

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická

Hmyz jako potravina budoucnosti?  
Bakalářská práce

2022

Lucie Martínková

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Lucie Martínková**  
Osobní číslo: **C19120**  
Studijní program: **B2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Hodnocení a analýza potravin**  
Téma práce: **Hmyz jako potravina budoucnosti?**  
Zadávací katedra: **Katedra analytické chemie**

## Zásady pro vypracování

1. Ve své bakalářské práci se zaměřte na téma využití hmyzu jako potraviny. Popište původ a historii toho nevšedního způsobu stravování, tradici konzumace ve světě a vypracujte přehled zástupců hmyzu, které se obvykle konzumují.
2. V odborné literatuře vyhledejte a popište složení konzumovaného hmyzu a jeho benefity v lidské výživě. Také se ale zaměřte na možné alergické reakce či jiné nežádoucí účinky při jeho konzumaci.
3. Zhodnoťte konzumaci hmyzu i z ekologického a ekonomického hlediska.
4. Na závěr práce shrňte prostudované informace a vyjádřete svoje stanovisko k této problematice.

Rozsah pracovní zprávy:  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:  
Podle pokynů vedoucí práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Blanka Švecová, Ph.D.**  
Katedra analytické chemie

Datum zadání bakalářské práce: **7. února 2022**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. července 2022**

L.S.

---

**prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.**  
děkan

---

**prof. Ing. Karel Ventura, CSc.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 21. února 2022

Prohlašuji:

Práci s názvem Hmyz jako potravina budoucnosti jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 30. 06. 2022

Lucie Martínková v. r.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych ráda poděkovala Ing. Blance Švecové Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a veškerou pomoc v průběhu vypracování této bakalářské práce. Mé poděkování patří také celé mé rodině a přátelům, kteří mě v průběhu studia vždy podporovali.

## **ANOTACE**

Tato bakalářská práce se zaměřuje na využití hmyzu jako potraviny nového typu. Práce zahrnuje historii spojenou s konzumací hmyzu, přehled konzumovaného hmyzu ve světě a platnou legislativu. Bakalářská práce se také věnuje nutričnímu složení hmyzu a jeho porovnání s jinými potravinami. Další kapitoly jsou věnované ekologickým přínosům chovu hmyzu a možnostem využití hmyzu v potravinách. V neposlední řadě se tato práce věnuje rizikům spojených s konzumací hmyzu a alergickým reakcím.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Hmyz, potravina, nutriční složení, ekologie

## **TITLE**

Insects as the food of the future?

## **ANNOTATION**

This bachelor thesis is focused on the use of insects as a new type of food. The work includes a history associated with the consumption of insects, an overview of the insects consumed in the world and current legislation. The bachelor thesis also deals with the nutritional composition of insects and its comparison with other foods. The next chapters are devoted to the ecological benefits of insect breeding and the possibilities of using insects in food. Last but not least, this work deals with the risks associated with insect consumption and allergic reactions.

## **KEYWORDS**

Insects, food, nutritional composition, ecology

# OBSAH

ÚVOD.....	8
1. HISTORIE KONZUMACE HMYZU .....	11
2. KONZUMACE HMYZU VE SVĚTĚ .....	13
3. LEGISLATIVA SPOJENÁ S KONZUMACÍ HMYZU .....	15
4. JEDLÉ DRUHY HMYZU .....	17
4.1 Chov hmyzu.....	18
5. NUTRIČNÍ SLOŽENÍ JEDLÝCH DRUHŮ HMYZU .....	20
5.1 Proteiny .....	20
5.2 Lipidy.....	21
5.3 Sacharidy .....	22
5.4 Vitamíny .....	23
5.5 Minerály.....	24
5.6 Stravitelnost .....	25
6. POROVNÁNÍ HMYZU S JINÝMI POTRAVINAMI .....	26
7. ZPRACOVÁNÍ A ÚPRAVA HMYZU PŘED KONZUMACÍ.....	27
8. EKOLOGICKÉ PŘÍNOSY KONZUMACE HMYZU .....	29
9. MOŽNOSTI VYUŽITÍ HMYZU .....	31
10. RIZIKA KONZUMACE HMYZU.....	34
11. PŘIJATELNOST KONZUMACE HMYZU ZE STRANY SPOTŘEBITELŮ.....	39
ZÁVĚR .....	41
POUŽITÁ LITERATURA .....	42
PŘÍLOHA .....	44
Zdroje obrázků.....	46

## ÚVOD

Organizace spojených národů předpokládá, že do roku 2050 lidská populace dosáhne 9,6 miliard, což povede k významnému zvýšení poptávky po potravinách a vysoce kvalitních zdrojích bílkovin. Problém nedostatku potravinových zdrojů v lidských společnostech vždy existoval kvůli omezeným zdrojům jako je orná půda, voda ale také zemědělské plodiny a hospodářská zvířata.<sup>1-4</sup>

Rostoucí světová populace zhoršuje problém potravinové dostupnosti v rozvojových zemích. Obyvatelé rozvojových zemí se nejvíce potýkají s nedostatkem živočišných bílkovin, což vede k vysoké míře podvýživy a růstových deficitů. Podvýživa je problémem v oblasti veřejného zdraví, přičemž v rozvojových zemích převládá vysoká míra podvýživy a nedostatku vitamínů a minerálů. Světová zdravotnická organizace odhaduje, že celosvětově více než 2 miliardy lidí trpí nedostatkem mikroživin. Na druhé straně v průmyslově vyspělých zemích, kde je problém potravinové dostupnosti méně důležitý, se zdravotní problémy související s potravinami týkají dvou hlavních faktorů: bezpečnosti potravin a ekologické udržitelnosti produkce potravin. Potravinová nejistota tváří v tvář klimatickým změnám je navíc realitou, která vyzývá k urychlenému vypracování a provedení zmírňujících strategií s cílem zajistit odpovídající kvalitu a bezpečnou dostupnost potravin pro současné i budoucí potřeby.<sup>1,3,5,6</sup>

Potravinová dostupnost existuje, když jsou potraviny dostupné, cenově dostupné, rovnoměrně distribuované a bezpečné ke konzumaci. Ačkoli se potravinová dostupnost v poslední době celosvětově zvýšila, nedostatek potravin a podvýživa v důsledku nepříznivých klimatických podmínek a rostoucích nákladů na živočišné bílkoviny jsou v mnoha zemích, včetně zemí subsaharské Afriky, stále běžné. Vzhledem k tomu, že se předpokládá velmi rychlý růst populace v tomto regionu, zůstává hlavním cílem dosažení potravinové dostupnosti.<sup>7</sup>

V příštích desetiletích se očekává, že produkce a spotřeba masa dosáhne neudržitelné úrovně, a to nejen kvůli předpokládanému růstu populace, ale také kvůli šíření západních stravovacích návyků do rozvojových zemí. V současné době zaujímá živočišný průmysl velké procento povrchu planety. Náklady na chov zvířat, jakož i náklady na zabezpečení krmiv, které s tím souvisí, se v průběhu let zvýšily. Kromě toho současná živočišná výroba významně přispívá k řadě environmentálních problémů, jako je znečištění životního prostředí a globální oteplování v důsledku toxicity, kterou způsobuje v půdě. Dále také změna klimatu v důsledku emisí



skleníkových plynů, odlesňování, eroze půdy, ztráta biologické rozmanitosti rostlin a znečištění vody.<sup>3,8-10</sup>

Z výše uvedených důvodů je třeba nalézt nové inovativní způsoby, jak zajistit udržitelné dodávky bezpečných, výživných a kvalitních potravin, tak zároveň zachovat přírodní stanoviště a biologickou rozmanitost. Vzhledem k rychlému nárůstu světové populace, plýtvání potravinami a zdroji a neudržitelným postupům výroby potravin je v současné době silně podporováno využívání alternativních zdrojů potravin.<sup>1,5,11</sup>

Existuje řada způsobů, jak se můžeme pokusit řešit problémy spojené s rostoucí poptávkou po bílkovinách a zhoršování životního prostředí. Navrhovaná řešení zahrnují snížení spotřeby masa, zvýšení zemědělské efektivity a nalezení alternativních potravinářských produktů, které k výrobě vyžadují méně půdy a přírodních zdrojů. Prodloužení trvanlivosti potravin je také reakcí na rostoucí potřebu potravin. To je a bylo důležitým řešením omezení plýtvání potravinami a zlepšení dostupnosti potravin. Delší trvanlivost je však možná díky vývoji nových obalových systémů a metod zpracování potravin, které by mohly výrazně zvýšit bezpečnost potravin. Existuje však možnost, že toxické materiály z obalů migrují do potravin a způsobují expozici spotřebitelů, a navíc životní cyklus materiálu by mohl vést ke znečištění životního prostředí.<sup>5,9,12</sup> Jedním z navrhovaných alternativních zdrojů bílkovin je *in vitro* kultivované maso. I když se jedná o velké rozpětí nejistoty, analýzy životního cyklu naznačují, že celkové dopady produkce kultivovaného masa na životní prostředí by mohly být nižší než dopady většiny konvenčně produkovaného masa. K vytvoření systému kultivace v průmyslovém měřítku je však stále zapotřebí další výzkum. Další alternativní zdroje bílkovin zkoumané jako potraviny i krmiva jsou následující: mořské řasy, houby, okřehek, řepka, mikro-řasy a další mikrobi. Zlepšení systémů produkce potravin bylo také dosaženo vývojem geneticky modifikovaných organismů.<sup>5,10,12</sup>

Jednou z kontroverznějších možností je hmyz jako zdroj potravy pro lidskou spotřebu. Konzumace hmyzu se stala novým trendem přibližně od roku 2013, kdy Organizace OSN pro výživu a zemědělství (FAO) zveřejnila dokument s názvem "Jedlý hmyz: Budoucí perspektivy bezpečnosti potravin a výživy". Pojídání hmyzu tak upoutalo pozornost veřejnosti po celém světě.<sup>3,7,13</sup> Jedlý hmyz má potenciál stát se hlavní celosvětovou potravinou budoucnosti díky přítomnosti vysoce kvalitních bílkovin, vitamínů a minerálních látek, jakož i ekonomickým a environmentálním přínosům.<sup>7,10,14-17</sup> Hmyz představuje slibný alternativní zdroj potravy, který by mohl zmírnit některé environmentální problémy spojené s produkcí

masa v západních kulturách, protože produkuje méně emisí skleníkových plynů než chov hospodářských zvířat a vyžaduje méně krmiva, půdy a vody, což je základní omezený zdroj v mnoha regionech světa.<sup>1,4,9,10</sup> Konzumace hmyzu může mít také výhody pro životní prostředí, protože se sníží používání pesticidů a menší rozlohy budou schopny produkovat stejné množství bílkovin. Kromě nutričních výhod je jedlý hmyz také propagován různými organizacemi a vládami jako přístup ke zmírnění změny klimatu. Výsledkem je vyšší schopnost přeměnit vedlejší organické produkty nízké hodnoty na vysoce kvalitní potraviny nebo krmiva.<sup>1,8,10,17</sup> Kromě toho by spotřeba hmyzu mohla výrazně zlepšit světovou potravinovou dostupnost zmírněním hladomoru ve společnostech s omezenými ekonomickými zdroji.<sup>9,13</sup>

Termín „entomofágie“ (z řeckých slov έντομον éntomon = hmyz a φαγεῖν phagein = jíst) se vztahuje k použití hmyzu jako potravy. Konzumace hmyzu v posledních deseti letech přilákala celosvětovou pozornost jak z environmentálních, tak i z nutričních a ekonomických důvodů. Dosažení environmentálně udržitelného zabezpečení potravin je v současné době jednou z největších globálních výzev. Chov hmyzu může nabídnout udržitelný způsob produkce potravin. Vzhledem k tomu, že jedlý hmyz je vysoce výživný, jeho konzumace má potenciál odvrátit mnoho případů podvýživy. Přijetí ze strany spotřebitelů však zůstává hlavní překážkou přijetí hmyzu jako zdroje potravy v mnoha západních zemích.<sup>4,7,18</sup>

Přijetí hmyzu jako zdroje potravy má tři důvody: lidské zdraví, environmentální faktory a socioekonomické přínosy. Mezi zdravotní přínosy patří skutečnost, že hmyz poskytuje dobrou alternativu živočišných bílkovin srovnatelných s kuřecím, vepřovým, hovězím masem, a dokonce i rybami; mnoho druhů hmyzu má vysoký obsah bílkovin, tuků a dostatek minerálních látek. Ekonomické a sociální faktory, které činí chov hmyzu žádanějším než chov hospodářských zvířat, spočívají v tom, že sběr a chov hmyzu jsou nenáročné, chov hmyzu poskytuje příležitosti k obživě pro městské i venkovské obyvatelstvo.<sup>4,17</sup>

