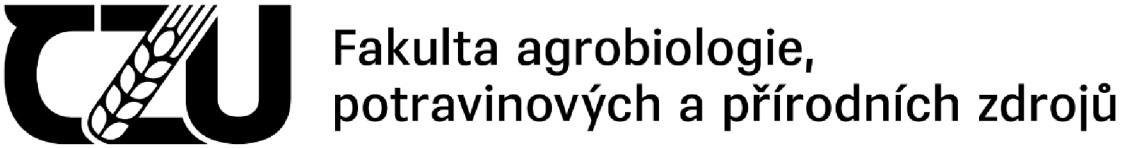
Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky



Antinutriční a alergenní látky v jedlém hmyzu

Bakalářská práce

Michaela Benešová
Výživa a potraviny

prof. Ing. Lenka Kouřimská, PhD.

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Antinutriční a alergenní látky 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 neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 19.04.2023 _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala paní prof. Ing. Lence Kouřimské, Ph.D. za odborné rady, cenné připomínky a věnovaný čas i trpělivost při zpracování mé bakalářské práce. Zároveň děkuji paní Ing. Barboře Lampové za konzultace. Poděkování patří i mé rodině za podporu a pomoc nejen při psaní mé bakalářské práce, ale také během celého studia.

Antinutriční a alergenní látky v jedlém hmyzu

Souhrn

Předložená bakalářská práce na téma Antinutriční a alergenní látky v jedlém hmyzu se opírá o vědeckou literaturu a studie s cílem zmapovat tyto látky. Entomofagie, tj. využívání hmyzu jako potraviny, není novodobý trend této doby. První zmínky o pojídání hmyzu sahají až do pravěku a ve spoustě zemích ve světě je konzumace hmyzu běžnou praxí. V mnoha zemích je přesto jedlý hmyz tabu, a to především v západních zemích. Jedním z řešení této neofobie z konzumace hmyzu může být zabudování vyextrahovaného hmyzího prášku do některých běžných potravin.

Česká republika mezi tyto země také patří, ale i přesto má v současnosti vzhledem k prováděcím nařízením Komise (EU) schválené již čtyři druhy jedlého hmyzu. Mezi tyto druhy patří cvrček domácí (*Acheta domesticus*), potemník moučný (*Tenebrio molitor*), potemník stájový (*Alphitobius diaperinus*) a saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*).

Vzhledem ke stále rostoucí populaci a enviromentálním problémům by mohl být problém jednoho dne zajistit obživu pro obyvatelstvo, a to především zajistit zdroj kvalitních bílkovin. Hmyz by mohl být řešením, avšak je potřeba upozornit na jeho potenciální rizika.

Jedním z největších rizik je alergie. Alergie je nepřiměřená reakce imunitního systému na určitý podnět. Jedlý hmyz obsahuje řadu alergenů, z nichž nejčastějšími jsou tropomyosin a argininkináza. Přítomnost těchto látek lze stanovit pomocí metody ELISA nebo například spektrofotometrií. Hmyzí alergeny doprovází zkřížená alergie s korýši, měkkýši nebo také roztoči. Toto tvrzení bylo potvrzeno mnoha studiemi, které zkoumaly vliv zpracování na tyto alergeny. U těchto alergenních látek zjistily sníženou imunoreaktivitu při smažení, avšak tropomyosin při vaření či pečení zůstal stabilní. U jedlého hmyzu bylo evidováno také pár případů anafylaktického šoku, a to konkrétně u sarančat.

Dalším potenciálním rizikem v jedlém hmyzu jsou antinutriční látky. Jedná se o látky, které snižují vstřebatelnost minerálních látek, vitaminů, bílkovin apod. Mezi takové látky u hmyzu patří fytová kyselina, tanin, oxaláty či thiamináza, která byla detekována u hmyzu *Anaphe venata*. Tanin i fytová kyselina byly u hmyzu naměřeny v bezpečném množství a hodnoty fytové kyseliny byly dokonce nižší než u sóji luštinaté (*Glycine max*). I přesto, že hodnoty oxalátů vykazovaly vyšší hodnoty než ostatní antinutriční látky, lze je po tepelném zpracování vyhodnotit jako látky bezpečné pro lidský organismus. Tyto látky byly stanoveny nejčastěji pomocí spektrofotometrie či chromatografie.

Posledním rizikem je možná toxicita v podobě akumulovaných pesticidů z krmných směsí. U některých druhů hmyzu byla zjištěna přítomnost těžkých kovů či toxiny, které mohou přirozeně produkovat na svou vlastní ochranu.

Klíčová slova: entomofagie, chitin, jedlý hmyz, vláknina, zkřížená alergie

Antinutritional and allergenic substances in edible insects

Summary

Submitted bachelor's thesis on Antinutritional and allergenic substances in edible insects is based on scientific literature and studies with the aim of analysing these substances. Entomophagy, i.e. the use of insects as food, is not a recent trend of our time. The first references of insect eating date back to prehistoric times and in many countries around the world, eating insects is a common practice. Yet in many countries, eating insects is taboo, especially in Western countries. One solution to this neophobia of eating insects may be to incorporate extracted insect powder into some common foods.

The Czech Republic is also one of these countries, but despite this, due to the implementing regulations of the Commission (EU), it currently has four species of edible insects approved. These species include the house cricket (*Acheta domesticus*), the yellow mealworm (*Tenebrio molitor*), the lesser mealworm (*Alphitobius diaperinus*) and the migratory locust (*Locusta migratoria*).

Given the ever-increasing population and environmental problems, it could one day be a challenge to provide food for the population, especially to provide a source of quality protein. Insects could be a solution, but their potential risks need to be highlighted.

One of the biggest risks is allergy. An allergy is an inappropriate reaction of the immune system to a particular stimulus. Edible insects contain a number of allergens, the most common of which are tropomyosin and arginine kinase. The presence of these substances can be determined by ELISA or, for example, spectrophotometry. Insect allergens are accompanied by cross-allergies with crustaceans, molluscs or also mites. This statement has been confirmed by many studies that have studied the effect of processing on these allergens. They found reduced immunoreactivity for these allergens when fried, but tropomyosin remained stable when cooked or baked. A few cases of anaphylactic shock were also recorded for edible insects, specifically in anemones.

Another potential risk in edible insects is the presence of antinutritional substances. These substances reduce the absorption of minerals, vitamins, proteins etc. Among such substances in insects there are phytic acid, tannin, oxalates or thiaminase, which has been detected in the insect Anaphe venata. Both tannin and phytic acid were found at safe levels in the insects and the levels of phytic acid were even lower than in soybean (*Glycine max*). Even though the oxalate values showed higher values than the other antinutrients, they can be evaluated as safe for human consumption after heat treatment. These substances were most often determined by spectrophotometry or chromatography.

A final risk is possible toxicity in the form of accumulated pesticides from compound feed. Some insect species have been found to have heavy metals or toxins that they can naturally produce for their own protection.

Keywords: chitin, cross allergy, edible insects, entomophagy, fiber

Obsah

1 Úvod 8

2 Cíl práce 9

3 Literární rešerše 10

3.1 Entomofágie 10

3.1.1 Entomofagie a životní prostředí 10

4 Druhy nejčastěji konzumovaného jedlého hmyzu 11

4.1 Legislativní rámec hmyzu jako potraviny 12

5 Nutriční hodnota jedlého hmyzu 13

5.1 Bílkoviny 13

5.2 Tuky 13

5.3 Mikroživiny 14

5.3.1 Minerální látky 14

5.3.2 Vitaminy 15

6 Negativní stránka entomofágie 17

7 Antinutriční látky 17

7.1 Vláknina 18

..... 18

..... 18

7.1.1 Vláknina v jedlém hmyzu 18

7.1.2 Chitin 19

7.2 Fytová kyselina 20

7.3 Oxaláty 20

7.4 Tanin 21

8 Analytické metody stanovení antinutričních látek 21

8.1 Spektrofotometrie 22

8.2 Chromatografie 22

9 Hladiny antinutričních látek v jedlém hmyzu 22

9.1 Thiaminása 24

10 Alergie 24

10.1 Anafylaktický šok 25

10.2 Zkřížená alergie 25

10.3 Alergeny v jedlém hmyzu 26

10.3.1 Tropomyosin 26

10.3.2 Argininkináza 27

10.3.3 Chitináza 28

11 Rizika v určitých druzích jedlého hmyzu 29

11.1 Cvrček domácí (*Acheta domesticus*) 29

11.1.1 Alergie spojená s konzumací cvrčka domácího 29

11.1.2 Označení na obalu 29

11.2 Saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*) 30

11.2.1 Alergie spojená s konzumací sarančí stěhovavou 30

11.2.2 Označení na obalu 30

11.3 Potemník moučný (*Tenebrio molitor*) 31

11.3.1 Alergie spojené s konzumací potemníka moučného 31

11.3.2 Označení na obalu 32

11.4 Potemník stájový (*Alphitobius diaperinus*) 32

11.4.1 Vliv zpracování na alergeny v různých druzích potemníků 32

11.4.2 Označení na obalu 34

12 Analytické metody stanovení alergenních látek 35

12.1 ELISA 35

12.2 Spektrofotometrie 36

12.3 PCR 36

13 Další potenciální rizika konzumace jedlého hmyzu 36

13.1 Mikrobiální riziko 36

13.2 Toxicita 37

14 Vliv kulinářského zpracování 38

14.1 Extrakce 38

15 Závěr 39

16 Literatura 40

17 Seznam použitých zkratek a symbolů 50

1 Úvod

V posledních letech čelí svět stále zvyšujícímu se počtu obyvatel a dalším enviromentálním problémům. S tím souvisí otázka zajištění dostatku potravy v budoucnu. Jedlý hmyz by mohl tento problém pomoci vyřešit. Hmyz se totiž ukázal jako vhodný alternativní zdroj bílkovin a dalších nutričně významných složek pro lidský organismus. Další výhodou konzumace hmyzu jsou například jeho nízké požadavky na zemědělskou půdu nebo také jeho vysoká reprodukční schopnost.

Každá potravina s sebou nese určitá rizika a hmyz rozhodně není výjimkou. Největším rizikem spojeným s konzumací jakékoliv potraviny je přítomnost alergenů. Tato práce také sleduje zkříženou alergenicitu s jinými potravinami, a to především s korýši. Důležitým faktorem je také vliv zpracování na sílu alergenu, a s tím spojenou následnou reakci.

Dalším možným rizikem jsou antinutriční látky, které snižují stravitelnost a vstřebatelnost především vitaminů a minerálních látek. U těchto látek bude také věnována pozornost vlivu zpracování na jejich antinutriční účinek. Mezi antinutriční látky řadíme také vlákninu, která by se mohla nacházet v hmyzím exoskeletu.

V práci bude pozornost zaměřena především na legislativně schválené druhy jedlého hmyzu v České republice.

2 Cíl práce

Cílem této práce bylo na základě literární rešerše zmapovat antinutriční a alergenní látky v jedlém hmyzu a možnosti jejich analytického stanovení. Podkladem pro vypracování byla hypotéza, že i přesto, že je jedlý hmyz považován za jídlo budoucnosti, nese jeho konzumace s sebou určitá rizika. Jedlý hmyz je potravinou s významnou nutriční hodnotou, avšak může obsahovat látky snižující tuto nutriční hodnotu. Dílčími cíli práce proto bylo zjištění přítomnosti alergenů a s tím spojená možná zkřížená alerginicita, přítomnost antinutričních látek, analytické metody stanovení těchto látek, další potenciální rizika či zaměření se na druhy jedlého hmyzu v České republice.

3 Literární rešerše

3.1 Entomofágie

Entomofágie je odborný termín pro využívání hmyzu jako potraviny. Slovo entomofágie je odvozeno z řeckých slov *éntomon,* „hmyz“ a *phagein*, "k jídlu" (Mottola, 2019).

V současné době se hmyz nachází v jídelníčku nejméně 2 miliard lidí po celém světě. Předními spotřebitelskými zeměmi jsou Mexiko, Čína, Thajsko. Konzumace hmyzu není ale pouze novodobým trendem. Zmínky o konzumaci hmyzu sahají až do pravěku. Nejstarší citace entomofágie lze nalézt i v biblické literatuře. V islámské tradici existuje několik odkazů na pojídání hmyzu – konkrétně například sarančat, včel, mravenců, vší nebo termitů. Entomofágie je přítomna i v židovské literatuře. Tradice dodnes byla ale zachována pouze mezi Židy žijícími v Jemenu a v částech severní Afriky. První zmínka o entomofágii v Evropě byla v Řecku, kde se pojídání cikád považovalo za lahůdku.

Lidé sklízeli vajíčka, larvy, kukly a dospělce určitých druhů hmyzu k jídlu po tisíce let, nicméně pojídání hmyzu bylo a stále je tabu v mnoha západních zemích (van Huis, 2013). Avšak dle několika studií bude v budoucnu potřeba zařadit do běžného jídelníčku hmyz pro většinu obyvatelstva po celém světě, z důvodu udržitelnosti produkce potravin (Thompson, 2013). Jedlý hmyz by také mohl být potenciálním pomocníkem v boji proti podvýživě (Djouffa, 2021).

3.1.1 Entomofagie a životní prostředí

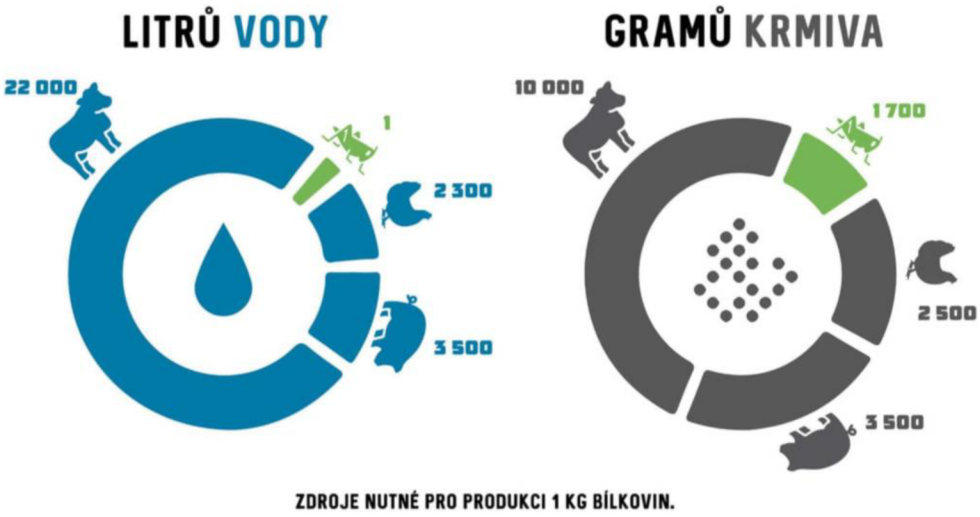
Existuje silný argument ve prospěch hromadného chovu hmyzu jako potraviny, protože tato cesta je pravděpodobně méně škodlivá pro životní prostředí než jiné formy produkce bílkovin.

