

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra zoologie a rybářství**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv reziduí v krmné mrkvi na vývoj a nutriční  
hodnotu cvrčků *Gryllus assimilis***

**Diplomová práce**

**Bc. Anežka Stratílková  
Výživa zvířat**

**Ing. Martin Kulma, Ph.D.**

© 2023 ČZU v Praze



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv reziduí v krmné mrkvi na vývoj a nutriční hodnotu cvrčků *Gryllus assimilis*" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne

---

## Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu své práce Ing. Martinu Kulmovi, Ph.D. za ochotu, trpělivost a velkou pomoc při psaní této práci a zodpovídání dotazů. Ing. Michalovi Kurečkovi za trpělivost, ochotu a pomoc při práci v inšektáriu a při zakládání pokusu. Dále bych ráda poděkovala Ing. Petře Škvorové za pomoc při laboratorních analýzách a při zpracování výsledků. Velké poděkování patří mojí rodině a mým blízkým za velkou oporu a podporu.

# Vliv reziduí v krmné mrkvi na vývoj a nutriční hodnotu cvrčků *Gryllus assimilis*

Souhrn

Diplomová práce se zabývá vlivem subletálních dávek pesticidů v krmné mrkvi na konverzi krmiva, vývojový cyklus a obsah esenciálních živin v těle cvrčka banánového (*Gryllus assimilis*).

V teoretické části se tato práce zabývá především entomofágií, přínosy konzumace hmyzu pro lidskou populaci, bezpečností, legislativou a nutriční hodnotou jedlého hmyzu. Podmínky chovu (teplota, vlhkost, krmivo, délka denního světla) jsou podle dostupné literatury významnými příspěvateli ke konečné nutriční hodnotě hmyzu. Dále se tato práce zaměřuje na krmení vybraných druhů zvířat hmyzem a na jednotlivé druhy hmyzu, které jsou ve výživě zvířat nejčastěji využívány. Hlavní náplň teoretické části je zaměřena na cvrčka banánového (*G. assimilis*). Zabývá se především jeho morfologií a nutričními hodnotami, konkrétně obsahem tuku, bílkovin, aminokyselin, sacharidů, mikroživin a energetickou hodnotou.

Experimentální část byla zaměřena na zjištění vlivu subletálních dávek pesticidů v mrkvi na konverzi krmiva, rozvoj *G. assimilis* a obsah základních živin v biomase. Pro experiment byly použity tři skupiny cvrčků, tj. jedna kontrolní a dvě experimentální skupiny, každá po šesti opakováních. Cvrčci v experimentálních skupinách byli po dobu celého experimentu krmeni mrkví ošetřenou různými koncentracemi pesticidů, kontrolní skupina byla krmena neošetřenou mrkví. Na začátku a na konci pokusu byli cvrčci zváženi a tyto hodnoty byly následně použity pro výpočet konverze krmiva. Po 45 dnech byli cvrčci usmrceni mrazem a byla stanovena obsah sušiny, popela, hrubého tuku a bílkovin.

Statisticky významné rozdíly ( $p < 0,05$ ) byly zaznamenány v hmotnosti sklizené biomasy mezi kontrolní skupinou a skupinami 1 a 2, dále v obsahu sušiny a obsahu hrubého tuku. Ve srovnání s kontrolní skupinou bylo množství sklizených pokusných cvrčků v obou skupinách výrazně nižší. To může znamenat vyšší úmrtnost nebo negativní vliv na růst cvrčků způsobený pesticidním ošetřením mrkve. U základních živin nebyl pozorován žádný trend. Statisticky významný rozdíl v průměrné hmotnosti zkonsumované mrkve na gram krmiva byl zjištěn mezi kontrolní skupinou a skupinou 2. Statisticky významné rozdíly nebyly zaznamenány u bílkovin a popela. Vědecká hypotéza této práce byla částečně potvrzena.

**Klíčová slova:** chov hmyzu; cvrček banánový; pesticidy; bílkoviny; tuky; konverze krmiva

# The effect of residual pesticides in carrot on performance and nutritional value of *Gryllus assimilis*

## Summary

The diploma thesis deals with the effect of sublethal doses of pesticides in fodder carrots on feed conversion, the developmental cycle and the content of essential nutrients in the body of the Jamaican field cricket (*Gryllus assimilis*).

In the theoretical part, this work mainly deals with entomophagy, the benefits of insect consumption for the human population, safety and legislation, and the nutritional value of edible insects. Rearing conditions (temperature, humidity, feed, daylight length) are, according to the available literature, important contributors to the final nutritional value of insects. Furthermore, this thesis focuses on the feeding of selected animal species with insects and on the individual species of insects that are most often used in animal nutrition. The main content of the theoretical part is focused on the Jamaican field cricket (*G. assimilis*). It mainly deals with the morphology and its nutritional values, specifically the contents of fat, protein, amino acids, carbohydrates, micronutrients and energy value.

The experimental part aimed to determine the effect of sublethal doses of pesticide in carrots on the feed conversion, development of *G. assimilis* and the content of basic nutrients in the biomass. Three groups of crickets were used for the experiment, i.e. one control and two experimental groups each with six repetitions. Crickets in the experimental groups were fed by carrots treated with different concentrations of pesticides for the duration of the whole experiment, the control group was fed by untreated carrots. At the beginning and at the end of the experiment, the crickets were weighed, and these values were then used to calculate the feed conversion. After 45 days, the crickets were freeze killed and the dry matter, ash, crude fat and crude protein were determined.

Statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) were recorded in the weight of harvested biomass between the control group and groups 1 and 2, as well as in the content of dry matter and the content of crude fat. In comparison with the control group, the amount of harvested experimental crickets in both groups was significantly lower. This may indicate higher mortality or negative effect on cricket growth caused by pesticidal treatment of the carrot. Regarding basic nutrients, no trend was observed. A statistically significant difference in the average weight of consumed carrots on gram feed was found between the control group and group 2. Statistically significant differences were not recorded in crude protein and ash. The scientific hypothesis of this work was partially confirmed.

**Keywords:** insect rearing; Jamaican Field cricket; pesticides; proteins; fats; feed conversion

# Obsah

|       |  |           |
|-------|--|-----------|
| 1.    | Úvod.....  | 9         |
| 2.    | Cíl práce a vědecká hypotéza .....   | 10        |
| 3.    | Literární rešerše .....  | 11        |
| 3.1   | <b>Dopady zemědělství na životní prostředí, důvody pro vyhledávání alternativních potravin .....</b> | <b>11</b> |
| 3.1.1 | Alternativní zdroje potravin.....  | 12        |
| 3.2   | <b>Entomofágie .....</b>   | <b>13</b> |
| 3.2.1 | Přednosti jedlého hmyzu.....   | 14        |
| 3.2.2 | Chov jedlého hmyzu .....   | 16        |
| 3.2.3 | Podmínky chovu .....   | 17        |
| 3.2.4 | Zpracování a chuť jedlého hmyzu .....  | 18        |
| 3.2.5 | Legislativa jedlého hmyzu .....  | 19        |
| 3.2.6 | Bezpečnost jedlého hmyzu .....   | 20        |
| 3.2.7 | Nutriční hodnota hmyzu .....   | 22        |
| 3.2.8 | Druhy jedlého hmyzu.....   | 28        |
| 3.3   | <b>Cvrček banánový.....</b>  | <b>29</b> |
|       | Taxonomické zařazení cvrčka banánového .....   | 29        |
| 3.3.1 | Chov cvrčka banánového.....  | 30        |
| 3.3.2 | Nutriční hodnota cvrčka banánového .....   | 30        |
| 3.4   | <b>Hmyz jako krmivo pro zvířata.....</b>   | <b>31</b> |
| 3.4.1 | Legislativa hmyzu v případě krmiv pro zvířata .....  | 32        |
| 3.4.2 | Druhy hmyzu využívané ve výživě zvířat .....   | 32        |
| 3.4.3 | Výživa drůbeže .....   | 33        |
| 3.4.4 | Výživa prasat .....  | 34        |
| 3.4.5 | Výživa hobby zvířat.....   | 35        |
| 3.4.6 | Využití hmyzu v akvakultuře.....   | 36        |
| 3.5   | <b>Pesticidy .....</b>   | <b>36</b> |
| 3.5.1 | Rozdělení pesticidů.....   | 37        |
| 3.5.2 | Rizika používání pesticidů.....  | 37        |
| 3.5.3 | Rezidua pesticidů.....   | 40        |
| 4.    | <b>Metodika .....</b>  | <b>42</b> |
| 4.1   | <b>Odchov cvrčka banánového .....</b>  | <b>42</b> |
| 4.1.1 | Podmínky chovu .....   | 42        |
| 4.1.2 | Krmení cvrčka banánového .....   | 43        |
| 4.2   | <b>Laboratorní analýzy.....</b>  | <b>44</b> |
| 4.2.1 | Zjištění hmotnosti <i>Gryllus assimilis</i> .....  | 44        |

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| 4.2.2       | Lyofilizace a homogenizace .....                              | 44        |
| 4.2.3       | Stanovení sušiny .....  | 45        |
| 4.2.4       | Stanovení popelovin .....                                     | 45        |
| 4.2.5       | Stanovení hrubého tuku .....                                  | 45        |
| 4.2.6       | Stanovení dusíkatých látek .....                              | 46        |
| 4.2.7       | Konverze krmiva .....   | 46        |
| 4.2.8       | Statistické vyhodnocení pokusu .....                          | 46        |
| <b>5.</b>   | <b>Výsledky .....</b>   | <b>47</b> |
| 5.2.1.      | Sklizeň cvrčků .....  | 47        |
| 5.2.2.      | Konverze krmiva .....   | 47        |
| 5.2.3.      | Obsah sušiny, popelovin, hrubého tuku a dusíkatých látek..... | 48        |
| 5.2.4.      | Obsah sušiny .....  | 49        |
| 5.2.5.      | Obsah popelovin.....  | 49        |
| 5.2.6.      | Obsah dusíkatých látek .....                                  | 49        |
| 5.2.7.      | Obsah hrubého tuku .....                                      | 50        |
| <b>6.</b>   | <b>Diskuze.....</b>   | <b>51</b> |
| <b>6.1.</b> | <b>Sklizeň biomasy .....</b>                                  | <b>51</b> |
| <b>6.2.</b> | <b>Konverze krmiva.....</b>                                   | <b>51</b> |
| <b>6.3.</b> | <b>Nutriční hodnota .....</b>                                 | <b>51</b> |
| 6.3.1.      | Popeloviny a sušina .....                                     | 52        |
| 6.3.2.      | Hrubý tuk .....   | 52        |
| 6.3.3.      | Dusíkaté látky .....  | 53        |
| <b>7.</b>   | <b>Závěr .....</b>  | <b>54</b> |
| <b>8.</b>   | <b>Literatura .....</b>                                       | <b>55</b> |



# 1. Úvod

Dle předpokladu demografických studií se do roku 2050 naplní dramatický scénář, který předpovídá, že na planetě Zemi bude žít přes 9 miliard lidí. Ukázalo se, že tento nárůst populace bude vyžadovat zdvojnásobení celkového množství potravin a krmiv, které jsou v současné době celosvětově vyráběny, protože s nárůstem populace poroste i poptávka a potřeba potravin a krmiv. Mezi jednu z největších výzev, která populaci v budoucnosti čeká, patří zajištění potravinové bezpečnosti (Cadinu et al. 2020). Rychlý populační nárůst tedy vytváří nesmírný tlak na producenty potravin, a proto by měl být kladen důraz na udržitelnou produkci potravin, zejména na produkci potravin bohatých na vysoce kvalitní bílkoviny (Galecki et al. 2021).

Zvýšení produkce potravin při současné intenzitě zemědělského sektoru představuje problém s nedostatkem půdy, s ochuzením moře z hlediska rybolovných zdrojů a s důsledky klimatických změn, které i v současné době nepříznivě ovlivňují produkci potravin a krmiv hlavně v rozvojových zemích (Cadinu et al. 2020).

Výše uvedené faktory představují výzvy, které bude muset lidstvo překonat. Bude nezbytné přehodnotit a upravit současné systémy výroby krmiv a potravin a pokusit se o zvýšení efektivity výroby a snížení odpadů. Bude nejspíše i potřeba získat nové, dlouhodobě udržitelné zdroje potravin a krmiv. Mezi jeden z těchto alternativních zdrojů potravin patří hmyz, který představuje racionální řešení pro uspokojení požadavků na produkci potravin a krmiv v blízké budoucnosti. Ve srovnání s živočišnou produkcí, především s chovem skotu, je chov hmyzu šetrnější po ekonomické i ekologické stránce (Kolakowski et al. 2021).

Mezi přednosti jedlého hmyzu patří především jeho dobrá nutriční hodnota, příznivá konverze krmiva, nízké emise skleníkových plynů i to, že pro chov hmyzu je využíváno mnohem menší množství půdy než v konvenčním zemědělství. Mezi další benefity chovu hmyzu patří i využívání vedlejších produktů potravinářského průmyslu či zemědělství, které zvyšuje udržitelnost. Na druhou stranu panují určité obavy o bezpečnosti hmyzu z hlediska dlouhodobé konzumace lidmi a zvířaty. Mezi nejčastější rizika spojená s konzumací hmyzu patří obsah jedovatých látek či patogenů. Tyto látky hmyz buď produkuje přirozeně, nejčastěji jako způsob ochrany proti predátorům, nebo je získává konzumací potravy, ve které se mohou tyto látky vyskytovat. Pro výživu krmného a jedlého hmyzu se často využívá nestandardní zelenina, či zelenina, která byla poškozena při sklizni. Jelikož v zelenině často zůstávají rezidua pesticidů, která jsou při pěstování běžně používána, je tato cesta jednou z pravděpodobných kontaminací hmyzu. Z tohoto důvodu je tato diplomová práce zaměřena na chov cvrčků banánových (*Gryllus assimilis*), kteří byli krmeni mrkví záměrně ošetřenou pesticidy v různé koncentraci. Cílem této práce bylo pozorovat, zdali budou cvrčci takto ošetřenou mrkev přijímat, a jestli se její konzumace negativně projeví na životním cyklu a nutriční hodnotě cvrčka banánového. Zároveň je tato práce základem pro následné analýzy, které odhalí, zdali dochází ke kumulaci použitých pesticidů v hmyzí biomase.

## **2. Cíl práce a vědecká hypotéza**

Cílem práce je zjistit vliv subletálních dávek reziduí pesticidů v krmné mrkvi na konverzi krmiva, vývoj cvrčka banánového a obsah základních živin v jeho těle.

Vědecká hypotéza: Přidání mrkve s obsahem pesticidů bude mít vliv na nutriční hodnoty cvrčka banánového a na konverzi krmiva.

## 3. Literární rešerše

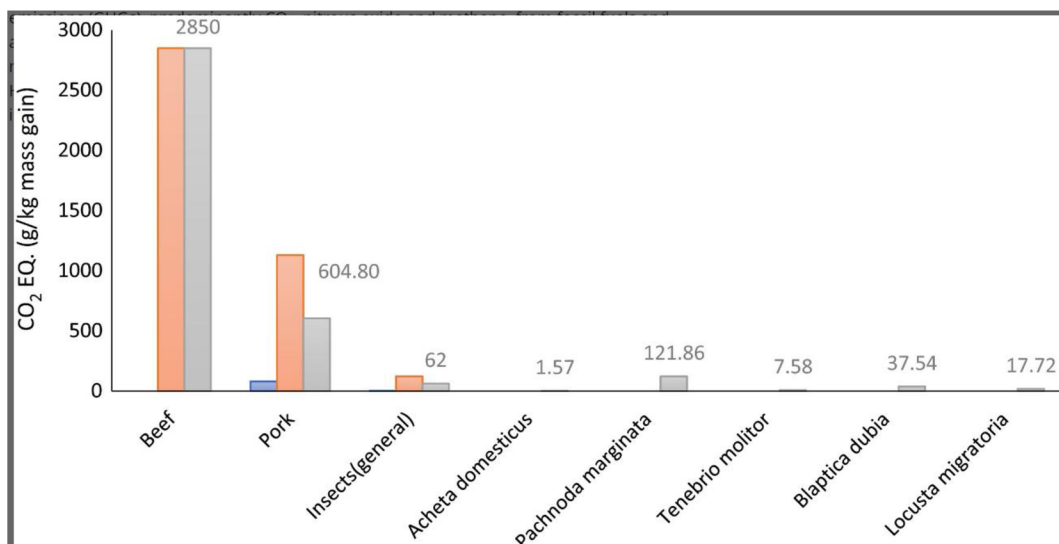
### 3.1 Dopady zemědělství na životní prostředí, důvody pro vyhledávání alternativních potravin

Zhruba před 70 lety poskytovala planeta Země život přibližně 2,6 miliardě lidí. Od 50. let 20. století se populační růst zrychlil a v roce 1987 žilo na planetě asi 5 miliard lidí. V roce 1999 byla registrována další miliarda. O 12 let později se odhadovalo, že celosvětová populace dosahuje přibližně 7 miliard (Cadinu et al. 2020). V roce 2021 obývalo planetu Zemi 8 miliard lidí. Dle odhadu toto číslo do roku 2050 překročí hranici 9 miliard. V roce 2100 by mohlo planetu obývat až 11 miliard lidí (Grafton et al. 2015; Chai et al. 2019). Se zvyšující se populací zároveň stoupá i spotřeba potravin. S rostoucí populací, stále náročnějšími spotřebiteli a omezeným množstvím zemědělské půdy je nezbytné hledat alternativní zdroje potravin (van Huis & Oonincx 2017). Výzvou do budoucna je tedy snaha dosáhnout dostatečné nabídky potravin a zároveň udržitelného zemědělství. Dále je zásadní zajištění potravinové bezpečnosti, kterou lze definovat jako fyzický a ekonomický přístup všech lidí k dostatečnému a bezpečnému výživnému jídlu, odpovídajícímu jejich nutričním potřebám a potravinovým preferencím pro zdravý život (Schlup & Brunner 2018; Grafton et al. 2015).

Alternativní zdroje potravin jsou potřebné i z důvodu nárůstu poptávky po masných výrobcích, ale dostupná plocha půdy pro zemědělskou výrobu je omezená. Živočišná výroba také z velké části přispívá k řadě problémů životního prostředí. Mezi tyto problémy lze zařadit acidifikaci půdy (důsledkem vyplavování čpavku), změny klimatu (důsledek emisí skleníkových plynů), odlesňování, dezertifikaci (rozšiřování pouště v důsledku činnosti člověka), erozi půdy, ztrátu biologické rozmanitosti a znečištění vody (van Huis & Oonincx 2017).

I chov hospodářských zvířat představuje jeden z největších problémů, které přispívají ke klimatické krizi. K chovu hospodářských zvířat je využíváno až 70 % zemědělské půdy, což je zhruba 30 % veškeré pevniny. Chov hospodářských zvířat je tak jedna z lidských činností, která nejvíce negativně ovlivňuje zdroje planety. Skot, který je schopen za rok vyprodukovat až 58 milionů tun živočišných bílkovin, spotřebuje více než 77 milionů tun rostlinných bílkovin. V neposlední řadě také hospodářská zvířata, především prasata a drůbež, která představují konkurenci v potravním řetězci člověka. Obiloviny, které jsou pěstovány jako krmivo, by mohly být využívány jako potrava pro lidi. Přibližně třetina světové produkce obilovin slouží jako krmivo pro zvířata. K pěstování obilovin je spotřebováno přibližně 30 % veškeré vody, která je využívána v zemědělství (Herrero et al. 2015)

Přestože dopady klimatických změn budou nejhůře postiženy nejhudší země, které budou trpět nárůstem podvýživy a chudoby, tento problém se týká Země jako celku. Jediným způsobem, jak se bránit těmto negativním vizím, je globální politika zaměřená na zlepšení sociálních a ekonomických podmínek, a také přístupu k potravinám (Cadinu et al. 2020).



Obrázek 1-Produkce CO<sub>2</sub> u vybraných druhů (hovězího masa, vepřového masa, hmyzu, cvrčka domácího, zlatohlávka konžského, potěmnik moučného, švába argentinského a sarančete stěhovavého (Zdroj: Dobermann et al. 2017).

### 3.1.1 Alternativní zdroje potravin

Z výše zmíněných důvodů je nutné vyhledávat alternativní zdroje potravin nebo udržitelnou stravu. Udržitelná strava by měla mít nepatrný dopad na životní prostředí, chránit a respektovat biologickou rozmanitost a ekosystémy, být nutričně adekvátní, zdravá a bezpečná. Mezi tyto diety je řazeno například veganství (nezahrnuje konzumaci produktů živočišného původu), LOV, tedy lakto-ovo-vegetariánství (konzumace mléka, mléčných výrobků, vajec, nikoliv masa a ryb) a vegetariánství (vyloučení masa z jídelníčku). Například produkce 1 kg hovězího masa vyžaduje asi 50× více půdy než produkce 1 kg zeleniny, přičemž emise skleníkových plynů jsou asi 100× vyšší, vše závisí na použitém postupu (Chai et al. 2019; van Huis & Oonincx 2017). Dále bylo zjištěno, že na produkci 1 kilogramu hovězího masa je potřeba 163× více půdy, 18× větší množství vody, 19× více dusíku a 11× více oxidu uhličitého, než je potřeba například k vypěstování 1 kilogramu rýže nebo brambor (Chai et al. 2019).

Mezi další navrhované alternativní zdroje potravin je řazeno například *in vitro* kultivované maso. Přestože se vědci domnívají, že takto kultivované maso by na životní prostředí mělo mít celkově nižší dopady než většina konvenčně produkovaného masa, je v tomto směru zapotřebí velmi intenzivní výzkum (Zhang et al. 2022; van Huis & Oonincx 2017).

Jako další zkoumané potenciální zdroje potravin i krmiv jsou uváděny mořské řasy, které jsou zdrojem vlákniny, minerálů, vitamínů, antioxidantů, polynenasycených mastných kyselin a především bílkovin. Červené, hnědé a zelené mořské řasy mají příznivý vliv na lidské zdraví. U některých druhů těchto řas byly pozorovány antikarcinogenní, antidiabetické, protizánětlivé, antivirové a antibakteriální účinky. Mezi další alternativní zdroje potravin patří například okřehek, řepka, mikrořasy a v neposlední řadě hmyz (Kim et al. 2019).

## 3.2 Entomofágie

Slovo entomofágie pochází z řečtiny ze slova *éntomos* nebo *éntomon*, což znamená hmyz a ze slova *phagein*, což znamená jíst. Toto slovo v podstatě znamená „konzumace hmyzu“. Hmyz konzumuje mnoho zvířat, která se označují jako hmyzožravci. Termín entomofágie je však zavedený pouze pro konzumaci hmyzu lidmi. Entomofágie tedy představuje využívání hmyzu jako potravin pro lidi (Dürr et al. 2020)

Suchozemští členovci, z nichž převážnou většinu tvoří hmyz, tvoří biomasu o velikosti až 1,3 gigatuny. Tak obrovská biomasa představuje velké bohatství, které Země lidem nabízí, a které lze potenciálně využít v boji proti hladu a ekologickým problémům, které jsou spojené s intenzivním zemědělstvím, a také globální deficit vody, půdy a energie (Kim et al. 2019; Cadinu et al. 2020). Hmyz je tedy v současné době v západních zemích zkoumán jako alternativní zdroj bílkovin (van Huis & Oonincx 2017).

