvýšení rizika srdečního onemocnění a rakoviny. Při nízkém příjmu vydrží zásoby v těle jen několik týdnů. Nadměrný příjem, 2000 mg za den, může dráždit žaludek, střeva, způsobovat ledvinové kameny a narušovat stav mědi (Bedhiafi et al. 2023).

3.2.3.8 Vitamin A

Vitamin A můžeme zařadit do skupiny retinoidů rozpustných v tucích včetně retinolu a retinylesterů. Vyskytuje se v preformované formě, nebo jako provitamin známý jako karotenoidy. Karotenoidy jsou rostlinné pigmenty, které se ve střevě přeměňují na provitamin A. Vitamin A má protizánětlivou funkci a napomáhá funkci imunitního systému tím, že podporuje růst a distribuci T-buněk. Pomáhá také zachovat epitelové a slizniční tkáně, podporuje vývoj plodu a dobrý stav reprodukčního systému (Kotsou et al. 2023).

U absorpce jednotlivých provitaminů záleží na složení a přípravě pokrmu. Záleží zejména na přítomnosti tuků. Doporučená denní dávka vitamínu A u dětí je 0,4-0,6 mg a u dospělých 0,8-1 mg. V průměru je to tedy 0,9 mg což odpovídá 1,8 mg β -karotenu ve vitaminových přípravcích nebo 10,8 mg β -karotenu v potravinách. Potřeba vitamínu A je z 50 % kryta provitaminy z potravin rostlinného původu. Provitaminy ze zeleniny zajišťují potřebu asi ze 40 %, 20 % potřeby pak zajišťují provitaminy z masa. Mléko zajišťuje 15 %, ovoce 8 %, tuky také 8 % a vejce 6 % (Velíšek 2009).

Při avitaminóze dochází k poruchám vidění, keratinizaci sliznic, inhibici růstu kostí, deformaci kostí a reprodukčních orgánů. Snížená absorpce vitamínu A může vést až k hypovitaminóze, a to například u veganů. Při vysokých dávkách dochází ke zvýšení jaterní

rezervy vitamínu až k hypervitaminóse. Někteří jedinci mají geneticky podmíněnou citlivost na vitamín A, která se projevuje intolerancí již při dávkách mírně vyšších, než jsou běžné dávky. Při nadměrném příjmu provitaminu A se příznaky hypervitaminósy neprojevují, případně se mohou projevit přechodným žlutým zbarvením kůže zvaným hyperkarotenosa (Velíšek 2009).

3.2.3.9 Vitamin K

Všechny přirozeně se vyskytující látky, které vykazují aktivitu vitamínu K jsou deriváty menadionu s nasyceným isoprenoidním postranním řetězcem v poloze C-3 aromatického jádra. V dnešní době rozlišujeme dva druhy látek. Jedná se o vitamín K₁ a K₂ neboli fyllochinon a menachinon. Fyllochinon se vyskytuje v potravinách rostlinného původu a menachinon je produkován mnoha bakteriemi a aktinomycetami (Velíšek 2009).

Vitamín K je syntetizován rostlinami a bakteriemi, které ho užívají pro přenos a produkci energie. Zvířata ho nedokáží syntetizovat, i když ho potřebují pro srážení krve, tvorbu kostí aj. U člověka probíhá mikrobiální syntéza a nedostatek je tak vzácný (Combs, Jr. & McClung 2022).

Denní potřeba vitamínu K je odhadována na 0,01-0,14 mg. Denní příjem z potravy je odhadován na 0,3-0,5 mg (Velíšek 2009).

Většinu vitamínu K ve stravě tvoří fyllochinon. Jeho nejbohatším zdrojem je listová zelenina, mezi kterou patří například špenát, kapusta, brokolice a růžičková kapusta, dále jsou zdroji rostlinné oleje a margarín (Combs, Jr. & McClung 2022).

3.2.4 Vliv na obsah vitamínu v jedlém hmyzu

Nutriční složení chovaného hmyzu lze ovlivnit různými faktory. Řadíme mezi ně vývojové stádium, podmínky chovu daného hmyzu či umělou výživu. Dalším faktorem je způsob zpracování jako je například smažení, vaření či sušení (Varelas 2019). U jedlého hmyzu v subsaharské Africe dochází k tradičnímu zpracování a zlepšování jeho sensorických vlastností a také trvanlivosti, a to mimo jiné dušením, uzením, pražením, smažením a opékáním (Egonyu et al. 2021). Při vaření se zlepšuje sensorická kvalita, a to díky tvorbě aromatických sloučenin, změně barvy a textury. Při některých postupech vaření lze dosáhnout prodloužené trvanlivosti potravinářských výrobků pomocí snížení množství potravinářských a degradačních enzymů. Z nutričního hlediska také můžeme dosáhnout zvýšení stravitelnosti a bioaktivity bílkovin v trávicím traktu. Při tepelné úpravě lze vyvolat proteolýzu, (Melgar-Lalanne et al. 2019) oxidaci lipidů, ztrátu vitamínů nebo minerálních látek rozpustných ve vodě citlivých na teplo a oxidaci (Caparros Megido et al. 2018).

