

黑水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能、肌肉品质及血清生化指标的影响

陈晓瑛^{1,2,3,4} 胡俊茹^{1,2,3,4*} 王国霞^{1,2,3,4} 黄燕华^{1,2,3,4**}
陈冰^{1,2,3,4} 莫文艳^{1,2,3,4} 陈隋隋⁴

(1.广东省农业科学院动物科学研究所,广州 510640; 2.农业部华南动物营养与饲料重点实验室,广州 510640;
3.广东省畜禽育种与营养研究重点实验室,广州 510640; 4.广州飞禧特生物科技有限公司,广州 510640)

摘要: 本试验旨在研究黑水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能、体组成、肌肉氨基酸组成及血清生化指标的影响。选用初始体质量约 2.00 g 的黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*) 幼鱼 720 尾,随机分成 6 组,每组 4 个重复,每个重复 30 尾。6 组试验鱼分别投喂用黑水虻幼虫粉(由采食花生麸的 8 日龄黑水虻幼虫制成)替代基础饲料(基础饲料中鱼粉含量为 30%)中 0(对照)、10%、20%、30%、40%、50% 鱼粉的 6 种等氮等脂饲料,分别记为 G0、G10、G20、G30、G40、G50 组。试验期为 8 周。结果表明:黑水虻幼虫粉替代不同比例鱼粉对黄颡鱼幼鱼存活率的影响不显著 ($P>0.05$)。G10、G20、G30 组的终末体质量和特定生长率与 G0 组差异不显著 ($P>0.05$);当替代比例超过 30% 时,与 G0 组相比,黄颡鱼幼鱼的终末体质量和特定生长率显著降低 ($P<0.05$),脂肪沉积率显著升高 ($P<0.05$)。各组间饲料系数、蛋白质效率和蛋白质沉积率差异不显著 ($P>0.05$)。黄颡鱼幼鱼全鱼粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、水分含量以及肌肉粗脂肪、粗灰分和水分含量各组间无显著差异 ($P>0.05$),但 G50 组肌肉中粗蛋白质含量显著高于 G0 组 ($P<0.05$)。G30 组肌肉中精氨酸和缬氨酸含量显著高于 G0 组 ($P<0.05$)。黑水虻幼虫粉替代不同比例鱼粉对黄颡鱼幼鱼肌肉中 4 种呈味氨基酸(谷氨酸、天冬氨酸、丙氨酸和甘氨酸)的含量均未产生显著影响 ($P>0.05$)。G30 组血清中谷草转氨酶活性、尿素和甘油三酯含量与 G0 组相比有所降低,但差异不显著 ($P>0.05$),谷丙转氨酶活性则较 G0 组显著降低 ($P<0.05$)。由此得出,对于鱼粉含量为 30% 的黄颡鱼幼鱼基础饲料(干物质基础下,粗蛋白质含量为 44.55%、粗脂肪含量为 7.94%),黑水虻幼虫粉(由采食花生麸的 8 日龄黑水虻幼虫制成)替代鱼粉用量的 30%(占饲料蛋白质的 12.78%) 后能够降低血清谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性、尿素和甘油三酯含量,且不影响黄颡鱼幼鱼的生长性能和肌肉呈味氨基酸组成。

关键词: 黄颡鱼幼鱼;黑水虻幼虫粉;生长性能;血清生化指标;肌肉品质

中图分类号:S963

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2019)06-2788-12

鱼粉是动物(尤其是水产动物)最重要的蛋白质源,其粗蛋白质含量高、氨基酸均衡,富含不饱

和脂肪酸,消化吸收率较高。近些年来,我国水产养殖业高速发展,鱼粉的用量翻倍增长,而环境及

收稿日期:2018-11-16

基金项目:广东省农业科学院学科团队建设项目(201614TD);广东省级现代农业产业技术推广体系建设项目(2018LM1082, 2018LM1083);广东省科技计划项目(技术开发及产业化类别)(2017A020216005)

作者简介:陈晓瑛(1987—)女,福建漳平人,助理研究员,硕士,从事水产动物营养与饲料学研究。E-mail: 524852502@qq.com

* 同等贡献作者

** 通信作者:黄燕华,研究员,硕士生导师, E-mail: huangyh111@126.com

气候变化导致鱼粉产量降低,致使鱼粉供不应求,价格攀升。水产饲料蛋白质资源鱼粉短缺已成为制约水产养殖业可持续发展的瓶颈,寻求资源丰富、绿色安全的新型饲料蛋白质源是目前水产养殖业亟待解决的问题。

黑水虻(*Hermitia illucens*)是双翅目水虻科的一种昆虫,具有繁殖快、生物量大、吸收转化率高、虫体资源含量高、易饲养等特点,且生命力顽强,能够抵抗干旱、缺氧、缺少食物的恶劣环境,对水和能量的需要较小,排放较低水平的温室气体,是一种可资源化生产的昆虫。由于黑水虻虫体富含蛋白质和其他营养物质(如氨基酸、脂类、维生素、矿物质及一些活性物质),被认为是最具开发潜力的动物蛋白质资源之一^[1]。已有研究发现,用黑水虻相关产品替代鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)^[2]、建鲤(*Cyprinus carpio* var. Jian)^[3]、锦鲤(*Cyprinus carpio*)^[4]、欧洲舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)^[5]、鲶鱼(*Clarias gariepinus*)^[6]、罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[7]、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[8]饲料中的鱼粉取得了较好的效果。

黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)是我国淡水水体中分布较广的底层经济杂食性鱼类,含肉率高、肉质细嫩,且肌肉中含有人体必需的氨基酸,营养价值高,味道鲜美,已在网箱、池塘等水域中成功放养,是我国主要名优鱼类之一。黄颡鱼对饲料中鱼粉的要求较高,所以研究黄颡鱼的新型蛋白质源具有重要的意义。近年来已有不少关于黄颡鱼饲料中鱼粉替代物的研究,如使用大豆浓缩蛋白^[9]、豆粕^[10]、淀粉水解物^[11]、蝇蛆粉^[12]、黄粉虫和蚕蛹^[13]等来替代黄颡鱼饲料中的鱼粉。本

实验室前期研究发现黑水虻幼虫粉(餐厨废弃物养殖)替代黄颡鱼饲料中20%及以下的鱼粉对黄颡鱼的生长无显著影响^[14]。本试验采用取食花生麸的8日龄黑水虻幼虫,制得黑水虻幼虫粉,探讨其替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能、体组成、肌肉氨基酸组成及血清生化指标的影响,以期黑水虻幼虫粉作为鱼粉替代源的研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

试验用黑水虻幼虫粉由广州飞禧特生物科技有限公司提供,制备方法为:采集取食花生麸的8日龄黑水虻幼虫,烘干、粉碎后过80目筛,于-20℃冰箱中保存备用。经测定,黑水虻幼虫粉的干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分含量分别为27.26%、50.35%、24.00%、8.43%。