Lidé konzumovali hmyz již ve starověku. Důkazem toho jsou hominidi, například *Australopithecové*, v jejichž zubní sklovině byly naměřeny vysoké hodnoty vápníku a stroncia, které dokazují konzumaci hmyzu. Dále také byly v Altamire objeveny jeskynní malby, staré přibližně 30 000 až 9 000 let př. n. l., které vyobrazují sbírku pláství a včelích hnízd. I toto lze pokládat za důkaz, že entomofágie je velice dávný způsob stravování (Baiano 2020). Již po stovky let je hmyz konzumován v Asii, Jižní Americe, Africe a v Evropě (van Huis et al. 2013). Lidé z kulturního prostředí, kde se hmyz běžně konzumuje, mají také tendenci ho spojovat s různými zdravotními přínosy nad rámec výživy. Například housenka mopane (*Gonimbrasia belina*) má údajně imunostimulační a antikarcinogenní vlastnosti. V tradiční čínské medicíně je samec martináče čínského (*Antheraea pernyi*) považován za afrodiziakum. Dalším hmyzem, který má historicky příznivé účinky na zdraví, je bourec morušový (*Bombyx mori*). Nedávné analýzy v tomto hmyzu identifikovaly látku, která snižuje hladinu glukózy v krvi, což vedlo k vývoji prášku z bource morušového, který je v Koreji využíván jako lék na cukrovku. Tradiční tvrzení o léčivých vlastnostech bylo též experimentálně ověřeno. Několik analýz hmyzích enzymatických hydrolyzátů identifikovalo antioxidační a antidiabetické vlastnosti, a také schopnost inhibovat angiotenzin konvertující enzym (ACE) (Kim et al. 2019).

Hmyz je celosvětově propagován jako nadějný alternativní zdroj potravin i krmiv pro hospodářská zvířata (prasata, drůbež) a ryby. Jedlý hmyz také představuje zdravou, udržitelnou a ekologicky šetrnou alternativu bílkovin. Již v 70. letech minulého století navrhl Meyer-Rochow hmyz jako řešení světového nedostatku (Meyer-Rochow & Jung 2020). Na počátku 21. století byl obnoven zájem o možný příspěvek konzumace jedlého hmyzu k potravinové a nutriční bezpečnosti (Dürr et al. 2020). Hmyz je dobrým zdrojem bílkovin, tuků, minerálů a vitamínů, a také významně přispívá k zabezpečení dostatku potravin a živobytí v chudých oblastech, kde zejména děti a ženy prodávají hmyz na trhu nebo jej využívají k vlastní spotřebě (van Huis & Oonincx 2017).

Dnes je hmyz konzumován v 11 evropských zemích, 14 zemích Oceánie, 23 amerických zemích, 29 asijských zemích a 35 afrických zemích, přičemž Mexiko, Čína, Thajsko a Indie jsou hlavními spotřebitelskými zeměmi a zeměmi s největším počtem druhů jedlého hmyzu. Baiano (2020) odhaduje, že hmyz je součástí tradiční stravy nejméně 2 miliard lidí. Například v Thajsku a v Bangkoku je konzumováno zhruba 164 druhů hmyzu. V

Zambii a Nigérii je jedlý hmyz běžně dostupný ve školních jídelnách a na trzích. V těchto zemích představuje pro člověka jedlý hmyz až 50 % přijatých bílkovin (Kim et al. 2019). Například na Madagaskaru ve venkovské obci Sandrandahy zhruba 95 % domácností pravidelně konzumuje hmyz. Průměrná spotřeba jedlého hmyzu je zde 9,0 kg na domácnost za rok, což odpovídá 1,7 kg na osobu. Mezi druhy, které jsou zde nejvíce konzumovány, patří brouci z čeledi Scarabaeidae, které sklízí a konzumuje 87 % všech domácností, následují cikády, larvy brouků a sarančata. V Laosu jsou nejčastěji konzumovány cvrčci, kobylky, cikády a housenky druhu *Omphisa fuscidentalis*. Tento průzkum také ukázal, že v Laosu téměř 97 % lidí konzumuje hmyz, a že 44 % populace konzumuje hmyz velmi často (Dürr & Ratompoarison 2021).

V posledních letech je entomofágie věnována velká pozornost i v západní Evropě. Mnoho studií se zabývá jejím významem, hodnocením nutričních parametrů hmyzu a jejich přínosem pro trh. Hmyz je pravděpodobně budoucí superpotravinou. Ovšem stále platí pravidlo pestré a vyvážené stravy, přičemž hmyz v jídelníčku by měl sloužit jako doplněk stravy (Schlup & Brunner 2018; Meyer-Rochow & Jung 2020).

### 3.2.1 Přednosti jedlého hmyzu

Mezi hlavní ekologické výhody chovu hmyzu, ve srovnání s živočišnou výrobou, patří především menší potřeba půdy, nižší spotřeba vody a nižší emise skleníkových plynů (van Huis & Oonincx 2017). Ve srovnání s chovem hospodářských zvířat je chov hmyzu velice ekologický. Zatímco 18 % celkových emisí skleníkových plynů lze připsat odvětví živočišné výroby, včetně přímých a nepřímých emisí z chovu hospodářských zvířat (chov hospodářských zvířat je zodpovědný za 14 % celosvětových emisí skleníkových plynů), jsou roční emise související s hmyzem více než 100× nižší. Studie, která se zaměřila na srovnání produkce CO<sub>2</sub> u pěti druhů hmyzu, prasat a masného skotu, ukázala, že i v tomto směru je chov hmyzu velice perspektivní. Zatímco masný skot vyprodukuje v průměru 2850 g CO<sub>2</sub> na kilogram přírůstku, prasata až 1130 g CO<sub>2</sub> na kilogram přírůstku, zlatohlávek konžský (*Pachnoda marginata*), šváb argentinský (*Blaptica dubia*), saranče stěhovavá (*L. migratoria*), potemník moučný (*T. molitor*) a cvrček domácí (*A. domesticus*) vyprodukují 122, resp. 38, 18, 6 a 2 g CO<sub>2</sub> na kilogram přírůstku hmotnosti (Baiano 2020; Cadinu et al. 2020)

K chovu hospodářských zvířat je využíváno i značné množství půdy. Například *T. molitor* potřebují k produkci 1 kg jedlého proteinu pouze 10 % půdy potřebné pro produkci hovězího masa. Chov hospodářských zvířat také spotřebovává velké množství vody, to představuje dramatický problém, protože podle FAO Water (Food and Agriculture Organization) (2013) budou do roku 2025 dvě třetiny světa trpět nedostatkem vody. Vodní stopa (voda potřebná k výrobě komodit v živočišných produktech) je aktuálně velmi vysoká. V případě hovězího masa je to zhruba 22 000 – 43 000 l vody potřebné k vyprodukování 1 kilogramu (je zde započítána i voda pro výrobu píce a krmiva). Očekává se, že vodní stopa pro chov jedlého hmyzu bude mnohem nižší, protože bylo prokázáno, že některý hmyz, například larvy potemníků moučných a potemníků stájových, je odolný vůči suchu a lze jej chovat na vedlejších produktech organického původu (Baiano 2020).

V porovnání s konvenčními zdroji živočišných bílkovin má hmyz rychlejší životní cyklus. Dále má vysokou účinnost při přeměně hmoty krmiva na biomasu těla. Účinnost konverze krmiva u hmyzu je mnohem vyšší než u savců. U kuřat je potřeba 2,5 kg krmiva na 1 kg přírůstku, u prasat činí tento údaj 5 kg a u skotu až 10 kg na 1 kg přírůstku. Co se týče hmyzu, například cvrčci potřebují k nárůstu biomasy o 1 kg pouze 1,7 kg krmiva. Vezmeme-li v úvahu požitelnou hmotu, stanou se poměry pro hmyz ještě výhodnější. Zatímco procento požitelnosti je u cvrčků až 80 %, u kuřecího a vepřového masa se snižuje na 55 % a u skotu na 40 %. Z toho vyplývá, že ve srovnání s drůbeží je konverze krmiva na kilogram požitelné hmoty u cvrčků domácích dvojnásobná, přibližně 4× vyšší než u prasat a více než 12× vyšší než u skotu (Cadinu et al. 2020). Hmyz potřebuje k produkci ekvivalentního množství živočišných bílkovin až 10× méně krmiva než skot, což zanechává výrazně menší ekologickou stopu (Schlup & Brunner 2018). Několik druhů hmyzu také vykazuje schopnost účinně přeměňovat organické odpady a vedlejší produkty zemědělské produkce na živočišné bílkoviny. Tento proces, známý jako proces biokonverze, přitahuje stále větší zájem jako platná alternativa ke konvenčním metodám zpracování organických odpadů. Je to právě intenzivní chov hmyzu, který nabízí jedinečnou příležitost rozložit značné množství organických odpadů a vedlejších produktů a zároveň zvýšit celkovou biomasu hmyzu a vyrábět řadu produktů od biopaliv a hnojiv. V současnosti je však z pohledu biokonverze k dispozici pouze několik studií, většinou zaměřených na druhy z řádů Diptera a Coleoptera (Cadinu et al. 2020).

V neposlední řadě konzumace hmyzu přináší nové chuťové zážitky (Schlup & Brunner 2018). Určité druhy hmyzu jsou pro své vynikající organoleptické vlastnosti podávány ve špičkových restauracích. Za gurmánské jídlo je v Evropě, Kambodži a Laosu považováno escamoles (larvy a kukly mravenců druhů *Liometopum apiculatum* a *L. occidentale*) (Kim et al. 2019).

I přes všechny výše zmíněné benefity není konzumace hmyzu v západních zemích příliš oblíbená (van Huis 2013). Tento fakt je spojen se strachem a odporem společnosti, který je založený na psychologických, sociálních a kulturních jevech (Jantzen da Silva Lucas et al. 2020). Odpor ke konzumaci hmyzu v Evropě je spojen především s neofobií, která je vyvolána strachem z neznámých vlastností nové potraviny. Lidé se navíc obávají rizik, která jsou s konzumací hmyzu často spojována (Mishyna et al. 2019; Schlup & Brunner 2018). Několik studií dokazuje, že lidé jsou více ochotni konzumovat jedlý hmyz ve skryté formě (např. fortifikací perníkového těsta, slaných tyčinek atd.), než konzumovat hmyz v přímé viditelné formě (smažené larvy *T. molitor*, restované *L. migratoria*) (Adámková et al. 2020; Mlček et al. 2018). Kromě psychického odporu ke konzumaci hmyzu hraje velkou roli i konzumace nevhodně upraveného hmyzu (špatné odstranění končetin u kobylek a sarančat), který může vyvolat nepříjemný až dráždivý pocit v ústech, a tudíž zkazit celkový dojem z jídla. I to je důvod, proč jsou společností mnohem více preferovány moučky z jedlého hmyzu, které mohou být přidány do běžných potravin. Výhodou fortifikace potravin hmyzem je i zvýšení obsahu bílkovin a aminokyselin (DionPoulin et al. 2020). Výzkumy zaměřené na toto téma ukázaly, že většina obyvatel ze západní společnosti by neměla problém konzumovat maso pocházející ze zvířat, která byla krmena hmyzem. Průzkum prováděný v České republice, který měl otestovat zkušenosti a preference zákazníků ohledně potravinářského hmyzu ukázal, že z 1 340 respondentů konzumovalo hmyz 37,8 %. Přestože více než polovina

těchto respondentů uvedla svou zkušenost s konzumací hmyzu jako pozitivní, pouze 11,8 % z nich konzumovalo hmyz pravidelně. Kromě mletého hmyzu a hmyzí moučky se konzumuje i celý hmyz. Mezi nejvíce preferované druhy patří cvrčci, kobylky a sarančata. 14 % respondentů, kteří neměli žádné zkušenosti s konzumací hmyzu, uvedli, že by hmyz byli ochotní ochutnat. Většina dotazovaných (77 %) také uvedla, že by jim nevadilo konzumovat masné výrobky, které pocházejí z hospodářských zvířat, která byla krmena hmyzem. Odpovědi byly významně ovlivněny věkem a pohlavím, mladší lidé a muži měli k entomofágii pozitivnější přístup než ženy a starší lidé (Kulma et al. 2020).

Je na místě také zmínit, že hmyz lze využívat i jako krmivo pro zvířata nebo vodní živočichy. Hmyz může například nahradit rybí moučku, která je stále dražší a vzácnější (van Huis & Oonincx 2017).

### 3.2.2 Chov jedlého hmyzu

Termín „minichov“ označuje způsob chovu hmyzu a dalších malých organismů, které mohou být chovány a spotřebovány lidmi. Na celém světě je zhruba 92 % jedlého hmyzu získaného z volné přírody, pouze malé množství hmyzu je speciálně chováno (Baiano 2020). V tropických zemích je jedlý hmyz sbírán především z přírody, ale nadměrné využívání, změny stanovišť a kontaminace životního prostředí ohrožují tento zdroj potravy (van Huis & Oonincx 2017). Pro navýšení produkce je tedy nutné zavést a optimalizovat faremní chov hmyzu (Baiano 2020).

Chov hmyzu lze rozdělit do dvou skupin. Do první skupiny se řadí hmyz, který je plně domestikován a chován v uzavřeném chovu, do druhé skupiny je řazen hmyz, který je chován v otevřeném chovu. Principem otevřeného chovu je modifikace stanoviště, ve kterých se hmyz přirozeně vyskytuje. Účelem tohoto chovu je zvýšení produkce. V uzavřeném chovu dochází k umělému vytvoření habitatu pro hmyz. Hmyz je množen mimo kontakt s divokými populacemi. Tento způsob chovu přispívá k ochraně stanovišť jedlého hmyzu a k snadnější kontrole bezpečnosti potravin. Mezi hmyz, který je plně domestikován jsou řazeni například mouční červi, švábi a některé druhy brouků. Mezi hmyz částečně chovaný v zajetí patří sarančata, vosy, larvy nosatců palmových a vážky (Baiano 2020).

Na rozdíl od většiny systémů a zemědělské výroby, ve kterých se využívá automatizace, je v případě hmyzích farem stále nutná lidská ruční práce, která spočívá především v krmení hmyzu, sběru, čištění a přemísťování boxů s hmyzem. Tato závislost na fyzické práci znamená, že hmyz chovaný na farmách je drahý, i když jsou náklady na krmivo nízké. Existuje několik společností, které již vyvinuly automatizaci, ale tyto procesy jsou stále ve zkušebních fázích. Aby hmyz představoval atraktivní alternativu ke zdrojům bílkovin, jako je hovězí a drůbeží maso, musí být dále vyvíjena automatizovaná technologie vedoucí ke snížení ceny konečného produktu (Dobermann et al. 2017). V budoucnu by se chov hmyzu tedy mohl stát novým odvětvím zemědělství, zdrojem pracovních míst, a především by mohl podpořit a zvýšit produkci potravin a krmiv (Gałęcki et al. 2021)

Chov hmyzu pro lidskou spotřebu je většinou založen na bázi menších podniků, zejména v rozvojových zemích. Nově se chov hmyzu rozvíjí především v jihovýchodní Asii, ale také ve střední a jižní Africe. Tyto malé podniky jsou často provozovány jako rodinné



podniky či farmy chovající hmyz především pro místní trhy. Chov jedlého hmyzu v průmyslovém měřítku se objevil teprve v posledních letech a je považován za budoucnost globálního průmyslu. Velkoprodukční hmyzí farmy se postupně objevují v západních zemích, například v Nizozemsku a v Asii (Čína, Thajsko) (Berggren et al. 2018). V současné době se komerční chov hmyzu stává rozvíjejícím se průmyslovým sektorem i v Severní Americe a zbytku Evropy (Cadinu et al. 2020). Tato rozsáhlá chovná zařízení se s největší pravděpodobností spoléhají na vlastní klíčový chovný materiál, aby zajistila předvídatelný přísun hmyzí biomasy jako výstupu a omezila možnost zavlečení chorob do systému. Se zvyšující se intenzitou výroby je důležité zvážit, jaké aspekty designu zařízení a metod chovu zvířat lze zachovat, a které aspekty budou vyžadovat úpravu (Berggren et al. 2018). Prostředí pro chov hmyzu musí splňovat určité podmínky, které jsou pro něj vhodné, včetně aspektů zdraví a dobrých životních podmínek. Zařízení musí mít vhodné zdroje krmiva a vody, kontrolované mikroklima, musí se zde dbát na dodržování hygieny, a také zde musí probíhat monitoring a prevence proti šíření patogenů (Baiano 2020).

Hmyz lze udržitelně chovat i na organických vedlejších produktech (hnůj, prasečí kejda a kompost). Z tohoto pohledu je zajímavá především bráněnka (*H. illucens*), moucha domácí (*Musca domestica*) a potemník moučný (*T. molitor*). Dle Baiana (2020) by tyto druhy měly kapacitu společně přeměnit 1,3 miliardy tun biologického odpadu ročně.

Hmyz je chován nejenom pro potravinářský průmysl, ale i pro farmaceutický průmysl a pro odvětví, která se zabývají ochranou proti škůdcům. Současná produkce hmyzu jako potravy je v malém měřítku, proto metody, které byly vyvinuty pro potravinářský hmyz, budou muset být přizpůsobeny systémům, které se v současnosti používají pro chov hmyzu k medicínským účelům a v boji proti škůdcům (Berggren et al. 2018).

### 3.2.3 Podmínky chovu

Efektivita hmyzích farem z hlediska konverze krmiva striktně závisí na podmínkách chovu. Hmyz nemá metabolickou regulaci vlastní tělesné teploty, proto musí být zajištěna vhodná teplota a vlhkost pro optimalizaci růstu hmyzu, která závisí na druhu hmyzu a fázi růstu. Teploty se obvykle pohybují v rozmezí mezi 20 a 35 °C. Vlhkost se pohybuje v rozmezí 55 až 75 %. Vzduch by měl cirkulovat, aby nedocházelo k nežádoucímu vrstvení vzduchu, množení plísní, bakterií a virů. Dalším významným bodem v chovu hmyzu je klimatizace. I teplotní rozdíly pohybující se v rozmezí pouze 2 až 3 °C mohou vést k významným posunům ve vývoji hmyzu, což může mít za následek nekontrolovatelné výkyvy v hospodaření (Cadinu et al. 2020). Ukázka chovu hmyzu je zobrazena na Obrázku 1.

Podobně jako při výrobě krmiv, musí být i v chovu hmyzu kladen důraz na hygienu. Chovaný hmyz, larvy nebo kukly musí být zpracovány tak, aby se nekazily, a musí být řádně skladovány až do finálního použití. Nedostatečná hygiena během zpracování může negativně ovlivnit kvalitu hmyzí biomasy a může být potenciálně nebezpečná pro zdraví konzumentů. Biologická rizika mohou vzniknout také nekontrolovaným množením bakterií, parazitů, virů nebo hub, které mohou pocházet ze samotného hmyzu, z chovného substrátu nebo z vnější kontaminace vzniklé během výrobního procesu (Cadinu et al. 2020).



Obrázek 2 - Ukázka chovu jedlého hmyzu (Zdroj: IPIFF 2023).

### 3.2.4 Zpracování a chuť jedlého hmyzu

Senzorické i nutriční vlastnosti mohou být ovlivněny různým zpracováním hmyzu. Vysoké teploty při zpracování mohou způsobit například denaturaci proteinů a oxidaci lipidů. Pro konkrétní druhy hmyzu je tedy nutné zvolit vhodné podmínky zpracování, aby došlo k eliminaci mikroorganismů a zároveň se snížila ztráta výživové kvality. Nevhodné zpracování může snížit i kvalitu hmyzí moučky (především v důsledku změn chuti, vůně, textury, barvy a dalších vlastností) (Cadinu et al. 2020).

Při zpracování hmyzu lze použít několik technologií (sušení na slunci, sušení pomocí vymrazování, mikrovlnné sušení, sušení kouřem a v troubě). Běžnou předúpravou používanou při komercializaci hmyzu a příbuzných produktů je blanšírování. Blanšírování spočívá v krátkém kroku varu, po kterém následuje rychlé ochlazení v proudící studené vodě, aby se snížil počet mikroorganismů a inaktivovaly se enzymy zodpovědné za kažení produktů a následné otravy jídel. V případě mezofilních bakterií je však blanšírování neúčinné a jsou zapotřebí další úpravy. Mezi další oblíbené zpracování hmyzu patří rozemletí na prášek nebo moučku. Tento způsob úpravy minimalizuje vizuální asociace a zvyšuje chutnost (Cadinu et al. 2020).

Při zpracování hmyzu může docházet i ke změně jeho nutriční hodnoty. Například u housenky mopane (*G. belina*) se po odstranění vnitřností zvyšuje obsah hrubých bílkovin a stravitelnost. U okřídlených termitů *Macrotermes subhylanus* a kobylek *Ruspolia differentens*

může během opékání a sušení na slunci dojít ke snížení stravitelnosti bílkovin a obsahu vitamínů (Baiano et al. 2020). Podle studie Cadinu et al. (2020) odstranění chitinového skeletu přispívá k lepší stravitelnosti hmyzu.

V knize „Creepy Crawly Cuisine: The Gourmet Guide to Edible Insects“ poskytuje Ramos Elorduy (1998) srovnání chutí hlavních tříd jedlého hmyzu, viz Tabulka 1.

Pokud jde o chuť hmyzu, má na ni vliv především strava hmyzu. Jsou zde demonstrovány různé chutě od rybí až po chuť podobnou pšeničnému chlebu (Mishyna et al. 2019). Chuť může být slaná, umami, sladká nebo ovocná. Zpracování včelích plodů vařením v páře, dušením nebo pošírováním, vytváří bylinnou či ořechovou chuť. Naopak při suchém ohřevu, díky Maillardově reakci dochází k tvorbě chuti, která se přirovnává spíše k masité. Larvy a kukly poté mají spíše játrovou nebo slatinovou příchut'. Druh mravence *Formica rufa* má aroma spáleného citrónu, naopak *Lasius fuliginosus* má výrazné aroma kafiřové limetky. Kvůli produkci kyseliny mravenčí, kterou produkují v rámci obrany, mají mravenci kyselou chuť. Larvy *T. molitor* mají obvykle sladkou až oříškovou chuť a ořechovo-kakaovou vůni. Syrová termítí královna, používaná v medicíně a jako afrodiziakum, má chuť kondenzovaného mléka. Smažené kobylky chutnají jako sardinky (Mishyna et al. 2019).