Nakrmit rostoucí světovou populaci nutně vyžaduje zvýšení produkce potravin. To nevyhnutelně způsobí silný tlak na již tak omezené zdroje, jako jsou půda, oceány, hnojiva, voda či energie.

Tyto environmentální problémy, zejména ty spojené s chovem dobytka, vyžadují pozornost. Dobytek a ryby jsou důležitými zdroji bílkovin ve většině zemí. Podle FAO zabírá živočišná výroba 70 % veškeré zemědělské půdy.

Environmentální přínosy chovu hmyzu pro potravu a krmivo jsou založeny na vysoké účinnosti přeměny krmiva u hmyzu. Cvrčci například vyžadují pouze 2 kg dávky na každý 1 kg tělesné hmotnosti (van Huis, 2013). Ve srovnání ještě s jejich vysokou reprodukční schopností a krátkými životními cykly pak předčí všechna hospodářská zvířata.

Předpokládá se, že chov hmyzu může snížit požadavky na zemědělskou půdu a vyniká svými nízkými hodnotami v produkci skleníkových plynů – CH_4, CO_2, N_2O. Tyto plyny mají dopad na životní prostředí a následnou změnu klimatu (Stull 2020; Oonincx et al., 2010).
Ve srovnání se savci a ptáky může hmyz také představovat menší riziko přenosu zoonotických infekcí na lidi, dobytek a volně žijící zvířata, ačkoli toto téma vyžaduje další výzkum (van Huis, 2013).



Obrázek 1 Porovnání dobytka a hmyzu (zdroj: grig.cz, 2022)

4 Druhy nejčastěji konzumovaného jedlého hmyzu

Jongema (2017) udává více než 2 100 druhů jedlého hmyzu po celém světě. Pro zařazení hmyzu mezi jedlý hmyz je potřeba, aby hmyz byl zajímavý z výživového hlediska. V zemích Evropské unie jsou nejčastěji chovány pro lidskou spotřebu tyto druhy:

- cvrček domácí (*Acheta domesticus*)
- saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*)
- potemník stájový (*Alphitobius diaperinus*)
- potemník moučný (*Tenebrio molitor*)
- potemník brazilský (*Zophobas morio*)
- bourec morušový (*Bombyx mori*)
- zavíječ voskový (*Galleria mellonella*)
- cvrček stepní (*Grillus assimilis*)
- saranče pustinná (*Schistocerca gregaria*)

V České republice jsou schváleny z těchto druhů zatím pouze čtyři druhy jedlého hmyzu (Bezpečnost potravin, 2023).

4.1 Legislativní rámec hmyzu jako potraviny

Hmyz je v současné době označován jako nová potravina. Podle nařízení EU je novou potravinou označena každá potravina, která nebyla ve větší míře konzumována před květnem 1997.

Nové nařízení o nových potravinách 2015/2283 v zemích Evropské unie, které se týkalo i jedlého hmyzu, vzešlo v platnost 1. ledna 2018. Předtím v EU neexistovala jednotná regulace, zda je jedlý hmyz považován za novou potravinu či nikoli. Podle nařízení o nových potravinách musí být nové potraviny ze zdravotních důvodů předem posouzeny Evropským úřadem pro bezpečnost potravin (EFSA), než budou uvedeny na trh v celé EU (EFSA, 2021).

V tabulce 1 jsou vypsané druhy jedlého hmyzu, které prošly schvalovacím procesem a je tedy legální tyto druhy uvádět na trh České republiky jako potravinu.

Druh hmyzu		**Vývojové stadium**
Acheta domesticus	cvrček domácí	imago
Locusta migratoria	saranče stěhovavá	imago
Tenebrio molitor	potemník moučný	larva
Alphitobius diaperinus	potemník stájový	larva

Tabulka 1 Legislativně schválené druhy jedlého hmyzu v ČR (zdroj: Bezpečnost potravin, 2022)

Nejnovějším schváleným jedlým hmyzem pro trh České republiky je potemník stájový, přesněji pouze jeho larvální stádium. Alternativním názvem pro larvu tohoto hmyzu je Bufallo. Tento název se také používá pro larvy *Alphitobius laevigatus*, což může vést k záměně. Druh lze detekovat pomocí metody PCR (Marien et al., 2022).

Hmyz se také používá jako krmivo. Pro krmné účely jsou v České republice aktuálně schváleny dle Nařízení komise (EU) č. 2021/1372 tyto druhy hmyzu: moucha bráněnka (*Hermetia illucens*) a moucha domácí (*Musca domestica*), potemník moučný (*Tenebrio molitor*) a potemník stájový (*Alphitobius diaperinus*), cvrček domácí (*Acheta domesticus*), cvrček krátkokřídlý (*Gryllodes sigillatus*) a cvrček banánový (*Gryllus assimilis*).

5 Nutriční hodnota jedlého hmyzu

Studie prokázaly, že jedlý hmyz může být vhodnou náhradou tradičních zdrojů potravy pro populaci vzhledem k narůstajícímu počtu obyvatel. Jedlý hmyz obsahuje řadu tělu prospěšných látek od bílkovin po minerální látky.

5.1 Bílkoviny

Bílkoviny jsou nezbytnou součástí potravy pro lidské tělo. Obsah bílkovin se u většiny hmyzu pohybuje od asi 35 % až 60 %, což je již obecně vyšší než u obilovin a luštěnin. Kvalitou jsou srovnatelné s bílkovinami kuřecího masa či ryb. Dalším ukazatelem kvality bílkovin je jejich stravitelnost. Například larvy mouchy *Hermetia illucens* mají vysoce variabilní obsah minerálních látek, který je ovlivněn jejich stravou. Protože některé bílkoviny jsou vázány na jejich mineralizovaný exoskelet, zvýšený obsah minerálních látek může snížit stravitelnost bílkovin (Oonincx & Finke, 2021).

Protein se skládá z dvaceti aminokyselin, z nichž devět je esenciálních. Všechny esenciální aminokyseliny lze nalézt právě v hmyzích proteinech. Toto zjištění dělá z hmyzu unikátní zdroj bílkovin. Například larvy nosatce palmového (*Rhychophorus phoenicis*) obsahují až 66,3 % celkových bílkovin v sušině. Pro porovnání kuřecí maso obsahuje na 100 g hmotnosti přibližně 20 g bílkovin.

Zástupcem u nás legislativně schváleného jedlého hmyzu, který obsahuje značné množství bílkovin je saranče stěhovavá (Borkovcová et al., 2015, Zhou et al., 2022).

5.2 Tuky

Druhou nejdůležitější živinou pro lidské tělo jsou tuky. Hmyz obsahuje nezbytné mastné kyseliny jako je například kyselina linolová. Nicméně, obsah tuku se mezi druhy velmi liší. Například průměrný obsah tuku u *Coleoptera* je 33,40 %, zatímco průměrný obsah tuku u *Orthoptera* je pouze 13,41 %. Oonincx & Finke (2021) uvádí, že samice hmyzu mají vyšší obsah tuku než samci. Stejně jsou na tom larvy a kukly, které také disponují vyšším obsahem tuku než dospělci (Chen et al., 2009).

Většina hmyzích tuků je bohatá na nenasycené mastné kyseliny, které jsou pro člověka velmi prospěšné. Bylo prokázáno, že hmyz obsahuje vyšší obsah těchto nenasycených mastných kyselin než drůbež a ryby, zejména polyenových (Zhou et al., 2022)

Obsah tuku je ovlivněn i různými faktory prostředí jako je teplota nebo světlo. Komerčně chovaný hmyz má větší tukové zásoby než ten, který žije volně v přírodě. To může souviset například s energeticky bohatou krmnou směsí, která se používá na hmyzích farmách (Oonincx & Finke 2021).

5.3 Mikroživiny

Do skupiny mikroživin se řadí především vitamíny a minerální látky. Hrají důležitou roli ve výživě člověka (Zielińska, 2015). Mají význam pro růst a tvorbu tkání, aktivují, regulují a kontrolují látkovou výměnu v těle a také se spoluúčastní na vedení nervových vzruchů (Piťha & Poledne, 2009). Nedostatek mikroživin je v rozvojových zemích zcela běžný a mohou mít závažné nepříznivé zdravotní důsledky (Zielińska, 2015). Obsah mikroživin u hmyzu je velmi ovlivněn jak druhem, tak metamorfním stádiem a potravou.

5.3.1 Minerální látky

První skupinou jsou minerální látky, kam se řadí hořčík, fosfor, vápník, sodík, draslík, zinek, železo, měď a mangan (Papastavropoulou et al., 2021). Jedlý hmyz vyniká nejen velmi příznivými hodnotami makroživin, ale také velmi dobrým zastoupením mikroživin.

V tabulce 2 můžeme vidět koncentrace minerálních látek obsažené ve cvrččí mouce a u potemníka moučného v mg/kg.

Analyzovanými vzorky byly larvy *Tenebrio molitor* a komerčně dostupná cvrččí moučka. Larvy *Tenebrio molitor* byly transportovány živé a uchovány v chladničce až do analýzy. Poté se nechaly přibližně 24 hodin hladovět za účelem snížení vlivu zbytků potravy ve střevech.

Tito mouční červi byli umístěni do baňky, která se následně uzavřená víčkem vložila do sušárny při teplotě 110 ºC na 48 hodin. Zde došlo k usmrcení larev v důsledku nedostatku kyslíku. Nakonec byly vzorky homogenizovány v kuchyňském robotu pro získání mouky. Vzorek cvrččí moučky nebyl žádným způsoben upraven.

Minerální látka	**Larvy potemníka moučného**	**Cvrččí moučka**
Hořčík (Mg)	694	1141
Fosfor (P)	2835	8900
Vápník (Ca)	344	755
Sodík (Na)	670	5287
Draslík (K)	3462	14996
Zinek (Zn)	39,6	252
Železo (Fe)	13,7	59,9
Měď (Cu)	5,0	25,3
Mangan (Mn)	2,0	44,6

Tabulka 2 Minerální látky ve vybraných druzích jedlého hmyzu (zdroj: Papastavropoulou, 2021)

Jedlý hmyz je bohatým zdrojem železa a jeho zařazení do každodenní stravy by mohlo pomoci předcházet anémii v rozvojových zemích (Zielińska, 2015). Železo, které je přítomno v jedlém hmyzu, je ve formě Fe^{2+} vázaného na hemoglobin a je pro člověka snáze stravitelné než forma železa, která se běžně vyskytuje v rostlinách.

V porovnání s hovězím, vepřovým a drůbežím masem má hmyz podstatně více železa. Obsah železa v hovězím mase odpovídá 6 mg/100 g, ve vepřovém mase 1,5 mg/100 g a v drůbežím mase 1,2 mg/100 g. Porovnávaným hmyzem byla saranče všežravá, u kterého byly naměřeny hodnoty 8,38 mg/100 g. Jak již bylo zmíněno, obsah mikroživin závisí na několika faktorech, a to se potvrdilo u housenek *Gonimbrasia belina*, druh můry císařské, jejichž housenky jsou známé i pod názvem mopane, kde se obsah železa pohybuje ve vysokých hodnotách, ale je velmi varialbilní mezi 31 a 77 mg/100 g (Zielińska, 2015).

Vápník je důležitou minerální látkou především u dětí a seniorů. Jeho denní příjem by se měl pohybovat okolo 1000–1200 mg/den. Velmi dobrým zdrojem vápníku jsou mléčné výrobky, které se ale v současné době čím dál méně objevují v běžných jídelníčcích. To se děje především v důsledku častějšího výskytu intolerance laktózy a narůstající oblíbenosti alternativních směrů stravování u mladé populace, a to především veganství.

Hovězí maso má v průměru 4-27 mg/100 g, tvaroh měkký v průměru 100 mg/100 g a mléko polotučné obsahuje přibližně 125 mg vápníku na 100 g výrobku. Pro porovnání bylo vybráno opět saranče všežravá a cvrček krátkokřídlý. Saranče všežravá obsahuje 70 mg/100 g a cvrček krátkokřídlý 130 mg/100 g (Zielińska, 2015). Je důležité zmínit, že hmyz, který nemá mineralizovanou kostru, téměř neobsahuje vápník (Oonincx & Finke 2021).

Výše naměřené hodnoty jsou příznivé a jedlý hmyz je možným řešením pro populaci s intolerancí na laktózu, případně může pomoci doplňovat stravu skupin obyvatelstva, které potřebují zajistit vyšší denní příjem vápníku.

5.3.2 Vitaminy

Druhou skupinou mikroživin jsou vitaminy. Vitaminy jsou nezbytné pro stimulaci metabolických procesů a posílení funkcí imunitního systému (van Huis, 2013). Jedná se o esenciální látky, tj. lidské tělo si je nedokáže samo syntetizovat. S příjmem vitaminů souvisí tři stavy – hypervitaminóza, hypovitaminóza a avitaminóza.

Nejrozšířenější hypovitaminóza, tj. nedostatečný příjem je u vitaminu B12. Projevem této hypovitaminózy je anémie. Anémie neboli chudokrevnost je patofyziologický stav, kdy v krvi dochází k poklesu počtu erytrocytů a ke snížení množství krevního barviva hemoglobinu. Vitamin B12 je důležitým společníkem železa, kdy zajišťuje jeho vstřebávání (Horáková, 2021).

Vitaminy se dělí do dvou skupin – hydrofilní, tj. rozpustné ve vodě a lipofilní vitaminy, tj. rozpustné v tucích. Do hydrofilní skupiny se řadí vitaminy skupiny B, vitamin C a vitamin H. Druhou skupinou jsou vitaminy lipofilní, kam se řadí vitamin A, D, E, K. V tabulce číslo 3 můžeme vidět rozdělení vitaminů, jejich alternativní názvy a také konkrétní vitaminy skupiny B.

