

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.19306

脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼生长、体成分、血清生化指标及抗氧化能力的影响

韩星星¹, 叶坤¹, 王志勇¹, 陈丰林², 柴志强², 詹炜³, 王秋荣¹

1. 集美大学水产学院, 农业农村部东海海水健康养殖重点实验室, 福建 厦门 361021;

2. 广州市翹楚昆虫繁育中心有限公司, 广东 广州 510000;

3. 浙江省海洋水产研究所, 浙江 舟山 316000

摘要: 本实验旨在探讨脱脂黑水虻(*Hermetia illucens*)虫粉(DBSFLM)替代鱼粉(FM)对大黄鱼(*Larimichthys crocea*)幼鱼生长、体成分、血清生化指标及抗氧化能力的影响。实验设计 6 组等氮(粗蛋白 45%)等脂(粗脂肪 10%)饲料, 用黑水虻脱脂虫粉分别替代饲料中 0%、20%、40%、60%、80%和 100%的鱼粉蛋白, 分别记为 G0、G20、G40、G60、G80 和 G100。选用 2160 尾平均体重为(50.08±3.31) g 的大黄鱼幼鱼随机分为 6 组, 每组 3 个重复, 每个重复 120 尾, 在室内水泥池(2 m×1 m×1 m)进行为期 7 周的投喂实验。结果表明: (1) G100 组大黄鱼幼鱼存活率显著低于其他实验组, G40 组大黄鱼增重率(WGR)、蛋白质效率(PER)均显著高于其他组($P<0.05$); (2) 大黄鱼肌肉粗蛋白含量随着 DBSFLM 替代 FM 水平的增加而下降, 替代 40%及以上鱼体粗蛋白含量显著降低($P<0.05$); 肌肉的粗脂肪和粗灰分含量则随 DBSFLM 替代 FM 水平的增加而升高, 其中替代 60%及以上鱼体粗脂肪和粗灰分含量显著升高($P<0.05$); (3) 随着替代水平的升高(>40%), 大黄鱼血清谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)活性显著上升($P<0.05$), 甘油三酯(TG)和胆固醇(CHOL)水平显著下降($P<0.05$); (4) G20 组大黄鱼肝脏总抗氧化能力(T-AOC)及 G40 组实验鱼肝脏超氧化物歧化酶(SOD)活性均为最高, G40 组大黄鱼肝脏丙二醛(MDA)含量最低。过氧化氢酶(CAT)活性随着 DBSFLM 替代 FM 水平升高呈现下降趋势, 替代 40%及以上 CAT 活性显著下降($P<0.05$)。综上所述, 在本实验条件下, 脱脂黑水虻虫粉替代饲料中 40%鱼粉蛋白对大黄鱼幼鱼的生长性能、体成分及健康状况无负面影响。

关键词: 大黄鱼; 脱脂黑水虻虫粉; 生长; 体成分; 血清生化指标; 抗氧化能力

中图分类号: S963

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2020)05-0524-12

鱼粉因其营养丰富、适口性好、消化吸收率高优点一直是水产饲料最重要的优质蛋白源。随着世界水产养殖业的快速发展, 鱼粉的需求量不断攀升, 但因长期过度捕捞及海洋环境污染导致渔业资源日益衰竭, 鱼粉的产量逐年下降, 造成鱼粉供不应求, 价格不断上涨。为了解决鱼粉短缺问题及降低饲料成本, 开发安全、高效且廉价可替代鱼粉的蛋白源已成为水产动物营养学的

研究热点^[1-3]。黑水虻(*Hermetia illucens*)属于双翅目(Diptera)、水虻科(Stratiomyidae)的一种腐食性昆虫, 具有繁殖快、易培养等优点, 能将废弃有机物转化为高营养价值的蛋白质。其幼虫蛋白质含量高, 氨基酸组成与鱼粉相近, 富含矿物质元素及维生素, 被认为是较适合替代鱼粉的动物蛋白源之一^[4]。现有的研究表明, 在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss* Walbaum)^[5-6]、大西洋鲑(*Salmo salar*

收稿日期: 2019-10-27; 修订日期: 2019-11-13.

基金项目: 农业农村部现代农业产业技术体系建设专项经费项目(CARS-47-G04); 浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室开放课题(2016KF001); 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室 2016 年度开放基金课题(FREU2016-05); 国家科技基础条件平台建设运行服务项目(2019DKA30470).

作者简介: 韩星星(1993-), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产动物营养与饲料. E-mail: 15715277865@163.com

通信作者: 王秋荣(1966-), 副教授, 硕士生导师, 研究方向为水产动物营养与饲料. E-mail: wqiurong@126.com

L.)^[7]、欧洲舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax* L.)^[8]、大菱鲆(*Psetta maxima*)^[9]、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco* Richardson)^[10]、建鲤(*Cyprinus carpio* var. *jian*)^[11]和尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus* L.)^[12]等饲料中均可使用黑水虻虫粉部分替代鱼粉,并取得较好的应用效果。

大黄鱼(*Larimichthys crocea*)属硬骨鱼纲(Osteichthyes),鲈形目(Perciformes),石首鱼科(Sciaenidae),黄鱼属。目前已成为中国养殖量最大的海水鱼类,随着大黄鱼养殖业的迅速发展,大黄鱼配合饲料生产量逐年上升,随之需要消耗大量鱼粉原料。为了节约饲料成本,提高养殖效益,国内许多学者已开展大黄鱼配合饲料鱼粉替代蛋白源的研究^[13-18],但尚未见黑水虻虫粉替代鱼粉的研究报道。本研究首先对黑水虻幼虫的营养价值进行评价,然后选用脱脂黑水虻虫粉替代不同比例鱼粉配制 6 种等氮等脂饲料饲喂大黄鱼幼鱼以综合评价其替代效果,为今后黑水虻虫粉在大黄鱼幼鱼配合饲料中的应用提供理论依据和参考资料。

1 材料与方法

1.1 实验设计与实验饲料

本实验设计单因素 6 水平分组实验,根据大黄鱼幼鱼的营养需求,以鱼粉、脱脂黑水虻虫粉为主要蛋白源,鱼油为脂肪源,用脱脂黑水虻虫粉分别替代 0%、20%、40%、60%、80%和 100%的鱼粉蛋白,配制成 6 种等氮(CP: 45%)等脂(CL: 10%)饲料,饲料蛋白原料鱼粉和脱脂黑水虻虫粉营养水平及氨基酸组成见表 1,实验饲料配方、营养水平和氨基酸组成分别如表 2 和表 3 所示。

