

黑水虻替代鱼粉对锦鲤生长和健康状况的影响

刘兴¹, 孙学亮¹, 李连星¹, 张扬¹, 陈继楚¹, 仲雨浓¹, 尚东维², 陈成勋¹

(1. 天津农学院水产学院, 天津 300384; 2. 天津市宝坻区里自沽农场, 天津 301809)

摘要:为研究黑水虻 *Hermetia illucens* 替代鱼粉对锦鲤 *Cyprinus carpio* 生长性能、血浆与组织生化指标的影响, 选取初始平均质量为 51.2 g 的锦鲤 270 尾, 随机分为 3 组, 每组设 3 个重复, 每个重复放 30 尾, 分别投喂以黑水虻替代鱼粉的 0 (H1 组)、50% (H2 组)、70% (H3 组) 饲料 30 d。结果表明: 黑水虻替代鱼粉对锦鲤增重率、肥满度、肝体比、体型均无显著性影响 ($P>0.05$); 黑水虻替代鱼粉时, 锦鲤血浆谷丙转氨酶 (GPT) 活力显著降低 ($P<0.05$), 但血浆和肝胰脏超氧化物歧化酶 (SOD) 活力显著增强 ($P<0.05$), 肝胰脏丙二醛 (MDA) 含量显著降低 ($P<0.05$)。研究表明, 黑水虻可增强锦鲤抗氧化性和抗病能力, 且黑水虻替代鱼粉的比例不宜超过 70%。

关键词: 黑水虻; 锦鲤; 鱼粉; 生化指标; 生长性能

中图分类号: S965.8

文献标志码: A

黑水虻 *Hermetia illucens* 又称光亮扁角水虻, 隶属于昆虫纲 Insecta、双翅目 Diptera、水虻科 Stratiomyidae、扁角水虻属 *Hermetia latreille*, 在全球热带和亚热带大部分地区均有分布。黑水虻幼虫在自然界分布较广、资源丰富、养殖难度较低, 市场价位比鱼粉便宜 50% 以上^[1-3], 因此, 黑水虻蛋白作为饲料原料受到了广泛地关注^[4-5]。Sheppard 等^[6]发现, 用黑水虻幼虫作为饲料养殖牛蛙, 其产量较高且死亡率显著下降。黑水虻作为动物饲料蛋白具有蛋白含量及利用率高、成本低等优势, 可提高动物机体免疫力。目前, 水产动物饲料中将黑水虻作为蛋白的研究较少, 将其用于提高观赏鱼观赏价值及免疫抗病力方面的研究也较为缺乏。本试验中, 以黑水虻替代鱼粉喂养锦鲤 30 d, 检测其对锦鲤生长性能和抗氧化指标的影响, 以期为更好地提高锦鲤观赏价值以及抗病能力提供数据支撑, 也为探究黑水虻作为锦鲤免疫增强剂提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验鱼由天津市野龙港水产科技发展有限公司

提供, 体质量为 (51.20 ± 3.24) g, 体长为 (6.72 ± 1.50) cm。黑水虻幼虫由天津市宝坻区里自沽农场提供。

1.2 方法

1.2.1 试验饲料的制备 将黑水虻幼虫经过烘干粉碎处理并通过 80 目筛, 然后将黑水虻分别按替代鱼粉的 0 (对照)、50%、70% 与饲料原料混合后, 用制粒机挤压成颗粒料, 自然烘干 7 d 至水分为 12% 左右, 于室温密封保存, 饲料配方和营养成分含量见表 1。

1.2.2 试验设计 随机挑选健康锦鲤 270 尾进行试验, 试验分 3 组, 每组设 3 个重复, 每个重复放 30 尾锦鲤, 共用 9 个 200 L (700 mm×510 mm×450 mm) 的 PE 塑料箱, 用基础饲料驯化 7 d, 待摄食正常后开始试验。试验期间, 每天投喂 3 次, 投喂量为鱼体质量的 3%, 每天换水 1 次, 水温控制在进 20~25 °C。试验在天津农学院水产学院循环水养殖实验室进行, 试验周期为 30 d, 试验期间无锦鲤死亡。

