

DOI: 10.12264/JFSC2022-0373

饲料中添加姜黄素对杂交鲟幼鱼代谢酶、抗氧化和肠道结构的影响

董凯玥^{1,2}, 王艺^{1,3}, 陈细华¹, 刘伟¹, 褚志鹏¹, 岳华梅¹, 李创举¹

1. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 农业农村部淡水生物多样性保护重点实验室, 湖北 武汉 430223;

2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;

3. 长江大学动物科学学院, 湖北 荆州 434100

摘要: 为评价饲料中添加不同水平的姜黄素对杂交鲟(*Acipenser baeri*♂×*Acipenser schrenckii*♀)幼鱼生长和形体指标、血清生化、代谢酶活性、抗氧化功能和肠道结构的影响, 在基础饲料中分别添加 0、0.025 g/kg、0.05 g/kg、0.1 g/kg 和 0.2 g/kg 的姜黄素配制成 5 种饲料, 投喂初始体重(16.24±0.11) g 的杂交鲟幼鱼。实验分为 5 组, 每组 3 个重复, 每个重复 20 尾鱼。结果显示: 饲料中添加姜黄素对杂交鲟幼鱼生长没有产生显著影响。血清总胆固醇(TG)含量在姜黄素添加量为 0.2 g/kg 时显著降低($P<0.05$)。肝谷丙转氨酶(ALT)活性在 0.05 g/kg 姜黄素组明显降低, 谷草转氨酶(AST)活性在 0.05 g/kg、0.1 g/kg、0.2 g/kg 添加量时活性显著降低($P<0.05$)。十二指肠蛋白酶和淀粉酶分别在 0.05 g/kg 和 0.1 g/kg 姜黄素组活性显著升高($P<0.05$)。血清丙二醛(MDA)含量在 0.025 g/kg 时显著降低($P<0.05$), 过氧化氢酶(CAT)活性在 0.025 g/kg 时显著高于对照组($P<0.05$)。随着姜黄素的添加, 杂交鲟幼鱼肠道结构有所改善。综上所述, 饲料中添加姜黄素能改善杂交鲟幼鱼的健康状态, 对鱼体具有降脂、护肝、促进消化和提高抗氧化能力等作用, 姜黄素的建议添加量为 0.025~0.05 g/kg。

关键词: 杂交鲟; 姜黄素; 代谢酶; 抗氧化功能

中图分类号: S961

文献标志码: A

文章编号: 1005–8737–(2023)01–0037–11

水产品作为优质蛋白源已被人们广泛认可和消费, 在全球食品市场也占据了更多的份额^[1]。在此背景下, 水产养殖业得到了进一步发展, 更多鱼类实现规模化养殖, 促进了产业的经济效益。然而, 水产养殖在大规模集约化养殖的形势下也面临许多压力, 如饲料营养不平衡、喂养不合理等问题, 对鱼体的健康和品质造成了许多负面影响, 导致鱼体脂肪异常沉积, 抵抗力下降等, 甚至造成鱼类死亡而导致经济损失^[2–9]。为了改善养殖现状、促进鱼体健康, 研究发现使用植物提取物可以平衡水产动物饲料中的营养成分, 增强鱼体抵抗力^[9–10]。植物提取物作为饲料添加剂用以改善养殖动物的健康状况在畜禽中已有较多的研究和应用^[5,11–12], 然而在水产饲料中的研究相对

落后。

姜黄素是一种从姜黄根茎中提取的天然黄色色素, 具有抗炎、抗氧化、抗血管生成和抑制肿瘤生长、降血脂等生物功效^[13–15]。在人类等哺乳动物中, 姜黄素已被证实可以减轻肥胖者的体重, 改善肝健康^[14,16–17], 预防和治疗糖尿病及其并发症^[18–19]。在肉鸡日粮中补充姜黄素对肉鸡的生长性能具有积极影响, 促进细胞抗炎作用, 提高抗氧化能力, 减少脂质过氧化和蛋白质氧化, 提高肉中多不饱和脂肪酸比例^[20–21]。在鱼类中, 有研究表明, 鲫(*Carassius auratus*)和罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)饲料里补充姜黄素可以提高消化酶活性^[22–23], 改善罗非鱼的生长性能, 增加抗氧化能力, 降低体脂含量^[23–25], 增强免疫力,

收稿日期: 2022-11-01; 修订日期: 2022-11-14.

基金项目: 现代农业产业技术体系专项(CARS-46); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(YFI20220802).

作者简介: 董凯玥(1998–), 女, 硕士研究生, 从事水产动物营养与饲料研究. E-mail: 769762665@qq.com

通信作者: 李创举, 研究员, 研究方向为水产动物营养需求与饲料. E-mail: lcj@yfi.ac.cn

改善斗鱼鱼鳞的颜色^[26]。因此,姜黄素作为鱼类饲料添加剂具有重要的研究意义和应用前景。

鲟鱼营养和经济价值较高,近年来养殖规模日益增长,但集约化的养殖模式也使鲟鱼养殖业面临一系列的问题,如营养不良、抗病能力弱、肉质及鱼卵质量下降等问题制约着鲟鱼产业的健康发展^[27-31]。在对鲟鱼的研究中发现,肌肉注射姜黄素(0.04%)能提高鲟鱼的免疫力,维持肝、肾和肠道的正常组织形态^[32]。然而,关于姜黄素在鲟鱼饲料中的添加应用还缺乏足够的研究。本研究以杂交鲟(*Acipenser baeri*♂×*Acipenser schrenckii*♀)为研究对象,在饲料中添加了不同水平的姜黄素,通过对生长性能、血清和组织生物化学、消化酶、组织切片形态等的检测,评估饲料中添加姜黄素对杂交鲟生长和健康的影响,为鲟鱼饲料中姜黄素的添加提供理论依据,助力鲟鱼养殖产业健康发展。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

通过在基础饲料中加入 0 g/kg、0.025 g/kg、0.05 g/kg、0.01 g/kg 和 0.2 g/kg 的姜黄素,配制 5 种不同的等氮实验饲料,基础饲料配方见表 1。本研究使用的姜黄素由西安飞达生物科技有限公司提供(纯度>95%)。将所有原料经过粉碎、过筛后按比例逐级添加混合,使用食品搅拌机(广东利丰投资集团有限公司,广州)搅拌均匀,最后加入油和适量的水制成湿度适宜的预混料,用孔径 3 mm 的自动渔饵机(山东恒丰机械有限公司,山东东营)制粒,并进行干燥(75℃,15 min,带式干燥机,DW 型,常州苏式干燥设备有限公司)。将干燥后的饲料放至阴凉处晾干,用塑料袋密封后储存在-20℃冰箱备用。