1.2 饲养管理与样品采集

在福建省宁德市蕉城区金铃水产科技有限公司的养殖基地进行养殖实验,实验为期 7 周,实验鱼(50.08±3.31) g 从海上网箱运至室内水泥池用基础饲料驯养 1 周。正式实验之前,禁食 24 h,挑选规格相近的大黄鱼幼鱼 2160 尾随机分到 18 口水泥池(2 m×1 m×1 m)中,设 6 个实验组,每组 3 个重复,每个重复 120 尾,每个重复随机取 30 尾测定初始体重与体长。

表 1 脱脂黑水虻虫粉和鱼粉的营养水平及氨基酸组成
Tab. 1 Proximate composition and amino acid composition of defatted black soldier fly larvae meal (DBSFLM) and fish meal (FM)

原料 ingredient	%干物质 dry matter	
	脱脂黑水虻虫粉 DBSFLM	鱼粉 FM
粗蛋白 crude protein	37.78	63.78
粗脂肪 crude fat	11.37	9.81
粗灰分 crude ash	12.47	13.45
必需氨基酸 EAA		
苏氨酸 Thr	1.48	3.08
缬氨酸 Val	2.46	3.14
蛋氨酸 Met	0.77	1.90
异亮氨酸 Ile	2.12	2.69
亮氨酸 Leu	3.01	4.99
苯丙氨酸 Phe	1.53	2.64
组氨酸 His	0.92	1.48
赖氨酸 Lys	2.78	5.30
精氨酸 Arg	1.38	4.46
非必需氨基酸(NEAA)		
天冬氨酸 Asp	2.96	6.44
丝氨酸 Ser	1.50	3.33
谷氨酸 Glu	4.95	9.33
甘氨酸 Gly	2.17	4.50
丙氨酸 Ala	3.41	3.86
半胱氨酸 Cys	0.34	0.50
酪氨酸 Tyr	2.12	2.41
脯氨酸 Pro	2.14	2.85
必需氨基酸总量 TEAA	16.45	29.68
氨基酸总量 TAA	36.04	62.90
必需氨基酸总量/氨基酸总量 TEAA/TAA	0.46	0.48

实验期间,每天投喂饲料 2 次(6:00 和 18:00)直至幼鱼饱食为止,每次投喂后 30 min 吸出残饵,用淡水洗净后烘干测定残饵量。实验期间水温为 18.4~23.4℃,pH 为 7.8~8.0,盐度为 27~29,溶解氧>5 mg/L,氨氮浓度<0.05 mg/L。实验结束时,禁食 24 h,对每组存活鱼的数量进行计数,然后每个重复随机取 30 尾,用丁香酚(1:10000)麻醉后测定体长与体重,随机取其中 6 尾进行尾静脉采血,血样在 4℃冰箱静置 4 h,然后离心(4000 r/m, 10 min),取血清保存于-20℃冰箱中,用于测定血清生化指标,最后解剖称量内脏团重、肝脏重、

表 2 实验饲料配方及营养水平
Tab. 2 Formulation and proximate composition of the experimental diets

原料 ingredient	饲料组 diet group					
	G0	G20	G40	G60	G80	G100
鱼粉 fish meal	42.00	33.60	25.20	16.80	8.40	0
脱脂黑水虻粉 defatted black soldier fly larvae meal	0	7.00	14.00	21.00	28.00	35.00
磷虾粉 krill meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
玉米蛋白粉 corn gluten meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
发酵豆粕 fermented soybean meal	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
谷朊粉 wheat gluten	8.00	9.60	13.50	17.60	22.00	25.50
鱼油 fish oil	5.50	5.60	5.50	5.50	5.50	5.50
小麦粉 wheat flour	11.40	11.10	8.70	6.00	3.00	0.90
α-淀粉 α-starch	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
大豆卵磷脂 soybean lecithin	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
复合维生素 ^a vitamin premix ^a	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
复合矿物质 ^b mineral premix ^b	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
氯化胆碱 choline chloride	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
牛磺酸 taurine	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
乌贼膏 squid ointment	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
防腐剂 preservatives	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
三氧化二铬 chromium trioxide	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
水分 moisture	9.62	9.46	9.35	9.43	9.60	9.53
粗蛋白 crude protein	45.27	45.05	45.00	45.06	45.30	44.98
粗脂肪 crude fat	10.26	10.46	10.45	10.53	10.52	10.70
粗灰分 crude ash	9.54	10.22	10.52	11.21	11.25	11.33

注: a. 复合维生素为每 kg 饲料提供: 胡萝卜素 0.033 g, 维生素 D 0.017 g, 生育酚 0.127 g, 维生素 B₁ 0.02 g, 维生素 B₂ 0.063 g, 维生素 B₆ 0.017 g, 氰钴素 0.033 mg, 生物素 0.003 g, 肌醇 1.283 g, 尼克酸 0.257 g, 泛酸 0.09 g, 叶酸 0.003 g, 氯化胆碱 2.623 g, 纤维素 0.64 g. b. 复合矿物质为每 kg 饲料提供: NaF, 1 mg; KI, 0.4 mg; CoCl₂·6H₂O, 25 mg; CuSO₄·5H₂O, 45 mg; FeSO₄, 40 mg; ZnSO₄, 25 mg; MnSO₄, 30 mg; MgSO₄·7H₂O, 600 mg; CaH₂PO₄, 1500 mg; NaCl, 50 mg; 沸石粉 7.72 g.

Note: a. Multivitamins per kg diet: carotene 0.033 g, vitamin D 0.017 g, tocopherol 0.127 g, vitamin B₁ 0.02 g, vitamin B₂ 0.063 g, vitamin B₆ 0.017 g, cobalt cyanide 0.033 mg, biotin 0.003 g, inositol 1.283 g, nicotinic acid 0.257 g, pantothenic acid 0.09 g, folic acid 0.003 g, choline chloride 2.623 g, cellulose 0.64 g. b. Compound minerals per kg diet: NaF, 1 mg; KI, 0.4 mg; CoCl₂·6H₂O, 25 mg; CuSO₄·5H₂O, 45 mg; FeSO₄, 40 mg; ZnSO₄, 25 mg; MnSO₄, 30 mg; MgSO₄·7H₂O, 600 mg; CaH₂PO₄, 1500 mg; NaCl, 50 mg; boiling powder 7.72 g.

