

黑水虻幼虫粉替代不同比例鱼粉对加州鲈生长、机体健康和肌肉品质的影响

游翠红 李鸿伟 周萌 林鑫 董烨玮 谭小红 黄燕华

REPLACING DIFFERENT PROPORTIONS OF FISHMEAL WITH *HERMITIA ILLUCENS* MEAL ON THE GROWTH, HEALTH AND MUSCLE QUALITY OF *MICROPTERUS SALMOIDES*

YOU Cui-Hong, LI Hong-Wei, ZHOU Meng, LIN Li, DONG Ye-Wei, TAN Xiao-Hong, HUANG Yan-Hua

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2024.2023.0159>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

酶解豆粕替代鱼粉对大口黑鲈的生长性能、消化酶活性、肝脏功能及代谢的影响

EFFECTS OF ENZYMATIC HYDROLYZED SOYBEAN MEAL ON GROWTH PERFORMANCE, LIVER FUNCTION AND METABOLISM OF LARGEMOUTH BASS (*MICROPTERUS SALMOIDES*)

水生生物学报. 2019, 43(5): 1001–1012 <https://doi.org/10.7541/2019.119>

饲料中棕榈油替代鱼油和豆油对黄颡鱼生长和肌肉脂肪酸组成的影响

EFFECTS OF SUBSTITUTING PALM OIL FOR FISH OIL AND SOY OIL IN FEED ON THE GROWTH PERFORMANCE AND MUSCULAR FATTY ACID COMPOSITION OF *PELTEOBAGRUS VACHELLI*

水生生物学报. 2017, 41(5): 1000–1009 <https://doi.org/10.7541/2017.125>

饲料中猪肉骨粉替代鱼粉对芙蓉鲤生长性能、血液生理生化、肌肉组成及质构特性的影响

EFFECTS OF DIETARY FISHMEAL REPLACEMENT WITH MEAT AND BONE MEAL ON THE GROWTH PERFORMANCE, BLOOD PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICES, MUSCLE CHEMICAL COMPOSITION AND TEXTURE CHARACTERISTICS IN JUVENILE FURONG CRUCIAN CARP (FURONG CARP ♀ × RED CRUCIAN CARP ♂)

水生生物学报. 2020, 44(1): 85–94 <https://doi.org/10.7541/2020.011>

温、光、盐对硅藻STR01生长、总脂、脂肪酸的影响

EFFECTS OF TEMPERATURE, LIGHT INTENSITY, SALINITY ON THE GROWTH RATE, TOTAL LIPID CONTENT AND FATTY ACID COMPOSITION OF STR01

水生生物学报. 2019, 43(3): 670–679 <https://doi.org/10.7541/2019.080>

蝇蛆粉替代鱼粉对杂交黄颡鱼生长性能、体组成和抗氧化能力的影响

EFFECTS OF SUBSTITUTION OF FISH MEAL WITH MAGGOT MEAL ON GROWTH PERFORMANCE, BODY COMPOSITION AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF HYBRID YELLOW CATFISH

水生生物学报. 2021, 45(3): 573–581 <https://doi.org/10.7541/2021.2020.012>

双低菜粕高水平替代饲料鱼粉对大黄花鱼潜在风险的评估：生长、健康和营养价值

POTENTIAL RISKS OF HIGH LEVEL REPLACEMENT OF DIETARY FISH MEAL BY CANOLA MEAL ON LARGE YELLOW CROAKER *LARIMICHTHYS CROCEA* (RICHARDSON, 1846): GROWTH, HEALTH AND NUTRITIONAL VALUES AS A FOOD FISH

水生生物学报. 2017, 41(1): 127–138 <https://doi.org/10.7541/2017.17>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2024.2023.0159

黑水虻幼虫粉替代不同比例鱼粉对加州鲈生长、 机体健康和肌肉品质的影响

游翠红* 李鸿伟* 周萌 林鑫 董烨玮 谭小红 黄燕华

(仲恺农业工程学院健康养殖创新研究院 & 动物科技学院, 广州 510225)

摘要: 配制4组等氮等脂(45%蛋白, 15%脂肪)的配合饲料, 对照组含有30%的鱼粉(FM30), 其他3组分别用黑水虻(*Hermitia illucens*)幼虫粉替代16.67%(FM25)、33.33%(FM20)、50%(FM15)鱼粉, 在室内循环水养殖系统中投喂加州鲈(*Micropterus salmoides*)幼鱼8周, 探究用黑水虻幼虫粉替代不同比例鱼粉对加州鲈生长性能、机体健康和肌肉品质的影响。结果显示, 各组加州鲈在终末体质量、增重率、特定生长率、成活率上无显著差异($P>0.05$), FM20组鱼拥有较高的增重率和特定生长率, 其饲料系数最低, 显著低于FM15和FM25组($P<0.05$)。用黑水虻幼虫粉部分替代鱼粉, 降低了全鱼和肝脏的脂肪含量、血清甘油三酯含量、肝脏的C14:0、C16:0、C18:1n-9和C18:3n-3的含量和肌肉的DHA含量, 但是, 增加了肝脏C18:0、DHA、EPA和C22:5n-3的含量, 对肌肉和肝脏的氨基酸组成影响较小。与对照组相比, FM20组鱼前肠和肝脏的丙二醛含量显著增加($P<0.05$), 前肠和血清的碱性磷酸酶活性显著降低($P<0.05$), 前肠上皮出现肠绒毛破损、肠皱褶粘连等结构受损情况, 前肠脂肪酶活性、肌肉脂肪含量和全鱼粗蛋白含量、肝脏DHA含量最高。上述结果表明, 加州鲈具有内源合成高度不饱和脂肪酸的能力; 在加州鲈幼鱼的配合饲料中可以用黑水虻幼虫粉替代50%鱼粉(FM15), 鱼粉的添加量最低可降到15%, 不影响加州鲈的生长性能, 但是, 最适宜的黑水虻幼虫粉替代水平是替代33.33%鱼粉。研究成果为研制营养组成科学合理、成本低的加州鲈配合饲料提供资料。

关键词: 鱼粉替代; 生长性能; 脂肪酸; 黑水虻幼虫; 加州鲈

中图分类号: S965.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2024)03-0372-12



大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)俗称加州鲈, 隶属鲈形目(Perciformes)、太阳鱼科(Centrarchidae)、黑鲈属(*Micropterus*), 是中国从北美引进的一种暖水肉食性淡水鱼类。加州鲈生长速度快、肉质鲜美、肌间刺少, 深受消费者们的欢迎。加州鲈已经成为我国重要的淡水养殖鱼类。2021年, 我国加州鲈的养殖产量高达70.21万吨, 仅次于四大家鱼、鲫和罗非鱼的产量^[1]。加州鲈对蛋白质的需要量在40%以上, 对脂肪的需要量也超过10%, 且其配

合饲料中需要添加高比例鱼粉(40%—50%)^[2]。由于鱼粉价格昂贵, 且资源的获得不具有可持续性。近年来, 许多研究尝试用其他动植物蛋白源如鸡肉粉、血粉、豆粕、羽毛粉等替代加州鲈配合饲料中的部分鱼粉, 以降低养殖成本^[2-4]。

黑水虻(*Hermitia illucens*)是双翅目水虻科昆虫, 繁殖速度快, 抗逆性强, 幼虫以畜禽粪便、餐厨垃圾、木质纤维素等为食物, 转化为高质量的昆虫蛋白^[5]。黑水虻幼虫的蛋白质、脂肪含量很高, 分

收稿日期: 2023-05-16; 修订日期: 2023-08-15

基金项目: 广东省2021年创新强校项目(KA21031H210); 广东省自然科学基金项目(2020A1515011252); 广东省普通高校创新团队项目(2020KCXTD019); 广东省乡村振兴专项-农业科技发展及资源环境保护管理项目(2023KJ115)资助 [Supported by Guangdong Province 2021 Innovation for Stronger Schools Project (KA21031H210); Natural Science Foundation of Guangdong Province (2020A1515011252); Innovative Team Projects of Ordinary Colleges and Universities in Guangdong Province (2020KCXTD019); Guangdong rural revitalization project-agricultural science and technology development and resource and environmental protection management project (2023KJ115)]

作者简介: 游翠红(1976—), 女, 副教授; 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: youcuihong@zhku.edu.cn 李鸿伟(1997—), 男, 硕士研究生; 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: 1341816094@qq.com *共同第一作者

通信作者: 黄燕华(1969—), 女, 教授; 研究方向为动物营养与饲料。E-mail: huangyh111@126.com

别占干物质的17.5%—63%和12.8%—49%, 其蛋白富含精氨酸、亮氨酸、赖氨酸、缬氨酸等必需氨基酸, 必需氨基酸组成与鱼粉相似; 其脂肪富含棕榈酸(C16:0)和月桂酸(C12:0)等饱和脂肪酸及油酸(C18:1n-9)和亚油酸(C18:2n-6)等单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸^[5-7], 可被高效利用产能促进养殖动物生长。此外, 黑水虻幼虫还富含钾、钙、镁等矿物质及几丁质、抗菌肽等生物活性物质^[6, 8]。因此, 黑水虻幼虫是一种优质的昆虫蛋白源。已经在很多鱼类中开展了黑水虻虫粉部分替代鱼粉的研究, 如虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[9, 10]、大西洋鲑(*Salmo salar*)^[11]、欧洲鲈(*Dicentrarchus labrax*)^[12]、乌鳢(*Channa argus*)^[13]、建鲤(*Cyprinus carpio* var. Jian)^[14]、加州鲈^[15-18]等。但是, 已经报道的在加州鲈中开展的用黑水虻虫粉替代鱼粉的研究中, 基础饲料中鱼粉的含量很高, 一般都超过40%^[15-18]。本研究拟在鱼粉含量较低(30%)的基础饲料中, 用黑水虻幼虫粉替代不同比例鱼粉(16.67%、33.33%和50%), 研究对加州鲈幼鱼的生长性能、全鱼和组织的营养成分、机体健康、肌肉和肝脏的氨基酸、脂肪酸组成的影响, 为研制营养组成科学合理且成本低的加州鲈配合饲料提供资料。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