Vitaminy rozpustné ve vodě	**Vitaminy rozpustné v tucích**
Vitamin C (kyselina L-askorbová)	Vitamin A (retinol)
Vitamin B1 (thiamin)	Vitamin D (kalciferol)
Vitamin B2 (riboflavin)	Vitamin E (tokoferol)
Vitamin B3 (niacin)	Vitamin K (fylochinon)
Vitamin B5 (kyselina pantothenová)	
Vitamin B6 (pyridoxin)	
Vitamin B9 (kyselina listová)	
Vitamin B12 (kobalamin)	
Vitamin H (biotin)	

Tabulka 3 Přehled vitaminů

5.3.2.1 Hydrofilní vitaminy v jedlém hmyzu

Existuje několik studií potvrzujících přítomnost vitaminů v jedlém hmyzu. Většina studií ukazuje, že nezpracovaný hmyz je velmi dobrým zdrojem riboflavinu, niacinu, kyseliny pantothenové, pyridoxinu, biotinu, kyseliny listové a kobalaminu. Vhodným příkladem je cvrček domácí. Nutriční analýza cvrččích prášků ukázala, že cvrčci obsahují přibližně 10krát více vitaminu B12 než hovězí maso. Cvrčci obsahují přibližně 2,88 mg/100 g sušiny vitaminu B12, což spadá do doporučeného rozmezí pro dospělé 2,4 mg/den. Cvrček domácí také obsahuje velké množství dalších vitaminů skupiny B, jako jsou thiamin, riboflavin a kyselina listová, což z něj činí vynikající zdroj vitamínů skupiny B (van Huis, 2013).

Nízké hladiny některých z těchto vitaminů občas uváděné v literatuře jsou pravděpodobně způsobeny ztrátami během zpracování a skladování. Během zpracování mohou také být některé vitaminy skupiny B zničeny vystavením teplu, světlu nebo kyslíku (Oonincx & Finke 2021).

5.3.2.2 Lipofilní vitaminy v jedlém hmyzu

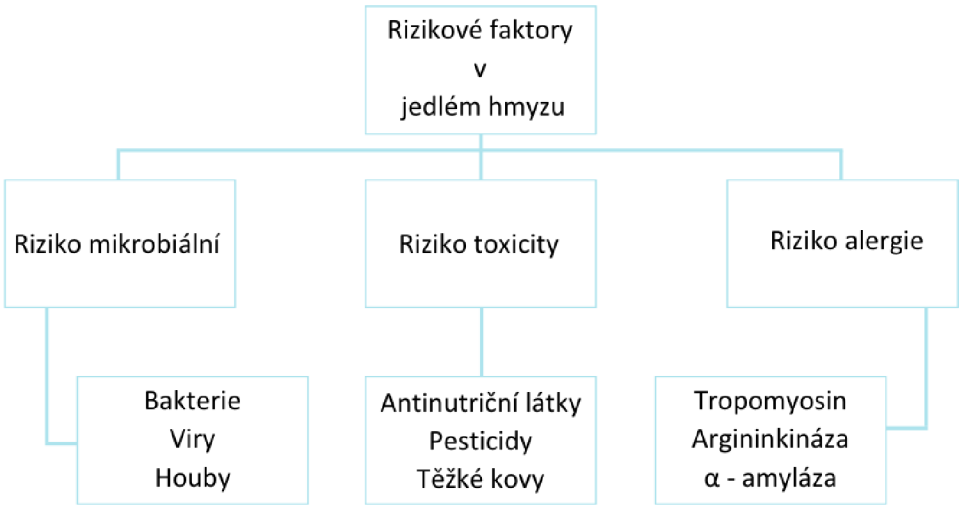
Obecně platí, že hmyz není nejlepším zdrojem vitaminu A a jeho obsah je ovlivněn anatomií konkrétního druhu hmyzu. Jako většina obratlovců i hmyz syntetizuje vitamin A štěpením různých karotenoidů. Štěpení karotenoidů u obratlovců probíhá primárně ve střevě a výsledný vitamin A se ukládá v játrech, zatímco hmyz přeměňuje karotenoidy na retinoidy

pouze ve složeném oku. Proto larvy, které nemají složené oči neobsahují žádný vitamin A (Oonincx & Finke 2021).

Dlouhou dobu se mělo za to, že hmyz obsahuje nízké hladiny vitaminu D, ale poslední studie však naznačují spíše vysokou variabilitu jeho koncentrace. To samé platí u vitaminu E, kde jsou hodnoty koncentrace závislé na daném druhu hmyzu. Zdá se, že volně žijící hmyz obsahuje vyšší hladiny vitaminu E než komerčně chovaný hmyz, kterému je často podávána strava obsahující nízké hladiny vitaminu E (Oonincx & Finke 2021).

6 Negativní stránka entomofágie

I přesto, že je hmyz považován za nutričně bohatou potravinu a jídlo budoucnosti jsou zde další aspekty, kterým je potřeba věnovat také pozornost. Jedním z nich jsou antinutriční látky, které mohou snižovat právě jeho jedinečnou nutriční stránku, alergie či další rizika.



Obrázek 2 Rizika v jedlém hmyzu (zdroj: Giampieri, 2022, vlastní tvorba)

7 Antinutriční látky

Jedlý hmyz je jednou z nutričně nejplnohodnotnějších potravin. Přesto se v jedlém hmyzu nachází i antinutriční látky. Antinutriční látky jsou látky snižující nutriční hodnotu potravin, ve kterých jsou obsaženy. Mají negativní vliv na metabolismus vitaminů, minerálních látek či negativně ovlivňují činnost enzymů a hormonů v těle. Jsou tedy příčinou nižší biologické využitelnosti živin a mohou narušovat také proces trávení (Velíšek, 2002). Jejich antinutriční účinek lze snížit například tepelnou úpravou, avšak některé antinutriční látky jsou tepelně velice stabilní (Hamid et al., 2017). Mezi tyto látky patří nejčastěji fytová kyselina, tanin, oxaláty či

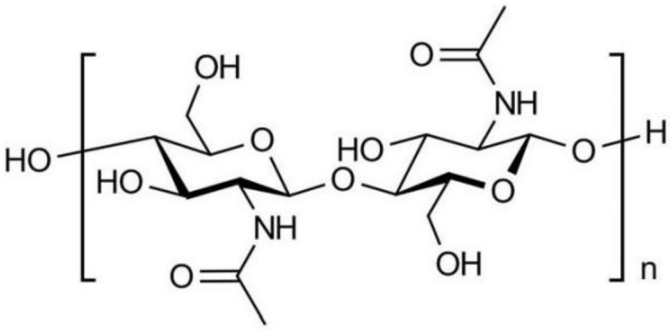
thiamináza. I přesto, že je vláknina pro lidský organismus jednou z nejdůležitějších složek potravy, řadíme ji také mezi antinutriční látky.

7.1 Vláknina

Vláknina je nedílnou součástí stravy každého člověka. Jedná se v podstatě o nestravitelnou složku tvořenou polysacharidy, které jsou odolné vůči enzymatickému trávení (Dhingra, 2012). Vláknina se dělí na nerozpustnou a rozpustnou. Mezi nerozpustnou vlákninu se řadí především lignin a celulóza. Vyniká bobtnavými vlastnostmi, které zajišťují v žaludku pocit sytosti (He, 2022). Vláknina se přirozeně vyskytuje v obilovinách, zelenině, ovoci či ořeších (Dhingra, 2012).

Hlavním zastupitelem rozpustné vlákniny je pektin. Pektin je polysacharid kyseliny galakturonové. Má dobrou viskozitu, vstřebatelnost a protinádorovou aktivitu (He, 2022). Působí preventivně proti obezitě, a to například snižováním hladiny cholesterolu v krvi (Mandimika et al., 2012).

Vláknina hraje také důležitou roli při diabetes mellitus 2. typu nebo při různých střevních onemocněních. Ovlivňuje střevní mikrobiom, který souvisí s imunitním systémem a pozitivně ho ovlivňuje. Podporuje prospěšné střevní bakterie, je tzv. prebiotikem a snižuje riziko kardiovaskulárních a ženských onemocnění (He, 2022; Soliman, 2019).



Obrázek 3 Strukturní vzorec chitinu (zdroj: Dschanz, 2007)

7.1.1 Vláknina v jedlém hmyzu

Jedlý hmyz obsahuje významné množství vlákniny, konkrétně hrubé vlákniny, acido detergentní vlákniny či neutrálně detergentní vlákniny. Představitelem vlákniny v jedlém hmyzu je chitin. Purifikovaný chitin se skládá z přibližně 90 % z vlákniny, kterou mohou lidé metabolizovat (Eswaran et al., 2022). Chitin a jeho degradované produkty, jako je například chitosan, působí antimikrobiálně, antioxidačně či protinádorově (Nowakowski et al., 2021).

7.1.2 Chitin

Chitin je nejběžnějším polysacharidem v těle hmyzu. Obsah chitinu u komerčně chovaného hmyzu činí 2,7 - 49,8 mg/kg v čerstvém stavu nebo 11,6–137,2 mg/kg v sušině (Finke, 2007). Koncentrace chitinu se liší podle druhu a vývojové úrovně, ale tvoří asi 10 % sušiny (Eswaran et al. 2022).

Byla popsána izolace chitinu ze stádia larvy, dospělce a superčerva moučného (*Tenebrio atratus*). Výtěžky chitinu a chitosanu byly zaznamenány 4,68 % a 80 % u larev; 8,4 % a 78,33 % u dospělých; 3,9 % a 83,33 % u superčerva moučného. Kaya a kol. (2015) provedli izolaci a srovnání chitinu ze sedmi druhů kobylek, jmenovitě *Pyrgomorpha cognate, Oedipoda caerulescens, O. miniata, Aiolopus strepens, A. simulatrix, Duroniella fracta a Diplocotes laticornis*. Zjistili, že obsah chitinu v sušině se u těchto sedmi druhů pohyboval mezi 5,3 až 8,9 % (Eswaran, 2022).

Chitin je polysacharid složený z molekul glukózy spojených 1,4 – β – glykosidickou vazbou. Pomocí rentgenové analýzy bylo zjištěno, že chitin je strukturou velmi podobný celulóze, vedle které je nejrozšířenějším polysacharidem na Zemi. Liší se pouze v tom, že každá hydroxylová skupina na $C_{(2)}$ je nahrazena acetamidovou skupinou (Mareček et al., 2000, s.142).

Chitin je primární stavební složkou exoskeletu. Exoskelet neboli vnější kostra se nachází především u kmene *Arthropoda*. Funkcí exoskeletu je ochrana a opora těla (Jelínek et al., 2014, s. 125). Exokutikula, nejzevnější složka hmyzu, která je eliminována a vynořuje se během metamorfózy, má vysoké množství chitinu, zatímco epikutikula má zanedbatelné množství chitinu. Odstranění chitinu z hmyzu před jídlem by mohlo zlepšit kvalitu a biologickou dostupnost bílkovin ve stravě (Eswaran, 2022).

Přibližně 8,5 % hmotnosti cvrččího prášku se skládá z vlákniny, pravděpodobně pocházející z jejich chitinózního exoskeletu (Voelker, 2019).

Jelikož chitin obsahuje dusík, ovlivňuje také odhady bílkovin na základě měření dusíku (Bosch et al., 2014).

Bylo zjištěno, že konzumace kobylek bez odstranění nohou způsobila některým konzumentům střevní zácpu, protože velké trny na holenní kosti kobylek se zachytily ve střevě. Tito pacienti museli podstoupit operaci. Tuto operaci museli podstoupit také pacienti v Indonésii, kteří jedli velké množství pražených vrubounů (*Lepidiota*), jejichž nestravitelné chitinózní zbytky se mohou hromadit na několika místech ve střevě a způsobit také střevní zácpu.

Tyto případy vedly k opatření na etiketách sarančí stěhovavých, kde je jasně uvedeno, že před konzumací je třeba odstranit nohy a křídla hmyzu (van Huis, 2013).

7.2 Fytová kyselina

Fytová kyselina je označována za antinutriční látku, protože vytváří nerozpustné komplexy s minerálními látkami, čímž snižuje jejich biologickou využitelnost (Bezpečnost potravin, 2021). Dále také inhibuje vstřebávání bílkovin ve střevě. Vyskytuje se především v luštěninách, olejninách a cereáliích. Proto populace, která má ve svém jídelníčku pšenici jako základní potravinu, konzumuje stravu bohatou na fytovou kyselinu. S tím souvisí vyšší riziko anémie či možné komplikace v těhotenství.

Přestože je považována za antinutriční látku má řadu pozitivních účinků na lidské zdraví. Předpokládá se, že fytová kyselina kontroluje hladinu cukru v krvi a může snížit výskyt ledvinových kamenů. Působí preventivně proti nádorovým onemocněním. Vláknina obsahující kyselinu fytovou je známá pro svou prevenci před karcinomem tlustého střeva (Ali, 2010).

V jedné ze studií zjišťovali obsah fytové kyseliny v jedlém hmyzu, který se běžně konzumuje na východě Číny. Jednalo se konkrétně o *Clanis bilineata tsingtauica* z čeledi lišajovitých. Fytovou kyselinu stanovili pomocí spektrofotometrie. Paralelně stanovovali obsah fytové kyseliny i v sóje luštinaté pro následné porovnání. Rozmělněné vzorky o hmotnosti 0,25 g byly smíchány s roztokem 0,7% HCl a inkubovány v oscilátoru při konstantní teplotě 25°C, 150 otáčkách za minutu po dobu 60 minut. Následovala centrifugace při 4 000 otáčkách za minutu, při teplotě 4 °C po dobu 15 minut. Supernatanty byly shromážděny a smíchány s 2,4 ml deionizované vody a 0,5 ml $FeCl_3$. Vzniklá směs byla protřepána a odstředěna při 3 400 otáčkách za minutu po dobu 10 minut. V závěru následovalo měření absorbance supernatantů pomocí spektrofotometru při 500 nm. Množství fytové kyseliny bylo vypočteno pomocí kalibrační křivky standartu fytové kyseliny.

Analýza fytovou kyselinu prokázala, ale hodnoty naměřené u daného jedlého hmyzu byly nižší než hodnoty naměřené u sóji luštinaté. V molárním poměru s konkrétními minerálními látkami, a to zinkem a železem jsou hodnoty opět nižší u jedlého hmyzu, což naznačuje vyšší biologickou dostupnost těchto živin. Konzumace *C. bilineata tsingtauica* může zmírnit nedostatek Fe a Zn způsobený v některých oblastech stravy na bázi obilnin a fazolí a lze je použít jako doplněk zinku, a tím snížit dětskou morbiditu a mortalitu v rozvojových zemích (Su et al., 2021).