肠重及测量肠长, 并取肌肉及肝脏置于-20 ℃保存用于化学分析。

1.3 样品分析

粗蛋白质用凯氏定氮仪(Kjeltec 2300, FOSS, 丹麦)测定; 水分采用 105 ℃恒温烘干失重法测定; 粗灰分采用马弗炉(Thermo F6000 型)高温(550 ℃)灼烧法测定; 粗脂肪采用索氏脂肪测定

仪(SOX416, Gerhard, 德国)测定; 氨基酸采用氨基酸自动分析仪(日立 L-8900 型)测定; 血清生化指标采用全自动生化分析仪(日立 7180 型)测定; 大黄鱼肝脏抗氧化指标均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒进行测定。

1.4 生长和生物学性状测定指标

各参数计算公式如下:

表 3 实验饲料的氨基酸组成
Tab. 3 Amino acid composition of the experimental diets
%干物质 dry matter

氨基酸 amino acid	饲料组 diet group					
	G0	G20	G40	G60	G80	G100
必需氨基酸 EAA						
苏氨酸 Thr	1.71	1.69	1.62	1.46	1.53	1.34
缬氨酸 Val	1.83	1.87	1.87	1.71	1.92	1.78
蛋氨酸 Met	1.01	0.77	0.89	0.75	0.77	0.54
异亮氨酸 Ile	1.60	1.70	1.67	1.49	1.80	1.74
亮氨酸 Leu	3.40	3.40	3.32	2.97	3.39	3.03
苯丙氨酸 Phe	1.87	1.90	1.94	1.69	2.02	1.85
组氨酸 His	0.83	0.85	0.85	0.74	0.85	0.79
赖氨酸 Lys	2.47	2.33	2.16	1.99	1.83	1.61
精氨酸 Arg	2.26	2.18	2.09	1.85	1.87	1.57
非必需氨基酸 NEAA						
天冬氨酸 Asp*	3.59	3.54	3.39	3.21	3.16	2.73
丝氨酸 Ser	2.02	2.01	1.90	1.69	1.96	1.78
谷氨酸 Glu*	7.17	7.59	7.96	5.73	8.80	8.54
甘氨酸 Gly*	2.27	2.17	2.06	1.84	1.88	1.68
丙氨酸 Ala*	2.39	2.40	2.40	2.40	2.55	2.40
半胱氨酸 Cys	0.40	0.44	0.46	0.37	0.51	0.40
酪氨酸 Tyr	1.54	1.50	1.60	1.50	1.81	1.70
脯氨酸 Pro	2.24	2.38	2.60	1.99	2.95	3.03
必需氨基酸总量 TEAA	16.98	16.69	16.41	14.65	15.98	14.25
非必需氨基酸总量 TNEAA	21.62	22.03	22.37	18.73	23.62	22.26
总氨基酸 TAA	38.60	38.71	38.78	32.38	39.60	36.51

注: *表示鲜味氨基酸。
Note: * denotes delicious amino acid (DAA).

存活率(survival rate, SR, %)=终末尾数/初始尾数×100;

增重率(weight gain rate, WGR, %)=(终末均重-初始均重)/初始均重×100;

特定生长率(specific growth rate, SGR, %/d)=(ln 终末均重-ln 初始均重)/养殖天数×100;

饲料效率(feed efficiency rate, FER)=(终末体重+死亡体重-初始体重)/投饲饲料总量;

蛋白质效率 (protein efficiency ratio, PER, %)=(终末体重+死亡体重-初始体重)/摄入蛋白质量×100;

肥满度(condition factor, CF, g/cm³)=体重/体

长³×100;

肝体比(hepatosomatic index, HSI, %)=肝脏重/体重×100;

脏体比(viscerosimativ index, VSI, %)=内脏重/体重×100。

1.5 数据统计分析

采用 SPSS17.0 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA), 差异显著时($P<0.05$)采用 Duncan 氏检验进行多重比较分析, 统计结果以平均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示。

2 结果与分析

2.1 脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼生长和存活率的影响

如表 4 所示, 随着替代水平的上升, 大黄鱼幼鱼的存活率下降, 其中 G100 组大黄鱼存活率(77.92%)显著低于其他组($P<0.05$), 其他实验组大黄鱼幼鱼的存活率无显著差异($P>0.05$)。增重率、特定生长率、饲料效率及蛋白质效率均随着替代水平的升高呈现先升高后下降的趋势, 其中以 G40 组为最高, 其增重率、特定生长率与蛋白质效率均显著高于其他实验组($P<0.05$); G100 组为最低, 显著低于对照组($P<0.05$)。各实验组大黄鱼幼鱼肠重与肠体比均无显著差异($P>0.05$), 肥满度以 G40 组为最高(3.95), 其次是 G60 组(3.24), 这两组之间无显著性差异($P>0.05$), 但均显著高于其他实验组($P<0.05$)。而 G100 组脏体比(8.20%)和肝体比(2.71%)均最高, 显著高于其他实验组($P<0.05$)。

2.2 脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉对大黄鱼体成分与肌肉氨基酸组成的影响

由表 5 可以看出, G20 组大黄鱼肌肉粗蛋白含量高于 G0 组, 但差异不显著($P>0.05$)。鱼粉替代水平达 40%及以上时鱼体粗蛋白含量显著降低($P<0.05$), G80 和 G100 组鱼体粗蛋白含量差异不显著($P>0.05$), 但显著低于其他实验组($P<0.05$)。肌肉粗脂肪和粗灰分含量则随着替代鱼粉水平的升高而上升, 其中替代水平达 60%及以上时鱼体粗脂肪和粗灰分含量显著升高($P<0.05$)。

表 4 脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼生长性能及生物学性状的影响
Tab. 4 Effects of fish meal (FM) replacement by defatted black soldier fly larvae meal (DBSFLM) on growth performance and biological parameters of juvenile *Larimichthys crocea*

n=3; $\bar{x} \pm SD$

项目 item	饲料组 diet group					
	G0	G20	G40	G60	G80	G100
初均体重/g IBM	52.40±3.26	52.08±3.31	49.87±3.45	47.30±3.11	56.53±3.77	52.56±3.73
末均体重/g FBM	58.95±3.68	60.93±4.71	60.34±2.95	52.77±3.98	62.21±4.57	57.34±5.51
存活率/% SR	84.17±9.43 ^a	85.00±2.36 ^a	88.33±8.25 ^a	83.50±13.55 ^a	82.50±10.61 ^a	77.92±7.66 ^b
增重率/% WGR	12.50±8.40 ^c	16.99±0.18 ^b	20.99±0.21 ^a	11.56±0.20 ^c	10.05±0.21 ^d	9.10±0.13 ^d
特定生长率/(%/d) SGR	0.24±0.05 ^b	0.32±0.15 ^a	0.39±0.10 ^a	0.22±0.05 ^{bc}	0.20±0.11 ^c	0.18±0.07 ^d
饲料效率 FER	0.29±0.03 ^a	0.28±0.02 ^a	0.29±0.03 ^a	0.25±0.01 ^b	0.24±0.02 ^b	0.17±0.04 ^c
蛋白质效率/% PER	111.14±5.25 ^b	118.02±10.74 ^b	141.74±7.60 ^a	105.68±2.32 ^c	103.36±6.59 ^c	90.19±5.45 ^d
肠重/g IW	0.62±0.11	0.62±0.05	0.66±0.06	0.59±0.02	0.64±0.04	0.62±0.09
肠体比/% ISI	0.53±0.08	0.56±0.08	0.65±0.02	0.65±0.05	0.58±0.03	0.64±0.02
肥满度/(g/cm ³) CF	1.67±0.03 ^b	1.63±0.08 ^b	3.95±4.01 ^a	3.24±2.74 ^a	1.62±0.05 ^b	1.61±0.01 ^b
脏体比/% VSI	7.48±0.17 ^d	7.52±0.43 ^d	7.74±0.26 ^c	7.21±0.82 ^d	8.03±0.31 ^b	8.20±0.56 ^a
肝体比/% HSI	1.76±0.22 ^c	1.79±0.2 ^c	2.08±0.12 ^b	1.71±0.1 ^d	1.91±0.22 ^b	2.71±0.76 ^a

