

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Hmyz jako alternativní složka krmiva v akvakultuře
Bakalářská práce**

Jiří Hanč

Akvakultura a péče o vodní ekosystémy

Vedoucí Ing. Miloslav Petrtýl, Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Hmyz jako alternativní složka krmiva v akvakultuře" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 26.4.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Miloslavovi Petrylovi, PhD. za rady, odborný dohled a přátelský přístup při vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za podporu.

Hmyz jako alternativní složka krmiva v akvakultuře

Souhrn

Tato práce je literární rešerší zkoumající obsah výživových látek v hmyzu s ohledem na možné uplatnění v intenzivní akvakultuře, konkrétně obsah bílkovin, tuku, sacharidů a minerálních látek. Obsah bílkovin, tuků, aminokyselin, mastných kyselin a minerálních látek záleží nejen na životním stádiu hmyzu, ale také přímo na daném druhu hmyzu. Sacharidy jsou přítomny v malém množství, zatímco vláknina se nachází ve velkém množství, zejména v kutikule hmyzu. Antinutriční faktory mohou ovlivňovat dostupnost minerálních látek v hmyzu. Dále rešerše pojednává o obsahu vitamínů A, D, E a B, jakož i dalších látek jako je cholin, taurin a steroly. Ukazuje se, že strava hmyzu má významný vliv na obsah těchto látek, přičemž různé potraviny a životní podmínky mohou vést ke vzniku rozdílných složení živin v hmyzu. Výzkum také naznačuje, že faktory prostředí, jako je teplota a světlo, mohou ovlivňovat obsah živin v hmyzu, včetně syntézy vitamínu D3 pod vlivem UV-B záření.

Využití hmyzu jako zdroje bílkovin a olejů ve výživě vodních živočichů, zejména ve formě hmyzí moučky a olejů. Hmyz nabízí mnoho výhod, jako je vysoká nutriční hodnota, snadné množení a schopnost růstu na různých substrátech. Množství studií ukázalo, že hmyzí produkty mohou nahradit či částečně nahradit tradiční složky v akvakulturních krmivech, což přináší pozitivní vliv na růst a zdraví ryb a krevet. Přestože existují obavy ohledně obsahu chitinu v hmyzí moučce a jeho možného negativního vlivu na stravitelnost a růst, zdá se, že správné zpracování a úprava může minimalizovat tyto problémy.

Dále se zaměřuje na různé aspekty, včetně vlivu hmyzích produktů na složení mastných kyselin, texturu a imunitní funkce ryb, stejně jako jejich antioxidační kapacitu. Zjištění naznačují, že substituce rybí moučky hmyzími moučkami může mít různé účinky na různé druhy vodních živočichů a závisí na mnoha faktorech, jako je druh hmyzu, jeho zpracování a množství ve stravě. Výsledky naznačují, že náhrada části rybí moučky moučkou z hmyzu může být provedena bez významných negativních dopadů na růst, imunitní funkce nebo antioxidační kapacitu ryb. Avšak úspěšné přijetí využití hmyzu v krmivech pro vodní živočichy bude pravděpodobně záviset na akceptaci ze strany producentů akvakultury a spotřebitelů. Současně je zapotřebí provést další studie a výzkumy, zejména ve vývojových zemích, aby se lépe porozumělo tomu, jaké mohou být potenciální výhody a vlivy využití hmyzu v krmivech pro vodní živočichy.

Optimalizace hmyzích produktů ve vodním živočišném krmivu je stále předmětem výzkumu a vyžaduje další studie, aby bylo dosaženo maximální efektivity a udržitelnosti.

Klíčová slova: recyklace, intenzivní akvakultura, produkce, hmyz, výživa

Insects as an alternative feed source in aquaculture

Summary

This work is a literary review examining the nutrient composition of insects, specifically protein, fat, carbohydrates, and minerals. The content of proteins, fats, amino acids, fatty acids, and minerals depends not only on the life stage of the insect but also directly on the species of insect. Carbohydrates are present in small amounts, while fiber is found in large quantities, especially in the insect cuticle. Antinutritional factors may affect the availability of minerals in insects. Furthermore, the review discusses the content of vitamins A, D, E, and B, as well as other substances such as choline, taurine, and sterols. It is shown that the diet of insects has a significant influence on the content of these substances, with different foods and living conditions leading to different nutrient compositions in insects. Research also indicates that environmental factors such as temperature and light can influence the nutrient content of insects, including the synthesis of vitamin D₃ under the influence of UV-B radiation. The utilization of insects as a source of protein and oils in the nutrition of aquatic organisms, particularly in the form of insect meal and oils, is highlighted. Insects offer many advantages, such as high nutritional value, easy reproduction, and the ability to grow on various substrates. Numerous studies have shown that insect products can replace or partially replace traditional ingredients in aquaculture feeds, resulting in positive effects on the growth and health of fish and shrimp. Although there are concerns regarding the chitin content in insect meal and its potential negative impact on digestibility and growth, proper processing and treatment seem to minimize these issues. Furthermore, it focuses on various aspects, including the impact of insect products on the composition of fatty acids, texture, and immune function of fish, as well as their antioxidant capacity. Findings suggest that substituting fish meal with insect meal may have different effects on different species of aquatic organisms and depends on many factors, such as the type of insect, its processing, and the amount in the diet. Results indicate that replacing some fish meal with insect meal can be done without significant negative impacts on growth, immune function, or antioxidant capacity of fish. However, the successful adoption of insect utilization in feeds for aquatic organisms is likely to depend on acceptance from aquaculture producers and consumers. Further studies and research, particularly in developing countries, are needed to better understand the potential benefits and impacts of insect utilization in feeds for aquatic organisms. The optimization of insect products in aquatic animal feed is still the subject of research and requires further studies to achieve maximum efficiency and sustainability.

Keywords: recycling, intensive aquaculture, production, insects, nutrition

Obsah

3. Úvod.....	9
4. Cíl práce.....	10
5. Živiny obsažené v hmyzu	11
1.1 Bílkoviny a amino kyseliny	11
1.2 Tuk a mastné kyseliny	12
1.2.1 Vliv životního stádia na obsah tuku	13
1.3 Sacharidy	13
1.4 Vláknina a chitin	14
1.5 Minerály	15
1.6 Vitamíny a karotenoidy	16
1.6.1 Vitamín A	16
1.6.2 Vitamin D	17
1.6.3 Vitamin E.....	17
1.6.4 Vitamíny skupiny B.....	17
1.7 Cholin	18
1.8 Taurin	18
1.9 Steroly	18
2 Vliv stravy na složení živin v hmyzu	19
2.1 Tuk a mastné kyseliny	19
2.2 Vitamíny	20
3 Vliv prostředí na složení hmyzu	20
4 Druhy hmyzu využívané v krmivech pro vodní živočichy	20
5 Produkce a zpracování hmyzí biomasy pro krmiva pro vodní živočichy.....	23
6 Využití v krmivech pro vodní živočichy	25
6.1 Doporučené množství v krmivech	25
6.2 Účinky hmyzí moučky na vodní živočichy	27
6.2.1 Růst a využití krmiva	27
6.2.2 Vliv hmyzí moučky na kvalitu a bezpečnost rybího masa	28
6.2.3 Imunitní reakce a odolnost vůči nemocem	29
6.2.4 Antioxidační kapacita	31
6.2.5 Názor spotřebitelů na produkty akvakultury krmené hmyzí moučkou	32

7 Závěr	33
8 Literatura	34
6. Přílohy.....	52

Úvod

Hmyz se v poslední době stal středem pozornosti v akvakulturním průmyslu, zejména pokud jde o jeho potenciál jako zdroj bílkovin a dalších živin v krmivech pro vodní živočichy. Tento trend je podpořen výzkumy, které ukazují na slibné výsledky využití různých druhů hmyzu v krmivech pro ryby a krevety. Transformace hmyzu na složky krmiv pro vodní živočichy je klíčovým krokem, který ovlivňuje jeho účinnost a úroveň vhodnosti pro vodní živočichy. S narůstajícím zájmem o využití hmyzu jako náhrady za rybí moučku v krmivech pro vodní živočichy se objevují otázky ohledně udržitelnosti a nutriční hodnoty této nové složky krmiv. K dispozici jsou různé metody zpracování hmyzu pro začlenění do krmiv, včetně sušení, mletí a odtučňování. Tyto procesy mohou ovlivnit nutriční hodnotu hmyzu, zejména jeho obsah bílkovin, mastných kyselin a dalších živin. Studie naznačují, že hmyz může být účinnou náhradou za rybí moučku v krmivech pro vodní živočichy, avšak optimální úroveň zařazení hmyzu do těchto krmiv je stále předmětem výzkumu a diskuse. Zatímco některé studie naznačují, že až 30 % hmyzí moučky může být bez negativních účinků začleněno do krmiv pro vodní živočichy, další ukazují na potřebu opatrnosti při určování těchto úrovní zařazení. Důležitým faktorem je také zkoumání dopadů různých druhů a zpracování hmyzu na růst, zdraví a nutriční hodnotu vodních živočichů.

Cíl práce

Cílem práce byla tvorba souboru informací týkajících se využití hmyzu jako akvakulturního krmiva. Práce uvádí nutriční obsahy živin v hmyzu jako jsou bílkoviny, tuky, aminokyseliny, mastné kyseliny, vitamíny, taurin, steroly atd. Dále má být uveden vliv stravy na složení živin v hmyzu, jeho nahrazování v dietách akvakulturních živočichů, druhy hmyzu využívané jako krmivo v akvakultuře. Uvedeny jsou účinky hmyzí moučky na živočichy a to na růst, kvalitu a bezpečnost rybího masa, imunitu a antioxidační kapacitu živočichů.

1. Živiny obsažené v hmyzu

1.1. Bílkoviny a amino kyseliny

Obsah bílkovin v hmyzu se pohybuje mezi 25 a 75 % v sušině (Bukkens 1997). Bílkoviny se skládají z aminokyselin a skutečný obsah bílkovin se rovná součtu aminokyselin. Obsah bílkovin se však obvykle odhaduje tak, že se obsah dusíku vynásobí proteinovým faktorem Kp o hodnotě 6,25. Výsledkem je tzv. obsah hrubých bílkovin. Tento faktor je podhodnocen, pokud nejsou započítány všechny aminokyseliny nebo z důvodu metodických problémů, jako jsou ztráty aminokyselin během hydrolýzy (Oonincx et al. 2019). Naopak přítomnost nebílkovinných složek dusíku ze sloučenin, jako je chitin, kyselina močová a β -alanin, vede při použití tohoto faktoru k nadhodnocení skutečného obsahu bílkovin. Na základě údajů o aminokyselinách larev potemníka moučného (*Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758), a mouchy bráněnky (*Hermetia illucens* Linnaeus, 1758) byla pro hmyz navržena univerzální hodnota Kp 4,76 (Janssen et al. 2017). Přepočtem údajů z 20 vzorků hmyzu zahrnujících 13 druhů a různá vývojová stádia bylo zjištěno, že průměrná hodnota Kp činí 5,81 (Finke 2002).

Aminokyseliny, které tvoří skutečné bílkoviny, se obecně dělí buď na nutričně nepostradatelné, jinak esenciální aminokyseliny, nebo na nutričně postradatelné, jiank neesenciální aminokyseliny. Zatímco všechny aminokyseliny jsou potřebné, nutričně nepostradatelné aminokyseliny si většina živočišných druhů nedokáže syntetizovat a musí je přijímat v potravě. Rozdíly ve struktuře aminokyselin mezi jednotlivými životními stádii druhu částečně závisí na tom, zda daný druh prochází úplnou metamorfózou (holometabolní hmyz) nebo neúplnou metamorfózou (hemimetabolní hmyz) (Finke 2002). Srovnání aminokyselinové struktury (mg aminokyselin/g hrubého proteinu) u hemimetaboloidního cvrčka domácího (*Acheta domesticus* Linnaeus, 1758) naznačuje, že aminokyselinové složení je poměrně konstantní a není ovlivněno stravou ani životním stádiem. Podobně i larvy mouchy bráněnky chované na osmi různých dietách měly podobný aminokyselinový vzorec (Spranghers et al. 2017), stejně jako larvy rodu *Manduca sexta* (Linnaeus, 1763) krmené dvěma různými dietami (Landry et al., 1986). To naznačuje, že u holometabolních druhů jsou vzorce aminokyselin v rámci určitého životního stádia pořád stejné.

Části těla, jako jsou křídla, nohy nebo čelisti mají specifické biomechanické požadavky na správnou funkci, a proto je nepravděpodobné, že by se jejich aminokyselinové složení mohlo měnit v závislosti na stravě. Lze však očekávat, že vzorce aminokyselin mezi různými vývojovými stádii holometabolního hmyzu se budou lišit, protože larvy a dospělci jsou morfologicky odlišní. To se potvrdilo u potemníků moučných, kde se aminokyselinová struktura larev lišila od dospělců s tvrdším tělem. Dospělci obsahují více glycinu a tryptofanu než larvy potemníků, zatímco larvy obsahují více leucinu, fenylalaninu a tyrosinu než dospělí jedinci (Finke 2002). Aminokyselinové vzorce mouček larev a kukel mouchy domácí (*Musca domestica* Linnaeus, 1758) chovaných na stejné stravě se také liší. V tomto případě byly rozdíly pozorovány u aminokyselin alaninu, argininu, kyseliny asparagové, metioninu, serinu a tyrosinu (Pieterse & Pretorius, 2014).

Vzorci aminokyselin jsou důležité, protože částečně určují vhodnost zdrojů bílkovin ve stravě. Tato vhodnost závisí také na požadavcích konzumujícího zvířete na aminokyseliny. Aminokyselina s nejnižší koncentrací, kterou zvíře nutně potřebuje se nazývá první limitující aminokyselina. Metionin a cystin jsou obvykle prvními limitujícími aminokyselinami u většiny druhů hmyzu, pokud jsou zkrmovány hospodářským zvířatům nebo lidem. Výjimkou jsou zřejmě cvrčci domácí v krmivech pro sumce velké (*Silurus glanis* Linneaus, 1758) a prasata, u nichž jsou prvními limitujícími aminokyselinami threonin nebo tryptofan. Tyto výpočty jsou podloženy údaji z krmných pokusů na zvířatech (Finke 1985). Kvalitu bílkovin určuje také stravitelnost, a tedy dostupnost aminokyselin. Aminokyseliny z hmyzích mouček jsou při zkrmování snadno dostupné a jejich hodnoty jsou stejné nebo vyšší než hodnoty z klasických zdrojů bílkovin, jako jsou sójový šrot nebo rybí moučka. Jedinou výjimkou je moučka z larev bráněnky, která má nižší stravitelnost aminokyselin, zejména u aminokyselin obsahujících síru, methionin a cystin (DeMarco et al. 2015). Larvy tohoto druhu mají velmi variabilní obsah minerálních látek, který je ovlivněn jejich stravou. Vzhledem k tomu, že část bílkovin je vázána na jejich mineralizovaný exoskelet, zvýšený obsah minerálních látek by mohl být důsledkem snížení jejich stravitelnosti (Tschirner et al. 2015). Proto by se stravitelnost aminokyselin a bílkovin mohla zvýšit chovem tohoto druhu krmených na dietách s nižším obsahem minerálních látek. Stravitelnost bílkovin hmyzu je obecně vysoká a je ovlivněna následujícími faktory. Pokud je větší podíl aminokyselin přítomen v kutikulárních bílkovinách komplexovaných s chitinem, stravitelnost bílkovin se pravděpodobně snižuje (Ozimek et al. 1985). Další faktor je odstranění některých částí těla, obvykle křídel nebo hlavy před dalším zpracováním a zkrmováním. A třetí faktor jsou metody zpracování, jako je sušení, které mohou snížit stravitelnost bílkovin v závislosti na čase a teplotě při sušení (Dreyer a Wehmeyer 1982).