根据加州鲈的营养需求, 配制4种等氮、等脂的实验饲料(45%蛋白, 15%脂肪), 其中, 基础饲料含30%鱼粉(FM30), 其他3组实验饲料分别用黑水虻幼虫粉替代16.67%鱼粉(FM25)、33.33%鱼粉(FM20)、50%鱼粉(FM15), 4种实验饲料的原料组成及实测的营养成分见表1, 实验饲料的氨基酸组成见表2。黑水虻幼虫购于广州飞禧特生物科技有限公司, 海藻多糖由青岛海兴源生物科技有限公司提供, 其他原料由湖州海皇生物科技有限公司提供。鱼粉、豆粕、烘干的黑水虻幼虫等饲料原料粉碎后, 过60目筛, 充分混合均匀后, 用SLX-80型双螺杆挤压机制成2.0 mm颗粒饲料, 60℃烘干后室温冷却, 用封口袋密封包装, 置于-20℃冰箱保存备用。

1.2 实验鱼及养殖实验

养殖实验在室内循环水养殖系统中进行, 养殖缸体积为300 L。放鱼前3天, 使用0.01%高锰酸钾溶液将养殖系统浸泡过夜进行消毒处理。实验鱼加州鲈幼鱼购于广东省佛山市三水白金水产种苗有限公司, 用水车运回后, 用4组实验饲料等比混合后的饲料在鱼塘网箱中驯化2周, 挑选体表健康、活力强的幼鱼(初始体质量约为17.05 g) 360尾, 随

表1 实验原料的组成和营养成分(风干基础, %)

Tab. 1 Ingredients and proximate composition of the experimental diets (air-dry basis, %)

项目Item	组别Group			
	FM30	FM25	FM20	FM15
原料Ingredient				
鱼粉Fish meal ^a	30.00	25.00	20.00	15.00
豆粕Soybean meal	12.00	12.00	12.00	12.00
大豆浓缩蛋白Soy protein concentrate	23.00	23.00	23.00	23.00
黑水虻幼虫粉BSFLM ^b	0.00	10.00	20.00	30.00
鱼油Fish oil	1.10	1.10	1.10	1.10
大豆油Soybean oil	7.30	4.90	2.40	0.00
高筋面Strong flour	10.00	10.00	10.00	10.00
大豆卵磷脂Soybean lecithin	2.00	2.00	2.00	2.00
海藻多糖Seaweed polysaccharide ^c	0.10	0.10	0.10	0.10
其他Others ^d	14.50	11.90	9.40	6.80
合计Sum	100.00	100.00	100.00	100.00
营养成分Nutritional level				
水分Moisture	5.00	4.40	6.35	9.05
粗蛋白Crude protein	44.84	45.03	45.08	45.29
粗脂肪Crude lipid	14.98	15.65	15.25	15.85
粗灰分Crude ash	10.33	10.94	11.80	11.55

注: 黑水虻幼虫粉: 粗蛋白36.09%, 粗脂肪36.78%, 粗灰分13.58%, 水分3.40%; 海藻多糖是由青岛海兴源生物科技有限公司提供的饲料添加剂藻维它913; 其他包括磷酸二氢钙、氯化胆碱、多维、多矿、微晶纤维素等

Note: Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal: 36.09% crude protein, 36.78% crude lipid, 13.58% crude ash and 3.40% moisture; The feed additive of seaweed polysaccharide is provided by Haixingyuan Biotechnology Co. Ltd as Zaoweita 913; Others contain calcium dihydrogen phosphate, choline chloride, multidimensional, multimineral and microcrystalline cellulose etc

机分成4组, 置于室内循环水养殖系统的养殖缸中饲养, 每组3个重复缸, 每缸放鱼30尾鱼, 养殖8周。养殖期间, 每天饱食投喂2次(9:00和16:00), 每隔1—2d进行换水, 换水比例为30%—40%, 保持水温在25—27℃, pH在6.8—7.8, 溶解氧>6.0 mg/L。

1.3 样品采集

在养殖实验结束后, 实验鱼饥饿24h后进行采样。用100 mg/L间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐(MS-222)将实验鱼进行麻醉, 准确测量每尾鱼的体质量和体长以计算生长指标。随后, 从每缸中随机取2尾鱼作为全鱼样品, 保存在-20℃冰箱中用于营养成分分析。另外, 从每缸中随机取6尾鱼, 使用一次性注射器从尾静脉处采血, 之后置于冰盘上, 无菌取内脏团, 分离肝脏、肠道组织, 并对内脏团、肝脏进行称重; 取肝脏、前肠、背肌样本用液氮速冻后置于-80℃冰箱保存, 用于酶活测定及营养成分分析; 另取1 cm长的前肠样本保存于4%多聚甲醛

表 2 实验饲料的氨基酸组成(%总氨基酸)

Tab. 2 Amino acid composition of the experimental diets (% total amino acids)

氨基酸 Amino acid	组别Group			
	FM30	FM25	FM20	FM15
天冬氨酸ASP	4.16	4.19	4.09	4.01
谷氨酸GLU	7.08	7.19	7.00	6.93
丝氨酸SER	1.83	1.87	1.83	1.81
组氨酸HIS	1.02	1.03	1.00	0.94
甘氨酸GLY	2.15	2.18	2.14	2.01
苏氨酸THR	1.67	1.68	1.65	1.58
精氨酸ARG	2.64	2.73	2.70	2.53
丙氨酸ALA	2.35	2.47	2.55	2.32
酪氨酸TYR	1.13	1.22	1.29	1.31
缬氨酸VAL	1.83	1.92	1.95	1.96
蛋氨酸MET	0.61	0.60	0.58	0.48
苯丙氨酸PHE	2.05	2.05	2.00	1.94
异氨酸ILE	1.97	2.01	1.98	1.95
亮氨酸LEU	3.15	3.17	3.11	3.01
赖氨酸LYS	2.77	2.68	2.63	2.46
氨基酸总和	36.40	36.98	36.50	35.25

中,用于组织切片分析。抽取的血液样品在4℃放置2h后,3000 r/min离心10min,吸取上层血清于2 mL离心管中,置于-80℃中保存备用。

1.4 生长性能测定

测定增重率、特定生长率、饲料系数、蛋白质效率、肝体比、脏体比、肥满度、存活率等生长指标,计算公式如下:

增重率(Weight gain rate, WGR, %)= $[(W_t - W_0)/W_0] \times 100$

特定生长率(Specific growth rate, SGR, %/d)= $[(\ln W_t - \ln W_0)/t] \times 100$

饲料系数(Feed conversion ratio, FCR)= $W_f / (W_t \times N_t + W_s - W_0 \times N_0)$

蛋白质效率(Protein efficiency ratio, PER)= $(W_t \times N_t + W_s - W_0 \times N_0) / (W_f \times P)$

肝体比(Hepatosomatic index, HSI)= $W_h / W \times 100$

脏体比(Viscerosomatic index, VSI)= $W_v / W \times 100$

肥满度(Condition factor, CF, g/cm³)= $W/L^3 \times 100$

成活率(Survival rate, SR, %)= $N_t / N_0 \times 100$

式中, W_t 为终末鱼平均体质量(g), W_0 为初始鱼平均体质量(g), t 为实验天数(d), N_t 为终末鱼尾数, N_0 为初始鱼尾数, W_s 为累计死鱼的体质量(g), W_f 为摄入饲料量(g), P 为饲料的蛋白质含量(%), W_h 为鱼肝脏重(g), W_v 为鱼内脏重(g), W 为鱼体质量(g), L 为鱼体长(cm)。

1.5 饲料、全鱼、组织样本的营养成分测定

水分含量测定采用烘箱105℃烘干至恒重的方

法(GB/T6435-2014),粗蛋白含量测定采用凯氏定氮法(GB/T 6432-1994),粗脂肪含量测定采用乙醚索氏抽提法(GB/T 6433-2006),灰分含量测定采用马弗炉550℃灼烧至恒重的方法(GB/T 6438-2007)。

1.6 氨基酸组成和脂肪酸组成的测定

氨基酸测定参照赵红霞等^[19]的方法,肝脏和肌肉干物质样本经6 mol/L盐酸在110℃水解24h后,采用安捷伦科技公司LC1260高效液相色谱仪(测试柱:安捷伦ZORBAX c18, 150 mm × 5 μm)进行测定。脂肪酸测定参照Li等^[20]的方法,采用日本岛津公司GC-17A气相色谱仪,通过脂肪酸标品(Sigma-Aldrich, 美国)鉴定脂肪酸,采用面积归一法计算每种脂肪酸所占的百分比含量。

1.7 血清生化指标的测定

总胆固醇(Cholesterol, CHOL)、甘油三酯(Tri-glyceride, TG)、低密度脂蛋白(Low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、高密度脂蛋白(High density lipoprotein cholesterol, HDL-C)、血糖(Glucose, GLU)、谷草转氨酶(Aspartate aminotransferase, AST)、谷丙转氨酶(Alanine aminotransferase, ALT)、碱性磷酸酶(Alkaline phosphatase, ALP)、总蛋白(Total protein, TP)含量的测定交由广东省广州市海珠区新海医院采用日立7600全自动生化分析仪检测。