注: G0, G20, G40, G60, G80 和 G100 分别表示用黑水虻脱脂虫粉分别替代饲料中 0%、20%、40%、60%、80%和 100%的鱼粉蛋白。同一行数据右上角字母相同表示差异不显著($P>0.05$), 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。
Note: G0, G20, G40, G60, G80, and G100 denote replacing 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% of FM protein with DBSFLM, respectively. The same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while different letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$).

表 5 脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼体成分的影响
Tab. 5 Effects of of fish meal (FM) replacement by defatted black soldier fly larvae meal (DBSFLM) on body composition of juvenile *Larimichthys crocea*

n=3; $\bar{x} \pm SD$; %

项目 item	饲料组 diet group					
	G0	G20	G40	G60	G80	G100
水分 moisture	70.24±0.52	69.70±0.85	70.15±0.47	70.58±0.62	71.04±0.41	71.09±0.37
粗蛋白 crude protein	18.64±0.11 ^a	19.22±0.17 ^a	17.99±0.15 ^b	16.29±0.12 ^c	14.45±0.14 ^d	13.34±0.12 ^d
粗脂肪 crude fat	7.61±0.12 ^d	8.23±0.14 ^c	8.17±0.17 ^c	8.67±0.15 ^b	8.80±0.18 ^{ab}	9.11±0.14 ^a
粗灰分 crude ash	1.86±0.02 ^d	1.99±0.04 ^c	1.97±0.02 ^c	2.16±0.01 ^b	2.25±0.03 ^b	2.49±0.02 ^a

注: G0, G20, G40, G60, G80 和 G100 分别表示用黑水虻脱脂虫粉分别替代饲料中 0%、20%、40%、60%、80%和 100%的鱼粉蛋白。同一行数据右上角字母相同表示差异不显著($P>0.05$), 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。
Note: G0, G20, G40, G60, G80, and G100 denote replacing 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% of FM protein with DBSFLM, respectively. The same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while different letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$).

从表 6 可知, G20 组大黄鱼幼鱼肌肉中必需氨基酸总量(TEAA)、非必需氨基酸总量(TNEAA)及氨基酸总量(TAA)均最高, 必需氨基酸(EAA)中除了 Arg 外均高于其他组, 非必需氨基酸中 Asp、Ser、Glu 与 Cys 均显著高于其他组($P<0.05$)。随着脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉水平的上升, 肌肉中 TEEA 呈现下降趋势, 且显著低于对照组(G0 组) ($P<0.05$), 其中 Met 和 His 与对照组相比下降较为明显。

2.3 脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼血清生化指标的影响

由表 7 可见, 各组实验鱼血清中白球比(A/G)无显著差异($P>0.05$), 随着饲料中脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉水平的上升, 血清中 TP 含量出现先升高后降低再升高趋势, 且在 G20 组达到最大值。球蛋白(GLOB)在 G0、G20 和 G40 组之间差异不显著($P>0.05$), 当替代水平超过 60%时则显著降低($P<0.05$)。ALT 和 AST 活性则随着替代鱼

表 6 各实验组大黄鱼幼鱼肌肉氨基酸组成
Tab. 6 Amino acid composition of juvenile *Larimichthys crocea* fed different experimental diets
 $n=3$; $\bar{x} \pm \text{SD}$; %干物质 dry matter

项目 item	饲料组 diet group					
	G0	G20	G40	G60	G80	G100
必需氨基酸 EAA						
苏氨酸 Thr	2.90±0.01 ^b	3.05±0.01 ^a	2.82±0.01 ^c	2.92±0.02 ^b	2.65±0.05 ^e	2.74±0.00 ^d
缬氨酸 Val	2.98±0.03 ^b	3.09±0.03 ^a	2.88±0.02 ^c	2.97±0.04 ^b	2.66±0.05 ^e	2.79±0.03 ^d
蛋氨酸 Met	1.80±0.04 ^a	1.87±0.01 ^a	1.76±0.04 ^b	1.62±0.06 ^c	1.35±0.01 ^d	0.83±0.04 ^e
异亮氨酸 Ile	2.60±0.03 ^b	2.81±0.02 ^a	2.64±0.03 ^b	2.69±0.05 ^b	2.39±0.02 ^d	2.53±0.06 ^c
亮氨酸 Leu	4.93±0.03 ^c	5.21±0.04 ^a	4.89±0.05 ^c	5.06±0.04 ^b	4.56±0.03 ^c	4.73±0.09 ^d
苯丙氨酸 Phe	2.65±0.02 ^b	2.74±0.03 ^a	2.50±0.05 ^c	2.60±0.03 ^{ab}	2.37±0.02 ^e	2.51±0.05 ^d
组氨酸 His	1.31±0.01 ^b	1.37±0.02 ^a	1.28±0.01 ^c	1.30±0.02 ^{bc}	1.18±0.02 ^e	1.22±0.01 ^d
赖氨酸 Lys	5.90±0.09 ^b	6.24±0.07 ^a	5.77±0.10 ^b	5.90±0.12 ^b	5.27±0.04 ^d	5.47±0.05 ^c
精氨酸 Arg	4.00±0.13 ^a	3.99±0.08 ^a	3.73±0.07 ^b	4.00±0.07 ^a	3.62±0.08 ^b	3.62±0.06 ^b
非必需氨基酸 NEAA						
天冬氨酸 Asp [*]	6.54±0.02 ^b	6.84±0.05 ^a	6.32±0.04 ^c	6.59±0.01 ^b	5.87±0.12 ^e	6.18±0.01 ^d
丝氨酸 Ser	2.82±0.02 ^c	2.93±0.03 ^a	2.70±0.02 ^d	2.86±0.02 ^b	2.59±0.04 ^f	2.64±0.01 ^e
谷氨酸 Glu [*]	10.00±0.05 ^c	10.50±0.07 ^a	9.84±0.14 ^d	10.30±0.13 ^b	9.57±0.07 ^e	9.58±0.06 ^e
甘氨酸 Gly [*]	3.52±0.03 ^c	3.31±0.01 ^d	3.06±0.01 ^c	3.74±0.01 ^a	3.67±0.03 ^b	3.28±0.01 ^d
丙氨酸 Ala [*]	4.00±0.11 ^a	3.98±0.07 ^a	3.70±0.07 ^b	4.03±0.01 ^a	3.79±0.06 ^b	3.78±0.09 ^b
半胱氨酸 Cys	0.59±0.03 ^b	0.75±0.03 ^a	0.41±0.05 ^d	0.40±0.03 ^d	0.62±0.02 ^b	0.51±0.02 ^c
酪氨酸 Tyr	2.17±0.02 ^a	2.29±0.08 ^a	2.20±0.08 ^a	2.28±0.09 ^a	1.99±0.04 ^b	2.14±0.14 ^a
脯氨酸 Pro	2.24±0.09 ^b	2.27±0.05 ^b	2.25±0.06 ^b	2.20±0.06 ^b	2.63±0.17 ^a	2.15±0.02 ^b
必需氨基酸总量 TEAA	29.14±0.22 ^b	29.85±0.21 ^a	28.27±0.08 ^c	29.31±0.08 ^b	25.53±0.22 ^e	27.23±0.26 ^d
非必需氨基酸总量 TNEAA	31.88±0.11 ^c	32.87±0.15 ^a	30.48±0.09 ^e	32.40±0.10 ^b	30.73±0.08 ^d	30.26±0.16 ^f
鲜味氨基酸总量 TDAA	24.06±0.09 ^b	24.63±0.08 ^a	22.92±0.10 ^c	24.66±0.10 ^a	22.90±0.06 ^c	22.82±0.02 ^c
总氨基酸 TAA	61.12±0.30 ^c	62.72±0.33 ^a	58.75±0.03 ^d	61.71±0.05 ^b	56.26±0.16 ^f	57.49±0.41 ^e