# 1. HISTORIE KONZUMACE HMYZU

Konzumace jedlého hmyzu byla po staletí praktikována mnoha kulturami po celém světě a sahá až do raného vývoje člověka. Hmyz lze z velké části nalézt na každém kontinentu a existují historické záznamy, které potvrzují, že byl konzumován lidmi na všech kontinentech s výjimkou Antarktidy. V mnoha studiích byla konzumace hmyzu pravěkými lidmi podceňována ve srovnání s rostlinami a masem z divokých zvířat. Přestože hmyz je konzumován prakticky všemi primáty, je důležitou součástí stravy mnoha tradičních společností, a existují archeologické důkazy o hmyzožravosti hominidů.<sup>1,8,19,20</sup>

Jedlý hmyz mohl mít značný význam pro rané lidi jako zdroj minerálů (především železa) a omega 3 mastných kyselin. Izotopová analýza kostí a zubní skloviny australopiteků, naznačuje stravu složenou převážně ze zvířat, rostlin a hmyzu. Dalším důkazem může být poměr stroncia a vápníku který je zvýšený u Australopiteka a který naznačuje, že konzumoval více živočišných i hmyzích potravin. Je zřejmé, že jak předkové *Homo sapiens*, tak pravěká společenstva využívali hmyz jako zdroj potravy a výživy, o čemž svědčí koprolity - zkamenělé výkaly starověkých lidí, je tak velmi pravděpodobné že se lidstvo vyvinulo jako entomofágní druh. K získání hmyzích lahůdek používali prehistoričtí lidé nástroje vyrobené z kostí větších zvířat.<sup>4,20,21</sup>

Otázka, zda byl hmyz konzumován ranými lidmi, je důležitá pro ty, kteří sledují paleo dietu. Tato dieta je založena hlavně na potravinách, o nichž se předpokládá, že byly lidem dostupné během paleolitu, prehistorického období lidského vývoje, které sahalo od doby před 2,6 miliony lety do konce pleistocénu kolem roku 8 000 př.n.l. To bylo před zemědělskou revolucí, kdy lidé sbírali rostliny, rybařili, lovíli a živili se mršinami.<sup>20</sup>

Nejstarší písemné důkazy o entomofágii na Blízkém východě a v Číně se datují přinejmenším do druhého a prvního tisíciletí našeho letopočtu. První známá zmínka o entomofágii v Evropě je přítomna v práci Aristotela (384–322 př. n. l.), *Historia Animalium*, ve které poznamenal, že samice cikád chutnaly nejlépe po kopulaci kvůli přítomnosti zralých vajíček. Dobře známým historickým záznamem o jedlém hmyzu byla kniha s názvem "*Donguibogam*", kterou napsal Jun Heo, největší lékař východní medicíny (1546–1615), který popsal 95 různých druhů jedlého hmyzu.<sup>4</sup>

Mezi historické faktory, které odklonily lidstvo od tohoto zdroje potravy, byla neolitická revoluce. Přejít od nomádství ke geografické stabilitě přinesl namísto divoké sklizně významný zemědělský rozvoj a hmyz začal být považován spíše za zemědělské škůdce než potravu. Často se zapomíná, že již více než 7000 let probíhá velkoplošný domácí chov hmyzu pro hedvábí nebo med, biologickou kontrolu škůdců a výrobu léčivých přípravků a šelaku. Předpokládá se, že evropské včely (*Apis mellifera*) byly domestikovány po dobu 7000 let a bourec morušový (*Bombyx mori*) jehož kukly jsou vedlejší produkty procesu výroby hedvábí, byl chován po dobu nejméně 5000 let. Postupem času se však vyvinuly kultury a náboženství, kde je konzumace hmyzu nebo jakékoli formy živočišných bílkovin odsuzována, aby se zabránilo obětování zvířat nebo kvůli znechucení. Kolonizace si také vybrala svou daň a narušila entomofágní, stejně jako narušila kulturní rozmanitost všude jinde.<sup>5,15,21-23</sup>

Rozvoj zemědělství v severovýchodní Africe a západní Asii vedl k domestikaci rostlin a zvířat, přičemž velcí domestikovaní savci se stali hlavním zdrojem živočišných potravin, vlny a kůže. Hmyz nebyl schopen nabídnout stejné výhody a kvůli jejich sezónnosti byl nejistým produktem, což mohlo přispět ke snížení zájmu o něj. Kromě toho zemědělství může mít za následek vnímání hmyzu jako hrozby pro produkci potravin.<sup>7</sup>

## 2. KONZUMACE HMYZU VE SVĚTĚ

Entomofágie je pro mnohé z nás bizarní pojem. Konzumace hmyzu byla součástí lidské historie a prehistorie a jedlý hmyz je i nadále součástí lidské stravy v mnoha oblastech po celém světě.<sup>7,12</sup> V současné době ji praktikuje zhruba 2 miliardy lidí ze 3 000 etnických skupin ve 113 zemích (zejména v Africe, Asii a Latinské Americe) a konzumuje se více než 2 000 druhů hmyzu, přičemž se konzumují zástupci všech skupin.<sup>4,8,12</sup> Až 80 % světových národů tedy konzumuje hmyz a odhaduje se, že lidé jedí hmyz pravidelně, a to nejen kvůli jeho nutriční hodnotě, ale také kvůli jeho chuti.<sup>2,19</sup>

Hmyz tvoří významnou součást tradiční stravy domorodých obyvatel v mnoha částech Afriky, Ameriky, Asie a Australasie a v některých oblastech se na něj stále spoléhá. Jedna mylná představa je, že se konzumuje pouze v době hladomoru, ale skutečnost je taková, že v mnoha případech jsou preferovanou potravinou a jejich cena je někdy vyšší než cena některých druhů masa.<sup>24</sup> V zemích, kde je entomofágie normou, je hmyz považován za cenný zdroj bílkovin a znalosti o tom, které druhy jsou jedlé, jsou považovány za místní moudrost předávanou mezi generacemi.<sup>15</sup> V Africe je hmyz důležitým zdrojem potravin a zajišťuje potravinovou dostupnost, pokud jsou základní potraviny (např. rýže) vzácné nebo pokud dostupnost zvířet a ryb během období dešťů klesá. Například housenky poskytují významný zdroj bílkovin během období dešťů ve Středoafričské republice.<sup>7</sup> Příkladem je i Ghana, kde jsou okřídlení termiti oblíbeným pokrmem a připravují se na různé způsoby. V Asii a Thajsku, místní bary podávají smažené brouky jako slaný doplněk k pivu. V Oceánii v Austrálii je standardem domorodé stravy pražené larvy můry *Endoxyla leucomochla*, jejíž chuť se příliš neliší od mandlí. V Americe, přesněji v Mexiku, je možné najít a konzumovat na ulici Taco Carts (agávové červy), chapulines (kobyly) a escamoles (mravenčí vejce).<sup>19</sup>

Existuje velké procento zaznamenaných jedlých druhů hmyzu v Mexiku, Indii a obecně v jihovýchodní Asii, což kontrastuje s velmi nízkým procentem v Evropě a Severní Americe. V mnoha západních státech většina tamních lidí odmítá hmyz jako potravu, protože konzumaci hmyzu považují za nechutnou. Zejména v městských společnostech se hmyz konzumuje jen zřídka nebo je konzumace dokonce vnímána jako kulturně nevhodná.<sup>2,4,17,19</sup> Tento postoj však není ničím jiným než předsudkem, protože v průběhu let se mnoho dříve neobvyklých potravin (například jení žab) stalo tradičním. Dalším příkladem, že i vnímání spotřebitelů se může změnit, je v Thajsku: entomofágie byla běžná hlavně v severních a severovýchodních regionech, ale v posledních letech se vyskytuje častěji na celostátní úrovni a již není

považována za zvyk chudých a venkovských lidí. Většina lidí, kteří konzumují hmyz, žije převážně v subtropických a tropických oblastech světa. Čína, Japonsko a Mexiko jsou jedinými zeměmi, které se zcela nebo částečně nacházejí v mírném pásmu, kde se entomofágie praktikuje.<sup>2,4</sup>

Proč byl hmyz jako lidská potrava v západním světě tak dlouho opomíjen? Důvodů je několik: sběr z přírody v mírných pásmech mnoho nevynese, protože druhy hmyzu v teplotních pásmech jsou menší než v tropech; jejich výskyt je méně shluknutý (příklady jsou roje kobylek a skupiny housenek) a kvůli nedostupnosti v zimním období. Jsou sezónním produktem, protože většina druhů závisí na hostitelských rostlinách. Ve většině západních zemí je entomofágie spojena s negativním vnímáním a pocitu znechucení. Požívání hmyzu se proto v evropské a severoamerické potravinářské kultuře nikdy neujalo. Hmyz chybí ve stravě v těchto oblastech a prodává se pouze jako novinka v potravinářském sektoru.<sup>7,10,25</sup>

Ze zaznamenaného počtu jedlých druhů hmyzu konzumovaných po celém světě a na základě regionálních a národních odhadů bylo 250 druhů identifikováno jako potrava v Africe, více než 200 druhů v Číně a jihovýchodní Asii a více než 400 druhů v Jižní Americe, zatímco pouze 12 druhů jedlého hmyzu má nyní největší potenciál pro komerční chov v Evropě. Chov hmyzu pro lidskou spotřebu se provádí jak v tropických zemích, tak v zemích mírného pásu. Příkladem tropické země je Thajsko, jedna z mála zemí světa, která vyvinula odvětví chovu hmyzu, které se používá jako potrava. V roce 2018 bylo v zemi začleněno více než 20 000 podniků zabývajících se chovem hmyzu. Mezi zeměmi mírného pásma jsou lídry Nizozemsko a Francie, například v roce 2018 existovalo v Nizozemsku 18 společností produkujících hmyz.<sup>4,11</sup>

### 3. LEGISLATIVA SPOJENÁ S KONZUMACÍ HMYZU

Podle současné legislativy, s výjimkou včelích produktů (med, mateří kašička), existuje jediný komerčně dostupný produkt izolovaný z hmyzu: E120. Jedná se o karmínové červené barvivo sestávající z extraktu košenily povolené jako potravinářská přídatná látka směrnici 94/36/ES podle nařízení Evropského parlamentu a rady (ES) 1333/2008 ze dne 16. prosince 2008 o potravinářských přídatných látkách. Karmínové barvivo je biologicky odvozené barvivo získané ze sušených těl samic košenilového hmyzu (*Dactylopius coccus Costa/Coccus cacti L*). Košenily jsou chovány na kladodách různých zástupců rodu *Opuntia* (rod z čeledi kaktusovitých). Po odtučnění organickým rozpouštědlem se košenily extrahují při zvýšeném pH a karmín se izoluje srážením za kyselých podmínek. Karmín se používá jako potravinářské barvivo v mnoha různých produktech, jako jsou džusy, zmrzliny, jogurty a bonbóny, a jako barvivo v kosmetických přípravcích, jako jsou oční stíny a rtěnky.<sup>5,26</sup>

Codex Alimentarius, který představuje mezinárodní směrnici pro bezpečnost potravin, nepovažuje hmyz za potravinu. V současné době je v Codexu Alimentarius hmyz označován pouze jako "nečistoty". Předpisy se v jednotlivých zemích silně liší a většina zemí se hmyzem ani konkrétně nezabývá. Tento nestandardizovaný právní status po celém světě představuje největší překážku pro průmysl jedlého hmyzu, protože brání nebo zpomaluje růst globálního trhu s jedlým hmyzem.<sup>27</sup>

Právní předpisy týkající se jedlého hmyzu byly v EU přezkoumány. Nařízení Evropské komise o nových potravinách chrání spotřebitele před vstupem nových a potenciálně nebezpečných potravin na trh dříve, než bude prokázána jejich bezpečnost. Hmyz se již v několika zemích EU prodává jako potravina, i když pokud nebyl konzumován "ve významné míře" před 15. květnem 1997, může být považován za novou potravinu. Zdá se, že nařízení o nových potravinách se nevztahuje na celý hmyz, neboť definice uvádí "složky potravin izolované ze zvířat".<sup>5,12,25</sup> S cílem vyřešit tento rozpor předložila EU dne 1. ledna 2018 dodatek k procesu týkající se nových potravin, v níž se uvádí, že všechny hmyzí produkty určené k lidské spotřebě musí mít přijatou žádost, aby se prokázala jejich bezpečnost jako "nové potraviny". Od prosince 2018 požádal Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA) o schválení pěti různých druhů hmyzu jako nových potravin.<sup>12,15,28</sup>

