

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Nutriční hodnota larev potemníka moučného jako nové
potravin y a krmiva**

Diplomová práce

Bc. Aneta Slavíková

Výživa a potraviny

prof. Ing. Lenka Kouřimská, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Nutriční hodnota larev potemníka moučného jako nové potraviny a krmiva" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí 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 diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 19. dubna 2024

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí této diplomové práce, paní prof. Ing. Lence Kouřimské, Ph.D., za vedení práce a cenné rady. Dále bych chtěla poděkovat paní Ing. Barboře Lampové za její nápomoc, čas a věcné rady.

Nutriční hodnota larev potemníka moučného jako nové potraviny a krmiva

Souhrn

Tato diplomová práce se zabývá jedlým hmyzem se zaměřením především na potemníka moučného a jeho nutriční hodnotu. Práce je rozdělena na dvě části – literární a praktickou.

Začátek literární části přináší vhled do problematiky jedlého hmyzu a jeho přijatelnosti konzumenty. Následující část poskytuje komplexní pohled na potemníka moučného (*Tenebrio molitor*). Zahrnuje jeho životní cyklus, podmínky chovu a legislativní aspekty. Podrobně je rozebrána nutriční hodnota potemníka moučného a faktory, které mají na nutriční hodnotu vliv. Nutriční hodnota potemníka je srovnávána s tradičními rostlinnými a živočišnými zdroji potravy. Další část literární rešerše se věnuje využití potemníka moučného jako krmiva pro různá zvířata a opět porovnává potemníka moučného s konvenčními druhy krmiva. V další pasáži je shrnuta bezpečnost použití potemníka moučného jako potraviny a krmiva v ohledu na mikrobiologická a toxikologická rizika. Rozebrána je i alergenicita potemníka moučného jakožto jedlého hmyzu, protože konzumací může dojít k vyvolání alergické reakce organismu. Konec literární části je zaměřen na možnosti technologické úpravy jedlého hmyzu a jeho sensorické vlastnosti. Zmíněny jsou také další možnosti využití potemníka moučného mimo použití jako krmiva a potraviny.

V praktické části této práce byl u potemníka moučného stanoven obsah sušiny, obsah popelovin, obsah tuku extrakcí dle Soxhleta, obsah hrubých bílkovin dle Kjeldahla a stanoveny byly i chromatograficky proteinogenní aminokyseliny. Naměřené hodnoty potvrdily, že potemník moučný je bohatým zdrojem bílkovin a tuků. Obsah bílkovin v larvách byl v porovnání s ostatními autory vysoký. Diskutován byl konverzní faktor 6,25, při jehož použití pro výpočet obsahu bílkovin u hmyzu může být obsah bílkovin nadhodnocen. Esenciální aminokyseliny byly v larvách zastoupeny v dostatečné množství až na methionin, jehož obsah neodpovídal doporučení WHO (Světová zdravotnická organizace). Ze stanovených nutričních hodnot larev potemníka moučného vyplývá, že jsou larvy vhodnou alternativou konvenčním druhům rostlinných a živočišných potravin. Jsou také dobrým konkurentem běžně používaným složkám krmiv, kterými jsou například masová, sójová či rybí moučka.

Klíčová slova: nutriční hodnota; potemník moučný; jedlý hmyz; antinutriční látky

Nutritional value of mealworm larvae as a novel food and feed

Summary

This thesis deals with edible insects, focusing mainly on the yellow mealworm and its nutritional value. The thesis is divided into two parts – literary and practical.

The beginning of the literary part gives an insight into the edible insects and their acceptability by consumers. The following part provides a comprehensive view of the yellow mealworm (*Tenebrio molitor*). It covers its life cycle, rearing conditions, and legislative aspects. The nutritional value of the yellow mealworm and the factors that influence its nutritional value are discussed in detail. The nutritional value of the yellow mealworm is compared with traditional plant and animal food sources. The next part of the literature review looks at the use of yellow mealworm as a feed for various animals and again compares yellow mealworm with conventional feeds. The next passage summarizes the safety of using yellow mealworm as food and feed with respect to microbiological and toxicological risks. The allergenicity of the yellow mealworm as an edible insect is also discussed, as consumption can cause an allergic reaction in the body. The end of the literature section focuses on the possibilities of technological treatment of edible insects and their sensory properties. Other uses of the yellow mealworm beyond its use as a food and feed are also mentioned.

In the practical part of this work, dry matter content, ash content, fat content by Soxhlet extraction, crude protein content by Kjeldahl and amino acids content by chromatography were determined for yellow mealworm. The measured values confirmed that yellow mealworm is a rich protein and fat source. The protein content of the larvae was high compared to the other authors. A conversion factor of 6.25, which may overestimate protein content when used to calculate protein content in insects, was discussed. Essential amino acids were present in sufficient amounts in the larvae, except for methionine, whose content did not meet the WHO (World Health Organization) recommendations. The established nutritional values of the larvae of the yellow mealworm suggest that the larvae are a suitable alternative to conventional plant and animal foods. They are also a good competitor to commonly used feed ingredients such as meat, soybean or fish meal.

Keywords: nutritional value; mealworm; edible insect; antinutritional substances

Obsah

1 Úvod	8
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	9
3 Literární rešerše	10
3.1 Jedlý hmyz	10
3.1.1 Přijatelnost jedlého hmyzu konzumenty	10
3.2 Potemník moučný	11
3.2.1 Životní cyklus	12
3.2.2 Chov potemníků moučných	12
3.2.3 Legislativa	13
3.2.4 Potemník moučný a jeho nutriční hodnota	16
3.2.4.1 Tuky	16
3.2.4.2 Bílkoviny a peptidy	17
3.2.4.2.1 Aminokyseliny	18
3.2.4.2.2 Purinové látky	20
3.2.4.3 Sacharidy	21
3.2.4.3.1 Vláknina (chitin a chitosan)	21
3.2.4.4 Minerální látky a vitaminy	23
3.2.4.5 Vliv složení krmiva na nutriční hodnotu larev potemníka moučného	25
3.2.4.6 Antinutriční látky a metody jejich stanovení	28
3.2.4.7 Bioaktivní molekuly	29
3.2.5 Porovnání nutričních hodnot s živočišnými zdroji potravy	32
3.2.6 Porovnání nutričních hodnot s rostlinnými zdroji potravy	32
3.2.7 Potemník moučný jako krmivo	33
3.2.7.1 Krmivo pro drůbež	34
3.2.7.2 Krmivo pro vodní živočichy	35
3.2.7.3 Krmivo pro prasata	36
3.2.7.4 Krmivo pro hlodavce	36
3.2.8 Bezpečnost potemníka moučného jako potraviny a krmiva	37
3.2.8.1 Mikrobiální kontaminace	38
3.2.8.2 Mykotoxiny	38
3.2.9 Alergeničita	39
3.2.10 Technologická úprava jedlého hmyzu	40
3.2.11 Senzorické vlastnosti	42
3.2.12 Další využití potemníka	42

4	Materiál a metodika.....	44
4.1	Potemník moučný.....	44
4.1.1	Použité chemikálie	44
4.1.2	Použité přístroje	44
4.2	Metodika	45
4.2.1	Příprava vzorků.....	45
4.2.2	Stanovení sušiny	45
4.2.3	Stanovení popelovin	45
4.2.4	Stanovení tuku dle Soxhleta	45
4.2.5	Stanovení hrubých bílkovin dle Kjeldahla.....	46
4.2.6	Stanovení aminokyselin.....	46
4.2.7	Statistická analýza.....	46
5	Výsledky.....	47
5.1	Sušina	47
5.2	Popeloviny	48
5.3	Celkový tuk.....	48
5.4	Hrubé bílkoviny.....	49
5.5	Aminokyseliny	50
6	Diskuze.....	51
6.1	Sušina	51
6.2	Popeloviny	51
6.3	Celkový tuk.....	51
6.4	Hrubé bílkoviny.....	52
6.5	Aminokyseliny	52
6.6	Porovnání s konvenčními zdroji bílkovin a tuků	53
7	Závěr	56
8	Literatura.....	57
9	Seznam tabulek	68
10	Seznam obrázků	70

1 Úvod

Za posledních 100 let dochází ke kontinuálnímu růstu lidské populace a prognózy naznačují, že do roku 2050 bude na Zemi 9,6 miliard obyvatel. V některých oblastech světa není již dnes dostatek kvalitní potravy pro stávající populaci. S rostoucím počtem populace se tato potřeba ještě více zvyšuje, a to zejména co se týče zajištění plnohodnotných zdrojů bílkovin. Jedním z možných řešení této problematiky je potenciál využití jedlého hmyzu.

Hmyz není jen skvělým zdrojem bílkovin, ale také tuků, vlákniny a důležitých mikronutrientů.

Přestože byl hmyz součástí lidské stravy odpradáva, v dnešních rozvinutých zemích není považován za běžnou potravinu a spotřebitelé k němu často nejeví pozitivní postoj. Nicméně, povědomí o výhodách konzumace jedlého hmyzu postupně roste a začíná se objevovat v regálech tradičních supermarketů. Tento trend je podporován i změnami v legislativě.

V současné době je identifikováno více než 2 000 druhů jedlého hmyzu, přičemž v Evropě je největší pozornost věnována cvrčkovi domácímu (*Acheta domestica*), saranči stěhovavé (*Locusta migratoria*) a potěmnikovi moučnému (*Tenebrio molitor*).

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Hypotéza: Larvy potemníka moučného jsou nutričně srovnatelné s tradičními živočišnými a rostlinnými zdroji potravin a krmiv.

Cíl: Cílem práce bude proměřit nutriční hodnotu larev potemníka moučného a porovnat ji s konvenčními živočišnými a rostlinnými zdroji proteinů a lipidů.

3 Literární rešerše

3.1 Jedlý hmyz

S přibývajícím lidskou populací je nutné hledat udržitelné zdroje obživy, především alternativní zdroje bílkovin (Errico et al. 2022). Jedním z těchto zdrojů by mohl být jedlý hmyz, protože je ve většině případů dobrým zdrojem plnohodnotných živočišných bílkovin, tuku, vlákniny a mikronutrientů (např. železa, mědi nebo hořčíku) (Kauppi et al. 2019). V současné době je popsáno něco málo přes 2 000 druhů jedlého hmyzu (Jongema 2017). Konzumace hmyzu se nazývá entomofágie (Hwang & Choe 2020). Jedlý hmyz pravidelně konzumuje zhruba 30 % lidské populace, a to především v Asii, Africe a Jižní Americe (Errico et al. 2022). V posledních letech jsou vynakládány také snahy o zařazení hmyzu do stravy lidí ve vyspělých zemích (v Severní Americe, Evropě) (Moruzzo et al. 2021), jelikož hmyz má oproti konvenčním zdrojům potravy řadu výhod. Pro chov hmyzu je potřeba méně prostoru, vody i krmiva, než je tomu při chovu běžných hospodářských zvířat (Kauppi et al. 2019). Oproti hospodářským zvířatům produkuje hmyz výrazně méně skleníkových plynů (Govorushko 2019) a má rychlejší životní cyklus (Hong et al. 2020).

3.1.1 Přijatelnost jedlého hmyzu konzumenty

Jedlý hmyz je dobře přijímán v tropických a subtropických oblastech Afriky, Asie a latinské Ameriky, kde je konzumován především celý hmyz, který je sbírán z přírody. Naopak v ostatních částech světa je povědomí o jedlém hmyzu značně omezené. V západních zemích se začíná objevovat na trhu hmyz z farmového chovu, především ve formě prášku, který je používán jako součást různých výrobků, jako jsou těstoviny, snacky či pekařské produkty. Nicméně přijatelnost těchto produktů spotřebiteli zůstává stále relativně nízká, a to jak v zemích, kde entomofágie není tradiční, tak i v těch, kde byla konzumace hmyzu historicky běžná. Hmyz vyvolává u lidí negativní psychologické reakce, znechucení a neofobii. Potravinovou neofobií se označuje strach z nových potravin, které jsou pro daného člověka netradiční a nemá s nimi vlastní zkušenosti (Hartmann et al. 2015). Neofobie je jednou z největších překážek pro zařazení jedlého hmyzu do naší stravy (Sogari et al. 2023b).

Velký vliv na přijatelnost hmyzu má stupeň jeho zpracování. Existuje rozdíl v přijatelnosti celého hmyzu a produktů s obsahem hmyzu ve formě prášku. Pokud je hmyz ve formě prášku zpracovaný do nějakého produktu, je to pro konzumenty přijatelnější forma než samotný hmyz vcelku. Velký vliv na přijatelnost má také předchozí zkušenost. Lidé, kteří už minimálně jednou konzumovali hmyz, bývají ochotnější a přívětivější k další

konzumaci (Sogari et al. 2023b). Významný faktor může představovat také věk. Mladí bývají ochotnější zkoušet nové věci, kdežto starší lidé nebývají tolik otevření novým potravinám, na které nejsou zvyklí (Videbæk & Grunert 2020). V zemích, kde je entomofágie tradiční, naopak mívají starší lidé pozitivnější postoj ke konzumaci hmyzu než mladí (Ghosh et al. 2020). Kultura a stravovací návyky mají silný vliv na konzumenta (van Huis et al. 2013). Přijatelnost může být ovlivněna i pohlavím (Videbæk & Grunert 2020). Vliv může mít také úroveň vzdělání konzumenta. V některých studiích vyšlo najevo, že lidé s vyšším vzděláním jsou otevřenější entomofágii než lidé s nižším vzděláním (Melgar-Lalanne et al. 2019; Lundén et al. 2020). Důležité pro přijatelnost hmyzu je i informovanost konzumentů o výhodách konzumace jedlého hmyzu (Melgar-Lalanne et al. 2019).

Studuje se také přijatelnost živočišných produktů, při jejichž produkci byla zvířata krmena krmivem s obsahem hmyzu. Nejméně přijatelnými jsou pro konzumenty mléko a hovězí maso, více přijatelné je vepřové a nejvíce přijatelnými jsou vejce, drůbež a ryby. Jedním z možných vysvětlení těchto výsledků je, že konzumace hmyzu jako součásti krmiva pro ryby a drůbež se jeví přirozenější než u ostatních druhů zvířat, zvláště u přežvýkavců (Verbeke 2015).

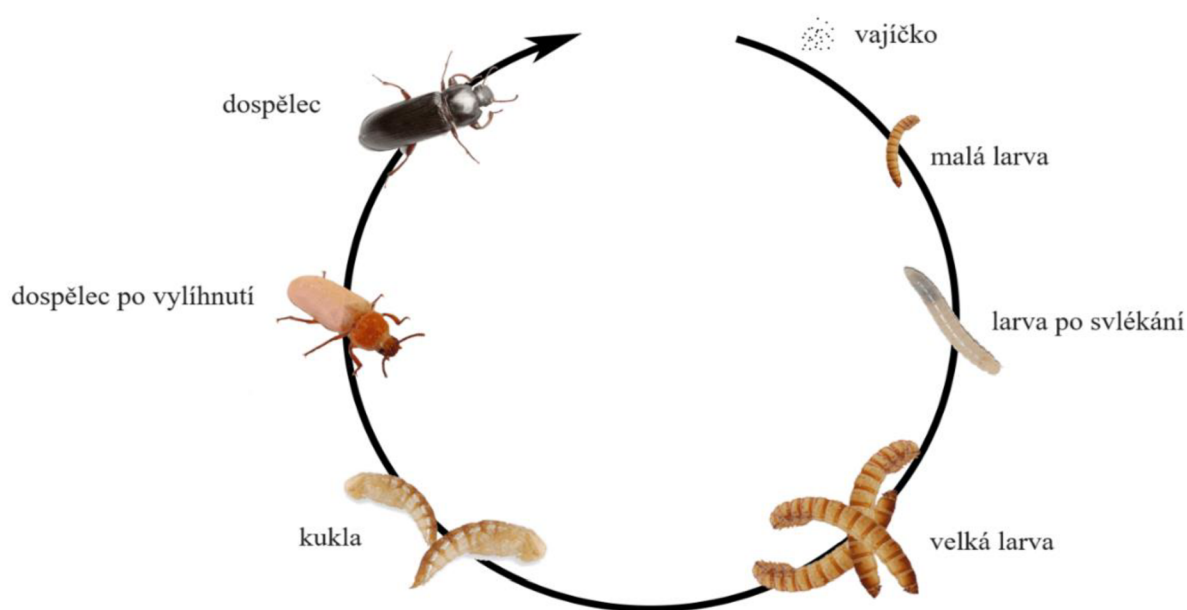
3.2 Potemník moučný

Potemník moučný (*Tenebrio molitor*) je celosvětově rozšířeným škůdcem obilí a mouky (Hong et al. 2020). Řadí se do řádu brouci (Coleoptera), do čeledi potemníkovití (Tenebrionidae). Je jedním z nejvíce chovaných druhů jedlého hmyzu nejen v Evropě, ale i celosvětově. Potemník je vnímán jako vhodný druh pro využití v potravinářském průmyslu a je také jedním z nejpřijatelnějších druhů zejména pro evropské konzumenty (Gkinali et al. 2022; Imathiu 2020). Mimo to je používán pro výrobu krmiv pro domácí mazlíčky, zvířata v zoologických zahradách či hospodářská zvířata (prasata, drůbež, ryby) (Hong et al. 2020).

Potemníci mouční jsou v některých zemích mimo EU běžně konzumováni nebo používáni pro léčebné účely. Mezi země, ve kterých jsou běžně konzumováni, se řadí Thajsko, Čína a Mexiko (EFSA NDA Panel 2021).

3.2.1 Životní cyklus

Na Obrázku 1 je vyobrazen životní cyklus potemníka, který má čtyři fáze – vajíčko, larva, kukla, dospělec (Gkinali et al. 2022). Samičky produkují zhruba 250 až 500 vajíček, která kladou jednotlivě nebo v malých shlucích (Ribeiro et al. 2018). Přestože larvy dorůstají obvykle do velikosti 2,0–3,5 cm, dospělci bývají velcí pouze 1 cm (Hong et al. 2020). Konzumují se larvy potemníka, které jsou podlouhlé a cylindrického tvaru. Mají 6 nohou za hlavou a 2 krátké přívěsky na konci břicha. Zpočátku jsou larvy bílé, postupem času se zbarvují do žlutohnědé (Gkinali et al. 2022).



Obrázek 1 Životní cyklus potemníka moučného
Zdroj: Insektenliebe (2020) – přeloženo a upraveno

3.2.2 Chov potemníků moučných

Růst potemníků ovlivňuje strava, teplota, relativní vlhkost vzduchu, expozice světlu (fotoperioda) a hustota populace. Potemníci jsou komerčně chováni ve ventilovaných plastových kontejnerech s kontrolovaným prostředím. Optimální teplota pro jejich růst se pohybuje mezi 25 a 27 °C (Gkinali et al. 2022). Teplotní minimum je 10 °C a maximum 35 °C. Při teplotách nižších než 17 °C dochází k inhibici embryonálního vývoje, zatímco teploty vyšší než 30 °C zvyšují úmrtnost. Teplotní nároky se neliší v průběhu životního cyklu,

ale vyšší relativní vlhkost (60–75 %) podporuje jejich růst. Optimální hustota populace je zhruba 8 dospělců na 1 dm². Při vyšší hustotě dochází ke kanibalismu, pomalejšímu růstu a inhibici kuklení (Ribeiro et al. 2018). Na růst a vývoj má vliv také fotoperioda. Při 14 hodinách světla a 10 hodinách tmy byly larvální stádia významně kratší, naopak stádium kukly bylo delší v porovnání s ostatními fotoperiodami. Při konstantní tmě může být růst larev rychlejší. Starší larvy mají větší míru přežití než mladé larvy (Eberle et al. 2022). Larvy, přestože jsou to všežravci, jsou v chovech běžně krmené výhradně otrubami nebo pšeničnou moukou (EFSA NDA Panel 2021).