Fytová kyselina váže minerální látky jako ionty. Lidské tělo toleruje maximální rozsah koncentrace 250–500 mg/100 g fytové kyseliny (Kunatsa, 2020).

7.3 Oxaláty

Oxaláty neboli šťavelany jsou látky, které chelatují vápník a hořčík, který se uvolňuje v trávicím systému, takže tyto mikroživiny se stávají nedostupnými pro vstřebávání a využití v těle. Vápník je minerální látka, kterou tělo potřebuje především pro tvorbu a udržování kostí.

Vstřebané, rozpustné oxaláty jsou vylučovány ledvinami, kde mohou oproti fytové kyselině tvorbu ledvinových kamenů způsobovat (krystaly šťavelanu vápenatého). Nerozpustné oxaláty nemají v těle žádnou metabolickou funkci a jsou vyloučeny se stolicí.

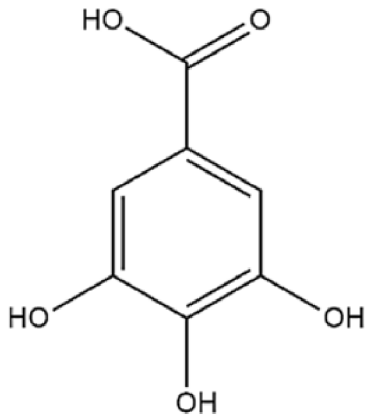
Stanovené přípustné hladiny oxalátu pro lidské tělo jsou 250 mg/100 g vzorku potraviny.

Oxaláty jsou zatím neprozkoumanými látkami v jedlém hmyzu, avšak jedna studie zkoumala hladinu oxalátů ve hmyzu, který je schváleným hmyzem ke konzumaci v Zimbabwe. Jednalo se konkrétně o *Macrotermes facilg*er a *Henicus whellani*. Hodnoty u *Macrotermes facilger* vyšly 14,08 + 0,6 g na 100 g vzorku a u *Henicus whellani* 9,31 + 0,43 g na 100 g. Oba vzorky měly množství značně převyšující stanovenou bezpečnost (Kunatsa, 2020).

7.4 Tanin

Taniny či třísloviny jsou fenolové sloučeniny, které jsou rozpustné ve vodě. Jedná se o sekundární metabolity rostlin a jsou typické pro svou trpkou chuť (Bezpečnost potravin, 2021). Negativně ovlivňují vstřebávání bílkovin. Nejvíce snížená absorpce se projevuje u esenciálních aminokyselin methioninu a lysinu (Reed, 1995). Stejně jako většina antinutričních látek narušují taniny vstřebávání minerálních látek, konkrétně vstřebávání železa, kdy s tímto prvkem vytváří komplexy a tím snižují jeho biologickou dostupnost (Ashok, 2012).

Přestože se jedná o antinutriční látku, má i pozitivní aspekty v podobě protizánětlivých, protinádorových a antibakteriálních účinků na lidský organismus.



Obrázek 4 Strukturní vzorec taninu (zdroj: Kavitha, 2020)

8 Analytické metody stanovení antinutričních látek

Ke stanovení fytové kyseliny lze použít specifické i nespecifické metody.
Mezi nespecifické metody patří například titrace či spektrofotometrie. Jednou z prvních přijatých metod pro stanovení fytové kyselina byla právě titrace, a to v přítomnosti thiokyanátu

amonného. Bod ekvivalence však nebyl ostrý a indikátor byl následně nahrazen salicylátem sodným.

8.1 Spektrofotometrie

Spektrofotometrie je založena na reakci železitého iontu a Wadeova činidla, tj. sulfosalicylové kyseliny. Tato metoda se používají především pro nezpracované potraviny.

8.2 Chromatografie

Pro zpracované potraviny je vhodnější metoda HPLC. Jedná se o kapalinovou chromatografii. Principem chromatografie je rozdělování složek směsi mezi stacionální a mobilní fázi.
Tato metoda je doplněna spektrofotometrickou detekcí. Stanovení fytové kyseliny je ale problematické vzhledem k absenci charakteristického absorpčního spektra v ultrafialové a viditelné oblasti. Proto se provádí nepřímá detekce, založená na stechiometrické reakci výměny kovu z barevného komplexu (Benešová, 2013).

Použití spektrofotometrie lze použít u stanovení taninů, kdy se z daného vzorku taniny extrahují roztokem dimethylformamidu. Poté se po reakci extraktu s citronanem amonno-železitým a amoniakem stanoví spektrofotometricky ve viditelné oblasti při vlnové délce 525 nm (eAGRI, 2020).

9 Hladiny antinutričních látek v jedlém hmyzu

V následující tabulce 4 je shrnuta studie, kde se zjišťoval obsah antinutričních látek ve vybraných druzích hmyzu. Jednalo se konkrétně o čeleď termiti *Termitidae*, kobylkovití *Tettigoniidae* a cvrčkovití *Gryllidae*. Oxaláty ani kyanovodík nebyly v této studii determinovány a pro fytovou kyselinu a tanin byly zjištěny následující hodnoty. Tyto hodnoty jsou velmi nízké a pro člověka nepředstavují zvýšené riziko. Lze tedy tyto hodnoty vybraných látek v jedlém hmyzu považovat za bezpečné (Caparros Megido, 2015).

	Fytová kyselina (mg/100 g)	Tanin (mg/100 g)
Termitidae	0,25	0,09
Tettigoniidae	0,11	0,10
Gryllidae	0,32	0,9

Tabulka 4 Hladiny fytové kyseliny a taninu u vybraného hmyzu (zdroj: Caparros Medigo, 2015)

Jedna ze studií také prokázala, že vaření hmyzu po dobu 30 minut vedlo k významnému snížení potenciálně škodlivých bioaktivních sloučenin, konkrétně u kyanogenních glykosidů, oxalátů a taninů (Musundire, 2016).

V následující tabulce 5 jsou hodnoty ze studie, která zkoumala pouze obsah taninu ve čtyřech druzích jedlého hmyzu.

	Acheta domesticus	*Tenebrio molitor*	*Rhynchophorus ferrugineus*	*Zhophobas morio*
Obsah taninu (mg/100 g mouky)	4,21 ± 0,09	5,89 ± 0,07	9,45 ± 0,10	3,92 ± 0,07

Tabulka 5 Hladiny taninu u vybraných druhů hmyzu (zdroj: Botella-Martínez, 2021)

Nejvyšší hodnoty vykazovala mouka ze vzorku *Rhynchophorus ferrugineus*, což je až dvakrát vyšší hodnota než hodnota naměřená u *Rhynchophorus phoenicis* z předchozí studie, i přesto že jde o hmyz stejného rodu. Stejné hladiny taninu byly naměřeny u cvrčkovitých ve studii od Caparros Megido z roku 2015. Vzhledem k výši těchto hodnot považujeme tyto vybrané druhy hmyzu za bezpečné (Botella-Martínez, 2021).

Vzorky pro následující studii (Ekop et al., 2010) byly usmrceny a zmrazeny. Poté byly ponechány při pokojové teplotě, aby došlo ke správnému rozmrazení, a nakonec sušeny v sušárně do konstantní hmotnosti při cca 65 °C po dobu 24 hodin. Křídla a chlupy byly odstraněny a poté rozemlety na prášek. Každý rozemletý vzorek byl uložen v označených vzduchotěsných plastových nádobách a uchován v sušárně.

Fytová kyselina byla stanovena pomocí metody McCancee a Widdowsona, zatímco obsah taninu byl stanoven spektrofotometricky. Stanovení oxalátu zahrnovalo štěpení, precipitaci oxalátu a následně titraci manganistanem draselným.

	Celkový obsah oxalátů	Obsah rozpustných oxalátů	Fytová kyselina	Tanin
Gymnogryllus lucens	13,20 ± 0,005	8,80 ± 0,005	0,283 ± 0,0005	0,329 ± 0,0003
Heteroligus meles	28,40 ± 0,004	22,00 ± 0,29	0,28 ± 0,004	0,379 ± 0,0008
Rhynchophorus phoenicis	17,60 ± 0,005	13,20 ± 0,005	0,289 ± 0,0005	0,405 ± 0,0003
Zonocerus variegatus	26,40 ± 0,005	8,80 ± 0,005	0,281 ± 0,0005	0,430 ± 0,0006

Tabulka 6 Hladiny antinutričních látek u vybraného hmyzu (zdroj: Ekop et al., 2010)

Hodnoty oxalátu byly nejvyšší ze všech naměřených hodnot antinutriční látek. Smrtelná dávka oxalátu se pohybuje mezi 200 mg/100 g a 500 mg/100 g. Vlivem zpracování je ale tento jedlý hmyz bezpečný pro konzumaci s ohledem na toxicitu oxalátů.

Hodnoty fytové kyseliny získané pro různé druhy jedlého hmyzu byly ve stopovém množství a hodnoty mezi sebou nevykazovaly žádný významný rozdíl. V porovnání s předešlou uvedenou studií byly hodnoty fytové kyseliny velmi podobné. Vzhledem k stopovým hodnotám může být jedlý hmyz konzumován bez obav i s ohledem na toxicitu fytové kyseliny. Fytová kyselina působí především na vápník, ale také se podílí na odstraňování fosforu a způsobuje zažívací potíže a plynatost v lidském systému.

Hodnoty naměřené u taninu byly ve stopovém množství, stejně jako u fytové kyseliny. Oproti fytové kyselině zde byly ale velké rozdíly mezi danými druhy hmyzu. Opět vzhledem ke stopovým hodnotám toto množství není pro člověka toxické.

Tato studie poukázala na bezpečnost konzumace jedlého hmyzu z hlediska uvedených antinutričních látek.

9.1 Thiamináza

Jednou z antinutričních látek je i thiamináza, tj. antagonista vitamínu B1. Poměrně vysoká aktivita thiaminázy byla detekována v kuklách hmyzu *Anaphe venata*. Autoři se domnívají, že v některých případech v Nigérii byla přítomnost této antinutriční látky a následný nedostatek vitaminu B1 příčinou sezónní ataxie. Také byla potvrzena přítomnost thiaminláz v bourci morušovém. Důkladné zahřátí u afrického bource morušového je nutností, aby byl tento hmyz bezpečný pro konzumaci. U japonského bource morušového byla naměřena mnohem nižší aktivita thiaminázy než u afrického druhu (Nishimune et al., 2000; Bukkens, 2005).

10 Alergie

Alergie je neadekvátní reakce imunitního systému organismu na některé podněty zevního prostředí. Tyto faktory nejsou většinou samy o sobě lidskému organismu nebezpečné. Zatímco imunitní systém zdravého člověka umí rozlišit původce infekcí a parazitických onemocnění od cizorodých částic, které žádné vážné choroby nevyvolávají, imunita alergické osoby vyvíjí prudkou obrannou reakci i proti těmto neškodným látkám. Látky, které vyvolávají alergickou reakci se nazývají alergeny (Kočárek, 2010, s. 72-73). Tato okamžitá hypersenzitivní reakce u lidských jedinců je iniciována interakcí dvou stejně důležitých složek, alergenní molekuly a odpovídajících molekul protilátky třídy imunoglobulinu E (IgE) (Aas, 1978).

Termín alergie pochází z řeckých slov *allos* a *ergos*, tj. jiná reakce. V Evropě patří alergie k nejčastějším chronickým onemocněním, jejichž výskyt nadále roste. Takzvaná senná rýma je jedním z příkladů běžné slabé alergie – velká část populace trpí symptomy senné rýmy, je-li vystavena působení pylu obsaženému ve vzduchu (Kočárek, 2010, s. 72-73).

Projevy alergie mohou být různorodé, např. rýma, kašel, kožní záněty. Jednou z nejčastějších alergií je potravinová alergie. Zde mohou být projevy vážnější, např. otok jazyka či zvracení a průjem (MeDitorial, 2020). Nejzávažnější alergickou reakcí je anafylaktický šok.

10.1 Anafylaktický šok

Závažnou a rychle nastupující alergickou reakcí je anafylaktický šok. Je to život ohrožující stav (MeDitorial, 2020). Téměř každá látka může způsobit anafylaxi, ale drtivou většinu tvoří žihadla (jed bodavého či kousavého hmyzu) a potraviny. Nejběžnějším spouštěcím faktorem u dětí jsou potraviny, zatímco štípnutí hmyzem je častější u dospělých lidí (Simons et al., 2012). Projevuje se řadou symptomů jako je nízký krevní tlak, svědivá vyrážka či respirační potíže (Whiteside et al., 2010).

Anafylaxe nastává v důsledku degranulace bazofilních granulocytů a mastocytů (tj. žírných buněk). Tyto buňky uvolňují mediátory, jako je například histamin (Whiteside et al., 2010). Histamin je zodpovědný za vzniklý anafylaktický šok, a to v důsledku jeho zvýšené produkce při setkání s alergenem (Hill et al., 2004).

Adrenalin je první pomocí a hlavní léčbou při anafylaktickém šoku. Neexistuje žádný jiný lék s podobným účinkem na mnoho tělesných systémů, které se potenciálně podílejí na anafylaxi. (Sheikh, 2018). Často se také podávají steroidy a antihistaminika, ale pouze jako doplňková léčba. Ačkoliv se antihistaminika používají jako léky působící proti alergiím, neexistují přesvědčivé důkazy o jejich účinku v akutním stavu (Whiteside, 2010).

Stull (2021) uvádí, že při konzumaci hmyzu byl anafylaktický šok pozorován pouze ve výjimečných případech. Toto tvrzení ale vyvrací Ji et al. (2009), který uvádí, že požití hmyzu bylo příčinou 18 % anafylaktických reakcí souvisejících s potravinami v Číně od roku 1980 do roku 2007 a sarančata představovala 27 případů z 358.

10.2 Zkřížená alergie

Zkřížená alergie je jev, kdy IgE protilátky imunitního systému, vytvořené proti určitému alergenu, reagují na základě podobnosti v sekvenci aminokyselin na alergen jiný neboli mylně reagují i na látku, která svou chemickou strukturou alespoň z poloviny odpovídá původnímu alergenu (van Huis, 2013).