采样前停食 24 h, 从每箱采样 3 尾, 每组内混样处理, 尾静 (动) 脉采血, 用肝素抗凝, 于 4 °C

收稿日期: 2016-11-28

基金项目: 国家“星火计划”项目 (2014GA610001); 农委科技成果转化预推广项目 (201501200); 天津市科技计划项目 (16ZXBFC00060); 天津市科技支撑计划重点项目 (14ZCZDNC00010, 14ZCDGNC00029); 天津市应用基础与前沿技术研究计划 (重点项目) (13JCZDJC29200); 天津市高等学校创新团队基金资助项目 (TD12-5018)

作者简介: 刘兴 (1993—), 男, 硕士研究生。E-mail: 454737714@qq.com

通信作者: 陈成勋 (1967—), 男, 研究员。E-mail: ccxny@163.com

下以 4500 r/min 离心 15 min, 制备血浆, 测定其谷丙转氨酶 (GPT)、谷草转氨酶 (GOT)、葡萄糖 (GLU)、总胆固醇 (CHOL)、甘油三酯 (TG)、白蛋白、溶菌酶 (LZM)、碱性磷酸酶 (AKP) 含量。然后解剖, 取其肝胰脏、头肾、中肾、脾脏组织, 装入封口塑料袋后置于超低温冰箱 (-80 °C) 中保存备用。

表 1 3 种试验饲料的组成及营养水平 (风干基础)

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

w/%

组别 group	原料 ingredient				营养水平 nutrient level			
	鱼粉 fish meal	黑水虻 <i>Hermetia illucens</i> meal	鱼油 fish oil	其他 other	粗蛋白质 crude protein	粗脂肪 crude lipid	灰分 ash	水分 moisture
H1 (0%)	7.3	0	1.9	90.8	34.77	20.45	7.82	8.48
H2 (50%)	3.7	5	0.5	90.8	34.25	20.77	7.27	9.25
H3 (70%)	2.2	7	0	90.8	34.6	20.83	7.46	8.83

注: 饲料中其他成分主要有豆粕 19.05%、棉粕 5.76%、菜粕 7.64%、玉米蛋白粉 4.71%、螺旋藻粉 2.83%、酒糟 9.53%、高筋面粉 20.94%、米糠 5.65%、小麦胚 11.41%、豆油 1.88%、磷酸二氢钙 0.94%

Note: The other main ingredients include soybean meal 19.05%, rapeseed meal 5.76%, cottonseed meal 7.64%, corn gluten meal 4.71%, spirulina powder 2.83%, vinasse 9.53%, strong flour 20.94%, rice bran 5.65%, millet embryo 11.41%, soybean oil 1.88%, and Ca (H₂PO₄)₂ 0.94%

1.2.3 锦鲤生长性能指标的计算 鱼体的增重率、增长率、体长尾柄长比、肥满度、肝体比分别按以下公式计算:

增重率(或增长率) = [终末体质量(或体长) - 初始体质量(或体长)] / 初始体质量(或体长) × 100%,

体长尾柄长比 = 体长 / 尾柄长,

肥满度 = 体质量(g) / 体长(cm)³ × 100%,

肝体比 = 肝胰脏质量 / 鱼体总质量 × 100%。

1.2.4 锦鲤血浆组织生理生化指标的测定 本试验中, 血浆生理生化指标及各组织中的蛋白含量均采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒进行测定。

1.3 数据处理

用 Excel 2007 软件对试验数据进行统计处理,

组织样品测定前用匀浆器研磨, 按质量体积比为 1 mg : 9 mL 加入预冷的纯水, 用玻璃匀浆器匀浆, 制成 10% 匀浆液, 于 4 °C 下以 4500 r/min 离心 30 min, 取上清液, 测定各组织的超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 活力及丙二醛 (MDA)、谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH) 含量。