3.2.3 Legislativa

Jedlý hmyz nebyl do roku 2015 v Evropské unii zahrnut do legislativy jako potravinu. Pouze některé země (Nizozemsko, Belgie) zahrnuly hmyz do vlastní legislativy (Mancini et al. 2019a). Až 25. listopadu 2015 bylo vydáno nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2015/2283 o nových potravinách (účinné od 1. ledna 2018), podle kterého jsou hmyz a výrobky z něj definované jako nové potraviny (Evropský parlament a Rada (EU) 2015). Mezi ně se tedy řadí i potměnkou moučnou jakožto druh jedlého hmyzu (Komise (EU) 2017a). Nové potraviny jsou definovány jako jakékoliv potraviny, které se v Evropské unii nepoužívaly k lidské spotřebě ve významném množství před květnem 1997 (Evropský parlament a Rada (EU) 2015). K 1. únoru 2024 mezi povolené druhy hmyzu pro použití k lidské spotřebě patří kromě potměnky moučné cvrček domácí (*Acheta domestica*), potměnkou stájovou (*Alphitobius diaperinus*) a saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*) (Komise (EU) 2017a). V České republice novela zákona č. 166/1999 platná od 15. ledna 2020 definuje hmyz jako hospodářské zvíře (Parlament České republiky 1999).

Experti z Evropského úřadu pro bezpečnost potravin vydali v roce 2021 stanovisko k potměnkou moučnému jako nové potravině se závěrem, že jeho použití pro lidskou spotřebu je bezpečné (EFSA NDA Panel 2021). Na základě tohoto stanoviska bylo vydáno prováděcí nařízení Komise (EU) 2021/882 povolující uvádění sušených larev potměnky moučné na trh jako nové potraviny podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2015/2283 (Komise (EU) 2021a). Dne 8. února 2022 bylo vydáno prováděcí nařízení Komise (EU) 2022/169, které povoluje uvádění dalších forem moučných červů na trh. Larvy mohou být uváděny na trh zmrazené (celé, spařené a zmrazené larvy; dále jen „Z“), sušené (celé, spařené a mrazem vysušené larvy; dále jen „S“) nebo v prášku (ze sušených larev; dále jen „P“) (Komise (EU) 2022).

Dle prováděcího nařízení Komise (EU) 2021/882 mohou být obsaženy v proteinových výrobcích, sušenkách, pokrmech na bázi luštěnin a výrobcích na bázi těstovin v omezeném množství (max. 10 g/100 g výrobku) (Komise (EU) 2021a).

Prováděcí nařízení Komise (EU) 2022/169 rozšiřuje povolení na použití moučných červů v následujících produktech v omezeném množství:

- vícezrný chléb a pečivo; keksy a slané tyčinky (Z 30 g/100 g, S nebo P 10 g/100 g),
- cereální tyčinky (Z 30 g/100 g, S nebo P 15 g/100 g),
- sušené výrobky na bázi těstovin; pokrmy na bázi těstovin (kromě sušených pufovaných těstovin); pizza a pokrmy podobné pizze (Z 15 g/100 g, S nebo P 10 g/100 g),
- sušené výrobky na bázi plněných těstovin (Z 30 g/100 g, S nebo P 15 g/100 g),
- premixy (suché) pro pekařské výrobky (Z 30 g/100 g, S nebo P 15 g/100 g),
- omáčky (Z 30 g/100 g, S nebo P 10 g/100 g),
- pokrmy na bázi brambor, luštěnin (Z 15 g/100 g, S nebo P 10 g/100 g),
- sušená syrovátka (Z 40 g/100 g, S nebo P 20 g/100 g),
- náhražky masa (Z 80 g/100 g, S nebo P 50 g/100 g),
- polévky a saláty (Z 20 g/100 g, S nebo P 5 g/100 g),
- chipsy nebo bramborové lupínky (Z 40 g/100 g, S nebo P 20 g/100 g),
- nápoje podobné pivu, míchané nealkoholické nápoje, směsi alkoholických nápojů (Z 1 g/100 g, S nebo P 1 g/100 g),
- čokoládové cukrovinky (Z 30 g/100 g, S nebo P 10 g/100 g),
- ořechy, olejnatá semena a cizrna (Z 40 g/100 g, S nebo P 30 g/100 g),
- zmrazené kysané mléčné výrobky (Z 15 g/100 g, S nebo P 5 g/100 g),
- masné polotovary (Z 40 g/100 g, S nebo P 16 g/100 g),

Ke spotřebě jsou určeny celé larvy *T. molitor*, žádné části těla se neodstraňují. Minimálně 24 hodin před usmrcení hmyzu nesmí larvy přijímat potravu, aby došlo k vyprázdnění obsahu střev (Komise (EU) 2022). Prováděcí nařízení Komise (EU) 2022/169 definuje parametry uvedené v Tabulce 1, které musí splňovat mouční červi určení pro uvedení na trh.

Tabulka 1 Požadavky na obsah živin v povolených formách larev *T. molitor*

Parametr	Zmrazené larvy	Sušené larvy nebo prášková forma
Popel	0,9–1,1	3,6–4,1
Vlhkost (% hmot.)	69–75	≤ 5
Hrubá bílkovina (N x 6,25) (% hmot.)	14–19	54–60
Tuky (% hmot.)	7–12,5	27–30
- z toho nasycené mastné kyseliny (% tuku)	20–29	20–29
Stravitelné sacharidy (% hmot.)	1–2	4–8
Dietní vláknina (% hmot.)	1,2–3,5	4–6
Chitin*	≤ 3	4–9
Peroxidové číslo (Meq O ₂ /kg tuku)	≤ 5	≤ 5

*chitin vypočtený jako rozdíl mezi frakcemi acidodetergentní vláknina a acidodetergentní lignin

Zdroj: Komise (EU) (2022)

Dle nařízení EU 2017/893 a 2021/1372 je možné použít bílkoviny z potměníka moučného jako krmivo pro ryby, domácí zvířata, prasata a drůbež, ale nikoliv pro přežvýkavce (Komise (EU) 2017b; Komise (EU) 2021b). Hmyz nesmí být krměn bílkovinami přežvýkavců, odpadem ze stravovacích zařízení, masokostní moučkou ani hnojem (Evropský parlament a Rada (EU) 2009).

Dle Prováděcího nařízení Komise (EU) 2021/405 je povoleno do Evropské unie dovážet hmyz určený k lidské spotřebě z Jižní Koreji, Kanady, Švýcarska, Thajska a Vietnamu (Komise (EU) 2021c).

Legislativa ve zbytku světa je různá (Lähteenmäki-Uutela et al. 2021). Například v Africe se jedlý hmyz běžně konzumuje, a přesto není zahrnut (s výjimkou Botswany) do legislativy potravin (Grabowski et al. 2020). V Austrálii a na Novém Zélandu je jedlý hmyz považován za netradiční potravinu, nikoliv za novou potravinu (EFSA NDA Panel 2021). V Číně, kde je hmyz tradiční potravinou po více než 3000 let, neexistuje legislativní opatření ohledně jedlého hmyzu. Pouze v některých autonomních částech Číny jsou zavedeny zákony a normy týkající se jedlého hmyzu (Lähteenmäki-Uutela et al. 2017).

3.2.4 Potemník moučný a jeho nutriční hodnota

Larvy potemníka moučného jsou slibným druhem pro lidskou stravu právě kvůli jejich nutriční kvalitě. Ta může být ovlivněna mnoha faktory (Gkinali et al. 2022). Hlavním faktorem je strava, ale svoji roli hrají i životní podmínky potemníka (teplo, světlo) nebo, jak potvrzují data v Tabulce 2, vývojová fáze (Rumbos et al. 2020; Oonincx & Finke 2021). Vliv může mít i pohlaví (Melgar-Lalanne et al. 2019), forma usmrcení a typ technologické/kulinářské úpravy (Baiano 2020). Optimální strava zlepšuje reprodukci a růst potemníků (Rumbos et al. 2020).

Tabulka 2 Nutriční hodnoty potemníka moučného v různých vývojových fázích (g/100 g)

Vývojová fáze	Hrubé bílkoviny	Tuk	Chitin
<i>Tenebrio molitor</i> larva	49,1	35,0	6,6
<i>Tenebrio molitor</i> dospělec	65,3	14,9	20,4

Zdroj: Williams et al. (2016)

Práškem z moučných červů lze zlepšit nutriční hodnoty jiných výrobků, např. chleba. Dle nedávné studie (Mihaly Cozmuta et al. 2022) náhradou již 10 % mouky na chléb práškem z červů došlo ke zlepšení nutriční hodnoty chleba (obsah bílkovin, tuků, vlákniny, minerálních látek).

3.2.4.1 Tuky

Z Tabulky 3 vyplývá, že obsah tuku v sušíně u larev potemníka moučného se pohybuje v rozmezí 14,1–43,1 %.

Tabulka 3 Obsah tuku v larvách potemníka moučného

Obsah tuku v sušíně [%]	Zdroj
14,1	Rumbos et al. (2020)
24,5	Azagoh et al. (2016)
24,7	Zielińska et al. (2015)
32,9	Zhao et al. (2016)
34,5	Ghosh et al. (2017)
36,1	Bednářová et al. (2013)
39,1	Alves et al. (2016)
40,5	Alves et al. (2016)
43,1	Rumpold & Schlüter (2013)

Linolová (LA, C18:2) a α -linolenová kyselina (ALA, C18:3) jsou prekurzory pro syntézu polyenových mastných kyselin s dlouhým řetězcem. Těmito kyselinami jsou arachidonová (ARA, C20:4), eikosapentaenová (EPA, C20:5) a dokosahexaenová kyselina (DHA, C22:6). Polyenové mastné kyseliny z řady n-3 (EPA, DHA) a n-6 (ALA, ARA) mají velmi významný vliv na životní funkce. Jsou nezbytné pro buněčné membrány, funkci nervového systému včetně mozku, přenos atmosférického kyslíku do plazmy, buněčné dělení či syntézu hemoglobinu, působí preventivně proti kardiovaskulárním chorobám a nádorovým onemocněním (Alves et al. 2016). N-3 mastné kyseliny potlačují zánět, tvorbu aterosklerotického plátu a tvorbu tromboxanů. Při jejich dostatečném příjmu mají pozitivní vliv na glykémii, hospodaření s triacylglyceroly, hladinu cholesterolu a inzulínovou rezistenci (Jang & Park 2020). Koncentrace mastných kyselin v tuku ovlivňuje jeho antioxidační aktivitu (Alves et al. 2016).

Jak lze vidět v Tabulce 4, monoenových (C18:1) a polyenových mastných kyselin (C18:2, C18:3) bylo ve vzorcích potemníků obsaženo více, než tomu bylo u vepřového a hovězího masa. Z nasycených mastných kyselin byla u vzorků nejvíce zastoupená palmitová kyselina (C16:0).

Tabulka 4 Obsah mastných kyselin v larvách potemníka moučného a v konvenčních druzích masa

Potravina	Mastné kyseliny [g/100 g sušiny]							
	C12:0	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
TM ^a	0,07	1,19	4,32	0,67	0,78	13,91	7,19	0,12
TM ^b		0,97	7,23	0,29	1,49	11,04	14,58	
TM ^c		0,51	3,43	0,40	0,64	7,58	6,97	0,27
K ^d		0,04	1,79	0,54	0,46	2,99	1,32	0,01
V ^d	0,01	0,03	2,23	0,20	0,81	3,41	1,56	0,05

TM – larvy *T. molitor*, K – kuřecí maso, V – vejce

Zdroj: a) Khanal et al. (2023), b) Bednářová et al. (2013), c) Belforti et al. (2015), d) Williams et al. (2016)

3.2.4.2 Bílkoviny a peptidy

Jedlý hmyz je dobrým zdrojem bílkovin (Orkusz 2021). Dle dostupné literatury (Tabulka 5) larvy potemníka obsahují 41–68 % bílkovin. Obsah čistých bílkovin může být nadhodnocen z důvodu přítomnosti nebílkovinných látek s obsahem dusíku, jako jsou například chitin glukosamin a N-acetylglukosamin, a proto byly navrženy nižší faktory pro přepočet obsahu dusíku na bílkoviny (Gkinali et al. 2022; Hong et al. 2020). Místo konvenčního faktoru

6,25 byly navrženy hodnoty 4,76 pro celé larvy a 5,6 pro proteinové extrakty (Janssen et al. 2017). O pár let později Boulos et al. (2020) navrhli hodnoty 5,33 pro larvy a 5,6 pro proteinové izoláty, které byly později podpořeny i dalšími studii (Gkinali et al. 2022). Ve studii Janssen et al. (2017) dusík z chitinu tvořil 3,0–6,8 % z celkového obsahu dusíku. *T. molitor* obsahuje 12–23 % nebílkovinného dusíku z celkového množství dusíku (Janssen et al. 2017).

Všechny druhy hmyzu mají svůj specifický proteinový profil, který může být specifický i pro jednotlivé životní fáze konkrétního druhu, protože v určitých fázích může produkovat určitou skupinu proteinů. Proto je důležité sledovat také fyzikálně-chemické vlastnosti hmyzích proteinů. Mezi tyto vlastnosti patří solubilizace, ζ -potenciál, hydrodynamický průměr, hydrofobní povrch, volné sulfhydrylové skupiny, schopnost vázat vodu či olej, schopnost želatinizace, emulgace, pěnovosti, reologické a texturní vlastnosti. Rozpustnost bílkovin závisí na složení aminokyselin, velikosti proteinu, strukturní konformaci, iontové síle, změně pH a teploty (Queiroz et al. 2023).

Tabulka 5 Obsah bílkovin v larvách potměníka moučného

Obsah bílkovin v sušině [%]	Zdroj
41,40	Rumbos et al. (2020)
44,83	Alves et al. (2016)
50,07	Alves et al. (2016)
50,86	Bednářová et al. (2013)
51,50	Zhao et al. (2016)
52,35	Zielińska et al. (2015)
53,22	Ghosh et al. (2017)
54,89	Bednářová et al. (2014)
65,60	Azagoh et al. (2016)
68,10	Rumbos et al. (2020)

3.2.4.2.1 Aminokyseliny

Kvalitu bílkovin lze posuzovat podle aminokyselinového spektra, tedy dle toho, v jakém poměru jsou jednotlivé aminokyseliny zastoupeny (Selaledi et al. 2020). V Tabulce 6 jsou porovnány obsahy aminokyselin u vzorků larev potměníka moučného s obsahy aminokyselin u hovězího a telecího masa, ryb a korýšů. Dle těchto dat larvy převážně obsahují větší množství aminokyselin než porovnávané živočišné zdroje bílkovin.

Tabulka 6 Porovnání průměrného obsah aminokyselin v larvách potměníka moučného a konvenčních zdrojích bílkovin (g/100 g)

	Larvy <i>T. molitor</i>	Hovězí a telecí	Ryby	Korýši
Fenylalanin*	2,09	0,78	0,74	0,65
Histidin*	1,70	0,60	0,67	0,30
Isoleucin*	2,39	0,85	0,90	0,75
Leucin*	4,13	1,44	1,45	1,39
Lysin*	3,30	1,57	1,71	1,26
Methionin*	0,65	0,48	0,54	0,47
Threonin*	2,35	0,81	0,86	0,73
Tryptofan*	0,67	-	-	-
Valin*	3,42	0,89	1,15	0,77
Alanin	4,11	1,03	1,13	1,07
Arginin	3,04	1,12	1,07	1,33
Asparagová kyselina	4,90	1,59	1,95	1,73
Cystin	-	0,23	0,22	0,20
Cystein + cystin	0,42	-	-	-
Glutamová kyselina	6,64	2,70	2,66	2,50
Glycin	2,99	0,86	0,91	1,04
Prolin	3,83	0,67	0,69	0,70
Serin	2,67	0,71	0,82	0,82
Tyrosin	4,04	0,64	0,69	0,58

*esenciální AMK,

Zdroj: (EFSA NDA Panel 2021)

Larvy potměníka moučného jsou nicméně dostatečně bohaté na esenciální aminokyseliny (Zielińska et al. 2015). Toto tvrzení potvrzují i hodnoty larev *T. molitor* v Tabulce 7, ze které je zřejmé, že larvy potměníka moučného ve většině případů splňují požadavky WHO na obsah aminokyselin v bílkovinách. Výjimkou je methionin, který byl u larev ve studii Azagoh et al. (2016) zastoupen v nedostatečném množství. Ve studii Zhao et al. (2016) byl obsah sirných aminokyselin (methionin + cystein) v larvách těsně pod požadovanou hodnotou.

Tabulka 7 Porovnání obsahu esenciálních aminokyselin v larvách potměníka moučného s doporučením WHO (mg/g proteinu)

	Doporučení WHO (2007)	Larvy <i>T. molitor</i> (Zhao et al. 2016)	Larvy <i>T. molitor</i> (Azagoh et al. 2016)
Histidin	15	24	25
Isoleucin	30	51	35
Leucin	59	83	62
Lysin	45	59	54
Methionin + cystein	22	21	-
<i>Methionin</i>	16	-	7
<i>Cystein</i>	6	-	6 (cystein+cystin)
Fenylalanin + tyrosin	38	109	70
Threonin	23	37	32
Tryptofan	6	-	12
Valin	39	66	54

3.2.4.2.2 Purinové látky

Puriny jsou části nukleových kyselin, nukleotidů a volných bází. Mezi puriny se řadí adenin, guanin, xanthin a hypoxanthin. Lidé se dnou by měli omezit příjem purinů na maximálně 400 mg/den. Běžné potraviny bohaté na puriny jsou maso, vnitřnosti, ryby a mořské plody. Puriny jsou obsaženy také v jedlém hmyzu (Sabolová et al. 2023). Sabolová et al. (2023) ve vzorcích *T. molitor* naměřili 339 mg/100 g sušiny, Bednářová et al. (2014) naměřili 911 mg/100 g sušiny.

Obsah purinů se může měnit v závislosti na kulinární úpravě. Ve studii Sabolová et al. (2023) kulinární úprava ovlivnila obsah adeninu, guaninu, xanthinu a hypoxanthinu. V Tabulce 8 jsou uvedeny celkové obsahy purinových látek v hmyzu po vybraných kulinárních úpravách. Potměník moučný bez úpravy sice obsahoval nejvíce purinů v porovnání s cvrčkou (*Gryllus assimilis* a *A. domesticus*), nicméně při všech způsobech kulinární úpravy došlo ke snížení obsahu purinů. Z výsledků můžeme vidět, že dochází k rozdílům nejen mezi typy kulinárních úprav, ale i mezi jednotlivými druhy hmyzu, protože u obou druhů cvrčků (*G. assimilis* a *A. domesticus*) naopak došlo ke zvýšení obsahu purinů v sušině.

Tabulka 8 Obsah purinových látek (adeninu, guaninu, xanthinu, hypoxanthinu) u různých druhů jedlého hmyzu v závislosti na kulinární úpravě (g/kg sušiny)

Kulinární úprava	<i>T. molitor</i>	<i>A. domesticus</i>	<i>G. assimilis</i>
Bez úpravy	3,39	2,70	3,15
Blanširování a pražení	2,23	2,75	3,37
Vaření ve vodě (30 minut)	3,36	3,57	5,17
Pečení (180 °C 5 minut + 160 °C 15 minut)	2,32	3,50	4,37

Zdroj: Sabolová et al. (2023)

Kyselina močová je produktem metabolismu purinů. U potemníka byl obsah kyseliny močové nižší ($0,7 \pm 0,02$ g/kg sušiny) než tomu bylo u cvrčků (*A. domesticus* $4,83 \pm 0,09$ g/kg sušiny, *G. Assimilis* $3,9 \pm 0,18$ g/kg sušiny). U potemníka se obsah kyseliny močové snížil u všech typů kulinární úpravy. Obsah kyseliny močové byl nejvíce snížen vařením po dobu 30 minut u všech 3 druhů hmyzu. U cvrčků docházelo i ke zvýšení obsahu kyseliny močové. Při pečení při 180 °C obsah kyseliny močové vzrostl o 56 % u *A. domesticus* a o 33 % u *G. assimilis* (Sabolová et al. 2023).

