



Fakulta rybnářství
a ochrany vod
Faculty of Fisheries
and Protection
of Waters

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice



Fakulta rybnářství
a ochrany vod
Faculty of Fisheries
and Protection
of Waters

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Využití hmyzu jako krmiva pro ryby

Jan Turek, Vlastimil Stejskal, Pavel Lepič,
Daniel Červený, Tomáš Randák, Pavel Kozák



ISBN 978-80-7514-105-7





Fakulta rybnářství
a ochrany vod
Faculty of Fisheries
and Protection
of Waters

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Využití hmyzu jako krmiva pro ryby

Jan Turek, Vlastimil Stejskal, Pavel Lepič, Daniel Červený,
Tomáš Randák, Pavel Kozák

Vodňany



EVROPSKÁ UNIE
Evropský námořní a rybářský fond
Operační program Rybářství

**Vydání a tisk publikace byly uskutečněny v rámci
Operačního programu Rybářství 2014–2020:
„Publikace I“ CZ.10.5.109/5.2/4.0/18_012/0000592**

Obsahová část publikace byla zpracována za finanční podpory následujících projektů:

MZe – projekt NAZV QJ1510119 (80%)

MŠMT – projekt LO1205 v rámci programu NPU I. (20%)



č. 168

ISBN 978-80-7514-105-7

OBSAH

1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY	7
2. CÍL	8
3. DRUHY HMYZU VYUŽÍVANÉ PRO KRMENÍ RYB A PŘEHLED DOPOSUD PUBLIKOVANÝCH VÝSLEDKŮ JEJICH POUŽITÍ	8
4. MÍSTO OVĚŘENÍ TECHNOLOGIE	12
5. POPIS TECHNOLOGIE A VÝSLEDKY	12
6. EKONOMICKÝ PŘÍNOS	29
7. UPLATNĚNÍ TECHNOLOGIE V PRAXI	29
8. ZÁVĚR	30
9. SEZNAM LITERATURY	31

1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Akvakultura, tedy chov ryb a jiných vodních organismů, je v posledních několika desetiletích celosvětově nejrychleji rostoucím odvětvím produkce potravin (Olsen a Hasan, 2012). V posledních několika dekádách vzrostl podíl na celkové produkci konzumních ryb z 9% v roce 1980 na 48% v roce 2011 (FAO, 2013). Podle předpokládaného scénáře bude tento trend pokračovat a je velmi pravděpodobné, že v roce 2030 bude celková produkce z akvakultury srovnatelná s rybolovem, a to na úrovni přibližně 93 milionů tun (Msangi a kol., 2013). Navzdory klesajícímu poměru rybí moučky (RM) a rybího tuku/oleje (RO) v krmivech je akvakultura stále velmi závislá na mořském rybolovu jakožto klíčovém zdroji RM a RO přidávaných do krmiv pro dravé druhy ryb a mořské krevety (Tacon a Metian, 2008). Vzhledem k limitované produkci obou těchto surovin dochází se stoupající poptávkou k růstu jejich cen.

Hmyz, který je součástí přirozené potravy mnoha druhů ryb, ponechává malou ekologickou stopu, má omezenou potřebu orné půdy a může být vhodným kandidátem na udržitelnou alternativu krmiv pro akvakulturu. Studie s náhradou RM v krmivech hmyzem, provedené v uplynulém desetiletí, prokázaly, že hmyz je potenciálně vhodným zdrojem pro akvakulturní krmiva, ale zároveň odhalily problémy a úskalí vyžadující další výzkum. Použitelnost hmyzu pro různé druhy býložravých, všežravých a dravých druhů ryb závisí na jeho složení, způsobu zpracování a obsahu v samotném krmivu. Celková náhrada RM hmyzem bývá obvykle neúspěšná. Je to dáno pravděpodobně nutriční nerovnováhou nebo nedostatkem některých složek (Henry a kol., 2015), např. vápníku (Makkar a kol., 2014) a aminokyselin včetně histidinu, lysinu a tryptofanu (Sánchez-Muros a kol., 2014). Chybějící živiny však mohou být poměrně snadno identifikovány a doplněny do krmiva v syntetické formě. Experiment St-Hilaire a kol. (2007a) ukázal i možnost zlepšení živinového složení hmyzu úpravou podmínek jeho chovu. Často popisované problémy s chutností a vysokým obsahem tuku v krmivech obsahujících hmyz (Kroeckel a kol., 2012) mohou být odstraněny vhodnými metodami zpracování hmyzu (Lock a kol., 2014). Problémy se stravitelností hmyzu rybami jsou často připisovány vysokému obsahu chitinu (Balogun, 2011; Alegbeleye a kol., 2012). Henry a kol. (2015) však na základě studií prokazujících protichůdné účinky obsahu chitinu na stravitelnost krmiv u různých druhů ryb dospěl k závěru, že chitin nemusí být tak problematickou složkou, jak je často uváděno.

V současné době je širší použití hmyzu v krmivech omezeno jeho dostupností. Produkce hmyzu, zejména coby krmiva pro domácí zvířata a pro zoologické zahrady, se stala již zavedeným specializovaným odvětvím (van Huis a kol., 2013). Produkce hmyzu chovem je však nízká (Makkar a kol.,

2014) a 92 % celosvětově používaných druhů je loveno z volné přírody (Yen, 2015). Tradiční metody sběru/lovu hmyzu nejsou dlouhodobě udržitelné z ekologického ani ekonomického hlediska a bude zapotřebí dalšího výzkumu pro vývoj ekonomicky efektivních, optimalizovaných, hromadných metod produkce hmyzu nebo hmyzí moučky o definované kvalitě, aniž by byly narušovány přírodní ekosystémy (Makkar a kol., 2014; Moon a Lee, 2015). Existuje také potřeba vytvořit regulační rámec a legislativu upravující použití hmyzu jako krmiva pro zvířata (Makkar a kol., 2014), protože ta stále v mnoha zemích zatím chybí (van Huis a kol., 2013).

2. CÍL

Cílem této technologie je přinést informace o druzích hmyzu použitelných pro krmení ryb a poskytnout dostupné informace o dosavadních výsledcích použití hmyzu coby komponentu v krmivech pro druhy ryb, které jsou chovány i v české akvakultuře. Technologie rovněž přináší popis a výsledky vlastních praktických experimentů v akvarijních a provozních podmínkách s využitím místně dostupného živého hmyzu jako krmiva pro intenzivně chované ryby v tuzemských provozech. Další zde popsané experimenty byly zaměřeny na využití hmyzí moučky jako částečné náhrady rybí moučky v peletovaném krmivu pro ryby.

3. DRUHY HMYZU VYUŽÍVANÉ PRO KRMENÍ RYB A PŘEHLED DOPOSUD PUBLIKOVANÝCH VÝSLEDKŮ JEJICH POUŽITÍ

3.1. Bráněnka (*Hermetia illucens*)

Druh hmyzu z řádu dvoukřídlých (Diptera) pocházející původně z Jižní a Střední Ameriky je v současnosti rozšířen v oblastech tropického i mírného pásu, kam byl zavlečen pravděpodobně s kontaminovanými potravinami. Dospělci se živí nektarem široké škály rostlin. Nejsou přitahováni k lidským obydlím a potravinám, protože se uzavřeným prostorům vyhýbají. Není známo, že by tento druh hmyzu přenášel jakékoli člověku nebezpečné onemocnění (Roques, 2010; FAO, 2013). Larvy se vyskytují na různých typech rozkládajících se organických materiálů. Mohou být použity pro řešení problémů spojených s managementem odpadů z živočišné výroby, včetně hnoje. Zároveň jsou vysoce hodnotným zdrojem bílkovin a lipidů při výrobě krmiv pro skot, prasata, drůbež a ryby (Newton a kol., 2005). Sheppard a kol. (1994) uvádí, že kolonizace

drůbeží a prasečí kejdy larvami bráněnky může snížit populaci mouchy domácí (*Musca domestica*) o 94–100%. Larvy jsou schopné přeměnit zbytkové proteiny v hnoji do cennější biomasy (krmivo pro zvířata). Zpracované larvy mají rovněž vyšší hodnotu než samotný hnůj (Tomberlin a Sheppard, 2001). Larvy bráněnky obsahují v sušině průměrně 42% bílkovin, obsah tuku kolísá v závislosti na jejich potravě mezi 15 a 35% (Makkar a kol., 2014). Živé larvy mají 44% sušiny a mohou být snadno dlouhodobě skladovány. Byla rovněž prokázána možnost zkrmování rybích odpadů (vnitřností) chovaným larvám s pozitivním vlivem na celkový obsah tuku i podíl omega-3 mastných kyselin (St-Hilaire a kol., 2007a).

Krmné pokusy prokázaly možnost náhrady 25% (St-Hilaire a kol., 2007b) až 50% (Stamer a kol., 2014) RM v krmivu pro pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*) moučkou z larev bráněnky bez výrazného snížení rychlosti růstu či krmného koeficientu v porovnání s rybami krmenými konvenčním krmivem. Sealey a kol. (2011) upozorňují na možnost zlepšení nutričních vlastností larev bráněnky jejich krmením pstružími vnitřnostmi v poslední fázi chovu. Při náhradě 25 a 50% RM v peletách takto obohacenými larvami nedošlo, na rozdíl od larev chovaných pouze v hnoji, ke statisticky významnému snížení rychlosti růstu pstruhů duhových ve srovnání s kontrolní skupinou krmenou standardním krmivem. Sensorické vlastnosti filetu nebyly složením krmiva ovlivněny. Vliv náhrady 25, 50 a 100% RM v dietě lososa obecného (*Salmo salar*) moučkou z larev bráněnky testovali Lock a kol. (2014). Autoři zaznamenali se vzrůstajícím obsahem hmyzí moučky nižší příjem krmiva, který byl ale kompenzován nižším krmným koeficientem vedoucím ke srovnatelnému růstu s kontrolní skupinou. Histologickým ani sensorickým hodnocením nebyly zjištěny relevantní rozdíly mezi skupinami krmenými různou dietou. Autoři nicméně upozorňují na možnost ovlivnění kvality produktu způsobem zpracování larev na moučku.