Tabulka 1-jednotlivé druhy hmyzu a jejich chuť dle Ramos-Elorduy (1998).

| Druh hmyzu                       | Chuť              |
|----------------------------------|-------------------|
| <b>Cvrčci</b>                    | Jemná             |
| <b>Kněžice</b>                   | Jablka            |
| <b>Larvy dřevokazných brouků</b> | Vepřová kůže      |
| <b>Larvy vodního hmyzu</b>       | Ryba              |
| <b>Mouční červi</b>              | Celozrnný chléb   |
| <b>Mravenci</b>                  | Sladká, oříšková  |
| <b>Saranče</b>                   | Jemná             |
| <b>Termítí</b>                   | Oříšky            |
| <b>Vosy</b>                      | Borovicová semena |

### 3.2.5 Legislativa jedlého hmyzu

Od 1. ledna 2018 vstoupilo v platnost nařízení Evropského parlamentu a rady (EU) 2015/2238 ze dne 25. listopadu 2015, které zavádí pojem „nové potraviny“. Jako tzv. „nová potravina“ je označován i hmyz a jeho části (Gałęcki & Sokół 2019).

Každý nový druh hmyzu, který se objeví na trhu, musí napřed projít schvalovacím procesem. Na trh je možné uvádět pouze druhy, které jsou zaznamenány v Seznamu Unie. Na evropské úrovni bylo schváleno již několik druhů hmyzu pro uvedení na trh jako nové potraviny. První schválený hmyzí druh vhodný ke konzumaci jsou larvy *T. molitor*, které byly schváleny prováděcím nařízením Komise (EU) 2021/882 ze dne 1. června 2021. Od 22. 6. 2021 může firma SAS EAP Group uvádět na trh celé Evropské unie larvy *T. molitor*, jako povolenou novou potravinu, v souladu s podmínkami specifikovanými v seznamu Unie (prováděcí nařízení Komise 2017/2470). Provozovatelé potravinářských podniků mohou od této firmy produkty kupovat a používat je při výrobě vlastních výrobků vyhovujících

specifikacím v Seznamu Unie. Povolení se vztahuje na celé, tepelně sušené moučné červy, buď celé (spařené, v troubě sušené larvy), nebo ve formě prášku (spařené, v troubě sušené a namleté larvy). K lidské spotřebě jsou určeni celí *T. molitor* a žádné části se neodstraňují. Kategorie potravin, do nichž mohou být přidávány, jsou proteinové výrobky, sušenky, pokrmy na bázi luštěnin, výrobky na bázi těstovin (Dobermann et al. 2017).

Druhou schválenou žádostí bylo uvedení *T. molitor* na trh jako komponentu do cereálních tyčinek, náhražek masa, čokoládových cukrovinek a pečiva. Další hmyzí druh, který prošel schvalovacím procesem, bylo *L. migratoria*. Tento druh může být na trh podáván ve třech formách: tepelně zpracován a zmražen, tepelně zpracován a mrazem vysušen, nebo tepelně zpracován, vysušen a namlet. U zmraženého a sušeného *L. migratoria* musí být odstraněny nohy a křídla. Kategorie potravin, do kterých mohou být přidávány, jsou například zpracované výrobky z brambor, pokrmy na bázi luštěnin a výrobky na bázi těstovin, náhražky masa, polévky a koncentrované polévky, konzervované luštěniny a zelenina, saláty, čokoládové cukrovinky a další (Dobermann et al. 2017).

Mezi další schválenou novou potravinu patří *A. domesticus*. Tato nová potravina může být na trh uváděna opět ve třech různých formách: tepelně zpracovaný a zmražený tepelně zpracovaný a mrazem vysušený celý *A. domesticus*; tepelně zpracovaný mrazem vysušený a mletý celý *A. domesticus*. Zmražené, sušené a práškové formy *A. domesticus* lze přidávat do chlebu a pečiva, sušenek, náhražek masa a čokoládových výrobků (Dobermann et al. 2017). Nově byl také jako jedlý hmyz schválen *Alphitobius diaperinus*, u kterého jsou konzumovány především larvy (Ishara et al. 2022).

### 3.2.6 Bezpečnost jedlého hmyzu

Hmyz sesbíraný z přírody i hmyz, který je chovaný na farmách, může být infikován patogenními mikroorganismy, včetně bakterií, virů, hub, prvoků a dalších organismů, které mohou ovlivnit jeho bezpečnost jako potraviny. Hmyz představuje z hlediska biodiverzity největší skupinu zvířat na Zemi, přibližně 5,5 milionu různých druhů. Tato rozmanitost se odráží ve shodném rozsahu virů, které ovlivňují populace hmyzu, ale mohou mít také velký dopad na zdraví člověka (Bertola & Mutinelli 2021). Obavy spotřebitelů, konzumujících jedlý hmyz, se týkají především toho, jak bezpečný je hmyz z hlediska infekčních mikroorganismů a škodlivých chemikálií. Ve studii o riziku spojeném s používáním hmyzu, jako potravy pro lidi a jako krmivo pro zvířata dospěl Evropský úřad pro bezpečnost potravin (2015) k závěru, že riziko pro zdraví lidí a zvířat závisí především na tom, jak byl hmyz chován a zpracováván (Murefu et al. 2019).

Viry jsou součástí normálního mikrobiomu hmyzu (viromu) a jsou tedy neodmyslitelně spojeny s metabolismem, chováním a přežitím hmyzu. Viry patogenní pro hmyz mohou kromě nemoci a smrti způsobit pokles růstu a snížit reprodukční schopnosti. Viry představují hlavní problém především v systémech, kde je hmyz chován ve vysokých hustotách (Bertola & Mutinelli 2021). Se zařazením hmyzu do lidské výživy tedy úzce souvisí i otázka bezpečnosti jedlého hmyzu (Baiano 2020). Hodnocení bezpečnosti jedlého hmyzu zahrnuje sledování škodlivých mikroorganismů, parazitů, toxinů, těžkých kovů, veterinárních léčiv, hormonů a reziduí pesticidů. Skutečnost, že viry bezobratlých mohou být přenášeny na

obratlovce, zvyšuje význam screeningových opatření u komerčně chovaného hmyzu (Bertola & Mutinelli 2021). Patogeny hmyzu ale pro člověka nepředstavují riziko. Výjimkou jsou arboviry, které se mohou replikovat ve svém přenašeči (hematofágním hmyzu) a následně infikovat obratlovce. U lidí tyto viry způsobují např. horečku dengue, západonilskou nemoc, horečku Rift Valley, hemoragickou horečku, horečku chickungunya. U zvířat způsobují např. Schmallerbergovu chorobu (Bertola & Mutinelli 2021).

V současné době neexistuje žádná léčba virových infekcí u jedlého hmyzu, a proto jsou preventivní a kontrolní opatření klíčová pro systémy hromadného chovu hmyzu. Primárně musí být zabráněno zavlečení hmyzích virů do vysoce intenzivních chovných zařízení. Za tímto účelem musí být pravidelně prováděny analýzy produktů, které vstupují do chovných systémů (krmné substráty, noví jedinci...). Je také nutno vyvarovat se stresovým situacím (nepravidelnému krmení, vysoké hustotě jedinců), které přispívají ke zvýšení šíření infekce a ke vzniku kanibalismu, který zvyšuje přenos mikrobiálních agens. Velká pozornost by měla být věnována také hygieně obsluhy (Bertola & Mutinelli 2021; Baiano 2020).

Dalším problémem bezpečnosti jedlého hmyzu může být mikrobiální kontaminace. V tomto případě by hmyz mohl představovat mechanického, nebo biologického přenašeče patogenních mikroorganismů. Pokud je však hmyz správně chován, zpracován a skladován, lze jej považovat za bezpečný (Baiano 2020). Vandeweyer et al. (2015) zkoumali mikrobiální bezpečnost larev *T. molitor* a *A. domesticus*, kteří byli chováni pro lidskou spotřebu v Belgii a Nizozemsku (viz Tabulka 2). Studie Grabowskiho & Kleina (2017) ukázala, že blanšírování významně snížilo obsah mikroorganismů (zůstaly pouze aerobní endospory). Výsledky této studie také naznačují, že krmivo přispívá k mikrobiální zátěži. Způsob úpravy hmyzu má tedy vliv na mikrobiální kvalitu. Smažení a vaření hmyzu významně snižuje počty mikroorganismů.

Tabulka 2- Srovnání mikrobiální kontaminace cvrčka domácího a moučného červa dle Vandeweyer et al. (2015).

| [log KTJ/g]                      | <i>A. domesticus</i> | <i>T. molitor</i> |
|----------------------------------|----------------------|-------------------|
| <b>Mezofilní bakterie</b>        | 8,2-8,4              | 8,3-8,5           |
| <b>Psychrotrofní bakterie</b>    | 5,0-5,5              | 5,8-6,5           |
| <b>Enterobacteriaceae</b>        | 7,7-8,0              | 6,8-6,9           |
| <b>Bakterie mléčného kvašení</b> | 7,3-7,9              | 7,4-8,2           |
| <b>Kvasinky a plísňe</b>         | 6,0-6,1              | 4,8-5,3           |
| <b>Aerobní bakteriální spory</b> | 2,9-4,2              | 2,3-4,3           |

Další obavu mohou vyvolávat látky potenciálně přítomné v krmném substrátu jedlého hmyzu, které se následně mohou akumulovat v hmyzím těle. Mezi tyto látky lze zařadit těžké kovy, chemické prvky (selen), dioxiny a další organochlorované sloučeniny, a také polybromované difenylethery (EFSA, 2015). Mezi těžké kovy, které vzbuzují obavy, patří kadmium, které se může objevovat i u některých druhů much. Dalším těžkým kovem je arsen, který může být přítomen v larvách *T. molitor*. Dle studie Wynants et al. (2018) provedené na těchto larvách bylo zjištěno, že krmivo silně přispívá k mikrobiální zátěži, a že některé druhy mikroorganismů lépe přežívají ve střevech svých hostitelů, kde pak získávají konkurenční výhodu a stávají se tak dominantními (Cadinu et al. 2020).

V neposlední řadě může být hmyz také zdrojem alergenů. U kobytek a bource morušového (*B. mori*) je prokázáno, že při dlouhodobém kontaktu s těmito druhy může docházet, až u 50-60 % jedinců, k senzibilaci dýchacích cest. Mezi hmyz, po jehož konzumaci nejčastěji docházelo k anafylaktickému šoku, patří především kobyčky, sarančata a kukly *B. mori*. Ve většině případů se však jedná o alergickou reakci, která je způsobena kombinací více alergenů (např. roztočů, kteří mohou být přítomni na těle hmyzu) (Derrien & Boccuni 2018).

V případě konzumace hmyzu je nutné brát v potaz i obranné mechanismy hmyzu (produkci uhlíkatých kyselin, alkoholů, aldehydů a fenolů). Tyto reakce mohou být lokálně dráždivé. V případě alkaloidů, steroidů, kyanogenních glukosidů, (benzo)chinonů a alkenů, mohou nastat i významné systémové účinky (Cadinu et al. 2020).

Zdravotní problémy mohou být způsobeny i chitinem, polymerem N-acetylglukosaminu s dlouhým řetězcem, který je primární složkou exoskeletu některých druhů hmyzu. Chitin může být považován za antinutriční látku především kvůli svým potenciálním negativním účinkům na stravitelnost bílkovin (Belluco et al. 2013). Chitin je obecně pro člověka, i přes působení žaludečních šťáv, považován za nestravitelný (Cadinu et al. 2020). Bylo však zjištěno, že v lidském gastrointestinálním traktu dochází pomocí bakterií k produkci chitinolytických enzymů. Toto zjištění může nasvědčovat tomu, že chitin lze částečně trávit (Baiano 2020).

Bezpečnost jedlého hmyzu představuje největší problém ve většině afrických zemích, protože se zde hmyz sbírá především z volné přírody. Ve většině zemí Evropy je hmyz chován v kontrolovaném prostředí, což snižuje některá nebezpečí (např. mikrobiální kontaminaci) (Baiano 2020). Při konzumaci hmyzu je na místě obezřetnost, aby nedošlo k udušení, poranění žihadly a ostny hmyzu. Možná rizika také přináší konzumace hmyzu v nevhodných vývojových stádiích nebo v případě nesprávně připraveného hmyzu. Například konzumace kobyčky bez odstranění nohou může vést až k zablokování střev (Murefu et al. 2019).

Přestože existuje velké množství vědeckých publikací o jedlém hmyzu, stále je omezená dostupnost údajů o jeho toxicitě. Nejvyšší počet publikací (přibližně 50 %) o bezpečnosti jedlého hmyzu je zaznamenán v Evropě a následně v Africe. Evropské publikace se především zajímají o bezpečnost chovaného hmyzu, zatímco publikace z afrického kontinentu řeší bezpečnost hmyzu, který je volně sklizený z přírody (Kim et al. 2019).

Potřeba bezpečnosti jedlého hmyzu pro potraviny a krmiva vedla k vývoji a aplikaci specifických postupů HACCP (Systém analýzy rizika a stanovení kritických kontrolních bodů) (Ramos Fraqueza & da Silva Coutinho Patarata 2017).

### 3.2.7 Nutriční hodnota hmyzu

Díky své výjimečné nutriční hodnotě může hmyz přispět k životaschopnému a ekologicky šetrnému řešení problémů spojených s udržitelnou výrobou potravin a krmiv (Cadinu et al. 2020). Nutriční hodnota hmyzu je velice variabilní a závisí na mnoha faktorech. Mezi nejvýznamnější faktory, které ji ovlivňují, se řadí druh hmyzu, vývojová fáze, způsob usmrcení hmyzu a jeho následná úprava a skladování. Například hmyz z taxonomické čeledi Gryllidae má požadovaný vysoký obsah bílkovin (~20 g) a nízký obsah kalorií (153 kcal), ale

také nežádoucí vysoké množství sodíku (152 mg) na 100 g jedlé části. Naopak hmyz z čeledi Curculionidae má nízký obsah sodíku a bílkovin (~10 g a 11 mg) a vysoký obsah kalorií (~480 kcal). U většiny druhů jedlého hmyzu je nízký obsah nasycených mastných kyselin (MK) (méně než 40 % z celkových MK), zatímco obsah mikroživin, především železa a zinku, je velmi vysoký (Baiano 2020). Hmyz dále obsahuje některé vitamíny. Na druhou stranu se v těle hmyzu vyskytují také velmi nízké nebo nedetekovatelné hladiny toxických prvků (Cadinu et al. 2020; Hanboonsong & Jamjanya 2013).

### **Bílkoviny**

Většina druhů hmyzu je bohatá na bílkoviny (Cadinu et al. 2020). Kjeldahlova metoda je široce používá ke kvantifikaci obsahu hrubého proteinu u hmyzu, který se pohybuje od 8 do 70 % sušiny. Tato metoda vyhodnocuje celkovou koncentraci dusíku, který se přeměňuje na bílkoviny vynásobením konverzním faktorem dusíku na bílkoviny (N-faktor) pro maso (6.25). Vzhledem k tomu, že hmyzí kutikula obsahuje velké množství vláknitého chitinu, polysacharidu bohatého na N a proteinů pevně uložených v její matici, není trávena lidmi ani domestikovanými zvířaty, použití Kjeldahlovy metody nadhodnocuje obsah stravitelných bílkovin u hmyzu. Navrhuje se tedy vyhodnotit stravitelný dusík kvantifikací dusíku, který je obsažený v kutikule a jeho vyloučením z celkového obsahu dusíku. Následně se vypočítá nový N-konverzní faktor, který by měl být podobný pro všechny druhy hmyzu a jejich vývojová stádia (Jonas-Levi & Martinez 2017). Mezi hmyz nejvíce bohatý na bílkoviny se řadí: cvrčci (*A. domesticus* 55 g/100 g sušiny), kobylky, a sarančata (*L. migratoria* 47 g/100 g sušiny) (DionPoulin et al. 2020). Obsah bílkovin vybraných druhů hmyzu, hovězího masa a humra je uveden v Tabulce 3. V horním rozmezí hmyz poskytuje dokonce více bílkovin než maso nebo slepičí vejce (Mlček et al. 2014).

Bylo také zjištěno, že na obsah bílkovin má vliv i strava. Studie, kterou provedli Ademolu et al. (2010) v Nigérii na sarančatech, prokázala, že jedinci krmení otrubami, měli vyšší obsah bílkovin než jedinci, kteří byli krmení kukuřicí.

Tabulka 3- Porovnání obsahu bílkovin hmyzu s hovězím masem a humry dle van Huise (2013).

| <b>Potravina</b>         | <b>Vývojové stádium</b> | <b>Obsah bílkovin (g/100 g živé hmotnosti)</b> |
|--------------------------|-------------------------|--|
| <b>Saranče stěhovavá</b> | Larva                   | 14-18  |
| <b>Saranče stěhovavá</b> | Dospělec                | 13-23  |
| <b>Bourec morušový</b>   | Housenka                | 10-17  |
| <b>Potemník moučný</b>   | Larva                   | 14-25  |
| <b>Cvrček</b>            | Dospělec                | 8-25   |
| <b>Termiti</b>           | Dospělec                | 13-28  |
| <b>Hovězí maso</b>       |                         | 19-26  |
| <b>Humr</b>              |                         | 17-19  |

### **Aminokyseliny**

Mezi esenciální aminokyseliny, tedy látky, které si tělo samo nedokáže syntetizovat a musí je přijmout z potravy, patří fenylalanin, izoleucin, leucin, lysin, methionin, threonin, tryptofan a valin (Belluco et al. 2013). Hodnoty jednotlivých aminokyselin u vybraných druhů hmyzu jsou uvedeny v Tabulce 4 (Ladrón de Guevara et al. 1995).



Tabulka 4 - Základní nutriční složení, minerální látky a AMK u vybraných druhů hmyzu dle Ladrón de Guevary et al. (1995).

|  | <i>Hermetia illucens</i> | <i>Tenebrio molitor</i> | <i>Musca domestica</i> |
|--|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| <b>Sušina, %</b>                         | 31,4 ± 5,2               | 54,0 ± 12,8             | 24,3 ± 0               |
| <b>Hrubý protein, % sušiny</b>           | 43,3 ± 7,1               | 53,3 ± 7,4              | 54,1 ± 10,7            |
| <b>Hrubý tuk, % DM</b>                   | 26,3 ± 11,2              | 29,8 ± 8,7              | 21,2 ± 6,3             |
| <b>Surový popel, % DM</b>                | 12,3 ± 7,9               | 4,2 ± 1,2               | 10,2 ± 6,8             |
| <b>Chitin, % DM</b>                      | 4,6 ± 1,5                | 5,9 ± 1,4               | ND ± ND                |
| <b>AME<sub>N</sub> pro drůbež, MJ/kg</b> | 17,6 ± 3,6               | 21,7 ± 0                | 17,3 ± 0               |
| <b>Hrubá energie, MJ/kg</b>              | 24,9 ± 2,9               | 24,5 ± 2,3              | 23,1 ± 4,4             |
| <b>Minerály, g/kg sušiny</b>             |                          |                         |                        |
| <b>Vápník</b>                            | 27,2 ± 13,7              | 0,9 ± 0,7               | 9,8 ± 8,9              |
| <b>Fosfor</b>                            | 8,9 ± 2,1                | 7,9 ± 1,5               | 10,5 ± 2,6             |
| <b>Hořčík</b>                            | 3,6 ± 1,2                | 2,2 ± 0,6               | 2,3 ± 0                |
| <b>Draslík</b>                           | 14,7 ± 5,3               | 9,1 ± 1,0               | 12,7 ± 0               |
| <b>Sodík</b>                             | 4,1 ± 3,7                | 1,2 ± 0,5               | 6 ± 0,9                |
| <b>Chlór</b>                             | 2,0 ± 0,6                | 5,7 ± 0                 | ND ± ND                |
| <b>Síra</b>                              | 3,4 ± 1,3                | 3,5 ± 0                 | ND ± ND                |
| <b>Mangan, mg/kg sušiny</b>              | 214,3 ± 78,5             | 11,6 ± 3,1              | 165,0 ± 154,2          |
| <b>Zinek, mg/kg sušiny</b>               | 104,2 ± 32,7             | 110,8 ± 11,2            | 638,0 ± 567,1          |
| <b>Měď, mg/kg sušiny</b>                 | 9,4 ± 2,1                | 16,3 ± 2,9              | 33,2 ± 1,1             |
| <b>Železo, mg/kg sušiny</b>              | 263,1 ± 106,5            | 70,5 ± 16,9             | 539,5 ± 91,2           |
| <b>Kobalt, mg/kg sušiny</b>              | 0,3 ± 0,3                | ND ± ND                 | ND ± ND                |
| <b>Molybden, mg/kg sušiny</b>            | 0,9 ± 0,3                | ND ± ND                 | ND ± ND                |
| <b>Aminokyseliny, g/100 g bílkovin</b>   |                          |                         |                        |
| <b>Lysin</b>                             | 6,2 ± 0,9                | 4,6 ± 1,9               | 6,9 ± 1,5              |
| <b>Threonin</b>                          | 3,9 ± 0,5                | 3,6 ± 0,9               | 4,9 ± 1,3              |
| <b>Methionin</b>                         | 1,8 ± 0,4                | 1,2 ± 0,5               | 3,8 ± 1,6              |
| <b>Cystin</b>                            | 0,7 ± 0,2                | 1,4 ± 0,6               | 1,0 ± 0,3              |
| <b>Tryptofan</b>                         | 1,5 ± 0,4                | 1,2 ± 0,5               | 1,4 ± 0,2              |
| <b>Isoleucin</b>                         | 4,3 ± 0,5                | 4,0 ± 1,3               | 3,7 ± 1,3              |
| <b>Valin</b>                             | 5,9 ± 0,4                | 5,3 ± 1,9               | 4,7 ± 1,8              |
| <b>Leucin</b>                            | 6,9 ± 0,6                | 6,6 ± 2,3               | 6,1 ± 0,6              |
| <b>Fenylalanin</b>                       | 4,1 ± 0,9                | 3,4 ± 1,0               | 7,1 ± 1,5              |
| <b>Tyrosin</b>                           | 5,9 ± 1,4                | 5,9 ± 1,5               | 5,6 ± 1,8              |
| <b>Histidin</b>                          | 3,1 ± 0,8                | 2,9 ± 1,1               | 4,0 ± 1,0              |
| <b>Arginin</b>                           | 5,3 ± 1,2                | 4,5 ± 1,4               | 6,0 ± 1,6              |
| <b>Kyselina asparagová</b>               | 8,9 ± 0,8                | 7,3 ± 2,2               | 8,0 ± 2,6              |
| <b>Kyselina glutamová</b>                | 11,1 ± 1,2               | 10,9 ± 3,1              | 11,8 ± 3,7             |
| <b>Glycin</b>                            | 5,0 ± 0,7                | 4,8 ± 1,7               | 3,3 ± 1,6              |
| <b>Serin</b>                             | 4,1 ± 0,3                | 4,3 ± 1,6               | 3,9 ± 0,2              |
| <b>Prolin</b>                            | 5,4 ± 0,5                | 5,8 ± 1,87              | 4,6 ± 0,7              |
| <b>Alanin</b>                            | 6,3 ± 0,8                | 7,1 ± 2,19              | 5,0 ± 0,7              |

## **Tuky**

Druhou nejvíce zastoupenou složkou jedlého hmyzu jsou tuky (Mlček et al. 2014). Hlavní složku lipidů, až 80 %, představují triacylglyceroly, které slouží jako zásobárna energie. Triacylglyceroly jsou potřebné pro následné vysoké energetické výdaje. Další složkou lipidů jsou fosfolipidy, cholesteroly, volné mastné kyseliny, parciální glyceridy a voskové estery (Jantzen da Silva Lucas et al. 2020).