3.2.4.3 Sacharidy

Přestože sacharidy bývají hlavní složkou většiny potravin, u živočišných zdrojů, tedy i u jedlého hmyzu, jsou zastoupeny v malém množství (Ooninex & Finke 2021; Son et al. 2021a). Zielińska et al. (2015) stanovili v larvách 2,2 % sacharidů v sušině. Errico et al. (2022) zmiňují rozpětí 9,32–11,77 % sušiny. Martins da Silva et al. (2024) u svých vzorků larev naměřili 11,4 a 12,4 % sušiny. Ve studii (Son et al. 2021a) bylo stanoveno 11,45 % sacharidů v sušených larvách. Syrové larvy obsahovaly 12 mg glukózy/100 g, což je nižší hodnota než je množství glukózy v rybách (18–72 mg/100 g). V kuřecích prsou je zhruba čtyřnásobně více glukózy, u vepřového masa až šestnáctkrát více než v larvách. Volné cukry souvisí se sladkou chutí. V larvách byl stanoven celkový obsah volných cukrů (glukóza, fruktóza, sacharóza) 120,8 mg/100 g sušiny, což je hodnota velmi nízká na to, aby došlo k ovlivnění chuti.

3.2.4.3.1 Vlákna (chitin a chitosan)

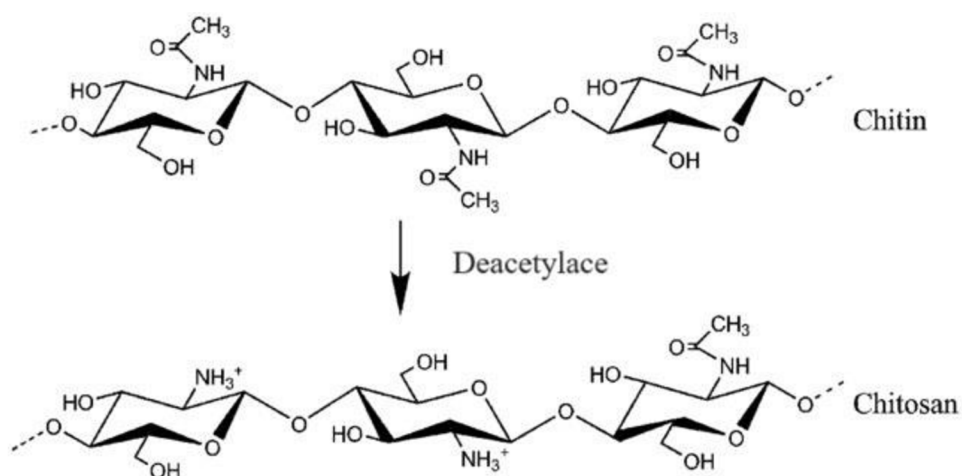
Hmyz obsahuje významné množství vlákniny (van Huis et al. 2013). Jak lze vidět v Tabulce 9, hmyz oproti jiným bílkovinným zdrojům potravy v obsahu vlákniny vyniká. Rostlinné zdroje bílkovin obvykle obsahují vlákninu, ale živočišné zdroje nikoliv. Obsah vlákniny v hmyzu je jeho další výhodou ve srovnání s masem.

Tabulka 9 Obsah vlákniny v larvách potměníka moučného a ve vybraných potravinách

Surovina/potravina	Obsah vlákniny (g/100 g)
Hmyz	4,9–12,1
Oves	10,1
Hrách (vařený)	5,5
Fazole (vařené)	2,9
Salát	1,3
Sójový nápoj	0,6
Živočišné produkty (vejce, kuřecí maso, hovězí maso, ryby)	0,0

Zdroj: Williams et al. (2016)

Převážná část vlákniny je tvořena chitinem – nestravitelným aminopolysacharidem podporujícím imunitní systém. Chitin je obsažen v kutikule potměníků (Hong et al. 2020). Tento polysacharid je významným zdrojem vlákniny a působí jako prebiotikum. Podporuje růst užitečných střevních bakterií (především rodů *Lactobacillus* a *Bifidobacterium*) a potlačuje růst patogenních bakterií (např. *E. coli*) (Imathiu 2020). Chitin a jeho derivát chitosan jsou hlavními složkami sacharidů obsažených v moučných červech (Son et al. 2021). Chitin by měl mít stupeň acetylace větší než 50 %, chitosan naopak menší než 50 % (Errico et al. 2022). Jak lze vidět na Obrázku 2, chitosan vzniká deacetylací chitinu. Obsah chitinu se může lišit v různých vývojových stádiích. U larev bývá obsah chitinu v rozmezí 4,92–13,0 g/100 g, chitosanu obsahují okolo 1,16 g/100 g (Hong et al. 2020).

**Obrázek 2** Chitin a chitosan – strukturní vzorce

Zdroj: Nilsen-Nygaard et al. (2015) – přeloženo

Chitin a chitosan vykazují funkční aktivitu (antimikrobiální, antioxidační, protinádorové účinky), a proto jsou využívány v chemickém, farmaceutickém, textilním a potravinářském průmyslu, v medicíně, zemědělství, biotechnologii a kosmetice. V současnosti jsou chitin a chitosan komerčně produkovány především v Austrálii, Japonsku, USA, Indii, Polsku a Norsku. Prodávány jsou ve formě prášku nebo vloček (Errico et al. 2022). Chitosan z potměníka má velmi dobré protizánětlivé účinky (Son et al. 2021). Chitin může způsobovat zažívací obtíže z důvodu nedostatku chitinázy v žaludečních šťávách. Tento nedostatek může nastat u konzumentů ze zemí, ve kterých se v běžné stravě nevyskytují potraviny s obsahem chitinu. Možným řešením těchto problémů by bylo odstraňování chitinu z hmyzu, čímž by se zlepšila i stravitelnost jeho bílkovin (de Carvalho et al. 2020)

I přes veškeré zmíněné výhody chitinu může být chitin vnímán jako antinutriční faktor, protože i jako jiné druhy vlákniny může ovlivnit biologickou dostupnost minerálních látek (van Huis & Rumpold 2023).

3.2.4.4 Minerální látky a vitaminy

Minerální látky jsou děleny na makro prvky (Ca, Mg, K, Na, P, S), které jsou pro člověka potřeba ve vyšším množství (> 100 mg/den), a mikro prvky (Fe, Cu, Zn, Mn a další), které jsou potřeba v menší míře (< 100 mg/den) (Farag et al. 2023). Další dělení, vyplývající z potřeby pro fyziologické fungování živých organismů, je na prvky esenciální (Ca, Mg, Fe, Zn, K) a neesenciální (As, Hg, Pb, Cd, Cr). Hladiny esenciálních prvků bývají v organismu relativně stabilní, ale pokud dojde k nestabilitě či nedostatku, mohou být narušeny fyziologické funkce organismu. S ohledem na obsah esenciálních minerálních látek a doporučeným denním příjmem pro dospělé jsou larvy *T. molitor* jedním z nejvíce nutričně hodnotným druhem hmyzu. Vysoké dávky některých minerálních látek mohou působit na organismus toxicky. Jedná se především o těžké kovy (As, Hg, Pb, Cd, Cr) (Lu et al. 2024).

Minerální látky nejsou syntetizovány v těle, a proto je obsah minerálních látek závislý na složení krmiva hmyzu, ekologických a geografických faktorech (Lu et al. 2024; Govorushko 2019; Meyer-Rochow et al. 2021). Míra akumulace minerálních látek závisí na prvku, druhu hmyzu i růstové fázi. Obsah esenciálních prvků bývá vyšší u larev než u dospělců. Zpracování jedlého hmyzu a balení může také změnit obsah nebo dostupnost minerálních látek (Lu et al. 2024). Obsahy vybraných minerálních látek v larvách potměníka jsou uvedeny v Tabulce 10, na kterých lze vidět, že se množství minerálních látek může lišit u jednotlivých chovů. Larvy potměníka moučného jsou dobrým zdrojem fosforu, jehož obsah se pohybuje v rozmezí 0,7–

1,04 % sušiny (Ghosh et al. 2017; Hong et al. 2020). Vápník je obsažen v rozmezí 0,04–0,50 % sušiny, sodík 0,21–0,36 % sušiny, draslík 0,85–1,12 % sušiny, železo 63,00–10,02 % sušiny, zinek 10,20–11,74 % sušiny, měď 1,23–2,00 % sušiny (Hong et al. 2020). Ve srovnání s živočišnými zdroji bílkovin larvy potemníka obsahují více minerálních látek (Tabulka 10).

Ve studii Lu et al. (2024) byl obsah těžkých kovů (As, Cd, Pb, Hg) u larev *T. molitor* pod hodnotami maximálních limitů, lze je považovat za bezpečné pro konzumaci. Potenciální riziko zde však stále existuje a je důležité obsahu těžkých kovů v hmyzu dále věnovat pozornost. U moučných červů část kadmia proniká střevním epitelem přes vápenaté kanály a dostává se tak do dalších tkání. Většina kadmia je však vázaná ve střevním epitelu. Epiteliální buňky střeva červů mají životnost zhruba 4 dny a poté je vázané Cd uvolněno a vyloučeno stolicí (Lu et al. 2024).

Tabulka 10 Obsah minerálních látek v larvách potemníka moučného (TM) a živočišných produktech (mg/100 g sušiny)

Prvek	TM ^a	TM ^b	TM ^c	Hovězí ^a	Vepřové ^a	Kuřecí ^a	Vejsce ^a	Losos ^a
Na	53,7	125,4	108,8	57,0	58,0	60,0	142,0	44,0
K	341,0	761,5	737,0	246,0	297,0	522,0	138,0	490,0
Ca	16,9	47,2	78,4	7,0	14,0	6,0	56,0	12,0
P	285,0	697,4	1039,2	122,0	181,0	178,0	198,0	200,0
Fe	2,1	5,5	10,0	1,7	0,9	0,8	1,8	0,8
Mg	80,1	221,5	315,2	17,0	20,0	21,0	12,0	29,0
Zn	5,2	-	11,7	3,6	2,3	1,5	1,3	0,6

Zdroj: a) Williams et al. (2016), b) da Silva Lucas et al. (2020), c) Ghosh et al. (2017)

Obsah vitaminů je ovlivněn složením krmiva hmyzu (Govorushko 2019). V moučných červech byl zjištěn obsah vitaminů D2 (<0,25 µg/100 g), D3 (0,99 µg/100 g), B12 (0,05 µg/100 g), B2 (1,06 mg/100 g) a B5 (5,33 mg/100 g) (EFSA NDA Panel 2021). V literatuře je také zmíněn obsah vitaminu C v množství 3,15–36,10 mg/100 g sušiny (Rumpold & Schlüter 2013). V Tabulce 11 je porovnání obsahu vitaminů larev potemníka moučného s konvenčními druhy živočišných zdrojů potravy.

Tabulka 11 Obsah vitaminů v larvách potměníka moučného (TM) a živočišných produktech ve 100 g

Vitamin	TM	Hovězí	Vepřové	Kuřecí	Vežce	Losos	Mléko
Vitamin A (μg)	-	-	2,00	-	160,00	12,00	31,00
Vitamin B1 (mg)	0,24	0,06	0,56	0,11	0,04	0,23	0,04
Vitamin B2 (mg)	0,81	0,23	0,21	0,24	0,46	0,38	0,16
Vitamin B3 (mg)	4,07	4,21	3,96	5,58	0,08	7,86	0,08
Vitamin B5 (mg)	2,62	-	0,61	1,09	1,53	1,67	0,31
Vitamin B6 (mg)	0,81	0,24	0,35	0,51	0,17	0,82	0,04
Vitamin B9 (mg)	0,16	7,00	5,00	-	-	-	-
Vitamin B12 (μg)	470,00	1910,00	640,00	560,00	890,00	3,18	0,36

Zdroj: Williams et al. (2016)

3.2.4.5 Vliv složení krmiva na nutriční hodnotu larev potměníka moučného

Přestože strava na bázi obilovin nijak nemění nutriční hodnotu, strava obohacená o nenasycené mastné kyseliny pozitivně ovlivňuje skladbu mastných kyselin u potměníka (Hong et al. 2020). Při krmení celozrnnou moučkou obohacenou o semínka (např. chia, lněné, konopné) obsahovaly larvy více n-3 mastných kyselin a došlo ke zlepšení poměru n-3 a n-6 mastných kyselin (Gkinali et al. 2022). Krmení potměníků rostlinným odpadem vedlo ke zvýšení obsahu bílkovin a snížení obsahu tuků v porovnání s krmením obilovinami (Hong et al. 2020).

Použití pivovarského mláta pro výživu larev se projevilo rychlejším růstem a zvýšeným obsahem hrubých bílkovin a sacharidů. Když bylo jako krmivo použito pivovarské mláto (sušina 94,81 %) nebo chléb (sušina 97,09 %), byla sušina larev nižší (33,33 %; 32,62 %), než když byly použity výhradně běžně dostupné sušenky (sušina sušenek 99,99 %, sušina larev 35,55 %). Krmením sušenkami ale došlo ke zpomalení růstu larev (Mancini et al. 2019b).

Alves et al. (2016) dosáhli krmením směsí PSB s obsahem bocaiuvy *Acrocomia aculeata* [50 % kontrolní směsi (50 % pšeničná mouka – P, 50 % sójová mouka - S), 50 % mouka z dužiny bocaiuvy - B] dobrých nutričních hodnot larev. Bocaiuva je palma, jejíž plody jsou vysoce nutričně hodnotné a díky vysokému obsahu mastných kyselin a karotenoidů má protizánětlivé účinky. Cílem použití bocaiuvy bylo zvýšení koncentrace nenasycených mastných kyselin v larvách. Larvy krmené zmíněnou směsí obsahovaly 40,45 % tuků a 44,83 % bílkovin. Larvy krmené pouze kontrolní směsí PS (pšeničná a sójová mouka) obsahovaly více

bílkovin (39,50 % tuků, 50,07 % bílkovin). Oběma typy stravy bylo především dosaženo vysokého obsahu nenasycených mastných kyselin (PSB 65,99 %; PS 66,28 %). V porovnání s hovězím a vepřovým masem (2,0 %; 1,12 %) obsahovaly larvy méně α -linolenové kyseliny (0,18 %; 0,23 %) a naopak obsah linolové kyseliny byl mnohonásobně vyšší u larev (11,45 %; 10,78 %) než u konvenčních druhů masa (2,0 %; 0,0 %). Další 2 použité směsi v experimentu byly složené z (A) 50 % kontrolní směsi, 50 % mletých jader bocaiuvy a (B) 50 % mouky z dužiny bocaiuvy, 50 % mletých jader bocaiuvy. Tyto směsi obsahovaly vysoké množství tuku, v jehož důsledku došlo k úhynu dospělců potemníků. Vysoký obsah oleje podporoval shlukování substrátu, což bránilo provzdušňování a pohybu hmyzu. Nicméně výsledky naznačují, že bocaiuva by mohla být vhodným alternativním doplňkem krmných směsí potemníků moučných i přesto, že nebylo dosaženo zvýšení obsahu nenasycených mastných kyselin (Alves et al. 2016).

Wang et al. (2022) ve své studii pozorovali vliv zeleného čaje ve stravě potemníků. Mletý zelený čaj byl v různém poměru kombinován s práškem z pšeničných otrub. Potemníci se stravou bez zeleného čaje sice rostli nejrychleji, ale u potemníků se zeleným čajem ve stravě byly změřeny obsahy polyfenolů z čaje již po 10 dnech. Potemníci, u kterých tvořil zelený čaj 50 a 80 % stravy, obsahovali více bílkovin (52,64 %; 52,33 %) než potemníci bez zeleného čaje ve stravě (49,2 %). Strava s obsahem zeleného čaje neměla významný vliv na celkový obsah tuků, ale příznivě ovlivnila zastoupení jednotlivých mastných kyselin. Došlo ke snížení obsahu nenasycených mastných kyselin a ke zvýšení α -linolenové a olejové kyseliny (Wang et al. 2022).

Caparros Megido et al. (2018) ve své studii porovnávali nutriční hodnoty syrových, vakuově vařených, smažených, pečených v troubě (15 a 30 minut) a vařených larev potemníka moučného. Sušina byla nejnižší v syrových, vakuově vařených a ve vodě vařených moučných červech a nejvyšší ve smažených na pánvi. Obsah bílkovin byl nižší u smažených moučných červů než u ostatních úprav. Bílkoviny syrových a smažených červů byly méně stravitelné než u ostatních vzorků. U smažených vzorků je to vysvětlitelné tím, že při smažení dochází k oxidaci lipidů a produkty této oxidace tvoří komplexy s bílkoviny, čímž se mění chemické složení, struktura a funkce bílkovin. Tyto komplexy jsou méně náchylné k enzymatické proteolýze. Ostatní kulinářské úpravy zlepšily stravitelnost bílkovin. S opačnými výsledky přišli (Poelaert et al. 2016). Ti ale používali vyšší teploty po delší dobu, což mohlo vést ke zvýšení tvorby disulfidových vazeb a oxidaci bílkovin. Těmito procesy dochází k agregaci bílkovin a snižuje se biologická dostupnost míst, ve kterých dochází ke enzymatickému štěpení (Caparros Megido et al. 2018).

Langston et al. (2023) hodnotili 7 substrátů pro chov larev potemníků (sójová moučka, psí granule, pšeničné otruby, pšeničná mouka, kukuřičná mouka, ovesné vločky, vojtěškové peletky). Sójová mouka a psí granule byly nevhodnými substráty a byly vyřazeny z experimentu. Neúspěch u těchto substrátů mohl být způsoben příliš vysokým obsahem bílkovin a nedostatkem sacharidů u sójové moučky a obsahem aditiv, jako jsou oleje, ochucovadla a konzervanty u psích granulí. Psí granule jsou také nevhodným substrátem z ekonomické stránky, protože jsou dvakrát dražší než pšeničná mouka. Přestože se sójová moučka neosvědčila jako samostatné krmivo, při smíchání s jiným sacharidovým substrátem zlepšuje hmotnost moučných červů. Jedinci krmení pšeničnými otrubami byli nejtěžší (průměr 0,11 g/jedinec), kdežto na ostatních substrátech se průměrná hmotnost pohybovala od 0,02 g (krmení pšeničnou moukou) do 0,10 g (krmení ovsem). Dospělé samičky krmené pšeničnými otrubami byly nejplodnější. U pšeničných otrub byla i nejnižší cena (0,02 \$) za substrát pro získání 1 gramu moučných červů (Langston et al. 2023).

Rumbos et al. (2020) pozorovali, jaký je obsah bílkovin u larev potemníků, které byly krmeny různými substráty. Nejnižšího obsahu bílkovin bylo dosaženo při krmení substrátem na bázi mléka, nejvyšší obsah bílkovin byl zjištěn u larev krmených moukou z tvrdé pšenice. Nicméně bylo zjištěno, že mezi obsahem bílkovin v substrátu a obsahem v larvách není silná korelace (Rumbos et al. 2020).

Krmivo ovlivňuje i obsah minerálních látek v larvách. Obsah mědi a zinku byl vyšší u larev krmených pšeničnými otrubami než u larev krmených ovesnými otrubami (Lu et al. 2024).

