

黑水虻油替代豆油对淇河鲫生长性能、血清生化指标和肠道消化酶活力的影响

贾申宗,林梦君,卢荣华,陈廷娜,余维鹏,张玉茹,聂国兴

(河南师范大学 水产学院,河南 新乡 453007)

摘要:为研究黑水虻油替代豆油在淇河鲫生产实践中的效果,以黑水虻油替代淇河鲫基础饲料中不同质量分数的豆油,配制成5种等氮等脂饲料,饲喂初始体质量为 (18.40 ± 2.31) g的淇河鲫,56 d后检测其对淇河鲫生长性能、常规组分、血清生化指标、抗氧化能力和肠道消化酶活力的变化。结果显示,各组之间淇河鲫末质量(FBW)、增重率(WGR)、存活率(SR)、肝体比(HSI)和肥满度(CF)变化均不显著。各试验组血清中谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)和甘油三酯(TG)水平与SO组相比均无显著性变化,但BSFO100组的LDL水平显著高于SO组。与SO组相比,各处理组的血清超氧化物歧化酶(SOD)活力无显著变化,BSFO75和BSFO100组的过氧化氢酶(CAT)活力显著增加,丙二醛(MDA)含量显著降低,各处理组的脂肪酶活力无显著变化,各处理组的淀粉酶活力和BSFO25、BSFO50、BSFO75组胰蛋白酶活力均显著高于SO组。研究表明,在本试验条件下,黑水虻油替代饲料中100%的豆油不会影响淇河鲫的生长,且可以提高淇河鲫抗氧化能力及消化酶活力,在BSFO100组的淇河鲫血清中LDL水平显著升高,因此建议在淇河鲫饲料(脂肪质量分数为9.5%)中黑水虻油替代75%的大豆油为宜。

关键词:淇河鲫;黑水虻油;生长性能;血清生化指标;消化酶

中图分类号:S917

文献标志码:A

大豆油是水产商品饲料中常用的优质脂肪源^[1]。随着水产养殖业的高速发展,大豆(油)的消耗量和价格也日益上涨,很难满足行业需求。因此寻找新的、价廉质优的脂肪源已成为水产饲料行业的研究热点。昆虫具有生长速度快、养殖成本低和资源可再生等特点,被认为是水产饲料行业潜在的脂肪源^[2]。黑水虻(*Hermetia illucens* L.)主要分布于在我国南方地区,因其可将腐烂有机质转化为高价值蛋白质的特点受到广泛关注^[3]。据报道,黑水虻幼虫粗脂肪的质量分数约为32%,富含中链脂肪酸月桂酸,与椰子油、豆油等植物油脂肪酸组成类似^[4]。研究发现,在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)日粮中添加质量分数为10%的黑水虻油,有利于提高饲料利用率^[5]。而且黑水虻油替代豆油不会对建鲤(*Cyprinus carpio* var. Jian)的生长性能产生负面影响,还可以降低脂肪沉积,提高肌肉中n-3多不饱和脂肪酸含量^[6]。还有研究发现,黑水虻油完全替代豆油对草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)生长性能没有不利影响,同时提高了草鱼抗氧化能力和肠道菌群的丰富度和多样性^[7]。

淇河鲫(Qihe crucian carp, *Carassius auratus*)是河南省独有的珍贵经济鱼种^[8],具有生长速度快、产肉率高、口感鲜美和营养价值高等诸多优点,养殖前景广阔。目前尚未见黑水虻油应用于淇河鲫饲料中的研究报告。本试验旨在研究黑水虻油对淇河鲫生长性能、饲料利用效率、血清生化指标和肠道消化酶活力的影响,评估淇河鲫饲料中添加黑水虻油的效果,从而确定黑水虻油的最佳替代水平,为淇河鲫饲料优质脂肪源的开发应用提供理论数据。

收稿日期:2020-05-05;修回日期:2021-01-15.

基金项目:国家自然科学基金(31402311;U1704109);河南省重点科技攻关项目(182102410031).

作者简介:贾申宗(1996-),男,河南孟州人,河南师范大学硕士研究生,研究方向为鱼类营养学,E-mail:jsz2021@163.com.

通信作者:聂国兴,E-mail:niegx@htu.cn.

