

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta rybářství a ochrany vod

Ústav akvakultury

Diplomová práce

Využití hmyzí moučky z potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) v krmivech pro okouna říčního (*Perca fluviatilis* L.)

Autor: Bc. Jan Volský

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vlastimil Stejskal, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: MS.c. Tran Quang Hung

Studijní program a obor: N4106 Zemědělská specializace, Rybářství a
ochrana vod

Forma studia: Prezenční

Ročník: 5.

České Budějovice, 2021

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že, v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě, případně v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných FROV JU. Zveřejnění probíhá elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 3.5. 2021

Jan Volský

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. Vlastimilu Stejskalovi za odborné vedení při řešení diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat M.Sc. Tran Quang Hungovi za umožnění spolupráce a velmi cenné rady v průběhu řešení diplomové práce. Také děkuji své rodině za to, že mi umožnili studium na Jihočeské univerzitě v Českých Budějovicích a všem svým přátelům, kteří mi byli po celou dobu tvorby diplomové práce oporou.

ZADÁNÍ

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta rybnářství a ochrany vod

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan VOLSKÝ**
Osobní číslo: **V18N006P**
Studijní program: **N4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Rybnářství a ochrana vod**
Téma práce: **Využití hmyzí moučky z potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) v krmivech pro okouna říčního (*Perca fluviatilis* L.).**

Zadávací katedra: **Ústav akvakultury a ochrany vod**

Zásady pro vypracování

Kontrolovaný chov okouna říčního (*Perca fluviatilis*) v intenzivních podmínkách recirkulačních systémů patří mezi rozvíjející se směr evropské sladkovodní akvakultury. Důvodem je především vysoká kvalita masa, zajímavá realizační cena na trzích v některých zemích a poměrně vysoká žádanost na trhu.

Vzhledem k omezeným možnostem zdrojů rybí moučky jsou v posledních letech hledány alternativy zdroje proteinu pro rybí krmiva. Produkce hmyzu, který je součástí přirozené potravy některých druhů ryb, zanechává pouze malou ekologickou stopu, lze ji uskutečňovat lokálně, a navíc je potřeba velmi malá zastavěná plocha. V poslední dekádě se objevují studie testující náhradu rybí moučky hmyzí moučkou, které dále podněcují výzkum v této oblasti. Poměrně velký potenciál skýtá především potemník moučný *Tenebrio molitor*. Tento druh má oproti ostatním druhům hmyzu schváleným komisí EU výrazně méně chitinu a svou biologií a přirozeným výskytem nejvíce patří do středoevropského prostoru.

Pro testování využitelnosti hmyzí moučky produkované zmíněným druhem budou sestaveny 4 experimentální iso-proteinové a iso-lipidové diety s 25, 50, 75 a 100% náhradou rybí moučky hmyzí moučkou. Každá experimentální dieta bude testována ve třech opakováních. Kontrolní skupinou budou dieta se 0% zastoupením hmyzí moučky. Hlavními sledovanými parametry bude hmotnostní růst, koeficient konverze živin a stravitelnost krmiv (stanovení koeficientů stravitelnosti). Dále bude sledován vliv použité diety na somatické indexy, hematologický a biochemický profil ryb. Vyhodnocena bude i stravitelnost diet a základní chemické složení odchovaných ryb.

Hlavní testovanou hypotézou je nalezení, respektive nenalezení rozdílů v růstu, stravitelnosti a ostatních zootechnických parametrech a kvalitativních ukazatelích při odchovu okouna s využitím iso-energetických a iso-proteinových krmiv obsahujících různé zastoupení hmyzí moučky.

Rozsah pracovní zprávy: **50-70 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tiskárenská**

Seznam doporučené literatury:

- Craig, J. F., 2000. Percid fishes – systematics, ecology and exploitation. Blackwell, Oxford, 352 p.
Barroso, F.G., de Haro, C., Sanchez-Muros, M.J., Venegas, E., Martinez-Sanchez, A., Perez-Banon, C. 2014. The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture* 422, 193-201.
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.
Ido, A., Iwai, T., Ito, K., Ohta, T., Mizushige, T., Kishida, T., Miura, C., Miura, T., 2015. Dietary effects of housefly (*Musca domestica*) (Diptera: Muscidae) pupae on the growth performance and the resistance against bacterial pathogen in red sea bream (*Pagrus major*) (Perciformes: Sparidae). *Applied*

Entomology and Zoology 50, 213-221.

Makkar, H.P.S., Tran, G., Henze, V., Ankers, P. 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. Animal Feed Science and Technology 197, 1-33.

Polícar, T., Stejskal, V., Bláha, M., Alavi, S.M.H., Kouřil, J., 2009. Technologie intenzivního chovu okouna říčního (Perca fluviatilis L.) Edice Metodik (Technologická řada), FROV JU Vodňany, č. 89, 51 s.

Sanchez-Muros, M.J., Barroso, F.G., Manzano-Agugliaro, 2014. Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. Journal of Cleaner Production 65, 16-27.

Stejskal, V., Polícar, T., Bláha, M., Křížán, J., 2010. Produkce tržního okouna říčního (Perca fluviatilis) kombinací rybníčního a intenzivního chovu. Edice Metodik, FROV JU, Ověřená technologie, č. 105, 34

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vlastimil Stejskal, Ph.D.
Ústav akvakultury a ochrany vod

Konzultant diplomové práce: MSc. Hung Tran Quang
Ústav akvakultury a ochrany vod

Datum zadání diplomové práce: 4. března 2020

Termín odevzdání diplomové práce: 3. května 2021



prof. Ing. Pavel Kozák, Ph.D.
děkan

L.S.



Ing. Jan Kašpar
ředitel

V Českých Budějovicích dne 4. března 2020

OBSAH

1. ÚVOD	8
2. LITERÁRNÍ PŘEHLED	9
2.1 Biologie, chov a význam okouna říčního (<i>P. fluviatilis</i> L.)	
2.2 BIOLOGIE, CHOV A VÝZNAM DRUHŮ HMYZU SCHVÁLENÝCH EU PRO VYUŽITÍ V KRMIVECH	12
2.2.1 Bráněnka (<i>H. illucens</i>)	13
2.2.2 Moucha domácí (<i>M. domestica</i>)	15
2.2.3 Potemník moučný (<i>T. molitor</i>).....	16
2.2.4 Potemník stájový (<i>A. diaperinus</i>).....	17
2.2.5 Cvrček domácí (<i>A. domestica</i>), Cvrček banánový (<i>G. assimilis</i>), Cvrček krátkokřídlý (<i>G. sigillatus</i>)	17
2.3 VLIV NÁHRADY RYBÍ MOUČKY HMYZÍ MOUČKOU NA RŮST, FYZIOLOGICKÉ PARAMETRY A KVALITU RYB	18
2.4 NUTRIČNÍ SLOŽENÍ HMYZU VERSUS POŽADAVKY RYB	21
2.4.1 Proteiny – aminokyseliny	21
2.4.2 Lipidy – mastné kyseliny	22
2.4.3 Minerály a vitamíny.....	23
2.4.4 Bezdušikáté látky výtažkové – chitin.....	23
2.5 VYUŽITÍ HMYZU VE VÝŽIVĚ RYB	24
2.5.1 Stravitelnost hmyzích mouček.....	24
2.5.2 Vliv hmyzích mouček na složení střevní mikroflóry	25
2.5.3 Využití celého, živého nebo mraženého hmyzu ve výživě ryb	27
2.5.4 Použití <i>T. molitor</i> jako náhrady rybí moučky obsažené v krmivech pro ryby	28
2.5.5 Bráněnka (<i>H. Illucens</i>)	29
2.5.6 Moucha domácí (<i>M. domestica</i>)	30
2.5.7 Zástupci rovnokřídých (Orthoptera).....	31
2.5.8 Bourec morušový (<i>B. mori</i>).....	31
2.5.9 Termiti (<i>Isoptera</i>)	33
3. MATERIÁL A METODIKA	34
3.1 POPIS ODCHOVNÉHO SYSTÉMU	34
3.2 EXPERIMENTÁLNÍ KRMIVA.....	35
3.3 DENNÍ REŽIM A HARMONOGRAM CELÉHO POKUSU	39
3.3.1 Stravitelnost krmiv.....	40
3.3.2 Odběr a analýza vzorků krve	40
3.3.3 Organosomatické indexy	40
3.3.4 Indexy dopadu chovu na životní prostředí.....	41
3.3.5 Analytické metody	42
3.4 TESTOVÁNÍ SCHOPNOSTI PLAVÁNÍ.....	42
3.4.1 Sledované parametry.....	43
3.4.2 Odebírání vzorků krve.....	44
3.4.3 Chemická a biochemická analýza	44
3.5 STATISTICKÁ ANALÝZA	44
4. VÝSLEDKY	45
4.1 RŮSTOVÉ PARAMETRY	45
4.1.1 Celková délka těla.....	45
4.1.2 Hmotnostní parametry.....	46
4.1.3 Koeficient kondice	46

4.1.4 Biomasa.....	47
4.2 KOEFICIENT VYUŽITÍ PROTEINU, PŘEŽITÍ, SPECIFICKÁ RYCHLOST RŮSTU,	48
4.3 PŘÍJEM KRMIVA	48
4.4 KOEFICIENT KONVERZE KRMIVA	49
4.5 ORGANOSOMATICKÉ INDEXY A VÝTĚŽNOST FILET V ZÁVISLOSTI NA EXPERIMENTÁLNÍCH DIETÁCH.	50
4.6 KOEFICIENT STRAVITELNOSTI ŽIVIN JEDNOTLIVÝCH EXPERIMENTÁLNÍCH DIET	50
4.7 VLIV ODSUPŇOVANÉHO MNOŽSTVÍ MOUČKY Z POTEMNÍKA MOUČNÉHO V KRMIVU NA PROCENTUÁLNÍ ZASTOUPENÍ ŽIVIN A PROFIL MASTNÝCH KYSELIN V TĚLE A VE FILETECH OKOUNA ŘÍČNÍHO	52
4.8 DOPADY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ SPOJENÉ S ODCHOVEM OKOUNA S VYUŽITÍM KRMIV NA BÁZI HMYZÍ MOUČKY	55
4.9 VLIV EXPERIMENTÁLNÍCH DIET NA KRITICKOU RYCHLOST PLAVÁNÍ OKOUNŮ.....	56
4.10 VLIV EXPERIMENTÁLNÍCH DIET NA SPOTŘEBU KYSLÍKU V PRŮBĚHU PLAVECKÝCH TESTŮ OKOUNA.....	57
4.11 OBSAH VODY A PH VE FILETECH RYB V ZÁVISLOSTI NA EXPERIMENTÁLNÍCH DIETÁCH A ABSOLVOVÁNÍ PLAVECKÝCH TESTŮ	57
4.12 VLIV EXPERIMENTÁLNÍCH DIET A ABSOLVOVÁNÍ ZÁTĚŽOVÝCH PLAVECKÝCH TESTŮ NA HEMATOLOGICKÉ UKAZATELE	58
4.12.1 Glukóza	58
4.12.2 Aspartátaminotransferáza (AST)	59
4.12.3 Laktátdehydrogenáza (LDH)	60
4.12.4 Triglyceridy	61
4.12.5 Bílkoviny.....	62
4.12.6 Kortizol	62
4.12.7 Sodík	63
4.12.8 Draslík.....	64
4.12.9 Chlór	64
5. DISKUZE	66
6. ZÁVĚR.....	76
7. PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY.....	78
8. ABSTRAKT	101
9. ABSTRACT	102

1. ÚVOD

Okoun říční (*Perca fluviatilis* L.) je sladkovodní druh obývajících biotopy evropských toků, rybníků, vodních nádrží a jezer. V těchto prostředích vytváří četné populace se značným hospodářským významem. Kulinářsky si největší oblibu získal především v alpských zemích, kde je díky svému chutnému, bílému a netučnému masu bez „Y“ kostí považován za delikatesu. Vzhledem k snižující se produkci odlovem z volných vod, zvládnuté umělé reprodukci a zájmu trhu se stal vysoce perspektivním druhem pro intenzivní odchov v recirkulačních akvakulturních systémech (RAS) (Watson, 2008).

FAO uvádí (2020), že v roce 2016 bylo v akvakultuře vyprodukováno 585 tun okouna říčního. S tím, jak roste globální význam technických akvakultur, stoupá i spotřeba druhově specifických kompletních krmných směsí. Pro chov ryb v intenzivních podmínkách, je v současné době nejvíce využíváno komerčně vyráběné krmivo, jehož hlavním zdrojem bílkovin je rybí moučka. Pro produkci rybí moučky je limitující především početnost populací mořských ryb, které jsou využívány pro její výrobu. Snižování dostupnosti a postupné zvyšování ceny rybí moučky nutí producenty krmiv hledat další možnosti její náhrady. Jako vhodná alternativa krmiva s kvalitním zdrojem proteinů se jeví hmyzí moučka.

Do roku 2017 se v Evropské unii mohl hmyz využívat pouze jako krmivo pro zvířata sloužící k vědeckým účelům a domácích mazlíčků, a to na základě příloh I a IV, v nařízení Evropského parlamentu a Radou ES č. 999/2001 a příloh X, XIV a XV v nařízení Komise (EU) č. 142/201. Roku 2017 však Evropská komise vydala povolení (Regulation 2017/893/EC, 2017), podle kterého je možné využívat hmyz i v krmivech zvířat určených pro humánní konzum. Konkrétně se jedná o druhy: Moucha domácí (*Musca domestica*), bráněnka (*Hermetia illucens*), cvrček domácí (*Acheta domesticus*), cvrček banánový (*Gryllus assimilis*), cvrček krátkokřídý (*Grylloides sigillatus*), potěmník stájový (*Alphitobius diaperinus*) a potěmník moučný (*Tenebrio molitor*). Tento fakt vedl ke zvýšenému zájmu o výzkum v oblasti využití hmyzí moučky v krmivech.

Cílem této práce bylo posouzení vlivu odstupňovaného množství moučky z potěmníka moučného (*Tenebrio molitor*) v krmivu okouna říčního (*P. fluviatilis*) na růstové parametry, biochemické parametry, plavecký výkon a metabolismus, konkrétně na spotřebu kyslíku, energetické výdaje, kritickou rychlost plavání a fyziologický stres u ryb před plaveckým výkonem a po výkonu. Pro tyto účely byl pokus rozdělen na odchovnou část, jež trvala celkem 119 dní, po které následovalo testování plaveckých výkonů.

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1 Biologie, chov a význam okouna říčního (*P. fluviatilis* L.)

Ekologické nároky okouna říčního jsou poměrně plastické. Obývá téměř veškeré vodní biotopy. V místech svého výskytu preferuje velké hloubky a do mělčin vyplouvá pouze při hledání potravy nebo v době tření. Typická je pro něj schopnost vytváření velkých hejn. Plůdek se živí zooplanktonem, po dosažení délky 70 mm začíná lovit drobné rybky, které jsou hlavním zdrojem potravy dospělých jedinců. Od velikosti TL=15 mm byl u juvenilních okounů zaznamenán kanibalismus (Rougeot a kol., 2008). Pohlavně dospívá ve věku jednoho až tří let, samci zpravidla o rok dříve než samice. Tření probíhá při teplotě vody 12-15 °C od dubna do června v závislosti na lokalitě (Rougeot a kol., 2008). Migaud a kol. (2006) uvádí, že přirozená výtěrová sezóna trvá 6-8 týdnů s ohledem na teplotu vody. Jikernačka okouna klade jikry na různý výtěrový substrát ve formě provazců, které mohou být až 1,5 metru dlouhé, ty jsou poté mlíčákem oplozovány (Craig, 1977, Rougeot a kol., 2008). Okoun říční je teplomilná ryba. V porovnání s ostatními druhy okounovitých ryb se vyznačuje pomalejším růstem. Ten je ovlivněn především teplotou vody a potravní nabídkou (Craig, 2000). V našich podmínkách se průměrně dožívá věku 15 let.

V současné praxi je využíváno několik způsobů produkce okouna říčního (komerční odlov z volných vod, intenzivní, polo intenzivní a extenzivní chov) (Policar a kol., 2009). FAO (2020) uvádí, že v roce 2016 činila celková produkce okouna říčního 32 323 tun, z toho 31 738 tun bylo vyloveno z volných vod. Nejvýznamnějšími producenty jsou Finsko (17 000 tun), Rusko (3 500 tun), Polsko (2000 tun) a Estonsko (1200 tun). Současná poptávka evropského trhu po okounovi převyšuje nabídku tvořenou odlovem z evropských jezer. Tento způsob produkce navíc nemá zajištěnou kvantitativní a kvalitativní vyrovnanost produktů v průběhu roku, což ovlivňuje jeho cenu na trhu (Overton a kol., 2008; Öberg, 2008; Philipsen, 2008).

Extenzivní způsob chovu okouna spočívá především v rybničním hospodářství. Nejčastěji je vysazován do polykulturní obsádky s kaprem, kde jeho význam spočívá v redukci hospodářsky málo významných druhů ryb, jako jsou plotice obecná (*Rutilus rutilus*), střevlička východní (*Pseudorasbora parva*) či perlín ostrobřichý (*Scardinius erythrophthalmus*). Snížením výskytu těchto druhů ryb v rybnících pomáhá zvyšovat produkci kapra a zároveň zvyšuje svou biomasu (Policar a kol., 2009, Adámek a kol.,

2010). Tento produkční cyklus trvá 3-4 roky a každoročně je takto v České republice vyprodukováno zhruba 20 tun okouna o finální kusové hmotnosti 150-300 g. Vzhledem k dlouhému chovnému cyklu a nevyrovnané produkci během roku je z dlouhodobého hlediska nerentabilní (Policar, 2014). Někdy se okoun přisazuje do vodárenských nádrží, kde jeho predace na drobné kaprovité ryby bývá využívána jako biomanipulační opatření (Policar, 2009).

Zejména v zemích střední Evropy s dostatkem rybníků (Česká republika, Rakousko, Německo) je úspěšně využíván kombinovaný chov okouna říčního v RAS a rybníční akvakultuře. Spočívá v kontrolovaném výtěru generačních ryb, umělé inkubaci jiker, odchovu larev do stádia rychleného plůdku v předem připravených malých rybnících a následném přemístění do RAS, kde jsou ryby adaptovány na umělé krmivo a chovány do tržní velikosti. Při tomto způsobu chovu získává plůdek svou prvotní potravu v rybnících, a tím odpadá velice pracný a časově náročný rozkrm raných stádií okouna říčního pomocí žábřonožky solné (*Artemia salina*) v kontrolovaných podmínkách prostředí. V zemích s dlouholetými zkušenostmi s extenzivní akvakulturou a množstvím rybníků jako je Česká republika se kombinovaný způsob intenzivní produkce ryb jeví jako racionální (Malison a Held, 1992; Stejskal a kol., 2007; Kestemont a kol., 2008; Stejskal a kol., 2009).

V zemích především západní Evropy dochází v posledních letech k intenzivnímu rozvoji chovu ryb v recirkulačních akvakulturních systémech (RAS) (Policar a kol., 2013b). Při správném dodržení veškerých aspektů, spojených s odchovem jednotlivých věkových kategorií okouna říčního v RAS, se jeví tento způsob produkce jako velice efektivní. Podle Policara (2009) lze při optimálních podmínkách prostředí (teplota vody 23 °C, minimálně 60 % nasycení vody kyslíkem a biomasa 60-80 kg.m⁻³), zkrátit produkční cyklus okouna v porovnání s rybníční akvakulturou na polovinu (12-14 měsíců). Odchov v plně kontrolovaných podmínkách RAS představuje umělý výtěr generačních ryb, následnou umělou inkubaci jiker, odchov raného plůdku s využitím nauplií *Artemia* sp. a startérových krmných směsí a chov juvenilních, tržních a generačních ryb s využitím kompletních peletovaných krmiv (Kestemont a kol., 1996; Kestemont a kol., 2001; Kestemont a kol., 2008; Policar a kol., 2008a; Policar a kol., 2008b).

Základem úspěchu technologie chovu tržních ryb v RAS je dostatečná produkce rozkrměného plůdku, adaptovaného na startérová krmiva. Moderní farmy, zabývající se intenzivním způsobem chovu okouna, využívají mimosezónních výtěrů. Tato technika umožňuje kontinuální produkci larev v průběhu celého roku (Fontaine a kol., 2008).

V odchovu plůdku okouna říčního je několik rozhodujících aspektů, komplikujících ekonomickou stránku intenzivních chovů (Policar a kol., 2009). Larvy mají nedostatečně vyvinutý gastrointestinální trakt s nedostatkem endogenních trávicích enzymů. Pro optimální vývoj a růst raných stádií je tak nezastupitelná role živé potravy v prvních 30 dnech rozkrmu a nelze ji nahradit startérovými krmnými směsí (Kestemont a kol., 2003). Dalším problémem, zhoršujícím ekonomiku intenzivního chovu okouna, je tzv. syndrom nenaplňování plynového měchýře, projevující se retardací růstu a různými deformacemi páteře (lordóza, kyfóza, skolióza). Syndrom je vysvětlován neschopností larev prorazit povrchovou blanku vody s vyšším povrchovým napětím, které je způsobeno uvolňováním mastných látek z předkládaného krmiva a z procesu líhnutí larev. Touto problematikou se zabývalo mnoho autorů, kteří se různými technologickými zásahy snažili snížit povrchové napětí vody, nebo odstranit povrchovou blanku, a tím zvýšit procento ryb s naplněným plynovým měchýřem (Boggs a Summerfelt, 2003; Barrows a kol., 1993, Friedman a Shutty, 1999). Jedním z nejvýznamnějších faktorů, působícím značné ztráty při odchovu larev okouna v RAS, je raný kanibalismus, projevující se již od 10-15. dne po vykulení (Mélard a kol., 1995; Vlavenou a kol., 1995; Baras a kol., 2003). Policar (ústní sdělení, 2018) uvádí, že jako prevence potlačující kanibalismus je realizováno velikostní třídění ve 14.-28. denním intervalu.

Mélard a kol. (1996) a Fontaine a kol., (1997) se shodují, že mezi hlavní nedostatky chovu okouna v kontrolovaných podmínkách prostředí patří nízká intenzita jeho růstu a celková produktivita systémů pohybující se od 350 do 400 g.m⁻³. den⁻¹ při biomase 60-80 kg.m⁻³. Z těchto důvodů je v rámci aktivit spojených s chovem okouna v moderních intenzivních podmínkách chovu zaměřena pozornost na zvýšení jeho produkce pomocí domestikace procesu, mimo sezónních výtěrů, zakládáním monosexních populací, mezidruhové hybridizace, triploidizace a tetraploidizace (Rougeot a Mélard, 2008).

Rougeot a kol. (2007) uvádí, že u domestikovaných okounů chovaných do věku 300 dnů bylo dosaženo vyššího přírůstku v porovnání s nedomestikovanými okouny. V F1 generaci byl rozdíl v přírůstku 33 % a v F2 generaci dokonce 72 %. Tato studie rovněž potvrdila lepší konverzi krmiva u domestikovaných okounů (koeficient konverze 1) v komparaci s nedomestikovanými (koeficient 1,5).

V chovech, u nichž jedinci jednoho pohlaví rostou rychleji než jedinci opačného, se využívá monosexních obsádek. Výše zmíněného lze dosáhnout pomocí gynogeneze nebo přímého či nepřímého použití hormonů (Rougeot a Mélard, 2008a). Stejskal a kol. (2009) zjistil, že jikernačky okouna říčního rostou rychleji než samci, a proto by monosexní

obsádky mohly být v intenzivních chovech preferovány. Nicméně, v praktických podmínkách jsou nadále chovány obsádky smíšené. Chovem monosexních obsádek tak lze docílit zkrácení produkčního intervalu potřebného pro dosažení tržní hmotnosti ryb o 1-2 měsíce. V této studii byl rovněž potvrzen nižší koeficient konverze krmiva u monosexní obsádky v porovnání s bisexní.

Rougeot a Mélard (2008a) uvádí, že v experimentálních podmínkách prostředí recirkulačních systémů lze hybridizací okouna žlutého (*Perca flavescens*) a okouna říčního dosáhnout tržní hmotnosti ryb (100 g) za 11 měsíců. Pro porovnání kontrolní obsádka okouna říčního dosáhla ve stejném věku hmotnosti pouze okolo 80 g. Autoři této studie dále tvrdí, že po 800 dnech vykazovali hybridní až o 40 % vyšší růst v porovnání s obsádkou okouna říčního. Zde je však nutné zmínit, že okoun žlutý je v Evropě nepůvodním druhem a jeho zavlečení do evropských volných vod by mohlo v budoucnosti negativně ovlivnit stávající divoké populace okouna říčního (Policar a kol., 2009).

Vlivem různé ploidie na růstové parametry a výtěžnost filet u okounů se zabýval Migaud a kol., (2003). Zjistil, že triploidní mlíčáci okouna žlutého vykazovali o 15 % vyšší hmotnostní růst v porovnání s diploidy. Naopak diploidní jikernačky vykazovaly prokazatelně rychlejší růst než triploidní a to o 20 %. Vyšší výtěžnost filet byla prokázána u obou pohlaví triploidních ryb ve srovnání s diploidními. Autoři tohoto výzkumu konstatují, že triploidní jedinci jsou obecně většinou neplodní. Přijaté živiny jsou tak využívány především pro jejich růst, což je rozdíl oproti diploidním (nesterilním) rybám, u kterých je část živin využívána pro vývoj gonád. Této skutečnosti by se dalo využít především v rybníční či jezerní akvakultuře, neboť zde není aplikována konstantní fotoperioda a teplota vody, což vede samo o sobě k redukci gonád a v konečném důsledku k podpoře růstu okouna.

2.2 Biologie, chov a význam druhů hmyzu schválených EU pro využití v krmivech

Hmyzí moučka se stala v posledních letech slibnou alternativou zdroje proteinu v krmivech pro živočišnou produkci, včetně akvakultury. Mnoho studií potvrzuje, že hmyzí moučka může částečně nahradit rybí moučkou a kompletně moučku sójovou bez negativního vlivu na růst ryb, využití krmiva, stravitelnost a kvalitu filet (Magalhães a kol., 2017; Renna a kol., 2017; Bruni a kol., 2018, 2020; Iaconisi a kol., 2018; Terova a kol., 2019). Produkce hmyzí moučky výrazně snižuje tlak na životní prostředí a zdroje

vody v porovnání se sójovou moučkou (Salomone a kol., 2017, Smetana a kol., 2019) a významně snižuje dopad na vodní ekosystémy trpící nadměrným lovem pelagických ryb za účelem výroby rybí moučky a rybího oleje (Wang a kol., 2017). Takzvané fish in fish out ratio je praktickým indikátorem udržitelnosti životního prostředí a definuje, jaké množství odlovených ryb z volných vod zpracovaných na rybí moučku a olej je zapotřebí k vyprodukování jednoho kilogramu ryb na rybích farmách. Stejskal a kol. (2020) uvádí, že se zvyšujícím se zastoupením hmyzí moučky v krmivech ryb se ukazatel FIFO úměrně snižuje. Podle Gasco a kol. (2020) je velice pravděpodobné, že význam hmyzu ve vodní i suchozemské živočišné produkci se tak bude i nadále zvyšovat.

Roku 2017 přijala Evropská komise reguli (2017/893, 24. 5. 2017) schvalující využití sedmi druhů hmyzu v krmivech pro zvířata, jež jsou určena pro lidský konzum. Konkrétně se jedná o bráněnku (*Hermetia illucens*), mouchu domácí (*Musca domestica*), potemníka moučného (*T. molitor*), potemníka stájového (*Alphitobius diaperinus*), cvrčka domácího (*Acheta domestica*), cvrčka banánového (*Gryllus assimilis*) a cvrčka krátkokřídlého (*Gryllodes sigillatus*) (Veldkamp and Bosch, 2015).

2.2.1 Bráněnka (*H. illucens*)

Je druh mouchy z řádu dvoukřídlí (*Diptera*), z rodu bráněnkovití (Stratiomyidae). Původní areál výskytu spadá do tropických, subtropických a mírných klimatických pásem Ameriky. S vývojem mezinárodní přepravy ve 20. století se bráněnka rozšířila i do dalších oblastí světa (Leclercq, 1997). Diener a kol. (2011) uvádí, že nynější areál výskytu bráněnky zahrnuje oblasti kolem 45° severní a 40° jižní šířky. Larvy mají matně bělavé zbarvení, jsou 6 mm široké a až 27 mm dlouhé (Díclaro a Kaufman, 2009). Živí se různým rozkládajícím se organickým materiálem. Mohou být chovány na organickém substrátu, jako je odpad ze zeleniny, restaurační odpad, krmivo pro kuřata, digestát z bioplynových stanic a další organické substráty rostlinného i živočišného původu (Sprangers a kol., 2017). Pokud má larva dostatek potravy a je chována v ideálních podmínkách prostředí, trvá toto stádium 2 měsíce. Ke konci tohoto období přestává přijímat potravu a hledá ideální suché a chráněné místo pro zakuklení (Diener a kol., 2011). Období fáze kukly trvá zhruba dva týdny, ovšem může být velmi proměnlivé a trvat až 5 měsíců (Hardouin a Mahoux, 2003). Dospělec, tvarem těla připomínající vosu, má černé zbarvení a je 15-20 mm dlouhý (Hardouin a Mahoux, 2003). Dospělí jedinci potravu nepřijímají a jsou závislí na tukových zásobách, které získali ve stádiu larvy (Díclaro a Kaufman, 2009).

Od 90. let 20. století je využíván chov bráněnky, jako efektivní způsob odstraňování organického odpadu a s ním spojeného zápachu. Larvy jsou schopny přeměnit biologický odpad na hodnotnou biomasu bohatou na bílkoviny a tuky, kterou je dále možné využít pro produkci chitinu, jako biopalivo a jako krmivo pro zvířata (Diener a kol., 2011; van Huis a kol., 2013). Podle Widjastuti a kol., (2014) bráněnka obsahuje v sušeném stavu 42 % bílkovin a 35 % tuku. Díky těmto nutričním vlastnostem by její zakomponování do akvakulturních krmiv mohlo mít pozitivní vliv na růstové parametry ryb. Diener a kol. (2011) poukazuje na značnou odolnost *H. illucens* vůči nepříznivým podmínkám, jako je nedostatek potravy, sucho, či deficit kyslíku. Nespornou výhodou chovu bráněnky v porovnání s dalšími druhy hmyzu je, že v dospělosti nepřijímá potravu kvůli absenci ústního otvoru, tudíž není potenciálním přenašečem chorob (Leclercq, 1997 Veldkamp a kol., 2012). Navíc Shepperd a kol. (1994) uvádí, že larvy bráněnky konkurují larvám mouchy domácí (*M. domestica*) tím, že transformují organický materiál na tekutinu, který larvám mouchy domácí nevyhovuje. Moucha domácí patří mezi hlavní přenašeče chorob v hospodářských chovech a přítomnost bráněnky její početnost snižuje o 94-100 % (Sheppard a kol., 1994; Newton a kol., 2005). Podle Erickson a kol. (2004) je její velkou výhodou schopnost přeměny mikroflóry v organických odpadech a redukce potenciálně nebezpečných bakterií jako jsou *Salmonella enterica* a *Escherichia coli*. Na druhou stranu její nevýhodou je nejistá délka doby životního cyklu, jež může trvat pouze několik týdnů, to v případě optimálních podmínek prostředí chovu, až po několik měsíců (Veldkamp a kol., 2012). Další nevýhodou je energetická a finanční náročnost chovu v podmínkách mírného klimatického pásu, protože ideální podmínky prostředí při odchovu bráněnky vyžadují konstantní teplotu okolo 30 °C (van Huis a kol., 2013).

Pro úspěšný odchov bráněnky bylo navrženo několik způsobů. Ty se liší různými druhy organických substrátů, na kterých jsou bráněnky chovány jako např. drůběží hnůj (Sheppard a kol., 1994), prasečí hnůj (Newton a kol., 2005), či odpad z potravinářského průmyslu (Barry, 2004). Optimální podmínky prostředí představují teplotu v intervalu 29-31 °C a vlhkost vzduchu na úrovni 50-70 %. Pro úspěšný odchov kolonie je také důležitá přítomnost přirozeného světla v průběhu roku. Bráněnky se rozmnožují za letu, tudíž je nezbytností dostatek prostoru ve skleníku, a to minimálně 66 m³ (Barry, 2004). Sheppard a kol. (2002) uvádí, že optimální podmínky prostředí pro páření a kladení vajíček je teplota vzduchu v rozmezí 24-40 °C a relativní vlhkost na úrovni 30-90 %. Do skleníku je také nutné zakomponovat kontejner s lákavým a vlhkým prostředím, jež bude dospělé samičky přitahovat (Barry, 2004). Nad kontejner s rozkládající se potravou je

rovněž vhodné vkládat destičky se štěrbinami, kam dospělí jedinci kladou shluky vajíček (Copello, 1926).

2.2.2 Moucha domácí (*M. domestica*)

Moucha domácí patří mezi nejběžnější zástupce rodu dvoukřídlí (Diptera). Larvy i dospělí jedinci tohoto druhu se živí rozkládajícím se organickým materiálem. Z tohoto důvodu se řadí mezi celosvětově nejvýznamnější přenašeče chorob. Nicméně larvy, žijící na širokém spektru odpadů, přeměňují tento materiál na hodnotnou biomasu bohatou na proteiny a lipidy. Díky tomu je již od 60. let 20. století zaměřena pozornost na produkci biomasy larev mouchy domácí v řízených podmínkách prostředí pro výkrm hospodářských zvířat (Calvert a kol., 1969; Miller a Shaw, 1969). Larvy mouchy jsou navíc významným zdrojem živočišných bílkovin. Van Huis a kol. (2013) uvádí, že 30 % jejich hmotnosti tvoří sušina, z toho 54 % je surová bílkovina s dobře vyváženou kompozicí aminokyselin jako jsou arginin, lysin a methionin. Využití mouchy domácí jako součásti krmiva pro ryby a korýše v rybníční akvakultuře je intenzivně studováno od roku 2000 (Barroso a kol., 2014).

V přírodních podmínkách se vajíčka mouchy domácí líhnou za 8-12 hodin. Poté nastává fáze larvy, jež trvá 5 dní, a následuje stádium kukly trvající čtyři až pět dnů. Celé toto desetidenní období lze zkrátit v kontrolovaných podmínkách prostředí na šest dní. Dospělé samičky kladou v přírodních podmínkách 500-600 vajíček, zatímco v řízených podmínkách až 2000. Mouchy kladou vajíčka do vlhkého substrátu, jako je drůbeží hnůj či odpad z potravinářství. Početnou populaci much lze získat z relativně malého množství substrátu, např. na 450 gramech substrátu lze krmit až 1500 larev (Hardouin a Mahoux, 2003).

