



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

王国霞¹, 陈冰¹, 孙育平¹, 胡俊茹¹,
彭凯¹, 吴浩敏², 黄燕华^{1,2*}

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

摘要: 为研究脱脂亮斑扁角水虻幼虫粉(DBSFLM)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, 本实验选用平均体质量为(1.67±0.01) g 的黄颡鱼幼鱼480尾, 随机分为4个处理组, 分别投喂基础饲料(T0)和实验饲料[脱脂亮斑扁角水虻幼虫粉分别替代鱼粉20%(T20)、40%(T40)和60%(T60)], 每个处理组3个重复, 每个重复40尾鱼, 养殖8周。结果显示, 随着DBSFLM替代量的增加, 黄颡鱼生长呈先增加后降低的趋势; T20组的终末均重、增重率和特定生长率最高, 且显著高于T60组; 实验组T20和T60的摄食量显著高于对照组和T40组; 实验组的腹脂指数、灰分和钙沉积率呈下降趋势, 其中T60组的腹脂指数、T40和T60组的灰分和钙沉积率达到显著水平; 与对照组T0相比, 实验组的肥满度、脏体比、肝体比、肠体比和胃体比、蛋白质、脂肪和磷沉积率及黄颡鱼体蛋白、体脂肪和灰分均没有显著差异; 血清胆固醇和甘油三酯显著降低, 高密度/低密度脂蛋白胆固醇显著升高, 实验组T40的胃蛋白酶活性有增加趋势、肠道胰蛋白酶活性显著增加。研究表明, 在本实验条件下, 脱脂亮斑扁角水虻幼虫粉替代鱼粉不影响黄颡鱼幼鱼的生长性能和体组成含量, 并可降低腹脂指数、血清甘油三酯、胆固醇含量及灰分、钙的沉积率, 还可增加蛋白酶活性, 以20%替代比例生长最佳, 且优于对照组。

关键词: 黄颡鱼; 脱脂亮斑扁角水虻幼虫粉; 生长性能; 营养素沉积率; 血清生化指标; 消化酶活性

中图分类号: S 963.3

文献标志码: A

鱼粉是传统的优质蛋白质资源, 因其蛋白质含量高、氨基酸平衡、适口性好、易被水产动物消化及吸收等优点而广泛应用于水产饲料。但是, 随着水产养殖业的不断发展以及鱼捕获量的减少, 供需矛盾导致鱼粉价格不断攀升, 限制了其在水产饲料中的使用量^[1-3]。因此, 开发新的蛋白质资源部分或全部替代鱼粉是必然

趋势。昆虫蛋白作为鱼粉的替代研究已有相关报道^[3-5]。2013年联合国粮农组织在《可食用昆虫: 食物和饲料保障的未来前景》中提出昆虫是一种有助于缓解当前全球粮食和饲料短缺问题的资源^[6]。

亮斑扁角水虻(*Hermetia illucens*), 俗称黑水虻, 是双翅目水虻科扁角水虻属研究最多的一

收稿日期: 2019-04-13 修回日期: 2019-05-27

资助项目: 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设专项(2019KJ115); 广东省农业科学院学科团队建设(201614TD)

通信作者: 黄燕华, E-mail: huangyh111@126.com

种腐生性的资源昆虫,其能够取食畜禽粪便和生活垃圾,生产高价值的动物蛋白饲料,因其繁殖迅速、生物量大、食性广泛、吸收转化率高、成虫不扰民等特点受到广泛关注。亮斑扁角水虻蛋白质、脂肪含量高,且含有的必需氨基酸模式与鱼粉相似,作为动物饲料开发是最有应用前景的昆虫^[2]。研究表明亮斑扁角水虻幼虫可部分或全部替代尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[7-9]、斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)^[7]、革胡子鲶(*Clarias gariepinus*)^[10]、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[11-12]、大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)^[13]、锦鲤(*Cyprinus carpio*)^[14]、建鲤(*Cyprinus carpio* var. *Jian*)^[15]、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[16]、舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)^[17]、花鲈(*Lateolabrax maculatus*)^[18]等饲料中的鱼粉且不影响其生长性能。

黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)是我国重要的特种经济淡水养殖品种,其饲料中鱼粉用量及蛋白质水平较高。本实验室前期研究表明,亮斑扁角水虻幼虫粉替代基础饲料中25%或以下的鱼粉(虫粉添加量为14.1%以下)时对黄颡鱼生长性能、体组成和血清生化指标没有显著影响^[19]。亮斑扁角水虻幼虫粉因为脂肪含量高,容易氧化变质,脱脂后的虫粉蛋白质增加,脂肪下降,在水产饲料中的用量将会提高。目前已有脱脂虫粉在水产动物如虹鳟^[20-21]、建鲤^[22]、大西洋鲑(*Salmo salar*)^[23]中的应用研究,而未见脱脂虫粉应用于黄颡鱼饲料的报道。因此,本实验开展脱脂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研究,为脱脂亮斑扁角水虻幼虫粉在无鳞鱼中的应用提供理论依据和技术参数。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

4组实验饲料配比及常规营养水平和氨基酸组成如表1所示。亮斑扁角水虻幼虫粉由广州飞禧特生物科技有限公司提供,是用餐厨垃圾养殖的3龄末鲜虫烘干粉碎所得。脱脂虫粉是干虫粉用丁烷液压低温连续相变萃取技术分离油脂后所得,营养组成:干物质90.2%,粗蛋白55.4%,粗脂肪1.6%,灰分18.6%和甲壳素7.69%。所用蛋白原料粉碎过60目筛,各组按照配方准确称量原料,以逐级放大方法混匀,再用V形混合机进一步混合均匀,然后加适量自来水搅拌均匀后用双螺杆挤压机(SLX-80型)制成颗粒饲料(1.5 mm),

55℃烘干,自然冷却后装入密封袋中置干燥阴凉处保存备用。各组饲料脂肪酸组成见表2。

1.2 实验鱼及饲养管理

养殖实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。所用黄颡鱼苗购于广州市白云区锦龙渔业有限公司,在水泥池暂养2周后分组,挑选体表健康、活力强的体质量为(1.67±0.01) g的黄颡鱼幼鱼480尾,随机分为4个处理组,每处理组3个重复,每个重复40尾鱼,分别投喂鱼粉基础饲料(T0)和脱脂亮斑扁角水虻幼虫粉替代鱼粉20%(T20)、40%(T40)和60%(T60)的实验饲料,表观饱食每天投喂2次(8:00和17:30)。养殖周期为8周。养殖用水为经过充分曝气的自来水。实验期间自然光照,水温为23.0~31.0℃,pH 7.6±0.3,溶解氧>6.0 mg/L,氨氮<0.01 mg/L,亚硝酸盐<0.1 mg/L。

