

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



**Nutriční hodnota larev a kukel potemníka stájového
(*Alphitobius diaperinus*) L.**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Daniel Krbeček

Obor studia: Zájmové chovy zvířat (AMPS)

Vedoucí práce: Ing. Martin Kulma, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Nutriční hodnota larev a kukel potemníka stájového (*Alphitobius diaperinus*) L." jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 13.7.2020

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Martinovi Kulmovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce a podmětné rady při jejím zpracování. Dále bych rád poděkoval Ing. Doře Petříčkové za pomoc a vedení při práci v laboratoři a zpracování praktické části.

Nutriční hodnota larev a kulek potemníka stájového (*Alphitobius diaperinus*) L.

Souhrn

Tato diplomová práce se věnuje nutričnímu složení potemníka stájového *Alphitobius diaperinus* a rozdílům v obsahu sušiny, popelovin, tuků, dusíkatých látek, chitinu a bezdusíkatých látek výtažkových mezi larvami a kuklami.

Teoretická část práce se věnuje popisu *A. diaperinus*, s důrazem na životní cyklus a obecnou charakterizaci podmínek chovu. Dále je zde popsána entomofágie, výhody využití jedlého hmyzu, ať už pro lidskou výživu, krmivo pro hospodářská zvířata, a i jeho šetrnost k životnímu prostředí. Velká část literární rešerše se věnuje nutričnímu složení *A. diaperinus* (tuky, bílkoviny, sacharidy, minerální látky, vitamíny) a dalším významným skupinám jedlého hmyzu. Na konci teoretické části jsou popsána možná rizika při konzumaci hmyzu.

V praktické části diplomové práce bylo na Fakultě agrobiologie, potravin a přírodních zdrojů při konstantních podmínkách odchováno zhruba 300 g larev a kulek potemníka stájového, které jsem pak následně podrobil analýzám pro zjištění základních nutričních hodnot. Larvy a kukly byly usmrceny zmrazením při teplotě $-81\text{ }^{\circ}\text{C}$ a poté byly lyofilizovány. Sušina byla stanovena sušením v sušárně Memmert. Kukly obsahovaly více sušiny, a to v průměru 36,4 % na 100 g živé hmotnosti, zatímco larvy obsahovaly sušiny 32,6 %. Tuky byly stanoveny dle Soxhleeta. Larvy byly bohatší na tuk, když obsahovaly 22,6 g na 100 g sušiny než kukly s 19,1 g tuku na 100 g sušiny. Obsah bílkovin (dusíkatých látek) byl stanoven dle Kjeldahla s faktorem 6,25. Kukly byly bohatší na obsah bílkovin, a to v průměru 63,4 g bílkovin na 100 g sušiny. Larvy potemníka obsahovaly 61,6 g bílkovina na 100 g sušiny. Obsah bezdusíkatých látek výtažkových byl u larev 9,7 g na 100 g sušiny a u kulek 14,5 g na 100 g sušiny. Více chitinu obsahovaly larvy a to 5,1 g na 100 g sušiny. Kukly obsahovaly 2,1 g chitinu na 100 g sušiny. Množství dusíku v chitinu byl u larvy 1,63 g na 100 g sušiny a u kukly 1,07 g dusíku v chitinu na 100 g sušiny.

Klíčová slova: jedlý hmyz, nutriční hodnota, potemník stájový, bílkoviny

Nutritional value of larvae and pupae of litter beetle (*Alphitobius diaperinus*) L.

Summary

This diploma thesis deals with the nutritional composition of *Alphitobius diaperinus* and the differences between larvae and pupae. The work focuses on dry matter, ash, fat, crude protein, chitin and nitrogen free extract.

The theoretical part of the work aims to generally describe *A. diaperinus*, with emphasize on the life cycle and rearing process. It also describes entomophagy and, the benefits of using insects, as feed and food. A substantial part of the literature overview deals with the nutritional composition of *A. diaperinus* (fats, proteins, carbohydrates, minerals, vitamins) and other important edible insects. Also, the possible risks of insect consumption are mentioned in the introduction.

In the practical part of the diploma thesis, sufficient number of larvae and pupae of the litter beetle was reared under constant conditions in the insectarium of Faculty of Agrobiological Sciences, Food and Natural Resources. Then, the basic nutrients were analysed. The larvae and pupae had been freeze killed at -81°C and lyophilized. The dry matter was determined using a Memmert oven. The pupae contained more dry matter, 36.4 % per 100 g fresh weight, when the larvae contained 32.6 % dry matter. The fats contents were determined usings to Soxhlet method. The larvae had higher level of fat 22.6 g per 100 g dry matter than pupae 19.1 g per 100 g dry matter. The total protein content ($\text{N} \times 6,25$) was determined using Kjeldahl method and the Kjeltec. The pupae were richer in protein content, 63.4 g of protein per 100 g of dry matter while the. Larvae contained approximately 61.6 g. The content of nitrogen-free extracts was 9.7 g per 100 g of dry matter for larvae and 14.5 g per 100 g of dry matter for pupae. The larvae contained more chitin in 5.1 g per 100 g of dry matter. The pupae contained 2.1 g of chitin per 100 g of dry matter. The amount of nitrogen in the chitin was 1.63 g per 100 g of dry matter for the larva and 1.07 g of nitrogen in the chitin per 100 g of dry matter for the pupae.

Keywords: Edible insects, Nutritional value, Litter Beetle, Proteins

Obsah

1	Úvod	1
2	Vědecká hypotéza a cíle práce	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Potemník stájový	3
3.1.1	Vývojový cyklus <i>A.diaperinus</i>	4
3.1.2	Chov <i>A. diaperinus</i>	5
3.2	Entomofágie	7
3.3	Využití hmyzu jako krmivo	9
3.4	Nutriční hodnota hmyzu	10
3.4.1	Tuky	10
3.4.2	Bílkoviny	11
3.4.2.1	Obsah aminokyselin	12
3.4.3	Sacharidy	13
3.4.4	Energetická hodnota	14
3.4.5	Minerální látky	14
3.4.6	Vitamíny	15
3.5	Rizika konzumace hmyzu	16
3.5.1	Alergie	16
3.5.2	Viry	16
3.5.3	Bakterie	16
3.5.4	Paraziti	17
4	Metodika	18
4.1	Materiál	18
4.2	Zjišťování hmotnosti larev a kukel	19
4.3	Lyofilizace	19
4.4	Sušina	20
4.5	Stanovení popelovin	21
4.6	Stanovení tuku	22
4.7	Stanovení bílkovin dle Kjeldahla	22
4.8	Stanovení chitinu	23
4.9	Stanovení dusíku v chitinu	24
4.10	Bezdušikaté látky výtažkové BNLV	25
4.11	Statistické vyhodnocení	25
5	Výsledky	26
5.1	Sušina a popeloviny	26
5.2	Dusíkaté látky	28
5.3	Tuky	28

5.4	Bezdušikáté látky výtažkové BNLV	29
5.5	Chitin.....	30
5.6	Hmotnost larvy a kukly (<i>A. diaperinus</i>)	30
6	Diskuze	32
6.1	Sušina a popeloviny.....	32
6.2	Tuky.....	32
6.3	Dušikáté látky	33
6.4	BNLV.....	33
6.5	Chitin.....	33
6.6	Hmotnost larvy a kukly (<i>A. diaperinus</i>)	34
7	Závěr.....	35
8	Literatura	36

1 Úvod

V roce 2050 bude pravděpodobně na Zemi žít 10 miliard lidí. Jako hlavní výzva pro lidstvo bude tudíž splnění požadavků na bezpečné zásobování lidí potravinami.

Rostoucí světovou populaci zatěžuje závažný problém, a to zajištění potravin v rozvojových zemích. Na druhé straně v průmyslově vyspělých zemích, kde je problém zajištění potravin méně znepokojivý, se lidé soustředí na 2 hlavní faktory: bezpečnost potravin a udržitelnost životního prostředí při výrobě potravin. Z těchto důvodů musí být nalezeny nové způsoby, jak zvýšit výnosy při zachování kvality potravin, přírodních stanovišť a biologické rozmanitosti.

Lidé, zejména ve vyspělých zemích, využívají omezený počet rostlin a živočichů, ze kterých získávají svou energii a potřebné živiny. Navíc globalizace vede k šíření západních stravovacích návyků i do rozvojových zemí, kde též dochází ke ztrátě rozmanitosti potravin. Při hledání nového potravinového zdroje, který by uživil rostoucí populaci světa, existuje několik alternativ. Mezi ty nejčastěji zmiňované patří, například řasy, houby nebo maso in-vitro, a také využívání jedlého hmyzu, kterému se věnuje tato diplomová práce. Odhaduje se, že hmyz je součástí tradiční stravy nejméně 2 miliard lidí a údajně se využívá až 1 900 druhů. Hmyz má řadu ekologických výhod, které jsou zásadní pro přežití lidstva. Hrají také důležitou roli jako opylovači, při zlepšování úrodnosti půdy prostřednictvím biokonverze odpadu, při přirozené biologické likvidaci škůdců a také poskytují řadu cenných výrobků pro člověka, jako je med a hedvábí. V západním světě aktuálně roste zájem o jedlý hmyz a hmyz jako krmivo, zejména v akvakultuře. Vzhledem ke svým vlastnostem, jako je rychlý reprodukční cyklus, nenáročný a ekologický chov či dobrá nutriční hodnota, má hmyz z tohoto pohledu velký potenciál.

Jedlý hmyz má obsah kvalitních bílkovin srovnatelný s běžně užívanými zdroji, obsahuje také poměrně vysoké množství tuku s vyšším množstvím polynenasycených mastných kyselin. Ekologický přínos chovu hmyzu pro potraviny a krmiva je založen na vysoké konverzi krmiv. Hmyz pro lidskou výživu je tak vysoce výživný a zdravý potravinový zdroj s vysokým obsahem tuku, bílkovin, vitamínů, vlákniny a minerálních látek. Nutriční hodnota jedlého hmyzu je vzhledem k velkému počtu druhů rozmanitá a může se lišit nejen mezidruhově, ale i v rámci stejné skupiny hmyzu. Nejvýznamnější faktory z tohoto pohledu jsou vývojová stádia, místo a lokalita původu a jeho strava. Obsah bílkovin, vitamínů a minerálů v červech je podobný jako v rybách a masu ostatních hospodářských zvířat. Uvádí se, že hmyz produkuje méně skleníkových plynů a méně amoniaku než skot nebo prasata a vyžaduje výrazně méně půdy a vody než chov skotu. Ve srovnání se savci a ptáky může hmyz představovat také menší riziko přenosu zoonózy infekce lidí, hospodářských zvířat a volně žijících živočichů.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Hypotéza: Nutriční hodnota larev potemníka stájového (*Alphitobius diaperinus*) se liší od kukel stejného druhu.

Cílem práce bylo definovat rozdíl v nutriční hodnotě mezi larvami a kuklami potemníka stájového. Výsledkem byl tak příspěvek vedoucí ke zlepšení technologie produkčního chovu tohoto druhu hmyzu, a to ve smyslu optimalizace sklizně.

3 Literární rešerše

3.1 Potemník stájový

Říše: Animalia (živočichové)

Kmen: Athropoda (členovci)

Třída: Insecta (hmyz)

Řád: Coleoptera (brouci)

Čeleď: Tenebrionidea (potemníkovití)

Rod: Alphitobius (potemník)

Potemník stájový, *Alphitobius diaperinus*, je menší hmyz tropického původu a kosmopolitní škůdce běžně se vyskytující v obilí (Salin et al. 2000). *Alphitobius Diaperinus* je dále také jedním z nejčastějších hmyzích škůdců na komerčních drůbežích farmách, kde se rozmnožuje v podestýlce (Rumbos et al. 2019). Dospělci i larvy jsou omnivorní, tudíž konzumují potravu určenou pro kuřata, ale i výkaly, mrtvé ptáky a výjimečně mohou napadnout i živou drůbež. Při přemnožení se jedná o významnou ekonomickou zátěž pro takto postižený podnik. Kuřata totiž konzumují larvy potemníků raději než potravu, přičemž může dojít k přenosu nemoci a snížení přírůstků (Despins & Axtell 1995). Potemník stájový je totiž důležitým vektorem řady patogenů. Při konzumaci infikovaných larev se mohou u drůbeže vyvinout onemocnění způsobené viry, bakteriemi, houbami či prvoky. Tento druh brouka může také sloužit jako mezipřenositel parazitických helmintů, tasemnic a hlístic (Alborzi & Rahbar 2012).

Dospělí jedinci (Obrázek 1) jsou 5.5 – 6 mm dlouzí a 3 – 3,5 mm širocí (Friederich & Volland 2004), ovální, mírně konvexní, leskle černé nebo hnědé barvy. Barva se může měnit v závislosti na věku. Tykadla jsou relativně krátká, nažloutlé barvy se štětinami a koncovým segmentem světlejší barvy (Dunford & Kaufman 2018). Vajíčka *A. diaperinus* jsou oválná, světle zbarvená a délky 1 mm. Larvy jsou protáhlé, přibližně 12 – 19 mm dlouhé se špičatým zakončením abdomenu a hladkým lesklým exoskeletem bez přítomnosti sít, štětín nebo trnů. Larvy mají zřetelně oddělenou hlavovou kapsli od dalších segmentů těla. Na hrudníku se na každém článku nachází jeden pár kráčivých končetin, které jsou zodpovědné za jejich rychlý pohyb. Čerstvě vylíhlé larvy jsou bílé barvy (Obrázek 1), během šesti až jedenácti larválních stádií se barva mění na hnědou s výraznými béžovými skvrnami na okraji jednotlivých segmentů. Kukly (Obrázek 1) jsou krémově bílé až světlé hnědé a nemají žádné pohybové schopnosti (Rumbos et al. 2019).