Příbuznost hmyzu s jinými členovci (korýši, roztoči) naznačuje existenci alergického rizika spojeného s pojídáním jedlého hmyzu. U různých druhů hmyzu však několik potenciálních alergenů bylo identifikováno. Tyto alergenní proteiny byly identifikovány kvůli jejich zkřížené reaktivitě vázající IgE u pacientů alergických na krevety a roztoče (Barre et al., 2016). Někteří pacienti alergičtí na roztoče, kteří byli stále více vystaveni roztočovému antigenu, se stali citlivými například na mořské plody. Tato zjištění naznačují, že lidé s alergií

na mořské plody by mohli zaznamenat alergické reakce na konzumaci jedlého hmyzu (van Huis, 2013).

Alergické reakce na jedlý hmyz byly popsány především v asijských a afrických zemích, kde je entomofagie běžnou praxí.

Odůvodnění alergenicity hmyzu je založeno na přítomnosti společných alergenů mezi bezobratlými, jako jsou tropomyosin, argininkináza a glyceraldehyd-3-fosfát dehydrogenáza (de Marchi, 2021). Mezi tyto zkříženě reagující alergeny patří také α-aktin, enoláza či fruktóza-1,6-bifosfátaldoláza (FPA) (Jeong et al., 2020).

10.3 Alergeny v jedlém hmyzu

10.3.1 Tropomyosin

Nejdůležitějším a nejrozšířenějším popsaným hmyzím alergenem je tropomyosin, protein o hmotnosti 32–39 kDa, který se podílí na svalové kontrakci. Skládá se ze dvou α – helixů navinutých kolem sebe, což proteinu dodává spirálovitou strukturu (EFSA, 2015).
Na rozdíl od bezobratlých živočichů, kde se tropomyosin chová jako silný alergen, u obratlovců se tropomyosin jako alergen neprojevuje.

Nejrelevantnějším zdrojem tropomyosinu jako oficiálně akceptovaného alergenu jsou měkkýši, tedy korýši, měkkýši a hlavonožci. Podle podvýboru pro nomenklaturu alergenů WHO byl tropomyosin registrován zatím u 16 různých živočichů z kmene *Arthropoda*. U členovců je dnes v souladu s alergeny registrováno až 239 jednotlivých alergenů (de Marchi, 2021; Raheem, 2019).

Všechny známé tropomyosiny sdílejí společnou trojrozměrnou strukturu a jsou charakterizovány vysokou identitou aminokyselinové sekvence (de Marchi, 2021).

De Marchi (2021) uvádí, že se po smažení alergenicita tropomyosinu snížila. Při vaření a simulovaném trávení ale ke snížení alergenicity nedošlo a tropomyosin zůstal vůči tomuto vlivu zpracování stabilní. Toto zjištění ukazuje, že způsob zpracování ovlivňuje alergenní sílu alergenu.
Obecně se uvádí, že velmi málo dostupných potravinářských technologických procesů, jako je hydrolýza či fermentace, je schopno významně snížit potravinovou alergenicitu (Raheem, 2019).

10.3.1.1 Vliv kulinářského zpracování na alergen tropomyosin

Při pokusu s cvrčkem domácím se pozorovalo především chování alergenu tropomyosinu. Cvrčci byli zpracováni do modelového pekařského výrobku. Tento výrobek obsahoval 10 % cvrččí moučky a byl pečen při 180 °C po dobu 10 minut. Zjistilo se, že tropomyosin zůstal při procesu pečení stabilní. Při simulovaném trávení tropomyosin

z upečeného výrobku vykazoval větší stabilitu při trávení pepsinem oproti tepelně neupravené cvrččí moučce. Svou imunoreaktivitu ztratil až během trávení pankreatinem (de Marchi, 2021).

Při enzymatické hydrolýze podporované mikrovlnami byla reaktivita tropomyosinu nižší než při pouhé tepelné úpravě ve vodní lázni či mikrovlnném ohřevu (Ribeiro et al., 2021).

10.3.2 Argininkináza

Dalším klíčovým alergenem bezobratlých je argininkináza, protein s enzymatickou funkcí a vysoce konzervovanou aminokyselinovou sekvencí, charakterizovaný doménou β-listu obklopenou α-šroubovicemi (de Marchi, 2021). Argininkináza je součástí skupiny fosfagenkináz, která také zahrnuje alergen obratlovců kreatinkináza. Argininkináza přispívá k buněčné homeostáze tím, že katalyzuje přenos fosfátů mezi ATP a argininem (de Gier, 2018).

Liu et al. (2009) uvádí arginikinázu jako hlavní alergen u bource morušového *Bombyx mori*. Dále byl zde nalezen alergen paramyosin (de Gier, 2018).

Je dobře známo, že tepelné zpracování může ovlivnit alergenní účinnost bílkovin. Imunoreaktivita saranče stěhovavé se ztratila po silném tepelném ošetření a také při enzymatické hydrolýze. Smažení dalšího druhu kobylky *Patanga succincta* snížilo imunoreaktivitu argininkinázy, zatímco GAPDH a pyruvátkináza vykazovaly vyšší reaktivitu (de Marchi, 2021). Dále bylo zjištěno, že si argininkináza purifikovaná ze švábů po zahřátí na 50 °C po dobu 10 minut zachovala 50 % své aktivity (Downs, 2016).

Tropomyosin a argininkináza nejsou jedinými alergeny v jedlém hmyzu. V následující tabulce 7 je souhrn dalších potenciálních alergenů, které byly identifikovány u vybraných druhů jedlého hmyzu (Barre et al. 2016).

Potemník moučný *(Tenebrio molitor)*	chitináza trypsin hexamerin β-tubulin
Bourec morušový *(Bombyx mori)*	α-amyláza troponin C chitináza glutathion-S-transferáza
Saranče stěhovavá *(Locusta migratoria)*	hexamerin trypsin chitináza β-tubulin
Cvrček domácí *(Acheta domesticus)*	glutathion-S-transferáza triosafosfát izomeráza
Moucha bráněnka *(Hermetia illucens)*	α-amyláza serinová proteáza trypsin

Tabulka 7 Alergeny v jedlém hmyzu (zdroj: Barre et al. 2016)

Jsou to převážně všudypřítomné nebo panalergenní proteiny, které lze zjednodušeně klasifikovat jako svalové proteiny, kam patří např. tropomyosin či troponin C, buněčné proteiny (β-tubulin), nebo enzymy jako jsou argininkináza, triosafosfát izomeráza, α-amyláza či trypsin (da Silva, 2020).

10.3.3 Chitináza

Chitináza je látkou odbourávající chitin. Zároveň jsou skupinou alergenů, které se často vyskytují v plodech rostlin a jsou identifikovány také v jedlém hmyzu. Obsah chitinu v břišním exoskeletu hmyzu byl zaznamenán v hodnotách 4,21 ± 53,3 %. Tyto naměřené hodnoty poukazují na dvakrát až třikrát vyšší obsah chitinu než například skořápky z krevet, raků a krabů (Kaya, 2016).

Vzhledem k tomu, že byly nalezeny chitinolytické enzymy produkované bakteriemi izolovanými z gastrointestinálního traktu zdravých lidí, bylo potvrzeno, že chitosan či chitin může být člověkem tráven (Rumpold et al., 2013). Toto tvrzení potvrzuje další studie, kde byla chitináza nalezena opět v lidské žaludeční šťávě (Paoletti et al., 2007). Přítomnost chitináz v lidské žaludeční šťávě je spojována s reakcemi na parazitární infekce, a je spojena právě s alergickými stavy (van Huis, 2013).

11 Rizika v určitých druzích jedlého hmyzu

11.1 Cvrček domácí (*Acheta domesticus*)

Jedním ze schválených druhů jedlého hmyzu v České republice je cvrček domácí. Tento slámově žlutý až šedohnědý hmyz dosahuje délky 16–20 mm. Je to převážně noční živočich a vyhledává teplejší místa. V České republice je konzumace povolena pouze ve stádiu imago, tedy dospělce (Němčanská, 2012, Bezpečnost potravin, 2023).

11.1.1 Alergie spojená s konzumací cvrčka domácího

Hlavním alergenem v cvrčku domácím je tropomyosin, kdy testem ELISA byla prokázána jeho zkřížená reaktivita s tropomyosinem z krevet.

Studie De Marchi (2021) také sledovala stabilitu tohoto alergenu za pomoci simulovaného trávení. Enzymy, které byly použity k přípravě simulovaného trávení byly α-amyláza z prasečí slinivky, pepsin z prasečí žaludeční sliznice a pankreatin z prasečí slinivky. Reakce probíhala při 37 ◦C v rotační třepačce a vzorky o objemu 100 µl byly odebírány po 2 minutách orálního trávení, 1 hodině žaludečního trávení a poté po 1 hodině a 2 hodinách střevního trávení. V závěru této studie bylo zjištěno, že tropomyosin z krevet vykazoval malou stabilitu při trávení v žaludku, zatímco cvrččí tropomyosin vydržel celý proces trávení.

Obrázek 5 Sušení cvrčci domácí (zdroj: JR Unique, 2022)

11.1.2 Označení na obalu

Dle nařízení Komise (EU) č. 2022/188 a 2023/5 označování potraviny obsahující zmrazené, sušené či práškové formy *Acheta domesticus* (cvrčka domácího) musí být uveden údaj, že tato složka může způsobit alergické reakce spotřebitelům se známými alergiemi na korýše, měkkýše a výrobky z nich a na prachové roztoče. Toto nařízení platí také pro částečně odtučněný prášek z *Acheta domesticus*.

11.2 Saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*)

Dalším schváleným hmyzem v EU je saranče stěhovavá. Saranče stěhovavá patří do řádu rovnokřídlých a dosahuje délky až 8 cm. Jedná se o hnědě či zeleně zbarvený hmyz a je považována za hmyz škodlivý (Němčanská, 2012). Stejně jako u cvrčka domácího se konzumují pouze dospělci (Bezpečnost potravin, 2021).

11.2.1 Alergie spojená s konzumací saranči stěhovavou

Alergie na saranči stěhovavou se projevuje nejčastěji stejně jako příznaky astmatu, dermatitida nebo například rýma. Zajímavostí je, že většina pacientů mužského pohlaví vykazovala spíše potíže s dýcháním, zatímco pacientky vykazovaly prevalenci atopické dermatitidy.

Alergie na sarančata se může také projevit v té nejtěžší formě, a to anafylaktickým šokem. Jak již bylo zmíněno, roku 1980 do roku 2007 bylo hlášeno přibližně 27 případů anafylaktického šoku způsobených právě konzumací sarančat.

Cílem studie Wang (2022) bylo identifikovat alergeny ze sarančat způsobujících tzv. alergie z povolání. Při této studii byl identifikován protein o molekulové hmotnosti 70 kDa. Tento protein se nejvíce shodoval s proteinem podobným hexamerinu-2. Ke stanovení senzibilizace na hexamerin-2 byl použit test ELISA a bylo potvrzeno, že hexamerin-2 je důležitým alergenem u sarančat.

Velmi nedávno byl hexamerin-2 také předběžně identifikován jako alergen v cvrčcích prostřednictvím zkoumání alergenů podílejících se na alergických reakcích (Wang et al, 2022).

Obrázek 6 Sušená sarančata stěhovavá (zdroj: Nosowitz, 2021)

11.2.2 Označení na obalu

Dle nařízení Komise (EU) č. 2021/1975 je při označování potraviny obsahující zmrazené, sušené či práškové formy *Locusta migratoria* (saranče stěhovavé) povinností uvést údaj, že tato

složka může způsobit alergické reakce spotřebitelům se známými alergiemi na korýše, měkkýše a výrobky z nich a na roztoče. Tento údaj musí být uveden v bezprostřední blízkosti seznamu složek.

11.3 Potemník moučný (*Tenebrio molitor*)

Třetím jedlým hmyzem, u kterého se konzumují pouze larvy je potemník moučný. Jeho larvy jsou známé také pod názvem moučný červ. Jedná se o černého brouka s delším tělem dosahující délky 10-18 mm (Němčanská, 2012).

11.3.1 Alergie spojené s konzumací potemníka moučného

Studie naznačují, že lidé, kteří jsou často v kontaktu s larvami potemníka moučného, jsou vystaveni riziku rozvoje určitých alergických reakcí. Příznaky těchto alergických reakcí poté zahrnují záněty očí a záněty nosu (van Huis, 2013).

Novější výzkumy také poukázaly na riziko alergických reakcí spojených s konzumací moučného červa pro lidi alergické na krevety (Barre et al., 2019). Jeden z prvních případů anafylaktického šoku byl nahlášen ve Francii právě po požití vařené larvy potemníka moučného. Jednalo se o muže, u kterého nebyla v následujícím vyšetření prokázána alergie na korýše ani na tropomyosin krevet. Alergickou reakci zhoršily pravděpodobně kofaktory v podobě alkoholu a léků (Beaumont et al., 2019).

Jako hlavní alergeny potemníka moučného byly identifikovány tropomyosin, argininkináza, hexamerin a α-amylázy. Dále byly identifikovány nové potenciální alergeny jako například apolipoforin – III, larvální kutikulární protein (LCP) či 12 kDa hemolymfového proteinu (12 kDa HLP) (Barre et al., 2019).

Obrázek 7 Sušení potemníci moučtí (zdroj: Kuršner 2022)

11.3.2 Označení na obalu

Dle nařízení Komise (EU) č. 2021/882 je při označování potraviny obsahující zmrazené, sušené a práškové formy larvy potemníka moučného *Tenebrio molitor* povinností uvést údaj, že tato složka může způsobit alergické reakce spotřebitelům se známými alergiemi na korýše a výrobky z nich a na prachové roztoče. Tento údaj se uvede v bezprostřední blízkosti seznamu složek.

11.4 Potemník stájový (*Alphitobius diaperinus*)

Nejnovějším legislativně schváleným jedlým hmyzem v EU je potemník stájový. Na trh lze uvádět a konzumovat pouze jeho larvální stádium. Jedná se o hnědočerného brouka, velkého přibližně 6-7 mm. Larva dorůstá délky 15 mm a je velmi podobná larvám potemníka moučného.

Obrázek 8 Sušení potemníci stájoví (zdroj: Crunchy Critters, 2023)

11.4.1 Vliv zpracování na alergeny v různých druzích potemníků

V této studii van Broekhoven (2016) se zjišťoval vliv zpracování na dané tři druhy potemníků. Šlo konkrétně o *Tenebrio molitor, Zophobas atratus* a *Alphitobius diaperinus*, z nichž potemník moučný *Tenebrio molitor* a potemník stájový *Alphitobius diaperinus* jsou schválenými druhy v EU, a proto je pozornost zaměřena především na tyto dva druhy. Larvy výše uvedených druhů byly zabity zmrazením při -20 °C. Pro studii byly připraveny čtyři vzorky stejné hmotnosti od každého druhu.