3.2. Moucha domácí (*Musca domestica*)

Jedná se o celosvětově rozšířeného škůdce a přenašeče nemocí z řádu dvoukřídlých (Diptera). Dospělci i larvy se živí exkrementy a širokou škálou rozkládajících se organických materiálů, což poskytuje možnost zhodnocení nejrůznějších druhů odpadu do podoby hodnotné biomasy bohaté na proteiny a tuk. Produkce larev mouchy domácí v kontrolovaných podmínkách je prováděna od 60. let 20. stol. (Calvert a kol., 1969; Miller a Shaw, 1969). Dospělá moucha kladou vajíčka (jednorázově 500–2 000 ks) na vlhké substráty, jako je hnůj nebo různý biologický odpad. Z vajíček se po 8–12 hodinách líhnou larvy, které se po přibližně 5 dnech na suchém místě zakuklí. Stadium kukly trvá 4–5 dní. Tento zhruba 10denní cyklus může

být v kontrolovaných podmínkách zkrácen až na 6 dní. Z poměrně malého množství substrátu je možné vyprodukovat velké množství larev. Např. ze 450 g čerstvého hnoje je to až 1 500 kusů larev (Hardouin a Mahoux, 2003).

Náhrada 25 % RM moučkou z kukel mouchy domácí v krmivu pro pstruha duhového vedla v porovnání s kontrolní skupinou k signifikantnímu snížení růstu a nižšímu obsahu omega-3 mastných kyselin ve svalovině (St-Hilaire a kol., 2007b). Experimenty v Nigérii, zaměřené na zařazení moučky z larev mouchy domácí do krmiva pro africké sumečky (nejčastěji keříčkovce červenolemého, *Clarias gariepinus*), neprokázaly při obsahu moučky z muších larev v krmivu do úrovně 25–30 % rozdíly v porovnání s rybami krmenými konvenčními krmivy založenými na RM. Při vyšší míře začlenění moučky z larev do krmiv klesala jejich produkční účinnost (Makkar a kol., 2014). Několik studií prokázalo dokonce pozitivní vliv zařazení moučky z larev mouchy domácí do krmiva na růst ryb. Náhrada 50 % RM moučkou z muších larev zlepšila růst tlamouna nilského (*Oreochromis niloticus*; Ajani a kol., 2004). Sogbesan a kol. (2006) zjistili, že nahrazení 25 % RM moučkou z muších larev v dietě plůdku sumečka (mezidruhový hybrid, *Heterobranchus longifilis* (f) × *Clarias gariepinus* (m)) vedlo ke zlepšení růstu ve srovnání s dietou se 100 % RM. Růst ryb nebyl ovlivněn nahrazením 50 či 75 % RM a pouze ryby krmené dietou s totální náhradou RM rostly signifikantně pomaleji než kontrola. I přesto byl chov s použitím krmiva s kompletní náhradou RM ekonomicky nejvýhodnější z testovaných variant. Autor konstatuje, že použití moučky z muších larev může podpořit udržitelnost akvakultury v Nigérii a chov larev zároveň zlepšit management vzrůstajícího množství drůbežního trusu.

3.3. Larvy potemníků

Larvy potemníků, lidově nazývané mouční červi, jsou vývojovými stadii dvou druhů z řádu brouci (Coleoptera), čeledi potemníkovití (Tenebrionidae). Nejčastějším druhem je potemník moučný (*Tenebrio molitor*). Potemníci jsou původní v Evropě, ale v současnosti se vyskytují po celém světě. Jedná se o škůdce ve skladech obilí, mouky a prodejnách potravin. Vzhledem k malé velikosti populací však nezpůsobují významné škody (Ramos-Elorduy a kol., 2002). Životní cyklus potemníka moučného trvá od 280 do 630 dnů. Larvy se líhnou po 10–12 dnech (18–20 °C) a zakuklí se po 8–20 stadiích, obvykle po 3–4 měsících (při pokojové teplotě). Ovšem larvální stadium může trvat až 18 měsíců. Larvy jsou před zakuklením světle žluto-hnědé barvy, dlouhé 20 až 32 mm při hmotnosti 130 až 160 mg. Komerční producenti moučných červů někdy přidávají do krmiva hormon oddalující zakuklení, což umožňuje produkci velkých larev, které mohou vážit více než 300 mg (Finke, 2002).

Larvy potemníků jsou všežravé a mohou konzumovat různé druhy rostlinných i živočišných materiálů (Ramos-Elorduy a kol., 2002).

Příbuzným druhem s podobným životním cyklem je potemník brazilský (*Zophobas morio*), původem z jižní Ameriky. Jeho larvy nazývané „superworms“ jsou větší než u potemníka moučného.

Nahrazení 25 a 50 % RM larvami potemníka v krmivu pro pstruha duhového signifikantně neovlivnilo růst ryb ve srovnání s rybami krmenými kontrolní dietou. Pstruzi krmení experimentálními dietami měli nižší hepatosomatický index než kontrolní skupina (Gasco a kol., 2014a). V chovu mořana zlatého (*Sparus aurata*) zjistili Piccolo a kol. (2014) možnost nahrazení 25 % proteinu RM moučkou z larev potemníka moučného bez negativního vlivu na hmotnostní růst, pouze s mírným zhoršením konverze krmiva a využitím bílkovin. Náhrada 50 % RM v krmivu již vedla k významnému snížení růstu a ukazatelů produkční účinnosti krmiva. Možnost náhrady RM larvami potemníka moučného na úrovni 25 % bez negativního vlivu na růst a produkční účinnost krmiva byla zjištěna v chovu morčáka obecného (*Dicentrarchus labrax*). I u tohoto druhu došlo při 50% náhradě ke zhoršení růstu a konverze krmiva ve srovnání s kontrolní skupinou. Náhrada RM na obou úrovních však nevedla k rozdílům ve využití bílkovin a profilu mastných kyselin v tuku ryb v porovnání s kontrolou (Gasco a kol., 2014b). Čerstvé nebo sušené larvy potemníků jsou přijatelným zdrojem proteinů pro keříčkovce červenolemého. Náhrada až 40 % RM nevedla ke zhoršení růstu ani zvýšení konverze krmiva v porovnání s kontrolní dietou o stejném živinovém složení. Ryby krmené pouze živými larvami rostly mírně pomaleji a při kombinaci živých larev a komerčního krmiva byla rychlost růstu naopak vyšší než u skupiny krmené pouze komerčním krmivem (Ng a kol., 2001). Larvy potemníka brazilského je možno použít jako náhradu až 75 % RM v krmivu pro tlamouna nilského. Pouze totální náhrada RM vede ke snížení růstu v porovnání s kontrolní skupinou (Jabir a kol., 2012).

3.4. Kobytky, sarančata a cvrčci

Jedná se o různé druhy hmyzu z řádu rovnokřídlí (Orthoptera). Některé druhy tohoto řádu se při vyšší hustotě populací stávají společenskými a stěhovavými, přičemž ve fázi rojení mohou způsobovat rozsáhlé škody na zemědělských plodinách. Jeden roj může tvořit až několik miliard jedinců s biomasou až 30 tisíc tun. Při rojení je jejich odchyt relativně snadný. Některé druhy jsou konzumovány jako potravina (DeFoliart, 1989; Ramos-Elorduy, 1997; van Huis a kol., 2013). Ve volné přírodě je tento hmyz loven většinou v nočních až dopoledních hodinách, kdy je vlivem nižší teploty méně pohyblivý. Vzhledem ke zvyšující se poptávce se rozvíjí i jejich farmový chov, a to zejména cvrčků.

Běžně jsou dodáváni jako krmivo pro zvířata v zájmových chovech (van Huis a kol., 2013). Farmový chov cvrčka domácího (*Acheta domestica*) je poměrně jednoduchý a je možné odchovat až 6 generací za rok. Jedná se o všežravce konzumující širokou škálu organických materiálů. Chov je možný při teplotách nad 20 °C s potenciální hustotou až 2 000 jedinců na 1 m². Populace cvrčků se samoreguluje kanibalizmem (Hardouin a Mahoux, 2003).

Moučka z kobylek může být použita jako náhrada až 25 % bílkovin v krmivu pro keříčkovce červenolemého bez významného vlivu na růst. Vyšší míra náhrady RM vedla ke snížení produkční účinnosti krmiva, zřejmě vlivem zvýšeného obsahu chitinu (Balogun, 2011; Alegbeleye a kol., 2012). Možnost náhrady 25 % RM v krmivu moučkou z kobylek bez negativního vlivu na využitelnost krmiva, růst a hematologické parametry tlamouna nilského uvádí i Abanikanda (2012) a Emehinaiye (2012).

4. MÍSTO OVĚŘENÍ TECHNOLOGIE

Testování technologie bylo uskutečněno ve Výzkumném ústavu rybářském a hydrobiologickém, Fakulty rybářství a ochrany vod Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích (FROV JU) ve spolupráci s rybí farmou FISH Farm Bohemia s.r.o., Rokytno.