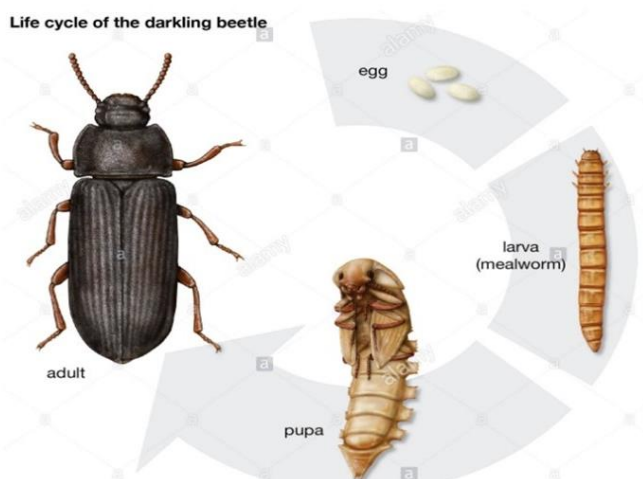


Obrázek 1 Vývojová stádia *A.diaperinus* (Zdroj: Dunford & Kaufman 2018)

3.1.1 Vývojový cyklus *A.diaperinus*

Doba vývoje je u potemníka stájového (Obrázek 2), stejně jako u ostatních druhů hmyzu, závislá na teplotě. Samice klade vajíčka 6 – 10 dní po páření. Líhnutí larev z vajíček trvá 3 – 10 dní. Vývoj do dospělosti obvykle trvá v závislosti na dostupnosti zdrojů 1 – 3 měsíce (Dinev 2013), v extrémních podmínkách se ovšem může prodloužit až na 7 měsíců (Rumbos et al. 2019). Životní cyklus od vajíčka po dospělé při teplotě 22 °C například trvá 89 dní, zatímco při teplotě 31 °C pouze 26 dní (Dinev 2013).

Fáze kukly trvá od 4 do 14 dnů (Rumbos et al. 2019). V laboratorních podmínkách, kde jsou dospělci krmeni na různých substrátech, mohou přežít měsíce až rok (Esquivel et al. 2012). Dospělé samice mohou během svého života vyprodukovat 1 000 až 1 800 oplodněných vajíček (Rumbos et al. 2019).



Obrázek 2 Vývojový cyklus *A. diaperinus* (Zdroj: <<https://www.alamy.com/stock-photo-life-cycle-of-the-darkling-beetle-84972621.html>>)

3.1.2 Chov *A. diaperinus*

Potemník stájový je chován ve středních až velkých boxech s hladkými stěnami a děrovaným víkem, které je pro ventilaci potažené plátnem, nebo gázou. Boxy pro larvy by měly být nejméně 8 cm vysoké. Výška boxu pro chovné brouky je doporučována vyšší než 15 cm. Pro chovy jsou praktické například velké plastové boxy používané pro chov potkanů nebo myši, protože mohou být skladovány ve stojanech. Červi žijí na substrátu, který by se měl sestávat ze suchého krmiva, jako např. ze směsi ovsa, krmiva pro kuřata a otrub. Dno boxu je pokryto tenkou vrstvou tohoto substrátu a několika vrstvami vaječných plat nebo vlnité lepenky. Samice také rády kladou vajíčka na vlhké kousky látky. Jelikož se potemníkům nejvíce daří ve tmě a při vyšších teplotách, lze je umístit do vyhřívaných a zatměných skříní. Pro topení je možné použít infračervené zdroje tepla nebo tepelné podložky. Ideální je vyhřívaná místnost (Barts 2006).

Krmení *A. diaperinus*

Potemníci jsou všežraví. Mohou tak být krmeni výhradně rostlinnou stravou, ale nejlepších výsledků bylo dosaženo při krmení živočišnou bílkovinou. U mnoha chovných zařízení se osvědčilo oddělení suchých a vlhkých složek potravy, tak aby v chovu nedošlo k šíření plísní. Otruby by neměly být jediným suchým krmivem, ale měly by být smíchány s ovsem, psími granulami nebo směsí pro krmení kuřat. Kromě toho je vhodné krmit pšeničné klíčky či různé druhy pelet pro kuřata. Příklad krmné směsi pro *A. diaperinus* je uveden v (Tabulce 1). Jako vlhká potrava je potemníkům podávána nastrohaná mrkev, plátky brambor či jablek, banán, zelenina, nebo změkčený bílý chléb. Krmnou směs lze červům zpestřit hovězím tukem, který se nakrájí na proužky a nechá se vyschnout (Barts 2006).

Chov v malém měřítku

Pokud je to možné, měly by se používat nejméně 2 boxy, aby bylo možné dospělé jedince a jejich larvy chovat samostatně. Pokud nejsou brouci krmeni vlhkým krmivem každý den, způsobuje to velké ztráty. Pokud jsou nalezeny mrtvé černé larvy a kukly, znamená to, že je něco v nepořádku. Pro brouky je nádoba o rozměrech 30 x 20 x 15 cm dostatečně velká, pro larvy lze použít box o velikosti 40 x 30 cm. Pokud jsou larvy sklizeny každý týden do samostatné nádoby, je zapotřebí dalších 5 menších nádob. Nejlepší je mít v každé nádobě larvy podobné velikosti a stáří (Barts 2006).

Asi 200 brouků je dobrým počátečním chovným materiálem pro tento typ chovu. Předpokládá se navíc, že v průběhu času bude docházet k pozvolnému zvyšování biomasy.

Následující příklad předpokládá dobu vývoje asi 6 týdnů při teplotě 27 - 28 ° C a samostatným boxem jak pro larvy, tak i pro dospělé jedince.

Brouci se umístí do připraveného boxu a přikrmují se vlhkou potravou (Tabulka 1). Potemník stájový je sice tolerantní k plesnivé potravě, ale doporučuje se udržovat zařízení bez plísní. Zbylé vlhké krmivo by proto mělo být odstraňováno třikrát týdně. Po 2 týdnech jsou vajíčka a malé larvy poprvé odděleny od brouků. Nejprve se jemně protřepají vaječné kartony nebo vlnitá lepenka a s kousky textilie se přemístí do samostatné nádoby. Poté se veškerý substrát přeseje

sítem o velikosti ok 1,5 mm. Brouci a větší kusy suché potravy jsou vráceny do chovných nádob. Přesetý substrát, který obsahuje vajíčka a mladé larvy, se vloží do druhé velké nádoby a každý den jsou larvy krmeny čerstvou potravou.

Po dalších 2 týdnech je substrát z nádoby s chovnými brouky znovu přeset a vajíčka s larvami se přenesou do dalšího boxu. První larvy mezitím vyrostly a jsou připraveny ke kuklení. Samotný počet larev, by již mohl být sklizen jako potrava. Larvy se rádi pohybují mezi vrstvami novin nebo textilií a mohou se tam snadno sklízet. Samozřejmě musí být vždy zachován dostatečný počet chovných brouků. Řada dospělých larev je umístěna do mělkých nádob, které jsou lemovány novinami. Dokud se nezakuklí, dostávají malé množství vlhkého krmiva. Případně můžeme počkat o několik dní déle a sesbírat kukly, které musí být absolutně neporušené, jinak jsou budoucí brouci zdeformovaní. Nově objevující brouci se rádi schovávají v malém kusu hadru či na proložkách v chovném boxu (Barts 2006).

Každých 4 – 6 týdnů před přidáním nových larev by se měly oddělit od jejich výkalů. Pro tento účel je vhodné sítko o velikosti ok cca 0,5 mm. Množství substrátu se stanoví podle následujícího pravidla: Při zvýšení o 500 g larev je zapotřebí o 300 g potravinového substrátu víc. Sto plně vyvinutých larev váží přibližně 2,5 g (Barts 2006).

Vzhledem k tomu, že brouci jsou považováni za škůdce a nejsou vítáni v místech, které se používají ke skladování potravin, je nesmírně důležité, aby chovatelský box měl těsně přiléhající víko a brouci tak nemohli utéct.

Chov ve velkém měřítku

Metody velkoprodukčních chovů jsou podobné metodám pro malé chovy. Pokud je substrát dosypán do nové nádoby každé 2 - 3 dny, zaručuje to rovnoměrný růst larev. Počet a velikost nádob závisí na požadovaném množství zvířat (Barts 2006).

Škůdci a nemoci

Další výhodou chovu těchto brouků je, že podle zatím dosažených vědomostí nejsou v chovech postiženi chorobami nebo škůdci, kteří by zapříčinili jejich úhyn. Ani roztoči, kteří se mohou vyskytovat ve všech úrovních chovů, se v těchto chovech neobjevili, je proto možné, že larvy červotoče konzumují. (Barts 2006).

Suroviny	g
Krmná směs pro nosnice	200
Oves	100
Sójová moučka	100
Sušené mléko	100
Starý chléb	250
Sušené nebo pivovarské kvasnice	50

Tabulka 1 Krmná směs pro *A.diaperinus* (Zdroj: Barts 2006)

3.2 Entomofágie

Je zřejmé, že jak předci *Homo sapiens*, tak pravěké komunity používaly hmyz jako zdroj potravy a výživy. Než lidé získali nástroje pro lov a sběr potravin, hmyz hrál podstatnou roli v jejich stravě, o čemž svědčí coprolit – zkamenělé výkaly starověkých lidí (Govorushko 2019b). V současné době konzumuje hmyz 2 miliardy lidí ve 113 zemích. Nejčastěji využívané taxony jsou uvedeny v (Tabulka 2). V mnoha státech (zejména západní civilizace) je však spotřebitelský přístup k jedlému hmyzu negativní. Většina lidí hmyz odmítá, protože jej považuje za neatraktivní potravinu. Tento přístup však není ničím jiným než předsudkem, protože v průběhu let se mnohé neobvyklé potraviny (například žabí stehýnka) stala tradičními (Govorushko 2019b).

Při hledání nového potravinového zdroje, který by uživil rostoucí populaci světa, existuje několik alternativ, včetně řas, hub nebo masa in vitro. V poslední době, se pak stále více propaguje využívání hmyzu (Pali-Schöll et al. 2019). Hmyz může být konzumován ve stádiu vajíčka, larvy, kukly nebo dospělců. Mezi nově vznikající produkty z jedlého hmyzu (Obrázek 3), které se v současnosti konzumují v Evropě a Severní Americe, však patří celý vysušený hmyz, který lze jíst přímo celý jako svačinu nebo použít drcený jako přísadu do běžných a dobře známých potravin jako například, těstovin, cukrovinek, bonbónů, proteinových tyčinek, hamburgerů, párků atd. (Raheem et al. 2019).



Obrázek 3 Produkty z jedlého hmyzu (Zdroj: Melgar-Lalanne et al. 2019)

Potenciální využití hmyzu jako nového zdroje potravy v poslední době přitahovalo v Evropě velkou pozornost, protože má mnoho environmentálních a nutričních výhod a představuje tedy slibný a udržitelný zdroj živočišných bílkovin. Přesto, že hmyz je v mnoha částech světa vysoce hodnocenou potravou, zůstává averze spotřebitelů hlavní překážkou pro konzumaci v Evropě (Orsi et al. 2019). Ve většině zemí, kde je entomofágie běžná, je konzumován hlavně hmyz, který byl odchycen v přírodě. Vzhledem k nízké druhové početnosti a sezonalitě hmyzu v Evropě, s víceméně neznámou nutriční kvalitou, dobré bezpečnosti, a také dlouhodobé udržitelnosti je ovšem do budoucna zásadní vyvinout ekologickou, ale zároveň

ekonomickou velkoobjemovou produkční technologii hmyzu. V porovnání s konvenčními zdroji potravy má hmyz z tohoto pohledu velký potenciál (Rumpold et al. 2017) .

Hmyz vyžaduje méně místa pro chov. Zatímco tradiční hospodářská zvířata vyžadují horizontální půdu, hmyz, např. cvrčci, jsou obvykle chováni v chovných nádobách či boxech, čímž je efektivně využíván vertikální prostor. V zemích, kde je hmyz tradičně konzumován, je chov kromě farem provozován i v malém měřítku za použití levných materiálů a to na zahradách nebo v domácnostech (Gere et al. 2019). Ve srovnání s tradičními bílkovinami, jako je mléko, kuřecí maso, vepřové maso a hovězí maso, byla náročnost chovu z hlediska záboru půdy v hektarech u moučných červů 1,81 – 14,12 krát nižší (Oonincx & de Boer 2012).

Spotřeba vody je u hmyzu ve srovnání s jinými zdroji bílkovin výrazně nižší. Například cvrčci farmy spotřebují 2 litry vody na 1 gram produkovaného proteinu, zatímco na výrobu hovězího masa je potřeba 112 litrů (Gahukar 2016). Zemědělství je dále hlavním přispěvatelem do celkového množství emisí skleníkových plynů (SP). Tuto charakteristiku lze také zmírnit nahrazením tradičních bílkovin alternativami založenými na hmyzu. Ve srovnání se skotem hmyz produkuje výrazně méně SP, zejména metanu, oxidu uhličitého a oxidu dusného (Oonincx et al. 2010). Jak vyplývá z výše uvedených výzkumů, chov hmyzu může za určitých podmínek (zejména optimalizace technologie chovu) přispět ke snížení využití zemědělské půdy a uhlíkové stopy (Rumpold et al. 2017)

Pořadí	Běžné jméno	Taxon	%
1.	Brouci	Coleoptera	31
2.	Motýli	Lepidoptera	18
3.	Včely, vosy, a mravenci	Hymenoptera	14
4.	Kobylky, sarančata a cvrčci	Orthoptera	13
5.	Cikády, křísi, křísci, mšičožraví a polokřídli	Hemiptera	10
6-7.	Termiti	Isoptera	3
6-7.	Šídla a motýlice	Odonata	3
8.	Dvoukřídli	Diptera	2
		Všechny zbývající taxony	6
Celkem:			100

Tabulka 2: Globální distribuce jedlého hmyzu podle taxonu (Zdroj: Govorushko 2019).

3.3 Využití hmyzu jako krmivo

Hmyz a produkty z něj (kromě živého hmyzu, který je určen k použití v krmivech), se považuje za vedlejší produkt živočišného původu a je povoleno používat ho pouze jako krmivo pro vodní a domácí zvířata. U ostatních hospodářských zvířat s výjimkou přežvýkavců lze uvést pouze hydrolyzovanou formu. Podle doporučení evropských úřadů pro bezpečnost potravin jsou pro účely zemědělství způsobilé tyto druhy (nařízení EU č. 2017/893): bráněnka (*Hermetia illucens*), moucha domácí (*Musca domestica*), potemník moučný (*Tenebrio molitor*), potemník stájový (*Alphitobius diaperinus*), cvrček domácí (*Acheta domestica*), cvrček krátkokřídlý (*Grylloides sigillatus*) a cvrček banánový (*Gryllus assimilis*) (Lapja & 2019). Vzhledem k tomu, že hmyz konzumuje přirozeně mnoho zvířat, včetně ryb, volně žijících ptáků a drůbeže chované ve volném výběhu, můžeme předpokládat, že tato zvířata jsou evolučně uzpůsobena k jejich konzumaci v rámci běžné stravy. Proto se zdá být rozumné, považovat hmyzí proteiny za věrohodný komerční zdroj krmiv pro tyto hospodářská zvířata v následujících letech (Sogari et al. 2019).