Jednotlivé vzorky byly podrobeny různým způsobům zpracování – vaření, smažení a lyofilizaci. Poslední vzorek byl ponechán nezpracovaný. Larvy byly vařeny 5 minut ve vodě, smažené 5 minut při 180 °C v rostlinném oleji nebo lyofilizované při 50 °C a 150 °C. Poté byly všechny vzorky skladovány při 20 °C.

Poté byla zkoumána jejich zkřížená alergenicita s IgE séry od pacientů alergických na korýše. V následující tabulce 8 jsou výsledné hodnoty naměřené pro potemníka moučného a

pro potemníka stájového. Označení „+“ znamená, že zde byla naměřena vysoká odezva, označení „±“ značí střední odezvu a označení „-“ slabou či žádnou odezvu.

	IgE séra pacientů alergických na korýše					
Tenebrio molitor						
nezpracovaný	±	±	±	-	±	+
lyofilizovaný	±	±	+	-	±	+
vařený	±	-	-	-	-	-
smažený	-	-	-	±	±	±
Alphitobius diaperinus						
nezpracovaný	+	±	±	-	+	+
lyofilizovaný	-	-	-	-	-	±
vařený	+	±	±	±	±	+
smažený	-	±	-	±	±	±

Tabulka 8 Imunitní reakce u zkřížené alergie (zdroj: van Broekhoven et al., 2016)

Z tabulky 8 lze vyčíst, že u *Tenebrio molitor* se vysoké a střední odezvy objevovaly velmi často u nezpracovaného a lyofilizovaného vzorku. Naopak nejméně odezv se projevilo u vařeného vzorku.

U *Alphitobius diaperinus* stejně jako u *Tenebrio molito*r se nejvíce odezv projevilo u nezpracovaného vzorku. Oproti *Tenebrio molitor*, kde vařený vzorek vykazoval nejslabší odezvu, zde vařený vzorek naopak vykázal u každého vzorku séra nejméně střední odezvu. Dalším velkým rozdílem byl lyofilizovaný vzorek, který u *Alphitobius diaperinus* projevil ve většině vzorků pouze slabou odezvu.

Tato studie poukázala na zkříženou alergii mezi korýši a jedlým hmyzem a na různé vlivy jeho zpracování. I přes to, že se jednalo o jedlý hmyz ze stejné čeledě *Tenebrionidae,* byly zaznamenány velké rozdíly dle způsobu zpracování (van Broekhoven et al., 2016).

Následující studie Lamberti (2021) zjišťovala zkříženou alergii stejně jako studie předchozí. Konkrétně šlo o zkříženou alergii mezi jedlým hmyzem a roztoči a krevetami. V tomto výzkumu byly použity tyto druhy jedlého hmyzu – *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Bombyx mori*, *Gryllodes sigillatus*, *Locusta migratoria*. Zároveň se zkoumal vliv zpracování, konkrétně vaření a smažení na jejich alergenicitu. V této studii byly vyšetřováni pacienti s primární alergií na roztoče a krevety.

V následující tabulce 9 jsou shrnuté výsledky této studie. U pacientů s primární alergií na roztoče domácího bylo vyšetřováno 28 pacientů. Nejvíce zkřížených reakcí se projevilo u nezpracovaného *Alphitobius diaperinus* a to celkem u 16 pacientů. Naopak nejnižší reaktivita se projevila u vařeného moučného červa a u smaženého cvrčka domácího.

U pacientů s primární alergií na krevety bylo zkoumáno 8 pacientů a nejvyšší reaktivita se projevila u nezpracované saranče stěhovavé a u vařeného cvrčka domácího. U těchto pacientů s alergií na krevety byla celková zkřížená alerginicita nižší než u pacientů s alergií na roztoče.

Toto tvrzení vychází z výsledných hodnot této studie, kde u pacientů s alergií na krevety 4 vzorky z 15 nevykázaly žádnou zkříženou reakci, i přesto, že dva z nich nebyly žádným způsobem tepelně upraveny. U *Bombyx mori* dokonce nevznikla žádná reakce ani u jednoho vzorků.

	Pacienti s alergií na roztoče	Pacienti s alergií na krevety
Tenebrio Molitor		
Syrový	21 %	12,5 %
Vařený	11 %	12,5 %
Smažený	18 %	12,5 %
Alphitobius diaperinus		
Syrový	57 %	12,5 %
Vařený	36 %	12,5 %
Smažený	18 %	25 %
Bombyx mori		
Syrový	18 %	0 %
Vařený	18 %	0 %
Smažený	14 %	0 %
Gryllodes sigillatus		
Syrový	25 %	0 %
Vařený	21 %	37,5 %
Smažený	11 %	12,5 %
Locusta migratoria		
Syrový	32 %	50 %
Vařený	43 %	37,5 %
Smažený	29 %	0 %

Tabulka 9 Imunitní reakce u zkřížené alergie (zdroj: Lamberti, 2021)

11.4.2 Označení na obalu

Dle nařízení Komise (EU) č. 2023/58 je při označování potraviny obsahující zmrazené, kašovité, sušené nebo práškové formy larev *Alphitobius diaperinus* (potemníka stájového) povinností úvest údaj, že tato složka může způsobit alergické reakce spotřebitelům se známými

alergiemi na korýše a výrobky z nich a na prachové roztoče. Tento údaj se uvede v bezprostřední blízkosti seznamu složek.
Dále doplňky stravy, které obsahují práškovou formu larev *Alphitobius diaperinus* by neměly konzumovat osoby mladší 18 let, a proto by měl být stanoven požadavek na označování, aby o tom byli spotřebitelé řádně informováni.

12 Analytické metody stanovení alergenních látek

Metod sloužících k analýze alergenních látek je hned několik – ELISA, LFD, kapalinová chromatografie, spektrofotometrie, PCR apod.

V současné době se používá enzymatická imunoanalýza (ELISA) a polymerázová řetězová reakce (PCR) a jedná se o běžně používané metody pro detekci tropomyosinu v potravinách. Tyto analytické metody mohou detekovat tropomyosin v potravinách s detekčním limitem od 0,45 do 6,8 ng/ml (Ho, 2021).

12.1 ELISA

Jednou z nejpoužívanějších metod pro stanovení alergenních látek je metoda ELISA. Jedná se o analytickou metodu založenou na principu interakce antigenu s protilátkou (Lošonská, 2021).

Tyto imunochemické testy jsou zvláště užitečné v potravinářském průmyslu, protože nabízejí vysokou specificitu, citlivost a rychlou detekci alergenu, aniž by vyžadovaly rozsáhlou přípravu vzorků, drahé vybavení či zkušený personál. Kromě imunochemické interakce antigen-protilátka se zde využívá také enzym, nejčastěji křenová peroxidáza či alkalická fostafáza (Baria, 2022).

Nejprve je určité množství séra imobilizováno na polystyrénové mikrotitrační destičce, nejčastěji se jedná o 96-jamkovou destičku. Při nespecifické reakci se antigen zakotví pomocí adsorpce na povrch destičky, při specifické se antigen zachytí na jinou protilátku, specifickou pro daný antigen. Po imobilizaci antigenu se přidá detekční protilátka a ta vytvoří komplex s antigenem. Detekční protilátka je většinou kovalentně vázána na výše zmíněný enzym.
V posledním kroku se do mikrotitrační destičky přidá enzymatický substrát, který vyvolá viditelné zbarvení (Lošonská, 2021).

Navzdory jednoduchosti a užitečnosti této metody má také některé nevýhody, a proto by výsledky jejich aplikace měly být pečlivě analyzovány. ELISA je náchylná ke zkřížené reaktivitě a jsou také vysoce ovlivněny konformačními změnami v proteinech při zpracování potravin, což může vést k možnosti falešně negativních nebo pozitivních výsledků.

12.2 Spektrofotometrie

Spektrofotometrie je další z analytických metod. Principem spektrofotometrie je měření transmitance, respektive absorbance roztoku vzorku při jedné nebo více vlnových délkách. Její velkou výhodou je odolnost vůči zkřížené reaktivitě, což umožňuje jednoznačnou identifikaci testovaných alergenů. (Fernandes, 2015).

12.3 PCR

Technologie založené na analýze DNA, konkrétně PCR, představují některé výhody oproti metodám cílených na proteiny. Molekuly DNA jsou stabilnější a odolnější vůči tepelným úpravám, změnám pH a částečné hydrolýze než proteiny. Ve skutečnosti jsou metody založené na DNA zvláště užitečné při analýze vysoce zpracovaných potravin. PCR, které předchází extrakce DNA, poskytuje citlivý nástroj pro specifickou detekci genomových sekvencí kódujících alergenní proteiny nebo druhově specifické markery. Amplifikace sekvence DNA pomocí PCR však nemusí nutně indikovat přítomnost alergenního proteinu v potravinové matrici, a proto je považována za nepřímou metodu detekce alergenu (Fernandes, 2015).

13 Další potenciální rizika konzumace jedlého hmyzu

Další riziko, které může souviset s hmyzem, v tomto případě nejedlým hmyzem, je alergie na hliník. Hliník se nachází ve vysoké koncentraci v karmínu, což je potravinové barvivo s označením E120. Toto barvivo se získává z červce nopálového, a to konkrétně z vysušených tělíček samic (Žalkovská, 2018).

13.1 Mikrobiální riziko

S jedlým hmyzem se poutá také otázka mikrobiální bezpečnosti. Hmyz může mít přidružené mikroorganismy, které mohou ovlivnit jeho bezpečnost jako potraviny. Hmyz shromážděný v přírodě i hmyz chovaný na farmách může být infikován patogenními mikroorganismy, včetně bakterií, virů nebo hub. Hmyz může být napaden, stejně jako člověk např. bakteriemi *Escherichia nebo Staphylococcus* (Grabowski & Klein, 2017).
Ve většině tropických zemí se hmyz konzumuje celý, včetně jeho střevní mikrobioty. Výjimkou je housenka mopane, která se před konzumací doporučuje jeden až dva dny se nechat hladovět (van Huis, 2013). Tento způsob úpravy před zpracováním a následnou konzumací může být vhodný pro většinu druhů jedlého hmyzu. Celkově zpracování jako jsou například vaření, smažení či pečení vede k významnému snížení mikrobiálního rizika (Hawkey et al. 2021).

V experimentu Giaccone (2005) byly provedeny chemicko-fyzikální a mikrobiální analýzy u červa moučného (*Tenebrio molitor*) a u cvrčka domácího (*Acheta domesticus*). V analyzovaných vzorcích nebyly identifikovány bakterie *Salmonella* ani bakterie *Listeria monocytogenes* a došlo se k závěru, že je nepravděpodobné, že by tento hmyz přitahoval mikrobiotu, která představuje riziko pro člověka.

Na kutikule hmyzu mohou být přítomny spory různých mikroorganismů, včetně mikroorganismů, které rostou saprotrofně na jedlých hmyzích produktech a mohou dokonce přispívat k degradaci jedlého produktu. Na výše uvedenou asociaci mikroorganismů a hmyzu je třeba z hlediska spotřeby potravin pohlížet jako na mikrobiální kontaminaci, a tak s ní také zacházet. Proto vznik hmyzích farem může umožnit větší kontrolu nad hygienickými postupy a bezpečnými zdroji krmiva pro hmyz, čímž se zmírní potenciální mikrobiologická rizika.

S tímto souvisí i zjištění, že některé druhy jedlého hmyzu obsahují antibakteriální peptidy. Toto zjištění naznačuje, že hmyz má potenciál také jako potravinový konzervant (van Huis, 2013). Navíc tyto antibakteriální peptidy mohou být z hmyzu extrahovány a být použity do kosmetických přípravků (Huis, 2022).

13.2 Toxicita

Hmyz je schopen ve svém těle akumulovat pesticidy a další chemikálie z krmné směsi. Některé druhy hmyzu mohou produkovat toxiny na svou vlastní ochranu (Hawkey et al. 2021).

Existují dva hlavní typy toxického hmyzu. Fanerotoxický hmyz vykazující vnější jedovatá zařízení, jako jsou žihadla blanokřídlých nebo bodavá ústní ústrojí. Druhým typem je hmyz kryptotoxický vykazující ukládání nebo syntetizování toxických chemických prvků. U kryptotoxického hmyzu se toxicita projeví pouze při požití hmyzu.

Cévní rostliny obsahují velké množství sekundárních metabolitů. Tyto sloučeniny jsou považovány za klíčové v aktivních obranných mechanismech rostlin. Fytofágní hmyz, který se živí těmito rostlinami, proto pravděpodobně požije velká množství těchto toxických sekundárních metabolitů, a proto si musí vyvinout adaptivní strategie, jako jsou detoxikace, vylučování nebo bioakumulace, aby se zabránilo jakékoli intoxikaci. Bioakumulací rostlinných toxinů hmyz může získat stejné toxické vlastnosti jako jeho hostitelská rostlina (Caparros Medigo, 2015).

Histidin, který se nachází ve vysokých koncentracích například v kobylkách, je následně rozložen bakteriemi na histamin. Jedná se o tepelně stabilní toxin, který může způsobit průjem, nevolnost, zvracení či bolesti hlavy.

Těžké kovy nejsou též zanedbatelným problémem, protože se mohou bioakumulovat v hmyzím těle. Hrozbu představují opět kobylky, ve kterých bylo zaznamenáno olovo (Stull, 2021). Toto tvrzení potvrdila studie, která zkoumala případy vysoké hladiny olova v krvi těhotných žen a dětí v Kalifornii, které byly způsobeny konzumací právě kontaminovaných kobylek rodu *Sphenarium* (Handley, 2007).

14 Vliv kulinářského zpracování

Nejběžněji používané kulinářské metody pro zpracování celého jedlého hmyzu jsou především vaření, dušení, pražení, uzení, smažení, dušení nebo také nakládání. Dále se používají například různé typy sušení nebo extrakce.

Kulinářské zpracování ovlivňuje jejich senzorické i nutriční vlastnosti hmyzu. Vaření zlepšuje senzorickou kvalitu prostřednictvím tvorby aromatických sloučenin a také změn barvy a textury (Sabolová et al., 2023). Dochází zde k tzv. Maillardově reakci. Důležitým úkolem zpracování je také prodloužení trvanlivosti snížením degradačních enzymů. Z nutričního hlediska, vaření zvyšuje stravitelnost a biologickou aktivitu bílkoviny v trávicím traktu. Působení tepla může vyvolat oxidaci hoů nebo také solubilizaci vitamínů a minerálů, tj. rozpouštění jinak nerozpustných látek (Melgar-Lalanne, 2019). U bílkovin může dojít k denaturaci, destrukci či modifikaci aminokyselin (Frankel, 2012).