5. POPIS TECHNOLOGIE A VÝSLEDKY

5.1. Využití živého hmyzu jako krmiva pro pstruha duhového

Cílem experimentu bylo ověřit vliv částečné a úplné náhrady krmné dávky dvěma druhy lokálně produkovaného hmyzu (dospělci cvrčka domácího a larvy potemníka brazilského, Obr. 1) na růst, některé zdravotní parametry, kompozici mastných kyselin a senzorické vlastnosti svaloviny pstruha duhového.



Obr. 1. Druhy hmyzu použité v experimentu. Vlevo dospělci cvrčka domácího (*Acheta domestica*), vpravo larvy potměníka brazilského (*Zoophobas morio*).

5.1.1. Materiál a metodický postup

5.1.1.1. Experimentální ryby

Pro experiment bylo použito celkem 140 juvenilních pstruhů duhových z produkce FROV JU. Před zahájením experimentu byly ryby chovány v recirkulačním systému a krmeny pouze komerčními peletami (EFICO Enviro, 4,5 mm) a neměly tedy zkušenost s příjmem hmyzu ani jiné přirozené potraviny. Na začátku experimentu bylo 10 náhodně vybraných ryb usmrceno a byla u nich změřena individuální hmotnost (W ; g) délka těla (SL ; mm) a celková délka (TL ; mm). Na základě získaných údajů bylo možno vypočítat koeficient kondice (CF) pro každou rybu. Vnitřnosti a játra byly zváženy pro stanovení viscerosomatického (VSI) a hepatosomatického (HSI) indexu. Vzorky svaloviny byly následně použity pro analýzu složení mastných kyselin (FA).

$$CF = 100 (W \cdot TL^3), (TL \text{ v cm}, W \text{ v g})$$

$$VSI = (hmotnost \text{ vnitřností} / \text{celková hmotnost}) \cdot 100$$

$$HSI = (hmotnost \text{ jater} / \text{celková hmotnost}) \cdot 100$$

Ostatní ryby byly následně náhodně rozděleny do 13 skupin po 10 kusech a nasazeny k vlastnímu experimentu do nádrží o objemu 400 l. Průměrná počáteční hmotnost obsádky (\pm SD) byla $2\,643 \pm 66$ g. Nádrže byly plněny vodovodní vodou filtrovanou přes kolonu s aktivním uhlím. Každá nádrž byla připojena k vlastnímu externímu filtru. Dostatečný obsah rozpuštěného kyslíku byl udržován provzdušňovacími kameny. Exkrementy a další sedimenty byly vypouštěny denně (kolem 12:00), včetně výměny části vody. Doba trvání experimentu byla 60 dní (16. 10. až 15. 12. 2015) Teplota vody během

experimentu byla $14,3 \pm 1,2^\circ \text{C}$, obsah kyslíku $10,1 \pm 1,1 \text{ mg.l}^{-1}$, pH $7,2 \pm 0,7$, délka světelného dne byla 12 hodin. Kontrolní přelovení obsádky všech nádrží včetně individuálního biometrického měření bylo provedeno 26. den (11. 11.) a 48. den (4. 12.) trvání experimentu.

5.1.1.2. Krmivo a krmný režim

Bylo testováno 5 isokalorických diet obsahujících komerční pelety a živý hmyz. Živinné složení jednotlivých krmiv (Tab. 1) bylo před zahájením experimentu analyzováno akreditovanou laboratoří (Státní veterinární ústav Praha, akreditovaná zkušební laboratoř č. 1176). Čtyři experimentální diety byly testovány ve třech opakováních (nádržích). Kontrolní skupina (K) byla krmena pouze komerčními peletami (EFICO Enviro 4,5 mm.). Pro další skupiny bylo 25 % surové energie pelet nahrazeno živými dospělými cvrčky (C), živými larvami potemníka peruánského (L) nebo kombinací obou druhů hmyzu (LC), kdy každý druh tvořil 12,5 % surové energie krmné dávky. Poslední skupina (H) byla krmena pouze živými cvrčky a larvami potemníka (50 % / 50 % surové energie krmné dávky). Z ekonomických důvodů neměla tato skupina opakování.

Požadované množství hmyzu bylo vypočteno na základě hmotnosti potřebné k zajištění energetického obsahu odpovídajícího peletám: 1 g pelet = 4 g cvrčků = 2,4 g larev potemníka.

Čerstvý hmyz byl nakupován od místního výrobce dvakrát týdně. Podle doporučení chovatele byli cvrčci přechovávaní při 6°C v lednici proto, aby zůstali neaktivní. Larvy potemníka byly při 22°C drženy v ječmenných otrubách.

Po třech dnech aklimatizace bez krmení bylo 4. den experimentu (20. 10.) zahájeno krmení ve všech nádržích. Předem navážené krmivo bylo předkládáno ručně v několika dávkách. Rybám ze skupin příkrmovaných hmyzem (C, L, LC, H) byl předkládán pouze hmyz (1/4 krmné dávky (KD)), aby ryby získaly návyk na jeho příjem. Kontrolní skupině byla předkládána rovněž pouze 1/4 KD pelet. Od 11. dne experimentu (od 27. 10.), kdy již ryby ve všech nádržích aktivně přijímaly předkládanou potravu, bylo zahájeno krmení plnou KD (1,5 % hm. obsádky). Skupinám příkrmovaným hmyzem byla v prvním týdnu zkrmována část KD tvořená hmyzem a po jeho zkonsumování byla předkládána část tvořená komerčními peletami. V dalších týdnech bylo vzhledem ke změně potravní preference chovaných ryb pořadí předkládání složek KD obráceno. Po 26 dnech odchovu (11. 11.) bylo provedeno přelovení a zvážení obsádky všech nádrží. Vzhledem k velikosti ryb byla denní KD pro další průběh experimentu snížena na 1 % hmotnosti obsádky. Druhé kontrolní přelovení bylo provedeno 38. den experimentu (4. 12.). V závěrečném období odchovu byl pro výpočet KD upraven očekávaný krmný koeficient na 0,9.

Tab. 1. Živinné složení použitých krmiv (analyzoval Státní veterinární ústav Praha, akreditovaná zkušební laboratoř č. 1176).

Složení (surový stav)	Krmivo		
	Pelety	Cvrčci	Larvy potemníka
Surový protein (%)	42,9	21,7	19,0
Surový tuk (%)	30,1	5,6	18,3
Uhlohydráty (%)	15,2	4,1	4,7
Popeloviny (%)	5,8	1,9	1,8
Vlhkost (%)	4,9	68,8	56,2
Hrubá energie (MJ/kg)	24,4	6,1	10,1

5.1.1.3. Zpracování výsledků a analýzy

Hodnocení růstu bylo provedeno na základě biometrického měření ryb ve všech nádržích při přelovení ryb 26., 48. a poslední den experimentu. Pro každou nádrž byla stanovena konverze krmiva (FCR), poměr účinnosti bílkovin (PER) a využití hrubé energie (GE) krmiva.

$FCR = \text{hmotnost spotřebovaného krmiva (sušina; g)} / \text{přírůstek hmotnosti ryb (g)}$

$PER = \text{přírůstek hmotnosti ryb (g)} / \text{příjem proteinů (g)}$

$\text{Využití GE} = \text{přírůstek hmotnosti ryb (g)} / \text{příjmu GE (MJ)}$

Deset náhodně vybraných ryb z každé skupiny a všechny ryby ze skupiny H byly zabity, vykřveny a ručně vyfiletovány. Na základě biometrického měření a zjištění hmotnosti jater a vnitřností bylo možno u těchto ryb stanovit CF, HSI a VSI a porovnat je s rybami vzorkovanými na začátku experimentu. Filety byly následně použity pro analýzu FA, senzorické hodnocení a hodnocení textury svaloviny. Ve vzorcích jater byla provedena analýza aktivity jaterních enzymů (EROD – Ethoxyresorufin-O-deethylasa). Pro histologické vyšetření byly rovněž odebrány vzorky jater, srdce, žaludku a střední části střeva.

Extrakce lipidů byla provedena dvakrát z každého vzorku podle Hara a Radin (1978). Obsah lipidů byl kvantifikován gravimetricky. U analýz FA byla metylace celkových lipidů provedena podle Appelqvist (1968) pomocí plynové chromatografie (Trace Ultra FID v laboratoři FROV JU).

Barva svaloviny byla stanovena na třech místech nad postranní čarou (přední, střední a kaudální oblasti) u každého filetu (10 z každé skupiny) za použití spektrofotometru CM-600d. Kolorimetrická data byla reprezentována podle

CIE (1976) jako L^* = světlost, a^* = červeno-zelená osa a b^* = žluto-modrá osa a byla vždy duplicitně měřena přímo na filetu.

Vzorky (10 z každé skupiny) pro analýzu pevnosti svaloviny byly odebrány z dorzální oblasti filetu mezi koncem hřbetní ploutve a začátkem anální ploutve. Pevnost, definovaná jako maximální síla zjištěná během počáteční komprese, byla měřena pomocí TPA-metru.

Senzorické hodnocení filetů provedlo 10 proškolených hodnotitelů. Hodnocenými parametry byla chuť, vůně, konzistence a pachuč. Pro panel složený z 10 hodnotitelů bylo připraveno sto 30g vzorků (pět skupin, dvoukolové hodnocení). Každý vzorek se skládal ze šesti malých kousků svaloviny z různých ryb příslušné skupiny (ISO 6658, 2005). Jednotlivé vzorky byly vařeny odděleně ve skleněných nádobkách o objemu 0,15 litru označených kódem po dobu 15 minut při teplotě 150 °C v elektrické troubě. Pro splnění kritérií ISO 6658 (2005) a ISO 8589 (2007) nebyla přidána žádná sůl, olej ani jiné koření. Hodnotitelé byli od sebe odděleni v samostatných kójiích (ISO 8589, 2007). Hodnotitelé u jednotlivých vzorků zaznamenávali intenzitu vůně, chuti, pachuti a konzistenci vyznačením bodu na 100mm nestrukturované úsečce (0mm = velmi dobrá kvalita, 100mm = nepřijatelná).