1.3 样品采集

实验结束后,停食24 h,采样当天将每个缸的鱼全部捞出称总重并统计尾数。之后每缸随机选取10尾鱼用1 mL无菌注射器采集血液,置于1.5 mL EP管中室温静置2~4 h后4℃ 4 500 r/min离心10 min,取上清液分装置于-80℃冰箱保存,用于测定血清生化指标。抽血后其中6尾测体长、称重后解剖分离内脏团、肝脏、腹部脂肪、胃和肠并分别称重记录,取3尾鱼的胃和全肠,用0.86%的生理盐水清洗并用滤纸吸干后分装置于-80℃冰箱保存,用于测定消化酶活性。每缸随机选取4尾鱼烘干粉碎,置于-20℃冰箱保存用于测定全鱼常规营养成分。

1.4 测定指标与方法

计算公式 饲养实验结束前停食24 h,每尾鱼进行称重,测量体长。计算增重率、特定生长率、饲料系数、存活率、肥满度、脏体比、肝体比和腹脂指数。

增重率(weight gain rate, WGR, %)=($W_t/N_t - W_0/N_0$)/(W_0/N_0)×100%

特定生长率(specific growth rate, SGR, %/d)=($\ln W_t/N_t - \ln W_0/N_0$)/ t ×100%

饲料系数(feed conversion ratio, FCR)= $W_t/(W_t - W_0)$

成活率(survival rate, SR, %)= N_t/N_0 ×100%

肝体比(hepatosomatic index, HSI, %)= W_h/W ×100%

表1 饲料组成及营养水平(风干基础)

Tab. 1 Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)

项目 items	T0	T20	T40	T60
原料/% ingredient				
进口红鱼粉 imported red fish meal	25.00	20.00	15.00	10.00
脱脂亮斑扁角水虻幼虫粉 (DBSFLM)	0.00	5.95	11.90	17.85
玉米蛋白粉 corn protein powder	6.00	6.00	6.00	6.00
豆粕 soybean meal	25.00	25.00	25.00	25.00
菜粕 rapeseed meal	10.00	10.00	10.00	10.00
高筋面粉 strong flour	25.20	23.85	22.40	21.05
鱼油 fish oil	2.50	2.80	3.20	3.50
豆油 soybean oil	2.50	2.50	2.50	2.50
其他 ¹⁾ others	3.50	3.50	3.50	3.50
包膜蛋氨酸(50%) envelope methionine	0.30	0.40	0.50	0.60
合计 total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平²⁾ nutrient levels				
水分/% moisture	5.05	5.25	5.12	5.33
粗蛋白/% crude protein	41.79	41.93	41.59	41.51
粗脂肪/% crude lipid	9.12	8.95	9.11	9.15
灰分/% ash	8.52	8.93	9.38	9.65
能量/(MJ/kg) energy	18.95	19.01	19.00	19.00
氨基酸含量(饲料)/% amino acid level(feed)				
必需氨基酸 essential amino acid				
精氨酸 arginine	2.28	2.28	2.26	2.30
组氨酸 histidine	1.08	1.08	1.04	1.07
异亮氨酸 isoleucine	1.72	1.74	1.63	1.68
亮氨酸 leucine	3.34	3.31	3.21	3.23
赖氨酸 lysine	3.10	3.10	3.10	3.10
蛋氨酸 methionine	0.75	0.78	0.75	0.75
苯丙氨酸 phenylalanine	2.00	1.97	1.97	1.95
酪氨酸 tyrosine	1.14	1.24	1.25	1.20
苏氨酸 threonine	1.59	1.59	1.52	1.57
缬氨酸 valine	2.06	2.06	2.14	2.04
非必需氨基酸 non-essential amino acid				
丙氨酸 alanine	2.47	2.46	2.36	2.43
天门冬氨酸 aspartic acid	3.60	3.69	3.55	3.60
甘氨酸 glycine	2.00	1.98	1.93	1.96
谷氨酸 glutamic acid	7.90	7.90	7.66	7.73
丝氨酸 serine	1.80	1.84	1.79	1.84

注: 1) 包括磷酸二氢钙1.5%、维生素预混料0.1%、矿物质预混料0.5%、维生素磷酸酯(35%) 0.1%、氯化胆碱(50%) 0.3%、赖氨酸(98%)1.0%, 其中维生素预混料每公斤含有: VA₃ 230 000 IU、VD₁ 600 000 IU、VE 16 g、VK₃ 4 g、VB₁ 4 g、VB₂ 8 g、VB₆ 4.8 g、VB₁₂ 0.016 g、烟酸 28 g、泛酸钙 16 g、生物素 0.064 g、叶酸 1.285 g、肌醇 40 g, 矿物质预混料每公斤含有: Ca 230 g、K 36 g、Mg 9 g、Fe 10 g、Zn 8 g、Mn 1.9 g、Cu 1.5 g、Co 0.25 g、I 0.032 g、Se 0.05 g。2) 营养水平为实测值

Notes: 1) consist of Ca(H₂PO₄)₂ 1.5%, vitamin premix 0.1%, mineral premix 0.5%, L-ascorbic acid-2-phosphate(35%) 0.1%, choline chloride (50%) 0.3%, lysine (98%) 1.0%, one kilogram of vitamin premix provided: VA₃ 230 000 IU, VD₁ 600 000 IU, VE 16 g, VK₃ 4 g, VB₁ 4 g, VB₂ 8 g, VB₆ 4.8 g, VB₁₂ 0.016 g, nicotinic acid 28 g, pantothenic acid calcium 16 g, biotin 0.064 g, folic acid 1.285 g, inositol 40 g, one kilogram of vitamin premix provided: Ca 230 g, K 36 g, Mg 9 g, Fe 10 g, Zn 8 g, Mn 1.9 g, Cu 1.5 g, Co 0.25 g, I 0.032 g, Se 0.05 g。2) nutrition level was the measured value