Blanšírování je jednou z nejčastěji používaných předúprav pro usmrcení, inaktivaci enzymů a mikrobiální redukci. Je to proces ponoření živého hmyzu do vroucí vody na 2 až 3 minuty a rychlého ochlazení ve studené vodě. Byl také zkoumán kombinovaný účinek blanšírování s mikrovlnným sušením u *Tenebrio molitor* a byl popsán zvýšený obsah vlhkosti se zanedbatelným významným rozdílem v jejich chemickém složení.

Sušení může snížit celkový obsah vody, a tedy její dostupnost pro degradační reakce, včetně enzymatických reakcí a reakcí iniciovaných znehodnocujícími mikroorganismy (Eswaran, 2022).

14.1 Extrakce

Extrakce se používá konkrétně pro bílkoviny, tuky či chitin. Extrakce se provádí například suchou frakcionací (Sabolová et al., 2023). Extrahované produkty se používají k výrobě hmyzího prášku, které lze zabudovat do některých běžných potravinářských výrobků jako např. chléb, těstoviny či čokoládové tyčinky (Orsi et al., 2019). Hmyz určený k výrobě potravin musí být nutně podroben posklizňovému zpracování, např. blanšírování, pasterizaci a sterilizaci, aby byla zajištěna jeho mikrobiologická bezpečnost (De Marchi, 2021). Takto skrytá konzumace hmyzu je často považována za přijatelnější pro spotřebitele v západních zemích (Melgar-Lalanne et al., 2019).

Typickým jedlým hmyzem, který je zpracováván na hmyzí prášek jsou mouční červi (*Tenebrio molitor*). Ten se používá i například do krmiv pro zvířata včetně krmiv pro domácí mazlíčky (van Huis, 2013). Při zkoumání vlivu zpracování na jedlý hmyz nebyly konkrétně u červa moučného pozorovány žádné výrazné změny ve složení makroživin při ponoření do vroucí vody po dobu 10 minut. Bylo zaznamenáno pouze mírné zvýšení obsahu vody (Melgar-Lalanne, 2019).

15 Závěr

Studiem vědecké literatury bylo zjišťováno, zda se v jedlém hmyzu nachází antinutriční a alergenní látky. Jedlý hmyz je považován za jídlo budoucnosti z hlediska jeho významné nutriční hodnoty. Hmyz by také mohl být potenciálním pomocníkem v boji s narůstajícím počtem obyvatel a podvýživou v různých zemích světa, avšak stejně jako všechny ostatní potraviny musí splňovat určitá kritéria, aby byl bezpečný z hlediska konzumace člověkem.

Studií, které by sledovaly antinutriční či alergenní látky je relativně málo v poměru, jak velké naděje se do jedlého hmyzu vkládají. Z hlediska antinutričních látek prozatímní studie poukazují na výskyt fytové kyseliny, taninu, nebo také oxalátů. Použitými analytickými metodami pro stanovení těchto látek byly nejčastěji spektrofotometrie či chromatografie. Jejich antinutriční účinek byl také zkoumán pod vlivem zpracování. Bylo zjištěno, že síla antinutričního účinku, především u taninu a oxalátů, se snížila po vaření po dobu alespoň 30 minut. I přesto, že byly tyto antinutriční látky v jedlém hmyzu potvrzeny, byly jejich hodnoty ve stopovém množství, a tak je jedlý hmyz z tohoto hlediska považován za bezpečnou potravinu.

Alergenním látkám se studie věnují více, především z důvodu, že představují pro člověka větší riziko než antinutriční látky. Nejzávažnější alergickou reakcí je anafylaktický šok. Tento život ohrožující stav byl u jedlého hmyzu shledán, ale většinou pouze ve výjimečných případech. Jedlý hmyz patří mezi členovce stejně jako například korýši, měkkýši či roztoči. Vzhledem k této příbuznosti byla zkoumána a potvrzena zkřížená alergie právě s těmito druhy. Nejčastěji vyskytujícími se alergeny v jedlém hmyzu byly tropomyosin a argininkináza. Tyto alergeny byly nejčastěji stanoveny pomocí metody ELISA či spektrofotometrie. Stejně jako u antinutričních látek byla pozornost zaměřena také na vliv zpracování. Nejúčinnějším způsobem zpracováním pro snížení imunoreaktivity tropomyosinu a argininkinázy bylo smažení. V jedlém hmyzu byly potvrzeny i další alergeny, přesto byly tropomyosin a argininkináza nejvíce zkoumanými a následně vyhodnoceny jako hlavní rizikové alergeny.

Tato práce poukazuje na bezpečnost jedlého hmyzu z hlediska uvedených antinutričních látek a zároveň upozorňuje na zkříženou alergenicitu především s korýši a na další možné alergeny.

16 Literatura

Aas K. 1978. What Makes an Allergen an Allergen. Allergy. **33**(1):3-14 DOI: 10.1111/j.1398-9995.1978.tb01501.x.

Ali M, Malik NS, Zahoor M, Ishtiaq Q. 2010. Phytic acid: How far have we come? African Journal of Biotechnology. **9**(11):1551-1554 DOI: 10.5897/AJB10.045.

Ashok PK, Upadhyaya K. 2012. Tannins are Astringent. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. **8192**:45-50.

Baria. 2022. Metoda ELISA – aspekty jednotlivých uspořádání. Baria s.r.o. Available from https://www.baria.cz/rsc6186731-metoda-elisa-aspekty-jednotlivych-usporadani (accessed April 2023).

Barre A, Pichereaux C, Velazquez E. 2019. Insights into the Allergenic Potential of the Edible Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*). Foods. **8**(10) DOI: 10.3390/foods8100515.

Barre A, Velazquez E, Delplanque A, Caze-Subra S, Bienvenu F, Bienvenu J, Benoist H, Rougé P. 2016. Les allergènes croisants des insectes comestibles. Revue Française d'Allergologie. **56**(7-8):522-532 DOI: 10.1016/j.reval.2016.10.008.

Beaumont P, Courtois J, Van Der Brempt X, Tollenaere S. 2019. Food-induced anaphylaxis to *Tenebrio molitor* and allergens implicated. Revue Française d'Allergologie. **59**(5):389-393 DOI: 10.1016/j.reval.2019.06.001.

Benešová K, Běláková S, Mikulíková R, Svoboda Z. 2013. Survey of the analytical methods for the phytic acid determination. Kvasný průmysl. **59**(5):127-133. DOI: 10.18832/kp2013013.

Borkovcová M. 2015. Hmyz na talíři. Brno: Jota. ISBN 978-80-7462-915-0.

Bosch G, Zhang S, Oonincx DGAB Hendriks WH. 2014. Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. Journal of Nutritional Science. **3**. DOI: 10.1017/jns.2014.23.

Botella-Martínez C, Lucas-González R, Pérez-Álvarez Ja, Fernández-López J, Viuda-Martos M. 2021. Assessment of chemical composition and antioxidant properties of defatted flours obtained from several edible insects. Food Science and Technology International. **27**(5):383-391 DOI: 10.1177/1082013220958854.

Bukkens SGF. 2005. Insects in the Human Diet: Nutritional Aspects. Pages 545-577 in Paoletti MG, editor. Ecological Implications of Minilivestock. Science Publishers, Inc. Enfield, NH, USA.

Caparros Megido R, Alabi T, Larreché S, Louxinger A, Haubruge E, Francis F. 2015. Risques et valorisation des insectes dans l'alimentation humaine et animale. Annales de la Société entomologique de France (N.S.). **51**(3):215-258 DOI: 10.1080/00379271.2015.1122911.

Crunchy Critters. 2023. United Kingdom: Crunchy Critters. Available from Available from https://www.crunchycritters.com/shop/buy-edible-insects/bulk-buy/buffalo-worms-bulk-buy/ (accessed March 2023)

De Gier S, Verhoeckx K. 2018. Insect (food) allergy and allergens. Molecular Immunology. **100**:82-106 DOI: 10.1016/j.molimm.2018.03.015.

De Marchi L, Mainente F, Leonardi M. 2021. Allergenicity assessment of the edible cricket *Acheta domesticus* in terms of thermal and gastrointestinal processing and IgE cross-reactivity with shrimp. Food Chemistry. **359** DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129878.

De Marchi L, Wangorsch A, Zoccatelli G. 2021. Allergens from Edible Insects: Cross-reactivity and Effects of Processing. Current Allergy and Asthma Reports **21**(5) DOI: 10.1007/s11882-021-01012-z.

Dhingra D, Michael M, Rajput H, Patil RT. 2012. Dietary fibre in foods: a review. Journal of Food Science and Technology. **49**(3):255-266 DOI: 10.1007/s13197-011-0365-5.

Djouffa KML, Saïdou C, Ali A, Mohammadou BA, Tchiegang C. 2021. Edible insects in the Adamawa and eastern regions of Cameroon: collection, processing and consumption. Journal of Insects as Food and Feed. **7**(4):483-494 DOI: 10.3920/JIFF2020.0015.

Downs M, Johnson P A Zeece M. 2016. Insects and Their Connection to Food Allergy. Pages 255-272 in Dossey AT, Morales-Ramos JA, Guadalupe Rojas M, editors. Insects as Sustainable Food Ingredients. Elsevier.

Dschanz. 2007. Chemical structure of chitin (part of the polymer chain). Available from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chitin.svg (accessed January 2023)

eAGRI. 2020. Stanovení obsahu taninů spektrofotometricky. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělství. Available from https://eagri.cz/public/web/file/655343/_50321._2_Stan_obs_taninu_spektrofotometricky.pdf (accessed April 2023).

EFSA. 2015. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. EFSA Journal. **13**(10) DOI: 10.2903/j.efsa.2015.4257.

EFSA. 2021. Edible insects: the science of novel food evaluations. Available from https://www.efsa.europa.eu/en/news/edible-insects-science-novel-food-evaluations (accessed November 2022).

Ekop EA, Udoh AI, Akpan PE. 2010. Proximate and anti-nutrient composition of four edible insects in Akwa Ibom State, Nigeria. World Journal of Applied Science and Technology. **2**(2):224-23.

Eswaran GM, Karunanithi US, Gupta RK, Rout S, Srivastav PP. 2022. Edible insects as emerging food products–processing and product development perspective. Journal of Food Science and Technology. DOI: 10.1007/s13197-022-05489-y.

Fernandes TJR, Costa J, Oliveira MBPP, Mafra I. 2015. An overview on fish and shellfish allergens and current methods of detection. Food and Agricultural Immunology. **26**(6):848-869 DOI: 10.1080/09540105.2015.1039497.

Finke MD. 2007. Estimate of chitin in raw whole insects. Zoo Biology. **26**(2):105-115 DOI: 10.1002/zoo.20123.

Frankel EN. 2012. Lipid Oxidation. Woodhead Publishing, Sawston, Cambridge.

Giaccone V. 2005. Hygiene and Health Features of "Minilivestock". Pages 579-598 in Paoletti MG, editor. Ecological Implications of Minilivestock. Science Publishers, Inc. Enfield, NH, USA.

Giampieri F, Alvarez-Suarez JM, Machì M, Cianciosi D, Navarro-Hortal MD, Battino M. 2022. Edible insects: A novel nutritious, functional, and safe food alternative. Food Frontiers. **3**(3):358-365 DOI: 10.1002/fft2.167.

Grabowski NT, Klein G. 2017. Microbiology of cooked and dried edible Mediterranean field crickets (*Gryllus bimaculatus*) and superworms (*Zophobas atratus*) submitted to four different heating treatments. Food Science and Technology International. **23**(1):17-23 DOI: 10.1177/1082013216652994.

Grig. 2022. Proč jedlý hmyz? Brno: Grig.cz. Available from https://www.grig.cz/proc-jedly-hmyz/ (accessed Decemeber 2022)

Hamid H, Thakur NS, Kumar P. 2017. Anti-nutritional factors, their adverse effects and need for adequate processing to reduce them in food. AgricINTERNATIONAL. **4**(1) DOI: 10.5958/2454-8634.2017.00013.4

Handley MA, Hall C, Sanford E. 2007. Globalization, Binational Communities, and Imported Food Risks: Results of an Outbreak Investigation of Lead Poisoning in Monterey County, California. American Journal of Public Health. **97**(5):900-906 DOI:10.2105/AJPH.2005.074138.

Hawkey KJ, Lopez-Viso C, Brameld JM, Parr T, Salter AM. 2021. Insects: A Potential Source of Protein and Other Nutrients for Feed and Food. Annual Review of Animal Biosciences. **9**(1):333-354 DOI: 10.1146/annurev-animal-021419-083930.

He Y, Wang B, Wen L, Wang F, Yu H, Chen D, Su X A Zhang Ch. 2022. Effects of dietary fiber on human health. Food Science and Human Wellness. **11**(1):1-10. DOI: 10.1016/j.fshw.2021.07.001.

Hill SJ, Baker JG. 2004. Encyclopedia of Biological Chemistry. ISBN 9780124437104. DOI:10.1016/B0-12-443710-9/00309-4.

Ho CH, Hsu J, Chen S. 2021. Development and validation of mass spectrometry-based method for detecting shrimp allergen tropomyosin. LWT **152**. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112367.

Horáková P. 2021. Anémie (chudokrevnost). Praha: Pears Health Cyber, s.r.o. Available from https://www.lekarna.cz/clanek/anemie/ (accessed December 2022).

Huis A. 2022. Edible insects: Challenges and prospects. Entomological Research. **52**(4):161-177 DOI: 10.1111/1748-5967.12582-

Chen X, Feng Y, Chen Z. 2009. Common edible insects and their utilization in China. Entomological Research **39**:299-303.

da Silva Lucas AJ, de Oliveira LM, da Rocha M, Prentice C. 2020. Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. Food Chemistry. **311** DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.126022-

Jelínek J, Zicháček V. 2014. Biologie pro gymnázia: (teoretická a praktická část). 11. vydání. Olomouc: Nakladatelství Olomouc. ISBN 978-80-7182-338-4.

Jeong KY, Park JW. 2020. Insect Allergens on the Dining Table. Current Protein & Peptide Science. **21**(2):159-169. DOI: 10.2174/1389203720666190715091951.