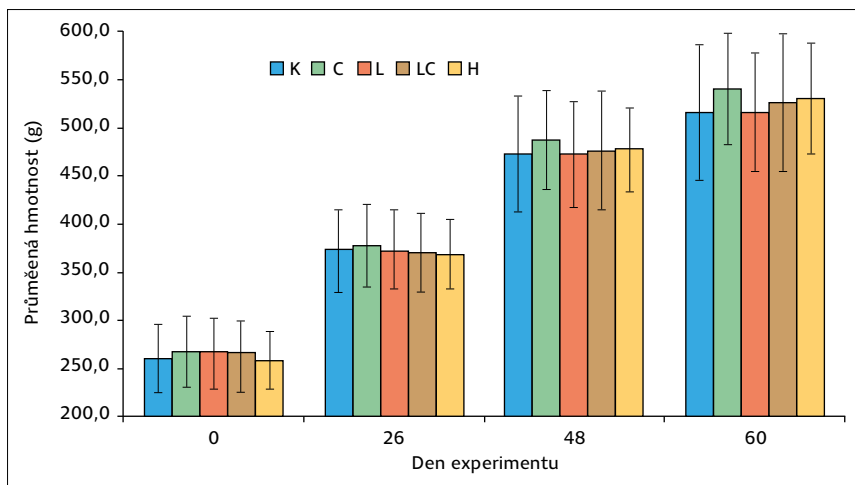
5.1.1.4. Statistické hodnocení

Pro porovnání senzorického hodnocení, analýzy zbarvení a textury, biometrických údajů a profilu mastných kyselin byla využita jednocestná ANOVA. V případě signifikance následoval Tukey HSD post-hoc test a u hodnocení zbarvení a textury svaloviny pak Fischerův test LSD. Údaje o procentech mastných kyselin byly arc-sin-transformovány. Homogenita rozptylu byla testována pomocí Cochran-Hartley-Bartlettova testu. Přežití ryb bylo porovnáno pomocí Pearson and maximum likelihood χ^2 testu. Všechny analýzy byly provedeny pomocí Statistica 12.0. Rozdíly byly považovány za signifikantní na hladině $p < 0,05$. Všechna data v tabulkách a grafech jsou prezentována jako průměr \pm směrodatná odchylka (SD), není-li specifikováno jinak.

5.1.2. Výsledky

Po prvním týdnu krmení plnou KD se hmyz stal preferovanou složkou potravy ve všech nádržích, kde byl zkrmován zároveň s peletovaným krmivem (skupiny C, L, a LC). Mezi jednotlivými skupinami ryb nebyl v průběhu pokusu ani na jeho konci zaznamenán signifikantní rozdíl v délce (TL, SL) ani průměrné hmotnosti (Obr. 2), včetně skupiny krmené výhradně hmyzem (H). Na konci

experimentu nebyly zaznamenány signifikantní rozdíly v přežití, FCR (na bázi sušiny) a využití GE. Poměr účinnosti proteinů krmiva byl signifikantně vyšší u kontrolní skupiny (K) než u skupin s kombinovanou krmnou dávkou, pouze s výjimkou skupiny L (Tab. 2).



Obr. 2. Průměrná hmotnost ryb v testovaných skupinách pstruhů duhových (*Oncorhynchus mykiss*). K – kontrolní krmivo, C – náhrada 25% energie cvrčkem, L – náhrada 25% energie larvami potměníka, LC – náhrada 12,5% energie cvrčkem a 12,5% energie larvami potměníka, H – náhrada 50% energie cvrčkem a 50% energie larvami potměníka.

Tab. 2. Přežití, přírůstek hmotnosti, celková spotřeba krmiva a parametry účinnosti krmiva u testovaných skupin pstruhů (*Oncorhynchus mykiss*) na konci experimentu. Rozdílná písmena nad hodnotami v příslušných řádcích značí statisticky průkazný rozdíl mezi skupinami. K – kontrolní krmivo, C – náhrada 25% energie cvrčkem, L – náhrada 25% energie larvami potemníka, LC – náhrada 12,5% energie cvrčkem a 12,5% energie larvami potemníka, H – náhrada 50% energie cvrčkem a 50% energie larvami potemníka.

	Skupina				
	K	C	L	LC	H
Přežití (%)	100	96,7	90,0	100	100
Přírůstek hm. (g/nádrž)	2 562 ± 69	2 676 ± 202	2 342 ± 83	2 602 ± 131	2 726
Příjem krmiva (g/tank)					
- Pelety ¹	2 015 ± 37	1 476 ± 57	1 399 ± 55	1 491 ± 43	---
- Cvrčci ¹	---	2 179 ± 79	---	1 097 ± 32	4 023
- Larvy ¹	---	---	1 243 ± 46	658 ± 19	2 414
FCR ²	0,75 ± 0,02	0,79 ± 0,03	0,80 ± 0,01	0,79 ± 0,04	0,86
PER	2,96 ± 0,06 ^a	2,42 ± 0,11 ^c	2,80 ± 0,05 ^{ab}	2,60 ± 0,14 ^{bc}	2,05 ^c
Využití GE	52,1 ± 1,1	54,2 ± 2,3	50,2 ± 0,9	52,3 ± 2,8	55,7

¹ v syrovém stavu; ² vypočteno na základě sušiny krmiva

U ryb použitých pro odběr vzorků byl zjištěn statisticky významný rozdíl v HSI mezi skupinami C a H (Tab. 3). Mezi žádnými skupinami nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly v hmotnosti, koeficientu kondice a viscerosomatickém indexu (Tab. 3).

Tab. 3. Celková hmotnost, koeficient kondice (CF), hepatosomatický index (HSI), viscerosomatický index (VSI) ryb jednotlivých skupin použitých pro odběr vzorků tkání ($n = 10$). Rozdílná písmena nad hodnotami v příslušných sloupcích značí statisticky průkazný rozdíl mezi skupinami. K – kontrolní krmivo, C – náhrada 25 % energie cvrčkem, L – náhrada 25 % energie larvami potemníka, LC – náhrada 12,5 % energie cvrčkem a 12,5 % energie larvami potemníka, H – náhrada 50 % energie cvrčkem a 50 % energie larvami potemníka.

Skupina	Hmotnost (g)	CF	HSI (%)	VSI (%)
K	509,7 ± 76,1	1,79 ± 0,16	1,32 ± 0,20 ^{ab}	12,76 ± 1,05
C	540,6 ± 66,2	1,84 ± 0,10	1,14 ± 0,09 ^a	12,78 ± 0,70
L	505,0 ± 55,3	1,87 ± 0,11	1,21 ± 0,12 ^{ab}	12,92 ± 1,26
LC	534,4 ± 55,3	1,84 ± 0,11	1,22 ± 0,13 ^{ab}	12,75 ± 0,66
H	530,7 ± 56,9	1,95 ± 0,15	1,35 ± 0,15 ^b	13,96 ± 2,35

Celkový obsah tuku se mezi skupinami významně nelišil, ale ve skupině K byl mírně vyšší ve srovnání s experimentálními skupinami. Významné rozdíly mezi skupinami byly zjištěny ve všech sledovaných FA, stejně jako v relativním obsahu nasycených mastných kyselin (SFA), mono-nenasycených mastných kyselin (MUFA) a poly-nenasycených mastných kyselin (PUFA) (Tab. 4).

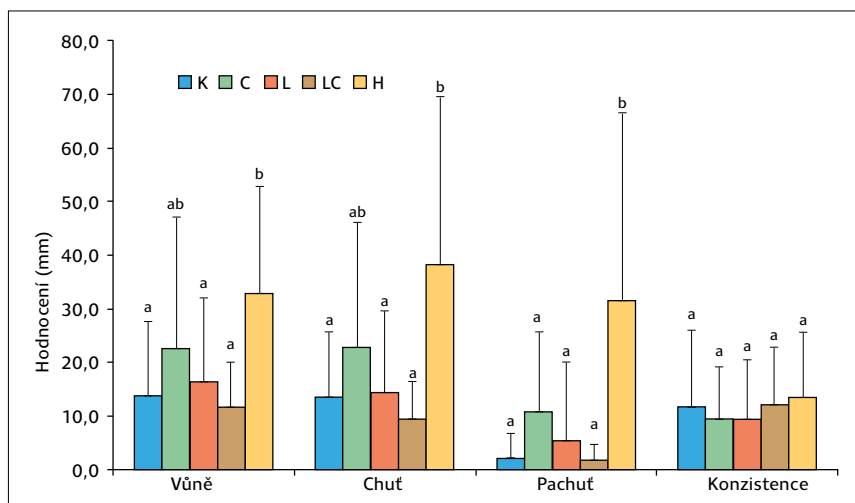
Dále nebyl prokázán statisticky významný vliv diety na hodnotu aktivity jaterních enzymů (EROD). U žádné ze skupin ryb nebyly rovněž zjištěny výrazné makroskopické ani mikroskopické (histologické) patologické změny na vyšetřovaných orgánech.

Z hlediska zbarvení svaloviny byly filety ryb ze skupiny H krmené pouze hmyzem oproti ostatním skupinám signifikantně světlejší a filety ryb ze skupiny LC (larvy + cvrčci) zase světlejší oproti skupině C (cvrčci). Filety ryb ze skupiny LC měly rovněž méně intenzivní červené zbarvení oproti skupině C, přičemž ostatní skupiny se od obou uvedených skupin v tomto parametru statisticky nelišily. Svalovina ryb ze všech skupin, jejichž dieta obsahovala hmyz, vykazovala významně vyšší pevnost než svalovina ryb z kontrolní skupiny.