注: G0, G20, G40, G60, G80 和 G100 分别表示用黑水虻脱脂虫粉分别替代饲料中 0%、20%、40%、60%、80%和 100%的鱼粉蛋白。
*表示鲜味氨基酸。同一行数据右上角字母相同表示差异不显著($P>0.05$), 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。
Note: G0, G20, G40, G60, G80, and G100 denote replacing 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% of FM protein with DBSFLM, respectively.
* denotes delicious amino acid (DAA). The same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while different letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$).

粉水平的升高而逐渐上升, G20 与 G40 组差异不显著($P>0.05$), 但显著低于其他替代组($P<0.05$)。ALP 最高值出现在 G80 组, 且显著高于 G0 组($P<0.05$), 除 G80 组外, 随着鱼粉替代水平的提高, ALP 活性总体呈现下降趋势。各实验组实验鱼血清 GLU 水平均显著高于对照组($P<0.05$), 其中以 G60 组为最高, 总体呈现上升趋势。G40 组大黄鱼血清 TG 和 CHOL 水平均显著高于 G0 组, 但替代水平超过 40%时, TG 水平和 CHOL 水平显著下降($P<0.05$)。G20 实验鱼血清中 HDL 水平与 G0

组没有显著差异($P>0.05$), 但替代水平上升到 40%以上时 HDL 水平均显著降低。G20 与 G0 组实验鱼血清 LDL 水平相近, 替代水平达 40%时略有下降但不显著($P>0.05$), 替代水平达 60%以上时则 LDL 水平显著降低($P<0.05$), G80 与 G100 组 LDL 水平均降低到对照组的 50%以下。

2.4 脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼肝脏抗氧化能力的影响

从表 8 可以看出, 饲料中脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉可以显著提高大黄鱼肝脏总抗氧化能力

表 7 脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼血清生化指标的影响
Tab. 7 Effects of fish meal (FM) replacement by defatted black soldier fly larvae meal (DBSFLM) on serum chemical parameters of juvenile *Larimichthys crocea*

n=3; $\bar{x} \pm SD$

指标 index	饲料组 diet group					
	G0	G20	G40	G60	G80	G100
总蛋白/(g/L) TP	20.65±0.35 ^b	21.10±0.14 ^a	21.00±0.14 ^{ab}	17.45±0.07 ^d	17.50±0.00 ^d	19.20±0.00 ^c
白蛋白/(g/L) ALB	2.20±0.14 ^a	2.50±0.00 ^a	2.35±0.07 ^a	1.90±0.00 ^b	1.95±0.07 ^b	2.30±0.00 ^a
球蛋白/(g/L) GLOB	18.45±0.49 ^a	18.60±0.14 ^a	18.65±0.21 ^a	15.55±0.07 ^c	15.55±0.07 ^c	16.90±0.00 ^b
白球比 A/G	0.12±0.01	0.13±0.01	0.13±0.02	0.12±0.04	0.13±0.03	0.14±0.01
谷丙转氨酶/(U/L) ALT	6.50±0.71 ^d	9.00±0.00 ^c	9.50±0.71 ^c	13.50±0.71 ^b	14.00±0 ^b	16.50±2.12 ^a
谷草转氨酶/(U/L) AST	30.50±0.71 ^c	65.00±0.71 ^d	70.50±0.71 ^d	79.50±0.71 ^c	84.50±0.71 ^b	98.50±0.71 ^a
碱性磷酸酶/(U/L) ALP	13.00±0.00 ^b	12.50±0.71 ^b	9.00±0.00 ^c	9.00±0.00 ^c	14.50±0.71 ^a	8.00±0.00 ^c
葡萄糖/(mmol/L) GLU	5.65±0.07 ^d	7.80±0.14 ^c	8.30±0.00 ^b	10.60±0.00 ^a	8.35±0.07 ^b	10.00±0.14 ^a
甘油三酯/(mmol/L) TG	1.88±0.00 ^b	2.24±0.03 ^b	4.21±0.01 ^a	1.32±0.01 ^c	1.26±0.03 ^d	1.24±0.01 ^d
胆固醇/(mmol/L) CHOL	2.42±0.02 ^b	2.70±0.08 ^a	2.63±0.04 ^a	1.62±0.01 ^c	1.42±0.02 ^d	1.50±0.02 ^d
高密度脂蛋白/(mmol/L) HDL	0.28±0.01 ^a	0.28±0.00 ^a	0.15±0.00 ^c	0.16±0.00 ^c	0.17±0.01 ^b	0.13±0.00 ^d
低密度脂蛋白/(mmol/L) LDL	0.57±0.10 ^a	0.58±0.06 ^a	0.50±0.06 ^a	0.34±0.04 ^b	0.22±0.01 ^c	0.27±0.01 ^c

注: G0, G20, G40, G60, G80 和 G100 分别表示用黑水虻脱脂虫粉分别替代饲料中 0%、20%、40%、60%、80%和 100%的鱼粉蛋白。同一行数据右上角字母相同表示差异不显著($P>0.05$), 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。
Note: G0, G20, G40, G60, G80, and G100 denote replacing 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% of FM protein with DBSFLM, respectively. The same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while different letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$).