Jongema Y. 2017. List of edible insects of the world. Department of Entomology of Wageningen University & Research, the Netherlands.Available from https://www.wur.nl/en/research-results/chair-groups/plant-sciences/laboratory-of-entomology/edible-insects/worldwide-species-list.htm (accessed April 2023).

JR Unique Foods Ltd. 2021. House crickets (*Acheta domesticus*). JR Unique Foods, Thailand. Available from https://jrunique.com/product/whole-acheta-crickets/ (accessed November 2022).

Kavitha VU, kandasubramanian B. 2020. Tannins for wastewater treatment. SN Applied Sciences. **2**(6) DOI: 10.1007/s42452-020-2879-9

Kaya M, Sargin I, Erdonmez D. 2016. Microbial biofilm activity and physicochemical characterization of biodegradable and edible cups obtained from abdominal exoskeleton of an insect. Innovative Food Science & Emerging Technologies. **36**:68-74 DOI: 10.1016/j.ifset.2016.05.018.

Kaya M, Erdogan S, Mol A, Baran T. 2015. Comparison of chitin structures isolated from seven *Orthoptera* species. International Journal of Biological Macromolecules. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2014.09.034.

Kočárek E. 2010. Biologie člověka. Praha: Scientia. Biologie pro gymnázia. ISBN 978-80-86960-47-0.

Komise EU. 2023. Prováděcí nařízení Komise (EU) 2021/1975 ze dne 12. listopadu 2021, kterým se povoluje uvedení zmrazených, sušených a práškových forem *Locusta migratoria* na trh jako nové potraviny podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2015/2283 a kterým se mění prováděcí nařízení (EU) 2017/2470.

Komise EU. 2023. Prováděcí nařízení Komise (EU) 2021/882 ze dne 1. června 2021, kterým se povoluje uvedení sušených larev potemníka moučného *Tenebrio molitor* na trh jako nové potraviny podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2015/2283 a kterým se mění prováděcí nařízení (EU) 2017/2470.

Komise EU. 2023. Prováděcí nařízení Komise (EU) 2022/169 ze dne 8. února 2022, kterým se povoluje uvedení zmrazených, sušených a práškových forem moučných červů (larev potemníka moučného *Tenebrio molitor*) na trh jako nové potraviny podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2015/2283 a kterým se mění prováděcí nařízení (EU) 2017/2470.

Komise EU. 2023. Prováděcí nařízení Komise (EU) 2022/188 ze dne 10. února 2022, kterým se povoluje uvedení zmrazených, sušených a práškových forem *Acheta domesticus* na trh jako nové potraviny podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2015/2283 a kterým se mění prováděcí nařízení (EU) 2017/2470.

Komise EU. 2023. Prováděcí nařízení Komise (EU) 2023/5 ze dne 3. ledna 2023, kterým se povoluje uvedení částečně odtučněného prášku z *Acheta domesticus* (cvrčka domácího) na trh jako nové potraviny a kterým se mění prováděcí nařízení (EU) 2017/2470.

Komise EU. 2023. Prováděcí nařízení Komise (EU) 2023/58 ze dne 5. ledna 2023, kterým se povoluje uvedení zmrazených, kašovitých, sušených a práškových forem larev *Alphitobius diaperinus* (potemníka stájového) na trh jako nové potraviny a kterým se mění prováděcí nařízení (EU) 2017/2470.

Kunatsa Y, Chidewe C, Zvidzai CJ. 2020. Phytochemical and anti-nutrient composite from selected marginalized Zimbabwean edible insects and vegetables. Journal of Agriculture and Food Research. **2** DOI: 1016/j.jafr.2020.100027.

Kuršner R. 2022. Sušený hmyz – Mouční červi. Krmivohulín.cz, Hulín. Available from https://www.krmivahulin.cz/p/suseny-hmyz-moucni-cervi#4497 (accessed April 2022).

Lamberti C, Nebbia S, Cirrincione S. 2021. Thermal processing of insect allergens and IgE cross-recognition in Italian patients allergic to shrimp, house dust mite and mealworm. Food Research International. **148** DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110567

Liu Z, Xia L, Wu Y, Xia Q, Chen J, Roux KH. 2009. Identification and Characterization of an Arginine Kinase as a Major Allergen from Silkworm (*Bombyx mori*)/Larvae. International Archives of Allergy and Immunology. **150**(1):8-14 DOI: 10.1159/000210375.

Lošonská L. 2021. Metoda: ELISA. Ústav imunologie a alergologie FN Plzeň. Available from https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/43077/1/sborn%C3%ADk%20konference%20ZL%20%C3%BAprava-49.pdf (accessed April 2023).

Mandimika T, Paturi G, De Guzman CE. 2012. Effects of dietary broccoli fibre and corn oil on serum lipids, faecal bile acid excretion and hepatic gene expression in rats. Food Chemistry. **131**(4):1272-1278 DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.09.117.

Marien HS, Dubois B. 2022. Detection of *Alphitobius diaperinus* by Real-Time Polymerase Chain Reaction With a Single-Copy Gene Target. Frontiers in Veterinary Science. **9** DOI: 10.3389/fvets.2022.718806.

MeDitorial. 2020. Anafylaktický šok. Praha: MeDitorial +. Available from https://www.bez-alergie.cz/anafylakticky-sok (accessed December 2022).

MeDitorial. 2020. Obecně o alergii. Praha: MeDitorial +. Available from https://www.bez-alergie.cz/obecne-o-alergii-faq (accessed December 2022).

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**(4):1166-1191 DOI: 10.1111/1541-4337.12463.

Ministerstvo zemědělství. 2021. Taniny. Praha: Informační centrum bezpečnosti potravin ministerstva zemědělství. Available from https://www.bezpecnostpotravin.cz/taniny (accessed December 2022).

Ministerstvo zemědělství. 2023. Hmyz. Praha: Informační centrum bezpečnosti potravin ministerstva zemědělství. Available from https://bezpecnostpotravin.cz/kategorie/hmyz/ (accessed January 2023).

Mottola S. 2019. Entomophagy. Terminology Coordination Unit. Available from https://termcoord.eu/2019/08/entomophagy/ (accessed March 2023).

Musundire R, Zvidzai Cj, Chidewe C, Ngadze RT, Macheka L, Manditsera FA, Mubaiwa J, Masheka A. 2016. Nutritional and bioactive compounds composition of *Eulepida Mashona*, an edible beetle in Zimbabwe. Journal of Insects as Food and Feed. **2**(3):179-187. DOI: 10.3920/JIFF2015.0050

Němčanská E. 2012. Cvrček domácí (*Acheta domestica*). Zachrašťany: Hedgehog Dream. Available from https://www.hedgehog-dream.eu/products/cvrcek-domaci-acheta-domestica-/ (accessed November 2022).

Němčanská E. 2012. Červ moučný (*Tenebrio molitor*). Zachrašťany: Hedgehog Dream. Available from https://www.hedgehog-dream.eu/products/cerv-moucny-tenebrio-molitor-/ (accessed November 2022).

Němčanská E. 2012. Saranče stěhovavé (*Locusta Migratoria*). Zachrašťany: Hedgehog Dream. Available from https://www.hedgehog-dream.eu/products/sarance-stehovave-locusta-migratoria-/ (accessed November 2022).

Nishimune T, Watanabe Y, Okazaki H, Akai H. 2000. Thiamin Is Decomposed Due to *Anaphe spp.* Entomophagy in Seasonal Ataxia Patients in Nigeria. The Journal of Nutrition. **130**(6):1625-1628 DOI:10.1093/jn/130.6.1625.

Nosowitz D. 2021. The Migratory Locust: It's What's for Dinner. Modern Farmer Media. Available from https://modernfarmer.com/2021/11/insects-as-food-migratory- locust-eu/ (accessed November 2022).

Nowakowski AC, Miller AC, Miller ME, Xiao H, Wu X. 2021. Potential health benefits of edible insects. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. **62**(13):3499-3508. DOI: 10.1080/10408398.2020.1867053.

Oonincx DGAB, Finke M. 2021. Nutritional value of insects and ways to manipulate their composition. Journal of Insects as Food and Feed. **7**:639-659. DOI: 10.3920/JIFF2020.0050.

Oonincx DGAB, van Itterbeeck J, Heetkamp MJW, van Den Brand H, van Loon JJA, van Huis A, Hansen IA. 2010. An Exploration on Greenhouse Gas and Ammonia Production by Insect Species Suitable for Animal or Human Consumption. PLoS ONE. **5**(12). DOI: 10.1371/journal.pone.0014445.

Orsi L, Voege LL, Stranieri S. 2019. Eating edible insects as sustainable food? Exploring the determinants of consumer acceptance in Germany. Food Research International. **125** DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108573.

Paoletti MG, Norberto L, Damini R, Musumeci S. 2007. Human Gastric Juice Contains Chitinase That Can Degrade Chitin. Annals of Nutrition and Metabolism. **51**(3):244-251 DOI: 10.1159/000104144.

Papastavropoulou KA, Koupa A, Kritikou E, Kostakis M, Proestos Ch. 2021. Edible Insects: Benefits and Potential Risk for Consumers and the Food Industry. Biointerface Research in Applied Chemistry. **12**(4):5131 DOI: 10.33263/BRIAC124.51315149.

Piťha J, Poledne R. 2009. Zdravá výživa pro každý den. Praha: Grada. Zdraví & životní styl. ISBN 978-80-247-2488-1.

Raheem D, Raposo A, Oluwole OB, Nieuwland M, Saraiva A, Carrascosa C. 2019. Entomophagy: Nutritional, ecological, safety and legislation aspects. Food Research International. **126** DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108672.

Reed JD. 1995. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. Journal of Animal Science. **73**(5):1516-1528 DOI: 10.2527/1995.7351516x.

Ribeiro JC, Sousa-Pinto B, Fonseca J, Fonseca SC, Cunha LM. 2021. Edible insects and food safety: allergy. Journal of Insects as Food and Feed. **7**(5):833-847 DOI: 10.3920/JIFF2020.0065.

Rumpold BA, Schlüter OK. 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. Molecular Nutrition & Food Research. **57**(5):802-823 DOI: 10.1002/mnfr.201200735.

Sabolová M, Kulma M, Petříčková D, Kletečková K, Kouřimská L. 2023. Changes in purine and uric acid content in edible insects during culinary processing. Food Chemistry. **403** DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134349.

Sheikh A, Shehata YA, Brown SGA, Simons FER. 2018. Adrenaline (epinephrine) for the treatment of anaphylaxis with and without shock. Cochrane Database of Systematic Reviews. **2018**(12) DOI: 10.1002/14651858.CD006312.pub2.

Simons FER. 2010. World Allergy Organization survey on global availability of essentials for the assessment and management of anaphylaxis by allergy-immunology specialists

in health care settings. Annals of Allergy, Asthma & Immunology. **104**(5):405-412 DOI: 10.1016/j.anai.2010.01.023.

Soliman GA. 2019. Dietary Fiber, Atherosclerosis, and Cardiovascular Disease. Nutrients. **11**(5) DOI: 10.3390/nu11051155.

Stull V, Patz J. 2020. Research and policy priorities for edible insects. Sustainability Science. **15**(2):633-645 DOI: 10.1007/s11625-019-00709-5.

Stull V. 2021. Impacts of insect consumption on human health. Journal of Insects as Food and Feed. **7**(5):695-713 DOI: 10.3920/JIFF2020.0115.

Su Y, Lu MX, Jing LQ, Qian L, Zhao M, Du YZ, Liao HJ. 2021. Nutritional Properties of Larval Epidermis and Meat of the Edible Insect *Clanis bilineata tsingtauica* (*Lepidoptera: Sphingidae*). Foods. **10**(12) DOI: 10.3390/foods10122895.

Thompson, A. 2013. Want To Help Solve The Global Food Crisis? Eat More Crickets. Forbes. Available from https://www.forbes.com/sites/ashoka/2013/07/31/want-to-help-solve-the-global-food-crisis-eat-more-crickets/?sh=49fe47f4297b/ (accessed December 2022).

van Broekhoven S, Bastiaan-Net S, De Jong NW, Wichers HJ. 2016. Influence of processing and in vitro digestion on the allergic cross-reactivity of three mealworm species. Food Chemistry. **196**:1075-1083 DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.10.033.

van Huis A, Van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P. 2013. Edible insects: Future prospects for food and feed security. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. ISBN 978-92-5-107596-8.

Velíšek J. 2002. Chemie potravin. Vydání 2. Tábor: OSSIS. ISBN 80-866-59-02-x.

Voelker R, 2019. Can Insects Compete With Beef, Poultry as Nutritional Powerhouses?. JAMA. **321**(5) DOI: 10.1001/jama.2018.20747.

Wang Y, Zhang Y, Lou H, Wang Ch, Ni M, Yu D, Zhang L, Kang L. 2022. Hexamerin-2 Protein of Locust as a Novel Allergen in Occupational Allergy. Journal of Asthma and Allergy. **15**:145-155 DOI: 10.2147/JAA.S348825.

Whiteside M, Fletcher A. 2010. Anaphylactic shock: no time to think. The Journal of the Royal College of Physicians of Edinburgh. **40**(2):145-148 DOI: 10.4997/JRCPE.2010.210.

Zhou Y, Wang D, Zhou S, Duan H, Guo J, Yan W. 2022. Nutritional Composition, Health Benefits, and Application Value of Edible Insects: A Review. Foods. **11**(24) DOI: 10.3390/foods11243961.

Zielińska E, Baraniak B, Karaś M, Rybczyńska K, Jakubczyk A. 2015. Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. Food Research International. **77**:460-466 DOI: 10.1016/j.foodres.2015.09.008.

Žalkovská A. 2018. Jedlý hmyz a jeho postavení ve výživě [BSc. Thesis]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.

17 Seznam použitých zkratek a symbolů

°C stupeň celsia
apod. a podobně
C uhlík
cm centimetr
CO_2 oxid uhličitý
ČR Česká republika
DNA deoxyribonukleová kyselina
EFSA European Food Safety Authority
ELISA enzyme-linked immuno sorbent assay
EU Evropská unie
FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations
Fe^{2+} kation železnatý
g gram
GAPDH glyceraldehyd-3-fosfát dehydrogenáza
CH_4 methan
kDa kilodalton
kg kilogram
LFD lateral flow dipstick
mg miligram
ml mililitr
mm milimetr
N_2O oxid dusný
např. například
nm nanometr
PCR polymerázová řetězová reakce
WHO World Health Organization
µl mikrolitr