3.2.4.1 Zvýšení obsahu vitamínu

Hmyz může syntetizovat vitamín D díky UVb záření. Jeho množství závisí na intenzitě a délce záření. Při vystavení hmyzu vyšší intenzitě UVb záření lze dosáhnout vyšší hladiny vitamínu D. U cvrčka domácího a potměníka moučného došlo při nízkém ozáření UVb ke zvýšení hladiny vitamínu D₃ a u *Hermetia illucens* se zvýšila hladina vitamínu D₂. U vyššího ozáření UVb byla u cvrčka domácího a potměníka moučného zvýšená hladina vitamínu D₃

a u *Hermetia illucens* a sarančete stěhovavého byla zvýšená hladina vitamínu D₂ (Oonincx et al. 2018).

Ve studii na larvách *Tenebrio molitor* byl použit běžně vyráběný odpad, a to albedo z pomerančové kůry, jako přísada do krmiva. Otruby, které jsou běžně použity jako krmivo pro larvy bylo obohaceno o albedo pomerančové kůry až o 25 %. Bylo zjištěno, že došlo ke zvýšení obsahu karotenoidů a vitamínu A v larvách až o 198 % a zvýšení obsahu vitamínu C až o 46 % (Kotsou et al. 2023).

3.2.4.2 Vliv kulinářských a technologických úprav na obsahu vitamínů

Sušení patří mezi jednu z nejstarších a nejčastěji používaných metod konzervace potravin (Parniakov et al. 2021). Může také prodloužit trvanlivost výrobků během jejich distribuce a skladování. Techniky sušení sahají od tradičních metod, mezi které patří například pražení, smažení a sušení na slunci až k moderním metodám kam řadíme sušení mrazem, pomocí mikrovln (Melgar-Lalanne et al. 2019), vakuem, sublimací, a infračerveným zářením (Parniakov et al. 2021). Preferované technologie pro sušení celého jedlého hmyzu jsou sušení na slunci, mrazem a sušení v troubě. Pro hmyzí prášky se opět používá sušení mrazem, sušení v troubě a další nekonvenční techniky sušení (Melgar-Lalanne et al. 2019). U technologie sušení jsou rozhodující jeho podmínky, které musí být přizpůsobeny konkrétnímu druhu hmyzu a obsahu vody na počátku (Parniakov et al. 2021). Před sušením je možné použití různých způsobů ošetření, aby došlo k minimalizaci ztrát živin, a tak ke zlepšení sensorické hodnoty sušeného hmyzu. Mezi tato ošetření patří nejčastěji blanšírování a mražení (Hernández-Álvarez et al. 2021).

Při využití mikrovlnného záření jako sušící techniky založené na elektromagnetických vlnách, dochází k rozdílu tlaku vodní páry mezi okolím výrobku a jeho vnitřkem a pomáhá tak odstraňovat vlhkost z potravin. Pomocí mikrovlnného záření lze tedy získat produkty s lepší vůní, nutriční hodnotou, barvou a rychlejší rehydratací v porovnání se sušením pomocí horkého vzduchu. Na druhou stranu mikrovlnné sušení může způsobit i některé chemické reakce jako je degradace vitamínů a hnědnutí. Může také dojít k nerovnoměrnému ohřevu, který může mít za následek fyzické poškození produktu (Lenaerts et al. 2018).

Při vaření dochází ke zlepšení sensorické kvality díky tvorbě aromatických látek, atraktivních barev a textury. Zlepšuje také hygienickou kvalitu pomocí inaktivace některých patogenních mikroorganismů. Zvyšuje také stravitelnost a biologickou dostupnost některých živin v trávicím traktu. Vaření však může negativně ovlivnit nutriční hodnotu výrobku. Může zde vyvolat proteolýzu, lipolýzu, oxidaci lipidů a ztrátu minerálních látek a vitamínů rozpustných ve vodě citlivých na teplo a oxidaci (Caparros Megido et al. 2018).