1.8 肠、肝的酶活力的测定

脂肪酶(Lipase; A054-2-1)、α-淀粉酶(Amylase; C016-1-1)和胰蛋白酶(Trypsin; A080-2-2)采用南京建成生物工程研究所试剂盒进行测定,将肠道用0.86%的生理盐水清洗、剪碎,按照组织:生理盐水=1:9(W/V),冰浴匀浆后离心(4℃, 5000 r/min, 20min),取上清液作为酶粗提液,暂存于-20℃冰箱备用,后续测定按照试剂盒说明书进行操作。超氧化物歧化酶(SOD; A001-1-2)、丙二醛(MDA; A003-1-2)含量、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px; A005-1-2)、过氧化氢酶(CAT; A007-2-1)、溶菌酶(LYS; A050-1-1)、碱性磷酸酶(AKP; A059-2-2)和酸性磷酸酶(ACP; A060-2-1)也采用南京建成生物工程研究所试剂盒进行测定,所有实验操作严格遵循说明书进行。

1.9 肠道组织学切片

用4%多聚甲醛固定的前肠样本,通过酒精梯度脱水和石蜡包埋后切片,切片厚度为4 μm。将蜡片依次用苏木素-伊红(HE)染色,中性树胶封片,用光学显微镜观察肠道切片并且拍照。

1.10 数据统计与分析

数据用平均值±标准误(mean±SE)表示,使用SPSS 20.0 软件(IBM, armonk, USA)进行组间单因素方差分析(One-way ANOVA),并进行Duncan氏

多重比较分析, 显著性差异设为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对加州鲈幼鱼生长性能的影响

如表 3 所示, 各组鱼的成活率在 97.67%—100%, 无显著性差异 ($P > 0.05$)。各组鱼在终末体质量、增重率、特定生长率上也未呈现显著性差异 ($P > 0.05$)。在蛋白质效率上, FM20 组显著高于其他组 ($P < 0.05$)。在饲料系数上, FM20 组显著低于 FM15 和 FM25 组 ($P < 0.05$), 与对照组 FM30 没有显著性差异 ($P > 0.05$)。在肝体比和脏体比上, FM20 和 FM15 组显著高于对照组 ($P < 0.05$)。上述结果显示, 在含 30% 鱼粉的基础饲料中, 用黑水虻幼虫粉替代 0、16.67%、33.33% 和 50% 鱼粉, 对加州鲈幼鱼的生长性能没有显著影响, 其中, FM20 组 (替代 33.33% 鱼粉) 的生长性能较佳, 甚至优于对照组。

2.2 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对加州鲈全鱼、肌肉、肝脏的营养成分的影响

随着配合饲料中黑水虻幼虫粉替代鱼粉的比例升高, 全鱼、肝脏的粗脂肪含量呈现降低的趋势, FM15 组鱼全鱼、肝脏的粗脂肪含量显著低于对照组 ($P < 0.05$); 全鱼的粗蛋白含量呈现先降低后升高再降低的趋势, 以 FM20 组全鱼的粗蛋白含量最高, 显著高于对照组 ($P < 0.05$); 肌肉的粗脂肪含量呈现先升高后降低的趋势, 以 FM20 组肌肉的粗脂肪含量最高, 显著高于对照组 ($P < 0.05$); 肌肉的粗蛋白含量在组间没有显著性差异 ($P > 0.05$; 表 4)。与养殖实验启动时的初始鱼相比, 养殖 8 周后, FM20 组鱼肝脏和肌肉的粗脂肪含量明显增加, 以肝脏粗脂肪含量的增加幅度最为显著 (表 4)。

2.3 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对加州鲈血清生化指标的影响

如表 5 所示, 随着黑水虻幼虫粉替代鱼粉的比例升高, 血清谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性、血糖含量呈现先降低后升高再降低的趋势; 与之相反, 血清碱性磷酸酶活性及总胆固醇、高密度脂蛋白、低密度脂蛋白含量呈现先升高后降低再升高的趋势。添加黑水虻幼虫粉的 3 组鱼的血清甘油三酯的含量均显著低于对照组 ($P < 0.05$)。血清 LDL-C/HDL-C 比率不受黑水虻幼虫粉替代鱼粉比例的影响 ($P > 0.05$)。与对照组相比, FM20 组鱼在血清总胆固醇、谷丙转氨酶、谷草转氨酶、高密度脂蛋白、低密度脂蛋白含量上没有呈现显著性差异 ($P > 0.05$), 但是, 显著降低了血清碱性磷酸酶活性和甘油三酯含量 ($P < 0.05$), 增加了血清血糖含量 ($P < 0.05$)。

2.4 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对加州鲈肝脏酶活的影响

如表 6 所示, 配合饲料中用黑水虻幼虫粉部分替代鱼粉, 提高了加州鲈幼鱼肝脏丙二醛含量, 降低了肝脏溶菌酶活性, 如 FM20 组与对照组相比, 显著增加了丙二醛含量, 降低了溶菌酶活性 ($P < 0.05$)。随着黑水虻幼虫粉替代鱼粉的比例升高, 肝脏超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活性呈现先降低后升高趋势, 在 FM15 组达到最大值, 其与对照组相比差异不显著 ($P > 0.05$); 肝脏碱性磷酸酶、酸性磷酸酶活性呈现先升高后降低的趋势, 在 FM25 组达到最大值, 其与对照组相比差异不显著 ($P > 0.05$)。肝脏谷胱甘肽过氧化物酶活性在组间无显著性差异 ($P > 0.05$)。

2.5 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对加州鲈前肠酶活的影响

如表 7 所示, 在前肠组织中, 各组鱼的谷胱甘肽

表 3 养殖 8 周后加州鲈幼鱼的生长性能

Tab. 3 The growth performance of juvenile *Micropterus salmoides* fed the experimental diets for 8 weeks

指标Item	组别Group			
	FM30	FM25	FM20	FM15
初始体质量IBW (g)	17.05±0.01	17.06±0.00	17.05±0.01	17.04±0.01
终末体质量FBW (g)	95.73±1.73	98.54±3.89	98.46±1.18	92.64±2.92
增重率WGR (%)	461.51±10.11	477.77±22.80	477.51±7.03	443.62±17.09
特定生长率SGR (%/d)	3.08±0.03	3.13±0.07	3.13±0.02	2.98±0.04
蛋白质效率PER	1.73±0.03 ^b	1.59±0.06 ^c	1.84±0.03 ^a	1.58±0.02 ^c
饲料系数FCR	1.31±0.04 ^{ab}	1.39±0.03 ^a	1.22±0.02 ^b	1.38±0.03 ^a
肝体比HSI	0.85±0.03 ^c	0.96±0.04 ^{bc}	1.08±0.04 ^b	1.24±0.05 ^a
脏体比VSI	4.93±0.14 ^c	5.12±0.10 ^{bc}	5.42±0.10 ^b	6.07±0.09 ^a
肥满度CF (g/cm ³)	1.88±0.03	1.96±0.02	1.99±0.04	1.99±0.06
成活率SR (%)	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	97.67±0.06

注: 同行数据没有相同上标字母标注者, 表示组间差异显著 ($P < 0.05$)。下同

Note: Values in the same row without the same superscripts are significantly different ($P < 0.05$). The same applies below

过氧化物酶、过氧化氢酶、溶菌酶活性未表现出显著性差异($P>0.05$)。与对照组相比, FM20组鱼的前肠丙二醛含量显著升高($P<0.05$), 碱性磷酸酶、酸性磷酸酶和 α -淀粉酶的活性显著降低($P<0.05$)。胰蛋白酶活性随黑水虻幼虫粉替代鱼粉比例的增加呈升高的趋势, 且FM15组鱼的胰蛋白酶活性显著高于对照组($P<0.05$), FM20组鱼的脂肪酶活性显

著高于FM25组($P<0.05$)。

2.6 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对加州鲈肠道组织形态的影响

在配合饲料中用黑水虻幼虫粉部分替代鱼粉, 加州鲈幼鱼前肠的上皮组织出现肠绒毛破损、肠皱褶粘连等现象, 以FM25和FM20组较为明显(图1)。对前肠组织结构形态学指标进行统计, FM25和

表4 养殖8周后加州鲈幼鱼的全鱼、肌肉、肝脏的营养成分(%干物质)

Tab. 4 The nutritional composition of the whole body, muscle and liver in juvenile *Micropterus salmoides* fed the experimental diets for 8 weeks (% dry matter)

指标Item	组别Group				初始鱼Initial fish
	FM30	FM25	FM20	FM15	
全鱼Whole body					
水分Moisture	68.58±0.08 ^b	68.30±0.29 ^b	69.83±0.22 ^a	70.06±0.52 ^a	70.29±0.33
粗蛋白Protein	56.04±0.59 ^b	55.49±0.39 ^b	59.96±0.33 ^a	58.60±0.81 ^a	60.39±0.46
粗脂肪Lipid	20.57±0.70 ^a	20.30±0.63 ^a	18.85±0.52 ^{ab}	17.80±0.84 ^b	18.61±0.08
粗灰分Ash	13.97±0.21 ^{bc}	13.85±0.09 ^c	14.43±0.09 ^{ab}	14.63±0.21 ^a	14.90±0.28
肌肉Muscle					
水分Moisture	76.61±0.09	76.85±0.36	77.50±0.35	76.94±0.32	77.74
粗蛋白Protein	87.75±0.19	86.53±0.37	86.70±0.66	88.13±0.17	88.30
粗脂肪Lipid	1.57±0.19 ^b	2.23±0.11 ^a	2.25±0.13 ^a	1.28±0.09 ^b	1.30
肝脏Liver					
水分Moisture	71.17±0.17 ^a	70.15±0.27 ^{ab}	70.15±0.55 ^{ab}	69.62±0.29 ^b	69.81
粗脂肪Lipid	9.24±0.34 ^a	8.43±0.22 ^{ab}	8.47±0.44 ^{ab}	7.40±0.39 ^b	3.26