Náklady na krmné směsi představují zhruba 60 - 80 % z celkových výrobních nákladů. V současné době je až 70 % z těchto nákladů spojeno s použitím rybí a sójové moučky, používané jako zdroj bílkovin (Ssepuuya et al. 2017). Tyto běžné zdroje bílkovin se však staly méně dostupnými a tím pádem dražšími, což ovlivňuje produkci ryb a drůbeže. Dopad je a bude pociťován nejvíce v subsaharské Africe, kde ryby a drůbež přispívají přibližně k 61 % na příjmu lidských proteinů (Davis 2016). Náklady na místní rybí moučku v Nigérii činily v roce 2005 0,53 až 0,36 amerických dolarů (USD) / kg a do roku 2017 se zvýšily na 1,27 až 1,90 USD / kg. Podobně se zvýšila cena místní rybí moučky v Ugandě z přibližně 2 000 ugandského šilinku (Ugx) / kg (1,12 USD) v roce 2005 na 3 500 Ugx (USD ~ 1,0) v roce 2017 (Ssepuuya et al. 2017).

Ve studii Jozefiak et al. (2018) byl využit hmyz jako částečná náhrada doplňkové stravy pro brojlery. Moučky z následujícího zdroje hmyzu: *Grylloides sigillatus*, *Shelfordella lateralis*, *Gryllus assimilis*, *T. molitor* a *Hermetia illucens* byly aplikovány v množství, které se pohybovalo od 0,05 do 0,2 % na 60 mg/kg doplňkové stravy. Navíc v experimentu bylo doplněním 0,2 % *S. lateralis* zlepšen přírůstek tělesné hmotnosti, příjem potravy a poměr konverze krmiv. Vše bylo srovnáváno s kontrolou, kde se nevyskytoval žádný zdroj hmyzí bílkoviny.

Odvětví akvakultury je jedním z hlavních zdrojů, pokud jde o produkci živočišných bílkovin a dostupnosti krmiv pro zásobování krmivového řetězce akvakultury (aquafeed). Aquafeeds jsou většinou založeny na obilovinách, olejnatých semenech a zdrojích mořského původu. V tomto smyslu by mohlo být vhodnou alternativou použití hmyzu na výživu vodních živočichů (Freccia et al. 2020).

Byla provedena studie s larvami mouchy domácí (*Musca domestica*), které byly využity jako doplňkový zdroj bílkovin v krmivech pro tilapii nilskou (*Oreochromis niloticus*). Autoři pozorovali vynikající tempo růstu (~ 3,76 % / den) a snížený poměr konverze krmiva. Pravděpodobně díky lepšímu profilu aminokyselin v této proteinové směsi obsahující 28 % rybí moučky, 25 % larvy mouchy domácí a 12 % sóji. Autoři dále uváděli vysoký obsah lipidů (19,8 %) v larvách mouchy. Ukázalo se, že pro krmení afrického sumce (*Clarias gariepinus*) jsou larvy much vhodným zdrojem živin stejně jako u tilapií (Ogunji et al. 2008).

Částečná náhrada 40 % rybí moučky moučkou z potemníků u afrického sumce nevykazovala žádné rozdíly a ryby rostly stejně jako zvířata krmená komerční stravou (Ng 2001).

Částečnou náhradou do 25 % rybí moučky potemníky u pražmy královské (*Sparus aurata*) nebyly zaznamenány žádné rozdíly v přírůstku hmotnosti a konečné hmotnosti. Avšak při 50 % nahrazení rybí moučky, se snížila úroveň růstu a zvýšila se konverze krmiva (Piccolo et al. 2014).

U evropských juvenilních mořských okounů (*Dicentrarchus labrax*) nemělo zařazení potemníků do 25 % z celkové hmotnosti žádné nepříznivé účinky, ale při zvýšení na 50 % bylo tempo růstu sníženo. Použití moučky z potemníků pro tilapii nilskou při částečném nahrazení rybí moučky z 25 a 50 % snížilo růst ryb přibližně o 29 %. Podle autorů nelze použít moučku z potemníků, protože je nutné lépe porozumět úloze chitinu v trávení a lepší detekci možných toxinů, které mohou ovlivnit růst ryb (Freccia et al. 2020).

3.4 Nutriční hodnota hmyzu

Hmyz je považován za dobrý zdroj bílkovin, minerálů, vitamínů a energie. Navíc pro chudé venkovské komunity v některých částech světa není jedlý hmyz tak nákladný, jako živočišné bílkoviny hospodářských zvířat. Jeho spotřeba odvrátila mnoho případů podvýživy. Jedlý hmyz má srovnatelný či vyšší podíl bílkovin než ostatní živočišné a rostlinné zdroje potravy, jako je například hovězí maso, kuře, ryby, sójové boby a kukuřice (Govorushko 2019b). Kvalitou proteinu vyjádřené skladbou aminokyselin je pak srovnatelný s méně kvalitní živočišnou či nejkvalitnější rostlinnou bílkovinou (Yi et al. 2013). Nutriční hodnota hmyzu však není konstantní veličinou. Množství a kvalita živin je ovlivněna mnoha faktory včetně druhu, vývojového stádia, technologií chovu, výživou nebo pohlavím (Adámková et al. 2016).



Obrázek 4 Smažený *T. molitor* (Zdroj: <<https://www.livinfarms.com/blog-1>>)

3.4.1 Tuky

Lipidy představují druhou největší část nutričního složení jedlého hmyzu a jeho obsah je vyšší v larvální fázi života hmyzu (Jantzen da Silva Lucas et al. 2020). Obsah tuku jedlého hmyzu se většinou pohybuje mezi 10 – 50 % (Mlcek et al. 2014). Kvalita tuku je dána kompozicí mastných kyselin. Nasycené mastné kyseliny mají obecně vyšší teplotu tání než

nenasycené mastné kyseliny a jsou pevné při pokojové teplotě. Často se vyskytují v živočišných i rostlinných produktech jako např. v tropických olejích (palmový a kokosový olej). Nenasycené mastné kyseliny obsahují mono-nenasycené mastné kyseliny a polynenasycené mastné kyseliny a jsou obvykle kapalné při pokojové teplotě. Nenasycené tuky se sestávají alespoň z jedné dvojně vazby a během metabolismu poskytují o něco méně energie. Většinou se vyskytují v rostlinných olejích, ořeších a mořských plodech. Nenasycené mastné kyseliny jsou pro lidské zdraví lepší než nasycený tuk. Esenciální mastné kyseliny nemohou být syntetizovány lidským tělem, což znamená, že musí být získány ze stravy. Zahrnují některé omega-3 mastné kyseliny (např. α -linolenová kyselina) a některé omega-6 mastné kyseliny (např. kyselina linolová) (Huis et al. 2013).

Obsah mastných kyselin a složení hmyzích lipidů (Tabulka 3) souvisí s druhem, pohlavím, vývojovým stádiem, potravou, teplotou a chovným prostředím (Oonincx et al. 2015). Hmyz obsahuje vysoké hladiny mastných kyselin se středním řetězcem (MCFA), vyšší množství n-6 polynenasycených mastných kyselin (PUFA) než FM a obvykle postrádá kyselinu eikosapentaenovou (EPA) a kyselinu dokosahexaenovou (DHA) (Guerreiro et al. 2020). Ve studii s lipidovými extrakty byly mastné kyseliny uváděny jako nejviditelnější složka s velkým podílem kyseliny laurové, která je charakterizovaná důležitou antibakteriální a antivirovou aktivitou. Byly také nalezeny kyseliny myristicové, palmitové a stearové, stejně jako hexadekanové a oktadekanové nenasycené kyseliny. Naopak velmi nízké koncentrace byly nalezeny u rozvětvených kyselin a polynenasycených mastných kyselin (Giannetto et al. 2020). Na druhé straně by hmyz mohl také sloužit jako cenný zdroj kyseliny linolové a linolenové. Přičemž některé druhy suchozemského hmyzu jsou také zvláště bohaté na kyselinu arachidonovou, zatímco některé vodní druhy jsou zvláště bohaté na kyselinu eikosapentaenovou (Rumbos et al. 2019).

Polynenasycené mastné kyseliny (% celkových mastných kyselin)	<i>Alphitobius diaperinus</i>	<i>Tenebrio molitor</i>	<i>Hermetia illuscens</i>	<i>Musca domestica</i>	<i>Acheta domesticus</i>
Kys. linolová	16.8–36.4	15.4–31.0	3.2–24.3	2.8–17.8	29.9–41.4
Kys. linolenová	0.40–1.24	0.11–1.48	0.2–2.1	0.3–2.1	1.11–1.74
Kys. arachidonová	≤0.40	≤0.10	0–2.1	<0.1	0.01–0.09
Kys. eikosapentaénová	0	≤0.21	0–1.7	<0.1	0.46–0.75
Kys. dokosahexaénová	0	0	0–1.6	0	0
Nasycené celkem	27.6–40.6	23.5–29.7	50.9–80.3	38.6	31.3–34.4
Mononenasycené celkem	21.3–44.9	38.4–52.5	12.2–22.2	57.5	30.0–34.0
Polynenasycené celkem	18.4–40.8	22.5–31.8	6.8–28.8	3.9.	31.3–36.5

Tabulka 3 Obsah tuku *A.diaperinus* ve srovnání s vybranými druhy hmyzu (Zdroj: Rumbos et al. 2019)

3.4.2 Bílkoviny

Proteiny jsou organické sloučeniny sestávající se z aminokyselin. Jsou to důležité prvky výživy, přispívají také k fyzickým a smyslovým vlastnostem potravy. Výživná hodnota závisí na několika faktorech: obsahu bílkovin, který se u všech potravin velmi liší; kvalitě bílkovin,

kteřá závisí na druhu přítomných aminokyselin (esenciálních nebo neesenciálních) a zda kvalita odpovídá lidským potřebám; stravitelnosti bílkovin, která se týká stravitelnosti aminokyselin přítomných v potravine (Huis et al. 2013).

Analýzy ukázaly, že u vajících, larev, kukel a dospělých jedinců je obsah proteinu obvykle 15 – 81 % sušiny (Mlcek et al. 2014). Mnoho druhů jedlého hmyzu obsahuje velké množství bílkovin, které je často vyšší než u sóji a je podobné jako u drůbeže a ryb (Bosch et al. 2014). Podle výzkumu publikovaného Manditsera et al. (2019b), přispěje konzumace 50 g brouků *Eulepida mashona* a cvrčků *Henicus whellani* až k 30 % doporučené denní dávky bílkoviny. Současně s touto studií byla dokončena další, která uvádí, že domácí způsoby vaření mohou ovlivnit stravitelnost bílkovin. Autoři zjistili, že maximální pokles stravitelnosti proteinů byl kolem 25 %. Takže pražení by mělo být upřednostněno před vařením. V každém případě se doporučuje krátká doba varu (Manditsera et al. 2019b).

3.4.2.1 Obsah aminokyselin

Aminokyseliny jsou stavební kameny potřebné pro biosyntézu všech proteinů prostřednictvím lidského metabolismu, k zajištění správného růstu, vývoje a údržby. Esenciální aminokyseliny jsou nezbytné, protože je tělo nemůže syntetizovat, a tak je musí získat potravou. Pro člověka je osm esenciálních aminokyselin: fenylalanin, valin, threonin, tryptofan, isoleucin, methionin, leucin a lysin (Huis et al. 2013). Cereální bílkoviny, které jsou klíčovým zdrojem ve stravě po celém světě, mají nízký obsah lysinu a v některých případech postrádají aminokyseliny tryptofan (např. kukuřice) a threonin. U některých druhů hmyzu jsou tyto aminokyseliny velmi dobře zastoupeny. Například několik housenek čeledi *Saturniidae* a vodní hmyz má obsah lysinu vyšší než 100 mg aminokyseliny na 100 g proteinu (Fontaneto et al. 2011). Produkty obsahující larvy bráněnek, mouchy domácí a potemníka moučného, stejně jako kukly bource morušového, mohou sloužit všem jako bohatý zdroj methioninu (1,4–3,5 % proteinu) (Rumbos et al. 2019). Potemník stájový obsahuje velké množství všech esenciálních aminokyselin (EAA), včetně argininu, histidinu, isoleucinu, methioninu, threoninu a valinu (Bosch et al. 2014). Má i vysoké hladiny všech neesenciálních aminokyselin, které v mnoha případech překračují příslušné hladiny aminokyselin jiných druhů hmyzu (Tabulka 4) (Rumbos et al. 2019).