Mezi faktory, které ovlivňují obsah tuku, patří druh, pohlaví, roční období, strava a stanoviště. Obecně platí, že samice obsahují více tuku než samci, a že larvy a kukly mají více tuku než dospělý hmyz (Kim et al. 2019). Obecně lze také říci, že je obsah tuku u druhů bohatých na bílkoviny nižší, ovšem existují i druhy s vysokým obsahem tuku i bílkovin (Cadinu et al. 2020). Rovnokřídlí, housenky motýlů, švábi, termiti, polokřídlí a brouci obsahují v průměru 13,41 %, 27,66 %, 29,90 %, 32,74 %, 30 %, a 30 % lipidů v sušině (Kim et al. 2019; de Castro et al. 2018; Mlček et al. 2014)

Na druhu a stravě hmyzu jsou závislé i profily mastných kyselin (Schluter et al. 2017). Hmyz má obecně více nenasycených mastných kyselin ve srovnání s nasycenými mastnými kyselinami (SFA) (de Castro et al. 2018). V nejmenším množství se nasycené mastné kyseliny vyskytují u blanokřídlých (v poměru 30 % ku celkovému obsahu mastných kyselin). Naopak nejvyšší poměr mají termiti (41 % ku celkovému obsahu mastných kyselin). Obsah nasycených mastných kyselin v hmyzu lze srovnat s jejich obsahem v drůbežím masu a rybách (Rumpold & Schlüter 2013). Hmyz také obsahuje esenciální mastné kyseliny, které si savci neumí sami vytvořit a musí je tedy přijímat ve stravě, jedná se o kyselinu linolovou a  $\alpha$ -linolenovou (Jantzen da Silva Lucas et al. 2020).

## **Energetická hodnota**

Energetická hodnota jedlého hmyzu závisí na jeho složení, především na obsahu tuku. Larvy nebo kukly jsou ve srovnání s dospělci obvykle bohatší na energii (Kouřimská & Adámková 2016). Energetická hodnota hmyzu se liší i dle daného druhu a oblasti, ve které se hmyz vyskytuje. Mezi řády, které obsahují nejvíce energie, se řadí Coleoptera a Lepidoptera. Jedlý hmyz obsahuje až 217–777 kcal/100 g a hmyz chovaný na organických odpadech obsahuje 288–575 kcal/100 g. U hospodářských zvířat je energetická hodnota 165–705 kcal/100 g. Hmyz tak může účinně poskytovat potřebnou energii pro životně důležité funkce našeho organismu (Arresse & Soulages 2010). Energetické hodnoty vybraných druhů hmyzu a jejich porovnáním s konvenčními produkty jsou uvedeny v Tabulce 5.

Ramos-Elorduy & Pino (1990) počítali energetické hodnoty u 94 druhů hmyzu, který je určen k lidské konzumaci. V této studii zjistili, že z 94 druhů hmyzu, které byly analyzovány, mělo 50 % vyšší energetickou hodnotu než sójové boby, 63 % mělo vyšší hodnotu než hovězí maso, 70 % analyzovaného hmyzu mělo vyšší kalorickou hodnotu než ryby, čočka a fazole a u 87 % druhů dosahovala energetická hodnota lepších výsledků než u kukuřice (Ramos-Elorduy 2008).

Tabulka 5 – Energetická hodnota vybraných druhů hmyzu, porovnaná s energetickou hodnotou konvenčních produktů dle Ramos-Elorduy (2008).

| <b>Řád</b>                    | <b>kcal/100 g</b> |
|-------------------------------|-------------------|
| Ephemeroptera                 | 354-355           |
| Odonta                        | 431-520           |
| Orthoptera                    | 336-438           |
| Isoptera                      | 347-508           |
| Hemiptera                     | 329-629           |
| Homoptera                     | 394-469           |
| Megaloptera                   | 332-366           |
| Coleoptera                    | 283-653           |
| Lepidoptera                   | 293-777           |
| Diptera                       | 217-499           |
| Hymenoptera                   | 380-561           |
| <b>Vybrané druhy potravin</b> | <b>kcal/100 g</b> |
| Maso                          | 165-705           |
| Zelenina                      | 308-352           |
| Luštěniny                     | 388-421           |

### **Sacharidy**

Sacharidy se u hmyzu vyskytují nejvíce ve dvou formách, v podobě chitinu a glykogenu. Chitin je polysacharid skládající se z dlouhých polymerních řetězců 2-(acetylamino)-2-deoxy-D-glukózy, který je primární složkou exoskeletu, zatímco glykogen je zdrojem energie uložený v buňkách a svalových tkáních (Schluter et al. 2017). Dle množství chitinu lze většinou určit obsah sacharidů u hmyzu, který se obvykle pohybuje mezi 2,7 a 49,8 mg na kg čerstvé hmoty. Je známo, že chitin zvyšuje schopnost organismu bránit se parazitickým infekcím a hraje důležitou roli i v modulaci mikrobiot (Cadinu et al. 2020).

### **Mikronutrienty**

Předpokládá se, že hmyz je levnějším zdrojem makro i mikroživin než maso. V zemích s nízkými příjmy trpí mnoho lidí, především děti a ženy v reprodukčním věku, nedostatkem železa a zinku, což představuje dva z nejzávažnějších nedostatků mikroživin na světě. Právě v těchto zemích je hmyz dostupnějším a levnějším zdrojem makro i mikroživin než je maso (Köhler et al. 2019). Kromě toho se odhaduje, že nedostatek mikroživin (známý také jako skrytý hlad), postihuje více než dvě miliardy lidí na celém světě. Tento deficit se vyznačuje zhoršenou imunitou a zhoršeným duševním zdravím, v případě dlouhodobého deficitu může nastat i smrt (Cadinu et al. 2020).

Jedlý hmyz má obecně vysoký obsah mikroživin, především mědi, železa, hořčíku, fosforu, selenu, manganu a zinku (Cadinu et al. 2020; Schlup & Brunner 2018). Navzdory variabilitě mezi druhy je pozoruhodné, že mnoho druhů hmyzu obsahuje výrazně více železa a zinku než hovězí, kuřecí a vepřové maso (Schlup & Brunner 2018). Některé druhy hmyzu (např. kobyly, cvrčci, termiti a mouční červi) jsou bohaté na železo, zinek, vápník, měď,

fosfor, hořčík a mangan. Bezobratlí bez mineralizované kostry mají velmi malý obsah vápníku (de Castro et al. 2018; Mlček et al. 2014). Většina jedlého hmyzu má podobný obsah železa jako hovězí maso, ale v současné době víme jen málo o biologické dostupnosti minerálních látek ve hmyzu (de Castro et al. 2018). Latunde-Dada et al. (2016) zjistili, že konzumace hmyzu může poskytnout vysoký podíl z denních minerálních doporučení pro lidi, zejména pokud jde o železo. Další důležitou složkou jsou i vitamíny. Výzkum obsahu vitamínů je rovněž nedostatečný, ale dostupná data naznačují, že jedlý hmyz obsahuje karoteny, vitamín B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub>, C, D, E a K (Mlček et al. 2014). Dále bylo zjištěno, že obsahuje i riboflavin, kyselinu pantotenovou, biotin a příležitostně i kyselinu listovou (Cadinu et al. 2020). Zejména Orthoptera a Coleoptera jsou bohaté na kyselinu listovou (Rumpold & Schlüter 2013). Vysoký obsah riboflavinu byl zjištěn u terminů. Ve srovnání s kuřecím masem má tento hmyz 20× více riboflavinu. Vysoký obsah vitamínu E se uvádí u octomilky obecné (*Drosophila melanogaster*) a kobylek druhu *Microcentrum rhombifolium*. Hodnoty tohoto vitamínu jsou přibližně 110 mg/kg sušiny (Cadinu et al. 2020). Na druhou stranu jedlý hmyz není příliš dobrým zdrojem vitamínů A, C a B<sub>3</sub> (Kouřimská & Adámková 2016).

### 3.2.8 Druhy jedlého hmyzu

Hmyz chovaný pro lidskou spotřebu je považován za hospodářské zvíře (Mlček et al. 2018). Mezi nejčastěji konzumovaný hmyz patří především lehce dostupné druhy z následujících řádů: brouci (Coleoptera - 31 %), housenky motýlů (Lepidoptera - 18 %), mravenci, vosy a včely (Hymenoptera - 14 %), cvrčci, kobylky a sarančata (Orthoptera - 13 %), cikády a červi (Hemiptera - 3 %) (van Huis et al. 2013). Mezi druhy hmyzu doporučené ke konzumaci dle Evropského úřadu pro bezpečnost potravin (EFSA) patří například moučný červ (*T. molitor*), potemník brazilský (*Zophobas morio*), zavíječ voskový (*Galleria mellonella*), saranče stěhovavé (*L. migratoria*), bourec morušový (*B. mori*) a v neposlední řadě cvrček domácí (*A. domesticus*) a cvrček banánový (*G. assimilis*) (Mlček et al. 2018). Dalším druhem hmyzu, který je plně domestikovaný a slouží i jako potrava pro lidi je včela medonosná (*Apis mellifera*). Tento druh je také hojně využíván v medicíně (Varelas & Langton 2017).

### 3.3 Cvrček banánový

#### Taxonomické zařazení cvrčka banánového

Říše: Živočichové (Animalia)  
Kmen: Členovci (Arthropoda)  
Podkmen: Šestinozí (Hexapoda)  
Třída: Hmyz (Insecta)  
Podtřída: Křídlatí (Pterygota)  
Řád: Rovnokřídlí (Orthoptera)  
Podřád: Kobylinky (Ensifera)  
Nadčeleď: Cvrčci (Grylloidea)  
Čeleď: Cvrčkovití (Gryllidea)  
Rod: Cvrček (*Gryllus*)  
Druh: Banánový (*Assimilis*)

Cvrček banánový (*G. assimilis*) byl poprvé popsán roku 1775 na Jamajce. Tento druh cvrčka se přirozeně vyskytuje i na Galapágách, Karibských ostrovech, v jižní části Severní Ameriky a ve Střední a Jižní Americe (Weissman et al. 2009). Velikost samic se pohybuje v rozmezí 19-24 mm a jejich délka je 7-9 mm. Naopak samci jsou větší 18-23 mm a jejich délka je 5-7 mm. Cvrček banánový je zbarvený do světle hnědé barvy a na těle se vyskytují tmavé skvrny. Dospělci mají 2 páry křídel. První, sklerotizovaný pár, kryje pár blanitých křídel (Friedrich & Volland 2004).



Obrázek 3 - *Gryllus assimilis*-stavba těla (Foto C. Hardin)

### 3.3.1 Chov cvrčka banánového

Pokud jde o entomofágii, patří cvrčci mezi velice oblíbený konzumovaný hmyz, který je využíván již po mnoho let. Chov cvrčků je tedy obecně na vzestupu, čemuž odpovídá i stoupající počet cvrččích farem v Thajsku, kde je jich zhruba 20 000 (Halloran et al. 2017). Cvrčci jsou chováni v průmyslovém měřítku nejenom jako zdroj potravy pro lidi, ale i jako krmivo pro zvířata (Orinda et al. 2017). Mezi nejčastěji konzumovaný a chovaný druh patří cvrček banánový (*G. assimilis*), cvrček domácí (*A. domesticus*) a cvrček dvojskvrnný (*G. bimaculatus*) (van Huis & Oonincx 2017). K benefitům chovu *G. assimilis* patří především jeho odolnost a rezistence vůči patogenům. Tento druh také dobře zvládá výkyvy teplot a vlhkosti, díky tomu nepodléhá stresu. Ve srovnání s *A. domesticus* tento druh dorůstá větších rozměrů (Friedrich & Volland 2004). Jak již bylo zmíněno výše, k dalším výhodám chov cvrčků patří i fakt, že mohou být chováni na vedlejších produktech potravinářského průmyslu a zemědělství (Lundy & Parrella 2015).

Optimální teplota pro chov *G. assimilis* se pohybuje v rozmezí 25 až 30 °C. Při teplotě 30 °C se urychluje líhnutí, které trvá přibližně 9 dní. Naopak při nižších teplotách, zhruba 25 °C, trvá líhnutí 13 dní. Vylíhnutí cvrčci dosahují dospělosti za 5 až 6 týdnů. V chovu je důležité udržovat i optimální vlhkost, která se v případě *G. assimilis* pohybuje v rozmezí 50 - 60 %. V nádobách by nemělo dojít k zapaření, protože by se zvýšilo riziko výskytu plísní. Samice žijí přibližně 12 týdnů a za svůj život jsou schopny naklást 250 až 350 vajíček (Friedrich & Volland 2004).

Cvrčci jsou obvykle chováni v plastových boxech, ve kterých by mělo být umístěno několik plat od vajec. Plata představují pro cvrčky bezpečný úkryt. V jednom boxu o rozměrech 50 × 20 × 25 by mělo být maximálně 250 jedinců. V boxu by mělo být umístěno i kladiště, které by mělo být naplněno vhodným substrátem (písek, rašelina nebo zemina), který by měl být neustále vlhký. Jako zdroj vody cvrčkům slouží hydrogel, nebo navlhčená vata. Miska s vodou je pro chov cvrčků naprosto nevhodná, mohli by se v ní utopit. Potrava cvrčků je velice variabilní. Mohou být krmeni obilnými otrubami, ovocem a zeleninou nebo zvířecími granulami (Friedrich & Volland 2004).



Obrázek 4 – *Gryllus assimilis* – samice (Foto Andrlé)

### 3.3.2 Nutriční hodnota cvrčka banánového

Cvrčci jsou řazeni do řádu rovnokřídlých. Pro tento řád obecně platí, že jsou zde druhy bohaté na bílkoviny, ale chudé na tuk (Friedrich & Volland 2004). Dle studie Araújo et al.

(2019) jsou nutriční hodnoty *G. assimilis* následující: bílkoviny 65,52 %, lipidy 21,80 % (u nymf těchto cvrčků byl zjištěn obsah tuku okolo 34 %, larvy běžně obsahují více tuku než dospělí jedinci), sacharidy 8,6 %, popeloviny 4,08 %. U tohoto druhu byl také zaznamenán vysoký obsah kyseliny palmitové (nad 30 %), olejové a linolové. Obsah nenasycených mastných kyselin (olejové), je důležitý, protože se jedná o esenciální mastnou kyselinu a konzumace těchto polynenasycených mastných kyselin je spojována například se snížením rizika srdečních infarktů a kardiovaskulárních chorob. Konzumace těchto kyselin také přispívá ke správnému vývoji mozku či oční sítnice (Akoh & Min 2008; Kouřimská & Adámková 2016). V případě minerálních látek byly u *G. assimilis* naměřeny vysoké koncentrace vápníku, hořčíku, železa a zinku, draslíku, sodíku, fosforu, manganu a mědi. Obsah železa zjištěný ve vzorcích hmyzu se přibližoval obsahu železa v hovězím masu a byl vyšší než obsah železa ve vepřovém či kuřecím masu (Araújo et al. 2019). Pokud jde o vitamíny, je tento druh cvrčka bohatý především na vitamín B<sub>12</sub> (5,4 µg na 100 g u dospělých jedinců, 8,7 µg na 100 g sušiny u nymf). Dále cvrčci obsahují také retinol a β-karoten, riboflavin, kyselinu pantotenovou a biotin (Kouřimská & Adámková 2016). Zde uvedené hodnoty jsou pouze průměrné. Mohou se lišit v závislosti na vývojovém stádiu hmyzu, stanovišti a způsobu chovu (Araújo et al. 2019).

### 3.4 Hmyz jako krmivo pro zvířata

Rostoucí poptávka po krmivech pro zvířata přiměla výrobce k zavádění inovativních technologií a surovin jako je jedlý hmyz. Poslední desetiletí byla svědkem vzestupu zájmu o hmyz jako potenciální zdroje potravy a krmiva. Výzkum prokázal, že hmyz může účinně doplňovat, nebo nahrazovat konvenční složky krmiva, včetně sóji a rybí moučky (Gałęcki et al. 2021). Evropský trh prošel v posledních letech rychlým růstem, zejména poté, co komise Evropské unie povolila od července 2017 používání hmyzu v krmivu pro domácí zvířata a živočichy chované v akvakulturách. V celé Evropě bylo založeno několik start-upů, malých/středních podniků a několik velkých společností, které měly za cíl zlepšit metody chovu hmyzu a získat tak zájem významných investorů (Cadinu et al. 2020).

Celková produkce krmiva v roce 2011 byla odhadována na přibližně 870 milionů tun. Odpovídajícím způsobem byly celkové výnosy generované komerční výrobou krmiv vyhodnoceny na přibližně 350 miliard USD. I když se tato čísla mohou zdát obrovská, produkce krmiva se musí zvýšit alespoň o 70 %, aby byla uspokojena očekávaná celosvětová poptávka po krmivech v roce 2050. Tento nárůst poptávky po krmivech pramení především z potřeby zvýšit produkci masa až o 60 % vzhledem k očekávanému nárůstu světové populace (Cadine et al. 2020; Baiano 2020).

V současné době jsou hlavními složkami krmiva pro zvířata a ryby především rybí moučky, masokostní moučky, rybí tuk, sójové boby a několik dalších druhů obilovin. Rybí a masokostní moučky představují až 70 % výrobních nákladů. Během let 2010 a 2011 došlo ke zvýšení poptávky po rybí moučce. Prvním efektem byl okamžitý vzestup cen, které se drží na vysoké úrovni dodnes. Vzhledem k tomu, že rybí moučka je důležitým komponentem pro krmivářský průmysl, lze tedy očekávat, že poptávka po rybách neustále poroste. V současné

době produkce rybí moučky představuje přibližně 10 % celosvětové produkce ryb. Hlavním producentem rybí moučky je Jižní Amerika, která se spoléhá především na lov sardel. V roce 1994 bylo uloveno až 12,5 milionu tun sardelí. V roce 2010 se výnos úlovku ale snížil až na 4,2 milionu tun. Poklesy jsou zaznamenávány i nadále. Odvětví navíc trpí přísnějšími rybolovnými kvótami pro různé země a posílením kontroly nezákonného rybolovu (Cadinu et al. 2020).

Pokud jde o sójovou moučku, ta představuje rostlinný zdroj kvalitních proteinů a má optimální složení aminokyselin a vysokou stravitelnost. Na druhou stranu s sebou využívání rostlinných zdrojů přináší i několik negativ. Jedním z nich je nevyvážený poměr esenciálních a neesenciálních aminokyselin. U sóji, přestože je zde tento poměr nejvhodnější, jde konkrétně o nedostatek lyzinu a methioninu. Tyto aminokyseliny se musí do krmiva následně doplňovat. Mezi další nevýhody sójové moučky se řadí nižší chutnost, vysoký obsah vlákniny a přítomnost antinutričních látek, především glukosinolátů (Burel & Kaushik 2008) Pěstování sójových bobů je spojeno s různými environmentálními úskalími (odlesňováním, vysokou spotřebou vody na zavlažování, hojným využíváním pesticidů a umělých hnojiv) (Osava 1999).

#### **3.4.1 Legislativa hmyzu v případě krmiv pro zvířata**

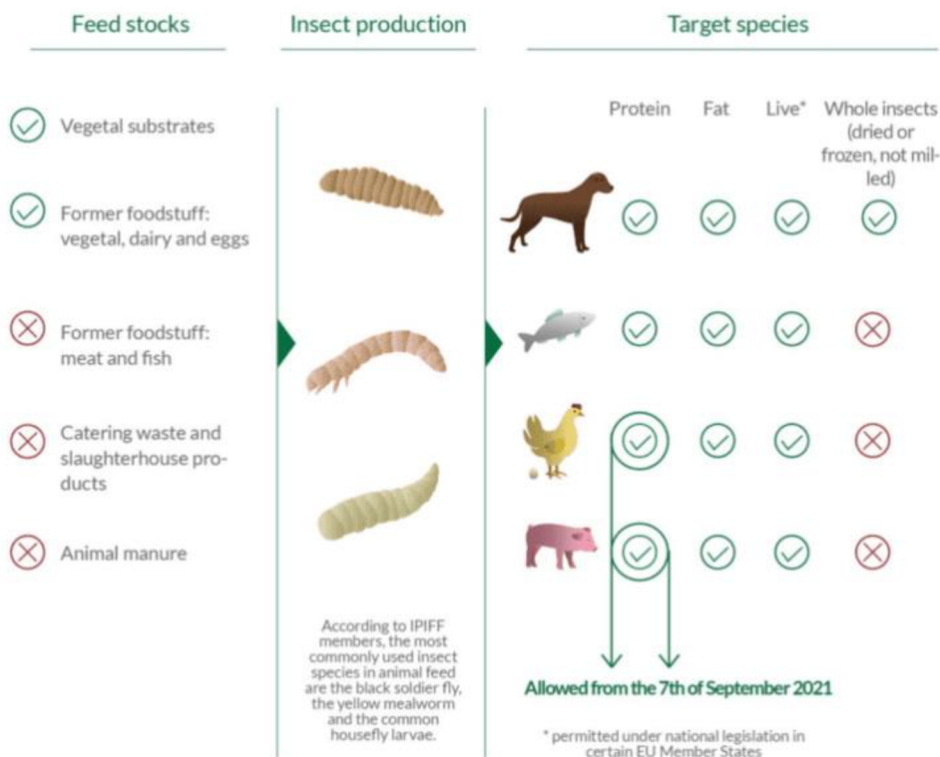
Použití hmyzu v krmivech pro zvířata musí překonat méně náročné předpisy než v případě jeho konzumace lidmi. Podle předpisů EU je hmyz chovaný pro potraviny, krmivo, nebo jiné účely považován za „chovaná zvířata“ a musí dodržovat všechny nezbytné předpisy. V EU proto může být hmyz krměn pouze produkty neživočišného původu nebo produkty živočišného původu, které obsahují materiály kategorie 3 zahrnuté v katalogu krmných surovin (European Commission Regulation (EC) No 1069/2009). V Evropské unii je však hmyzí moučka povolena pouze jako krmivo pro akvakulturu (od roku 2017) a pro výživu domácích zvířat, zatímco živý hmyz je povolen podle vnitrostátních právních předpisů v některých členských státech EU jako krmivo pro ryby, drůbež a prasata. Primárním důvodem těchto omezení je možný výskyt přenosné spongiformní encefalopatie (Menozzi et al. 2021). Hmyz, který je využíván jako krmivo pro zvířata, musí být stále chován podle konvenčních předpisů pro hospodářská zvířata, což znamená, že nemůže být krměn žádnou formou odpadních produktů, což snižuje environmentální přínos chovu hmyzu, jak bylo diskutováno výše (Dobermann et al. 2017). Od září 2021 je ze zákona povoleno zařazovat hmyzí proteiny do krmiv pro drůbež a prasata. V souvislosti s tím roste i počet publikací o aplikaci hmyzích přípravků u těchto hospodářských zvířat (Veldkamp et al. 2022).