V literatuře již bylo popsáno mnoho způsobů produkce larev mouchy domácí. Nejčastěji využívaným substrátem pro chov je drůbeží hnůj. (Hardouin a Mahoux, 2003). Odesanya a kol. (2011) uvádí, že se někdy také využívají zvířecí vnitřnosti či shnilé ovoce jako atraktant. Jako další substráty vhodné pro chov mouchy jsou v literatuře uvedeny prasečí hnůj (Viroje a kol., 1988; Zhu a kol., 2012), krev skotu a pšeničné otruby (Aniebo a kol., 2008), krev a střeva skotu (Dankva a kol., 2002), rybí vnitřnosti (Ossey a kol., 2012) a další. Optimální podmínky prostředí pro vývoj a růst larev je vlhkost na úrovni 60-75 % a teplota vzduchu v rozmezí 25-30 °C (Miller a kol., 1974).

Larvy mohou být získány ze substrátu několika metodami. Při flotaci je hnůj smíchán s vodou a larvy s kuklami se postupně vyplavují a sbírají sítím. Při prosévání se substrát

rozprostře do tenké vrstvy na síto (průměr ok 3 mm) uložené nad nádobou. Síto se nechá vystavit slunečnímu záření a larvy, pokoušející se uniknout světlu, prolezou skrze síto a padají do zásobní nádoby (Sogbesan a kol., 2006). Sesbírané larvy se nejprve umyjí, poté zabijí teplou či vlažnou vodou, následně usuší a nakonec rozemelou (El Boushy a kol., 1985).

2.2.3 Potemník moučný (*T. molitor*)

Je evropský druh brouka z čeledi Tenebrionidae. Larvě se lidově říká moučný červ. Potemník je považován za škůdce obilovin a potravin. Škody způsobené tímto broukem jsou však často zanedbatelné, protože potemník netvoří velké populace (Ramos-Elorduy a kol., 2002). Dospělí jedinci nemohou být použiti v krmivu, protože obsahují chinony. Tyto látky mohou reagovat s bílkovinami a snížit tak jejich stravitelnost a odpovídající nutriční hodnotu (Rohn a kol., 2006). Larvy potemníka se snadno chovají a krmí a mají hodnotný nutriční profil s vysokým obsahem bílkovin. Z těchto důvodů se chovají ve velkém měřítku jako krmivo pro domácí zvířata a zvířata v zoo, včetně ptáků, plazů, malých savců a ryb. Nejčastěji jsou zkrmovány v živé formě, ovšem prodávají se také v konzervách, v sušené formě nebo v moučce (Aguilar-Miranda a kol., 2002; Hardouin a Mahoux, 2003; Veldkamp a kol., 2012).

Larvy se z vajíček líhnou za 10-12 dní (18-20 °C) a stávají se dospělými obvykle za 3-4 měsíce, poté co projdou variabilním množstvím (8-20) vývojových fází. Dospělá larva je žluto – hnědá, 20-32 mm dlouhá a váží 130-160 mg. Komerční producenti někdy přidávají moučným červům do krmiva speciální tzv. juvenilní hormon, který zabraňuje larvám proměnit se v dospělého jedince. Larvy poté mohou dosáhnout délky 2 cm i více a hmotnosti více než 300 mg (Finke, 2002). Fáze kukly trvá při teplotě 25 °C 7 až 9 dní a dospělý jedinec žije průměrně 2 až 3 měsíce (Hill, 2002, Hardouin a Mahoux, 2003). Larvy jsou všežravé a mohou se krmit různými druhy rostlin stejně tak jako masem nebo peřím (Ramos-Elorduy a kol., 2002). Nicméně larvy potemníka jsou obvykle krmeny obilnými otrubami nebo moukou doplněnou čerstvým ovocem a zeleninou (mrkev, brambory, hlávkový salát). Navíc je ještě jako zdroj bílkovin dodávána sójová mouka, sušené odstředěné mléko nebo kvasnice (Aguilar-Miranda a kol., 2002; Hardouin a Mahoux, 2003). Strava by měla být vyvážená s obsahem bílkovin na úrovni 20 % (Ramos-Elorduy a kol., 2002).

2.2.4 Potemník stájový (*A. diaperinus*)

Je brouk z čeledi Tenebrionidae (Doyen, 1989). Předpokládá se, že jeho původní areál výskytu byl v oblasti subsaharské Afriky (Geden and Hogsette 1994, Lambkin 2001). Dospělí jedinci tohoto druhu dorůstají do velikosti 5,8 až 6,3 mm a mají černé nebo hnědočerné zbarvení. Larvy potemníka stájového mají segmentované tělo se třemi páry nohou a líhnou se za 4 až 7 dní. Čerstvě vylíhlé larvy mají mléčné zbarvení a v průběhu svého vývoje projdou 6 až 11 instary, což odpovídá 40 až 100 dnům. Na konci larválního vývoje jsou 7 až 11 mm dlouhé. Samičky kladou v průměru 200 až 400 vajíček, která jsou 1,5 mm velká, mají krémově bílou až světle hnědou barvu a jsou štíhlá s mírně zaoblenými konci. Kukly tohoto jedince jsou přibližně 6 až 8 mm velké a mají krémově bílé až světle hnědé zbarvení (Calibeo, 2002).

Potemník stájový je významným škůdcem. Vyskytuje se často ve velkochovech skotu a drůbeže, kde se dospělí jedinci i larvy živí na hnoji (Francisco a Prado, 2001). Potemník je přenašečem mnoha drůbežích patogenů a parazitů jako např. *Salmonella typhimurium*, *Aspergillus* sp., *Escherichia coli*, *Staphylococcus* sp. a mnoho dalších (Chernaki-Leffer 2002, De Las Casas a kol., 1968, Harein a kol., 1970, McAllister a kol., 1996). Přítomnost potemníka stájového má rovněž negativní vliv na lidské zdraví. Potemník vylučuje vysoce reaktivní benochinony jako ochranu před predátory. Zdravotní rizika při dlouhodobém vystavení představují např. astma, bolesti hlavy, dermatitidu a mnoho dalších (Falomo 1986, Schroeckenstein a kol., 1988, Tseng a kol., 1971).

Chov potemníka stájového v řízených podmínkách je obdobný jako chov potemníka moučného s tím rozdílem, že lépe snáší vyšší teploty. Potemník stájový zatím nebyl příliš testován na rybách jako složka krmiv.

2.2.5 Cvrček domácí (*A. domestica*), Cvrček banánový (*G. assimilis*), Cvrček krátkokřídlý (*G. sigillatus*)

Cvrčci se řadí spolu se sarančaty a kobyilkami do řádu Orthoptera a patří mezi světově nejvýznamnější škůdce rostlin. Dospělí jedinci tohoto řádu představují nutričně bohatou surovinu s obsahem bílkovin v sušině okolo 55-67 % (Makkar a kol., 2015). Cvrček domácí dorůstá do velikosti 18-23 mm, přičemž samice jsou zpravidla větší než samci. Tělo samičky je zakončeno tenkým dlouhým kladélkem. Vajíčka o velikosti 2 mm procházejí dvou až tří týdenním vývojem, v závislosti na teplotě prostředí. Larvální vývoj trvá čtyři až šest týdnů. Větší cvrček banánový dorůstá do velikosti 23-27 mm. Inkubační doba vajíček je při konstantní teplotě 25 °C 14 dní, larvální vývoj trvá zhruba šest až

sedm týdnů. Cvrček krátkokřídlý může dorůst až do velikosti 22 mm. Vajíčka tohoto druhu jsou nažloutlá a při teplotě 30 °C se inkubují přibližně 14 dní. Cvrčci jsou obvykle sbíráni ve volné přírodě ráno nebo večer, kdy jsou nižší teploty, protože hmyz má sníženou aktivitu a je snadnější ho chytit. Z důvodů vysoké poptávky se komerční chov cvrčků, kobylek a sarančat pro lidský konzum a krmivářství nejvíce rozvíjí v jihovýchodní Asii. Jen v roce 2012 bylo v Thajsku zhruba 20 000 farem, specializujících se na chov cvrčka (van Huis a kol., 2013). Stádium larvy trvá při teplotě 25-30 °C pět až sedm týdnů (Friederich a Volland, 2004).

Hardouin a Mahoux (2003) uvádí, že chov cvrčka domácího je poměrně snadný. Cvrčci jsou všežravci a mohou se živit různým organickým materiálem. Chov je možný při teplotách vyšších než 20 °C, ideální teplota je 28-30 °C a na ploše 1 m² je možné chovat až 2000 kusů. Každý rok lze vyprodukovat 6 až 7 generací. Díky kanibalismu se dokáže populace cvrčka sama regulovat.

2.3 Vliv náhrady rybí moučky hmyzí moučkou na růst, fyziologické parametry a kvalitu ryb

Od 90. let 20. století je zvyšující se poptávka po rybách stále více kryta rybami z akvakultury než odlovem z volných vod. Díky své výživové hodnotě je hlavním zdrojem bílkovin většiny rybích krmiv rybí moučka. Snižující se dostupnost a zvyšující se cena rybí moučky však nutí producenty krmiv hledat alternativní varianty. V tomto směru je v posledních letech velká pozornost věnována hmyzu, který je bohatým zdrojem bílkovin, energie a tuků a pro mnoho rybích druhů je přirozenou potravou. Prvotní studie, které se zabývaly využitím hmyzu v rybích krmivech, ukazují, že alespoň částečné nahrazení rybí moučky moučkou hmyzí je možné, a to bez vlivu na růst, fyziologické aspekty či kvalitu ryb (Tran a kol., 2015).

Zhang a kol. (2014) uvádí, že 25 % nahrazení rybí moučky moučkou z larev *H. illucens* nemělo signifikantní vliv na indexy růstu a imunity sumíčka kosatkovitého (*Pelteobagrus fulvidraco*). Moučka z larev bráněnky byla také úspěšně testována v krmivech pro lososa obecného (*Salmo salar*). Kontrolní dieta, zahrnující 20 % rybí moučky, byla nahrazena z 25, 50 a 75% hmyzí moučkou. Výsledky vykázaly podobný růst i senzorycké vlastnosti filet a absenci rozdílů v histologické struktuře střeva mezi jednotlivými skupinami a lepší konverzi krmiva u skupin s přídatkem hmyzí moučky (Lock a kol., 2014). Výzkum na pstruhu duhovém (*Oncorhynchus mykiss*) provedl Sealey a kol. (2011). Zjistil, že osmitýdenní dieta tvořená hmyzí moučkou z prepup bráněnky, která byla chována na

kravském hnoji obohaceném o 25 a 50 % rybími vnitřnostmi, může v krmivu nahradit 50 % rybí moučky bez statisticky významného vlivu na růst ryb či sensorické vlastnosti filet. K podobným výsledkům dospěly i další studie, které uvádí, že 40 % přídavek moučky z bráněnky v krmivu pstruha duhového neměl negativní vliv na růst a přežití (Renna a kol., 2017; Stadlander a kol., 2017; Bruni a kol., 2018; Terova a kol., 2019) Juvenilní ryby pakambaly velké (*Psseta maxima*), které byly krmeny dietou tvořenou z 33 % odtučněnou moučkou z larev bráněnky (nahrazení rybí moučky), nevykázali signifikantní rozdíl v příjmu a konverzi krmiva v porovnání s kontrolou. Nicméně při vyšších substitucích moučky docházelo k redukci specifické rychlosti růstu a příjmu krmiva ryb, což mohlo být zapříčiněno přítomností chitinu v hmyzí moučce (Kroeckel a kol., 2012). Experiment na juvenilech jesetera sibiřského (*Acipenser baerii*) provedla Agata a kol. (2019), přičemž zjistili že 15 % přídavek moučky z bráněnky neměl vliv na růstové parametry a přežití a může být využit jako částečná náhrada zdroje proteinu pro tento druh. Navíc bylo zjištěno, že moučka může mít pozitivní vliv na složení mikrobiální fauny a histo-morfologii střev.

Využití moučky z mouchy domácí jako náhrady v krmivech za rybí moučku bylo testováno především v Nigérii, a to na tlamounu nilském (*Oreochromis niloticus*) a různých druzích keříčkovců. Na keříčkovci červenolemém (*Clarias gariepinus*), keříčkovci egyptském (*Heterobranchus longifilis*) a jejich hybridech bylo provedeno mnoho studií s převážně pozitivními výsledky. Nicméně náhrada rybí moučky moučkou z mouchy domácí by neměla přesahovat 25-30 % (Fasakin a kol., 2003; Idowu a kol., 2003; Madu a Ufodike, 2003; Sogbesan a kol., 2006; Aniebo a kol., 2009; Adewolu a kol., 2010; Ossey et al., 2012). Studie na tlamounu nilském *O. niloticus* testovala různý podíl moučky z larev mouchy domácí v dietě (od 15 do 68 %). Nejlepšího růstu a přežití bylo dosaženo při 25 % přídavku (34 % nahrazení rybí moučky) bez negativního vlivu na hematologii a homeostázi. Nicméně kvůli nízkému obsahu mastných kyselin v tělech ryb by měly být do diety dodány zdroje n-3 a n-6 mastných kyselin (Ogunji a kol., 2007; Ogunji a kol., 2008a, Ogunji a kol., 2008b). Ajani a kol. (2004). Zjistil, že při 50 % nahrazení rybí moučky moučkou z larev mouchy domácí došlo ke zrychlení růstu tlamouna nilského. Ming a kol. (2013) provedl studii, v níž obohacení výchozí diety amura černého (*Mylopharyngodon piceus*) o 2,5 % moučky z mouchy vedlo ke zlepšení růstových parametrů, zvýšení imunity a odolnosti vůči nemocem. Studie provedená na hybridním sumci (*C. gariepinus x H. longifilis*) rovněž vykazovala zlepšení růstu u ryb, jež byly krmeny 7,5 % přídavkem moučky z mouchy v porovnání s rybami, jejichž dietu

tvořilo krmivo s obsahem 30 % rybí moučky (Sogbesan a kol., 2006). Nsofor a kol. (2008) provedli výzkum na keříčkovci červenolemém, který byl krmen po dobu 10 dní 12,5 nebo 25 % moučkou z larev mouchy, což odpovídalo 50 či 100 % nahrazení rybí moučky. Výsledky odhalily uspokojivý růst a vysokou retencí proteinu (PER). Potenciál rybí moučky ukázaly i další studie provedené na keříčkovci červenolemém a keříčkovci egyptském (7,5-32 % nahrazení) (Fasakin a kol., 2003; Idowu a kol., 2003; Aniebo a kol., 2009; Adewolu a kol., 2010), tlamounu nilském (15-68 % nahrazení) (Ogunji a kol., 2007, 2008a, 2008b; Omoyinmi a Olaoye, 2012), karasi stříbřitém (*Carassius gibelio*) a kapru obecném (*Cyprinus carpio*) (30-39 % nahrazení) (Ogunji a kol. 2009; Dong a kol., 2013). Naopak u pstruha duhového při obsahu 9,2 % moučky z larev mouchy v krmivu mělo negativní vliv na růst a filety ryb měly signifikantně nižší obsah n-3 mastných kyselin v porovnání s kontrolní skupinou ryb, která byla krmena krmivem s 36 % obsahem rybí moučky (St-Hilaire a kol., 2007).

Belforti a kol. (2015) využili ve své studii na pstruhu duhovém moučku z potemníka moučného. Výsledky ukázaly možnost až 50 % náhrady rybí moučky bez signifikantních rozdílů v růstových parametrech. Podobně i studie Ng a kol. (2001) potvrdila dobrý růst keříčkovce červenolemého, jehož dieta obsahovala 35 % přídatek moučky z bráněnky, nicméně k redukci růstových parametrů docházelo, pokud dieta obsahovala více než 40 % hmyzí moučky. Roncarati a kol. (2015) uvádí uspokojivý růst sumečka černého (*Ameiurus melas*), který byl krmen moučkou z bráněnky, nicméně kontrolní skupina krmená rybí moučkou vykázala lepší růst.

Stejskal a kol. (2020) provedl výzkum na okounu říčním, který byl krmen krmivem, v němž byla rybí moučka částečně nahrazena odstupňovaným množstvím (20 %, 40 % a 60 %) odtučněnou moučkou z bráněnky. Součástí experimentu byla rovněž kontrolní skupina, jež byla krmena pouze rybí moučkou. Výsledky studie nevykázaly statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými skupinami v přežití, velikostní heterogenitě obsádky, v hematologických indexech, sušině a obsahu éterového extraktu. Nicméně 60 % nahrazení redukovalo finální homotnost ryb, specifickou rychlost růstu, poměr využití proteinu, kondiční faktor a hepatosomatický index.

Několik studií proběhlo rovněž na zástupcích hmyzu z řádu rovnokřídlých. Balogun (2011) své studii zjistil, že 25 % nahrazení rybí moučky moučkou ze sarančete pustinného (*Schistocerca gregaria*) nemělo vliv na růst juvenilních stádií keříčkovce červenolemého. Je pravděpodobné, že horší růst i krmný koeficient při vyšších substitucích mouček byl zapříčiněn přítomností chitinu v moučce vyrobené ze sarančat. K podobným výsledkům

dospěl také Alegbeyele a kol. (2012). Zjistil, že 25 % nahrazení rybí moučky moučkou z kobyly druhu *Zonocerus variegatus* neovlivnilo růstové parametry plůdku keříčkovce červenolemého. Vyšší substituce ovšem vedla k redukci stravitelnosti. Z výše uvedeného vyplývá, že i tyto druhy by mohly mít v budoucnu potenciál, nicméně prozatím nejsou v Evropě schváleny pro potravinové využití. Dále je z uvedených studií patrná proměnlivost mezi jednotlivými druhy ryb, a tudíž nelze výsledky zobecňovat.

2.4 Nutriční složení hmyzu versus požadavky ryb

Výživové hodnoty hmyzu jsou různorodé v závislosti na druhu, životní fázi a podmínkách chovu (van Huis, 2013). Rovněž nutriční požadavky ryb jsou variabilní s ohledem na druh a věk.

2.4.1 Proteiny – aminokyseliny

Bílkoviny jsou nejdůležitější organické látky, které tvoří rybí tkáň. Jejich potřeba je v závislosti na druhu a stáří ryb různá a pohybuje se v rozmezí 28–55 %. Podle literatury vyžadují vyšší nároky na obsah proteinů v potravě juvenilní stádia v porovnání se staršími kategoriemi ryb, dále druhy karnivorní v porovnání s omnivorními a také mořské v porovnání se sladkovodními (Lovell, 1989, Boonyaratpalin, 1997; Hasan, 2001; Sales a Janssens, 2003). Obsah bílkovin v sušině hmyzu záleží na druhu a způsobu jeho zpracování (Fasakin a kol, 2003; Banjo a kol., 2006) a pohybuje se v rozmezí 50-82 % (Rumpold a Schluter 2013). Pro porovnání kvalitní rybí moučka obsahuje v sušině až 73 % bílkovin, zatímco sója do 50 %.

Vyvážený profil esenciálních aminokyselin (EAK) je jedna z vlastností, která definuje kvalitu bílkovin. Vývoj komerčních krmiv pro akvakulturu byl tradičně založen na rybí moučce, jako primárním zdroji bílkovin, díky vysokému obsahu proteinů a vyváženém profilu EAK (Nguyen a kol., 2009) s vyšším obsahem stavitelných EAK jako je methionin, lysin a leucin (Hall, 1992). Oproti tomu rostlinná krmiva mají obvykle nižší obsah bílkovin a dysbalanci EAK z důvodu deficitu právě methioninu a lysinu (Dabrowski a kol., 2007). Právě nerovnováha v poměru EAK v potravě ryb může mít za následek zvýšený příjem krmiva z důvodu pokrytí vlastních potřeb a dále může negativně ovlivnit růst ryb a konverzi krmiva (Ostaszewska a kol, 2011).

Barroso (2014) uvádí, že profil aminokyselin hmyzu souvisí s taxonomickou skupinou. Výsledky jeho studie ukazují, že Diptera se nejvíce blíží svým profilem aminokyselin rybí moučce, zejména larvy *Hermetia*, *Musca* a *Eristalis*. Naopak

Orthoptera a Coleoptera se svým zastoupením aminokyselin více podobají sójové moučce. Diptera vykazují podobné množství histidinu, lysinu, threoninu a methioninu v porovnání s rybí moučkou, a dokonce vyšší množství fenylalaninu oproti rybí a sójové moučce. Na druhou stranu relativní deficit byl zjištěn u leucinu. Vyšší množství leucinu vykázaly naopak Orthoptera a Coleoptera. Jiné studie uvádí, že Lepidoptera a Hymenoptera by mohly být předmětem zájmu z důvodu vyššího množství methioninu (Hossain a kol., 1997; Finke, 2007; Longvah a kol., 2011; Rumpold a Schuller, 2013). Barroso (2014) navrhuje, že optimální rovnováhu EAK by bylo možné vyřešit dietou, jež by se skládala z kombinace několika druhů hmyzu.

2.4.2 Lipidy – mastné kyseliny

Energetické nároky ryb jsou nižší v porovnání se savci (Finke, 2002). Karnivorní druhy ryb obývající chladnější vody, např. lososovití, se dokážou adaptovat na potravu s úrovní lipidů okolo 35 %, nicméně vyšší obsah tuků v dietě může vést ke zpomalení růstu či nadměrnému ukládání lipidů v těle (New a Wijkstroem, 2002). Teplomilné druhy ryb mají obecně nižší nároky na obsah tuků v potravě v porovnání se studenomilnými. Literatura uvádí, že 10–20 % obsahu lipidů v potravě herbivorních a omnivorních druhů vede k optimálnímu růstu bez nadměrného ukládání tuku v těle (Cowey a Sargent, 1979; Boonyaratpalin, 1997; Hasan, 2001; Sales a Janssens, 2003). Vysoká hladina tuků v potravě (20 %) může narušit imunitní systém některých omnivorních mořských druhů ryb jako např. smuha bradavičnatá (*Umbrina cirrosa* L.) (Henry a Fountoulaki 2014). Obsah tuků v hmyzu je vyšší v porovnání s rybí moučkou (8,2 %) a sójou (3 %) a pohybuje se v rozmezí od 10 do 30 % (DeFoliart, 1991), nicméně je velice variabilní, a to především v závislosti na stravě hmyzu (Barroso, 2014).

Nároky ryb na esenciální mastné kyseliny jsou závislé na bio-konverzní a elongační schopnosti každého druhu (Sargent a kol., 1999). Zatímco sladkovodní ryby vyžadují v potravě přítomnost polynenasycených mastných kyselin (PUFA) (Tocher 2010), nároky mořských druhů na dietu vyžadují obsah vysocenenasycených mastných kyselin (HUFA) (Rainuzzo a kol, 1997; Hasan, 2001; Sargent a kol., 2002, Tocher, 2010). HUFA má vliv na mnoho funkcí, jako je produkce eikosanoidů či membránová struktura. Deficit HUFA u suchozemského hmyzu tak může negativně ovlivnit růst a zdraví ryb (Tocher, 2003). Na druhou stranu deficit či mírný deficit PUFA nebo HUFA u mořských druhů ryb může vést ke stimulaci adaptačních mechanismů umožňující bio-konzerverzi nižších

mastných kyselin s osmnácti uhlíky na vyšší dvaceti či dvaadvaceti uhlíkaté kyseliny (Seiliez a kol., 2003; Robin a Skalli, 2007).

2.4.3 Minerály a vitamíny

Hmyz obsahuje minerály (železo, zinek, hořčík, draslík, vápník a selen) (DeFoliart, 1992; Finke, 2002; Banjo a kol., 2006; Schabel, 2010; Rumpold a Schuler, 2013), nicméně množství fosforu a vápníku je v porovnání s rybí moučkou nízké. Výjimku tvoří vápník u bráněnky (Makkar a kol., 2014). Van Huis a kol. (2013) uvádí, že hmyz je velice dobrým zdrojem zinku. Jeho deficit může zapříčinit depresi růstu, zpomalení zrání pohlavních orgánů a narušení imunitního systému. I když hmyz obsahuje několik vitamínů (Schabel, 2010), tak kompozice vitamínů a minerálů je závislá především na složení potravy hmyzu. Ramos-Elorduy (2002) uvádí, že larvy potemníka moučného, krmené různým organickým odpadem, měly odlišný obsah vitamínů a minerálů v tělech.

2.4.4 Bezdušičaté látky výtažkové – chitin

Mezi bezdušičaté výtažkové látky patří karbohydráty, škroby, cukry, vláknina a chitin. Hmyz obvykle obsahuje pouze malé množství karbohydrátů, nicméně obsahuje chitin, což je základní složka exoskeletu členovců (*Arthropoda*), tvořená nerozvětveným polymerem N-acetylglukosaminem (Lindsay a kol., 1984; Ng a kol., 2001). Stravitelnost chitinu je podmíněna činností 3 enzymů a sice chitinázy (Brinchmann a kol., 2011; Kroeckel a kol., 2012), chitinbiázy a lysosomu. Chitináza, nacházející se v žaludku, plní funkci rozkladu chitinózního exoskeletu a chitinbiáza, jež je situována ve střevě, napomáhá vstřebání živin (Jeuniaux, 1993). Přítomnost těchto enzymů byla potvrzena u karnivorních i omnivorních druhů ryb (Lindsay a kol., 1984; Fines a Holt, 2010). Mnohé studie zmiňují, že chitin a některé jeho deriváty, jako je chitosan, mohou u některých druhů ryb zvýšit přírůstky a rovněž zlepšit imunitní reakci vůči patogenům (Harikrishnan a kol., 2012, Zhang a kol., 2012). Nicméně Rust (2002) uvádí, že monogastriční zvířata včetně ryb mají problém se stravitelností chitinu. Přidání hmyzu do diety ryb může negativně ovlivnit růst ryb a trávení proteinů a lipidů (Lindsay a kol., 1984; Köprücü a Özdemir, 2005; Balogun, 2011; Longvah a kol., 2011, Alegbeleye a kol., 2012). Výše zmíněné důvody podmínily snahy o odstranění chitinu z hmyzí moučky. To se provádí pomocí enzymatických či chemických metod, jako je např. alkalická extrakce (Shiau a Yu, 1999; Se-Kwon a Nirandžan, 2005; Lin a kol., 2012a; Lin a kol., 2012b). Tyto procesy však mohou výrazně navýšit náklady na výrobu hmyzí moučky.

2.5 Využití hmyzu ve výživě ryb

Prvotní studie zabývající se začleněním hmyzu do rybích krmiv proběhly především na herbivorních a omnivorních druzích ryb. V posledním desetiletí se pozornost věnovaná využití hmyzu v akvakultuře zvýšila a předmětem výzkumu se staly rovněž karnivorní druhy (Henry a kol., 2014). Makkar a kol. (2014) se například zabýval inkorporací hmyzu do krmiv pro ryby, korýše ale i hospodářská zvířata. Riddick (2014) se zase věnoval začleněním hmyzu do krmiv juvenilních stádií ryb. První studie byly provedeny v afrických a asijských zemích, kde je často k dispozici nekvalitní rybí moučka s nízkým obsahem bílkovin v porovnání s testovaným hmyzem (Heuzé a Tran, 2013). Pozornost těchto výzkumů byla věnována doplnění takto nekvalitních rybích mouček hmyzími larvami, které byly použity buď celé, nasekané na kousky či ve formě moučky (Jeyachandar a Raj, 1976; Boscolo a kol, 2001; Achionyenzeh a Ngwudo, 2003; Idowu a kol, 2003; Rangacharyulu a kol, 2003; Ossey a kol, 2012). Následné studie zkoumaly energeticky a proteinově vybalancované diety, které svou kompozicí vyhovovaly nárokům testovaných ryb (Henry a kol., 2014).

2.5.1 Stravitelnost hmyzích mouček

Autoři několik studií svou pozornost zaměřili na stravitelnost hmyzích mouček. Henry a kol. (2015) uvádí, že stravitelnost živin je závislá na druhu hmyzu, jeho životní fázi a druhu ryby. Navzdory předpokladu, že snížení schopnosti ryb trávit hmyz je spojeno s přítomností chitinu v jeho exoskeletu (Piccolo a kol., 2014), existuje několik studií, jež uvádí, že dieta s přídavkem hmyzí moučky neměla vliv na přírůstek ryb nebo vykazala dokonce lepší výsledky v porovnání s rybí moučkou (Henry a kol., 2015).

Taufek (2017) nabízí možné vysvětlení, když uvádí, že hmyz obsahuje v jednotlivých fázích svého života různé množství chitinu, dále že některé druhy ryb dokážou trávit chitin lépe než jiné, v neposlední řadě je rovněž důležitá kvalita rybí moučky, jež může v různých studiích obsahovat odlišné množství proteinu. Podstatné je procentuální zastoupení hmyzí moučky v krmivu a rovněž druh hmyzu, protože jednotlivé druhy vykazují různé nutriční složení.

Stravitelností hmyzí moučky, vyrobené z cvrčka dvouskvrnného (*Gryllus bimaculatus*) v krmivech pro keříčkovce červenolemého, se zabýval Taufek a kol. (2016). Výsledky jeho studie ukázaly vyšší stravitelnost proteinů, tuků a energie u krmiva, jež bylo tvořeno z moučky z cvrčka v porovnání s rybí moučkou. Koeficient stravitelnosti proteinu (KSP) hmyzí moučky se pohyboval na úrovni 81,21 %, koeficient stravitelnosti

tuků (KST) byl 89,82 %, hrubá energie (HE) 64,42 %. Pro srovnání rybí moučka měla KSP 78,22 %, KST 82,03 % a HE 56,52 %. Hossain a kol. (1992) uvádí KSP z moučky bource morušového na úrovni 86 % u tlamouna mozambického (*Oreochromis mossambicus*). Gasco a kol. (2016) uvádí u morčáka evropského (*Dicentrarchus labrax* L.) stravitelnost bílkovin z moučky z potemníka moučného dokonce na úrovni 92 %. Výsledky studie Borthakura a Sarmy (1998) na keříčkovci žabím (*Clarias batrachus*) vykazaly srovnatelný KSP u moučky z bource morušového s rybí moučkou. Stejně tak moučka ze sarančete stěhovavého (*Locusta migratoria*) (přídavek 25 %) dosáhla obdobné stravitelnosti bílkovin v porovnání s rybí moučkou (Abannikanda, 2012). Na druhou stranu nižší úroveň stravitelnosti byla v porovnání s rybí moučkou zjištěna u potemníka brazilského, a to u keříčkovce červenolemého a tlamouna nilského (Alegbeyele a kol., 2012, Jabir a kol., 2012a).

Podle NCR (1993) jsou lipidy téměř plně stravitelným zdrojem energie a ryby je upřednostňují před sacharidy. Navíc vyšší množství lipidů v dietě ryb může potenciálně zvýšit stravitelnost proteinů. Taufek a kol. (2017) ve své studii na keříčkovci červenolemém uvádí signifikantně vyšší koeficient stravitelnosti lipidů v krmivech s moučkou vyrobenou ze cvrčka dvouskvrnného (89,82 %) (přídavek 30 %) v porovnání s rybí moučkou (82,03 %), což poukazuje na výbornou schopnost keříčkovce využít tuk z krmiva založeném na hmyzu.

Maina a kol. (2002) zmiňuje u tlamouna nilského stravitelnost energie z rybí moučky na úrovni 86 %. Moučka z bource morušového vykazala koeficient stravitelnosti u mořského vlka (*Lateolabrax japonicus*) 75 % (Kitagima a Fracalossi 2011).

Koeficient stravitelnosti je podmíněn kvalitou vyráběné moučky, jež je spojena s několika faktory, a to především se zdrojem, složením, čerstvostí a v neposlední řadě procesem výroby (Taufek a kol., 2017).

2.5.2 Vliv hmyzích mouček na složení střevní mikroflóry

Morfologie zažívacího traktu, růst ryb a obranné reakce metabolismu jsou neoddělitelně spojeny s mikrobiální flórou střev (Pryor a kol., 2003, Ghanbari a kol., 2015). Cílenou modifikací bakteriálního společenstva v trávicím traktu ryb lze docílit prevence před nemocemi či zajistit samotnou léčbu (Agata a kol., 2019).

Struktura trávicí soustavy se liší v závislosti na druhu ryby. Rozdíly se začínají vyvíjet již v embryonálním stádiu a jsou prvním faktorem, který má vliv na složení bakteriálního společenstva v trávicím traktu. Obecně převládají v zažívacím ústrojí ryb bakterie rodů

Aeromonas, *Pseudomonas*, *Clostridium* a *Bacteroides*. Bakterie rodu *Bacteroides* se začínají objevovat až později, zhruba 44. den po vylíhnutí, nicméně stávají se dominantní skupinou bakterií v trávicí soustavě dospělých ryb (Agata a kol., 2019).

U ryb, stejně jako u dalších obratlovců, souvisí složení mikrobiální flóry především s dietou, funkcemi trávicího traktu, okolním prostředím (odchovnou vodou) a zdravotním stavem. Józefiak a kol. (2017) uvádí, že bráněnka a poterník moučný jsou bohatým zdrojem jednoduchých bílkovin a peptidů s dobře vyváženým účinkem na složení mikrobiální flóry střev. Je známo, že bráněnka i poterník moučný působí částečně jako probiotika, zlepšují absorpční plochu střeva a selektivně stimulují růst prospěšných bakterií nad škodlivými patogenními bakteriemi, houbami a viry (Guerreiro a kol., 2018). Navíc chitin, nacházející se v exoskeletu hmyzu, vykazuje v malém množství antioxidační, antifungální a antivirové účinky (Ai a kol., 2012).

Agata a kol. (2019) uvádí, že 15 % přírůstek moučky z bráněnky v potravě jesetera sibiřského (*A. baerii*) způsobil změnu ve střevní histo-morfologii a mikroflóře. Konkrétně došlo ke zmenšení tloušťky sliznice, ke zvýšení svalové vrstvy a ke zvýšení počtu následujících skupin bakterií: *Clostridium leptum*, *Clostridium coccooides*, *Aeromonas* sp., *Bacillus* sp., *Carnobacterium* sp., *Enterococcus* sp. a *Lactobacillus*. Naopak ve stejné studii neměla dieta s 15 % přírůstkem moučky z poterníka moučného vliv na populaci bakterií rodu *Clostridium leptum*, *Aeromonas* sp., *Lactobacillus* a *Enterococcus* spp. Výsledky této studie naznačují, že krmivo založené na moučce z bráněnky má dobrý potenciál pro modulaci střevní mikroflóry jesetera sibiřského.

K podobným výsledkům dospěly také pokusy provedené na pstruhu duhovém (Terova a kol., 2019, Bruni a kol., 2018, Huyben a kol., 2018). Autoři těchto studií se shodují, že krmivo založené na moučce z bráněnky zvýšilo diverzitu a pozměnilo bakteriální mikroflóru pstruha duhového v porovnání s kontrolním krmivem. Ukázalo se, že diety založené na hmyzí moučce vykazaly vyšší abundanci bakterií kmenu *Firmicutes* a *Actinobacteria* a nižší početnost bakterií *Proteobacteria* (Terova a kol., 2019, Huyben a kol., 2018).

Borelli a kol. (2017) uvádí, že přítomnost vyšší bakteriální diverzity ve střevech by měla být považována za pozitivní účinek, protože může potenciálně poskytnout hostiteli další metabolické schopnosti, a tím zlepšit jeho zdravotní stav.