表5 养殖8周后加州鲈幼鱼的血清生化指标

Tab. 5 The serum biochemical index of juvenile *Micropterus salmoides* fed the experimental diets for 8 weeks

指标Item	组别Group			
	FM30	FM25	FM20	FM15
总胆固醇TC(mmol/L)	7.18±0.26 ^{bc}	7.92±0.22 ^{ab}	6.44±0.11 ^c	8.24±0.19 ^a
谷丙转氨酶ALT(U/L)	20.06±1.04 ^a	10.44±0.44 ^c	21.25±0.63 ^a	14.25±1.38 ^b
碱性磷酸酶ALP(U/L)	122.75±2.81 ^b	139.00±1.73 ^a	110.50±0.50 ^d	149.50±1.02 ^a
谷草转氨酶AST(U/L)	96.50±2.10 ^a	77.00±1.06 ^b	93.88±1.20 ^a	71.00±0.68 ^b
血糖GLU(mmol/L)	8.43±0.50 ^b	7.86±0.40 ^b	10.60±0.10 ^a	9.36±0.48 ^{ab}
甘油三酯TG(mmol/L)	2.88±0.18 ^a	2.49±0.22 ^b	2.58±0.45 ^b	2.49±0.03 ^b
高密度脂蛋白HDL-C (mmol/L)	4.02±0.17 ^b	4.47±0.11 ^a	3.80±0.01 ^b	4.59±0.03 ^a
低密度脂蛋白LDL-C (mmol/L)	1.28±0.02 ^{bc}	1.36±0.04 ^{ab}	1.11±0.06 ^c	1.53±0.05 ^a
LDL-C/HDL-C	0.31±0.03	0.30±0.02	0.29±0.03	0.33±0.01

表6 养殖8周后加州鲈幼鱼的肝脏酶活

Tab. 6 The liver enzyme activity of juvenile *Micropterus salmoides* fed the experimental diets for 8 weeks

指标Item	组别Group			
	FM30	FM25	FM20	FM15
超氧化物歧化酶(U/mg prot)	1186.36±37.25 ^a	976.76±56.53 ^b	1117.76±73.32 ^{ab}	1133.32±27.16 ^{ab}
丙二醛含量(nmol/mg prot)	1.79±0.10 ^b	2.10±0.05 ^a	2.08±0.10 ^a	1.89±0.09 ^{ab}
谷胱甘肽过氧化物酶(U/mg prot)	25.58±1.86	30.00±2.06	23.00±2.07	27.50±0.35
过氧化氢酶(U/mg prot)	19.84±1.30	17.25±0.49	18.30±1.13	21.06±1.90
溶菌酶(U/mg prot)	453.91±41.89 ^a	384.31±26.56 ^{ab}	303.79±25.33 ^b	327.51±17.01 ^b
碱性磷酸酶(金氏单位/g prot)	158.26±5.60 ^{ab}	185.84±12.66 ^a	126.70±4.11 ^b	133.72±15.39 ^b
酸性磷酸酶(金氏单位/g prot)	208.64±3.43 ^{ab}	224.16±18.33 ^a	178.49±11.66 ^b	171.22±11.74 ^b

FM20组鱼的肠壁厚度和肌层厚度显著低于对照组 ($P<0.05$), FM25、FM20和FM15三组鱼的杯状细胞数量显著低于对照组 ($P<0.05$); 同时, FM20和FM15组鱼的肠皱褶高度显著高于对照组 ($P<0.05$; 表 7)。随着黑水虻幼虫粉替代鱼粉的比例升高, 肠皱褶数

量呈现升高的趋势, 但在各组间没有显著性差异 ($P>0.05$; 表 8)。

2.7 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对加州鲈肝脏和肌肉的氨基酸组成的影响

如表 9 所示, 仅FM15组鱼的丙氨酸含量显著低

表 7 养殖8周后加州鲈幼鱼的肠道酶活

Tab. 7 The intestinal enzyme activity of juvenile *Micropterus salmoides* fed the experimental diets for 8 weeks

指标Item	组别Group			
	FM30	FM25	FM20	FM15
超氧化物歧化酶(U/mg prot)	241.77±3.83 ^{ab}	252.87±5.34 ^a	225.67±8.33 ^b	243.89±4.51 ^{ab}
丙二醛含量(nmol/mg prot)	1.63±0.13 ^c	2.33±0.20 ^{ab}	2.42±0.08 ^a	1.74±0.12 ^{bc}
谷胱甘肽过氧化物酶(U/mg prot)	9.41±0.43	11.45±1.05	11.99±1.55	9.37±0.65
过氧化氢酶(U/mg prot)	1.51±0.18	1.94±0.25	1.64±0.12	1.45±0.07
溶菌酶(U/mg prot)	22.82±0.59	23.57±1.37	27.21±1.54	23.59±1.39
碱性磷酸酶(金氏单位/g prot)	608.00±14.61 ^a	576.48±28.21 ^{ab}	512.44±29.21 ^b	407.34±24.56 ^c
酸性磷酸酶(金氏单位/g prot)	199.77±6.67 ^a	215.82±5.90 ^a	173.02±4.30 ^b	180.50±5.66 ^b
胰蛋白酶(U/mg prot)	604.42±47.36 ^b	693.38±13.11 ^{ab}	703.36±20.23 ^{ab}	769.64±59.42 ^a
脂肪酶(U/g prot)	0.76±0.07 ^{ab}	0.59±0.05 ^b	0.81±0.04 ^a	0.62±0.03 ^{ab}
α-淀粉酶(U/mg prot)	0.69±0.02 ^a	0.71±0.03 ^a	0.59±0.02 ^b	0.75±0.01 ^a

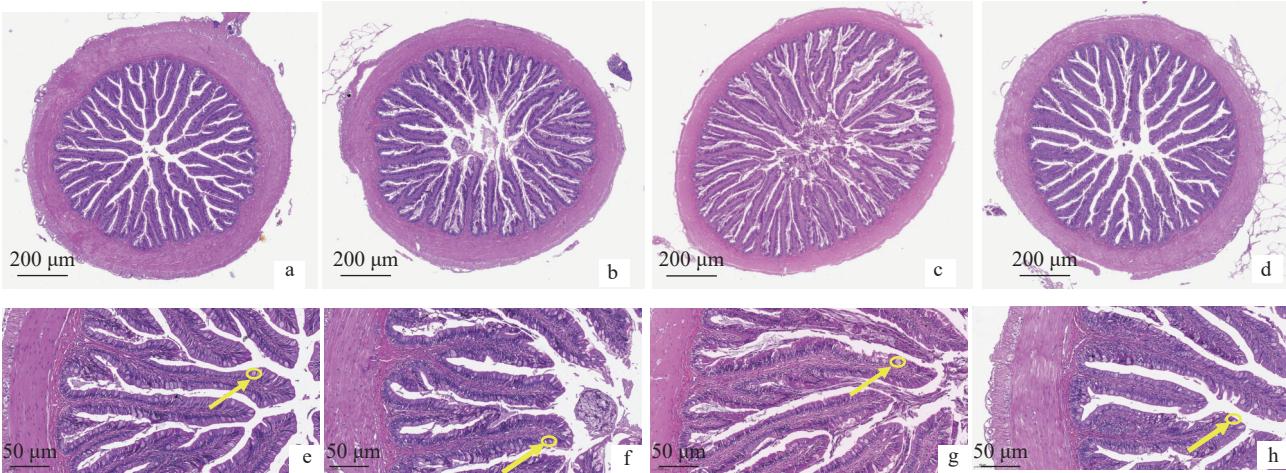


图 1 养殖8周后加州鲈幼鱼的前肠组织形态

Fig. 1 Intestinal histology of the foregut in juvenile *Micropterus salmoides* fed the experimental diets for 8 weeks

箭头所指为杯状细胞; a. M30组 40×; b. FM25组 40×; c. FM20组 40×; d. FM15组 40×; e. FM30组 200×; f. FM25组 200×; g. FM20组 200×; h. FM15组 200×

Arrows point to goblet cells; a. FM30 group 40×; b. FM25 group 40×; c. FM20 group 40×; d. FM15 group 40×; e. FM30 group 200×; f. FM25 group 200×; g. FM20 group 200×; h. FM15 group 200×

表 8 养殖8周后加州鲈幼鱼的前肠组织形态学指标

Tab. 8 The intestinal morphological index of the foregut in juvenile *Micropterus salmoides* fed the experimental diets for 8 weeks

指标Item	组别Group			
	FM30	FM25	FM20	FM15
肠壁厚度Wall thickness (μm)	208.36±5.64 ^a	178.82±5.67 ^b	184.40±4.32 ^b	208.44±6.66 ^a
肌层厚度Muscle layer thickness (μm)	140.41±4.41 ^a	117.93±3.64 ^b	119.07±3.32 ^b	136.25±5.20 ^a
肠皱褶高度Intestinal folds height (μm)	374.92±12.98 ^c	399.85±13.45 ^{bc}	424.58±15.01 ^b	542.00±18.24 ^a
肠皱褶数量Intestinal folds number (ind.)	37.25±2.78	39.50±2.40	41.25±1.49	42.25±0.75
杯状细胞数量Goblet cell number (ind.)	41.53±2.36 ^a	17.13±1.30 ^c	25.33±1.90 ^b	25.60±1.89 ^b