试验结果用平均值 ± 标准差 (mean ± S. D.) 表示。采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析, 用 Duncan 法进行多重比较, 显著性水平设为 0.05。

2 结果与分析

2.1 黑水虻对锦鲤生长的影响

从表 2 可见, 随着饲料中黑水虻替代鱼粉含量的升高, 锦鲤的增重率、体长增长率、肥满度、体长/尾柄长均呈增大的趋势, 均以 H3 组最高, 而肝体比则呈先减小后增大的趋势, 但各组间均无显著性差异 ($P > 0.05$)。养殖期间无锦鲤死亡。

2.2 黑水虻对锦鲤部分血浆生理生化指标的影响

由表 3 可知: 随着黑水虻替代鱼粉含量的升高, GOT 和 LZM 活力呈先下降后升高的趋势, TG

表 2 黑水虻对锦鲤生长性能指标的影响

Tab. 2 Effects of *Hermetia illucens* on growth of koi carp *Cyprinus carpio*

组别 group	增重率/% weight gain rate	体长增长率/% growth rate of body length	体长/尾柄长 body length/caudal peduncle length	肥满度/% condition factor	肝体比 HIS/% hepatosomatic index
H1 (对照)	13.35 ± 1.43 ^a	2.74 ± 1.86 ^a	9.65 ± 0.32 ^a	3.32 ± 0.54 ^a	1.77 ± 0.2 ^a
H2	14.77 ± 2.07 ^a	3.53 ± 2.75 ^a	9.73 ± 0.36 ^a	3.55 ± 0.22 ^a	1.67 ± 0.27 ^a
H3	15.06 ± 1.70 ^a	6.43 ± 2.37 ^a	10.22 ± 0.94 ^a	3.73 ± 0.21 ^a	1.73 ± 0.20 ^a

注: 同列中标有不同小写字母者表示组间有显著性差异 ($P < 0.05$), 标有相同小写字母者表示组间无显著性差异 ($P > 0.05$), 下同

Note: The means with different letters within the same column are significant differences at the 0.05 probability level, and the means with the same letters within the same column are not significant differences, et sequentia

含量呈先升高后下降的趋势, GLU、CHOL、ALB 含量和 AKP 活力呈升高的趋势, GPT 活力则呈下降的趋势; 除 H2 组 GOT 活力和 LZM 含量略低于对照组外, 其余试验组各指标均高于对照组, 均以

H3 组最高 (除 GPT、TG 指标外); 但仅 H3 组的 GPT、GLU、ALB 指标显著高于对照组 ($P < 0.05$), 其余试验组各指标均无显著性差异 ($P > 0.05$)。

表 3 黑水虻对锦鲤血浆中部分生理生化指标的影响

Tab. 3 Effect of *Hermetia illucens* on indicators in plasma of koi carp *Cyprinus carpio*

组别 group	谷丙转氨酶/ (U · L ⁻¹) GPT	谷草转氨酶/ (U · L ⁻¹) GOT	葡萄糖/ (mmol · L ⁻¹) GLU	总胆固醇 (mmol · L ⁻¹) CHOL	甘油三酯/ (mmol · L ⁻¹) TG	白蛋白/ (g · L ⁻¹) ALB	溶菌酶/ (μg · L ⁻¹) LZM	碱性磷酸酶/ (金氏单位/L) AKP
H1 (对照)	35.01±2.61 ^a	69.47±17.44 ^a	4.67±0.26 ^a	4.0±0.04 ^a	0.96±0.13 ^a	14.27±0.93 ^a	0.87±0.23 ^a	3.93±0.91 ^a
H2	33.57±5.08 ^{ab}	65.78±10.4 ^a	6.06±0.81 ^b	4.49±0.44 ^a	1.37±0.26 ^a	16.00±1.12 ^{ab}	0.79±0.33 ^a	3.99±0.54 ^a
H3	31.71±4.90 ^b	78.4±10.32 ^a	6.62±0.52 ^b	4.63±0.17 ^a	1.14±0.02 ^a	16.74±1.32 ^b	1.03±0.06 ^a	4.11±0.55 ^a