1.1 Tuk a mastné kyseliny

Obsah tuku v hmyzu se v sušině pohybuje mezi 10 a 70 % (Bukkens 1997). Obvykle se obsah tuku odhaduje pomocí extrakce, která určuje celkovou hmotnost všech molekul rozpustných v tuku (surový tuk). To zahrnuje glyceridy, vosky, steroly, vitaminy rozpustné v tucích a další v tucích rozpustné sloučeniny.

Tuk se skládá z mastných kyselin. Diglyceridy a triglyceridy vznikají spojením dvou nebo tří mastných kyselin s glycerolem. Tyto mastné kyseliny se dělí podle stupně nasycení na nasycené, mononenasycené a polynenasycené mastné kyseliny. Polynenasycené mastné kyseliny se dále dělí na základě polohy první dvojné vazby v řetězci na omega 3, 6 nebo 9 polynenasycené mastné kyseliny.

Složení mastných kyselin hmyzu je ovlivněno druhem, životním stadiem a také faktory prostředí, jako jsou strava, teplota a světlo (von Huis a Tomberlin 2017). U většiny druhů mají samci menší tukové zásoby než samice (Zhou et al. 1995). Dále komerčně produkováný hmyz má obvykle vyšší obsah tuku než hmyz získaný z volné přírody (Finke 2002). To může být

způsobeno sníženým výdejem energie v zajetí nebo také snadným přístupem k potravě s vysokým obsahem energie.

Volně žijící hmyz obvykle obsahuje relativně vysoké množství kyseliny linolové a kyseliny linolenové. Naopak, komerčně chovaný hmyz má obvykle vyšší obsah kyseliny linolové, ale nižší obsah kyseliny linolenové než volně chovaný hmyz, což je zapříčiněné jeho stravou, která často obsahuje velké množství obilovin a vedlejších produktů z nich, které obsahují malé množství kyseliny linolenové (Jones et al. 1972). Larvy bráněnky mají bez ohledu na stravu neobvyklý profil mastných kyselin s bohatým zastoupením na kyselinu laurovou (St-Hilaire et al. 2007). Podobně jako obratlovci dokáže většina hmyzu syntetizovat nasycené a mononenasyčené mastné kyseliny (Tietz a Stern 1969). Většina druhů však není schopna syntetizovat kyselinu linolovou a linolenovou, což z těchto kyselin činí esenciální živiny. Existují výjimky, jako třeba šváb americký (*Periplaneta americana* Linnaeus, 1758) nebo cvrček domácí, kteří tyto mastné kyseliny syntetizovat dokážou (Borgeson et. al. 1991).

Několik studií, které uvádějí obsah mastných kyselin u hmyzu sebraného v terénu, zjistilo vyšší obsah kyseliny eikosapentaenové u vodních druhů než u druhů suchozemských, které tyto mastné kyseliny obsahují jen zřídka (Ghioni et al. 1996). Vodní mikrořasy produkují kyselinu eikosapentaenovou, která se přenáší na vyšší trofické úrovně včetně hmyzu. Vyšší rostliny v suchozemských ekosystémech kyselinu eikosapentaenovou nevytvářejí, což snižuje pravděpodobnost, že býložravý suchozemský hmyz tuto mastnou kyselinu v potravě získá (Gladyshev et al. 2011).

1.1.1 Vliv životního stádia na obsah tuku

Zásoby tuku jsou obvykle nejvyšší v posledním larválním nebo nymfálním stádiu. Tento vzorec závisí na tom, zda je druh holometaboloidní nebo hemimetaboloidní. Larvy holometabolních druhů mají vyšší obsah tuku než dospělci (Punzo 2003). Například obsah tuku v larvách octomilek obecných (*Drosophila melanogaster* Meigen, 1830), mouchy domácí, bráněnky se během vývoje zvyšuje, ale v dospělosti výrazně klesá, protože tuk je spotřebován jako zdroj energie během procesu kuklení (Liu a kol. 2017). Podobný pokles je pozorován u hmyzu, který prochází diapauzou nebo hibernací (Downer & Matthews 1976).

Podobně jako u holometabolního hmyzu se i u nymf hemimetabolního hmyzu během vývoje pomalu zvyšuje obsah tuku, jak bylo prokázáno u cvrčka domácího (Hutchins & Martin 1968). Na rozdíl od holometabolního hmyzu je však na tom tuk obsahově podobně u nově vzniklých hemimetabolních dospělců jako u nymf v pozdním stadiu a poté pomalu klesá (Lipsitz & McFarlane 1971).

1.2 Sacharidy

Sacharidy jsou obecně počítané jako bezdusíkatý extrakt a v hmyzu jsou přítomny v malém množství (Barker et al. 1998). Obsah sacharidů v larvách potěmníků moučných se může

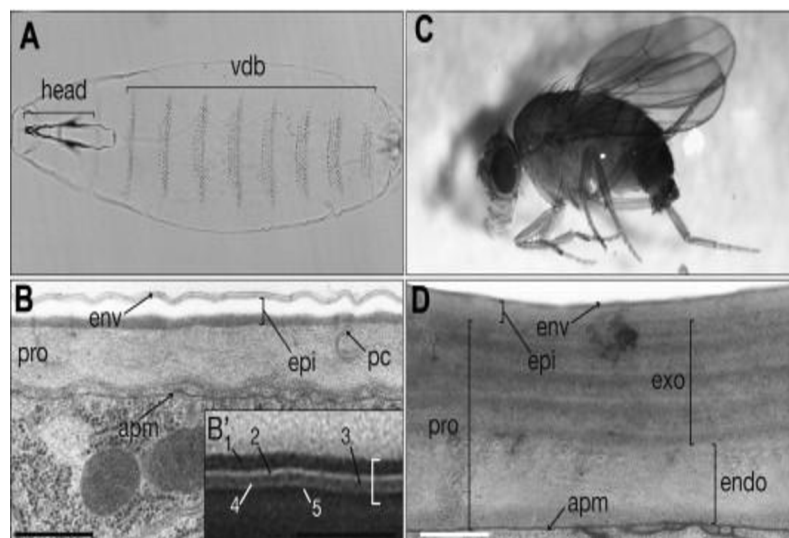
pohybovat mezi jedním až sedmi procenty. Tyto rozdíly jsou však pravděpodobně důsledkem potravy, která zůstává v trávicím traktu (Ramos-Elorduy et al. 2002).

1.3 Vlákna a chitin

Hmyz obsahuje významné množství vlákniny měřené jako hrubá vláknina, kyselá detergentní vláknina nebo neutrální detergentní vláknina (Barker et al. 1998). Složky v těchto vláknitých frakcích zahrnují sklerotizované bílkoviny a proteiny, minerální látky a další sloučeniny vázané na chitin. Chitin je N-acetyl- β -D-glukosaminový polymer, který zajišťuje tuhost exoskeletu hmyzu, což je vnější kostra hmyzího těla (Kramer et al. 1995).

Nejsvrchnější část hmyzu, kutikula, je tvořena matrixem proteinů, lipidů, minerálů a dalších sloučenin (Kramer et al. 1995). Chitin je přítomen pouze v prokutikule, která zahrnuje dvě nejnvnitřnější vrstvy kutikuly a tvoří tedy jen velmi malou část hmotnosti hmyzu (Moussian 2010). Strukturu kutikuly můžeme detailněji vidět na Obrázku 1. Kvantitativní údaje o obsahu chitinu v celém hmyzu jsou omezené a porovnávání mezi studiemi je obtížné vzhledem k používání různých analytických metod (Kaspari 1991).

Převažující složkou kutikuly většiny druhů hmyzu není chitin, ale bílkoviny (Kramer et al. 1995). Hmyz s tvrdším tělem obsahuje vyšší množství vlákniny než hmyz s měkčím tělem. To je způsobeno vyšším obsahem aminokyselin v kyselé detergentní frakci vlákniny. Struktura aminokyselin v celém hmyzu se liší od struktury v acido-detergentní frakci vlákniny a liší se i napříč jednotlivými druhy. Zejména koncentrace valinu, histidinu a glycinu jsou vysoké ve frakci acido-detergentních vláken. Tyto aminokyseliny pravděpodobně přispívají k relativní pevnosti, tuhosti, pružnosti a dalším fyzikálním vlastnostem sklerotizovaných a kutikulárních proteinů. Hmyz s tvrdší kutikulou nemusí nutně obsahovat více chitinu, ale v zásadě obsahuje více sklerotizovaných bílkovin a bílkovin sloučených s chitinem než hmyz s měkčím tělem. Také se zdá, že obsah chitinu u larválních stádií je nižší než u dospělých brouků (Finke 2007).



Obrázek 1(A) kutikula larvy *D. melanogaster*, (B) Kutikula larvy během vývoje, (C) Imago, (D) Vrstvy kutikuly dospělého hmyzu (Moussian 2010)

1.4 Minerály

Minerální látky se dělí na makrominerály (vápník, fosfor, hořčík, sodík, draslík a chloridy) a mikrominerály, či stopové minerály (železo, zinek, měď, mangan, jód a selen). Tato klasifikace je založena na množství potřebném k uspokojení výživových potřeb živočichů. U většiny druhů se požadavky na makrominerály měří v g na kg a požadavky na mikrominerály v mg na kg. Hmyz obecně obsahuje málo vápníku, protože nemá mineralizovanou kostru. Obsah vápníku je obvykle nižší než 0,3 % v sušině (Studier a Sevick 1992). Vyšší hladiny vápníku se uvádějí u cvrčků, což je pravděpodobně způsobeno vápníkem přijímaným v potravě, která zůstává ve střevě (Frye & Calvert 1989). Vyšší obsah vápníku mohou obsahovat také larvy bráněnky (Finke 2013) a larvy mouchy domácí, které vápník a další minerály zabudovávají do kutikuly. Proto často obsahují vysoké množství vápníku (Spranghers et al. 2017).

Hladiny hořčíku v hmyzu pravděpodobně odpovídají potřebám většiny druhů (Studier a Sevick 1992). Larvy bráněnky obsahují 3 až 10krát více hořčíku než většina ostatních hmyzích druhů (Finke 2013). Je to pravděpodobně důsledek jejich mineralizovaného exoskeletu, v němž minerální látky, jako jsou vápník a hořčík, tvoří komplex s chitinem (Diener et al. 2015).

Pouze několik studií uvádí obsah sodíku a draslíku v hmyzu. Hmyz obvykle obsahuje více draslíku než sodíku. Většina druhů hmyzu pravděpodobně obsahuje dostatečné množství těchto dvou minerálních látek, aby splnila požadavky na výživu většiny živočišných druhů, které mohou potencionálně hmyzem krmeny (Finke 2002).

Většina hmyzu obsahuje dostatečně vysoké množství stopových minerálů železa, zinku, mědi, manganu a selenu, které by splňovaly požadavky na výživu většiny zvířat (Studier a Sevick 1992). Studie však naznačují možné specifické rozdíly napříč hmyzími druhy u některých stopových minerálů. Například koncentrace manganu v královnách pěti druhů termitů (2 710-5 150 mg/kg sušiny) byly extrémně vysoké ve srovnání s mopanovými červy (*Gonimbrasia belina* Westwood, 1849) (39mg/kg sušiny), cvrčky domácími (38mg/kg sušiny), potemníky moučnými (5mg/kg sušiny) nebo sarančaty stěhovavými (*Locusta migratoria* Linnaeus, 1758) (10mg/kg sušiny) stanovenými ve stejné studii (Verspoor et al. 2020). Jiné druhy termitů z jiných oblastí, například *Nasutitermes spp.* z Venezuely, však vykazují nižší koncentrace manganu (32-115 mg/kg sušiny) (Oyarzun et al. 1996). V posledně jmenované studii byly patrné kastovní rozdíly. Královny měly mnohem nižší koncentraci manganu než dělnice (37 vs. 115mg/kg sušiny).

Dospělé octomilky (Barker et al. 1998) a mouchy domácí (Finke 2013) obsahují ve srovnání s většinou ostatních druhů hmyzu relativně vysoké množství železa (125 až 454 mg/kg sušiny). Nevyložený obsah trávicího traktu může tvořit významné procento celkové hmotnosti hmyzu (4-7 % živé hmotnosti) a proto strava přímo ovlivňuje i obsah minerálních látek v hmyzu určeného ke krmení akvakulturních druhů (Finke 2003).

Dostupnost minerálních látek mohou snižovat tzv. antinutriční faktory, jako jsou fytyáty, oxaláty a třísloviny. Například housenky můry císařky bledé (*Cirina forda* Westwood, 1849) obsahují jak kyselinu fytoovou (10 mg/kg), tak oxalát (40mg/kg), ale taniny neobsahují vůbec (Omotoso 2006). Třísloviny, kyselina fytoová a šřavelany byly nalezeny v larvách afrického palmového nosatce (*Rhynchophorus phoenicis* Fabricius, 1801) (Ekpo 2011). Zdrojem těchto antinutričních faktorů je pravděpodobně opět potrava přítomná v trávicím traktu. Důkazy o kumulaci těchto látek v hmyzu chybí. Zjištěné koncentrace se zdají být relativně nízké. V semenech a zrnech obilovin byly zjištěny koncentrace do 7 % sušiny (Zhou & Erdman 1995). Přehled obsahů některých minerálů v hmyzu můžeme vidět v tabulce 1.

Tabulka 1 Přehled obsahů minerálů v hmyzu (Finke 2002)

Mineral	Superworms	Giant mealworm (larvae)	Mealworm (larvae)	Mealworms (adult)	Waxworms	Silkworms	Crickets (adult)	Crickets (nymph)	Earthworms
Calcium (mg/kg)	177 ^c	184 ^c	169 ^c	231 ^c	243 ^c	177 ^c	407 ^c	275 ^c	444 ^b
Phosphorus (mg/kg)	2,370	2,720	2,850	2,770	1,950	2,370	2,950	2,520	1,590
Magnesium (mg/kg)	498	864	801	606	316	498	337	226	136
Sodium (mg/kg)	475	489	537	632	165 ^a	475	1,340	1,350	965
Potassium (mg/kg)	3,160	2,970	3,410	3,400	2,210	3,160	3,470	3,520	1,820
Chloride (mg/kg)	1,520	1,750	1,870	1,910	640	620	2,270	2,220	910
Iron (mg/kg)	16.5	21.5	20.6	21.8	20.9	16.5	19.3	21.2	50.4
Zinc (mg/kg)	30.7	44.5	52.0	46.2	25.4	30.7	67.1	68.0	17.7
Copper (mg/kg)	3.6	6.4	6.1	7.5	3.8	3.6	6.2	5.1	1.5
Manganese (mg/kg)	4.3	3.6	5.2	4.0	1.3 ^c	4.3	11.5	8.9	1.3 ^a
Iodine (mg/kg)	<0.1 ^c	<0.1 ^c	0.17	0.22	<0.1 ^c	<0.1 ^c	0.21	0.28	0.38
Selenium (mg/kg)	0.14	0.13	0.25	0.16	0.11	0.14	0.19	0.10	0.40

1.5 Vitamíny a karotenoidy

1.5.1 Vitamín A

Vitamin A je skupina sloučenin složená z retinoidů a karotenoidů. Hmyz získává hmyz retinoidy štěpením různých karotenoidů sstjně jako ětšina obratlovců (Von Lintig 2012). Štěpení karotenoidů u obratlovců však probíhá hlavně ve střevě a výsledné retinoidy jsou ukládány v játrech (Olson 1989), zatímco hmyz přeměňuje karotenoidy na retinoidy jen a pouze ve složeném oku (Von Lintig 2012). U octomilek se retinoidy nacházejí pouze ve složeném oku, zatímco ostatní části dospělého hmyzu retinoidy neobsahují. To vysvětluje, proč holometabolní dospělci obsahují velmi malé množství vitamínu A a holometabolní larvy, které nemají složené oči, neobsahují retinoidy vůbec (retinal nebo 3-hydroxyretinal) (Pennino a kol. 1991).