以鱼粉、豆粕、玉米蛋白粉、花生麸为主要蛋白质源,高筋面粉为主要糖源,豆油和卵磷脂为主要脂肪源配制基础饲料,其鱼粉(粗蛋白质含量为73.7%)含量为30%。采用等氮等脂替代方式,以黑水虻幼虫粉替代基础饲料中0(对照)、10%、20%、30%、40%、50%的鱼粉,配制6种等氮等脂的试验饲料,分别记为G0、G10、G20、G30、G40、G50组。试验饲料组成及营养水平见表1。饲料原料经粉碎后过80目筛,维生素和矿物质等微量成分按逐级扩大法混合,所有原料混合均匀后加适量水混匀,使用SLX-80型双螺杆挤压机制成粒径为1.5 mm的颗粒饲料,55℃烘干,自然冷却后放入密封袋中,置于-20℃冰箱中保存备用。

表1 试验饲料组成及营养水平

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets

%

项目 Items	组别 Groups					
	G0	G10	G20	G30	G40	G50
原料(风干基础) Ingredients (air-dry basis)						
鱼粉 Fish meal	30.00	27.00	24.00	21.00	18.00	15.00
黑水虻幼虫粉 Black soldier fly larvae meal		3.87	7.75	11.62	15.50	19.00
豆粕 Soybean meal	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
花生麸 Peanut bran	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
高筋面粉 Strong flour	19.00	18.82	18.64	18.47	18.29	18.50
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50

续表 1

项目 Items	组别 Groups					
	G0	G10	G20	G30	G40	G50
豆油 Soybean oil	4.00	3.31	2.61	1.91	1.21	0.50
卵磷脂 Lecithin	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
维生素预混料 Vitamin premix ¹⁾	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
矿物质预混料 Mineral premix ²⁾	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
维生素 C 磷酸酯 L-ascorbate-2-phosphate (35%)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
氯化胆碱 Choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
氯化钠 NaCl	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
甜菜碱 Betaine (98%)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 (干物质基础) Nutrient levels (DM basis) ³⁾						
粗蛋白质 CP	44.55	45.84	45.76	45.78	44.88	44.49
粗脂肪 EE	7.94	7.63	7.04	7.54	7.21	7.01
粗灰分 Ash	8.55	8.31	8.24	8.32	8.03	7.84
水分 Moisture	8.46	6.52	8.85	5.87	6.62	7.28

¹⁾ 每千克维生素预混料含有 One kilogram of vitamin premix contained: VA 3 200 000 IU ,VD 1 600 000 IU ,VE 16 g ,VK 4 g ,VB₁ 4 g ,VB₂ 8 g ,VB₆ 4.8 g ,VB₁₂ 0.016 g ,烟酸 nicotinic acid 28 g ,泛酸钙 calcium pantothenate 16 g ,叶酸 folic acid 1.28 g ,生物素 biotin 0.064 g ,肌醇 inositol 40 g。

²⁾ 每千克矿物质预混料含有 One kilogram of mineral premix contained: Ca 230 g ,K 36 g ,Mg 9 g ,Fe 10 g ,Zn 8 g ,Mn 1.9 g ,Co 0.25 g ,I 32 mg ,Se 0.05 g。

³⁾ 营养水平均为实测值。Nutrient levels were all measured values.

1.2 试验鱼与饲养管理

试验用黄颡鱼幼鱼为瓦氏黄颡鱼幼鱼,购自广东省清远市黄沙渔业基地,养殖试验在广东省农业科学院动物科学研究所水产研究室室内循环水养殖系统中进行。将购买的黄颡鱼幼鱼暂养于水泥池中,用商品料(商品料来自中粮饲料佛山有限公司,黄颡鱼 0 号料,其粗蛋白质含量 $\geq 41\%$,粗脂肪含量 $\geq 6\%$,赖氨酸含量 $\geq 2.2\%$)暂养 2 周,每天投喂 2 次。试验选取初始体质量为 (2.00 ± 0.02) g 的黄颡鱼幼鱼 720 尾,随机分为 6 组,每组 4 个重复,每个重复 30 尾。养殖系统包括 24 个 350 L 的圆柱形纤维玻璃缸(直径 80 cm,高 70 cm,水体体积约为 300 L),进水速率为 1.3~1.5 L/min。养殖用水为已曝气的自来水,经活性炭和过滤网过滤。每组试验鱼投喂 1 种试验饲料,投喂量为鱼体质量的 4%~6%,并根据鱼摄食情况进行调节。每天 08:30 和 18:30 各投喂 1 次。试验期为 8 周,试验过程中自然光照,每天测定养殖水体溶氧浓度、温度、pH 等,记录死亡鱼尾数和重量;每周测定氨氮和亚硝酸盐浓度。养殖期间

水体溶氧浓度 >6.0 mg/L,温度 28~32 °C,pH 7.5~8.0,氨氮浓度 <0.2 mg/L,亚硝酸盐浓度 <0.02 mg/L。每周换水 2 次,每次换水量为总体积的 1/3。

1.3 样品采集

试验开始时,挑选与初始体质量相近的黄颡鱼幼鱼 20 尾,-20 °C 冰箱保存,用于全鱼初始常规营养成分的测定。饲养试验结束后,禁食 24 h,称取每个重复鱼体质量,计数,计算试验鱼特定生长率(specific growth rate,SGR)、饲料系数(feed conversion ratio,FCR)、蛋白质效率(protein efficiency ratio,PER)、蛋白质沉积率(protein deposition rate,PDR)、脂肪沉积率(lipid deposition rate,LDR)和存活率(survival rate,SR)。每个重复随机取 15 尾鱼,经 MS-222 麻醉后用 1 mL 无菌注射器于尾静脉取血,静置 4 h 后 4 000 r/min 离心 10 min 制备血清,取上清液分装,保存于-80 °C 冰箱中备用。每个重复随机取 5 尾鱼,用于全鱼常规营养成分的测定。每个重复随机取 6 尾鱼,取同侧背肌混合,用于肌肉常规营养成分、氨基酸组成的测定。

1.4 指标测定

1.4.1 生长性能计算公式

特定生长率(% / d) = $100 \times [\ln \text{ 终末均质量(g) } - \ln \text{ 初始均质量(g) }] / \text{ 饲养天数(d) };$

饲料系数 = $\text{ 投饲总量(g) } / [\text{ 终末体质量(g) } + \text{ 死亡鱼体质量(g) } - \text{ 初始体质量(g) }];$

蛋白质效率(%) = $100 \times [\text{ 终末体质量(g) } + \text{ 死亡鱼体质量(g) } - \text{ 初始体质量(g) }] / \text{ 摄入蛋白质质量(g) };$

蛋白质沉积率(%) = $100 \times \{ [\text{ 终末体质量(g) } + \text{ 死亡鱼体质量(g) }] \times \text{ 终末鱼体粗蛋白质含量(\%) } - \text{ 初始体质量(g) } \times \text{ 初始鱼体粗蛋白质含量(\%) } \} / \text{ 摄入蛋白质质量(g) };$

脂肪沉积率(%) = $100 \times \{ [\text{ 终末体质量(g) } + \text{ 死亡鱼体质量(g) }] \times \text{ 终末鱼体粗脂肪含量(\%) } - \text{ 初始体质量(g) } \times \text{ 初始鱼体粗脂肪含量(\%) } \} / \text{ 摄入脂肪量(g) };$