2.5.3 Využití celého, živého nebo mraženého hmyzu ve výživě ryb

Bráněnka, potemník moučný, komár pisklavý (*Culex pipiens*) a moucha domácí byli testováni v různých formách (zmražení, živí, nasekaní nebo v celku) na keříčkovci červenolemém, keříčkovci úhořovitém (*Channallabes apus*), tlamounovi nilském, sumečkovi tečkovaném (*Silurus punctatus*) a pstruhovi duhovém. Špatně vybalancované krmivo, či jeho špatně zvolená velikost pravděpodobně ovlivnila růst pstruha duhového, který byl krmen výhradně mraženým komárem pisklavým (Ostaszewska a kol., 2011). Výsledky studie na sumečku tečkovaném, krmeném v monokultuře 100 % larvami bráněnky (celými či nasekanými), vykázaly depresi růstu v porovnání s komerčně prodávanými krmivy. Stejně výsledky byly zjištěny také u tlamouna nilského (Bondari a Sheppard, 1987). Částečné nahrazení rybí moučky se jeví jako více efektivní. Tato hypotéza byla potvrzena při úspěšném odchovu tlamouna nilského a sumečka tečkovaného v polykultuře, kdy byli odkrmeni částečně nasekanými larvami bráněnky (50 % a 75 % larvy a 50 % nebo 25 % komerční krmivo) v kombinaci s komerčními krmivy s vyšším (45 %) nebo nižším množstvím bílkovin. Výsledky nevykázaly statisticky významný rozdíl v hmotnosti těchto testovaných druhů, proto je využití bráněnky v dietě těchto ryb pokládáno za vhodné (Bondari a Sheppard, 1981). I další studie zabývající se využitím celých či nasekaných hmyzích larev byly úspěšně, často s lepšími výsledky v růstu v porovnání s komerčními krmivy. Tlamoun nilský, který byl krmen kombinací pšeničných otrub a z 20 % živými larvami, rychleji rostl, měl lepší výsledky specifické rychlosti růstu, přežití a krmného koeficientu v porovnání s rybami krmenými pouze pšeničnými otrubami (Ebenso a Udo, 2003), pravděpodobně protože krmivo bylo lépe vyvážené a přizpůsobené potřebám ryb (Henry a kol., 2014).

Dieta keříčkovce úhořovitého zahrnující mražené larvy, vedla ke zlepšení růstu oproti skupinám, které byly krmeny komerčními a krmivy s obsahem sóji. Nicméně složení těchto dvou diet nebylo stanoveno, proto není jisté, zda obsahovaly všechny živiny potřebné k optimálnímu růstu (Achionye-Nzeeh a Ngwudo, 2003). K podobným výsledkům dospěl také Oylese (2007). Ve své studii uvádí, že keříčkovec červenolemý krmený 50 % živými larvami v kombinaci s 50 % krmivem s nízkým obsahem rybí moučky (3,5 %), vykázal rychlejší růst v porovnání s rybami, jež byly krmeny pouze komerčním krmivem. Madu a Ufodike (2003) došly ke stejnému výsledku i s použitím diety, která byla bohatá na rybí moučku (40 % hrubého proteinu). Zajímavých výsledků dosáhl Ng a kol. (2001). Ve své studii uvádí, že sumeček africký, který byl střídavě krmen

peletami v kombinaci s larvami potemníka moučného, které byly nasekané na menší kousky, vykázal zlepšení efektivity krmení a zvýšení využití proteinu v porovnání s kontrolní dietou, jež obsahovala 34 % hrubé bílkoviny. Avšak ryby, které byly krmeny živými potemníky (50 % nebo 100 %), obsahovaly vyšší množství tělesného tuku, což bylo zapříčiněno vyšším obsahem lipidů v hmyzu. Ryby, jejichž dieta obsahovala výhradně potemníky, snížily příjem potravy a vykázaly nižší váhové přírůstky. Jako vhodná alternativa se tedy jeví využití střídavého krmení celého hmyzu v kombinaci s peletami (Ng a kol., 2001). Dieta založená na živých či nasekaných červech nebo potemnicích může být vhodná alternativa v zemích, kde nejsou dostupná kvalitní krmiva (Henry a kol., 2014).

2.5.4 Použití *T. molitor* jako náhrady rybí moučky obsažené v krmivech pro ryby

Dospělí jedinci potemníků nejsou využíváni v krmivech pro ryby, protože obsahují chinony, nicméně jejich larvy jsou považovány za vysoce kvalitní krmivo bohaté na bílkoviny a tuky (Makkar a kol., 2014). Ke krmení se obvykle využívají živé larvy, avšak ryby mohou být krmeny i moučkou z larev (Aguilar-Miranda a kol., 2002; Veldkamp a kol., 2012). Nahrazení rybí moučky moučkou z potemníka bez negativního vlivu na růst a konverzi krmiva bylo úspěšně provedeno na pražmanu japonském (*Pagrus major*) (Ido a kol., 2019), krevetě bílonohé (*Litopenaeus vannamei*) (Panini a kol., 2017), sumičku kosatkovitým (*Pelteobagrus fulvidraco*) (Su a kol., 2017) a u růžicha šedého (*Pagellus bogaraveo*) (Iaconisi a kol., 2017). Ng a kol. (2001) uvádí, že larvy potemníka jsou vhodný zdroj bílkovin v potravě pro keříčkovce červenolemého. Nahrazení 40 % rybí moučky sušenými larvami potemníka nemělo signifikantní vliv na přírůstek ani účinnost využití krmiva rybami. Při 80 % nahrazení rybí moučky ve stravě již ryby vykazovaly mírnou depresi v růstu, avšak ryby krmené dopoledne živými larvami potemníka a odpoledne komerčním peletovaným krmivem určeným pro sumce, rostly stejně dobře nebo lépe než ryby, krmené pouze komerčním peletovaným krmivem. Larvy potemníka byly vyzkoušeny také při odchovu juvenilů morčana zlatého (*Sparus aurata*). Při 25 % nahrazení rybí moučky se neprojevil významný efekt na růstové parametry. Nicméně 50 % nahrazení rybí moučky larvami potemníka již růst negativně ovlivnilo (Piccolo a kol., 2014). Ke stejnému výsledku dospěli také Gasco a kol. (2014b) ve své studii o vlivu larev potemníka v krmivu pro mořčáka evropského (*Dicentrarchus labrax*). V této studii bylo navíc zjištěno, že ryby s 50 % nahrazením rybí moučky měly negativně ovlivněnou kompozici n-3 vysoce nenasycených mastných kyselin (HUFA). U pstruha duhového

bylo zjištěno, že rybí moučka může být larvami potemníka zastoupena až do 50 % bez signifikantního rozdílu v růstu (Gasco a kol., 2014a). Úplná substituce rybí moučky moučkou z larev potemníka vedla u juvenilů sumečka černého (*Ameirus melas*) k depresi růstu, v porovnání s kontrolou tvořenou 50 % rybí moučky. Nicméně bylo shledáno, že přírůstky byly u tohoto druhu stále uspokojivé (Roncarati 2014a, 2014b).

Některé studie navíc potvrzují, že moučka z potemníka v potravě ryb má pozitivní vliv na imunitní reakce organismu (Henry a kol., 2018a; Henry a kol., 2018b; Sankian a kol., 2018; Song a kol., 2018; Su a kol., 2017) a složení střevní mikroflóry (Agata a kol., 2019; Antonopoulou a kol., 2019). Pozitivní efekt na složení filet, včetně profilu mastných kyselin, byl sledován u paokouna Schrezerového (*Siniperca scherzeri*) (Sankian a kol., 2018), pstruha duhového (Belforti a kol., 2015; Iaconisi a kol., 2018), tlamouna nilského (*O. niloticus*) (Sánchez-Muros et al., 2016) a mořčáka evropského (*D. labrax*) (Gasco a kol., 2016).

2.5.5 Bráněnka (*H. Illucens*)

Potenciál využití larev bráněnky v krmivech pro ryby byl studován na několika omnivorních a karnivorních druzích (Belghit a kol., 2018, Bondari a Sheppard, 1987, Borgogno a kol., 2017, Devic a kol., 2017, Hu a kol., 2017, Kroeckel a kol., 2012, Li a kol., 2016, Li a kol., 2017, Lock a kol., 2016, Magalhaes a kol., 2017, Renna a kol., 2017, Sealey a kol., 2011, St-Hilaire, 2007a, St-Hilaire, 2007b), avšak žádný z experimentů nevedl k vyšší produkci v porovnání s komerčními krmivy. Na druhou stranu další studie uvádí, že u některých druhů ryb nahrazení rybí moučky moučkou z larev bráněnky nevykázalo signifikantní rozdíly ve hmotnostních přírůstcích: sumeček tečkovaný (6 % zastoupení moučky z bráněnky) (Newton a kol., 2005), losos obecný (5-25 % zastoupení + obohacení o lysin a methionin) (Lock a kol., 2014, Bruni a kol., 2020), nebo pstruh duhový (St-Hilaire a kol., 2007b, Renna a kol., 2017, Bruni a kol., 2018). Výsledky 9-týdenní studie na pstruhu duhovém, kterou provedla St-Hilaire a kol. (2007a) ukazují, že 25 % nahrazení rybí moučky moučkou z prepup bráněnky nemělo statisticky významný vliv na hmotnostní přírůstky ani konverzi krmiva. Sealey a kol. (2011) uvádí, že 18-36% zastoupení moučky z bráněnky vedlo ke zvýšení n-3 PUFA a HUFA ve filetech pstruha duhového. Vyšší substituce moučky z bráněnky (12-30 %) však vedla k signifikantnímu snížení růstu u pstruha duhového, pakambaly velké a sumečka tečkovaného (Newton a kol., 2005; St-Hilaire a kol., 2007; Kroeckel a kol., 2012). Juvenilové pakambaly přijímaly dietu s obsahem až 33 % odtučněné moučky z larev bráněnky bez významného vlivu na

konverzi a příjem krmiva. Nicméně specifická rychlost růstu se statisticky významně snížila u všech testovaných skupin se zastoupením bráněnky v krmivu. Vyšší než 33 % zastoupení mělo za následek snížení příjmu krmiva a stravitelnosti bílkovin, což vedlo ke snížení přírůstků pakambaly (Kroeckel a kol., 2012). Na druhou stranu Lock a kol. (2012) uvádí, že stravitelnost bílkovin a tuků byla dobrá u lososa atlantského (*Salmo salar*). Lock a kol. (2014) provedl studii, v níž rybí moučka (kontrola) byla postupně nahrazována moučkou z prepup bráněnky 25 %, 50 % a 100 %. Uveřejněné výsledky dokazují, že diety s hmyzí moučkou fungovaly stejně dobře jako kontrola, a dokonce u nich bylo pozorováno zvýšení konverze krmiva. Histologická analýza struktury střeva nevykázala žádné rozdíly mezi skupinami stejně tak jako sensorické vlastnosti filet.

2.5.6 Moucha domácí (*M. domestica*)

Larvy mouchy domácí, ať už živé či v podobě hmyzí moučky, byly rozsáhle testovány v rybích krmivech. Výsledky většiny studií neshledaly rozdíl v růstu ryb, krmených moučkou z mouchy nebo živými larvami. Ovšem existují i studie, jež prokazují zlepšení růstových parametrů ryb krmených moučkou. Ajani a kol. (2004) zmiňuje zrychlení růstu u tlamouna nilského (*O. niloticus*) při 50 % nahrazení rybí moučky moučkou z larev mouchy domácí. Wang a kol. (2017) uvádí, že krmivo založené na moučce z mouchy je pro tlamouna dobře stravitelné, bez negativního vlivu na růstové parametry a využití krmiva. Ming a kol. (2013) provedl studii, v níž obohacení výchozí diety amura černého (*M. piceus*) o 2,5 % moučkou z mouchy vedlo ke zlepšení růstových parametrů, zvýšení imunity a odolnosti vůči nemocem. Na druhou stranu složení výchozí diety nebylo v dané studii uveřejněno a je možné, že obsah rybí moučky byl nízký. Studie provedená na hybridním sumci (*C. gariepinus x H. longifilis*) rovněž prokázala zlepšení růstu u ryb, jež byly krmeny 7,5 % přídatkem moučky z mouchy v porovnání s rybami, jejichž dietu tvořilo krmivo s obsahem 30 % rybí moučky (Sogbesan a kol., 2006). Potenciál rybí moučky ukázaly i další studie provedené na keříčkovci červenolemém a keříčkovci egyptským (7,5 – 32 % přídatvek) (Fasakin a kol., 2003; Idowu a kol., 2003; Aniebo a kol., 2009; Adewolu a kol., 2010), tlamounu nilském (15-68 % přídatvek) (Ogunji a kol., 2007, 2008a, 2008b; Omoyinmi a Olaoye, 2012), karasi stříbřitém a kapru obecném (30 – 39 % přídatvek) (Ogunji a kol. 2009; Dong a kol., 2013). Naopak u pstruha duhového při obsahu 9,2 % moučky z larev mouchy v krmivu mělo negativní vliv na růst a filety ryb měly signifikantně nižší obsah n-3 mastných kyselin v porovnání s kontrolní skupinou ryb, která byla krmena krmivem s 36 % obsahem rybí moučky (St-Hilaire a

kol., 2007). Z výše uvedených studií je patrná variability mezi jednotlivými druhy ryb, a tudíž nelze výsledky zobecňovat, protože každá ryba má své specifické požadavky (Henry a kol., 2015).

2.5.7 Zástupci rovnokřídlých (*Orthoptera*)

Řád rovnokřídlí zahrnuje mnoho druhů cvrčků, kobylek a sarančat, které patří globálně mezi nejvýznamnější rostlinné škůdce. Dospělí jedinci tohoto řádu jsou nutričně velice bohatí (Makkar a kol., 2014).

Využití cvrčků domácích v krmivech pro ryby zatím nebylo příliš testováno. Ovšem několik studií proběhlo na dalších zástupcích řádu rovnokřídlí. Balogun (2011) své studii zjistil, že 25 % nahrazení rybí moučky moučkou ze sarančete pustinného (*Schistocerca gregaria*) nemělo vliv na růst juvenilních stádií keříčkovce červenolemého. Je pravděpodobné, že horší růst i krmný koeficient při vyšších substitucích mouček byl zapříčiněn přítomností chitinu v moučce vyrobené ze sarančat. K podobným výsledkům dospěl také Alegbeyele a kol. (2012). Zjistil, že 25 % nahrazení rybí moučky moučkou z kobyly druhu *Zonocerus variegatus* neovlivnilo růstové parametry plůdku keříčkovce červenolemého. Vyšší substitute ovšem vedla k redukci stravitelnosti. Taufek a kol. (2016) ve své studii na juvenilech keříčkovce červenolemého uvádí, že při 75 % a 100 % nahrazením rybí moučky moučkou ze cvrčka dvouskvrnného (*G. bimaculatus*) byla konverze krmiva a poměr využití proteinu lepší v porovnání s rybí moučkou. Rozdíl ovšem nebyl statisticky signifikantní. Autoři této studie výsledek připisují lepší stravitelnosti a vyšší nutriční hodnotě moučky ze cvrčka oproti rybí moučce. To naznačuje možnost úplné substituce rybí moučky moučkou ze cvrčka dvouskvrnného u juvenilů keříčkovce červenolemého.

2.5.8 Bourec morušový (*B. mori*)

Nejvýznamnějším producentem domestikovaného bource morušového je Indie (Heuzé a kol., 2014). Moučka, jež se vyrábí ze sušených larev bource (SWP), je hodnotným zdrojem bílkovin (50-71 % v sušině) a tuků (30 %) (Wei a Liu, 2001; Rumpold a Schuller, 2013). Moučka ze SWP, ať už v odtučněné či neodtučněné formě, byla použita v mnoha studiích zabývajících se výživou ryb, a navíc s dobrými výsledky (Henry a kol., 2014). Begun (1994) uvádí, že olej ze SWP zvyšuje chutnost krmiv pro kapra obecného (*C. carpio*). Výsledky studie Nandeeshi a kol. (1999) vykazaly obdobný růst a organoleptické vlastnosti při substituci oleje ze SWP se sardinkovým olejem v dietě pro kapra obecného.

Nandeesh a kol. (1990, 1999) navíc uvádí, že při zvyšujícím se podílu SWP moučky nebo oleje ze SWP v dietě se zvyšovala stravitelnost tuků, bez výraznějšího ukládání lipidů v těle. Odtučněná i neodtučněná moučka ze SWP byla u kaprovitých dokonce stravitelnější než rybí moučka (Hossain a kol., 1997). SWP se tak jeví jako vhodná levnější alternativa v porovnání s rybí moučkou a olejem v krmivech pro kaprovité ryby. Výsledky jiných studií navíc potvrzují, že moučka či olej ze SWP v krmivu zvyšují stravitelnost lipidů i u dalších druhů ryb (Jayaram a Shetty, 1980; Begun a kol., 1994), jako např. u keříčkovce žabího (*C. batrachus*) (Borthakur a Sarma, 1998), keříčkovce dvoupásého (*Heteropneustes fossilis*) (Hossain a kol., 1991), tlamouna nilského (Hossain a kol., 1992; Boscolo a kol., 2001), a to i v případě úplného nahrazení rybí moučky (Habib a kol., 1994). Množství studií potvrdilo, že 50 % zastoupení SWP v dietě ryb nemělo negativní vliv na přírůstky ryb, konverzi krmiva či organoleptické vlastnosti masa (Begun a kol., 1994; Rahman a kol., 1996; Hossain a kol., 1997; Nandeesh a kol., 2000; Ji a kol., 2013). Krmivo s nižším zastoupením (5-12 %) bylo úspěšně otestováno na lososovi keta (*Oncorhynchus keta*) (Akiyama a kol., 1984) a halibutovi (*Paralychtys olivaceus*), který měl v dietě navíc přídavek v podobě aminokyselin lysinu a methioninu (Lee a kol., 2012). Výzkum provedený na čichavci zeleném (*Trichopodus pectoralis*) s 15 % zastoupením SWP v dietě nevykázal negativní vliv na jeho přírůstek, avšak při 22 % zastoupení se projevila zhoršená stravitelnost bílkovin a deprese růstu (Jintasatapom a kol., 2011). Několik dalších studií prokázalo pozitivní účinky u mahsíra obřího (*Tor putitora*), mahsíra (*Mahseer putitora*) a kapra obecného (*C. carpio*), v jejichž dietě bylo 30-50 % zastoupení (až 100 % substituce rybí moučky) SWP (Jayaram a Shetty, 1980; Rahman a kol., 1996; Nandeesh a kol., 2000; Dheke a Gudhaju, 2013; Sawhney, 2014). Úspěšné celkové nahrazení rybí moučky bylo provedeno na kapru obecném a *Lateolabrax japonicus*, nicméně kontrolní krmivo mělo nedostatek bílkovin (pouze 11 % rybí moučky a 21 % hrubé bílkoviny) a výživové hodnoty diety nebyly dostupné (Ji a kol., 2010). Na druhou stranu neúspěšné bylo začlenění SWP do diety tlamouna nilského, kdy již 5 % zastoupení SWP v krmivu vedlo ke snížení růstu oproti rybám, které byly krmeny rybí moučkou (Boscolo a kol., 2001). Podobně dopadl pokus na kaprovi variety Jian (*Cyprinus carpio* var Jian), kdy (6-9 %) zastoupení SWP vedlo ke statisticky významnému snížení růstu v porovnání s kontrolou (Ji a kol., 2013). Nicméně SWP se jeví jako vhodný alternativní zdroj proteinu pro rybí krmiva, protože negativní výsledky vykázaly pouze druhy tlamouna nilského a kapra Jian (Henry a kol., 2014). Ponraj (2019) shrnuje předchozí studie zaměřené na využití moučky z bource morušového ve výživě ryb a

konstatuje, že následující druhy ryb vykázaly lepší růstové parametry v porovnání s rybí moučkou při tomto procentuálním zastoupením: kapři 30-50 %, pstruzi 5-15 %, sumci 75-100 %, mahsíři 50-60 %, okrasné ryby 30-40 %, měkkýši 5-20 %.

2.5.9 Termiti (*Isoptera*)

Termiti mají poměrně vysoký obsah proteinů (37-49 %) a lipidů (30 %) (Sogbesan a Ugwumba, 2008). Studie zabývající se využitím termitů v krmivech pro ryby ukázala lepší růst keříčkovce egyptského (*H. longifiliis*) při 15 % zastoupení termitů v dietě, v porovnání s rybami, které byly krmeny rybí moučkou, nicméně rozdíl nebyl statisticky významný. Růst byl signifikantně nižší u ryb, pokud zastoupení moučky z termitů bylo na úrovni 22,5 až 30 % (Sogbesan a Ugwumba, 2008). Solomon a kol. (2007) provedl experiment, v němž krmil keříčkovce severoafrického (*Heterobranchus biodorsalis*) rybí moučkou, kterou postupně nahrazoval moučkou z termitů a sóji. Zjistil, že růst ryb byl lepší, pokud byly termiti v dietě obsaženi. Výsledky však nebyly příliš spolehlivé, vzhledem k chybám ve výpočtech procentuálního zastoupení termitů, sóji a rybí moučky v krmivu. Není totiž jasné, zda byl lepší růst ryb důsledkem vyššího zastoupení termitů v dietě či vyššího obsahu rybí moučky. Navzdory dobrým výsledkům při částečném nahrazení vysoce kvalitní rybí moučky (71 % hrubého proteinu), nejsou termiti považováni jako vhodná alternativa pro využití v rybích krmivech, a to především z důvodu obtížného chovu a jejich sezónnosti (Jamali a kol., 2008, Henry a kol., 2014).

3. MATERIÁL A METODIKA

Předložená diplomová práce se skládá ze dvou na sebe navazujících experimentů. Oba byly provedeny na Ústavu akvakultury a ochrany vod v Českých Budějovicích (ÚAOV). Cílem práce bylo zjištění vlivu odstupňovaného množství moučky z potemníka moučného v krmivu okouna říčního na biometrické parametry, stravitelnost krmiva, plavecký výkon a metabolismus, konkrétně na spotřebu kyslíku, energetické výdaje, kritickou rychlost plavání a fyziologický stres u ryb před plaveckým výkonem a po výkonu. K tomuto účelu byl pokus rozdělen na odchovnou část, která trvala celkem 119 dnů a následné testování plaveckého výkonu v plavecké komoře. Dále byla provedena analýza za účelem zjištění hematokritu, postmortální hodnoty pH a hladiny kortizolu v tělech ryb.

3.1 Popis odchovného systému

Odchov do stádia juvenilních okounů zajistila firma Anapartners s.r.o. se sídlem v Praze. Ryby byly převezeny do ÚAOV v okysličených nádržích o objemu 1 m³. Následně byli okouni po dobu dvou týdnů aklimatizováni na experimentální podmínky prostředí a krmeny pouze komerčním krmivem.

Celkem 82 ryb o průměrné hmotnosti 20.81 ± 3.36 g a celkové délce těla 11.77 ± 0.72 cm bylo náhodně nasazeno na recirkulační systém, který se skládal z 16 černých odchovných kruhových nádrží s bílým dnem o objemu 150 l (4 nádrže na každou skupinu), mechanického bubnového filtru (AEM 15, AEM-Products V.O.F., Lienden, Netherlands), sedimentačních nádrží (celkový objem 2600 l, Bioakvacit PP10), biologického filtru (objem 4700 l, media BT10 Ratz, Aqua Polymer Technik, Remscheid, Německo), UV lampy (AQUAKING). Vzduchování bylo zajištěno pomocí rozptylovacích kamínků, což spolu s konstantním přítokem vody vytvořilo stálý proud v nádržích o rychlosti 4,6 cm/min.



Obr. č. 1: Recirkulační systém pro experimentální odchov okouna říčního (foto Tran Quang Hung).

3.2 Experimentální krmiva

Odtučněná moučka z potměníka moučného (TM) byla zajištěna od firmy NovoProtein (FISHAG EDELHOF GmbH, Vídeň, Rakousko). Nutriční složení a profil aminokyselin TM je popsán v tabulce č. 3.

Pro účely experimentu byly vytvořeny 4 iso-proteinové (přibližně 47 % hrubého proteinu) a iso-energetické (přibližně 21 Mj/Kg brutto energie) diety. Kontrola (TM0) obsahovala jako základní zdroj proteinu rybí moučku. Další diety se lišily různou substitucí (25, 50, 75 %) rybí moučky moučkou z larev potměníka moučného (TM 25, TM50 a TM 75). Krmivo bylo zajištěno od české firmy EXOT HOBBY s.r.o. vyrábějící komerční krmiva pro ryby. Všechny ingredience zahrnuté v dietě byly smísené v mixéru HLJ – 700/C (Saibaino, Čína), poté byl přidán olej a voda pro vytvoření směsi a následně byl celý mix extrudován na pelety o průměru 2 mm. Teplota se v průběhu extruze pohybovala v rozmezí 96-100 °C. Do každé diety bylo navíc přidáno 0,5 % oxidu yttritického z důvodu zjištění stravitelnosti krmiv. Ingredience a složení jednotlivých diet ukazuje tabulka č. 2



Obr. č. 2: Příprava experimentálních diet (foto Tran Quang Hung).

Tabulka č. 1: Charakteristika různých skupin okouna říčního v závislosti na procentuální substituci rybí moučky moučkou z potměníka moučného

Skupina	Míra substituce rybí moučky moučkou z potměníka
TM0	pouze rybí moučka
TM25	25% nahrazení rybí moučky moučkou z potměníka
TM50	50% nahrazení rybí moučky moučkou z potměníka
TM75	75% nahrazení rybí moučky moučkou z potměníka

Tabulka č. 2 Nutriční složení moučky potemníka moučného a složení jednotlivých diet

Potemník moučný	TM0	TM25	TM50	TM75	
Rybí moučka	27,09	20,32	13,55	6,77	
Potemník moučný	0	6,77	13,55	20,32	
Sójový koncentrát	29,03	29,03	29,03	29,03	
Sójová moučka	14,51	14,51	14,51	14,51	
Kukuřičná mouka	9,68	9,68	9,68	9,68	
Methionin	0,77	0,77	0,77	0,77	
Lysin	0,48	0,48	0,48	0,48	
Valin	0,19	0,19	0,19	0,19	
L-Threonin	0,05	0,05	0,05	0,05	
Aditiva	2,41	2,41	2,41	2,41	
Vitamíny & Minerály	0,77	0,77	0,77	0,77	
Oxid chromitý (Cr ₂ O ₃)	0,5	0,5	0,5	0,5	
Sušina	95	94,9	95,8	95,6	95,3
Hrubý protein (g/kg)	70,2	47,2	48,96	47	47
Étherový extrakt (g/kg)	8,5	16,4	14,5	15	16,88
Popelovina (g/kg)	7,1	8,9	9	8,3	7,7
Fosfor (g/kg)	0,5	1,1	1	0,9	0,8
Vláknina (g/kg)	2,8	2	2	2,2	2,3
Brutto energie (Mj/kg)	21,1	21	20,8	21,2	21,5

Tabulka č. 3 Složení mastných kyselin (% z celkového množství mastných kyselin) moučky z potemníka moučného a experimentálních diet

	Potemník moučný	TM0	TM25	TM50	TM75
C12:0	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02
C13:0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
C14:0	1,3	1,57	1,57	1,49	1,47
C14:1	0,07	0,02	0,02	0,02	0,02
C15:0	0,28	0,16	0,16	0,15	0,14
C16:1	2,05	2,04	2	1,94	1,98
C17:0	0,39	0,12	0,09	0,06	0,06
C17:1	0,21	0,13	0,13	0,12	0,13
C16:3	0	0,11	0,1	0,1	0,1
C18:0	9,08	2,68	2,57	2,59	2,69
C18:1n9 trans	0,99	0,06	0,07	0,08	0,08
C18:1n9	35,1	46,65	46,07	47,27	49,77
C18:2n6 trans	0,07	0,1	0,1	0,09	0,09
C18:2n6	25,02	17,14	17,43	17,8	18,89
C18:3n6	0,08	0,14	0,14	0,14	0,14
C18:3n3	0,96	6,19	6,07	6,23	4,31
C20:0	0,73	0,45	0,43	0,43	0,45
C20:1n9	0,26	3,02	2,92	2,03	0,41
C20:3n6	0,07	0,17	0,16	0,17	0,17
C20:4n6	0,17	0,24	0,23	0,21	0,21
C20:3n3	0,04	0,27	0,26	0,27	0,28
C22:0	0,59	0,21	0,21	0,22	0,22
C22:1n9	0,05	0,41	1,49	1,84	1,8
C20:5n3 (EPA)	0,04	2,54	2,38	2,15	2,06
C22:2	1,18	0,06	0,37	0,64	0,64
C24:0	0	0,1	0,09	0,08	0,08
C24:1n9	0,06	0,34	0,33	0,3	0,2
C22:5n6	0,1	0,84	0,78	0,52	0,52
C22:6n3 (DHA)	0,01	4,26	3,96	3,43	3,23
ΣSFA	33,32	15,25	14,96	14,62	14,95
ΣMUFA	38,95	52,7	53,06	53,63	54,42
ΣPUFA	26,55	31,89	31,51	31,01	29,9
Σn-3	1,05	13,26	12,67	12,08	9,88
Σn-6	25,5	18,63	18,84	18,93	20,01
ΣPUFA/Σ SFA	0,77	1,69	1,7	1,69	1,71
Σn-3/Σn-6	0,04	0,71	0,67	0,64	0,49
AI	0,4	0,18	0,18	0,18	0,18
TI	0,88	0,18	0,18	0,18	0,2
h/H	2,79	7,08	7,08	7,39	7,39

3.3 Denní režim a harmonogram celého pokusu

Odchovná část experimentu trvala celkem 119 dnů. Chemismus vody (teplota, pH, koncentrace rozpuštěného kyslíku) byl pravidelně kontrolován dvakrát denně, hodnoty amoniaku a dusitanů každý třetí den. Teplota vody byla stabilně udržována na $22,5 \pm 0,7$ °C, množství rozpuštěného kyslíku $80,4 \pm 8,0$ % a hodnota pH $7,00 \pm 0,29$, množství NH_4 $0,28 \pm 0,16$ mg/l, dusitanový dusík $0,45$ mg/l. Další parametry zahrnovaly 12h:12h (světlo x tma), intenzita světla na hladině nádrží $58,6$ luxů.

Ryby byly krmeny pětkrát denně v 7:00, 9:00, 11:00, 13:00 a 15:00 hodin pomocí automatických krmítek (EHEIM Twins). Nespotřebované krmivo bylo 15 minut po každém krmení odstraněno a vysušeno z důvodu výpočtu denního příjmu krmiva. Mortalita ryb byla zaznamenávána každý den.

Biometrie ryb (váha, standartní a celková délka) se prováděla každé 3 týdny a rovněž na konci experimentu. Ryby byly před každým měřením anestetovány (50 mg L^{-1} MS 222) z důvodu minimalizace stresu. Za účelem zjištění vlivu odstupňovaného množství moučky z potměníka moučného na okouna říčního byly sledovány následující parametry:

- Přežití: $S (\%) = (N_f / N_i) \times 100$
- Kondiční faktor: $CF = 100 \times (\text{hmotnost těla (g)} / \text{celková délka těla}^3 (\text{cm}))$
- Index denního růstu: $DGI = 100 \times (\text{hmotnost těla na konci experimentu}^{1/3} - \text{hmotnost těla na začátku experimentu}^{1/3}) / \text{den experimentu}$
- Přírůstek hmotnosti (g): $WG = (W_f - W_i)$
- Specifická rychlost růstu (%/den): $SGR = [(\ln W_f - \ln W_i) / t] \times 100$
- Konverze krmiva: $FCR = \text{množství zkrmeného krmiva (g)} / \text{hmotnostní přírůstek ryb (g)}$
- Poměr využití proteinu: $PER = \text{hmotnostní přírůstek ryb (g)} / \text{čistý příjem proteinu (g)}$
- Denní krmná dávka (% hmotnost obsádky/den): $DFI = \text{denní příjem krmiva (g)} \times 100 / [t \times ((W_i + W_f) \times 0.5)]$

Legenda

N_i = počet larev na začátku pokusu

N_f = počet larev na konci pokusu

W_f = hmotnost každé ryby na konci experimentu

W_i = hmotnost každé ryby na začátku experimentu

t = čas ve dnech

3.3.1 Stravitelnost krmiv

Stravitelnost jednotlivých experimentálních diet okounem byla zjišťována od 42. dne experimentu. Vždy po posledním krmení v 15.00 byly jednotlivé nádrže s rybami vypuštěny a nestrávené zbytky krmiv a exkrementy sbírány a přemístěny do centrifugy z důvodu odstranění přebytečné vody. Vzorky byly následně pro další analýzy uloženy do mrazáku při teplotě -20°C. Koeficient stravitelnosti (ADC) sušiny, lipidů, proteinů a popeloviny byl pro každou dietu vypočítán podle Cho a Slinger (1979) následovně:

ADC jednotlivých nutrientů (ADC, %) = $100 - (100 \times (\%Y_2O_3 \text{ v dietě} / \%Y_2O_3 \text{ v exkrementech}) \times (\% \text{nutrienty v exkrementech} / \% \text{nutrienty v dietě})$

3.3.2 Odběr a analýza vzorků krve

Na konci odchovné části experimentu byly náhodně z každé nádrže odebrány 3 ryby, které byly usmrceny a uloženy do mrazáku při teplotě - 20 °C pro další biochemické analýzy. Další tři ryby z každé nádrže byly usmrceny předávkováním anestetikem MS 222 (125mg/l) a následně jim byla odebrána krev z kaudální žíly. Krev byla poté centrifugována při 3 tis. ot./minutu po dobu 10 minut. Oddělené krevní sérum se pro další analýzy uložilo do mrazáku při teplotě - 80 °C.