U většiny živočišných druhů bývají některé karotenoidy přeměňovány na vitamín A (Olson 1989). Vysoké množství karotenoidů, včetně těch, které lze přeměnit na vitamín A, se nachází v mnoha druzích volně žijícího hmyzu (Seki et al. 1998), zatímco komerčně produkovaný hmyz obsahuje mnohem nižší množství (Finke 2002). Tento rozdíl je pravděpodobně důsledkem příjmu karotenoidů v potravě, jak bylo prokázáno pro larvy bource morušového (*Bombyx mori* Linnaeus, 1758) (Chieco et al. 2019).

1.5.2 Vitamin D

Dlouhou dobu se mělo za to, že hmyz obsahuje pouze velmi nízké množství vitamínu D, obvykle méně než 400 IU/kg sušiny (Oonincx et al. 2010). Údaje ze čtyř druhů ulovených ve volné přírodě a to konkrétně cvrčka domácího, potemníka moučného, potemníka brazilského (*Zophobas morio* Fabricius, 1776) a zavíječe voskového (*Galleria mellonella* Linnaeus, 1758) ukázaly vysokou variabilitu jeho koncentrací s hodnotami od hodnot pod mezí detekce od méně než 100 IU vitamínu D3/kg až po 1288 IU vitamínu D3/kg (Finke 2015). Nedávno bylo zjištěno, že některé druhy hmyzu, stejně jako obratlovci, mohou syntetizovat vitamín D3 de novo, pokud jsou dostatečně vystaveny UV-B záření. Tato schopnost se u jednotlivých druhů značně liší. U larev bráněnek nebyly nalezeny žádné důkazy o syntéze de novo, ale larvy potemníka moučného mohou dosáhnout více než 6 000 IU/kg sušiny (Oonincx et al. 2018).

1.5.3 Vitamin E

Obsah vitamínu E v hmyzu napříč druhy se značně liší. Hodnoty pro cvrčky domácí se pohybují od 8 do 195 IU vitamínu E/kg sušiny, larvy potemníka moučného od méně než 22 až do 116 IU vitamínu E/kg sušiny a larvy bráněnek od 10 do 235 IU vitamínu E/kg sušiny (Pennino et al. 1991). Tyto rozdíly jsou pravděpodobně způsobeny rozdíly v potravě jednotlivých druhů, které vedou k tomu, že se do tkání hmyzu dostává různé množství vitamínu E, které se v trávicím traktu hmyzu vstřebává z potravy. I když se obsah vitamínu E u jednotlivých druhů liší, je u většiny komerčně chovaného hmyzu nižší než 37 IU/kg sušiny (Barker et al. 1998). Zdá se, že volně žijící hmyz obsahuje vyšší množství vitamínu E než komerčně chovaný hmyz, kterému je často poskytována strava s nízkým obsahem vitamínu E (Pennino et al. 1991).

1.5.4 Vitamíny skupiny B

Několik studií uvádí obsah vitamínů skupiny B v komerčně chovaném hmyzu. Obsah vitamínu B v nezpracovaném volně žijícím hmyzu je však není moc známý (Kinyuru et al. 2010). K dispozici jsou některé informace o obsahu vitamínů skupiny B v hmyzu uloveném ve volné přírodě, ale určeném k lidské konzumaci. Ty jsou obvykle tepelně nebo jinak upravené a zásadní části těla jsou často odstraněny. Při tomto zpracování mohou být některé vitamíny skupiny B zničeny působením tepla, světla nebo kyslíku. Přímé srovnání navíc komplikují rozdíly v přípravě vzorků a analytických metodách (Santos Oliveira et al. 1976).

Navzdory těmto problémům lze učinit některá obecná pozorování týkající se vitamínů skupiny B u hmyzu. Většina studií ukazuje, že nezpracovaný hmyz je velmi dobrým zdrojem riboflavinu, jinak vitamínu B2, niacinu, kyseliny pantotenové, pyridoxinu, jinak vitamínu B6, biotinu, kyseliny listové a kyanokobalamínu, jinak vitamínu B12. Nízký obsah některých z těchto vitamínů, který se občas uvádí, je pravděpodobně způsoben ztrátami během zpracování a skladování hmyzu (Kinyuru et al. 2010).

Jedním z vitamínů skupiny B, který se zdá být u mnoha druhů hmyzu nedostatkový, je thiamin, jinak vitamin B1. Mnoho druhů komerčně chovaného nebo volně žijícího hmyzu, včetně cvrčků domácích, dospělých potěmníků moučných, potěmníků brazilských, můr chilských (*Chilecomadia moorei* Figueroa, 1915), turkistánských švábů (*Blatta lateralis*), kobylek bledokřídých (*Trimerotropis pallidipennis* Burmeister, 1838) a nosorožků (*Oxygryllus ruginasus* LeConte, 1856), obsahuje nízké množství thiaminu, méně než 3.0 mg/kg sušiny, oproti tomu larvy bráněnek, dospělé mouchy domácí, bourci morušovní, larvy potěmníka moučného, zavíječi voskovi a lišaji (*Hyles lineata* Fabricius, 1775) obsahují mnohem vyšší množství v rozmezí 5,0 až 45,0mg thiaminu/kg sušiny. Vzhledem k tomu, že thiamin je relativně nestabilní a většina uváděných hodnot se týká tepelně zpracovaného hmyzu s odstraněnými částmi těl, není jasné, nakolik jsou tyto hodnoty relevantní pro nezpracovaný hmyz. Přesto by měl být rozsah hodnot thiaminu u zpracovaného hmyzu podobný jako u hmyzu syrového (Finke 2002).

1.6 Cholin

Cholin je součástí lecitinu i neurotransmiteru acetylcholinu. Hraje důležitou roli v metabolismu jednoho uhlíku a může ušetřit potřebu methioninu přijímaného ve stravě (Pesti et al. 1979). Údaje o cholinu v hmyzu, byť omezené, naznačují, že hmyz obsahuje jeho vysoké množství a to v rozsahu 1 570 až 7 258 mg/kg sušiny. Vzhledem k tomu, že methionin je obvykle první limitující aminokyselinou při zkrmování většiny druhů, je obsah cholinu důležitý při použití hmyzu jako krmiva nebo potravy (Finke 2002).

1.7 Taurin

Většina živočišných druhů dokáže syntetizovat taurin z methioninu. Larvy hmyzu obecně obsahují jen málo taurinu, pokud vůbec nějaký. Larvy můr rodu *Mamestra* i octomilek obsahují méně než 200 µg/g čerstvé hmotnosti nebo nezjistitelný taurin. Jeho hladina se však zvyšuje u kukel a vrcholí u dospělců s hodnotami rozemzí od 500 do 1100 µg/g čerstvé hmotnosti (Bodnaryk 1981), pravděpodobně proto, že letové svaly hmyzu obsahují vysoké koncentrace taurinu (Whitton et al. 1987). Dospělí cvrčci domácí (Finke 2002), dospělé kobylky blanokřídle (Finke 2015), dospělé octomilky (Massie et al. 1989), mouchy domácí (Finke 2013) a dospělí motýli (Bodnaryk 1981) jsou bohatými zdroji taurinu.

1.8 Steroly

Na rozdíl od většiny živočichů si hmyz nedokáže syntetizovat charakteristickou kruhovou strukturu sterolů, a proto je potřebuje přijímat v potravě (Jing a Behmer 2020). Forma sterolů proto závisí na potravě, kterou hmyz přijímá a druhu samotného hmyzu. Fytosteroly, jako jsou stigmasterol, sitosterol a kampesterol, nebo zoosteroly, jako jsou cholesterol a 7-dehydrocholesterol, jsou enzymaticky přeměňovány pro svou požadovanou funkci. Zdá se, že celkový obsah sterolů a jeho kolísání záleží kompletně na druhu, stravě, životního stádia hmyzu

a ročního období (Connor et al. 2006). V nejvyšším množství bývají v hmyzu zastoupeny β -sitosterol, cholesterol nebo 7-dehydrocholesterol (Svoboda et al. 1995).

2 Vliv stravy na složení živin v hmyzu

Strava, kterou hmyz pozřívá může ovlivnit složení tuků, mastných kyselin, vitaminů, karotenoidů a minerálních látek v jeho těle. Množství a složení mastných kyselin v tucích hmyzu je velmi variabilní a je ovlivněno jak stravou, tak i životním stádiem. To následně ovlivňuje obsah dalších živin, zejména bílkovin. Zvýšený obsah tuku při stabilním množství bílkovin snižuje koncentrace karotenoidů a minerálů, jak bylo prokázáno u larev mouchy domácí (Pearincott 1960).

2.1 Tuk a mastné kyseliny

Rozsah, v jakém je možné změnit obsah hrubého tuku a složení tuků v potravě, závisí do značné míry na druhu hmyzu. Například obsah tuku u potěmníků moučných krmených čtyřmi různými dietami se pohyboval v rozmezí od 23 do 29 % sušiny, zatímco u švábů argentinských (*Blaptica dubia* Serville, 1838) krmených těmito dietami se pohyboval v rozmezí od 16 do 40 % sušiny (Oonincx et al. 2015). Podobně se pohyboval obsah tuku u cvrčků domácích krmených pěti různými dietami a to v rozmezí od 9 do 44 % (Bawa et al. 2020). Obsah tuku u housenek druhu *Anticarsia gemmatalis* (Hübner, 1818) krmených umělou stravou obsahovaly o 71 až 105 % více tuku než larvy krmené rostlinnými listy (Cookman et al. 1984). Podobně byl zjištěn vyšší obsah tuku v sušených moučkách z housenek můr z čeledi *Sphingidae* a to rozdílem 21 % a 17 % sušiny (Landry et al. 1986).

Kromě variability v celkovém obsahu tuku jsou patrné velké rozdíly ve složení mastných kyselin u hmyzu krmeného různými dietami, což je podobné jako u většiny obratlovců. Četné studie ukazují, že složení mastných kyselin u larev i dospělého hmyzu částečně odráží složení mastných kyselin v potravě. V důsledku selektivní akumulace, katabolismu nebo syntézy mastných kyselin však není složení těchto mastných kyselin identické (Schaefer 1968).

Obsah omega-3 mastných kyselin v larvách mouchy domácí (Hussein et al. 2017), larvách bráněnky (St-Hilaire et al. 2007), cvrčků banánových (*Gryllus assimilis* Fabricius, 1775) (Komprda et al., 2013), cvrčků domácích, potěmníka moučného (Finke 2015), menších moučných červů (Oonincx et al. 2019), se zvyšuje podáváním stravy obohacené o tyto mastné kyseliny. Larvy bráněnky krmené dietou obsahující rybí olej nebo vedlejší produkty z ryb hromadí kyselinu eikosapentaenovou i dokosaheptaenovou (St-Hilaire et al. 2007). Naproti tomu cvrčci domácí krmené dietami obsahujícími rybí olej akumulují kyselinu eikosapentaenovou, ale nikoli kyselinu dokosaheptaenovou, přestože byly v dietách přítomny obě kyseliny (Finke 2015).

2.2 Vitamíny

O vlivu stravy na obsah vitamínů v hmyzu existuje jen málo údajů. Doplnění stravy cvrčků domácích, potemníků moučných, vysokým obsahem vitamínu E během růstu vedlo k jeho vysokému obsahu v hmyzu (116-440 IU/kg sušiny). Vzhledem k tomu, že hmyz byl před analýzou nenakrmený, jsou tyto zvýšené hladiny způsobeny především zabudováním vitamínu E do tkáně hmyzu. Obsah karotenoidů lze zvýšit také prostřednictvím potravy podávané hmyzu. Zkrmování stravy obsahující β -karoten druhům, které jako chromofor využívají retinal, jako jsou cvrčci domácí a larvy potemníků moučných zvyšuje koncentraci β -karotenu v jejich tkáních (Finke 2015). Poskytování stravy obsahující β -karoten druhům, které jako chromofor využívají 3-hydroxyretinal, jako jsou *Diptera* a *Lepidoptera*, obvykle nezvyšuje koncentraci β -karotenu, ale zvyšuje hladinu zeaxanthinu, jak bylo prokázáno u muchniček (*Calliphora*, Linnaeus, 1758) (Vogt & Kirschfeld 1984) a ovocných mušek (Giovannucci & Stephenson 1999). Kukly bource morušového však obsahovaly určité množství β -karotenu za podmínek, kdy byly larvy krmeny potravou obsahující β -karoten (Chieco et al. 2019).

3 Vliv prostředí na složení hmyzu

Je známo, že faktory prostředí, jako je teplota, světlo a vlhkost, ovlivňují růst a celkový vývoj hmyzu (Ali & Ewiess 1977). Zvýšení teploty chovu z 20 na 27 °C u cvrčků dvouskrvných (*Gryllus bimaculatus* De Geer, 1773) snižuje množství bílkovin a zvyšuje množství tuku v těle hmyzu. S vyšší teplotou se mění i profil jejich mastných kyselin, což vede k vyššímu stupni nasycení. To přispívá zvyšování živé hmotnosti jedince, což ukazuje na zvýšenou syntézu nasycených mastných kyselin při 27 °C (Hoffmann 1973). Podobně samičky komára (*Culex tarsalis*, Coquillett, 1896) obsahují více nenasycených mastných kyselin, pokud jsou chovány při 22 °C, ve srovnání s komáry chovanými při 30 °C, kteří obsahují více mastných kyselin s krátkým řetězcem. Tato akumulace nenasycených mastných kyselin je výraznější, pokud je tento druh chován v krátké fotoperiodě, což může mít také za následek zvýšení šance přežití v chladnějších teplotách. (Harwood a Takata 1965).

Kromě fotoperiody může složení ovlivnit i spektrum světelného zdroje. Pokud je vyzařováno UV-B záření, vede to u některých druhů hmyzu, například u potemníka moučného k syntéze vitamínu D3 (Oonincx et al. 2018). Koncentrace vitamínu D3 se při delší expozici v průběhu času zvyšuje, dokud nedosáhne možného maxima. Vyššího maxima je dosaženo při vyšší intenzitě UV-B záření. Vyšší výskyt krátkých vlnových délek ve spektru UV-B záření pravděpodobně vede také ke zvyšování obsahu vitamínu D3 u hmyzu (Diehl et al. 2018).