1.2 实验设计及养殖管理

1.2.1 实验设计 实验鱼购买自荆州市渔都特种水产养殖有限公司,并在该公司基地室内流水养殖系统进行养殖实验。实验开始前将杂交鲟(*Acipenser baeri*♂×*Acipenser schrenckii*♀)幼鱼转入聚乙烯养殖桶中,并饲喂自制基础饲料驯化实验鱼,使其适应饲料和养殖环境。暂养 2 周后,挑

表 1 基础饲料组成及营养水平
Tab. 1 Composition and nutrient levels of the basal diet
%(干物质 dry matter)

原料 ingredient	含量 control
鱼粉 fish meal	38.75
血浆蛋白粉 plasma protein powder	8
菜粕 rapeseed meal	5
豆粕 soybean meal	15
面粉 wheat flour	15
花生粕 peanut meal	5
米糠 rice bran	2
豆油 soybean oil	6.5
维生素 vitamin premix ¹	1
矿物质 mineral premix ²	1
膨润土 bentonite	1
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.5
营养成分 nutrient levels	
粗蛋白 crude protein	45.43
粗脂肪 crude lipid	10.97
灰分 ash	12.98

注: 1. 维生素预混料为每千克饲料提供: 维生素 B₁ 50 mg, 维生素 B₂ 200 mg, 维生素 B₆ 50 mg, 维生素 B₁₂ 20 mg, 叶酸 15 mg, 维生素 C 325 mg, 泛酸钙 400 mg, 肌醇 1500 mg, D-生物素 5 mg, 维生素 A 2.5 mg, 维生素 E(50%) 100 mg, 维生素 D₃ 2 mg, 维生素 K₃ 20 mg, 烟酸 750 mg.
2. 矿物质预混料为每千克饲料提供: NaCl 500 mg, KH₂PO₄ 1350 mg, MgSO₄·7H₂O 1500 mg, KI 1.5 mg, CoSO₄·6H₂O 2.5 mg, CuSO₄·5H₂O 15 mg, ZnSO₄·7H₂O 175 mg, FeSO₄·7H₂O 1250 mg, MnSO₄·4H₂O 80 mg, Na₂SeO₃ 1 mg.
Note: 1. The vitamin premix provided the following per kg of diets: VB₁ 50 mg, VB₂ 200 mg, VB₆ 50 mg, VB₁₂ 20 mg, folic acid 15 mg, VC 325 mg, calcium pantothenate 400 mg, inositol 1500 mg, D-biotin 5 mg, VA 2.5 mg, VE(50%) 100 mg, VD₃ 2 mg, VK₃ 20 mg, nicotinic acid 750 mg.
2. The mineral premix provides the following per kg of diets: NaCl 500 mg, KH₂PO₄ 1350 mg, MgSO₄·7H₂O 1500 mg, KI 1.5 mg, CoSO₄·6H₂O 2.5 mg, CuSO₄·5H₂O 15 mg, ZnSO₄·7H₂O 175 mg, FeSO₄·7H₂O 1250 mg, MnSO₄·4H₂O 80 mg, Na₂SeO₃ 1 mg.

选 300 尾规格一致、健康无损、体重约(16.24±0.11) g 的实验鱼,随机分配到 15 个圆形聚乙烯养殖桶(直径 0.78 m,高 0.3 m,容量为 140 L),每桶 15 尾鱼。实验设 5 个处理组,每组 3 个重复。养殖周期为 6 周。

1.2.2 养殖管理 实验期间采用表观饱食投喂法,每天投喂 3 次,投喂时间分别为 7:00,12:00,18:00,每次投喂结束后进行换水排污,每次换水量为总水量的 1/3。每天记录实验鱼摄食和死亡情况,每 2 周对鱼体重进行称量并记录。养殖用水为充分

曝气的地下水, 养殖期间水温约 20 ℃, 溶氧 >7 mg/L, pH 7.6~8.0, 氨氮<0.10 mg/L, 亚硝酸盐 <0.05 mg/L。

1.3 样品采集

养殖 6 周后, 对实验鱼禁食 24 h 后采样。从每个桶中随机选取 3 尾鱼, 用间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐(MS-222)进行麻醉。麻醉后, 测量鱼的体重和体长, 然后用 1 mL 注射器通过尾部静脉采集每尾鱼的血液。采集的血液在 4 ℃下放置 2 h 后, 以 3000 r/min 离心 15 min, 然后分离上清液, -80 ℃保存待用。采血后解剖鱼体, 分离内脏和肝, 称重。取相同部位肝和肠, 置于多聚甲醛中以制备组织切片, 收集另一部分肝和肠样品, 在 -80 ℃下保存备用, 用于分析抗氧化和生化分析。另外从每个桶中随机抽取 3 尾鱼用于测定全鱼的常规营养成分, 称重并计入总重。最后, 对每桶中剩余的鱼进行计数和称重。

1.4 指标测定与分析方法

1.4.1 计算公式 按以下公式计算存活率(survival rate, SR)、特定生长率(specific growth rate, SGR)和饲料系数(feed conversion ratio, FCR):

$$\text{存活率(SR, \%)} = 100\% \times N_t / N_0$$

$$\text{特定生长率(SGR, \% / d)} = \{[\ln(W_f) - \ln(W_i)] / d\} \times 100\%$$

$$\text{日摄食量(daily feed intake, FI, \% BW / d)} = I_T / [(W_i + W_f) / 2 \times t] \times 100\%$$

$$\text{饲料系数(FCR)} = (W_f - W_i) / W_i$$

式中, N_t 、 N_0 分别表示实验结束后鱼尾数和实验开始时鱼尾数, I_T 代表总摄食饲料干重(g), W_f 、 W_i 和 W_i 分别表示鱼的终末体重(g)、鱼的初始体重(g)和实验期间摄入饲料量(g), d 表示实验天数, L 表示体长(cm)。

1.4.2 营养成分测定 水分含量测定采用 105 ℃干燥法(GB/T 5009.3-2003), 粗蛋白含量测定采用凯氏定氮法(GB/T 5009.5-2003), 粗脂肪含量测定采用索式抽提法(GB/T 5009.6-2003), 粗灰分测定采用 550 ℃灼烧称重法(GB/T 5009.4-2003)。

1.4.3 样品生化指标测定 生化指标中血糖(Glu-G)、谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)、总胆固醇(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)和碱

性磷酸酶(ALP)由全自动生化分析仪(BS-460, 深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司)测定。抗氧化指标中超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)和过氧化氢酶(CAT), 肠道消化酶中蛋白酶、脂肪酶(LIP)和 α -淀粉酶(α -AMY)均采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定, 操作步骤详见试剂盒说明书。