表 8 脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼肝脏抗氧化能力的影响
Tab. 8 Effects of fish meal (FM) replacement by defatted black soldier fly larvae meal (DBSFLM) on liver antioxidant enzyme activity of juvenile *Larimichthys crocea*

n=3; $\bar{x} \pm SD$

指标 index	饲料组 diet group					
	G0	G20	G40	G60	G80	G100
总抗氧化能力/[U/mg(prot)] T-AOC	0.05±0.03 ^c	1.69 ±0.49 ^a	1.41±0.63 ^c	0.76±0.12 ^d	1.60±0.40 ^b	0.94±0.14 ^d
超氧化物歧化酶/[U/mg(prot)] SOD	196.90±13.86 ^{ab}	206.02±9.60 ^a	213.3±11.76 ^a	204.83±16.93 ^a	181.8±19.09 ^{ab}	172.90±19.29 ^b
过氧化氢酶/[U/mg(prot)] CAT	62.72±2.10 ^a	58.16±3.99 ^a	41.10±3.26 ^b	39.46±2.85 ^b	28.58±1.39 ^{bc}	17.00±6.53 ^c
丙二醛/[nmol/mg(prot)] MDA	4.34±1.38 ^d	3.15±1.91 ^c	2.94±1.29 ^c	5.38±1.71 ^c	6.46±1.58 ^b	8.99±1.26 ^a

注: G0, G20, G40, G60, G80 和 G100 分别表示用黑水虻脱脂虫粉分别替代饲料中 0%、20%、40%、60%、80%和 100%的鱼粉蛋白。同一行数据右上角字母相同表示差异不显著($P>0.05$), 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。
Note: G0, G20, G40, G60, G80, and G100 denote replacing 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% of FM protein with DBSFLM, respectively. The same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while different letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$).

(T-AOC), 其中以 G20 组为最高, 显著高于其他替代组($P<0.05$), G0 组最低, 只有 G20 组的 3%左右。SOD 活性随替代比例的提高, 在 G40 组达到最大值。CAT 活性则随着替代鱼粉比例的升高而下降, G20 组与 G0 组之间差异不显著($P>0.05$), 但是当替代比例达到 40%及以上时, CAT 活性则显著下降($P<0.05$)。MDA 含量随着替代比例的升高, 呈现先下降后上升趋势, G40 组 MDA 含量显著低于对照组($P<0.05$), 之后上升且在 G100 组达最高值。

3 讨论

3.1 脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼生长和存活率的影响

本实验结果表明, 脱脂黑水虻虫粉替代饲料中 80% 鱼粉并不影响大黄鱼的存活率, 但完全替代则会显著降低存活率, 而且过高替代水平 (>40%) 对其生长产生负面影响。鱼类的生长受到遗传、环境、病害及饲料营养等多方面因素的影响, 本实验在遗传背景与实验条件一致的情况下, 大黄鱼生长主要受饲料营养的影响, 通过测定黑水虻脱脂虫粉的营养成分得知, 其中的某些必需氨基酸(如赖氨酸、蛋氨酸和精氨酸)含量相比鱼粉均较低, 随着鱼粉替代水平的上升, 饲料中这些必需氨基酸含量呈现下降趋势(表 3)。因此, 当替代水平超过 40% 时, 饲料中这些必需氨基酸不能满足大黄鱼的生长需要而导致生长缓慢^[19]。本实验总体来看大黄鱼生长速度偏慢且饲料效率较低, 其原因可能是实验鱼个体偏大, 且在室内水泥池饲养过程中发生过白点病, 对其生长可能会造成一定滞后影响。

海水鱼类的必需脂肪酸为高度不饱和脂肪酸(HUFA), 而黑水虻虫粉中含有的不饱和脂肪酸主要是 18:1n-9、18:2n-6 和少量 18:3n-3, 20C 及以上不饱和脂肪酸含量极微^[20]。本研究使用的黑水虻虫粉虽然通过脱脂, 但粗脂肪含量仍达 11.37%, 实验饲料中 HUFA 含量随着脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉水平的上升而下降, 这也有可能造成饲料中必需脂肪酸含量不足而影响大黄鱼的生长。同时饲料中的粗灰分含量随着脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉比例升高而增加, 这可能也会降低饲料的适口性, 且饲料中可消化利用营养物质也随着减少, 从而导致大黄鱼生长性能及饲料利用率下降^[21]。

3.2 脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼体成分的影响

本实验中饲料中黑水虻虫粉替代鱼粉水平超过 40% 时, 大黄鱼幼鱼肌肉中粗蛋白含量比对照组有显著降低($P < 0.05$)。这与其他一些鱼粉替代蛋白的研究结果相类似^[22-24], 这可能是随着黑水虻虫粉替代鱼粉水平的上升, 饲料中某些必需氨基

酸(赖氨酸、蛋氨酸和精氨酸)不足而引起氨基酸比例不均衡, 进而影响大黄鱼体蛋白的合成与沉积。相反, 大黄鱼体脂肪含量却呈现升高趋势, 这与胡俊茹等^[25]对鲈(*Lateolabrax japonicas*)的研究结果相一致, 而 Kroeckel 等^[9]对大菱鲆研究则发现鱼体粗脂肪含量随着饲料中黑水虻幼虫粉替代鱼粉水平上升显著下降。出现以上不同研究结果的原因可能与实验条件、鱼种、替代蛋白来源及饲料营养组成不同有关。本实验大黄鱼肌肉粗灰分含量随着黑水虻虫粉替代鱼粉水平的升高显著升高, 这可能是黑水虻虫粉中钙含量较高(占干物质 7.56%, 约为鱼粉的 2 倍)所致^[22]。

Hu 等^[26]研究发现黑水虻幼虫粉替代饲料中 25% 鱼粉时能显著降低黄颡鱼肌肉中的蛋氨酸和苯丙氨酸含量。虹鳟饲料中用黑水虻虫粉替代鱼粉会影响饲料的氨基酸组成, 导致虹鳟肌肉中赖氨酸、精氨酸和蛋氨酸含量出现显著差异^[27]。本实验结果也表明脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉在一定程度上影响大黄鱼幼鱼肌肉的氨基酸组成, 随着脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉水平的提高, 大黄鱼肌肉 TEAA 显著下降($P < 0.05$), 其中蛋氨酸和赖氨酸与对照组相比下降较显著, 可能与黑水虻虫粉中这 2 种氨基酸含量较低相关。TAA 和 TDAA 在一定程度上反映肌肉品质, 本实验 G20 组大黄鱼幼鱼肌肉中 TAA 和 TDAA 均最高, 显著高于其他实验组($P > 0.05$), 说明适宜水平脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉可以改善饲料氨基酸组成及平衡进而对大黄鱼幼鱼肌肉品质风味产生有利影响。