Pro transport ryb do továren na výrobu rybí moučky se ročně použijí velké objemy vody, které jsou při transportu kontaminovány. Pro úpravu této kontaminované vody se běžně používají koagulanty a flokulanty. Při této úpravě vzniká zbytkový kal a voda, která je vypuštěna zpět do moře. Alternativní metodou je elektrokoagulace, kdy se používá elektroda (nejčastěji z hliníku, železa) pro odstranění organických a anorganických pevných látek. Tento proces je vysoce účinný a není nákladný. Vzniklý kal dále putuje na skládku, což může mít dopady na životní prostředí. Nabízí se alternativní řešení - využití kalu jako složky krmiva. Před tímto použitím musí být kal upraven (centrifugace, sušení, mletí, prosévání) a následně fermentován nebo hydrolyzován, aby byla zvýšena biologická dostupnost živin. Larvy krmené směsí s obsahem upraveného kalu rychleji rostly, ale obsahovaly méně bílkovin (47,2–50 % sušiny) než larvy živené kontrolní dietou bez obsahu upraveného kalu (56,2 %) (Aguilar-Ascón et al. 2023).

3.2.4.6 Antinutriční látky a metody jejich stanovení

Antinutriční látky jsou látky přirozeně se vyskytující v potravinách, které inhibují příjem živin a jejich vstřebávání a využívání. Vyskytují se především v potravinách rostlinného původu, ale byly detekovány i v hmyzu (Imathiu 2020; Imathiu 2020).

Mezi antinutriční látky, které se mohou vyskytovat v potměnicích, se řadí taniny a fytoová kyselina (Chakravorty et al. 2016). Dále mezi antinutriční látky spadají fytáty, oxaláty a thiamináza. Je důležité rozlišovat, zda jsou antinutriční látky syntetizovány v těle, nebo přijímány ze stravy či okolního prostředí (Raheem et al. 2019).

Taniny neboli třísloviny jsou velkou skupinou polyfenolů. Jsou to sekundární metabolity rostlin s charakteristickým zápachem a svíravou chutí. Jelikož tvoří komplexy se železem a zabraňují tak jeho vstřebávání ve střevě, jsou řazeny mezi antinutriční látky. Mají nicméně i antioxidační a protizánětlivé účinky. Taniny mají velký potenciál zdravotních přínosů u člověka, a proto by mohly být používány jako nutraceutika (Molino et al. 2023).

Fytoová kyselina se hojně vyskytuje v rostlinných potravinách. Způsobuje chelataci minerálních látek a bílkovin a narušuje jejich vstřebávání. Fytoová kyselina může být také prospěšná a může působit antioxidačně a preventivně proti rozvoji diabetu 2. typu a nádorovým onemocněním. Používá se také jako konzervant (Chen & Xu 2023).

Fytáty se nacházejí především v obilovinách, luštěninách, ořeších a semenech. Řadí se mezi antinutrienty, protože v kyselém prostředí žaludku vážou dvojmocné kationty (Zn, Fe, Ca) a snižují tak jejich biologickou dostupnost ve trávicím traktu. Komplexy mohou fytáty tvořit i s proteiny. Proti inhibičním účinkům fytátů působí vitamin C. Při pravidelné konzumaci potravin bohatých na fytáty se zvyšuje potenciál střevní mikrobioty odbourávat fytáty. Tento jev se nazývá fytátová adaptace. Fytáty mají také antioxidační aktivitu, působí neuroprotektivně a ze studií na zvířatech vyplývá, že mohou snižovat toxicitu způsobenou volnými radikály či oxidační stres způsobený chemickými látkami (např. aflatoxin B1) (López-Moreno et al. 2022).

Oxaláty jsou skupinou sloučenin obsažených v zelenině (např. špenát, řepa, rebarbora), které tvoří soli vazbou na minerály (Na, K, Ca, Fe, Zn). Konzumace oxalátů je spojena s rizikem vzniku ledvinových kamenů. Oxaláty pravděpodobně nemají žádné pozitivní účinky, ale jsou obsaženy v potravinách, které jsou celkově prospěšné pro zdraví (López-Moreno et al. 2022).

Oibiokpa (2017) při studii v Nigérii zjistil přítomnost kyanogenních glykosidů, taninů, oxalátů, fytátů a saponinů u vybraných druhů jedlého hmyzu. Pro stanovení kyanogenních glykosidů byla použita metoda s alkalickým pikrátem. Tato spektrofotometrická metoda je

založena na měření absorbance roztoku při 490 nm. Červenohnědý roztok je získán smícháním filtrátu (1 ml) a alkalického pikrátu (přídavek 4 ml k filtrátu) a následnou pětiminutovou inkubací. Filtrát je získáván extrakcí vzorku jedlého hmyzu v destilované vodě a následnou filtrací. Obsah kyanidu je po změření absorbance roztoku odečítán z kalibrační křivky. Fytáty byly stanoveny titračně. Taniny byly stanoveny za použití Folin-Denisovy metody (Oibiokpa 2017). Tato metoda je hojně využívána pro analýzu především rostlinných materiálů. V alkalickém prostředí dochází k redukci Folinova činidla (fosfomolybden-fosfowolframová kyselina). Pokud jsou přítomné fenolové sloučeniny, mezi které se řadí taniny, vzniká modře zbarvený komplex (Nacz & Shahidi 2004). Alkalické prostředí bylo zajištěno přídavkem Na_2CO_3 (Oibiokpa 2017). Přítomnost taninů ve vzorku lze zjistit přidáním 1% roztoku chloridu železitého k extraktu ze vzorku v poměru 1:2. Modrozelené zbarvení roztoku dokazuje přítomnost taninů (Kunatsa et al. 2020). Ke stanovení oxalátů byla použita titrační metoda, kterou popsali Day a Undrewood (1986). V této metodě byl vzorek smíchán s kyselinou sírovou, po hodině stání zfiltrován a filtrát titrován roztokem manganistanu draselného. Výpočtem byl zjištěn obsah oxalátů ve vzorku. Modifikovanou gravimetrickou metodu AOAC (1984) využili ke stanovení saponinů. Tato metoda je kombinací dvou extrakcí (Soxhletův extraktor, extrakce metanolem a následná destilace) a celkové množství saponinů odpovídalo rozdílu mezi počátečním a finálním vážením (Oibiokpa 2017).

Antinutrienty v larvách potměníka moučného byly stanoveny také v rámci posouzení bezpečnosti použití larev jako nové potraviny úřadem EFSA. Pro stanovení šťavelové kyseliny byla použita iontová chromatografie s vodivostním detektorem. Kyanovodík byl stanoven headspace plynovou chromatografií s dusíko-fosforovým detektorem (NPD). Celkový obsah polyfenolů byl analyzován spektrofotometricky (EFSA NDA Panel 2021). Fytáty byly stanoveny jako anorganický fosfát po kyselé hydrolyze sraženiny železité soli (Ellis et al. 1977; EFSA NDA Panel 2021)

3.2.4.7 Bioaktivní molekuly

Antimikrobiální aktivita

Antimikrobiální peptidy jsou ribozomálně syntetizované polypeptidy, které jsou obsaženy v hemolymfě hmyzu (Errico et al. 2022; da Silva Lucas et al. 2020). Skládají se z 30 až 60 aminokyselin a jsou termostabilní (100 °C, 15 minut) (da Silva Lucas et al. 2020). Tyto peptidy prokazují antimikrobiální aktivitu proti bakteriím, virům, protozoa i houbám a účastní se humorální obrany hmyzu. Defensiny působí proti grampozitivním bakteriím, diptericy, a

attaciny, cekropiny a drosociny proti gramnegativním bakteriím a drosomyciny proti plísním (Errico et al. 2022).

Antitrombotická aktivita

Z potemníka moučného lze izolovat proteolytické peptidy vykazující antitrombotickou aktivitu. Jedná se o potenciální nový typ antitrombotik (Errico et al. 2022).

Anti-ACE aktivita

ACE neboli angiotensin konvertující enzym je glykoprotein hrající hlavní roli v regulaci krevního tlaku. ACE přeměňuje angiotensin na silný vazopresor angiotensin II. Při léčbě hypertenze se používají peptidy nebo enzymy inhibičně působící na ACE, a tím je krevní tlak snižován (da Silva Lucas et al. 2020; Errico et al. 2022). Tyto peptidy a enzymy byly identifikovány v potravinách rostlinného i živočišného původu, a proto byly studovány a identifikovány i v jedlém hmyzu (Errico et al. 2022). Z potemníka byly hydrolýzou za použití alkalázy získány peptidy Tyr-Ala-Asn s ACE inhibiční aktivitou (Dai et al. 2013).

Antidiabetická aktivita

V potemnicích byly identifikovány peptidy s antidiabetickou aktivitou, které lze považovat za přírodní alternativy v léčbě diabetu 2. typu. Tyto peptidy jsou schopny inhibovat aktivitu enzymů zapojených do metabolismu sacharidů, jejichž působením je ovlivňována hladina glukózy v krvi a snižována inzulínová rezistence. Dle enzymu je lze rozdělit na inhibitory α -amylázy a α -glukosidázy, agonisty receptoru GLP-1 (glukagon like peptid-1) a inhibitory DPP-IV (dipeptidylpeptidáza 4). Díky těmto vlastnostem by tyto peptidy mohly být použity jako ingredience do funkčních potravin regulujících glykemický index (Errico et al. 2022).

Antioxidační a protizánětlivá aktivita

Kyslík je pro život nezbytně důležitým prvkem, zároveň ale v metabolismu vznikají jeho reaktivní formy (superoxidový anion, peroxid vodíku, hydroxylový radikál) (da Silva Lucas et al. 2020). Nerovnováha mezi produkcí a odstraňováním těchto reaktivních forem kyslíku se označuje jako oxidační stres (Errico et al. 2022). Oxidační stres je dáván do souvislosti s toxickými procesy, které mohou vést k závažným onemocněním (kardiovaskulární choroby, nádorová onemocnění, neurodegenerativní onemocnění a další) (da Silva Lucas et al. 2020; Errico et al. 2022). Jedlý hmyz, zejména právě *T. molitor*, obsahuje peptidy a bílkoviny s antioxidační aktivitou, která je relativně vyšší než u antioxidantů z jiných potravinových zdrojů (Errico et al. 2022).

Hepatoprotektivní aktivita

Z potměnků byly získány bílkovinné hydrolyzáty bohaté na peptidy s nízkou molekulovou hmotností, které u myši vykazovaly ochrannou aktivitu proti cytotoxickému působení peroxidu vodíku v hepatocytech. Nadměrný oxidační stres v játrech bývá spojován s jaterním selháním, které je často smrtelné. Právě tyto zmíněné peptidy jsou potenciálními zdroji přirozených hepatoprotektivních látek (Errico et al. 2022).

Kryoprotektivní aktivita

Nemrznoucí neboli kryoprotektivní proteiny jsou substance obsažené v rybách, rostlinách, mikroorganismech, houbách, ale i v hmyzu. Zmíněné látky chrání tyto organismy před působením mrazu. Hmyzí proteiny jsou z doposud popsanych kryoprotektivních proteinů nejaktivnější. Tyto látky by mohly najít uplatnění v potravinářském průmyslu, zemědělství či medicíně (Białkowska et al. 2020).

3.2.5 Porovnání nutričních hodnot s živočišnými zdroji potravy

V Tabulce 12 lze vidět, že larvy potemníka moučného ve srovnání s ostatními živočišnými potravinami obsahují více tuku. Výjimkou mohou být některé druhy sýru, uzeniny či tučné části masa. Larvy obsahují v mnoha případech více než dvojnásobné množství bílkovin. V porovnání s mlékem či jogurtem je to až 17× více. Dále je z tabulky patrné, že v larvách je výrazně vyšší obsah bílkovin.

Tabulka 12 Nutriční hodnota larev potemníka moučného a živočišných potravin

Surovina/potravina	Bílkoviny g/100 g	Tuk g/100 g
Larvy <i>Tenebrio molitor</i> (sušené) ^a	58,4	22,3
Larvy <i>Tenebrio molitor</i> (syrové) ^b	49,1	35,0
Slepičí vejce (syrové) ^c	12,5	9,2
Kuřecí prsa bez kůže (syrové) ^c	23,1	0,7
Vepřová kýta (syrové) ^c	21,0	3,2
Vepřový bok (syrový) ^c	14,5	29,7
Hovězí roštěnec (syrový) ^c	21,3	4,2
Salám lovecký (fermentovaný) ^c	27,4	35,4
Losos filet (syrový) ^c	22,1	7,8
Mléko plnotučné ^c	3,3	3,4
Jogurt bílý ^c	4,5	3,5
Tvaroh polotučný ^c	12,9	4,7
Hermelín 50 % t.v.s. ^c	22,4	22,3
Eidam 30 % t.v.s. ^c	28,9	16,0

Zdroj: a) EFSA NDA Panel (2021), b) Williams et al. (2016), c) ÚZEI (2020)

3.2.6 Porovnání nutričních hodnot s rostlinnými zdroji potravy

Rostlinná strava se v posledních letech stává populární. Rostlinné bílkoviny však mívají horší nutriční kvalitu než živočišné bílkoviny z důvodu deficitu některých esenciálních aminokyselin. U obilovin bývá deficit lysinu, na který jsou naopak bohaté luštěniny. U nich bývá v deficitním množství methionin, cystein a tryptofan. V luštěninách jsou obsaženy také antinutriční faktory (inhibitory proteáz, polyfenoly, fytáty, neškrobové polysacharidy), které negativně ovlivňují kvalitu a vstřebávání bílkovin. Větší pozornost se také dostává pseudocereáliím (quinoa, amarant), které jsou zdrojem kvalitních bílkovin s dobrým aminokyselinovým profilem a jsou bohaté především na lysin, a proto mohou být vhodné v kombinaci s obilninami (Sá et al. 2020). Jak lze vidět v Tabulce 13, oproti larvám potemníka

mají rostlinné potraviny zpravidla vysoké zastoupení sacharidů. Obsah tuku a bílkovin u rostlinných potravin bývá oproti larvám v nižším zastoupení.

Tabulka 13 Nutriční hodnota larev potemníka moučného a rostlinných potravin bohatých na bílkoviny (g/100 g)

Surovina/potravina	Bílkoviny	Tuk	Sacharidy
<i>Tenebrio molitor</i> ^a	55,9	28,9	6,2
Amarant (<i>Amaranthum</i>) ^b	14,5	7,2	50,7
Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>) ^b	12,4	6,1	54,1
Sója (<i>Glycine max</i>) ^b	34,2	20,4	12,3
Fazole červené (<i>Phaseolus vulgaris</i>) ^b	18,6	1,7	28,0
Cizrna (<i>Cicer arietinum</i>) ^b	20,0	5,8	27,2
Pohanka (<i>Fagopyrum esculentum</i>) ^b	13,1	2,9	62,7
Hrách (<i>Pisum sativum</i>) ^b	6,5	0,4	8,6
Tofu ^b	7,8	4,2	1,2
Brokolice ^b	4,4	0,3	2,0

Zdroj: a) Nikolić & Tepavčević (2023), b) ÚZEI (2020)

3.2.7 Potemník moučný jako krmivo

Roční světová produkce krmných směsí dle odhadů převyšuje miliardu tun. Hlavní složkou těchto krmných směsí jsou obilniny (kukuřice, oves, ječmen) či luštěniny (sója). Zhruba třetina vyprodukovaných obilovin a 85 % vypěstované sóji má využití jako krmivo (Sogari et al. 2023a). Ceny konvenčních krmiv z důvodů rostoucí populace a vyšší poptávky v posledních letech vzrůstají, a proto je důležité najít alternativní zdroje bílkovin. Potemník moučný by mohl nahradit současné zdroje bílkovin (např. rybí, sójová, řepková moučka; vedlejší mléčné produkty) ve stravě monogastričních zvířat (Hong et al. 2020). Larvy potemníků jsou v mnoha zemích používány jako krmivo především pro plazy a ptáky (Selaledi et al. 2020). Larvy potemníků se používají jako přísady do krmiva zvířat proto, že jejich produkční účinnost je vyšší než u dospělých jedinců potemníků (Hong et al. 2020).

V Tabulce 14 lze vidět porovnání nutričních hodnot moučných červů s konvenčními krmivy – rybí a sójovou moučkou. Rybí moučka je jedním z nejpoužívanějších krmiv v akvakultuře. Dále se přidává do krmiv pro zvířata ke zvýšení chutnosti a účinnosti krmiva a zlepšuje tak příjem, trávení a vstřebávání živin (Barroso et al. 2014). Sójová moučka je z rostlinných zdrojů nejlepším zdrojem bílkovin, ale má omezené množství siřných aminokyselin (methionin, cystein). Obsahuje ale také antinutriční látky – inhibitor trypsinu,

hemaglutinin a antivitaminy (Barroso et al. 2014). Ve srovnání se sójovou a rybí moučkou obsahuje moučka z larev potemníka podobné nebo vyšší množství bílkovin. Rybí moučka má ze všech mouček nejvíce bílkovin i popelovin. Oproti ostatním moučkám vyniká moučka z larev potemníků obsahem tuků (kromě odtučněné verze).

Tabulka 14 Nutriční hodnota moučky z potemníka moučného a konvenčních druhů moučky

Krmivo	Popeloviny (% sušiny)	Hrubé bílkoviny (% sušiny)	Hrubý tuk (% sušiny)
Moučka larvy <i>T. molitor</i> ^a	4,7	51,9	21,6
Moučka larvy <i>T. molitor</i> ^b	-	71,6	14,6
Odtučněná moučka larvy <i>T. molitor</i> ^c	-	68,0	4,0
Rybí moučka ^d	18,0	73,0	8,2
Sójová moučka ^a	6,1	44,5	1,8
Sójová moučka ^d	7,8	50,4	3,0

Zdroj: a) Bovera et al. (2015), b) Azagoh et al. (2016), c) Cho et al. (2020), d) Barroso et al. (2014)

3.2.7.1 Krmivo pro drůbež

Hmyz je přirozenou součástí stravy drůbeže (Sogari et al. 2023a). Larvy *T. molitor* jsou považovány za potenciální vhodný zdroj bílkovin pro výkrm brojlerů díky dobrému aminokyselinovému spektru a stravitelnosti (Hong et al. 2020). Dle Bovera et al. (2015) moučka z larev potemníka obsahuje více bílkovin (51,93 %), než je tomu u sójové moučky (44,51 %). Přídavek larev do krmiva kuřat (10 %) vedl ke zvýšení hmotnosti tenkého střeva v porovnání s tenkými střevy kuřat bez larev ve stravě (Selaledi et al. 2020).

Chitin z larev sice snižuje stravitelnost bílkovin u kuřat, ale může zlepšit celkové zdraví kuřat snižováním populací patogenních bakterií jako je *E. coli* či *Salmonella* spp. a zvyšováním prospěšných bakterií rodu *Lactobacillus* (Selaledi et al. 2020). Brojleři krmeni larvami měli v krevních vzorcích nižší poměr albumin:globulin, z čehož vyplývá, že larvy mají potenciálně pozitivní vliv na imunitní odpověď u ptáků. Tento efekt by mohl být způsoben prebiotickým působením chitinu (Bovera et al. 2015).