	<i>A. diaperinus</i>	<i>T. molitor</i>	<i>H. illucen</i>	<i>M. domestica</i>	<i>A. domesticus</i>
Přibližné složení					
Sušina (% as fed)	30.0–35.5	27.3–57.6	90.0–92.5	88.1–96.1	22.9–33.2
Surový protein (% Suši	58.0–65.0	45.1–67.6	41.1–47.6	38.9–79.9	55.0–73.6
Surový tuk (% Sušiny)	13.4–29.0	14.8–43.1	11.8–36.1	1.6–25.7	3.6–13.4
Popelovina (% Sušiny)	3.6.	1.9–4.5	14.6–28.4	1.1–24.0	3.6–13.4
Hrubá energie (Mj kg ⁻¹	n.a.	16.0–27.3	22.1.	20.1–25.4	17.5–22.4
Aminokyseliny (g kg ⁻¹ Sušiny)					
Arginin	3.1.	2.4–2.8	1.8–2.6	2.6–3.6	2.7–4.8
Histidin	2.0–3.2	1.5–2.7	0.8–1.6	1.2–2.1	0.9–2.4
Leucin	3.8–4.3	3.8–5.2	2.7–4.1	2.9–3.5	4.2–6.6
Lysin	3.5–4.2	2.7–2.9	2.8–3.4	2.5–4.4	2.4–4.1
Isoleucin	2.5–3.0	2.2–2.5	1.8–2.5	1.4–2.2	1.9–3.0
Phenylalanin	2.5–7.0	1.7–5.2	1.8–2.0	2.0–3.6	1.2–6.8
Methionin	0.8–1.5	0.6–1.4	0.7–1.0	0.7–2.3	0.5–1.8
Threonin	2.3–2.6	2.0–2.1	1.6–2.2	1.8–2.4	1.6–2.6
Tryptophan	0.7	0.4–0.6	n.a.	0.8–3.2	0.2–0.7
Vali	3.4–3.8	2.9–3.3	2.8–3.4	2.8–2.9	2.2–4.0
Alanin	3.8.	3.7–4.0	2.4–3.0	3.0–4.8	3.9–6.0
Kys. Asparagová	4.8.	4.0–4.2	3.7–4.1	2.2–5.0	3.1–5.6
Glycin	2.7.	2.6–2.7	1.7–2.3	2.3–3.3	2.3–3.8
Glutamin	7.1.	5.5–5.7	3.8–4.4	3.8–7.3	4.6–9.1
Serin	2.3.	2.3–2.5	1.4–1.7	1.7–5.6	1.8–3.3
Prolin	3.2.	3.4.	2.4.	1.6–2.4	2.4–4.0

Tabulka 4 Obsah aminokyselin *A. diaperinus* ve srovnání s vybranými druhy hmyzu (Zdroj: Rumbos et al. 2019)

3.4.3 Sacharidy

Hmyz má nízký obsah sacharidů; je však bohatý na chitin (v rozmezí od 11,6 do 137,2 mg / kg sušiny), jehož nutriční účinky nejsou zcela známy (Guerreiro et al. 2020). Obsah chitinu se u hmyzu pohybuje přibližně okolo 5 – 20 % hmotnosti v sušině (Govorushko 2019). Chitin je dusíkatý polysacharid, sloužící jako strukturální složka kutikulárního exoskeletu členovců a peritrofitické matrice střev, která hraje klíčovou roli v růstu a vývoji (Huet et al. 2020). Chitin je druhým nejhojnějším přírodním biopolymerem po celulóze. Chemická struktura chitinu je podobná struktuře celulózy s monomery 2-acetamido-2-deoxy-P-d-glukózy (NAG) připojenými prostřednictvím p (1 - 4) vazeb (Shahidi et al. 1999). Je nerozpustný ve vodě a v kyselém prostředí se rozpouští málo. V lidském organismu je téměř nestravitelný, jelikož střevní mikroflóra neobsahuje potřebné trávicí enzymy. Částečná hydrolýza probíhá pouze lysozymem ve slinách a kyselinou chlorovodíkovou v žaludku. Vysoký obsah chitinu v potravě může snižovat její stravitelnost, avšak zároveň podporuje střevní peristaltiku, a tím zlepšuje celkovou funkčnost trávicí soustavy. Díky své dietetické funkci bývá chitin přezdívaný jako živočišná vláknina (Borkovcová 2015). Existují však výjimky v trávení chitinu, ve studii Paoletti et al. (2007) byly v několika lidských tkáních nalezeny chitinázy a jejich role byla spojena s obranou proti parazitárním infekcím a některým alergickým stavům. Protože byla tato chitinázová aktivita prokázána při kyselém pH, je v současnosti označována jako kyselá savčí chitináza (AMCase).

Deacetylací chitinu lze dále také získat biopolymer chitosan. Vzhledem k jeho bioaktivní povaze a kationtovému charakteru, se chitosan používá jako nutriční složka (potravinářské přídatné látky, funkční potraviny), antimikrobiální a antioxidační činidlo

(ochrana potravin), jako antimikrobiální ochrana pro ovoce a zeleninu, v anticholesterolemických dietních výrobcích a jako nutraceutika (Morin-Crini et al. 2019). Dále je známo, že polysacharidy obsažené v hmyzu mohou mít pozitivní vliv na lidský imunitní systém (Govorushko 2019).

3.4.4 Energetická hodnota

Energetická hodnota živočišných produktů je 165 – 705 kcal / 100 g, u zeleniny 308 – 352 kcal / 100 g, zatímco jedlý hmyz poskytuje 217 – 777 kcal / 100 g. Hmyz chovaný na organických odpadech poskytuje 288 – 575 kcal / 100 g (Mlcek et al. 2014). Ve studii Huis et al. (2013) se uvádí, že kalorický obsah 78 druhů hmyzu z Mexika, činil 293 - 762 kcal na 100 g sušiny.

3.4.5 Minerální látky

Hmyz lze obecně považovat za bohatý na obsah mikronutrientů (Tabulka 5). Například housenky motýlů (*Lepidoptera*) obsahují 35,5 mg železa na 100 g sušiny a někteří termity z Keni 27-29 mg železa na 100 g sušiny (Ba & Aw Wa Al 2006). Lze pozorovat, že s výjimkou larev *Musca domestica*, má hmyz nízký obsah poměr vápníku ku fosforu a nesplňuje požadované množství pro dospělého člověka. Na druhou stranu hmyz však může obsahovat více železa a vápníku než hovězí, vepřové a kuřecí maso (Rumpold & Schlüter 2013b). Dále jedlí členovci rovněž nesplňují požadavky pro denní příjem draslíku 4700 mg na den (Rumpold & Schlüter 2013b). Na druhé straně většina druhů hmyzu vykazuje velmi vysoké hladiny fosforu. Z 60 druhů hmyzu, 23 vyhovuje doporučeným dietám pro dospělé. Ze 77 druhů hmyzu analyzovaných na obsah hořčíku pouze 23 vykazovaly dostatečné množství hořčíku. Je pozoruhodné, že ploštice Hemiptera a některé druhy řádu Orthoptera (kobylinky, cvrčci, sarančata) jsou zvláště bohaté na hořčík. Hmyz má obecně nízký obsah sodíku. Pouze některé housenky mají vysoký obsah sodíku nad 100 g, ve dvou případech dokonce překračuje maximální denní příjem 1500 mg (Bukkens 1997). Obsah zinku je zvláště důležitý, protože tento minerál je v potravě občanů v rozvojových zemích často v nedostatečném množství. Nedávná studie Manditsera et al. (2019a) dospěla k závěru, že konzumace 50 g *Eulepida mashona* a *Henicus whellani* může v průměru přispívat k 30 % a 50 % doporučené denní dávky zinku. Jedlý hmyz navíc ve většině případů (brouci a termity) obsahují dostatečné množství manganu a mědi (Rumpold & Schlüter 2013b).

Dalším faktorem, kterým lze ovlivnit biologickou dostupnost mikroživin je způsob kulinářské úpravy. Nedávný výzkum zjistil, že při tepelné úpravě měli brouci *Eulepida mashona* vyšší biologickou dostupnost železa (30,7 %) než cvrčci *Henicus whellani* (8,11 %). Varem se snížila biologická dostupnost železa i zinku přibližně o 50 % u obou výše zmíněných druhů, přičemž u pražení tomu tak nebylo (Manditsera et al. 2019). Z pohledu obsahu minerálních látek tak lze učinit závěr, že ačkoli 100 g jedlého hmyzu obecně postrádá dostatečné množství vápníku a draslíku, jedlý hmyz má potenciál poskytnout specifické mikroživiny, jako je měď, železo, hořčík, mangan, fosfor, selen a zinek. Dále se předpokládá, že obsah mikroživin v jedlém hmyzu lze optimalizovat vhodnou technologií krmení. Jedlý hmyz může být navíc použit v speciálních dietách s nízkým obsahem sodíku (Raheem et al. 2019).

Minerální složení (mg/100 g sušiny)	Ca	K	Mg	P	Na	Fe	Zn	Mn
Brouci								
Potemník moučný (larvy)	47,18	761,54	221,54	697,44	125,38	5,51	11,41	0,92
Potemník moučný (dospělec)	63,64	936,64	166,94	763,09	174,1	6,01	12,73	1,1
Potemník brazilský	42,04	750,59	118,29	562,95	112,83	3,92	7,29	1,02
Dvoukřídlí								
Octomilka obecná	140		130	1100		45,42	14,7	1,61
Moucha domácí (larva)	200			1320	660	60,4	23,7	5,6
Blanokřídlí								
Včela medonosná	15,4		5,23	125,5		25,2		
Včelí plod	59,48	1159,48	90,95	771,55	55,17	5,56	6,9	0,26
Rovnokřídlí								
Cvrček domácí (dospělec)	132,14	1126,62	109,42	957,79	435,06	6,37	21,79	3,73
Cvrček domácí (nymfa)	120,09	1537,12	98,69	1100,44	589,52	9,26	29,69	3,89

Tabulka 5 Minerální složení vybraného jedlého hmyzu (Zdroj: Rumpold & Schlüter 2013b).

3.4.6 Vitamíny

Vitamíny jsou organické sloučeniny vyžadované organismem ve stopovém množství. Jsou rozděleny do dvou skupin v závislosti na jejich rozpustnosti ve vodě (C,B) nebo tucích (A,D,E,K,) (Kraus et al. 2019).

Studie zabývající se obsahem vitamínů u hmyzu nejsou příliš časté, přesto je známo, že jedlý hmyz obsahuje hlavně karoten a vitaminy B1, B2, B6, D, E a K (Mlcek et al. 2014). Thiamin známý také jako vitamin B1, je základní vitamin, který působí hlavně jako koenzymát pro metabolizaci uhlohydrátů na energii, se u hmyzu pohybuje od 0,1 mg do 4 mg na 100 g sušiny. Riboflavin známý také jako vitamin B2, se u hmyzu pohybuje od 0,11 do 8,9 mg na 100 mg. Pro srovnání, celozrnný chléb poskytuje 0,16 mg a 0,19 mg na 100 g B1 a B2. Vitamin B12 se vyskytuje pouze v potravinách živočišného původu a je dobře zastoupen v larvách *Tenebrio molitor* (0,47 µg na 100 g) a v domácích cvrčcích *Acheta domestica* (5,4 µg na 100 g v dospělých a 8,7 µg na 100 g v nymfách). Přesto má mnoho druhů velmi nízké úrovně vitamínu B12, a proto je zapotřebí více výzkumu k identifikaci jedlého hmyzu bohatého na vitaminy B. Ve studii Schmidt et al. (2019) byla zkoumána hladina vitamínu B12 u červů (*Tenebrio molitor* larvy), cvrčků (*Gryllus assimilis*), kobylky (*Locusta migratoria*) a švábů (*Shelfordella lateralis*). Nalezené hladiny vitamínu B12 byly 1,08 µg / 100 g pro červí moučku, 2,88 µg / 100 g pro cvrčky, 0,84 µg / 100 g pro kobylku a 13,2 µg / 100 g v sušině pro šváby, což představuje první ověřenou zprávu o obsahu vitamín B12 v jedlém hmyzu. Na druhou stranu je nutno podotknout, že pozorované interference jsou pravděpodobně způsobeny přítomností pseudovitamínu B12 a množství využitelného vitamínu tak nemusí naměřenému množství odpovídat. Retinol a β-karoten (vitamin A) byly detekovány u některých housenek, hodnoty se pohybovaly od 32 µg až 48 µg na 100 g a 6,8 µg až 8,2 µg na 100 g sušiny pro retinol a p-karoten. Hladiny těchto vitamínů byly u housenek menší než 20 µg na 100 g a méně než 100 µg na 100 g u červů potemníka moučného, brazilského a cvrčka domácího (Huis et al. 2013). Vitamin E se vyskytuje například u larev nosatcovitých, které obsahují 35 mg na 100 g

vit. E a 9 mg na 100 g a-tokoferolu, respektive P + y tokoferolu. Denní doporučený příjem je 15 mg. Obsah vitamínu E bource morušového (*Bombyx mori*) je také relativně vysoký, a to 9,65 mg na 100 g (Tong et al. 2011).

Hmyz z řádu Orthoptera (kobylinky, cvrčci, sarančata) a Coleoptera (brouci) je bohatý na kyselinu listovou. Nicméně, 100 g hmyzu nelze považovat za úplný zdroj vitamínu C a niacinu. Naproti tomu bylo stanoveno, že hmyzí čaj vyrobený z exkrementů hmyzu obsahoval až 15,04 mg vitamínu C na 100 g. Protože FAO doporučuje denní příjem 45 mg vitamínu C pro dospělé, denní spotřeba 300 ml tohoto hmyzího čaje pokrývá doporučené denní množství vitamínu C ve výživě dospělých (Rumpold & Schlüter 2013b). Stručně řečeno, jedlý hmyz může být bohatý na vitamíny, ale druhy musí být specificky vybrány pro poskytnutí požadovaných vitamínů. Dále bylo potvrzeno, že obsah vitamínů v jedlém hmyzu lze regulovat pomocí krmiva (Rumpold & Schlüter 2013b).

3.5 Rizika konzumace hmyzu

3.5.1 Alergie

Mezi problémy, které snižují potravinový potenciál jedlých členovců včetně hmyzu, jsou rizika jejich alergenicity, která do budoucna budou muset být hodnocena. U členovců je prozatím registrováno 239 jednotlivých alergenů (Jantzen da Silva Lucas et al. 2020). Jsou to převážně všudypřítomné alergické proteiny, které lze jednoduše klasifikovat jako svalové proteiny (tropomyosin, myosin, aktin, troponin C), buněčné proteiny (tubulin), cirkulující proteiny (např. hemocyanin, defensin) a enzymy (arginin kináza, triosefosfát izomeráza, a-amyláza, trypsin, fosfolipáza A, hyaluronidáza) (Schlüter et al. 2017).

3.5.2 Viry

Mnoho entomopatogenních virů může způsobit onemocnění, nebo vést k úmrtí až kolapsu kolonií hmyzu. Většina těchto virů není přenosná na lidi, nebo jiné obratlovce, jako jsou hospodářská zvířata a ptáci. Je to kvůli jejich druhové specifičnosti, i když jsou taxonomicky příbuzní virům obratlovců. Přesto mohou fungovat jako pasivní nebo mechanické nosiče virů lidských a hospodářských zvířat (Ferri et al. 2019).

3.5.3 Bakterie

Hmyz v přírodě nebo chovaný na farmách obsahuje obrovské množství mikroorganismů, od symbiotických přes reciproční až k patogenním. Někteří z nich jsou životně důležití jako symbionti pro hmyz, zatímco ostatní jsou entomopatogeny (patogenní bakterie ovlivňující pouze hmyz), kteří se někdy používají při biologické kontrole hmyzích škůdců (např. *Bacillus thuringiensis*).

Jakmile hmyz zemře, je součástí zahrávající mikrobioty. Pro ostatní druhy, může být také patogenní, někdy dokonce i zoonotický (přenosné na člověka). Existují dva typy mikroorganismů považované za potenciální rizika: vnitřní mikrobiota uvnitř těla hmyzu (zažívací trakt a exoskeleton) a vnější mikrobiota přítomná v substrátu, krmivu a podestýlce (Huis et al. 2013).