4 Druhy hmyzu využívané v krmivech pro vodní živočichy

V současné době je hmyz považován za nejslibnější a nejvhodnější zdroj živočišných bílkovin, a to především díky své nutriční hodnotě, aminokyselinovému složení a snadnému množení (Gasco et al. 2016). Hmyz je také nejpočetnější skupina organismů a přirozená potrava ryb a jiných vodních organismů (Alfíko 2021). Mnoho druhů hmyzu vykazuje příznivé

konverzní faktory a produktivitu, rychlé životní cykly a schopnost růst na různých dostupných substrátech, přičemž poskytují vysoce kvalitní a snadno stravitelné bílkoviny, nenasycené mastné kyseliny, vitamíny a funkční sloučeniny (Tacon a Metian 2008).

V důsledku toho byly některé z nich začleněny do receptur krmiv pro různé akvakulturní živočichy, což přineslo zajímavé výsledky. Mezi nejslibnější druhy hmyzu, jejichž moučka byla použita jako náhrada rybí moučky nebo rybího tuku, patří bráněnka, potemník moučný a moucha domácí (Belforti et al. 2015). Výše vyjmenované druhy mají dobře zdokumentované produkční procesy. Ačkoli je známo, že některé druhy hmyzu, jako například moucha domácí, jsou parazité a jsou přenašeči různých nemocí, jiné druhy, jako například bráněnka, jsou považovány za symbiotické, protože se mohou množit, aniž by způsobovaly jakoukoli známou újmu člověku nebo jiným živočichům (Menino a Murta 2021). Bráněnka a její larvy patří mezi nejdůležitější hmyz v oblasti krmiv (Mousavi 2020). Můžeme je vidět v obrázcích 2 a 3.



Obrázek 2 Moucha bráněnka (<https://www.poultryworld.net/> accessed 2020)

Na rozdíl od obratlovců je míra přeměny krmiva a emise skleníkových plynů u hmyzu v určitém teplotním rozmezí mnohem nižší, protože hmyz nespotřebovává energii na udržení tělesné teploty. Bez ohledu na různé metody množení a produkce různých druhů hmyz vykazuje slibné výsledky pro potenciální využití jako zdroj bílkovin a olejů v krmivech pro vodní živočichy (Belforti et al. 2015).



Obrázek 3 Larvy mouchy bráněnky (<https://bioinnovate-africa.org/> accessed 2019)

Mnoho studií odhalilo, že hmyzí moučky a olej mohou částečně nebo zcela nahradit rybí a sójové moučky a oleje, které se běžně používají v akvakultuře (Nogales-Merida et al. 2018). Hmyz, jako je bráněnka, byl intenzivně studován nejen v chovech ryb, ale také u drůbeže a prasat (Sogari et al. 2019). V akvakultuře odhalilo mnoho studií pozitivní výsledky, když byla moučka z bráněnek použita jako náhrada rybí moučky pro mnoho druhů, jako jsou například krevetka bělonohá (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931), barramundi (*Lates calcarifer*, Bloch, 1790), tilapie nilská (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) losos obecný (*Salmo salar*, Linnaeus, 1758) jeseter sibiřský (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869) a pstruh duhový (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) k produkci krmných ryb. U výše uvedených druhů bráněnka zlepšila různé růstové parametry i imunitní reakci na některé choroby postihující vodní druhy. Rovněž potěmnik moučný prokázal pozitivní výsledky při využití v dietě mnoha vodních druhů, jako je cejn velký (*Abramis brama*, Linnaeus, 1758), okounek pstruhový (*Micropterus salmoides*, Lacépède, 1802), mořčák evropský (*Dicentrarchus labrax* Linnaeus, 1758) a pstruh duhový. Potěmnik moučný má poměrně vysokou nutriční hodnotu a je bohatým zdrojem esenciálních aminokyselin, lipidů a mastných kyselin, které se liší v závislosti na vývojovém stádiu larev (Shafique et al. 2021).

Mezi další druhy hmyzu, které přinesly slibné výsledky u vodních živočichů, patří potěmnik brazilský u nilské tilapie (Alves et al. 2021) a bourec morušový u tichomořské bílé krevety (Rahimnejad et al. 2019), stejně jako jeho použití u mnoha dalších druhů chovaných ryb a krevet (Su et al. 2017). Larvy bource morušového můžeme vidět na Obrázku 4. Nutriční vlastnosti hmyzu pro použití v krmivech pro vodní živočichy pravděpodobně liší u různých druhů akvakultury i v rámci nich v závislosti na vývojovém stádiu, kultivačním médiu a podmínkách chovu (Liu et al. 2017).



Obrázek 4 Larvy bource morušového (Alfiko 2021)

5 Produkce a zpracování hmyzí biomasy pro krmiva pro vodní živočichy

Přeměna hmyzu na složky krmiv pro vodní živočichy je důležitým krokem, který určuje jejich požadovanou úroveň, účinnost a hodnotu pro vodní živočichy. Lidská produkce uměle vytvořeného krmiva se nemůže rovnat hmyzí produkci (Hua 2019). S objevem hmyzu a jeho potenciálu nahradit rybí moučku v krmivech pro živočichy hrozí, že přirozený sběr by mohl znamenat vážné problémy související s biologickou rozmanitostí a ochranou hmyzích druhů. Proto je masová produkce hmyzu pro komerční průmysl ze zemědělských organických zbytků a bioodpadu pro krmné účely v akvakulturách nebo potraviny slibným a udržitelným přístupem. Vzhledem k odchylkám, k nimž dochází při kultivaci v kontrolovaném prostředí pro hromadnou produkci hmyzu, se však očekává, že se bude lišit i nutriční hodnota (Varelas 2019). Nutriční vlastnosti různého hmyzu můžeme vidět v Tabulce 2. Cortes Ortiz et al. (2016) poznamenali, že diety vyžadované hmyzem se liší nejen v úpravě, ale také ve výživové hodnotě, potravní adaptaci hmyzu, druhu hmyzu. Dále bylo zjištěno, že hmyz má variabilní profily mastných kyselin, zejména má nízký obsah PUFA (Zarantoniello et al. 2020). Akumulace EPA a DHA u larev bráněnek a potměnků moučných bylo dosaženo krmením hmyzu vnitřnostmi sardinek kulatých (*Sardinella aurita* Valenciennes, 1847) a různých šedých (*Pagellus bogaraveo* Brünnich, 1768). Podobné nálezy byly zaznamenány Romero-Lorente et al. (2022) u larev potměníka moučného, nicméně autoři navrhli, že by bylo nutné delší předběžné ošetření. Tirtawijaya & Choi (2021) obohacovali substrát pro larvy bráněnek játry olihní v různých koncentracích od 2,5 % do 20 % a k dosažení lepší akumulace EPA a DHA v hmyzu byla údajně nutná koncentrace 5 %. Jedná se o skvělou recyklaci. Polynenasycené mastné kyseliny s velmi dlouhým řetězcem (VLCPUFA) by mohly být u larev bráněnek změněny úpravou stravy hmyzu (Barroso et al. 2017). Celkově tyto studie naznačily možnost zlepšení nutriční hodnoty hmyzu pro použití v krmivech pro vodní živočichy úpravou podmínek jeho chovu. Složení mastných kyselin v substrátu a hmotnost larev hmyzu jsou však určující pro profil mastných kyselin (Ewald et al. 2020).

Aby hmyz zůstal udržitelným zdrojem bílkovin v krmivech pro akvakulturní živočichy, je nízkonákladová technologie výroby pro komerční průmysl velmi důležitá (Varelas 2019).

Tabulka 2 Přehled nutričních vlastností nedospělých vývojových stádií hmyzu (Varelas 2019)

Insect Species	Common Name	Developmental Stage	Characterization of Food Properties
<i>Bombyx mori</i>	Silkworm	Pupae	Amino acid analysis, lipid determination
<i>Tenebrio molitor</i>	Yellow mealworm	Larvae	Amino acid composition (ion exchange chromatography), protein quality (color, protein content, and molecular weight), molecular weight distribution of the insect protein fractions (SDS-PAGE), foam ability and foam stability, rheological properties
<i>Tenebrio molitor</i>	Yellow mealworm	Larvae	Amino acid composition, water absorption capacity (WAC), fat absorption capacity (FAC), protein solubility, microstructure and color, rheological properties
<i>Acheta domestica</i>	House cricket	Adult	Amino acid composition (ion exchange chromatography), protein quality (color, protein content, and molecular weight), molecular weight distribution of the insect protein fractions (SDS-PAGE), foam ability and foam stability, rheological properties
<i>Musca domestica</i>	Housefly	Pupae	Moisture, protein, fat, ash, acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), minerals, amino acids, fatty acids, vitamins, and selected carotenoid determination
<i>Apis mellifera</i>	Honeybee	Eggs, larvae, adult	Determination of water content, crude fiber (structural carbohydrates), fat, free nitrogen extract and mineral salts, crude proteins, Vitamin B2
<i>Hermetia illucens</i>	Black soldier fly	Larvae	Moisture, protein, fat, ash, acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), minerals, amino acids, fatty acids, vitamins, and selected carotenoid determination

Dosud bylo jako složky krmiv pro vodní živočichy použito několik typů krmiv z hmyzu, včetně moučky, dužiny, pasty, trusu a oleje (Kumar et al. 2021). Nejčastěji používanou formou hmyzu v akvakrmivech je však moučka, ať už plnotučná nebo odtučněná. Například bráněnka se zpracovává hlavně na suchou moučku s použitím částečně odtučněných nebo plnotučných larev (English et al. 2021). U kranase japonského (*Seriola quinqueradiata* Temminck & Schlegel 1845) zlepšilo krmení ryb zcela odtučněnou moučkou z larev bráněnek růst ryb ve srovnání s použitím částečně odtučněných larev (Ido et al. 2021). Odtučnění hmyzu před mletím pro zařazení do krmiva pro vodní živočichy by proto mohlo u mnoha druhů ryb přinést lepší výsledky. Pro komerční využití se bráněnka zpracovává pomocí technologií, jako jsou sušárny, zatímco odtučnění se dosahuje pomocí speciálního lisu na olej nebo odstředivky (English et al. 2021). Sušení při správné teplotě je důležité zejména pro účely skladování, protože zabraňuje mikrobiální aktivitě, která by ovlivnila nejen nutriční hodnotu produktu a také jeho čerstvost a kvalitu. Odtučňování je doporučovaným postupem, jelikož se tak získá produkt s vysokým obsahem bílkovin a nízkou vlhkostí, který je ideální pro zkrmování a skladování. Vzhledem k tomu, že se larvy bráněnek obvykle suší při teplotách 90 °C a více, existují obavy, že dojde ke snížení koeficientu stravitelnosti živin, což by mohlo mít negativní dopad na růst ryb (Xu et al. 2020). Jen málo studií však komplexně zkoumá vliv zpracování, jako je teplota a tlak sušení, částečně odtučněných, úplně odtučněných nebo plnotučných mouček z larev bráněnek v dietách pro akvakulturní druhy ryb (English et al. 2021). Proto je v tomto ohledu zapotřebí dalšího výzkumu.

Červ mopanový (*Gonimbrasia belina* Westwood, 1849) byl zpracováván tak, že byl nejprve vykuchán před vařením ve slané vodě a následně sušen na slunci jako příprava na mletí na moučku (Rapatsa a Moyo 2017).

6 Využití v krmivech pro vodní živočichy

6.1 Doporučené množství v krmivech

Začlenění hmyzu do krmiv pro vodní živočichy bylo zkoumáno a je považováno za průlom ve snaze nahradit rybí moučku u mnoha druhů akvakultury. V současné době existuje jen pár studií, které stanovily optimální požadované množství hmyzích mouček v krmivech pro vodní živočichy (Katya et al. 2017). Informace, které jsou k dispozici, jsou většinou doporučená množství založené na výsledcích získaných při nahrazování rybí moučky moučkou hmyzí v krmivech akvakulturních živočichů. Uváděné výsledky týkající se hladin zařazování hmyzu do krmiv pro vodní živočichy vykazují rozporuplné výsledky v závislosti na faktorech, jako je druh ryb, fáze růstu, složení krmiva, způsob zpracování hmyzu a doba podávání diety rybám. Nedávný přehled studií o nutriční hodnotě hmyzu v krmivech pro akvakulturní živočichy ukazuje na vysokou míru rozdílů, pokud jde o maximální úroveň zařazení hmyzu do krmiv ~~→V~~ závislosti na těchto faktorech (Liland a kol. 2021). Autoři proto konstatovali, že 20 % až 30 % by mohlo být maximální rozmezí pro stupeň zařazení hmyzí moučky bez nepříznivých účinků. Dřívější přehledy se převážně zaměřovaly na úroveň zařazení hmyzích mouček u sladkovodních druhů (Henry et al. 2015), ale další studie rozšiřují záběr i na mořské druhy živočichů (English et al. 2021). Důvodem je rostoucí počet studií o tom, že úroveň požadavků na moučky z hmyzu mezi sladkovodními a mořskými druhy akvakultury se může lišit. Neexistují však studie, které by toto výrazně porovnávaly u vodních živočichů, přestože jsou mezi nimi zřejmé odlišné nutriční požadavky. U některých mořských druhů ryb, jako je například morčák pruhovaný, nebylo dříve dosaženo optimálního růstu při nahrazení rybí moučky plnotučnou hmyzí moučkou v podílu vyšším než 50 % (Basto et al. 2021). To bylo přičítáno nedostatku n-3 polynenasycených mastných kyselin s dlouhým řetězcem (LC-PUFA) v množství menším než 0,7 % sušiny při vyšších náhradách rybí moučky (Skalli & Robin 2004). Nedávná studie Basto et al. (2021) však ukázala, že až 80% podíl rybí moučky může být v krmné dávce plůdku morčáka pruhovaného nahrazeno moučkou z potemníka moučného, aniž by to mělo negativní vliv na jeho růst a kvalitu stravitelnosti živin. Vzhledem k tomu, že akvakultura je rozmanitý obor, pokud jde o chované druhy a jejich vývojová stádia, produkční systémy a různé podmínky chovu, je třeba provést další studie, které by zkoumaly úroveň požadavků na hmyzí moučku u vodních živočichů.

Většina pokroku dosaženého při využívání hmyzu v krmivu pro vodní živočichy se kvůli rostoucím nákladům zaměřila na nahrazení rybí moučky a otázky udržitelnosti. Většina existujících studií se proto zabývala účinkem nahrazení rybí moučky v různých množstvích ve stravě vodních živočichů s cílem částečně nebo zcela nahradit rybí moučku. To bylo provedeno buď kombinací některých druhů hmyzu (Hoffmann et al. 2021), nebo samostatně s aminokyselinami doplněnými tak, aby splňovaly životní požadavky ryb (Chemello et al. 2020).

Při kombinovaném použití však Hoffmann et al (2021) uvádí, že druh hmyzí moučky má zásadní vliv na růst ryb a parametry využití živin z krmiva. Ve své studii autoři zaznamenali, že kombinace plnotučné moučky z larválních stádií potemníků moučných a bráněnek se v dietách plůdku pstruha obecného (*Salmo trutta* Linnaeus, 1758) osvědčily lépe než kombinace mouček ze stádia imaga cvrčka krátkokřídleho (*Grylloides sigillatus* Walker, 1869) a švába turkeštánského (*Blatta lateralis* Walker, 1868). U okouna říčního (*Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758) byl plůdek krmen pokusnou dietou obsahující kombinaci 50 g/kg cvrčka domácího a 50 g/kg potemníka, což činilo 25% náhradu rybí moučky. Výsledkem byl výrazně nižší růst. To bylo přičítáno několika faktorům, včetně sníženého příjmu krmiva (chutnost), přítomnosti chitinu a oxidovaného tuku (Tilami et al. 2020).