存活率(%) = $100 \times \text{ 终末鱼尾数(尾) } / \text{ 初始鱼尾数(尾) }。$

1.4.2 全鱼和肌肉常规营养成分测定

粗蛋白质含量采用凯氏定氮法(GB/T 6432—1994)、粗脂肪含量采用乙醚抽提法(GB/T 6433—1994)、粗灰分含量采用 550 °C 灼烧法(GB/T 6438—1992)、水分含量采用 105 °C 烘箱干燥法(GB/T 6435—1986) 进行测定。

1.4.3 肌肉氨基酸组成测定

将背肌冷冻干燥后粉碎,采用 6 mol/L 盐酸水解法,用 Waters 510 型高效液相色谱仪测定氨基

酸组成。分析柱: PICO.TAG 氨基酸分析柱;检测波长: 254 nm;柱温: 38 °C;流速: 1 mL/min。

1.4.4 血清生化指标测定

血清白蛋白(albumin ,ALB)、球蛋白(globulin ,GLB)、甘油三酯(triglyceride ,TG)、胆固醇(cholesterol ,CHO)、尿素(urea ,UR)、葡萄糖(glucose ,GLU) 含量与谷丙转氨酶(glutamic pyruvic transaminase ,GPT)、谷草转氨酶(glutamic oxalacetic transaminase ,GOT) 活性均由广州金域医学检验中心测定。

1.5 数据统计与分析

数据采用平均值±标准差(mean±SD) 表示。采用 SPSS 17.0 软件对数据进行统计和分析,对数据作单因素方差分析(one-way ANOVA),若存在差异显著,再用 Duncan 氏法进行多重比较,以 $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结 果

2.1 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼生长性能的影响

由表 2 可知,各组黄颡鱼幼鱼的存活率均为 100.00%。G10~G30 组终末均质量、特定生长率和脂肪沉积率与 G0 组无显著差异($P > 0.05$),G40 和 G50 组终末均质量、特定生长率显著低于 G0 组($P < 0.05$),脂肪沉积率则显著高于 G0 组($P < 0.05$)。各组间饲料系数、蛋白质效率和蛋白质沉积率差异不显著($P > 0.05$)。

表 2 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能的影响

Table 2 Effects of fish meal replacement by black soldier fly larvae meal on growth performance of juvenile yellow catfish ($n = 4$)

项目 Items	组别 Groups					
	G0	G10	G20	G30	G40	G50
初始均质量 IBW /g	1.99±0.00	1.99±0.01	2.00±0.00	2.00±0.02	1.98±0.00	2.00±0.00
终末均质量 FBW /g	27.73±0.75 ^a	26.82±0.70 ^{ab}	26.34±0.83 ^{ab}	25.90±0.62 ^{ab}	24.71±1.17 ^b	24.54±0.72 ^b
特定生长率 SGR/(% / d)	4.70±0.07 ^a	4.64±0.09 ^{ab}	4.60±0.11 ^{ab}	4.57±0.09 ^{ab}	4.51±0.17 ^b	4.48±0.07 ^b
饲料系数 FCR	1.08±0.03	1.10±0.04	1.12±0.04	1.13±0.03	1.10±0.07	1.07±0.05
蛋白质效率 PER /%	265.07±7.77	264.01±9.28	275.45±8.70	269.34±7.85	264.69±16.71	259.83±10.86
蛋白质沉积率 PDR /%	39.28±2.34	38.15±2.95	40.53±2.54	39.18±1.29	38.78±3.05	38.69±0.72
脂肪沉积率 LDR /%	98.43±9.17 ^b	120.19±8.20 ^{ab}	120.84±10.75 ^{ab}	100.95±10.04 ^{ab}	122.51±23.01 ^a	123.28±18.25 ^a
存活率 SR /%	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同。

Values in the same row with different small letter superscripts were significantly different ($P < 0.05$). The same as below.

2.2 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼全鱼和肌肉常规营养成分的影响

由表 3 可知,各替代组全鱼粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分和水分含量与 G0 组差异不显著 ($P>0.05$)。G30 组全鱼粗脂肪含量显著低于 G10、G40 和 G50 组 ($P<0.05$)。黑水虻幼虫粉替代不

同比例鱼粉对黄颡鱼幼鱼肌肉粗脂肪、粗灰分和水分含量的影响不显著 ($P>0.05$); 随着黑水虻幼虫粉替代鱼粉比例的增加,黄颡鱼幼鱼肌肉粗蛋白质含量呈现上升趋势,在 G50 组达到最高,显著高于 G0 组 ($P<0.05$)。

表 3 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼全鱼和肌肉常规营养成分的影响(湿重基础)

Table 3 Effects of fish meal replacement by black soldier fly larvae meal on whole-body and muscle common nutritional components of juvenile yellow catfish (wet weight basis, $n=4$)

项目 Items		组别 Groups					
		G0	G10	G20	G30	G40	G50
全鱼 Whole-body	粗蛋白质 CP	14.85±0.14	14.87±0.07	15.08±0.14	14.95±0.07	14.93±0.15	14.96±0.24
	粗脂肪 EE	6.76±0.45 ^{ab}	7.54±0.13 ^a	7.04±0.47 ^{ab}	6.45±0.18 ^b	7.55±0.30 ^a	7.51±0.35 ^a
	粗灰分 Ash	3.07±0.01	3.02±0.06	3.15±0.09	3.11±0.07	3.11±0.03	3.21±0.09
	水分 Moisture	74.02±0.43	73.49±0.25	73.77±0.57	74.55±0.20	74.82±0.43	73.44±0.31
肌肉 Muscle	粗蛋白质 CP	16.87±0.16 ^{bc}	16.73±0.12 ^c	16.84±0.03 ^{bc}	16.93±0.06 ^{bc}	17.11±0.10 ^{ab}	17.30±0.11 ^a
	粗脂肪 EE	2.58±0.02	2.56±0.03	2.60±0.02	2.58±0.01	2.59±0.02	2.61±0.02
	粗灰分 Ash	1.08±0.03	1.10±0.01	1.10±0.02	1.13±0.06	1.11±0.02	1.10±0.03
	水分 Moisture	80.23±0.14	80.23±0.27	80.10±0.18	80.24±0.09	80.22±0.13	80.10±0.18

2.3 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼肌肉氨基酸组成的影响

由表 4 可知,黄颡鱼幼鱼肌肉中共检测出的 9 种必需氨基酸和 7 种非必需氨基酸。黑水虻幼虫粉替代不同比例鱼粉对黄颡鱼幼鱼肌肉必需氨基酸中异亮氨酸、亮氨酸、苏氨酸、蛋氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸以及总呈味氨基酸、总必需氨基酸和总非必需氨基酸的含量无显著影响 ($P>0.05$)。各替代组肌肉中精氨酸含量均低于 G0 组,且 G30、

G40 和 G50 组与 G0 组的差异达到显著水平 ($P<0.05$)。肌肉中组氨酸含量,除了 G20 组,其他替代组均高于 G0 组 ($P>0.05$)。各替代组肌肉中缬氨酸含量均高于 G0 组,且 G30 组与 G0 组的差异达到显著水平 ($P<0.05$)。黑水虻幼虫粉替代不同比例鱼粉对肌肉中谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、天冬氨酸 4 种呈味氨基酸以及总呈味氨基酸的含量未产生显著影响 ($P>0.05$)。

表 4 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼肌肉氨基酸组成的影响(干重基础)