表2 各组饲料的脂肪酸组成

Tab. 2 Fatty acid composition of experimental diets

		(g/100 g 总脂肪酸)			
项目	items	T0	T20	T40	T60
C12:0		0.10	0.12	0.16	0.21
C14:0		2.65	2.49	2.26	2.15
C15:0		0.30	0.31	0.29	0.28
C16:0		17.75	17.74	17.58	17.48
C16:1n-9		2.78	2.61	2.43	2.30
C17:0		0.39	0.39	0.35	0.35
C18:0		4.74	4.81	5.06	5.18
C18:1n-9		21.98	22.75	23.63	24.83
C18:2n-6		31.69	31.88	31.94	31.51
C18:3n-6		0.09	0.10	0.10	0.10
C18:3n-3		3.68	3.81	3.85	3.93
C20:0		0.38	0.42	0.40	0.45
C20:1n-9		1.07	1.08	1.09	1.15
C20:2n-6		0.27	0.29	0.30	0.34
C20:3n-6		0.12	0.13	0.12	0.09
C20:3n-3		0.10	0.11	0.11	0.11
C20:4n-6		0.49	0.46	0.42	0.38
C20:5n-3		4.37	3.97	3.77	3.43
C22:0		0.33	0.33	0.34	0.36
C22:6n-3		6.10	5.53	5.28	4.94
C24:0		0.30	0.28	0.28	0.28
C24:1n-9		0.39	0.33	0.30	0.26
ΣSFA ¹⁾		26.96	26.89	26.73	26.73
ΣMUFA ²⁾		26.21	26.77	27.46	28.56
ΣPUFA ³⁾		46.90	46.28	45.89	44.82
Σn-3 PUFA		14.24	13.42	13.01	12.42
Σn-6 PUFA		32.66	32.86	32.88	32.40
Σn-3/Σn-6		0.44	0.41	0.40	0.38

注: 1) 饱和脂肪酸含量; 2) 单不饱和脂肪酸含量; 3) 多不饱和脂肪酸含量

Notes: 1) SFA saturated fatty acids; 2) MUFA monounsaturated fatty acids; 3) PUFA polyunsaturated fatty acids

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

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

腹脂指数(intraperitoneal fat index, IPR, %)= $W_{af}/W \times 100\%$

肠体比(intestinal index, II, %)= $W_i/W \times 100\%$;

胃体比(gastric index, GI, %)= $W_s/W \times 100\%$;

蛋白质沉积率(protein retention, PR, %)= $(W_t \times W_{tp} - W_0 \times W_{0p}) / (W_f \times W_p) \times 100\%$

脂肪沉积率(lipid retention, LR, %)= $(W_t \times W_{tl} - W_0 \times W_{0l}) / (W_f \times W_l) \times 100\%$

灰分沉积率(ash retention, AR, %)= $(W_t \times W_{ta} - W_0 \times W_{0a}) / (W_f \times W_a) \times 100\%$

钙沉积率(calcium retention, CR, %)= $(W_t \times W_{tc} - W_0 \times W_{0c}) / (W_f \times W_c) \times 100\%$

磷沉积率(phosphorus retention, PHR, %)= $(W_t \times W_{tph} - W_0 \times W_{0ph}) / (W_f \times W_{ph}) \times 100\%$

式中, N_t 为终末鱼尾数, N_0 为初始鱼尾数, t 为实验天数(d), W_h 为鱼肝脏重(g), W 为鱼体质量(g), W_v 为鱼内脏重(g), L 为鱼体长(cm), W_{af} 为鱼腹部脂肪重(g), W_i 为鱼肠道重(g), W_s 为鱼胃重(g), W_t 为终末鱼体质量(g), W_0 为初始鱼体质量(g), W_{tp} 为终末鱼体的粗蛋白含量(%), W_{0p} 为初始鱼体的粗蛋白含量(%), W_f 为摄入饲料量(g), W_p 为饲料中的粗蛋白含量(%), W_{tl} 为终末鱼体的脂肪含量(%), W_{0l} 为初始鱼体的脂肪含量(%), W_l 为饲料中的脂肪含量(%), W_{ta} 为终末鱼体的灰分含量(%), W_{0a} 为初始鱼体的灰分含量(%), W_a 为饲料中的灰分含量(%), W_{tc} 为终末鱼体的钙含量(%), W_{0c} 为初始鱼体的钙含量(%), W_c 为饲料中的钙含量(%), W_{tph} 为终末鱼体的磷含量(%), W_{0ph} 为初始鱼体的磷含量(%), W_{ph} 为饲料中的磷含量(%).

饲料及黄颡鱼常规营养成分分析 水分含量采用105 °C烘箱烘干至恒重的方法(GB/T6435-2014)检测, 粗蛋白质含量采用凯氏定氮法(GB/T 6432-1994)检测、粗脂肪含量采用石油醚抽提法(GB/T 6433-2006)检测, 灰分含量采用550 °C灼烧至恒重的方法(GB/T 6438-2007)检测, 钙含量采用乙二醇四乙酸二钠络合滴定法(GB/T6436-2002)检测, 总磷含量采用钼黄比色法(GB/T 6437-2002)检测。能量按照ISO 9831-2013要求采用燃烧法检测。氨基酸采用盐酸水解后用HPLC法检测, 脂肪酸采用气相色谱-质谱联用技术检测。

血清生化指标测定 白蛋白(albumin, ALB)、胆固醇(cholesterol, CHOL)、甘油三酯(triglyceride, TG)、低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDL-C)、尿素氮(urea nitrogen, UN)、球蛋白(globulin, GLO)、血糖(glucose, GLU)、总蛋白(total protein, TP)含量

采用日立7600全自动生化分析仪检测(广州金域医学检验中心)。

消化酶活性指标测定 胃、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℃,5 000 r/min,20 min),取上清液作为酶粗提液,暂存于-20℃冰箱备用,蛋白酶用试剂盒中专用的匀浆介质按要求进行匀浆。各酶活性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。

1.5 数据处理

实验结果用“平均值±标准误”(mean±SE)表示,采用SPSS 20.0软件进行数据统计分析,先对数据进行方差齐性检验,如满足方差齐性条件则对数据进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),差异显著再作LSD多重比较,如不满足方差齐性条件则作Dunnett's T3检验法进行多重比较,显著水平为 $P<0.05$ 。

2 结果

2.1 黄颡鱼生长性能和生物学性状

与对照组T0比较,实验组(T20~T60)的终末均重、增重率、特定生长率和饲料系数差异不显著($P>0.05$),T60组的成活率显著降低($P<0.05$);T60组的增重率和特定生长率显著低于T20组