Senzorické hodnocení prokázalo významně horší kvalitu svaloviny skupiny H (pouze hmyz) v parametru pachů oproti všem ostatním skupinám. V parametrech vůně a chuť byla tato skupina hodnocena rovněž výrazně hůře než ostatní skupiny, pouze s výjimkou skupiny C (Obr. 3).

5.1.3. Zhodnocení výsledků

Na základě získaných výsledků lze tvrdit, že dospělci cvrčka domácího a larvy poterníka brazilského v surovém stavu jsou použitelnou alternativou komerčně vyráběných pelet v dietě pstruha duhového. Zkrmování tohoto hmyzu přináší stejné produkční výsledky jako v případě použití komerčního krmiva o stejné energetické hodnotě bez negativního vlivu na zdraví chovaných ryb. Zařazení hmyzu do krmné dávky však vede ke změnám sensorických parametrů, což může snížit atraktivitu ryb pro některé konzumenty, ať již z hlediska vzhledu, chuťových parametrů či snížení obsahu dnes velmi akcentovaných polynenasycených mastných kyselin.



Obr. 3. Výsledky sensorického hodnocení svaloviny ryb jednotlivých skupin. Rozdílná písmena nad jednotlivými sloupci značí statisticky průkazný rozdíl mezi skupinami (ANOVA, Tukey HSD post-hoc test, $p < 0,05$). K – kontrolní krmivo, C – náhrada 25% energie cvrčkem, L – náhrada 25% energie larvami poterníka, LC – náhrada 12,5% energie cvrčkem a 12,5% energie larvami poterníka, H – náhrada 50% energie cvrčkem a 50% energie larvami poterníka.

VYUŽITÍ HMYZU JAKO KRMIVA PRO RYBY

Tab. 4. Obsah tuku a vybraných mastných kyselin ve svalovině u jednotlivých skupin pstruhů duhových (*Oncorhynchus mykiss*). Obsah tuku je vyjádřen jako procentuální podíl v syrové svalovině a obsah jednotlivých mastných kyselin jako jejich procentuální podíl z celkového množství. Rozdílná písmena nad hodnotami v příslušných řádcích značí statisticky průkazný rozdíl mezi skupinami (ANOVA, Tukey HSD post-hoc test, $p < 0,05$). Hvězdička značí statisticky průkazný rozdíl mezi hodnotou naměřenou u příslušné skupiny na začátku a konci experimentu. K – kontrolní krmivo, C – náhrada 25% energie cvrčkem, L – náhrada 25% energie larvami potemníka, LC – náhrada 12,5% energie cvrčkem a 12,5% energie larvami potemníka, H – náhrada 50% energie cvrčkem a 50% energie larvami potemníka.

Mastná kyselina	Nasazení (den 0)	Skupina (konec experimentu, den 60)				
		K	C	L	LC	I
16:0	11,96 ± 0,51	11,79 ± 0,30 ^a	14,40 ± 1,38 ^{b*}	15,21 ± 2,48 ^{b*}	14,43 ± 0,99 ^{b*}	21,25 ± 0,78 ^{c*}
16:1	2,35 ± 0,18	2,39 ± 0,09 ^a	2,28 ± 0,17 ^a	2,20 ± 0,20 ^{ab}	2,14 ± 0,19 ^{b*}	2,01 ± 0,18 ^{b*}
18:0	3,07 ± 0,14	2,87 ± 0,15 ^{a*}	4,03 ± 0,53 ^{b*}	3,80 ± 0,68 ^{b*}	3,78 ± 0,35 ^{b*}	6,42 ± 0,54 ^{c*}
18:1n-9	44,06 ± 1,52	44,59 ± 0,52 ^a	41,54 ± 1,85 ^{b*}	42,79 ± 1,49 ^b	41,87 ± 1,10 ^{b*}	37,09 ± 1,21 ^{c*}
18:1n-7	3,19 ± 0,05	3,29 ± 0,05 ^{a*}	2,91 ± 0,16 ^{b*}	2,73 ± 0,33 ^{b*}	2,78 ± 0,13 ^{b*}	1,65 ± 0,15 ^{c*}
18:2n-6	13,87 ± 0,51	14,50 ± 0,27 ^{a*}	15,99 ± 0,59 ^{b*}	14,72 ± 0,26 ^{a*}	15,62 ± 0,54 ^{b*}	17,73 ± 0,72 ^{c*}
18:3n-3	4,67 ± 0,24	5,09 ± 0,17 ^{a*}	4,21 ± 0,32 ^{b*}	3,95 ± 0,56 ^{a*}	4,16 ± 0,26 ^{b*}	2,09 ± 0,28 ^{c*}
20:1n-9	2,70 ± 0,33	2,63 ± 0,09 ^a	2,59 ± 0,19 ^a	2,41 ± 0,23 ^{a*}	2,44 ± 0,11 ^{a*}	1,81 ± 0,21 ^{b*}
20:2n-6	0,81 ± 0,10	0,98 ± 0,07 ^{a*}	1,19 ± 0,13 ^{cd*}	1,02 ± 0,10 ^{ab*}	1,14 ± 0,09 ^{bc*}	1,29 ± 0,12 ^{d*}
20:3n-3	0,29 ± 0,04	0,40 ± 0,03 ^{a*}	0,49 ± 0,16 ^{a*}	0,51 ± 0,10 ^{a*}	0,50 ± 0,07 ^{a*}	1,13 ± 0,22 ^{b*}
20:4n-6	0,41 ± 0,07	0,31 ± 0,03 ^{a*}	0,39 ± 0,11 ^a	0,41 ± 0,08 ^a	0,40 ± 0,06 ^a	0,97 ± 0,19 ^{b*}
22:1	1,11 ± 0,52	0,98 ± 0,08 ^a	0,88 ± 0,07 ^b	0,80 ± 0,11 ^b	0,86 ± 0,03 ^b	0,49 ± 0,06 ^{c*}
20:5n-3	1,84 ± 0,36	1,90 ± 0,11 ^a	1,43 ± 0,25 ^{b*}	1,53 ± 0,33 ^b	1,50 ± 0,24 ^{b*}	0,86 ± 0,13 ^{c*}
22:5n-3	0,62 ± 0,36	0,58 ± 0,03 ^a	0,48 ± 0,09 ^{b*}	0,52 ± 0,11 ^{ab*}	0,52 ± 0,06 ^{ab*}	0,30 ± 0,06 ^{c*}
22:6n-3	6,62 ± 0,92	6,30 ± 0,68 ^a	5,89 ± 1,46 ^a	6,26 ± 1,29 ^a	6,71 ± 0,79 ^a	3,95 ± 0,58 ^{b*}
Obsah tuku	6,52 ± 2,42	8,48 ± 1,70	6,43 ± 2,31	7,22 ± 2,20	6,96 ± 1,33	6,86 ± 1,10
Σ SFA	17,40 ± 1,00	15,31 ± 0,40 ^{a*}	19,05 ± 1,84 ^{b*}	19,52 ± 3,12 ^b	18,75 ± 1,32 ^{b*}	28,14 ± 1,23 ^{c*}
Σ MUFA	54,23 ± 1,55	54,33 ± 0,52 ^a	50,63 ± 2,17 ^{b*}	51,30 ± 2,12 ^{b*}	51,41 ± 1,41 ^{b*}	43,30 ± 1,51 ^{c*}
Σ PUFA	28,36 ± 1,25	32,21 ± 0,66 ^{a*}	31,73 ± 2,03 ^{a*}	30,67 ± 2,22 ^{ab*}	32,30 ± 0,96 ^{a*}	29,28 ± 1,01 ^b
Σ n-3	14,04 ± 1,24	14,53 ± 0,66 ^a	12,74 ± 1,91 ^a	12,98 ± 2,08 ^a	13,63 ± 1,05 ^a	8,43 ± 0,90 ^{b*}
Σ n-6	14,32 ± 0,51	15,79 ± 0,25 ^{a*}	17,57 ± 0,62 ^{b*}	16,15 ± 0,33 ^{a*}	17,16 ± 0,56 ^{b*}	19,99 ± 0,88 ^{c*}
Σn-6/Σn-3	1,03 ± 0,11	1,09 ± 0,05 ^a	1,41 ± 0,25 ^{b*}	1,27 ± 0,21 ^{ab*}	1,27 ± 0,12 ^{ab*}	2,40 ± 0,28 ^{c*}

5.2. Využití hmyzu jako komponentu peletovaného krmiva

Cílem provedených experimentů bylo ověření vlivu částečné substituce rybí moučky v peletovaném krmivu sušeným hmyzem na produkční ukazatele, popř. kvalitu masa okouna říčního (*Perca fluviatilis*) a pstruha duhového chovaných v recirkulačním systému. Ověřovanými druhy hmyzu byli opět dospělci cvrčka domácího a larvy potemníka brazilského.