Table 4 Effects of fish meal replacement by black soldier fly larvae meal on amino acid composition in muscle of juvenile yellow catfish (dry weight basis, $n=4$)

项目 Items	组别 Groups					
	G0	G10	G20	G30	G40	G50
必需氨基酸 EAA						
精氨酸 Arg	5.58±0.08 ^a	5.30±0.07 ^{ab}	5.35±0.10 ^{ab}	5.24±0.04 ^b	5.23±0.09 ^b	5.23±0.17 ^b
组氨酸 His	1.55±0.06 ^{ab}	1.57±0.08 ^{ab}	1.50±0.03 ^b	1.59±0.02 ^{ab}	1.62±0.07 ^{ab}	1.70±0.07 ^a
异亮氨酸 Ile	3.47±0.04	3.42±0.05	3.38±0.07	3.44±0.03	3.50±0.01	3.46±0.12
亮氨酸 Leu	6.28±0.09	6.19±0.08	6.13±0.12	6.18±0.04	6.34±0.04	6.24±0.22
苏氨酸 Thr	3.67±0.04	3.71±0.05	3.64±0.08	3.68±0.06	3.69±0.02	3.71±0.12
蛋氨酸 Met	1.99±0.10	1.91±0.03	2.00±0.07	2.02±0.03	2.02±0.07	1.94±0.09
缬氨酸 Val	3.47±0.07 ^b	3.51±0.16 ^b	3.52±0.19 ^b	4.05±0.25 ^a	3.52±0.03 ^b	3.70±0.14 ^{ab}
赖氨酸 Lys	7.32±0.13	7.09±0.11	7.12±0.15	7.21±0.04	8.71±1.40	7.23±0.30
苯丙氨酸 Phe	3.31±0.05	3.24±0.04	3.21±0.06	3.25±0.02	3.00±0.30	3.24±0.11

续表 4

项目 Items	组别 Groups					
	G0	G10	G20	G30	G40	G50
非必需氨基酸 NEAA						
谷氨酸 Glu*	10.16±0.31	9.56±0.21	9.96±0.28	9.67±0.33	9.84±0.30	9.82±0.32
丝氨酸 Ser	2.91±0.09	2.94±0.11	2.81±0.07	2.79±0.07	2.99±0.09	3.09±0.21
酪氨酸 Tyr	2.65±0.04	2.60±0.03	2.60±0.06	2.65±0.01	2.71±0.01	2.64±0.08
甘氨酸 Gly*	3.37±0.06	3.37±0.07	3.45±0.05	3.29±0.08	3.32±0.05	3.36±0.10
丙氨酸 Ala*	4.15±0.06	4.07±0.03	4.11±0.06	4.06±0.02	4.09±0.04	4.11±0.11
天冬氨酸 Asp*	6.76±0.21	6.41±0.09	6.62±0.20	6.53±0.27	6.60±0.22	6.51±0.17
脯氨酸 Pro	2.30±0.03	2.32±0.04	2.29±0.02	2.25±0.06	2.31±0.03	2.32±0.08
总呈味氨基酸 TFAA	24.44±0.64	23.42±0.23	24.14±0.52	23.55±0.56	23.85±0.53	23.81±0.66
总必需氨基酸 TEAA	36.63±0.60	35.95±0.48	35.84±0.81	36.66±0.39	37.62±1.20	36.50±1.07
总非必需氨基酸 TNEAA	32.30±0.80	31.27±0.58	31.84±0.74	31.24±0.84	31.86±0.74	31.85±1.07

* : 呈味氨基酸 flavor amino acid。

2.4 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼血清生化指标的影响

由表 5 可知,黑水虻幼虫粉替代不同比例鱼粉对黄颡鱼幼鱼血清中白蛋白、球蛋白、胆固醇含量的影响不显著 ($P>0.05$)。但与 G0 组相比,各

替代组血清中谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性以及葡萄糖、尿素和甘油三酯含量都有不同程度降低,其中 G30 组的谷丙转氨酶活性、尿素含量以及 G50 组的葡萄糖含量与 G0 组的差异达到显著水平 ($P<0.05$)。

表 5 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼血清生化指标的影响

Table 5 Effects of fish meal replacement by black soldier fly larvae meal on serum biochemical indices of juvenile yellow catfish ($n=4$)

项目 Items	组别 Groups					
	G0	G10	G20	G30	G40	G50
白蛋白 ALB/(g/L)	11.48±0.74	12.33±0.17	11.78±0.17	11.95±0.25	11.40±0.49	11.57±0.80
球蛋白 GLO/(g/L)	23.08±2.91	27.83±3.63	22.00±1.03	24.05±1.22	22.75±1.85	24.10±1.56
谷草转氨酶 GOT/(U/L)	488.00±138.96 ^a	347.00±53.50 ^{ab}	305.75±25.85 ^{ab}	319.00±28.52 ^{ab}	298.25±17.99 ^b	345.00±15.64 ^{ab}
谷丙转氨酶 GPT/(U/L)	24.50±6.89 ^a	16.25±5.95 ^{ab}	13.25±1.11 ^{ab}	11.25±1.31 ^b	13.25±12.25 ^{ab}	13.50±0.29 ^{ab}
葡萄糖 GLU/(mg/dL)	8.08±0.51 ^a	7.68±0.90 ^a	7.64±0.39 ^a	6.69±0.31 ^{ab}	6.56±0.99 ^{ab}	6.04±1.13 ^c
胆固醇 CHO/(mmol/L)	5.16±0.26	5.13±0.29	5.59±0.31	4.96±0.20	5.16±0.10	4.91±0.24
甘油三酯 TG/(mmol/L)	8.03±0.72 ^{ab}	7.77±0.86 ^{ab}	9.23±0.59 ^a	6.80±1.12 ^b	7.05±0.50 ^{ab}	6.18±0.83 ^b
尿素 UR/(mmol/L)	0.90±0.11 ^{ab}	0.73±0.05 ^{ab}	0.60±0.17 ^a	0.45±0.05 ^b	0.60±0.08 ^{ab}	0.50±0.04 ^b

3 讨论

3.1 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能的影响

本试验条件下,各组黄颡鱼幼鱼的存活率均为 100.00%,说明试验鱼能适应本试验的饲养条件和饲料。本试验用黑水虻幼虫粉(粗蛋白质含量为 50.35%)替代不同比例鱼粉饲养黄颡鱼幼鱼

8 周,结果发现黑水虻幼虫粉替代 50% 的鱼粉对黄颡鱼幼鱼的饲料系数、蛋白质效率、蛋白质沉积率均无显著影响。当替代比例超过 30% 后,与 G0 组相比,黄颡鱼幼鱼的终末均质量和特定生长率显著降低,脂肪沉积率显著升高。以不影响生长性能为前提,在本试验条件下,黑水虻幼虫粉替代鱼粉的比例以不超过 30% 为宜,黄颡鱼幼鱼对黑水虻幼虫粉(花生麸养殖)的耐受量达 11.62%,占饲