V zemích, kde je konzumace hmyzu tradiční, neexistují žádné regulační překážky pro jeho výrobu, uvádění na trh a spotřebu. V západních zemích však předpisy představují významnou překážku pro používání hmyzu v krmivech i potravinách. Některé členské státy Evropské unie však mají své vlastní právní předpisy. Itálie zcela zakázala jejich prodej. Finsko také zakázalo prodej hmyzích potravin, ale důvtipní podnikatelé je prodávali jako “kuchyňské ozdoby“, aby dostali své výrobky na trh. Spojené království nemá žádnou konkrétní legislativu týkající se hmyzích potravin na trhu.<sup>12,15</sup>

V USA spadá jedlý hmyz pod zákon o potravinách, léčivech a kosmetice. Hmyz je považován za potravinu, pokud je to zamýšlené použití (§ 201f). Potravinářský hmyz musí být čistý a zdravý (tj. bez nečistot, patogenů, toxinů), musí být vyroben, zabalen, skladován a přepravován za hygienických podmínek a musí být řádně označen (§ 403). Štítek by měl obsahovat vědecký název hmyzu. Hmyz musí být chován speciálně pro lidskou potravu v souladu se současnou správnou výrobní praxí.<sup>25</sup>



## 4. JEDLÉ DRUHY HMYZU

Hmyz je jednou z nejrozmanitějších skupin živočichů na planetě, obývá téměř všechny suchozemské a vodní ekosystémy planety a tvoří přibližně polovinu celkové živočišné biomasy. Hmyz patří mezi nejhojnější a nejspecifičtější skupiny zvířat, s více než jedním milionem popsanych druhů. S ohledem na životní cyklus se hmyzu dělí na holometabolní hmyz, který prochází skutečnou metamorfózou z vajíčka nebo embrya přes larvu až kuklu na dospělého jedince a hemimetabolní hmyz procházející neúplnou metamorfózou z vajíčka přes nymfu na dospělého jedince.<sup>9,22</sup>

Přibližně 2000 druhů hmyzu je považováno za jedlé a toto číslo se neustále zvyšuje. Běžně konzumovaný hmyz zahrnuje brouky (*Coleoptera* 31 %), housenky (*Lepidoptera* 18 %), mravence, včely a vosy (*Hymenoptera* 14 %), kobylky, sarančata a cvrčky (*Orthoptera* 13 %), cikády, ploštice, mšice (*Hemiptera* 10 %), termity (*Isoptera* 3 %), vážky (*Odonata* 3 %) a mouchy (*Diptera* 2 %) a ostatní druhy (6 %). Mnoho hmyzu může být konzumováno jako vajíčka, larvy, kukly nebo dospělí jedinci, i když ne každý hmyz je jedlý ve všech vývojových stádiích, a proto se jedlá stádia rozlišují mezi taxony. Jedlý hmyz různých řádů se konzumuje v různých fázích svého životního cyklu. Prakticky všichni motýli a můry (*Lepidoptera*) jsou konzumovány v larválním stádiu známém jako housenky. Blanokřídlí jsou z velké části konzumováni ve svých larválních nebo kuklových stádiích. Hmyz z řádu *Coleoptera* se konzumuje jako dospělí brouci i jako larvy, zatímco hmyz patřící do řádu *Orthoptera*, *Homoptera*, *Isoptera* a *Hemiptera* se konzumuje hlavně v dospělých stádiích.<sup>4,7,9</sup> Evropská unie v roce 2015 definovala hmyz jako nový zdroj potravy a identifikovala několik druhů hmyzu, které by mohly být použity pro lidskou spotřebu, a to například cvrček domácí (*Acheta domestica*), cvrček polní (*Gryllus assimilis*), cvrček pruhovaný (*Gryllodes sigillatus*), saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*), potěmník moučný (*Tenebrio molitor*), potěmník stájový (*Alphitobius diaperinus*), zavíječ voskový (*Galleria mellonella*) a bourec morušový (*Bombyx mori*).<sup>8,25,26</sup> Ilustrační obrázky těchto nejvýznamnějších druhů hmyzu jsou uvedeny v příloze této práce.

Druhy hmyzu, které se staly nejčastěji konzumovanými, jsou populární díky své velikosti a dostupnosti. V tropických oblastech je snazší sbírat jedlý hmyz než v mírných pásmech, protože hmyz je větší, dostupný po celý rok a často se shlukuje dohromady. Hlavním zdrojem jedlého hmyzu je stále divoká sklizeň a některý jedlý hmyz je sbírán jako návnada pro rybaření.<sup>15,20,24</sup>

Bourec morušový je nejvíce komerčně chovaný hmyz a samotné kukly byly pěstovány jak pro lidskou, tak pro zvířecí spotřebu v Číně po celá staletí. Domestikovaný bourec morušový je mnohem větší než jeho divoký protějšek a jeho přežití je zcela závislé na lidech, což naznačuje, že hmyz může být chován podobně jako jejich protějšky z řad hospodářských zvířat. Tento hmyz byl tedy domestikován kvůli jeho vedlejším produktům, i když se také konzumuje. Dalším domestikovaným hmyzem, je košenila (*Dactylopius coccus*), která poskytuje kyselinu karmínovou používanou jako červené barvivo v potravinách i ve farmaceutickém a kosmetickém průmyslu.<sup>3,17</sup>

## 4.1 Chov hmyzu

Převážná většina hmyzu na jídelníčku se sbírá ve volné přírodě. Až donedávna byl jedlý hmyz považován za nevyčerpatelný zdroj. Některé druhy jedlého hmyzu jsou však ohroženy vyhynutím v důsledku antropogenních faktorů. Sběr hmyzu člověkem může způsobit přímou konkurenci s jinými predátory, a tím podkopat životaschopnost daného druhu. Snížení počtu druhů hmyzu může mít nepříznivé účinky na jiné populace hmyzu a také na funkce ekosystému. Sběr jedlého hmyzu může představovat problém pro poskytování některých základních ekosystémových služeb, jako je opylování a kompostování, zejména pokud komercializovaný sběr nevěnuje dostatečnou pozornost udržitelnému hospodaření. Je tedy životně důležité, aby byl sběr z přírodních populací dobře řízen, stejně jako v případě rybolovu, aby se zajistilo, že populace budou udržovány na stabilní úrovni s cílem chránit jak cílové druhy, tak složité potravní sítě, ve kterých žijí.<sup>7,12</sup>

V reakci na propagaci hmyzu jako potravin a krmiv Organizací OSN pro výživu a zemědělství je nyní chov hmyzu rostoucím průmyslem po celém světě. Hmyz se pěstuje v zajištěných izolovaných od jejich přirozených populací, tato metoda má své výhody i nevýhody. Na jedné straně je to mnohem produktivnější metoda výroby, na druhou stranu, držení hmyzu v uzavřených prostorách často vede k různým nežádoucím účinkům. Mezi nimi je například genetický drift (změny v genetických zdrojích populací z generace na generaci). Z rozmanitosti celosvětově konzumovaného hmyzu se v současné době vyvíjí méně než 20 pro použití v systémech hromadné výroby. Mezi oblíbené druhy patří cvrčci, kobylinky, housenky a brouci. Zdá se, že tyto druhy jsou vybírány z několika klíčových důvodů: snadnost chovu, levný zdroj potravy a vysoká míra reprodukce. Mezi další faktory ovlivňující proces chovu patří teplota,

světlo/osvětlení, vlhkost, větrání, dostupnost potravy a vody, složení a kvalita potravy a také mikrobiální kontaminace.<sup>4,12,22,29</sup>

Příkladem chovu hmyzu pro lidskou spotřebu je chov cvrčků na dvorcích v několika tropických zemích jihovýchodní Asie, včetně Laosu, Thajska a Vietnamu. V mírných pásmech je chov velkého množství cvrčků, kobylek a moučných červů prováděn především rodinnými podniky. Většina tohoto hmyzu se spotřebuje jako krmivo pro domácí zvířata, zatímco produkce pro lidskou spotřebu je malá. Cvrčci a nosatci palmoví jsou v Thajsku masově chováni, ale nejsou ideálním druhem, protože jsou chováni na vysoce kvalitním kuřecím krmivu. Většina systémů živočišného chovu a zemědělské výroby má určitou úroveň automatizace, což snižuje náklady na manuální práci. To není případ většiny hmyzích farem, kde je k dokončení úkolů, jako je krmení, třídění a čištění, stále nutná manuální práce. Tato závislost na manuální práci znamená, že hmyz chovaný na farmách je drahý. Aby byl hmyz atraktivní alternativou ke zdrojům bílkovin, jako je hovězí a drůbeží maso, musí být dále rozvíjena automatizace, aby se snížila cena konečného produktu.<sup>7,15,22</sup>

## 5. NUTRIČNÍ SLOŽENÍ JEDLÝCH DRUHŮ HMYZU

Hmyz je vysoce výživným zdrojem potravy s vysokým obsahem bílkovin (35-61 %), tuků (13-33 %), vitamínů, minerálů a vlákniny (ve formě nerozpustného chitinu). Jedlý hmyz je vysoce hodnotným alternativním zdrojem bílkovin, který vykazuje vysoce kvalitní složení živin s potenciálně zdraví prospěšnými složkami. Obecně platí, že hmyz má vysokou nutriční hodnotu, protože je bohatý na bílkoviny a mono- a polynenasycené mastné kyseliny. Při analýze 78 druhů hmyzu byla vypočítána jeho kalorická hodnota v rozmezí od 293 do 762 kcal na 100 g sušiny.<sup>1,7,9,18</sup> Kromě makroživin je některý hmyz také známý pro svůj bohatý obsah minerálů a vitamínů. Nutriční profil jedlého hmyzu závisí na druhu a může být velmi variabilní. Dokonce i v rámci stejné skupiny druhů hmyzu se nutriční hodnota může lišit v důsledku stravy, metamorfního stadia, pohlaví, stanoviště a podmínek prostředí.<sup>1,7,10</sup>

### 5.1 Proteiny

V průměru se obsah bílkovin v sušině jedlého hmyzu pohybuje mezi 35 % (termity) a 61 % (cvrčci, kobylky, sarančata) nebo 10–25 % v čerstvé hmotnosti. Obsah bílkovin hmyzu závisí především na typu stravy a stupni metamorfózy a je obecně v podobném rozmezí jako u vepřového a hovězího masa (40–75 g/100 g sušiny).<sup>1,7,14</sup> Proteiny nalezené v jedlých druzích hmyzu obsahují vysoké množství esenciálních aminokyselin včetně lysinu, tryptofanu, threoninu a fenylalaninu. Existují určité výjimky, protože některé druhy nebo řády obsahují nedostatečné množství těchto aminokyselin; například *Diptera* (mouchy, komáři a moskyti) mají nedostatek leucinu a cysteinu a *Hemiptera* (štěnice, mšice a cikády) obsahují nízké množství lysinu, fenylalaninu a valinu. Po posouzení aminokyselinového složení jedlých druhů hmyzu je třeba poznamenat, že většina tohoto hmyzu obsahuje všechny esenciální aminokyseliny.<sup>3,7,9</sup>

Lze konstatovat, že jedlý hmyz obecně a zejména druhy z řádu *Orthoptera* (kobylky, cvrčci, sarančata) jsou bohaté na bílkoviny a představují cenný alternativní zdroj bílkovin. Například konzumace 100 g housenek poskytuje 76 % doporučeného denního příjmu bílkovin a téměř 100 % doporučeného denního příjmu vitamínů pro člověka. Zvýšení příjmu bílkovin prostřednictvím konzumace hmyzu může významně zvýšit nutriční kvalitu lidské stravy. Kromě toho jsou hmyzí bílkoviny vysoce stravitelné, o něco hůře stravitelné než vaječné bílkoviny, ale lépe než rostlinné bílkoviny. Nutriční kvalita hmyzího proteinu je tedy slibná

ve srovnání s kaseinem a sójou, ale může být ještě vyšší pokud bude odstraněn chitin (složka exoskeletu).<sup>7,9,13,14</sup>