3.5.4 Paraziti

Paraziti, kteří využívají hmyz jako mezihostitele nebo dočasné hostitele, mohou představovat riziko pro člověka, zejména když je hmyz konzumován syrový nebo nedostatečně kulinářsky upravený. Pokud jde o prvoky *Entamoeba histolytica* a *Giardia lamblia*, dva potenciální potravinové a vodní patogeny, byly izolovány ve švábech a v některých druzích much. Dvě další skupiny švábů, tj. švábi američtí (*Periplaneta americana*) a rusi domácí (*B. germanica*), mohou také být hostiteli *Sarcocystis spp.* a *Toxoplasma spp.* Stejně jako u virů může hmyz sloužit jako vektor pro závažné parazitózy, např. Chagasova choroba (*Trypanosoma cruzi*) (Ferri et al. 2019).

4 Metodika

4.1 Materiál

Pro pokus byly dne 9. 8. 2019 zakoupeny přibližně čtyři litry larev jedlého hmyzu potměníka stájového (*Alphitobius diaperinus*) od firmy PAPEK s.r.o. (Popovice, Česká republika).

Larvy potměníka byly rozděleny po jednom litru do čtyř boxů o rozměrech 39 x 28 x 14 cm (Obrázek 5). Na dně boxů byla nasypána asi 3 - 4 cm vrstva živného substrátu složeného ze šrotu (Tabulka 6) a otrub v poměru 4 : 1. Dále byl hmyz denně přikrmován plátky jablek, které sloužily i jako zdroj vody (přibližně čtyři plátky o tloušťce 0,5 mm na jednu bednu). Boxy neměly víka, ale substrát s potměníky byl zakryt jedním platem od vajec, který se rozdělil napůl. Takto připravené boxy, byly uloženy v regálech v místnosti s teplotou 26 ± 1 °C.

Za 20 - 25 dní se začaly objevovat kukly, které byly přesouvány z chovného do 10 litrového boxu pro kukly (aby nedošlo ke kanibalismu larev). Kukly byly překryty kusem plata od vajec, na kterých se po 6 až 14 dnech se začali objevovat dospělí jedinci. Ti byli opět kvůli prevenci kanibalismu přemístěni do chovného boxu (39 x 28 x 14 cm) se stejným substrátem a plátky jablek. Na konec byla dospělci poskytnuta plata od vajec rozdělená na polovinu. Box pro dospělé jedince měl vyříznuté dno zalepené jemným pletivem proti hmyzu, přes kterou mohli dospělci klást vajíčka do substrátu, uloženého v identickém boxu pod chovným boxem (Obrázek 6). V tomto spodním boxu bylo takové množství substrátu, aby těsně naléhal na síť v boxu s dospělci. Z nakladených vajíček se za další 4 - 7 dní začaly líhnout larvy. Dospělí jedinci takto kladli vajíčka do pěti boxů v intervalech 18 - 23.10, 24 - 29.10, 30.10 - 6.11, 7 -13.11 a 8 - 14.11.

Následně byly larvy krmeny směsí šrotu a pšeničných otrub až do zakuklení. Pro analýzy byly entomologickou pinzetou ze substrátu vybírány kukly (300 g), larvy (300 g) byly přesety pomocí jemného síta z boxu před začátkem kuklení ostatních larev, tak aby byla velká pravděpodobnost, že se jedná o poslední (= největší) stádium. Následně byly larvy i kukly po dobu 24 h vyláčňeny a usmrceny v mrazicím boxu při teplotě -81°C.

Suroviny	%
Pšenice Van.	65,910
Sójový extrahovaný šrot 47,5 ČZU	26,000
Olej řepkový	4,100
L-lysin. Hcl 98	0,130
DL-methionin 99	0,080
Vápenec	1,400
Sůl	0,270
Monocalciumfosfát	1,040
Uhličitan sodný	0,070
BR výkrm	1,000

Tabulka 6 Složení krmné směsi s označením BK (Zdroj: FAPPZ)



Obrázek 5 Box pro larvy (Zdroj: autor práce)



Obrázek 6 Box se perforovaným dnem určený ke kladení (Zdroj: autor práce)

4.2 Zjišťování hmotnosti larev a kukel

Larvy a kukly byly váženy na analytických vahách. Od každého stádia bylo zváženo 10 kusů. Z takto zaznamenaných údajů byl vypočítán aritmetický průměr.

4.3 Lyofilizace

Nejdříve byly vyndány zmrzlé a vylačnění kukly a larvy z mrazáku, kde byly zmražené na $-81\text{ }^{\circ}\text{C}$. Následně byly vzorky rozděleny do kyvet (Obrázky 7 a 8), které byly nejdříve zváženy na analytických vahách prázdné a poté naplněné vzorky. Poté se vzorky daly lyofilizovat do přístroje Trigon plus s.r.o. (Čestlice, Česká republika) (Obrázek 9) po dobu 72 h a při teplotě $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po této době byly kyvety opět zváženy.

Lyofilizace je proces sušení mrazem, který probíhá ve vakuu. Výhodou lyofilizace je, že oproti jinému typu sušení tolik nepoškozuje různé látky obsažené ve vzorcích. Tento proces však nezabaví vzorky veškeré vody a sušina proto musí být stanovena samostatně.



Obrázky 8,9 Kyvety naplněné larvami a kuklami (Zdroj: autor práce)

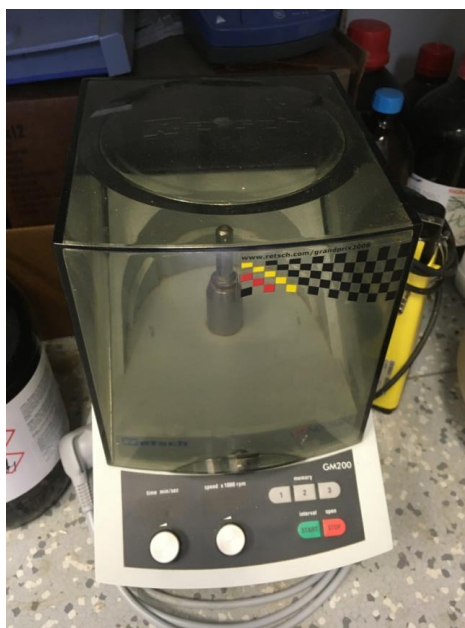


Obrázek 9 Lyofilizátor Trigon plus (Zdroj: autor práce)

4.4 Sušina

Před stanovením sušiny byly lyofilizované vzorky rozemlety mlýnkem Grindomix 200 (Haan, Německo) (Obrázek 10). Následně byly vzorky naváženy na analytických vahách do předem vysušených a zvážených keramických kelímků. Hmotnost navážky činila 3 g. Sušení vzorku probíhalo v sušárně Memmert (Schwabach, Německo) (Obrázek 11). Vzorky byly sušeny při teplotě 103 ± 2 °C po dobu nezbytně nutnou k dosažení požadované vlhkosti (minimálně 12 hodin). Kelímky byly přesunuty do exsikátoru a následně zváženy.

Sušina se stanovuje z rozdílu v hmotnosti vzorku před a po usušení. Úbytek hmotnosti je způsoben ztrátou vody, zbytek po sušení je sušina.



Obrázek 10 Mlýnek na mletí hmyzu (Zdroj: autor práce)



Obrázek 11 Sušárna Memmert (Zdroj: autor práce)

4.5 Stanovení popelovin

Keramické kelímky byly nejprve vyžehány v peci Nabertherm (Lilienthal, Německo) (Obrázek 12) a vychlazeny v exsikátoru a následně zváženy (prázdné). Do těchto kelímků byly poté na analytických vahách naváženy vzorky ve stejném množství jako pro stanovení sušiny a následně byly tyto kelímky uloženy do pece, kde probíhalo spalování při teplotě 550 °C až do bledého, provzdušněného popela neobsahujícího uhlíky (6 – 12 hodin). Po spalovacím procesu se vzorky, opět daly vychladnout do exsikátoru a následně byly převáženy. Popelovina byla stanovena jako rozdíl hmotnosti spáleného vzorku a prázdného kelímku.



Obrázek 12 Muflovací pec Nabertherm (Zdroj: autor práce)

4.6 Stanovení tuku

Skleněné kelímky byly vloženy do sušárny při teplotě 103 °C, přibližně na 2 – 3 hodiny. Po této době byly kelímky uloženy do exsikátoru a po vychladnutí následně zváženy (prázdné). Mezitím byly připraveny papírové patrony, které byly naplněny lyofilizovanými a rozemletými vzorky o hmotnosti 4 g. Na takto připravené patrony byly nasazeny kovové kroužky a vnitřek patron byl ucpán vatou. Kelímky a patrony byly označeny identickými kódy.

Tuky byly stanoveny pomocí soxhletova extraktoru SER 148 Solvent Extractor Velp (Usmate Velate, Itálie) (Obrázek 13). Připravené skleněné kelímky s patronami byly naplněny 70 ml petroletheru. Následně byly patrony a kelímky vloženy do přístroje. Po nahřátí přístroje na 90 °C byly patrony 20 minut ponořeny ve vroucím petroletheru. Následně byly patrony vytaženy z petroletheru a 45 minut byly promývány cirkulujícím petroletherem. V poslední fázi probíhalo po 45 minut odpaření veškerého petroletheru. Na konci procesu skleněný kelímek obsahoval pouze vyextrahovaný tuk. Tyto baňky (bez patron) byly uloženy do sušárny alespoň na dvě hodiny. Poté byly přemístěny do exsikátoru a po vychladnutí zváženy.

Tuk byl stanoven jako rozdíl mezi hmotností baňky s tukem a bez tuku.



Obrázek 13 Extraktor tuku (Zdroj: autor práce)

4.7 Stanovení bílkovin dle Kjeldahla

Příprava hydroxidu

Do velkého hrnce bylo pomocí odměrného válce naměřeno 4500 ml destilované vody. Hrnec byl uložen do digestoře a postupně byly přisypávány 3 kg hydroxidu sodného, který byl neustále promícháván, aby nezatuhnul.

Příprava indikátoru

Do 2 litrové baňky bylo odměřeno 1000 ml destilované vody. Na předvážkách bylo naváženo 20 g kyseliny borité, toto množství bylo vysypáno do baňky a rozmícháno. Pomocí odměrného válce bylo přidáno 20 ml bromkreselové zeleně a 14 ml methylyčerveně. Na konec byla baňka doplněna po rysku destilovanou vodou a vše bylo důkladně promícháno.

Příprava vzorků (mineralizace)

Na analytických vahách bylo naváženo 0,2 g lyofilizovaného rozemletého vzorku. Vzorky byly následně přesypány do skleněných tub. Do těchto tub byla přidána jedna měďnatá tableta jako katalyzátor, dále bylo přidáno 10 ml 96 % kyseliny sírové, lehce promícháno. V poslední fázi bylo do každé tuby přilito 5 ml peroxidu vodíku. Tuby byly zakryty odsávací aparaturou, která pomocí podtlaku odsávala vznikající páry. Když tuby přestaly kouřit, opět bylo přilito 5 ml peroxidu vodíku a spolu s víkem se vše dalo spalovat na 45 minut do topného hnízda o teplotě 420 °C.

Stanovení bílkovin pomocí Kjeltec™ 2400

Bílkoviny se stanovovaly pomocí přístroje Kjeltec™ 2400 (Foss Praha, Česká republika) (Obrázek 17). Po promytí přístroje a naměření slepého vzorku byly do přístroje zadány navážky jednotlivých vzorků. Do tub se vzorky bylo ještě před samotným stanovením dodáno 10 ml destilované vody, poté byly tuby vloženy do přístroje, který stanovil obsah bílkoviny ve vzorku % na základě přepočítávacího faktoru 6,25 a automatické titrace.



Obrázek 14 Kjeltec™ 2400 (Zdroj: autor práce)

4.8 Stanovení chitinu

Do erlenmayerových baněk bez zábrusu bylo naváženo 1 g lyofilizovaného a rozemletého vzorku. Celkem bylo připraveno 6 stanovení od každého vzorku. Poté byla do každé baňky přidána 1 molární kyselina chlorovodíková o objemu 80 ml. Každá baňka byla přikryta skleněným kloboučkem. Takto připravené vzorky byly vařeny na topném hnízdě 30 minut.

K promíchávání vzorku byly předem označené frity, vloženy do fiber analyzátoru Fibertec (VELP Scientifica Srl, Usmate Valette, Itálie) (Obrázek 15). Po nasazení frit do přístroje byl obsah baněk přelit do skleněných válců, které jsou součástí fibertecu. Baňky byly 1 – 2 krát vypláchnuty destilovanou vodou. Následně byly všechny vzorky promývány 2 – 3 krát horkou destilovanou vodou celkem o objemu minimálně 500 ml. Po ukončení procesu promývání, byly vzorky z frit převedeny za pomoci malého množství destilované vody do příslušných baněk a hydrolyzovány.

Do každé baňky bylo odměřeno 80 ml jedno molárního hydroxidu sodného. Baňky byly opět přikryty skleněnými kloboučky a na topném hnízdě byly ponechány 24 h při teplotě 80 °C. Následující den po vychladnutí baněk pokračovalo promývání stejným principem jako poprvé. Polovina vzorků byla zpracována gravimetrické stanovení chitinu, druhá polovina na stanovení dusíků, potažmo % proteinu v chitinu.



Obrázek 15 Fibertec analyzátor (Zdroj: autor práce)

Gravimetrické stanovení chitinu

Vzorky ve fritách byly sušeny v sušárně při 103 °C po dobu minimálně 12 hodin. Následující den byly uloženy k vychladnutí do exsikátoru a zváženy. Poté byly spáleny a znovu zváženy. Následně se provedl výpočet:

$$\% \text{ chitinu} = \frac{(\text{hmotnost vysušené frity} - \text{hmotnost spálené frity})}{\text{navážka}} \times 100$$

4.9 Stanovení dusíku v chitinu

Vzorky byly opatrně převedeny z frit do mineralizačních tub za pomoci malého množství destilované vody. Následně byly vzorky zality 10 ml 96 % kyseliny sírové a ponechány do doby, než bylo možné je dále analyzovat. Poté byla přidána do každé tuby měďnatá tableta a 10 ml peroxidu vodíku a vzorky byly spáleny. Následoval totožný postup jako při stanovení bílkovin.

4.10 Bezdušikáté látky výtažkové BNLV

BNLV byly vypočítány pomocí vzorce:

$$BNLV = 100 - (\text{Dusíkaté látky} + \text{Tuky} + \text{Sušina} + \text{Popeloviny})$$

4.11 Statistické vyhodnocení

Veškeré data byla vyhodnocena v softwaru Statistika 12 (StatStof, Praha, Česká republika) za použití jednofaktorové annovy. Následně byly výsledky podrobeny Scheffého post – hoc testu. Hladina významnosti byla 0,05.