Krevní vzorky byly následně analyzovány za použití Architect c4000 (Abbot Laboratories, Abbot Park, Illinois, USA). Zkoumané parametry reprezentovaly alaninaminotrasferáza (ALT), aspartat-aminotrasferáza (ASP), celkové množství proteinu, glukóza (mmol/l), cholesterol (mmol/l), triglycerid a alkalická fosfatáza (ALP)

3.3.3 Organosomatické indexy

Po odběru krve byly z těla ryb vypreparována játra, střevo a slezina. Vnitřnosti byly zváženy (délka střeva změřena) pro výpočty organosomatických indexů. Filety bez kůže byly zváženy za účelem zjištění výtěžnosti filet a následně byly uloženy do mrazáku při teplotě - 20 ° C pro další analýzy. Organosomatické indexy byly vypočteny dle následujících vzorců:

- Hepato-somatický index: $HSI = 100 \times \text{hmotnost jater (g)} / \text{hmotnost těla (g)}$
- Viscerální somatický index: $VSI = 100 \times \text{hmotnost vnitřností (g)} / \text{hmotnost těla (g)}$
- Spleno-somatický index: $SSI = 100 \times \text{hmotnost sleziny (g)} / \text{hmotnost těla (g)}$
- Intestinální somatický index: $ISI = 100 \times \text{hmotnost střeva (g)} / \text{hmotnost těla (g)}$
- Index periviscerálního tuku: $PVI = 100 \times \text{hmotnost periviscerálního tuku} / \text{hmotnost těla (g)}$
- Relativní délka střeva: $RGL = \text{délka střeva (cm)} / \text{délka těla (cm)}$
- Výtěžnost filet (%): $FY = 100 \times \text{hmotnost obou filet} / \text{hmotnost těla (g)}$

3.3.4 Indexy dopadu chovu na životní prostředí

Celková produkce pevného odpadu a množství vyprodukovaného dusíku a fosforu v průběhu chovu bylo stanoveno dle Bureau a Hua (2010). Simulace dopadu na životní prostředí při vyprodukování 1 kg okouna byla vypočtena jako vztah mezi výrobou jednotlivých složek krmiva a konverzí krmiva. Dopad na životní prostředí při zkrmení jednoho kilogramu experimentálních diet byl vypočten pomocí databáze Life Cycle Assessment generované Institutem Global Feed Lifecycle Institute (GFLI, 2020). Dále bylo vypočítáno dalších 6 kategorií, jež mají dopad na životní prostředí. Patří mezi ně potenciál globálního oteplování, spotřeba energie, acidifikace, eutrofizace, využití půdy a spotřeba vody.

Ekonomický parametr fish-in-fish-out ratio (eFIFO) byl spočten podle Kok a kol. (2020). Tento indikátor je založen na ekonomické alokaci a byl vypočítán dle následující formule:

$$eFIFO = FCR * \sum (Fi,j * EFi,j)$$

Legenda

FCR = konverze krmiva

Fi = složky jednotlivých přísad v krmivu (%)

EFi = ryby počítané jako složka krmiva

i = rybí moučka nebo rybí olej

j = zdroj přísady

3.3.5 Analytické metody

Vzorky hmyzí moučky, experimentálních diet, exkrementů, filet a ryb jednotlivých skupin byly homogenizovány a analyzovány dle AOAC (2000) pro obsah sušiny (934.01), popeloviny (942.05) a vlákniny (985.29). Obsah proteinu byl stanoven na základě Kjedahovy metody využívající automatizovaný Kjedahl systém (Buchi, Flawil, Švýcarsko). Obsah lipidů a profil mastných kyselin byl zjištěn pomocí metodologie popsané Mrázem a Pickovou (2009). Obsah fosforu v hmyzí moučce, experimentálních dietách a exkrementech byl stanoven atomovým emisním spektrofotometrem (ICPOES, Prodigy7, Leeman Labs, USA). Oxid yttritý v dietách a exkrementech byl určen pomocí indukčně vázané plazmové emisní spektrometrie (ICP-OES) a následném vyluhováním látek v kyselině dusičné při 180 °C po dobu 48 hodin.

3.4 Testování schopnosti plavání

Odchov okouna říčního v kontrolovaných podmínkách prostředí trval celkem 119 dnů a následně byl proveden test zahrnující hodnocení plaveckého výkonu.

K experimentu byl využit plavecký tunel s testovací komorou (systém Loligo, Dánsko) ponořený do vyrovnávací nádrže. Plavecká komora byla připojena k nádrži o objemu 100 l, jež zajišťovala konstantní teplotu a výměnu vody v průběhu celého experimentu. Teplota vody a množství rozpuštěného kyslíku byly zaznamenávány optickou a teplotní sondou napojenou na Witrox 1 (systém Loligo, Dánsko). Koncentrace kyslíku byla v průběhu celého pokusu nad 70 %, teplota vody byla konstantně udržována na $23.0 \pm 0,2$ °C, intenzita světla byla 60 lx. Z důvodu citlivosti okouna na vnější stresové faktory byla plavecká komora zcela zakryta černou plastovou folií.

K experimentu bylo využito celkem 80 okounů (20 z každé skupiny), kteří byli vybíráni rotačně, aby se minimalizovaly časové rozdíly a potenciální růst ryb mezi jednotlivými skupinami (Wagner a kol., 2004). Ryby byly před testem anestetizovány v lázni s MS 222 (50 mg/l) a následně zváženy s přesností 0,01g a změřeny s přesností 0,001 mm. Poté byli okouni individuálně přemístěni do plaveckého tunelu, kde se po dobu 30 minut aklimatizovali na podmínky testu. Na začátku experimentu byla plavecká komora kompletně uzavřena (nepřitékala žádná voda z okolní nádrže), rychlost proudění byla nastavena na 5 cm/s a postupně se zvyšovala o 2 cm/s každých 60 sekund. Pomalé a postupné zvyšování rychlosti vody bylo navrženo z důvodu minimalizace stresu ryb. Pokus byl ukončen v době, kdy testovaná ryba setrvala déle než 10 vteřin na zadní mřížce.



Obr. č. 3: Plavací tunel v akci (foto Tran Quang Hung).

3.4.1 Sledované parametry

K vyhodnocení experimentu byly sledovány následující parametry:

- Kritická rychlost plavání ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$): $U_{\text{krit}} = U_{\text{max}} + (T_{\text{max}}/T_{\text{interval}} * U_{\text{interval}})$ podle Bretta (1964)
- Spotřeba kyslíku ($\text{mg}/\text{kg}/\text{h}$): $SK = ([O_2]_{t0} - [O_2]_{t1}) * (V/t) * (1/BW)$
- Energetické výdaje ($\text{J}/\text{kg}/\text{m}$): $EV = (SK_2 * 14,2)/U_{\text{swim}}$ podle Mcphee a Janz (2014), kde 14,2 je oxykalorická hodnota ($\text{J}/\text{mg O}_2$)

Legenda

U_{max} je nejvyšší naměřená rychlost při únavě testované ryby

T_{max} je čas za který testovaná ryba dosáhla únavy

T_{interval} je časový interval 60 vteřin

U_{interval} je interval rychlosti (20 mm/s)

U_{swim} je rychlost plavání testované ryby

$[O_2]_{t0}$ je koncentrace kyslíku na počátku testu

$[O_2]_{t1}$ je koncentrace kyslíku na konci testu

t (hod) = $t1 - t0$

V je objem plavecké komory

BW je hmotnost testované ryby

3.4.2 Odebírání vzorků krve

Pro získání vzorků krve bylo usmrceno předávkováním 125 mg MS 222 (Dezfuli a kol., 2013) 12 netestovaných ryb z každé skupiny a následně z každé skupiny 12 ryb, jež prošly testem plaveckého výkonu. Krev byla odebírána z kaudální žíly a poté přemístěna do centrifugy, kde se odstřeďovala po dobu 10 minut při rychlosti 3tis. ot./min. Vzorky byly poté uloženy do teploty -80 °C pro následující analýzy koncentrace asparátaminotransferázy (ASP), alaninaaminotransferázy (ALT), alkalické fosfatázy (ALP), glukózy, celkového množství proteinu, triglyceridu. V dalším kroku byla provedena pitva ryb z důvodu zjištění postmortální hodnoty pH, obsahu vody ve svalovině a provedení dalších chemických a biochemických analýz.

3.4.3 Chemická a biochemická analýza

Biochemické parametry krevního séra a iontů (Na^+ , K^+ , Cl^-) byly získány pomocí automatického analyzátoru Architect c4000 (Abbott Laboratories, Illinois, USA). Hladina kortizolu byla zjišťována pomocí soupravy činidel a automatizovaného imunitního analyzátoru Immulite 2000 XPI (Siemens Healthineers, Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Německo).

Následně bylo analyzováno přesné složení jednotlivých komponent krmiva pro sušinu (podle AOAC, n. 934.01), bílkoviny (podle AOAC, n. 984.13), vlákninu pomocí Henneberg-Stohmannovi metody (č. 920,86), popelovinu (AOAC, n. 942.05) podle AOAC International (2000). Etherový extrakt (AOAC, č. 2003.05) byl analyzován podle AOAC International (2003).

3.5 Statistická analýza

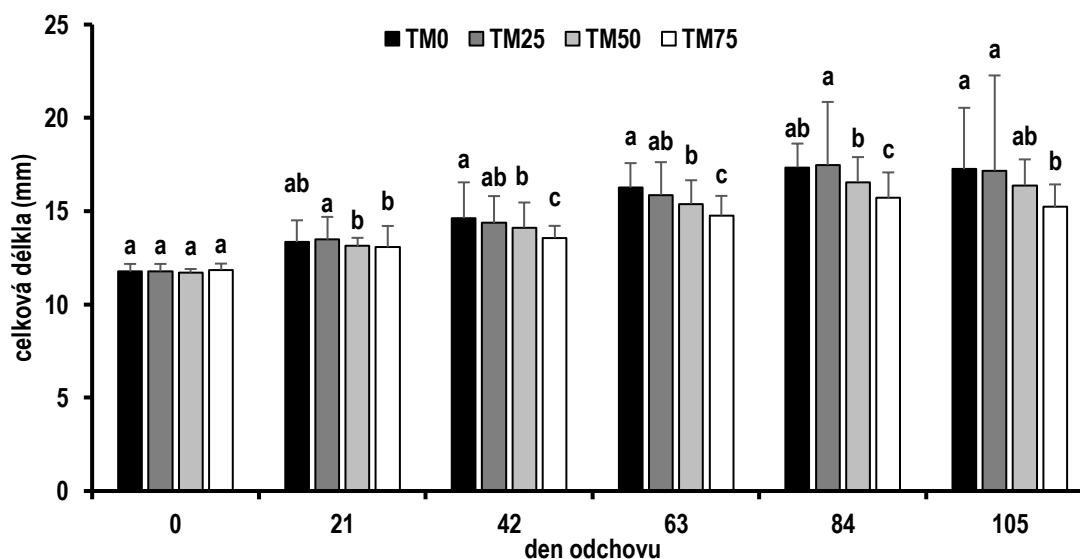
Pro testování statisticky významných rozdílů byla použita ANOVA s následujícím Tukeyho post hoc testem. Pokud se nepotvrdila v programu ANOVA normalita dat, rozdíly byly mezi skupinami porovnávány Kruskal-Walisovým neparametrickým testem. Hladina statistické významnosti byla pro všechny analýzy stanovena na hodnotu $\alpha < 0,05$.

4. VÝSLEDKY

4.1 Růstové parametry

4.1.1 Celková délka těla

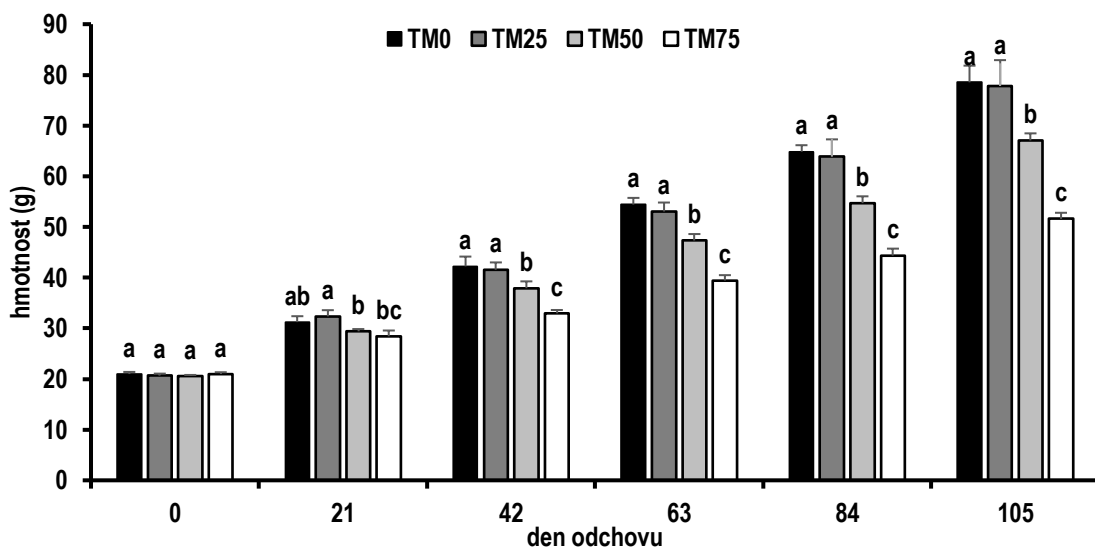
Grafu č. 1 znázorňuje délkový růst jednotlivých skupin okouna říčního v průběhu celého experimentu v závislosti na krmení odstupňovaným množstvím moučky z potměníka moučného v krmivu. Z grafu je patrné, že po 21 dnech experimentu vykázala nejvyšší přírůstek skupina TM25. Tento výsledek je statisticky významný ($p < 0,05$) v porovnání se skupinami TM 50 a TM 75. Po 42 a 63 dnech odchovu byl zaznamenán nejvyšší přírůstek u skupiny TM0. Rozdíly byly statisticky významné ($p < 0,05$) v porovnání se skupinami TM50 a TM75. V období od 42. do 84. dosáhla statisticky ($p < 0,05$) nejnižšího růstu skupina TM75. Po 84 dnech pokusu je zřejmý nejvyšší přírůstek u skupiny TM25, který je statisticky prokazatelný ($p < 0,05$) ve srovnání s TM50 a TM75. Z výsledků vyplývá, že na konci experimentu měla nejnižší přírůstek skupina TM75. Tento rozdíl je významný ($p < 0,05$) v porovnání se skupinami TM0 a TM25.



Graf č.1: Celková délka okounů v průběhu experimentu v závislosti na odstupňovaném množství moučky z potměníka moučného v krmivu. TM0 = kontrolní skupina, TM25 = 25% nahrazení rybí moučky moučkou z potměníka, TM50 = 50% nahrazení rybí moučky moučkou z potměníka, TM75 = 75% nahrazení rybí moučky moučkou z potměníka. Jednotlivá písmena nad sloupci indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$)

4.1.2 Hmotnostní parametry

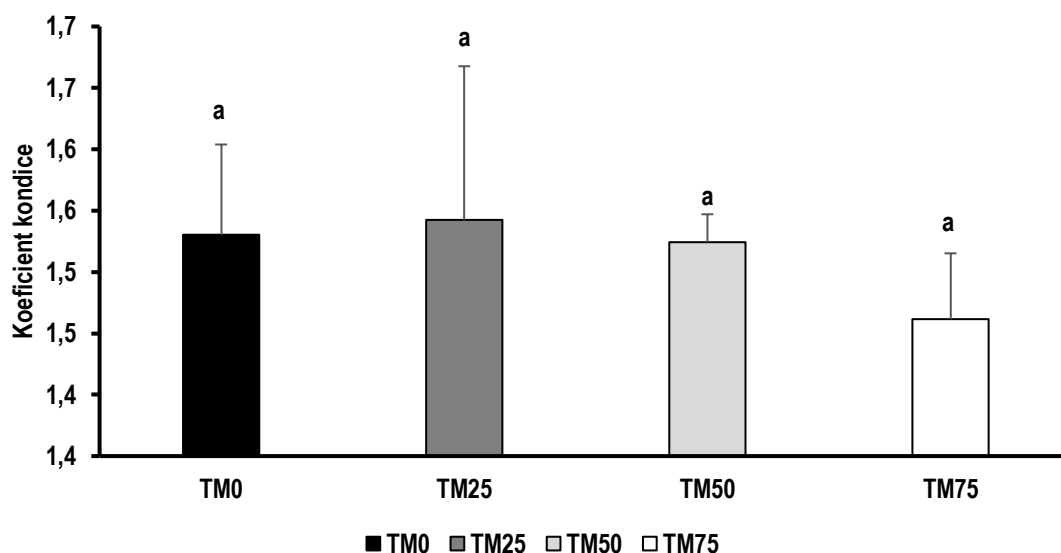
Graf č. 2 ukazuje celkovou hmotnost těla u jednotlivých skupin okouna, lišících se různým zastoupením moučky z potemníka v krmivu. Z grafu je patrné, že po 21 dnech experimentu vykazala skupina TM25 nejvyšší hmotnostní přírůstek. Tento rozdíl byl statisticky významný ($p < 0,05$) v porovnání s TM50 a TM 75. Od 42. dne odchovu až do konce experimentu dosahovaly statisticky ($p < 0,05$) nejvyšších hmotnostní přírůstků skupiny TM0 a TM 25. Naopak statisticky nejnižší hmotnost ($p < 0,05$) vykazala v tomto období skupina TM75, a to v porovnání se všemi ostatními skupinami.



Graf č.2: Celková hmotnost těla okounů v průběhu experimentu v závislosti na odstupňovaném množství moučky z potemníka moučného v krmivu. TM0 = kontrolní skupina, TM25 = 25% nahrazení rybí moučky moučkou z potemníka, TM50 = 50% nahrazení rybí moučky moučkou z potemníka, TM75 = 75% nahrazení rybí moučky moučkou z potemníka. Jednotlivá písmena nad sloupci indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$)

4.1.3 Koeficient kondice

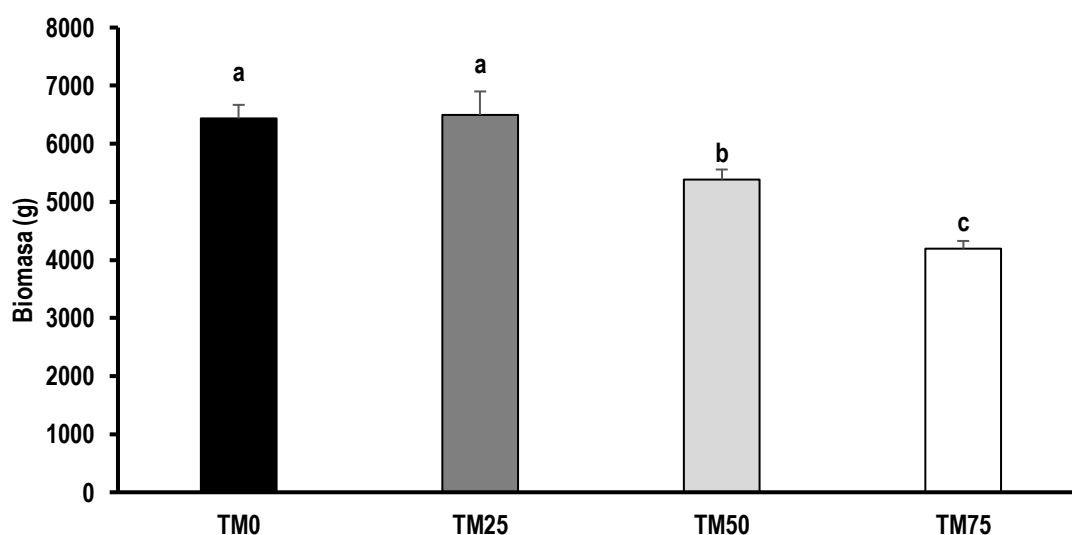
Graf č. 3 znázorňuje koeficient kondice jednotlivých skupin na konci experimentu. Z výsledků můžeme vidět, že nejnižší koeficient kondice vykazala skupina TM 75 a nejvyšší skupina TM25, nicméně rozdíly mezi jednotlivými skupinami nejsou statisticky signifikantní ($p > 0.05$).



Graf č.3: Koeficient kondice okounů v závislosti na odstupňovaném množství moučky z potměníka moučného v krmivu na konci experimentu. Jednotlivá písmena nad sloupci indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

4.1.4 Biomasa

Graf č. 4 ukazuje biomasu jednotlivých skupin na začátku a na konci pokusu. Z výsledků je zřejmé, že statisticky nejvyšší biomasu ($p < 0,05$) vykázaly skupiny TM0 a TM25 v porovnání se skupinami TM50 a TM75. Naopak statisticky nejnižší biomasa ($p < 0,05$) byla zjištěna u skupiny TM75, a to v porovnání se všemi ostatními skupinami.



Graf č.4: Biomasa jednotlivých skupin okounů v závislosti na odstupňovaném množství moučky z potměníka moučného v krmivu na konci experimentu. Jednotlivá písmena nad sloupci indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

4.2 Koeficient využití proteinu, přežití, specifická rychlost růstu,

Tabulka č.4 vyjadřuje využití proteinu, přežití a specifickou rychlost růstu

Z výsledků je patrné, že přežití bylo celkově na relativně vysoké úrovni a mezi skupinami nebyl shledán statisticky významný rozdíl ($p > 0.05$).

Signifikantně ($p < 0,05$) vyšších hodnot (1,26) specifické rychlosti růstu (SGR) dosáhly shodně skupiny TM0 a TM25. Naopak nejnižší hodnotu (0,86) vykazala skupina TM75. Rozdíl v SGR mezi TM75 a ostatními skupinami byl statisticky prokazatelný ($p < 0,05$).

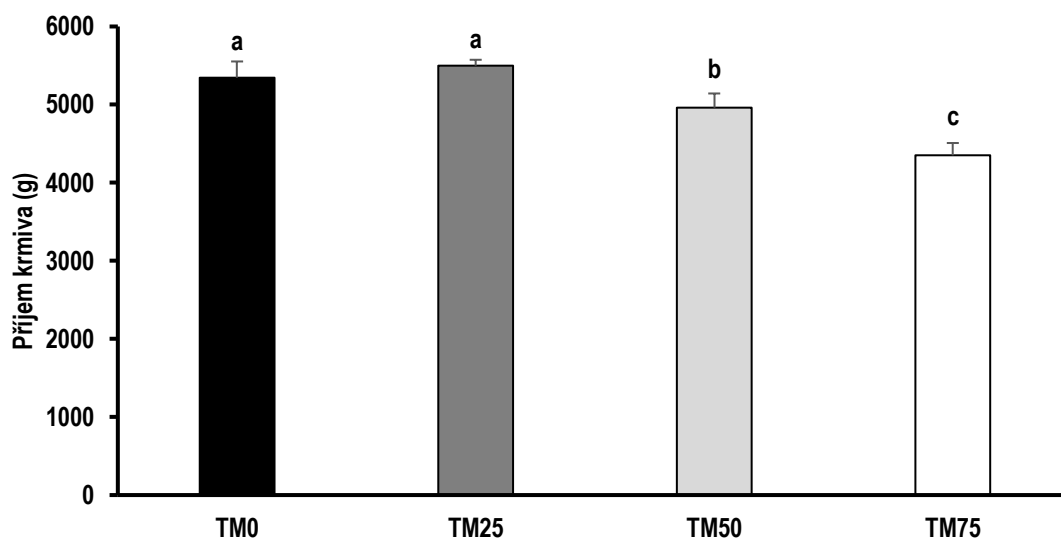
Výsledky odhalily, že během pokusu bylo nejlepšího využití proteinu dosaženo u skupiny TM0. Rozdíly byly statisticky významné ($p < 0,05$) v porovnání s TM50 a TM75. Na druhou stranu signifikantně ($p < 0,05$) nejhorší využití proteinu ve srovnání se všemi skupinami vykazala TM75.

Tabulka č. 4: Koeficient využití proteinu, přežití, specifická rychlost růstu. Jednotlivá písmena nad hodnotami indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

Skupina	TM0	TM25	TM50	TM75
Přežití (%)	99,09	99,09	98,48	98,78
Specifická rychlost růstu (%/den)	1,26 ^a	1,26 ^a	1,12 ^b	0,86 ^c
Využití proteinu	1,85 ^a	1,72 ^{ab}	1,60 ^b	1,21 ^c

4.3 Příjem krmiva

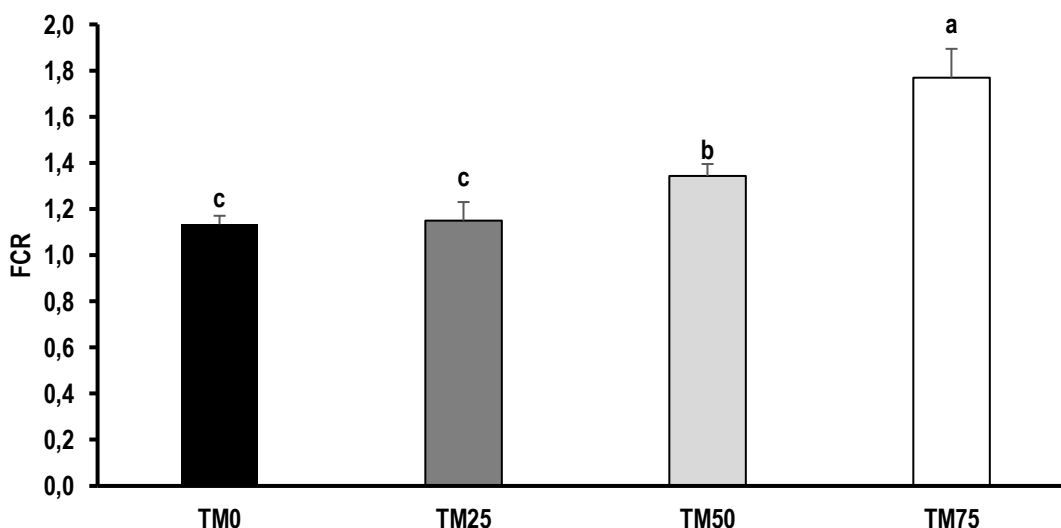
Graf č. 5 vyjadřuje příjem krmiva jednotlivých skupin okouna v závislosti na substituci rybí moučky moučkou z *T. molitor*. Z výsledků je patrné, že signifikantně nejvyšší příjem krmiva ($p < 0,05$) vykazaly skupiny TM0 a TM25, v porovnání s TM50 a TM75. Naopak statisticky významně ($p < 0,05$) nejnižší příjem krmiva byl zjištěn u TM75, a to ve srovnání se všemi skupinami.



Graf č.5: Příjem krmiva jednotlivých skupin okounů v závislosti na odstupňovaném množství moučky z potměníka moučného v potravě. Jednotlivá písmena nad sloupci indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

4.4 Koeficient konverze krmiva

Koeficient konverze krmiva (FCR) vyjadřuje graf č.6. Z výsledků je patrné, že statisticky nejlepších hodnot ($p < 0,05$) dosáhly skupiny TM0 a TM25, v porovnání s TM50 a TM75. Signifikantně ($p < 0,05$) nejhorsí hodnoty byly v porovnání se zbylými skupinami zaznamenány u TM75.



Graf č.6: Koeficient konverze krmiva u jednotlivých skupin okounů v závislosti na odstupňovaném množství moučky z potměníka moučného v potravě. Jednotlivá písmena nad sloupci indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

4.5 Organosomatické indexy a výtěžnost filet v závislosti na experimentálních dietách

Tabulka č. 5 sumarizuje organosomatické indexy a výtěžnost filet u jednotlivých skupin. Z výsledků je patrné, že mezi skupinami nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly ($p > 0,05$) v somatických indexech ani ve výtěžnosti filet.

Tabulka č. 5: Somatické indexy a výtěžnost filet u jednotlivých skupin okounů v závislosti na odstupňovaném množství moučky z potemníka moučného v potravě.

Somatické indexy	TM0	TM25	TM50	TM75
Index viscerálního tuku	14,23	13,65	14,14	14,27
Hepatosomatický index	1,53	1,53	1,65	1,58
Intestinální somatický index	0,75	0,73	0,84	0,87
Splenosomatický index	0,08	0,09	0,09	0,10
Výtěžnost filet (%)	38,50	39,79	38,22	37,42

4.6 Koeficient stravitelnosti živin jednotlivých experimentálních diet

Tabulka č. 6 znázorňuje koeficienty stravitelnosti živin u okounů, krměných experimentálními dietami. Z výsledků je patrné, že živiny byly okouny velice dobře přijímány s výjimkou fosforu a popeloviny, kde procento stravitelnosti nepřesáhlo ani u jedné skupiny 50 %. Výsledky rovněž odhalily vysokou stravitelnost MK, kdy podstatná část kyselin byla okouny strávena z více než 95 %. Dále je možné pozorovat, že zastoupení hmyzí moučky v krmivu mělo signifikantní vliv ($p < 0,05$) na stravitelnost jednotlivých živin i stravitelnost mastných kyselin (MK).

Tabulka č. 6: Koeficient stravitelnosti živin a mastných kyselin v závislosti na různých experimentálních dietách. Jednotlivá písmena nad hodnotami indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

	TM0	TM25	TM50	TM75
Sušina	78,95 ^a	77,01 ^c	77,58 ^b	76,52 ^d
Hrubý protein	92,72 ^a	90,99 ^b	90,42 ^b	87,48 ^c
Hrubý tuk	92,62 ^a	91,96 ^a	92,95 ^a	89,14 ^b
Fosfor	45,93 ^a	36,26 ^b	38,24 ^b	37,76 ^b
Popelovina	41,98	38,14	40,11	38,3
C10:0	89,08 ^a	90,34 ^a	79,81 ^b	93,71 ^a
C12:0	98,26	98,27	98,23	98,06
C13:0	98,44 ^a	98,29 ^b	97,92 ^c	97,92 ^c
C14:0	98,13	97,91	98,05	97,97
C14:1	99,09	99,08	99,11	98,64
C15:0	97,46 ^a	96,89 ^b	96,84 ^b	97,02 ^b
C15:1	97,36 ^a	96,80 ^b	96,59 ^b	96,82 ^b
C16:0	96,81 ^a	96,09 ^c	96,10 ^{bc}	96,33 ^c
C16:1	98,53	98,53	98,62	98,4
C17:0	95,17 ^a	91,70 ^b	88,03 ^d	90,07 ^c
C17:1	98,24 ^a	98,07 ^{ab}	98,11 ^{ab}	98,00 ^b
C16:3	99,39	99,33	99,38	99,69
C18:0	95,68 ^a	94,31 ^b	94,24 ^b	94,73 ^b
C18:1n9trans	96,22 ^a	95,40 ^{ab}	94,52 ^b	94,89 ^b
C18:1n9	97,90 ^{ab}	97,79 ^{bc}	97,93 ^a	97,71 ^c
C18:2n6:trans	97,39 ^a	96,92 ^d	97,07 ^c	97,27 ^b
C18:2n6	98,40 ^a	98,10 ^b	98,21 ^{ab}	98,21 ^{ab}
C18:3n6	98,74 ^a	98,61 ^b	98,71 ^{ab}	98,62 ^b
C18:3n3	98,90 ^a	98,70 ^b	98,84 ^{ab}	98,15 ^c
C20:0	95,10 ^a	93,92 ^{bc}	93,69 ^c	94,33 ^b
C20:1n9	97,05 ^a	96,81 ^a	95,68 ^b	77,40 ^c
C21:0	97,75 ^a	97,41 ^c	97,59 ^b	97,47 ^{bc}
C20:3n6	98,96 ^a	98,81 ^b	98,92 ^{ab}	98,85 ^{ab}
C20:4n6	98,87 ^{ab}	98,63 ^b	98,75 ^b	98,94 ^a
C20:3n3	98,20 ^a	97,94 ^c	98,12 ^{ab}	98,01 ^{bc}
C22:0	93,97 ^a	92,32 ^b	91,75 ^b	92,57 ^b
C22:1n9	85,64 ^b	98,86 ^a	99,12 ^a	99,07 ^a
C22:2	96,37 ^b	99,41 ^a	99,69 ^a	99,67 ^a
C24:0	98,78 ^a	98,39 ^b	98,55 ^b	98,78 ^a
C24:1n9	94,26 ^a	93,78 ^{ab}	93,72 ^{bc}	91,68 ^{bc}
C22:5n6	98,96 ^a	98,65 ^b	98,15 ^c	98,00 ^c
SFA	96,71 ^a	95,91 ^b	95,89 ^b	96,13 ^b
MUFA	97,76 ^b	97,77 ^b	97,88 ^a	97,60 ^c
PUFA	98,34 ^a	97,97 ^b	98,07 ^b	98,08 ^b
n3	98,99 ^a	98,70 ^c	98,83 ^b	98,65 ^c
n6	98,43 ^a	98,14 ^b	98,22 ^b	98,21 ^b
DHA	98,93 ^a	98,49 ^b	98,61 ^b	98,91 ^a
EPA	99,38 ^a	99,16 ^b	99,24 ^b	99,37 ^a

4.7 Vliv odstupňovaného množství moučky z potemníka moučného v krmivu na procentuální zastoupení živin a profil mastných kyselin v těle a ve filetech okouna říčního

Tabulka č.7 vyjadřuje procentuální zastoupení nutrientů a tab. č. 8 profil mastných kyselin v celém těle v závislosti na různých dietách okouna říčního. Z výsledků můžeme vyčíst, že vlhkost, mastné kyseliny C16:0, C21:0, C20:3n3 a celkové množství nasyčených mastných kyselin bylo signifikantně ($p < 0,05$) ovlivněno přidavkem hmyzí moučky ve stravě. Mezi ostatními nutrienty nebyl nalezen statisticky významný rozdíl ($p > 0,05$). Nejvyšší zastoupení z celkového počtu mastných kyselin v tělech ryb měla kyselina olejová (39-44 %), následovaná kyselinou palmitovou (13-15 %). Kyseliny eikosapentaenová (EPA) a dokosahexaenová (DHA), které mají prokazatelně pozitivní vliv na lidské zdraví, byly v relativně nízké koncentraci (1,69-1,96, resp. 5,88-6,98 %) a mezi skupinami nebyl shledán rozdíl v množství těchto kyselin ($p > 0,05$).