Vystavení teplotám denaturace, jako jsou teploty používané během vaření, mohou buď zvýšit, nebo snížit stravitelnost bílkovin. Změna stravitelnosti proteinu je závislá především na transformaci proteinu (strukturální změny, jako je denaturace, síťování a interakce s lipidy a sacharidy) během procesu zahřívání nebo metody zpracování. Kromě toho může použití vysokých teplot také inaktivovat antinutriční sloučeniny, jako jsou inhibitory trypsinu. Ke zvýšení stravitelnosti nativních proteinů může dojít prostřednictvím rozvinutím polypeptidového řetězce, čímž se protein stává náchylnějším k trávicím enzymům. Studie ukázaly, že na obsah bílkovin a stravitelnost mají vliv vykuchání, vaření, pečení, smažení, vaření v troubě, vakuové vaření, sušení a fermentace. Vykuchání, které se provádí u některých druhů hmyzu, je odstranění cizí hmoty, trávicích zbytků hmyzu a odstraněním křídel, nohou a hlavy v závislosti na druhu a může ovlivnit obsah živin.<sup>6</sup>

## 5.2 Lipidy

Druhou nejhojnější nutriční složkou hmyzu jsou lipidy, které mohou tvořit od 4 % (vejce komárů) do 77 % (můra *Phassus triangularis*) sušiny hmyzu.<sup>1,9,21</sup> Lipidy se nejčastěji nacházejí v tukovém tělese obklopujícím hmyzí střevo, které je centrálním zásobníkem energie a důležitým místem metabolismu hmyzu. Lipidy v hmyzu pocházejí z jejich stravy nebo jsou syntetizovány hmyzem. Tyto lipidy jsou uloženy v tělesném tuku, degradovány, zpracovány a poté transportovány na místo použití.<sup>13,26</sup> Obecně platí, že obsah lipidů hmyzu je vyšší v larválních stádiích a v kuklách než v dospělých jedincích.<sup>1,9,21</sup>

Tuk je v hmyzu přítomen v několika formách. Triacylglyceroly tvoří asi 80 % tuku a slouží jako energetická rezerva pro období s vysokou energetickou náročností, jako jsou delší lety. Fosfolipidy jsou druhou nejdůležitější skupinou a hrají roli ve struktuře buněčných membrán. Obsah fosfolipidů v tuku je obvykle nižší než 20 % a liší se podle životního stadia a druhu hmyzu. Další typy lipidů přítomné v menším množství zahrnují cholesterol, parciální glyceridy, volné mastné kyseliny a estery. Několik faktorů, jako je druh, pohlaví, reprodukční fáze, roční období, strava a stanoviště, jednotlivě nebo v kombinaci, může ovlivnit obsah tuku hmyzu. Podle druhu stravy se mění i obsah cholesterolu.<sup>1,13,14,18</sup>

Hmyz také obsahuje mastné kyseliny s vysokou nutriční hodnotou, včetně nasycených, mononenasycených a polynenasycených mastných kyselin. Patří mezi ně kyselina olejová, linolová,  $\alpha$ -linolenová, laurová a palmitová, které mají pozitivní vliv na lidské zdraví. Hmyz obsahuje vyšší hodnoty esenciálních mastných kyselin než živočišné tuky, s vysokou kvalitou, zejména na omega-3 mastné kyseliny s dlouhým řetězcem (např. kyselina  $\alpha$ -linolová).<sup>9,19,21</sup> Profil mastných kyselin jedlého hmyzu se zdá být obecně podobný profilu živočišných tuků a rostlinných olejů, hmyz obsahuje obzvláště vysoké množství nenasycených mastných kyselin, jejichž hladiny představují až 75 % celkového obsahu mastných kyselin. Studie ukázaly, že složení nenasycených omega-3 a omega-6 mastných kyselin v moučných červech je srovnatelné se složením ryb (například makrela tichomořská nebo tuňák černoploutvý) a překračuje hodnoty pro skot a prasata.<sup>4,7,14</sup>

Většina hmyzích lipidů je tekutá při pokojové teplotě (25 °C), tudíž se jedná o "hmyzí olej". Tyto oleje jsou bohaté na esenciální nenasycené mastné kyseliny, jako je kyselina linolová, kyselina  $\alpha$ -linolenová a omega-3. Tekutá povaha hmyzích olejů je činí ideálními pro použití v majonézách a olejích na smažení. Hmyzí lipidy, které jsou pevné při pokojové teplotě, se nazývají "hmyzí tuk". Pevné skupenství tohoto hmyzího tuku propůjčuje vysoký obsah nasycených mastných kyselin v rozmezí od 57 do 75 % z celkového množství, což je zvláště zajímavé pro použití v těstovinách, cukrovinkách a margarínech.<sup>13</sup>

### 5.3 Sacharidy

Sacharidy v hmyzu existují hlavně ve dvou formách: chitin (5-20 % sušiny) a glykogen. Chitin je polymer N-acetyl-D-glukosaminu, který je primární složkou exoskeletu, zatímco glykogen je zdrojem energie uloženým v buňkách a svalových tkáních. Obsah sacharidů v jedlém hmyzu se pohybuje od 7 % u kněžic až po 16 % u cikád.<sup>1,4,21</sup>

Chitin je považována za vlákninu a obvykle představuje mezi 12-137 mg/kg sušiny což představuje přibližně 10 % suché hmotnosti závisí však na druhu hmyzu a vývojovém stádiu. Čistý chitin obsahuje přibližně 90 % vlákniny.<sup>5,7,9</sup> Průměrný obsah vlákniny se pohybuje od 5 % pro *Isoptera* (termity) do 14 % pro *Hemiptera* (ploštice). Nejvyšší obsah vlákniny mají černí mravenci *Polyrhachis vicina* (*Hymenoptera*) a larvy můry *Latebraria amphipyrioides* (*Lepidoptera*) s 28 % a 29 %. Druhy s nejnižším obsahem vlákniny zahrnují larvy

*Aegiale hesperiaris* (Lepidoptera) s 0,1 % a larvy včely medonosné *Apis mellifera* (Hymenoptera) s 1,2 %.<sup>14</sup>

Odstranění chitinů z hmyzu před konzumací by mohlo zlepšit kvalitu a biologickou dostupnost bílkovin ve stravě; například stravitelnost bílkovin u včel je 72 % s chitinem, ve srovnání s 94 % bez něj.<sup>9</sup> Chitin je považován za nestravitelnou vlákninu, přestože enzym chitináza se nachází v lidských žaludečních šťávách. Bylo však zjištěno, že tento enzym může být neaktivní, například u lidí v evropských zemích. Aktivní chitinázová odezva v těle převažuje mezi lidmi z tropických zemí, kde má konzumace hmyzu dlouholetou tradici.<sup>1,18,19</sup>

V posledních letech chitin a jeho deriváty - jako zdroj s vysokým potenciálem, stejně jako mnoho funkčních substrátů - vyvolaly atraktivní zájem o různé oblasti, jako je biomedicínský, farmaceutický, potravinářský a environmentální průmysl. Mají vynikající antioxidační, antimikrobiální i protinádorové účinky. Je také známo, že chitin je nízkokalorický a má léčivé vlastnosti. Zároveň je chitin zajímavou složkou pro potravinářský průmysl a v současné době je extrahován ze schránek korýšů.<sup>4,26,30</sup> Jak chitin, tak jeho deacylovaná forma chitosan mohou mít příznivé účinky na kardiovaskulární zdraví, zdraví tlustého střeva, imunitu, snížení cholesterolu a hojení ran. Chitin může podporovat selektivní růst důležitých bakterií v lidské střevní mikroflóře.<sup>1,7,19</sup>

## 5.4 Vitamíny

Mikroživiny, jako jsou minerály a vitamíny, jsou nejvariabilnější nutriční složkou jedlého hmyzu a mohou být přítomny ve vysokých nebo nízkých množstvích v závislosti na stravě hmyzu.<sup>9,27</sup> Pokud jde o obsah vitamínů, hmyz je zdrojem thiaminu (B1), riboflavinu (B2), kyseliny pantothenové (B6), biotinu (B7), vitamínu D a K. Koncentrace vitamínů A, C a E jsou však většinou nízké.<sup>1,7,14,21</sup> Obsah vitamínů, stejně jako u minerálů, je ovlivněn stravou hmyzu a je obecně vyšší u hmyzu chovaného v komerčních farmách, kde je jejich potrava obohacena vitamíny a minerály. Krmivo obohacené těmito živinami tak zvyšuje nutriční hodnotu hmyzu.<sup>9</sup>

Hmyz řádu *Orthoptera* (kobylinky, cvrčci, sarančata) a *Coleoptera* (brouci) je bohatý na kyselinu listovou. Na druhou stranu 100 g hmyzu není účinným zdrojem vitamínu A, vitamínu C, niacinu a ve většině případů thiaminu. Sto gramů mletých a lyofilizovaných larev můry morušové (*Bombyx mori*) krmených listy moruše a listy stonkového salátu obsahoval téměř 10 mg vitamínu E. Bylo zjištěno, že hmyzí čaj vyrobený z exkrementů

hmyzu obsahoval až 15 mg vitamínu C na 100 g. Vzhledem k tomu, že Organizace pro výživu a zemědělství doporučuje denní příjem 45 mg vitamínu C pro dospělé, denní spotřeba 300 ml tohoto hmyzího čaje pokrývá doporučené denní množství vitamínu C ve výživě dospělých.<sup>14,16</sup>

## 5.5 Minerály

Některé druhy hmyzu (např. cvrčci, kobylky, mouční červi a termiti) jsou bohaté na železo, zinek, vápník, měď, fosfor, hořčík, mangan a selen. Bezobratlí bez mineralizované kostry mají velmi nízký obsah vápníku. Většina jedlého hmyzu má podobný obsah železa jako maso.<sup>1,2,21,31</sup>

Byly zjištěny velké rozdíly v obsahu minerálů mezi různými jedlými druhy hmyzu. S výjimkou larev domácích mušek má většina hmyzu nízký obsah sodíku a draslíku. Obecně platí, že hmyz má nízký obsah sodíku, pouze některé housenky (řádu *Lepidoptera*) mají vysoký obsah sodíku na 100 g a ve dvou případech dokonce překračují maximální denní příjem 1500 mg sodíku. Vysoké hladiny hořčíku byly prokázány u cvrčků a sarančat a bylo zjištěno, že prášek z cvrčků je bohatý na hořčík, zinek a měď. Na hořčík jsou zvláště bohaté ploštice (*Hemiptera*) a některé druhy řádu *Orthoptera* (kobylky, cvrčci, sarančata). Cvrčci a termiti obsahují vysoké koncentrace železa a zinku.<sup>7,9,14</sup> Zejména včely medonosné, termiti, mravenci a nosatci palmoví, z nichž všechny lze sklízet z volné přírody nebo polokultivovat v tropických zemích, obsahují vysoké množství železa (19 mg, 12 mg, 8 mg a 12 mg v tomto pořadí, na 100 g), a proto by mohly být doporučeny jako potravinový zdroj v boji proti nedostatku železa. Zinek, prvek, který byl úspěšně použit v kombinaci s doplňováním železa k boji proti tomuto nedostatku, je pozoruhodně vysoký u cvrčka domácího (11 mg na 100 g) a moučného červa (6 mg na 100 g), dva druhy, které jsou v současné době chovány v průmyslovém měřítku. Proto mají tyto druhy potenciál bojovat proti podvýživě v rozvojových zemích. Předpokládá se však, že měď narušuje vstřebávání železa, a proto vysoký obsah mědi u termitů, nosatců palmových a moučných červů (0,84 mg, 0,97 mg a 0,91 mg v tomto pořadí, na 100 g) může v této souvislosti omezit jejich užitečnost.<sup>29</sup>



## 5.6 Stravitelnost

Biologická dostupnost živiny se týká množství živiny uvolněné ze struktury potravy během procesu gastrointestinálního trávení a množství které lze absorbovat. Z hlediska výživy a zdraví jsou proto klíčovými aspekty stravitelnosti a metabolizovaný obsah potravy, nikoli jejich obsah v potravě. Biologická hodnota proteinu je ukazatelem toho, jak dobře je protein organismem využit. Různé faktory vykazují účinky na biologickou dostupnost jedlých živin souvisejících s hmyzem, počínaje chovem hmyzu (kvalita krmného substrátu, podmínky prostředí, stav vývoje) a zpracováním potravin (fyzikální, chemické anebo biologické změny) až po konzumaci potravin na bázi hmyzu a následné trávení, adsorpci a metabolismus.<sup>1</sup>