于对照组($P<0.05$), 其他氨基酸含量和总氨基酸含量与对照组相比差异不显著($P>0.05$)。如表 10 所示, 仅 FM20 组鱼的总氨基酸含量显著低于对照组($P<0.05$), 其他氨基酸含量在组间差异不显著($P>0.05$)。

2.8 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对加州鲈肝脏和肌肉的脂肪酸组成的影响

如表 11 所示, 用黑水虻幼虫粉替代鱼粉, 降低了肝脏饱和脂肪酸 C14:0 和 C16:0 的含量, 相反增加了 C18:0 含量; 同时, 显著降低了单不饱和脂肪酸 C16:1n-7 和 C18:1n-9 的含量($P<0.05$); 提高多不饱和脂肪酸 C18:2n-6、C20:3n-3、C20:5n-3 (Eicosapentaenoic, EPA)、C22:5n-3 和 C22:6n-3 (Docosahexaenoic, DHA) 的含量。值得注意的是, 3 组黑水虻幼虫粉添加组肝脏的 DHA、EPA 和 C22:5n-3 含量显著高于对照组($P<0.05$), 以 FM20 组鱼的 DHA、EPA 和 C22:5n-3 的含量最高; 同时, FM25 和 FM20 组鱼的肝脏 C20:4n-6 (Arachidonic, ARA) 含量也显著高于对照组($P<0.05$)。但是, 3 组黑水虻幼虫粉添加组肝脏的 C18:3n-3 含量却显著低于对照组($P<0.05$)。

如表 12 所示, FM15 组鱼肌肉的 C14:0、C16:0 和 FM20 组鱼肌肉的 C18:0 含量显著低于对照组($P<0.05$)。用黑水虻幼虫粉替代鱼粉, 降低了肌肉单不饱和脂肪酸 C18:1n-9 含量; 多不饱和脂肪酸 C18:2n-6 含量随黑水虻幼虫粉添加水平的增加呈升高趋势, 且 3 组黑水虻幼虫粉添加组肌肉的 C18:

表 10 养殖 8 周后加州鲈幼鱼的肌肉氨基酸组成(%总氨基酸)

Tab. 10 Amino acid composition in muscle of juvenile *Micropterus salmoides* fed the experimental diets for 8 weeks (% total amino acids)

氨基酸 Amino acid	组别 Group			
	FM30	FM25	FM20	FM15
天冬氨酸 ASP	9.20±0.10	9.05±0.12	8.94±0.23	9.16±0.06
谷氨酸 GLU	13.35±0.16	13.26±0.19	13.06±0.32	13.62±0.27
丝氨酸 SER	3.55±0.00	3.52±0.03	3.46±0.11	3.54±0.04
组氨酸 HIS	2.24±0.02	2.19±0.03	2.07±0.04	2.16±0.04
甘氨酸 GLY	4.26±0.08	4.40±0.13	4.18±0.14	4.30±0.11
苏氨酸 THR	4.07±0.08	4.02±0.07	3.93±0.05	4.07±0.01
精氨酸 ARG	5.18±0.09	5.13±0.02	4.99±0.11	5.36±0.22
丙氨酸 ALA	5.39±0.12	5.26±0.05	5.13±0.11	5.23±0.08
酪氨酸 TYR	2.94±0.02	2.89±0.01	2.85±0.09	2.91±0.02
缬氨酸 VAL	3.94±0.04	3.83±0.04	3.77±0.13	3.87±0.03
蛋氨酸 MET	2.69±0.04	2.65±0.02	2.62±0.05	2.69±0.01
苯丙氨酸 PHE	3.93±0.38	3.90±0.36	4.09±0.12	3.66±0.42
异氨酸 ILE	4.52±0.53	4.41±0.60	4.07±0.06	4.77±0.51
亮氨酸 LEU	7.20±0.09	7.05±0.08	7.01±0.14	7.19±0.04
赖氨酸 LYS	8.21±0.12	8.19±0.14	8.07±0.26	8.11±0.16
氨基酸总和	80.66±0.54 ^a	79.76±0.73 ^{ab}	78.26±1.89 ^b	80.64±0.87 ^a

表 11 养殖 8 周后加州鲈幼鱼的肝脏脂肪酸组成(%总脂肪酸)

Tab. 11 Fatty acid composition in liver of juvenile *Micropterus salmoides* fed the experimental diets for 8 weeks (% total fatty acids)

脂肪酸 Fatty acid	组别 Group			
	FM30	FM25	FM20	FM15
C14:0	3.19±0.13 ^a	2.10±0.04 ^b	1.32±0.11 ^c	1.16±0.11 ^c
C16:0	17.55±0.37 ^a	17.11±0.33 ^a	15.80±0.32 ^b	14.71±0.44 ^c
C18:0	6.82±0.15 ^b	6.54±0.28 ^b	8.72±0.32 ^a	8.13±0.70 ^a
C20:0	0.20±0.02 ^b	0.26±0.01 ^a	0.28±0.01 ^a	0.26±0.02 ^a
C16:1n-7	2.74±0.18 ^a	2.17±0.11 ^b	1.16±0.13 ^c	1.29±0.14 ^c
C18:1n-9	19.85±1.01 ^a	13.95±0.49 ^b	10.35±0.73 ^c	10.92±0.80 ^c
C20:1n-9	0.11±0.00 ^{ab}	0.13±0.01 ^a	0.11±0.01 ^b	0.10±0.01 ^b
C18:2n-6	15.02±0.48 ^c	18.60±1.11 ^b	16.77±1.55 ^{bc}	22.66±1.63 ^a
C20:2n-6	1.17±0.08 ^b	1.44±0.06 ^a	1.18±0.13 ^b	1.36±0.12 ^{ab}
C20:3n-6	0.18±0.02 ^a	0.10±0.01 ^c	0.10±0.02 ^{bc}	0.13±0.01 ^b
C20:4n-6	0.10±0.01 ^b	0.15±0.03 ^a	0.15±0.02 ^a	0.08±0.01 ^b
C18:3n-3	1.18±0.09 ^a	1.02±0.10 ^b	0.66±0.02 ^c	0.58±0.05 ^c
C20:3n-3	1.38±0.17 ^c	1.69±0.09 ^{bc}	2.08±0.19 ^a	1.85±0.21 ^{ab}
C20:4n-3	0.08±0.01	0.09±0.03	0.08±0.00	0.09±0.01
C20:5n-3	0.20±0.01 ^c	0.25±0.01 ^b	0.30±0.02 ^a	0.28±0.03 ^{ab}
C22:5n-3	0.68±0.03 ^c	1.39±0.10 ^a	1.11±0.06 ^b	1.30±0.03 ^a
C22:6n-3	12.48±1.40 ^c	16.45±0.80 ^b	20.35±1.71 ^a	18.20±1.51 ^{ab}
SFA	28.44±1.33	28.44±0.58	29.62±0.13	29.61±1.33
MUFA	23.84±1.06 ^a	16.78±0.58 ^b	12.27±0.80 ^c	12.83±0.92 ^c
PUFA	17.36±1.49 ^c	22.34±0.73 ^b	26.19±1.77 ^a	23.67±1.45 ^{ab}
LC-PUFA	16.21±1.48 ^c	21.42±0.79 ^b	25.53±1.79 ^a	23.13±1.50 ^{ab}

表 9 养殖 8 周后加州鲈幼鱼的肝脏氨基酸组成(%总氨基酸)

Tab. 9 Amino acid composition in liver of juvenile *Micropterus salmoides* fed the experimental diets for 8 weeks (% total amino acids)

氨基酸 Amino acid	组别 Group			
	FM30	FM25	FM20	FM15
天氨酸 ASP	6.74±0.36	6.85±0.66	6.50±0.10	6.39±0.42
谷氨酸 GLU	13.35±0.16	13.26±0.19	13.06±0.32	13.62±0.27
丝氨酸 SER	2.61±0.09	2.61±0.31	2.50±0.04	2.45±0.20
组氨酸 HIS	1.20±0.07	1.22±0.18	1.16±0.05	1.10±0.07
甘氨酸 GLY	2.99±0.18	2.99±0.37	2.81±0.05	2.71±0.15
苏氨酸 THR	2.78±0.23	2.71±0.34	2.58±0.04	2.51±0.19
精氨酸 ARG	3.18±0.14	3.17±0.40	3.03±0.08	2.91±0.23
丙氨酸 ALA	3.38±0.07 ^a	3.27±0.34 ^{ab}	3.31±0.09 ^{ab}	2.97±0.20 ^b
酪氨酸 TYR	1.83±0.05	1.82±0.23	1.73±0.06	1.70±0.14
缬氨酸 VAL	2.89±0.09	2.87±0.29	2.70±0.12	2.68±0.19
蛋氨酸 MET	1.33±0.07	1.33±0.17	1.26±0.05	1.22±0.11
苯丙氨酸 PHE	2.72±0.11	2.68±0.23	2.50±0.15	2.53±0.16
异氨酸 ILE	2.40±0.08	2.38±0.23	2.21±0.11	2.21±0.14
亮氨酸 LEU	4.35±0.15	4.30±0.43	4.07±0.15	4.04±0.29
赖氨酸 LYS	3.07±0.17	3.03±0.27	3.10±0.34	2.81±0.09
氨基酸总和	46.78±1.85	46.50±4.94	44.40±0.62	43.18±2.89

表 12 养殖8周后加州鲈幼鱼的肌肉脂肪酸组成(%总脂肪酸)