Larvy *T. molitor* ve stravě kuřat měly také pozitivní vliv na kvalitu masa. Maso kuřat krmených potemníkem bylo šťavnaté a jemné (Khan et al. 2018). V jiné studii (Shaviklo et al. 2021) dospěli k opačnému výsledku. Při přidavku moučky z moučných červů v množství 3 % do krmiva se snížila šťavnatost masa. Také došlo ke změně chutě, vůně i barvy. U masa byla

snížena žlutost a růžovost a byla zvýšená tmavost kůže u jatečně upraveného těla (Shaviklo et al. 2021). Zařazení larev potemníka v množství 0,3 % do krmiv kuřat vedlo ke zlepšení přírůstku tělesné hmotnosti, zvýšilo příjem krmiva, poměr konverze krmiva i hmotnost jatečně upraveného těla (Sedgh-Gooya et al. 2021). Larvy v množství 5 % v krmivu zvýšily v prvních 10 dnech přírůstek tělesné hmotnosti, ale neovlivnily denní příjem, poměr konverze krmiva ani výtěžnost jatečních těl (Ao et al. 2020). Při zařazení larev v množství 15 % se zvýšila tělesná hmotnost, denní příjem krmiva a poměr konverze krmiva, ale nedošlo ke zvýšení hmotnosti jatečně upraveného těla (Biasato et al. 2018). Zahrnutí moučky z larev do krmiva zvýšilo tělesnou hmotnost a poměr konverze krmiva, ale pouze v prvních 21 dnech (Hong et al. 2020). Ve studii (Machona et al. 2022) porovnávali růst brojlerů na 3 druzích krmiva (běžné komerční krmivo, běžné komerční krmivo + 3 % prášku *T. molitor*, krmivo z *T. molitor*). Nejlepší růst vykazovali brojleři na krmivu se 3 % prášku z moučných červů (Machona et al. 2022). Další studie (Bovera et al. 2015; Bovera et al. 2016) ukázaly, že inkluze 29,5 nebo 29,65 % larev do stravy brojlerů neovlivnilo hmotnostní přírůstek, a dokonce snížilo konverzi krmiva. Rozdíl v účincích zahrnutí larev *T. molitor* do krmiva brojlerů může být způsoben množstvím larev v krmivu, podmínkami chovu, nutriční hodnotou moučných červů a věkem brojlerů (Hong et al. 2020). Zařazení hmyzu do krmné dávky nosnic může vézt ke změně váhy snášených vajec (Sogari et al. 2023a). Dle Bovera et al. (2016) může potemník moučný spolu s dalšími druhy hmyzu nahradit sóju ve výživě kuřat, aniž by to na ně mělo škodlivý vliv.

Předpokládá se, že 20–30 % produkce hmyzu v Evropě bude použito pro krmení nosnic a výkrm brojlerů. V roce 2030 by mělo 1 ze 40 vajec v EU pocházet od nosnic krmených krmivem s obsahem hmyzu a 1 z 50 porcí kuřecího masa být z brojlerů vykrmených krmivem na bázi hmyzu (Sogari et al. 2023a).

3.2.7.2 Krmivo pro vodní živočichy

Larvy potemníka moučného jsou potenciálním krmivem také pro vodní živočichy, jako jsou ryby nebo krevety (Selaledi et al. 2020).

Běžně se v chovu ryb používá rybí moučka a rybí tuk. Produkce rybí moučky má ale negativní dopady na životní prostředí (eutrofizace, vyčerpání a poškození vodních ploch) (Sogari et al. 2023a). Z ekonomických i ekologických důvodů jsou vyvíjeny snahy o nahrazení rybích mouček jako krmivo pro ryby alternativními zdroji bílkovin. Právě hmyz je jednou z nejslibnějších těchto alternativ (Hua 2021).

Produkty akvakultury jsou konzumovány především pro jejich obsah n-3 mastných kyselin, které jsou v rybím masu obsaženy v důsledku obsahu těchto mastných kyselin v krmivu

nebo částečně jejich endogenní syntézou. V hmyzu může být zastoupení těchto kyselin nižší. Přestože je tedy hmyz dobrým zdrojem bílkovin, výživová hodnota rybích produktů může být ovlivněna při výkrmu hmyzem. Ryby mohou obsahovat více nasycených a monoenoových mastných kyselin a méně n-3 mastných kyselin. Mohou být ovlivněny i fyzikální vlastnosti výsledných produktů, např. barva (Sogari et al. 2023a).

Z metaanalýzy vyplývá, že pro ryby je optimální používat krmivo s částečným obsahem hmyzu pro růst srovnatelný s růstem u ryb krmených krmivem na bázi rybí moučky. Záleží také na druhu hmyzu. Potemník moučný byl rybami dobře snášen, kdežto moucha *Hermetia illucens* v krmivu snižovala jejich růst (Hua 2021). Při použití hmyzu jako krmiva pro krevety by bylo potřeba přidat do stravy zdroj methioninu kvůli jeho nedostatečnému množství v larvách. Po krmení krevet larvami u nich došlo ke zvýšení obsahu tuku v těle (Selaledi et al. 2020).

3.2.7.3 Krmivo pro prasata

Nedávná studie ukázala, že přidání hydrolyzátu z larev potemníka do stravy prasat zlepšuje ileální stravitelnost a může snížit vliv antinutričních látek (Cho et al. 2020). Zahnutí larev potemníků v množství až 6 % do stravy prasat po odstavu zvýšilo hmotnost, průměrný denní přírůstek, průměrný denní příjem krmiva i poměr přírůstku ke krmivu. Těchto výsledků bylo dosaženo proto, že mouční červi zlepšily chutnost krmiva, a tím se zvýšil příjem krmiva. Růstovou výkonnost prasat zlepšily kvalitní bílkoviny larev, které byly pro prasata dobře stravitelné a dostupné. Při suplementaci larev *T. molitor* došlo ke snížení dusíku močoviny v krvi, což opět potvrzuje dobrou kvalitu bílkovin a dostupnost aminokyselin. Jiná studie (Meyer et al. 2020) uvedla, že přídavek larev potemníka do stravy prasat po odstavu v množství až 10 % nevedlo ke změně v hmotnosti, průměrného denního příjmu ani poměru přírůstku ke krmivu. Došlo však ke zvýšení plazmatických koncentrací některých aminokyselin (alanin, prolin, serin, tyrosiny, valin, glutamové kyseliny). Larvy *T. molitor* by mohly být používány jako součást krmiva u prasat po odstavu v množství až 6 % a u prasat v růstové fázi až v množství 10 % (Hong et al. 2020). Do roku 2030 by měla každá stá porce vepřového v EU pocházet z prasete krmeným hmyzem (Sogari et al. 2023a).

3.2.7.4 Krmivo pro hlodavce

Volek et al. (2021) zkoumali, zda může být strava králíků ve výkrmu na bázi sójové moučky nahrazena stravou na bázi potemníka moučného. Byly použity dva druhy krmiva pro výkrm králíků. První krmivo obsahovalo 60 g/kg sójové moučky, druhé 30 g/kg moučky z potemníka moučného. Obě verze byly sestavené tak, aby měly podobné nutriční hodnoty

a králíkům byly podávány ve formě peletek. Bylo prokázáno, že nahrazení sóji potměnkem moučným bylo efektivní a nemělo žádný škodlivý účinek na produkci dusíku ani na trávení živin (Volek et al. 2021).

3.2.8 Bezpečnost potměníka moučného jako potraviny a krmiva

I přes mnohé výhody konzumace hmyzu je nutné vzít v úvahu i bezpečnost při jeho použití ve výživě (van Huis & Rumpold 2023; Rumpold & Schlüter 2013). Potměník moučný obsahuje toxiny produkované exokrinní a obrannou žlázou. Benzochinonový toxin produkovaný exokrinní žlázou je toxickým metabolitem pro lidi i zvířata, který může interferovat s buněčným dýcháním a vést k poškození ledvin. Má také karcinogenní účinek. Obsah benzochinonu se v potměnících hromadí, a proto čím je potměník starší, tím je obsah tohoto toxinu vyšší. Dosud nebylo stanoveno, jaké množství benzochinonu v larvách potměníků zůstává po technologickém zpracování (sušení, ohřev apod.). Hmyz může akumulovat těžké kovy ze svého prostředí a potravy. Akumulovaný obsah těžkých kovů závisí především na jeho obsahu v krmivu (Hong et al. 2020). Mlček et al. (2017) ve své studii stanovovali množství olova a kadmia v larvách *T.molitor*. V jejich larvách byl obsah olova pod detekčním limitem, ale obsah kadmia přesahoval povolený limit (Mlček et al. 2017). Aby byla zajištěna bezpečnost larev potměníků určených pro výživu lidí a zvířat, měl by se před jejich podáváním detekovat obsah těžkých kovů např. za použití rentgenové fluorescenční spektrometrie (Hong et al. 2020). V Tabulce 15 jsou uvedena maximální povolená množství v moučných červech.

Tabulka 15 Maximální povolené obsahy těžkých kovů v larvách *T. molitor*

Těžký kov	Zmrazené larvy	Sušené larvy nebo prášková forma
Olovo (mg/kg)	≤ 0,01	≤ 0,075
Kadmium (mg/kg)	≤ 0,05	≤ 0,1

Zdroj: Komise (EU) (2022)

Machona et al. (2024) stanovovali subchronickou toxicitu *T. molitor*. Laboratorním krysám byl podáván orální sondou prášek z potměníka v různých dávkách (0, 300, 1000, 3000 mg/kg) po dobu 70 dnů. Během experimentu nebyly pozorovány žádné klinické příznaky, změny ve spotřebě krmiva, tělesné hmotnosti ani nebylo zaznamenáno žádné úmrtí (Machona et al. 2024).

3.2.8.1 Mikrobiální kontaminace

Většina mikroorganismů vyskytujících se v jedlém hmyzu bývá neškodná pro lidi. V těle potěmníků se vyskytují bakterie rodů *Actinobacillus*, *Propionibacterium*, *Citrobacter*, *Serratia*, *Bacillus*, *Dermabacter*, *Brachybacterium*, *Clavibacter* a *Exiguobacterium*. Pro zajištění zdravotní nezávadnosti moučných červů určených k lidské spotřebě byla v prováděcím nařízení Komise (EU) 2022/169 stanovena mikrobiologická kritéria, která jsou zobrazena v Tabulce 16. *Listeria monocytogenes* a *Salmonella* spp. nesmí být přítomny v žádném množství ve 25 g vzorku, pro ostatní mikroorganismy jsou nastavena maximální množství v KTJ (tj. kolonie tvořící jednotku)/g vzorku.

Tabulka 16 Mikrobiologická kritéria na larvy *T. molitor*

Parametr	Zmrazené larvy	Sušené larvy nebo prášková forma
Celkový počet aerobních mikroorganismů (KTJ/g)	$\leq 10^5$	$\leq 10^5$
<i>Enterobacteriaceae</i> (předpoklad) (KTJ/g)	≤ 100	≤ 100
<i>Escherichia coli</i> (KTJ/g)	≤ 50	≤ 50
<i>Listeria monocytogenes</i>	Nepřítomnost v 25 g	Nepřítomnost v 25 g
<i>Salmonella</i> spp.	Nepřítomnost v 25 g	Nepřítomnost v 25 g
<i>Bacillus cereus</i> (předpoklad) (KTJ/g)	≤ 100	≤ 100
Koagulázopozitivní <i>Staphylococci</i> (KTJ/g)	≤ 100	≤ 100
Anaerobní bakterie redukující siřičitany (KTJ/g)	≤ 30	≤ 30
Kvasinky a plísně (KTJ/g)	≤ 100	≤ 100

KTJ = kolonie tvořící jednotku

Zdroj: Komise (EU) (2022)

3.2.8.2 Mykotoxiny

Mykotoxiny jsou toxické sekundární metabolity hub, které jsou přítomné u řady plodin, a proto představují riziko ve stravě zvířat i člověka. V obilovinách a kukuřici se hojně vyskytuje zearalenon produkovaný některými druhy rodu *Fusarium*. Protože je hmyz běžně exponován, mykotoxinům je předpokládáno, že u nich existuje mechanismus pro detoxifikaci a exkreci mykotoxinů. Tyto mechanismy dosud nebyly plně popsány. Obsah mykotoxinu v reziduálním materiálu (zbytky exoskeletonu, zbytky krmiva a výkaly) závisí na typu mykotoxinu a na tom, zda a do jaké míry ho larvy dokážou metabolizovat. Obsahy mykotoxinu v reziduálním materiálu se mohou velmi lišit mezi jednotlivými druhy hmyzu. Ve studii Janković-Tomanić et al. (2023) obsahovaly larvy potěmníků 0,38–0,51 % mykotoxinu

z celkového obsahu mykotoxinu v krmivu. Koncentrace zearoalenonu v reziduálním materiálu byla 21,1–37,6 % z původního množství mykotoxinu v krmivu. V jiné studii (van Broekhoven et al. 2014) bylo v larvách až 9 % mykotoxinu z celkového množství v krmivu. Bosch et al. (2017) také dospěli k závěru, že jsou mouční červi tolerantní vůči aflatoxinu B1, a to až do množství 0,415 mg/kg. Limity pro mykotoxiny a další kontaminující látky (dioxiny, polychlorované bifenyly) v moučných červech jsou uvedeny v Tabulce 17.

Tabulka 17 Maximální povolené obsahy kontaminujících látek v larvách *T. molitor*

Kontaminující látka	Zmrazené larvy	Sušené larvy nebo prášková forma
Aflatoxiny (suma B1, B2, G1, G2) (µg/kg)	≤ 4	≤ 4
Aflatoxin B1 (µg/kg)	≤ 2	≤ 2
Deoxynivalenol (µg/kg)	≤ 200	≤ 200
Ochratoxin a (µg/kg)	≤ 1	≤ 1
Suma dioxinů a polychlorovaných bifenyly s dioxinovým efektem* (pg/kg)	≤ 0,75	≤ 0,75

*Horní mez sumy polychlorovaných dibenzodioxinů (PCDD), polychlorovaných dibenzofuranů (PCDF), polychlorovaných bifenyly (PCB) s dioxinovým efektem vyjádřená jako ekvivalent toxicity podle WHO.

Zdroj: Komise (EU) (2022)

3.2.9 Alergenicitá

Alergeny mohou vyvolat život ohrožující reakci organismu, a proto je potřeba na ně brát ohled i v souvislosti s entomofágií (de Carvalho et al. 2020). Konzumace potemníka může u lidí vyvolat alergickou reakci způsobenou alergenními proteiny argininkinázu, tropomyosinem a myosinem (de Gier & Verhoeckx 2018). Chitin obsažený v jedlém hmyzu, stejně jako inhalované části těl potemníků, mohou představovat potenciální alergenní rizika a vyvolávat astma (van Huis & Rumpold 2023). Z těchto důvodů jsou potemníkovití považováni za potenciálně významný alergen (de Carvalho et al. 2020) Na výrobcích obsahujících larvy potemníka moučného musí být uvedeno, že právě larvy potemníka moučného mohou způsobit alergické reakce spotřebitelům s alergiemi na prachové roztoče a korýše a výrobky z nich (Komise (EU) 2021a). Bylo zjištěno, že ani tepelným ošetřením není odstraněna alergenicitá hmyzích proteinů. (van Huis & Rumpold 2023).

Alergické reakce vyvolané hmyzími alergeny zahrnují nevolnost, průjem, zvracení, ale i kožní reakce či astma (van Huis & Rumpold 2023).

3.2.10 Technologická úprava jedlého hmyzu

Jedlý hmyz bývá konzumován celý, většinou tepelně upravený, ale v některých případech může být konzumován syrový (např. termiti) (Elhassan et al. 2019). Další možností je drcení a mletí usušeného hmyzu a následné zapracování do sušenek, chlebů, párků, krekrů a dalších produktů (Elhassan et al. 2019; Sun-Waterhouse et al. 2016).

Z jedlého hmyzu se za pomoci extrakce získávají proteiny, tuky a chitin (Govorushko 2019). Tyto extrakty mohou být použity nejen v potravinářském průmyslu, ale i ve farmakologickém či kosmetickém průmyslu (Baiano 2020).

U jedlého hmyzu existuje několik možností technologické úpravy před konzumací. Prvním krokem bývá usmrcení (Hong et al. 2020). Před usmrcením bývá hmyz vyláčen, a to nejčastěji po dobu 24 hodin (Queiroz et al. 2023). Hmyz bývá usmrcen mrazem nebo spařením. Usmrcení je důležité jednak pro zajištění bezpečnosti, ale i pro zachování nutričního složení (Hong et al. 2020). K další úpravě se používá sušení, vaření, zmrazení, blanširování, smažení, marinování, fermentace, dušení, pražení, pečení, uzení či grilování (Sun-Waterhouse et al. 2016; Melgar-Lalanne et al. 2019; Baiano 2020). Tyto úpravy mohou být i kombinovány (Melgar-Lalanne et al. 2019).

Blanširování bývá často první úpravou před dalším zpracováním. Blanširováním se snižuje počet mikroorganismů, inaktivují se enzymy, zlepšuje se barva a nutriční složení (Melgar-Lalanne et al. 2019; Ribeiro et al. 2024). Provádí se ponořením potravin do vroucí vody na krátký čas a následně se potravina vyjme a vloží do ledové vody, čímž dojde k zastavení působení tepla (Melgar-Lalanne et al. 2019). Alternativně lze použít blanširování v páře (Ribeiro et al. 2024).

Sušení je důležitým krokem zejména u červů, kteří budou skladováni. Po usmrcení bývá obsah vlhkosti vysoký (zhruba 68 %), což může způsobit enzymatickou či neenzymatickou degradaci a mikrobiální kažení (Kröncke et al. 2019). Doporučovaná vlhkost pro minimalizaci možných problémů je 4–5 %. Nejčastěji používané metody pro sušení jsou sušení v sušárně, ve vakuu, v mikrovlnné troubě a mrazem (Hong et al. 2020).

Před mletím mohou být zařazeny procesy jako odtučnění nebo hydrolýza. Vzhledem k vysokému obsahu tuku a mastných kyselin, které jsou náchylné k oxidaci, proces odtučnění zajišťuje delší dobu skladování (Hong et al. 2020). Odtučnění je také obvyklý krok před extrakcí bílkovin (Queiroz et al. 2023). Odtučnění lze provádět lisováním, použitím organických rozpouštědel nebo superkritickým CO₂ (Hong et al. 2020). Použití superkritického CO₂ je doporučovanou metodou a zajišťuje regeneraci oleje až 95 %. Extrakce probíhá za nízké

teploty a zachovává přirozenou strukturu proteinů, a proto má tato metoda výhody jako možnost extrahovat termolabilní metabolity, sníženou oxidaci vzorku a získání reziduí bez rozpouštědel. Některé proteiny mají větší afinitu k rozpouštědлу, a proto může během extrakce organickými rozpouštědly dojít ke ztrátě těchto proteinů (Queiroz et al. 2023).

Extrahovaný tuk a bílkoviny z larev mohou být používány ve výživě. Jak uvádí Cho et al. (2020), funkční vlastnosti extrahovaných bílkovin z larev se zdají být ovlivněny teplotou a dobou zpracování, přičemž samotná extrakce je dále ovlivňována předchozím zpracováním. Účinnost extrakce závisí také na druhu hmyzu, druhu krmiva a životní fázi. Proteiny jsou extrahovány změnou pH a iontové síly média (Queiroz et al. 2023).

K sušení se často používá lyofilizace, při které dochází k vysoušení sublimací ve vakuu, které nevede k výrazným změnám v barvě, chuti, vůni a fyzikálních vlastnostech (Queiroz et al. 2023).