Tabulka č. 7: Procentuální zastoupení nutrientů v celém těle ryb v závislosti na předkládaném krmivu s obsahem hmyzí moučky. Jednotlivá písmena nad hodnotami indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

	TM0	TM25	TM50	TM75
Vlhkost	66,66 ^b	67,27 ^{ab}	68,81 ^a	67,92 ^{ab}
Sušina	33,34 ^a	32,73 ^{ab}	31,19 ^b	32,08 ^{ab}
Hrubý protein	19,66	19,71	19,82	19,07
Obsah hrubého tuku	11,85	11,57	10,85	11,8
Popeloviny	3,58	3,27	3,42	3,25

Tabulka č. 8: Procentuální zastoupení nutrientů ve filetech okouna v závislosti na předkládaném krmivu s obsahem hmyzí moučky. Jednotlivá písmena nad hodnotami indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

	TM0	TM25	TM50	TM75
Vlhkost	79,04	77,7	77,93	76,99
Sušina	20,96	22,3	22,07	23,01
Hrubý protein	19,89	21,1X	20,64	21,78
Hrubý obsah tuku	1,45	1,30	1,21	1,28
Popeloviny	1,11	1,11	1,12	1,11

Tabulka č. 9: Profil mastných kyselin v celém těle ryb v závislosti na předkládaném krmivu s obsahem hmyzí moučky. Jednotlivá písmena nad hodnotami indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

	TM0	TM25	TM50	TM75
C12:0	0,01	0,00	0,01	0,00
C13:0	0,01	0,01	0,01	0,01
C14:0	2,35	2,41	2,43	2,03
C14:1	0,15	0,19	0,19	0,16
C15:0	0,21	0,2	0,22	0,18
C15:1	0,05	0,05	0,05	0,05
C16:0	14,43 ^{ab}	15,86 ^a	14,92 ^{ab}	13,25 ^b
C16:1	6,3	7,51	7,26	6,23
C17:0	0,14	0,14	0,16	0,12
C17:1	0,26	0,26	0,27	0,24
C16:3	0,08	0,08	0,08	0,07
C18:0	1,22	1,2	1,24	0,99
C18:1n9trans	0,09	0,1	0,11	0,1
C18:1n9	44,07	42,1	41,52	39,08
C18:1n7	0	0	0	0
C18:2n6:trans	0,13	0,12	0,12	0,11
C18:2n6	14,74	14,56	15,07	15,14
C18:3n6	0,25	0,28	0,32	0,27
C18:3n3	3,03	3,26	3,1	3,16
C20:0	0,1	0,08	0,09	0,08
C20:1n9	0,9	0,94	0,82	0,92
C21:0	0,41 ^a	0,35 ^{ab}	0,34 ^{ab}	0,31 ^b
C20:3n6	0,25	0,28	0,3	0,27
C20:4n6	0,24	0,23	0,25	0,21
C20:3n3	0,23 ^a	0,20 ^{ab}	0,19 ^{ab}	0,17 ^b
C22:0	0,03	0,02	0,03	0,02
C22:1n9	0,34	0,28	0,51	0,33
C20:5n3 (EPA)	1,79	1,74	1,96	1,69
C22:2	0,73	0,68	0,91	0,37
C24:0	0,15	0,14	0,15	0,13
C24:1n9	0,08	0,07	0,06	0,08
C22:5n6	0,39	0,36	0,32	8,34
C22:6n3 (DHA)	6,82	6,27	6,98	5,88
ΣSFA	19,08 ^{ab}	20,44 ^a	19,61 ^{ab}	17,14 ^b
ΣMUFA	52,24	51,5	50,78	47,18
ΣPUFA	27,87	27,31	28,61	35,23
Σn-3	11,87	11,48	12,23	10,9
Σn-6	16	15,82	16,39	24,33
AI	0,3	0,32	0,31	0,26
TI	0,26	0,28	0,26	0,23
h/H	4,21	3,73	3,98	4,26
ΣPUFA/ΣSFA	1,46	1,34	1,46	2,22
Σn-3/Σn-6	0,74	0,73	0,75	0,59

Tabulka č. 10: Profil mastných kyselin ve filetech okouna v závislosti na předkládaném krmivu s obsahem hmyzí moučky. Jednotlivá písmena nad hodnotami indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

	TM0	TM25	TM50	TM75
C12:0	0,01	0,01	0,01	0,01
C13:0	0,01	0,01	0,01	0,01
C14:0	1,59	1,62	1,37	1,53
C14:1	0,12	0,13	0,12	0,13
C15:0	0,18	0,17	0,15	0,18
C15:1	0,04	0,04	0,03	0,04
C16:0	16,97	18,35	15,94	17,2
C16:1	4,54	5,09	4,5	4,87
C17:0	0,13	0,13	0,11	0,13
C17:1	0,2	0,2	0,18	0,21
C16:3	0,06	0,05	0,04	0,06
C18:0	2,51	2,68	2,37	2,73
C18:1n9trans	0,09	0,1	0,1	0,11
C18:1n9	32,58	31,44	27,39	29,69
C18:1n7	0,67	0,31	0,67	2,07
C18:2n6:trans	0,11	0,11	0,33	0,1
C18:2n6	12,34	12,07	10,58	12,24
C18:3n6	0,23	0,25	0,25	0,31
C18:3n3	2,84	2,66	2,15	2,37
C20:0	0,14	0,14	0,12	0,13
C20:1n9	1,56	1,42	1,18	1,36
C21:0	0,41	0,38	0,34	0,36
C20:3n6	0,41 ^b	0,47 ^{ab}	0,50 ^{ab}	0,61 ^a
C20:4n6	0,6	0,59	0,52	0,64
C20:3n3	0,2	0,19	0,16	0,17
C22:0	0,03	0,03	0,02	0,03
C22:1n9	0,11	0,1	0,09	0,1
C20:5n3 (EPA)	3,06	3,08	2,47	3,03
C22:2	0,03	0,02	0,03	0,14
C24:0	0,34	0,34	0,32	0,35
C24:1n9	0,06	0,08	0,08	0,08
C22:5n6	0,81	0,78	12,93	0,83
C22:6n3 (DHA)	17	16,92	14,95	18,18
ΣSFA	22,34	23,87	20,76	22,67
ΣMUFA	39,97	38,92	34,34	38,66
ΣPUFA	37,61	37,13	44,83	38,47
Σn-3	23,11	22,86	19,72	23,75
Σn-6	14,5	14,28	25,11	14,72
AI	0,3	0,33	0,28	0,3
TI	0,21	0,23	0,21	0,22
h/H	3,69	3,34	3,34	3,53
ΣPUFA/ΣSFA	1,68	1,56	2,58	1,7
Σn-3/Σn-6	1,6	1,6	1,23	1,62

Tabulka č. 9 udává procentuální zastoupení nutrientů a tab. č. 10 profil mastných kyselin ve filetech ryb v závislosti na různých dietách. Z tabulky je patrné, že vliv diet na procentuální zastoupení jednotlivých nutrientů a mastných kyselin neměl statisticky významný vliv ($p > 0,05$) na konstituci filet okounů, s výjimkou kyseliny C20:3n6, u které se koncentrace zvyšovala s vyšším zastoupením TM v dietě ($p < 0,05$). Z výsledků překvapivě vyplynulo, že druhé největší zastoupení z celkového počtu mastných kyselin měla DHA, jejíž koncentrace se pohybovala v rozmezí od 14,95 % (TM50) do 18,18 % (TM75). Množství EPA bylo stále na relativně nízké úrovni, nicméně v porovnání s obsahem v celém těle byla koncentrace ve filetech vyšší (2,47-3,08 %).

4.8 Dopady na životní prostředí spojené s odchovem okouna s využitím krmiv na bázi hmyzí moučky

Množství vyprodukovaných odpadních látek, spojený s odchovnou částí experimentu a dopad na životní prostředí při produkci 1 kg okouna říčního jsou shrnuty v tabulce č. 9.

Z výsledků je evidentní, že různá dieta mezi skupinami měla signifikantní vliv ($p < 0,05$) na produkci celkového tuhého odpadu (CTO), dusíku a fosforu. Pozitivní vliv byl zjištěn u TM75, kdy došlo k statisticky významné redukci ($p < 0,05$) CTO, v porovnání s ostatními skupinami. Naopak statisticky nejvyšší zatížení ($p < 0,05$) při produkci CTO byl zaznamenán u TM25. Stejný fenomén u TM25 byl pozorován i u odpadu dusíku a fosforu, zatímco TM25 a TM75 vykazaly podobné výsledky jako kontrolní skupina ($p < 0,05$). Dieta s obsahem hmyzí moučky měla statisticky významný vliv ($p < 0,05$) na odpad dusíku, kdy nejnižších hodnot dosáhla kontrolní skupina.

Hodnota eFIFO se pohybovala v rozmezí 0,99-1,45 a signifikantně se snižovala se zvyšujícím se obsahem hmyzí moučky v krmivu ($p < 0,05$).

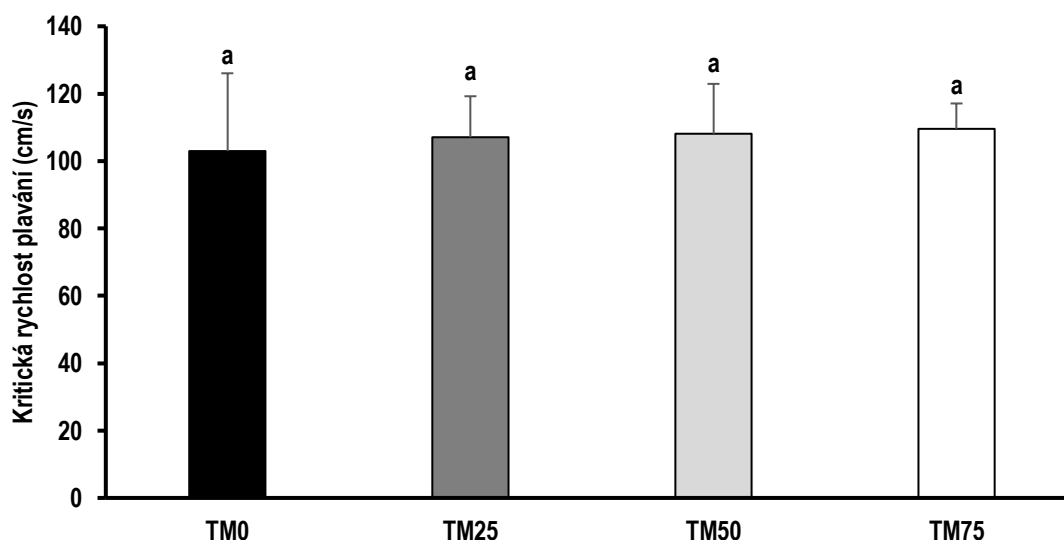
Pokud jde o dopady na životní prostředí při produkci 1 kg okouna, vykazaly skupiny TM50 a TM 75 signifikantně větší zátěž v porovnání s kontrolou ($p < 0,05$). Na druhou stranu nebyl shledán statisticky významný rozdíl u acidifikace, využití půdy a potenciálu globálního oteplování mezi skupinami TM0 a TM 25 ($p > 0,05$).

Tabulka č. 11: Produkce odpadu z odchovné části experimentu a dopady na životní prostředí spojené s vyprodukováním 1 kg okouna. Jednotlivá písmena nad hodnotami indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

	TM0	TM25	TM50	TM75
Celkový tuhý odpad (g)	1115 ^b	1268 ^a	1104 ^b	1004 ^c
Odpad dusíku (g)	385 ^c	497 ^{ab}	471 ^b	535 ^a
Odpad fosforu (g)	2860 ^b	3514 ^a	3038 ^b	2660 ^b
Potenciál globálního oteplování (kg CO ₂)	3,00 ^a	3,24 ^a	4,01 ^b	5,58 ^c
Spotřeba energie	0,35 ^a	2,45 ^b	5,29 ^c	10,19 ^d
Eutrofizace	0,36 ^a	1,54 ^b	3,14 ^c	5,94 ^d
Využití půdy (m ²)	2,40 ^a	2,76 ^a	3,60 ^b	5,23 ^c
Spotřeba vody (m ³)	0,03 ^a	0,37 ^b	0,82 ^c	1,61 ^d
eFIFO	1,45 ^a	1,19 ^b	1,07 ^{bc}	0,99 ^c

4.9 Vliv experimentálních diet na kritickou rychlost plavání okounů

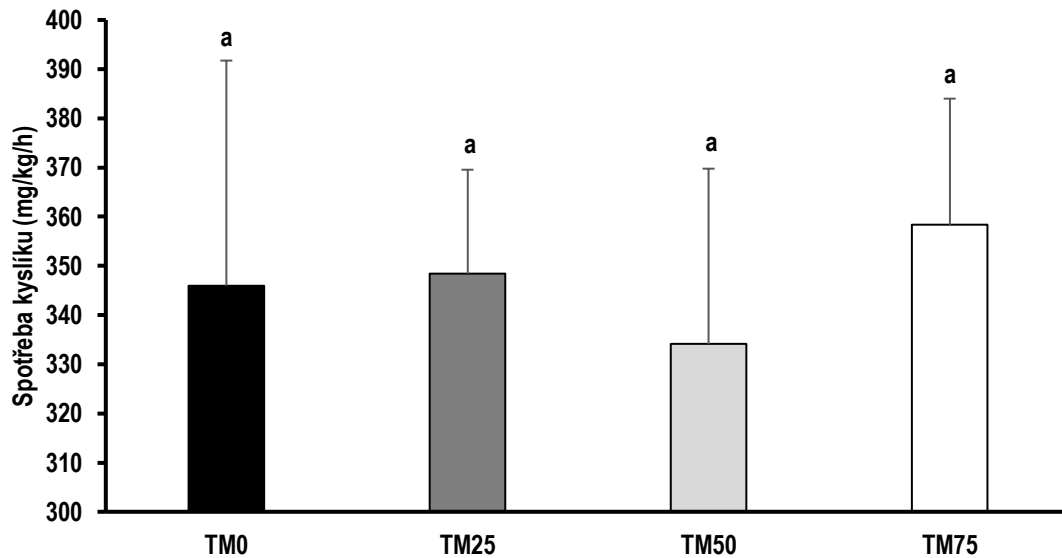
Graf č. 7 ukazuje vliv podávání krmiv s odstupňovaným množstvím moučky z potměníka moučného na kritickou rychlost plavání okouna říčního. Z výsledků je patrné, že mezi jednotlivými skupinami nebyl statisticky prokazatelný rozdíl ($p > 0,05$).



Graf č.7: Kritická rychlost plavání jednotlivých skupin okounů při plaveckých testech v závislosti na odstupňovaném množství moučky z potměníka moučného v potravě. Jednotlivá písmena nad sloupci indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

4.10 Vliv experimentálních diet na spotřebu kyslíku v průběhu plaveckých testů okouna

Graf č. 8 znázorňuje vliv experimentálních diet na spotřebu kyslíku v průběhu plaveckých zátěžových testů okouna říčního. Z výsledků je možné vidět, že mezi jednotlivými skupinami nebyl signifikantní rozdíl ($p > 0,05$).



Graf č.8: Spotřeba kyslíku jednotlivých skupin okounů v průběhu plaveckých testů v závislosti na odstupňovaném množství moučky z potměníka moučného v potravě. Jednotlivá písmena nad sloupci indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

4.11 Obsah vody a pH ve filetech ryb v závislosti na experimentálních dietách a absolvování plaveckých testů

Tabulka č.10 shrnuje obsah vody a pH ve filetech okouna v závislosti na experimentální dietě a absolvování či neabsolvování plaveckých zátěžových testů. Z výsledků je zřejmé, že ve filetech ryb nebyl shledán mezi jednotlivými skupinami rozdíl v hodnotách pH ($p > 0,05$). Z hlediska obsahu vody ve filetech ryb byl prokázán signifikantní rozdíl ($p < 0,05$) mezi skupinami ryb TM 50, a to u ryb které prošly plaveckými testy, v porovnání s rybami, které zátěžovými testy neprošly. Mezi ostatními skupinami ryb nebyl shledán statisticky signifikantní rozdíl ($p > 0,05$).

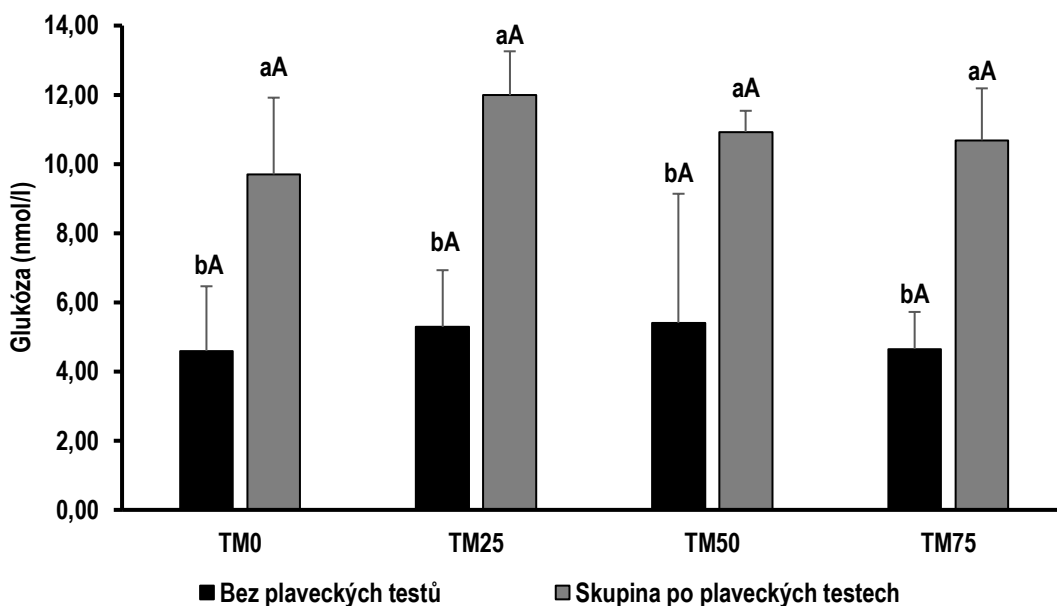
Tabulka č. 12: Obsah vody a hodnota pH v závislosti na experimentálních dietách okouna a absolvování či neabsolvování plaveckého zátěžového testu. Jednotlivá písmena nad hodnotami indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

	TM0	TM25	TM50	TM75
pH				
Ryby po absolvování plaveckých testů	6,74 ± 0,04	6,74 ± 0,06	6,77 ± 0,04	6,80 ± 0,01
Ryby bez zátěžových testů	6,77 ± 0,03	6,71 ± 0,10	6,78 ± 0,01	6,73 ± 0,10
Obsah vody (%)				
Ryby po absolvování plaveckých testů	74,44 ± 0,16	74,27 ± 0,36	74,72 ± 0,54 ^b	73,96 ± 1,98
Ryby bez zátěžových testů	74,76 ± 0,64	75,53 ± 1,06	75,61 ± 0,59 ^a	75,28 ± 0,81

4.12 Vliv experimentálních diet a absolvování zátěžových plaveckých testů na hematologické ukazatele

4.12.1 Glukóza

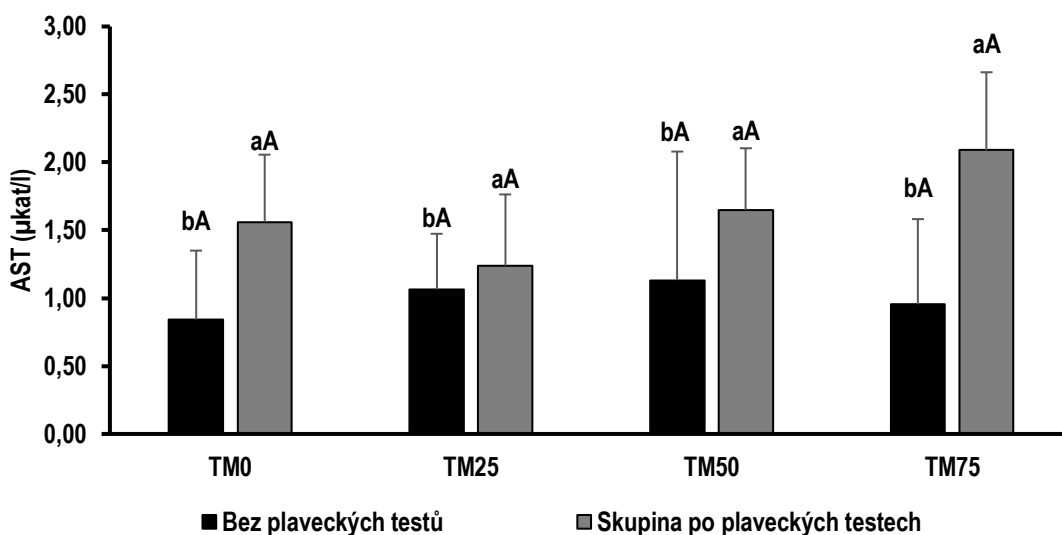
Graf č. 9 ukazuje hladinu glukózy v krvi ryb v závislosti na experimentálních dietách a absolvování zátěžových plaveckých testů. Z výsledků je patrné, že dieta neměla vliv na koncentraci glukózy v krvi, nicméně ryby, které prošly zátěžovými testy plavání měly statisticky vyšší hladinu glukózy v krvi ($p < 0,05$) v porovnání s rybami, jež nebyly podrobeny zátěžovým zkouškám.



Graf č. 9: Hladina glukózy v krvi ryb v závislosti na experimentálních dietách okouna a absolvování či neabsolvování plaveckého zátěžového testu. Jednotlivá písmena nad sloupci indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

4.12.2 Aspartátaminotransferáza (AST)

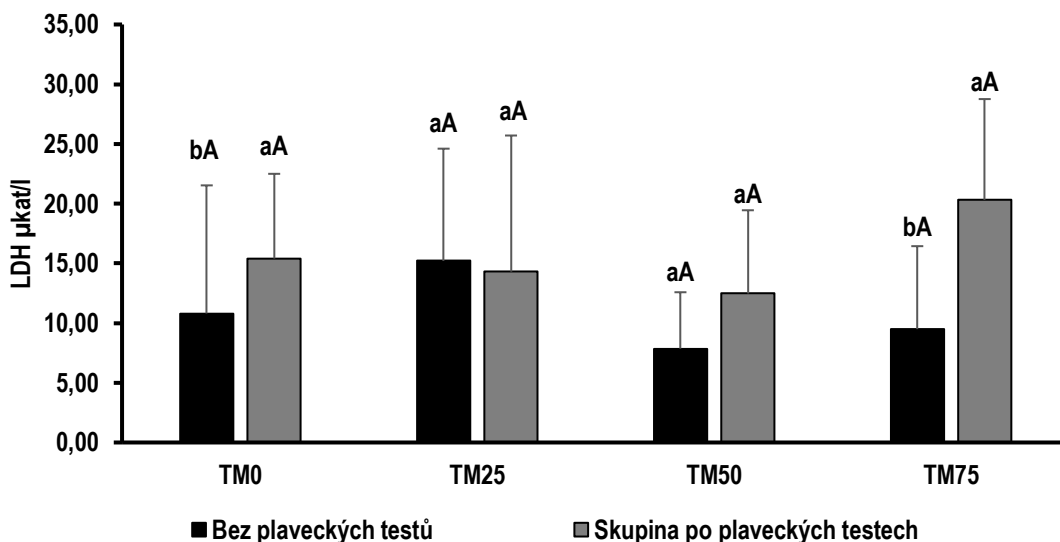
V grafu č. 10 můžeme vidět koncentraci AST v krvi ryb v závislosti na různé stravě ryb a absolvování či neabsolvování plaveckých zátěžových testů. Výsledky naznačují, že experimentální diety neměly statisticky významný vliv na hladinu AST v krvi ($p > 0,05$). Na druhou stranu je zřejmé, že skupiny ryb, které byly podrobeny plaveckému testu měly signifikantně zvýšenou hladinu AST v krvi ($p < 0,05$), v porovnání s rybami, které testy plavání neabsolvovaly. Nejvyšší hladina AST byla zaznamenána u skupiny ryb TM75, jež absolvovaly zátěžové testy plavání. Naopak nejmenší úroveň AST v těle ryb byla pozorována u kontrolní skupiny, která plavecké testy neabsolvovala.



Graf č. 10: Hladina apatátaminotransferázy v krvi ryb v závislosti na experimentálních dietách okouna a absolvování či neabsolvování plaveckého zátěžového testu. Jednotlivá písmena nad sloupci indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

4.12.3 Laktátdehydrogenéza (LDH)

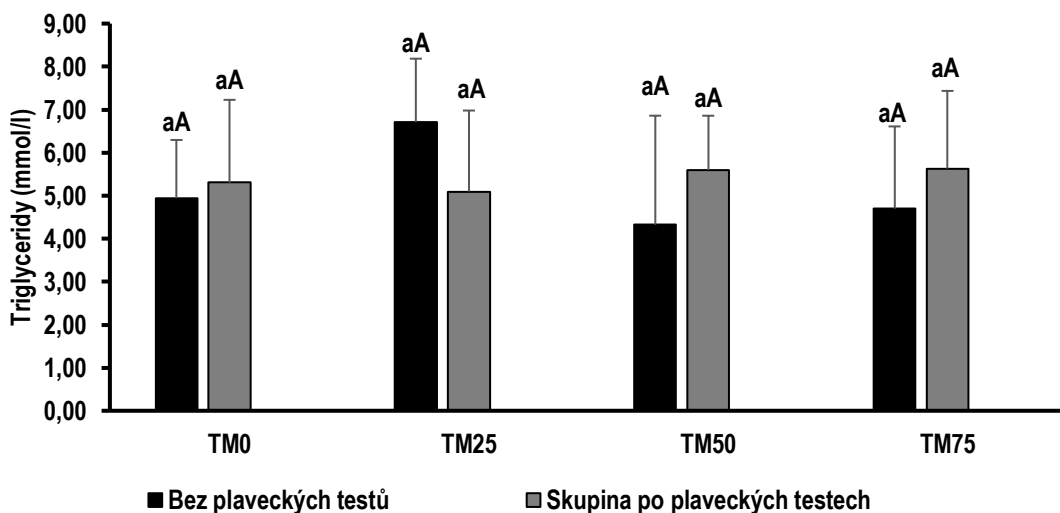
V grafu č. 11 je možné sledovat hladinu LDH v krvi ryb v závislosti na experimentálních dietách ryb a podrobení či nepodrobení okounů plaveckým zátěžovým testům. Výsledky odhalily, že testované diety neměly statisticky významný vliv na úroveň LDH v krvi ryb ($p > 0,05$), avšak u skupin TM0 a TM75 byla zjištěna statisticky vyšší hladina LDH v krvi ryb, které byly podrobeny zátěžovým testům, v porovnání s rybami, které zátěžové zkoušky neabsolvovaly ($p < 0,05$).



Graf č. 10: Hladina laktátdehydrogenázy v krvi ryb v závislosti na experimentálních dietách okouna a absolvování či neabsolvování plaveckého zátěžového testu. Jednotlivá písmena nad sloupci indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

4.12.4 Triglyceridy

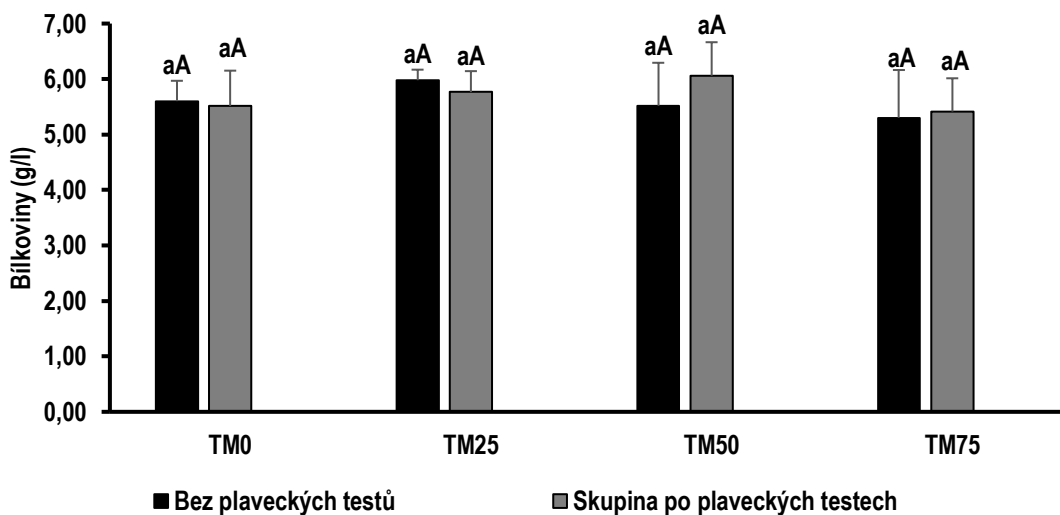
Graf č. 11 znázorňuje úroveň triglyceridů v krvi ryb v závislosti na předkládaném krmivu a podrobení se zátěžovým plaveckým testům. Z výsledků je zřejmé, že experimentální diety ani absolvování zátěžových testů neměly statisticky významný vliv na hladinu triglyceridů v krvi ($p > 0,05$).



Graf č. 11: Hladina triglyceridů v krvi ryb v závislosti na experimentálních dietách okouna a absolvování či neabsolvování plaveckého zátěžového testu. Jednotlivá písmena nad sloupci indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

4.12.5 Bílkoviny

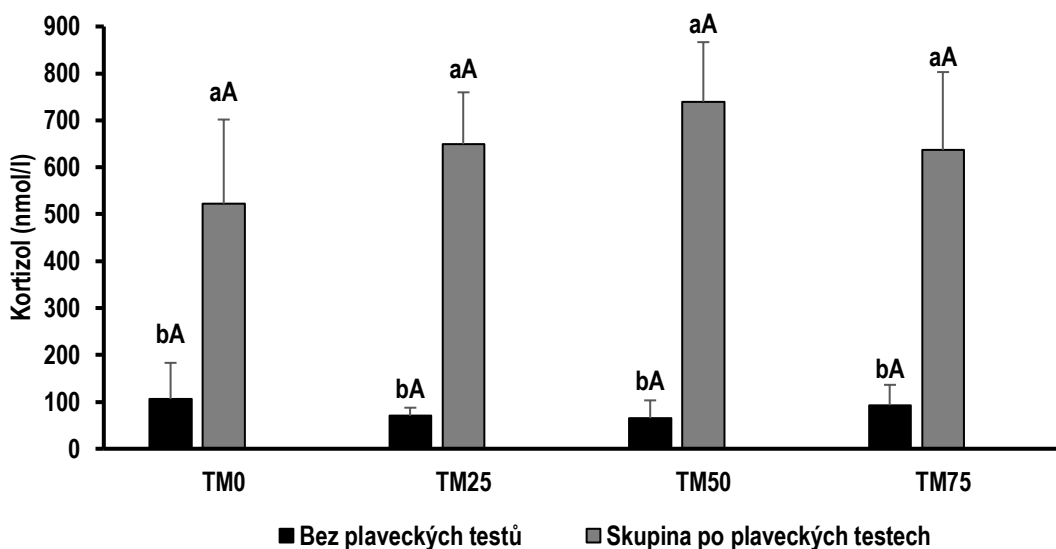
Graf č. 12 shrnuje hladinu bílkovin v krvi ryb jednotlivých skupin v závislosti na absolvování zátěžových plaveckých a experimentálních dietách. Výsledky prokázaly, že experimentální strava ani absolvování či neabsolvování plaveckých testů nemělo vliv na koncentraci bílkovin v krvi ($p > 0,05$).



Graf č. 12: Hladina bílkovin v krvi ryb v závislosti na experimentálních dietách okouna a absolvování či neabsolvování plaveckého zátěžového testu. Jednotlivá písmena nad sloupci indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$)

4.12.6 Kortizol

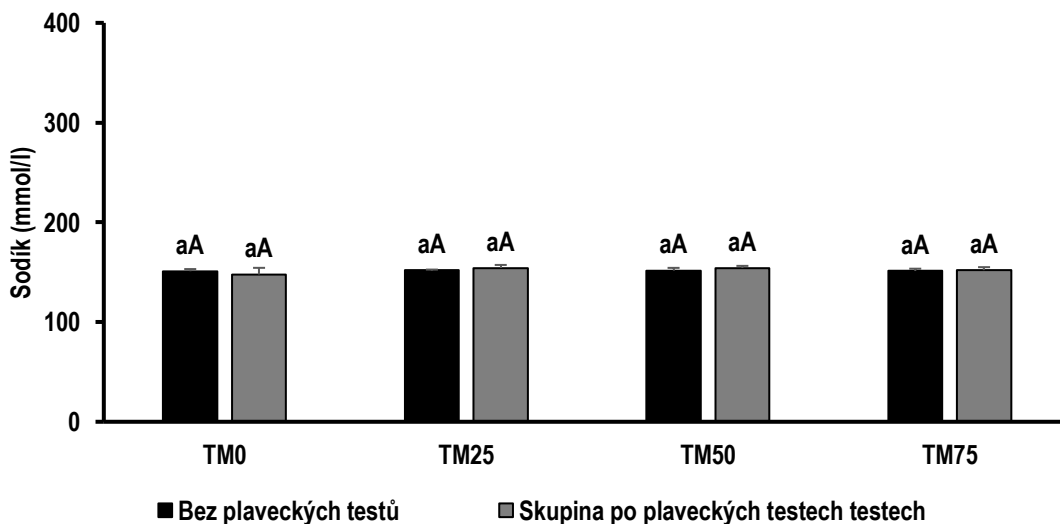
V grafu č. 13 můžeme vidět hladinu kortizolu v krvi ryb v závislosti na lišících se testovaných krmivech a podstoupení či nepodstoupení zátěžových plaveckých testů. Experimentální dieta neměla vliv na míru kortizolu jednotlivých skupin ryb ($p > 0,05$), nicméně bylo zjištěno, že skupiny ryb, jež prošly zátěžovými zkouškami plavání, vykazovaly signifikantně vyšší hladinu kortizolu v krvi než skupiny ryb, které testy plavání nepodstoupily ($p < 0,05$).



Graf č. 13: Hladina kortizolu v krvi ryb v závislosti na experimentálních dietách okouna a absolvování či neabsolvování plaveckého zátěžového testu. Jednotlivá písmena nad sloupci indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

4.12.7 Sodík

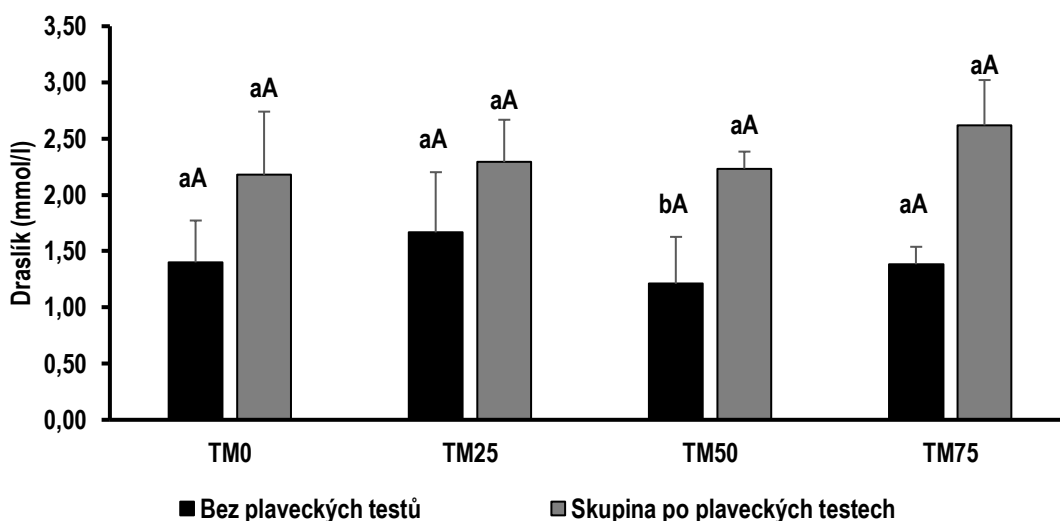
Koncentraci sodíkových iontů v krvi ryb v závislosti na podrobení se plaveckých zátěžových testů a experimentálních dietách ukazuje graf č. 14. Z výsledků je zřejmé, že různé diety neměly významný vliv ($p > 0,05$) na koncentraci sodíku v krvi ryb, stejně tak jako podstoupení či nepodstoupení testů plavání.