Tab. 12 Fatty acid composition in muscle of juvenile *Micropterus salmoides* fed the experimental diets for 8 weeks (% total fatty acids)

脂肪酸 Fatty acid	组别Group			
	FM30	FM25	FM20	FM15
C14:0	1.56±0.15 ^a	1.31±0.21 ^{ab}	1.55±0.09 ^a	1.12±0.06 ^b
C16:0	18.08±0.13 ^b	18.91±0.23 ^a	17.76±0.13 ^b	17.12±0.16 ^c
C18:0	6.46±0.46 ^a	6.44±0.29 ^a	5.31±0.11 ^b	5.90±0.24 ^a
C20:0	0.17±0.01 ^b	0.17±0.01 ^b	0.15±0.01 ^c	0.20±0.01 ^a
C16:1n-7	1.37±0.21 ^{ab}	1.18±0.18 ^b	1.50±0.11 ^a	1.28±0.11 ^{ab}
C18:1n-9	16.13±0.68 ^a	12.66±1.05 ^c	14.58±0.72 ^b	13.40±0.28 ^{ab}
C20:1n-9	0.13±0.01 ^a	0.10±0.01 ^b	0.10±0.01 ^b	0.10±0.01 ^b
C18:2n-6	13.85±0.71 ^d	16.88±0.78 ^c	23.78±0.34 ^b	26.42±0.36 ^a
C20:2n-6	1.67±0.08 ^a	1.68±0.24 ^a	1.16±0.37 ^b	1.29±0.10 ^{ab}
C20:3n-6	0.12±0.01	0.14±0.01	0.15±0.01	0.18±0.01
C20:4n-6	0.09±0.01 ^a	0.07±0.01 ^b	0.04±0.01 ^c	0.07±0.01 ^b
C18:3n-3	0.91±0.02 ^a	0.62±0.02 ^b	0.54±0.01 ^c	0.49±0.02 ^d
C20:3n-3	1.09±0.08 ^b	1.24±0.24 ^a	1.05±0.37 ^b	1.10±0.10 ^b
C20:4n-3	0.10±0.00 ^a	0.07±0.01 ^b	0.05±0.01 ^c	0.07±0.01 ^b
C20:5n-3	0.18±0.02 ^a	0.16±0.02 ^{ab}	0.11±0.01 ^c	0.13±0.02 ^{bc}
C22:5n-3	1.05±0.02 ^b	1.52±0.02 ^a	1.42±0.01 ^a	1.41±0.02 ^a
C22:6n-3	13.30±0.63 ^a	12.32±0.93 ^{ab}	11.38±0.92 ^b	11.56±0.55 ^b
SFA	26.59±0.81 ^a	26.82±0.66 ^a	25.07±0.25 ^b	24.70±0.78 ^b
MUFA	21.04±1.60 ^a	18.82±1.32 ^{ab}	18.86±1.35 ^{ab}	17.84±1.60 ^b
PUFA	16.83±2.11	16.12±2.35	17.68±1.18	18.65±1.73
LC-PUFA	16.97±1.93	17.58±2.19	15.35±1.53	16.28±1.37

2n-6含量均显著高于对照组($P<0.05$),但是,ARA含量却显著低于对照组($P<0.05$)。随着黑水虻幼虫粉添加水平的升高,肌肉C18:3n-3含量呈现降低趋势,而EPA、DHA的含量呈现先降低后升高的趋势,但FM15组鱼的肌肉EPA、DHA的含量依然显著低于对照组($P<0.05$)。

3 讨论

本研究结果表明,在含30%鱼粉的基础饲料中,用黑水虻幼虫粉替代0、16.67%、33.33%、50%鱼粉,对加州鲈幼鱼的生长性能和饲料利用效率无显著影响,可使加州鲈幼鱼配合饲料中鱼粉的添加量最低可到15%(FM15);当用黑水虻幼虫粉替代33.33%鱼粉,即配合饲料中添加20%鱼粉(FM20)时,加州鲈幼鱼的生长性能较高,饲料系数最低,甚至优于FM30对照组。在之前报道的对加州鲈幼鱼开展黑水虻幼虫粉替代鱼粉的研究中,用黑水虻幼虫粉可替代5%—30%鱼粉,使得加州鲈幼鱼配合饲料中鱼粉的添加量可降低到51.34%^[15]或者31.5%^[17],均显著高于本研究得出的最低15%鱼粉添加量。有研

究显示,使用脱脂黑水虻幼虫粉,可替代75%鱼粉,使得配合饲料中鱼粉的添加量可降低到10%,而不影响加州鲈幼鱼的生长性能^[18]。黑水虻幼虫的蛋白含量偏低,脂肪含量偏高,使用脱脂黑水虻可提高幼虫的蛋白含量,因此可以提高配合饲料中鱼粉的替代比例^[18]。在本研究中,在黑水虻幼虫粉以适宜水平替代鱼粉的条件下,FM20组(配合饲料中添加20%鱼粉)加州鲈幼鱼(初始体重约为17.05 g)的特定生长率为3.13%/d,与之前研究中生长性能最优的黑水虻幼虫粉替代组(配合饲料中添加51.34%鱼粉)加州鲈幼鱼(初始体重约为15.90 g)的特定生长率(3.26%/d)^[15]持平,但低于彭凯等^[17]研究中生长性能最优组(配合饲料中添加34.87%鱼粉)加州鲈幼鱼(初始体重约为4.90 g)的特定生长率(4.06%/d)。前二者研究中加州鲈初始鱼体重比较接近(15.90—17.05 g),远大于后者研究中初始鱼体重(4.90 g)。体重越小的鱼生长速度越快,这也可能是后者的生长性能较高的原因之一。但是,也有研究显示,用黑水虻幼虫粉或预蛹黑水虻虫粉混合豆粕替代含20%鱼粉基础饲料中的66.67%鱼粉,会导致加州鲈幼鱼的生长性能显著降低^[16]。上述这些研究结果表明,在加州鲈幼鱼的配合饲料中,用黑水虻幼虫粉替代部分鱼粉(替代鱼粉的比例不超过50%),不会影响加州鲈的生长性能甚至具有促进生长的作用,这可能与黑水虻幼虫粉具有与鱼粉相似的氨基酸组成及富含几丁质、月桂酸、抗菌肽等生物活性物质有关^[21, 22]。几丁质能够刺激鱼类产生非特异性免疫,并通过促进肠道乳酸菌等益生菌的增殖而抑制致病菌感染,对革兰氏阴性菌具有抗菌作用;月桂酸具有抗炎作用,能够有效抵抗革兰氏阳性菌;抗菌肽对多种菌具有抗菌作用,有希望作为抗生素的替代品应用于水产养殖中^[22]。在虹鳟^[9]、大西洋鲑^[11]、欧洲鲈^[12]、乌鳢^[13]、建鲤^[14]、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)^[23]和斑马鱼(*Danio rerio*)^[24]等鱼类中开展的黑水虻幼虫粉部分替代鱼粉的研究,也得到类似的不影响鱼类生长的结论。但是,黑水虻幼虫粉替代鱼粉的比例必须要控制在适宜范围之内,过高会对鱼类的生长起负面影响。因为黑水虻外骨骼中的几丁质很难被鱼类消化,且黑水虻富含饱和脂肪酸和n-6系列脂肪酸, n-6/n-3脂肪酸比例高,机体脂肪酸组成不平衡,不符合大多数鱼类对饲料脂肪酸的营养需求^[21]。

碱性磷酸酶广泛分布于脊椎动物的各种组织中,以肝脏、肾脏、骨骼和小肠中含量最为丰富。碱性磷酸酶可以使革兰氏阴性菌的膜蛋白脂多糖去磷酸化,降低脂多糖与受体的结合能力,从而降

低脂多糖对动物机体的毒副作用^[25]。碱性磷酸酶活性的降低与肠道炎症增加、生物失调、细菌易位及之后的全身炎症相关^[26]。酸性磷酸酶是巨噬细胞溶酶体的标志性酶,参与磷酸基团的转移和代谢,可水解表面带有磷酸酯的异物以破坏异物^[27]。溶菌酶可以水解革兰氏阳性菌的细胞壁多糖。碱性磷酸酶、酸性磷酸酶和溶菌酶在动物的非特异性免疫中发挥重要作用。丙二醛是动物机体脂质过氧化的产物。在本研究中,虽然FM20组鱼呈现较佳的生长性能,但其前肠和肝脏的丙二醛含量显著高于对照组,前肠碱性磷酸酶、酸性磷酸酶活性和肝脏的溶菌酶活性均显著低于对照组,血清碱性磷酸酶活性也显著低于对照组,前肠上皮出现肠绒毛破损、肠皱褶粘连等结构受损情况,肠道上皮的肠壁厚度、肌层厚度和杯状细胞数量都显著低于对照组,显示FM20组加州鲈肝脏的非特异性免疫与抗氧化性能不及对照组,其肠组织出现一定程度的损伤。彭凯等^[28]也报道用黑水虻幼虫粉替代7.5%—30%鱼粉,对加州鲈幼鱼的肠道造成损伤,且黑水虻幼虫粉替代比例越高,肠道损伤越明显。用黑水虻幼虫粉或者预蛹黑水虻虫粉混合豆粕替代66.67%鱼粉,加州鲈幼鱼肠绒毛的完整程度不及鱼粉组和鱼粉与豆粕混合组^[16]。但是,也有研究显示,在大西洋鲑中用黑水虻幼虫粉或者脱脂黑水虻幼虫粉替代100%鱼粉,不影响大西洋鲑的肠道健康^[11, 29]。用脱脂黑水虻幼虫粉替代16%—64%鱼粉,对花鲈(*Lateolabrax japonicus*)的肠、肝组织形态都没有负面影响^[30]。饲料中过量的几丁质对一些鱼类是有害的^[16]。不同鱼类对几丁质的耐受程度不同,可能与不同鱼类的胃腺和胰腺分泌几丁质酶的含量和活力有关^[31]。本研究结果显示,当用黑水虻幼虫粉替代33.3%鱼粉(FM20组)时,加州鲈幼鱼生长良好,能够耐受其造成的一定程度的肠、肝损伤,可能源于黑水虻中的几丁质、月桂酸和抗菌肽等生物活性物质对加州鲈的有益作用大于负面作用。