Technologická úprava hmyzu mění jeho vlastnosti. Dochází například ke změnám v obsahu nutrientů (Baiano 2020). Nutriční hodnota může být tepelným ošetřením negativně ovlivněna vyluhováním bílkovin do vody během vaření (Manditsera et al. 2019), lipolýzou, oxidací tuků a ztrátou vitaminů citlivých na teplo nebo oxidací a minerálních látek rozpustných ve vodě. Při tepelné úpravě se snižuje obsah termolabilních sloučenin, vitaminů rozpustných v tucích a polyenových mastných kyselin (Caparros Megido et al. 2018). Mění se také senzorické vlastnosti hmyzu, přičemž dochází k tvorbě aromatických látek a může dojít ke změně barvy a textury produktu (Elhassan et al. 2019). Tepelnou úpravou se zajišťuje nejen zdravotní nezávadnost potravin, ale také dochází k inaktivaci patogenních mikroorganismů a zvyšuje se stravitelnost a biologická dostupnost látek. Tepelné zpracování obvykle zvyšuje stravitelnost bílkovin, protože bílkoviny denaturují a stávají se náchylnějšími k enzymatickému štěpení rozvinutím polypeptidových řetězců nebo inaktivací antinutričních látek, jako jsou inhibitory trypsinu. Příliš vysoké teploty však mohou snížit stravitelnost bílkovin vyvoláním reakcí bílkovin s aminokyselinami, které následně nemohou být štěpeny trávicími enzymy. Během tepelné úpravy může dále dojít k interakci bílkovin s jinými bílkovinami či peptidy, oxidačními činidly, sacharidy, taniny, polyfenoly anebo rozpouštědly. Záhřev potraviny indukuje evaporaci vody, a tím se snižuje obsah vody. Vakuové vaření a vaření ve vodě vytváří prostředí, jehož vlivem voda zůstává, nebo dokonce se dostává do produktu během procesu vaření. Během smažení a pečení dochází ke zvýšení vypařování vody, čímž se zvyšuje obsah sušiny a současně je sušina zvyšována i absorpcí oleje do produktu (Caparros Megido et al. 2018).

3.2.11 Senzorické vlastnosti

Na senzorické vlastnosti má vliv technologická úprava (viz kap. 3.2.7) (Elhassan et al. 2019). Chuť potměnků závisí především na obsahu volných aminokyselin nebo peptidů, protože volných cukrů obsahují příliš málo na to, aby ovlivnily chuť (Son et al. 2021). Senzorický profil potměníka bývá charakterizován intenzivní ořechovou, umami a lehce zeleninovou chutí s příchutí cereálií. Textura bývá křehká (Elhassan et al. 2019). Vaření a vaření v páře larvám potměnků zachovává podobný vzhled, tvar a velikost, jako mají syrové larvy. Takto upravené larvy mají chuť jako dušená kukuřice a vařené houby. Larvy vařené a vařené v páře bývají šťavnaté, pružné a žvýkavé (Elhassan et al. 2019). Pečení dodává larvám křupavost, aroma smaženého sezamu a mořských plodů (Elhassan et al. 2019). Při smažení potměnků při teplotě 160 °C bylo dosaženo vůně smažené slaniny, při teplotě 180 °C příjemné vůně po chlebu. Smažení při teplotě 200 °C vedlo k nepříjemnému zápachu spáleniny. Smažení o teplotě 160 °C bylo vyhodnoceno jako nejvhodnější pro výslednou senzorickou jakost (Żońnierczyk & Szumny 2021).

Ve studii Żońnierczyk & Szumny (2021) bylo zjištěno, že typ krmiva larev potměnků nemá vliv na jejich senzorické vlastnosti.

3.2.12 Další využití potměníka

Moučné červy lze využít pro výrobu biodieselu. Biodisel je vyráběn přeměnou tuků (triacylglycerolů) a sacharidů. Larvy potměnků přeměňují prostřednictvím rychlého metabolismu sacharidy v zemědělském odpadu (např. pšeničné otruby) na tuk, který lze využít pro výrobu biodieselu (Lee et al. 2022).

Mikroplasty jsou jedny z hlavních problémů životního prostředí, protože jejich rozklad je náročný a může trvat stovky let. Mají negativní dopad na rostliny, živočichy i člověka. Bylo zjištěno, že larvy potměnků jsou schopné konzumovat některé druhy plastů (především polystyren) a pomocí bakterií v jejich střevech je degradují. Jedna larva může průměrně zkonzumovat 0,076 mg polystyrenu denně. Populace milionu moučných červů může zkonzumovat 27,8 kg polystyrenu, 12,5 kg polypropylenu za rok (Pham et al. 2023).

U lidí, kteří podstoupí gastrointestinální operaci, dochází k v pooperačním období k malnutrici a sarkopenii. Kim et al. (2022) proto ve své studii porovnávali pacienty, kterým byla po operaci podávána obilná moučka (2,9 g bílkovin v denní dávce) s těmi, kterým byla podávána strava založená na potměníkoví moučném (14,4 g bílkovin v denní dávce). Právě vyšší obsah bílkovin měl ve dřívější studii významný vliv na svalovou hmotu a sílu u dospělých se sarkopenií. Nicméně v této studii nebyl prokázán významný rozdíl v tělesné kompozici mezi

zmíněnými skupinami pacientů. Strava s obsahem potměníka však zlepšila aktivitu buněk imunitního systému (Kim et al. 2022).

Vzhledem k velmi dobrým nutričním vlastnostem larev potměníka by mohl být v lyofilizované formě použit na cestách do vesmíru a zajišťovat tak zdroj živočišných bílkovin pro astronauty. Exkrementy *T. molitor* jsou dobrým hnojivem, a tak je tu naděje, že by se mohly využít i ve vesmíru k pěstování rostlin (Li et al. 2013).

4 Materiál a metodika

4.1 Potemník moučný

Hmyz byl získán z inšpektoria Katedry zoologie a rybářství České zemědělské univerzity, kde byl chován při 27 ± 2 °C a při relativní vlhkosti 40–50 %. Hmyz byl krmen *ad libitum* směsí ovesných otrub a kuřecího krmiva (4:1). Krmivo bylo vyrobeno v univerzitním experimentálním zařízení pro výrobu krmných směsí z extraktu sójového šrotu (Prowena s.r.o.), vitamínových a minerálních premixů, vápníku, fosforečnanu vápenatého (Trow Nutrition Biofaktory s.r.o.), řepkového oleje (Fabio s.r.o.) a pšenice (Česká zemědělská univerzita).

4.1.1 Použité chemikálie

- methylová červeň (LachNer)
- ethanol (VWR)
- bromkresolová zeleň (Fischer Scientific)
- tablety oxidu titaničitého (Buchi)
- kyselina sírová 96% p.a. (PENTA)
- peroxid vodíku 30% p.a. (mikroCHEM)
- petrolether p.a. (Lach:ner, 40–65 °C)

4.1.2 Použité přístroje

- analytická váha (AE 200; METTLER)
- laboratorní mlýnek (MultiDrive basic, IKA, Königswinter, Německo)
- topné hnízdo (FOSS)
- Kjeltec TM 2400 analyzér (FOSS)
- lyofilizátor (Trigon Plus, Čestlice, Česká republika)
- muflová pec (LMH; LAC)
- Soxhletův extraktor (SER 148; MEZOS)
- sušárna (Memmert; VERKON)

4.2 Metodika

4.2.1 Příprava vzorků

Před usmrcením byl hmyz ponechán 24 hodin vylačnit a následně byl usmrcen zmrazením (umístění do mrazáku při teplotě $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 24 hodin). Po usmrcení byly vzorky lyofilizovány (lyofilizátor Trigon Plus, Čestlice, Česká republika) po dobu 72 hodin, homogenizovány pomocí laboratorního mlýnku (MultiDrive basic, IKA, Königswinter, Německo) a skladovány při $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do analýzy.

4.2.2 Stanovení sušiny

Stanovení sušiny bylo provedeno podle nařízení komise (ES) č. 152/2009. Obsah sušiny se určuje z hmotnostního úbytku po vysušení vzorku při $103\text{ }^{\circ}\text{C}$ do konstantní hmotnosti. Pro sušení se nejdříve připravily porcelánové kelímky, ve kterých sušení probíhá. Tyto kelímky byly večer vloženy do sušárny vyhřáté na $103\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ráno byly vyndány ze sušárny a přesunuty do exikátoru. Následně byly vychladlé misky zváženy na analytické váze a jejich hmotnost byla zaznamenána. Poté do každé z nich byly naváženy 3 g vzorku. Každý vzorek byl stanoven 3×. Následovalo sušení při $103\text{ }^{\circ}\text{C}$ do konstantní hmotnosti, které trvalo zhruba 5 hodin. Před vážením kelímky se vzorky chladly v exikátoru po dobu 1 hodiny.

4.2.3 Stanovení popelovin

Popeloviny byly stanoveny dle nařízení komise (ES) č. 152/2009. Pro stanovení popelovin byly použity porcelánové kelímky se vzorky sušiny. Vzorky byly v muflové peci spáleny při teplotě $550\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po zpopelnění byly kelímky vloženy do exikátoru na 1 hodinu a poté byly kelímky se zpopelněným vzorkem zváženy.

4.2.4 Stanovení tuku dle Soxhleta

Obsah tuku byl stanoven extrakcí dle Soxhleta (Soxhlet 1879). Pro analýzu byl použit Soxhletův extraktor. U každého vzorku byla extrakce provedena 3×. Do patron byly naváženy 3 g vzorku. Po navážení byl vzorek zakryt kouskem vaty. Na vahách byly zváženy skleněné vzorkovnice. Patrony byly umístěny do Soxhletova extraktoru a pod ně byly umístěny vzorkovnice se 70 ml petroletheru. Poté byla spuštěna extrakce, která trvala zhruba 100 minut. Po tomto procesu ve skleněných vzorkovnicích zůstal extrahovaný tuk. Vzorkovnice s tukem byly přemístěny do přehřáté sušárny na teplotu $103,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ na 1 hodinu pro odstranění zbytku

petroletheru. Po vysušení byly vzorky vloženy do exsikátoru. Po vychladnutí byly vzorkovnice s tukem zváženy a přepočtem byl zjištěn obsah tuku ve vzorku.

4.2.5 Stanovení hrubých bílkovin dle Kjeldahla

Stanovení obsahu hrubých bílkovin bylo provedeno metodou dle Kjeldahla (ISO 1871:2009). Do skleněné tuby byly naváženy 0,3 g vzorku. Do tuby ke vzorku byla přidána 1 tableta oxidu titaničitého a 10 ml 96% kyseliny sírové. Obsah tuby byl promíchán a bylo přidáno 10 ml 30% peroxidu vodíku. Následovala mineralizace v digestoři. Tuby byly vloženy do topného hnízda předehřátého na 420 °C na 45 minut. Poté se nechaly tuby se vzorky vychladnout a po vychladnutí bylo přidáno 10 ml destilované vody. Následně byly tuby vloženy do přístroje Kjeltec TM 2400 analyzátor, který určil procentuální obsah hrubé bílkoviny ve vzorku. Pro přepočtení byl použit přepočítací faktor 6,25. Byly použity i alternativní konverzní faktory (4,76 a 5,33) navrhované v literatuře (viz kap. 3.2.4.2).

4.2.6 Stanovení aminokyselin

Obsah aminokyselin byl analyzován externí laboratoří Eurofins, která je akreditována Českým institutem pro akreditaci pod číslem akreditace 1546. Stanovení jednotlivých aminokyselin probíhalo pomocí iontové chromatografie s UV detektorem. Tryptofan byl identifikován prostřednictvím kapalinové chromatografie s fluorescenčním detektorem.

4.2.7 Statistická analýza

Získané hodnoty byly statisticky zhodnoceny použitím programů Microsoft Excel 2016 a Statistica 12. Byla provedena analýza rozptylu ANOVA a Scheffeho post-hoc analýza s hladinou pravděpodobnosti $\alpha = 0,05$. Výsledky jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr („ \bar{x} “) \pm směrodatná odchylka (SD).

5 Výsledky

V této diplomové práci, která se zabývá nutriční hodnotou potměníka moučného, byl v larvách potměníka moučného stanoven obsah sušiny, popelovin, hrubých bílkovin a celkového tuku. Byly analyzovány larvy ze 3 generací a stanovení byla provedena u každého vzorku třikrát.

5.1 Sušina

V Tabulce 18 jsou výsledky stanovení sušiny v lyofilizovaných vzorcích larev, ze kterých byla následně spočtena sušina čerstvých larev (Tabulka 19).

Tabulka 18 Obsah sušiny lyofilizovaných larev potměníka moučného (g/100 g vzorku)

	Vzorek A	Vzorek B	Vzorek C
1. měření	97,91	99,26	98,90
2. měření	97,85	99,11	98,72
3. měření	97,88	99,09	98,60
Průměr ± SD	97,88 ± 0,02	99,15 ± 0,08	98,74 ± 0,12

V Tabulce 19 jsou hodnoty sušiny čerstvých larev. Obsah sušiny se pohyboval v hodnotách 29,35–31,46 %. Mezi vzorky existuje statisticky významný rozdíl ($\alpha=0,05$).

Tabulka 19 Sušina čerstvých larev potměníka moučného (g/100 g vzorku)

	Vzorek A	Vzorek B	Vzorek C
1. měření	30,84	31,50	29,03
2. měření	30,82	31,45	28,98
3. měření	30,83	31,44	28,94
Průměr ± SD	30,83 ± 0,01^b	31,46 ± 0,02^a	28,98 ± 0,04^c

5.2 Popeloviny

V Tabulce 20 jsou výsledky stanovení popelovin ve vzorcích larev. Nejvyšší obsah popelovin byl u vzorku C ($5,63 \pm 0,15$ g/100 g sušiny). Nižší hodnoty byly u vzorků A ($5,14 \pm 0,19$ g/100 g sušiny) a B ($5,10 \pm 0,23$ g/100 g sušiny). Mezi vzorky B a C existuje statisticky významný rozdíl ($\alpha=0,05$).

Tabulka 20 Obsah popelovin ve vzorcích larev potemníka moučného (g/100 g sušiny)

	Vzorek A	Vzorek B	Vzorek C
1. měření	5,13	5,31	5,66
2. měření	5,32	5,23	5,43
3. měření	5,25	4,88	5,80
Průměr ± SD	5,23 ± 0,08^{ab}	5,14 ± 0,19^b	5,63 ± 0,15^a

5.3 Celkový tuk

V Tabulce 21 jsou výsledky stanovení celkového tuku ve vzorcích larev. Nejvyšší obsah celkového tuku byl u vzorku B ($25,21 \pm 0,07$ g/100 g sušiny). Nejnížší hodnota byla u vzorků C ($22,58 \pm 0,06$ g/100 g sušiny). Mezi vzorky A a C, B a C existuje významný statistický rozdíl ($\alpha=0,05$).

Tabulka 21 Obsah celkového tuku ve vzorcích larev potemníka moučného (g/100 g sušiny)

	Vzorek A	Vzorek B	Vzorek C
1. měření	25,25	25,47	22,66
2. měření	25,28	24,90	22,53
3. měření	25,11	25,38	22,55
Průměr ± SD	25,21 ± 0,07^a	25,25 ± 0,25^a	22,58 ± 0,06^b

5.4 Hrubé bílkoviny

V Tabulce 22 jsou výsledky stanovení hrubých bílkovin ve vzorcích larev. U všech vzorků byl stanoven vysoký obsah hrubých bílkovin (66,80–69,42 g/100 g sušiny). Avšak mezi vzorky A a B, B a C existuje statisticky významný rozdíl ($\alpha=0,05$).

Tabulka 22 Obsah hrubých bílkovin ve vzorcích larev potemníka moučného (g/100 g sušiny)

	Vzorek A	Vzorek B	Vzorek C
1. měření	68,80	66,02	68,76
2. měření	69,79	67,14	68,55
3. měření	69,68	67,24	68,59
Průměr ± SD	69,42 ± 0,44^a	66,80 ± 0,55^b	68,63 ± 0,09^a

V Tabulce 23 jsou porovnané obsahy bílkovin vypočítané za použití různých přepočítávacích faktorů. Mezi výsledky existuje statisticky významný rozdíl ($\alpha=0,05$).

Tabulka 23 Rozdíl v obsah bílkovin ve vzorcích larev potemníka moučného při použití různých konverzních faktorů (g/100 g sušiny)

Konverzní faktor	Vzorek A	Vzorek B	Vzorek C	Průměrná hodnota
6,25	69,42 ± 0,44	66,80 ± 0,55	68,63 ± 0,09	68,29 ± 1,17^a
4,76 (Janssen et al. 2017)	52,87 ± 0,34	50,87 ± 0,42	52,27 ± 0,07	52,01 ± 0,89^c
5,33 (Boulos et al. 2020)	59,20 ± 0,38	56,97 ± 0,47	58,53 ± 0,08	58,23 ± 1,00^b

5.5 Aminokyseliny

V Tabulce 24 jsou uvedeny výsledky stanovení aminokyselin ve vzorcích larev. Nejvíce zastoupenou aminokyselinou byla glutamová kyselina (6,48 g/100 g sušiny). Ve vysokém množství byly zastoupeny taktéž alanin (4,65 g/100 g sušiny), asparagová kyselina (4,86 g/100 g sušiny), leucin (4,37 g/100 g) a prolin (4,53 g/100 g sušiny). Ve vzorku byly zastoupeny všechny esenciální aminokyseliny.

Tabulka 24 Obsah aminokyselin ve vzorcích larev potměníka moučného (g/100 g sušiny)

Aminokyselina	Vzorek A	Vzorek B	Vzorek C	Průměr
Alanin	4,64	4,40	4,91	4,65
Arginin	3,23	3,16	3,27	3,22
Asparagová kyselina	4,91	4,77	4,89	4,86
Glutamová kyselina	6,46	6,23	6,75	6,48
Glycin	3,20	3,04	3,30	3,18
Histidin*	1,91	1,79	1,95	1,88
Isoleucin*	2,51	2,41	2,54	2,49
Leucin*	4,39	4,21	4,51	4,37
Lysin*	3,48	3,37	3,48	3,44
Ornithin	0,18	0,16	0,20	0,18
Fenylalanin*	2,11	2,00	2,05	2,05
Prolin	4,24	4,40	4,95	4,53
Serin	2,73	2,66	2,78	2,72
Threonin*	2,39	2,33	2,37	2,36
Tyrosin	3,90	3,64	3,83	3,79
Valin*	3,72	3,51	3,82	3,68
Cystein + cystin	0,68	0,68	0,68	0,68
Methionin*	0,77	0,77	0,76	0,77
Tryptofan*	0,71	0,70	0,72	0,71

*esenciální aminokyselina

6 Diskuze

6.1 Sušina

Sušina ve vzorcích čerstvých larev potemníka moučného tvořila 28,98–31,46 g/100 g vzorku. Shodný obsah sušiny 31,4 g/100 g byl zjištěn ve studii Kröncke & Benning (2023). Podobný obsah sušiny v čerstvých larvách uvádějí ve své práci i Sabolová et al. (2023), jejichž larvy obsahovaly 32,9 g/100 g sušiny. Také výsledek 31,7 g/100 g sušiny v Bordiean et al. (2022) je blízký výsledkům v této práci. Vyšší obsah sušiny (39,2 g/100 g) zmiňují Ribeiro et al. (2024).

Lyofilizací bylo u larev dosaženo sušiny 97,88–99,15 g/100 g. V dostupné literatuře byly výsledné sušiny po lyofilizaci nižší. Ribeiro et al. (2024) zjistili po lyofilizaci sušinu 95,6 g/100 g a Kröncke et al. (2019) pouze 90,17 g/100 g.

6.2 Popeloviny

Popeloviny tvořily ve vzorcích larev potemníka moučného 5,14–5,63 g/100 g sušiny. Téměř shodný obsah popelovin (5–5,5 g/100 g sušiny) naměřili Martins da Silva et al. (2024). V dalších studiích (Zielińska et al. 2015; Bordiean et al. 2022; Ghosh et al. 2017) byl stanovený obsah popelovin nižší (3,62–4,04 g/100 g sušiny). Výsledky těchto 3 zmíněných studií by splňovaly legislativní požadavky dle Tabulky 1, kdežto obsah popelovin ve vzorcích této práce byl vyšší než požadované hodnoty.