Hmyz byl také používán samostatně nebo v kombinaci s jinými složkami jako náhrada rostlinných produktů ve výživě akvakulturních živočichů. Například zařazení bráněnky v množství 324 g/kg a moučky z vedlejších proteinových produktů v množství 81 až 206 g/kg vedlo k rychlejšímu růstu u cejnů ve srovnání s cejnými krmnými pouze rostlinnou směsí a rybí moučkou (Randazzo et al. 2021).

Přítomnost chitinu v hmyzích pokrmech by mohla mít příznivý vliv na zdraví lidí. Na ryby zas tím, že formují střevní mikrobiální společenstvo a posilují vrozenou imunitní odpověď, pokud jsou přidávány v mírném množství od 25 do 50mg/kg (Esteban et al. 2001). Na druhou stranu byl u většiny druhů zaznamenán negativní účinek na vyšší množství přidané hmyzí moučky, což souvisí se zvýšenou hladinou chitinu při vyšším množství (Kroeckel et al. 2012). Například bylo zaznamenáno, že moučka z larev bráněnek zapracovaná v množství 400 g/kg, což odpovídá hladině chitinu 2 g/100 g sušiny, snižuje stravitelnost sušiny a hrubého proteinu, ale neovlivňuje růst u pstruha duhového (Renna et al. 2017). Moučka z předžaludků bráněnek začleněná do diet juvenilních jedinců kambaly velké (*Psetta maxima* Linnaeus, 1758) v množství vyšším než 332 g/kg, což odpovídá hladině chitinu v rozmezí 47 až 73 g/kg sušiny, vedla ke snížení příjmu krmiva a konverze krmiva a následně také ke snížení růstu (Kroeckel et al. 2017). Podle Soetemans et al. (2020) je krystalická povaha chitinu přítomného v některých druzích hmyzu tím, co omezuje jeho využití v krmivech pro akvakulturní živočichy. Wang et al (2020) zjistili, že tato krystalická povaha se zvyšuje s postupem vývojového stádia hmyzu, zejména u bráněnky od larev po dospělého jedince. Například u plůdku jesetera sibiřského vedlo zařazení vysoce odtučněné moučky z bráněnky v množství 185 až 375 g/kg (25% až 50% náhrada rybí moučky; 0,72 až 1,92g/100g chitinu v krmivu) ke snížení příjmu krmiva a koeficientu stravitelnosti bílkovin. Zařazení v množství 750g/kg (100% náhrada rybí moučky; 3,75g/100g chitinu v krmivu) vedlo dokonce k úplnému odmítnutí krmiva (Caimi et al. 2020). Krmení plůdku pstruha obecného hydrolyzovaným potemníkem při zařazení minimálně 100 g/kg (9,3g/kg chitinu v krmivu; 42% náhrada rybí moučky) vedlo k významnému snížení poměru účinnosti bílkovin (Mikołajczak et al. 2020).

6.2 Účinky hmyzí moučky na vodní živočichy

6.2.1 Růst a využití krmiva

V akvakultuře byly studovány účinky několika druhů hmyzu na růst a využití krmiva, přičemž nejstudovanějším hmyzem v akvakultuře je bráněnka.

Například Fawole et al. (2020) provedli 60denní pokus, ve kterém zkoumali vliv náhrady rybí moučky moučkou z larev bráněnek v množství 25 %, 50 % a 75 % na růst, využití živin a zdravotní parametry keříčkovce červenolemého (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822). Složky diety keříčkovců z toho pokusu můžeme vidět v Tabulce 3. Tato studie zjistila, že moučka z larev bráněnek právě v množství 50 % vykazovala nejvyšší konečnou tělesnou hmotnost, přírůstek živé hmotnosti a specifickou rychlost růstu ve srovnání s ostatními skupinami krmenými klasickými dietami bez hmyzích mouček. Konverzní poměr krmiva, poměr účinnosti bílkovin a produktivní hodnota bílkovin byly také lepší u ryb krmených z 50 % moučkou z larev (Fawole et al. 2020). Studie Belghita et al. (2019) naznačila, že u lososa obecného je možné zcela nahradit rybí moučku moučkou hmyzí, aniž by byl ohrožen jejich růst a stravitelnost živin. Zařazení moučky z bráněnky do krmiva navíc údajně zlepšilo růstovou výkonnost u okounka pstruhového (Peng et al. 2021).

Tabulka 3 Složky a kompozice diety keříčkovce červenolemého (Fawole 2020)

Ingredient (g Kg ⁻¹)	FM	HP 25%	HP 50%	HP 75%
Fishmeal	150	112.5	75	37.5
² <i>Hermetia illucens</i> larvae meal	0	57.2	114.5	171.8
Soybean meal	360	360	360	360
Poultry meal	220	220	220	220
Wheat bran	40	40	40	40
Maize	140	130.3	121.5	112.7
Vegetable oil	50	40	29	18
Fish premix	20	20	20	20
Vitamin C	10	10	10	10
Starch (Binder)	10	10	10	10
Total	1000	1000	1000	1000
Proximate composition (g Kg ⁻¹)				
Dry matter	895.59	908.68	894.68	906.59
Crude protein	424.03	417.02	420.66	410.84
Crude lipid	96.33	94.01	92.96	97.71
Ash	76.11	78.35	85.58	82.88
NFE	359.46	366.39	357.60	361.28
GE (MJ Kg ⁻¹)	20.30	20.16	20.05	20.07

Výsledky testů ukázaly, že samotný olej z bráněnek nebo v kombinaci s dalšími dvěma hmyzími oleji v krmné dávce ryb významně zlepšil růst a využití krmiva ryb. Potemník je po bráněnce druhým nejčastěji studovaným hmyzem v akvakultuře, který má potenciál být využíván jako kvalitní proteinová složka v krmivech pro akvakulturní živočichy. Studie Rema et al. (2019) uvádí, že odstupňovaném zařazení odtučněného potemníka zvýšilo růst a využití

krmiva u pstruha duhového a prokázalo potenciál zcela nahradit rybí moučku. Naopak nebyl pozorován žádný významný vliv na růst a parametry využití krmiva při použití potemníků jako částečné náhrady rybí moučky v množství 25 % a 50 % po dobu 131 dní u růžichy šedé (Iaconisi et al. 2017). U některých druhů ryb však byly zaznamenány negativní efekty na růstovou výkonnost a využití krmiva z potemníka. Tato zjištění mohou vyžadovat lepší zpracování tohoto hmyzu a potřebu dalších studií k optimalizaci využití potemníka v akvakultuře (Coutinho et al. 2021).

6.2.2 Vliv hmyzí moučky na kvalitu a bezpečnost rybího masa

Kvalita a bezpečnost rybího masa jsou pro spotřebitele prvořadé, a proto by tyto parametry u ryb krměných produkty získanými z hmyzu měly být hodnoceny. Profil mastných kyselin v rybím masu je pro lidské zdraví nesmírně důležitý, zejména n-3 PUFA, EPA a DHA. Profil mastných kyselin v produktech získaných z hmyzu se značně liší v závislosti na druhu hmyzu, systému produkce a způsobu zpracování hmyzího produktu (Gasco et al. 2018). Obecně jsou hmyzí moučky chudé na EPA a DHA a bohaté na nasycené mastné kyseliny (SFA).

Profily mastných kyselin u ryb krměných produkty získanými z hmyzu nejsou zcela konzistentní a obecný trend týkající se EPA a DHA a dalších mastných kyselin chybějících v hmyzu ve studiích, týkajících se hmyzích diet ukazuje na pokles těchto mastných kyselin, pokud nejsou doplňovány jinak. Ukázalo se, že zkrmování vysokého množství moučky z larev bráněnek pstruhům duhovým ve 40% podílu (Renna et al. 2017) nebo kaprům obecným v podílu 14 % snižuje jak n-3, tak n-6 PUFA, ale zvyšují obsah SFA (Zhou et al. 2018). Podobně došlo ke snížení poměru n-3/n-6 a relativního obsahu EPA a DHA ve svalovině okounka pstruhového krměného moučkou z odtučněných larev potemníka moučného, která nahradila rybí moučku při zvyšujících se hladinách (0 %, 50 % a 100 %), nicméně absolutní hodnota EPA a DHA v porci masa o hmotnosti 100 g určené k lidské spotřebě zůstala u všech ryb nad doporučenou hladinou pro lidskou spotřebu, což činí více než 0,25g/100g mokré hmotnosti a významně se mezi jednotlivými úpravami nelišila (Sousa 2020).

Naopak poměr n-3/n-6 a obsah EPA a DHA se zvýšil u lososa atlantského krměného v mořské vodě dietou, ve které moučka z larev bráněnek nahradila rybí moučku v plném rozsahu (Belghit et al. 2019). Celkově lze 10% podíl hmyzí moučky, což odpovídá podílu 17 % rybí moučky, zařadit do diet bez výraznějších nepříznivých účinků na růst, využití krmiva, složení celého těla a profil mastných kyselin. Navíc, i přes vysoký přírůstek moučky z larev bráněnek v dietě snížil obsah n-3 PUFA ve masu z mořského vlka, nesnížil však celkový obsah n-3 PUFA ani podíl EPA (Pulido et al. 2022). Nahrazení 25 % rybí moučky směsí cvrčka domácího a potemníka brazilského v potravě okouna říčního zvýšilo obsah linolové mastné kyseliny a celkový obsah n-6 mastných kyselin v rybích filetech, ale neovlivnilo nutriční hodnotu ryb s potravou na bázi hmyzu pro lidskou spotřebu, a to i přes snížení růstové výkonnosti a zvýšení příjmu krmiva (Tilami et al. 2020).

Pokud jde o texturní vlastnosti ryb, náhrada rybí moučky hmyzími moučkami by mohla mít značnější vliv. Parametry textury jsou z technického hlediska důležité, a proto je není dobré přehlížet. Zařazení moučky z larev do diet tilapie nilské v množství od 110g/kg do 430g/kg významně zvýšilo tvrdost a snížilo ztráty spojené s rozmrazováním (Wang et al. 2017). Začlenění potemníka moučného do krmiv pro chrástala žlutého (*Larimichthys crocea* Richardson, 1846) vedlo ke zvýšení tvrdosti svaloviny (Yuan et al. 2022). Složení filetů nebylo ovlivněno zařazením moučky z larev bráněnek v množství 65 až 195g/kg (15 až 45% náhrada rybí moučky) do diet pro mořčáka pruhovaného (Moutinho et al. 2021). Nebyly také zjištěny žádné významné rozdíly ve správné struktuře filetů barramundi krmených dietami doplněnými hydrolyzátem z tuňáka a moučkou z larev bráněnek (50 až 100g/kg přídatku hmyzí moučky) (Chaklader et al. 2021).

6.2.3 Imunitní reakce a odolnost vůči nemocem

Reakce imunitních funkcí vodních živočichů na doplňky stravy se stala důležitým kritériem pro hodnocení vhodnosti krmných složek v akvakultuře. Využití hmyzu v krmivech pro vodní živočichy bylo hodnoceno z hlediska několika parametrů souvisejících s imunitou, včetně biochemického složení krve, histopatologie souvisejících orgánů, zdraví střev, související genové exprese a odolnosti vůči chorobám u mnoha druhů živočichů pocházejících z akvakultury.

Ve výživě lososa atlantského bylo možné dosáhnout úplné náhrady rybí moučky moučkou z bráněnek bez negativních účinků na histologii jater a transkripci prozánětlivých genů v ledvinách ryb (Belghit et al. 2019). U juvenilních jedinců kranase japonského nezměnil přidavek dietní moučky z bráněnek histomorfologii střev ryb (Wang et al. 2019). Nahrazení rybí moučky bráněnkovou moučkou v dietě keříčkovce červenolemého nezměnilo biochemické parametry krve ryb a diferenciální počet leukocytů (Fawole et al. 2020). Rovněž nebyl pozorován žádný významný vliv na histologii střev, úroveň stresu a imunitní reakci u danií pruhovaných (*Dani rerio* Hamilton-Buchanan, 1822) když byla rybí moučka nahrazena bráněnkovou v množství 25 % a 50 % (Zarantoniello et al. 2019). U juvenilního japonského mořského okouna (*Lateolabrax japonicus* Cuvier, 1828) neměla částečná náhrada rybí moučky až do 64 % odtučněnou moučkou z larev bráněnek vliv na histomorfologii střeva a jater, ani na střevní antioxidační stav a imunitní odpověď ryb (Wang et al. 2019). Nahrazení rybí moučky potemníkem moučným v dietě juvenilních tichomořských bílých krevet však zlepšilo míru přežití krevet po napadení patogenními bakteriemi (*Vibrio parahemolyticus* Sakazaki, 1963) (Motte et al. 2019). U jeseterů sibiřských zlepšila moučka z bráněnek morfologii střeva, ačkoli vyšší hodnoty inkluze nad 18,5 % měly pravděpodobně negativní dopad na zdravotní stav (Jozefiak et al. 2019). Zajímavé je, že odolnost tichomořských bílých krevet vůči *V. parahaemolyticus* a stresu nebyla po krmení krevet moučkou z bráněnek ovlivněna (Richardson et al. 2021). U keříčkovce červenolemého nebyl negativně ovlivněn zdravotní stav, když byla rybí moučka nahrazena ze 75 % (Fawole et al. 2020).

Existující studie ukazují mírné variability s ohledem na druh hmyzu a stav moučky použité v krmivu pro akvarijní ryby. Například nahrazení rybí moučky z 50 % částečně odtučněnou moučkou z bráněnek nepřineslo významný vliv na histologii sleziny, jater a střev pstruha duhového (Elia et al. 2018). Zatímco 28 až 67% plnotučný šrot z potemníka moučného jako náhrada rybí moučky by mohl zlepšit imunitní reakci ryb (Henry et al. 2018). U tilapie nilské bylo dosaženo úplné náhrady rybí moučky pomocí bráněnkové moučky s pozorovaným zlepšením v hematologii a imunitě kožního hlenu (Tippayadara et al. 2021), zatímco potemníkem brazilským bylo možné nahradit poze z 15 % pro zvýšení vrozené imunity ryb (Alves et al. 2021). Několik studií také uvádí kombinovaný účinek tzv. více druhů hmyzích mouček v akvakultuře, ale je třeba provést další výzkum (Jozefiak et al. 2019).

U tichomořských bílých krevet by náhrada rybí moučky moučkou z odtučněných kukel bource morušového ve vyšším množství (nad 75 %) mohla mít nepříznivé účinky na integritu hepatopankreatu (Rahimnejad et al. 2019). Podle zjištění Motte et al. (2019) náhrada rybí moučky 50% odtučněnou moučkou z potemníka moučného zlepšila jejich odolnost vůči syndromu časně mortality (EMS). U pstruha duhového Bruni et al. (2018) uvedli vliv nahrazení rybí moučky částečně odtučněnou bráněnkovou moučkou na střevní mikrobiální společenstvo ryb. V této studii autoři dospěli k závěru, že 50 % bráněnkové moučky v dietě může zlepšit biodiverzitu a změnit strukturu mikrobiálního společenstva ve střevě pstruha duhového. U pražmy červené (*Pagrus major* Temminck & Schlegel, 1843) zlepšilo krmení ryb dietami obsahujícími potemníka moučného po napadení bakteriálním patogenem (*Edwardsiella tarda* Ewing et al., 1965) jejich přežití (Ido et al. 2019).