($P<0.05$)。随着脱脂虫粉替代量的增加,实验组的腹脂指数呈下降趋势,其中T60组腹脂指数显著低于对照组($P<0.05$),各组肝体比、肥满度、脏体比、肠体比及胃体比没有差异($P>0.05$)(表3)。

2.2 黄颡鱼体组成和营养素沉积率

与对照组T0相比,实验组(T20~T60)的全鱼水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量没有显著差异($P>0.05$)(表4);T40和T60组的灰分沉积率和钙沉积率显著降低($P<0.05$),蛋白质沉积率、脂肪沉积率和磷沉积率没有差异($P>0.05$)(表5)。

2.3 黄颡鱼血清生化指标

与对照组T0比较,实验组(T20~T60)黄颡鱼血清胆固醇、甘油三酯显著下降($P<0.05$),T20和T40的高密度/低密度脂蛋白胆固醇值显著升高($P<0.05$),实验组T20和T40组的白蛋白有显著性增加的趋势($P=0.085$, $P=0.107$),T40组总蛋白含量显著升高($P<0.05$),T60血糖有显著下降的趋势($P=0.051$);低密度脂蛋白胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇、尿素氮和球蛋白含量没有差异($P>0.05$)(表6)。

2.4 黄颡鱼胃和肠道消化酶活性

与对照组T0相比,实验组T40胃蛋白酶活性有显著增加的趋势($P=0.068$),T40肠道胰蛋白酶活性显著增加($P<0.05$),胃和肠道中脂肪酶和淀粉酶活性没有显著差异($P>0.05$)(表7)。

表3 脱脂幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能和生物学性状的影响

Tab. 3 Effects of substituting fish meal with DBSFLM on growth performance and physical indicators of juvenile *P. fulvidraco*

指标 items	组别 group			
	T0	T20	T40	T60
终末均重/g FBW	21.90±1.23 ^{ab}	23.73±1.42 ^a	20.81±0.99 ^{ab}	19.49±0.47 ^b
成活率/% SR	91.67±2.20 ^{ab}	86.67±2.20 ^{bc}	95.00±1.44 ^a	81.67±2.20 ^c
增重率/% WGR	1 218.73±75.68 ^{ab}	1 318.40±80.97 ^a	1 147.70±58.41 ^{ab}	1 068.01±26.30 ^b
特定生长率/(%/d) SGR	4.60±0.11 ^{ab}	4.73±0.10 ^a	4.50±0.09 ^{ab}	4.39±0.04 ^b
饲料系数 FCR	1.19±0.06 ^{ab}	1.17±0.09 ^b	1.27±0.04 ^{ab}	1.38±0.00 ^a
摄食量/g FI	24.48±0.12	25.91±0.58	24.36±0.60	25.48±0.52
肝体比/% HSI	1.76±0.05	1.85±0.09	1.96±0.06	1.63±0.14
肥满度/(g/cm ³) CF	1.72±0.03	1.78±0.05	1.73±0.02	1.72±0.02
脏体比/% VSI	7.94±0.31	7.60±0.40	7.96±0.28	7.39±0.33
腹脂指数/% IPR	1.34±0.17 ^a	1.23±0.12 ^{ab}	1.00±0.14 ^{ab}	0.89±0.12 ^b
肠体比/% II	1.83±0.15	1.76±0.10	1.87±0.15	1.79±0.09
胃体比/% GI	1.97±0.11	2.05±0.12	2.01±0.17	1.77±0.08

注:同行数据后不同字母者表示差异显著($P<0.05$),生物学性状指标 $n=18$,其他指标 $n=3$,下同

Notes: Values in the same row with no or different small letter superscripts are significantly different ($P<0.05$). repeat number of physical indicators $n=18$, other indicators $n=3$, the same below

表 4 脱脂幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼体组成的影响
(湿物质基础)

Tab. 4 Effects of substituting fish meal with DBSFLM on body composition of juvenile *P. fulvidraco* (wet basis)

指标 items	组别 group			
	T0	T20	T40	T60
水分 moisture	74.00±0.21	74.96±0.66	74.54±0.43	74.33±0.36
粗蛋白 crude protien	15.02±0.17	14.56±0.12	15.04±0.19	14.93±0.27
粗脂肪 crude lipid	5.87±0.23	5.72±0.55	5.70±0.10	6.00±0.10
灰分 ash	3.29±0.02	3.19±0.06	3.28±0.11	3.18±0.06

表 5 脱脂幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼营养素沉积率的影响

Tab. 5 Effects of substituting fish meal with DBSFLM on nutrient retention of juvenile *P. fulvidraco* %, n=3

指标 items	组别 group			
	T0	T20	T40	T60
蛋白质沉积率 PR	30.41±1.69	31.86±2.57	29.34±1.39	28.63±0.99
脂肪沉积率 LR	55.48±1.57	58.04±4.41	50.53±2.40	55.06±1.02
灰分沉积率 AR	33.42±1.70 ^a	32.73±2.42 ^{ab}	28.26±0.68 ^{bc}	25.49±0.89 ^c
钙沉积率 CR	60.35±4.08 ^a	57.38±3.71 ^a	45.32±1.29 ^b	38.14±1.49 ^b
磷沉积率 PHR	38.85±1.69	39.77±2.78	38.38±1.46	35.38±0.72

表 6 脱脂幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼血清生化指标的影响

Tab. 6 Effects of substituting fish meal with DBSFLM on serum biochemical indices of juvenile *P. fulvidraco* n=3

指标 items	组别 group			
	T0	T20	T40	T60
胆固醇/(mmol/L) CHOL	4.92±0.24 ^a	4.23±0.06 ^b	4.21±0.07 ^b	4.26±0.05 ^b
甘油三酯/(mmol/L) TG	8.12±0.78 ^a	5.16±0.22 ^b	5.52±0.25 ^b	6.09±0.52 ^b
低密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L) LDL-C	0.33±0.03	0.29±0.01	0.31±0.01	0.29±0.01
高密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L) HDL-C	0.45±0.02	0.50±0.02	0.50±0.04	0.44±0.03
高密度/低密度脂蛋白胆固醇 HDL-C/LDL-C	1.37±0.07 ^a	1.70±0.08 ^a	1.62±0.06 ^{ab}	1.48±0.04 ^{bc}
尿素氮/(mmol/L) UN	1.53±0.13	1.40±0.12	1.53±0.07	1.53±0.07
白蛋白/(g/L) ALB	11.80±0.26	12.67±0.37	12.60±0.35	12.47±0.24
球蛋白/(g/L) GLO	21.93±0.73	22.80±0.26	23.60±0.58	22.93±0.32
白蛋白/球蛋白 A/G	0.53±0.03	0.53±0.03	0.50±0	0.53±0.03
总蛋白/(g/L) TP	33.73±0.82 ^b	35.47±0.12 ^{ab}	36.20±0.91 ^a	35.40±0.21 ^{ab}
血糖/(mmol/L) GLU	6.64±0.89	5.34±0.44	5.91±0.68	4.69±0.06