5 Výsledky

Stádium	Larva \bar{x}	Kukla \bar{x}
Hmotnost mg/živ.hm.	28,1 ± 5 ^a	23,8 ± 4 ^b
Sušina g/živ.hm.	32,6 ± 0,02 ^a	36,7 ± 1 ^b
Popel. g/100 suš.	0,96 ± 0.002 ^a	0,97 ± 0.005 ^a
Chitin g/100 suš.	5,1 ± 0.08	*2,1 ± 1
BNLV g/100 suš.	9,7 ± 1 ^a	14,5 ± 2,2 ^b
Tuky g/100 suš.	22,6 ± 0.08 ^a	19,1 ± 0.9 ^b
NL celkové g/100 suš.	61,6 ± 1 ^a	63,4 ± 0.6 ^a
NL stravitelné g/100 suš.	60,6 ± 1,3	62,4 ± 0.6
NL v chitinu g/100 suš.	1,63 ± 0.6	*1,07 ± 0.1

Tabulka 7 Celkový přehled nutričních hodnot potemníka stájového (Zdroj: autor práce)

* Z důvodu degradace vzorku nemusí být výsledky správně změřeny.

Statisticky významně odlišné hodnoty jsou označeny různými písmeny.

5.1 Sušina a popeloviny

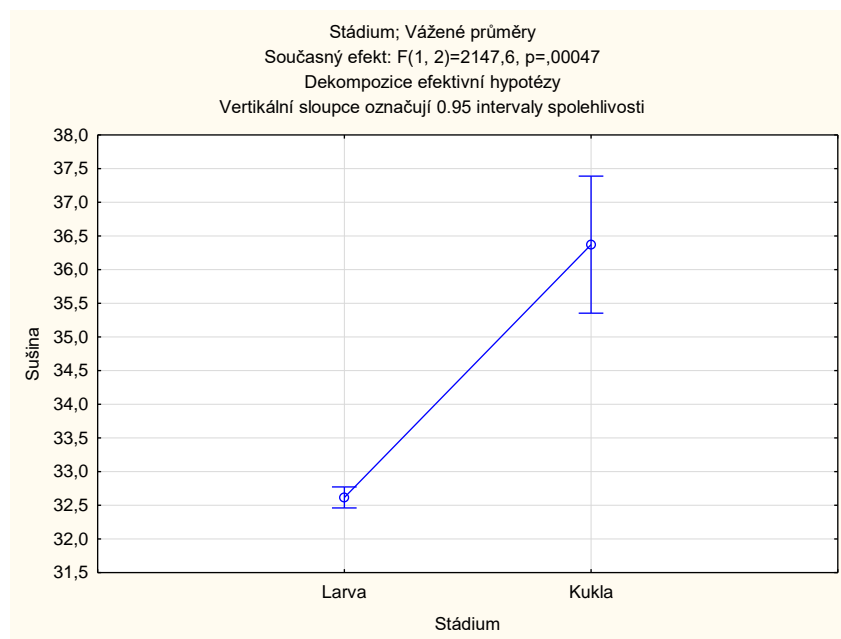
Průměrný obsah sušiny v larvách činil 32,6 g na 100 g živé hmotnosti. U kukel to bylo 36,3 g na 100 g živ. hm. Podle hodnot Scheffého testu existuje statisticky významný rozdíl ($p = 0,0005$) v obsahu sušiny mezi larvami a kuklami.

Průměrný obsah popeloviny u larev byl 0,96 g na 100 g živ. hm., u kukel 0,97 g na 100 g živ. hm. Dle hodnot stanovených pomocí stejného testu jako u sušiny lze konstatovat že, neexistuje statisticky významný rozdíl v obsahu popelovin mezi larvami a kuklami ($p = 0,2021$).

Výsledky Scheffého testů jsou v (Tabulkách 8,9 a Grafech 1,2).

Č. buňky	Scheffeho test; proměnná Sušina (Počty) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,00657, sv = 2,0000		
	Stádium	{1}	{2}
1	Larva	32,617	36,372
2	Kukla	0,000465	0,000465

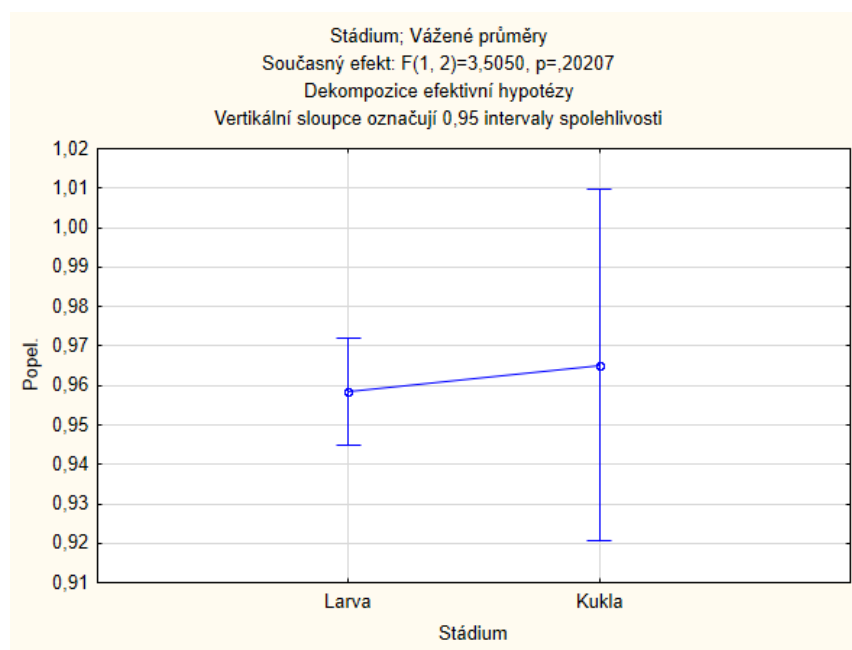
Tabulka 8 Scheffého test, sušina



Graf 1 Scheffého test, sušina

Scheffeho test; proměnná Popel. (Potemníci Dan - all16.3.) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,00001, sv = 2,0000			
Č. buňky	Stádium	{1}	{2}
1	Larva	,95831	0,202068
2	Kukla	0,202068	,96517

Tabulka 9 Scheffého test, popelovin



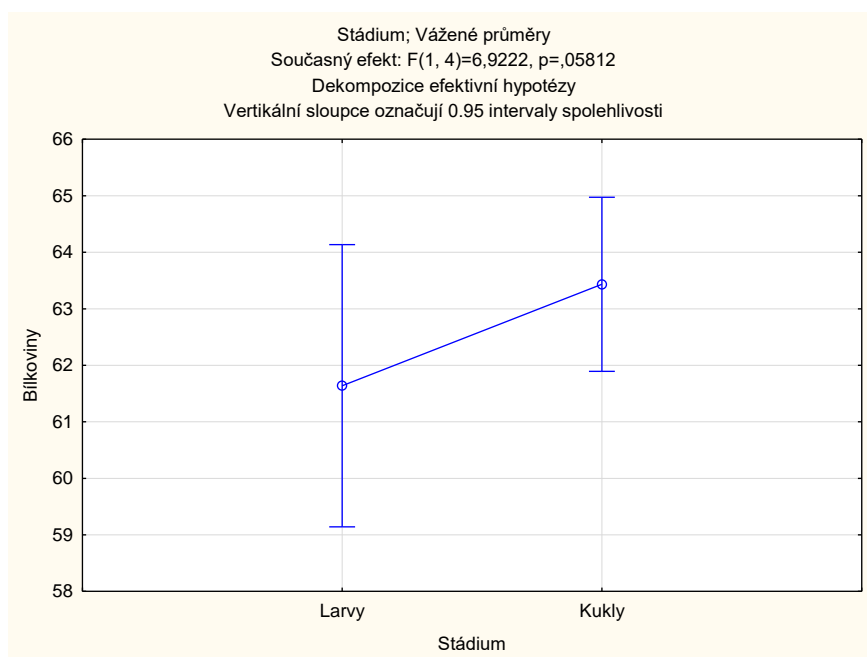
Graf 2 Scheffého post-hoc test, popeloviny

5.2 Dusíkaté látky

V larvách bylo v průměru naměřeno 61,6 g dusíkatých látek na 100 g sušiny. Kukly byly bohatší na dusíkaté látky, jejich hodnota v průměru činila 63,4 g dusíkatých látek na 100 g sušiny. Vše bylo počítáno s faktorem 6,25. Dle hodnot Scheffého post-hoc testu (viz. Tabulka 10 a Graf 3) lze konstatovat, že neexistuje statisticky významný rozdíl ($p = 0,0581$) v množství bílkovin mezi larvami a kuklami.

Scheffeho test; proměnná Bílkoviny (Počty) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,69749, sv = 4,0000			
Č. buňky	Stádium	{1}	{2}
1	Larvy		0,058125
2	Kukly	0,058125	

Tabulka 10 Výsledek Scheffého pos-hoc testu pro dusíkaté látky



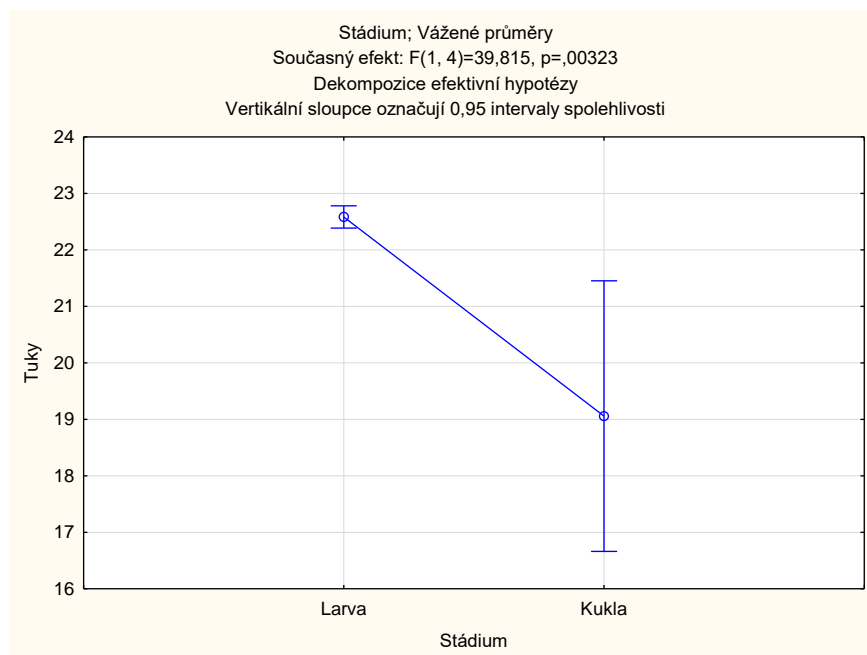
Graf 2 Výsledek Scheffého post-hoc testu pro dusíkaté látky

5.3 Tuky

V larvách bylo v průměru naměřeno 22,6 g tuku na 100 g sušiny. V kuklách bylo naměřeno méně tuku než u kukel, a to v průměru 19,1 g na 100 g sušiny. Na základě Scheffého post-hoc testu (viz. Tabulka 11 a Graf 5) lze konstatovat, že existuje statisticky významný rozdíl ($p = 0,0032$) v obsahu tuku mezi larvami a kuklami.

Scheffeho test; proměnná Tuky (Počty) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,46837, sv = 4,0000			
Č. buňky	Stádium	{1}	{2}
		22,584	19,058
1	Larva		0,003226
2	Kukla	0,003226	

Tabulka 11 Scheffého post-hoc test, tuky



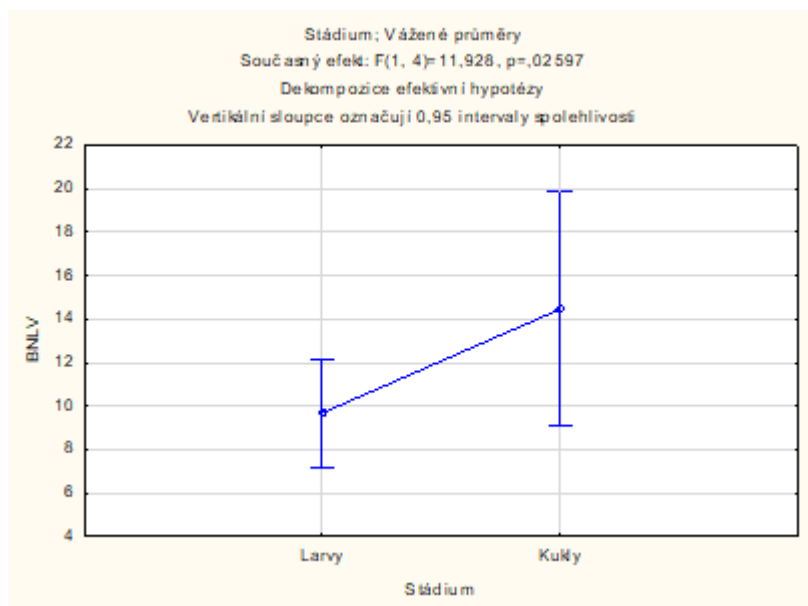
Graf 5 Sheffého post-hoc test, tuky

5.4 Bezdušikáté látky výtažkové BNLV

Larvy v průměru obsahovaly 9,7 g BNLV na 100 g sušiny. Kukly obsahovaly více BNLV a to 14,5 g na 100 g sušiny. Dle hodnot Scheffého post-hoc testu (viz. Tabulka 12 a Graf 6) lze konstatovat, že existuje statisticky významný rozdíl ($p = 0,0260$) v množství BNLV mezi larvami a kuklami.

Scheffeho test; proměnná BNLV (Počty) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 2,8823, sv = 4,0000			
Č. buňky	Stádium	{1}	{2}
		9,6790	14,466
1	Larvy		0,025967
2	Kukly	0,025967	

Tabulka 12 Scheffého post-hoc test, BNLV



Graf 6 Sheffého post-hoc test, BNLV

5.5 Chitin

Larvy v průměru obsahovaly 5,1 g chitinu na 100 g sušiny. Obsah chitinu u kukel byl menší a to *2,4 g na 100 g sušiny (viz. Tabulka 13).