料蛋白质的 12.78%。本实验室前期研究得出黑水虻幼虫粉(餐厨废弃物养殖)替代黄颡鱼幼鱼饲料中鱼粉(基础饲料中鱼粉含量为 30%,鱼粉粗蛋白质含量为 62.3%)的比例不能超过 20%,黄颡鱼幼鱼对黑水虻幼虫粉的耐受量达 11.11%,占饲料蛋白质的 8.8%^[14],低于本试验结果。不同的养殖基质饲养黑水虻幼虫,对幼虫的营养成分影响很大。花生麸养殖的黑水虻幼虫,其所制成的黑水虻幼虫粉的粗蛋白质含量为 50.35%、粗脂肪含量为 24.00%,餐厨废弃物养殖的黑水虻幼虫,其所制成的黑水虻幼虫粉的粗蛋白质含量为 33.25%、粗脂肪含量为 33.45%。胡俊茹等^[15]也有类似的结果,通过对采食餐厨垃圾和鸡粪的黑水虻幼虫的营养价值进行分析,发现 2 种养殖基质饲养的虫体的粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、甲壳素含量都存在一定的差异,但 2 种虫体均富含蛋白质、脂肪以及微量元素,具有较高的饲料研究和开发价值。笔者认为,虽然黑水虻幼虫的营养组成受养殖基质的营养组成影响很大,但是在使用黑水虻虫粉替代鱼粉的过程中,可以根据试验动物的生长阶段(幼、小、大)、养殖要求及养殖成本等综合考虑 2 种虫粉的使用。

Kroeckel 等^[16]研究了黑水虻幼虫粉替代含 69%鱼粉饲料中的鱼粉对大菱鲂(*Psetta maxima*)生长性能的影响,发现随着黑水虻幼虫粉替代鱼粉比例的升高,大菱鲂的特定生长率出现降低趋势,当饲料中黑水虻幼虫粉的含量超过 33%,占饲料蛋白质的比例超过 29.43%时,其特定生长率显著低于对照组。在对其他昆虫蛋白质源的研究中发现,在含鱼粉 28%的基础饲料中,以蝇蛆粉(粗蛋白质含量 52.3%)替代不同比例鱼粉饲喂凡纳滨对虾 8 周,发现蝇蛆粉可替代饲料中 40%的鱼粉,占饲料蛋白质的 20.71%,对凡纳滨对虾的生长性能、抗氧化和非特异性免疫功能无显著影响^[17];但是在蝇蛆粉替代鱼粉(对照组饲料鱼粉含量为 36%)对黄颡鱼生长性能影响的研究中,蝇蛆粉替代鱼粉比例超过 20%,占饲料蛋白质的比例超过 12.00%时,黄颡鱼的增重率、蛋白质沉积率和蛋白质效率显著降低^[12]。在脱脂蚕蛹替代鱼粉(对照组饲料鱼粉含量为 10%)对建鲤生长性能影响的研究中,脱脂蚕蛹替代饲料中鱼粉比例不超过 50%,占饲料蛋白质的比例低于 8.61%时,对建鲤的生长性能无显著影响;脱脂蚕蛹替代 75%

和 100%的鱼粉时,建鲤的生长性能显著降低^[18]。陈永生^[19]在发酵蚕蛹替代幼建鲤饲料(鱼粉含量为 10%)中鱼粉的应用研究中发现,随着发酵蚕蛹替代鱼粉比例的升高,幼建鲤的终末均质量、特定生长率、饲料效率、蛋白质效率及蛋白质沉积率均呈现降低的趋势,当替代比例超过 50%,占饲料蛋白质的比例超过 9.47%时,幼建鲤的生长性能显著低于对照组。由以上的研究结果可知,昆虫粉替代饲料中鱼粉时只能替代一部分,当替代比例超过一定量后对其生长性能有抑制作用,这与基础配方的蛋白质水平^[20]、动物的品种规格、替代物的种类、替代物的表观消化率^[21]、氨基酸组成^[22]以及适口性^[23]等多种因素有关。在上述的研究中,除了脱脂蚕蛹外,其他昆虫粉替代鱼粉的同时也减少了饲料中油脂的成分。刘飞^[24]研究发现,不同油脂和不同脂肪水平导致了饲料中脂肪酸组成的差异,会显著影响黄颡鱼鱼体脂肪酸组成。而饲料中脂肪酸组成的改变是否会直接影响蛋白质替代比例,尚需进一步研究。也有学者认为昆虫粉替代量的高低与昆虫体内的几丁质有关,但是还没有确凿的证据^[25]。在肉食性和杂食性鱼类消化道内都有发现消化几丁质的 3 种酶,几丁质酶、壳二糖酶和溶菌酶,而黄颡鱼幼鱼体内仅见发现溶菌酶的报道。由包裹在蛋白质、脂质和矿物质等的几丁质组成的昆虫甲壳小皮阻碍了消化酶与几丁质的接触,并阻止了对蛋白质和脂质的吸收,降低了对虫体的消化率,从而减少鱼类对饲料的消化吸收,进而导致其生长缓慢或下降^[26]。但是也有试验证明黑水虻幼虫粉高比例替代鱼粉对水产动物的生长无显著影响。Cummins 等^[8]研究发现,36%黑水虻幼虫粉(占饲料蛋白质的 46.65%)完全替代凡纳滨对虾饲料中的鱼粉(饲料中鱼粉含量为 25%,鱼粉含 66.02%粗蛋白质)对其终末均质量、增重率、特定生长率和饲料系数无显著影响。刘世胜^[3]研究发现,在对照组饲料中鱼粉含量为 10%的前提下,黑水虻幼虫粉 100%替代鱼粉对幼建鲤的终末体质量、增重倍数、特定生长率、摄食量、摄食率、饲料转化率、饲料效率均无显著影响,此时黑水虻幼虫粉提供的蛋白质占饲料蛋白质的 15.80%。Lock 等^[27]研究了黑水虻幼虫粉替代鱼粉对大西洋鲑(*Salmo salar*)生长性能的影响,结果显示,在对照组饲料中鱼粉含量为 20%的前提下,黑水虻幼虫粉 100%替代鱼粉对试验鱼的

增重未产生显著影响。刘兴等^[4]研究发现,在对照组饲料中鱼粉含量为 7.3%的前提下,黑水虻替代饲料中 70% 的鱼粉对锦鲤的增重率、肥满度、肝体比和体形均无显著影响。Sealey 等^[28]用牛粪或牛粪加鱼粪作为基质饲养的黑水虻替代鱼粉饲喂虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*),对照组饲料中鱼粉含量为 29.07%,结果发现,用采食牛粪的黑水虻替代鱼粉后,虹鳟的增重率、腹腔脂肪指数和肝体指数显著降低,而饲料系数和摄食量与对照组无显著差异;用采食牛粪加鱼粪的黑水虻替代鱼粉后,虹鳟的增重率、肝指数、饲料系数和摄食量与对照组无显著差异,但是替代组腹腔脂肪指数显著低于对照组。由此可见,黑水虻幼虫粉可以替代饲料中的鱼粉,但是适宜替代比例因动物的种类、规格、饲养环境以及黑水虻的来源及加工工艺等不同而存在差异。