6.3 Celkový tuk

Ve vzorcích larev *T. molitor* bylo stanoveno 22,58–25,25 g/100 g celkového tuku v sušině. Celkový tuk zahrnuje veškeré molekuly tukové povahy (glyceridy, steroly, vitaminy rozpustné v tucích a další) (Oonincx & Finke 2021). Výsledky v dostupné literatuře se různí. Oonincx & Finke (2021) uvádějí, že obsah tuku v hmyzu se pohybuje v rozpětí 10–70 g/100 g. Ve studiích Zielińska et al. (2015) a Bordiean et al. (2022) měli podobné obsahy celkového tuku – 24,7 g/100 g a 26,1 g/100 g. Lehce vyšší obsah celkového tuku oproti vzorkům v této práci byl stanoven ve studiích Martins da Silva et al. (2024), jejichž vzorky obsahovaly 28,0–29,4 g/100 g tuku v sušině a Ribeiro et al. (2024), kteří naměřili 30,6 g/100 g tuku v sušině. Ghosh et al. (2017) stanovili obsah tuku 34,54 g/100 g v sušině.

6.4 Hrubé bílkoviny

Larvy potemníka moučného dle stanovení podle Kjeldahla obsahovaly za využití univerzálního přepočítávacího faktoru 6,25 66,80–69,42 g bílkovin/100 g sušiny. Podobnou hodnotu (65,60 g/100 g sušiny) naměřili Azagoh et al. (2016). V ostatních studiích byly bílkoviny zastoupeny v nižším množství. Kröncke & Benning (2023) změřili ve svých vzorcích 60,5 g/100 g bílkovin v sušině. Časté byly také hodnoty blízké 50 g/100 g bílkovin v sušině. Bordiean et al. (2022) naměřili 47,9 g/100 g a Ribeiro et al. (2024) 48,1 g/100 g bílkovin v sušině. Bílkoviny u vzorků larev ve studii Martins da Silva et al. (2024) tvořily 50,6–51,2 g/100 g sušiny. Sabolová et al. (2023) ve svých vzorcích stanovili 51,3 g bílkovin ve 100 g sušiny. V sušině larev potemníků z Polska bylo obsaženo 52,35 g/100 g bílkovin (Zielińska et al. 2015). Ghosh et al. (2017) analýzou vzorků larev *T. molitor* zjistili obsah bílkovin v sušině 53,22 g/100 g. Všichni autoři použili konverzní faktor 6,25, pouze Bordiean et al. (2022) použili faktor 5,14.

Stanovený obsah bílkovin může být nadhodnocený, protože bílkoviny jsou stanoveny Kjeldahlovou metodou jako celkový obsah dusík ve vzorku vynásobený konverzním faktorem 6,25. Část dusíku v jedlém hmyzu je ale součástí nebílkovinných složek těla (chitin, nukleové kyseliny, fosfolipidy a další) (EFSA NDA Panel 2021). Proto někteří autoři (Janssen et al. 2017; Boulos et al. 2020; Boulos et al. 2020) pro výpočet obsahu bílkovin ze stanoveného dusíku navrhují konverzní faktory nižší než běžně používaný 6,25, aby byl stanovený obsah bílkovin co nejbližší skutečnosti. Tyto faktory (4,76 a 5,33) byly použity i pro přepočet obsahu bílkovin ve vzorcích v této práci. Obsah bílkovin se za použití těchto přepočítávacích faktorů výrazně snížil. Při přepočtu dle faktoru 4,76 byl průměrný obsah bílkovin $52,01 \pm 0,89$ g/100 g sušiny a při použití faktoru 5,33 průměrný obsah bílkovin v larvách činil $58,23 \pm 1,00$ g/100 g sušiny. Obsah bílkovin může být tedy až o 23,84 % nižší než při použití faktoru 6,25.

6.5 Aminokyseliny

Ve vzorcích larev potemníka moučného byly stanoveny obsahy aminokyselin. Pro porovnání s doporučením WHO byly obsahy aminokyselin přepočítány na mg/g bílkovin (Tabulka 24). Všechny esenciální aminokyseliny kromě methioninu byly zastoupeny ve vyšším než doporučeném množství. Methionin byl jedinou esenciální aminokyselinou vyskytující se ve vzorcích v nedostatečném množství. V nižším (7 mg/g bílkovin) než doporučeném množství byl methionin stanoven také ve studii Azagoh et al. (2016). V této studii byly cystein a cystin stanoveny v množství 6 mg/g bílkovin, což přesně odpovídá doporučenému obsahu

cysteinu. Ostatní esenciální aminokyseliny byly obsaženy ve vyšších než doporučených množstvích a hodnoty byly často podobné hodnotám vzorků larev v této práci (Azagoh et al. 2016). Zhang et al. (2019) u svých vzorků larev krmených pšeničnými otrubami naměřili rovněž nedostatečný obsah sirných aminokyselin. Součet methioninu a cysteinu činil 20,1 mg/g bílkovin, což nesplňuje doporučených 22 mg/g bílkovin. U těchto larev byly v limitujícím množství také aminokyseliny valin, threonin a lysin (Zhang et al. 2019), které byly u vzorků v této práci zastoupeny ve vyšším než doporučeném množství. Ostatní esenciální aminokyseliny ve studii Zhang et al. (2019) vyhovovaly požadavkům. Methionin byl v nevyhovujícím množství přítomen i u larev v dalších studiích (Bednářová et al. 2014; Jensen et al. 2019).

Tabulka 25 Porovnání obsahu aminokyselin ve vzorcích larev potemníka moučného s požadavky WHO (mg/g bílkovin)

Aminokyselina	Doporučení WHO (2007)	Průměrný obsah – larvy <i>T. molitor</i>
Histidin	15	27,6
Isoleucin	30	36,4
Leucin	59	64,0
Lysin	45	50,4
Methionin	16	11,2
Cystein	6	10,0 (cystein + cystin)
Fenylalanin + tyrosin	38	85,6
Threonin	23	34,6
Tryptofan	6	10,4
Valin	39	53,9

6.6 Porovnání s konvenčními zdroji bílkovin a tuků

Pro porovnání s konvenčními zdroji bílkovin a tuků byly výsledky analýzy přepočteny na čerstvou hmotu. Po přepočtení tedy vzorky larev obsahovaly 20,8 g bílkovin/100 g vzorku a 7,4 g tuků/100 g vzorku.

V obsahu bílkovin jsou larvy potemníka moučného se svým obsahem bílkovin 20,8 g/100 g srovnatelně dobrým zdrojem bílkovin jako maso. Kuřecí prsa obsahují 23,1 g, vepřová kýta 21,0 g a hovězí roštěnec 21,3 g bílkovin ve 100 g syrového masa. Také s rybami jsou larvy téměř rovnocenným zdrojem bílkovin. Filet lososa obsahuje ve 100 g 22,1 g bílkovin, filet candáta obsahuje 17,7 g. Více bílkovin mohou obsahovat některé masné výrobky jako např. lovecký salám s obsahem 27,4 g bílkovin/100 g. Tyto výrobky ale často obsahují vysoké

množství tuků, často se skládající převážně z nasycených mastných kyselin, a proto nejsou vhodnými potravinami pro pravidelnou konzumaci. Dobrým zdrojem bílkovin jsou také sýry. Eidam (30 % tuku v sušině) obsahuje dokonce 28,9 g bílkovin ve 100 g. Hermelín, zástupce zrajících sýrů, obsahuje podobné množství bílkovin jako larvy (22,4 g/100 g), ale opět je u něj obsah tuků vysoký (22,3 %). Méně bílkovin obsahují slepičí vejce nebo polotučný tvaroh, a to 12,5 g/100 g a 12,9 g/100 g (ÚZEI 2020). Rostlinné zdroje bílkovin mohou být nutričně chudší než živočišné zdroje a v některých případech nemají vhodné aminokyselinové spektrum (Sá et al. 2020). Vařené bílé fazole obsahují 8,9 g bílkovin /100 g a syrový hrách 6,5 g bílkovin/100 g. O něco více bílkovin je obsaženo ve vařené sóje (14,5 g/100 g). Ze zpracovaných potravin lze uvést tofu, které obsahuje 7,8 g bílkovin ve 100 g, což je ve srovnání s larvami nízký obsah bílkovin (ÚZEI 2020).

Ve vzorcích larev bylo průměrně analyzováno 7,4 g tuku ve 100 g čerstvé hmoty. Při porovnávání s masem je důležité brát v potaz, z jaké části těla zvířete maso je, protože podle toho se může obsah tuku výrazně lišit. Libové maso, tedy například kuřecí prsa, má tuku pouze 0,7 g/100 g. Vepřová kýta a hovězí roštěnec obsahují 3,2 a 4,2 g tuku/100 g, což je tedy čini méně tučnými oproti vzorkům larev. Pokud vezmeme v úvahu vepřový bok, ten obsahuje ve 100 g dokonce 29,7 g tuku, což je oproti larvám zhruba trojnásobný obsah tuku. Rozdílné obsahy tuku nalezneme také u ryb, kdy filet candáta s obsahem tuku 0,2 g/100 g je výrazně méně tučný než larvy, ale filet lososa s obsahem 7,8 g tuku ve 100 g je srovnatelně tučný s larvami. Obsah tuku ve 100 g slepičích vajec lehce převyšuje svými 9,2 g obsah tuku v larvách. U sýrů je obsah tuku opět variabilní a může být výrazně vyšší nebo nižší v porovnání s larvami. Již zmíněný hermelín obsahuje 22,3 g tuku/100 g, eidam (30 % tuku v sušině) obsahuje 16 g tuku/100 g, ale existují i sýry s velmi nízkým obsahem tuku (např. olomoucké tvarůžky s obsahem 0,5 g tuku/100 g) (ÚZEI 2020; FÉR potravina 2017). U rostlinných zdrojů se obsah tuku různí. Velmi nízký obsah tuku mají vařené bílé fazole (0,4 g/100 g) nebo vařený hrách (0,4 g/100 g). Vyšší obsah tuku, ale stále nižší oproti larvám, má vařená sója (3,1 g/100 g). Vyšší obsah tuku než larvy mají například olivy (černé, konzervované - 10,7 g/100 g) nebo avokádo (16,5 g/100 g). Výrazně vyšší obsah tuku v porovnání s larvami mají ořechy. Vlašské ořechy obsahují 61,2 g tuku/100 g a kešu ořechy 45,6 g tuku/100 g (ÚZEI 2020).

Larvy potemníků jsou také vhodné pro použití jako krmiva pro zvířata. Jsou slibnou alternativou sójové, masové, rybí a drůbeží moučce používané ve výživě především monogastričních zvířat (Khanal et al. 2023). Sójová moučka obsahuje zhruba 44,5–50,4 g/100 g bílkovin v sušině, což larvy v této práci s obsahem bílkovin 66,80–69,42 g/100 g

v sušině dokonce převyšují. Tuku obsahuje sójová moučka pouze 1,8–3,0 g/100 g v sušině, což je oproti larvám s obsahem tuku 22,58–25,25 g/100 g v sušině velmi nízký obsah (Bovera et al. 2015; Barroso et al. 2014). Rybí moučka obsahuje 73 % bílkovin v sušině, což je lehce vyšší obsah v porovnání s larvami, a 8,2 g/100 g tuku v sušině, což je zhruba 3× nižší obsah oproti larvám (Barroso et al. 2014).

7 Závěr

V této práci byla změřena nutriční hodnota larev *Tenebrio molitor* a výsledky byly porovnány s výsledky dostupných studií. Hodnoty nutrientů larev byly také porovnány s konvenčními zdroji bílkovin a tuků. Larvy potemníků moučných jsou dle výsledků výborným zdrojem bílkovin a tuků. Obsah bílkovin může být nadhodnocen při použití přepočítávacího faktoru 6,25, který je v literatuře běžně používán. Obsah hrubých bílkovin v larvách byl při porovnání s výsledky ostatních autorů nadprůměrně vysoký. Ve vzorcích larev byl methionin limitující aminokyselinou. Obsahem tuku byly vzorky larev srovnatelné s některými výsledky studií. V dostupných výsledcích z literatury byly přítomny i larvy potemníků s vyšším obsahem tuku v porovnání se vzorky larev z této diplomové práce. Larvy svými nutričními hodnotami mnohdy převyšovaly nutriční hodnoty tradičních potravin. Oproti vejším, tvarohu a rostlinným potravinám larvy obsahovaly výrazně více bílkovin. S masem a rybami měly larvy srovnatelný obsah bílkovin. Některé druhy sýrů měly vyšší obsah bílkovin než larvy potemníka. Obsahem tuku se larvy pohybovaly v průměrných hodnotách obsahu tuku u živočišných a rostlinných zdrojů. Existují potraviny živočišného i rostlinného původu, které obsahovaly výrazně méně tuku (např. kuřecí prsa, vařené luštěniny), ale také ty, které měly výrazně vyšší obsah tuku (např. vepřový bok, ořechy). Larvy jsou schopné svojí nutriční hodnotou konkurovat konvenčním druhům krmiv, jako jsou sójová nebo rybí moučka. Bylo potvrzeno, že svojí nutriční hodnotou jsou srovnatelné s tradičními rostlinnými i živočišnými zdroji potravin a krmiv.

Další výzkum by se mohl zabývat vlivem stravy na aminokyselinové spektrum larev a mohl by tak přispět k řešení problematiky methioninu, který byl u larev v limitujícím množství.

8 Literatura

- Aguilar-Ascón E, Pariona-Velarde D, Loayza-Muro R, Albrecht-Ruiz M. 2023. Use of the sludge obtained from the electrocoagulation process of pumping waters of fishmeal factories for feeding *Tenebrio molitor* larvae. *Heliyon* (e16200) DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16200.
- Alves AV, Sanjinez-Argandoña EJ, Linzmeier AM, Cardoso CAL, Macedo MLR. 2016. Food value of mealworm grown on *Acrocomia aculeata* pulp flour. *PLoS ONE* (e0151275) DOI: 10.1371/journal.pone.0151275.
- Ao X, Yoo JS, Wu ZL, Kim IH. 2020. Can dried mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae replace fish meal in weaned pigs? *Livestock Science* (e104103) DOI: 10.1016/j.livsci.2020.104103.
- Azagoh C, Ducept F, Garcia R, Rakotozafy L, Cuvelier ME, Keller S, Lewandowski R, Mezdour S. 2016. Extraction and physicochemical characterization of *Tenebrio molitor* proteins. *Food Research International* **88**:24–31.
- 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.
- Barroso FG, de Haro C, Sánchez-Muros MJ, Venegas E, Martínez-Sánchez A, Pérez-Bañón C. 2014. The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture* **422–423**:193–201.
- Bednářová M, Borkovcová M, Komprda T. 2014. Purine derivate content and amino acid profile in larval stages of three edible insects. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **94**:71–76.
- Bednářová M, Borkovcová M, Mlček J, Rop O, Zeman L. 2013. Edible insects - species suitable for entomophagy under condition of Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* **61**:587-593.
- Belforti M et al. 2015. *Tenebrio molitor* meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: Effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of fillets. *Italian Journal of Animal Science* **14**:4170.
- Białkowska A, Majewska E, Olczak A, Twarda-Clapa A. 2020. Ice binding proteins: Diverse biological roles and applications in different types of industry. *Biomolecules* **10**:274.

- Biasato I et al. 2018. Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) inclusion in diets for male broiler chickens: Effects on growth performance, gut morphology, and histological findings. *Poultry Science* **97**:540–548.
- Bordiean A, Krzyżaniak M, Aljewicz M, Stolarski MJ. 2022. Influence of different diets on growth and nutritional composition of yellow mealworm. *Foods* **11**:3075.
- Bosch G, Van Der Fels-Klerx HJ, De Rijk TC, Oonincx DGAB. 2017. Aflatoxin B1 tolerance and accumulation in black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) and yellow mealworms (*Tenebrio molitor*). *Toxins* **9**:185.
- Boulos S, Tännler A, Nyström L. 2020. Nitrogen-to-protein conversion factors for edible insects on the Swiss Market: *T. molitor*, *A. domesticus*, and *L. migratoria*. *Frontiers in Nutrition* **7**:89.
- Bovera F, Loponte R, Marono S, Piccolo G, Parisi G, Iaconisi V, Gasco L, Nizza A. 2016. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: Effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits. *Journal of Animal Science* **94**:639–647.
- Bovera F, Piccolo G, Gasco L, Marono S, Loponte R, Vassalotti G, Mastellone V, Lombardi P, Attia YA, Nizza A. 2015. Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*, L.) as a possible alternative to soybean meal in broiler diets. *British Poultry Science* **56**:569–575.
- Caparros Megido R et al. 2018. Effect of household cooking techniques on the microbiological load and the nutritional quality of mealworms (*Tenebrio molitor* L. 1758). *Food Research International* **106**:503–508.
- da Silva Lucas AJ, Menegon de Oliveira L, da Rocha M, Prentice C. 2020. Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. *Food Chemistry* **311**:126022.
- Dai C, Ma H, Luo L, Yin X. 2013. Angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptide derived from *Tenebrio molitor* larva protein hydrolysate. *European Food Research and Technology* **236**:681–689.
- de Carvalho NM, Madureira AR, Pintado ME. 2020. The potential of insects as food sources – a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **60**:3642–3652.

- de Gier S, Verhoeckx K. 2018. Insect (food) allergy and allergens. *Molecular Immunology* **100**:82–106.
- Eberle S, Schaden LM, Tintner J, Stauffer C, Schebeck M. 2022. Effect of temperature and photoperiod on development, survival, and growth rate of mealworms, *Tenebrio molitor*. *Insects* **13**:321.
- EFSA NDA Panel. 2021. Safety of dried yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal* (e06343) DOI: 10.2903/j.efsa.2021.6343.
- Elhassan M, Wendin K, Olsson V, Langton M. 2019. Quality aspects of insects as food—Nutritional, sensory, and related concepts. *Foods* **8**:95.
- Ellis R, Morris ER, Philpot C. 1977. Quantitative determination of phytate in the presence of high inorganic phosphate. *Analytical Biochemistry* **77**:536–539.
- Errico S, Spagnoletta A, Verardi A, Moliterni S, Dimatteo S, Sangiorgio P. 2022. *Tenebrio molitor* as a source of interesting natural compounds, their recovery processes, biological effects, and safety aspects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **21**:148–197.
- Farag MA, Abib B, Qin Z, Ze X, Ali SE. 2023. Dietary macrominerals: Updated review of their role and orchestration in human nutrition throughout the life cycle with sex differences. *Current Research in Food Science* **6**:100450.
- FÉR potravina 2017. Podrobné informace o potravině Olomoucké tvarůžky. Available from <https://www.ferpotravina.cz/zrajici-syr/olomoucke-tvaruzky> (accessed March 2024)
- Ghosh S, Jung C, Meyer-Rochow VB, Dekebo A. 2020. Perception of entomophagy by residents of Korea and Ethiopia revealed through structured questionnaire. *Journal of Insects as Food and Feed* **6**:59–64.
- 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.
- Gkinali AA, Matsakidou A, Vasileiou E, Paraskevopoulou A. 2022. Potentiality of *Tenebrio molitor* larva-based ingredients for the food industry: A review. *Trends in Food Science and Technology* **119**:495–507.