1.4.4 组织切片测定 十二指肠组织标本在 4% 多聚甲醛中固定 24 h, 经过乙醇逐级脱水、二甲苯透明、石蜡包埋、切片(厚度 6 μ m)、苏木精-伊红(HE)染色、脱水、透明、中性树脂封片。十二指肠组织切片采用光学显微镜(40 $\times$)观察, 并使用成像系统进行成像和图像采集。

1.5 数据处理及统计分析方法

所有数据由 Excel 2019 整理后, 用 SPSS 22.0 软件统计分析进行单因素方差分析(one-way ANOVA), 采用 Turkey 法进行多重比较。结果均以平均值 $\pm$ 标准误($\bar{x} \pm SD$)表示, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 饲料中添加姜黄素对杂交鲟幼鱼生长性能的影响

用含有不同添加水平的姜黄素的饲料饲养杂交鲟幼鱼 6 周后, 杂交鲟生长指标未出现显著性差异(表 2)。饲料中添加姜黄素对杂交鲟幼鱼的特定生长率、摄食量和存活率没有显著性影响。

2.2 饲料添加姜黄素对杂交鲟幼鱼体成分的影响

如表 3 所示, 饲料中添加姜黄素后, 杂交鲟幼鱼的水分、灰分和粗蛋白在各组间没有差异($P > 0.05$)。而鱼体脂肪含量随着姜黄素添加量增加呈下降趋势, 但各组间未出现统计学差异($P > 0.05$)。

2.3 饲料中添加姜黄素对杂交鲟幼鱼血清生化指标的影响

血清生化指标见表 4。随着姜黄素添加量的增加, 血清 TG 含量呈降低趋势, 在 0.2 g/kg 处理组显著低于对照组($P < 0.05$)。添加姜黄素未对杂交鲟幼鱼血清中 Glu-G、ALT 水平产生影响。血清 AST 活性在姜黄素添加水平达到或高于 0.05 g/kg 时表现出下降趋势, 但差异不显著。血清中 LDL-C 水平有所下降, 但与对照组没有显著性差异。

表 2 不同姜黄素添加量对杂交鲟幼鱼生长性能的影响
Tab. 2 Effect of different curcumin level on growth performance of juvenile hybrid sturgeon

n=3; $\bar{x} \pm \text{SE}$

项目 item	饲料姜黄素水平/(g/kg) dietary curcumin level				
	0	0.025	0.05	0.1	0.2
平均初始体重 IBW/g	15.96±0.14	16.00±0.09	16.08±0.07	15.99±0.04	16.10±0.25
平均终末体重 FBW/g	78.07±3.57	78.24±4.96	77.72±0.58	76.08±1.87	79.12±6.13
特定生长率 SGR/(%/d)	3.74±0.10	3.72±0.19	3.75±0.13	3.71±0.05	3.73±0.19
平均日摄食量 FI/(%BW/d)	2.24±0.04	2.16±0.08	2.14±0.02	2.20±0.06	2.09±0.08
存活率 SR/%	98.33±1.67	96.75±1.63	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00

表 3 不同姜黄素添加量对杂交鲟幼鱼体成分的影响
Tab. 3 Effect of different curcumin level on the body composition of juvenile hybrid sturgeon
%; n=3; $\bar{x} \pm \text{SE}$ (湿物质 wet matter)

项目 item	饲料姜黄素水平/(g/kg) dietary curcumin level				
	0	0.025	0.05	0.1	0.2
水分 moisture	79.91±0.35	79.72±0.34	79.63±0.43	79.46±0.67	78.78±0.96
粗脂肪 ether extract	4.32±0.28	4.65±0.42	3.64±0.60	3.31±0.09	3.57±0.35
粗灰分 ash	2.63±0.11	2.66±0.36	3.37±0.57	3.42±0.20	3.31±0.14
粗蛋白 crude protein	12.41±0.02	12.46±0.32	12.67±0.07	12.47±0.32	12.50±0.34

表 4 不同姜黄素添加量对杂交鲟幼鱼血清生化指标的影响
Tab. 4 Effect of different curcumin level on serum biochemical parameters of juvenile hybrid sturgeon

n=3; $\bar{x} \pm \text{SE}$

项目 item	饲料姜黄素水平/(g/kg) dietary curcumin level				
	0	0.025	0.05	0.1	0.2
Glu-G/(mmol/L)	1.80±0.32	2.10±0.12	2.14±0.20	2.03±0.18	1.64±0.07
ALT/(U/L)	126.47±11.37	115.30±3.90	128.10±11.00	113.80±7.03	111.80±2.00
AST/(U/L)	582.90±30.96	587.60±11.73	463.40±55.07	477.67±70.77	513.65±59.85
TG/(mmol/L)	12.68±1.34 ^b	11.91±2.53 ^b	8.60±1.11 ^{ab}	12.62±0.66 ^b	2.16±0.49 ^a
LDL-C/(mmol/L)	1.57±0.24	1.30±0.12	1.28±0.14	1.33±0.02	1.31±0.15

注: Glu-G: 血糖, ALT: 谷丙转氨酶, AST: 谷草转氨酶, TG: 甘油三酯, LDL-C: 低密度脂蛋白胆固醇同行数据具有不同小写字母标, 表示组间差异显著($P<0.05$).
Note: Glu-G: blood glucose, ALT: alanine transaminase, AST: aspartate aminotransferase, TG: triglyceride, LDL -C: low-density lipoprotein cholesterol. Data in the same raw with different letter indicates that the difference between groups is significant ($P<0.05$).

2.4 饲料中添加姜黄素对杂交鲟幼鱼代谢酶和糖原的影响

饲料中添加姜黄素对杂交鲟幼鱼肝 ALT 和 AST 活性有抑制作用(表 5)。肝 ALT 活性随着姜黄素添加水平的升高逐渐降低, 在最高添加组(0.2 g/kg)显著低于对照组和低浓度添加组(0.025 g/kg)($P<0.05$)。当饲料中姜黄素添加水平达到 0.05 g/kg 时, 杂交鲟幼鱼肝中 AST 活性出现显著性降低($P<0.05$), 且随着姜黄素含量进一步的升高, AST 活性也表现出逐步降低的趋势。而肝糖原含量在各组间没有显著性差异。十二指肠

中蛋白酶和淀粉酶活性均随着饲料中姜黄素水平的增加呈先升高后降低的趋势, 分别在 0.05 g/kg 和 0.1 g/kg 的添加水平时具有最高活性, 且显著高于对照组($P<0.05$)。饲料中姜黄素的添加水平对十二指肠脂肪酶活性和肌肉中肌糖原含量没有显著影响。

2.5 饲料中添加姜黄素对杂交鲟抗氧化性能的影响

饲料中添加姜黄素对实验鱼血清、肝脏和十二指肠抗氧化指标的影响见表 6。饲料中添加姜黄素降低血清中 MDA 水平、提高 CAT 活性,

表 5 不同姜黄素添加量对杂交鲟幼鱼代谢酶和糖原的影响

Tab. 5 Effect of different curcumin level on the metabolic enzymes and glycogen of juvenile hybrid sturgeon