3 讨论

3.1 脱脂幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能的影响

本实验结果表明, DBSFLM(蛋白质55.4%、脂肪1.6%)替代60%(虫粉添加量为17.85%)或以下添加量的鱼粉时对黄颡鱼幼鱼增重率和饲料系数没有显著负面影响。这一结果与本实验室前期的研究“用亮斑扁角水虻幼虫粉(BSFLM)(蛋白质33.3%、脂肪33.5%)替代25%(虫粉添加量为14.1%)或以下水平的鱼粉时对黄颡鱼幼鱼增重率和饲料系数没有显著影响,当替代量为30%(虫粉添加量为16.9%)时生长性能显著降低”^[19]相似,说明餐厨养殖的亮斑扁角水虻幼虫粉可以部分

替代鱼粉用于黄颡鱼饲料不影响其生长性能。这与亮斑扁角水虻幼虫粉(含有脱脂虫粉)可部分或全部替代鱼粉应用于尼罗罗非鱼^[7-9]、斑点叉尾鲷^[7]、革胡子鲶^[10]、虹鳟^[11-12, 20-21]、大菱鲆^[13]、锦鲤^[14]、建鲤^[15, 22]、凡纳滨对虾^[16]、舌齿鲈^[17]、花鲈^[18]和大西洋鲑^[23]等鱼虾饲料不影响其生长的结果一致。但虫粉的添加量临界值因为虫粉的营养成分和实验动物种类不同而有差异。Xiao等^[24]用鸡粪养殖的BSFLM(蛋白质47.0%、脂肪17%)替代鱼粉养殖黄颡鱼幼鱼的实验发现:替代量为68%(虫粉添加量为34.3%)对黄颡鱼幼鱼生长性能没有负面影响,替代量为85%时其生长性能显著下降,此结果进一步说明了在黄颡鱼饲料中因为虫粉的营养价值不同导致添加量不同,

表7 脱脂幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼胃和肠道消化酶活性的影响
 Tab. 7 Effect of substituting FM with DBSFLM on digestive enzymes activity
 in the stomach and intestine of juvenile *P. fulvidraco*

n=3

指标 items	组别 group			
	T0	T20	T40	T60
胃 stomach				
蛋白酶/(U/mg prot) protase	3.55±0.04	4.88±1.19	6.11±0.59	4.45±1.09
脂肪酶/(U/g prot) lipase	61.97±26.40	61.09±14.69	56.89±10.59	39.85±14.27
淀粉酶/(U/mg prot) amylase	3.25±1.14	4.32±2.35	1.63±0.21	1.47±0.42
全肠 intestine				
胰蛋白酶/(U/g prot) trypsin	23.98±1.95 ^{bc}	16.6±3.50 ^f	34.84±3.22 ^a	30.79±3.17 ^{ab}
脂肪酶/(U/g prot) lipase	24.81±3.09	21.85±1.59	29.13±1.17	38.24±8.39
淀粉酶/(U/mg prot) amylase	3.56±0.27	3.72±0.74	3.76±0.56	4.60±0.84

而虫粉质量与幼虫培养基质来源(畜禽粪便、植物性副产物、干酒糟及其可溶物或发酵残渣、餐厨垃圾等)和虫粉脱脂方法(机械压榨、索氏抽提、溶剂萃取)不同有关。最近也有不同培养基质对亮斑扁角水虻幼虫营养组成影响的报道,研究发现处理餐厨垃圾的幼虫营养组成优于处理鸡粪、酒糟和牛粪的幼虫^[25],处理餐厨垃圾较处理鸡粪、变质果蔬和生物沼液获得的幼虫脂肪含量高、灰分含量低^[26]。本实验室前期也发现处理餐厨垃圾的幼虫较处理鸡粪的幼虫含有更高不饱和脂肪酸和必需脂肪酸^[27]。添加过高含量的虫粉导致黄颡鱼生长性能下降,可能是由于高含量亮斑扁角水虻幼虫粉饲料使其对干物质、粗蛋白和脂肪的表观消化率下降^[13,19,24]。

本实验中, DBSFLM替代60%鱼粉时黄颡鱼幼鱼成活率显著降低,与Hu等^[19]报道的亮斑扁角水虻实验组(除替代15%鱼粉组外)均显著提高黄颡鱼的成活率和Xiao等^[24]的研究“用鸡粪来源的亮斑扁角水虻幼虫粉100%替代鱼粉对黄颡鱼的成活率没有显著影响”的研究结果均不同。分析原因可能与所用虫粉中抗菌活性物质含量不同有关,据报道亮斑扁角水虻含有抗菌肽^[28-30],且抗菌肽具有提高动物免疫力进而提高成活率的作用^[31],具体机理有待后续进一步研究。

关于DBSFLM对黄颡鱼腹脂指数的影响研究本实验是第一次涉及,结果表明,随着脱脂虫粉替代量的增加,黄颡鱼腹脂指数呈下降趋势,当替代水平为60%时,达到显著差异水平,说明脱脂虫粉对黄颡鱼腹腔脂肪沉积量有影响。

进一步推测脱脂虫粉可调节鱼体脂肪的分布,而鱼体脂肪主要沉积在肌肉、腹腔和肝脏等,不同鱼类不一样^[32]。对行动缓慢的鱼类,肝脏和腹腔脂肪等组织是其脂肪贮存的主要场所,而远海鱼类因需要进行长途跋涉,大量脂肪贮存在肌肉组织中^[33],因此,腹部是黄颡鱼脂肪沉积的主要部位之一。影响鱼类体脂沉积的因素很多,饲料源性物质是其中之一^[34]。本实验中各组饲料是等氮等脂,最有可能是甲壳素含量不同(高虫粉组和对照组比较)导致腹脂指数下降,因为甲壳素能干扰胆固醇的吸收进而抑制脂肪的沉积^[35],本实验中血清胆固醇下降也验证了这一点。

