

姜黄素对黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*) 生长、消化与抗氧化能力的影响*

张滕闲^{1#} 陈钱^{1#} 张宝龙² 林城丽¹ 朱国霞¹ 方珍珍¹ 白东清^{1①}

(1. 天津农学院水产学院 天津市水产生态及养殖重点实验室 天津 300384;
2. 天津现代晨辉科技集团有限公司 天津 301800)

摘要 选取初始体重为(13.17±0.68)g、初始体长为(11.86±0.53)cm黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*) 720尾,随机分为6组,每组3个重复,每个重复40尾鱼。分别投喂添加0、50、100、200、400、800 mg/kg姜黄素的实验饲料,分别标记为T1-T6。实验周期为60d,实验结束后,测定黄颡鱼生长、消化和抗氧化能力指标。结果显示,各实验组特定增长率和存活率均显著高于对照组($P<0.05$),T4组增重率和蛋白质效率显著高于对照组($P<0.05$),T3、T4组饲料系数显著低于对照组(T1组)($P<0.05$);T3、T4、T5组前肠脂肪酶活力显著高于对照组($P<0.05$),T4组前肠淀粉酶活力显著高于对照组($P<0.05$);T6组肝胰脏、T5组脑与T4组头肾超氧化物歧化酶(SOD)活力均较对照组有显著提升($P<0.05$);脑实验各组丙二醛(MDA)含量均显著低于对照组($P<0.05$);T6组肝胰脏、T5组脾脏过氧化氢酶(CAT)活力显著高于对照组($P<0.05$);T4组肝胰脏、T5组脾脏、T5组中肾谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)活力显著提升($P<0.05$);血清实验各组GSH-PX活力均显著高于对照组($P<0.05$);肝胰脏实验各组谷胱甘肽(GSH)含量均显著高于对照组($P<0.05$);T5组肝胰脏、T4组脾脏和血清一氧化氮(NO)含量显著高于对照组($P<0.05$)。研究表明,在饲料中添加适量的姜黄素可以显著提高黄颡鱼的生长性能、消化能力以及抗氧化能力,以200 mg/kg添加量为最佳。

关键词 姜黄素;黄颡鱼;生长;消化能力;抗氧化能力

中图分类号 S948 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2017)06-0056-08

黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)是一种小型底层淡水经济鱼类,在我国众多水域都有分布,尤其是在长江中下游的湖泊、池塘、溪流中分布广泛(倪勇等, 2006; 李明锋, 2010)。黄颡鱼对生态环境适应性强,且具有极强的耐受性,其味道鲜美,营养价值高,深受人们青睐。随着养殖规模的扩大和养殖密度的增加,黄颡鱼的抗应激能力下降,疾病频发,经济损

失很大,开发黄颡鱼用纯天然环保型免疫增强剂迫在眉睫。

姜黄素(Curcumin)是从植物姜黄(*Curcumin longa* L)中提取的一种黄色酸性酚类物质,是姜黄发挥药理作用最主要的活性成分,主要产于中国、日本、印度等国家热带、亚热带地区(杨小萍等, 2009)。姜黄素色泽稳定且无毒,已经被广泛用作食品色素和调味

* 天津市科委科技特派员项目(16JCTPJC44600)、天津市科委农业科技成果转化项目(16YFNZNC00070)、国家级大学生创新项目(201610061042)和天津市农委“天津市水产产业技术体系创新团队”(ITTFRS2017001)共同资助[This work was supported by the Tianjin Science and Technology Correspondent Project (16JCTPJC44600), Tianjin Agriculture Science and Technology Achievements Transformation Projects (16YFNZNC00070), the National College Students' Innovation Project (201610061042) and Innovation Team of Tianjin Fisheries Research System(ITTFRS2017001)]. 张滕闲, E-mail: 496072329@qq.com

#共同第一作者

① 通讯作者: 白东清, 教授, E-mail: baidongqing@tjau.edu.cn

收稿日期: 2016-10-09, 收修改稿日期: 2016-11-30

剂。随着对姜黄素研究的不断深入,其抗炎、抑菌、抗氧化、增强免疫等功能不断被人们发掘(顾军等, 2000)。但姜黄素在水产方面应用的报道仍较少。故本研究通过在黄颡鱼饲料中添加不同水平的姜黄素,探讨其对黄颡鱼生长、肠道消化酶活性和抗氧化能力的影响,以期姜黄素在黄颡鱼饲料中的应用提供进一步参考。