1 材料与方法

1.1 试验饲料及原料组成

5 种试验饲料的原料配比及常规营养水平如表 1 所示.黑水虻幼虫购于广州无两生物科技有限公司,黑水虻油采用超临界二氧化碳萃取法获得.黑水虻油替代豆油的比例为 0(SO),25%(BSFO25),50%(BSFO50),75%(BSFO75)和 100%(BSFO100)五个水平,配制 5 种等氮等脂的试验饲料(粗蛋白质量分数为 40%,粗脂肪质量分数为 9.5%).将各组饲料原料粉碎后过 40 目筛,按照配方准确称量原料,采用逐级放大方法混合均匀,然后加入适量水充分搅拌均匀后,采用 F-26 型双螺杆挤条机(广州华工光机电科技有限公司,广州)制成颗粒饲料(1.5 mm),在阴凉通风处晾干后,装入密封袋中储藏于阴凉干燥处备用.

表 1 试验原料及饲料常规组分组成

Tab. 1 Ingredients and proximate composition of the experimental diets

原料组成	饲料				
	SO	BSFO25	BSFO50	BSFO75	BSFO100
豆粕/Soybean meal	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00
鱼粉/Fish meal	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
菜籽粕/Rapeseed meal	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
棉籽粕/Cottonseed meal	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
米皮糠/Rice chaff skin	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90
面粉/Flour	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95
黑水虻油/Black soldier fly Oil	0.00	1.25	2.50	3.75	5.00
大豆油/Soybean oil	5.00	3.75	2.50	1.25	0.00
多维 a/Vitaminsa	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
多矿 b/Mineralsb	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
磷酸二氢钙/Ca(H ₂ PO ₄) ₂	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
膨润土/Bentonite	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
抗氧化剂/Antioxidants	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
总计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
常规组分 Proximate composition					
水分/% Moisture	10.51	10.50	10.66	10.63	10.51
粗蛋白/% Crude protein	40.84	40.60	40.02	40.19	40.13
粗脂肪/% Crude lipid	9.59	9.91	9.46	9.54	9.66
粗灰分/% Crude Ash	11.32	11.65	11.47	11.34	11.59

注:a.维生素预混料为每 kg 饲料提供,维生素 A 800 000 IU,维生素 D₃ 160 000 IU,维生素 E 15 g,维生素 K₃ 325 mg,维生素 B₁₁ 500 mg,维生素 B₂₁ 250 mg,维生素 B₆ 1 100 mg,维生素 B₁₂ 4 mg,维生素 C 2.5 mg,肌酸 5.5g,叶酸 70 mg,生物素 125 mg,烟酸 4 mg,泛钙 4.5 g.

b.矿物质预混料为每 kg 饲料提供,P 105 g,Ca 330 g,Mg 45 g,Fe 15 g,I 50 mg,Se 9 mg,Cu 0.35 g,Zn 3 g,Mn1.5 g,Co 11 mg.下表同.

1.2 试验鱼及饲养管理

养殖试验在循环水养殖系统中进行.淇河鲫购于淇县渔场,使用质量分数为 0.01%的 KMnO₄ 溶液进行消毒处理.在水泥池中驯化 2 周后,挑选体表健康、活力强的试验鱼(初始体质量为(18.40±2.31) g)300 尾,随机分成 5 组,每组 3 个重复,每个重复 20 尾鱼,放入养殖桶中,在循环水养殖系统养殖 8 周.养殖期间每天根据摄食情况饱食投喂 3 次(8:30、13:00 和 17:30),每隔 2~3 d 进行换水,换水比例为 30%~40%,每天

12 h 光照,水温保持在 25~27 °C, pH 维持在 6.8~7.8,溶解氧>6 mg/L.

1.3 样品采集

养殖试验结束后,用浓度为 100 mg/L 的间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐(MS-222)麻醉所有试验鱼,准确测量体质量和体长指标以计算生长指标.每个试验组在测量体质量和体长后,随机选取 3 尾淇河鲫作为全鱼样品,随机选取 6 尾淇河鲫在冰盘上无菌取其内脏团,分离肝脏、肠道和肌肉并对肝脏进行称量,用于肝体比、肠道消化酶活力和常规组分分析.每个重复随机选取 6 尾淇河鲫使用一次性注射器从尾静脉处采血.血清样品 4 °C 放置过夜,4 000 r/min 离心 15 min,吸取上清液置于 2 mL 离心管中,用于生化指标和抗氧化酶活力检测.