Způsob zpracování má také vliv na nutriční kvalitu (tj. hodnotu stravitelnosti, biologickou dostupnost) a vlastnosti konečného jedlého hmyzího produktu. Kromě přirozených změn v obsahu bílkovin a aminokyselin mezi různými druhy hmyzu je obsah těchto složek ovlivněn způsobem přípravy. Vaření jedlého hmyzu zvyšuje jeho stravitelnost a bioaktivitu proteinů v zažívacím traktu, stejně jako sensorickou kvalitu prostřednictvím tvorby aromatických sloučenin. Během vaření se také snižuje obsah enzymů, čímž se prodlužuje trvanlivost produktů na bázi hmyzu. Během těchto tepelných procesů (vaření, sušení, pražení a opékání) však mohou být některé živiny (např. bílkoviny, minerály) ztraceny rozpuštěním, únikem, biochemickými reakcemi nebo tvorbou nových vedlejších produktů. V některých případech může dojít i k denaturaci proteinu, destrukci aminokyselin nebo jejich modifikaci a Miliardovým reakcím. Techniky zpracování, jako je pražení, snižují obsah vlhkosti a aktivitu vody přítomné v hmyzu, čímž zpomalují mikrobiální růst, chemické a enzymatické reakce a následně prodlužují trvanlivost produktu. Minerály jsou méně citlivé na podmínky zpracování, ale mohou být ovlivněny způsobem vaření, protože se mohou během varu vyluhovat.<sup>1,6</sup>

## 6. POROVNÁNÍ HMYZU S JINÝMI POTRAVINAMI

Při porovnání 100 g hmyzu se 100 g masa (čerstvá hmotnost) je jeho energetický obsah podobný – s výjimkou vepřového masa kvůli extrémně vysokému obsahu tuku. Jedlý hmyz má vyšší obsah bílkovin než jiné živočišné a rostlinné potraviny, jako je hovězí, kuřecí maso, ryby, sójové boby a kukuřice.<sup>4,22</sup>

Termiti, kobylky, housenky, nosatci a mouchy jsou lepšími zdroji bílkovin ve srovnání s hovězím, vepřovým, kuřecím a jehněčím masem. Pokud jde o kvalitu bílkovin, bylo zjištěno, že protein cvrčka domácího (*Acheta domestica*) má srovnatelný obsah bílkovin a stravitelnost s hovězím masem a vejci a poskytuje všech 9 esenciálních aminokyselin; je také bohatším zdrojem polynenasycených tuků než hovězí maso, dodávané v ideálním poměru 3:1 omega-6 k omega-3. Cvrček domácí (*Acheta domestica*) byl také lepší než sójový protein a pokud dojde k odstranění chitinu může se zlepšit kvalita hmyzího proteinu, protože některé proteiny jsou spojeny s chitinem. Odstranění chitinu alkalickou extrakcí vedlo ke zvýšení stravitelnosti včelích bílkovin ze 72 % na 94 %. Pro představu, konzumace 100 g housenek poskytuje 76 % denního potřebného množství bílkovin a téměř 100 % denního potřebného množství vitamínů pro člověka a tři kukly bource morušového by měly být stejně bohaté na živiny jako jedno slepičí vejce.<sup>12,22</sup> Například larvy žlutých moučných červů (*Tenebrio molitor*) mají hmotnostně výrazně vyšší obsah kyseliny linolové, izoleucinu, leucinu, valinu, tyrosinu, alaninu a vitamínů (kromě vitamínu B12) ve srovnání s hovězím masem. Hladiny mědi, hořčíku, manganu a zinku u kobylek a moučných červů jsou také vyšší než u hovězího masa. Střední obsah železa u cvrčků a včel je o 180 % a 850 % vyšší (v tomto pořadí) než u hovězího masa, které má nejvyšší obsah železa. Obsah železa v hovězích vnitřnostech je však vyšší než u cvrčků. Všechny druhy hmyzu měly vyšší hladiny vápníku a riboflavinu než jakékoli maso nebo vnitřnosti.<sup>7,16,23</sup>

## 7. ZPRACOVÁNÍ A ÚPRAVA HMYZU PŘED KONZUMACÍ

Poté, co je hmyz sklizen by měl být zpracován pro lidskou spotřebu nebo jako krmivo pro hospodářská zvířata. Tradičně se hmyz konzumuje jako celek, ale může být také různě zpracováván. V případě dalšího zpracování je nejlepší metodou pro jejich humánní usmrcení opaření horkou vodou po 1–3 dnech hladovění.<sup>1,4,18</sup> Některé druhy mohou být konzumovány syrové bez nutnosti vaření nebo zpracování. Konzumace syrového hmyzu je charakterističtější spíše pro tropické země (jako například Thajsko). Pokud se hmyz konzumuje celý, tak u hmyzu jako jsou kobylky, sarančata a dospělí brouci by mělo dojít k odstranění některých částí jejich těla (například křídla a nohy) aby se zabránilo poškození střev způsobené velkými trny na holenních kostech. Zpracování do granulovaných a pastovitých forem se častěji používá v zemích, kde spotřebitelé nejsou zvyklí jíst celý hmyz. V Evropě se například vyrábí typické potraviny z homogenizovaného hmyzu, např. placičky, těstoviny a chléb.<sup>4,7,9</sup> Mletí je běžná metoda zpracování velkého počtu produktů a často se používá k přepracování hmyzu. V této formě jsou lépe přijímány spotřebiteli. Výsledné prášky a pasty jsou obvykle přidány do jiných produktů s nízkým obsahem bílkovin, aby se zvýšila jejich nutriční hodnota. Extrakce určitých složek potravy z hmyzu je také vhodnější ve společnostech, kde použití hmyzu pro potraviny nemá žádné dlouhodobé tradice. Lidé jsou často vnímaví k představě o nutriční hodnotě hmyzu, ale dávají přednost tomu, aby nevěděli, co jedí. Tento způsob zpracování hmyzu je přijatelný pro obyvatele Severní Ameriky a Evropy.<sup>4,17</sup>

Druhy hmyzu, které mají největší potenciál ke konzumaci se vyznačují vysokou nutriční hodnotou, mohou být konzumovány vcelku nebo mleté a mohou být také zakomponovány do jiných zpracovaných potravin. Tyto technologie zahrnují několik technik vaření (vaření v páře, napařování, pražení, pečení, uzení, smažení a dušení), sušení (sušení na slunci, lyofilizační sušení, sušení v troubě, fluidní sušení na lůžku a mikrovlnné sušení) a extrakci.<sup>1,6,9</sup> Hmyz lze také zmrazit, blanširovat, fritovat, marinovat, nakládat, fermentovat, drtit a zpracovávat na chutney. Každá technologie vytváří výrobky s různými sensorickými kvalitami a nutričními atributy a zlepšuje jejich trvanlivost.<sup>1,4,9,18</sup>

Obecně platí, že zpracování potravin obvykle způsobuje změny v potravinové matici, které mohou zvýšit nebo snížit biologickou dostupnost živin. Zpracování hmyzu má potenciál zlepšit nutriční kvalitu, bezpečnost, chuť a trvanlivost. V některých případech však vede k tvorbě antinutričních anebo toxických složek (jako jsou D-enantiomery aminokyselin a tvorbě Miliardových produktů), jakož i ke snížení některých nutriční vlastnosti.<sup>6</sup> Zpracování také

ovlivňuje barvu hmyzu, která se mění z původní modré/zelené/šedé na červenou (vařením), zlatou/hnědou/černou (sušením). Struktura hmyzu souvisí se způsobem vaření, ale také s vývojovou fází. Ve skutečnosti exoskelet většiny dospělého hmyzu je činí křupavými, přestože se hmyz konzumuje hlavně ve stádiu kukel, larev a nymf. Chut' a aroma hmyzu jsou velmi rozmanité, jelikož chut' je ovlivněna především feromony, které hmyz získává z prostředí a z krmiva. Výběr krmiva lze také přizpůsobit v závislosti na tom, jak chceme, aby hmyz chutnal. Pokud se hmyz opaří, je prakticky bez chuti, protože feromony se smyjí opláchnutím. Během vaření hmyz přijímá chut' a vůni ostatních ingrediencí (koření), příkladem mohou být ořechové kobylky, housenky podobné míchaným vajíčkům a citrusoví mravenci.<sup>12,18,27</sup>

## 8. EKOLOGICKÉ PŘÍNOSY KONZUMACE HMYZU

Jedlý hmyz může být schopen poskytnout ekonomické a environmentální výhody, protože se zdá být udržitelnějším a ekologičtějším zdrojem živin než ostatní zvířata.<sup>7,10,15</sup> K nasycení rostoucí světové populace bude zapotřebí podstatné zvýšení produkce potravin. Tento vývoj bude znamenat velkou zátěž pro omezené přírodní zdroje, jako je energie, voda a půda. Kromě toho mají vysokou účinnost přeměny krmiva a jejich produkce je méně závislá na půdě než dobytek, což z nich činí potraviny a krmiva šetřící zdroje, a je pravděpodobné, že produkují méně skleníkových plynů a spotřebovávají výrazně méně vody než hospodářská zvířata. Sběr a chov hmyzu lze provádět s minimálním vstupem technických nebo kapitálových zdrojů, což dává možnost získat příjem i nejchudším členům společnosti. Ve srovnání s tradičním zemědělstvím má chov hmyzu nepatrnou stopu: kilo na kilo jedlého hmyzího proteinu vyžaduje 500krát méně vody, 12krát méně krmiva a 10krát méně půdy než hovězí maso, přičemž produkuje 613krát méně skleníkových plynů.<sup>2,5,7,12</sup>

Panuje shoda, že největším přispěvatelem ke globální změně klimatu jsou emise skleníkových plynů, převážně oxidu uhličitého, oxidu dusného a metanu z fosilních paliv a zemědělských a průmyslových procesů. Emise skleníkových plynů hmyzu jsou mnohem nižší než u většiny ostatních hospodářských zvířat – například metan produkují pouze některé skupiny hmyzu, jako jsou termiti a švábi. Bylo zjištěno, že emise skleníkových plynů související s chovem jedlého hmyzu, jako jsou cvrčci, kobylky a larvy moučných červů, jsou přibližně stonásobně nižší ve srovnání s dobytkem.<sup>4,7,15</sup>

Chov hmyzu vyžaduje podstatně méně půdy a vody než chov dobytka. Sladká voda je omezený zdroj, z něhož odhadem 70 % je využíváno hospodářskými zvířaty a zemědělským průmyslem. Odhady objemu vody potřebné pro výrobu 1 kg masa jsou 2 tisíce litrů u kuřecího masa, 3,5 tisíce litrů u vepřového masa a 22–43 tisíc litrů u hovězího masa. Hmyz je výrazně efektivnější než ostatní hospodářská zvířata, přestože obsah vody potřebné k produkci 1 kg jedlého hmyzu není k dispozici, ale předpokládá se, že je podstatně nižší.<sup>7,15</sup>

Dostupnost půdy je problém, který se často objevuje při diskusi o udržitelném zemědělství. Zvýšení počtu hospodářských zvířat vyžaduje více krmiva, což zase vede k tomu, že zemědělci zvyšují množství obdělávané půdy, což často zahrnuje odlesňování nebo zvýšení používání hnojiv. V současné době odvětví živočišné výroby využívá asi 70 % dostupné zemědělské půdy po celém světě.<sup>15</sup>

Pokud jde o udržitelnost, výhodou jedlého hmyzu je, že může být chován i na vedlejších organických produktech, jako jsou různé druhy biologického odpadu, včetně hnoje, kompostu, lidského odpadu a vedlejších produktech potravinářského průmyslu, což může pomoci snížit kontaminaci životního prostředí. Nahrazení krmiva pro hmyz vedlejšími organickými produkty rovněž zvyšuje ziskovost chovu hmyzu. Vzhledem k tomu, že jedna třetina potravin vyprodukovaných ročně na celém světě končí jako odpad a většina z nich je uložena na skládky s významnými škodami na životním prostředí, masový chov jedlého hmyzu na potravinovém odpadu by mohl kombinovat potřebu produkovat stále vyšší množství bílkovin s postupy šetrnými k životnímu prostředí. To poskytuje příležitost k opětovnému zachycení a recyklaci draslíku, fosforu, dusíku a energie uložené v těchto odpadních látkách, což otevírá příležitosti k zisku z toho, co je jinak odpadem.<sup>7,12,27</sup>