3.2 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼体组成的影响

在本试验中,与 G0 组相比,各替代组全鱼粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分和水分含量和肌肉粗脂肪、水分和粗灰分含量无显著差异,而肌肉粗蛋白质含量则随着替代比例的升高而升高,在 G50 组达到最高,显著高于 G0 组。此结果与之前的相关研究结果不完全一致。胡俊茹等^[2]研究发现,在对照组饲料鱼粉含量为 28% 时,黑水虻幼虫粉替代不超过 50% 的鱼粉对鲈鱼的全鱼粗蛋白质、粗灰分、水分、钙和总磷含量均无显著影响,替代 20%~50% 的鱼粉显著升高鲈鱼全鱼粗脂肪含量。刘世胜^[3]研究发现,脱脂黑水虻替代不超过 75% 的鱼粉(对照组饲料鱼粉含量为 10%) 对建鲤全鱼、肌肉和肝胰腺粗蛋白质、粗脂肪、水分和粗灰分含量的影响不显著。Hu 等^[14]研究发现,在对照组饲料含 30% 鱼粉时,黑水虻幼虫粉(餐厨废弃物养殖)替代不超过 30% 鱼粉对黄颡鱼全鱼和肌肉粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分和水分含量均无显著影响。Cummins 等^[8]研究发现,黑水虻幼虫粉替代不超过 36% 的鱼粉(对照组饲料含 25% 鱼粉)对凡纳滨对虾全虾粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分和水分含量无显著影响,但粗蛋白质含量有略微上升的趋势,粗脂肪含量有略微下降的趋势。St-Hilaire 等^[29]采用黑水虻蛹或预蛹替代鱼粉饲喂虹鳟,结果发现,在对照组饲料鱼粉含量为 38.28% 时,黑水虻蛹替代 25% 的鱼粉对虹鳟的全鱼粗蛋白质、

粗脂肪、粗灰分、水分含量和能量水平无显著影响;黑水虻预蛹替代 25% 或 50% 的鱼粉对全鱼粗蛋白质和粗灰分含量的影响不显著,但全鱼水分含量显著升高、粗脂肪含量显著降低。李森林等^[30]研究了 25%、50%、75% 和 100% 脱脂黑水虻幼虫粉等蛋白质替代鱼粉(对照组饲料鱼粉含量为 10%) 对建鲤体组成的影响,发现建鲤肝脏、肌肉和全鱼粗蛋白质、粗灰分和水分含量各组间均没有显著差异;随着脱脂黑水虻替代鱼粉比例的升高,肝脏和肌肉粗脂肪含量降低,各替代组肝脏粗脂肪含量均显著低于对照组,全鱼粗脂肪含量未发生显著变化。Sealey 等^[28]在对照组饲料鱼粉含量为 29.07% 的前提下研究了黑水虻粉替代 25% 和 50% 鱼粉对虹鳟体组成的影响,结果发现,虹鳟肌肉水分含量显著升高,粗脂肪含量和能量水平显著降低,而粗蛋白质和粗灰分含量未发生显著变化,但随着替代比例的升高,粗蛋白质含量呈现上升的趋势。黑水虻幼虫粉替代鱼粉对于脂肪代谢可能有所影响但作用不一致,St-Hilaire 等^[29]认为,黑水虻预蛹粉替代鱼粉后,容许将饲料中鱼油含量从 13% 降低至 8%,但是会减少虹鳟全鱼粗脂肪的沉积,并会降低虹鳟肌肉中 ω -3 脂肪酸含量。Kroeckel 等^[16]认为是由于采食量的减少使得脂肪和能量的摄入不足导致大菱鲂脂肪沉积减少;同时,他们认为饲料脂肪水平的变化引起饲料脂肪酸组成的改变,影响动物的脂肪酸沉积。李森林^[30]认为是由于脱脂黑水虻含有的几丁质的影响,几丁质的酶解产物壳聚糖能提高动物的脂肪代谢效率和肝脏的功能,进而降低脂肪沉积。而本试验中 G40 和 G50 组黄颡鱼幼鱼的脂肪沉积率显著高于 G0 组,但是黑水虻幼虫粉替代不同比例鱼粉对黄颡鱼幼鱼全鱼和肌肉的粗脂肪含量却无显著影响,这可能是由于本试验采用等氮等脂的方式配制饲料,饲料中脂肪酸组成改变不大,尚未体现在鱼体和肌肉中。

3.3 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼肌肉氨基酸组成的影响

肌肉品质与肌肉的营养成分的含量和组成息息相关。鱼肉的水分含量低,蛋白质、脂肪含量高,肉质好,肥嫩好吃^[31]。氨基酸是蛋白质的基本组成单位,其种类、含量、组成及必需氨基酸含量共同决定了蛋白质的营养价值。肌肉中的氨基酸多以结合形式存在于蛋白质中,游离氨基酸较

少。本试验测定了黄颡鱼肌肉中9种必需氨基酸和7种非必需氨基酸的含量,发现黑水虻幼虫粉替代不同比例鱼粉对黄颡鱼幼鱼肌肉中的大部分非必需氨基酸、总呈味氨基酸、总必需氨基酸和总非必需氨基酸含量无显著影响,对必需氨基酸中的精氨酸、组氨酸和缬氨酸含量有显著影响,G30、G40和G50组精氨酸含量显著低于G0组,G20组组氨酸含量显著高于G0组,G30组缬氨酸含量显著高于G0组。而Hu等^[14]在研究黑水虻幼虫粉(餐厨废弃物养殖)替代鱼粉对肌肉中9种必需氨基酸含量的影响时发现,替代比例为25%时,能显著降低肌肉中蛋氨酸和苯丙氨酸含量。动物组织氨基酸含量主要受饲料中粗蛋白质和氨基酸含量的影响。叶元土等^[22]发现,平衡草鱼饲料中氨基酸含量能加快草鱼生长,保持良好的肌肉品质。分析不同研究存在差异的原因,可能与不同时期的黄颡鱼的消化利用能力和饲料中必需氨基酸含量不同有关。关于黑水虻幼虫粉对水产动物的肌肉氨基酸代谢研究还较少,还需更深入的研究。食品味道鲜美的程度主要由其蛋白质中呈味氨基酸(包括天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸和甘氨酸)的组成和含量所决定。其中,丙氨酸和甘氨酸是呈甘味的特征性氨基酸,谷氨酸和天冬氨酸是呈鲜味的特征性氨基酸,本试验中各组间这4种呈味氨基酸的含量无显著差别,因此,黑水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼的肌肉呈味氨基酸组成未产生显著影响。

3.4 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼血清生化指标的影响

血清生化指标可反映组织细胞通透性和机体新陈代谢机能状态的改变。血清总蛋白是血清中白蛋白和球蛋白的总和。血清总蛋白和尿素含量是反映机体蛋白质代谢状况的重要指标,可用于检测肝脏和肾脏功能是否正常。血清总蛋白含量的改变可能与生存环境压力的改变^[32]和转氨途径的氨基酸合成及作为尿蛋白或其他功能小肽存在有关^[33]。血清总蛋白含量增加可以促进机体蛋白质沉积,促进生长。已有研究发现血清尿素含量与体内氮沉积率、蛋白质或氨基酸的利用率有显著的负相关^[34]。Malmolf等^[35]认为,血清中尿素含量能准确反映动物体内蛋白质的代谢状况和饲料氨基酸的平衡状态,饲料氨基酸平衡且蛋白质代谢良好时,血清尿素含量降低,当肝脏、肾脏发