Stádium	Chitin na 100 g sušina	Směrodatná odchylka
Larvy	5,1	0,0008
Kukly	*2,07	

Tabulka 13 Kukly a larvy chitin

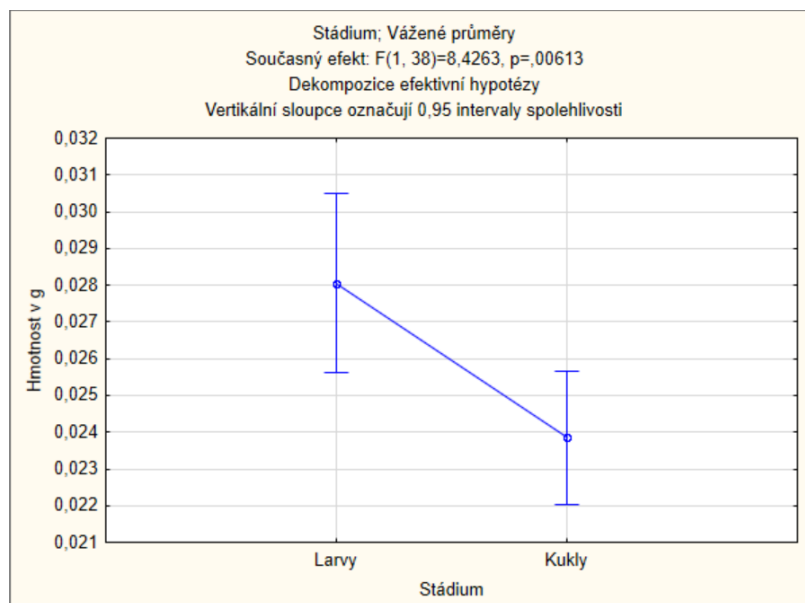
* Z důvodu degradace vzorků a nedostatku času na jejich opakované doměření (vzhledem k pandemii koronaviru) nebyly aritmetický průměr a směrodatné odchylky počítány.

5.6 Hmotnost larvy a kukly (*A. diaperinus*)

Larvy v průměru vážily 28,1 mg. Kukly byly v průměru lehčí, jejich hmotnost se pohybovala okolo 23,9 mg. Na základě Scheffého post-hoc testu (viz. Tabulka 13 a Graf 7) lze konstatovat, že existuje statisticky významný rozdíl ($p = 0,006$) mezi hmotnostmi larev a kukel.

Scheffeho test; proměnná Hmotnost v g (Celková tabulka)			
Pravděpodobnosti pro post-hoc testy			
Chyba: meziskup. PČ = ,00002, sv = 38,000			
Č. buňky	Stádium	{1}	{2}
1	Larvy	,02805	,02384
2	Kukly	0,006126	0,006126

Tabulka 13 Scheffého pot-hoc test pro hmotnost



Graf 7 Scheffého post-hoc test pro hmotnost

6 Diskuze

6.1 Sušina a popeloviny

Větší množství sušiny bylo v této práci naměřeno u kukel než u larev. Ve studii Rumbos et al. (2019) byly hodnoty sušiny velmi podobné a to od 30 do 35,5 g na 100 g živé hmotnosti. Stejné hodnoty naměřili ve studii Leni (2020) a to $33,6 \pm 0,3$ g na 100 sušiny. K podobným, ale někdy i nižším hodnotám dospěla studie Soetemans et al. (2020), kde se sušina pohybovala od 23,5 až 32,6 g na 100 g živé hmotnosti.

U příbuzného potemníka moučného se ve studii Rumbos et al. (2019) sušina pohybovala od 27,3 až 57,7 g na 100 g živé hmotnosti. Množství sušiny u larvy potemníka moučného se ve studii Hunt et al. (1996) pohybovala od 33,1 do 38,9 g na 100 g živé hmotnosti.

Více popelovin bylo naměřeno u kukel potemníka stájového než u larev. Ve studii Leni (2020) byl obsah popelovin výrazně vyšší než v této práci a to $4,24 \pm 0,03$ g na 100 g sušiny. K vyšším hodnotám popelovin došla i studie Rumbos et al. (2019) 3,6 g na 100 sušiny. K hodnotě 5,1 g popelovin na 100 sušiny u larvy potemníka stájového došla studie Despins & Axtell (1995).

Příbuzný potemník moučný obsahuje 1,9 – 4,5 g popelovin na 100 sušiny ve studii Rumbos et al. (2019). Obdobné hodnoty u larvy potemníka moučného uvádí studie Siemianowska et al. (2013) a to $3,69 \pm 0,5$ g popelovin.

6.2 Tuky

V této práci bylo zjištěno, že larvy obsahují signifikantně více tuku než kukly. Tento je dle York & Society (2016) souvisí s metabolismem kukel, kdy larva potemníka moučného obsahovala 17,4 % tuků a 5 denní kukla obsahovala pouze 13,3 %. Ve studii Adámková et al. (2016) byly naměřeny podobné hodnoty u larev potemníka stájového a to 29 ± 3 g tuku na 100 sušiny. Ke stejným hodnotám došla i studie Rumbos et al. (2019) kde se naměřené hodnoty pohybovaly od 13,4 až do 29,0 g tuku na 100 g sušiny. Pro srovnání potemník brazilský ve studii Rumpold & Schlüter (2013a) vykazoval vyšší hodnoty než potemník stájový v rozmezí 38 – 42 g tuku na 100 g sušiny. K podobným hodnotám došla i Adámková et al. (2016) a to 39 ± 4 g tuku na 100 g sušiny. Velmi zajímavé jsou hodnoty potemníka moučného, které ve studii Rumbos et al. (2019) byly vyšší a to od 14,8 – 43,1 g tuku na 100 sušiny, Adámková et al. (2016) uvádí 17 ± 1 g tuku v sušině. Přičemž ve studii Janssen et al. (2017) naměřili stejné hodnoty obsahu tuku jak u potemníka stájového i moučného a to 21 g tuku na 100 sušiny. Larvy brouků jsou nedospělé a nemají žádné pohlaví. Takže to může být způsobeno podmínkami chovu – hlavně krmivo a mikroklima. Tento jev je popsán u příbuzného potemníka moučného ve studii (Bjørge et al. 2018).

V porovnání se sušinou běžně dostupných zdrojů obsahuje vepřové maso 51 g tuku, hovězí maso 9 – 63 g tuku, vodní drůbež 40 – 65 g tuku, ryba 2 – 44 g tuku, mléko 30 g tuku, vejce 44 g tuku, pšeničná mouka 2,8 g tuku, ovoce 1 – 2,8 tuku, ořechy (vlašský, mandle) 57 – 66 g tuku a například luštěniny (sója, hrách, fazole) 1,6 – 22 g tuku (Velíšek 2014).

6.3 Dusíkaté látky

Co se týče množství dusíkatých látek (NL) kukly potměníka stájového obsahovaly 62,8 g NL na 100 g sušiny. U larev potměníka stájového bylo naměřeno menší množství dusíkatých látek a to 61,6 g NL na 100 sušiny. K podobným výsledkům došla i studie Rumbos et al. (2019), ve které se NL pohybovaly od 58,0 do 65,0 g NL na 100 g sušiny. Adámková et al. (2016) a Janssen et al. (2017) ve svých studiích uvádí také velmi podobné hodnoty a to 60 ± 5 a $63,8 \pm 0,3$ g NL na 100 sušiny. Při porovnání s potměníkem moučným, která má hodnoty NL ve studii Janssen et al. (2017) $58,8 \pm 0,2$ g NL na 100 g sušiny a ve studii Benzertiha et al. (2019) 47 g je potměník stájový z tohoto pohledu lepším zdrojem bílkovin. Adámková et al. (2016), ale došla k podobným hodnotám NL potměníka moučného jako u potměníka stájového a to 60 ± 5 NL na 100 sušiny. Nejméně bílkovin z potměníkovitých jedlých larev obsahuje potměník brazilský, který dle Benzertiha et al. (2019) a Adámkové et al. (2016) obsahoval hodnoty NL $49,3$ g a $39,0 \pm 1$ na 100 g sušiny.

Ve srovnání se sušinou běžně dostupných zdrojů obsahují obiloviny (pšenice, ječmen, kukuřice rýže atd.) 10 – 20 g NL, luštěniny (hrášek, lupina, gaur atd.) 180 – 450 g NL, olejnin (sója, palma, arašidy, len atd.) 170 – 540 g NL, ryby 710 – 790 g NL, kuře 860 g NL a krůta 860 g NL (Rumbos et al. 2019). Ve srovnání s rostlinnými zdroji bílkovin je na tom potměník stájový lépe. Pokud potměníka porovnáme s živočišnými bílkovinami je na tom srovnatelně nebo hůře.

6.4 BNLV

Larvy potměníka stájového obsahovaly 9,7 g BNLV na 100 g sušiny. U kukel bylo naměřeno větší množství BNLV a to 14,5 g na 100 g sušiny. K podobným hodnotám došla studie Rumbos et al. (2019), ve které se hodnota BNLV pohybovala okolo 13,7 g na 100 g sušiny. K vyšším hodnotám BNLV u larvy potměníka stájového došla studie Leni (2020) a to 17,7 g na 100 g sušiny.

Ve studii Ghosh et al. (2017) se stanovoval obsah BNLV u potměníka moučného. Ve srovnání s potměníkem stájovým byl obsah BNLV u larev nižší a to $1,94 \pm 1,08$ g na 100 sušiny. Naopak k hodnotám vyšším dospěla studie Jajić et al. (2019) a to 3,68 g BNLV na 100 g sušiny u larev. Rumpold & Schlüter (2013b) naměřili u larev potměníka moučného od 2,4 až 3,3 g BNLV na 100 g sušiny. Ve stejné studii byl měřen obsah BNLV i u kukel potměníka moučného, který byl 3,2 g.

Dle Kulmy et al. (2019) se obsah BNLV u cvrčka domácího pohybuje od $3,6 \pm 0,2$ do $5,6 \pm 0,3$ g na 100 g sušiny. Menší obsah BNLV u cvrčka domácího naměřili ve studii Rumpold & Schlüter (2013a) kde obsah činil 2,60 BNLV na 100 sušiny.

6.5 Chitin

Obsah chitinu u larev potměníka stájového byl vyšší než u kukel (Viz. Tabulka 13) a to 5,1 g chitinu na 100 g sušiny. U kukel potměníka stájového ovšem došlo k degradaci vzorku, a proto nebyly hodnoty průměru a směrodatné odchylky počítány. Došlo k odpaření vzorku při analýze a vzhledem ke způsobené pandemii koronaviru a časové náročnosti pokusu nebyl čas na jeho zopakování.

Soetemans et al. (2020) stanovili podobný obsah chitinu u larvy potemníka stájového a to 4 – 6 g chitinu na 100 g sušiny. K podobným hodnotám došla i studie Leni (2020) kde obsah chitinu u larvy činil $4,6 \pm 0,1$ g na 100 g sušiny. Obsah chitinu ve studii Song et al. (2018) u příbuzného potemníka moučného činil u larev 4,9 g na 100 g sušiny. O něco více chitinu u larvy potemníka moučného bylo naměřeno ve studii Finke (2007) a to 5,6 g chitinu na 100 sušiny. Obsah chitinu kukly potemníka moučného naměřený Adámkovou et al. (2017) byl $12 \pm 0,2$ g chitinu na 100 g sušiny.

Obsah chitinu u cvrčka domácího se dle Kulmy et al. (2019) pohyboval od 5,4 do 6,2 g na 100 g sušiny. Podobný obsah uvádí Finke (2007) alto 6,8 g chitinu na 100 g sušiny.

6.6 Hmotnost larvy a kukly (*A. diaperinus*)

V této práci bylo zjištěno, že hmotnost larvy byla vyšší než hmotnost kukly. Ve studii Mozaffar. et al. (2004) larvy potemníka stájového vážily stejně a to 0,03 g a kukly 0,02 g. Kukly potemníka stájového vážily stejně i ve studii Rueda & Axtell (1996) a to 0,02 g. Ve studii Szczepanik et al. (2016) vážila larva i kukla potemníka stájového 0,02 g.

Hmotnost potemníka stájového, stejně jako dalšího hmyzu, závisí na teplotě v chovu. Ramos-Elorduy et al. (2009) pozorovali vliv různého druhu potravy na hmotnost larvy potemníka moučného a zjistili, že hmotnost se může pohybovat v rozmezí od 0,06 až 0,7 g. V případě této práce, byly ovšem larvy i kukly odchovány při stejné teplotě, tudíž tento faktor výsledky neovlivnil.

7 Závěr

V této diplomové práci bylo cílem definovat rozdíl v nutriční hodnotě mezi larvami a kuklami potemníka stájového *Alphitobius diaperinus*. Výsledkem byl tak příspěvek vedoucí ke zlepšení technologie produkčního chovu tohoto druhu hmyzu, a to ve smyslu optimalizace sklizně. Hypotéza byla, že larvy potemníka stájového se nutričně liší od kukel stejného druhu.

Larvy i kukly *A. diaperinus* použité k pokusu byly chovány v identických podmínkách. Podmínky pro chov jako byla teplota a vlhkost, byly také pro larvy i kukly stejné. Po celou dobu experimentu byly larvy i dospělci krmeny stejnou krmnou směsí a čerstvými jablky.

Larvy potemníka stájového sklizeny v největším instaru byly bohatší na obsah tuku a chitinu. Také jejich tělesná hmotnost byla v průměru vyšší než u kukel. Naopak kukly *A. diaperinus* byly bohatší na celkový obsah sušiny a BNLV. Všechny tyto výsledky byly statisticky významné na hladině významnosti 0,05. U kukel byl také stanoven vyšší obsah popelovin a celkových dusíkatých látek, tyto nutriční hodnoty však nebyly statisticky významné.

Díky této diplomové práci byly objasněny základní nutriční hodnoty larev a kukel *A. diaperinus* a také základní znalosti, jak správně chovat tento druh hmyzu a udržet stabilní a rostoucí populaci. Nejvýznamnějším výstup pro praktické využití byl, že obsah tuku, který je nežádoucí při určitých technologických úpravách (např. sušení), byl u kukel výrazně nižší než u larev, a to při zachování stejného množství bílkovin. Naopak larvy byly větší a při sklizni tak při identickém počtu jedinců došlo ke snížení hmotnosti celé biomasy. Z tohoto lze usuzovat, že pro výrobu moučky, zahrnující navazující technologické úpravy jako drcení, sušení a dlouhodobé skladování se lépe hodí kukly, zatímco pro okamžitou úpravu a konzumaci jsou vhodnější larvy.

Do budoucna by bylo vhodné vyzkoušet optimalizovat podmínky chovu, a to zejména teplotu, která hraje důležitou roli ve vývoji potemníka stájového, tak aby bylo dosaženo potřebného kompromisu mezi množstvím a kvalitou sklizené biomasy.