5.2.1. Materiál a metodický postup

5.2.1.1. Výroba krmiva

Pro testování byly použity dva druhy peletovaného krmiva vyrobeného komerční firmou zabývající se výrobou různých druhů krmiv. Krmivo nazvané jako kontrolní bylo vyrobeno z běžných konvenčních surovin. Experimentální krmivo obsahovalo 10 % sušeného hmyzu (5 % cvrček, 5 % larvy potemníka), což představuje 25% substituci rybí moučky hmyzem (Tab. 5). Krmiva byla navržena jako isoproteinová, tedy se stejným procentuálním obsahem bílkovin (Tab. 6). Stejně jako v předchozím experimentu byli jako hmyzí složka použiti dospělci cvrčka domácího a larvy potemníka brazilského od lokálního producenta. Použitý hmyz byl usmrcen šokovým zmrazením kapalným dusíkem a usušen v laboratorní sušárně při teplotě 50 °C. Sušený hmyz byl předán produkční firmě, kde byl homogenizován, smíchán s ostatními ingrediencemi, a to včetně vitamínů, mikronutrientů a deficitních aminokyselin a zpracován do krmných pelet. Finální krmivo mělo podobu kulatých pelet velikosti 3,5 mm (Obr. 4).

Tab. 5. Složení kontrolního a experimentálního krmiva.

Ingredience	Kontrolní krmivo	Experimentální krmivo
Rybí moučka (%)	39,00	29,00
Pšeničná mouka krmná (%)	27,00	24,00
Pšeničný lepek (%)	20,00	22,00
Hmyz (%)	---	10,00
Lososový olej (%)	9,00	8,50
Kvasnice pivovarské (%)	3,00	---
Lysin HCL (%)	0,88	1,09
Bolifor (%)	0,40	1,00
Premix vit. a aminokys. (%)	0,35	0,35
Krmný vápenec (%)	0,30	0,75
L – threonin (%)	0,15	0,22
Methionin (%)	0,20	0,11

Tab. 6. Živinové složení kontrolního a experimentálního krmiva.

Parametr	Kontrolní krmivo	Experimentální krmivo
Protein (%)	52,07	52,08
Tuky (%)	15,04	15,02
Vláknina (%)	1,53	2,19
Škrob (%)	13,06	13,06
Sacharidy (%)	1,30	1,18
Popeloviny (%)	7,22	7,66
Vlhkost (%)	6,00	6,00



Obr. 4. Krmiva použitá v testování. Vlevo kontrolní, vpravo experimentální krmivo.

5.2.1.2. Chovné podmínky a krmný režim při odchovu okouna říčního

Do pokusu, který probíhal od 30. 11. 2015 do 22. 2. 2016 (85 dní), bylo nasazeno celkem 1 440 okounů navyklých na podmínky recirkulačního systému a na příjem komerčního peletovaného krmiva (Metabolica 3 mm). Jejich průměrná hmotnost byla na začátku pokusu $23,1 \pm 0,6$ g. Ryby byly nasazeny po 240 kusech do 6 kruhových laminátových nádrží o objemu 600 litrů (celkem 720 kusů ryb v každé skupině na počátku experimentu).

Ryby ve třech nádržích byly krmeny experimentální dietou a současně ryby v dalších třech nádržích dietou kontrolní. Krmení bylo oběma pozorovaným skupinám podáváno automatickými krmítky v denní dávce 1,5% z celkové hmotnosti obsádky v nádrži. Hmotnost krmiva byla zaznamenávána pro zjištění koeficientu konverze krmiva (FCR). Pro každou nádrž byla na základě zjištěné průměrné hmotnosti ryb na počátku a na konci experimentu rovněž spočtena specifická rychlost růstu (SGR), tedy denní přírůstek za sledované období vyjádřený v procentech.

$$SGR = [(\ln W_t - \ln W_0) \cdot t^{-1}] \cdot 100$$

W_t = konečná hmotnost ryb v gramech,

W_0 = počáteční hmotnost ryb v gramech,

t = doba trvání experimentu ve dnech.

Obsádka každé nádrže byla pravidelně v třítydenních intervalech přelovována. Těmto přelovením vždy předcházelo 24hodinové období bez podávání krmiva. Zaznamenán byl vždy počet ryb v jednotlivých nádržích a jejich celková hmotnost. Na začátku experimentu bylo náhodně odebráno 20 kusů ryb pro biometrické měření a zjištění HSI, WSI a CF. Stejný počet ryb byl odebrán z každé skupiny také na konci experimentu. Po celou dobu experimentu byla 2x denně kontrolována teplota vody ($19,5 \pm 0,1$ °C) a obsah rozpuštěného kyslíku ($9,2 \pm 0,6$ mg O₂·l⁻¹). Světelný den trval 12 hodin.

5.2.1.3. Chovné podmínky a krmný režim při odchovu pstruha duhového

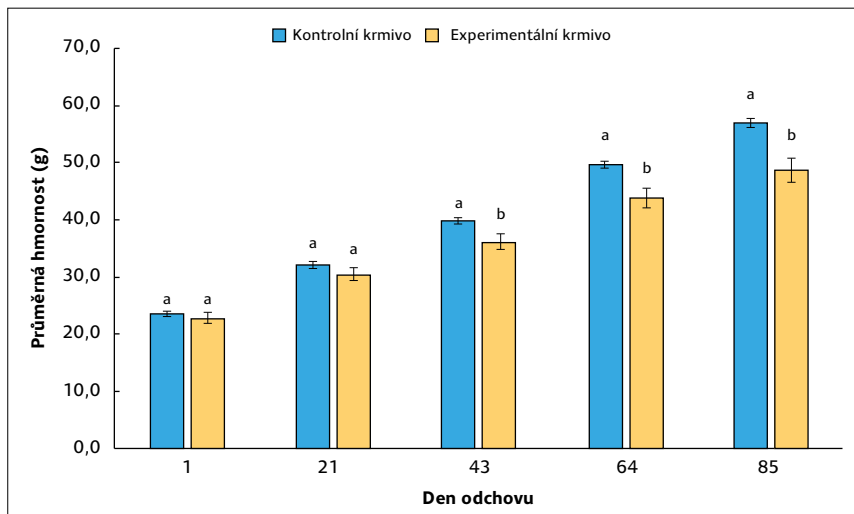
Do 85 dní trvajícího experimentu, zahájeného 1. 3. 2016 a ukončeného 24. 5. 2016, bylo nasazeno 720 pstruhů duhových (57,4g) navyklých na podmínky recirkulačního systému a na příjem komerčního peletovaného krmiva (EFICO Enviro, 3 mm). Tyto ryby byly nasazeny po 120 kusech do stejných nádrží použitých při experimentu s okounem. Design experimentu byl stejný jako v případě odchovu okouna včetně použitého krmiva, 1,5% krmné dávky, intervalu přelovování, délky světelného dne a zjišťovaných parametrů. Pro biometrické měření a stanovení výživových indexů bylo použito vždy 10ks ryb. V průběhu tohoto experimentu byla průměrná teplota vody v odchovných nádržích $20,8 \pm 0,2$ °C a průměrný obsah rozpuštěného kyslíku $8,2 \pm 0,3$ mg O₂·l⁻¹.

5.2.2. Výsledky

5.2.2.1. Výsledky odchovu okouna říčního

Po 85 dnech trvání experimentu bylo sloveno 677 kusů (přežití = $94,0 \pm 4,0$ %) ryb krmených kontrolní dietou a 681 kusů (přežití = $94,6 \pm 1,9$ %) ryb krmených experimentálním krmivem. Typ krmiva neměl statisticky významný vliv na míru přežití pozorovaných ryb. Průměrná hmotnost ryb kontrolní skupiny byla již při druhém přelovení po 43 dnech odchovu signifikantně vyšší oproti skupině krmené experimentální dietou a tento rozdíl přetrvával až do konce experimentu (Obr. 5). Signifikantní rozdíl mezi skupinami byl na konci experimentu zaznamenán jak u FCR ($1,44 \pm 0,08$ v. $1,75 \pm 0,15$), tak u SGR ($1,06 \pm 0,01$ v. $0,90 \pm 0,07$). V obou případech ve prospěch kontrolní skupiny.

Z hlediska výživových indexů došlo oproti hodnotám při nasazení na konci experimentu k signifikantnímu zvýšení HSI a VSI u obou skupin ryb. CF se signifikantně zvýšil pouze u kontrolní skupiny. Mezi oběma skupinami testovaných ryb nebyl zjištěn na konci experimentu signifikantní rozdíl v žádném ze sledovaných parametrů (Tab. 7).



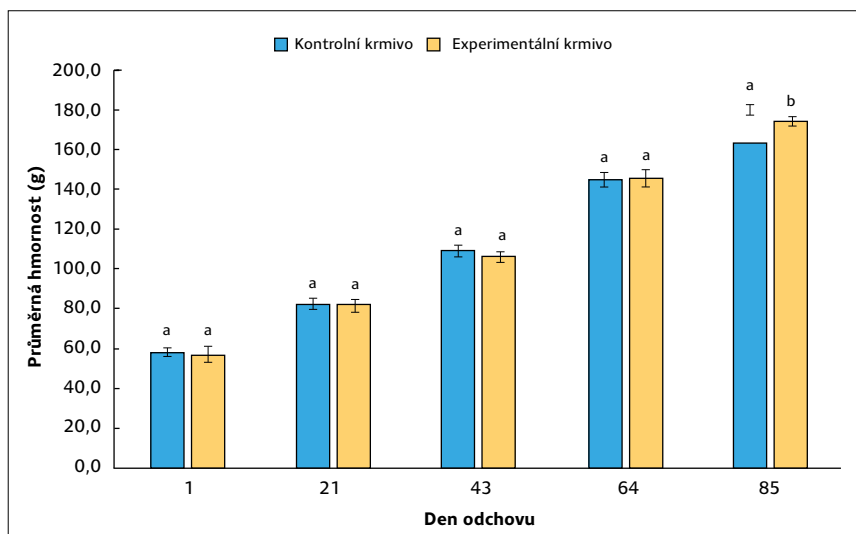
Obr. 5. Průměrná hmotnost okounů říčních (*Perca fluviatilis*) krmených kontrolní a experimentální dietou v průběhu odchovu. Rozdílná písmena nad jednotlivými sloupci značí statisticky průkazný rozdíl mezi skupinami (*t*-test, $p < 0,05$).