- Govorushko S. 2019. Global status of insects as food and feed source: A review. *Trends in Food Science & Technology* **91**:436–445.
- Grabowski NT, Tchibozo S, Abdulmawjood A, Acheuk F, M'Saad Guerfali M, Sayed WAA, Plötz M. 2020. Edible Insects in Africa in terms of food, wildlife resource, and pest management legislation. *Foods* **9**:502.
- Hartmann C, Shi J, Giusto A, Siegrist M. 2015. The psychology of eating insects: A cross-cultural comparison between Germany and China. *Food Quality and Preference* **44**:148–156.
- Hong J, Han T, Kim YY. 2020. Mealworm (*Tenebrio molitor* larvae) as an alternative protein source for monogastric animal: A review: A review. *Animals* **10**:2068.
- Hua K. 2021. A meta-analysis of the effects of replacing fish meals with insect meals on growth performance of fish. *Aquaculture* **530**:735732.
- Hwang J, Choe JY. 2020. How to enhance the image of edible insect restaurants: Focusing on perceived risk theory. *International Journal of Hospitality Management* **87**:102464.
- Chakravorty J, Ghosh S, Megu K, Jung C, Meyer-Rochow VB. 2016. Nutritional and anti-nutritional composition of *Oecophylla smaragdina* (Hymenoptera: Formicidae) and *Odontotermes* sp. (Isoptera: Termitidae): Two preferred edible insects of Arunachal Pradesh, India. *Journal of Asia-Pacific Entomology* **19**:711–720.
- Chen W, Xu D. 2023. Phytic acid and its interactions in food components, health benefits, and applications: A comprehensive review. *Trends in Food Science and Technology* **141**:104201.
- Cho KH, Kang SW, Yoo JS, Song DK, Chung YH, Kwon GT, Kim YY. 2020. Effects of mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae hydrolysate on nutrient ileal digestibility in growing pigs compared to those of defatted mealworm larvae meal, fermented poultry by-product, and hydrolyzed fish soluble. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **33**:490–500.
- Imathiu S. 2020. Benefits and food safety concerns associated with consumption of edible insects. *NFS Journal* **18**:1–11.
- Insektenliebe. 2020. *Tenebrio molitor* – Meal Beetle/Mealworm. Available at <https://insektenliebe.com/en/keeping-reports/feeding-animals/tenebrio-molitor-meal-beetle-mealworm/> (accessed February 19, 2024).

- Jang H, Park K. 2020. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids and metabolic syndrome: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Nutrition* **39**:765–773.
- 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.
- Jensen LD, Miklos R, Dalsgaard TK, Heckmann LH, Nørgaard JV. 2019. Nutritional evaluation of common (*Tenebrio molitor*) and lesser (*Alphitobius diaperinus*) mealworms in rats and processing effect on the lesser mealworm. *Journal of Insects as Food and Feed* **5**:257–266.
- Jongema Y. 2017. Worldwide list of recorded edible insects. Department of Entomology of Wageningen University & Research, the Netherlands. **23**:1–100.
- Kauppi S-M, Pettersen IN, Boks C. 2019. Consumer acceptance of edible insects and design interventions as adoption strategy. *International Journal of Food Design* **4**:39–62.
- Khan S, Khan RU, Alam W, Sultan A. 2018. Evaluating the nutritive profile of three insect meals and their effects to replace soya bean in broiler diet. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* **102**:e662–e668.
- Khanal P, Pandey D, Næss G, Cabrita ARJ, Fonseca AJM, Maia MRG, Timilsina B, Veldkamp T, Sapkota R, Overrein H. 2023. Yellow mealworms (*Tenebrio molitor*) as an alternative animal feed source: A comprehensive characterization of nutritional values and the larval gut microbiome. *Journal of Cleaner Production* **389**:136104.
- Kim I, Lee YS, Kim H et al. 2022. Clinical application of protein-enhanced diet using mealworms in patients undergoing hepato-pancreato-biliary surgery. *Nutrition* **94**:111538.
- Komise (EU) 2017a. Provdávčí nařizení Komise (EU) 2017/2470. Úřední věstník Evropské unie
- Komise (EU) 2017b. Nařizení Komise (EU) 2017/893. Úřední věstník Evropské unie
- Komise (EU) 2021a. Provdávčí nařizení Komise (EU) 2021/882. Úřední věstník Evropské unie
- Komise (EU) 2021b. Nařizení Komise (EU) 2021/1372. Úřední věstník Evropské unie

- Komise (EU) 2021c. Prováděcí nařízení Komise (EU) 2021/405. Úřední věstník Evropské unie
- Komise (EU) 2022. Prováděcí nařízení Komise (EU) 2022/169. Úřední věstník Evropské unie
- Kröncke N, Benning R. 2023. Influence of dietary protein content on the nutritional composition of mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.). *Insects* **14**:261.
- Kröncke N, Grebenteuch S, Keil C, Demtröder S, Kroh L, Thünemann AF, Benning R, Haase H. 2019. Effect of different drying methods on nutrient quality of the yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.). *Insects* **10**:84.
- Kunatsa Y, Chidewe C, Zvidzai CJ. 2020. Phytochemical and anti-nutrient composite from selected marginalized Zimbabwean edible insects and vegetables. *Journal of Agriculture and Food Research* **2**:100027.
- Lähtenmäki-Uutela A, Grmelová N, Hénault-Ethier L, Deschamps MH, Vandenberg GW, Zhao A, Zhang Y, Yang B, Nemane V. 2017. Insects as food and feed: Laws of the European union, United States, Canada, Mexico, Australia, and China. *European Food and Feed Law Review* **12**:22–36.
- Lähtenmäki-Uutela A, Marimuthu SB, Meijer N. 2021. Regulations on insects as food and feed: A global comparison. *Journal of Insects as Food and Feed* **7**:849-856.
- Langston K, Selaledi L, Yusuf A. 2023. Evaluation of alternative substrates for rearing the yellow mealworm *Tenebrio molitor* (L). *International Journal of Tropical Insect* **43**:1523–1530.
- Lee DJ, Kim M, Jung S, Park YK, Jang YN, Tsang YF, Kim H, Park KH, Kwon EE. 2022. Direct conversion of yellow mealworm larvae into biodiesel via a non-catalytic transesterification platform. *Chemical Engineering Journal* **427**:131782.
- Li L, Zhao Z, Liu H. 2013. Feasibility of feeding yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) in bioregenerative life support systems as a source of animal protein for humans. *Acta Astronautica* **92**:103–109.
- López-Moreno M, Garcés-Rimón M, Miguel M. 2022. Antinutrients: Lectins, goitrogens, phytates and oxalates, friends or foe?. *Journal of Functional Foods* **89**:104938.

- Lu M, Zhu C, Smetana S, Zhao M, Zhang H, Zhang F, Du Y. 2024. Minerals in edible insects: A review of content and potential for sustainable sourcing. *Food Science and Human Wellness* **13**:65–74.
- Lundén S, Hopia A, Forsman L, Sandell M. 2020. Sensory and Conceptual Aspects of Ingredients of Sustainable Sources – Finnish Consumers’ Opinion. *Foods* **9**:1669.
- Machona O, Matongorere M, Chidzwondo F, Mangoyi R. 2022. Evaluation of nutritional content of the larvae of *Tenebrio molitor*, and formulation of broiler stockfeed. *Entomology and Applied Science Letters* **9**:48–56.
- Machona O, Mutanga M, Chidzwondo F, Mangoyi R. 2024. Sub-chronic toxicity determination of powdered *Tenebrio molitor* larvae as a novel food source. *Toxicology Reports* **12**:111–116.
- Mancini S, Fratini F, Turchi B, Mattioli S, Dal Bosco A, Tuccinardi T, Nozic S, Paci G. 2019. Former foodstuff products in *Tenebrio molitor* rearing: Effects on growth, chemical composition, microbiological load, and antioxidant status. *Animals* **9**:484.
- Mancini S, Moruzzo R, Riccioli F, Paci G. 2019. European consumers' readiness to adopt insects as food. A review. *Food Research International* **122**:661–678.
- Manditsera FA, Luning PA, Fogliano V, Lakemond CMM. 2019. Effect of domestic cooking methods on protein digestibility and mineral bioaccessibility of wild harvested adult edible insects. *Food Research International* **121**:404–411.
- Martins da Silva R, Köhler A, de Cássia de Souza Schneider R, Prado de Vargas D, Lúcia Köhler A, da Costa e Silva D, Soares J. 2024. Proximate and fatty acid profile analysis of *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* using different killing methods. *Food Chemistry* **445**:138719.
- Melgar-Lalanne G, Hernández-Álvarez A-J, Salinas-Castro A. 2019. Edible insects processing: Traditional and innovative technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **18**:1166–1191.
- Meyer S, Gessner DK, Braune MS, Friedhoff T, Most E, Hörung M, Liebisch G, Zorn H, Eder K, Ringseis R. 2020. Comprehensive evaluation of the metabolic effects of insect meal from *Tenebrio molitor* L. in growing pigs by transcriptomics, metabolomics and lipidomics. *Journal of Animal Science and Biotechnology* **11**:20.

- Meyer-Rochow VB, Gahukar RT, Ghosh S, Jung C. 2021. Chemical composition, nutrient quality and acceptability of edible insects are affected by species, developmental stage, gender, diet, and processing method. *Foods* **10**:1036.
- Mihaly Cozmuta A, Nicula C, Peter A, Mihaly Cozmuta L, Nartea A, Kuhalskaya A, Pacetti D, Silvi S, Fiorini D, Pruteanu L. 2022. Cricket and yellow mealworm powders promote higher bioaccessible fractions of mineral elements in functional bread. *Journal of Functional Foods* **99**:105310.
- Mlček J, Adámek M, Adámková A, Borkovcová M, Bednářová M, Skácel J. 2017. Detection of selected heavy metals and micronutrients in edible insect and their dependency on the feed using XRF spectrometry. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences* **11**:725–730.
- Molino S, Pilar Francino M, Ángel Rufián Henares J. 2023. Why is it important to understand the nature and chemistry of tannins to exploit their potential as nutraceuticals? *Food Research International* **173**:113329.
- Moruzzo R, Mancini S, Boncinelli F, Riccioli F. 2021. Exploring the acceptance of entomophagy: A survey of Italian consumers. *Insects* **12**:123.
- Naczki M, Shahidi F. 2004. Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A* **1054**:95–111
- Nikolić K, Tepavčević J. 2023. The use of yellow mealworms in common food products. *AIDASCO Reviews* **1**:20–25.
- Nilsen-Nygaard J, Strand SP, Vårum KM, Draget KI, Nordgård CT. 2015. Chitosan: Gels and interfacial properties. *Polymers* **7**:552–579.
- Oibiokpa FI. 2017. Nutrient and antinutrient compositions of some edible insect species in Northern Nigeria. *Fountain Journal of Natural and Applied Sciences* **6**:9–24.
- Oonincx DGAB, Finke MD. 2021. Nutritional value of insects and ways to manipulate their composition. *Journal of Insects as Food and Feed* **7**:639–659.
- Orkus A. 2021. Edible insects versus meat—nutritional comparison: Knowledge of their composition is the key to good health. *Nutrients* **13**:1207.

- Parlament České republiky 1999. Zákon č. 166/1999 Sb. ze dne 13. července 1999 o veterinární péči a o změně některých souvisejících zákonů. Sbírka zákonů České republiky, 1999, částka 57 Česká republika.
- Pham TQ, Longing S, Siebecker MG. 2023. Consumption and degradation of different consumer plastics by mealworms (*Tenebrio molitor*): Effects of plastic type, time, and mealworm origin. *Journal of Cleaner Production* **403**:136842.
- Poelaert C, Beckers Y, Despret X, Portetelle D, Francis F, Bindelle J. 2016. In vitro evaluation of fermentation characteristics of two types of insects as potential novel protein feeds for pigs. *Journal of Animal Science* **94**:198–201.
- Queiroz LS, Nogueira Silva NF, Jessen F, Mohammadifar MA, Stephani R, Fernandes de Carvalho A, Perrone ÍT, Casanova F. 2023. Edible insect as an alternative protein source: a review on the chemistry and functionalities of proteins under different processing methods. *Heliyon* (e14831) DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e14831.
- Raheem D, Raposo A, Oluwole OB, Nieuwland M, Saraiva A, Carrascosa C. 2019. Entomophagy: Nutritional, ecological, safety and legislation aspects. *Food Research International* **126**:108672.
- Ribeiro JC, Marques JP, Fernandes TR, Pintado ME, Carvalho SMP, Cunha LM. 2024. Effect of blanching, storage and drying conditions on the macro-composition, color and safety of mealworm *Tenebrio molitor* larvae. *LWT* **191**:115646.
- Ribeiro N, Abelho M, Costa R. 2018. A review of the scientific literature for optimal conditions for mass rearing *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Entomological Science* **53**:434–454.
- Rumbos CI, Karapanagiotidis IT, Mente E, Psoufakis P, Athanassiou CG. 2020. Evaluation of various commodities for the development of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*. *Scientific Reports* **10**:11224.
- Rumpold BA, Schlüter OK. 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research* **57**:802–823.
- Sá AGA, Moreno YMF, Carciofi BAM. 2020. Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. *Trends in Food Science and Technology* **97**:170–184.

- Sabolová M, Kulma M, Petříčková D, Kletečková K, Kouřimská L. 2023. Changes in purine and uric acid content in edible insects during culinary processing. *Food Chemistry* **403**:134349.
- Sedgh-Gooya S, Torki M, Darbemamieh M, Khamisabadi H, Karimi Torshizi MA, Abdolmohamadi A. 2021. Yellow mealworm, *Tenebrio molitor* (Col: Tenebrionidae), larvae powder as dietary protein sources for broiler chickens: Effects on growth performance, carcass traits, selected intestinal microbiota and blood parameters. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* **105**:119–128.
- Selaledi L, Mbajjorgu CA, Mabelebele M. 2020. The use of yellow mealworm (*T. molitor*) as alternative source of protein in poultry diets: a review. *Tropical Animal Health and Production* **52**:7–16.
- Shaviklo AR, Alizadeh-Ghamsari AH, Hosseini SA. 2021. Sensory attributes and meat quality of broiler chickens fed with mealworm (*Tenebrio molitor*). *Journal of Food Science and Technology* **58**:4587–4597.
- Sogari G, Bellezza Oddon S, Gasco L, van Huis A, Spranghers T, Mancini S. 2023a. Review: Recent advances in insect-based feeds: From animal farming to the acceptance of consumers and stakeholders. *Animal* **17**:100904.
- Sogari G, Riccioli F, Moruzzo R, Menozzi D, Tzompa Sosa DA, Li J, Liu A, Mancini S. 2023b. Engaging in entomophagy: The role of food neophobia and disgust between insect and non-insect eaters. *Food Quality and Preference* **104**:104764.
- Son YJ, Hwang IK, Nho CW, Kim SM, Kim SH. 2021. Determination of carbohydrate composition in mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae and characterization of mealworm chitin and chitosan. *Foods* **10**:640.
- Sun-Waterhouse D, Waterhouse GIN, You L, Zhang J, Liu Y, Ma L, Gao J, Dong Y. 2016. Transforming insect biomass into consumer wellness foods: A review. *Food Research International* **89**:129–151.
- van Broekhoven S, Doan QHT, van Huis A, van Loon JJA. 2014. Exposure of tenebrionid beetle larvae to mycotoxin-contaminated diets and methods to reduce toxin levels. *Proceedings of the Netherlands Entomological Society Meeting* **25**:47–58.
- van Huis A, Rumpold B. 2023. Strategies to convince consumers to eat insects? A review. *Food Quality and Preference* **110**:104927.

- van Huis A, van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P. 2013. Edible insects. Future prospects for food and feed security. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Verbeke W. 2015. Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society. *Food Quality and Preference* **39**:147–155.
- Videbæk PN, Grunert KG. 2020. Disgusting or delicious? Examining attitudinal ambivalence towards entomophagy among Danish consumers. *Food Quality and Preference* **83**:103913.
- Volek Z, Adámková A, Zita L, Adámek M, Plachý V, Mlček J, Marounek M. 2021. The effects of the dietary replacement of soybean meal with yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) on the growth, nutrient digestibility and nitrogen output of fattening rabbits. *Animal Feed Science and Technology* **280**:115048.
- Wang Y, Li H, Lu Y, He W, Wang C, Lü L. 2022. Chemical components in yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) reared with tea powder. *Journal of Future Foods* **2**:266–269.
- WHO 2007. Protein and amino acid requirements in human nutrition. Roč. 935. Geneva, Switzerland.
- Williams, JP, Williams, JR, Kirabo, A, Chester, D, Peterson, M. 2016. Nutrient content and health benefits of insects. Pages 61-84 in Dossey AT, Guadalupe Rojas M, Morales-Ramos JA, editors. *Insects as Sustainable Food Ingredients*. Academic Press.
- Zhang X, Tang H, Chen G, Qiao L, Li J, Liu B, Liu Z, Li M, Liu X. 2019. Growth performance and nutritional profile of mealworms reared on corn stover, soybean meal, and distillers' grains. *European Food Research and Technology* **245**:2631–2640.
- Zhao X, Vázquez-Gutiérrez JL, Johansson DP, Landberg R, Langton M. 2016. Yellow mealworm protein for food purposes - Extraction and functional properties. *PLoS ONE* (e0147791) DOI: 10.1371/journal.pone.0147791.
- Zielińska E, Baraniak B, Karaś M, Rybczyńska K, Jakubczyk A. 2015. Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Research International* **77**:460–466.

9 Seznam tabulek

Tabulka 1 Požadavky na obsah živin v povolených formách larev <i>T. molitor</i>	15
Tabulka 2 Nutriční hodnoty potměníka moučného v různých vývojových fázích (g/100 g)..	16
Tabulka 3 Obsah tuku v larvách potměníka moučného	16
Tabulka 4 Obsah mastných kyselin v larvách potměníka moučného a v konvenčních druzích masa	17
Tabulka 5 Obsah bílkovin v larvách potměníka moučného	18
Tabulka 6 Porovnání průměrného obsah aminokyselin v larvách potměníka moučného a konvenčních zdrojích bílkovin (g/100 g)	19
Tabulka 7 Porovnání obsahu esenciálních aminokyselin v larvách potměníka moučného s doporučením WHO (mg/g proteinu)	20
Tabulka 8 Obsah purinových látek (adeninu, guaninu, xanthinu, hypoxanthinu) u různých druhů jedlého hmyzu v závislosti na kulinární úpravě (g/kg sušiny)	21
Tabulka 9 Obsah vlákniny v larvách potměníka moučného a ve vybraných potravinách	22
Tabulka 10 Obsah minerálních látek v larvách potměníka moučného (TM) a živočišných produktech (mg/100 g sušiny)	24
Tabulka 11 Obsah vitaminů v larvách potměníka moučného (TM) a živočišných produktech ve 100 g	25
Tabulka 12 Nutriční hodnota larev potměníka moučného a živočišných potravin	32
Tabulka 13 Nutriční hodnota larev potměníka moučného a rostlinných potravin bohatých na bílkoviny (g/100 g)	33
Tabulka 14 Nutriční hodnota moučky z potměníka moučného a konvenčních druhů moučky	34
Tabulka 15 Maximální povolené obsahy těžkých kovů v larvách <i>T. molitor</i>	37
Tabulka 16 Mikrobiologická kritéria na larvy <i>T. molitor</i>	38
Tabulka 17 Maximální povolené obsahy kontaminujících látek v larvách <i>T. molitor</i>	39
Tabulka 18 Obsah sušiny lyofilizovaných larev potměníka moučného (g/100 g vzorku)	47
Tabulka 19 Sušina čerstvých larev potměníka moučného (g/100 g vzorku)	47
Tabulka 20 Obsah popelovin ve vzorcích larev potměníka moučného (g/100 g sušiny)	48
Tabulka 21 Obsah celkového tuku ve vzorcích larev potměníka moučného (g/100 g sušiny)	48
Tabulka 22 Obsah hrubých bílkovin ve vzorcích larev potměníka moučného (g/100 g sušiny)	49

Tabulka 23 Rozdíl v obsah bílkovin ve vzorcích larev potemníka moučného při použití různých konverzních faktorů (g/100 g sušiny)	49
Tabulka 24 Obsah aminokyselin ve vzorcích larev potemníka moučného (g/100 g sušiny) ..	50
Tabulka 25 Porovnání obsahu aminokyselin ve vzorcích larev potemníka moučného s požadavky WHO (mg/g bílkovin).....	53

10 Seznam obrázků

Obrázek 1 Životní cyklus potměníka moučného.....	12
Obrázek 2 Chitin a chitosan – strukturní vzorce	22