本研究结果还显示,用黑水虻幼虫粉替代鱼粉,具有降低加州鲈全鱼和肝脏脂肪的作用,同时降低了血清甘油三酯的含量。肝脏是动物机体脂肪合成与分解代谢的中枢组织,推测饲料中的黑水虻通过抑制肝脏合成甘油三酯,从而造成全鱼和肝脏的脂肪含量及血清甘油三酯含量的降低,表明其具有降脂作用。在黑水虻最适替代水平的FM20组,全鱼和肝脏的粗脂肪含量低于对照组,而肌肉的粗脂肪含量显著高于对照组,表明用适宜水平的黑水虻幼虫粉替代鱼粉,可促进肝脏等组织中的脂肪向肌肉组织转移,有利于提高肌肉品质。类似的提高肌

肉脂肪的结果也在虹鳟中有过报道^[9]。这可能与几丁质具有结合肠道胆汁酸和游离脂肪酸的能力、促进脂肪转运有关^[22]。与此结果相一致的是,FM20组加州鲈幼鱼的前肠脂肪酶活力最高,显著高于FM25组,胰蛋白酶活性也比对照组高, α -性淀粉酶却低于对照组,这些可能导致FM20组加州鲈对饲料脂肪、蛋白质营养物质的消化吸收能力增强,对饲料淀粉的消化能力降低,继而促进鱼体生长及全鱼粗蛋白含量的增加。

由于黑水虻幼虫具有与鱼粉相似的氨基酸组成^[6, 21],因此,本研究显示用黑水虻幼虫粉替代0、16.67%、33.33%和50%鱼粉,4组实验饲料的氨基酸组成相差不大,对加州鲈幼鱼肝脏和肌肉的氨基酸组成也影响不大^[21]。但是,由于黑水虻富含中链饱和脂肪酸月桂酸、单不饱和脂肪酸C18:1n-9和多不饱和脂肪酸亚油酸,缺少EPA、DHA、ARA等高度不饱和脂肪酸(Highly unsaturated fatty acid, HUFA),亚麻酸(C18:3n-3)含量低,因此n-6/n-3脂肪酸组成不平衡^[5]。本研究结果显示,在加州鲈的肝脏和肌肉中,饱和脂肪酸主要以C16:0为主,单不饱和脂肪酸主要以C18:1n-9为主,多不饱和脂肪酸主要以亚油酸和DHA为主。在肝脏中,随着黑水虻替代鱼粉比例的增加,C14:0和C16:0含量降低,C18:0含量升高,而肌肉中C18:0含量则降低,表明黑水虻富含的月桂酸主要在肝脏中被用于分解供能和合成C18:0,而C18:0则有一部分被用于继续合成其他更长链的脂肪酸。随着黑水虻替代鱼粉比例的增加,加州鲈肝脏C18:1n-9逐渐降低,表明C18:1n-9主要被用于分解供能。肝脏和肌肉的亚油酸含量基本呈上升趋势,与配合饲料中亚油酸含量随黑水虻替代比例上升而逐渐增加相一致。值得注意的是,黑水虻缺乏DHA等高度不饱和脂肪酸,亚麻酸含量也低。但是,随着黑水虻替代鱼粉比例的增加,加州鲈肝脏和肌肉的亚麻酸含量逐渐降低,但却显著提高了肝脏的DHA含量,在黑水虻幼虫粉最适替代水平组(FM20组),肝脏的DHA含量达到最大值。上述结果表明,加州鲈具有内源的将18C亚麻酸合成DHA的能力,在饲料中含有适宜的亚麻酸水平(饲料中鱼油和鱼粉含有一定量的亚麻酸)时,合成DHA等高度不饱和脂肪酸的能力增强^[20]。此外,加州鲈肝脏的DHA含量远大于ARA含量,因此,加州鲈偏向合成n-3系列高度不饱和脂肪酸。但是,FM20和FM15组加州鲈肌肉的DHA含量却显著低于对照组。DHA等高度不饱和脂肪酸构成动物细胞膜的主要磷脂成分,其在鱼类个体发生、生长、存活、色素沉着、对应激和疾病的抵抗及在脑、

视觉、神经系统的发育和功能中发挥重要的作用^[32]。鱼类一般倾向在体内保留DHA, 尤其是在脑、眼等神经组织中保留DHA, 所以, 鱼类这些组织中的DHA含量一般较高且保持稳定^[33]。当鱼类从饲料中摄取的DHA加上内源合成的DHA的总量依然不足时, 鱼类可能倾向从肌肉等组织转运DHA到脑、眼等组织, 会造成肌肉DHA含量下降, 肌肉品质降低。之前的研究也发现, 当投喂抽提了脂肪的鱼粉和非鱼油的配合饲料12周后, 加州鲈幼鱼肌肉和肝脏的DHA含量均显著低于鱼油组或未抽提脂肪的鱼粉投喂组; 其肌肉的DHA含量低于肝脏的DHA含量, 也低于初始鱼的肌肉的DHA含量, 表明加州鲈在投喂不含有HUFA的配合饲料时, 肌肉和肝脏的DHA含量显著降低, 而肌肉的DHA含量低于肝脏的DHA含量, 揭示肌肉保留DHA的能力较低^[34], 与本研究结果相一致。这也提示, 需要在加州鲈配合饲料中提供足量的DHA和适宜水平的亚麻酸, 以满足加州鲈对DHA的需求, 增强肌肉品质。黑水虻幼虫粉替代部分鱼粉导致肌肉中DHA等高度不饱和脂肪酸含量降低的现象也曾在虹鳟^[9]中报道过。

4 结论

综上所述, 在含30%鱼粉的基础饲料中, 用黑水虻幼虫粉替代16.67%、33.33%和50%鱼粉, 对加州鲈幼鱼的生长性能无显著影响, 降低全鱼和肝脏的脂肪含量及血清甘油三酯含量, 对肠、肝组织结构有一定损伤, 对肌肉和肝脏的氨基酸组成影响较小, 但是显著增加肝脏的DHA含量反而降低肌肉的DHA含量, 表明加州鲈具有内源合成高度不饱和脂肪酸的能力。当配合饲料中用黑水虻幼虫粉替代33.3%鱼粉时, 加州鲈幼鱼的生长性能较佳, 肌肉脂肪含量和全鱼粗蛋白含量最高, 肝脏合成DHA的能力最强。

参考文献:

- [1] Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2022 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2022. [农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会编制. 中国渔业统计年鉴-2022 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.]
- [2] Chen K, Zhu S H, Jiang Y J, *et al.* Nutritional requirements and progress of *Micropterus salmoides* [J]. *Guangdong Feed*, 2022, **31**(8): 40-44. [陈康, 朱双红, 姜永杰, 等. 加州鲈营养需求及进展 [J]. 广东饲料, 2022, **31**(8): 40-44.]
- [3] Ren X, Huang D, Wu Y B, *et al.* Gamma ray irradiation improves feather meal as a fish meal alternate in largemouth bass *Micropterus salmoides* diet [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2020(269): 114647.
- [4] Chen N S, Ma X L, Zhao M, *et al.* Suitable inclusion levels of white fish meal and two kinds of soybean meal in diets for juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, **37**(9): 1389-1400. [陈乃松, 马秀丽, 赵明, 等. 大口黑鲈幼鱼饲料中白鱼粉与两种豆粕的适宜配比 [J]. 水产学报, 2013, **37**(9): 1389-1400.]
- [5] Xu X X. Study on the application of black soldier fly (*Hermetia illucens*) oil in the diet of juvenile mirror carp (*Cyprinus carpio* var. *Specularis*) [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2021. [徐歆歆. 黑水虻油的制备及其在框鲤幼鱼日粮中的应用研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.]
- [6] Xiao H F. Study on the application of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in the diet for juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2020. [萧鸿发. 黑水虻幼虫粉在大口黑鲈幼鱼饲料中的应用研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2020.]
- [7] Hu J R, Yi C J, Wang G X, *et al.* Effects of dietary soybean oil replaced with black soldier fly larvae oil on growth performance, plasma biochemical indexes and liver lipid droplets of juvenile yellow catfish [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2020, **44**(4): 717-727. [胡俊茹, 易昌金, 王国霞, 等. 黑水虻虫油替代豆油对黄颡鱼幼鱼生长、血清生化指标和肝脏脂滴面积的影响 [J]. 水生生物学报, 2020, **44**(4): 717-727.]
- [8] Zhang Q H, Li K T, Wang H, *et al.* Research progress of antimicrobial peptides from black soldier fly [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2022, **44**(4): 996-1004. [章启慧, 李昆太, 王会, 等. 黑水虻抗菌肽研究进展 [J]. 江西农业大学学报, 2022, **44**(4): 996-1004.]
- [9] Renna M, Schiavone A, Gai F, *et al.* 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 [J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2017(8): 57.
- [10] Elia A C, Capucchio M T, Caldaroni B, *et al.* Influence of *Hermetia illucens* meal dietary inclusion on the histological traits, gut mucin composition and the oxidative stress biomarkers in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 2018(496): 50-57.
- [11] Bruni L, Belghit I, Lock E J, *et al.* 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.) [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020,