Tab. 7. Délka těla (TL), hmotnost (W), koeficient kondice (CF), hepatosomatický (HSI) a viscerosomatický (VSI) index okounů říčních (*Perca fluviatilis*) krmených kontrolní a experimentální dietou na začátku a na konci experimentu (průměr \pm SD; $n = 20$). Hvězdička značí statisticky průkazný rozdíl mezi hodnotami na začátku a na konci experimentu (ANOVA, Tukey HSD post-hoc test, $p < 0,05$).

Parametr	Začátek experimentu	Konec experimentu	
		Kontrolní krmivo	Experiment. krmivo
TL (mm)	141,6 \pm 8,9	170 \pm 19,4*	171 \pm 18,5*
W (g)	39,9 \pm 9,9	75,6 \pm 27,5*	74,6 \pm 27,5*
CF	1,33 \pm 0,13	1,46 \pm 0,15*	1,41 \pm 0,11
HSI (%)	2,58 \pm 0,94	3,59 \pm 0,88*	3,83 \pm 0,66a*
VSI (%)	11,21 \pm 3,01	15,18 \pm 2,17*	14,33 \pm 2,33*

5.2.2.2. Výsledky odchovu pstruha duhového

V tomto experimentu nebyly zjištěny rozdíly v přežití ($98,9 \pm 1,0\%$ v. $98,1 \pm 0,5\%$), koeficientu konverze krmiva ($1,04 \pm 0,03$ v. $1,01 \pm 0,05$) ani specifické rychlosti růstu ($1,33 \pm 0,03$ v. $1,32 \pm 0,07$) mezi skupinami ryb krmenými kontrolní a experimentální dietou. Průměrná hmotnost ryb se při jednotlivých přeloveních v průběhu experimentu signifikantně nelišila. Při jeho ukončení však byl zjištěn signifikantní rozdíl ve prospěch kontrolní skupiny (Obr. 6).



Obr. 6. Průměrná hmotnost pstruhů duhových (*Oncorhynchus mykiss*) krmených kontrolní a experimentální dietou v průběhu odchovu. Rozdílná písmena nad jednotlivými sloupci značí statisticky průkazný rozdíl mezi skupinami (*t*-test, $p < 0,05$).

Stejně jako u předchozího experimentu nebyly mezi oběma skupinami testovaných ryb na konci experimentu zjištěny signifikantní rozdíly v hodnotách sledovaných výživových indexů. Ve srovnání s hodnotami zjištěnými na začátku experimentu došlo u obou testovaných skupin ke zvýšení hodnot CF a snížení VSI. Hodnoty HSI se u obou skupin ve srovnání s počátkem experimentu zvýšily, nicméně rozdíl nebyl statisticky průkazný (Tab. 8).

Tab. 8. Délka těla (TL), hmotnost (W), koeficient kondice (CF), hepatosomatický (HSI) a viscerosomatický (VSI) index pstruhů duhových (*Oncorhynchus mykiss*) krmných kontrolní a experimentální dietou na začátku a na konci experimentu (průměr ± SD; n = 10). Hvězdička značí statisticky průkazný rozdíl mezi hodnotou naměřenou u příslušné skupiny na začátku a konci experimentu (ANOVA, Tukey HSD post-hoc test, $p < 0,05$).

Parametr	Začátek experimentu	Konec experimentu	
		Kontrolní krmivo	Experiment. krmivo
TL (mm)	173,5 ± 11,1	224,0 ± 14,8*	216,0 ± 19,1*
W (g)	66,2 ± 12,1	159,7 ± 29,8*	146,6 ± 36,1*
CF	1,77 ± 0,14	2,05 ± 0,22*	1,99 ± 0,17*
HSI (%)	1,16 ± 0,17	1,44 ± 0,35	1,32 ± 0,28
VSI (%)	15,29 ± 1,84	11,84 ± 1,94*	11,56 ± 2,12*

5.2.3. Zhodnocení výsledků

Výsledky provedených experimentů prokázaly, že i částečná náhrada rybí moučky v krmivu moučkou ze sušených dospělčů cvrčka domácího a larev potemníka brazilského vede ke zhoršení produkčních ukazatelů v intenzivním chovu okouna říčního. V případě pstruha duhového byla zjištěna statisticky průkazně nižší konečná hmotnost ryb krmných experimentálním krmivem oproti kontrolní skupině. U ostatních produkčních ukazatelů ale žádné rozdíly zjištěny nebyly.

6. EKONOMICKÝ PŘÍNOS

Vzhledem k ceně použitého hmyzu, která se v současnosti pohybuje na úrovni přibližně 180 Kč za 1 kg larev potemníka a 400 Kč za 1 kg cvrčků, nepředstavuje komerčně produkováný hmyz ekonomicky přijatelnou alternativu ke konvenčním peletovaným krmivům, jejichž cena se nachází na úrovni přibližně 60 Kč za 1 kg. Cvrčci jsou tedy více jak 25x dražší a larvy potemníka zhruba 7x dražší než komerční pelety se stejným obsahem energie. Je však třeba podotknout, že uvedené ceny se týkají hmyzu v prémiové (Pet shop) kvalitě dodávané do chovatelských prodejen. Vzhledem k očekávanému rozvoji chovů hmyzu pro lidskou spotřebu (zařazení hmyzu na seznam potravin v roce 2018, EU, 2015) lze v budoucnu očekávat snížení jeho ceny. Zároveň je možné v budoucnu očekávat zvyšování ceny RM v důsledku zvyšující se spotřeby a přelovení oceánů. V úvahu připadá rovněž možnost využití produkce hmyzu nižší kvality s použitím různých druhů potravinářských odpadů, využití nadprodukce či uhynulého hmyzu. Další možností je produkce krmného hmyzu či jeho stadií přímo chovatelem ryb nebo ve spolupráci s lokálními chovateli hmyzu. V tomto případě se otevírá možnost využít pro produkci krmného hmyzu odpad vznikající při zpracování chovaných ryb. To by mohlo vést jednak ke snížení ceny krmného hmyzu, ale i úspoře v rámci odpadového hospodářství akvakulturního subjektu. Z hlediska ekologie a udržitelnosti je možné použití hmyzu pro krmné účely považovat za jednoznačně šetrnější alternativu ve srovnání s krmivem založenými na RM, které jsou vyráběné z ryb odlovovaných v oceánech. Případné využití odpadních produktů zpracování ryb či dalších odpadů potravinářského průmyslu v chovu krmného hmyzu je rovněž krokem k bezodpadové a tím i ekologičtější produkci potravin a akvakultury samotné.

7. UPLATNĚNÍ TECHNOLOGIE V PRAXI

Cílem této technologie založené na přehledu dosud publikovaných vědeckých výsledků v oblasti využití hmyzu ke krmení ryb bylo poskytnout informace o možnostech použití hmyzu v dietě intenzivně chovaných ryb a provedení vlastních experimentů v místních podmínkách. Vývoj a testování technologie probíhal ve spolupráci výzkumné organizace a komerčního podniku zaměřeného na chov ryb v podmínkách recirkulačního akvakulturního systému. Výsledky lze shrnout do několika níže uvedených bodů.

- Dospělci cvrčka domácího a larvy potemníka brazilského v surovém stavu jsou pro intenzivně chovaného pstruha duhového plnohodnotnou náhradou komerčního krmiva o stejné energetické hodnotě.

- Zařazení surového krmiva do diety pstruha duhového má vliv na kvalitativní složení spektra mastných kyselin a v případě cvrčků i na sensorické vlastnosti svaloviny.
- Nahrazení 25 % RM v krmivu moučkou ze sušených dospělců cvrčka domácího a larev potemníka brazilského vede u okouna říčního ke zhoršení růstu i produkčních ukazatelů. V chovu pstruha duhového nemá tato náhrada vliv na produkční ukazatele, může však vést ke zpomalení růstu chovaných ryb.
- V současné době je použití komerčně dostupného hmyzu jako krmiva pro ryby ekonomicky nerentabilní. V budoucnu však lze očekávat zlepšení cenové dostupnosti krmného hmyzu a tím i širší možnosti jeho využití.

8. ZÁVĚR

Hmyz je perspektivním krmným zdrojem pro akvakulturní produkci, zejména pro druhy ryb, u kterých je součástí jejich přirozené potravy, tedy hlavně pro různé druhy lososovitých ryb. Vzhledem k nenáročnosti masové produkce hmyzu na prostor, krmivo, vodu a energii představuje udržitelnou a ekologicky šetrnou alternativu k rybí moučce získávané v současné době převážně z volně žijících mořských ryb. Díky dynamicky se rozvíjícímu sektoru chovu různých druhů hmyzu a rostoucí poptávce po ekologicky šetrně produkovaných potravinách je možné v následujících letech očekávat rozšíření použití hmyzu coby krmiva pro ryby i další hospodářská zvířata.