Konverze organického odpadu na kompost pomocí saprofágů, jako jsou žížaly a mikroorganismy, je dobře známým postupem. Řada hmyzu, například larvy černé vojenské mouchy (*Hermetia illucens*), mouchy domácí (*Musca domestica*), a některé druhy moučných červů mohou být také použity pro tento účel. Bylo prokázáno, že mohou být chovány na fekálním odpadu, což je ideální pro pomoc při likvidaci hnoje. Larva černé vojenské mouchy je obzvláště zajímavým kandidátem na přeměnu organického odpadu. Dokáže přeměnit mléčný, drůbeží a prasečí hnůj na tělesnou hmotnost, čímž sníží hmotnost sušiny až o 58 % a související živiny, jako je fosfor a dusík, o 60–70 % a 30–50 %. Larvy také snižují počet bakterií *Escherichia coli* v mléčném hnoji a *Salmonella enterica* v kuřecím hnoji.<sup>15,17</sup>

Environmentální přínosy produkce hmyzu pro potraviny souvisejí s vysokou účinností přeměny krmiva hmyzu. Hmyz dokáže přeměnit rostlinné bílkoviny na hmyzí proteiny mnohem efektivněji než savci. Například bylo zjištěno, že cvrčci vyžadují méně než 2 kg krmiva na každý 1 kg přírůstku živé hmotnosti. Naproti tomu množství krmiva, které je obvykle zapotřebí ke zvýšení tělesné hmotnosti o 1 kg (přepočítací koeficient krmiva na maso), je 2,5 kg u kuřecího masa, 5 kg u vepřového masa a až 10 kg u hovězího masa. Úprava těchto údajů na požitelnou hmotnost ukazuje ještě větší výhodu konzumace hmyzu. Odhaduje se, že až 80 % cvrčka lze sníst a strávit, zatímco příslušné hodnoty jsou 55 % pro kuřata a prasata a pouze 40 % pro skot. Proto jsou přepočítací koeficienty krmiva na maso u cvrčků přibližně dvakrát vyšší než u kuřat a 4–12krát vyšší než u prasat a skotu.<sup>7,17</sup>

## 9. MOŽNOSTI VYUŽITÍ HMYZU

Mouka je jedním z významných produktů, které jsou z jedlého hmyzu vyráběny. Například mouka vyrobená z cvrčků je nízkotučná, bohatá na bílkoviny a vlákninu a je důležitým zdrojem vápníku, fosforu, železa, hořčíku, zinku a omega 3 a 6 mastných kyselin. Cvrččí mouka také obsahuje vysoké množství vitamínu B12. Ještě slibnější je, že cvrččí mouka neobsahuje lepek, takže je vhodná pro osoby s celiakií nebo s různým stupněm intolerance lepku. Chleby a tyčinky vyrobené z cvrččí mouky získávají přijetí na evropském trhu, protože mají příjemnou chuť, dobrou strukturu a zajímavé nutriční vlastnosti. Například nahrazení pšeničné mouky termítí moukou může mít podstatný vliv na obsah bílkovin a minerálů ve složení výrobků z této mouky.<sup>1,9</sup>

Příklady produktů pocházejících z hmyzu zahrnují chléb, sušenky, tortilly, energetické tyčinky, paštiky, omáčky, těstoviny, sladké a slané pochutiny, čokolády a masné výrobky. Dále také například hamburgery, masové kuličky, pomazánky a dresinky vyrobené z moučných červů (*Tenebrio molitor*), kteří jsou považováni za jedeny z nejchutnějších druhů hmyzu. Tyto produkty z moučných červů byly spotřebiteli dobře přijaty, protože vzhledem ke způsobu zpracování hmyzu je jejich chuť a struktura téměř nerozpoznatelné. Na trhu lze také nalézt potravinářské přísady, například prášky z moučných červů/cvrčků, pražené kořeněné moučné červy/cvrčky, moučné červy připravené s mořskou solí a pepřem nebo dokonce karamellem a cvrčky s medovou hořčicí a chilli limetkou. Dalšími produkty obohacenými o hmyzí složku mohou být lízátka, ochucené tyčinky, granula nebo sušenky. Většina společností, které vstupují do obchodu s jedlým hmyzem, začleňuje rozdrčený hmyz do svých produktů, aby obohatil obsah bílkovin a zamaskoval tak jejich viditelný hmyzí původ v těstovinách a v cereálních a energetických tyčinkách.<sup>9,12,19</sup>

Skupiny podnikatelů, vědců, labužníků a farmářů nyní pracují na tom, aby se do supermarketů dostal hmyz jako alternativní zdroj bílkovin v potravinách a krmivech pro hospodářská zvířata. Aby se podpořila pravidelná konzumace hmyzu, je důležité, aby byl začleněn do vhodných potravinářských produktů, které by byly stále lákavé ke konzumaci. V současné době se totiž pozornost zaměřuje na novost hmyzu; navrhuje se však, aby se marketingová strategie přesunula k takové, kde je hmyz zobrazován jako normální a každodenní potravina, aby zůstal přitažlivý ke konzumaci i poté, co tato novost odezní.<sup>3,12</sup>

Produkce hmyzích bílkovin není omezena na konvenční zemědělské metody; v posledních letech probíhaly výzkumy kultivace hmyzu v suspenzi v bioreaktoru. Bioreaktor je uzavřený systém provozovaný za kontrolovaných podmínek a má tu výhodu, že produkuje hmyzí protein reprodukovatelné kvality s potenciálem pro masovou produkci. Kromě toho existuje menší riziko kontaminace a složení a biomasa buněk mohou být změněny a kontrolovány použitím specifických typů tkání. Tímto způsobem mohou být kultivovány buňky s optimálními požadavky a potenciálně snížit množství nežádoucích složek, jako je chitin.<sup>3</sup>

Další možností využití hmyzu je jeho použití v krmivech pro zvířata. Tento hmyz musí být stále chován v souladu s konvenčními předpisy pro hospodářská zvířata, což znamená, že nemůže být krměn žádnou formou biologického odpadního produktu, což snižuje enviromentální přínos chovu hmyzu. V západních společnostech má jedlý hmyz větší potenciál jako krmivo pro zvířata než jako lidská potrava kvůli kulturním předsudkům spojeným se škodlivým hmyzem, ačkoli bohaté vlastnosti jedlého hmyzu by měly být prospěšné pro lidské zdraví. V mírných pásmech je hmyz chován převážně pro domácí zvířata. Nejčastěji chovaným hmyzem určeným pro krmivo jsou mouční červi (*Tenebrio molitor*). Mezi další chované hmyz patří cvrčci a kobylinky.<sup>4,15,31</sup>

Je známo, že hmyz obsahuje řadu látek, včetně proteinů, terpenoidů, polyfenolů, glykosidů, antioxidantů a sloučenin síry, které mají imunologické, analgetické, antibakteriální, antirevmatické nebo anestetické vlastnosti. V poslední době byly v centru pozornosti bioaktivní složky v produktech na bázi hmyzu a jejich potenciál jako terapeutických činidel pro zajištění požadovaných zdravotních funkcí. Tradičně se hmyzí sekrety, určité části/tkáně a rozemleté tělo používají v různých léčebných aplikacích, včetně prevence nebo léčby syndromu získaného selhání imunity (AIDS), rakoviny, zánětů a infekčních onemocnění. Mezi další příklady toho, jak může hmyz sloužit jako nutraceutika (prevence chorobných stavů), patří použití horkých nálevů z rozdrcených švábů (*Periplaneta americana*) k léčbě astmatu, konzumace surového nebo vařeného čínského brouka (*Palembus dermestoides*) k léčbě sexuální impotence, zánětu zraku nebo revmatismu. Chrobák v sirupu s vodou může být použit k boji proti nachlazení, horečce nebo chřipce. Hmyz má dokonce potenciál být použit jako potravinová látka proti rakovině. Některé druhy hmyzu obsahují bioaktivní sloučeniny, které jsou cytotoxické pro nádorové buňky, což znamená, že způsobují zánik zmutovaných buněk. Některé studie ukázaly, že použití těchto sloučenin pocházejících z hmyzu jako alternativy ke konvenčním terapeutickým látkám může do jisté míry bojovat proti vybraným typům rakoviny.<sup>9,16</sup>



Kultury, které konzumují hmyz, mají také tendenci spojovat je s různými zdravotními přínosy nad rámec výživy. Například určitý druh housenky má údajně imunostimulační a protirakovinné vlastnosti. V tradiční čínské medicíně je samec *Antheraea pernyi* považován za afrodisiakum. Existují určité důkazy, které naznačují, že termiti (*Macrotermes annandalei*) mohou mít imunostimulační účinky. Dalším hmyzem, o kterém se historicky předpokládá, že má příznivé účinky na zdraví, je bourec morušový (*Bombyx mori*).<sup>31</sup>

## 10. RIZIKA KONZUMACE HMYZU

Vzhledem k tomu, že používání jedlého hmyzu jako zdroje potravy přilákalo rostoucí zájem po celém světě, se staly problémem otázky bezpečnosti potravin a potenciální rizika konzumace hmyzu. Znalosti o bezpečnosti potravin ve vztahu k používání hmyzu při výrobě potravin jsou omezené, což bude pravděpodobně překážkou pro zavedení a propagaci používání hmyzu v lidské stravě v západních zemích. Nicméně, ne každý hmyz je bezpečný k jídlu. Hmyz v současné době spadá do kategorie "nové složky potravin"; aby se však mohl dostat na komerční trh, je třeba se zabývat otázkami bezpečnosti potravin. Existují pouze vybrané druhy hmyzu, které jsou jedlé, neboť mnohé z nich jsou nechutné, jedovaté nebo způsobují alergické reakce, a proto by měl být vytvořen a legalizován definovaný seznam jedlého hmyzu, aby bylo možné obchod kontrolovat.<sup>3,4,7</sup>

Vzhledem k potenciálním biologickým, chemickým, fyzikálním, alergickým a toxickým rizikům spojeným s konzumací hmyzu, je ideální konzumovat hmyz, který byl vychován na farmách za kontrolovaných podmínek a pro který byly dodržovány přísné hygienické a dezinfekční protokoly v celém řetězci výroby.<sup>4,9</sup> Koncentrace kontaminantů v jedlém hmyzu je ovlivněna druhem hmyzu, fází sklizně, použitým substrátem krmiva a výrobními metodami. Zejména použití zdravotně nezávadného krmného substrátu je zásadní pro bezpečnou konzumaci jedlého hmyzu. Obecně platí, že akumulace toxinů z krmiva je jednoduchá strategie přežití v evolučním procesu, ale některé z těchto sloučenin mohou ztratit své vlastnosti procesem vaření.<sup>7,28,32</sup> Při použití vedlejších organických produktů jako krmiv pro hmyz je otázkou, jaký druh je vhodný a jak se hmyz vypořádává s možnými chemickými kontaminanty, jako jsou dioxiny, polychlorované bifenyly, těžké kovy, pesticidy, fungicidy a antibiotika. Zpracování hmyzu může mít vliv na tvorbu toxických látek nebo procesních kontaminantů, jako jsou heterocyklické aromatické aminy, polyaromatické uhlovodíky, akrylamid, chlorpropanoly a furany.<sup>25</sup>

V zásadě existují čtyři způsoby, jak může být hmyz rizikový pro konzumaci, tj. samotný hmyz může být toxický; hmyz může během svého životního cyklu získat toxické látky nebo lidské patogeny ze svého prostředí; hmyz se mohl po sklizni zkažit; spotřebitelé mohou mít alergickou reakci. Hmyz může obsahovat škodlivé sloučeniny neboli "hmyzí toxiny". Existují dvě kategorie toxického hmyzu: kryptotoxické a fanerotoxické. Kryptotoxický hmyz obsahuje toxické látky buď z přímé syntézy, nebo z akumulace ze stravy. Tyto látky mohou být lokalizovány ve specifických strukturách nebo rozptýleny v různých částech těla.<sup>15,25,32</sup>

Kryptotoxický hmyz, nemá externí sekreční aparát a je toxický až po požití. Fanerotoxický hmyz má specifické orgány, které syntetizují toxiny, jako v případě včel a mravenců. Tyto látky jsou obecně inaktivovány v zažívacím traktu. Některé druhy hmyzu, které produkují toxiny, varují své predátory živým zbarvením a vzory. Běžně konzumované druhy hmyzu nejsou ani v jedné z těchto kategorií.<sup>5,15,32</sup>