2.3 黑水虻对锦鲤 SOD 活力的影响

由表 4 可见: 随着黑水虻替代鱼粉含量的升高, 血浆、肝胰脏、头肾、脾脏中 SOD 活力均呈升高的趋势, 中肾中 SOD 活力呈先下降后升高的

趋势; 除 H2 组中肾 SOD 活力略低于对照组外, 其余试验组各组织及血浆 SOD 活力均高于对照组, 且以 H3 组最高, 但仅 H3 组血浆和肝胰脏中 SOD 活力显著高于对照组 ($P < 0.05$), 其余各组均无显著性差异 ($P > 0.05$)。

表 4 黑水虻对锦鲤各组织及血浆 SOD 活力的影响

Tab. 4 Effect of *Hermetia illucens* on SOD activity in various tissues and plasma of koi carp *Cyprinus carpio*

组别 group	血浆/(U · L ⁻¹) plasma	肝胰脏/(U · mg ⁻¹) hepatopancreas	头肾/(U · mg ⁻¹) head kidney	中肾/(U · mg ⁻¹) midkidney	脾脏/(U · mg ⁻¹) spleen
H1 (对照)	26.78±1.28 ^a	1.50±0.12 ^a	1.41±1.03 ^a	2.16±0.06 ^a	1.21±1.43 ^a
H2	43.73±13.13 ^{ab}	2.99±0.19 ^b	1.97±0.20 ^a	2.15±0.11 ^a	1.77±0.70 ^a
H3	61.28±13.11 ^b	3.17±0.03 ^b	2.14±0.97 ^a	2.34±0.12 ^a	2.04±0.96 ^a

2.4 黑水虻对锦鲤 CAT 活力的影响

由表 5 可见: 随着黑水虻替代鱼粉含量的升高, 血浆中 CAT 活力呈升高的趋势, 脾脏中 CAT 活力呈降低的趋势, 其余组织酶活力均呈波动变

化; 各试验组血浆、肝胰脏中 CAT 活力均高于对照组, 均以 H3 组酶活力最高, 头肾和脾脏中 CAT 活力均低于对照组, 但各组间 CAT 活力均无显著性差异 ($P > 0.05$)。

表 5 黑水虻对锦鲤各组织及血浆 CAT 活力的影响

Tab. 5 Effect of *Hermetia illucens* on CAT activity in various tissues and plasma of koi carp *Cyprinus carpio*

组别 group	血浆/(U · L ⁻¹) plasma	肝胰脏/(U · mg ⁻¹) hepatopancreas	头肾/(U · mg ⁻¹) head kidney	中肾/(U · mg ⁻¹) midkidney	脾脏/(U · mg ⁻¹) spleen
H1 (对照)	7.01±4.09 ^a	53.78±19.49 ^a	107.73±3.99 ^a	60.57±51.82 ^a	37.54±35.22 ^a
H2	10.67±1.45 ^a	109.86±64.09 ^a	45.57±39.14 ^a	69.41±7.13 ^a	24.95±2.23 ^a
H3	10.69±3.64 ^a	59.82±47.20 ^a	98.75±42.45 ^a	54.48±6.84 ^a	21.89±6.63 ^a

2.5 黑水虻对锦鲤 MDA 含量的影响

由表 6 可见: 随着黑水虻替代鱼粉含量的升高, 血浆和各组织中 MDA 含量均呈降低的趋势; 各试验组 MDA 含量均低于对照组, 均以 H3 组最低, 但仅 H3 组肝胰脏中 MDA 含量显著低于对照组 ($P < 0.05$), 其余组间均无显著性差异 ($P > 0.05$)。