1.4 生长性能测定

生长指标计算公式如下:

增重率(WGR)=(末体质量-初体质量)/初体质量,

存活率(SR)=(终末尾数/初始尾数),

肥满度(CF)=体质量/体长的立方,

肝体比(HSI)=肝胰脏质量/鱼体质量.

1.5 常规组分测定

采集组织样品,每个处理分别取 3 尾鱼的肌肉组织和全鱼,进行常规组分测定.肌肉组织和全鱼中的粗蛋白含量采用国标(GB/T 6432-2018)凯氏定氮法测定,粗脂肪含量采用国标(GB/T 6433-2006)索氏抽提法测定,粗灰分含量采用国标(GB/T 6438-2007)550 °C 马弗炉灼烧法测定,水分含量采用国标(GB/T 6435-2014)105 °C 烘箱干燥恒重法测定.

1.6 血清生化指标,抗氧化酶活力及肠道消化酶活力测定

采用西门子 ADVIA® 2400 全自动临床生化分析仪测定淇河鲫血清生化指标(河南新乡雅士杰医学检验所),包括总蛋白(Total Protein, TP);白蛋白(Albumin, ALB);球蛋白(Globulin, GLB);谷丙转氨酶(Alanine aminotransferase, ALT);谷草转氨酶(Aspartate aminotransferase, AST);总胆固醇(Total cholesterol, TCHO);甘油三酯(Triglyceride, TG);高密度脂蛋白(High density lipoprotein cholesterol, HDL)和低密度脂蛋白(Low density lipoprotein cholesterol, LDL).血清中抗氧化指标包括丙二醛(Malondialdehyde, MDA)、过氧化氢酶(Catalase, CAT)和超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)的酶活力严格按照试剂盒(南京建成生物工程研究所,南京)说明书进行.每个处理取 3 尾鱼,剪取适量长度前肠肠段,使用试剂盒检测(南京建成生物工程研究所,南京)淇河鲫肠道脂肪酶(Lipase)、 α -淀粉酶(Amylase)和胰蛋白酶(Trypsin)的酶活力.

1.7 数据处理

试验数据用 SPSS 22.0 软件进行单因素方差(One-way ANOVA)分析,然后进行 Duncan's 多重比较及显著性检验, $P<0.05$ 时表示差异显著,结果以“平均值±标准差”(Mean±SD)表示.

2 实验结果

2.1 黑水虻油对淇河鲫生长性能的影响

黑水虻油对淇河鲫生长性能的影响如表 2 所示.各组之间淇河鲫初始均质量(IBW)、终末均质量(FBW)、增重率(WGR)、存活率(SR)、肥满度(CF)和肝体比(HSI)指标均无显著性差异($P>0.05$).

2.2 黑水虻油对淇河鲫肌肉和全鱼常规成分的影响

如表 3 所示,黑水虻油替代豆油对淇河鲫肌肉组织和全鱼的粗蛋白、粗脂肪、水分和灰分含量均未产生显著影响($P>0.05$).

2.3 黑水虻油对淇河鲫血清生化指标的影响

如表 4 所示,与 SO 组相比,各替代组总蛋白、白蛋白、球蛋白、总胆固醇、甘油三酯、谷丙转氨酶、谷草转氨酶等差异均不显著($P>0.05$).而 BSOF100 组低密度脂蛋白(LDL)含量显著高于对照组($P<0.05$).

表2 不同比例黑水虻油替代豆油对淇河鲫鱼生长性能的影响

Tab. 2 Effect of different proportions of black soldier fly oil instead of soybean oil on growth performance of Qihe crucian carp

指标	组别				
	SO	BSFO25	BSFO50	BSFO75	BSFO100
初始均质量(IBW)	18.54±0.31	18.15±0.14	18.34±0.70	18.76±0.49	18.22±0.19
终末均质量(FBW)	44.81±0.29	44.90±0.35	43.96±1.35	44.92±0.98	43.43±0.49
增质量率(WCG)	129.84±5.06	129.80±4.14	127.51±3.47	128.75±1.22	125.18±1.57
存活率(SR)	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00
肝体比(HSI)	3.69±0.71	3.60±0.62	3.95±0.53	3.76±0.24	3.60±0.47
肥满度(CF)	3.09±0.18	3.20±0.14	3.19±0.13	3.13±0.14	3.08±0.07