Graf č. 14: Hladina sodíkových iontů v krvi ryb v závislosti na experimentálních dietách okouna a absolvování či neabsolvování plaveckého zátěžového testu. Jednotlivá písmena nad sloupci indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

4.12.8 Draslík

Úroveň draselných iontů v závislosti na experimentálních dietách a absolvování či neabsolvování plaveckých zátěžových testů je znázorněna v grafu č. 15. Výsledky odhalily, že experimentální krmiva neměla vliv na hladinu draslíku v krvi ryb ($p > 0,05$). U skupin TM50 a TM75, které byly podrobeny zátěžovým testům, byla zjištěna signifikantně vyšší hladina draselných iontů ve srovnání s rybami, jež zátěžovými testy neprošly. U TM 25 a TM 50 nebyl zjištěn vliv zátěžových testů na hladinu draselných iontů v krvi ($p > 0,05$).

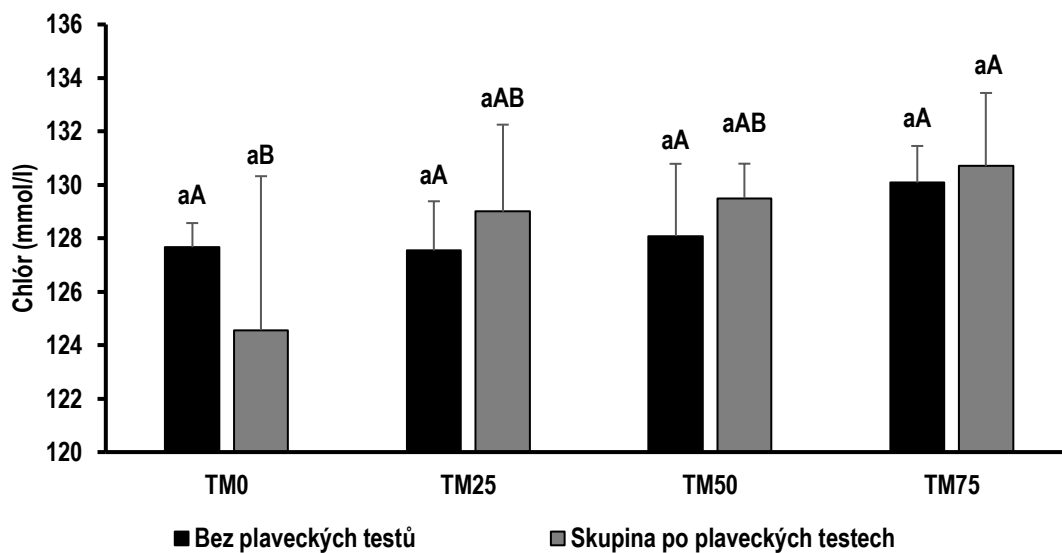


Graf č. 15: Hladina draselných iontů v krvi ryb v závislosti na experimentálních dietách okouna a absolvování či neabsolvování plaveckého zátěžového testu. Jednotlivá písmena nad sloupci indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

4.12.9 Chlór

Koncentrace chlóru v krvi ryb v závislosti na experimentálních dietách a podstoupení či nepodstoupení plaveckých zátěžových testech je možné pozorovat v grafu č. 16.

Z výsledků je zřejmé, že nejvyšší koncentrace chlóru v krvi ryb byla zjištěna u skupiny TM75, která byla podrobena zátěžovým testům. Naopak nejnižší hladina chlóru v krvi byla zjištěna u kontrolní skupiny ryb, které absolvovaly plavecké testy. Rozdíly mezi těmito dvěma skupinami byly signifikantní ($p < 0,05$). Mezi ostatními skupinami nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl ($p > 0,05$).



Graf č. 16: Hladina chlóru v krvi ryb v závislosti na experimentálních dietách okouna a absolvování či neabsolvování plaveckého zátěžového testu. Jednotlivá písmena nad sloupci indikují signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami ($p < 0,05$).

5. DISKUZE

Široká škála vodních organismů byla v nedávném období podrobena výzkumu, zabývajícím se možnostmi využití hmyzí moučky v krmivech (Henry a kol., 2015, Lock a kol., 2018, Hua, 2021) a výsledky ukázaly, že hmyzí moučky mají do budoucna velký potenciál stát se významným zdrojem bílkovin v krmivech akvakulturně chovaných živočichů (Hua a kol., 2019). Vysoká cena a kvalita masa činí z okouna říčního (*P. fluviatilis*) vhodného kandidáta pro diverzifikaci evropské intenzivní akvakultury (Stejskal a kol., 2011). Využití hmyzí moučky z bráněnky (*H. illucens*) v krmivu okouna říčního testoval Stejskal a kol. (2020). Jejich výsledky naznačují, že až 40 % přídavek moučky z bráněnky v krmivu může být s úspěchem využíván v chovu okouna bez negativního vlivu na růstové parametry.

Cílem této práce bylo otestovat možnosti využití moučky z potemníka moučného (*T. molitor*), jež je považována jako alternativní složka zdroje bílkovin v krmivech pro ryby, na okounu říčním. Výsledky této studie by mohly nabídnout další volbu zdroje bílkovin v tomto rostoucím odvětví akvakultury.

Okouni v našem experimentu byli v dobré kondici, což ilustruje kondiční faktor, který byl u všech skupin vyšší než jedna. Přežití na konci odchovné části pokusu bylo rovněž na relativně vysoké úrovni (> 98 %). Experimentální diety s přídavkem hmyzí moučky byly rybami velice dobře přijímány, což potvrzuje denní příjem krmiva, jenž byl u testovaných skupin ryb krmených hmyzí moučkou vyšší než u kontrolní skupiny. Stejskal a kol. (2020) rovněž dosáhl podobných výsledků v parametru denního příjmu krmiva s odtučněnou moučkou z bráněnky. Zdá se, že do určité míry (40 %) odtučněný suchozemský hmyz nesnižuje příjem krmiva u okouna říčního. Podobné výsledky byly shledány rovněž i u dalších karnivorních druhů, jako u pstruha duhového (*O. mykiss*) (Chemello a kol., (2020), pražmy červené (*Pargus major*) (Ido a kol., 2019), . Na druhou stranu Gasco a kol. (2016) ve své studii na mořčáku evropském (*D. labrax*) uvádí, snížení příjmu krmiva u testovaných ryb, jejichž dieta obsahovala přídavek moučky z *T. molitor*. Tyto rozdíly lze pravděpodobně připsat technice zpracování moučky, což potvrzuje Fasakin a kol. (2003), který uvádí zvýšení příjmu krmiva u keříčkovce červenolemého (*C. gariepinus*), krmeného odtučněnou moučkou z mouchy domácí (*M. domestica*), v porovnání s použitím moučky neodtučněné.

Růstové parametry byly podobné u kontrolní skupiny a TM25, nicméně vyšší zastoupení hmyzí moučky v krmivu měla za následek redukci růstu. To by mohlo souviset

s nutričními faktory jednotlivých diet. Množství bílkovin v potravě významně ovlivňuje růstové parametry okouna říčního (Fiogbé a kol., 2006; Mathis a kol., 2003). Podle Ringø a kol. (2012) přítomnost chitinu ve stravě zapříčiňuje redukcii růstu ryb z důvodu snížení energetické dostupnosti a stravitelnosti živin. K podobným závěrům dospěl také Weththasinghe a kol. (2021), který tvrdí, že nízká schopnost ryb využívat chitin jako energii brání růstu ryb při vyšších substitucích hmyzí moučky v krmivu. Odtučněná moučka z potměníka obsahuje 4,6 % chitinu (Basto a kol., 2020), takže zvýšení TM v krmivu korespondovalo se zvýšeným obsahem chitinu v dietách založených na TM. Další nutriční faktor ovlivňující růstové parametry ryb by mohl souviset s nedostatkem mastných kyselin (Henry a kol., 2015). V naší studii se vyšší zastoupení TM v dietě odrazila v nižším množství PUFA, což mohlo vést k redukcii růstu těchto skupin. Na druhou stranu Blanchard a kol. (2008) uvádí, že tento faktor je zanedbatelný, když v jeho studii rozdíly v poměru kyselin 18:2n-6/18:3n-3 mezi jednotlivými skupinami neměly vliv na růstové parametry juvenilních okounů.

Stejskal a kol. (2020) uvádí, že 40 % přídavek (42 % nahrazení rybí moučky) odtučněné moučky z *H. illucens* nemělo negativní vliv na růstové parametry okouna říčního v porovnání se skupinou, jejíž zdroj bílkovin tvořila výhradně rybí moučka. Předpokládá se, že moučka z *H. illucens* má lepší dopad na růst okouna v porovnání z TM. Tento předpoklad potvrzuje Mastoraki a kol. (2020), jenž uvádí, že při 30 % substituci rybí moučky moučkou z bráněnky nebo potměníka vykazala nejlepší růst a příjem krmiva skupina ryb s obsahem bráněnky v dietě.

Naše studie poukázala na nezávislost mezi množstvím TM v dietě a organosomatickými indexy, což potvrzují i předchozí publikace na růžišce šedé (*Pagellus bogaraveo*) (Iaconisi a kol., 2017) a paokounu Schrezerovým (*Siniperca scherzeri*) (Sankian a kol., 2018). HSI v naší studii se pohyboval v rozmezí 1,53-1,65, což je v souladu s publikací Stejskal a kol. (2020), kde HSI u okouna, krmeném odtučněnou moučkou z *H. illucens*, byl 1,21-1,76. Nicméně VSI zaznamenaný v naší práci byl v rozpětí 13,65-14,27, což je pro okouna podstatně vyšší hodnota, než uvádí předchozí studie. Výsledky zveřejněné Xu a kol. (2001) uvádí VSI na úrovni 8,79-10,56, Stejskal a kol. (2020) zaznamenal 2,79-3,06 a Kestemont a kol. (2001) 7-30-9,81. Tyto rozdíly mezi jednotlivými studii by mohly být zapříčiněny různou velikostí testovaných ryb, obsahem tuku v dietě, či periviscerálním tukem. Míra periviscerálního tuku v naší práci (8,75-9,27) se shoduje s výsledky Blanchard a kol. (2008) a rovněž hodnota SSI je srovnatelná s dřívějšími studii (Stejskal a kol. 2020). Relativní délka střeva okounů

v naší studii se významně nelišila mezi jednotlivými testovanými studii, což je v rozporu s Iaconisi a kol. (2018), který prokázal významný účinek hmyzí moučky na relativní délku střeva u pstruha duhového. Tento jev v naší studii by mohl souviset s plasticitou střev okouna při změně potravy (Ollson a kol., 2007). Okouni krmení vyšším zastoupením TM v dietě vykazovali nižší přírůstky při současném zachování relativní délky střeva.

Výtěžnost filet se v naší studii pohybovala na úrovni 37,42-39,79 % a byla tedy nepatrně vyšší v porovnání s výsledky publikovanými Bochemtem (2020), jenž odchovával okouny na komerčním krmivu v RAS. Zároveň z výsledků naší studie vyplývá, že TM v dietě neměla vliv na výtěžnost filet, což je v souladu s dřívějšími studii (Piccolo a kol., 2017; Iaconisi a kol., 2018; Moutinho a kol., 2020).

Výsledky práce odhalily, že obsah TM ve stravě ryb nemělo vliv na biochemické ukazatele krevního séra, s výjimkou koncentrace AST, která přímo úměrně stoupala v závislosti na množství TM v dietě ryb. Aktivita AST může indikovat poškození jaterní tkáně, vyvolané stresovými faktory (Velíšek a kol., 2009). Song a kol. (2018) uvádí, že 18,75% nahrazení moučky z poterníka moučného v dietě způsobila poškození jater hybrida druhů kanice obrovského a (*Epinephelus lanceolatus*) a okouna hnědého (*Epinephelus fuscoguttatus*), což nepřímo ovlivnilo snížení růstové rychlosti. Stejně tak v naší studii vykázala statisticky nejnižší růst skupina TM75, což by mohlo souviset právě se stresem, vyvolaným vysokým obsahem poterníka moučného v krmivu. Iaconisi a kol. (2017) tuto domněnku potvrzuje, když výsledky jeho studie na růžiše šedé (*P. bogaraveo*) odhalily zvýšené množství kyseliny mléčné ve svalovině a sníženou hodnotu pH, související s vysokou anaerobní glykolýzou, potvrzující zvýšený stresový stav u skupiny ryb, krmených 50% přídatkem moučky z poterníka moučného v porovnání s kontrolní skupinou a skupinou, jež byla krmena 25% přídatkem hmyzí moučky.

Přítomnost TM v experimentálních dietách negativně ovlivnila stravitelnost živin s výjimkou popelovin. Nižší stravitelnost nutrientů v porovnání s rybí moučkou byla pravděpodobně zapříčiněna chitinem, obsaženým v dietách založených na TM. Weththasinghe a kol. (2021) uvádí, že chitin znesnadňuje stravitelnost živin narušováním aktivity trávicích enzymů, a přestože mnoho druhů ryb má schopnost produkovat enzym chitinázu, jež chitin rozkládá (Ringø a kol., 2012), zdá se, že jiným druhům tato schopnost chybí (Kroeckel a kol., 2012; Guerreiro a kol., 2020). Přítomnost chitinázy u okouna potvrdil Graig a kol. (2000), nicméně schopnost zvířat chitin trávit je obecně malá a se zvyšujícím se obsahem chitinu v potravě se ještě více snižuje (Olsen a kol., 2006;

Khempapa a kol., 2011). Vyšší obsah vlákniny a chitinu by mohlo mít za následek zkrácení doby průchodu zažívacím ústrojím, což u ryb prokázal Olsen a kol. (2006). Tím se v důsledku snižuje možnost přítomných enzymů natrávit přijatou potravu. Lindsay a kol. (1984) uvádí, že chitin se váže na bílkoviny a další látky, např. vápenné soli, a tím brání aktivitě chitinázy. Tím by se v naší práci dala vysvětlit nižší stravitelnost proteinů u experimentálních skupin, jejichž dieta byla založena na hmyzí moučce.

Nižší stravitelnost lipidů se zvyšujícím se zastoupením hmyzí moučky v dietách našeho experimentu je ve shodě s předešlými pracemi (Piccolo a kol., 2017; Belghit a kol., 2018; Belghit a kol., 2019; Weththasinghe a kol., 2021). Některé studie uvádí, že chitin se u ryb a savců váže na tuky a žluč (Tharanathan a Kittur, 2003; Weththasinghe a kol., 2021). Tato vazebná kompetice se zdá být nepatrná, aby zhoršila stravitelnost lipidů u TM25 a TM50, nicméně dostačující u TM75. Našemu zjištění dává za pravdu i nedávná studie Guerreira a kol. (2020), která uvádí významně nižší aktivitu lipázy ve střevech smuhy královské (*Argyrosomus regius*) krmené stravou s vysokým obsahem chitinu.

Stravitelnost mastných kyselin závisí na stupni nasycení, délce řetězce a stupni tání (Hua a Bureau, 2009) a snižuje se s délkou řetězce a zároveň zvyšuje s vyšším stupněm nenasycenosti (Olsen, 1998). Výsledky naší studie jsou v souladu s výše zmíněnými údaji, když úroveň stravitelnosti mastných kyselin byly dle posloupnosti PUFA > MUFA > SFA. Výsledky vysoké stravitelnosti mastných kyselin v naší práci jsou zároveň ve shodě se studii provedenými na lososu atlantském (Lock a kol., 2016; Belghit a kol., 2019).

Pokud jde o stravitelnost fosforu, Wang a kol. (2017) uvádí u tlamouna nilského (*O. niloticus*), krmeného moučkou z mouchy domácí (*M. domestica*), stravitelnost na úrovni 89,21-92,41 % a nezjistil žádné signifikantní rozdíly mezi jednotlivými skupinami. Naše výsledky (36,26-45,93 %) ukazují na nižší stravitelnost fosforu než výše zmíněné studie. Na druhou stranu jsou srovnatelné s Basto a kol., (2020), jenž uvádí u morčáka evropského (*D. labrax*) stravitelnost fosforu různých experimentálních diet, u nichž bylo 20 % proteinu nahrazeno moučkami z bráněnky, potměníka nebo cvrčka v rozmezí 57,2-63,9 %. Rozdíly ve výsledcích jednotlivých studií by mohly být vysvětleny různým pH v žaludku napříč druhy. Zhang a kol. (2015) uvádí, že zejména vyšší pH může snížit dostupnost fosforu. Žaludek okouna má hodnotu pH 4,16-5,94 (Solovyev a kol., 2016), zatímco pH v žaludku tlamouna je 1,8-2 (Moriarty, 1973) a skokana volského 2-3 (Zhan a kol., 2015), což je výrazně méně v porovnání s okounem. Kumar a kol. (2012) navíc

uvádí, že schopnost využití fosforu se značně liší i mezi karnivorními a omnivorními druhy.

Výsledky naší práce neprokázaly, až na jedinou výjimku, statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými skupinami v obsahu bílkovin, tuků, popeloviny a sušiny v tělech ryb. Výjimkou byl obsah sušiny, který byl signifikantně nižší u TM 50 v porovnání s kontrolní skupinou. Toto zjištění se shoduje s Mastoraki a kol. (2020), který zmiňuje signifikantně nižší obsah sušiny u mořčáka evropského (*D. labrax*) krmeného TM. Na druhou stranu toto zjištění je v rozporu s dalšími studiemi, které potvrzují, že krmivo s obsahem moučky z potměníka nemá vliv na celkové složení těla ryb (Khosravi a kol., 2018; Sankian a kol., 2018a; Rema a kol., 2019), s výjimkou popelovin (Gasco a kol., 2016; Stejskal a kol., 2020), které vykazují zpravidla vyšší hodnoty se zvyšujícím se zastoupením TM v dietě.

Profil mastných kyselin v tělech ryb korespondoval se složením jednotlivých testovaných diet našeho experimentu. Převládající mastnou kyselinou byla kyselina olejová (c18:1n9), následovaná kyselinou linolovou (c18:2n6), což se shoduje s prací Bocherta a kol. (2020). Vyšší obsah kyseliny olejové byl nalezen rovněž u okounů, krmených různými zdroji lipidů (Blanchard a kol., 2008). Özogul and Özogul (2007) potvrzují, že tato mastná kyselina je převažující MUFA u většiny druhů ryb.

Profil mastných kyselin ve filetech ryb v našem experimentu odpovídal složení mastných kyselin u okounů, odchovaných v RAS na komerčních krmivech (Bochert, 2020). Nezávislost mezi mírou substituce TM v krmivu a složením mastných kyselin ve filetech se rovněž shoduje s předešlými studiemi na paokounu Scherzerovu (*S. scherzeri*) (Sankian a kol., 2018), okouníku Schlegelovu (*Sebastes schlegelii*) (Khosravi a kol., 2018) a pstruhu duhovém (*O. mykiss*) (Iaconisi a kol., 2018). Stejně tak nízký obsah tuků (1,20-1,45 %) ve filetech ryb v našem pokusu koresponduje s dřívějšími experimenty u divokých faremně chovaných okounů (Kestemont a kol., 2001; Xu a Kestemont, 2002; Mairesse a kol., 2006; Orban a kol., 2007).

Maso z okounů chovaných v intenzivní akvakultuře je považováno za cenný zdroj mastných kyselin, jako jsou např. kyselina linolová (LA), kyselina eikosapentaenová (EPA či kyselina dokosahexaenová (DHA) (Stejskal a kol., 2011). Z výsledků práce vyplývá, že množství LA a DHA v tělech ryb bylo relativně vysoké, zatímco množství EPA bylo nižší v porovnání s dřívějšími studiemi (Jankowska a kol., 2010; Stejskal a kol., 2011).

Nižší obsah LA a vyšší podíl EPA a DHA ve filetech ryb v porovnání s kompozicí těchto látek ve stravě poukazují na schopnost elongace a desaturace c18:3n-3, což

potvrzují i předešlé studie (Xu a Kestemont, 2002; Blanchard a kol., 2008). K této konverzi mohlo rovněž dojít z prekursoru c18:2n6, protože množství této mastné kyseliny bylo nižší ve filetech než v krmivu. Naše studie ukázala, že převládajícími nasycenými a mononenasyčenými mastnými kyselinami ve filetech ryb byly kyselina palmitá (15,94-18,35 %) a kyselina olejová (27,39-32,58 %). Podobné výsledky byly rovněž reportovány pro okouna (Jankowska a kol., 2010; Stejskal a kol., 2011) i další druhy ryb (Testi a kol., 2006).

V naší práci jsme se rovněž zabývali dopadem hmyzí moučky v krmivech na životní prostředí. K tomu bylo za potřebí stanovit tři indikátory, které jsou považovány za důležité ukazatele environmentální udržitelnosti odvětví akvakultury, a to produkci pevného odpadu, dopad na životní prostředí spojený s produkcí jednoho kilogramu ryb a eFIFO (Amirkolaie, 2011; Bohnes a kol., 2019; Kok a kol., 2020). Produkce odpadu spojená s využitím krmiv smoučkou z poterníka moučného nebyla významně vyšší v porovnání s rybí moučkou z hlediska celkového tuhého odpadu a fosforu, s výjimkou TM 25. Pro celkový tuhý odpad byla nejnižší hodnota zaznamenaná u TM 75. Na druhou stranu výsledky naší práce odhalily vyšší produkci odpadu dusíku u všech diet založených na hmyzí moučce v porovnání s rybí moučkou. Stravitelnost krmiv je považována za významnou složku ovlivňující produkci odpadu v akvakulturní praxi (Amirkolaie, 2011). Jak bylo zmíněno výše, chitin je hlavní látka snižující stravitelnost krmiv založených na hmyzí moučce. Odstranění chitinové složky z hmyzí moučky (Henry a kol., 2015), např. doplněním enzymu (Gasco a kol., 2016) a probiotik obsahujících bakterie produkující chitinázu, by mohla být cesta, jak zlepšit stravitelnost krmiv a v konečném důsledku i způsob, jak snížit množství vyprodukovaného odpadu.

Pokud jde o dopad na životní prostředí spojený s produkcí jednoho kilogramu ryb, naše výsledky odhalily srovnatelné hodnoty kontrolní skupiny a TM 25 pro potenciál globálního oteplování, acidifikaci a využití půdy, zatímco spotřeba energie, vody a eutrofizace byla významně vyšší u všech krmiv založených na hmyzí moučce. Tyto rozdíly byly způsobeny především konverzí krmiv, jež stoupala se zvyšujícím se podílem hmyzí moučky v krmivu. Le Feón a kol. (2019) potvrdily větší acidifikaci, eutrofizaci, spotřebu energie, využití půdy a potenciál globálního oteplování při využití krmiv založených na moučce z poterníka v porovnání s rybí moučkou při produkci jednoho kilogramu pstruha. Stejskal a kol. (2020) uvádí, že při využití moučky z bráněnky v krmivu okouna došlo ke snížení spotřeby vody v porovnání s rybí moučkou, zatímco potenciál globálního oteplování, využití půdy a spotřeba energie se zvýšily.

Z výsledků našeho výzkumu vyplynulo, že zvyšující se přísávek hmyzí moučky v krmivu okouna významně snížil eFIFO, což znamená že na kilogram vyprodukovaných ryb je zapotřebí nižší množství ryb odlovených z moří, dále zpracovaných na rybí moučku a olej. Toto zjištění je v souladu se Stejskalem a kol. (2020), jenž uvádí redukci eFIFO se zvyšujícím se zastoupením *H. illucens* v krmivu okouna. Data z naší práce, týkající se eFIFO by mohly být důležitou informací pro chov okouna v RAS, jenž se stává důležitou součástí evropské akvakultury (Policar a kol., 2019).

Stejně tak poznatky z druhé části našeho experimentu, týkající se vlivu experimentálních diet na metabolismus, plavecký výkon a s ním spojený výdej energie, by mohly obohatit poznání v oblasti fyziologie ryb krmených dietou s alternativním zdrojem bílkovin.

Předchozí studie uvádějí, že zdroj bílkovin v krmivu ryb nemá vliv na plavecký výkon (Wilson a kol., 2007; Chai a kol., 2013, výdej energie (Wilson a kol., 2007) a spotřebu kyslíku ryb (Gerile a Pirhonen, 2017). Ke stejným závěrům jsme dospěli i v této práci. Tudorache a kol. (2008) uvádí u okouna $U_{krit.}$ 113,04 cm/s nebo 6,35 BL/s. Cano-Barbacil a kol. (2020) zmiňuje $U_{krit.}$ 97,7 cm/s nebo 5,97 BL/s u okounů měřících 16,37 cm. K podobným výsledkům jsme dospěli i v naší práci ($U_{krit.}$ 97,42–117,23 cm/ nebo 5,43–6,49 BL/s). Stejskal a kol. (2009) uvádí spotřebu kyslíku u okouna 261,9–279,7 mg O₂/kg/h při 23 °C. K podobným výsledkům (150,1–278,5 mg O₂/kg/h) dospěl Zakęs a kol. (2003) u okouna chovaného ve stejné teplotě vody. Tyto studie jsou ve shodě s našimi výsledky (265,2–302,0 mg/kg/h). Martos-Sitcha a kol. (2018) zjistili, že spotřeba kyslíku roste se zvyšující se rychlostí protiproudu vody. Výsledky našeho pokusu ukazují na vyšší potřebu kyslíku okouna při zvýšeném proudu vody, při současném vynaložení menšího množství energie k přesunu jednotky tělesné váhy vztaženou na jednotku vzdálenosti. Spotřeba kyslíku okounů prudce rostla, dokud $U_{krit.}$ nedosáhla 70–80 %, nicméně poté se zvyšovala už jen mírně, dokud nedošlo k únavě ryb. Tento trend byl potvrzen u mnoha druhů ryb, kdy v určitém kritickém bodě plavání dochází k přesunu využití od aerobní energie k anaerobní (Webb, 1971; Moves a West, 1995; Burgetz a kol., 1998).

V průběhu plavání využívají ryby energii z katabolismu triglyceridů, a to až do fáze 80 % kritické rychlosti plavání. Následují anaerobní aktivity, kdy dochází ke štěpení glykogenu na glukózu pomocí glykogenolýzy. Glukóza je poté uvolněna do krve a odtud distribuována do cílových tkání (Hammer, 1995; Moves a West, 1995). Měření koncentrace triglyceridů a glukózy může poskytnout užitečné informace o tom, jakým způsobem využívají okouni energii v průběhu zátěžových testů plavání. Výsledky naší

práce odhalily neměnnost koncentrace triglyceridů i glukózy u testovaných i netestovaných ryb. To by mohlo být vysvětleno konstantním proudem 4,6 cm/s v nádržích v průběhu 106denní odchovné části experimentu. Hammer a kol. (1995) uvádí, že vystavení ryb stálému proudu při odchovu má pozitivní účinek na kritickou rychlost plavání.

Výsledky našeho experimentu ukázaly, že nutriční hodnoty testovaných diet neměly vliv na kritickou rychlost plavání, což je v souladu s dřívějšími studii (Wilson a kol., 2007; Regan a kol., 2010; Gerile a Pirhonen, 2017). Nicméně prokazatelný vliv na kritickou rychlost plavání měly některé mastné kyseliny. Ke stejným výsledkům dospěl také McKenzie a kol. (1998) na lososu atlantským. Negativní vztah mezi n-3 PUFA a rychlostí plavání je nečekaný a v rozporu s výsledky Wagnera a kol. (2004). Chatelier a kol. (2006) uvádí, že změny ve složení mastných kyselin u ryb mají vliv na fyziologické vlastnosti, včetně kritické plavecké schopnosti. Složení mastných kyselin ryb závisí na kompozici stravy (Turchini a kol., 2009), ale i dalších faktorech. V naší studii bylo složení EPA, DHA a MUFA v dietách a tělech ryb mírně rozdílné. Je to způsobeno vlastností okouna biosyntetizovat DHA z EPA a prekurzoru c18 (Xu a kol., 2001; Xu a Kestemont, 2001). Z tohoto důvodu je z výsledků naší práce zřejmé vyšší množství DHA v tělech okouna v porovnání s dietou, zatímco množství EPA a kyseliny linoleové nižší. McKenzie a kol. (1998) uvádí, že osmnácti uhlíkaté kyseliny jsou odpovědné za plavecké schopnosti lososa atlantského. V naší práci jsme zjistili, že vyšší množství kyseliny olejové má negativní vliv na plavecký výkon okouna říčního, což je ve shodě s Wagnerem a kol. (2004). Kyselina olejová může v kombinaci s dalšími mastnými kyselinami narušit činnost enzymu palmitoyltransferasa, který je odpovědný za zvýšení metabolismu červeného svalstva (Wagner a kol., 2004).

Barton (2002) uvádí, že vystavení ryb vyčerpávajícím podmínkám vede k fyziologickým změnám v organismu, jenž reaguje primární, sekundární a terciální odpovědí. Primární odpověď organismu zahrnuje vyplavení kortizolu z ledvin do krevního řečiště. Výsledkem sekundární odezvy jsou změny ve složení krve a tkáně, změna koncentrace iontů a zvýšení hladiny glukózy. Jako terciální odpověď je považován následný výkon, spojený s vyčerpáním organismu (Eissa a Wang, 2016). Naše výsledky odhalily, že okouni, kteří prošli zátěžovými testy plavání, měli dvojnásobnou hladinu glukózy a desetinásobnou hladinu kortizolu v krvi v porovnání s netestovanými rybami, což je ve shodě s Acerete a kol. (2004) a Jentoft a kol. (2005). Míra kortizolu v krvi u netestovaných okounů (46,9-116,0) je srovnatelná s Acerete a kol. (2004), jež uvádí 45

ng/ml (124 mmol/l) a relativně vyšší, než je normální hladina u ryb (Barton, 2002). To poukazuje na vyšší vnímavost okouna na stresové faktory a nižší schopnost aklimatizace.

Rozdíly v koncentraci Na^+ nebyly mezi jednotlivými skupinami statisticky významné, nicméně u skupiny TM75 byla koncentrace K^+ byla průkazně vyšší u testovaných ryb ve srovnání s netestovanými. Zvýšená koncentrace draslíku byla rovněž zaznamenána u testovaného pstruha duhového. To je pravděpodobně zapříčiněno ztrátou K^+ ze svalů zapojených do plavání a depolarizací buňky, kdy dochází k substituci K^+ za NH_4^+ a následném vstřebání draslíkových iontů erytrocyty (Nielsen a Lykkeboe, 1992; Wicks a kol., 2002). Zvýšení koncentrace draslíkových iontů může být rovněž způsobeno sníženým pH krve a tlakem kyslíku (Cnaani a kol., 2014) a osmoregulační dysfunkcí (Imanpoor a kol., 2017). Rovněž jsme pozorovali zvýšenou koncentraci Cl^- u testovaných okounů TM75 v porovnání s TM0. To by mohlo být způsobeno absorpcí Cl^- během vzniku kyseliny mléčné v bílém svalstvu.

Výsledky práce ukazují, že dieta neměla vliv na biochemické ukazatele, což potvrdili Li a kol. (2017) u kapra Jian (celkové množství proteinu, AST, triglycerid, glukóza), Magalhães a kol. (2017) u morčáka evropského (celkový protein, glukóza, triglycerid) Sankian a kol. (2018) u paokouna Scherzerova, (triglycerid, celkový protein, AST), Khosravi a kol. (2018) u okouníka Schlegelova (celkový protein, triglycerid, AST) a Tubin (2020) u tlamouna nilského (celkový protein, glukóza). AST je enzym, využívaný organismem při poškození jaterních buněk (Gharraei a kol., 2011), dále se účastní syntézy proteinů (Masola a kol., 2008) a produkce glukózy prostřednictvím glukoneogeneze (Tejpal a kol., 2009). Z našich výsledků je patrné zvýšení koncentrace AST u okounů, kteří prošli zátěžovými testy v porovnání s netestovanými jedinci. Dále jsme nezjistili statisticky významné rozdíly v koncentraci bílkovin a glukózy v krvi mezi testovanými a netestovanými rybami. Zvýšení AST mohlo souviset s poškozením jaterních buněk a následným uvolněním AST do krevního oběhu. Poškození jater s následnou zvýšenou aktivitou AST při akutním cvičení potvrzuje u savců Zhao a kol. (2010) a Ruhee a kol. (2020).

Výsledky naší práce ukazují, že dieta s obsahem potemníka moučného neměla vliv na obsah vody ve filetech ryb, které nebyly využity pro hodnocení plaveckých výkonů. Ke stejným výsledkům dospěl také Iaconisi a kol. (2017) u růžichy šedé, Sankian a kol. (2018) u druhu vřeténka mandarín (*Sinchiropus splendius*), Iaconisi a kol. (2018) u pstruha duhového a Khosravi a kol. (2018) u okouníka Schlegelova. Stejně tak nebyly shledány významné rozdíly v obsahu vody ve filetech testovaných ryb. To je ve shodě

s Reganem a kol. (2010), jehož výsledky nevykázaly signifikantní rozdíly v obsahu vody ve svalovině u lososa čavyči (*Oncorhynchus tshawytscha*), chovaného ve sladké vodě. Hodnota pH svalstva netestovaných ryb je ve shodě s Homolkou a kol. (2020) pro okouny chované na farmě. Výsledky naší práce nevykázaly statistický významný vliv diety na hodnotu pH svalstva, což potvrzuje Iaconisi a kol. (2018) u pstruha duhového. Na druhou stranu Iaconisi a kol. (2017) uvádí signifikantně nižší pH ve svalstvu růžichy šedé, u skupiny ryb, jejichž dieta obsahovala 50 % substituci rybí moučky moučkou z potemníka moučného v porovnání se skupinou ryb, jejichž hlavní zdroj proteinu tvořila pouze rybí moučka. Základní hodnota pH v tělech ryb je druhově specifická a je závislá na mnoha faktorech (Bugeon a kol., 2003).

Výsledky naší studie naznačují potenciální využití hmyzí moučky v krmivech. Budoucí akvakultura zaměřená na chov okouna říčního by měla zohlednit vnímavost okouna ke stresovým faktorům a na základě toho mít vhodně navržený a provozovaný systém RAS. Pozornost by měla být určitě věnována optimálnímu zastoupení jednotlivých složek v potravě, především pak profilu mastných kyselin, který se ukázal být důležitým faktorem ovlivňujícím schopnost a kritickou rychlost plavání okouna říčního.

6. ZÁVĚR

Teoretická část předložené diplomové práce se zabývala biologií, chovem a významem okouna říčního v akvakultuře. Dále byla popsána biologická charakteristika druhů hmyzu schválených v Evropské unii pro využití v krmivu hospodářských zvířat určených pro humánní konzum a jejich využití v krmivech pro ryby. Praktická část se již zaměřila na náš experiment, který proběhl na Ústavu akvakultury a ochrany vod v Českých Budějovicích. Výzkum byl zaměřen na posouzení vlivu moučky z potměníka moučného v krmivu na růstové parametry, biochemické ukazatele, plavecký výkon a metabolismus okouna říčního. Dále se naše práce zabývala dopady na životní prostředí spojené s chovem okouna s využitím hmyzí moučky v krmivu.