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

项目 item	饲料姜黄素水平/(g/kg) dietary curcumin level				
	0	0.025	0.05	0.1	0.2
肝 liver					
ALT/(U/mg protein)	111.75±10.25 ^b	105.70±3.70 ^b	88.64±4.76 ^{ab}	84.89±3.69 ^{ab}	72.90±0.14 ^a
AST/(U/mg protein)	1181.55±6.12 ^d	1072.15±8.35 ^{cd}	1000.70±0.30 ^{bc}	874.33±33.89 ^{ab}	830.20±29.40 ^a
glycogen/(mg/g)	30.20±2.37	31.23±0.24	30.81±1.05	33.48±2.11	30.85±2.49
十二指肠 duodenum					
protease/(U/mg protein)	62.01±2.58 ^a	75.61±10.88 ^a	125.01±12.61 ^b	72.22±5.38 ^a	64.09±10.62 ^a
LIP/(U/mg protein)	4.40±1.80	2.56±0.10	3.47±1.05	3.44±0.03	3.10±0.55
α-AMY/(U/mg protein)	2.00±0.25 ^a	5.66±1.40 ^{ab}	10.74±5.63 ^{ab}	14.37±0.61 ^b	5.54±2.20 ^{ab}
肌肉 muscle					
glycogen/(mg/g)	5.65±0.30	5.76±0.68	6.37±0.16	5.45±0.12	5.54±0.11

注: ALT-谷丙转氨酶, AST-谷草转氨酶, LIP-脂肪酶, α-AMY-α-淀粉酶, glycogen-糖原, protease-蛋白酶. 同行数据具有不同小写肩标, 表示组间差异显著($P<0.05$).

Note: ALT-alanine transaminase, AST-aspartate aminotransferase, LIP-lipase, AMY-amylase.

Data in the same raw with different letter indicates that the difference between groups is significant ($P<0.05$).

表 6 不同姜黄素添加量对杂交鲟幼鱼抗氧化剂指标的影响

Tab. 6 Effect of different curcumin level on the antioxidant enzymes of juvenile hybrid sturgeon

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

项目 item	饲料姜黄素水平/(g/kg) dietary curcumin level				
	0	0.025	0.05	0.1	0.2
血清 serum					
MDA/(ng/mL)	5.86±0.74 ^b	3.55±0.36 ^a	4.28±0.37 ^{ab}	4.50±0.46 ^{ab}	4.15±0.47 ^{ab}
SOD/(U/L)	20.50±0.27	23.34±2.43	21.12±0.24	21.65±1.23	17.36±1.49
CAT/(U/L)	154.53±4.55 ^a	387.25±16.54 ^b	228.00±20.16 ^{ab}	213.07±41.28 ^a	140.03±2.15 ^a
肝 liver					
MDA/(nmol/mg protein)	72.23±3.05	72.94±4.90	59.70±8.77	53.70±8.77	56.57±6.87
SOD/(U/mg protein)	67.58±2.71	61.47±12.47	72.54±19.06	72.85±6.11	76.34±4.75
CAT/(U/mg protein)	98.74±19.89 ^a	184.29±6.70 ^{ab}	227.82±31.87 ^b	130.64±5.91 ^{ab}	104.37±7.35 ^a
十二指肠 duodenum					
MDA/(nmol/mg protein)	31.79±4.73	24.31±1.22	22.74±5.66	27.35±0.58	25.66±5.56
SOD/(U/mg protein)	31.83±1.82	40.85±9.71	32.44±2.04	40.46±5.04	42.83±3.17
CAT/(U/mg protein)	97.32±19.90	142.75±12.40	102.75±4.46	102.57±16.92	130.61±28.86

注: MDA: 丙二醛, SOD: 超氧化物歧化酶, CAT: 过氧化氢酶.同行数据具有不同小写肩标, 表示组间差异显著($P<0.05$).

Note: MDA: Malondialdehyde, SOD: Superoxide dismutase, CAT: Catalase.

Data in the same raw with different letter indicates that the difference between groups is significant ($P<0.05$).

0.025 g/kg 的添加组与对照组表现出显著性差异, 具有最低 MDA 含量和最高 CAT 活性($P<0.05$), 血清 SOD 活性在 0.025 g/kg 的处理组中有所升高, 但各组间没有出现显著性差异。饲料中姜黄素添加水平达 0.05 g/kg 时, 肝中 MDA 含量有所下降, SOD 和 CAT 活性上升, 但与对照组相比, 只有 CAT 活性出现显著性差异($P<0.05$)。十二指