表3 黑水虻油对淇河鲫鱼肌肉和全鱼常规组分的影响

Tab. 3 Effect of black soldier fly oil on proximate composition in tissues of Qihe crucian carp

常规组分	组别				
	SO	BSFO25	BSFO50	BSFO75	BSFO100
肌肉 Muscle					
粗蛋白 Crude protein	17.36±0.13	17.71±0.22	18.03±0.11	18.08±0.47	17.66±0.34
粗脂肪 Crude lipid	6.66±0.60	7.14±0.18	6.87±0.29	6.83±0.83	7.00±0.45
水分 Moisture	78.64±0.19	78.05±0.27	78.14±0.15	77.83±0.09	78.00±0.48
灰分 Ash	4.96±0.06	5.05±0.07	5.13±0.09	4.83±0.21	5.14±0.07
全鱼 Whole-Body					
粗蛋白 Crude protein	15.38±0.39	15.66±0.29	15.73±0.33	15.53±0.18	15.81±0.14
粗脂肪 Crude lipid	25.45±3.43	26.98±1.19	24.12±0.21	24.64±1.37	25.14±2.87
水分 Moisture	70.47±0.76	68.85±1.30	68.90±2.13	70.20±0.94	66.24±1.64
灰分 Ash	9.25±0.26	9.48±1.00	8.99±0.10	9.40±0.41	8.54±0.33

表4 不同比例黑水虻油替代豆油对淇河鲫鱼血清生化指标的影响

Tab. 4 Effect of different proportions of black soldier fly oil instead of soybean oil on serum biochemical parameters of Qihe crucian carp

血清指标/抗氧化指标	组别				
	SO	BSFO25	BSFO50	BSFO75	BSFO100
总蛋白/(g·L ⁻¹)TP	38.44±1.48	42.00±1.18	39.33±1.29	41.33±2.09	38.56±1.14
白蛋白/(g·L ⁻¹)ALB	15.22±0.74	18.22±0.64	16.00±0.80	18.11±1.57	15.78±0.83
球蛋白/(g·L ⁻¹)GLB	23.22±0.85	23.89±0.65	23.33±0.71	23.22±0.64	22.78±0.36
谷草转氨酶/(U·L ⁻¹)AST	415.57±44.94	398.33±65.99	359.22±62.47	382.44±80.24	388.44±62.03
谷丙转氨酶/(U·L ⁻¹)ALT	7.56±1.37 ^{ab}	9.78±0.95 ^b	8.00±0.93 ^{ab}	5.27±1.08 ^a	6.53±1.83 ^{ab}
总胆固醇/(mmol·L ⁻¹)TCHO	6.29±0.20	6.70±0.23	6.42±0.27	6.54±0.23	6.59±0.19
甘油三酯/(mmol·L ⁻¹)TG	7.51±0.32	8.00±0.77	8.19±0.83	8.00±0.94	7.33±0.66
高密度脂蛋白/(mmol·L ⁻¹)HDL	3.31±0.16	3.28±0.33	3.10±0.36	3.13±0.30	3.21±0.20
低密度脂蛋白/(mmol·L ⁻¹)LDL	0.53±0.18 ^a	0.53±0.30 ^a	0.58±0.35 ^a	0.57±0.25 ^a	0.78±0.22 ^b
抗氧化指标					
超氧化物歧化酶/(U·ml ⁻¹)SOD	331.85±3.61	342.96±4.11	338.30±6.26	343.95±2.23	342.06±0.55
过氧化氢酶/(U·ml ⁻¹)CAT	6.07±0.60 ^a	6.34±0.37 ^a	6.50±0.84 ^a	27.30±1.19 ^b	25.91±1.49 ^b
丙二醛/(nmol·ml ⁻¹)MDA	11.14±0.14 ^c	11.08±0.18 ^c	10.93±0.12 ^c	10.40±0.09 ^b	8.83±0.16 ^a

注:同一行肩标不同小写字母代表有显著差异($P<0.05$), $n=3$,下同。

2.4 黑水虻油对淇河鲫血清抗氧化酶活性的影响

不同处理组血清抗氧化酶活力变化如表 4 所示.与 SO 组相比,各组血清超氧化物歧化酶(SOD)活力无显著变化($P > 0.05$),BSFO75 和 BSFO100 组过氧化氢酶(CAT)活力显著增加($P < 0.05$),且丙二醛(MDA)质量分数显著降低($P < 0.05$).