Při opékání termitů a jeho následném sušení došlo při studii k významnému snížení obsahu riboflavinu. Po opékání při 150 °C po dobu 5 minut došlo k snížení obsahu riboflavinu o 34 % oproti čerstvému vzorku. Avšak k větším ztrátám vitamínu došlo až při následném solárním sušení, a to o 64 %. Podobné výsledky byly pozorovány i u ostatních vitamínů. Například u kobytek došlo k výraznému poklesu kyseliny askorbové, která je velmi citlivá na teplo. Došlo také k výraznému snížení obsahu retinolu (Kinyuru et al. 2010).

Ke ztrátě vitamínů může dojít také při dehydrataci vzorku. Snížení obsahu vitamínů rozpustných ve vodě bylo ve studii způsobeno oxidací při vystavení teplu nebo v důsledku

enzymatické a chemické degradace. Destrukce vitaminů se tedy zrychluje zvyšováním teploty a délkou zahřívání (Kinyuru et al. 2010).

3.3 Stanovení obsahu vitaminu ve vzorcích jedlého hmyzu

Pomocí zavedených technik jako je HPLC (vysokoúčinná kapalinová chromatografie) pro extrakci a kvantifikaci živin a bioprospekce nových druhů jedlého hmyzu, se zintenzivňují studie výživové hodnoty hmyzu s cílem hledat ekonomické a účinné způsoby dodávek zpracovaného hmyzu (Meyer-Rochow et al. 2021). Například ke stanovení vitaminu B₁₂ lze využít metody chromatografické a mikrobiologické. Mikrobiologické metody jsou založeny na principu růst mikroorganismu závislého na přítomnosti vitaminu B₁₂. Tyto metody se používají dodnes, ale jsou časově náročné. Postrádají selektivitu, protože nedokáží rozlišit mezi jednotlivými vitaminy a mohou tak vykazovat zvýšené hodnoty, pokud je ve vzorku přítomen pseudovitamin B₁₂ (Schmidt et al. 2019).

3.3.1 Vysokoúčinná kapalinová chromatografie B₁₂

Vitamin B₁₂ je náročnou sloučeninou pro analýzu, a to kvůli své složité struktuře. Jeho přesné stanovení ztěžuje jeho nízká koncentrace v potravinových matricích, a také to, že se může vyskytovat v různých bioaktivních formách nazývaných vitamery. Nejstabilnějším vitamérem je kyanokobalamin (CNCo), který má význam pro kvantifikaci vitaminu B₁₂. Jeho obsah lze určit pomocí testů mikrobiologických a testů chromatografických. U chromatografických testů používáme vysokoúčinnou kapalinovou chromatografii, která je schopna rozlišit mezi aktivní a neaktivní formou vitaminu B₁₂ (Schmidt et al. 2019).

Vzorky byly získány ze zmrazených jedinců *Tenebrio molitor*, dospělec *Locusta migratoria*, dospělec *Gryllus assimilis* a dospělec *Shelfordella lateralis*.

Hodnoty vitaminu B₁₂ se u studovaných vzorků pohybovaly od 0,84 do 13,21 µg na 100 g sušiny, což spadá do rozmezí jiných potravin živočišného původu. Výsledky jsou zobrazeny v tabulce 3. Dokazuje to tedy, že hmyz je dobrým zdrojem vitaminu B₁₂ (Schmidt et al. 2019).

Tabulka 3 Naměřené hodnoty vitaminu B₁₂ (Schmidt et al. 2019)

Hmyz	Obsah vitaminu µg/100 g
<i>Tenebrio molitor</i>	1,08 ± 0,03
<i>Locusta migratoria</i>	0,84 ± 0,06
<i>Gryllus assimilis</i>	2,88 ± 0,17
<i>Shelfordella lateralis</i>	13,21 ± 0,68

Další studie se zabývala stanovením obsahu vitaminu B₁₂ v produktech z jedlého hmyzu. Vzorky byly získány ze syrového a zmrazeného jedlého hmyzu, který byl před použitím lyofilizován. Ostatní vzorky byly suché pražené produkty. Hmyz byl před extrakcí homogenizován pomocí hmoždíře a tlouku (Okamoto et al. 2021).

Pro extrakci byly připraveny vzorky z 5 komerčně dostupných jedlých produktů z cvrčků. Vzorky měly hmotnost 3 g. Extrakty byly přefiltrovány přes filtrační papír a poté částečně přečištěny pomocí C18 kazet, které byly ošetřeny 75% ethanolem a přečištěnou vodou.