肠中 MDA 含量、SOD 和 CAT 活性与血清和肝脏中的变化趋势一致, 但各组间均没有出现显著差异。

2.6 饲料中添加姜黄素对杂交鲟十二指肠的形态结构的影响

在用含姜黄素的饲料饲养杂交鲟幼鱼 6 周后, 杂交鲟肠道组织形态结构得到改善。对照组肠道

绒毛排列欠佳, 出现绒毛粘连、细胞坏死。而随着姜黄素的添加, 十二指肠的肠道结构有所改善, 病理异常现象有所减少, 具体表现为: 小肠绒毛

结构清晰, 绒毛粘连较少, 肌层厚度较均匀, 且肠道肌层厚度有所增加, 以 0.025、0.1 g/kg 组肌层厚度增加最明显(图 1)。

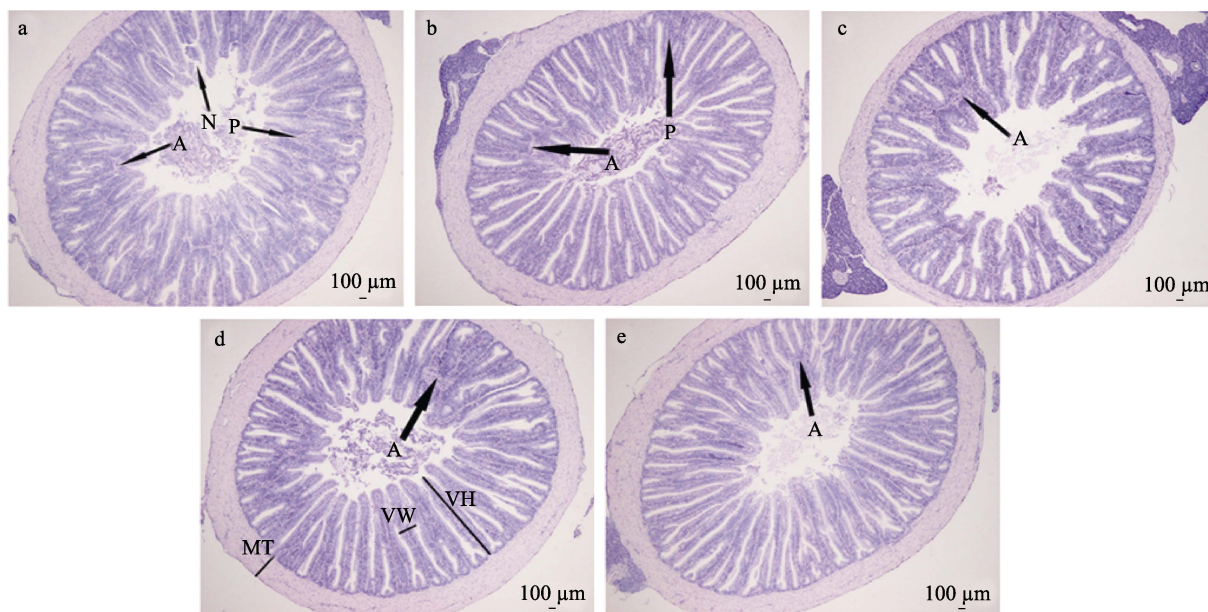


图 1 十二指肠的组织结构(HE)

- a. 姜黄素添加 0 g/kg 组; b. 姜黄素添加 0.025 g/kg 组; c. 姜黄素添加 0.05 g/kg 组; d. 姜黄素添加 0.1 g/kg 组; e. 姜黄素添加 0.2 g/kg 组. VH. 绒毛高度; VW. 绒毛宽度; MT. 肌层厚度; N. 坏死; A. 粘连; P. 增生。

Fig. 1 Histological structure of the duodenum (HE)

- a. Curcumin added 0 g/kg group; b. Curcumin added 0.025 g/kg group; c. Curcumin added 0.05 g/kg group; d. Curcumin added 0.1 g/kg group; e. Curcumin added 0.2 g/kg group. VH. villus height; VW. villus width; MT. muscles thickness; N. necrotic; A. Adhesions; P. proliferation scale.

3 讨论

3.1 饲料添加姜黄素对杂交鲟幼鱼生长和生化指标的影响

饲料中添加姜黄素对鱼类的生长影响在不同的研究中具有不同的结论。在对鲫(*Carassius auratus*)^[22]、武昌鱼(*Megalobrama amblycephala*)^[33]和尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[26]的研究中发现, 姜黄素的添加对鱼体的生长性能有显著性影响。然而大菱鲆中的研究中发现, 姜黄素对大菱鲆幼鱼的生长没有产生影响^[34], 这与本研究结果一致。本实验结果表明, 在饲料中添加不同水平的姜黄素对杂交鲟幼鱼的生长性能没有造成明显差异。这些实验结果的不同, 可能与实验鱼的大小和种类、饲料成分、养殖环境和养殖周期有关。

已有研究表明, 姜黄素能够预防和治疗糖尿病

及其并发症^[18-19], 具有降血糖和降脂功效^[23-25,35]。

在本研究中, 用添加姜黄素的饲料饲养杂交鲟幼鱼 6 周后, 鱼体粗脂肪出现了下降趋势, 但未出现显著性差异, 这可能与养殖周期有关。血清结果显示, 血清 TG 含量在饲料中姜黄素添加量为 0.2 g/kg 的处理组出现显著降低。血清 TG 主要在肝合成, 其水平反映了肝的脂肪代谢能力^[36-37]。LDL-C 是 TG 的主要载体之一, LDL-TG 的水平升高是判断糖尿病的标准之一, 与血糖血脂含量息息相关, 临床中糖尿病患者血清 TG 和 LDL-TG 的含量均高于正常受试者, 兼有血糖血脂异常升高情况^[38-39]。姜黄素已被证实可通过促进胰岛素分泌和促进胰岛素增敏 2 种方式改善胰岛素抵抗, 起到降血糖的作用^[40]。HDL-C 和 LDL-C 反映脂类在体内转运情况, LDL-C 下降有利于降低血脂水平^[41-42]。在临床研究中发现, 降脂可能依赖于

含载脂蛋白颗粒数量的降低, 而载脂蛋白颗粒多指富含胆固醇的 LDL 或富含 TG 的极低密度脂蛋白(very low density lipoprotein, VLDL)^[43]。研究发现, 在黄颡鱼饲料中添加姜黄素能显著降低血清中的 TG 和 LDL-C 水平^[44]。本实验添加姜黄素 0.2 g/kg 使杂交鲟血清 Glu-G 的水平下降, 血清 TG 含量显著降低, 可减少体内 LDL-TG 的水平, 从而达到降血糖、降血脂功效。因此, 该研究结果表明, 饲料中添加姜黄素可以降低鱼的体脂水平, 改善血脂状态, 在杂交鲟幼鱼中具有一定的降血糖、降血脂潜力。

ALT 和 AST 是反映肝细胞线粒体和细胞质健康状况的重要酶, 通常在组织液中含量不高。当肝受损时细胞通透性增加, 导致转氨酶 ALT、AST 转移到血液中^[45]。因此, ALT、AST 的活性通常作为指示肝健康的重要指标。在本实验中, 日粮添加姜黄素后肝 ALT 和 AST 活性出现显著性下降; 对血清 AST、ALT 活性没有产生显著影响, 表明姜黄素可以防止细胞通透性的增加, 抑制 AST, ALT 从肝中外溢, 保护肝脏健康。

3.2 饲料中添加姜黄素对杂交鲟幼鱼消化酶和肠道健康的影响

消化酶在消化营养物质中起着关键作用, 其活性直接反映了机体的消化能力^[46-47]。已研究结果表明, 在饲料中添加姜黄素可提高草鱼(*Cyprinus carpio*)、鲫(*Cyprinus carpio*)和罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)肠道蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶的活性^[22-23,48-49]。本研究结果显示, 杂交鲟在姜黄素添加量分别为 0.05 g/kg 和 0.1 g/kg 时肠道蛋白酶和淀粉酶活性得到显著提高。该结果表明, 在杂交鲟幼鱼的饲料中添加姜黄素可以提高鱼体肠道消化酶的活性, 从而促进对饲料中营养物质的消化和吸收。同时结合肠道切片结果显示, 随着姜黄素在杂交鲟饲料中的添加, 十二指肠的绒毛排列整齐, 肌层厚度增厚(图 1)。肠道的绒毛长度和肌层厚度是评价机体对营养物质消化和吸收能力的常见指标, 绒毛长度越长, 吸收营养物质的能力越强, 肌层厚度越厚, 消化能力越强^[50]。因此, 本研究结果表明, 姜黄素能够改善杂交鲟