2.6 黑水虻对锦鲤 GSH 含量的影响

由表 7 可见: 随着黑水虻替代鱼粉含量的升高, 血浆中 GSH 含量呈升高的趋势, 肝胰脏和头肾中 GSH 含量呈下降的趋势, 中肾和脾脏中 GSH 含量呈波动变化; 血浆中各试验组 GSH 含量均高于对照组, 以 H3 组最高, 且显著高于对照组 ($P < 0.05$); 各组织中 GSH 含量均低于对照组 (除中肾

表 6 黑水虻对锦鲤各组织及血浆 MDA 含量的影响

Tab. 6 Effect of *Hermetia illucens* on MDA contents in various tissues and plasma of koi carp *Cyprinus carpio*

组别 group	血浆/($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) plasma	肝胰脏/($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$) hepatopancreas	头肾/($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$) head kidney	中肾/($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$) midkidney	脾脏/($\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$) spleen
H1	242.23±38.61 ^a	10.31±2.03 ^a	21.33±18.05 ^a	42.2±4.07 ^a	21.43±16.15 ^a
H2	233.14±22.1 ^a	7.69±1.88 ^{ab}	8.73±5.30 ^a	33.24±15.12 ^a	18.73±7.30 ^a
H3	218.05±22.81 ^a	4.98±0.48 ^b	5.78±1.10 ^a	23.26±0.84 ^a	15.78±10.10 ^a

表 7 黑水虻对锦鲤各组织及血浆 GSH 含量的影响

Tab. 7 Effect of *Hermetia illucens* on GSH contents in various tissues and plasma of koi carp *Cyprinus carpio*

组别 group	血浆/($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) plasma	肝胰脏/($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$) hepatopancreas	头肾/($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$) head kidney	中肾/($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$) midkidney	脾脏/($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$) spleen
H1	242.23±38.61 ^a	192.57±120.00 ^a	344.92±77.51 ^a	125.91±41.21 ^a	139.71±32.77 ^a
H2	253.14±22.10 ^{ab}	138.28±86.10 ^a	298.00±60.11 ^a	132.13±23.92 ^a	124.65±6.09 ^a
H3	318.05±22.82 ^b	103.75±14.44 ^a	189.98±82.70 ^a	76.12±32.46 ^a	138.86±35.36 ^a

H2 组外), 均以 H3 组最低 (除脾脏组织外), 但各组间均无显著性差异 ($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 黑水虻对锦鲤生长的影响

Cowey^[7]在评价鱼类蛋白营养需求时指出, 生长是优先考虑的指标, 蛋白含量和种类均会影响鱼的生长。本试验中使用黑水虻替代不同含量的鱼粉饲料投喂锦鲤一个月, 存活率均为 100%, 说明黑水虻对锦鲤的饲喂效果较好。胡俊茹等^[8]研究表明, 黑水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼存活率影响不显著, 增重率在替代 30% 时无显著性差异, 当替代量超过 30% 时, 增重率显著降低。梅琳等^[9]研究表明, 蛹肽蛋白替代鱼粉时, 随替代量的增加大菱鲂的肥满度和肝体比均呈先升高后降低趋势, 但各组间无显著性差异。本试验结果表明, 增重率、体长增长率和肥满度均呈逐渐上升的趋势, 且均在替代 70% 鱼粉时生长性能最好, 本试验中与以往其他蛋白源替代不同, 在黑水虻替代 50%、70% 鱼粉组时, 对锦鲤的生长性能、体长/尾柄长无显著性影响。李华等^[10]研究蝇蛆蛋白在水产中应用时发现, 不同水平的蝇蛆蛋白替代鱼粉可显著影响增重率和肥满度, 与本试验结果有差异, 原因可能是本试验周期较短所致。

肝指数是评价鱼体健康程度的重要指标, 较低的肝指数表明鱼体的肝脏负荷在其自身肝功能调节的可控范围内^[9]。本研究结果表明, 黑水虻替代鱼粉对试验鱼的肝体比虽影响不显著, 但试验鱼的肝体比较对照组呈下降趋势, 在 H2 组的黑水虻替