Část každého filtrátu byla vložena na kazetu a promyta 20 ml přečištěné vody. K vyluhování došlo pomocí 10 ml 75% ethanolu. Každý extrakt byl odpařen do sucha. Zbytek byl rozpuštěn v 1 ml přečištěné vody a sloučeniny B₁₂ byly přečištěny pomocí imunoafinitní kolony. Poté byly rozpuštěny v 0,15 ml přečištěné vody a přefiltrovány přes membránový filtr a identifikovány pomocí UPLC-MS/MS. Každý filtrát byl vložen do kolony InertSustain C18 a vyluhován pomocí 20% roztoku methanolu obsahujícího 1 % octové kyseliny při 40°C. Průtoková rychlost byla 0,2 ml/min (Okamoto et al. 2021).

Stanovení bylo provedeno u vzorků z cvrčka domácího, bio cvrčka domácího, cvrččího prášku, cvrčka dvojskvrnitého a prášku z cvrčka dvojskvrnitého. Bylo zjištěno, že obsah vitamínu B₁₂ byl různých výrobcích ze cvrčka domácího a cvrčka dvojskvrnitého podobně vysoký, a to přibližně 50-75 µg na 100 g sušiny. Naměřené hodnoty lze vidět v tabulce 4.

Tabulka 4 Obsah vitamínu B₁₂ v komerčně dostupných jedlých produktech z cvrčků (Okamoto et al. 2021).

	Obsah vitamínu B ₁₂ (µg/100 g hmotnost sušiny)
Cvrček domácí	65,8 ± 1,5
Cvrček domácí bio	71,9 ± 4,0
Cvrččí prášek	55,0 ± 1,7
Cvrček dvojskvrnitý	74,5 ± 0,8
Prášek z cvrčka dvojskvrnitého	50,3 ± 1,8

U použitých vzorků bylo zjištěno, že produkty z cvrčka a potemníka vroubeného měly relativně vysoký obsah B₁₂. Ve srovnání s nimi měly ostatní vzorky obsah nízký. (Okamoto et al. 2021). Porovnání obsahu vitamínu B₁₂ lze vidět v tabulce 5.

Tabulka 5 Obsah vitamínu B₁₂ v komerčně dostupných produktech jedlého hmyzu (Okamoto et al. 2021).

	Obsah vitamínu B ₁₂ (µg/100 g hmotnost sušiny)
Potápník vroubený	89,5 ± 0,6
Cvrček	65,8 ± 1,5
<i>Letheocerus americanus</i>	3,2 ± 0,8
Včelí larva	3,0 ± 0,2
Kobylka	2,4 ± 0,6
Mravenec krejčík	1,1 ± 0,2

3.3.2 Stanovení obsahu vitamínů v *Tenebrio molitor* krmeného odpadními pomerančovými slupkami

3.3.2.1 Stanovení β-karotenu a vitamínu A

Pro extrakci byl použit 1 g každého vzorku, byl extrahován pomocí 10 ml ethanolu po dobu 30 minut při 300 otáčkách za minutu a při pokojové teplotě. Poté byly vzorky umístěny na 5 minut do ledové lázně za občasného protřepávání. Dále byla směs odstředována po dobu

5 minut při 4 500 otáčkách za minutu. Absorbance extraktu byla odečtena při 450 nm a obsah β -karotenu byl vypočten ze standardní křivky β -karotenu pomocí interpolační metody. Vitamin A byl stanoven pomocí konverzního faktoru navrženého Ministerstvem zemědělství Spojených států. Kde 1 mezinárodní jednotka (UI) odpovídá 0,60 μg β -karotenu. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5 (Kotsou et al. 2023).

3.3.2.2 Stanovení vitamínu C

Obsah kyseliny askorbové byl stanoven pomocí modifikovaného chromatometrického stanovení. Rozemletý hmyz o hmotnosti 5 g byl vložen do kádinky a postupně bylo přidáno 27 ml směsi destilované vody a methanolu v poměru 60:40, dále byly přidány 3 ml 10% roztoku kyseliny trichloroctové. Vzorek byl vložen na 1 minutu do vortexu, a poté bylo přidáno 20 ml hexanu. Směs byla po dobu 30 minut míchána při pokojové teplotě a následovala centrifuga s 4 500 otáčkami za minutu po dobu 5 minut. Spodní fáze byla převedena do odstředivkové zkumavky a odtřed'ována po dobu 10 minut při 10 000 otáčkách za minutu. Do eppendorfovy zkumavky byl převeden 1 ml vodné vrstvy a následně bylo přidáno 0,5 ml Folin-Ciocalteuova činidla. Směs byla dále inkubována při pokojové teplotě po dobu 10 minut. Nakonec byla změřena absorbance při vlnové délce 760 nm. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6 (Kotsou et al. 2023).

Tabulka 6 Obsah β -karotenu, vitamínu A a vitamínu C v larvách *Tenebrio molitor* (Kotsou et al. 2023).