生炎症,功能异常时,血清中的尿素含量往往升高。本试验中,与G0组相比,各替代组血清中白蛋白、球蛋白和尿素含量均无显著变化,同时蛋白质效率、蛋白质沉积率和全鱼粗蛋白质含量无显著差异,说明黑水虻幼虫粉替代鱼粉不影响黄颡鱼幼鱼对饲料蛋白质的消化吸收能力、蛋白质利用率和蛋白质沉积,并且不影响肝脏、肾脏的正常功能。研究发现,以蛹肽蛋白替代0、15%、45%的鱼粉,大菱鲂血清总蛋白含量随蛹肽蛋白含量的升高而显著提高^[13]。文远红等^[12]研究发现,蝇蛆粉替代80%、100%的鱼粉时,黄颡鱼幼鱼血浆总蛋白含量显著低于全鱼粉组,而各组间血浆尿素氮含量无显著差异。但霍桂桃等^[36]研究发现,蝇蛆粉可提高蛋鸡血浆总蛋白含量。不同研究所得结果不尽相同,这可能与蛋白质来源、质量及必需氨基酸含量等不同有关。

肝脏是氨基酸代谢的主要场所,肝细胞拥有丰富的参与氨基酸代谢的酶类,能催化氨基酸的转氨基、脱氨基等代谢过程,合成一些非必需氨基酸和含氮化合物。在肝细胞中谷草转氨酶和谷丙转氨酶是活性最强的转氨酶,在动物机体蛋白质代谢中起重要作用。正常情况下血清中这2种酶的活性较低且相对稳定,当肝脏受损时,会使血清中这2种酶的活性显著升高。本研究中,各替代组血清中谷丙转氨酶的活性与G0组相比有不同程度降低,在G30组达到最低。这与文远红等^[12]和陈乃松等^[37]的研究结果近似,其研究表明蝇蛆粉可降低养殖动物血清或肝胰脏在谷草转氨酶、谷丙转氨酶、碱性磷酸酶的活性。霍桂桃等^[36]指出,蝇蛆粉可降低蛋鸡血清中谷草转氨酶和谷丙转氨酶的活性,保护肝脏不受热应激的影响。上述结果说明,在本试验条件下,黑水虻幼虫粉替代鱼粉也能在一定程度上保护肝脏,究其原因可能与昆虫粉含有的甲壳低聚糖、凝聚素、壳聚糖等免疫多糖有关^[38]。

甘油三酯和胆固醇是血液脂类的重要组成部分,其含量的高低反映了脂类的吸收和代谢状况。血液中胆固醇主要源于肝脏,其含量升高表明肝脏功能发生障碍或损伤,机体脂肪代谢紊乱。刘世胜^[3]研究显示,黑水虻幼虫替代鱼粉对建鲤血清甘油三酯和胆固醇的含量无显著影响。文远红等^[12]研究发现,蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼血浆中脂类代谢指标有显著影响,其中20%~80%替

代组的甘油三酯含量、20%~100%替代组的胆固醇含量和60%替代组的低密度脂蛋白胆固醇含量显著低于对照组,而20%~100%替代组的高密度脂蛋白含量显著高于对照组。本试验中,各替代组黄颡鱼幼鱼血清中甘油三酯和胆固醇的含量与G0组无显著差异,但是呈现不同程度降低,这表明黑水虻幼虫粉有促进脂类代谢的作用。

4 结 论

对于鱼粉含量为30%的黄颡鱼幼鱼饲料(干物质基础上,粗蛋白质含量为44.55%、粗脂肪含量为7.94%),黑水虻幼虫粉(由采食花生麸的8日龄黑水虻幼虫制成)替代鱼粉用量的30%(占饲料蛋白质的12.78%)后能够降低血清谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性与尿素和甘油三酯含量,且不影响黄颡鱼幼鱼的生长性能和肌肉呈味氨基酸组成。

参考文献:

- [1] VAN HUIS A. Potential of insects as food and feed in assuring food security [J]. *Annual Review of Entomology* 2013, 58: 563-583.
- [2] 胡俊茹, 王国霞, 莫文艳, 等. 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对鲈鱼幼鱼生长性能、体组成、血浆生化指标和组织结构的影响 [J]. *动物营养学报*, 2018, 30(2): 613-623.
- [3] 刘世胜. 黑水虻幼虫替代鱼粉在鲤鱼饲料中的应用研究 [D]. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [4] 刘兴, 孙学亮, 李连星, 等. 黑水虻替代鱼粉对锦鲤生长和健康状况的影响 [J]. *大连海洋大学学报*, 2017, 32(4): 422-427.
- [5] 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.
- [6] ADENIYI, VICTORIA O, FOLORUNSHO, et al. Performance of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) fed dietary levels of black soldier fly, *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) prepupae meal as a protein supplement [J]. *International Journal of Research in Fisheries and Aquaculture* 2015, 5(3): 89-93.
- [7] RANA K M S, SALAM M A, HASHEM S, et al. Development of black soldier fly larvae production technique as an alternate fish feed [J]. *International Journal of Research in Fisheries and Aquaculture*, 2015, 5(1): 41-47.
- [8] CUMMINS V C, JR, RAWLES S D, THOMPSON K R, et al. Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. *Aquaculture*, 2017, 473: 337-344.
- [9] 杨英豪. 大豆浓缩蛋白对瓦氏黄颡鱼幼鱼摄食、生长、消化和蛋白质代谢的影响 [D]. 硕士学位论文. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [10] 杨严鸥, 张艳, 潘宙, 等. 豆粕替代不同水平的鱼粉对黄颡鱼饲料利用、ATP酶活性和免疫功能的影响 [J]. *饲料广角*, 2006(15): 39-41.
- [11] WU D, ZHOU L, GAO M, et al. Effects of stickwater hydrolysates on growth performance for yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [J]. *Aquaculture*, 2018, 488: 161-173.
- [12] 文远红, 曹俊明, 黄燕华, 等. 蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能、体组成和血浆生化指标的影响 [J]. *动物营养学报*, 2013, 25(1): 171-181.
- [13] 梅琳. 蛹肽蛋白作为大菱鲆幼鱼饲料新型蛋白源的综合评估 [D]. 硕士学位论文. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- [14] HU J, WANG G, HUANG Y, et al. Effects of substitution of fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal, in yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) diets [J]. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh* 2017, 69: 1382-1390.
- [15] 胡俊茹, 何飞, 莫文艳, 等. 采食不同有机废弃物黑水虻幼虫饲料价值分析 [J]. *中国饲料*, 2017(15): 24-27.
- [16] KROECKEL S, HARJES A G E, ROTH I, et al. 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*) [J]. *Aquaculture* 2012, 364-365: 345-352.
- [17] 曹俊明, 严晶, 黄燕华, 等. 家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾生长、抗氧化和免疫指标的影响 [J]. *水产学报* 2012, 36(4): 529-537.
- [18] JI H, ZHANG J, HUANG J, et al. Effect of replacement of dietary fish meal with silkworm pupae meal on growth performance, body composition, intestinal protease activity and health status in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) [J]. *Aquaculture Re-*