#### **3.4.2 Druhy hmyzu využívané ve výživě zvířat**

Výběr optimálních druhů hmyzu pro výrobu krmiva pro hospodářská zvířata představuje značnou výzvu. Po celém světě se konzumují tisíce druhů hmyzu, ale jen některé z nich jsou vhodné pro velkochov. Výběr těchto druhů byl ovlivněn řadou faktorů. Mezi ty nejvýznamnější patří podmínky prostředí a mikroklimatu, nutriční požadavky a nutriční hodnoty hmyzu (Gałęcki et al. 2021). Pokud jde o hmyz jako o krmivo pro hospodářská zvířata v Evropě, jsou pro tento účel povoleny tyto druhy: *H. illucens*, *T. molitor*, *A. diaperinus*, *A. domesticus*, *G. Sigillatus* a *G. assimilis* (Gasco et al. 2020). Zmíněné druhy



jsou nejvyužívanější k výrobě krmiv pro hospodářská zvířata. Dalším hojně využívaným druhem je moucha domácí (*M. domestica*). Naopak k výrobě krmiv pro hobby zvířata, cirkusová zvířata a zvířata chovaná v zoologických zahradách se nejvíce používají larvy *A. diaperinus*, *H. illucens*, *G. mellonella* a larvy *B. mori* a nymfy některých druhů cvrčků (Baiano 2020). Na Obrázku číslo 5 lze vidět vybrané druhy hmyzu, které se zkrmují vybraným kategoriím zvířat a krmivo, který hmyz určený pro výrobu krmiva může konzumovat.



Obrázek 5 - Vybrané druhy hmyzu povolené pro výživu zvířat (zdroj: IPIFF 2022)

### 3.4.3 Výživa drůbeže

Na úvod je nutné zmínit, že ptáci obecně mají snížený počet chuťových pohárků (krmivo si vybírají především na základě barvy), a tudíž nejsou tak nároční na chuť krmiva jako savci (Liu et al. 2014). Dále je hmyz přirozenou součástí potravy ptáků (Biasato et al. 2018). Kuřata s přístupem do venkovních prostorů sbírají hmyz ve všech životních fázích a jedí ho dobrovolně, což naznačuje, že jsou evolučně adaptována na hmyz jako přirozenou součást jejich stravy (Józefiak et al. 2016). Přestože některé studie uvádějí, že je pro drůbež nejpřirozenější konzumace neupraveného hmyzu, dle Vijvera et al. (2003) je nutné hmyz před zkrmováním zpracovat, protože neupravený hmyz může obsahovat patogenní látky. Výhodou zpracovaného hmyzu je také snadnější manipulace, než se živým hmyzem a snížené riziko přenosu nemocí (Khusro et al. 2012). Ve většině případech se při krmení drůbeže hmyzem nejčastěji využívá hmyzí moučka nebo hmyzí olej (Cullere et al. 2016).

Z výše uvedených důvodů se zdá rozumné zvážit zahrnutí hmyzích proteinů jako suroviny pro komerční výrobu krmiv pro drůbež. Aby byl hmyz vhodným kandidátem na krmivo pro drůbež, měl by obsahovat vysoké množství proteinů a vysoké koncentrace aminokyselin a síry (Hossain & Blair 2007; Chodová & Tůmová 2020).

Bylo zjištěno, že začlenění hmyzu do krmiva pro brojlerová kuřata nevedlo ke snížení konverze krmiva, ba naopak v některých případech došlo ke zvýšení rychlosti růstu kuřat. V případě nosnic byla pozorována lepší konverze krmiva u slepic, které byly krmeny hmyzí moučkou. Podobné výsledky byly zjištěny i v případě krmení koroptví hmyzí moučkou (Dobermann et al. 2017).

Krmiva na bázi hmyzu by kromě vyšší rychlosti růstu mohla mít pozitivní vliv i na finální chuť masných výrobků. Například na Filipínách spotřebitelé preferují chuť kuřat, která jsou chována na pastvě a krmena kobyilkami. Takto chovaná kuřata jsou sice dražší, ale pro spotřebitele jsou oblíbenější. V případě produkce vajec došlo k nahrazení rybí moučky *T. molitor*. Tento úkon měl za výsledek zvýšení produkce vajec o 2,4 % (Kim et al. 2019). Dle Benzertiha et al. (2020) obohacení krmiva o *T. molitor* nebo *Z. morio* může výrazně zlepšit růst, přírůstek a příjem krmiva.

V případě krmení drůbeže podporuje přidání moučky z larev *H. illucens* do krmné dávky růst kuřat a konverzi krmiva. Oba parametry se zvýšily po částečném nahrazení sójové moučky hmyzí moučkou (Makkar et al. 2014). Dle Józefiak et al. (2020) má přidání moučky ze *Z. morio* pozitivní vliv na osídlení střev, zejména slepého střeva. Přídavek této moučky zvýšil počty *Actinobacteria*, *Bifidobacteriaceae* a *Lactobacillus agilis*.

Další důležitou složkou krmiva je tuk. Tuk získaný z hmyzu může navíc plně nahradit ekologicky nepříznivé a běžně používané krmné suroviny ve výživě drůbeže (např. palmový nebo sójový olej). Doposud byly za alternativní zdroje tuku pro krmení drůbeže uváděny především tyto druhy: *T. molitor*, *Z. morio*, *H. illucens*. Dle Kierończyka et al. (2021) zařazení hmyzích tuků do stravy brojlerů, nosnic a krůt, má srovnatelný efekt jako sójový olej. Nejdůležitější výzvou v případě zkrmování hmyzího tuku brojlerům je profil mastných kyselin výsledných produktů, tzn. prsního a stehenního svalu (Kierończyk et al. 2022).

Bylo zjištěno, že chitin má pozitivní vliv na imunitní systém drůbeže. Tento poznatek by mohl vést ke snížení používání antibiotik (Moula et al. 2018). Bylo zjištěno, že kuřata krmena stravou s vysokým obsahem chitinu měla sníženou střevní populaci bakterií *E. coli* a *Salmonella* (Kierończyk et al. 2022).

#### 3.4.4 Výživa prasat

Divoká prasata v přírodě konzumují především rostlinnou stravu, ale i rozmanité spektrum bezobratlých. V přírodě kompenzuje hmyz nedostatek bílkovin při nedostatku zdrojů. Divoká prasata nejčastěji konzumují hmyz řádů: Anoplura, Coleoptera, Diptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Orthoptera a Trichoptera. Hmyz také představuje významný zdroj železa, především pro selata divokých prasat. Díky přítomnosti chitinázy jsou prasata dobře adaptována na přijímání krmiva bohatého na chitin (Kierończyk et al. 2022). V případě krmení prasat jako hospodářských zvířat, se hmyz používá především jako náhrada zdrojů bílkovin (sójové moučky, kukuřice a sójového oleje). Například larvy *H. illucens*

obsahují stejné množství stravitelného lysinu, jako sójová, krevní nebo rybí moučka (Crosbie et al. 2020). Hmyz lze využít při krmení všech kategorií prasat: prasat v odchovu, při odstavu, výkrmu i ve výživě kojících prasnic (Kierończyk et al. 2022).

Dle Neumann et al. (2018) je moučka z *H. illucens* z hlediska stravitelnosti dusíku vhodnější pro selata i rostoucí prasata než moučka ze *Spiruliny platensis*. Dle Altmanna et al. (2019) zařazení moučky z larev *H. illucens* zlepšilo kvalitu vepřového masa. Zlepšení spočívalo především ve zvýšení polynenasycených mastných kyselin (PUFA) a ve snížení mononenasycených mastných kyselin (MUFA) a nasycených mastných kyselin (SFA). Také se zlepšila celková vůně a šťavnatost masa. Dle Chia a kol. (2021) celkové nahrazení rybí moučky moučkou z *H. illucens* mělo příznivý vliv na jatečnou hmotnost, a také zvýšilo obsah tuku v bederní svalovině. Dále tkáň vykazovaly zvýšený obsah makroprvků (K a P) a mikroprvků (Fe a Zn).

Studie, které se zabývají krmením prasat hmyzem, uvádějí, že šrot z larev *H. illucens* je vhodnou složkou krmiva. Tento šrot je bohatý především na aminokyseliny, lipidy a vápník. Pokud se však jedná o aminokyseliny methionin, cystein a threonin, které jsou pro prasata důležité, musí se v případě krmení tímto šrotem do krmiva přidávat. Strava obsahující moučku z těchto larev byla pro zvířata stejně chutná jako strava na bázi sójové moučky (Makkar et al. 2014).

Mezi výhody spojené s využíváním bezobratlých ve výživě prasat spadají pozitivní dopady na jejich imunitní systém. Zahrnutí *H. illucens* do stravy selat do 28. dne věku, zvýšilo koncentraci protizánětlivých látek při odstavu selat (Yu et al. 2020). Crosbie et al. (2021) ve své studii nahradili až 50 % bílkovin živočišného původu šrotem z larev *H. illucens*. Výsledky ukazují, že tento šrot může být stejně účinný jako přidání antibiotik podporujících růst.

Mezi další využívaný hmyz ve výživě prasat patří *M. domestica*. Dle Crosbie et al. (2021) byly prasnice a selata krmena moučkou z těchto much. Užitek a zdraví takto krmených prasnic zůstaly stejné jako při krmení komerčními směsmi.

I když je v praktických podmínkách možné přidávat hmyzí biomasu do výživy prasat pouze v relativně malém množství (do 3 %), lze pozorovat určité výhody (Kierończyk et al. 2022). Choi et al. (2019) prokázali, že zahrnutím hmyzí moučky jako 1-3% náhrady sójové moučky do stravy prasat, lze získat ekonomické a efektivní krmivo.

### 3.4.5 Výživa hobby zvířat

Využívání hmyzu jako komponentu do krmiv pro domácí mazlíčky se tedy vrací k přirozenosti a navíc obohacuje tradiční trh s krmivem. Zařazení hmyzu do krmiva pro psy a kočky má také příznivý dopad na životní prostředí. Výroba komerčního krmiva pro domácí zvířata se až z 30 % podílí na znečištění planety (využívání půdy, vody, fosilních paliv, fosfátů a biocidů). V současné době trh s krmivem pro domácí zvířata často nabízí diety založené pouze na hmyzu jako na jediném zdroji bílkovin. Tento druh stravy vylučuje nejvíce používané produkty, které u psů mohou způsobit alergii (sóju, kuřecí maso) (Kierończyk et al. 2022).

Dle Kierończyka et al. (2018) patří hmyz mezi významný atraktant ve výživě psů. Krmivo s přísávkem hmyzu psi ochotně konzumují. Preference chutnosti hmyzu záležely na pohlaví. Feny preferovaly spíše krmivo se švábem turkeštánským (*Shelfordella lateralis*), zatímco psi spíše preferovali krmivo s převahou *T. molitor*. Dle studie Beynen et al. (2020) existuje rozdíl i mezi chutěmi psů a koček. Psi spíše preferovali moučku z larev *H. illucens*, zatímco kočky si vybíraly produkty z larev *T. molitor*.

Dle Leeho et al. (2021) měla strava založená na *T. molitor*, která byla psům podávána po dobu 12 týdnů, za následek snížení množství kožních lézí a dysfunkcí kožní bariéry. Majitelé psů se nakonec staví k budoucímu používání hmyzích produktů jako alternativy k masu v krmivech pro psy pozitivně, zejména vzhledem k výhodám snížení zátěže životního prostředí, a navíc je biomasa bezobratlých dostatečnou náhradou nebo u současné výživy (Ibitoye et al. 2019).

### 3.4.6 Využití hmyzu v akvakultuře

Několik experimentů ukázalo, že larvy *H. illucens* mohou částečně, nebo plně nahradit rybí moučku v potravě ryb. Tento druh se používá ke krmení sumečka tečkovaného (*Ictalurus punctatus*). Při pokusech bylo zjištěno, že jedinci částečně krmení hmyzí moučkou dosahují stejné tělesné hmotnosti a celkové délky jako jedinci krmení kontrolní směsí. Také bylo zjištěno, že mladší sumečci odmítali celé larvy a preferovali je spíše nasekané. V případě úplného nahrazení rybí moučky nedošlo k tak dobrým výsledkům. Dále se nakrájené larvy *H. illucens* využívají jako součást potravy pro tilapii modrou (*Oreochromis aureus*), pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*), lososa atlantického (*Salmo salar*) a pakambalu velkou (*Psetta maxima*). Do určité míry se hmyz rovněž může vyskytovat i v potravě krevetky Rosenbergovy (*Macrobrachium rosenbergii*) nebo aligátorů (*Alligator mississippiensis*) (Makkar et al. 2014).

## 3.5 Pesticidy

Pesticidy jsou přípravky, které jsou určeny k potlačování a hubení rostlinných a živočišných škůdců. Pesticidy se využívají především k ochraně rostlin (celosvětově se 40 % zemědělské produkce ztrácí kvůli chorobám rostlin, plevelu a škůdcům), ale lze se s nimi setkat i v případě ochrany člověka a zvířat. Pesticidy mohou být přírodní sloučeniny, nebo jsou synteticky vyrobeny. Používají se i v domácnostech, lesnictví, potravinářství, v zemědělství, ale i ve veterinární medicíně, kde se používají jako léčiva. Při absenci pesticidů by ztráty na úrodě byly mnohonásobně vyšší (Dich et al. 1997; Mahmood et al. 2016).

Pesticid je složen z pěti základních komponentů: účinné látky, synergenty, safenery, přídatné látky a adjuvanty. Účinnou látku, která tvoří nejvýznamnější část pesticidů, představují chemické nebo přírodní látky a jejich sloučeniny. Účinnost pesticidů je závislá právě na fyzikálně-chemických vlastnostech účinné látky. Synergenty podporují a současně zvyšují efektivitu účinné látky. Safenery mají v pesticidech důležitou roli, potlačují a zmenšují fytotoxicitu pesticidního přípravku. Jako přídatná látka v pesticidech nejčastěji

slouží plnidla, stabilizátory a rozpouštědla. Poslední složkou pesticidu jsou adjuvanty, jejichž úkol je zefektivnit herbicidní ošetření. Největší důraz je kladen na snížení dávky pesticidu a finančních nákladů, ale zároveň na zvýšení biologické účinnosti daného přípravku (v některých případech lze dokonce vhodně zvoleným adjuvancem dosáhnout až desetinásobného snížení dávky účinné látky a zvýšit tak jejich bezpečnost (Green et al. 2015). Adjuvanty mají také často pozitivní vliv na výnos plodiny (Kazda et al. 2010).

### 3.5.1 Rozdělení pesticidů

Na základě působení lze pesticidy klasifikovat jako prostředky likvidační, odpuzující a zmírňující.

Pesticidy lze rozdělit do několika tříd:

- Organochloriny (např. DDT)
- Karbamáty (např. karbaryl)
- Organofosfáty (např. chloropyrifos)
- Pyrethroidy (např. permethrin)
- Neonikotinoidy (např. imidacloprid)

Do kategorie neonicotinoidů náleží většina současných nejvíce používaných pesticidů (Mahmood et al. 2016).

Dle Rupeše & Ledvinky (2003) lze pesticidy také rozdělit do jednotlivých skupin podle toho, proti jakým druhům organismů jsou zaměřeny.

- Algicidy (hubení sladkovodních a mořských řas)
- Akaricidy (hubení roztočů a pavouků)
- Baktericidy (ničení bakterií)
- Fungicidy (ničení hub a plísní)
- Herbicidy (hubení plevelů)
- Insekticidy (hubení hmyzu)
- Rodenticidy (hubení hlodavců)
- Viricidy (ničení virů)

### 3.5.2 Rizika používání pesticidů

Používání pesticidů k omezení výskytu škůdců se stalo běžnou praxí po celém světě. Nepoužívají se pouze na zemědělské půdě, ale jak již bylo zmíněné výše, jsou používány i v domácnostech (např. na hubení švábů, krys a štěnic). I z tohoto důvodu se pesticidy mohou vyskytovat v potravinách nebo ve vzduchu. Bylo také pozorováno, že nadměrné používání pesticidů ve vodních ekosystémech vedlo k vážnému ohrožení druhů ryb, včetně lososa (Macneale et al. 2010). Rizika spojená s nadměrným používáním pesticidů převýšila jejich příznivé účinky. Pesticidy mají drastické účinky na necílové druhy a ovlivňují biologickou rozmanitost zvířat a rostlin, vodní i suchozemské ekosystémy (Mahmood et al. 2016).

Po roce 1962 tak došlo k výraznému poklesu ve vývoji nových pesticidů, protože veřejnost si začala uvědomovat environmentální rizika, která jsou spojena s neselektivním

používáním pesticidů. V roce 1962 americká vědkyně Rachel Carson ve své knize *Silent Spring* zdůraznila, že rozprašování DDT v terénu způsobuje smrt necílových organismů, buď přímou, nebo nepřímou toxicitou. Odezvou na tuto publikaci byl vznik IPM (integrovaná ochrana proti škůdcům) metody, při které se pro kontrolu škůdců používají přirození predátoři nebo parazitoidi (organismy, které se vyvíjí v těle nebo buňkách jiného organismu a na konci vývoje svého hostitele usmrtí a často i zkonzumují). Populace škůdců je sice díky této metodě snížena, ale v určitých situacích bohužel IPM metoda nestačí a musí být použity i chemické pesticidy (Mahmood et al. 2016).

Pesticidní přípravky obsahují aktivní složky spolu s inertními látkami, kontaminanty a příležitostně nečistotami. Jakmile se pesticidy uvolní do životního prostředí, rozloží se na látky známé jako metabolity, které jsou v určitých podmínkách toxičtější. Neselektivní pesticidy zabíjejí necílové rostliny a zvířata spolu s cílovými organismy. Navíc si postupem času někteří škůdci vyvinuli vůči pesticidům genetickou odolnost (Mahmood et al. 2016).

Pesticidy představují potenciální nebezpečí pro lidi a živočichy především svojí biologickou účinností. Jsou využívány na stále větším množství zemědělské půdy. Jejich nebezpečí představuje především jejich kumulace. Pesticidy se mohou kumulovat v primární, nebo konečné formě rozpadu. Vzniklé látky se následně mohou pomocí potravního řetězce dostat do lidského nebo zvířecího organismu (Dich et al. 1997).

Pesticidy vstupují do přírodních ekosystémů dvěma různými způsoby v závislosti na jejich rozpustnosti. Pesticidy rozpustné ve vodě se v ní rozpouštějí a následně pronikají do podzemních vod, potoků, řek a jezer, čímž způsobují poškození necílových druhů. Na druhé straně jsou pesticidy rozpustné v tucích, které vstupují do těl zvířat procesem známým jako "bioamplifikace". Absorbují se tedy v tukových tkáních zvířat, což má za následek přetrvávání pesticidů v potravinových řetězcích po dlouhou dobu. Hromadění pesticidů v tělech živočichů představuje jeden z největších problémů při jejich požívání (Mahmood et al. 2016).

Používání pesticidů neušetrilo ani populace suchozemských zvířat. Populace užitečného hmyzu, jako jsou včely a brouci, se mohou v souvislosti s používáním širokospektrých insekticidů (karbamátů, organofosfátů, pyretroidů) výrazně snížit (Mahmood et al. 2016). Neonikotinoidy, skupina používaných insekticidů, jsou pro včely toxické. Imidakloprid i v nízkých dávkách negativně ovlivňuje chování včel při hledání potravy, a také snižuje jejich schopnost učení (Yang et al. 2008; Decourtye et al. 2003). Největší zkázu, kterou neonikotinoidy způsobily, bylo náhlé vymizení včel na počátku 21. století. To bylo hlavním problémem potravinářského průmyslu, protože 1/3 produkce potravin závisí na opylování včelami. Med a vosk získaný z komerčních úlů obsahovaly směs pesticidů, z nichž podstatnou část tvořily právě neonikotinoidy. Od roku 2006 každý rok populace včel klesá o 29–36 %. Používání pesticidů má negativní dopad i na suchozemské rostliny (Mahmood et al. 2016).

V neposlední řadě je také potřeba zmínit dopady používání pesticidů na lidi. Pesticidy zlepšily úroveň lidského zdraví kontrolou nemocí přenášených vektory, avšak jejich dlouhodobé a neselektivní používání mělo za následek vážné zdravotní následky. Lidé, především kojenci a děti, jsou velmi citliví vůči škodlivým účinkům pesticidů. Podle Světové zdravotnické organizace (WHO) je každý rok v rozvojových zemích hlášeno asi 3 000 000 případů otravy pesticidy a 220 000 úmrtí. Dle odhadu ročně na neúmyslnou otravu pesticidy

zemře 355 000 obyvatel (Yadav et al. 2020). Většina lidí se pesticidy otráví příjmem potravin, které jsou jimi kontaminovány. Přestože se v lidském těle nachází mechanismy, které jsou schopny vyloučit toxiny, v některých případech si s pesticidy nedokáží poradit a tyto látky kolují oběhovým systémem (Jabbar & Mallick 1994). Účinky pesticidů na lidské zdraví jsou velmi variabilní. Mohou se objevit během okamžiků, dnů, nebo se mohou projevit až po měsících či letech. Otravy pesticidy lze tedy dělit na akutní a chronické. Při akutních otravách pesticidy se lidé nejčastěji setkávají s bolestí hlavy, štípání očí a kůže, podráždění nosu a krku, svěděním kůže, výskytem vyrážky a puchýřů na kůži, závratěmi, průjmem a bolestmi břicha, nevolností, zvracením a velmi zřídka přichází i smrt (Mahmood et al. 2016). V případě chronických otrav pesticidy může dojít až ke smrti, avšak příznaky se nemusí projevit. Jedná se o dlouhodobé účinky, které způsobují poškození více tělesných soustav a orgánů. Dlouhodobá expozice pesticidům může mít za následky řadu neurologických problémů (zhoršená koordinace a paměť). Dlouhodobé působení pesticidů také poškozuje imunitní systém, to může mít za následek astma a alergie. Dlouhodobému působení pesticidů jsou vystaveni například pracovníci v zemědělství (Culliney et al. 1992). Některé zdroje také uvádějí, že v krevním oběhu pacientů s rakovinou byly naměřeny vyšší hodnoty pesticidů, než u zdravých jedinců. Pesticidy jsou spojovány s leukémií, rakovinou mozku, lymfomem, rakovinou prsu, prostaty, vaječníků a varlat. Přítomnost pesticidů v těle po delší dobu také ovlivňuje reprodukční schopnosti tím, že mění hladiny mužských a ženských pohlavních hormonů. Kvůli tomu může docházet k abortům, k narození mrtvých dětí, nebo dětí s vrozenými vadami, a také k neplodnosti (Mahmood et al. 2016).

V roce 1972 bylo v USA zcela zakázáno používání DDT a následně omezení používání Endosulfanu, Dieldrinu a Lindanu. Seznam zakázaných pesticidů se od této doby ještě rozšířil. V roce 2001 podepsalo 179 zemí mezinárodní smlouvu známou jako Stockholmská úmluva, která zcela zakazuje používání 12 perzistentních organických polutantů (POP) včetně DDT. Tuto úmluvu v roce 2013 podpořila Evropská unie zákazem používání neonikotinoidních pesticidů (Mahmood et al. 2016).