肠道结构, 提高消化酶活性, 促进肠道对营养物质的吸收和消化能力。

3.3 饲料中添加姜黄素对杂交鲟幼鱼抗氧化能力的影响

抗氧化系统能够防止细胞坏死和死亡, 在平衡活性氧水平方面起着至关重要的作用, 鱼类抗氧化系统中, 由 SOD、CAT 等抗氧化酶对清除活性氧自由基起着决定性作用^[51]。SOD 通过连续氧化还原过渡金属离子和活性较低的 H_2O_2 , 以极高的反应速率催化 O_2^- 歧化为 O_2 ; CAT 能有效地促进过氧化氢(H_2O_2)转化为水和分子氧(O_2); MDA 反映了机体的氧化损伤程度, 与 SOD 和 CAT 一起成为机体抗氧化能力的重要标志物^[47]。已有研究表明, 姜黄素的使用能提高鲫肠道, 鲤和大鼠肝的抗氧化能力^[22,26,52-54]。在本实验中发现, 饲料中添加姜黄素能降低血清 MDA 含量, 提高血清和肝脏 CAT 活性。血清和肝脏分别在姜黄素添加水平为 0.025 和 0.05 g/kg 时具有最低 MDA 含量和最高 CAT 活性, 表明姜黄素可以提高杂交鲟血清和肝的抗氧化能力, 降低机体的氧化应激水平。在对鲫和尼罗罗非鱼分别进行 105 d 和 84 d 的养殖后发现, 姜黄素可显著提高鱼类肠道的抗氧化能力^[22,26], 然而在本研究中, 肠道的抗氧化性能有所改善, 但并未受到姜黄素添加水平的显著影响, 这可能与鱼的种类、大小和养殖周期有关。研究结果显示, 血清和肝中抗氧化指标出现显著性差异, 而肠道中没有受到显著影响, 且反映出的姜黄素最佳添加量在肝(0.05 g/kg)中高于血清(0.025 g/kg), 表明血液和肝脏是机体抗氧化系统发挥作用的主要部位, 且血液的反应更为灵敏。因此, 本研究结果表明, 姜黄素的添加能增强鱼体抗氧化能力, 减轻鱼体的氧化损伤。

4 结论

综上所述, 本研究表明, 在为期 6 周的养殖实验中, 饲料添加 0.025~0.2 g/kg 姜黄素不影响杂交鲟幼鱼的生长。添加姜黄素能改善杂交鲟幼鱼的健康状态, 对鱼体具有降脂、护肝、促进消化和提高抗氧化能力等作用, 且在添加水平为 0.025~0.05 g/kg 时便可达到功效。

参考文献:

- [1] Ahmed N, Thompson S. The blue dimensions of aquaculture: A global synthesis[J]. Science of The Total Environment, 2019, 652: 851-861.
- [2] Du Z Y. Energy budget imbalance in farmed fish: Dilemma and solutions[J]. IEEE Spectrum, 2018, 6:90-91. [杜震宇. 养殖鱼类的能量收支失衡: 困境与解决策略[J]. 科技纵览, 2018(6): 90-91.]
- [3] Cheng H L, Xia D Q, Wu T T. Fish lipid metabolism regulation and fatty liver[J]. Journal of Animal Nutrition, 2006(4): 294-298. [程汉良, 夏德全, 吴婷婷. 鱼类脂类代谢调控与脂肪肝[J]. 动物营养学报, 2006(4): 294-298.]
- [4] Fishelson L. Cytomorphological alterations of the thymus, spleen, head-kidney, and liver in cardinal fish (*Apogonidae*, *Teleostei*) as bioindicators of stress[J]. Journal of Morphology, 2006, 267(1): 57-69.
- [5] Ramezani F, Shekarabi S P H, Mehrgan M S, et al. Supplementation of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) diet with barberry (*Berberis vulgaris*) fruit extract: Growth performance, hemato-biochemical parameters, digestive enzyme activity, and growth-related gene expression[J]. Aquaculture, 2021, 540: 736-750.
- [6] Nanton D, Lall S, Mcniven M A. Effects of dietary lipid level on liver and muscle lipid deposition in juvenile haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L.[J]. Aquaculture Research, 2001, 32(1): 225-234.
- [7] Xu J H, Qin J, Yan B L, et al. Effects of dietary lipid levels on growth performance, feed utilization and fatty acid composition of juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) reared in seawater[J]. Aquaculture International, 2011, 19(1): 79-89.
- [8] Cao X F, Dai Y J, Liu M Y, et al. High-fat diet induces aberrant hepatic lipid secretion in blunt snout bream by activating endoplasmic reticulum stress-associated IRE1/XBP1 pathway[J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular & Cell Biology of Lipids, 2019, 1864(3): 213-223.
- [9] Reverter M, Bontemps N, Lecchini D, et al. Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: Current status and future perspectives[J]. Aquaculture, 2014, 433: 50-61.
- [10] Dawood M A, Koshio S, Esteban M Á. Beneficial roles of feed additives as immunostimulants in aquaculture: a review[J]. Reviews in Aquaculture, 2018, 10(4): 950-974.
- [11] Yin Y L, Huang P, Zhou Y J, et al. Motivation of plant extracts to healthy breeding through inflammation control[J]. Feed Industry, 2022, (2): 1-7. [印遇龙, 黄鹏, 周应军, 等. 植物提取物通过炎症控制实现健康养殖[J]. 饲料工业, 2022, (2): 1-7.]
- [12] Bazari Moghaddam S, Haghighi M, Sharif Rohani M, et al. The effects of different levels of Aloe vera extract on some of the hematological and non-specific immune parameters in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*)[J]. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 2017, 16(4): 1234-1247.
- [13] Xie Z, Shen G, Wang Y, et al. Curcumin supplementation regulates lipid metabolism in broiler chickens[J]. Poultry Science, 2019, 98(1): 422-429.
- [14] Bradford P G. Curcumin and obesity[J]. Biofactors, 2013, 39(1): 78-87.
- [15] Rauf A, Imran M, Orhan I E, et al. Health perspectives of a bioactive compound curcumin: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 74: 33-45.
- [16] Zingg J M, Hasan S T, Cowan D, et al. Regulatory effects of curcumin on lipid accumulation in monocytes/macrophages[J]. Journal of Cellular Biochemistry, 2012, 113(3): 833-840.
- [17] Ding L, Li J, Song B, et al. Curcumin rescues high fat diet-induced obesity and insulin sensitivity in mice through regulating SREBP pathway[J]. Toxicology & Applied Pharmacology, 2016, 304: 99-109.
- [18] Soetikno V, Sari F R, Sukumaran V, et al. Curcumin decreases renal triglyceride accumulation through AMPK-SREBP signaling pathway in streptozotocin-induced type 1 diabetic rats[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2013, 24(5): 796-802.
- [19] Pan Y, Zhao D, Yu N, et al. Curcumin improves glycolipid metabolism through regulating peroxisome proliferator activated receptor γ signalling pathway in high-fat diet-induced obese mice and 3T3-L1 adipocytes[J]. Royal Society Open Science, 2017, 4(11): 170917.
- [20] Galli G M, Griss L G, Boiago M M, et al. Effects of curcumin and yucca extract addition in feed of broilers on microorganism control (anticoccidial and antibacterial), health, performance and meat quality[J]. Research in Veterinary Science, 2020, 132: 156-166.
- [21] Zhang J, Bai K W, He J, et al. Curcumin attenuates hepatic mitochondrial dysfunction through the maintenance of thiol pool, inhibition of mtDNA damage, and stimulation of the mitochondrial thioredoxin system in heat-stressed broilers[J]. Journal of Animal Science, 2018, 96(3): 867-879.
- [22] Jiang J, Wu X Y, Zhou X Q, et al. Effects of dietary curcumin supplementation on growth performance, intestinal digestive enzyme activities and antioxidant capacity of crucian carp *Carassius auratus*[J]. Aquaculture, 2016, 463: 174-180.
- [23] Midhun S J, Arun D, Edatt L, et al. Modulation of digestive