3.2 脱脂幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼体组成和营养素沉积率的影响

本结果中DBSFLM替代不同比例鱼粉(最高替代60%)对黄颡鱼全鱼粗蛋白质、脂肪和灰分含量未产生显著影响,与前期BSFLM在黄颡鱼中的研究结果^[19]及BSFLM替代68%或以下水平的鱼粉对黄颡鱼全鱼体组成没有显著影响^[24]的结果一致。这也与在虹鳟^[11]、建鲤^[15,22]、舌齿鲈^[17]和花鲈^[18]中得到的结果类似。Kroeckel等^[13]报道BSFLM替代52.2%鱼粉(虫粉使用量49%)时大菱鲆全鱼水分增加、脂肪下降,Cummins等^[16]报道随着BSFLM替代量的增加凡纳滨对虾体蛋白和脂肪下降,Dumas等^[21]研究发现DBSFLM 100%替代鱼粉(对照组鱼粉20%)对虹鳟体灰分没有影响、体蛋白降低、体脂肪增加。这些差异可能与实

验动物种类或(和)日粮配方不同有关。

关于亮斑扁角水虻幼虫粉替代鱼粉影响水产动物营养素沉积率的研究报道极少。本实验中随着脱脂虫粉替代量的增加,对黄颡鱼蛋白质沉积率、脂肪沉积率没有显著影响,灰分沉积率下降,与本实验室研究的脱脂虫粉替代鱼粉在花鲈中的结果^[36]一致,而与在大菱鲆中蛋白质沉积率和脂肪沉积率下降的结果^[13]不一致,分析原因可能与所用的虫粉营养组成(分别为脱脂虫粉蛋白质55.4%、脂肪1.6%和灰分18.6%与虫粉蛋白质47.6%、脂肪11.7%和灰分15.6%)、用量及实验动物种类不同有关。

3.3 脱脂幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼血清生化指标的影响

鱼类血液生化指标是反映动物生理机能及代谢状况的重要指标,也是衡量动物健康标准的指标^[37]。影响鱼类血液指标的因素有很多,主要有性别、生长、运动、饱食、健康状况等^[38],在同等条件下这些指标仍能够很好反应养殖动物的生理状况和健康状况。血清总胆固醇和甘油三酯的浓度可反映机体脂肪代谢的状况。低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)和高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)是运输胆固醇的载体^[39],LDL-C将肝脏合成的胆固醇转运到肝外组织,而HDL-C则负责把胆固醇运回到肝脏^[40]。本实验结果表明脱脂虫粉替代鱼粉后黄颡鱼血清胆固醇、甘油三酯下降,高密度/低密度脂蛋白胆固醇值显著升高。这与已有报道亮斑扁角水虻幼虫粉或脱脂亮斑扁角水虻幼虫粉在舌齿鲈^[17]、花鲈^[18]和建鲤^[22]中的结果一致。文远红等^[41]也发现蝇蛆粉替代鱼粉使黄颡鱼血清胆固醇含量降低。据报道甲壳素能干扰胆固醇的吸收进而降低血清含量^[35]和降低鱼类胆固醇的功效^[42-43]。已有研究表明,日粮胆固醇含量与养殖动物血液胆固醇含量相关^[44-45],也有可能是亮斑扁角水虻幼虫粉的胆固醇含量低于鱼粉(分别为472.9和2 994.7 mg/kg)导致替代饲料中的胆固醇含量降低引起的。血清甘油三酯含量可反映脂肪组织发育和脂肪沉积能力,其含量降低提示脂肪沉积能力减弱,因此,本实验中血清甘油三酯下降可导致腹脂指数下降。

当血浆白蛋白下降、球蛋白含量升高时,即白蛋白/球蛋白值下降,会增加机体免疫紊乱、肝功能障碍和肾功能受损等相关疾病的发生率^[46]。本实验中脱脂虫粉替代鱼粉对黄颡鱼血清白蛋

<http://www.sxuebao.cn>

白、球蛋白含量及白蛋白/球蛋白值和血糖没有显著影响,说明脱脂虫粉代替部分鱼粉后黄颡鱼机体健康,与亮斑扁角水虻幼虫粉替代鱼粉在虹鳟^[21]和建鲤^[15,22]中的结果一致,不同于亮斑扁角水虻幼虫粉替代鱼粉导致锦鲤血清白蛋白、葡萄糖显著增加的研究^[14],不同于黄颡鱼血清球蛋白含量显著降低的报道^[19],分析原因应该是与实验鱼种类、虫粉用量及质量等因素有关。

3.4 脱脂幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼消化酶活性的影响

Li等^[22]报道脱脂亮斑扁角水虻幼虫粉替代鱼粉后对建鲤中肠蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性没有影响,黄文庆等^[47]发现用黑水虻虫粉替代草鱼种鱼饲料中的鱼粉后也有类似的结果。这与本实验结果中脱脂亮斑扁角水虻幼虫粉替代鱼粉导致黄颡鱼肠道胰蛋白酶、胃蛋白酶活性增加的研究结果不同,而与文远红等^[48]“蝇蛆粉替代鱼粉增加了黄颡鱼前肠蛋白酶活性、不影响肠道脂肪酶和淀粉酶活性”的研究结果类似。亮斑扁角水虻幼虫粉替代鱼粉后对实验动物消化道酶活性影响的相关数据较少,需要更多研究验证。

4 结论

在本实验条件下,脱脂亮斑扁角水虻幼虫粉替代鱼粉不影响黄颡鱼的生长性能和体组成,可降低腹脂指数、血清甘油三酯、胆固醇含量及灰分、钙的沉积率和增加蛋白酶活性,以替代水平为20%(虫粉添加量为5.95%)时生长最佳,且优于对照组,较对照组增重率提高了8.18%,饲料系数降低了1.68%,摄食量提高5.84%。脱脂亮斑扁角水虻幼虫粉替代鱼粉在黄颡鱼饲料中应用是可行的。

王国霞与陈冰为共同第一作者。

感谢华南农业大学食品学院曹庸教授团队对制作脱脂虫粉提供的技术指导和帮助。

参考文献:

- [1] 周歧存,麦康森,刘永坚,等.动植物蛋白源替代鱼粉研究进展[J].水产学报,2005,29(3):404-410.