Při práci s hmyzem jako novým zdrojem potravin je nezbytné posoudit možná rizika, včetně jejich alergenního potenciálu. Většina případů alergie na hmyz je způsobena bodnutím hmyzu patřícího do řádu blanokřídlých *Hymenoptera* (vosy, včely), ačkoli kousnutí hmyzem sajícím krev, jedovaté trny nebo chlupy a obranné sekrety mohou také vyvolat alergické reakce. Hmyz může být zdrojem alergenů při kontaktu, inhalaci a orálním požití. Aeroalergeny, tedy těkavé látky uvolňované z hmyzu jsou nejčastěji přítomny u švábů, moučných červů, bource morušového a cvrčků a je prokázáno že dlouhodobá expozice může vést k respirační senzibilizaci až u 50-60 % jedinců a k rozvoji inhalačních alergií.<sup>8,27</sup>

Při zkoumání alergenního potenciálu nových zdrojů bílkovin je důležité studovat jeho taxonomický vztah se známými alergenními zdroji, aby bylo možné identifikovat možné rizikové skupiny. Pokud jde o konzumaci hmyzu, alergenní riziko by mohlo vzniknout především v důsledku možné zkřížené reaktivity s jinými členovci, zejména korýši (jeden z nejčastějších spouštěčů potravinové alergie v západním světě), roztoči (jeden z nejčastějších zdrojů vnitřních alergenů zodpovědný za rozvoj alergických respiračních reakcí) a měkkýši. Jedlý hmyz a korýši jsou taxonomicky mnohem blíže, než se dříve myslelo a zkřížená reaktivita se zdá být reálnou možností. Posouzení klinického významu zkřížené reaktivity mezi hmyzem a roztoči je obzvláště důležité, protože pokud se u jedinců citlivých na roztoče rozvine potravinová alergie na hmyz, mohlo by být ohroženo používání hmyzu jako potravy kvůli vysoké míře jedinců citlivých na roztoče.<sup>8,12</sup>

Většina alergických reakcí souvisejících s hmyzem je spojena s moučným červem (*Tenebrio molitor*), protože moučný červ obsahuje tropomyosin, vláknitý protein, který se také vyskytuje u korýšů a členovců a který reaguje s protilátkami imunoglobulinu E u pacientů alergických na korýše, členovce a roztoče. Pokud jde o další druhy hmyzu způsobující alergické reakce, nejčastěji se vyskytly u kukly bource morušového, kobylek a sarančat. To však nutně neznamená, že se jedná o druhy, které s největší pravděpodobností způsobí alergické reakce, protože konzumovaný typ a druhy se v jednotlivých oblastech značně liší.<sup>8,9</sup>

Hmyz má velmi rozmanitou mikroflóru jak v trávicím traktu, tak na vnějším povrchu; tato mikrobiální společenstva jsou formována chovem a životními podmínkami hmyzu, jakož i během přípravy ke spotřebě. Protože hmyz je přenašečem patogenních mikroorganismů, je důležité zajistit mikrobiologickou bezpečnost hmyzu určeného ke konzumaci.<sup>9,14,33,34</sup> Volně žijící hmyz je s větší pravděpodobností vystaven mikrobiologickým kontaminantům, zatímco chov hmyzu na farmách umožňuje kontrolovat a zaručit výrobní podmínky, a tím snížit riziko mikrobiální kontaminace.<sup>7,9,14</sup> Patogenní bakterie hmyzu jsou považovány za neškodné pro zvířata a lidi vzhledem k tomu, že hostitelé jsou tak fylogeneticky odlišní. Riziko infekcí při kterých dochází k přenosu nemocí z člověka na zvířata a zpět by se mohlo zvýšit při neopatrném používání odpadních produktů, nehygienické manipulaci a přímém kontaktu mezi chovaným hmyzem a hmyzem mimo farmu.<sup>32,33</sup>

Bakterie tvořící spory a enterobakterie byly zaznamenány u moučných červů a cvrčků, přičemž vyšší množství bylo nalezeno u hmyzu, který byl rozdrcen - pravděpodobně kvůli uvolnění bakterií ze střev. Bakterie u chovaných larev žlutých moučných červů (*Tenebrio molitor*) a domácích cvrčků (*Acheta domesticus*) lze částečně eliminovat vařením hmyzu ve vodě po dobu několik minut, ale bylo zjištěno, že spory tento proces přežijí, což může způsobit, že spory by mohly vyklíčit a bakterie mohou růst za příznivých podmínek. Samotné pražení nezabilo všechny *Enterobacteriaceae*; proto se před pražením doporučuje několik minut varu. Alternativní konzervační techniky jsou sušení a okyselení. Analýza jedlého hmyzu pro belgický trh zjistila, že všechny neošetřené čerstvé vzorky hmyzu obsahovaly aerobní mezofilní mikroorganismy, kvasinky a plísně vyšší než limity správné výrobní praxe pro syrové maso; zavedením jednoduchého kroku blanšírování při zpracování se však snížila úroveň pod přijaté limity. Další výzkum naznačuje, že zacházení s hmyzem stejně jako s jinými potravinami živočišného původu během zpracování (tj. mytí a důkladné zahřívání) dostatečně snižuje riziko onemocnění přenášených bakteriemi.<sup>15,33</sup> Nejčastěji se vyskytujícími bakteriálními patogeny jsou *Salmonella*, *Campylobacter*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* a *Staphylococcus aureus*.<sup>3,9</sup> Studie z Thajska uvádí dále přítomnost rodů *Proteus*, *Clostridium*, *Streptococcus*, *Vibrio*, *Micrococcus*, *Salmonella*, *Shigella*, *Lactobacillus* a *Acinetobacter*.<sup>7,32</sup>

Hmyz také obsahuje velké množství virů a mnohé z nich jsou pro hmyz patogenní, tj. způsobují onemocnění a mohou vést k úmrtnosti a kolapsu kolonií. Většina virů hmyzu je specifická na úrovni čeledi nebo druhu, a proto jsou patogenní pouze pro bezobratlé, a nikoli pro lidi nebo jiné obratlovce, jako jsou hospodářská zvířata a ptáci. Tyto viry specifické pro hmyz jsou však

hlavním problémem pro producenty, kteří chovají hmyz pro potraviny a krmiva, protože mohou způsobit ztrátu produkce.<sup>32</sup>

Jedlý hmyz mohou také ovlivnit plísně a kvasinky, jako jsou *Aspergillus*, *Candida*, *Fusarium*, *Kodamaear*, *Lichtheimia*, *Penicillium*, *Tetrapispora*, *Trichoderma* a *Trichosporon*. Mykotoxiny produkované těmito plísněmi mohou u lidí způsobit alergickou reakci, jelikož jsou vysoce toxické. Mykotoxiny také mohou pocházet z kontaminace krmného substrátu, na kterém je chován jedlý hmyz. U jedlého hmyzu byly zjištěny různé mykotoxiny, přičemž největší zdravotní obavy způsobují aflatoxiny jako prokázané karcinogeny. Mykotoxiny mohou být obtížně odstranitelné z potravin jelikož jsou odolné vůči procesům tepelné sterilizace.<sup>7,9</sup>

Stejně jako produkty z jiných zvířat mohou potraviny a krmiva pocházející z hmyzu obsahovat nebezpečné chemické látky. Jedná se například o těžké kovy, organochloriny a dioxiny, polybromované difenylethery, mykotoxiny a rostlinné toxiny. Těžké kovy byly nalezeny u hmyzu například v tuku, exoskeletu, reprodukčních orgánech a trávicím traktu, kde se hromadí. Je známo, že expozice nízkým hladinám těžkých kovů, jako je olovo, kadmium, rtuť a arsen, způsobuje toxické a nepříznivé účinky na zdraví jak u zvířat, tak u lidí. Přenos těžkých kovů ze substrátů (např. organické hmoty, rostliny) na hmyz je zřejmě nejvýznamnějším způsobem kontaminace. Akumulace závisí na druzích hmyzu, růstové fázi a příslušném kovu. Bylo prokázáno, že arsen a kadmium se hromadí v larvách žlutých moučných červů a černých vojenských mouchách.<sup>7,32,33</sup>

Antinutriční sloučeniny jsou přirozeně se vyskytující látky v potravinách, které mohou inhibovat příjem, trávení, vstřebávání a využití živin a mohou mít nepříznivé účinky na zdraví spotřebitelů. Některé druhy jedlého hmyzu obsahují takové antinutrienty, včetně alkaloidů, saponinů, taninů, oxalátu, fytátu a hydrokyanidu. Chitin, který se nachází v exoskeletu hmyzu může mít antinutriční vlastnosti kvůli potenciálním negativním účinkům na stravitelnost bílkovin.<sup>5,7,15</sup>

První chemická úvaha týkající se hmyzu jako složky stravy spočívá v tom, že všechny pesticidy používané proti hmyzu jsou potenciálně nebezpečné pro spotřebitele, zejména pokud byl hmyz získán divokou sklizní spíše než kontrolovaným zemědělstvím. V současné době se ve světě každoročně vynakládají obrovské finanční prostředky na ochranu zemědělských rostlin před hmyzími škůdci. Paradox situace spočívá ve skutečnosti, že obilniny neobsahují více než 14 % bílkovin, zatímco současně je ničen ostatní potravinový zdroj – hmyz, který obsahuje až 75 % kvalitnějších živočišných bílkovin.<sup>4,5</sup> Pesticidy používané proti invaznímu hmyzu jsou

pro spotřebitele nebezpečné, protože volně žijící hmyz se může živit plodinami nebo vegetací kontaminovanou pesticidy a tudíž je náchylný k přítomnosti reziduí pesticidů. Je to skutečný problém v některých rozvojových zemích, kde se po ošetření insekticidy sbírá a konzumuje jedlý, dokonce i mrtvý hmyz, zejména kobylky a sarančata. Výhody sběru škodlivého hmyzu pro zemědělské rostliny by mělo za následek zvýšenou produktivitu rostlinných plodů; poskytnutí dodatečného potravinového zdroje – hmyzu a zlepšení přínosů pro zdraví a životní prostředí v důsledku omezení aplikací insekticidů.<sup>4,7,33</sup>

Studie o obsahu organických a kovových kontaminantů (např. polychlorovaný bifenyly, dioxinové sloučeniny) jak v celém jedlém hmyzu, tak v potravinách na bázi hmyzu zjistily, že všechny úrovně kontaminantů byly obecně nižší než hladiny zjištěné v jiných běžných živočišných produktech. Tato studie naznačuje, že konzumace hmyzu nepředstavuje o nic větší mikrobiální nebo kontaminační riziko než konzumace jiných zdrojů masa, pokud jsou použity stejné standardy správné výrobní praxe.<sup>15</sup>

## 11. PŘIJATELNOST KONZUMACE HMYZU ZE STRANY SPOTŘEBITELŮ

Navzdory skutečnosti, že hmyz je nedílnou součástí stravy více než 2 miliard lidí po celém světě, je koncept konzumace hmyzu pro západní kultury stále nový. V dnešní době může být konzumace hmyzu v západním světě stále kontroverzním tématem; kulturní vkus a preference však lze změnit. Například sushi bylo dříve západním světem považováno za nechutné a v této době se stalo jedním z nejmódnějších jídel. Podobně humr byl v 17. a 18. století považován za nechutné a nezdravé jídlo pro chudé lidi a vězně, ale nyní je také považován za pochoutku. Dalším příkladem je konzumace žabích stehýnek, původně francouzské jídlo, se postupně stalo po celém světě tak populární, že vznikl průmysl související s chovem těchto obojživelníků. Mnoho studií ukázalo, že nové potraviny získávají popularitu nejprve v jednom malém segmentu společnosti, než se dále rozšíří. To byl v minulosti také případ cukru, čaje a bílého chleba. Je možné, že se takovým segmentem stane i ekologicky zaměřená část společnosti. Většina jedlých druhů hmyzu, jako jsou kobyly, sarančata a larvy motýlů a brouků, jsou býložravci, kteří se živí většinou čerstvými listy rostlin nebo dřevem. Z tohoto důvodu jsou čistší a hygieničtější než krabi nebo humři, kteří jedí mršiny a někdy se sbírají ze znečištěných vodních systémů. Nové údaje naznačují, že v některých zemích, jako je Thajsko a Laos, je poptávka po hmyzu na vzestupu.<sup>3,4,15</sup>