Výsledky získané z naší studie ukázaly, že až 50% nahrazení moučky z potměníka moučného v krmivu nemělo vliv na délkové přírůstky okouna říčního. Při 75% substituci již docházelo ke statisticky významným rozdílům v délce ryb v porovnání s TM0, TM25 a TM50. Z hlediska hmotnostních přírůstků, biomasy, specifické rychlosti růstu, koeficientu konverze krmiva a příjmu krmiva vykazaly nejlepší výsledky TM0 a TM25, v porovnání s TM50 a TM75. Signifikantní rozdíly nebyly pozorovány v organosomatických indexech a výtěžnosti filet. Naopak významné byly rozdíly ve stravitelnosti živin, procentuálním zastoupením živin a profilu mastných kyselin v celém těle ryb.

Experimentální diety neměly vliv na kritickou rychlost plavání a spotřebu kyslíku ryb v zátěžových testech. Rozdíly nebyly pozorovány rovněž u hodnoty pH a obsahu vody ve filetech ryb. Výjimkou byla skupina TM50, kde byl zjištěn signifikantní rozdíl v obsahu vody ve filetech mezi rybami, které prošly zátěžovými testy a netestovanými rybami. Z pohledu hematologických ukazatelů nebyl pozorován vliv diet, s výjimkou Cl⁻, kde byl shledán významný statistický rozdíl mezi skupinami TM75 a kontrolou. Signifikantní rozdíly u vybraných hematologických ukazatelů byly potvrzeny u skupin, jež prošly zátěžovými testy plavání v porovnání se skupinami, které plavecké testy neabsolvovaly.

Z hlediska dopadu na životní prostředí odhalily výsledky naší studie významný statistický rozdíl mezi jednotlivými skupinami. Hodnota eFIFO, sloužící jako důležitý indikátor dopadu chovu ryb na životní prostředí, významně klesala při zvyšujícím se zastoupením hmyzí moučky v krmivu.

Z výsledků naší studie vyplynulo, že až 50% nahrazení moučky z potměníka moučného v krmivu okouna je možné bez negativního vlivu na délkové a hmotnostní

přírůstky. Vyšší substituce se projevila redukcí růstu. Na druhou stranu se zvyšujícím se zastoupením hmyzí moučky v krmivu klesala hodnota eFIFO, indikující množství ulovených ryb na produkci jednoho kilogramu ryb v technických akvakulturách. Optimální zastoupení moučky z potměníka v krmivu různých druhů ryb ve vztahu k růstovým parametrům a dopadům na životní prostředí je problematika, kterou by se mohly v budoucnu věnovat podobně orientované studie.

7. Přehled použité literatury

- Abanikannda, M. F., 2012. Nutrient digestibility and hematology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with varying levels of locust (*Locusta migratoria*) meal. Bachelor of Aquaculture and Fisheries Management. Federal University of Agriculture, Abeokuta, Nigeria.
- Adámek, Z., Helešic, J., Maršálek, B., Rulík, M., 2010. Aplikovaná hydrobiologie (2. rozšířené upravené vydání), FROV JU, Vodňany, 350 s.
- Adewolu, M.A., N.B. Ikenweiwe, and S.M. Mulero. 2010. Evaluation of an animal protein mixture as a replacement for fishmeal in practical diets for fingerlings of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). Israeli Journal of Aquaculture, Bamidgah. 62:237–244.
- Agata, J., Silvia, N.M., Zuzanna, M., Mateusz, R., Bartosz, K., Jan, M., 2019. The utilization of full-fat insect meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) nutrition: The effects on growth performance, intestinal microbiota and gastrointestinal tract histomorphology. Annals of Animal Science. 19, 747-765.
- Aguilar-Miranda, E. D., López, M. G., Escamilla-Santana, C., Barba de la Rosa, A. P., 2002. Characteristics of maize flour tortilla supplemented with ground *Tenebrio molitor* larvae. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50, 192-195.
- Achionye-Nzeh, C.G., Ngwudo, O.S., 2003. Growth response of *Clarias anguillaris* fingerlings fed larvae of *Musca domestica* and soya bean diet in the laboratory. Bioscience Biotechnology Research. Communications. 15, 221–223.
- Ai H, Wang F, Xia Y, Chen X, Lei C., 2012. Antioxidant, antifungal and antiviral activities of chitosan from the larvae of housefly, *Musca domestica* L. Food Chemistry. 132(1):493–8.
- Ajani, E.K., Nwanna, L.C., Musa, B.O., 2004. Replacement of fishmeal with maggot meal in the diets of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. WorldAquaculture. 35, 52–54.
- Akiyama, T., Murai, T., Hirasawa, Y., Nose, T., 1984. Supplementation of various meals to fishmeal diet for chum salmon fry. Aquaculture 37, 217–222.
- 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.
- Amirkolaie, A.K., 2011. Reduction in the environmental impact of waste discharged by fish farms through feed and feeding. Reviews in Aquaculture. 3, 19-26.
- Aniebo, A.O., E.S. Erundu, and O.J. Owen. 2009. Replacement of fish meal with maggot meal in African catfish (*Clarias gariepinus*) diets. Revista Científica UDO Agrícola 9:666–671.

- Antonopoulou, E., Nikouli, E., Piccolo, G., Gasco, L., Gai, F., Chatzifotis, S., Mente, E., Kormas, K.A., 2019. Reshaping gut bacterial communities after dietary *Tenebrio molitor* larvae meal supplementation in three fish species. *Aquaculture*. 503, 628-635.
- Balogun, B.I., 2011, June. 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*). Dept Biological Sciences, Faculty of Science, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria.
- Banjo, A.D., Lawal, O.A., Songonuga, E.A., 2006. The nutritional value of fourteen species of edible insects in southwestern Nigeria. *African Journal of Biotechnology* 5, 298–301.
- Baras, E., Kestemont, P., Mélard, C., 2003. Effect of stocking density on the dynamics of cannibalism in sibling larvae of *Perca fluviatilis* under controlled conditions. *Aquaculture* 219, 241-255
- Barrows, F.T., Zitzow, R.E., Kinschi, G.A., 1993. Effects of surface water spray, diet and phase feeding on swim bladder inflation, survival and cost of production of intensively reared larval walleyes. *The Progressive Fish-Culturist*, 55, 224-228.
- Barroso, F.G., de Haro, C., Sanchez-Muros, M.J., Venegas, E., Martinez-Sanchez, A., Perez-Banon, C. 2014. The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture* 422, 193-201.
- Barry, T., 2004. Evaluation of the Economic, Social, and Biological Feasibility of Bioconverting Food Wastes With the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*). University of Texas, 176 pp.
- Barton, B.A., 2002. Stress in fishes: a diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology*. 42, 517-525.
- Basto, A., Matos, E., Valente, L.M.P., 2020. Nutritional value of different insect larvae meals as protein sources for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture*. 521, 735085.
- Begun, N.N., Chakraborty, S.C., Zaher, M., Abdul, M.M., Gupta, M.V., 1994. Replacement of fishmeal by low cost animal protein as a quality fish feed ingredients for the Indian major carp, *Labeo rohita*, fingerlings. *Journal of the Science of Food Agriculture*. 64, 191–197.
- Belforti, M., Gai, F., Lussiana, C., Renna, M., Malfatto, V., Rotolo, L., De Marco, M., Dabbou, S., Schiavone, A., Zoccarato, I., Gasco, L., 2015. *Tenebrio molitor* meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: Effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of filets. *Italian Journal of Animal Science*. 14, 4170.
- Belghit, I., Liland, N.S., Waagbo, R., Biancarosa, I., Pelusio, N., Li, Y.X., Krogdahl, A., Lock, E.J., 2018. Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 491, 72-81.
- Belghit, I., Waagbo, R., Lock, E.J., Liland, N.S., 2019. Insect-based diets high in lauric acid reduce liver lipids in freshwater Atlantic salmon. *Aquaculture Nutrition*. 25, 343-357.

- Blanchard, G., Makombu, J.G., Kestemont, P., 2008. Influence of different dietary 18:3n-3/18:2n-6 ratio on growth performance, fatty acid composition and hepatic ultrastructure in Eurasian perch, *Perca fluviatilis*. *Aquaculture*. 284, 144-150.
- Boggs, Ch.T., Summerfelt, R.C., 2003. Enhancing gas bladder inflation in larval walleye: Comparison of two methods for removing an oily film from the water surface of culture tanks. In: Barry, T.B., Malison, J.A., (Eds.) *Percis III – The Third International Percid Fish Symposium*, Madison, USA, 19-20.
- Bohnes, F.A., Hauschild, M.Z., Schlundt, J., Laurent, A., 2019. Life cycle assessments of aquaculture systems: a critical review of reported findings with recommendations for policy and system development. *Reviews in Aquaculture*. 11, 1061-1079.
- Bochert, R., 2020. Comparative performance, biochemical composition, and fatty acid analysis of Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) during grow-out in RAS fed different commercial diets. *Journal of Applied Aquaculture*, 1-15.
- Bondari, K., Sheppard, D.C., 1981. Soldier fly larvae as feed in commercial fish production. *Aquaculture* 24, 103–109.
- Bondari, K., Sheppard, D.C., 1987. Soldierfly, *Hermetia illucens* L., larvae as feed for channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), and blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner). *Aquaculture and Fisheries Management*. 18, 209–220.
- Boonyaratpalin, M., 1997. Nutrient requirements of marine food fish cultured in Southeast Asia. *Aquaculture* 151, 283–313.
- Borgogno, M., Dinnella, C., Iaconisi, V., Fusi, R., Scarpaleggia, C., Schiavone, A., Monteleone, E., Gasco, L., Parisi, G., 2017. Inclusion of *Hermetia illucens* larvae meal on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feed: effect on sensory profile according to static and dynamic evaluations. *Journal of the Science of Food Agriculture*. 97, 3402–3411.
- Borthakur, S., Sarma, K., 1998. Protein and fat digestibility of some non-conventional fishmeal replacers incorporated in the diets of fish *Clarias batrachus* (Linn.). *Environment and Ecology*. 16, 368–371.
- Boscolo, W.R., Hayashi, C., Meurer, F., 2001. Fish, meat and bone, poultry by-products and silkworm meals as attractive in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. *Revista Brasileira Zootecnia*. 30, 1397–1402.
- Brett, J.R., 1964. The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 21, 1183-1226.
- Brinchmann, B. C., Bayat, M., Brogger, T., Muttuvelu, D. V., Tjonneland, A., Sigsgaard, T., 2011. A possible role of chitin in the pathogenesis of asthma and allergy. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 18(1): 7–12.
- Bruni L., Pastorelli R., Viti C., Gasco L., Parisi G., 2018. Characterization 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. *Aquaculture*. 487:56–63.
- Bruni L, Belghit I, Lock E., (2020). Total replacement of dietary fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae does not impair physical, chemical or volatile composition of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Journal of the Science of Food Agriculture*. 100:1038–1047.
- Bugeon, J., Lefevre, F., Fauconneau, B., 2003. Fillet texture and muscle structure in brown trout (*Salmo trutta*) subjected to long-term exercise. *Aquaculture Research*. 34, 1287-1295.
- Bureau, D.P., Hua, K., 2010. Towards effective nutritional management of waste outputs in aquaculture, with particular reference to salmonid aquaculture operations. *Aquaculture Research*. 41, 777-792.
- Burgetz, I., Rojas-Vargas, A., Hinch, S., Randall, D., 1998. Initial recruitment of anaerobic metabolism during sub-maximal swimming in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Experimental Biology*. 201, 2711-2721.
- Calibeo DR. 2002. Role and mitigation of two vectors of turkey coronavirus, *Musca domestica* L. and *Alphitobius diaperinus* (Panzer). Thesis, North Carolina State University.
- Calvert, C.C., Martin, R.D., Morgan, N.O., 1969. Housefly pupae as food for poultry. *Journal of Economic Entomology*. 62, 938–939.
- Cnaani, A., Hallerman, E.M., McLean, E., 2014. Physiological responses of yellow perch to hypoxia, air exposure, and bleeding. *North American Journal of Aquaculture*. 76, 423-429.
- Cowey, C.B., Sargent, J.R., 1979. Nutrition. In: Hoar, W.S., Randall, D.J., Brett, J.R. (Eds.), *Fish Physiol*. Academic Press, New York, pp. 1–69.
- Craig, J.F., 1977. Seasonal changes in the day and night activity of adult perch, *Perca fluviatilis* L. *Journal of Fish Biology* 11, 161-166.
- Craig, J.F., 2000. *Percid fishes: Systematic, Ecology and Exploitation*. Fish and Aquatic Resources series 3, Blackwell Science Eds., 352 p.
- Dabrowski, K., Arslan, M., Terjesen, B.F., Zhang, Y., 2007. The effect of dietary indispensable amino acid imbalances on feed intake: is there a sensing of deficiency and neural signaling present in fish? *Aquaculture* 268, 136–142.
- Dankwa, D., Nelson, F. S., Oddoye, E.O.K., Duncan, J. L., 2002. Housefly larvae as a feed supplement for rural poultry. *Ghana Journal of Agriculture Science*., 35: 185-187
- DeFoliart, G., 1991. Insect fatty acids: similar to those of poultry and fish in their degree of unsaturation, but higher in the polyunsaturates. *Food Insects News*. 4, 1–4.
- De Las Casas E., Pomeroy B.H, Harein P.K., 1968. Infection and quantitative recovery of *Salmonella typhimurium* and *Escherichia coli* from within the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus*. *Poultry Science* 48: 1871-75.

- Devic, E., Leschen, W., Murray, F., Little, D.C., 2017. Growth performance, feed utilization and body composition of advanced nursing Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal. *Aquaculture Nutrition*. 24, 416–423.
- Dezfuli, B.S., Lui, A., Giari, L., Pironi, F., Manera, M., Lorenzoni, M., Noga, E.J., 2013. Piscidins in the intestine of European perch, *Perca fluviatilis*, naturally infected with an enteric worm. *Fish & Shellfish Immunology*. 35, 1539-1546.
- Dheke, S., Gubhaju, R.S., 2013. Growth response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on substitution of shrimp meal by different protein sources. *Nepalese Journal of Zoology*. 1, 24–29.
- Diclaro, J. W., Kaufman, P. E., 2009. Black soldier fly *Hermetia illucens* Linnaeus (Insecta: Diptera: Stratiomyidae). University of Florida IFAS Extension: 1–4.
- Diener, S., Zurbrügg, C., Roa Gutiérrez, F., Nguyen Dang Hong, M.A., Koottatep, T., Tockner, K., 2011. Black soldier fly larvae for organic wastetreatment–prospects and constraints. *WasteSafe 2011 – 2nd Int. Conf. on Solid Waste Management in the Developing Countries*, 13–15 February, Khulna, Bangladesh, pp. 52–59.
- Doyen JT., 1989. Reconstitution of Coelometopini, Tenebrionini and related tribes of America north of Colombia (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of the New York Entomological Society* 97: 277-304.
- Ebenso, I.E., Udo, M.T., 2003. Effect of live maggot on growth of the Nile perch, *Oreochromis niloticus* (Cichlidae) in South Eastern Nigeria. *Global Journal of Agricultural Sciences*. 2, 72–73.
- Eissa, N., Wang, H.P., 2016. Transcriptional stress responses to environmental and husbandry stressors in aquaculture species. *Reviews in Aquaculture*. 8, 61-88.
- El Boushy, A. R., Klaasen, G. J., Kelelaars, E.H., 1985. Biological conversion of poultry and animal waste to a feedstuff for poultry. *World Poultry Science Journal*. 41 (2): 133-145.
- Falomo AA. 1986. The Pheromone Biology of the Lesser Mealworm *Alphitobius diaperinus* (Panzer), (Coleoptera: Tenebrionidae). Thesis, University of Wisconsin-Madison. pp 197.
- Fasakin, E.A., A.M. Balogun, and O.O. Ajayi. 2003. Evaluation of full-fat and defatted maggot meals in the feeding of clariid catfish *Clarias gariepinus* fingerlings. *Aquaculture. Research*. 34:733–738.
- Fines, B.C., Holt, G.J., 2010. Chitinase and apparent digestibility of chitin in the digestive tract of juvenile cobia, *Rachycentron canadum*. *Aquaculture* 303, 34–39.
- Finke, M. D., 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology*, 21 (3): 269-285.
- Finke, M.D., 2007. Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biology* 26, 105–115.

- Fiogbé, E.D., Kestemont, P., Mélard, C., Micha, J.C., 1996. The effects of dietary crude protein on growth of the Eurasian perch *Perca fluviatilis*. *Aquaculture*. 144, 239-249.
- Fontaine, P., Gardeur, J.N., Kestemont, P., Georges, A., 1997. Influence of feeding level on growth, intraspecific weight variability and sexual growth dimorphism of Eurasian perch *Perca fluviatilis* L. reared in recirculation system. *Aquaculture*, 157, 1-9.
- Fontaine, P., Kestemont, P., Mélard, C., 2008. Broodstock management. In: Rougeot, C., Toner, D. (eds.). *Farming of Eurasian Perch*, Special publication BIM no. 24, Dublin, Ireland, 16-22.
- Fontaine, P., Kestemont, P., 2008. Preface. In: Fontaine, P., Kestemont, P., Teletchea, F., Wang, N. (eds.) *Percid Fish Culture – From Research to Production*. Proceeding of abstracts and short communications of the workshop, Namur, Belgium, 8-9.
- Francisco O, Prado, AP do. 2001. Characterization of the larval stages of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) using head capsule width. *Revista Brasileira de Biologia* 61: 125-131.
- Friedman, B.R., Shetty, K.M., 1999. Effect of timing of oil film removal and first feeding on swim bladder inflation success among intensively cultured striped bass larvae. *North American Journal of Aquaculture* 61, 43-46.
- Friederich, U., Volland, W. (2004). *Breeding Food Animals. Lived Food for Vivarium Animals*. Krieger Publishing Company, Malabar (Florida): 11-66.
- Gasco, L., Acuti, G., Bani, P., Dalle Zotte, A., Danieli, P.P., De Angelis, A., Fortina, R., Marino, R., Parisi, G., Piccolo, G., Pinotti, L., Prandini, A., Schiavone, A., Terova, G., Tulli, F., Roncarati, A., 2020. Insect and fish by-products as sustainable alternatives to conventional animal proteins in animal nutrition. *Italian Journal of Animal Science*. 19, 360-372.
- Gasco, L., Henry, M., Piccolo, G., Marono, S., Gai, F., Renna, M., Lussiana, C., Antonopoulou, E., Mola, P., Chatzifotis, S., 2016. *Tenebrio molitor* meal in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: Growth performance, whole body composition and in vivo apparent digestibility. *Animal Feed Science and Technology*. 220, 34-45.
- 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*). Vantomme, P., Munke, C., van Huis, A. (Eds.), 1st International Conference “Insects to Feed the World”. Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, p.69.
- Geden CJ, Hogsette JA. (2001). Research and extension needs for integrated pest management for arthropods of veterinary importance. Center for Medical, Agricultural, and Veterinary Entomology USDA-ARS Workshop Proceedings, Lincoln, Nebraska. <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=10139> (21 March 2006).

- Gerile, S., Pirhonen, J., 2017. Replacement of fishmeal with corn gluten meal in feeds for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) does not affect oxygen consumption during forced swimming. *Aquaculture*. 479, 616-618.
- Ghanbari M., Kneifel W., Domig K.J., (2015) A new view of the fish gut microbiome: advances from next-generation sequencing. *Aquaculture* 448:464–475
- Gharaei, A., Ghaffari, M., Keyvanshokoo, S., Akrami, R., 2011. Changes in metabolic enzymes, cortisol and glucose concentrations of Beluga (*Huso huso*) exposed to dietary methylmercury. *Fish Physiology and Biochemistry*. 37, 485-493.
- Guerrero I. Oliva-Teles a, Enes P., 2018. Prebiotics as functional ingredients: focus on Mediterranean fish aquaculture. *Reviews of Aquaculture*. 10(4):800–32.
- Guerreiro, I., Serra, C.R., Coutinho, F., Couto, A., Castro, C., Rangel, F., Peres, H., Pousão-Ferreira, P., Matos, E., Gasco, L., Gai, F., Oliva-Teles, A., Enes, P., 2020. Digestive enzyme activity and nutrient digestibility in meagre (*Argyrosomus regius*) fed increasing levels of black soldier fly meal (*Hermetia illucens*). *Aquaculture Nutrition*. 142-152.
- Habib, M.A.B., Hasan, M.R., Akand, A.M., Siddiqua, A., 1994. Evaluation of silkworm pupae meal as a dietary protein source for *Clarias batrachus* fingerlings. *Aquaculture* 124, 62.
- Hall, G.M., 1992. Fish processing technology. Ockerman, H.W. (Ed.), *Fishery Byproducts*. VCH Publishers, New York, USA, pp. 155–192.
- Hammer, C., 1995. Fatigue and exercise tests with fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*. 112, 1-20.
- Hardouin, J., Mahoux, G., 2003. Zootechnie d'insectes – Elevage et utilisation au bénéfice de l'homme et de certains animaux. Bureau pour l'Echange et la Distribution de l'Information sur le Mini-élevage (BEDIM), 164 p.
- Harein PK, De Las Casas E, Pomeroy BS, York MD. 1970. *Salmonella* spp. and serotypes of *Escherichia coli* isolated from the lesser mealworm collected in poultry brooder houses. *Journal of Economic Entomology* 63: 80-81.
- Harikrishnan, R., J.-S. Kim, C. Balasundaram, and M.-S. Heo. 2012. Dietary supplementation with chitin and chitosan on haematology and innate immune response in *Epinephelus bruneus* against *Philasterides dicentrarchi*. *Experimental Parasitology* 131: 116– 124.
- Hasan, M.R., 2001. Nutrition and feeding for sustainable aquaculture development in the third millennium. Subasinghe, R.P., Bueno, P., Phillips, M.J., Hough, C., McGladdery, S.E., Arthur, J.R. (Eds.), *Aquaculture in the Third Millennium*. NACA, Bangkok/FAO, Rome/Bangkok, Thailand, pp. 193–219.
- 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.

- Henry, M., Fountoulaki, E., 2014. Optimal dietary protein/lipid ratio for improved immune status of a newly cultivated Mediterranean fish species, the shi drum *Umbrina cirrosa*, L. *Fish Shellfish Immunology* 37, 215–219.
- Henry, M.A., Gasco, L., Chatzifotis, S., Piccolo, G., 2018a. Does dietary insect meal affect the fish immune system? The case of mealworm, *Tenebrio molitor* on European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Developmental and Comparative Immunology*. 81, 204-209.
- Henry, M.A., Gai, F., Enes, P., Perez-Jimenez, A., Gasco, L., 2018b. 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*). *Fish & Shellfish Immunology*. 83, 308-313.
- Heuzé, V., Tran, G., 2013. Locust Meal, Locusts, Grasshoppers and Crickets. *Feedipedia.org*, INRA, CIRAD, AFZ and FAO.
- Heuzé, V., Tran, G., Giger-Reverdin, S., Lebas, F., 2014. Silkworm Pupae Meal. *Feedipedia.org*. A programme by INRA, CIRAD, AFZ, FAO.
- Hill, D. S., 2002. *Pests of stored foodstuffs and their control*. Kluwer Academic Publishers, 476 p.
- Hossain, M.A., Islam, M.N., Alim, M.A., 1991. Evaluation of Silkworm Pupae Meal as Dietary Protein Source for Catfish (*Heteropneustes fossilis*), *Fish Nutrition in Practice: 4th International Symposium on Fish Nutrition and Feeding*. Biarritz, France.
- Hossain, M.A., Nahar, N., Kamal, M., Islam, M.N., 1992. Nutrient digestibility coefficients of some plant and animal proteins for tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Journal of Aquaculture in the Tropics*. 7, 257–265.
- Hossain, M.A., Nahar, N., Kamal, M., 1997. Nutrient digestibility coefficients of some plant and animal proteins for rohu (*Labeo rohita*). *Aquaculture* 151, 37–45.
- Hu, J.R., Wang, G.X., Huang, Y.H., Sun, Y.P., He, F., Zhao, H.X., Li, N.N., 2017. Effects of substitution of fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal, in yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) diets. *The Israeli Journal of Aquaculture*. Bamidgheh. 69.
- Hua, K., Cobcroft, J.M., Cole, A., Condon, K., Jerry, D.R., Mangott, A., Praeger, C., Vucko, M.J., Zeng, C., Zenger, K., Strugnell, J.M., 2019. The Future of Aquatic Protein: Implications for Protein Sources in Aquaculture Diets. *One Earth*. 1, 316-329.
- Hua, K., 2021. A meta-analysis of the effects of replacing fish meals with insect meals on growth performance of fish. *Aquaculture*. 530, 735732.
- Hua, K., Bureau, D.P., 2009. Development of a model to estimate digestible lipid content of salmonid fish feeds. *Aquaculture*. 286, 271-276.
- Huyben D., Vidaković A., Werner Hallgren S., Langeland M., 2019. High-throughput sequencing of gut microbiota in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed larval and pre-pupae stages of black soldier fly (*Hermetia illucens*) *Aquaculture*. 500:485–491.

- Chai, X.J., Ji, W.X., Han, H., Dai, Y.X., Wang, Y., 2013. Growth, feed utilization, body composition and swimming performance of giant croaker, *Nibea japonica Temminck* and *Schlegel*, fed at different dietary protein and lipid levels. *Aquaculture Nutrition*. 19, 928-935.
- Chemello, G., Renna, M., Caimi, C., Guerreiro, I., Oliva-Teles, A., Enes, P., Biasato, I., Schiavone, A., Gai, F., Gasco, L., 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. *Animals*. 10, 229.
- Chernaki-Leffer AM, Biesdorf SM, de Almeida LM, Leffer EVB, Vigne P. 2002. Isolation of enteric and litter organisms from *Alphitobius diaperinus* in brooder chicken houses in West of Parana State, Brazil. *Revista Brasileira de Ciencia Avicola* 4: 243-247.
- Cho, C.Y., Slinger, S.J., 1979. Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. J.E. Halver, K. Tiews (Eds.), *Finfish Nutrition and Fish Feed Technology*. pp 239-247.
- Iaconisi, V., Bonelli, A., Pupino, R., Gai, F., Parisi, G., 2018. Mealworm as dietary protein source for rainbow trout: Body and fillet quality traits. *Aquaculture*. 484, 197-204.
- Iaconisi, V., Marono, S., Parisi, G., Gasco, L., Genovese, L., Maricchiolo, G., Bovera, F., Piccolo, G., 2017. Dietary inclusion of *Tenebrio molitor* larvae meal: Effects on growth performance and final quality traits of blackspot sea bream (*Pagellus bogaraveo*). *Aquaculture*. 476, 49-58.
- Ido, A., Hashizume, A., Ohta, T., Takahashi, T., Miura, C., Miura, T., 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*). *Animals*. 9 (3) 100.
- Idowu, A.B., A.A.S. Amusan, and A.G. Oyediran. 2003. The response of *Clarias gariepinus* fingerlings (Burchell 1822) to the diet containing housefly maggot (*Musca domestica* L.). *Nigerian Journal of Animal Production*. 30:139–144.
- Imanpoor, M., Imanpoor, M.R., Roohi, Z., 2017. Effects of dietary vitamin C on skeleton abnormalities, blood biochemical factors, haematocrit, growth, survival and stress response of *Cyprinus carpio* fry. *Aquaculture International*. 25, 793-803.
- Jabir, M. A. R., S. A. Razak, and S. Vikineswary. 2012a. Chemical composition and nutrient digestibility of super worm meal in red tilapia juvenile. *Pakistan Veterinary Journal* 32(4): 489-493.
- Jamali, H., Livesley, S.J., Dawes, T.Z., Cook, G.D., Hutley, L.B., Arndt, S.K., 2008. Diurnal and seasonal variations in CH₄ flux from termite mounds in tropical savannas of the Northern Territory, Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151, 1471–1479.
- Jankowska, B., Zakęś, Z., Żmijewski, T., Szczepkowski, M., 2010. Fatty acid profile of muscles, liver and mesenteric fat in wild and reared perch (*Perca fluviatilis* L.). *Food Chemistry*. 118, 764-768.

- Jayaram, M.G., Shetty, H.P.C., Udupa, K.S., 1980. Organoleptic evaluation of flesh of carps fed on different kinds of feeds. *Mysore Journal of Agricultural Sciences*. 14, 421–424.
- Jentoft, S., Aastveit, A.H., Torjesen, P.A., Andersen, Ø., 2005. Effects of stress on growth, cortisol and glucose levels in non-domesticated Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) and domesticated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 141, 353-358.
- Jeuniaux, C., 1993. Chitinolytic systems in the digestive tract of vertebrates: a review. Muzzarelli, R.A.A. (Ed.), *Chitin Enzymology*. European Chitin Society, Ancona, Italy, pp. 233–244.
- Jeyachandran, P., Raj, S.P., 1976. Experiments with artificial feeds on *Cyprinus carpio* fingerlings. *Journal of Inland Fisheries Society of India* 8, 33–37.
- Ji, W., Wang, Y., Tang, J., 2010. Apparent digestibility coefficients of selected feeding redients for Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) reared in sea water. *Journal of Fisheries, China* 34, 101–107.
- Ji, H., Zhang, J.L., Huang, J.Q., Cheng, X.F., Liu, C., 2013. Effect of replacement of dietary fishmeal with silkworm pupae meal on growth performance, body composition, intestinal protease activity and health status in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var *Jian*). *Aquacultural Research*. 8, 1–13.
- Jintasatapom, O., Chumkam, S., Jintasatapom, O., 2011. Substitution of silkworm pupae (*Bombyx mori*) for fishmeal in broodstock diets for snakeskin gourami (*Trichogaster pectoralis*). *J. Agriculture of Science Technology A1*, 1341–1344.
- Józefiak A, Engberg RM., 2017 Insect proteins as a potential source of antimicrobial peptides in livestock production. A review. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 26(2):87–99.
- Kestemont, P., Mélard, C., Fiogbé, E., Vlavinou, R., Masson, G., 1996. Nutritional and animal husbandry aspects of rearing early life stages of Eurasian perch *Perca fluviatilis*. *Journal of Applied Ichthyology* 12 (3-4): 157-166.
- Kestemont, P., Vandeloise, E., Mélard, C., Fontaine, P., Brown P.B., 2001. Growth and nutritional status of Eurasian perch *Perca fluviatilis* fed graded levels of dietary lipids with or without added ethoxyquin. *Aquaculture* 203: 85-99.
- Kestemont, P., Jourdan, S., Houbart, M., Mélard, C., Paspatis, M., Fontaine, P., Cuvier, A., Kentouri, M., Baras, E., 2003. Size heterogeneity, cannibalism and competition in cultured predatory fish larvae: biotic and abiotic influences. *Aquaculture* 227, 333-356.
- Kestemont, P., Rougeot, C., Musil, J., Toner, D., 2008. Larval and Juvenile Production. In: Rougeot, C., Toner, D., (Eds.), *Farming of Eurasian perch*, Special publication BIM, no. 24, Dublin, Ireland, 30-41.
- Khempaka, S., Chitsatchapong, C., Molee, W., 2011. Effect of chitin and protein constituents in shrimp head meal on growth performance, nutrient digestibility, intestinal microbial

- populations, volatile fatty acids, and ammonia production in broilers. *Journal of Applied Poultry Research*. 20, 1-11.
- Khosravi, S., Kim, E., Lee, Y.S., Lee, S.M., 2018. Dietary inclusion of mealworm (*Tenebrio molitor*) meal as an alternative protein source in practical diets for juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Entomological Research*. 48, 214-221.
- Kitagima, R. E. and D. M. Fracalossi. 2011. Digestibility of alternative protein-rich feedstuffs for channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 42: 306-312.
- Kok, B., Malcorps, W., Tlustý, M.F., Eltholth, M.M., Auchterlonie, N.A., Little, D.C., Harmsen, R., Newton, R.W., Davies, S.J., 2020. Fish as feed: Using economic allocation to quantify the Fish In : Fish Out ratio of major fed aquaculture species. *Aquaculture*. 528, 735474.
- Köprücü, K., Özdemir, Y., 2005. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 250(1): 308–316.
- Kroeckel, S., A.G.E. Harjes, I. Roth, H. Katz, S. Wuertz, A. Susenbeth, and C. Schulz. 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*, 345–352.
- Kumar, V., Sinha, A.K., Makkar, H.P.S., De Boeck, G., Becker, K., 2012. Phytate and phytase in fish nutrition. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 96, 335-364.
- Lambkin T.A., 2001. Investigations into the management of the darkling beetle. Rural Industries Research and Development Corporation, Kingston, Australia. 99 pp.
- Leclercq, M., 1997. A propos de *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (Soldier fly) (Diptera Stratiomyidae: Hermetiinae). *Bulletin et Annales de la Societe Royale Belge d'Entomologie*, 133: 275–282.
- Le Féon, S., Thévenot, A., Maillard, F., Macombe, C., Forteau, L., Aubin, J., 2019. Life Cycle Assessment of fish fed with insect meal: Case study of mealworm inclusion in trout feed, in France. *Aquaculture*. 500, 82-91.
- Lee, J., Choi, I.C., Kim, K.T., Cho, S.H., Yoo, J.Y., 2012. Response of dietary substitution of fishmeal with various protein sources on growth, body composition and blood chemistry of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Fish Physiology Biochemistry*. 38, 735–744.
- Li, S., Ji, H., Zhang, B., Tian, J., Zhou, J., Yu, H., 2016. Influence of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil on growth performance, body composition, tissue fatty acid composition and lipid deposition in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio var. Jian*). *Aquaculture*, 465, 43-52.
- Li, S.L., Ji, H., Zhang, B.X., Zhou, J.S., Yu, H.B., 2017. Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in diets for juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio var. Jian*): growth performance, antioxidant enzyme activities, digestive enzyme activities, intestine and hepatopankreas histological structure. *Aquaculture* 477, 62–70.