代 50% 鱼粉时, 锦鲤肝体比最低, 说明在黑水虻替代 50% 鱼粉时锦鲤的肝功能调节能力较对照组和替代鱼粉 70% 时强。林仕梅^[11]、刘匆^[12]、陈壮^[13]、李百安等^[14]的研究表明, 某些蛋白替代品对水产动物肝体比不会产生显著影响, 与本试验结果一致。

3.2 黑水虻对锦鲤部分血浆生理生化指标的影响

鱼类的生化指标能够体现出鱼类的生理健康状况, 也是判断疾病的主要依据之一。GPT 和 GOT 是生物体内最重要的转氨酶^[15], GPT 活性能够反映肝功能的高低, GOT 活性则反映心肌器官组织的机能, 当肝脏受到损伤时, GPT、GOT 活性会提高^[16]。本研究结果表明, GPT 活性随黑水虻替代鱼粉含量的升高而下降, 且在黑水虻替代 70% 鱼粉时氨基酸的代谢活动显著减弱, 反映出黑水虻对肝脏具有保护作用, 这和 Li 等^[17]的研究结果相似, 而 GOT 活性呈先降低后升高趋势, 但各组间无显著性差异。这表明, 黑水虻对锦鲤血浆的 GPT、GOT 有抑制作用。胡俊茹等^[8]在研究黄颡鱼血清生理生化指标时也发现, 黑水虻能显著降低黄颡鱼血清的 GPT。

GLU 含量可作为机体营养供给状况的指标, 在一定范围内, GLU 的降低和升高可以反映鱼体的消化吸收能力, 从而反映鱼体的健康情况^[18]。本试验结果表明, 黑水虻替代 50%、70% 鱼粉时, 锦鲤血浆中 GLU 含量显著高于对照组, 说明黑水虻替代鱼粉时, 鱼体的消化吸收能力显著增强。同样, 鱼体的血脂水平也是其体内碳水化合物代谢和脂肪代谢水平的主要生化指标, 在鱼体血脂内以

CHOL 和 TG 为主, 本试验中 CHOL 含量随黑水虻替代鱼粉含量的增加虽呈上升趋势, 但无显著性差异。乔永刚^[19]、梅琳^[20]的研究表明, 用蝇蛆蛋白和蛹肽蛋白替代鱼粉, 对水产动物血糖和血脂均有一定影响, 分析与本试验结果不同的原因, 可能是黑水虻自身带有油脂量大于预测值(表1)。本试验中, 随黑水虻替代鱼粉含量的增加, TG 含量呈先升高后降低的趋势, 但影响不显著。白蛋白是由肝脏合成, 主要维持血管胶体渗透压。作为内源性氨基酸的营养源, 白蛋白在医学上通常作为衡量肝脏功能的常规指标。本试验中, 随黑水虻替代鱼粉含量的增加, 白蛋白含量呈上升趋势, 当黑水虻替代 70% 鱼粉时, 与对照组相比白蛋白含量显著增高。这表明, 黑水虻替代鱼粉可增加肝脏对白蛋白的合成效率, 也反映出黑水虻替代鱼粉能更好地维持锦鲤肝脏功能稳定。

3.3 黑水虻对锦鲤血浆中部分非特异性免疫指标的影响

LZM 为鱼体血浆内的主要非特异性免疫因子之一, 是鱼体生理防御的重要衡量标志, LZM 作为非特异性免疫系统的主要组成部分, 非特异性免疫防御功能可通过 LZM 活性直接反映出来^[21-23]。本试验中, 替代组较对照组 LZM 活性无显著性变化。AKP 是一种含锌且对底物专一性较低的磷酸单酯水解酶, 当肝脏受到损伤时会引起血浆 AKP 活性明显升高^[24]。本试验中, 替代组较对照组 AKP 活力无显著性差异, 表明黑水虻替代鱼粉时, 对锦鲤肝脏无明显影响。