1 材料与方法

1.1 姜黄素

购于郑州永尚化工产品有限公司,纯度为 10%。

1.2 实验设计与饲养管理

实验在天津市蓝科水产有限公司进行,选取健康的 1 龄黄颡鱼 720 尾,平均体重为(13.17±0.68) g,初始体长为(11.86±0.53) cm,随机分为 6 组,每组 3 个重复,每个重复 40 尾鱼。在基础饲料中添加 0、50、

100、200、400、800 mg/kg 姜黄素的 6 种实验饲料,分别饲喂 6 组实验鱼,分别标记为 T1-T6, T1 为对照组。各种原料经粉碎机粉碎后,过 60 目筛,混匀加水,用江苏牧羊集团牧羊 MUZLM V4 型饲料制粒机加工成粒径为 2 mm 的沉性颗粒饲料,于室温通风处晾干 2 h,保存于-20℃冰箱中待用。

每组实验鱼饲养在 1.5 m (直径)×0.75 m (高)的玻璃拉丝鱼缸中,实验期间水温为(24±2)℃,连续充氧,每天换水 1/2,日投饲率为 3%,每天投喂 2 次,根据具体情况进行调整。实验周期为 60 d。实验饲料组成及营养水平见表 1。

1.3 实验方法

1.3.1 样品制备 养殖实验结束后,每个重复随机抽取黄颡鱼 15 尾,使用 MS-222 麻醉,擦拭体表后,使用 2 ml 一次性无菌注射器进行尾静脉取血,4500 r/min 离心 15 min,制得血清样品。在冰浴条件下解剖抽血后的黄颡鱼,剥取脑、鳃、肝脏脏、脾脏、

表 1 实验饲料组成及营养水平(风干基础)

Tab.1 Formulation and nutrient composition of test diets (Air-dry basis)(%)

原料成份 Ingredients	饲料组 Dietary group					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
鱼粉 Fish meal	29	29	29	29	29	29
豆粕 Soybean meal	20	20	20	20	20	20
面粉 Flour	13	13	13	13	13	13
花生粕 Peanut meal	8	8	8	8	8	8
菜粕 Canola meal	13	13	13	13	13	13
麸皮 Bran	8.50	8.45	8.40	8.30	8.10	7.70
豆油 Soybean oil	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
预混料 Premix ¹⁾	4	4	4	4	4	4
羧甲基纤维素 CMC	2	2	2	2	2	2
姜黄素 Curcumin	0	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80
合计 Total	100	100	100	100	100	100
营养成分 Proximate composition						
粗蛋白 Crude protein	38.67	38.67	38.65	38.64	38.61	38.56
粗脂肪 Crude lipid	6.28	6.28	6.28	6.28	6.27	6.26
总能 General energy (MJ/kg) ²⁾	11.95	11.95	11.95	11.94	11.93	11.91
粗灰分 Crude ash	10.15	10.18	10.12	10.16	10.09	10.13
水分 Moisture	6.33	6.42	6.29	6.37	6.85	6.62

1) 预混料为每千克饲料提供: Fe 150 mg, Zn 30 mg, Mn 13 mg, Cu 3 mg, Co 0.1 mg, I 0.6 mg, Se 0.15 mg, 维生素 C 100 mg, 维生素 B1 3 mg, 维生素 B2 10 mg, 维生素 B6 12 mg, 泛酸钙 30 mg, 烟酸 30 mg, 生物素 0.1mg, 叶酸 2 mg, 维生素 B12 0.01 mg, 肌醇 mg, 胆碱 1000 mg, 维生素 A 2000 IU, 维生素 D3 1000 IU, 维生素 E 60 mg, 维生素 K 6 mg

2) 总能为计算值总能=(总蛋白×5.64+总脂肪×9.44+总糖×4.11)/100×4.184

1) Premix provided the following per kg of diet: Fe 150 mg; Zn 30 mg; Mn 13 mg; Cu 3 mg; Co 0.1 mg; I 0.6 mg; Se 0.15 mg; V_C 100 mg; V_{B1} 3 mg; V_{B2} 10 mg; V_{B6} 12 mg; Calcium pantothenate 30 mg; Nicotinic acid 30 mg; Biotin 0.1mg; Folic acid 2 mg; V_{B12} 0.01 mg; Inositol 1400 mg; Choline 1000 mg; V_A 2000 IU; V_{D3} 1000 IU; V_E 60 mg; V_K 6 mg