Využití mouček z hmyzu v akvakultuře by mohlo podpořit používání rostlinných bílkovin, zejména sójové moučky, jejíž použití v chovu vysoce hodnotných druhů klesá, protože způsobuje střevní enteritidu. U pstruha duhového zařazení moučky z bráněnek do diet na bázi sójového šrotu úspěšně zabránilo střevní enteritidě vyvolané sójovým šrotem (Kumar et al. 2021). To bylo doprovázeno snížením regulace prostaglandinů a interferonového regulačního faktoru ve střevě ryb. Mechanismus, kterým hmyzí moučka zabraňuje enteritidě vyvolané sójovou moučkou u ryb, však není jasně objasněn. Podle Xiang et al. (2020) hmyzí moučka obsahuje bioaktivní peptidy, kterému by se mohla přisuzovat prevence tohoto onemocnění. Hmyzí moučka proto představuje potenciální prevenci střevních zánětů v akvakultuře. Jak však poznamenali Kumar et al. (2021), vyžaduje to další zkoumání za účelem charakterizace bioaktivních peptidů přítomných v hmyzích moučkách.

U některých akvakulturních druhů může složka hmyzu použitá v krmivu přinést různé výsledky. Kromě toho by různé druhy vodních živočichů mohly reagovat různě na různé množství hmyzí moučky obsažené v dietě. Například v dietách lososa atlantského by zařazení 6,25 % a 12,5 % moučky z bráněnek do diet z rybí moučky a rostlinné moučky mohlo snížit steatózu enterocytů v pylorických žlázkách ryb. Naopak k dosažení podobných výsledků by bylo zapotřebí 3,7 % a 6,7 % pasty z bráněnek. Autoři dále pozorovali, že zvýšením úrovně zařazení na 25 % moučky a 6,7 % pasty se zlepšila histologie distálního střeva. Byl také zaznamenán menší vliv moučky a pasty na proteom kožního hlenu a imunitu u lososa obecného (Weththasinghe et al., 2021). Yildirim-Aksoy et al. (2020) použili u hybridní tilapie jako zdroj

bílkovin, který v potravě nahradil rostlinné bílkoviny, frás, vedlejší produkt z larev mouchy bráněnky. Autoři zaznamenali zlepšenou vrozenou imunitní odpověď a odolnost vůči bakteriální infekci (*Flavobacterium columnare* Bernardet et al., 1996 a *Streptococcus iniae* Pier, 1976). Některé studie rovněž uvádějí účinek oleje z bráněnek u vodních živočichů. U pstruha duhového vykazoval bráněnkový olej příznivé účinky na imunitu ryb v játrech, střevě a ledvinách (Kumar et al., 2021). Podle zjištění Dumas et al. (2018) nemělo zařazení bráněnkového oleje do krmiva pstruha duhového vliv na histologii zadní části střeva, ačkoli výška klků v přední části střeva byla snížena.

U juvenilních jedinců kapra Xu et al. (2020) uvedli, že zařazení oleje do diety v nízkých dávkách menších než 131 g/kg neměla nikterak výrazný vliv na zdravotní stav trávicího traktu.

6.2.4 Antioxidační kapacita

Vliv využití hmyzu v krmivech pro ryby v ohledech antioxidační kapacitu ryb byl popsán v mnoha studiích se slibnými výsledky. Výsledky se však liší v závislosti na druhu hmyzu a jeho tělních částech použitých v krmivech pro krmivech živočichy. Například moučka z dietárního hmyzu, jako je například bráněnka, jako náhrada rybí moučky vykazovala škodlivé účinky na transkripci antioxidačních enzymů a genů souvisejících se stresem v leukocytech (Stenberg et al. 2019). U keříčkovce červenolemého náhrada rybí moučky v množství 75 % nezhorsila antioxidační stav ryby (Fawole et al. 2020). U pstruha duhového Elia et al. (2018) uvedli, že zařazení bráněnky v podílu alespoň 20 % do diety může negativně ovlivnit oxidační homeostázu ryb, zejména v játrech a ledvinách, a to omezením aktivity glutathionperoxidázy a zároveň zvýšením aktivity ethoxyresorufin O-deetylázy, glutathion S-transferázy a celkového glutathionu. Autoři proto navrhli přidávat do krmiva ryb množství bráněnky v podílu nižším než 20 %.

U lososa atlantského se zvýšením podílu pasty z bráněnky z 6,25 % na 25 % v dietách z rybí moučky a stravy rostlinného původu zlepšila antioxidační kapacita v krvi ryb (Weththasinghe et al. 2021). U tichomořských bílých krevet náhrada rybí moučky v dietě odtučněnou moučkou z kukel bource morušového zlepšila antioxidační kapacitu také (Rahimnejad et al. 2019). Xu et al. (2020) uvedli vliv hmyzích olejů na antioxidační stav juvenilních jedinců kapra. V této studii kombinované zařazení bráněnkového oleje, oleje z kukel bource morušového a poterníkového oleje zlepšilo antioxidační kapacitu v játrech ryb. Při porovnávání jednotlivých olejů z hmyzu autoři zjistili, že právě bráněnkový olej poskytuje nejlepší výsledky ve srovnání s ostatními dvěma oleji. Dále zaznamenali významně lepší antioxidační kapacitu u kapra krmeného dietní buničinou z bráněnek v nízkém množství.

Mezi další hmyzí moučky, které vykazují podobné výsledky, patří moučka z cvrčků dvojskvrných (*Gryllus bimaculatus* De Geer, 1773) v potravě keříčkovce (Taufek et al. 2016) a moučka z larev v potravě kapra obecného (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) (Ogunji et al. 2011). U pstruha duhového zlepšilo zařazení do diety přidání moučky z poterníka moučného aktivitu střevních antioxidačních enzymů a vedlo ke snížení peroxidace lipidů (Henry et al.,

2018) a u hybridní tilapie nebyla ovlivněna antioxidační kapacita, když byly ryby krmeny dietou obsahující moučkou z potměníka jako plnou náhradou rybí moučky (Qiao et al. 2019).

6.2.5 Názor spotřebitelů na produkty akvakultury krmené hmyzí moučkou

Použití hmyzu jako krmné složky v akvakultuře je poměrně nová, ale velmi slibná technologie, která zmírňuje rostoucí náklady na krmiva pro vodní živočichy v důsledku problémů s udržitelností rybí moučky (Hasimuna et al. 2019). Širší přijetí využití hmyzu v krmivech pro vodní živočichy však bude pravděpodobně ve větší míře záviset na akceptaci ze strany producentů akvakultury a spotřebitelů. Navzdory několika málo existujícím studiím zkoumajícím vnímání lidí ohledně používání hmyzu jako krmné složky pro akvakulturní živočichy, většina spotřebitelů produktů z vodních živočichů projevila příznivé reakce z různých důvodů, včetně bezrizikovosti, hlediska udržitelnosti a také dostupnost a přístup k informacím o produktech (Rumbos et al. 2021). Povědomí o produktech a dostupnost informací jsou považovány za nejdůležitější faktory, které by mohly urychlit přijímání a pozitivní vnímání vodních produktů vyrobených a odkrmených na bázi krmného hmyzu (Baldi et al. 2021). Podle Baldiho et al. (2021) by zvýšení informovanosti mohlo podpořit širší přijetí ze strany spotřebitelů. Zajímavé je, že studie provedená v Itálii odhalila, že muži a mladí spotřebitelé častěji přijímají akvakulturní produkty krmené na bázi hmyzu, což naznačuje, že pohlaví a věk by mohly hrát určitou roli. Autoři dále pozorovali, že dobře informovaní uživatelé měli vyšší míru akceptace ve srovnání s těmi, kteří měli málo informací nebo neměli žádné. Sogari et al. (2019) také poznamenali, že v Austrálii muži častěji požívali produkty krmené hmyzem jako potravu ve srovnání se svými ženskými protějšky. V Belgii se však nezdálo, že by věk a pohlaví významně ovlivňovaly zájem o akvakulturní produkty u lidí. Jak poznamenal Verbeke (2015), vnímání spotřebitelů, pokud jde o použití hmyzu v krmivech pro akvakulturní živočichy, se pravděpodobně vyvíjí v měřítku čase a liší se na základě kultury, úrovně informovanosti a minulých zkušeností, což znamená, že přijetí produktů akvakultury krmených hmyzem se zlepšuje se zvýšením úrovně informací o produktu. Kromě toho je pravděpodobné, že vnímání ovlivňují různé kultury a přesvědčení, ačkoli k potvrzení této skutečnosti je třeba provést další studie. V současné době byla většina existujících studií provedena ve vyspělých zemích, zejména v Evropské unii. Pro rozvojové země nejsou k dispozici žádné aktuální informace. Tento nedostatek informací ztěžuje předvídání vnímání v rozvojových zemích a mezi různými sociálními skupinami. Proto je třeba provést další studie v různých zemích, přinejmenším u hlavních producentů a mezi spotřebiteli z různých kultur, aby se zjistila budoucnost využití hmyzu v krmivech pro vodní živočichy.

7 Závěr

Tato bakalářská práce měla čtenáři přinést informace o využití hmyzu jako akvakulturní krmivo. Hmyz se ukázal jako slibný zdroj bílkovin a olejů pro krmiva vodních živočichů v akvakultuře. Studie prokázaly úspěšné nahrazení rybí moučky hmyzí moučkou a olejem, s pozitivními dopady na růst a imunitní reakce ryb a krevet. Nicméně, optimální hladiny inkorporace hmyzu do krmiv se ještě vyžadují další výzkum, zejména vzhledem k rozmanitosti chovaných druhů a vývojových stádií, produkčních systémů a podmínek chovu. Důkladné studie o nutričních hodnotách, zpracování a dopadu hmyzích produktů na živočichy jsou klíčové pro další rozvoj této oblasti. S udržitelností a efektivitou výroby hmyzích produktů lze očekávat, že budou hrát významnou roli v budoucnosti akvakultury jako alternativa ke konvenčním krmivům.

V některých případech může nahrazení rybí moučky hmyzími moučkami vést k pozitivním výsledkům, jako je zlepšení textury svaloviny nebo zvýšení imunitní reakce. Avšak v jiných případech může být efekt neutrální nebo dokonce negativní, například když vyšší obsah hmyzí moučky snižuje antioxidační kapacitu rybích tkání.

Přestože se jedná o relativně novou technologii, využití hmyzu v krmivech nabízí potenciál pro snížení nákladů a udržitelnost v akvakultuře. Nicméně, přijetí této technologie ze strany producentů a spotřebitelů může být ovlivněno informovaností, kulturními faktory a minulými zkušenostmi. Další výzkum a studie jsou nezbytné k plnému pochopení dopadu využití hmyzu v krmivech pro vodní živočichy a k předvídání jeho budoucího přijetí ve všech oblastech.

8 Literatura

- ALFIKO, Y., D. XIE, R.T. ASTUTI a et al., 2021. *Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends* [online]. (7), 166-178 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.10.004>
- ALI, M. a M. A. EWIESS, 1977. *Photoperiodic and temperature effects on rate of development and diapause in the green stink bug, Nezara viridula L. (Heteroptera: Pentatomidae)* [online]. (84), 256-264 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1977.tb04286.x>
- ALVES, A.P.C. a et al., 2020. *Nile tilapia fed insect meal: Growth and innate immune response in different times under lipopolysaccharide challenge* [online]. (52), 529-540 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/are.14911>
- BALDI, L. a et al., 2021. *Consumer attitude and acceptance toward fish fed with insects: a focus on the new generations* [online]. (8), 1249-1263 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0109>
- BARKER, D., M. P. FITZPATRICK a E. S. DIERENFELD, 1998. *Nutrient composition of selected whole invertebrates* [online]. (17), 123-134 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2361\(1998\)17:2%3C123::AID-ZOO7%3E3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2361(1998)17:2%3C123::AID-ZOO7%3E3.0.CO;2-B)
- BARROSO, F.G. a et al., 2017. *Insects as food: Enrichment of larvae of Hermetia illucens with omega 3 fatty acids by means of dietary modifications* [online]. (62), 8-13 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.04.008>
- BASTO, A. a et al., 2021. *The Use of Defatted Tenebrio molitor Larvae Meal as a Main Protein Source Is Supported in European Sea Bass (Dicentrarchus labrax) by Data on Growth Performance, Lipid Metabolism, and Flesh Quality* [online]. (12), 1-18 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.659567>
- BAWA, M., S. SONGSERMPONG, C. KAEWTAPEE a W. CHANPUT, 2020. *Effect of Diet on the Growth Performance, Feed Conversion, and Nutrient Content of the House Cricket* [online]. (20), 1-10 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaa014>
- BELFORTI, M., F. GAI, C. LUSSIANA, M. RENNA, V. MALFATTO a et al., 2015. *Tenebrio Molitor Meal in Rainbow Trout (Oncorhynchus Mykiss) Diets: Effects on Animal Performance, Nutrient Digestibility and Chemical Composition of Fillets* [online]. (14), 670-676 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.4170>

BELGHIT, I. a et al., 2019. *Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (Salmo salar)* [online]. (503), 609-619 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.032>

BODNARYK, R. P., 1981. *The biosynthesis, function and fate of taurine during the metamorphosis of the noctuid moth Mamestra configurata* [online]. (11), 199-205 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0020-1790\(81\)90096-2](https://doi.org/10.1016/0020-1790(81)90096-2)

BORGESSION, C.E., T.J. KURTTI, U.G. MUNDERLOH a G.J. BLOMQUIST, 1991. *Insect tissues, not microorganisms, produce linoleic acid in the house cricket and the American cockroach* [online]. (47), 238-241 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/BF01958146>

BRUNI, L. a et al., 2018. *Characterisation of the intestinal microbial communities of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fed with Hermetia illucens (black soldier fly) partially defatted larva meal as partial dietary protein source* [online]. (487), 56-63 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.01.006>

BUKKENS, S. G. F., 1997. *The nutritional value of edible insects. Ecology of Food and Nutrition* [online]. 187-319 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/03670244.1997.9991521>

CAIMI, C. a et al., 2020. *Could Dietary Black Soldier Fly Meal Inclusion Affect the Liver and Intestinal Histological Traits and the Oxidative Stress Biomarkers of Siberian Sturgeon (Acipenser baerii) Juveniles?* [online]. (10), 1-15 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ani10010155>

CHAKLADER, M.R. a et al., 2021. *Supplementation of tuna hydrolysate and insect larvae improves fishmeal replacement efficacy of poultry by-product in Lates calcarifer (Bloch, 1790) juveniles.* [online]. (11), 1-20 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84660-5>

CHEMELLO, G. a et al., 2020. *Partially Defatted Tenebrio molitor Larva Meal in Diets for Grow-Out Rainbow Trout, Oncorhynchus mykiss (Walbaum): Effects on Growth Performance, Diet Digestibility and Metabolic Responses* [online]. (10), 1-15 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ani10020229>