2.5 黑水虻油对淇河鲫肠道消化酶活力的影响

不同处理组肠道消化酶活力变化如表 5 所示.与 SO 组相比,各组脂肪酶活力无显著变化,各组淀粉酶活力和 BSFO25、BSFO50、BSFO75 组胰蛋白酶活力均显著高于 SO 组($P < 0.05$).

表 5 不同比例黑水虻油替代豆油对淇河鲫肠道消化酶活力的影响

Tab. 5 Effect of different proportions of black soldier fly oil instead of soybean oil on intestinal digestive enzyme activity of Qihe crucian carp

指标	组别				
	SO	BSFO25	BSFO50	BSFO75	BSFO100
脂肪酶/(U·g ⁻¹)Lipase	12.96±0.81	10.07±0.52	12.41±1.23	11.11±1.85	11.86±1.63
淀粉酶/(U·mg ⁻¹)Amylase	0.09±0.003 ^a	0.10±0.003 ^b	0.11±0.001 ^b	0.14±0.001 ^c	0.14±0.001 ^c
胰蛋白酶/(U·mg ⁻¹)Trypsin	7.43±3.93 ^a	47.87±6.10 ^c	40.56±3.77 ^c	27.24±5.33 ^b	12.87±2.22 ^a

3 讨 论

研究结果显示,不同替代组淇河鲫的生长性能与对照组之间没有显著差异,表明黑水虻油替代豆油对淇河鲫的生长不会产生负面影响.这与陈延娜等^[7]对草鱼的研究发现黑水虻油完全替代豆油不会影响其生长性能的结果一致.在建鲤(*Cyprinus carpio* var. Jian)上的研究也表明,黑水虻油可以完全替代豆油,而不会显著影响其生长^[9].先前的研究发现,黑水虻油富含中链脂肪酸的月桂酸^[10],而月桂酸被摄入后,大部分会直接运输到肝脏转化为能量和其他代谢产物供机体吸收利用^[11],这可能是淇河鲫生长良好的重要原因.

已有研究发现,鱼体常规组分受饲料组成的影响^[12].在本研究中,不同比例的黑水虻油替代豆油后,对淇河鲫肌肉和全鱼的常规组分没有显著影响,这与草鱼^[7]和建鲤^[9]的试验结果类似.BELGHIT 等^[13]使用黑水虻油替代植物油在大西洋鲑(*Salmo salar*)中的研究也发现鱼体的常规组分没有发生显著性变化,这可能是由于脂质在鱼类器官间的转运是通过外源性(饮食)和内源性物质共同调节,说明黑水虻油可以作为日粮脂肪源被淇河鲫很好地吸收利用,从而维持鱼体常规组分的稳定.但 DAVIS 等^[14]在美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*)的研究发现,日粮中添加中链脂肪酸会提高鱼体的粗蛋白含量,DUMAS 等^[12]则发现在虹鳟日粮中使用 5%黑水虻油替代豆油后显著提高了全鱼的粗脂肪含量,这可能是鱼的种类或饲料配方不同所致.

血清中 TP 主要由 ALB 和 GLB 组成,TP 和 ALB 能够反应机体的蛋白质代谢状况,GLB 还可以参与调节鱼体的免疫反应^[15].本研究结果显示,黑水虻油替代豆油后,对 TP,ALB 和 GLB 含量均无显著影响,表明淇河鲫的蛋白质代谢和免疫能力没有受到不利影响,这与在虹鳟^[16]和黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)^[17]中的研究结果相同.AST,ALT 是机体重要的氨基酸代谢酶,其含量的变化可以反映肝脏的健康状况.本研究发现,与豆油组相比,各替代组的 AST 和 ALT 水平没有发生显著性变化,但黑水虻油替代后(75%~100%)有降低的趋势,表明黑水虻油对淇河鲫肝脏氨基酸和蛋白质代谢无不良影响,这与在建鲤上的研究结果一致^[9].此外,SCHIAVONE 等^[18]在肉鸡的研究也发现日粮中添加黑水虻油不会影响血液的 AST 和 ALT 的水平.TCHO 和 TG 是血液中脂质的主要组成,HDL 和 LDL 可以清除和运输血液中的胆固醇,它们的变化受日粮脂肪源的影响,能够反映鱼体肝脏对脂质的吸收利用和转运能力^[19].在本研究中,黑水虻油替代豆油后,淇河鲫的 TCHO, TG 和 HDL 指标均未发生显著性变化,但 BSFO100 组 LDL 水平显著升高,表明完全替代豆油时,淇河鲫的肝脏胆固醇转运功能可能受到影响,长期饲喂会对淇河鲫的正常生长和饲料利用效率产生不利影响.陈延娜等^[7]在草鱼上的研究也发现了类似的结果.这可能与日粮中饱和脂肪酸含量影响 LDL 受体的活性有关,具体机制有待于进一步研究.