- Lin, S., Mao, S., Guan, Y., Lin, X., Luo, L., 2012a. Dietary administration of chitoooligosaccharides to enhance growth, innate immune response and disease resistance of *Trachinotus ovatus*. *Fish and shellfish immunology*, 32: 909–913.
- Lin, S., Mao, S., Guan, Y., Luo, L., Pan, Y., 2012b. Effects of dietary chitosan oligosaccharides and *Bacillus coagulans* on the growth, innate immunity and resistance of koi (*Cyprinus carpio koi*). *Aquaculture*, 342: 36–41.
- Lindsay, G.J.H., Walton, M.J., Adron, J.W., Fletcher, T.C., Cho, C.Y., Cowey, C.B., 1984. The growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) given diets containing chitin and its relationship to chitinolytic enzymes and chitin digestibility. *Aquaculture* 38,315–334.
- Lock, E.J., T. Arsiwalla, R. Waagbø. 2014. Insect meal: A promising source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*). In: *Insects to Feed The World*, The Netherlands, 14–17 May 2014. p. 74.
- Lock, E.R., Arsiwalla, T., Waagbo, R., 2016. Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquacultural Nutrition*. 22, 1202–1213.
- Lock, E.J., Biancarosa, I., Gasco, L., 2018. Insects as Raw Materials in Compound Feed for Aquaculture. in: Halloran, A., Flore, R., Vantomme, P., Roos, N. (Eds.), *Edible Insects in Sustainable Food Systems*. Springer International Publishing, Cham, pp. 263-276.
- Longvah, T., Mangthya, K., Ramulu, P., 2011. Nutrient composition and protein quality evaluation of eri silkworm (*Samia ricinii*) prepupae and pupae. *Food Chemistry* 128, 400–403.
- Lovell, T., 1989. *Nutrition and Feeding of Fish*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Madu, C.T., Ufodike, E.B.C., 2003. Growth and survival of catfish (*Clarias anguillaris*) juveniles fed live tilapia and maggot as unconventional diets. *Journal of Aquatic Sciences*. 18:47–51.
- Magalhaes, R., Sanchez-Lopez, A., Leal, R.S., Martinez-Llorens, S., Oliva-Telesa, A., Peres, H., 2017. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fish meal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 476, 79–85.
- Maina, J. G., R. M. Beames, D. Higgs, P. N. Mbugua, G. Iwama, and S. M. Kisia. 2002. Digestibility and feeding value of some feed ingredients fed to tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture Research* 33: 853–862.
- Masola, B., Chibi, M., Kandare, E., Naik, Y.S., Zaranyika, M.F., 2008. Potential marker enzymes and metal–metal interactions in *Helisoma duryi* and *Lymnaea natalensis* exposed to cadmium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 70, 79-87.
- Mastoraki, M., Ferrándiz, P.M., Vardali, S.C., Kontodimas, D.C., Kotzamanis, Y.P., Gasco, L., Chatzifotis, S., Antonopoulou, E., 2020. A comparative study on the effect of fish meal

- substitution with three different insect meals on growth, body composition and metabolism of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Aquaculture*, 735511.
- Mathis, N., Feidt, C., Brun-Bellut, J., 2003. Influence of protein/energy ratio on carcass quality during the growing period of Eurasian perch (*Perca fluviatilis*). *Aquaculture*. 217, 453-464.
- McAllister J.C., Steelman C.D., Skeeles J.K., Newberry L.A., Gbur E.E., 1996. Reservoir competence of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) for *Escherichia coli* (Eubacteriales: *Enterobacteriaceae*). *Journal of Medical Entomology* 33: 983-987.
- McKenzie, D.J., Higgs, D.A., Dosanjh, B.S., Deacon, G., Randall, D.J., 1998. Dietary fatty acid composition influences swimming performance in Atlantic salmon (*Salmo salar*) in seawater. *Fish Physiology and Biochemistry*. 19, 111-122.
- McPhee, D.L., Janz, D.M., 2014. Dietary selenomethionine exposure alters swimming performance, metabolic capacity and energy homeostasis in juvenile fathead minnow. *Aquatic Toxicology*. 155, 91-100.
- Mélard, C., Kestemont, K., Baras, E., 1995. Premiers résultats de l'élevage intensif de la perche européenne (*Perca fluviatilis*) en bassin: effet de la température et du tri sur la croissance. *Bulletin Française de la Pêche et Pisciculture* 336, 19-27.
- Mélard, C., Kestemont, P., Grignard, J.C., 1996. Intensive culture of juvenile and adult Eurasian perch (*Perca fluviatilis*): Effect of major biotic and abiotic factors on growth. *Journal of Applied Ichthyology* 12, 175-180.
- Miller, B.F., Shaw, J.H., 1969. Digestion of poultry manure by Diptera. *Poultry Science*. 48, 1844-1845
- Miller, B. F., Teotia, J. S., Thatcher, T. O., 1974. Digestion of poultry manure by *Musca domestica*. *British Poultry Science*. 15 (2): 231-234.
- Migaud, H., Wang, N., Gardeur, J.N., Fontaine, P., 2006. Influence of photoperiod regimes on the Eurasian perch gonadogenesis and spawning. *Fish Physiology and Biochemistry* 28, 395-397.
- Migaud, H., Mandiki, R., Gardeur, J.N., Kestemont, P., Bromage, N., Fontaine, P., 2003. Influence of photoperiod regimes on the Eurasian perch gonadogenesis and spawning. *Fish Physiology and Biochemistry* 28, 395-397.
- Ming, J., Ye, J., Zhang, Y., Yang, X., Wu, C., Shao, X., Liu, P., 2013. The influence of maggot meal and l-carnitine on growth, immunity, antioxidant indices and disease resistance of black carp (*Mylopharyngodon piceus*). *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association* 28, 80-86.
- Moriarty, D.J.W., 1973. The physiology of digestion of blue-green algae in the cichlid fish, *Tilapia nilotica*. *Journal of Zoology*. 171, 25-39.

- Motte, C., Rios, A., Lefebvre, T., Do, H., Henry, M., Jintasataporn, O., 2019. Replacing Fish Meal with Defatted Insect Meal (Yellow Mealworm *Tenebrio molitor*) Improves the Growth and Immunity of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Animals*. 9, 258.
- Moutinho, S., Pedrosa, R., Magalhães, R., Oliva-Teles, A., Parisi, G., Peres, H., 2020. 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. *Aquaculture*, 736080.
- Moves, C.D., West, T.G., 1995. Chapter 16 Exercise metabolism of fish. in: Hochachka, P.W., Mommsen, T.P. (Eds.), *Biochemistry and Molecular Biology of Fishes*. Elsevier, pp. 367-392.
- Mráz, J., Pickova, J., 2009. Differences between lipid content and composition of different parts of fillets from crossbred farmed carp (*Cyprinus carpio*). *Fish Physiology and Biochemistry*. 35, 615.
- Nandeesh, M.C., Srikantha, G.K., Keshavanatha, P., Varghese, T.J., Basavarajaa, N., Dasa, S.K., 1990. Effects of non-defatted silkworm-pupae in diets on the growth of common carp, *Cyprinus carpio*. *Biological. Wastes*. 33, 17–23.
- Nandeesh, M.C., Gangadhara, B., Manissery, J.K., 1999. Silkworm pupa oil and sardine oil as an additional energy source in the diet of common carp, *Cyprinus carpio*. *Asian Fisheries Science*. 12, 207–215.
- Nandeesh, M.C., Gangadhara, B., Varghese, T.J., Keshavanath, P., 2000. Growth response and flesh quality of common carp, *Cyprinus carpio* fed with high levels of non-defatted silkworm pupae. *Asian Fisheries Science*. 13, 235–242.
- New, M.B., Wijkstroem, U.N., 2002. Use of Fishmeal and Fish Oil in Aquafeeds: Further Thoughts on the Fishmeal Trap. *FAO Fisheries Circular No. 975*.
- 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. 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 African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquacultural Research*. 32, 273–280.
- Nguyen, T.N., Davis, D.A., Saoud, I.P., 2009. Evaluation of alternative protein source store place fishmeal in practical diets for juvenile tilapia *Oreochromis* spp. *Journal of the World Aquaculture Society*. 40, 113–121.
- Nielsen, O.B., Lykkeboe, G., 1992. Changes in plasma and erythrocyte K⁺ during hypercapnia and different grades of exercise in trout. *Journal of Applied Physiology*. 72, 1285-1290.

- NRC (National Research Council). 1993. Nutrient requirements of fish. National Academy Press, Washington, District of Columbia, USA.
- NRC, 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. The National Academies Press, Washington, DC, USA.
- Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Kierończyk, B., Józefiak, A., 2019. Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*. 11, 1080-1103.
- Nsofor, C.J., Osayamwen, E.M., Ewuim, S.C., Etaga, H.O., 2008. Effects of varying levels of maggot and fishmeal on food utilization and growth of *Clarias gariepinus* fingerlings reared in methoposin concrete ponds. *Nationals Applied. Science. J.* 9, 79–84.
- Odesanya, B.O., Ajayi, S.O., Agbaogun, B.K.O., Okuneye, B., 2011. Comparative evaluation of nutritive value of maggots. *International Journal of Scientific and Engineering. Research.* 2 (11).
- Ogunji, J.O., J. Nimptsch, C. Wiegand, and C. Schulz. 2007. Evaluation of the influence of housefly maggot meal (magmaeal) diets on catalase, glutathione S-transferase and glycogen concentration in the liver of *Oreochromis niloticus* fingerling. *Comparitive Biochemistry Physiology A Mol. Integrative Physiology.* 147:942–947.
- Ogunji, J.O., W. Kloas, M. Wirth, C. Schulz, and B. Rennert. 2008a. Housefly maggot meal (magmaeal) as a protein source for *Oreochromis niloticus* (Linn.). *Asian Fisheries Science.* 21:319–331.
- Ogunji, J.O., W. Kloas, M. Wirth, N. Neumann, and C. Pietsch. 2008b. Effect of housefly maggot meal (magmaeal) diets on the performance, concentration of plasma glucose, cortisol and blood characteristics of *Oreochromis niloticus* fingerlings. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.* 92:511–518.
- Olsen, R.E., 1998. The digestion and selective absorption of dietary fatty acids in Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. *Aquaculture Nutrition.* v. 4, pp. 13-21.
- Olsen, R.E., Suontama, J., Langmyhr, E., Mundheim, H., RingØ, E., Melle, W., Malde, M.K., Hemre, G.I., 2006. The replacement of fish meal with Antarctic krill, *Euphausia superba* in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture Nutrition.* 12, 280-290.
- Olsson, J., Quevedo, M., Colson, C., Svanback, R., 2007. Gut length plasticity in perch: into the bowels of resource polymorphisms. *Biological Journal of the Linnean Society.* 90, 517-523.
- Orban, E., Navigato, T., Masci, M., Di Lena, G., Casini, I., Caproni, R., Gambelli, L., De Angelis, P., Rampacci, M., 2007. Nutritional quality and safety of European perch (*Perca fluviatilis*) from three lakes of Central Italy. *Food Chemistry.* 100, 482-490.
- Ossey, Y. B., Koumi, A. R., Koffi, K. M., Atse, B. C., Kouame, L. P., 2012. Use of soybean, bovine brain and maggot as sources of dietary protein in larval *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes, 1840). *Journal of Animal and Plant Sciences.* 2099-2108.

- Ostaszewska, T., Dabrowski, K., Kwasek, K., Verri, T., Kamaszewski, M., Sliwinski, J., Napora-Rutkowski, L., 2011. Effects of various diet formulations (experimental and commercial) on the morphology of the liver and intestine of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles. *Aquacultural Research*. 42, 1796–1806.
- Overton, J.L., Paulsen, H., Kucharczyk, D., Szczerbowski, A., 2008. Bornholm Salmon hatchery. control of out-of-season spawning of Eurasian perch. In: Fontaine, P., Kestemont, P., Teletchea, F., Wang, N., (Eds.), *Percid Fish Culture – From Research to Production*. Proceeding of abstracts and short communications of the workshop, Namur, Belgium, 40-43.
- Özogul, Y., Özogul, F., 2007. Fatty acid profiles of commercially important fish species from the Mediterranean, Aegean and Black Seas. *Food Chemistry*. 100, 1634-1638.
- Öberg, O., 2008. Perch farming, Swedish experience. In: Fontaine, P., Kestemont, P., Teletchea, F., Wang, N., (Eds.), *Percid Fish Culture – From Research to Production*. Proceeding of abstracts and short communications of the workshop, Namur, Belgium, 71-74.
- Panini, R.L., Freitas, L.E.L., Guimaraes, A.M., Rios, C., da Silva, M.F.O., Vieira, F.N., Fracalossi, D.M., Samuels, R.I., Prudencio, E.S., Silva, C.P., Amboni, R.D.M.C., 2017. Potential use of mealworms as an alternative protein source for Pacific white shrimp: Digestibility and performance. *Aquaculture*. 473, 115-120.
- Philipsen, A., 2008. Excellence Fish: production of pikeperch in recirculating system. In: Fontaine, P., Kestemont, P., Teletchea, F., Wang, N., (Eds.), *Percid Fish Culture – From Research to Production*. Proceeding of abstracts and short communications of the workshop, Namur, Belgium, 67.
- Piccolo, G., Marono, S., Gasco, L., Iannaccone, F., Bovera, F., Nizza, A., 2014. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal in diets for Gilthead seabream *Sparus aurata* juveniles. Vantomme, P., Munke, C., vanHuis, A. (Eds.), 1st International Conference “Insects to Feed theWorld”. Wageningen University, Ede-Wageningen, The Netherlands, p.68.
- Piccolo, G., Iaconisi, V., Marono, S., Gasco, L., Loponte, R., Nizza, S., Bovera, F., Parisi, G., 2017. Effect of *Tenebrio molitor* larvae meal on growth performance, in vivo nutrients digestibility, somatic and marketable indexes of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Animal Feed Science and Technology*. 226, 12-20.
- Policar, T., Toner, D., Alavi, S.M.H., Linhart, O., 2008a. Reproduction and Spawning. In: Rougeot, C., Toner, D. (Eds.), *Farming of Eurasian perch*, Special publication BIM, no. 24, Dublin, Ireland, 22-29.
- Policar, T., Kouřil, J., Stejskal, V., Hamáčková, J., 2008b. Induced ovulation of perch (*Perca fluviatilis* L.) *Cybiu* 32 (Suppl. 2): 308.

- Polícar, T., Stejskal, V., Bláha, M., Alavi, S.M.H., Kouřil, J., 2009. Technologie intenzivního chovu okouna říčního (*Perca fluviatilis* L.). Edice metodik (Technologická řada), FROV JU, Vodňany, č. 89, 51 s.
- Polícar, T., Blecha, M., Křišťan, J., 2014. Optimalizace umělé inkubace jiker u okouna říčního (*Perca fluviatilis* L.) v kontrolovaných podmínkách chovu. Edice metodik (Technologická řada), FROV JU, Vodňany, č. 159, 33 s.
- Polícar, T., Stejskal, V., Křišťan, J., Podhorec, P., Švinger, V., Bláha, M., 2013b. The effect of fish size and density on the weaning success in pond-cultured pikeperch (*Sander lucioperca* L.) juveniles. *Aquaculture International* 21 (4): 869-882.
- Polícar, T., Schaefer, F.J., Panana, E., Meyer, S., Teerlinck, S., Toner, D., Źarski, D., 2019. Recent progress in European percid fish culture production technology—tackling bottlenecks. *Aquaculture International*. 27, 1151-1174.
- Ponraj, K.R., 2019. Silworm pupae alternative source of protein in fish feed. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 78-85.
- Pryor G.S., Royes J.B., Chapman F.A., Miles R.D., 2003. Mannan oligosaccharides in fish nutrition: effects of dietary supplementation on growth and gastrointestinal villi structure in Gulf of Mexico sturgeon. *North American Journal of Aquaculture*. 65(2):106–111.
- Rahman, M.A., Zaher, M., Mazid, M.A., Haque, M.Z., Mahata, S.C., 1996. Replacement of costly fishmeal by silkworm pupae in diet of mirror carp (*Cyprinus carpio* L.). *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research*. 39, 64–67.
- Rainuzzo, J.R., Reitan, K.I., Olsen, Y., 1997. The significance of lipids at early stages of marine fish: a review. *Aquaculture* 155, 103–115.
- Rangacharyulu, P.V., Giri, S.S., Paul, B.N., Yashoda, K.P., Rao, R.J., Mahendrakar, N.S., Mohanty, S.N., Mukhopadhyay, P.K., 2003. Utilization of fermented silkworm pupae silage in feed for carps. *Bioresource Technology*. 86, 29–32.
- Ramos-Elorduy, J., Avila Gonzalez, E., Rocha Hernandez, A., 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 (1): 214-220.
- Regan, M.D., Kuchel, L.J., Huang, S.S.Y., Higgs, D.A., Wang, J., Schulte, P.M., Brauner, C.J., 2010. The effect of dietary fish oil and poultry fat replacement with canola oil on swimming performance and metabolic response to hypoxia in stream type spring Chinook salmon parr. *Aquaculture*. 308, 183-189.
- Rema, P., Saravanan, S., Armenjon, B., Motte, C., Dias, J., 2019. Graded Incorporation of Defatted Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Diet Improves Growth Performance and Nutrient Retention. *Animals*. 9, 187.
- Renna, M., Schiavone, A., Gai, F., Dabbou, S., Lussiana, C., Malfatto, V., Prearo, M., Capucchio, M.T., Biasato, I., Biasibetti, E., 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. Italian Journal of Animal Science, 14(4), 4170.
- Reugeot, C., Mélard, C., 2008b. Genetic improvement of growth in perch production: domestication, sex control, hybridization and strain selection. In: Fontaine, P., Kestemont, P., Teletchea, F., Wang, N. (eds.) Percid Fish Culture – From Research to Production. Proceeding of abstracts and short communications of the workshop, Namur, Belgium, 35-39.
- Ringø, E., Zhou, Z., Olsen, R.E., Song, S.K., 2012. Use of chitin and krill in aquaculture – the effect on gut microbiota and the immune system: a review. Aquaculture Nutrition. 18, 117-131.
- Robin, J.H., Skalli, A., 2007. Incorporation of dietary fatty acid in European seabass (*Dicentrarchus labrax*) – a methodological approach evidencing losses of highly unsaturated fatty acids. Aquaculture . 263, 227–237.
- Rohn, S., Petzke, K.J., Rawel, H.M., Kroll, J., 2006. Reactions of chlorogenic acid and quercetin with a soy protein isolate-influence on the in vivo food protein quality in rats. Molecular Nutrition and Food Research 50 (8): 696-704.
- Roncarati, A., Gasco, L., Parisi, G., Terova, G., 2014a. Growth performance of common catfish (*Ameiurus melas* Raf.) fingerlings fed insect meal diets. Vantomme, P., Munke, C., vanHuis, A. (Eds.), 1st International Conference “Insects to Feed the World”. EdeWageningen, The Netherlands, p.162.
- Roncarati, A., Mordenti, O., Stocchi, L., Melotti, P., 2014b. Comparison of growth performance of commoncatfish *Ameiurus melas*, Rafinesque 1820, reared in pond and in recirculating aquaculture system. Journal of Aquaculture Research. Dev. 5, 218.
- Roncarati, A., Gasco, L., Parisi, G., Terova, G., 2015. Growth performance of common catfish (*Ameiurus melas* Raf.) fingerlings fed mealworm (*Tenebrio molitor*) diet Journal of Insects Food Feed. 1, pp. 233-240.
- Rougeot, C., Fontaine, P., Mandiki, S.M.N., 2008. Perch description and biology. In: Rougeot, C., Toner, D., (eds.) Farming of Eurasian Perch. Special publication BIM 24, Dublin, Ireland, 12-15.
- Ruhee, R.T., Ma, S., Suzuki, K., 2020. Protective effects of sulforaphane on exercise-induced organ damage via inducing antioxidant defense responses. Antioxidants. 9, 136.
- Rumpold, B.A., Schluter, O.K., 2013. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. Innov. Food Science and Emerging Technology. 17, 1–11.
- Rust, M. B., 2002. Nutritional physiology. In: Halver, J. E., Hardy, R. W. (Eds.), Fish Nutrition. The Academic Press, New York, USA, pp. 368–452. ISBN 0-12-319652-3.
- Sales, J., Janssens, G.P.J., 2003. Nutrient requirements of ornamental fish. Aquatic Living Resources, 16, 533–540.

- Salomone, R., Saija, G., Mondello, G., Giannetto, A., Fasulo, S., Savastano, D., 2017. Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*. *Journal of Cleaner Production*. 140, 890-905.
- 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.
- Sánchez-Muros, M.J., de Haro, C., Sanz, A., Trenzado, C.E., Villareces, S., Barroso, F.G., 2016. Nutritional evaluation of *Tenebrio molitor* meal as fishmeal substitute for tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet. *Aquaculture Nutrition*. 22, 943-955.
- Sankian, Z., Khosravi, S., Kim, Y.O., Lee, S.M., 2018. Effects of dietary inclusion of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) meal on growth performance, feed utilization, body composition, plasma biochemical indices, selected immune parameters and antioxidant enzyme activities of mandarin fish (*Siniperca scherzeri*) juveniles. *Aquaculture*. 496, 79-87.
- 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.
- Shiau, S. Y., Yu, Y. P., 1999. Dietary supplementation of chitin and chitosan depresses growth in tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *Aquaculture*, 179(1): 439-446.
- Schabel, H.G., 2010. Forests insects as food: a global review. In: Durst, P.B., Johnson, D.V., Leslie, R.N., Shono, K. (Eds.), *Forests Insects as food: Humans Bite Back*. FAO, Bangkok, Thailand, pp. 37–64.
- Schroekenstein DC, Meier-Davis S, Graziano FM, Falomo A, Bush RK. 1988. Occupational sensitivity to *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (lesser mealworm). *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 82: 1081-1088.
- Smetana, S., Schmitt, E., Mathys, A., 2019. Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment. *Resources, Conservation and Recycling*. 144, 285-296.
- 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 Agriculture Sciences*. pp. 394-402.
- Sogbesan, A.O., Ugwumba, A.A.A., 2008. Nutritional evaluation of Termite (*Macrotermis subhyalinus*) meal as animal protein supplement in the diets of *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes, 1840) fingerlings. *Turkish Journal of Fisheries Aquatic Sciences*. 8, 149–157
- Solomon, S.G., Sadiku, S.O.E., Tiamiyu, L.O., 2007. Wing reproductive termite (*Macrotermes nigeriensis*) – soybean (*Glyxine max*) meals blend as dietaryprotein source in the practical diets of *Heterobranchus bidorsalis* fingerlings. *Pakistan Journal of Nutrition*. 6, 267–270.

- Solovyev, M.M., Kashinskaya, E.N., Rusinek, O.T., Izvekova, G.I., 2016. Physiological pH values in the digestive tract of perch *Perca fluviatilis* from different habitats. *Journal of Ichthyology*. 56, 312-318.
- Song, S.G., Chi, S.Y., Tan, B.P., Liang, G.L., Lu, B.-Q., Dong, X.H., Yang, Q.H., Liu, H.Y., Zhang, S., 2018. Effects of fishmeal replacement by *Tenebrio molitor* meal on growth performance, antioxidant enzyme activities and disease resistance of the juvenile pearl gentian grouper (*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *Epinephelus fuscoguttatus* ♀). *Aquaculture Research*. 49, 2210-2217.
- Sprangers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Owyn, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., Michiels, J., Eeckhout, M., De Clercq, P., De Smet, S., 2017. Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food Agriculture*. 97: 2594-2600.
- Stadtlander, T., Stamer, A., Buser, A., Wohlfahrt, J., Leiber, F., Sandrock, C., 2017. *Hermetia illucens* meal as fish meal replacement for rainbow trout on farm. *Journal of Insects Food Feed* 3:165–175.
- Stejskal, V., Tran, H., Prokešová, M., Gebauer, T., Giang, P., Gai, F., Gasco, L., 2020. Partially Defatted *Hermetia illucens* Larva Meal in Diet of Eurasian Perch (*Perca fluviatilis*) Juveniles. *Animals*. 10. 1876. 10.3390/ani10101876.
- Stejskal, V., Policar, T., Kristan, J., Kouřil, J., Hamáčková, J., 2011. Fin condition in intensively cultured Eurasian perch (*Perca fluviatilis*). *Folia Zoologica*. 60. 122-128.
- Stejskal, V., Kouřil, J., Musil, J., Hamáčková, J., Policar, T., 2009. Growth pattern of all-female perch (*Perca fluviatilis* L.) juveniles – is monosex perch culture beneficial? *Journal of Applied Ichthyology*. 25. 432-437.
- Stejskal, V., Kouřil, J., Policar, T., Hamáčková, J., 2007. Produkční schopnosti okouna říčního v systému kombinujícím rybníční a technickou akvakulturu. In: Kopp, R. (ed.): Sborník referátů z XI. České ichtyologické konference, Brno, p. 206–211 (ISBN 978-80-7275-246-0).
- St-Hilaire, S., Sheppard, C., Tomberlin, J.K., Irving, S., Newton, L., McGuire, M.A., Mosley, E.E., Hardy, R.W., Sealey, W., 2007. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society*. 38, 59–67.
- 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.

- Su, J.Z., Gong, Y.L., Cao, S.P., Lu, F., Han, D., Liu, H.K., Jin, J.Y., Yang, Y.X., Zhu, X.M., Xie, S.Q., 2017. Effects of dietary *Tenebrio molitor* meal on the growth performance, immune response and disease resistance of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Fish & Shellfish Immunology*. 69, 59-66.
- Taufek, N.M., Hasniyati-Mameenat A.R., Hanan M.Y., Zazali A., Shaharudin A.R., 2018. Potential of field crickets meal (*Gryllus bimaculatus*) in the diet of African catfish (*Clarias gariepinus*), *Journal of Applied Animal Research*, 46, 541-546
- Taufek, N.M., Aspani, F., Muin, H., 2016. The effect of dietary cricket meal (*Gryllus bimaculatus*) on growth performance, antioxidant enzyme activities, and haematological response of African catfish (*Clarias gariepinus*). *Fish Physiology and Biochemistry* 42, 1143–1155.
- Terova G., Rimoldi S., Ascione C., Ceccotti C., Gini E., Gasco L., 2019. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) gut microbiota is modulated by insect meal from *Hermetia illucens* prepupae in the diet. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*.
- Testi, S., Bonaldo, A., Gatta, P.P., Badiani, A., 2006. Nutritional traits of dorsal and ventral fillets from three farmed fish species. *Food Chemistry*. 98, 104-111.
- Tharanathan, R.N., Kittur, F.S., 2003. Chitin — The Undisputed Biomolecule of Great Potential. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 43, 61-87.
- Tran, G., Heuzé, V., Makkar, H.P.S., 2015. Insects in fish diets. *Association Française de Zootechnie*, Paris, France. 9p.
- Tseng, Y.L, Davidson J.A., Menzer R.E., 1971. Morphology and chemistry of the odoriferous gland of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Annals of the Entomological Society of America* 64: 425-430.
- Tocher, D., 2003. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in Teleost fish. *Reviews in Fisheries Science*. 11, 107–184.
- Tocher, D.R., 2010. Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. *Aquaculture Research*. 41, 717–732.
- Tubin, J.S.B., Paiano, D., Hashimoto, G.S.D.O., Furtado, W.E., Martins, M.L., Durigon, E., Emerenciano, M.G.C., 2020. *Tenebrio molitor* meal in diets for Nile tilapia juveniles reared in biofloc system. *Aquaculture*. 519, 734763.
- Van Huis, A., 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58: 563–583.
- 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. *FAO Forestry Paper* 171.
- Veldkamp, T., Bosch, G., 2015. Insects: a protein-rich feed ingredient in pig and poultry diets. *Animal Frontiers*. 5, 45-50.

- Veldkamp, T., van Duinkerken, G., van Huis, A., Lakemond, C.M.M., Ottevanger, E., Bosch, G., van Boekel, M.A.J.S., 2012. Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets – a feasibility study. Rapport 638 – Wageningen Livestock Research, Available at: [http://www.wageningenur.nl/upload mm/2/8/0/f26765b9-98b2-49a7-ae43-5251c5b694f6234247%5B1%5D](http://www.wageningenur.nl/upload_mm/2/8/0/f26765b9-98b2-49a7-ae43-5251c5b694f6234247%5B1%5D).
- Velíšek, J., Stejskal, V., Kouřil, J., Svobodová, Z., 2009. Comparison of the effects of four anaesthetics on biochemical blood profiles of perch. *Aquaculture Research*. 40, 354-361.
- Vlavanou, R., Masson, G., Moreteau, J.C., 1995. Cannibalism among intensive cultured perch *Perca fluviatilis* populations. Abstracts Percis, Second International Percid Fish Symposium, FGRFI Helsinki, Finland, 78p.
- Wagner, G.N., Balfry, S.K., Higgs, D.A., Lall, S.P., Farrell, A.P., 2004. Dietary fatty acid composition affects the repeat swimming performance of Atlantic salmon in seawater. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 137, 567-576.
- Wang, L., Li, J., Jin, J.N., Zhu, F., Roffeis, M., Zhang, X.Z., 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. *Aquaculture Nutrition*. 23, 983-993.
- Watson, L., 2008. The European market for perch (*Perca fluviatilis*). In: Fontaine, P., Kestemont, P., Proceeding of abstracts and short communications of the workshop, Namur, Belgium, 10-14.
- Webb, P.W., 1971. The Swimming Energetics of Trout. II. Oxygen Consumption and Swimming Efficiency. 55, 521-540.
- Wei, M.C., Liu, G.Q., 2001. The research and exploitation of insect protein. *Journal of Central South Forestry University*. 21, 86–90.
- Weththasinghe, P., Hansen, J.Ø., Nøklund, D., Lagos, L., Rawski, M., Øverland, M., 2021. Full-fat black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) meal and paste in extruded diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*): Effect on physical pellet quality, nutrient digestibility, nutrient utilization and growth performances. *Aquaculture*. 530, 735785.
- Wicks, B.J., Joensen, R., Tang, Q., Randall, D.J., 2002. Swimming and ammonia toxicity in salmonids: the effect of sub lethal ammonia exposure on the swimming performance of coho salmon and the acute toxicity of ammonia in swimming and resting rainbow trout. *Aquatic Toxicology*. 59, 55-69.
- Widjastuti, T., Wiradimadja, R., Rusmana, D., 2014. The effect of substitution of fish meal by black soldier fly (*Hermetia illucens*) maggot meal in the diet on production performance of quail (*Coturnixcoturnix japonica*). *Scientific Papers: Series D, Animal Science-The*

- International Session of Scientific Communications of the Faculty of Animal Science, 57: 125-129.
- Wilson, C.M., Friesen, E.N., Higgs, D.A., Farrell, A.P., 2007. The effect of dietary lipid and protein source on the swimming performance, recovery ability and oxygen consumption of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. 273, 687-699.
- Wanasithchaiwat, V., Saesakul, M., 1988. Preliminary study on producing of fly larva meal from pig faeces as protein source in animal diets. *King Mongkut's Agricultural Journal*, pp. 25-31.
- Xu, X.L., Fontaine, P., M elard, C., Kestemont, P., 2001. Effects of dietary fat levels on growth, feed efficiency and biochemical compositions of Eurasian perch *Perca fluviatilis*. *Aquaculture International*. 9, 437-449.
- Xu, X., Kestemont, P., 2002. Lipid metabolism and FA composition in tissues of Eurasian perch *Perca fluviatilis* as influenced by dietary fats. *Lipids*. 37, 297-304.
- Zak e s, Z., Demska-zak e s, K., Kata, K., 2003. Rates of oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile Eurasian perch *Perca fluviatilis* L. *Aquaculture International*. 11, 277-288.
- Zhang, Y.S., Feng, J., Chen, C., Qin, H., Lin, W., Li. 2012. Stimulatory effects of chitinase on growth and immune defense of orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*). *Fish & Shellfish Immunology* 32: 844-854.
- Zhu, F. X., Wang, W. P., Hong, C. L., Feng, M. G., Xue, Z. Y., Chen, X. Y., Yao, Y. L., Yu, M., 2012. Rapid production of maggots as feed supplement and organic fertilizer by the two-stage composting of pig manure. *Bioresource Technology*. 116: 485–49.1
- Zhang, C., Huang, K., Wang, L., Song, K., Zhang, L., Li, P., 2015. Apparent digestibility coefficients and amino acid availability of common protein ingredients in the diets of bullfrog, *Rana (Lithobates) catesbeiana*. *Aquaculture*. 437, 38-45.
- Zhao, H.D., Zhang, F., Shen, G., Li, Y.B., Li, Y.-H., Jing, H.R., Ma, L.F., Yao, J.H., Tian, X.F., 2010. Sulforaphane protects liver injury induced by intestinal ischemia reperfusion through Nrf2-ARE pathway. *World journal of gastroenterology*. 16, 3002-3010.

8. ABSTRAKT

Cílem odchovné části experimentu bylo zhodnotit vliv odstupňovaného množství moučky z potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) v krmivu na růstové parametry a biochemické ukazatele okouna říčního (*Perca fluviatilis*). Cílem plaveckého experimentu bylo posoudit účinek experimentálních diet na fyziologii ryb. Předmětem diplomové práce bylo rovněž porovnat vliv diet na dopady životního prostředí spojené s chovem okouna v kontrolovaných podmínkách prostředí. Za tímto účelem byly sestaveny 4 experimentální diety, které se od sebe odlišovaly substitucí rybí moučky moučkou z potemníka. V kontrolní skupině tvořila 100 % živočišných bílkovin rybí moučka. V dalších dietách byla rybí moučka nahrazena z 25 % (TM25), 50 % (TM50) a 75 % (TM75) hmyzí moučkou. Každá skupina byla testována ve 4 opakováních. Odchovná část trvala celkem 119 dní. Každé 3 týdny byla prováděna biometrie ryb. Po odchovu následovalo hodnocení plaveckých výkonů ryb. Z výsledků vyplynulo, že až 50% nahrazení rybí moučky moučkou z potemníka je možné bez negativního vlivu na délkové parametry ryb. Skupiny TM0 a TM25 vykázaly nejlepší výsledky z hlediska hmotnostních přírůstků, biomasy specifické rychlosti růstu, koeficientu konverze krmiva a příjmu krmiva. Rozdíly nebyly pozorovány v organosomatických indexech, výtěžnosti filetu. Stejně tak nebyly shledány rozdíly v kritické rychlosti plavání a spotřebě kyslíku při zátěžových testech plavání. Naopak významné rozdíly jednotlivých diet byly pozorovány ve vztahu dopadu na životní prostředí. Výsledky ukazují, že až 50% nahrazení rybí moučky moučkou z potemníka je možné bez redukce délkového růstu. Vyšší množství hmyzí moučky v krmivu vede ke snížení hodnoty eFIFO.

Klíčová slova: *Perca fluviatilis*, *Tenebrio molitor*, hmyzí moučka, rybí moučka, recirkulační akvakulturní systémy

9. ABSTRACT

The rearing part of the experiment aimed to evaluate the effect of the graded amount of insect meal from *Tenebrio molitor* on biometrical parameters and biochemical indicators of perch (*Perca fluviatilis* L.). The swimming performance test aimed to assess the effect of experimental diets on the physiology of fish. The subject of the diploma thesis was also to compare the influence of diets on environmental impacts. For this purpose, 4 experimental diets were compiled. The diets differed from each other by substituting fish meal by insect meal. In the control group (TM0) 100 % of animal protein consist of fish meal. In other diets were fish meal replaced by 25 % (TM25), 50 % (TM50) and 75 % (TM75) meal of *T. molitor*. Each tested group had 4 replicates. The rearing part of the experiment lasted 119 days. At the end of the feeding trial, 80 fish (20 from each group) were selected for swimming performance tests. The results showed that up to 50 % of replacement of fish meal by insect meal is possible without a negative effect on the length parameters of the fish. The TM0 and TM25 groups showed the best results in terms of weight gain, biomass, specific growth rate, feed conversion rate and feed intake. No differences were observed in organosomatic indices and fillet yield. Likewise, no differences were found in the critical swimming speed and oxygen consumption in the swimming performance tests. On the contrary, significant differences in individual diets were observed in relation to the impact on the environment. The results show that up to 50 % replacement of fishmeal by a meal from *T. molitor* is possible without growth reduction. Higher amounts of insect meal in the feed lead to a decreasing eFIFO value.

Keywords: *Perca fluviatilis*, *Tenebrio molitor*, Insect meal, fish meal, recirculating aquaculture system