	β -karoten ($\mu\text{g/g}$)	Vitamin A ($\mu\text{g/g}$)	Vitamin C ($\mu\text{g/g}$)
OA0	3,83 \pm 0,06	11,41 \pm 0,19	200,37 \pm 6,44
OA10	7,10 \pm 0,29	21,17 \pm 0,86	251,44 \pm 4,63
OA17,5	9,45 \pm 0,01	28,19 \pm 0,04	282,50 \pm 2,88
OA25	11,43 \pm 0,1	34,08 \pm 0,29	292,90 \pm 1,42

Vzorek OA0 odpovídá larvám *Tenebrio molitor* krmených pšeničnými otrubami po dobu 6 týdnů. Jedná se o kontrolní vzorek. Další vzorky odpovídají larvám krmeným otrubami obohacenými o albedo z pomerančových slupek. OA10 je obohacen o 10 %, OA17,5 je obohacen o 17,5 % a OA25 je obohacen o 25 % (Kotsou et al. 2023).

3.3.3 Stanovení obsahu vitamínů v čerstvých housenkách *Hemijana variegata*

Pro stanovení vitamínů B₁ a B₂ byla použita vysokoúčinná kapalinová chromatografie. Obsah vitamínu C byl stanoven pomocí kyseliny octové a kyseliny metafosforečné a vysokoúčinná kapalinová chromatografie s fluorescencí. Vitamin A byl stanoven pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie a následné ultrafialové a fluorescenční analýzy.

Vzorky byly před analýzou skladovány po dobu tří měsíců při teplotě -80°C. Po následném rozemletí bylo použito 100 g na analýzu.

Nejvyšší stanovená koncentrace byla u vitamínu C, a to 14,65 mg na 100 g. U vitamínu B₂ byl stanoven obsah 0,65 mg na 100 g a u vitamínu B₁ byl obsah 0,01 mg na 100 g. Nejnižší obsah byl stanoven u vitamínu A, a to 0,02 mg na 100 g (Egan et al. 2014).

4 Závěr

Předkládaná bakalářská práce obsahuje popis jedlého hmyzu a stručné informace o vybraných řádech. Jsou zde uvedeny poznatky o konzumaci jedlých druhů hmyzu spojené s pozitivními dopady i riziky.

Následně se práce věnovala nutričnímu složení jedlého hmyzu. Jsou zde okrajově zmíněny bílkoviny a tuky. Pozornost je věnována zejména vitaminům. Na obsah vitaminů v hmyzu má vliv i jeho chov, dieta a kulinářské zpracování. Při zpracování za vysokých teplot dochází k degradaci vitaminů citlivých na teplo, a tím i snižování jejich obsahu. Naopak při vystavení hmyzu UVb záření dochází k syntéze vitamínu D, což způsobuje zvyšování jeho obsahu. Obsah vitamínu C a vitamínu A lze zvýšit pomocí potravy podávané hmyzu, a to například přidáním albeda z pomerančové slupky do krmné dávky. V jedlém hmyzu jsou také obsaženy vitaminy jako β -karoten, vitamin C, D, E, K a větší množství vitaminů skupiny B.

V práci bylo popsáno několik stanovení vitaminů. Pro stanovení byla použita vysokoúčinná kapalinová chromatografie. Pomocí této metody byl stanoven obsah vitamínu B₁₂ u několika druhů. Nejvyšší obsah byl naměřen u Potápníka vroubeného, a dále u produktů z Cvrčka domácího. Při dalším stanovení byl sledován obsah vitaminů u *Tenebrio molitor* po obohacení běžné krmné dávky albedem z pomerančové slupky. U jedinců s touto obohacenou krmnou dávkou byl prokázán zvýšený obsah β -karotenu, vitamínu A a vitamínu C.

Závěrem lze říci, že obsah vitaminů v jedlém hmyzu je možné pozitivně ovlivnit prostředím, ve kterém je hmyz chován a způsoby jeho výživy. Avšak lze jej ovlivnit i negativně, a to použitím vysokých teplot při kulinářském zpracování. Při možnostech stanovení daných vitaminů je používána hlavně kapalinová chromatografie. Studijí zabývající se tímto tématem však není mnoho a vzniká zde tedy prostor pro další výzkum.