Zhou Q C, Mai K S, Liu Y J, *et al.* Advances in animal and plant protein sources in place of fish meal[J]. Journal

中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- of Fisheries of China, 2005, 29(3): 404-410(in Chinese).
- [2] Henry M, Gasco L, Piccolo G, *et al.* Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2015, 203: 1-22.
- [3] 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.
Ji H, Li S L, Xu X X. Research progress on the application of insects as feed resources in aquaculture feed[J]. *Feed Industry*, 2016, 37(22): 1-9(in Chinese).
- [4] Lock E J, Biancarosa I, Gasco L. Insects as raw materials in compound feed for aquaculture[M]//Halloran A, Flore R, Vantomme P, *et al.* Edible Insects in Sustainable Food Systems. Cham: Springer, 2018: 263-276.
- [5] Gasco L, Gai F, Maricchiolo G, *et al.* Fishmeal alternative protein sources for aquaculture feeds[M]//Gasco L, Gai F, Maricchiolo G, *et al.* Feeds for the Aquaculture Sector - Current Situation and Alternative Sources. Cham: Springer, 2018: 1-28.
- [6] Van Huis A, Itterbeek JV, Klunder H, *et al.* Edible insects: future prospects for food and feed security[C]. FAO forestry paper. Rome: FAO of the united nations, 2013.
- [7] Bondari K, Sheppard D C. Soldier fly larvae as feed in commercial fish production[J]. *Aquaculture*, 1981, 24: 103-109.
- [8] Hem S, Toure S, Sagbla C, *et al.* Bioconversion of palm kernel meal for aquaculture: experiences from the forest region (Republic of Guinea)[J]. *African Journal of Biotechnology*, 2008, 7(8): 1192-1198.
- [9] Devic E, Leschen W, Murray F, *et al.* Growth performance, feed utilization and body composition of advanced nursing Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2017, 24(1): 416-423.
- [10] Talamuk R. Comparisons of growth performance of African catfish (*Clarias gariepinus* BURCHELL, 1822) fingerlings fed different inclusion levels of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal diets[D]. Stellenbosch, South Africa: Stellenbosch University, 2016.
- [11] 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.
- [12] 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 World Aquaculture Society*, 2011, 42(1): 34-45.
- [13] 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.
- [14] 刘兴, 孙学亮, 李连星, 等. 亮斑扁角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.
Liu X, Sun X L, Li L X, *et al.* Effects of dietary fish meal replaced by *Hermetia illucens* meal on growth and health of koi carp *Cyprinus carpio*[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2017, 32(4): 422-427(in Chinese).
- [15] Zhou J S, Liu S S, Ji H, *et al.* Effect of replacing dietary fish meal with black soldier fly larvae meal on growth and fatty acid composition of Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *Jian*)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2018, 24(1): 424-433.
- [16] Cummins Jr V C, 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
Hu J R, Wang G X, Mo W Y, *et al.* Effects of fish meal replacement by black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal on growth performance, body composition, plasma biochemical indexes and tissue structure of juvenile *Lateolabrax japonicus*[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(2): 613-623(in Chinese).
- [19] Hu J R, Wang G X, Huang Y H, *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: 1382-1391.
- [20] 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.
- [21] Dumas A, Raggi T, Barkhouse J, *et al.* The oil fraction and partially defatted meal of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) affect differently growth performance, feed efficiency, nutrient deposition, blood glucose and lipid digestibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Aquaculture*, 2018, 492: 24-34.
- [22] Li S L, Ji H, Zhang B X, *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.
- [23] Belghit I, Liland N S, Waagbø R, *et al.* Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*)[J]. *Aquaculture*, 2018, 491: 72-81.
- [24] Xiao X P, Jin P, Zheng L Y, *et al.* Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal protein as a fish-meal replacement on the growth and immune index of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)[J]. *Aquaculture Research*, 2018, 49(4): 1569-1577.
- [25] Shumo M. An analysis of the nutritive value of the black soldier fly larvae reared on different substrates[J]. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2018, 4(suppl. 1): 27.
- [26] Spranghers T, Ottoboni M, Klootwijk C, *et al.* Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, 97(5): 2594-2600.
- [27] 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.
- Hu J R, He F, Mo W Y, *et al.* The feed value of black soldier fly *Hermetia illucens* larva fed with different organic wastes[J]. *China Feed*, 2017(15): 24-27(in Chinese).
- [28] Elhag O, Zhou D Z, Song Q, *et al.* Screening, expression, purification and functional characterization of novel antimicrobial peptide genes from *Hermetia illucens* (L.)[J]. *PLoS One*, 2017, 12(1): e0169582.
- [29] Park S I, Chang B S, Yoe S M. Detection of antimicrobial substances from larvae of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae)[J]. *Entomological Research*, 2014, 44(2): 58-64.
- [30] Park S I, Chang B S, Yoe S M. Purification and characterization of a novel antibacterial peptide from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae[J]. *Developmental & Comparative Immunology*, 2015, 52(1): 98-106.
- [31] Gadde U, Kim W H, Oh S T, *et al.* Alternatives to antibiotics for maximizing growth performance and feed efficiency in poultry: a review[J]. *Animal Health Research Reviews*, 2017, 18(1): 26-45.
- [32] 艾庆辉. 鱼类脂肪沉积以及调控研究[J]. *当代水产*, 2015, 40(11): 53-54.
- Ai Q H. Studies on fatty deposition and regulation of fish[J]. *Current Fisheries*, 2015, 40(11): 53-54(in Chinese).
- [33] Sheridan M A. Lipid dynamics in fish: aspects of absorption, transportation, deposition and mobilization[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Comparative Biochemistry*, 1988, 90(4): 679-690.
- [34] 刘文斌, 徐维娜, 李向飞, 等. 鱼类脂肪沉积与调控的研究进展[C]//中国畜牧兽医学会动物营养学分会第十一次全国动物营养学术研讨会论文集. 长沙: 中国畜牧兽医学会, 2012: 203-213.
- Liu W B, Xu W N, Li X F, *et al.* Advances in studies on fatty deposition and regulation of fish[C]//Advances in Animal Nutrition Research. Changsha: Chinese Association of Animal Science and Veterinary Medicine, 2012: 203-213(in Chinese).
- [35] Khoushab F, Yamabhai M. Chitin research revisited[J]. *Marine Drugs*, 2010, 8(7): 1988-2012.
- [36] Wang G X, Peng K, Hu J R, *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.
- [37] 周玉, 郭文场, 杨振国, 等. 鱼类血液学指标研究的进展[J]. *上海水产大学学报*, 2001, 10(2): 163-165.
- Zhou Y, Guo W C, Yang Z G, *et al.* Advances in the study of haematological indices of fish[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2001, 10(2): 163-165(in Chinese)