- 100(3): 1038-1047.
- [12] Magalhães R, Sánchez-López A, Leal R S, *et al.* Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fish meal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. *Aquaculture*, 2017(476): 79-85.
- [13] Ma H J, Feng X Y, Liu K, *et al.* Effect of fish meal replacement by *Hermetia illucens* L. meal on growth performance, anti-oxidation and immunity index of juvenile *Channa argus* [J]. *Feed Research*, 2021, 44(20): 48-52. [马恒甲, 冯晓宇, 刘凯, 等. 黑水虻替代鱼粉对乌鳢生长性能、抗氧化及免疫指标的影响 [J]. 饲料研究, 2021, 44(20): 48-52.]
- [14] Li S, Ji H, Zhang B, *et al.* 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 hepatopancreas histological structure [J]. *Aquaculture*, 2017(477): 62-70.
- [15] Wang B T, Wu H L, Dong Y W, *et al.* Effects of fish-meal substitution with *Hermetia illucens* L on the growth, metabolism and disease resistance of *Micropterus salmoides* [J]. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2022, 8(11): 1343-1353.
- [16] Fischer H, Romano N, Renukdas N, *et al.* Comparing black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae versus prepupae in the diets of largemouth bass, *Micropterus salmoides*: effects on their growth, biochemical composition, histopathology, and gene expression [J]. *Aquaculture*, 2022(546): 737323.
- [17] Peng K, Xiao H F, Mo W Y, *et al.* Effects of replacing fish meal with black soldier fly larvae meal on growth performance, physical indexes, body composition and nutrient retention rates of *Micropterus salmoides* [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(11): 6340-6348. [彭凯, 萧鸿发, 莫文艳, 等. 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对加州鲈生长性能、形体指标、体成分及营养物质沉积率的影响 [J]. 动物营养学报, 2021, 33(11): 6340-6348.]
- [18] Wu Y T, Wang Z, Wu Y B, *et al.* Effect of fish meal replacement by defatted *Hermetia illucens* powder on growth, feed utilization and body composition of *Micropterus salmoides* [J]. *Feed Research*, 2021, 44(20): 43-47. [邬伊田, 王尊, 吴玉波, 等. 脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉对大口黑鲈生长、饵料利用和鱼体成分的影响 [J]. 饲料研究, 2021, 44(20): 43-47.]
- [19] Zhao H X, Chen Q M, Huang Y H, *et al.* Effects of dietary arginine level on growth performance, digestive and absorptive related indexes, immune function and antioxidant ability of juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(12): 5040-5051. [赵红霞, 陈启明, 黄燕华, 等. 饲料精氨酸水平对黄颡鱼幼鱼生长性能、消化吸收相关指标、免疫功能和抗氧化能力的影响 [J]. 动物营养学报, 2018, 30(12): 5040-5051.]
- [20] Li Y Y, Hu C B, Zheng Y J, *et al.* The effects of dietary fatty acids on liver fatty acid composition and Δ^6 -desaturase expression differ with ambient salinities in *Siganus canaliculatus* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2008, 151(2): 183-190.
- [21] Zarantoniello M, Randazzo B, Secci G, *et al.* Application of laboratory methods for understanding fish responses to black soldier fly (*Hermetia illucens*) based diets [J]. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2022, 8(11): 1173-1195.
- [22] Gasco L, Finke M, van Huis A. Can diets containing insects promote animal health [J]? *Journal of Insects as Food and Feed*, 2018, 4(1): 1-4.
- [23] Wang G X, Chen B, Sun Y P, *et al.* Effects of replacing fish meal with defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on growth performance, nutrient retention, serum biochemical parameters and digestive enzymes activity of juvenile *Pelteobagrus fulvidraco* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(6): 987-998. [王国霞, 陈冰, 孙育平, 等. 脱脂亮斑扁角水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能、营养素沉积率、血清生化指标和消化酶活性的影响 [J]. 水产学报, 2020, 44(6): 987-998.]
- [24] Fronte B, Licitra R, Bibbiani C, *et al.* Fishmeal replacement with *Hermetia illucens* meal in aquafeeds: effects on zebrafish growth performances, intestinal morphometry, and enzymology [J]. *Fishes*, 2021, 6(3): 28.
- [25] Bates J M, Akerlund J, Mittge E, *et al.* Intestinal alkaline phosphatase detoxifies lipopolysaccharide and prevents inflammation in zebrafish in response to the gut microbiota [J]. *Cell Host & Microbe*, 2007, 2(6): 371-382.
- [26] Fawley J, Gourlay D M. Intestinal alkaline phosphatase: a summary of its role in clinical disease [J]. *Journal of Surgical Research*, 2016, 202(1): 225-234.
- [27] Zhou Y Y, Wang L. Regulation of lipopolysaccharide on immune capacity of the freshwater crab *Sinopotamon henanense* [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2020, 26(16): 128-139. [周妍英, 王兰. 脂多糖对河南华溪蟹免疫能力的调节作用 [J]. 安徽农学通报, 2020, 26(16): 128-139.]
- [28] Peng K, Xiao H F, Mo W Y, *et al.* Effects of dietary black soldier fly larvae meal on serum metabolites, antioxidant and immune indexes and intestinal histological appearance of *Micropterus salmoides* [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(12): 6964-6972. [彭凯, 萧鸿发, 莫文艳, 等. 饲料中添加黑水虻幼虫粉对加州鲈血清代谢物、抗氧化与免疫指标及肠道组织结构的影响 [J]. 动物营养学报, 2021, 33(12): 6964-6972.]
- [29] Lock E R, Arsiwalla T, Waagbø R. Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt [J]. *Aquaculture Nutrition*

- tion, 2016, **22**(6): 1202-1213.
- [30] Wang G, Peng K, Hu J, *et al.* Evaluation of defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as an alternative protein ingredient for juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) diets [J]. *Aquaculture*, 2019(507): 144-154.
- [31] Yang G Y, Liu S S. Application of insect resources in aquatic feed [J]. *Hebei Fisheries*, 2021(10): 41-44. [杨国勇, 刘世胜. 昆虫资源在水产饲料中的应用 [J]. *河北渔业*, 2021(10): 41-44.]
- [32] Sargent J, Tocher D R, Bell J G. The Lipid, third edition//Halver J E, Hardy R W (Eds.), Fish Nutrition. London: Academic Press, 2002, 182-259.
- [33] Glencross B D. Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species [J]. *Reviews in Aquaculture*, 2009, **1**(2): 71-124.
- [34] Subhadra B, Lochmann R, Rawles S, *et al.* Effect of dietary lipid source on the growth, tissue composition and hematological parameters of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Aquaculture*, 2006, **255**(1-4): 210-222.

REPLACING DIFFERENT PROPORTIONS OF FISHMEAL WITH *HERMITIA ILLUCENS* MEAL ON THE GROWTH, HEALTH AND MUSCLE QUALITY OF *MICROPTERUS SALMOIDES*

YOU Cui-Hong, LI Hong-Wei, ZHOU Meng, LIN Li, DONG Ye-Wei, TAN Xiao-Hong and HUANG Yan-Hua

(Innovative Institute of Animal Healthy Breeding, College of Animal Sciences and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510222, China)

Abstract: Four diets with isonitrogenous and isolipidic (45% protein and 15% lipid) were prepared. The control group contained 30% fish meal (FM30), while the other three groups replaced 16.67% (FM25), 33.33% (FM20) and 50% (FM15) fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal respectively. The juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*) was fed four diets in the indoor circulating water system for 8 weeks respectively. This study aimed to examine the impacts of replacing fish meal with *H. illucens* larvae meal on the growth performance, health and muscle quality of *M. salmoides*. The results showed that there was no significant difference in final body mass, weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR), and survival rate among the four groups ($P>0.05$). However, the FM20 group exhibited a high WGR and SGR and a lowest feed conversion ratio (FCR), which was significantly lower than that of FM15 and FM25 ($P<0.05$). Partial replacement of fish meal with *H. illucens* larvae meal reduced the lipid content of the whole fish and liver, as well as the serum triglyceride content. Furthermore, it resulted in decreased levels of C14:0, C16:0, C18:1n-9 and C18:3n-3 in liver and DHA in muscle. Conversely, there was an elevation in C18:0, DHA, EPA and C22:5n-3 in the liver. These modifications had a marginal effect on amino acid composition in both muscle and liver. Compared with the control group, the contents of malondialdehyde in foregut and liver of the fish in FM20 group increased significantly ($P<0.05$), while the activities of alkaline phosphatase in foregut and serum decreased significantly ($P<0.05$). The intestinal epithelium of the foregut was damaged with impaired intestinal villi and intestinal fold adhesion, the activities of lipase in foregut and the contents of crude lipid in muscle and crude protein in whole fish were the highest, accompanied with the highest DHA in liver of FM20 group. The above results revealed that the largemouth bass *M. salmoides* had an ability of endogenous highly unsaturated fatty acid (HUFA) biosynthesis. It is suggested that a 50% replacement of fish meal with *H. illucens* larvae meal (FM15) can be undertaken, with a minimum addition of 15% fish meal in diets of *M. salmoides*, which has no negative effects on the growth performance. However, the most suitable level is 33.33% replacement of fish meal. This study provides data for the development of nutritionally scientific and reasonable composition and low cost feed for *M. salmoides*.

Key words: Fish meal replacement; Growth performance; Fatty acid; *Hermetia illucens*; *Micropterus salmoides*