- enzymes, GH, IGF-1 and IGF-2 genes in the teleost, Tilapia (*Oreochromis mossambicus*) by dietary curcumin[J]. Aquaculture International, 2016, 24(5): 1277-1286.
- [24] Alagawany M, Farag M R, Abdelnour S A, et al. Curcumin and its different forms: A review on fish nutrition[J]. Aquaculture, 2021, 532: 736030.
- [25] Amer S A, El-Araby D A, Tartor H, et al. Long-Term feeding with curcumin affects the growth, antioxidant capacity, immune status, tissue histoarchitecture, immune expression of proinflammatory cytokines, and apoptosis indicators in Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*[J]. Antioxidants, 2022, 11(5): 937.
- [26] Mahmoud H K, Al-Sagheer A A, Reda F M, et al. Dietary curcumin supplement influence on growth, immunity, antioxidant status, and resistance to *Aeromonas hydrophila* in *Oreochromis niloticus*[J]. Aquaculture, 2017, 475: 16-23.
- [27] Jiang N, Fan Y, Zhou Y, et al. Transcriptome analysis of *Aeromonas hydrophila* infected hybrid sturgeon (*Huso dauricus* × *Acipenser schrenckii*)[J]. Scientific Reports, 2018, 8: 1-18.
- [28] Bronzi P, Rosenthal H, Gessner J. Global sturgeon aquaculture production: An overview[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2011, 27(2): 169-175.
- [29] Chen X H, Li C J, Yang C G, et al. Status and prospects of techniques in the sturgeon aquaculture industry in China[J]. Freshwater Fisheries, 2017, 47(6): 108-112. [陈细华, 李创举, 杨长庚, 等. 中国鲟鱼产业技术研发现状与展望[J]. 淡水渔业, 2017, 47(6): 108-112.]
- [30] Wang B Y, Wang B, Chen W, et al. Current situation and developmental trend of sturgeon culture industry in China[J]. Open Journal of Fisheries Research, 2020, 7(2): 107-114. [王保友, 王斌, 陈玮, 等. 我国鲟鱼养殖产业现状及发展趋势[J]. 水产研究, 2020, 7(2): 107-114.]
- [31] Wu J P, Du H, Chen X H, et al. Effects of niacin on growth performance, muscle quality and antioxidant function of hybrid sturgeon juveniles[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(4): 406-413. [吴金平, 杜浩, 陈细华, 等. 烟酸对杂交鲟幼鱼生长性能、肌肉品质和抗氧化功能的影响[J]. 中国水产科学, 2020, 27(4): 406-413.]
- [32] Zare Salmasi A, Nazerian S, Taheri Mirghaed A, et al. The effect of the active ingredient of turmeric plant (*Curcuma longa* L.) on hematological parameters of beluga (*Huso huso*)[J]. Journal of Veterinary Research, 2019, 74(2): 199-208.
- [33] Xia S L, Ge X P, Liu B, et al. Effects of supplemented dietary curcumin on growth and non-specific immune responses in juvenile wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*)[J]. Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh, 2015, 67: 1-13.
- [34] Wang Y H, Wang Y Y, Mai K S, et al. Effects of dietary curcumin on growth performance, body composition and serum antioxidant enzyme activity in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(9): 1299-1308. [王雅慧, 王裕玉, 麦康森, 等. 饲料中添加姜黄素对大菱鲆幼鱼生长、体组成及抗氧化酶活力的影响[J]. 水产学报, 2016, 40(9): 1299-1308.]
- [35] Srinivasan M. Effect of curcumin on blood sugar as seen in a diabetic subject[J]. Indian Journal of Medical Sciences, 1972, 26(4): 269-270.
- [36] Zhao H X, Qiao G X, Huang Y H, et al. Effects of dietary N-carbamoylglutamate on growth performance, body composition, serum biochemical indices and Anti-Ammonia-Nitrogen stress ability of juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)[J]. Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(12): 5625-5634. [赵红霞, 乔国贤, 黄燕华, 等. 饲料添加 N-羧甲酰谷氨酸对黄颡鱼幼鱼生长性能, 体成分, 血清生化指标和抗氨氮应激能力的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(12): 5625-5634.]
- [37] Berge K, Musa-Veloso K, Harwood M, et al. Krill oil supplementation lowers serum triglycerides without increasing low-density lipoprotein cholesterol in adults with borderline high or high triglyceride levels[J]. Nutrition Research, 2014, 34(2): 126-133.
- [38] Ge J B, Xu Y J, Wang C, Internal Medicine[M], Version 9. Beijing: People's Medical Publishing House, 2020: 733. [葛均波, 徐永健, 王辰. 内科学(9版)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2020: 733.]
- [39] Wan S. Analysis of blood lipid test data in diabetic patients[J]. Diabetes New World, 2022, 25(3): 47-50. [万珊. 糖尿病患者血脂检验数据分析[J]. 糖尿病新世界, 2022, 25(03): 47-50.]
- [40] Liu J P, Guo X C, Tu Y, et al. Effects of octacosanol on growth performance, blood indexes, hypoxia tolerance of pengze crucian carp and environmental factors of aquaculture water[J]. Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(3): 1747-1754. [刘建平, 郭雄昌, 涂越, 等. 二十八烷醇对彭泽鲫生长性能、血液指标、耐缺氧能力以及养殖水体环境因子的影响[J]. 动物营养学报, 2021, 33(3): 1747-1754.]
- [41] Brizzi P, Tonolo G, Carusillo F, et al. Plasma lipid composition and LDL oxidation[J]. Clinical Chemistry and Laboratory Medicine, 2003, 41(1): 56-60.
- [42] Ference B A, Kastelein J J, Ray K K, et al. Association of triglyceride-lowering LPL variants and LDL-C-lowering LDLR variants with risk of coronary heart disease[J]. JAMA: Journal of the American Medical Association, 2019, 321(4): 369-379.