本研究中,各组淇河鲫血清中 SOD 活力没有显著差异,BSFO75 组和 BSFO100 组 CAT 活力显著高于

对照组,MDA含量显著低于对照组,表明黑水虻油替代豆油可能提高了淇河鲫的抗氧化能力.XU等^[20]对镜鲤(*Cyprinus carpio* var. *specularis*)的研究同样发现日粮中添加黑水虻匀浆可以增加抗氧化能力.这可能与黑水虻含有抗菌肽、几丁质等免疫活性物质有关.

本研究中,黑水虻油对淇河鲫肠道脂肪酶活力没有显著影响,表明黑水虻油不会影响淇河鲫肠道对脂质的消化能力.随着替代比例的升高,淀粉酶活力显著增加,胰蛋白酶活力呈现先升后降的趋势,BSFO100%组与对照组无显著性差异,其余三组均显著高于对照组.说明适宜比例的黑水虻油可以提高淇河鲫肠道对蛋白质和淀粉类物质的利用效率.但SYPNIEWSKI等^[21]研究发现,火鸡(*Meleagris gallopavo*)日粮中使用黑水虻油替代豆油会降低胰蛋白酶和脂肪酶活力,与本研究结果不同,可能是因为不同物种的生理特性和饲料配方的差异.

4 结 论

黑水虻油替代豆油对淇河鲫的生长性能没有显著影响,还可以提高抗氧化能力和肠道消化酶活力,但完全替代时会增加血清中LDL含量,因此淇河鲫饲料中脂肪水平为9.5%且豆油添加量水平为5%时,黑水虻油可替代豆油的75%(即黑水虻油的实际添加量为37.5 g/kg)为宜.

参 考 文 献

- [1] KIM B G, KIL D Y, STEIN H H. In growing pigs, the true ileal and total tract digestibility of acid hydrolyzed ether extract in extracted corn oil is greater than in intact sources of corn oil or soybean oil[J]. *Journal of animal science*, 2013, 91(2): 755-763.
- [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(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(22): 1-9.
- [4] EWALD N, VIDAKOVIC A, LANGELAND M, et al. Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) - Possibilities and limitations for modification through diet[J]. *Waste Management*, 2020, 102: 40-47.
- [5] 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.
- [6] LI S, JI H, ZHANG B, 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.
- [7] 陈延娜, 卢荣华, 杨国坤, 等. 黑水虻油替代豆油对草鱼生长性能、抗氧化能力和肠道菌群的影响[J]. *水产学报*, 2019, 43(10): 2241-2255.
CHEN Y N, LU R H, YANG G K, et al. Effects of replacing soybean oil with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil on the growth performance, antioxidant ability and intestinal microbiota of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(10): 2241-2255.
- [8] 单元勋, 瞿薇芬. 河南淇河鲫 *Carassius auratus* 的生物学[J]. *河南师范大学学报(自然科学版)*, 1985, 12(3): 53-62.
SHAN Y X, QU W F. The biology of *Carassius auratus* in the qi he of Henan [J]. *Journal of Henan Normal University (Natural Science Edition)*, 1985, 12(3): 53-62.
- [9] 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.
LI S L. Research for black soldier fly larvae as the feed ingredients of Jian carp, *Cyprinus carpio* var. Jian [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2017.
- [10] MARIOD A. African edible insects as alternative source of food, oil, protein and bioactive components [M]. Switzerland: Springer Cham, 2020.
- [11] DAYRIT F M. The properties of lauric acid and their significance in coconut oil [J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2015, 92(1): 1-15.
- [12] OLSEN R E, HANSEN A C, ROSEN LUND G, et al. Total replacement of fish meal with plant proteins in diets for Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) II: Health aspects [J]. *Aquaculture*, 2007, 272(1-4): 612-624.
- [13] BELGHIT I, LILAND N S, WAAGB R, et al. Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Aquaculture*, 2018, 491: 72-81.
- [14] DAVIS D A, LAZO J P, ARNOLD C R. Response of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*) to practical diets supplemented with medium