5 Literatura

- Acosta-Estrada BA, Reyes A, Rosell CM, Rodrigo D, Ibarra-Herrera CC. 2021. Benefits and Challenges in the Incorporation of Insects in Food Products. *Frontiers in Nutrition* **8**:687712. Frontiers Media SA. Available from [/pmc/articles/PMC8277915/](https://pmc/articles/PMC8277915/) (accessed December 26, 2022).
- Ayieko MA, Ogola HJ, Ayieko IA. 2016. Introducing rearing crickets (gryllids) at household levels: adoption, processing and nutritional values. [https://doi.org/10.3920/JIFF2015.00802:203–211](https://doi.org/10.3920/JIFF2015.00802:203-211). Wageningen Academic Publishers . Available from <https://www.wageningenacademic.com/doi/10.3920/JIFF2015.0080> (accessed April 19, 2023).
- Bedhiafi T, Idoudi S, Fernandes Q, Al-Zaidan L, Uddin S, Dermime S, Billa N, Merhi M. 2023. Nano-vitamin C: A promising candidate for therapeutic applications. *Biomedicine & Pharmacotherapy* **158**:114093. Elsevier Masson.
- Belluco S, Losasso C, Maggioletti M, Alonzi CC, Paoletti MG, Ricci A. 2013. Edible Insects in a Food Safety and Nutritional Perspective: A Critical Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **12**:296–313. John Wiley & Sons, Ltd. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.12014> (accessed December 28, 2022).
- Borges MM, da Costa DV, Trombete FM, Câmara AKFI. 2022. Edible insects as a sustainable alternative to food products: an insight into quality aspects of reformulated bakery and meat products. *Current Opinion in Food Science* **46**:100864. Elsevier.
- Bouchard P, Smith ABT, Douglas H, Gimmel ML, Brunke AJ, Kanda K. 2017. Biodiversity of Coleoptera. *Insect Biodiversity*:337–417. John Wiley & Sons, Ltd. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/9781118945568.ch11> (accessed March 6, 2023).
- Buehler BA, of Pediatrics P. 2011. Vitamin B2: Riboflavin. <http://dx.doi.org/10.1177/1533210110392943> **16**:88–90. SAGE PublicationsSage CA: Los Angeles, CA. Available from <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1533210110392943> (accessed March 28, 2023).
- Caparros Megido R et al. 2018. Effect of household cooking techniques on the microbiological load and the nutritional quality of mealworms (*Tenebrio molitor* L. 1758). *Food Research International* **106**:503–508. Elsevier.
- Caparros Megido R, Gierts C, Blecker C, Brostaux Y, Haubruge É, Alabi T, Francis F. 2016. Consumer acceptance of insect-based alternative meat products in Western countries. *Food Quality and Preference* **52**:237–243. Elsevier.
- Caparros Megido R, Sablon L, Geuens M, Brostaux Y, Alabi T, Blecker C, Drugmand D, Haubruge É, Francis F. 2014. Edible Insects Acceptance by Belgian Consumers: Promising Attitude for Entomophagy Development. *Journal of Sensory Studies* **29**:14–20. John Wiley & Sons, Ltd. Available from

- <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/joss.12077> (accessed December 29, 2022).
- Chow YS et al. 2008. Wasps, Ants, Bees and Sawflies (Hymenoptera). *Encyclopedia of Entomology*:4137–4153. Springer, Dordrecht. Available from https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-1-4020-6359-6_2620 (accessed March 27, 2023).
- Combs, Jr. GF, McClung JP. 2022. Vitamin K. *The Vitamins*:239–269. Academic Press. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780323904735000173> (accessed April 5, 2023).
- D’Antonio V, Battista N, Sacchetti G, Di Mattia C, Serafini M. 2021. Functional properties of edible insects: a systematic review. *Nutrition Research Reviews*:1–22. Cambridge University Press. Available from <https://www.cambridge.org/core/journals/nutrition-research-reviews/article/functional-properties-of-edible-insects-a-systematic-review/0BADE3AC97DEC8C8194D14AD373BA6A7> (accessed March 10, 2023).
- Dobermann D, Swift JA, Field LM. 2017. Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutrition Bulletin* **42**:293–308. Blackwell Publishing Ltd.
- Egan BA, Toms R, Minter LR, Addo-Bediako A, Masoko P, Mphosi M, Olivier PAS. 2014. Nutritional Significance of the Edible Insect, *Hemijana variegata* Rothschild (Lepidoptera: Eupterotidae), of the Blouberg Region, Limpopo, South Africa. <https://doi.org/10.4001/003.022.0108> **22**:15–23. Entomological Society of Southern Africa. Available from <https://bioone.org/journals/african-entomology/volume-22/issue-1/003.022.0108/Nutritional-Significance-of-the-Edible-Insect-Hemijana-variegata-Rothschild-Lepidoptera/10.4001/003.022.0108.full> (accessed April 19, 2023).
- Egonyu JP, Kinyuru J, Fombong F, Ng’ang’a J, Ahmed YA, Niassy S. 2021. Advances in insects for food and feed. *International Journal of Tropical Insect Science* 2021 **41**:3 41:1903–1911. Springer. Available from <https://link.springer.com/article/10.1007/s42690-021-00610-8> (accessed November 14, 2022).
- Ermens AAM, Vlasveld LT, Lindemans J. 2003. Significance of elevated cobalamin (vitamin B12) levels in blood. *Clinical Biochemistry* **36**:585–590. Elsevier.
- Fattal-Valevski A. (n.d.). Thiamine (Vitamin B 1)DOI: 10.1177/1533210110392941. Available from <http://cam.sagepub.com> (accessed March 25, 2023).
- Hernández-Álvarez AJ, Mondor M, Piña-Domínguez IA, Sánchez-Velázquez OA, Melgar Lalanne G. 2021. Drying technologies for edible insects and their derived ingredients. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1915796> **39**:1991–2009. Taylor & Francis. Available from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373937.2021.1915796> (accessed March 7, 2023).
- Hmyz: příroda do kapsy, 2019. Přeložil Zdeněk Kymly. Praha: Euromedia Group. Universum. ISBN 978-80-7617-677-5.
- Huber JT. 2017. Biodiversity of Hymenoptera. *Insect Biodiversity*:419–461. John Wiley & Sons, Ltd. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/9781118945568.ch12> (accessed March 27, 2023).