- 364-373.
- [43] Sruthi M, Nair A B, Arun D, et al. Dietary curcumin influences leptin, growth hormone and hepatic growth factors in tilapia (*Oreochromis mossambicus*)[J]. Aquaculture, 2018, 496: 105-111.
- [44] Gou M X, Lu A Q, Zhai J Y. The function and application of curcumin in the field of food[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(11): 264-268. [苟梦星, 卢安琪, 翟江洋. 姜黄素的功能特性及其在食品领域的应用现状[J]. 食品科技, 2021, 46(11): 264-268.]
- [45] Wojciech Figiel, Piotr Smoter, Maciej Krasnodębski, et al. Early postoperative transaminase activities affecting early and late liver graft survival[J]. Transplantation Proceedings, 2022, 54(4): 1021-1024.
- [46] Blier P, Pelletier D, Dutil J D. Does aerobic capacity set a limit on fish growth rate?[J]. Reviews in Fisheries Science, 1997, 5(4): 323-340.
- [47] Ling J, Feng L, Liu Y, et al. Effect of dietary iron levels on growth, body composition and intestinal enzyme activities of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *jian*)[J]. Aquaculture Nutrition, 2010, 16(6): 616-624.
- [48] Hu Z Z, Yang J F, Tan Z J, et al. Effect of curcumin on the growth and activity of digestive enzyme in grass carps (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. Cereal & Feed Industry, 2003(11): 29-30. [胡忠泽, 杨久峰, 谭志静, 等. 姜黄素对草鱼生长和肠道酶活力的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2003(11): 29-30.]
- [49] Li G, Zhou X, Jiang W, et al. Dietary curcumin supplementation enhanced growth performance, intestinal digestion, and absorption and amino acid transportation abilities in on-growing grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. Aquaculture Research, 2020, 51(12): 4863-4873.
- [50] Miao S Y, Han B, Hu J T, et al. Effects of dietary different concentrations of tetracycline on growth performance, intestinal microbiota composition and morphology of channa argus[J]. Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(12): 5813-5822. [苗淑彦, 韩蓓, 胡俊涛, 等. 饲料中添加不同浓度四环素对乌鳢生长性能, 肠道菌群组成和组织形态的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(12): 5813-5822.]
- [51] Ansaldo M, Luquet C M, Evelson P A, et al. Antioxidant levels from different Antarctic fish caught around south Georgia Island and Shag Rocks[J]. Polar Biology, 2000, 23: 160-165.
- [52] Xie Y, Zhao Q Y, Li H Y, et al. Curcumin ameliorates cognitive deficits heavy ion irradiation-induced learning and memory deficits through enhancing of Nrf2 antioxidant signaling pathways[J]. Pharmacology Biochemistry and Behavior, 2014, 126: 181-186.
- [53] Cao L P, Ding W D, Du J L, et al. Effects of curcumin on antioxidative activities and cytokine production in Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *jian*) with CCl₄-induced liver damage[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2015, 43(1): 150-157.
- [54] Ferreira P D M F, Rocha J S, Gomes J R, et al. *Curcuma longa* supplementation in the diet of *Astyanax* aff. *bimaculatus* in preparation for transport[J]. Aquaculture Research, 2017, 48: 4524-4532.

Effect of curcumin addition to feed on metabolic enzymes, antioxidant, and gut structure in hybrid sturgeon (*Acipenser baeri*♂×*Acipenser schrenckii*♀)

DONG Kaiyue^{1,2}, WANG Yi^{1,3}, CHEN Xihua¹, LIU Wei¹, CHU Zhipeng¹, YUE Huamei¹, LI Chuangju¹

1. Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of China; Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China;
2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
3. College of Animal Science, Yangtze University, Jingzhou 434100, China

Abstract: Curcumin is a natural yellow pigment derived from turmeric and tulip rhizome, has been widely used as feed additives to improve the health of cultured animals due to its highly biologically active and functions of anti-inflammatory, antioxidant, and blood lipid-lowering. However, the application of curcumin is rarely studied in sturgeon, which is intensively cultured because of the high value of nutritional and economic. Therefore, to investigate the effect of curcumin on the growth and health of sturgeon, a 6-week feeding trial was conducted using hybrid sturgeon (*Acipenser baeri*♂×*Acipenser schrenckii*♀). A total of 300 juvenile hybrid sturgeon with an initial weight of (16.24±0.11) g were assigned to diets containing 0 g/kg, 0.025 g/kg, 0.05 g/kg, 0.1 g/kg and 0.2 g/kg curcumin in triplicated. The results showed that the addition of curcumin in the feed had no significant effect on the growth performance and body composition of juvenile hybrid sturgeon. Curcumin addition significantly decreased serum TG content in the group of 0.2 g/kg curcumin in diets ($P<0.05$), ALT and AST activities in hybrid sturgeon liver were reduced with the curcumin level increasing, which appeared significant difference with control at the curcumin level at 0.2 g/kg and 0.05 g/kg, respectively ($P<0.05$). Curcumin significantly improved the activity of protease in duodenum with curcumin level increasing at first, which showed the highest activity at 0.05 g/kg of curcumin supplementation respectively ($P<0.05$), and then decreased with curcumin further increasing. Curcumin addition improved the activity of α -AMY significantly at 0.1 g/kg of curcumin supplementation respectively ($P<0.05$), and then decreased. The results of antioxidants showed that serum MDA content decreased significantly in the group of 0.025 g/kg curcumin ($P<0.05$), in which group serum CAT activity increased significantly ($P<0.05$). While a significant increase of CAT activity in the liver appeared in the curcumin addition level at 0.05 g/kg ($P<0.05$). There was no significant difference among the treatments even though decreased MDA content and increased SOD activity appeared in the liver. MDA content, SOD and CAT activities in duodenum showed a similar change pattern with that in serum, however, no significant effect was observed by curcumin addition. Histopathology results of duodenum indicated that curcumin addition in feed could improve the structure of intestine, which showed clear and fewer adherent villi structures. The present study indicated that the appropriate curcumin supplementation in feed was beneficial to the health of hybrid sturgeon, which could improve the antioxidant capacity of the fish, promote the health of liver and intestine, in the meantime, decrease the lipid. In conclusion, according to the current study, the addition of 0.025–0.05 g/kg of curcumin was suggested in hybrid sturgeon diets. This study could provide scientific basis for curcumin supplementation in sturgeon feed, ultimately help the health development of sturgeon aquaculture.

Key words: hybrid sturgeon; curcumin; metabolic enzymes; antioxidation

Corresponding author: LI Chuangju. E-mail: lcj@yfi.ac.cn