Jak již bylo zmíněno výše, v současné době se tedy dává přednost biologické ochraně proti škůdcům. K hubení škůdců jsou používána biokontrolní činidla. Mezi tyto způsoby ochrany patří i využívání jiných živých organismů. Tato biokontrolní činidla jsou také známá jako bioracionální pesticidy. Příkladem bioracionálního pesticidu jsou regulátory růstu hmyzu (IGR), což jsou hormony, které regulují růst hmyzu, aniž by ovlivnily necílové organismy (Mahmood et al. 2016).

Na závěr lze tedy říci, že pesticidy se ukázaly být přínosem pro zemědělce i lidi na celém světě tím, že zvyšují zemědělské výnosy a nepřímo poskytují společnosti nesčetné výhody. Ale otázka nebezpečí, které pesticidy představují pro lidské zdraví a životní prostředí, vyvolala obavy o bezpečnosti používaných pesticidů. Nebezpečí spojená s používáním pesticidů sice nelze zcela eliminovat, ale jsou jisté způsoby, jak je lze obejít. Působení negativních účinků pesticidů lze minimalizovat několika způsoby (např. alternativními metodami pěstování plodin). Výroba lepších, bezpečných a ekologických pesticidních přípravků by mohla snížit škodlivé účinky spojené s používáním pesticidů. Pokud jsou pesticidy používány ve vhodném množství a používají se pouze tehdy, pokud je to nutné, jak kdysi řekl Paracelsus „Správná dávka odlišuje jed od léku“. V budoucnu lze chemické pesticidy používat například v kombinaci s přírodními ošetřeními a prostředky,

kteře vedou k udržitelnější likvidaci škůdců a hmyzu. Tato kombinace nejen slibuje udržitelnost životního prostředí, ale nabízí také různé aplikace při kontrole městských škůdců a invazních druhů (Gentz et al. 2010). Insekticidy jsou řazeny mezi nejvíce toxické druhy pesticidů a jsou následovány herbicidy (Mahmood et al. 2016).

### 3.5.3 Rezidua pesticidů

Používání přípravků na ochranu rostlin může vést k výskytu reziduí účinných látek (pesticidů) v potravinách. Rezidua pesticidů jsou zbytková množství pesticidů, jejich metabolitů a rozkladných produktů. Nebezpečí reziduí spočívá především v možnosti proniknout do potravin nebo surovin na výrobu krmiva. Rezidua pesticidů se do potravin mohou dostat buď přímo, kdy z ošetřených plodin přechází do produktů určených ke konzumaci. Nebo nepřímo, kdy dochází k jejich přenosu prostřednictvím krmiv, nebo opylovačů do produktů živočišného původu (masa, mléka, vejce, medu). Další přenos reziduí je možný i prostřednictvím půdy, kdy se zbytky pesticidů dostávají do plodin, dále také prostřednictvím vody a vzduchu, kdy se rezidua dostávají do různých potravních zdrojů (Pepperný 2010).

Další pojem spojený s rezidui pesticidů je ochranná lhůta. Ochranná lhůta je doba ve dnech, kterou je nutné dodržet od poslední aplikace přípravku do počátku sklizně dané plodiny (Pepperný 2010).

Posledním a neméně důležitým pojmem jsou maximální limity reziduí (MLR), které vyjadřují horní přípustné limity koncentrace reziduí pesticidů v potravinách, nebo krmivech, nebo na jejich povrchu, které byly stanoveny v souladu s nařízením (ES) č. 396/2005, založené na správné zemědělské praxi a na nejnižším vystavení spotřebitele nezbytném pro ochranu zranitelných spotřebitelů (Ministerstvo zdravotnictví 2020). Hodnoty MLR včetně standardní hodnoty nesmí rostlinné a živočišné produkty obsahovat od doby svého uvedení na trh jako potraviny nebo krmiva, nebo od doby předložení zvířatům ke krmení. Hodnocení rizik pro spotřebitele a případně pro zvířata, která jsou spojena se stanovením, změnou, nebo zrušením MLR provádí Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA 2023). Pokud jsou přípravky pro ochranu rostlin používány tak jak mají (dodržení aplikační technologie, aplikační dávky, termínu aplikace a počtu aplikací, a také dodržení ochranné lhůty), v potravinách a krmivech by nemělo docházet k překročení hodnot MLR pesticidů (Česká společnost rostlinolékařská 2015).

Téměř v 50 % vzorků testovaných potravin bývají detekovány rezidua pesticidů. Nejčastěji se vyskytují v ovoci (až ze 70 %) a dále v zelenině. Nejčastěji se v těchto plodinách vyskytují zbytky fungicidů (dithiokarbamátů, boskalidu atd.), dále se zde vyskytují rezidua insekticidů. Naopak nižší výskyt reziduí pesticidů je zaznamenán ve zpracovaných produktech, zde tato hodnota činí zhruba 30 %. V biopotravinách se objevily zbytky pesticidů přibližně v 15 % vzorků. Nejnižší hodnoty reziduí pesticidů byly naměřeny v živočišných produktech, mase, mléku a vejcích (Pepperný 2010).

Chlorpyrifos, karbofuran a enderin jsou druhy pesticidů, které v plodinách přetrvávají dlouhou dobu. Vystavení těmto druhům pesticidů vede k chronické toxicitě v živých organismech. Pokud se zanedbá jejich dávkování, může dojít k vážným problémům v



ekosystému i v potravinovém řetězci. Vysoké dávky pesticidů mohou zcela změnit pH půdy a tím snížit její úrodnost. Konzumace potravin, které byly nedávno ošetřeny pesticidy, může mít za následek otravu lidí. Existuje několik studií, které poukazují na to, že od roku 1967 nebyl pozorován významný nárůst reziduí pesticidů v potravinách. Rezidua pesticidů lidé přijímají v potravě a v pitné vodě (Yadav et al. 2020).

Závěrem lze tedy říci, že pesticidy jsou důležité pro účely ošetření a kontroly škůdců v zemědělství, ale měly by být podávány v přiměřených dávkách a každý pesticid by měl projít registračním procesem a být schválen. Nadměrné používání pesticidů představuje problémy pro živé organismy i pro ekosystém. Odbourávání některých pesticidů trvá dlouho a mohou se hromadit v půdě a rostlinách, což může mít za následek přenos zbytků pesticidů do surovin, které následně konzumují lidé a zvířata. Tyto zbytky se hromadí v těle a způsobují chronickou toxicitu, která vede k vážným problémům (Yadav et al. 2020).

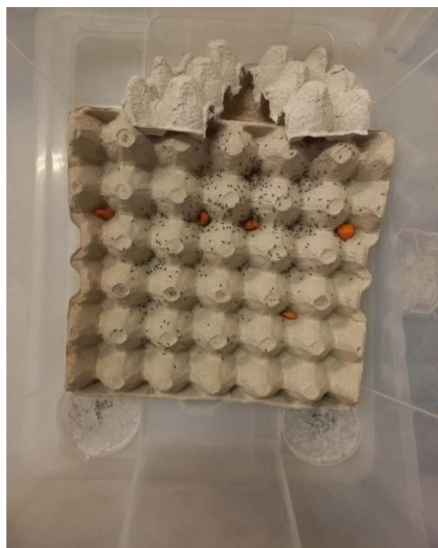
## 4. Metodika

### 4.1 Odchov cvrčka banánového

#### 4.1.1 Podmínky chovu

Cvrčci banánoví byli chováni v insektáriu, které se nachází v budově Fakulty agrobiologie a potravinových zdrojů v kampusu České zemědělské univerzity v Praze (FAPPZ ČZU). Cvrčci byli chováni v plastových boxech o rozměrech  $57 \times 39 \times 28$  cm s objemem 45 litrů. Boxy, ve kterých byl hmyz chován byly uzavřeny víkem, do kterého byly vyřezány otvory, které byly zakryty hliníkovým pletivem s oky, aby cvrčci měli dostatek čerstvého vzduchu a současně jim tato víka poskytovala dostatek ochrany před případnou kontaminací létajícím hmyzem a pavouky. Víka také zabraňovala útěku cvrčků z chovných boxů. V boxu byla uložena plata od vajec, která cvrčkům poskytovala úkryt a zvětšovala životní prostor. Konstantní teplota v insektáriu byla  $27 \pm 1$  °C a fotoperioda zde byla 12:12.

Každý chovný box obsahoval dvě Petriho misky s hydrogelem (AG servis s.r.o., Česká republika), který cvrčkům nahrazoval vodu, a nehrozilo zde, že se utopí. Dále chovný box obsahoval dvě Petriho misky, ve kterých měli cvrčci krmivo. Chovný box s cvrčky lze vidět na Obrázcích 6 a 7. Na začátku tohoto pokusu byli cvrčci zváženi a rozděleni do tří skupin o šesti opakováních (celkem bylo 18 pokusných boxů). Do každého opakování bylo naváženo množství  $0,5 \pm 0,1$  g čerstvě vylíhlých cvrčků. Po 45 dnech od založení pokusu byli cvrčci usmrceni mrazem a připraveni na další analýzy.



Obrázek 6 - Chovný box s cvrčky při zahájení pokusu (Foto autorka práce).



Obrázek 7 - Chovné boxy s cvrčky v insektáriu v ČZU (Foto autorka práce).

#### 4.1.2 Krmení cvrčka banánového

Na začátku pokusu byli cvrčci zváženi a rozděleni do tří skupin: kontrolní skupina, skupina 1 a skupina 2. Kontrolní skupina byla krmena mrkví, která neobsahovala pesticidy, skupina 1 byla krmena mrkví, která byla 1× ošetřena pesticidy (T1) a skupina 2 dostávala mrkev 2× ošetřenou pesticidy. Účinné látky ve směsi byly: fluazifop, pirimicarb, azoxystrobin, difenoconazol, tebuconazol (viz Tabulka 6). Pro tento pokus byla použita mrkev var. Dordogne, setá 20. 6. 2021 na experimentálním pozemku FAPPZ ČZU na parcelách 7,5 m<sup>2</sup> (1,5 × 5 m), přičemž ošetření pesticidy proběhlo v termínech 7.9.2021 (BBCH mrkve: 41) a 4.10.2021 (BBCH mrkve: 43).

Tabulka 6 - Pesticidní přípravky a dávkování použité pro ošetření mrkve pro pokus.

| Var. | Přípravek      | Dávka v L(kg)/ha | Dávka na 50 m <sup>2</sup> (1,5 L) | Termín aplikace |
|------|----------------|------------------|------------------------------------|-----------------|
|      | Fusilade Forte | 1,50             | 7,5 ml                             | T1+T2           |
|      | Pirimor WG     | 0,50             | 2,5 g                              |                 |
|      | Askon          | 1,00             | 5,0 ml                             |                 |
|      | Horizon        | 1,00             | 5,0 ml                             |                 |

Před a po dobu pokusu byla mrkev uchována v mrazícím boxu při teplotě – 18 °C. Před každým krmením bylo nutno mrkev rozmrazit, následně nakrájet a navážit. Cvrčci byli krmeni mrkví 3× týdně a zdroj vody jim byl doplňován dle potřeby. Box s pokusnými cvrčky lze vidět na Obrázku 6. Na začátku pokusu cvrčci dostávali 5 g mrkve, s rostoucím věkem a velikostí cvrčků se dávky mrkve zvyšovaly. Ke konci pokusu cvrčci dostávali až 60 g mrkve

denně. Kromě mrkve byli cvrčci krmeni i směsí pro kuřecí brojlery. Tato směs se skládala z pšenice (77,9 %), sójového šrotu (17,6 %) a řepkového oleje (1,8 %). Na počátku pokusu dostávali cvrčci kolem 10 g této směsi, ke konci pokusu až 50 g. Všechny uvedené komponenty i jejich zbytky byly během pokusu váženy a hodnoty byly zaznamenávány.



Obrázek 8 - Cvrčci krmeni mrkví.

## 4.2 Laboratorní analýzy

### 4.2.1 Zjištění hmotnosti *Gryllus assimilis*

Před zahájením laboratorních analýz byly plastové nádoby s jednotlivými skupinami zmražených cvrčků vyndány z mrazícího boxu a zváženy na analytických vahách (KERN, Balingen), hmotnosti byly zaznamenány do tabulek a cvrčci byli připraveni na lyofilizaci.

### 4.2.2 Lyofilizace a homogenizace

Lyofilizace se provádí za účelem odstranění vlhkosti ze vzorku. Před zahájením pokusu byly na analytických vahách zváženy nádoby i s víčkem. V nádobách byli zmrazení cvrčci. Vzorky určené k lyofilizaci byly umístěny do lyofilizačního přístroje ScanSpeed MaxiVac (LaboGene, Dánsko). V tomto přístroji vzorky zůstaly po dobu 72 hodin při teplotě 25 °C, ve tmě, při 200 otáčkách za minutu a při tlaku 1 – 5 milibarů. Po uplynutí této doby byly nádoby z přístroje vyndány a opět i s víčkem zváženy. Z těchto údajů byla následně

vypočítána hmotnost lyofilizovaných cvrčků i hmotnost odstraněné vody. Následně byli cvrčci v laboratorním mlýnku Gringomix 200 (Haan, Německo) rozemletí na homogenizovaný vzorek. Nejprve se vzorek mlel při 2000 otáčkách za minutu po dobu 8 sekund, poté 6 sekund při 6000 otáčkách za minutu a nakonec po dobu 8 sekund při 10 000 otáčkách za minutu. Mezi jednotlivým mícháním byl obsah nádob promísen. Následně byly zhomogenizované vzorky uloženy do mrazícího boxu, ve kterém byla teplota -80 °C.

#### **4.2.3 Stanovení sušiny**

Sušina je stanovena na základě rozdílů hmotnosti vzorku před sušením a po sušení při teplotě  $103 \pm 2$  °C podle předepsaných podmínek. Následně byly z každého zhomogenizovaného vzorku odváženy 3 g a vzorky byly přesunuty do předem zvážených porcelánových kelímků, ve kterých byly umístěny do sušárny značky Memmert (Schwabach, Německo) a při teplotě 103,5 °C byly vzorky sušeny. Vzorky se do konstatní hmotnosti sušily přibližně 16 hodin. Po vysušení byly kelímky se vzorky na 1 hodinu přesunuty do exsikátoru, ve kterém vychladly. Následně byly vzorky znovu zváženy na analytických vahách. Zjištěné hmotnosti byly odečteny od počátečních hmotností a tím bylo zjištěno procento odpařené vody. Pro přesnost výsledků byly všechny vzorky tímto způsobem měřeny 2×.

#### **4.2.4 Stanovení popelovin**

Tato analýza probíhala v muflové peci (Nabertherm, Německo). Ke stanovení popelovin byly použity vzorky ze stanovení sušiny. Teplota v peci byla nastavena na hodnotu 550 °C. Navážené vzorky byly umístěny do porcelánových kelímků. Tyto kelímky byly předem zváženy. Následně byly vzorky na noc umístěny do muflové pece. Následně byly vzorky umístěny do exsikátoru, aby zde vychladly. Zhruba po hodině byly vychladlé vzorky zváženy. U každého vzorky se popeloviny opět stanovovaly 2×.

#### **4.2.5 Stanovení hrubého tuku**

Stanovení tuku bylo prováděno pomocí Soxhletovy metody. Lyofilizované a zhomogenizované vzorky byly zváženy a následně po 3 g umístěny do předem zvážené baňky. Do baňky se vzorkem byla následně vložena vata. Dále bylo do suchých a vychladlých kelímků nalito 70 ml petroletheru. Baňky byly následně umístěny do extrakčního přístroje Velp SER 148/6 Solvent Extraction Unit (VELP Scientifica, Itálie). Teplota v tomto přístroji se zvýšila na 90 °C a tím začala první fáze extrakce zvaná „Immersion“. Během této fáze dochází k ponoření baňky do horkého petroletheru a při tom dochází k rozpouštění lipidů do rozpouštědla. Tato fáze trvala 20 minut. Dále následovala fáze „Washing“, při které byly vzorky vysunuty z kelímků nahoru, tato fáze trvala 45 minut. Po uplynutí celé extrakce (110 minutách), byly kelímky s nashromážděným tukem na 12 hodin přesunuty do sušárny. Zde byla nastavena teplota na 103,5 °C. Po sušení byly vzorky přesunuty do exsikátoru a následně zváženy. Stanovení tuku se u každého vzorku provádělo ve dvou opakováních.

#### **4.2.6 Stanovení dusíkatých látek**

Ke stanovení hrubého proteinu byla použita Kjeldahlova metoda. Z každého vzorku bylo nejprve odváženo  $3 \times 0,2$  g do skleněných zkumavek. Následně byla do každé zkumavky vložena tableta s mědí a přililo 10 ml 96% kyseliny sírové. Zkumavky byly umístěny do stojanu a přemístěny k topnému hnízdu, zde bylo do každé zkumavky přidáno ještě 10 ml peroxidu vodíku. Vzorky zůstaly v topném hnízdu po dobu 45 minut, zde se při 420 °C mineralizovaly. Během mineralizace změnily vzorky barvu na zelenou. Následně se vzorky nechaly vychladnout na pokojovou teplotu, během vychladnutí opět došlo ke změně barvy na světle modrou. Následně se do vychladlých zkumavek přililo ještě 10 ml destilované vody a vzorek se důkladně protřepal, aby došlo k rozpuštění obsahu. Poté byly zkumavky po jedné umístěny do přístroje Kjeltec™ 2400/2460 Auto Sampler Systes (Foss Tecator, Dánsko). Tento přístroj slouží ke změření obsahu proteinů ve vzorku a funguje na principu titrace vzorku roztokem 0,1 M HCL. Indikátorem je roztok kyseliny borité s methylčervení a bromkresolovou zelení. Měření jednoho vzorku trvalo cca 3 minuty. V přístroji byl nastaven koeficient 6,25, kterým se dané výsledky násobily, aby byl zjištěn obsah dusíkatých látek.

#### **4.2.7 Konverze krmiva**

Předkládané krmivo bylo stejně jako nezkonsumované krmivo váženo na laboratorních vahách (KERN, Ballingen). Výsledná konverze krmiva byla vypočítána jako podíl skutečně zkonsumovaného krmiva a množství sklizené biomasy hmyzu.

#### **4.2.8 Statistické vyhodnocení pokusu**

Hodnoty jednotlivých laboratorních analýz byly zaznamenány do Excelu a k jejich vyhodnocení byl použit program, (StatSoft CR s.r.o., Praha). Pro porovnání statistické významnosti byla použita jednofaktorová ANOVA a následně Scheffeho post hoc test.

## 5. Výsledky

Pro jednotlivé skupiny (kontrolní skupinu, skupinu 1 a skupinu 2) byly hodnoceny následující ukazatele: hmotnost sklizené biomasy, konverze krmiva, konverze mrkve, sušina, popeloviny, dusíkaté látky a hrubý tuk. Výsledky byly vyhodnoceny pomocí jednofaktorové ANOVY v programu STATISTICA 12. Hladina významnosti byla stanovena na 0,05.

### 5.2.1. Sklizeň cvrčků

Při sklizni cvrčků se průměrná hmotnost sklizené biomasy cvrčků v kontrolní skupině (162,83 g) statisticky významně lišila od obou skupin ošetřených biocidy (136,6 a 139,33 g) (viz Tabulka 7). Statistickým hodnocením byly prokázány rozdíly na hladině významnosti ( $p < 0,05$ ) mezi hmotností sklizené biomasy kontrolní skupiny a hmotností sklizené biomasy u skupin 1 a 2.

Tabulka 7 – Statistické porovnání sklizené biomasy cvrčků banánových ( $n = 6$ ). Statisticky významné rozdíly jsou vyznačeny červeně.

| Č. buňky | skupina  | Scheffeho test; proměnná Finální hmotnost cvrčků<br>Pravděpodobnosti pro post-hoc testy<br>Chyba: meziskup. PČ = 174,93, sv = 15,000 |         |         |
|----------|----------|--|---------|---------|
|          |          | {1}  | {2}     | {3}     |
| 1        | kontrola | 162,83   | 136,33  | 139,33  |
| 2        | biocid   | 0,01203  | 0,01203 | 0,92609 |
| 3        | biocid   | 0,02545  | 0,92609 |         |

### 5.2.2. Konverze krmiva

Konverze krmiva se pohybovala v rozmezí od 1,24 do 1,29 a mezi jednotlivými skupinami nebyl prokázán statistický rozdíl. Více mrkve bylo zkonsumováno ve skupinách, které byly krmeny ošetřenou mrkví. Statisticky významný rozdíl v průměrném množství zkonsumované mrkve na gram krmiva byl nalezen mezi kontrolní skupinou a skupinou 2, která byla krmena mrkví ošetřenou dvojnásobnou dávkou pesticidu.

V případě vlivu hmotnosti přijatého krmiva na výslednou hmotnost sklizené biomasy byly zjištěny statisticky významné rozdíly na základě hladině významnosti ( $p < 0,05$ ) mezi konverzí krmiva kontrolní skupiny a konverzí krmiva skupiny 2 (viz Tabulka 9).

Tabulka 8 - Hmotnost přijaté mrkve a krmiva, konverze přijaté mrkve a krmiva, směrodatná odchylka daných parametrů.

|           | přijátá mrkev [g] | Sd    | přijaté krmivo [g] | Sd    | konverze krmiva [g] | Sd   | konverze mrkev [g] | Sd   |
|-----------|-------------------|-------|--------------------|-------|---------------------|------|--------------------|------|
| kontrola  | 422,67            | 14,42 | 169,22             | 17,72 | 1,24                | 0,06 | 2,52               | 0,24 |
| biocid 1× | 390,06            | 11,56 | 176,25             | 13,30 | 1,29                | 0,06 | 2,87               | 0,11 |
| biocid 2× | 429,01            | 17,28 | 139,33             | 17,04 | 1,24                | 0,09 | 3,13               | 0,45 |

Tabulka 9 –Vliv hmotnosti přijatého krmiva na hmotnost sklizené biomasy (Scheffeho post hoc test). Staticky významné rozdily jsou vyznačeny červeně.

| Scheffeho test; proměnná mrkev na g biomasy<br>Pravděpodobnosti pro post-hoc testy<br>Chyba: meziskup. PČ = ,10875, sv = 15,000 |          |                |         |                |
|---|----------|----------------|---------|----------------|
| Č. buňky  | skupina  | {1}            | {2}     | {3}            |
|   |          | 2,5214         | 2,8669  | 3,1325         |
| 1   | kontrola |                | 0,22574 | <b>0,01981</b> |
| 2   | biocid   | 0,22574        |         | 0,40052        |
| 3   | biocid   | <b>0,01981</b> | 0,40052 |                |

### 5.2.3. Obsah sušiny, popelovin, hrubého tuku a dusíkatých látek

V Tabulce 10 jsou zaznamenány hodnoty jednotlivých skupin (kontrolní skupiny, skupiny 1 a skupiny 2) pro obsah sušiny, dusíkatých látek, hrubého tuku a popelovin. V porovnání s kontrolní skupinou a skupinou 2, dosahoval obsah sušiny ve skupině 1 nejnižších hodnot (327 g/kg čerstvé hmoty). Naopak v případě skupiny 2, ve které byla krmná mrkev ošetřena nejvyšší dávkou pesticidů, dosahovala sušina nejvyšší hodnoty (346,4 g/kg čerstvé hmoty). Hodnoty, které byly zjištěny u skupiny 2, dosahovaly nejvyšší variability ( $\pm 9,1$ ). V případě dusíkatých látek byly nejvyšší hodnoty naměřeny u skupiny 2 (55,8 g/100g sušiny), dále u skupiny 1 (55,3 g/100g sušiny) a nejnižší hodnoty byly zaznamenány u kontrolní skupiny (53,9 g/100g sušiny), u které nebyla krmná mrkev ošetřována pesticidy. Nejvyšší variability dosahovala kontrolní skupina ( $\pm 1,1$ ). V případě hrubého tuku byly nejvyšší hodnoty naměřeny u kontrolní skupiny (36,5 g/100g sušiny), poté u skupiny 2 (36,2 g/100g sušiny) a nejnižší hodnoty hrubého tuku byly naměřeny u skupiny 1 (33,2 g/100g sušiny). Nejvyšší variability bylo dosaženo u skupiny 1 ( $\pm 0,8$ ). V případě popelovin byly nejvyšší hodnoty zaznamennány u skupiny 2 (2,7). U kontrolní skupiny a skupiny 1 byly získány stejné hodnoty (2,6). Nejvyšší variability dosahovaly skupiny 1 a 2 ( $\pm 0,2$ ).