3.3 脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼血清生化指标的影响

本研究 G20 和 G40 组大黄鱼幼鱼血清 ALT 与 AST 活性相对 G0 组有所升高, 但仍处于较低水平, 黑水虻虫粉替代饲料中 60% 及以上鱼粉时大黄鱼幼鱼血清 ALT 与 AST 活性升高幅度较大, 预示较高水平的替代可能对肝脏产生一定应激作用。王淑雯等^[28]研究也发现蚕蛹完全替代饲料中的鱼粉时, 吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)血清 ALT 与 AST 活性急剧上升。白蛋白和球蛋白在体内主要是维持细胞营养和血液渗透压平衡, 能间接反映出肝脏中蛋白合成状况^[29], 本实验中

随着替代比例的升高,总蛋白与白蛋白水平呈现先升高后降低的趋势,在 G20 组达最大值,说明脱脂黑水虻虫粉适量替代鱼粉可能会提高大黄鱼肝脏的蛋白合成能力。但是 Li 等^[11]研究发现建鲤血浆白蛋白和球蛋白含量不受黑水虻预蛹替代水平的影响,这可能与鱼种、替代蛋白源的来源及养殖环境条件不同有关。本实验中 G20 组大黄鱼幼鱼血清中 HDL 水平与 G0 组相比差异不显著($P>0.05$),随着脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉蛋白水平的升高,大黄鱼幼鱼血清中总胆固醇(CHOL)及 HDL 水平显著降低($P<0.05$),这与黑水虻虫粉替代鱼粉能降低欧洲鲈(*Dicentrarchus labrax*)血浆胆固醇水平的研究结果相一致^[8],可能是由于黑水虻幼虫胆固醇含量低于鱼粉,高比例的替代导致饲料中胆固醇含量降低而引起大黄鱼幼鱼血清胆固醇水平降低^[28-30]。

3.4 脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼肝脏抗氧化能力的影响

本实验 G20 组与 G40 组大黄鱼幼鱼肝脏 T-AOC 水平和 SOD 活性与对照组(G0 组)相比呈现上升趋势,但是当鱼粉替代水平超过 40%时,抗氧化酶活性逐渐下降,鱼粉替代水平超过 60%时肝脏 MDA 含量显著上升($P<0.05$)。明建华等^[31]对青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)的研究发现,饲料中添加 2.5%蝇蛆粉可以显著提高青鱼血清和肝脏中 SOD 和 CAT 活性,降低 MDA 含量。文远红等^[32]也利用蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼进行实验,结果表明当蝇蛆粉替代鱼粉超过 20%时,黄颡鱼血浆 MDA 含量出现下降, SOD 活性显著上升,认为是蝇蛆粉中的抗菌肽及免疫活性物质发挥了作用。李森林^[33]对鲤研究发现,随着饲料中脱脂黑水虻粉替代鱼粉水平的升高,鲤血清中 MDA 含量升高。本研究也得到了类似的结果,这可能因黑水虻幼虫体内含有抗菌肽、壳聚糖、虫蛋白等一些生物活性物质,适当水平的添加可以提高鱼体的抗氧化能力,但过高水平的替代会造成负面影响^[34-35]。

本实验研究结果表明,在本实验条件下,脱脂黑水虻虫粉替代饲料中的 40%鱼粉蛋白对大黄鱼幼鱼的生长性能、体成分及健康状况无负面影响。

参考文献:

- [1] 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 of Fisheries of China, 2005, 29(3): 404-410. [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.]
- [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] Dai W W, Mai K S, Xu W, et al. Effects of replacing fish meal with plant-based protein on growth, physiological and biological indices, and intestinal histology in tongue sole, *Cynoglossus semilaevis* Güntuer[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(1): 125-137. [代伟伟, 麦康森, 徐玮, 等. 复合植物蛋白源替代鱼粉对半滑舌鳎生长、生理生化指标和肠组织结构的影响[J]. 中国水产科学, 2016, 23(1): 125-137.]
- [4] Barroso F G, de Haro C, Sánchez-Muros M J, et al. The potential of various insect species for use as food for fish[J]. Aquaculture, 2014, 422-423: 193-201.
- [5] 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.
- [6] Huyben D, Vidaković A, Werner Hallgren S, et al. High-throughput sequencing of gut microbiota in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed larval and pre-pupae stages of black soldier fly (*Hermetia illucens*)[J]. Aquaculture, 2019, 500: 485-491.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Xiao X P, Jin P, Zheng L Y, et al. Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal protein as a fishmeal replacement on the growth and immune index of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)[J]. Aquaculture Research, 2018,