3.4 黑水虻对锦鲤组织和血浆的 CAT、MDA、SOD、GSH 指标的影响

鱼体内有天然的抗氧化系统去除自由基, 以维持正常的生理功能, 其中包括 CAT、SOD 和 GSH 等抗氧化酶^[25]。其中, SOD 活性的高低能间接反映机体的自由基清除能力, 对机体的氧化和抗氧化平衡起着至关重要的作用, 能够清除超氧阴离子自由基(O₂⁻)保护细胞免受损伤^[26]。MDA 作为一种机体脂质过氧化的天然产物, 间接反映了机体细胞受自由基攻击的严重程度, 其数值越大损伤程度越高^[27]。CAT 催化 H₂O₂ 分解成 H₂O 和 O₂, 达到清除 H₂O₂ 的作用^[28]。GSH 是机体内广泛存在的一种主要催化过氧化氢分解的酶, 可以起到保护细胞膜结构和功能完整的作用。

本试验中, 黑水虻替代鱼粉组血浆的 SOD、

CAT 活性、GSH 含量均高于对照组, 以替代 70% 鱼粉时血浆中的 SOD 活性最高、MDA 含量最低, 其中肝胰脏的 MDA 含量比对照组肝胰脏显著降低。这表明, 黑水虻对锦鲤血浆、肝胰脏、头肾、中肾、脾脏中 MDA 具有抑制作用, 对血浆中 SOD、CAT、GSH 含量具有促进作用。胡俊茹等^[8]在以黑水虻幼虫粉替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能、体组成和血清生化指标的影响试验中也得到同样结果。

综上所述, 用黑水虻替代鱼粉在短期内不会对锦鲤生长和体型造成影响, 用黑水虻替代鱼粉对锦鲤血浆中谷丙转氨酶、谷草转氨酶有抑制作用, 可提高锦鲤的抗氧化能力。

参考文献:

- [1] Hale O M. Dried *Herruetia illuceus* larvae (Diptera:Stratioryidae) as a feed additive for poultry[J]. J Georgia Entomol Soc, 1973, 8: 16-20.
- [2] Newton G L, Booram C V, Barker R W, et al. Dried *Hermetia illucens* larvae meal as a supplement for swine[J]. Journal of Animal Science, 1977, 44(3): 395-400.
- [3] Furman D P, Young R D, Catts E P. *Hermetia illucens* (Linnaeus) as a factor in the natural control of *Musca domestica* Linnaeus[J]. Journal of Economic Entomology, 1959, 52: 917-921.
- [4] Callan E. *Herruetia illucens* (L.) (Diptera, Stratiomyidae), a cosmopolitan American species long established in Australia and New Zealand[J]. Entomol Mo Magazine, 1974, 10(9): 232-234.
- [5] Too S I, Currin T A, Johnson M G, et al. The nutritional value and microbial content of dried face fly pupae (*Musca autumnalis* (De Geer)), when fed to chicks[J]. Poultry Science, 1980, 59(11): 2514-2518.
- [6] Sheppard D C, Newton G L, Thompson S A, et al. A value added manure management system using the black soldier fly[J]. Biore-source Technology, 1994, 50(3): 275-279.
- [7] Cowey C B. Nutrition: estimating requirements of rainbow trout [J]. Aquacultu b r