- Chinese).
- [38] 朱心玲,贾丽珠,张明瑛. 草鱼血液学的研究 I. 九项血液常数的周年变化[J]. 水生生物学报, 1985, 9(3): 248-257.
- Zhu X L, Jia L Z, Zhang M Y. Haematological studies on the grass carp I. Year-round changes in nine Haematological parameters[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1985, 9(3): 248-257(in Chinese).
- [39] Sharman M J, Fernandez M L, Zern T L, *et al.* Replacing dietary carbohydrate with protein and fat decreases the concentrations of small LDL and the inflammatory response induced by atherogenic diets in the guinea pig[J]. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2008, 19(11): 732-738.
- [40] Agellon L B, Walsh A, Hayek T, *et al.* Reduced high density lipoprotein cholesterol in human cholesteryl ester transfer protein transgenic mice[J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 1991, 266(17): 10796-10801.
- [41] 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.
- Wen Y H, Cao J M, Huang Y H, *et al.* Effects of fish meal replacement by maggot meal on growth performance, body composition and plasma biochemical indexes of juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(1): 171-181(in Chinese).
- [42] Shiau S Y, Yu Y P. Dietary supplementation of chitin and chitosan depresses growth in tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*[J]. *Aquaculture*, 1999, 179(1-4): 439-446.
- [43] Chen Y, Zhu X, Yang Y, *et al.* Effect of dietary chitosan on growth performance, haematology, immune response, intestine morphology, intestine microbiota and disease resistance in gibel carp (*Carassius auratus gibelio*)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2014, 20(5): 532-546.
- [44] Kaushik S J, Cravedi J P, Lalles J P, *et al.* Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*[J]. *Aquaculture*, 1995, 133(3-4): 257-274.
- [45] Goulding N J, Gibney M J, Taylor T G, *et al.* Reversible hypercholesterolaemia produced by cholesterol-free fish meal protein diets[J]. *Atherosclerosis*, 1983, 49(2): 127-137.
- [46] John P J. Alteration of certain blood parameters of freshwater teleost *Mystus vittatus* after chronic exposure to Metasystox and Sevin[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2007, 33(1): 15-20.
- [47] 黄文庆,黄燕华,米海峰,等. 3种动物蛋白质源替代鱼粉对草鱼生长性能、肌肉营养成分、消化酶活性、血清生化和抗氧化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(5): 2187-2200.
- Huang W Q, Huang Y H, Mi H F, *et al.* Effects of fish-meal replacement by three animal protein sources on growth performance, muscle nutritional components, digestive enzyme activities and serum biochemical and antioxidant indices of *Ctenopharyngodon idellus*[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(5): 2187-2200(in Chinese).
- [48] 文远红,黄燕华,王国霞,等. 蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼抗氧化指标、消化酶活性及前肠、肝胰脏组织结构的影响[J]. *饲料工业*, 2015, 36(4): 29-35.
- Wen Y H, Huang Y H, Wang G X, *et al.* Effect of replacement of fish meal with maggot meal on antioxidant indexes, digestive enzyme activities, foregut and hepatopancreas histological structure of *Pelteobagrus fulvidraco*[J]. *Feed Industry*, 2015, 36(4): 29-35(in Chinese).

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*

WANG Guoxia¹, CHEN Bing¹, SUN Yuping¹, HU Junru¹,
PENG Kai¹, WU Haomin², HUANG Yanhua^{1,2*}

(1. Guangdong Key Laboratory of Animal Breeding and Nutrition, Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science in South China of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Animal Science,

Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China;

2. Guangzhou Fishtech Biotechnology Co., Ltd, Guangzhou 510640, China)

Abstract: A 56-d feeding trial with 480 yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) juveniles [(1.67±0.01) g initial body weight] was carried out to estimate the effect of replacing fish meal with defatted black soldier fly larvae meal (DBSFLM) on growth performance, nutrient retention, serum biochemical parameters and digestive enzymes activity of juvenile *P. fulvidraco*. Fish were randomly allocated into four isolipidic and isoprotein dietary treatments which were formulated by replacing 0 (T0), 20% (T20), 40% (T40) and 60% (T60) of fish meal (FM) protein with DBSFLM. Each treatment was randomly assigned to triplicate groups of 40 fish per aquarium. Fish were fed twice daily to apparent satiation. With increasing content of DBSFLM, the final body weight (FBW), weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR) of yellow catfish increased first and then decreased. Growth performance of FBW, WGR and SGR in T20 were highest and higher than T60, whereas the feed conversion rate was the lowest. The feed intake in T20 and T60 was higher than that in control and T40 groups. With the increasing content of DBSFLM, the intraperitoneal fat index (IFI) was declining, T60 group was lower than control, and ash, calcium retention declining with T40 and T60 groups lower than control. There was no difference of condition factor, viscera index, hepatosomatic index, intestine index and gastric index among treatments. Nutrient retention such as protein, lipid and phosphorus, moisture, crude protein, lipid and ash in whole body were not affected by dietary treatments. Compared with control, the serum cholesterol and triglyceride were reduced and the high density/low density lipoprotein cholesterol increased in T20, T40 and T60 groups and pepsase and intestinal trypsin increased in T40 group. Results suggested that the growth performance and body composition of yellow catfish juveniles were not affected by dietary DBSFLM and the optimal alternative ratio was 20%, which was better than control. The replacement of fish meal with DBSFLM may reduce IFI, serum triglyceride, cholesterol and ash, calcium retention and increase protease activity.

Key words: *Pelteobagrus fulvidraco*; defatted black soldier fly larvae meal (DBSFLM); performance; nutrient retention; serum biochemical index; digestive enzymes activity

Corresponding author: HUANG Yanhua. E-mail: huangyh111@126.com

Funding projects: Guangdong Provincial Special Fund for Modern Agriculture Industry Technology Innovation Teams (2019JK115); Guangdong Academy of Agricultural Science Discipline Team Construction Project (Aquaculture Nutrition and Feed Discipline Team) (201614TD)