Tabulka 10 - Obsah sušiny, dusíkatých látek, hrubého tuku a popelovin.

|           | Sušina             | N látky        | Hrubý tuk      | Popeloviny         |
|-----------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|
|           | g/kg čerstvé hmoty | g/100g sušiny  |                | g/kg čerstvé hmoty |
| Kontrola  | 342,7 $\pm$ 5,0    | 53,9 $\pm$ 1,1 | 36,5 $\pm$ 0,4 | 2,6 $\pm$ 0,1      |
| Skupina 1 | 327,6 $\pm$ 3,8    | 55,3 $\pm$ 0,8 | 33,2 $\pm$ 0,8 | 2,6 $\pm$ 0,2      |
| Skupina 2 | 346,4 $\pm$ 9,1    | 55,8 $\pm$ 0,4 | 36,2 $\pm$ 0,5 | 2,7 $\pm$ 0,2      |



#### 5.2.4. Obsah sušiny

Průměrný obsah sušiny byl nejvyšší u skupiny 2 (346,4 g/kg čerstvé hmoty), naopak nejnižší obsah sušiny byl zaznamenán u skupiny 1 (327,6 g/kg čerstvé hmoty). Statistickým hodnocením byly prokázány statisticky významné rozdíly na hladině významnosti ( $p < 0,05$ ) mezi obsahem sušiny a jednotlivými skupinami (viz Tabulka 11).

Tabulka 11- Vliv jednotlivých skupin na obsah sušiny (Scheffeho post hoc test). Staticky významné rozdíly jsou vyznačeny červeně.

| Scheffeho test; proměnná sušina (stat_ane)<br>Pravděpodobnosti pro post-hoc testy<br>Chyba: meziskup. PČ = 48,981, sv = 15,000 |           |         |         |         |
|--|-----------|---------|---------|---------|
| Č. buňky   | skupina   | {1}     | {2}     | {3}     |
|  |           | 342,69  | 327,62  | 346,38  |
| 1  | K         |         | 0,00730 | 0,66596 |
| 2  | 1x biocid | 0,00730 |         | 0,00125 |
| 3  | 2x biocid | 0,66596 | 0,00125 |         |

#### 5.2.5. Obsah popelovin

Z Tabulky 12 lze vidět, že mezi jednotlivými skupinami a obsahem popelovin není statisticky významný rozdíl.

Tabulka 12 - Vliv jednotlivých skupin na obsah sušiny (Scheffeho post hoc test).

| Scheffeho test; proměnná popeloviny (stat_a)<br>Pravděpodobnosti pro post-hoc testy<br>Chyba: meziskup. PČ = 4,1183, sv = 15,000 |           |         |         |         |
|--|-----------|---------|---------|---------|
| Č. buňky   | skupina   | {1}     | {2}     | {3}     |
|  |           | 25,758  | 25,720  | 26,058  |
| 1  | K         |         | 0,99946 | 0,96782 |
| 2  | 1x biocid | 0,99946 |         | 0,95927 |
| 3  | 2x biocid | 0,96782 | 0,95927 |         |

#### 5.2.6. Obsah dusíkatých látek

Z Tabulky 13 je patrné, že nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými skupinami a obsahem dusíkatých látek.

Tabulka 13 – Vliv jednotlivých skupin na obsah dusíkatých látek (Scheffeho post hoc test).

| Scheffeho test; proměnná NL (stat_ane)<br>Pravděpodobnosti pro post-hoc testy<br>Chyba: meziskup. PČ = 4,6171, sv = 15,000 |           |         |         |         |
|--|-----------|---------|---------|---------|
| Č. buňky   | skupina   | {1}     | {2}     | {3}     |
|  |           | 53,933  | 55,322  | 55,837  |
| 1  | K         |         | 0,54803 | 0,33512 |
| 2  | 1x biocid | 0,54803 |         | 0,91789 |
| 3  | 2x biocid | 0,33512 | 0,91789 |         |

### 5.2.7. Obsah hrubého tuku

Průměrný obsah hrubého tuku byl nejvyšší u kontrolní skupiny (36,5 g/100 g sušiny), naopak nejnižší obsah hrubého tuku byl zjištěn u skupiny 1 (33,2 g/100g sušiny). Statistickým hodnocením byly prokázány rozdíly na hladině významnosti ( $p < 0,05$ ) mezi obsahem sušiny jednotlivých skupin (viz Tabulka 14).

Tabulka 14 – Vliv jednotlivých skupin na obsah hrubého tuku (Scheffeho post hoc test). Staticky významné rozdíly jsou vyznačeny červeně.

| Scheffeho test; proměnná hrubý tuk (stat_ane) |          |         |         |         |
|---|----------|---------|---------|---------|
| Pravděpodobnosti pro post-hoc testy           |          |         |         |         |
| Chyba: meziskup. PČ = 1,8347, sv = 15,000     |          |         |         |         |
| Č. buňky                                      | skupina  | {1}     | {2}     | {3}     |
|   |          | 36,482  | 33,170  | 36,165  |
| 1   | K        |         | 0,00274 | 0,92169 |
| 2   | 1x bioci | 0,00274 |         | 0,00600 |
| 3   | 2x bioci | 0,92169 | 0,00600 |         |

## 6. Diskuze

V této diplomové práci byl testován předpoklad, že přidání mrkve s obsahem pesticidů bude mít vliv na konverzi krmiva, hmotnost sklizené biomasy a nutriční hodnoty cvrčka banánového (*G. assimilis*). Bylo zjištěno, že subletální dávky reziduí pesticidů v krmné mrkvi měly vliv na hmotnost sklizené biomasy, obsah hrubého tuku a sušiny a konverzi krmiva, ale neměly vliv na obsah popelovin a hrubého tuku.

### 6.1. Sklizeň biomasy

Hmotnost sklizené biomasy se významně lišila mezi cvrčky krmenými mrkví ošetřenou pesticidy a bez pesticidů. V experimentální skupinách (skupina 1 a 2) byla tato hmotnost výrazně nižší (136,6 g, 139,33 g) než u kontrolní skupiny (162,83 g). Tyto hodnoty mohou indikovat vyšší úmrtnost či nižší přírůstky cvrčků právě vlivem působení subletálních dávek pesticidů.

Ačkoli neexistují žádné údaje o míře přežití *G. assimilis*, několik studií, které se zabývaly mírou přežití u *A. domesticus* uvádějí, že se míra přežití značně liší (Starčevic et al. 2017). Při konkrétních dietách někteří autoři zaznamenali vysokou míru přežití (téměř 80 %), na druhou stranu existují i studie, které ukazují extrémně nízké míry přežití (Collavo et al. 2005, Oonincx et al. 2015). Z těchto studií vyplývá, že přežití cvrčků je výrazně ovlivněno krmivem.

### 6.2. Konverze krmiva

Dle studie Oonincx et al. (2019) je konverze krmiva u *A. domesticus*  $2,3 \pm 0,57$ . Dle Paoletti (2020) je konverze krmiva cvrčků přibližně 1,7. Tato hodnota je vyšší, než u konverze krmiva ostatních konvenčně krmených živočichů. Dle Kulmy et al. (2022) se konverze krmiva u *G. assimilis* pohybovala v rozmezí 2,2-2,6 g krmiva/g hmyzí biomasy a hmotnosti sklizených cvrčků byly 0,86-0,99 g u samic a 0,67-0,77 g u samců. Dle Starčevic et al. (2017) byl konverzní poměr krmiva u *G. assimilis*  $2,1 \pm 0,7$ . V této diplomové práci byli cvrčci krmeni směsí pro kuřecí brojleri a mrkví, která byla ošetřena pesticidy. Účinné látky v této směsi byly fluazifop, pirimicarb, azoxystrobin, difenoconazol, tebuconazol. Konverze krmiva se u takto krmených cvrčků pohybovala v rozmezí od 1,24 do 1,29. Tato hodnota je nižší, než uvádí výše zmíněné studie. V případě studie Starčevice et al. (2017) byli cvrčci krmeni směsí s přidavkem různých druhů olejů (slunečnicový, lněný, dýňový, rybí) a to mělo vliv na vyšší konverzi krmiva. Na konverzi má kromě zvoleného krmiva vliv například mikroklima chovu nebo hustota cvrčků v chovných nádobách.

### 6.3. Nutriční hodnota

Dle Jantzen da Silva Lucase et al. (2020) je nutriční hodnota u hmyzu velmi variabilní a bývá ovlivněna mnoha faktory (podmínkami vnějšího prostředí, výživou, fází vývojového

cyklu, pohlavím). Kouřimská & Adámková (2016) uvádějí, že různorodá výživová hodnota hmyzu je dána především velkým množstvím druhů hmyzu. Nutriční hodnoty se mohou značně lišit i v rámci skupiny hmyzu v závislosti na stádiu metamorfózy, původu hmyzu a jeho stravě. Na nutriční hodnotu má vliv i způsob úpravy hmyzu před konzumací.

### 6.3.1. Popeloviny a sušina

Studie Bawy et al. (2020) uvádí, že obsah sušiny u *G. assimilis* se pohybuje v rozmezí 29,25 - 31,65 % i přes změnu složení krmiva. Bednářová et al. (2013) uvádějí, že obsah sušiny je u *G. assimilis* 33,28 %. Ve studii prováděné Mlčekem et al. (2018) byly stanoveny hodnoty sušiny  $22,6 \pm 1,0$  g na 100 g čerstvého vzorku. V této práci bylo zjištěno, že se obsah sušiny pohyboval v rozmezí  $327,6 \pm 3,8$  -  $346,4 \pm 9,1$  g/kg čerstvé hmoty. V porovnání s hodnotami ze studie Bawy et al. (2020) byly hodnoty sušiny naměřené v této práci vyšší a naopak byly srovnatelné s hodnotami ze studie Bednářová et al. (2013).

U skupiny 1 byla zjištěna nižší hodnota sušiny (327,6 g/kg čerstvé hmoty) než u kontrolní skupiny (342, 7 g/kg čerstvé hmoty). Tento rozdíl je patrně spojený s jiným vlivem než účinkem pesticidu, protože skupina 2, která byla pesticidy ošetřena 2×, dosahovala nejvyšších hodnot sušiny (346,4 g/kg čerstvé hmoty).

Dle Rumpold & Schlüter (2013) se obsah popelovin v sušině u *A. domesticus* pohybuje v rozmezí 3,6 - 5,10 %. Bednářová et al. (2013) ve své studii uvádí, že obsah popelovin v sušině *G. assimilis* je 4,26 %. Araújo et al. (2019) uvádějí, že obsah popelovin u *G. assimilis* je  $4,08 \pm 0,43$  g na 100 g sušiny. V této práci byly naměřeny hodnoty popelovin v rozmezí  $2,6 \pm 0,1$  -  $2,7 \pm 0,2$  g/kg čerstvé hmoty, tyto hodnoty jsou nižší, než uvádí citovaná literatura.

### 6.3.2. Hrubý tuk

Dle Kouřimské & Adámkové (2016) je variabilita obsahu tuku v hmyzu vysoká (2–50 % sušiny) a závisí na mnoha faktorech. Dle Kouřimské a Adámkové (2016) jedlý hmyz obsahuje průměrně 10 až 60 % tuku v sušině. Dle Ooninx & Dierenfeld (2011) obsahuje více tuku hmyz, který je chován v zajetí než hmyz odchycený z volné přírody. Dle studie Sosa & Fogliana (2017) se obsah tuku v těle hmyzu pohybuje mezi 10–50 % v sušině. Nejvíce prozkoumaným druhem z tohoto pohledu je *A. domesticus*. Na rozdíl od ostatních druhů jedlého hmyzu cvrčci obsahují v sušině relativně nižší množství hrubého tuku, přibližně 17–28 % (Ooninx et al. 2019). Rumpold & Schlüter (2013) zjistili, že obsah tuku u řádu rovnokřídlých je 13,41 %. Dle Kulmy et al. (2019) se obsah tuku u samic *A. domesticus* pohybuje v rozmezí 18,3 – 21,7 %. U samců je obsah tuků nižší, pohybuje se v rozmezí 12,9 – 16,1 %. Co se týče *G. assimilis*, dle analýz Bednářové et al. (2013), je obsah tuku u *G. assimilis* vyšší (33,34 %) než u *A. domesticus*. Soares Araújo et al. (2019) v rámci analýz zjistili, že obsah tuku u tohoto druhu je  $21,8 \pm 2,7$  %. Dle Mlčka et al. (2018) je obsah tuku 34,3 % sušiny.

V rámci této diplomové práce se obsah tuku pohyboval v rozmezí 33,2–36,5 g/100 g sušiny. V případě skupiny 1 byly naměřeny nižší hodnoty hrubého tuku (33,2 g/100 g sušiny),

než u kontrolní skupiny (36,5 g/100 g sušiny). Tento rozdíl patrně není způsoben vlivem pesticidů, protože skupina 2 dosahovala obdobných hodnot hrubého tuku (36,2 g/100 g sušiny) jako kontrolní skupina. Obsah hrubého tuku naměřený v této diplomové práci odpovídá hodnotám naměřeným ve studii Bednářové et al. (2013) a Mlčka et al. (2018).

### 6.3.3. Dusíkaté látky

Obsah bílkovin se obvykle vypočítává z celkového dusíku pomocí konverzního faktoru dusíku na bílkoviny (Kp) 6,25 (100 %: 16 % = 6,25, číslo 16 zde představuje obsah dusíku v čisté bílkovině), který se obecně používá pro proteiny. Tento faktor nadhodnocuje obsah bílkovin v důsledku přítomnosti nebílkovinného dusíku u hmyzu. Nebílkovinný dusík se u hmyzu vyskytuje především ve formě chitinu, nukleových kyselin, fosfolipidů a odpadních produktů (amoniak, kyselina močová, močovina) (Jonas-Levi & Martinez 2017). Janssen et al. (2017) ve své studii uvádí, že hodnoty Kp zjištěné pro hmyz jsou podobné hodnotám, které byly vypočteny pro různé tropické mikrořasy (rozsah Kp 2,53–5,77 % ze sušiny), pro různé obiloviny a luštěniny (rozsah Kp 5,09–5,38 % ze sušiny). Vyšší hodnoty mezi 5,14 a 6,26 byly vypočteny u masa, ryb a vajec. Přepočítací koeficient 6,25 byl použit i v této práci, protože je stále používán většinou autorů studií, a proto bylo následně možné srovnat hodnoty dusíkatých látek, které vyšly v této práci s dostupnou literaturou.

Dle Sosa & Fogliana (2017) se obsah bílkovin u různých druhů hmyzu může velmi lišit. Většina hmyzu však spadá do kategorie obsahující 50–70 % proteinu v sušině. Dle Janssen et al. (2017) se u hmyzu pohybuje obsah bílkovin mezi 40–75 % z celkové sušiny. Tato hodnota z hmyzu činí slibnou proteinovou alternativu pro potraviny i krmiva. Dle Adámkové et al. (2017) je obsah bílkovin v hmyzu srovnatelný s obsahem bílkovin v běžných komoditách živočišného původu. Xiaoming et al. (2010) zkoumali obsah bílkovin u 100 druhů hmyzu, naměřené hodnoty se pohybovaly v rozmezí od 13 až 77 % sušiny. Různorodost výsledků byla opět způsobena mikroklimatem, druhem hmyzu a výživou. Rumpold & Schlüter (2013) uvádějí, že bílkoviny jsou dominantní složkou těla cvrčků a jejich obsah v sušině se nachází v rozpětí 64,1 - 70,8 %. Dle Nyangena et al. (2020) je obvyklý obsah bílkovin u rovnokřídlých 61,3 %. Dle Mlčka et al. (2018) se průměrný obsah dusíkatých látek u hmyzu pohybuje v rozmezí 15 - 81 % sušiny. Dle Bednářové (2013) je obsah dusíkatých látek u *G. assimilis* 56,49 %. Dle Araúja et al. (2019) je obsah bílkovin u *G. assimilis* 65,52 g/100 g sušiny. V této studii také byly naměřeny hodnoty bílkovin u *A. domesticus*. V případě dospělce byla naměřena hodnota bílkovin 64,8 g/kg sušiny a v případě nymf 70,56 g/kg sušiny. Z této studie vyplývá, že v případě dospělců obsahuje *G. assimilis* více bílkovin než *A. domesticus*.

Hodnoty naměřené v této práci se pohybovaly v rozmezí od 53,9 - 55,8 g/100 g sušiny. V porovnání se studií Bednářové (2013) je obsah dusíkatých látek, který vyšel v této práci pouze o něco nižší (53,9 - 55,8 %). V porovnání se studií Mlčka et al. (2018) se obsah dusíkatých látek pohybuje okolo průměru. Jak již bylo zmíněno výše, nutriční hodnoty hmyzu jsou ovlivněny mnoha faktory.

## 7. Závěr

V této práci byl prováděn experiment s cvrčkem banánovým (*Gryllus assimilis*). Cvrčci byli rozděleni do tří skupin (kontrolní skupina, skupina 1 a 2) po 6 opakováních. Kontrolní skupina byla krmena mrkví, která nebyla ošetřena pesticidy. Skupina 1 byla krmena mrkví, která byla 1× ošetřena pesticidy a skupina 2 byla krmena mrkví 2× ošetřenou pesticidy. Kromě krmné mrkve byly všechny tři skupiny cvrčků krmeny odváženým množstvím krmné směsi. Po 45 dnech byli cvrčci usmrceni a byly podrobeni laboratorním analýzám (stanovení sušiny, popelovin, obsahu dusíkatých látek a hrubého tuku).

Po statistickém vyhodnocení pokusu byly zaznamenány statisticky významné rozdíly na hladině významnosti ( $p < 0,05$ ) v hmotnosti sklizené biomasy mezi kontrolní skupinou a skupinami 1 a 2, dále mezi jednotlivými skupinami a obsahem hrubého tuku a mezi obsahem sušiny u jednotlivých skupin. Dále byl prokázán statisticky významný rozdíl v průměrné hmotnosti zkonsumované mrkve na gram krmiva mezi kontrolní skupinou a skupinou 2. V případě obsahu popelovin a dusíkatých látek nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly. Vědecká hypotéza této práce byla částečně potvrzena.

Přidání subletálních dávek pesticidů do krmiva *G. assimilis* ovlivnilo množství sklizené biomasy, konverzi krmiva, obsah hrubého tuku a sušiny. Výsledky také ukazují, že přidání subletálních dávek pesticidů nemělo vliv na obsah dusíkatých látek a popelovin.

Na tuto práci bude navazovat detekce reziduí ve sklizené biomase. Další výzkum by pak bylo vhodné zaměřit na akumulaci reziduí pesticidů v hmyzí biomase a na případné zkrmování hmyzu krmného pesticidy zvířatům, nebo přidání hmyzí moučky do krmiv.

## 8. Literatura

- Adámková A, Mlček J, Adámek M, Borkovcová M, Bednářová M, Hlobilová V, Knížková I, Juríková T. 2020. *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) – Optimization of Rearing Conditions to Obtain Desired Nutritional Values. *Journal of Insects Science* **20**(5): 24.
- Adámková A, Mlček J, Kouřimská L, Borkovcová M, Bušina T, Adámek M, Bednářová M, Krajsa J. 2017. Nutritional Potential of Selected Insects Species Reared on the Island of Sumatra. *International Journal of Environmental Research Public Health*. **14**(5): 521.
- Ademolu KO, Idowu AB, Olatunde GO. 2010. Nutritional value assessment of variegated grasshopper, *Zonocerus variegatus* (L.) (Acridoidea: Pygomorphidae), during post-embryonic development: research article. *African Entomology* **18**:2.360-364.
- Akoh CC, Min DB. 2008. *Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology*, Third Edition. CRC Press, Boca Raton
- Araújo RRS, Riberio dos Santos Benfica TA, Ferraz VP, Santos E. M. 2019. Nutritional composition of insects *Gryllus assimilis* and *Zophobas morio*: Potential foods harvested in Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis* **76**:22-26.
- Arrese EL, Soulagés JL. 2010. Insect fat body: energy, metabolism and regulation. *Annual Review of Entomology* **55**:207-225.
- Baiano A. 2020. Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends in Food Science & Technology* **100**:35-50.
- Bawa M, Songsermpong S, Kaewtapee C, Chanput W. 2020. Effect of diet on the growth performance, feed conversion, and nutrient content of the House cricket. *Journal of Insect Science* **20**:1–10.
- Bednářová M, Borkovcová M, Mlček J, Rop O, Zeman L. 2013. Edible insects-species suitable for entomophagy under condition of Czech Republic. *Acta Universitatis 50 Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* **61**:587-594
- Belluco S, Losasso C, Maggioletti M, Alonzi CC, Paoletti MG, Ricci A. 2013. Edible insects in a food safety and nutritional perspective: A critical review. *Food Science and Food Safety* **12**:296-313.
- Benzertiha A, Kieronczyk B, Rawski M, Mikulajczak Z, Urbanski A, Nogowski L, Józefiak D. 2020. Insects Fat in Animal Nutrition – A Review. *Annals of Animal Science* **20**:1217-1240.

Berggren A, Jansson A, Low M. 2018. Using current systems to inform rearing facility design in the insect-as-food industry. *Journal of Insects as Food and Feed* **4**(3):167-170.

Bertola M, Mutinelli FA. 2021. A Systematic Review on Viruses in Mass-Reared Edible Insects Species. *Viruses* **13**(11):2280.

Beynen A. C. 2020. Protein supply to adult dogs. *Bonny Canteen* **1**:128-136.