- chain triglycerides[J].Fish Physiology and Biochemistry,1999,21(3):235-248.
- [15] DING L Y,ZHANG L M,WANG J Y,et al.Effect of dietary lipid level on the growth performance,feed utilization,body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder(*Platichthys stellatus*)[J].Aquaculture research,2010,41(10):1470-1478.
- [16] 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.
- [17] 易昌金.黑水虻油脂替代鱼油对黄颡鱼生长及脂肪代谢的影响[D].长沙:湖南农业大学,2018.
- YI C J.Effects of dietary fish oil replaced with black soldier fly(*Hermetia illucens*)larvae oil on the growth and lipid metabolism of yellow catfish(*Pelteobagrus fulvidraco*)[D].Changsha:Hunan Agricultural University,2018.
- [18] SCHIAVONE A,DABBOU S,DE MARCO M,et al.Black soldier fly larva fat inclusion in finisher broiler chicken diet as an alternative fat source[J].Animal,2018,12(10):2032-2039.
- [19] MAGKOS F.Basal very low-density lipoprotein metabolism in response to exercise;Mechanisms of hypotriacylglycerolemia[J].Progress in Lipid Research,2009,48(3-4):171-190.
- [20] XU X,JI H,YU H,et al.Influence of dietary black soldier fly(*Hermetia illucens* Linnaeus)pulp on growth performance,antioxidant capacity and intestinal health of juvenile mirror carp(*Cyprinus carpio* var.*specularis*)[J].Aquaculture Nutrition,2020,26(2):432-443.
- [21] SYPNIEWSKI J,KIERONCZYK B,BENZERTIHA A,et al.Replacement of soybean oil by *Hermetia illucens* fat in turkey nutrition: Effect on performance,digestibility,microbial community,immune and physiological status and final product quality[J].British Poultry Science,2020,61(3):294-302.

Effect of replacing soybean oil with black soldier fly(*Hermetia illucens*)larvae oil on the growth performance,serum Biochemical index and intestinal digestive enzyme of Qihe crucian carp(*Carassius auratus*)

Jia Shenzong, Lin Mengjun, Lu Ronghua, Chen Yanna, Yu Weipeng, Zhang Yuru, Nie Guoxing

(College of Fisheries, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

Abstract: In order to study the effects of replacing soybean oil(SO)with black soldier fly larvae oil(BSFO)in Qihe crucian carp, five isolipidic and isonitrogen experimental diets were formulated by replacing SO with BSFO, respectively. After 56 days of feeding, the changes of growth performance, body composition, serum biochemical index, antioxidant capacity and intestinal digestive enzyme activity of Qihe crucian carp were detected. The results showed that there were no significant differences in FBW, WGR, SR, HSI and CF among the treatment groups. There were no significant changes in serum AST, ALT and TG levels in other groups compared with SO group. The LDL in BSFO100 group was significantly higher than that of SO group. Compared with the SO group, the SOD activity was not significantly changed in the other groups, the significantly increased CAT activity and the significantly decreased MDA activity were observed in BSFO75 and BSFO100 groups. There was no significant change in lipase activity among all the groups, while the higher trypsin activities were found in BSFO25, BSFO50 and BSFO75 groups than SO group. Compared to SO group, the amylase activities among the other groups were significantly elevated. Based on the results from growth performance, antioxidant capacities and digestive enzyme activities, and LPL content, it is recommended that the amount of BSFO instead of soybean oil could be 75% in the diet for Qihe crucian carp.

Keywords: Qihe crucian carp; black soldier fly larvae oil; growth performance; serum biochemical index; digestive enzyme

[责任编辑 刘洋 杨浦]