2) Total energy can always be equal to (total protein×5.64+total fat×9.44+total sugar×4.11)/100×4.184

中肾、头肾、前肠、中肠、后肠、胃组织。从食道括约肌后到第一个弯曲止为前肠,中肠自第一弯曲到第二弯曲止,此后至肛门一段的直肠为后肠。肠道、胃组织按质量体积比 1:4 加入预冷生理盐水,其余组织加入 1:9 预冷生理盐水,所有组织均用 YQ-3 型电动匀浆机在冰浴条件下进行组织匀浆。匀浆液使用 Eppendorf 冷冻离心机于 4℃、3000 r/min 离心 15 min,提取上清液即为粗酶液。

1.3.2 生长指标的测定

增重率(WGR, %)= $100 \times (W_t - W_0) / W_0$;

特定生长率(SGR, %/d)= $(\ln W_t - \ln W_0) \times 100 / t$;

饲料系数(FCR)= $I_d / (W_t - W_0)$

蛋白质效率(PER, %)= $(W_t - W_0) / (I_d \times P_d)$;

存活率(SR, %)= $N_t \times 100 / N_0$

式中, W_t 和 W_0 分别为鱼的终末体重和初始体重(g); t 为实验天数; I_d 为摄食量的干重(g); N_t , N_0 分别为实验末期和初期的鱼体总数; P_d 为饲料中蛋白含量。

1.3.3 生化指标的测定 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、丙二醛(MDA)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)、谷胱甘肽(GSH)、一氧化氮(NO)、消化酶等指标,均采用南京建成生物工程研究所的试剂盒进行测定。

1.3.4 饲料常规成分测定方法 参照最新国标要求,测定饲料常规成分含量,方法如下:水分用 105℃ 常压恒温烘干法(GB/T5009.3-2010)测定,粗蛋白用杜马斯灼烧法(GB/T24318-2009)测定,粗脂肪用索氏抽提法(GB/T5009.6-2010)测定,粗灰分用 550℃ 高温灼烧法(GB/T5009.4-2010)测定。

1.4 数据处理

实验数据用平均值±标准误(Mean±SE)表示,数据分析采用 SPSS 17.0 软件中的单因素方差分析(One-

way ANOVA)处理,以 $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 姜黄素对黄颡鱼生长性能的影响

投喂添加不同水平姜黄素的饲料,60 d 后,测定实验鱼的体重和体长,计算增重率、特定增长率、存活率、饲料系数和蛋白质效率(表 2)。从表 2 可以看出,随着姜黄素含量的增加,增重率呈现先升高后下降的变化趋势,其中, T4 组增重率显著高于对照组 ($P < 0.05$),其余各组之间差别不显著 ($P > 0.05$); 特定增长率呈现先升高后下降的变化趋势,各实验组均显著高于对照组 ($P < 0.05$); 饲料系数呈现先下降后升高的变化趋势, T3、T4 组饲料系数显著低于对照组 ($P < 0.05$); 存活率呈现先升高后下降的变化趋势,各实验组均显著高于对照组 ($P < 0.05$); 蛋白质效率呈现先升高后下降的变化趋势,其中, T4 组蛋白质效率与对照组相比显著升高 ($P < 0.05$),其余各组之间无显著差异 ($P > 0.05$)。参考生长指标,200 mg/kg 姜黄素水平(第 4 组)可显著提高黄颡鱼生长性能。

2.2 姜黄素对黄颡鱼消化酶活力的影响

黄颡鱼脂肪酶活力为前肠>中肠>胃>后肠。前肠 T3 组、T4 组、T5 组脂肪酶活力显著高于对照组 ($P < 0.05$),随着姜黄素添加量的升高,脂肪酶活力呈现先上升后下降的趋势; T5 组后肠脂肪酶活力显著高于对照组 ($P < 0.05$); 各实验组,中肠脂肪酶活力与对照组相比无显著差异 ($P > 0.05$); T5、T6 组胃脂肪酶显著高于对照组 ($P < 0.05$)。