9. SEZNAM LITERATURY

- Abanikanda, M.F., 2012. Nutrient digestibility and haematology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with varying levels of locust (*Locusta migratoria*) meal. Dissertation, Federal University of Agriculture, Abeokuta, Ogun State, Nigeria.
- Ajani, E.K., Nwanna, L.C., Musa, B.O., 2004. Replacement of fish meal with maggot meal in the diets of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. World Aquaculture 35: 52–54.
- Alegbeleye, W.O., Obasa, S.O., Olude, O.O., Otubu, K., Jimoh, W., 2012. Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper (*Zonocerus variegatus* L.) for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell. 1822) fingerlings. Aquaculture Research 43: 412–420.
- Appelqvist, L.Å., 1968. Rapid methods of lipid extraction and fatty acid methyl ester preparation for seed and leaf tissue with special remarks on preventing the accumulation of lipid contaminants. Arkiv for Kemi 28: 551–570.
- Balogun, B.I., 2011. Growth performance and feed utilization of *Clarias gariepinus* (Teugels) fed different dietary levels of soaked *Bauhinia monandra* (Linn.) seed meal and sun-dried locust meal (*Schistocerca gregaria*). Dissertation, Dept. Biological Sciences, Faculty of Science, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria.
- Calvert, C.C., Martin, R.D., Morgan, N.O., 1969. Housefly pupae as food for poultry. Journal of Economic Entomology 62: 938–939.
- DeFoliart, G.R., 1989. The human use of insects as food and as animal feed. Bulletin of the Entomological Society of America 35: 22–35.
- Emehinaiyi, P.A., 2012. Growth performance of *Oreochromis niloticus* fingerlings fed with varying levels of migratory locust (*Locusta migratoria*) meal. Dissertation, Federal University of Agriculture, Abeokuta.
- EU, 2015. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2015/2283 ze dne 25. listopadu 2015, o nových potravinách, o změně nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1169/2011 a o zrušení nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 258/97 a nařízení Komise (ES) č. 1852/2001.
- FAO, 2013. Food Outlook: Biannual Report on Global Food Markets (June). Rome: FAO. Dostupné na <http://www.fao.org/docrep/018/al999e/al999e.pdf>. Navštíveno 9. 5. 2016.
- Finke, M.D., 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. Zoo Biology 21: 269–285.
- Gasco, L., Belforti, M., Rotolo, L., Lussiana, C., Parisi, G., Terova, G., Roncarati, A., Gai, F., 2014a. Mealworm (*Tenebrio molitor*) as a potential ingredient in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). In: Vantomme, P., Munke, C., van Huis, A. (Eds), Abstract Book Conference "Insects to Feed The World", the Netherlands, p. 69.
- Gasco, L., Gai, F., Piccolo, G., Rotolo, L., Lussiana, C., Molla, P., Chatzifotis, S., 2014b. Substitution of fish meal by *Tenebrio molitor* meal in the diet of *Dicentrarchus labrax* juveniles. In: Vantomme, P., Munke, C., van Huis, A. (Eds). Abstract Book Conference "Insects to Feed The World", the Netherlands, p. 70.
- Hara, A., Radin, N.S., 1978. Lipid extraction of tissues with low toxicity solvent. Analytical Biochemistry 90: 420–426.
- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., Fountoulaki, E., 2015. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. Animal Feed Science and Technology 203: 1–22.
- Hardouin, J., Mahoux, G., 2003. Zootechnie d'insectes – Elevage et utilisation au bénéfice de l'homme et de certains animaux, (BEDIM), 164 pp.
- ISO 6658, 2005. Sensory analysis – Methodology – General guidance. International Organization for Standardization, Geneva.

- ISO 8589, 2007. Sensory analysis – General guidance for the design of test rooms. International Organization for Standardization, Geneva
- Jabir, M.D.A.R., Razak, S.A., Vikineswary, S., 2012. Nutritive potential and utilization of superworm (*Zophobas morio*) meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juvenile. *African Journal of Biotechnology* 11: 6592–6598.
- Kroeckel, S., Harjes, A.G., Roth, I., Katz, H., Wuertz, S., Susenbeth, A., Schulz, C., 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*). *Aquaculture* 364: 345–352.
- Lock, E.J., Arsiwalla, T., Waagbø, R., 2014. Insect meal: a promising source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*). In: Vantomme, P., Munke, C., van Huis, A. (Eds), Abstract Book Conference “Insects to Feed The World”, the Netherlands, p. 67.
- Makkar, H.P.S., Tran, G., Heuze, V., Ankers, P., 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology* 197: 1–33.
- Miller, B.F., Shaw, J.H., 1969. Digestion of poultry manure by Diptera. *Poultry Science* 48: 1844–1845.
- Moon, S.J., Lee, J.W., 2015. Current views on insect feed and its future. *Entomological Research* 45: 283–285.
- Msangi, S., Kobayashi, M., Batka, M., Vannuccini, S., Dey, M.M., Anderson, J.L., 2013. Fish to 2030: Prospects for Fisheries and Aquaculture. World Bank Report (83177-GLB).
- Newton, L., Sheppard, C., Watson, D.W., Burtle, G., Dove, R., 2005. Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. In: Report for Mike Williams, Director of the Animal and Poultry Waste Management Center. North Carolina State University.
- Ng, W.K., Liew, F.L., Ang, L.P., Wong, K.W., 2001. Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for Africancatfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture Research* 32: 273–280.
- Olsen, R.L., Hasan, M.R., 2012. A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production. *Trends in Food Science & Technology* 27: 120–128.
- Piccolo, G., Marono, S., Gasco, L., Iannaccone, F., Bovera, F., Nizza, A., 2014. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal in diets for Gilthead sea bream *Sparus aurata* juveniles. In: Vantomme, P., Munke, C., van Huis, A. (Eds), Abstract Book Conference “Insects to Feed The World”, the Netherlands, p. 68.
- Ramos-Elorduy J., 1997. Insects: a sustainable source of food? *Ecology of Food and Nutrition* 36: 247–276.
- Ramos-Elorduy J., González E.A., Hernández A.R., Pino J.M., 2002. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens *Journal of Economic Entomology* 95: 214–220.
- Roques A., 2010. Alien terrestrial arthropods in Europe. 4. Pensoft 2010. 558 pp. Database online. Dostupné na http://biorisk.pensoft.net/browse_journal_issue_documents?issue_id=148. Navštíveno 7. 5. 2016.
- Sánchez-Muros, M.J., Barroso, F.G., Manzano-Agugliaro, F., 2014. Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production* 65: 16–27.
- Sealey, W.M., Gaylord, T.G., Barrows, F.T., Tomberlin, J.K., McGuire, M.A., Ross, C., St-Hilaire S., 2011. Sensory analysis of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed enriched black soldier fly prepupae, *Hermetia illucens*. *Journal of the World Aquaculture Society* 42: 34–45.
- Sheppard, C., Newton, G.L., Thompson, S.A., Savage, S., 1994. A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresource Technology* 50: 275–279.
- Sogbesan, A.O., Ajuonu, N., Musa, B.O., Adewole, A.M., 2006. Harvesting techniques and evaluation of maggot meal as animal dietary protein source for Heteroclaris in outdoor concrete tanks. *World Journal of Agricultural Sciences* 2: 394–402

VYUŽITÍ HMYZU JAKO KRMIVA PRO RYBY

- Stamer, A., Wesselss, S., Neidigk, R., Hoerstgen-Schwark, G., 2014. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae-meal as an example for a new feed ingredients' class in aquaculture diets. In: Rahmann, G., Aksoy, U. (Eds), 4th ISOFAR Scientific Conference "Building Organic Bridges", at the Organic World Congress 2014. ISOFAR, Istanbul (Turkey), pp. 1043–1045.
- St-Hilaire, S., Cranfill, K., McGuire, M.A., Mosley, E.E., Tomberlin, J.K., Newton, L., Sealey, W., Sheppard, C., Irving, S., 2007a. Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *Journal of the World Aquaculture Society* 38: 309–313.
- St-Hilaire, S., Sheppard, C., Tomberlin, J.K., Irving, S., Newton, L., McGuire, M.A., Mosley, E.E., Hardy, R.W., Sealey, W., 2007b. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society* 38: 59–67.
- Tacon, A.G., Metian, M., 2008. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects. *Aquaculture* 285: 146–158.
- Tomberlin, J.K., Sheppard, D.C., 2001. Lekking behavior of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *Florida Entomologist* 84: 729–730.
- van Huis, A., van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., Vantomme, P., 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security. Food and Agriculture Organization of the United nations, FAO.
- Yen, A.L., 2015. Insects as food and feed in the Asia Pacific region: current perspectives and future directions. *Journal of Insects as Food and Feed* 1: 33–55.

Externí odborný oponent

*Ing. Štěpán Lang, Ph.D.
Tro Trouw Nutrition Biofaktory s.r.o., Na Chvalce 2049,
193 00 Praha 9 – Horní Počernice*

Interní odborný oponent

*Ing. Miroslav Blecha, Ph.D.
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod,
Jihočeské výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz,
Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický,
Zátiší 728/II, 389 25 Vodňany, www.frov.jcu.cz*

Adresa autorského kolektivu

*Ing. Jan Turek, Ph.D., Ing. Pavel Lepič, Ph.D., Ing. Daniel Červený, Ph.D.,
prof. Ing. Tomáš Randák, Ph.D., prof. Ing. Pavel Kozák, Ph.D.
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod,
Jihočeské výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz,
Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický, Zátiší 728/II,
389 25 Vodňany, www.frov.jcu.cz*

Ing. Vlastimil Stejskal, Ph.D.

*Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod,
Jihočeské výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz,
Ústav akvakultury a ochrany vod, Na Sádkách 1780,
370 05 České Budějovice, www.frov.jcu.cz*

V edici Metodik (technologická řada) vydala Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, Vodňany, www.frov.jcu.cz; přidělený editor: MVDr. Jitka Kolářová; redakce: Zuzana Dvořáková; náklad: 200 ks, 1. vydání; technologie uplatněna v roce 2018, vytištěna v roce 2020. grafický design a technická realizace: Jesenické nakladatelství Jena Šumperk