Zdá se, že hlavními vlivnými faktory, pokud jde o konzumaci hmyzu, jsou neofobie, obeznamenost, zájem o životní prostředí, vazba k masu a psychologické, sociální, náboženské, antropologické a ostatní vlivy. Neofobie je tendence vyhýbat se neznámému jídlu, zatímco znechucení je považováno za základní emoci a chrání jedince před jakýmkoli potenciálním zdrojem onemocnění. Čím více je člověk neofobní, nezajímá se o životní prostředí a lpí na stravě obsahující maso, tím méně je pravděpodobné, že bude připraven jíst hmyz. Pokud je však hmyz prezentován ve vhodné, a známé formě (např. hmyzí mouka v sušenkách), tím ochotněji to člověk může vyzkoušet. Změny v jeho vnímání nemohou být rychlé, potravinové preference se tvoří již v dětství a čím je člověk starší, tím obtížněji lze tyto preference změnit.<sup>4,15,19</sup>

Ve studiích, kde západní spotřebitelé ochutnali a hodnotili hmyzí produkty, bylo zjištěno, že jsou obecně proti konzumaci hmyzu, když je snadno viditelný. Vzhledem k tomu, že západní spotřebitelé vyrostli ve společnosti, kde konzumace hmyzu není samozřejmostí, nejsou zvyklí vidět celý hmyz v jídle, a proto preferují jídla nebo produkty, kde je hmyz zamaskován nebo

smíchán s jiným produktem. Při zkoumání přijatelnosti proteinových a energetických tyčinek obohacených cvrččí moukou pro spotřebitele z České republiky průzkum ukázal, že jedlé hmyzí tyčinky jsou přijatelné jako nový typ potravin, protože více než 80 % spotřebitelů je ochotno je konzumovat.<sup>3,27</sup>



## ZÁVĚR

Z celkového počtu více než jednoho milionu druhů hmyzu se dva tisíce druhů považuje za jedlý hmyz. Probíhající výzkum pravděpodobně jen dále zvýší počet druhů hmyzu vhodného ke konzumaci. Konzumace hmyzu se datuje již do prehistorie. Hmyz se konzumuje více v rozvojových zemích a v zemích na východě například Thajsko a Čína. Příkladem může být ale i Mexiko a Indie. Jedlý hmyz může sloužit jako potrava pro lidi i hospodářská zvířata, včetně drůbeže, prasat, dobytka ale i pro ryby. Hmyz by se mohl stát součástí strategie pro dosažení potravinové dostupnosti na celém světě.

V době vzniku této bakalářské práce je prokázáno, že chov hmyzu má méně negativní vliv na ekologii ve srovnání s chovem ostatních domácích zvířat. Spotřebuje totiž daleko méně vody a krmiva a využívá méně půdy. Produkuje také méně skleníkových plynů a amoniaku. Je však nutné podotknout že přes všechny tyto pozitivní benefity, které hmyz přináší, existují i rizika spojená s jeho konzumací. Jedná se například o alergické reakce, které by mohly nastat u citlivých jedinců. Dalším rizikem je toxicita a mikrobiologická kontaminace.

Největší výzvou však prozatím zůstává přesvědčit širokou veřejnost o výhodách hmyzu jako potravy jak ze strany nutriční, tak ekologické. Možnosti využití hmyzu jsou různorodé. Nejvýznamnějším využitím by mohla být hmyzí mouka, která po přidání do potravinářských produktů obohatí jejich nutriční hodnotu o bílkoviny a řadu minerálů i vitamínů.

Na závěr bych také ráda vyjádřila svůj názor k této problematice. Po prostudování mnoha článků a napsání této bakalářské práce si myslím, že hmyz jako potrava v budoucnosti bude mít široké využití. Rozhodně se přikláním k názoru, že spotřebitelé, kteří nejsou zvyklí jíst hmyz, jej snáze přijmou ve formě past nebo prášku zakombinovaného do známého potravinového produktu. Myslím, že bude trvat ještě dalších pár desetiletí, než se změní názor na konzumaci hmyzu a než budou spotřebitelé ochotni hmyz konzumovat v celku a bez jakýchkoliv předsudků. Sama jsem zkusila „křupavé červíky“ od jedné české firmy, která je připravuje tak, že je povaří, usuší a následně dochutí kořením. Mohu potvrdit, že takto připravený jedlý hmyz nemá sám o sobě žádnou výraznou chuť a je velmi příjemně křupavý.

## POUŽITÁ LITERATURA

1. S. Ojha, A. E. Bekhit, T. Grune, O. K. Schuter, Bioavailability of nutrients from edible insects. *Curr. Opin. Food Sci.* **41**, 240–248 (2021).
2. V. Nowak, D. Persijn, D. Rittenschober, U. R. Charrondiere, Review of food composition data for edible insects. *Food Chem.* **193**, 39–46 (2016).
3. L. W. Bessa, E. Pieterse, G. Sigge, L. C. Hoffman, Insects as human food; from farm to fork. *J. Sci. Food Agric.* **100**, 5017–5022 (2020).
4. S. Govorushko, Global status of insects as food and feed source: A review. *Trends Food Sci. Technol.* **91**, 436–445 (2019).
5. S. Belluco, C. Losasso, M. Maggioletti, C. C. Alonzi, M. G. Paoletti, A. Ricci, Edible insects in a food safety and nutritional perspective: A critical review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* **12**, 296–313 (2013).
6. F. M. Ruzengwe, S. P. Nyarugwe, F. A. Manditsera, J. Mubaiwa, S. Cottin, T. M. Matsungu, P. Chopera, V. Ranawana, A. Fiore, L. Macheke, Contribution of edible insects to improved food and nutrition security: A review. *Int. J. Food Sci. Technol.* doi:10.1111/ijfs.15570 (2022).
7. K. W. Lange, Y. Nakamura, Edible insects as future food: chances and challenges. *J. Futur. Foods* **1**, 38–46 (2021).
8. J. C. Ribeiro, L. M. Cunha, B. Sousa-Pinto, J. Fonseca, Allergic risks of consuming edible insects: A systematic review. *Mol. Nutr. Food Res.* **62**, 1–12 (2018).
9. R. Ordoñez-Araque, E. Egas-Montenegro, Edible insects: A food alternative for the sustainable development of the planet. *Int. J. Gastron. Food Sci.* **23**, 1–6 (2021).
10. A. van Huis, D. G. A. B. Oonincx, The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **37**, 1–14 (2017).
11. G. Poma, M. Cuykx, E. Amato, C. Calaprice, J. F. Focant, A. Covaci, Evaluation of hazardous chemicals in edible insects and insect-based food intended for human consumption. *Food Chem. Toxicol.* **100**, 70–79 (2017).
12. M. Reptile, Insects as food and feed. *Food Sci. Technol.* **32**, 22–25 (2018).
13. A. J. da Silva Lucas, L. M. de Oliveira, M. da Rocha, C. Prentice, Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. *Food Chem.* **311**, 1–11 (2020).
14. B. A. Rumpold, O. K. Schluter, Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Mol. Nutr. Food Res.* **57**, 802–823 (2013).
15. D. Dobermann, J. A. Swift, L. M. Field, Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutr. Bull.* **42**, 293–308 (2017).
16. D. Sun-Waterhouse, G. I. N. Waterhouse, L. You, J. Zhang, Y. Liu, L. Ma, J. Gao, Y. Dong, Transforming insect biomass into consumer wellness foods: A review. *Food Res. Int.* **89**, 129–151 (2016).
17. A. van Huis, Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. in *Annual review of Entomology*, vol 58 (ed. Berenbaum, M. R.) **58**, 563–583 (2013).

18. L. Kouřimská, A. Adámková, Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS J.* **4**, 22–26 (2016).
19. N. M. de Carvalho, A. R. Madureira, M. E. Pintado, The potential of insects as food sources – a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **60**, 3642–3652 (2020).
20. A. van Huis, Did early humans consume insects? *Journal of Insects as Food and Feed* **3**, 161–163 (2017).
21. J. Mlcek, O. Rop, M. Borkovcová, M. Bednářová, A comprehensive look at the possibilities of edible insects as food in Europe - A Review. *Polish J. Food Nutr. Sci.* **64**, 147–157 (2014).
22. B. A. Rumpold, O. K. Schluter, Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* **17**, 1–11 (2013).
23. C.L.R. Payne, P. Scarborough, M. Rayner, K. Nonaka, Are edible insects more or less ‘healthy’ than commonly consumed meats? A comparison using two nutrient profiling models developed to combat over- and undernutrition. *Eur. J. Clin. Nutr.* **70**, 285–291 (2016).
24. A. L. Yen, Edible insects and management of country. *Ecol. Manag. Restor.* **13**, 97–99 (2012).
25. A. van Huis, Edible insects are the future? *Proc. Nutr. Soc.* **75**, 294–305 (2016).
26. O. Schluter, B. Rumpold, T. Holzhauser, A. Roth, R. F. Vogel, W. Quasigroch, S. Vogel, V. Heinz, H. Jager, N. Bandick, S. Kulling, D. Knorr, P. Steinberg, K.-H. Engel, Safety aspects of the production of foods and food ingredients from insects. *Mol. Nutr. Food Res.* **61**, 1–14 (2017).
27. A. Baiano, Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends Food Sci. Technol.* **100**, 35–50 (2020).
28. D. Raheem, A. Raposo, O. B. Oluwole, M. Nieuwland, A. Saraiva, C. Carrascosa, Entomophagy: Nutritional, ecological, safety and legislation aspects. *Food Res. Int.* **126**, 1–19 (2019).
29. Ch. L.R. Payne, P. Scarborough, M. Rayner, K. Nonaka, A systematic review of nutrient composition data available for twelve commercially available edible insects, and comparison with reference values. *Trends Food Sci. Technol.* **47**, 69–77 (2016).
30. B. K. Park, M.-M. Kim, Applications of chitin and its derivatives in biological medicine. *Int. J. Mol. Sci.* **11**, 5152–5164 (2010).
31. T.-K. Kim, H. I. Yong, Y.-B. Kim, H.-W. Kim, Y.-S. Choi, Edible insects as a protein source: A review of public perception, processing technology, and research trends. *Food Sci. Anim. Resour.* **39**, 521–540 (2019).
32. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA J.* **13**, 1–60 (2015).
33. M. Mézes, Food safety aspect of insects: A review. *Acta Aliment.* **47**, 513–522 (2018).
34. C. Garofalo, V. Milanović, F. Cardinali, L. Aquilanti, F. Clementi, A. Osimani, Current knowledge on the microbiota of edible insects intended for human consumption: A state-of-the-art review. *Food Res. Int.* **125**, 1–32 (2019).

# PŘÍLOHA

1. Cvrček domácí (*Acheta domestica*)



2. Cvrček polní/banánový (*Gryllus assimilis*)



3. Cvrček pruhovaný/krátkokřídlý (*Gryllodes sigillatus*)



4. Saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*)



5. Potemník moučný (*Tenebrio molitor*)



6. Potemník stájový (*Alphitobius diaperinus*)



**7. Zavíječ voskový (*Galleria mellonella*)**



**8. Bourec morušový (*Bombyx mori*)**



**9. Černá vojenská moucha (*Hermetia illucens*)**



**10. Košenila (*Dactylopius coccus*)**



## Zdroje obrázků

1. <https://www.deratizator.cz/galerie-skudcu/hmyz/cvrcek-domaci.html>
2. <https://www.hedgehog-dream.eu/products/cvrcek-stepni-gryllus-assimilis/>
3. <https://bugguide.net/node/view/723787>
4. <https://www.shutterstock.com/cs/image-photo/migratory-locust-locusta-migratoria-isolated-9563176>
5. <https://en.wikipedia.org/wiki/Mealworm>
6. <https://www.jesmond.com/en/pco-series-world-of-litter-beetle/>
- 7i. <http://www.uaslp.mx/Comunicacion-Social/Documents/Divulgacion/Revista/Diecisiete/250/250-01.pdf>
- 7ii. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galleria\\_mellonella\\_male.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galleria_mellonella_male.jpg)
- 8i. <https://www.shutterstock.com/cs/image-photo/silkworm-larvae-bombyx-mori-against-white-107478617>
- 8ii. <https://www.dreamstime.com/photos-images/silkmoth.html>
9. <https://bugguide.net/node/view/184752>
10. <https://stock.adobe.com/cz/images/cochineal-scales-dactylopius-opuntiae-and-dactylopius-coccus-hemiptera-dactylopiidae-are-a-scale-insects-from-which-the-natural-dye-carmine-is-derived-females-isolated-on-a-white-background/268708950>