- search 2015 46(5) : 1209-1221.
- [19] 陈永生. 发酵蚕蛹替代鱼粉在框鳞镜鲤幼鱼饲料中的应用研究[D]. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [20] 孙翰昌, 徐敬明, 庞敏. 饲料蛋白水平对瓦氏黄颡鱼消化酶活性的影响[J]. 水生态学杂志, 2010, 3(2) : 84-88.
- [21] 易昌金, 胡俊茹, 胡毅, 等. 凡纳滨对虾对黑水虻幼虫粉营养物质的表观消化率[J]. 饲料工业, 2018, 39(4) : 21-26.
- [22] 叶元土, 林仕梅, 罗莉, 等. 饲料必需氨基酸的平衡效果对草鱼生长的影响[J]. 饲料工业, 1999, 20(3) : 39-41.
- [23] PONGMANEERAT J, WATANABE T. Nutritive value of protein of feed ingredients for carp *Cyprinus carpio* [J]. Nippon-Suisan-Gakkai-shi, 1991, 57(3) : 503-510.
- [24] 刘飞. 不同油脂、不同磷脂水平对黄颡鱼生长及其脂肪酸组成的影响[D]. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学, 2004.
- [25] ALEGBELEYE W O, OBASA S O, OLUDE O O, et al. Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper (*Zonocerus variegatus* L.) for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) fingerlings [J]. Aquaculture Research, 2012, 43(3) : 412-420.
- [26] 吉红, 李森林, 徐歆歆. 昆虫资源在水产饲料中的应用研究进展[J]. 饲料工业, 2016, 37(22) : 1-9.
- [27] 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, 2016, 22(6) : 1202-1203.
- [28] SEALEY W M, GAYLORD T G, BARROWS F T, et al. Sensory analysis of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed enriched black soldier fly prepupae, *Hermetia illucens* [J]. Journal of the Academy of Marketing Science, 2011, 42(1) : 34-45.
- [29] ST-HILAIRE S, SHEPPARD C, TOMBERLIN J K, et al. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2007, 38(1) : 59-67.
- [30] 李森林. 黑水虻幼虫在鲤鱼饲料中的应用研究[D]. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [31] 刘丽, 余红心, 肖维, 等. 鱼肉品质的研究进展[J]. 内陆水产, 2008, 33(8) : 9-12.
- [32] PERAZZOLO L M, GARGIONI R, OGLIARI P, et al. Evaluation of some hemato-immunological parameters in the shrimp *Farfantepenaeus paulensis* submitted to environmental and physiological stress [J]. Aquaculture, 2002, 214(1/2/3/4) : 19-33.
- [33] CARVER J D, WALKER W A. The role of nucleotides in human nutrition [J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 1995, 6(2) : 58-72.
- [34] BALDI A, BONTEMPO V, DELL'ORTO V, et al. Effects of dietary chromium-yeast in weaning-stressed piglets [J]. Canadian Journal of Animal Science, 1999, 79(3) : 369-374.
- [35] MALMOLF K. Amino acid in farm animal nutrition metabolism, partition and consequences of imbalance [J]. Swedish Journal of Agricultural Research, 1988, 18(4) : 191-193.
- [36] 霍桂桃, 任文社, 谷子林, 等. 蝇蛆粉及蝇蛆培养残料对夏季产蛋鸡血液生化指标的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2006(11) : 53-55.
- [37] 陈乃松, 魏涛涛, 廖奕招. 蝇蛆粉和 β -葡聚糖对凡纳滨对虾生长和免疫的影响[J]. 水产学报, 2007, 31(6) : 771-777.
- [38] 陈林军, 冯晓慧, 蔡东联, 等. 蝇蛆干粉营养素含量及蝇蛆壳聚糖对实验性糖尿病大鼠抗氧化损伤能力影响的研究[J]. 医学研究杂志, 2011, 40(4) : 49-51.

Effects of Fish Meal Replacement by Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Meal on Growth Performance, Serum Biochemical Indices and Meat Quality of Juvenile Yellow Catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)

CHEN Xiaoying^{1,2,3,4} HU Junru^{1,2,3,4*} WANG Guoxia^{1,2,3,4} HUANG Yanhua^{1,2,3,4**}
CHEN Bing^{1,2,3,4} MO Wenyang^{1,2,3,4} CHEN Suisui⁴

(1. Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science in South China of Ministry of Agriculture, Guangzhou 510640, China; 3. Guangdong Key Laboratory of Animal Breeding and Nutrition, Guangzhou 510640, China; 4. Guangzhou Feixite Bio-Science & Technology Co., Ltd., Guangzhou 510640, China)

Abstract: The aim of this experiment was to evaluate the effects of replacing fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on growth performance, body composition, amino acid composition in muscle and serum biochemical indices of juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). Six isonitrogenous (crude protein content was 44.55%) and isolipidic (crude lipid content was 7.94%) experimental diets were formulated by replacing 0 (G0 group, as a control group), 10% (G10 group), 20% (G20 group), 30% (G30 group), 40% (G40 group) and 50% (G50 group) of fish meal with black soldier fly larvae meal (made by eight instar larva black soldier fly larvae that fed with peanut bran) based on a basal diet (fish meal content was 30%). A total of 720 juvenile yellow catfish with an initial body weight of 2.00 g were randomly divided into 6 groups with 4 replicates per group and 30 fish per replicate. The experiment lasted for 8 weeks. The results showed that the survival rate was not significantly affected by different replacement ratios of fish meal by black soldier fly larvae meal ($P>0.05$). Compared with the G0 group, the final body weight and specific growth rate were significantly decreased ($P<0.05$) and the lipid deposition rate was significantly increased ($P<0.05$) in G40 and G50 groups, but no significant differences were found in G10, G20 and G30 groups ($P>0.05$). There were no significant differences in protein deposition rate, protein efficiency ratio and feed conversion ratio among all groups ($P>0.05$). The contents of moisture, crude protein, crude lipid and ash in whole body and moisture, crude lipid and ash in muscle were not significantly different among all groups ($P>0.05$), but the muscle crude protein content in G50 group was significantly higher than that in G0 group ($P<0.05$). The muscle arginine and valine contents in G30 group were significantly higher than those in G0 group ($P<0.05$). There were no significant differences in the contents of four flavor amino acids (glutamate, glycine, alanine and aspartate) in muscle among all groups ($P>0.05$). Compared with G0 group, the serum glutamic-pyruvic transaminase (GPT) activity in G30 was significantly decreased ($P<0.05$). And the serum glutamic-oxalacetic transaminase (GOT) activity, uric acid (UA) and triglyceride (TG) contents in G30 group were lower than those in G0 group, but the differences were not significant ($P>0.05$). In conclusion, this study shows that 30% of fish meal can be replaced by black soldier fly larvae meal (made with eight instar larva black soldier fly larvae that fed with peanut bran) based on the basal diet with 30% fish meal (44.55% crude protein and 7.94% crude lipid in dry matter basis condition), and thus account of 12.78% of diet protein, which can decrease the GPT and GOT activities, UA and TG contents in serum, but without significant effects on growth performance and flavor amino acid composition in muscle of juvenile yellow catfish. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(6): 2788-2799]

Key words: juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*); black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal; growth performance; serum biochemical indices; muscle quality

* Contributed equally

** Corresponding author, professor, E-mail: huangyh111@126.com

(责任编辑 菅景颖)