CHIECO, C., L. MORRONE, G.BERTAZZA, S. CAPPELLOZZA, A. SAVIANE, F. GAI, N. DI VIRGILIO a F. ROSSI, 2019. *The Effect of Strain and Rearing Medium on the Chemical Composition, Fatty Acid Profile and Carotenoid Content in Silkworm (Bombyx mori) Pupae* [online]. (103), 1-13 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ani9030103>

- CONNOR, W. E., Y. WANG, M. GREEN a D S. LIN, 2006. *Effects of diet and metamorphosis upon the sterol composition of the butterfly Morpho peleides* [online]. (47), 1444-1448 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1194/jlr.M600056-JLR200>
- COOKMAN, J.E., M.J. ANGELO, F. SLANSKY JR a J.L. NATION, 1984. *Lipid content and fatty acid composition of larvae and adults of the velvetbean caterpillar, Anticarsia gemmatalis, as affected by larval diet* [online]. (30), 523-527 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(84\)90078-7](https://doi.org/10.1016/0022-1910(84)90078-7)
- CORTEZ ORTIZ, J.A. a et al., 2016. *Insect Mass Production Technologies* [online]. 153-201 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00006-5>
- COUTINHO, F. a et al., 2021. *Mealworm larvae meal in diets for meagre juveniles: Growth, nutrient digestibility and digestive enzymes activity* [online]. (535), 1-8 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736362>
- DE MARCO, M., S. MARTÍNEZ, F. HERNANDEZ, et al., 2015. *Nutritional value of two insect larval meals (Tenebrio molitor and Hermetia illucens) for broiler chickens: apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. Animal Feed Science and Technology* [online]. 211-218 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.006>
- DIEHL, J. J. E., F. M. BAINES, A. C. HEIJBOER, J. P. VAN LEEUWEN, M. KIK, W. H. HENDRIKS a D.G.A.B. OONINCX, 2018. *A comparison of UVb compact lamps in enabling cutaneous vitamin D synthesis in growing bearded dragons* [online]. (102), 308-316 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/jpn.12728>
- DIENER, S., C. ZURBRÜGG a K. TOCKNER, 2015. *Bioaccumulation of heavy metals in the black soldier fly, Hermetia illucens and effects on its life cycle* [online]. (1), 261-270 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0030>
- DOWNER, R.G.H. a J.R. MATHEWS, 1976. *Patterns of Lipid Distribution and Utilisation in Insects* [online]. (16), 733-745 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/icb/16.4.733>
- DREYER, J.J. a A.S. WEHMEYER, 1982. *Nutritive value of Mopanie worms* [online]. 33-35 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10204/2349>

DUMAS, A. a et al., 2018. *The oil fraction and partially defatted meal of black soldier fly larvae (Hermetia illucens) affect differently growth performance, feed efficiency, nutrient deposition, blood glucose and lipid digestibility of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss)* [online]. (492), 24-34 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.038>

EKPO, E.K., 2011. *Effect of processing on the protein quality of four popular insects consumed in Southern Nigeria* [online]. (3), 307-326 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <http://www.scholarsresearchlibrary.com/>

ELIA, A.C. a et al., 2018. *Influence of Hermetia illucens meal dietary inclusion on the histological traits, gut mucin composition and the oxidative stress biomarkers in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss)* [online]. (496), 50-57 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.07.009>

ENGLISH, G. a et al., 2021. *A review of advancements in black soldier fly (Hermetia illucens) production for dietary inclusion in salmonid feeds* [online]. (5), 100-164 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100164>

EWALD, N. a et al., 2020. *Fatty acid composition of black soldier fly larvae (Hermetia illucens) – Possibilities and limitations for modification through diet* [online]. (102), 40-47 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.014>

ESTEBAN, M.A. a et al., 2001. *Immunomodulatory effects of dietary intake of chitin on gilthead seabream (Sparus aurata L.) innate immune system* [online]. (11), 303-315 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1006/fsim.2000.0315>

FAWOLE, F.J. a et al., 2020. *Substituting fishmeal with Hermetia illucens in the diets of African catfish (Clarias gariepinus): Effects on growth, nutrient utilization, haemato-physiological response, and oxidative stress biomarker* [online]. (518), 1-7 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734849>

FINKE, M.D., M.L. SUNDE a G.R. DEFOLIART, 1985. *An Evaluation of the Protein Quality of Mormon Crickets (Anabrus simplex Haldeman) When Used as a High Protein Feedstuff for Poultry* [online]. 708-712 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3382/ps.0640708>

FINKE, M. D., 2002. *Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores* [online]. 269-285 [cit. 2024-04-22]. ISSN 0733-3188. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/zoo.10031>

FINKE, M. D., 2003. *Gut loading to enhance the nutrient content of insects as food for reptiles: A mathematical approach* [online]. (22), 147-162 [cit. 2024-04-23].

Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/zoo.10082>

FINKE, M. D., 2007. *Estimate of chitin in raw whole insects* [online]. (26), 105-115 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/zoo.20123>

FINKE, M. D., 2013. *Complete Nutrient Content of Four Species of Feeder Insects* [online]. (32), 27-36 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/zoo.21012>

FINKE, M. D., 2015. *Complete nutrient content of four species of commercially available feeder insects fed enhanced diets during growth* [online]. (34), 554-564 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/zoo.21246>

FRYE, F. L. a C. C. CALVERT, 1989. *Preliminary Information on the Nutritional Content of Mulberry Silk Moth (*Bombyx mori*) Larvae* [online]. (20), 73-75 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/20094922>

GASCO, L. a et. al., 2018. *Fishmeal Alternative Protein Sources for Aquaculture Feeds. In: Feeds for the Aquaculture Sector* [online]. SpringerBriefs in Molecular Science [cit. 2024-04-24]. ISBN 978-3-319-77941-6. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-77941-6_1

GHIONI, C., J.G. BELL a J.R. SARGENT, 1996. *Polyunsaturated fatty acids in neutral lipids and phospholipids of some freshwater insects* [online]. (114), 161-170 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(96\)00019-3](https://doi.org/10.1016/0305-0491(96)00019-3)

GIOVANNUCCI, D. R. a R. S. STEPHENSON, 1999. *Identification and distribution of dietary precursors of the *Drosophila* visual pigment chromophore: analysis of carotenoids in wild type and *ninaD* mutants by HPLC* [online]. (39), 219-229 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(98\)00184-9](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(98)00184-9)

GLADYSHEV, M.I., A.Yu. KHARITONOV, O.N. POPOVA, N.N. SUSHCHIK, O.N. MAKHUTOVA a G.S. KALACHEVA, 2011. *Quantitative Estimation of Dragonfly Role in*

Transfer of Essential Polyunsaturated Fatty Acids from Aquatic to Terrestrial Ecosystems [online]. (141), 708-710 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Olga-Popova-19/publication/51464121_Quantitative_estimation_of_dragonfly_role_in_transfer_of_essential_polyunsaturated_fatty_acids_from_aquatic_to_terrestrial_ecosystems/links/56bed21808ae44da37f8b3f1/Quantitative-estimation-of-dragonfly-role-in-transfer-of-essential-polyunsaturated-fatty-acids-from-aquatic-to-terrestrial-ecosystems.pdf

HARWOOD, R.F. a N. TAKATA, 1965. *Effect of photoperiod and temperature on fatty acid composition of the mosquito Culex tarsalis* [online]. (11), 711-716 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(65\)90153-8](https://doi.org/10.1016/0022-1910(65)90153-8)

HASIMUNA, O.J. a et al., 2019. *Cage aquaculture production in Zambia: Assessment of opportunities and challenges on Lake Kariba, Siavonga district* [online]. (45), 281-285 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2019.06.007>

HENRY, M. a et al., 2015. *Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future* [online]. (203), 1-22 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>

HENRY, M.A. a et al., 2018. *Effect of partial dietary replacement of fishmeal by yellow mealworm (Tenebrio molitor) larvae meal on the innate immune response and intestinal antioxidant enzymes of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss)* [online]. (83), 308-313 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.09.040>

HUA, K., J.M. COBCROFT a A. COLE, 2019. *The Future of Aquatic Protein: Implications for Protein Sources in Aquaculture Diets* [online]. (1), 316-329 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>

HUSSEIN, M., V.V. PILLAI a et al., 2017. *Sustainable production of housefly (Musca domestica) larvae as a protein-rich feed ingredient by utilizing cattle manure* [online]. (12), 1-19 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171708>

HUTCHINS, R. F. N. a M.M. MARTIN, 1968. *The lipids of the common house cricket, Acheta domesticus L. I. Lipid classes and fatty acid distribution* [online]. (3),

247-249 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z:

<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02531195>

HOFFMAN, L. a et al., 2021. *Environmentally sustainable feeding system for sea trout (Salmo trutta m. trutta): Live food and insect meal-based diets in larval rearing* [online]. (21), 1-7 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z:

<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100795>

HOFFMANN, K.H., 1973. *Der Einfluß der Temperatur auf die chemische Zusammensetzung von Grillen (Gryllus, Orthopt.)* [online]. (13), 147-175 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/BF00345646>

IACONISI, V. a et al., 2019. *Effect of mealworm (Tenebrio molitor L.) larvae meal on amino acid composition of gilthead sea bream (Sparus aurata L.) and rainbow trout (Oncorhynchus mykiss W.) fillets* [online]. (513), 1-8 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z:

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734403>

IDO, A. a et al., 2019. *Replacement of Fish Meal by Defatted Yellow Mealworm (Tenebrio molitor) Larvae in Diet Improves Growth Performance and Disease Resistance in Red Seabream (Pargus major)* [online]. (9), 1-12 [cit. 2024-04-24].

Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ani9030100>

IDO, A. a et al., 2021. *Growth of Yellowtail (Seriola quinqueradiata) Fed on a Diet Including Partially or Completely Defatted Black Soldier Fly (Hermetia illucens) Larvae Meal* [online]. (12), 1-13 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z:

<https://doi.org/10.3390/insects12080722>

JANSSEN, R.H., J.-P. VINCKEN, L. A. M. VAN DEN BROEK, V. FOGLIANO a C. M. M. LAKEMOND, 2017. *Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Three Edible Insects: Tenebrio molitor, Alphitobius diaperinus, and Hermetia illucens* [online]. 2275-2278 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00471>

JING, X. a S. T. BEHMER, 2020. *Insect Sterol Nutrition: Physiological Mechanisms, Ecology, and Applications* [online]. (65), 251-271 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z:

<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025017>

JONES, L.D., R.W. COOPER a R.S. HARDING, 1972. *Composition of Mealworm Tenebrio molitor Larvae* [online]. 34-41 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.2307/20094161>

JÓZEPIAK, A. a et al., 2019. *Effects of insect diets on the gastrointestinal tract health and growth performance of Siberian sturgeon (Acipenser baerii Brandt, 1869)* [online]. (15), 1-11 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s12917-019-2070-y>

KASPARI, M., 1991. *Prey preparation as a way that grasshopper sparrows (Ammodramus savannarum) increase the nutrient concentration of their prey* [online]. (2), 234-241 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/beheco/2.3.234>

KATYA, K. a et al., 2017. *Efficacy of insect larval meal to replace fish meal in juvenile barramundi, Lates calcarifer reared in freshwater* [online]. (9), 303-312 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s40071-017-0178-x>

KINYURU, J. N., G. M. KENJI, S. M. NJOROGE a M. AYIEKO, 2010. *Effect of Processing Methods on the In Vitro Protein Digestibility and Vitamin Content of Edible Winged Termite (Macrotermes subhylanus) and Grasshopper (Ruspolia differens)* [online]. (3), 778-782 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0264-1>

KOMPRDA, T., G. ZORNÍKOVÁ, V. ROZÍKOVÁ, M. BORKOVCOVÁ a A. PRZYWAROVÁ, 2013. *The effect of dietary Salvia hispanica seed on the content of n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in tissues of selected animal species, including edible insects* [online]. (32), 36-43 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.06.010>

KRAMER, K. J., T. L. HOPKINS a J. SCHAEFER, 1995. *Applications of solids NMR to the analysis of insect sclerotized structures* [online]. (25), 1067-1080 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0965-1748\(95\)00053-4](https://doi.org/10.1016/0965-1748(95)00053-4)

KROECKEL, S. a et al., 2012. *When a turbot catches a fly: Evaluation of a pre-pupae meal of the Black Soldier Fly (Hermetia illucens) as fish meal substitute — Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (Psetta maxima)* [online].

(364), 345-352 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z:
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.08.041>

KUMAR, V. a et al., 2021. *Insect (black soldier fly, *Hermetia illucens*) meal supplementation prevents the soybean meal-induced intestinal enteritis in rainbow trout and health benefits of using insect oil* [online]. (109), 116-124 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.12.008>

LANDRY, S. V., G. R. DEFOLIART a M. L. SUNDE, 1986. *Larval Protein Quality of Six Species of Lepidoptera (Saturniidae, Sphingidae, Noctuidae) Get access Arrow* [online]. (79), 600-604 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/jee/79.3.600>

LILAND, N.S. a et al., 2021. *A meta-analysis on the nutritional value of insects in aquafeeds* [online]. (7), 743-759 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0147>

LIPSITZ, E. Y., 1971. *Analysis of lipid during the life cycle of the house cricket, *Acheta domestica**. [online]. 446-460 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://escholarship.mcgill.ca/downloads/wd375x195>

LIU, X., 2017. *Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly* [online]. (12), 1-21 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182601>

MASSIE, H. R., T. R. WILLIAMS a L. K. DEWOLFE, 1989. *Changes in taurine in aging fruit flies and mice* [online]. (24), 57-65 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0531-5565\(89\)90035-1](https://doi.org/10.1016/0531-5565(89)90035-1)

MIKOŁAJCZAK, Z. a et al., 2020. *The Effect of Hydrolyzed Insect Meals in Sea Trout Fingerling (*Salmo trutta m. trutta*) Diets on Growth Performance, Microbiota and Biochemical Blood Parameters* [online]. (10), 1-20 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ani10061031>

MENINO, R. a D. MURTA, 2021. *BSF - time to change the flies* [online]. (5), 114-117 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.15406/hij.2021.05.00215>

- MOTTE, C. a et al., 2019. *Replacing Fish Meal with Defatted Insect Meal (Yellow Mealworm *Tenebrio molitor*) Improves the Growth and Immunity of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*)* [online]. (9), 1-17 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ani9050258>
- MOUSAVI, S., S. ZAHEDINEZHAD a J.Y. LOH, 2020. *A review on insect meals in aquaculture: the immunomodulatory and physiological effects* [online]. (12), 100-115 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: [https://doi.org/10.22034/IAR\(20\).2020.1897402.1033](https://doi.org/10.22034/IAR(20).2020.1897402.1033)
- MOUSSIAN, B., 2010. *Recent advances in understanding mechanisms of insect cuticle differentiation* [online]. (40), 363-375 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2010.03.003>
- MOUTINHO, S. a et al., 2021. *Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae larvae meal in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles: Effects on liver oxidative status and fillet quality traits during shelf-life* [online]. (533), 1-9 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736080>
- NOGALES-MÉRIDA, S., P. GOBBI a et al., 2019. *Insect meals in fish nutrition* [online]. (11), 1080-1103 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/raq.12281>
- OGUNJI, J.O. a et al., 2011. *Effect of housefly maggot meal (magmeal) diets on catalase, and glutathione S-transferase in the liver and gills of carp *Cyprinus carpio* fingerling* [online]. (3), 11-20 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: https://journals.iau.ir/article_677705_481716285a12bfd3997f4a1fbce55ecc.pdf
- OLSON, J. A., 1989. *Provitamin A Function of Carotenoids: The Conversion of β -Carotene into Vitamin A* [online]. (119), 105-108 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/jn/119.1.105>
- OMOTOSO, O.T., 2006. *Nutritional quality, functional properties and anti-nutrient compositions of the larva of *Cirina forda* (Westwood) (Lepidoptera: Saturniidae)* [online]. (7), 51-55 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1631/jzus.2006.B0051>