8 Literatura

- Adámková A, Kourimská L, Borkovcová M, Kulma M, Mlček J. 2016. Nutritional values of edible Coleoptera (*Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* and *Alphitobius diaperinus*) reared in the Czech Republic. *Potravinářstvo* **10**:663–671.
- Adámková A, Mlček J, Kouřimská L, Borkovcová M, Bušina T, Adámek M, Bednářová M, Krajsa J. 2017. Nutritional Potential of Selected Insect Species Reared on the Island of Sumatra. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **14**:521.
- Alborzi AR, Rahbar A. 2012. Introducing *Alphitobius diaperinus*, (Insecta: Tenebrionidae) as a new intermediate host of *Hadjelia truncata* (Nematoda). *Iranian Journal of Parasitology* **7**:92–98.
- Banjo AD, Lawal, Songonuga OA. 2006. The nutritional value of fourteen species of edible insects in southwestern Nigeria A. *African Journal of Biotechnology* **5**:298–301.
- Barts M. 2006. *Buchbesprechung: Breeding Food Animals - Live Food for Vivarium Animals*. Sauria, Krieger Pub.
- Benzertiha A, Kierończyk B, Rawski M, Józefiak A, Kozłowski K, Jankowski J, Józefiak D. 2019. *Tenebrio molitor* and *zophobas morio* full-fat meals in broiler chicken diets: Effects on nutrients digestibility, digestive enzyme activities, and cecal microbiome. *Animals* **9**:1-12
- Bjørge JD, Overgaard J, Malte H, Gianotten N, Heckmann LH. 2018. Role of temperature on growth and metabolic rate in the tenebrionid beetles *Alphitobius diaperinus* and *Tenebrio molitor*. *Journal of Insect Physiology* **107**:89–96.
- Borkovcová M, Bednářová M, Fišer F, Ocknecht P, Václavík M, Švejnoha D. 2015. *Hmyz na talíři*. Jota, Brno.
- Bosch G, Zhang S, Oonincx DGAB, Hendriks WH. 2014. Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. *Journal of Nutritional Science* **3**:1-4.
- Bukkens SGF. 1997. The nutritional value of edible insects. *Ecology of Food Nutrition* **36**:287–319.
- Davis DA. (2015). *Feed and feeding practices in aquaculture*. Elsevier, Cambridge.
- Despins JL, Axtell RC. (1995). Feeding Behavior and Growth of Broiler Chicks Fed Larvae of the Darkling Beetle, *Alphitobius diaperinus*. *Poultry science* **74**:331-336
- Dinev I. 2013. THE DARKLING BEETLE (*ALPHITOBIUS DIAPERINUS*)-A HEALTH HAZARD FOR BROILER CHICKEN PRODUCTION. *Trakia Journal of Sciences* **11**:1–4.
- Dunford JC, Kaufman PE. 2018. Lesser Mealworm , Litter Beetle , *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Insecta : Coleoptera : Tenebrionidae) **1**:1–11.
- Esquivel JF, Crippen TL, Ward LA. 2012. Improved visualization of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae)-Part I: Morphological features for sex determination of multiple stadia. *Psyche* **12**:1-7
- Ferri M, Federico F Di, Proscia F, Damato S, Grabowski NT. 2019. Review / Übersichtsarbeit Insects as feed and human food and the public health risk – a review. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift* **19**:1-29
- Finke MD. 2007. Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biology* **26**:105–115.

- Fontaneto D, Tommaseo-Ponzetta M, Galli C, Risé P, Glew RH, Paoletti MG. 2011. Differences in fatty acid composition between aquatic and terrestrial insects used as food in human nutrition. *Ecology of Food and Nutrition* **50**:351–367.
- Freccia A, Tubin JSB, Rombenso AN, Emerenciano MGC. 2020. Insects in Aquaculture Nutrition: An Emerging Eco-Friendly Approach or Commercial Reality? *Intech Open* **20**:1-14.
- Friederich U, Volland W. 2004. *Breeding food animals : live food for vivarium animals*. Krieger Pub, Melbourne.
- Gahukar RT. 2016. Edible Insects Farming: Efficiency and Impact on Family Livelihood, Food Security, and Environment Compared With Livestock and Crops. *Insects as Sustainable Food Ingredients*. :85–111.
- Gere A, Radványi D, Héberger K. 2019. Which insect species can best be proposed for human consumption? *Innovative Food Science and Emerging Technologies* **52**:358–367.
- Ghosh S, Lee SM, Jung C, Meyer-Rochow VB. 2017. Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology* **20**:686–694.
- Giannetto A et al. 2020. *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae and prepupae: Biomass production, fatty acid profile and expression of key genes involved in lipid metabolism. *Journal of Biotechnology* **307**:44–54.
- Govorushko S. 2019a. Global status of insects as food and feed source: A review. *Trends in Food Science and Technology* **91**:436–445.
- Guerreiro I et al. 2020. Catching black soldier fly for meagre: Growth, whole-body fatty acid profile and metabolic responses. *Aquaculture* **516**.
- Huet G, Hadad C, Husson E, Laclef S, Lambertyn V, Farias MA, Jamali A, Courty M, Alayoubi R, Gosselin I, Sarazin C, Nhien ANV. 2020. Straightforward extraction and selective bioconversion of high purity chitin from *Bombyx eri* larva: Toward an integrated insect biorefinery. *Carbohydrate Polymers* **228**: 1-12
- Huis, A, Iterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P. 2013. *Edible insects Future prospects for food and feed security*. FAO, Rome.
- Hunt AS, Ward AM, Ferguson G. 1996. Effects Of A High Calcium Diet On Gut Loading In Varying Ages Of Crickets (*Acheta domestica*) And Mealworms (*Tenebrio molitor*). *Department of Nutrition Services* **12**:94-102.
- Jajić I, Popović A, Urošević M, Krstović S, Petrović M, Guljaš D. 2019. Chemical Composition of Mealworm Larvae (*Tenebrio molitor*) Reared in Serbia. *Contemporary Agriculture* **68**:23–27.
- 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**:2275–2278.
- Silva Lucas AJ, Oliveira ML, Rocha M, Prentice C. 2020. Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. *Food Chemistry* **311**:1-41.
- Jozefiak A, Rawski M, Mazurkiewicz J. 2018. EntoWaste: “Valorisation of agri-food residuals with insect technologies”. *Journal of Animal and Feed Sciences*.**27**:131-139.

- Kraus S, Monchanin C, Gomez-Moracho T, Lihoreau M. 2019. I Insect Diet :1-9.
- 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.
- Lapja HN-MA. 2019. Insects as animal feed. KIADO KFT PO BOX **16**: 1631.
- Leni G. 2020. Protein hydrolysates from *Alphitobius diaperinus* and *Hermetia illucens* larvae treated with commercial proteases. Journal of Insects as Food and Feed **0**:1-12.
- Manditsera FA, Luning PA, Fogliano V, Lakemond CMM. 2019a. The contribution of wild harvested edible insects (*Eulepida mashona* and *Henicus whellani*) to nutrition security in Zimbabwe. Journal of Food Composition and Analysis **75**:17–25.
- Manditsera FA, Luning PA, Fogliano V, Lakemond CMM. 2019b. Effect of domestic cooking methods on protein digestibility and mineral bioaccessibility of wild harvested adult edible insects. Food Research International **121**:404–411.
- Melgar-Lalanne G, Hernández-Álvarez AJ, Salinas-Castro A. 2019. Edible Insects Processing: Traditional and Innovative Technologies. Food Science and Food Safety **18**:1166-1191.
- Mlcek J, Rop O, Borkovcova M, Bednarova 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.
- Morin-Crini N, Lichtfouse E, Torri G, Crini G. 2019. Applications of chitosan in food, pharmaceuticals, medicine, cosmetics, agriculture, textiles, pulp and paper, biotechnology, and environmental chemistry. Environmental Chemistry Letters **17**: 1667-1692.
- Mozaffar H, . Ataur Rahman K, Mosharrof H. 2004. Growth and Development of the Lesser Mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) on Cereal Flours. Pakistan Journal of Biological Sciences **7**:1505–1508.
- Ng WK, Liev FL, Ang LP, Wong KW.. 2001. Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. Aquaculture Research **32**:273–280.
- Ogunji JO, Kloas W, Wirth M, Neumann N, Pietsch C. 2008. Effect of housefly maggot meal (mameal) diets on the performance, concentration of plasma glucose, cortisol and blood characteristics of oreochromis niloticus fingerlings. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition **92**:511–518.
- Oonincx DGAB, de Boer IJM. 2012. Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans - A Life Cycle Assessment. PLoS ONE 7 (e51145) DOI: 10.1371/journal.pone.0051145
- Oonincx DGAB, Van Broekhoven S, Van Huis A, Van Loon JJA. 2015. Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products (e0222043) DOI: 10.1371/journal.pone.0222043.
- Oonincx DGAB, van Itterbeeck J, Heetkamp MJW, van den Brand H, van Loon JJA, van Huis A. 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. PLoS ONE 5 (e14445) DOI: 10.1371/journal.pone.0014445
- Orsi L, Voegelé LL, Stranieri S. 2019. Eating edible insects as sustainable food? Exploring the determinants of consumer acceptance in Germany. Food Research International **125**:1-16.
- Pali-Schöll I, Binder R, Moens Y, Polesny F, Monsó S. 2019. Edible insects—defining

- knowledge gaps in biological and ethical considerations of entomophagy. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **59**:2760–2771.
- Paoletti MG, Norberto L, Damini R, Musumeci S. 2007. Human Gastric Juice Contains Chitinase That Can Degrade Chitin. *Annals of Nutrition and Metabolism* **51**:244–251.
- Piccolo G, Marono S, Gasco L, Iannaccone F, Bovera F, Nizza A. 2014. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal in diets for Gilthead seabream *Sparus aurata* juveniles. *CINECA IRIS* :68–68.
- Raheem D, Raposo A, Oluwole OB, Nieuwland M, Saraiva A, Carrascosa C. 2019. Entomophagy: Nutritional, ecological, safety and legislation aspects. *Journal Pre-proof* **39**:521-540.
- Ramos-Elorduy J, González EA, Hernández AR, Pino JM. 2009. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to Recycle Organic Wastes and as Feed for Broiler Chickens. *Journal of Economic Entomology* **95**:214–220.
- Rueda LM, Axtell RC. 1996. Temperature-dependent development and survival of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus*. *Medical and Veterinary Entomology* **10**:80–86.
- Rumbos CI, Karapanagiotidis IT, Mente E, Athanassiou CG. 2019. The lesser mealworm *Alphitobius diaperinus*: a noxious pest or a promising nutrient source? *Reviews in Aquaculture* **11**: 1418-1437.
- Rumpold BA, Bußler S, Jäger H, Schlüter OK. 2017. *Insect processing*. Academic Press, Wageningen.
- Rumpold BA, Schlüter OK. 2013a. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* **17**:1-11.
- Rumpold BA, Schlüter OK. 2013b. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research* **57**:802–823.
- Salin C, Renault D, Vannier G, Vernon P. 2000. A sexually dimorphic response in supercooling temperature, enhanced by starvation, in the lesser mealworm *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Thermal Biology* **25**:411–418.
- Schlüter O, Rumpold B, Holzhauser T, Roth A, Vogel RF, Quasigroch W, Vogel S, Heinz V, Jager H, Bandick N, Kulling S, Knorr D, Steinberg P, Engel KH. 2017. Safety aspects of the production of foods and food ingredients from insects. *Molecular Nutrition & Food Research* **61**:1-29.
- Schmidt A, Call LM, Macheiner L, Mayer HK. 2019. Determination of vitamin B 12 in four edible insect species by immunoaffinity and ultra-high performance liquid chromatography. *Food Chemistry* **281**:124–129.
- Shahidi F, Arachchi JKV, Jeon YJ. 1999. Food applications of chitin and chitosans. *Trends in Food Science & Technology* **10**:37-51
- Siemianowska E, Kosewska A, Aljewicz M, Skibniewska KA, Polak-Juszczak L, Jarocki A, Jędras M. 2013. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. *Agricultural Sciences* **04**:287–291.
- Soetemans L, Gianotten N, Bastiaens L. 2020. Agri-food side-stream inclusion in the diet of *alphitobius diaperinus*. Part 2: Impact on larvae composition. *Insects* **11**:1-20.
- Sogari G, Amato M, Biasato I, Chiesa S, Gasco L. 2019. The potential role of insects as feed:

- A multi-perspective review. *Animals* **9**:1-15.
- Song YS, Kim M, Moon C, Seo D, Han Y, Jo Y, Noh M, Park Y, Kim S, Kim Y, Jung W. 2018. Extraction of chitin and chitosan from larval exuvium and whole body of edible mealworm, *Tenebrio molitor*. *Entomological Research* **48**:227–233.
- Ssepuuya G, Namulawa V, Mbabazi D, Mugerwa S, Fuuna P, Nampijja Z, Ekesi S, Fiaboe KKM, Nakimbugwe D. 2017. Use of insects for fish and poultry compound feed in sub-Saharan Africa - A systematic review. *Journal of Insects as Food and Feed* **3**:289-302.
- Szczepanik M, Gliszczyńska A, Hnatejko M, Zawitowska B. 2016. Effects of halolactones with strong feeding-deterrent activity on the growth and development of larvae of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Applied Entomology and Zoology* **51**:393–401.
- Tong L, Yu X, Liu H. 2011. Insect food for astronauts: gas exchange in silkworms fed on mulberry and lettuce and the nutritional value of these insects for human consumption during deep space flights. *Bulletin of Entomological Research* **101**:613–622.
- Urs KCD, Hopkins TL. 1973. Effect of moisture on growth rate and development of two strains of *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera, Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research* **8**:291–297.
- Velíšek J. 2014. *The Chemistry of Food*. Wiley-Blackwell.
- Yi L, Lakemond CMM, Sagis LMC, Eisner-Schadler V, Huis A Van, Boekel MAJSV. 2013. Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry* **141**:3341–3348.
- York N, Society E. 2016. Changes in the Fat Content during Metamorphosis of the Mealworm, *Tenebrio molitor*. *New York Entomologica* **67**:213–216.
- Young Kim S, Bin Park J, Bo Lee Y, Joo Yoon H, Yong Lee K, Jung Kim N. 2015. 갈색거저리의 발육특성 Growth characteristics of mealworm *Tenebrio molitor*. *J Seric Entomol Sci* **53**:1–5.