- Huis A. 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Kim T-K, Cha JY, Yong HI, Jang HW, Jung S, Choi Y-S. 2022. Application of Edible Insects as Novel Protein Sources and Strategies for Improving Their Processing. *Food Science of Animal Resources* **42**:372. The Korean Society for Food Science of Animal Resources. Available from /pmc/articles/PMC9108959/ (accessed November 28, 2022).
- Kim TK, Yong HI, Kim YB, Kim HW, Choi YS. 2019. Edible Insects as a Protein Source: A Review of Public Perception, Processing Technology, and Research Trends. *Food Science of Animal Resources* **39**:521. The Korean Society for Food Science of Animal Resources. Available from /pmc/articles/PMC6728817/ (accessed December 29, 2022).
- Kinyuru JN, Kenji GM, Njoroge SM, Ayieko M. 2010. Effect of processing methods on the in vitro protein digestibility and vitamin content of edible winged termite (*Macrotermes subhylanus*) and grasshopper (*Ruspolia differens*). *Food and Bioprocess Technology* **3**:778–782. Springer. Available from <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-009-0264-1> (accessed March 4, 2023).
- Kirkland JB, Meyer-Ficca ML. 2018. Niacin. *Advances in Food and Nutrition Research* **83**:83–149. Academic Press.
- Kotsou K, Chatzimitakos T, Athanasiadis V, Bozinou E, Adamaki-Sotiraki C, Rumbos CI, Athanassiou CG, Lalas SI. 2023. Waste Orange Peels as a Feed Additive for the Enhancement of the Nutritional Value of *Tenebrio molitor*. *Foods* 2023, Vol. 12, Page 783 **12**:783. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Available from <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/4/783/htm> (accessed April 4, 2023).
- Kočárek, Petr, 2013. *Rovnokřídli (Insecta: Orthoptera) České republiky*. Praha: Academia. Atlas (Academia). ISBN 978-80-200-2173-1.
- Kouřimská L, Adámková A. 2016. Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal* **4**:22–26. Elsevier.
- Kovařík, František, 2000. *Hmyz: chov, morfologie*. Jihlava: Madagaskar. ISBN 80-86068-24-2.
- Lenaerts S, Van Der Borght M, Callens A, Van Campenhout L. 2018. Suitability of microwave drying for mealworms (*Tenebrio molitor*) as alternative to freeze drying: Impact on nutritional quality and colour. *Food Chemistry* **254**:129–136. Elsevier.
- Magara HJO et al. 2021. Edible Crickets (Orthoptera) Around the World: Distribution, Nutritional Value, and Other Benefits—A Review. *Frontiers in Nutrition* **7**:257. Frontiers Media S.A.
- Markle H V., Greenway DC. 2008. Cobalamin. <http://dx.doi.org/10.3109/10408369609081009> **33**:247–356. Taylor & Francis
- Melgar-Lalanne G, Hernández-Álvarez AJ, Salinas-Castro A. 2019. Edible Insects Processing: Traditional and Innovative Technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **18**:1166–1191. John Wiley & Sons, Ltd. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.12463> (accessed November 14, 2022).
- Meyer-Rochow VB, Gahukar RT, Ghosh S, Jung C. 2021. Chemical Composition, Nutrient Quality and Acceptability of Edible Insects Are Affected by Species, Developmental Stage, Gender, Diet, and Processing Method. *Foods* 2021, Vol. 10, Page 1036 **10**:1036.

- Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Available from <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/5/1036/htm> (accessed November 14, 2022).
- Nowakowski AC, Miller AC, Miller ME, Xiao H, Wu X. 2021. Potential health benefits of edible insects. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867053> **62**:3499–3508. Taylor & Francis. Available from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2020.1867053> (accessed March 8, 2023).
- Okamoto N, Nagao F, Umebayashi Y, Bito T, Prangthip P, Watanabe F. 2021. Pseudovitamin B12 and factor S are the predominant corrinoid compounds in edible cricket products. *Food Chemistry* **347**:129048. Elsevier.
- Ooninx DGAB, Van Keulen P, Finke MD, Baines FM, Vermeulen M, Bosch G. 2018. Evidence of vitamin D synthesis in insects exposed to UVb light. *Scientific Reports* 2018 **8**:1–10. Nature Publishing Group. Available from <https://www.nature.com/articles/s41598-018-29232-w> (accessed March 18, 2023).
- Parniakov O et al. 2021. Insect processing for food and feed: A review of drying methods. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1962905> **40**:1500–1513. Taylor & Francis. Available from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373937.2021.1962905> (accessed March 7, 2023).
- Peters RS et al. 2017. Evolutionary History of the Hymenoptera. *Current Biology* **27**:1013–1018. Cell Press.
- Pinto JT, Zemleni J. 2016. Riboflavin. *Advances in Nutrition* **7**:973–975. Oxford Academic. Available from <https://academic.oup.com/advances/article/7/5/973/4616730> (accessed March 25, 2023).
- Raheem D, Raposo A, Oluwole OB, Nieuwland M, Saraiva A, Carrascosa C. 2019. Entomophagy: Nutritional, ecological, safety and legislation aspects. *Food Research International* **126**:108672. Elsevier.
- Randaccio L, Geremia S, Demitri N, Wuerges J. 2010. Vitamin B12: Unique Metalorganic Compounds and the Most Complex Vitamins. *Molecules* 2010, Vol. 15, Pages 3228-3259 **15**:3228–3259. Molecular Diversity Preservation International. Available from <https://www.mdpi.com/1420-3049/15/5/3228/htm> (accessed March 25, 2023).
- Rasplus J-Y, Rasplus J-Y, Roques A. 2010. Dictyoptera (Blattodea, Isoptera), Orthoptera, Phasmatodea and Dermaptera. Chapter 13.3. *BioRisk* **4**:807–831. Pensoft Publishers. Available from <https://www.biodiversitylibrary.org/part/100552> (accessed March 31, 2023).
- Rumpold BA, Schlüter OK. 2013. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **17**:1–11. Elsevier.
- Schmidt A, Call LM, Macheiner L, Mayer HK. 2019. Determination of vitamin B12 in four edible insect species by immunoaffinity and ultra-high performance liquid chromatography. *Food Chemistry* **281**:124–129. Elsevier.
- Shelomi M. 2015. Why we still don't eat insects: Assessing entomophagy promotion through a diffusion of innovations framework. *Trends in Food Science & Technology* **45**:311–318. Elsevier.

- Song N, Zhang H, Zhao T. 2019. Insights into the phylogeny of Hemiptera from increased mitogenomic taxon sampling. *Molecular Phylogenetics and Evolution* **137**:236–249. Academic Press.
- van der Fels-Klerx HJ, Camenzuli L, Belluco S, Meijer N, Ricci A. 2018. Food Safety Issues Related to Uses of Insects for Feeds and Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **17**:1172–1183. John Wiley & Sons, Ltd. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.12385> (accessed December 29, 2022).
- Varelas V. 2019. Food Wastes as a Potential New Source for Edible Insect Mass Production for Food and Feed: A review. *Fermentation* 2019, Vol. 5, Page 81 **5**:81. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Available from <https://www.mdpi.com/2311-5637/5/3/81/htm> (accessed November 14, 2022).
- Velíšek, Jan a Jana Hajšlová, 2009. *Chemie potravin*. Rozš. a přeprac. 3. vyd. Tábor: OSSIS. ISBN 978-80-86659-15-2.
- Yen AL. 2009. Edible insects: Traditional knowledge or western phobia? DOI: 10.1111/j.1748-5967.2009.00239.x. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1748-5967.2009.00239.x> (accessed February 13, 2023).
- Žuk-Gołaszewska K, Gałęcki R, Obremski K, Smetana S, Figiel S, Gołaszewski J. 2022. Edible Insect Farming in the Context of the EU Regulations and Marketing—An Overview. *Insects* **13**:446. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). Available from </pmc/articles/PMC9147295/> (accessed November 14, 2022).