- 49(4): 1569-1577.
- [11] 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.
- [12] 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*, 2018, 24(1): 416-423.
- [13] Ai Q H, Mai K S, Tan B P, et al. Replacement of fish meal by meat and bone meal in diets for large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea*[J]. *Aquaculture*, 2006, 260(1-4): 255-263.
- [14] Li J, Zhang L, Mai K S, et al. Potential of several protein sources as fish meal substitutes in diets for large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2010, 41: 278-283.
- [15] Wu Z, Chen N S, Hua X M, et al. Effects of replacement of dietary fish meal by four kinds of soybean meal on growth, antioxidant and antibacterial ability of *Pseudosciaena crocea* R[J]. *Marine Fisheries*, 2016, 38(5): 495-506. [吴钊, 陈乃松, 华雪铭, 等. 4 种豆粕替代鱼粉对大黄鱼生长、抗氧化及抗菌能力的影响[J]. *海洋渔业*, 2016, 38(5): 495-506.]
- [16] Feng J, Wang P, He J J, et al. Effect of replacing fish meal with soybean protein concentrate on growth, body composition, serum biochemical indices, and liver histology of juvenile large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(2): 268-277. [冯建, 王萍, 何娇娇, 等. 大豆浓缩蛋白替代鱼粉对大黄鱼幼鱼生长、体成分、血清生化指标及肝组织学的影响[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(2): 268-277.]
- [17] Wang P, Lou Y D, Feng J, et al. Effect of replacing fish meal with wheat gluten meal on growth, serum biochemical indexes and antioxidant enzyme activity of juvenile large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(5): 733-743. [王萍, 娄宇栋, 冯建, 等. 小麦蛋白粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼生长、血清生化指标及抗氧化能力的影响[J]. *水产学报*, 2018, 42(5): 733-743.]
- [18] He J J, Wang P, Feng J, et al. Effects of fermented soybean meal on the growth and intestinal histology and microbiota of juvenile large yellow croaker *Larimichthys crocea*[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, 42(5): 919-928. [何娇娇, 王萍, 冯建, 等. 发酵豆粕对大黄鱼生长、肠道结构及肠道微生物菌群的研究[J]. *水生生物学报*, 2018, 42(5): 919-928.]
- [19] Makkar H P S, Tran G, Heuzé V, et al. State-of-the-art on use of insects as animal feed[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2014, 197: 1-33.
- [20] Li S L, Ji H, Zhang B X, et al. Influence of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil on growth performance, body composition, tissue fatty acid composition and lipid deposition in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *jian*)[J]. *Aquaculture*, 2016, 465: 43-52.
- [21] 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. [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.]
- [22] Fournier V, Huelvan C, Desbruyeres E. Incorporation of a mixture of plant feedstuffs as substitute for fish meal in diets of juvenile turbot (*Psetta maxima*)[J]. *Aquaculture*, 2004, 236(1): 451-465.
- [23] García-Ortega A, Kissinger K R, Trushenski J T. Evaluation of fish meal and fish oil replacement by soybean protein and algal meal from *Schizochytrium limacinum* in diets for giant grouper *Epinephelus lanceolatus*[J]. *Aquaculture*, 2016, 452: 1-8.
- [24] Helland S J, Grisdale-Helland B. Replacement of fish meal with wheat gluten in diets for Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*): Effect on whole-body amino acid concentrations[J]. *Aquaculture*, 2006, 261(4): 1363-1370.
- [25] 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. [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.]
- [26] 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.
- [27] 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 & Biotechnology*, 2017, 8(4): 957-969.

- [28] Wang S W, Huang X Z, Luo L, et al. Effects of replacement of fish meal with silkworm pupae on growth performance, body composition and serum biochemical indices of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(9): 2774-2783. [王淑雯, 黄先智, 罗莉, 等. 蚕蛹替代鱼粉对吉富罗非鱼生长性能、体成分及血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(9): 2774-2783.]
- [29] Kong C, Hua X M, Yang L, et al. Nutritional physiological effects of soybean meal substituting for fish meal in the feed of obscure puffer (*Takifugu fasciatus*) and its relationship with soybean antigenic proteins[J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(5): 734-745. [孔纯, 华雪铭, 杨璐, 等. 暗纹东方鲀饲料中豆粕替代鱼粉的营养生理效应及其与大豆抗原蛋白的相关性[J]. 水产学报, 2017, 41(5): 734-745.]
- [30] 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.
- [31] Ming J H, Ye J Y, Zhang Y X, et al. The influence of maggot meal and L-carnitine on growth, immunity, antioxidant indices and disease resistance of black carp (*Mylopharyngodon piceus*)[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oil Association, 2013, 28(2): 80-86. [明建华, 叶金云, 张易祥, 等. 蝇蛆粉和 L-肉碱对青鱼生长、免疫与抗氧化指标及抗病力的影响[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(2): 80-86.]
- [32] 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 falvidraco*[J]. Feed Industry, 2015, 36(4): 29-35. [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.]
- [33] Li S L. Black soldier fly larvae oil and defatted black soldier fly larvae meal as the feed lipid and protein sources, respectively, in Jian carp, *Cyprinus carpio* var. *jian*[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2017. [李森林. 黑水虻幼虫在鲤鱼饲料中的应用研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.]
- [34] 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 cap *Cyprinus carpio*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2017, 32(4): 422-427. [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.]
- [35] Xu Y T, Zhang J X, Song Z Z, et al. Preparation and *in-vitro* antioxidant activity of proteins from the larvae of black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae)[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2014, 28(11): 2001-2009. [许彦腾, 张建新, 宋真真, 等. 黑水虻幼虫蛋白质的制备及体外抗氧化活性[J]. 核农学报, 2014, 28(11): 2001-2009.]

Effect of substitution of fish meal with defatted black soldier fly larvae meal on growth, body composition, serum biochemical parameters, and antioxidant capacity of juvenile large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)

HAN Xingxing¹, YE Kun¹, WANG Zhiyong¹, CHEN Fenglin², CHAI Zhiqiang², ZHAN Wei³, WANG Qiurong¹

1. Key Laboratory of Healthy Mariculture for the East China Sea, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China;
2. Guangzhou Qiaochu Insect Breeding Center, Guangzhou 510000, China;
3. Marine Fishery Institute of Zhejiang Province, Zhoushan 316000, China

Abstract: This study was conducted to evaluate the effects of replacement of fish meal (FM) by defatted black soldier fly larvae meal (DBSFLM) on growth, body composition, serum biochemical parameters, and antioxidant capacity of juvenile large yellow croakers (*Larimichthys crocea*). Six isonitrogenous (45% crude protein) and isolipidic (10% crude lipid) diets were formulated by replacing 0, 20%, 40%, 60%, 80%, and 100% of FM protein with DBSFLM (named as G0, G20, G40, G60, G80, and G100, respectively). A total of 2160 juvenile large yellow croakers with an initial body weight of (50.08±3.31) g were randomly divided into six groups with three replicates, and 120 individuals for each replicate. Fish were reared in an indoor cement tank (2 m×1 m×1 m) and were hand-fed each diet to apparent satiation twice daily for 7 weeks. The results showed that survival rate of G100 was significantly lower than the other experimental groups ($P<0.05$). Weight gain rates, specific growth rate, and protein efficiency ratio in the G40 group were all significantly higher than those in the other groups ($P<0.05$). The muscle crude protein content decreased as the DBSFLM replacement level was increased, particularly when the replacement level exceeded 40% ($P<0.05$). Crude lipid and crude ash content significantly increased when replacement level reached over 60% ($P<0.05$). The activity of serum ALT and AST significantly increased, and serum TG and cholesterol levels significantly decreased with the increase of the replacement level ($P<0.05$). Total antioxidant capacity (T-AOC) of fish liver in the G20 group and superoxide dismutase activity (SOD) in the G40 group were the highest among all groups. The lowest liver malondialdehyde (MDA) content was found in the G40 group. The catalase (CAT) activity decreased and was significantly lower when replacement level exceeded 40% ($P<0.05$). In conclusion, up to 40% of DBSFLM may successfully replace FM in diets for juvenile large yellow croakers, without adverse effects on growth performance, body composition, and health status.

Key words: *Larimichthys crocea*; defatted black soldier fly larvae meal; growth; body composition; serum biochemical parameters; antioxidant activity

Corresponding author: WANG Qiurong. E-mail: wqiurong@126.com