OONINCX, D.G.A.B. a et al., 2010. *Effects of vitamin D3 supplementation and UVb exposure on the growth and plasma concentration of vitamin D3 metabolites in juvenile bearded dragons (Pogona vitticeps)* [online]. (156), 122-128 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2010.02.008>

OONINCX, D.G.A.B., S. VAN BROEKHOVEN, A. VAN HUIS a J.J.A. VAN LOON, 2015. *Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products* [online]. (10), 1-20 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144601>

OONINCX, D.G.A.B. a et al., 2018. *Evidence of vitamin D synthesis in insects exposed to UVb light* [online]. (8), 1-10 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-29232-w>

OONINCX, D.G.A.B., G. BOSCH, M. Van Der BORGHT, et al., 2019. *A cross-laboratory study on analytical variability of amino acid content in three insect species* [online]. 327-327 [cit. 2024-04-23]. ISSN 559208. Dostupné z: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/559208>

OYARZUN, S. E., G. J. CRAWSHAW a Eduardo V. VALDES, 1996. *Nutrition of the Tamandua: I. Nutrient composition of termites (Nasutitermes spp.) and stomach contents from wild tamanduas (Tamandua tetradactyla)* [online]. (15), 509-524 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2361\(1996\)15:5%3C509::AID-ZOO7%3E3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2361(1996)15:5%3C509::AID-ZOO7%3E3.0.CO;2-F)

OZIMEK, L., W.C. SAUER, V. KOZIKOWSKI, J.K. RYAN, H. JORGENSEN a P. JELEN, 1985. *Nutritive Value of Protein Extracted from Honey Bees* [online]. 13271329 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb10469.x>

PENNINO, M., E. S. DIERENFELD a J. L. BEHLER, 1991. *Retinol, α -tocopherol and proximate nutrient composition of invertebrates used as feed* [online]. (30), 143-149 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1748-1090.1991.tb03477.x>

PEARINCOTT, J. V., 1960. *Changes in the lipid content during growth and metamorphosis of the house fly, Musca domestica* [online]. (55), 167-174 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/jcp.1030550208>

PENG, K. a et al., 2021. *Dietary black soldier fly pulp affects growth, antioxidant and immune capacity of *Micropterus salmoides** [online]. (8), 1197-1203 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0046>

PIETERSE, E. a Q. PRETORIUS, 2014. *Nutritional evaluation of dried larvae and pupae meal of the housefly (*Musca domestica*) using chemical- and broiler-based biological assays* [online]. 347-355 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1071/AN12370>

PESTI, G.M., A.E. HARPER a M.L. SUNDE, 1979. *Sulfur Amino Acid and Methyl Donor Status of Corn-Soy Diets Fed to Starting Broiler Chicks and Turkey Poults* [online]. (58), 1541-1547 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3382/ps.0581541>

PULIDO, L. a et al., 2022. *Effect of dietary black soldier fly larvae meal on fatty acid composition of lipids and sn-2 position of triglycerides of marketable size gilthead sea bream fillets* [online]. (546), 1-8 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737351>

PUNZO, F., 2003. *Nutrient composition of some insects and arachnids*. [online]. (66), 84-98 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/24321149>

QIAO, Y., K. MAI a Q. AI, 2019. *Effects of Fish Meal Replaced by Maggot Culture on Growth Performance, Body Composition, and Antioxidant Responses of Hybrid Tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)* [online]. (71), 1-7 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <http://www.aquaculturehub.org/group/israelijournalofaquaculturebamidgehija>

RAHIMNEJAD, S., 2019. *Replacement of fish meal with defatted silkworm (*Bombyx mori* L.) pupae meal in diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)* [online]. (510), 150-159 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.05.054>

RANDAZZO, B., 2021. *Hermetia illucens and Poultry by-Product Meals as Alternatives to Plant Protein Sources in Gilthead Seabream (*Sparus aurata*) Diet: A Multidisciplinary Study on Fish Gut Status* [online]. (11), 1-22 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ani11030677>

RAPATSA, M.M. a N.A.G. MOYO, 2017. *Evaluation of Imbrasia belina meal as a fishmeal substitute in Oreochromis mossambicus diets: Growth performance, histological analysis and enzyme activity* [online]. (5), 18-26 [cit. 2024-04-24].

Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2016.11.004>

REMA, P. a et al., 2019. *Graded Incorporation of Defatted Yellow Mealworm (Tenebrio molitor) in Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss) Diet Improves Growth Performance and Nutrient Retention* [online]. (9), 1-10 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z:

<https://doi.org/10.3390/ani9040187>

RENNA, M. a et al., 2017. *Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (Hermetia illucens L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (Oncorhynchus mykiss Walbaum) diets* [online]. (8), 1-13 [cit. 2024-04-24].

Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0191-3>

RICHARDSON, A., J. DANTAS-LIMA, M. LEFRANC a M. WALRAVEN, 2021. *Effect of a Black Soldier Fly Ingredient on the Growth Performance and Disease Resistance of Juvenile Pacific White Shrimp (Litopenaeus vannamei)* [online]. (11), 1-11 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z:

<https://doi.org/10.3390/ani11051450>

ROMERO-LORENTE, M., 2022. *Pre-Treatment of Fish By-Products to Optimize Feeding of Tenebrio molitor L. Larvae* [online]. (13) [cit. 2024-04-24]. Dostupné z:

<https://doi.org/10.3390/insects13020125>

RUMBOS, C.I. a et al., 2021. *Insect-Based Feed Ingredients for Aquaculture: A Case Study for Their Acceptance in Greece* [online]. (12), 1-16 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z:

<https://doi.org/10.3390/insects12070586>

SANTOS OLIVEIRA, J. F., 1975. *The nutritional value of four species of insects consumed in Angola* [online]. (5), 91-97 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z:

<https://doi.org/10.1080/03670244.1976.9990450>

SCHAEFER, C.H., 1968. *The relationship of the fatty acid composition of Heliothis zea larvae to that of its diet* [online]. (14), 171-178 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z:

[https://doi.org/10.1016/0022-1910\(68\)90029-2](https://doi.org/10.1016/0022-1910(68)90029-2)

SEKI, T., K. ISONO, K. OZAKI, Y. TSUKAHARA, Y. SHIBATA-KATSUTA, M. ITO, T. IRIE a M. KATAGIRI, 1998. *The metabolic pathway of visual pigment chromophore formation in Drosophila melanogaster* [online]. (257), 522-527 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1046/j.1432-1327.1998.2570522.x>

SHAFIQUE, L. a et al., 2021. *The Feasibility of Using Yellow Mealworms (Tenebrio molitor): Towards a Sustainable Aquafeed Industry* [online]. (11), 1-34 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ani11030811>

SILVA SOUSA, A., 2020. *Impact of defatted mealworm larvae meal on European seabass (Dicentrarchus labrax) flesh quality*. [online]. 1-83 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: [http://refhub.elsevier.com/S2405-6545\(22\)00101-9/sref118](http://refhub.elsevier.com/S2405-6545(22)00101-9/sref118)

SKALLI, A. a J.H. ROBIN, 2004. *Requirement of n-3 long chain polyunsaturated fatty acids for European sea bass (Dicentrarchus labrax) juveniles: growth and fatty acid composition* [online]. (240), 399-415 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.06.036>

SOGARI, G., M. AMATO, S. CHIESA a L. GASCO, 2019. *The Potential Role of Insects as Feed: A Multi-Perspective Review* [online]. (9), 1-15 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ani9040119>

SPRANGHERS, T., C. KLOOTWIJK, A. OVYN, S. DEBOOSERE, B. DE MEULENAER a S. DE SMET, 2017. *Nutritional composition of black soldier fly (Hermetia illucens) prepupae reared on different organic waste substrates* [online]. 2594-2600 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8081>

STENBERG, O.K. a et al., 2019. *Effect of dietary replacement of fish meal with insect meal on in vitro bacterial and viral induced gene response in Atlantic salmon (Salmo salar) head kidney leukocytes* [online]. (91), 222-232 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.05.042>

ST-HILAIRE, S., K. CRANFILL, M. A. MCGUIRE, E. E. MOSLEY, J. K. TOMBERLIN, L. NEWTON, C. SHEPPARD a S. IRVING, 2007. *Fish Offal Recycling by the Black Soldier Fly Produces a Foodstuff High in Omega-3 Fatty Acids* [online]. 309-313 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2007.00101.x>

STUDIER, E. H. a S. H. SEVICK, 1992. *Live mass, water content, nitrogen and mineral levels in some insects from south-central lower michigan* [online]. (103), 579-595 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(92\)90293-Y](https://doi.org/10.1016/0300-9629(92)90293-Y)

SVOBODA, J.A., N.M. SCHIFF a M.F. FELDLAUFER, 1995. *Sterol composition of three species of sawflies (Hymenoptera: Symphyta) and their dietary plant material* [online]. (51), 150-152 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/BF01929359>

SU, J. a et al., 2017. *Effects of dietary Tenebrio molitor meal on the growth performance, immune response and disease resistance of yellow catfish (Pelteobagrus fulvidraco)* [online]. (69), 59-66 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.08.008>

TACON, A.G.J. a M. METIAN, 2008. *Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects* [online]. (285), 146-158 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.015>

TAUFEK, N.M. a et al., 2016. *The effect of dietary cricket meal (Gryllus bimaculatus) on growth performance, antioxidant enzyme activities, and haematological response of African catfish (Clarias gariepinus)* [online]. (42), 1143-1155 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10695-016-0204-8>

TIETZ, A. a N. STERN, 1969. *Stearate desaturation by microsomes on the locust fat-body* [online]. 286-288 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/81939747.pdf>

TILAMI, S.K. a et al., 2020. *Insect Meal as a Partial Replacement for Fish Meal in a Formulated Diet for Perch Perca fluviatilis* [online]. (20), 867-878 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: https://doi.org/10.4194/1303-2712-v20_12_03

TIPPAYADARA, N. a et al., 2020. *Replacement of Fish Meal by Black Soldier Fly (Hermetia illucens) Larvae Meal: Effects on Growth, Haematology, and Skin Mucus Immunity of Nile Tilapia, Oreochromis niloticus* [online]. (11), 1-19 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ani11010193>

- TIRTAWIJAYA, G. a J.S. CHOI, 2021. *Enrichment of polyunsaturated fatty acids in black soldier fly larvae (Hermetia illucens) fortified with squid liver oil* [online]. (8), 387-398 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0030>
- TSCHIRNER, M. a A. SIMON, 2015. *Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed* [online]. 249-259 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0008>
- VARELAS, V., 2019. *Food Wastes as a Potential New Source for Edible Insect Mass Production for Food and Feed: A review* [online]. (5), 1-19 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/fermentation5030081>
- VERBEKE, W., 2015. *Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society* [online]. (39), 147-155 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.07.008>
- VERSPOOR, R. L. a et al., 2020. *Mineral analysis reveals extreme manganese concentrations in wild harvested and commercially available edible termites* [online]. (10), 1-9 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-63157-7>
- VOGT, K. a K. KIRSCHFELD, 1984. *Chemical identity of the chromophores of fly visual pigment*. [online]. (71), 211-213 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/BF00490436>
- VON HUIS, A. a J. K. TOMBERLIN, 2017. *Insects as food and feed: from production to consumption* [online]. 448 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-849-0>
- VON LINTIG, J., 2012. *Metabolism of Carotenoids and Retinoids Related to Vision* [online]. (287), 1627-1634 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1074/jbc.R111.303990>
- WANG, L. a et al., 2017. *A comprehensive evaluation of replacing fishmeal with housefly (Musca domestica) maggot meal in the diet of Nile tilapia (Oreochromis*

niloticus): growth performance, flesh quality, innate immunity and water environment [online]. (23), 983-993 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/anu.12466>

WANG, G. a et al., 2019. *Evaluation of defatted black soldier fly (Hermetia illucens L.) larvae meal as an alternative protein ingredient for juvenile Japanese seabass (Lateolabrax japonicus) diets* [online]. (507), 144-154 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.04.023>

WANG, H. a et al., 2020. *Physicochemical structure of chitin in the developing stages of black soldier fly* [online]. (149), 901-907 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.293>

WETHTHASINGHE, P. a et al., 2021. *Dietary Inclusion of Black Soldier Fly (Hermetia Illucens) Larvae Meal and Paste Improved Gut Health but Had Minor Effects on Skin Mucus Proteome and Immune Response in Atlantic Salmon (Salmo Salar)* [online]. (12) [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.599530>

WHITTON, P.S., R.H.C. STRANG a R.A. NICHOLSON, 1987. *The distribution of taurine in the tissues of some species of insects* [online]. (17), 573-577 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0020-1790\(87\)90056-4](https://doi.org/10.1016/0020-1790(87)90056-4)

XIANG, J. a et al., 2020. *Growth performance, immunity and intestinal microbiota of swamp eel (Monopterus albus) fed a diet supplemented with house fly larvae (Musca domestica)* [online]. (26), 693-704 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/anu.13029>

XU, X. a et al., 2021. *Effects of black soldier fly oil rich in n-3 HUFA on growth performance, metabolism and health response of juvenile mirror carp (Cyprinus carpio var. specularis)* [online]. (533), 1-13 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736144>

Xuan C., X. LIU, H. WANG, et al., 2017. *Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly* [online]. (12), 1-21 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182601>

YILDIRIM-AKSOY, M. a et al., 2020. *Use of dietary frass from black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, in hybrid tilapia (Nile x Mozambique, *Oreochromis niloticus* x *O. mozambique*) diets improves growth and resistance to bacterial diseases* [online]. (17), 1-9 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z:

<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100373>

YUAN, Y. a et al., 2022. *Valuation of Ecosystem Services for the Sustainable Development of Hani Terraces: A Rice–Fish–Duck Integrated Farming Model* [online]. (19), 1-19 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijerph19148549>

ZARANTONIELLO, M. a et al., 2020. *Zebrafish (*Danio rerio*) physiological and behavioural responses to insect-based diets: a multidisciplinary approach* [online]. (10) [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67740-w>

ZHOU, X., A. HONEK, W. POWELL a N. CARTER, 1995. *Variations in body length, weight, fat content and survival in *Coccinella septempunctata* at different hibernation sites* [online]. 99-107 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1995.tb01915.x>

ZHOU, Jin R. a J. W. ERDMAN JR., 1995. *Phytic acid in health and disease* [online]. (35), 495-508 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10408399509527712>

ZHOU, J.S. a et al., 2018. *Effect of replacing dietary fish meal with black soldier fly larvae meal on growth and fatty acid composition of Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *Jian*)* [online]. (24), 424-433 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/anu.12574>

Přílohy

Webové zdroje obrázků

Obrázek 2 <https://www.poultryworld.net/health-nutrition/black-soldier-fly-larvae-oil-as-a-fat-source-in-broilers/>

Obrázek 3 <https://bioinnovate-africa.org/black-soldier-fly-larvae-as-alternative-and-affordable-protein-for-chicken-and-fish/>