Biasato I, Ferrocino I, Biasibetti E, Grego E, Dabbou S, Sereno A, Gai F, Gasco L, Schiavone A, Cocolin L, Capucchio M.T. 2018. Modulation of intestinal microbiota, morphology and mucin composition by dietary insects meal inclusion in free-range chickens. *BMC Veterinary Research* **14**:383

Burel C, Kaushik S. 2008. Chapter 13 Use of Rapeseed / Canola in Diets of Aquaculture Species. *Alternative protein sources in aquaculture diets*. New York and London (pp.343-408)

Cadinu LA, Torre F, Delogu FA. 2020. Insects rearing: Potential, challenges, and circularity. *Sustainability* **12**:11.

Collavo A, Glew RH, Huang YS, Chuang LT, Bosse R, Paoletti MG. 2005. House cricket small-scale farming." *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails*. 27 515-540

Crosbie M, Zhu C, Karrow NA, Huber LA. 2021. The effects of partially replacing animal protein sources with full fat black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) in nursery diets on growth performance, gut morphology, and immune response of pigs. *Animal Science* **5**:2.

Cullere M, Tasoniero G, Giaccone V, Miotti-Scapin R, Claeys E, De Smet S, Dalle Zotte A. 2016. Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: apparent digestibility, excreta microbial load, feed choice, performance, carcass and meat traits. *Animals* **10**(12):1923-1930.

Culliney TW, Pimentel D, Pimentel MH. 1992. Pesticides and natural toxicants in foods. *Agriculture, ecosystems & environment* **41**(3-4): 297-320.

Česká společnost rostlinolékařská. 2015. Správné a bezpečné používání přípravků na ochranu rostlin. Ministerstvo zemědělství, Praha.

de Castro RJS, Ohara A, dos Santos Aguilar JG, Domingues MAF. 2018. Nutritional, functional, and biological properties of insect proteins: Processes for obtaining, consumption and future challenges. *Trends in Food Science and Technology* **76**:82-89.



- Daugbjerg C, Qureshi ME. 2015. Towards food security by 2050. *Food Security* **7**:179–183.
- Decourtye A, Lacassie E, Pham-Delegue MH. 2003. Learning performances of honeybees (*Apis mellifera*) are differentially affected by imidacloprid according to the season. *Pest Management Science* **59**(3):269-278.
- Derrien CH, Boccuani A. 2018. Current Status of the Insects Producing Industry in Europe. *Edible Insects in Sustainable Food Systems* **5**:471-479.
- Dich J, Zahm SH, Hanberg A, Adami H. O. 1997. Pesticides and cancer. *Cancer Causes & Control* **8**:420-443.
- Dion-Poulin A, Laroche M, Doyen A, Turgeon SL. 2020. Functionality of Cricket and Mealworm Hydrolysates Generated after Pretreatment of Meals with High Hydrostatic Pressures. *Molecules* **25**(22):5366.
- Dobermann D, Swift JA, Field LM. 2017. Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutrition Bulletin* **42**:293-308.
- Dürr J, Andriamazaoro H, Nischalke S, Preteseille N, Rabenjanahary A, Randrianarison N, Ratompoarison C, Razafindrakotomamonjy A, Straub P, Wagler I. 2020. It is edible, so we it: Insect supply and consumption in the central highlands of Madagascar. *International Journal of Tropical Insects Science* **40**:167-179.
- Dürr J, Ratompoarison Ch. 2021. Nature's "Free Lunch": The Contribution of Edible Insects to Food and Nutrition Security in the Central Highlands of Madagascar. *Foods*. 10 (12):2978.
- EFSA. 2015. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, 13.
- European Food Safety Authority (EFSA). 2023. Pesticides. EFSA, Italy. Available from <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/pesticides> (accessed February 2023).
- Evropský parlament a Rada Evropské unie. 2009. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009 ze dne 21. října 2009 o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu a získané produkty, které nejsou určeny k lidské spotřebě, a o zrušení nařízení (ES) č. 1774/2002 (nařízení o vedlejších produktech živočišného původu), Štrasburk.
- Evropský parlament. 2009. Víceletý kontrolní plán pro rezidua pesticidů. Pages 2021-2023, Česká republika.
- Finke MD. 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology* **21**(3): 269–285
- Finke DM. 2007. Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biology* **26**:105-115.

Fraqueza MJR, Patarata LA. 2017. Constraints of HACCP Application on Edible Insect for Food and Feed. Pages 89-113 in Mikkola H, editor. Future Foods. InTech, Croatia.

Friederich U, Volland W. 2004. Breeding Food Animals: Live Food for Vivarium Animals. Krieger Publishing Company, Malabar.

Gałęcki R, Sokół R. 2019. A parasitological evaluation of edible insects and their role in the transmission of parasitic diseases to humans and animals. PLoS ONE **14**:1–19. Grafton RQ,

Galecki R, Zielonka L, Zasepa M, Golebiowska J, Bakula T. 2021. Potential Utilization of Edible Insects as an Alternative Source of Protein in Animal Diets in Poland. Frontiers in Sustainable Food Systems **5**:675796.

Gasco L, Acuti G, Bani P, Dalle Zotte A, Danieli PP, Angelis A. 2020. Insect and fish by-products as sustainable alternatives to conventional animal proteins in animal nutrition. Italian Journal of Animal Science **19**:360-372.

Gentz MC, Murdoch G, King GF. 2010. Tandem use of selective insecticides and natural enemies for effective, reduced-risk pest management. Biological Control **52**(3):208-215.

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.

Grabowski NT, Klein G. 2017. Microbiology of processed edible insect products – result of preliminary survey. International Journal of Food Microbiology **243**:103-107.

Grafton RQ, Daugbjerg C, Qureshi ME, 2015. Towards food security by 2050. Food Security **7**:179-183.

Green RE, Schneider RC, Gavenda RT, Miles CJ. 2015. Utility of Sorption and Degradation Parameters from the Literature for Site-Specific Pesticide Impact Assessments. Pages 209-225 in Linn DM, Carski FH, Brusseau ML, Chang TH, editors. Sorption and Degradation of Pesticides and Organic Chemicals in Soil. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, USA.

Halloran A, Hanboonsong Y, Roos N, Bruun S. 2017. Life cycle assessment of cricket farming in north-eastern Thailand. Journal of Cleaner Production **156**:83-94.

Halloran R, Vantomme FP, Vantomme, Ross N. 2018. Edible insects in sustainable food systems, Springer, Cham, Switzerland 471-479.

- Hardin C. *Gryllus assimilis* [foto]. In Species-ID.net. Available from [https://species-id.net/openmedia/File:Gryllus assimilis PaDIL141419b.jpg](https://species-id.net/openmedia/File:Gryllus_assimilis_PaDIL141419b.jpg) (accessed February 2023).
- Herrero M, Wirsenius S, Henderson B, Rigolot C, Thornton P, Havlík P, De Boer I, Gerber P. 2015. Livestock and the Environment: What Have We Learned in the Past Decade? *Annual Review of Environment and Resources* **40**:177–202.
- Hossain S. M, Blair R. 2007. Chitin utilisation by broilers and its effect on body composition and blood metabolites. *British poultry science* **48**(1):33-38.
- Huis A, Oonincx D. 2017. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **37**:43.
- Chai BC, Van der Voort JR, Grofelnik K, Eliasdottir HG, Kloss I, Perez-Cueto FJA. 2019. Which Diet Has the Least Environmental Impact on Our Planet? A Systematic Review of Vegan, Vegetarian and Omnivorous Diets. *Nutrition and Sustainability* **11**(15):4110.
- Chia MA, Abdulwahab R, Ameh I, Balogun AJ. 2021. Farned tilapia as an exposure route to microcystins in Zaria-Nigeria: A seasonal investigation. *Environmental Pollution* **271**:116366.
- Chodová D, Tůmová E. 2020. Insects in chicken nutrition: a review. *Agronomy Research* **18**: 376–392.
- Choi YH, Yoon SY, Jeon SM, Lee Y, Oh SM, Lee SH. 2019. Effects of defferent levels of *Hermetia illucens* on growth performance and nutrient digestibility in weaning pigs. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperatioan Society* **20**:255-261.
- Ibitoye OS, Kolejo OS, Muritala DS. 2019. Insect meat an alternative protein source in animal food. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* **3**:70-78.
- International Platform of Insects for Food and Feed (IPIFF). 2022. EU Legislation. Ipiff, Belgium. Available from <https://ipiff.org/insects-eu-legislation/>(accessed February 2023).
- Ishara J, Ayagirwe R, Karume K, Mushagalusa GN, Begume D, Niassy S, Patchimaporn U, Kinyuru J. 2022. Inventory reveals wide biodiversity of edible insects in the Eastern Democratis Republic of Congo. *Scientific Reports* **12**(1):1576.
- Jabbar A, Mallick S. 1994. Pesticides and environment situation in Pakistan. Sustainable Development Policy Institute, Pakistan.
- Jantzen da Silva Lucas A, Menegon de Oliveira L, da Rocha M, Prentice C. 2020. Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. *Food Chemistry* **311**: 126022.

Janssen RH, Vincken JP, van den Broek LAM, Fogliano V, Lakemond CMM. 2017. Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Three Edible Insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **65**(11):2275-2278.

Jonas-Levi A, Martinez JJI. 2017. The high level of protein content reported in insects for food and feed is overestimated. *Journal of Food Composition and Analysis* **62**:184-188.

Józefiak A, Benzertiha A, Kieronczyk B, Lukomska A, Wesolowska I, Rawski M. 2020. Improvement of Cecal Commensal Microbiome Following the Insect Additive into Chicken Diet. *Animals* **10**:577.

Józefiak D, Józefiak A, Kieronczyk B, Rawski M, Swiatkiewicz S, Dlugosz J, Engberg R.M. 2016. Insects – A Natural Nutrient Source for Poultry – *Annals of Animal Science*. **16** (2):297-313.

Kazda J, Mikulka J, Prokinová E. 2010. *Encyklopedie ochrany rostlin*. Profi Press. Praha.

Khurso M, Andrew N, Nicholas A. 2012. Insects as poultry feed: A scoping study for poultry production systems in Australia. *Worlds Poultry Science Journal* **68** (3):435-446.

Kierończyk B, Rawski M, Józefiak A, Mazurkiewicz J, Swatkiewicz S, Siwek M, Bednarczyk M, Szumacher-Strabel M, Cieslak A, Benzertiha A, Józefiak D. 2018. Effects of replacing soybean oil with selected insects fats on broilers. *Animal Feed Science and Technology* **240**:170-183.

Kierończyk B, Rawski M, Mikołajczak Z, Leciejwska N, Józefiak D. 2021. *Hermetia illucens* fat affects the gastrointestinal tract selected microbial populations, their activity, and the immune status of broiler chickens. *Annals of Animal Science* **22**:663-675.

Kierończyk B, Rawski M, Stuper-Szablewska K, Józefiak D. 2022. First report of the apparent metabolizable energy value of black soldier fly larvae fat used in broiler chicken diets. *Animal* **16**:1751-7311.

Kim TK, Young HI, Kim YB, Kim HW, Choi YS. 2019. Edible Insects as a Protein Source: A Review of Public Perception, Processing Technology and Research Trends. *Food Science of Animal Resources* **39**(4):521-540.

Köhler R, Kaiuki L, Lambert C, Biesalski H.K. 2019. Protein, amino acid and mineral composition of some edible insects from Thailand. *Journal of Asia – Pacific Entomology* **22**:372-378.

- Kolakowski BM, Johaniuk H, Zhang H, Yomamoto E. 2021. Analysis of microbiological and chemical hazards in edible insects available to Canadian consumers. *Journal of Food Protection* **84**(9):1575-1581.
- Kouřimská L, Adámková A. 2016. Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS 38 Journal* **4**:22-26.
- Kulma M, Kouřimská L, Plachý V, Božik M, Adámková A, Vrabec V. 2019. Effect of sex on the nutritional value of house cricket, *Acheta domestica* L. *Food Chemistry* **272**:267– 272.
- Kulma M, Petříčková D, Kurečka M, Kotíková Z, Táborský J, Michlová T, Kouřimská L. 2022. Effect of carrot supplementation on nutritional value of insects: a case study with Jamaican field cricket (*Gryllus assimilis*). *Journal of Insects as Food and Feed* **8**:593-699.
- Kulma M, Tůmová V, Fialová A, Kouřimská L. 2020. Insect consumption in the Czech Republic: what the eye does not see, the heart does not grieve over. *Journal of Insects as Food and Feed* **6**:525-535.
- Ladrón de Guevara O, Padilla P, García L, Pino J.M, Ramos-Elorduy J. 1995. Amino acid determination in some edible Mexican insects. *Amino acids* **9**:161-173.
- Latunde-Dada GO, Yang W, Aviles MV. 2016. In Vitro Iron Availability from Insects and Sirloin Beef. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* **64**:8420-8424.
- Lee K, Chea Y, Yun T, Koo Y, Lee D, Kim H, So k, Cho W, Kum H, Yang M, Kang B. 2021. Clinical application of insects-based diet in canine allergic dermatitis. *Korean Journal of Veterinary Research* **61**(4):361-368.
- Liu LL, He JH, Xie HB, Yanf YS, Li JC, Zou Y. 2014. Resveratrol induces antioxidant and heat shock protein mRNA expression in response to heat stress in black-boned chickens. *Poultry Science* **93**(1):54-62.
- Lundy ME, Parrella MP. 2015. Crickets are not a free lunch: protein capture from scalable organic side-streams via high-density populations of *Acheta domesticus*. *PloS One* **10**(4).
- Macneale KH, Kiffney PM, Scholz NL. 2010. Pesticides, aquatic food webs, and the conservation of Pacific salmon. *Frontiers in Ecology and Environment* **8**:475-482.
- Mahmood I, Imadi SR, Shazadi K, Gul A, Hakeem K. R. 2016. Effects of pesticides on environment. *Plant, soil and microbes. Implications in crop science* **1**:253-269.
- Makkar HPS, Tran G, Heuzé V, Ankers P. 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology* **197**:1-33.

Menzio D, Sogari G, Mora C, Gariglio M, Gasco L, Schiavone A. 2021. Insects as Feed for Farmed Poultry: Are Italian Consumers Ready to Embrace This Innovation? *Edible Insects and Global Food Security* **12** (5): 435.

Meyer-Rochow VB, Jung C. 2020. Insects used as food and feed: Isn't that what we all need? *Foods* **9**: 102-109.

Ministerstvo zdravotnictví. 2020. Víceletý kontrolní plán pro rezidua pesticidů: 2021-2023. Ministerstvo zdravotnictví, Česká republika.

Mishyna M, Chen J, Benjamin O. 2019. Sensory attributes of edible insects and insect-based foods-Future outlooks for enhancing consumer appeal. *Trends in Food Science & Technology*.

Mishyna M, Martinet JJI, Chen J, Ofir B. 2019. Extraction, characterization and functional properties of soluble proteins from edible grasshopper (*Schistocerca gregaria*) and honey bee (*Apis mellifera*). *Food Research International* **116**:697-706.

Mlček J, Adámková A, Adámek M, Borkovcová M, Bednářová M, Kouřimská L. 2018. Selected nutritional values of field cricket (*Gryllus assimilis*) and its possible use as a human food. *Indian Journal of Traditional Knowledge* **17**: 518-524.

Mlček J, Rop O, Borkovcová M, Bednářová M. 2014. A comprehensive look at the possibilities of edible insects as food in Europe – a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* **64**: 147-157.

Moula N, Scippo ML, Douny C, Degand G, Dawans E, Cabreraux JF, Hornick JJ, Medigo RC, Leroy P, FF Detilleux. 2018. Performances of local poultry breed fed black soldier fly larvae reared on horse manure. *Animal Nutrition* **4** (1):73-78.

Murefu TR, Macheka L, Musundire R, Manditsera F.A. 2019. Safety of wild harvested and reared edible insects: A review. *Food control* **101**:209-224.

Neumann C, Velten S, Liebert F. 2018. N Balance Studies Emphasize the Superior Protein Quality of Pig Diets at High Inclusion Level of Algae Meal (*Spirulina platensis*) or Insects Meal (*Hermetia illucens*) when Adequate Amino Acid Supplementation Is Ensured. *Animals* **8** (10):172.

Nyangena DN, Mutungi C, Imathiu S, Kinyuru J, Affognon H, Ekesi S, Nakimbugwe D, Fiaboe KKM. 2020. Effects of Traditional Processing Techniques on the Nutritional and Microbiological Quality of Four East Africa. *Foods* **9**:574.

- Ooninx DGAB, van Broekhoven S, van Huis A, Joop J, van Loon A. 2015. Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-products. *PloS one* **10**: 20-25.
- Ooninx DGAB, Dierenfe, ES. 2011. An Investigation Into the Chemical Composition of Alternative Invertebrate Prey. *Zoo Biology* **31**(1): 40–54.
- Ooninx DGAB, Laurent S, Veenenbos ME, van Loon JJA. 2019. Dietary enrichment of edible insects with omega 3 fatty acids. *Insect Science* **27**: 500-509.
- Ooninx DGAB, van der Poel AFB. 2011. Effects of diet on the chemical composition of migratory locusts (*Locusta migratoria*). *ZOO Boilogy* **1**:9-16.
- Orinda MA, Mosi RO, Ayieko MA, Amimo FA. 2017. Growth performance of Common house cricket (*Acheta domesticus*) and field cricket (*Gryllus bimaculatus*) crickets fed on agro-byproducts. *Journal of Insects as Food and Feed* **3**:1-10.
- Osava M. 1999. Environment Brazil: Soy Production Spreads. Threatens Amazon, Inter Press Service, Rio de Janeiro.
- Paoletti MG. 2020. Human Consumption of Lepidoptera, Termites, Orthoptera, and Ants in Africa. *Ecological Implications of Minilivestock* **2**:175-230.
- Pepperný K. 2010. Rezidua pesticidů v potravinách, maximální limity reziduí a jejich dodržování a kontrola. Státní zdravotní ústav, Praha. Available from <https://docplayer.cz/10140659-Rezidua-pesticidu-v-potravinach-maximalni-limity-rezidui-a-jejich-dodrzovani-a-kontrola-karel-pepperny-statni-zdravotni-ustav.html> (accessed February 2023).
- Platform of Insects for Food and Feed (IPIFF). 2022. EU Legislation. Ipiff, Belgium. Available from <https://ipiff.org/insects-eu-legislation/> (accessed January 2023).
- Premalatha M, Abbasi T, Abbasi T, Abbasi SA. 2011. Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: The use of edible insects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **15**:4357-4360.
- Ramos-Elorduy J, Pino MJM. 1990. Caloric content of some edible insects of Mexico. *Journal of the Mexican Chemical Society* **34**:56-68.
- Ramos-Elorduy J. 1998. *Creepy Crawly Cuisine: The Gourmet Guide to Edible Insects*. Park Street Press, Rochester.
- Ramos-Elorduy J. 2008. Energy Supplied by Edible Insects from Mexico and their Nutritional and Ecological Importance. *Ecology of Food and Nutrition* **47**: 280-297.

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

Rupeš V, Ledvinka J. 2003. Příručka dezinfekce a deratizace (Pracovní verze). 1. vyd.: Sdružení DDD, Praha.

Samice cvrčka banánového [foto]. In Bat-rodents.eu. Available from <https://bat-rodents.eu/cvrcek-stepni-velky-1> (accessed February 2023).

Schlup Y, Brunner T. 2018. Prospect for insects as food in Switzerland: A tobit regression. *Food Quality and Preference* **64**:37-46.

Schluter O, Rumpold B, Holzhauser T, Roth A, Vogel RF, Quasigroch W, Vogel S, Heinz V, Jager H, Bandick N, Kulling A, Knorr D, Steinberg P, Engel KH. 2017. Safety aspects of the production of foods and food ingredients from insects. *Molecular Nutrition & Food Research* **61**(6): 1600520.

Soares Araújo RR, dos Santos Benfica TAR, Ferraz VP, Moreira Santos E. 2019. Nutritional composition of insects *Gryllus assimilis* and *Zophobas morio*: Potential foods harvested in Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis* **76**:22–26.

Sosa DAT, Fogliano V. 2017. Potential of Insect-Derived Ingredients for Food Applications. *Insect Physiology and Ecology*.

Starčević K, Gavrilović A, Gottstein Ž, Mašek T. 2017. Influence of substitution of sunflower oil by different oils on the growth, survival rate and fatty acid composition of Jamaican field cricket (*Gryllus assimilis*). *Animal Feed Science and Technology* **228**:66-71.

van Huis A, Itterbeeck JV, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P. 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

van Huis A. 2013. Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annual Review of Entomology* **58**(1): 563-583.

Vandeweyer D, Lievens B, Van Campenhout L. 2015. Microbial quality of edible insects reared on industrial scale in Belgium and the Netherlands. Conference on Innovations in food packaging, shelf life & food safety, Erding, München.

Varelas V, Langton M. 2017. Forest biomass waste as a potential innovative source for rearing edible insects for food and feed – A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **41**:193–205.



Veldkamp T, Schiavone A, Gasco L. 2022. Introducing the special issue ‘Insects on the monogastric menu’. *Journal of Insects as Food and Feed* **8**(9):951-952.

Vijver M, Jager T, Posthuma L, Peijnenburg W. 2003. Metal uptake from soils and soil-sediment mixtures by larvae of *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera). *Ecotoxicology and Environmental Safety* **54** (3):277-289.

Weissman DB, Walker TJ, Gray DA. 2009. The Field Cricket *Gryllus assimilis* and Two New Sister Species (Orthoptera: Gryllidae). *Annals of the Entomological Society of America* **102** (3): 367–380.

Wynants E, Crauwels S, Verreth C, Giannotten N, Lievens B, Claes J, Van Campenhout L. 2018. Microbial dynamics during production of lesser mealworms (*Alphitobius diaperinus*) for human consumption at industrial scale. *Food Microbiology* **70**:189-191.

Xiaoming C, Ying F, Hong Z. 2010. Review of the nutritive value of edible insects. Edible insects and other invertebrates in Australia: future prospects, *Proceedings of a Workshop on Asia-Pacific Resources and their Potential for Development* 85–92.

Yadav H, Kumar R, Sankhla M. S. 2020. Residues of Pesticides and Heavy Metals in Crops Resulting in Toxic Effects on Living Organism. *Journal of Seybold Report* 1533:9211.

Yang EC, Chuang YC, Chen YL, Chang LH. 2008. Abnormal foraging behavior induced by sublethal dosage of imidacloprid in the honey bee (*Hymenoptera: Apidae*). *Journal of Economic Entomology* **101** (6):1743-1748.

Yu M, Li Z, Chen W, Rong T, Wang G, Wang F, Ma X. 2020. Evaluation of full-fat *Hermetia illucens* larvae meal as a fishmeal replacement for weanling piglets: Effects on the growth performance, apparent nutrient digestibility, blood parameters and gut morphology. *Animal Feed Science and Technology* **264**:114431.

Zhang CH, Guan X, Yu S, Zhou J, Chen J. 2022. Production of meat alternatives using live cells, cultures and plant proteins. *Current Opinion in Food Science* **43**:43-52.