- [13] 陈壮. 鲈鱼中、后期饲料蛋白质需求量及最适蛋能比的研究[D]. 上海:上海海洋大学,2013.
- [14] 李百安,冷向军,李小勤,等. 罗非鱼饲料中花生粕和发酵花生粕替代鱼粉的效果研究[J]. 大连海洋大学学报,2016,31(1):50-57.
- [15] 曹丽萍,贾睿,丁炜东,等. 建鲤急性肝损伤模型的建立及当归提取物的保肝和抗氧化作用研究[J]. 大连海洋大学学报,2012,27(6):551-557.
- [16] 吴小兰,刘先洲. 脂肪肝与谷丙转氨酶、血糖及血脂的相关性分析[J]. 公共卫生与预防医学,2007,18(4):10-12.
- [17] Li W J, Ai Q H, Mai K S, et al. Effects of dietary amino acid patterns on growth and protein metabolism of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) larvae[J]. Aquaculture, 2013, 406-407: 1-8.
- [18] 杨阳. 桑叶对罗非鱼生长、代谢及品质的影响[D]. 重庆:西南大学,2015.
- [19] 乔永刚. 鱼类饲料中蝇蛆培养物替代鱼粉的研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2014.
- [20] 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]. 青岛:中国海洋大学,2014.
- [21] 邢思华. 溶菌酶在异育银鲫和草鱼饲料中的应用研究[D]. 上海:上海海洋大学,2012.
- [22] 王兴强,曹梅,阎斌伦. 水产动物溶菌酶研究概况[J]. 渔业现代化,2006(2):43-44.
- [23] 崔培,范泽,李建,等. 饲料中添加白藜芦醇对血鸚鵡肝脏生化指标的影响[J]. 大连海洋大学学报,2015,30(2):203-206.
- [24] 田娟,施志仪. 碱性磷酸酶在大菱鲆不同组织的表达及其与甲状腺激素的关系[J]. 中国水产科学,2011,18(1):208-213.
- [25] Zheng B H, Lei K, Liu R Z, et al. Integrated biomarkers in wild crucian carp for early warning of water quality in Hun River, North China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2014, 26(4):909-916.
- [26] 董亮,何永志,王远亮,等. 超氧化物歧化酶(SOD)的应用研究进展[J]. 中国农业科技导报,2013,15(5):53-58.
- [27] Cobbina S J. Study on the toxicity of low concentration individual and mixtures of four kinds of heavy metals on mice and zebrafish (*Danio rerio*) embryos[D]. Zhenjing: Jiangsu University, 2015.
- [28] David M, Munaswamy V, Halappa R, et al. Impact of sodium cyanide on catalase activity in the freshwater exotic carp, *Cyprinus carpio* (Linnaeus) [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2008, 92(1):15-18.

Effects of dietary fish meal replaced by *Hermetia illucens* meal on growth and health of koi carp *Cyprinus carpio*

LIU Xing¹, SUN Xue-liang¹, LI Lian-xing¹, ZHANG Yang¹, CHEN Ji-chu¹,
ZHONG Yu-nong¹, SHANG Dong-wei², CHEN Cheng-xun¹

(1. College of Fisheries, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; 2. Lizigu Farm of Baodi, Tianjin 301809, China)

Abstract: A 30 day feeding trial was conducted to investigate the effects of dietary fish meal replaced by *Hermetia illucens* meal on growth performance, body composition and plasma biochemical indices of koi carp *Cyprinus carpio*. A total of 270 individuals with an average body weight of 51.2 g were randomly assigned into 3 groups with 3 replicates per group and 30 fish per replicate and fed three diets containing 0 (H1), 50% (H2), and 70% (H3) of fish meal replaced by *Hermetia illucens* meal on basal diet basis. The results showed that there was no significant difference in weight gain rate, condition factor, hepatosomatic index, and shape among all groups ($P > 0.05$). Glutamic-pyruvic transaminase (GPT) and glutamic-oxalacetic transaminase (GOT) activities were significantly inhibited in plasma of the koi carp fed the diets containing high *Hermetia illucens* meal ($P < 0.05$), with high GOT activity in the fish fed the diet containing 70% fish meal replaced by *Hermetia illucens* meal. There was significantly higher activity of superoxide dismutase (SOD) in plasma and hepatopancreas in groups H2 and H3 than that in the control group ($P < 0.05$). However, the koi in groups H2 and H3 had significantly lower malondialdehyde (MDA) content in hepatopancreas than the fish in the control group did ($P < 0.05$). The findings indicate that *Hermetia illucens* meal leads to improve oxidation resistance and disease resistance in koi carp, and suggests that fish meal replaced by maggot meal should not be more than 70% in diets.

Key words: *Hermetia illucens*; *Cyprinus carpio*; fish meal; biochemical index; growth performance