黄颡鱼淀粉酶活力为中肠>后肠>前肠>胃。T4 组前肠淀粉酶活力显著高于对照组 ($P < 0.05$),随着姜黄素添加量的升高,淀粉酶活力呈现先上升后下降的趋势; 各实验组中肠、后肠和胃淀粉酶活力与对照组相比无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 2 姜黄素对黄颡鱼生长指标的影响
Tab.2 Effects of dietary curcumin at different levels on the growth performance of *P. fulvidraco*

组别 Groups	增重率 WGR (%)	特定增长率 SGR (%/d)	饲料系数 FCR	存活率 SR (%)	蛋白质效率 PER (%)
T1	131.05±13.28 ^b	1.39±0.09 ^d	1.93±0.05 ^a	81.67±1.44 ^c	1.43±0.15 ^b
T2	135.84±13.16 ^{ab}	1.54±0.06 ^c	1.70±0.02 ^{abc}	85.83±1.44 ^b	1.49±0.14 ^{ab}
T3	142.82±13.21 ^{ab}	1.73±0.03 ^b	1.61±0.03 ^{bc}	86.67±1.44 ^b	1.56±0.14 ^{ab}
T4	163.18±5.00 ^a	1.84±0.02 ^a	1.47±0.05 ^c	88.33±1.44 ^b	1.79±0.05 ^a
T5	144.96±27.37 ^{ab}	1.66±0.00 ^b	1.70±0.33 ^{abc}	93.33±1.44 ^a	1.59±0.30 ^{ab}
T6	135.54±4.82 ^{ab}	1.52±0.03 ^c	1.87±0.17 ^{ab}	86.67±1.44 ^b	1.51±0.08 ^{ab}

注: 同列数据上标字母不同者之间存在显著差异 ($P < 0.05$), 下同

Note: Within a column, values labeled with different superscripts were significantly different ($P < 0.05$), the same as below

黄颡鱼蛋白酶活力为胃>前肠>中肠>后肠。T2 组黄颡鱼中肠蛋白酶活力显著高于对照组($P<0.05$)。各实验组前肠、后肠和胃蛋白酶活力与对照组相比无显著差异($P>0.05$)(表 3)。

2.3 姜黄素对黄颡鱼各组织抗氧化能力的影响

2.3.1 姜黄素对黄颡鱼各组织 SOD 活力的影响

黄颡鱼体内 SOD 活力为脑>鳃>肝胰脏>脾脏>中肾>头肾>血清(表 4)。与对照组相比, T6 组肝胰脏、T5 组脾脏、T4 组头肾的 SOD 活力均有显著提升($P<0.05$)。T4 组鳃、T5 组脑、各组血清的 SOD 活力与对照组相比显著升高($P<0.05$)。

2.3.2 姜黄素对黄颡鱼各组织 MDA 含量的影响

黄颡鱼体内 MDA 含量为肝胰脏<鳃<头肾<中肾<血清<脾脏<脑(表 5)。T4 组肝胰脏的 MDA 含量显著低于对照组($P<0.05$); T5、T6 组头肾的 MDA 含量均显著低于对照组($P<0.05$); 实验各组脑的 MDA 含量均显著低于对照组($P<0.05$); 其余各组织实验组的

MDA 含量与对照组相比无显著差异($P>0.05$)(表 5)。

2.3.3 姜黄素对黄颡鱼各组织 CAT 活力的影响

黄颡鱼体内各组织 CAT 活力为肝胰脏>脑>鳃>血清>中肾>头肾>脾脏。T6 组肝胰脏、T5 组脾脏的 CAT 活力显著高于对照组($P<0.05$); 其余组织的 CAT 活力与对照组相比无显著差异($P>0.05$)(表 6)。

2.3.4 姜黄素对黄颡鱼各组织 GSH-PX 活力的影响

黄颡鱼体内各组织 GSH-PX 活力为头肾>肝胰脏>血清>中肾>脾脏>鳃>脑。与对照组相比, T4 组肝胰脏、T5 组脾脏与 T5 组中肾的 GSH-PX 活力显著提升($P<0.05$); 各组血清的 GSH-PX 活力均显著高于对照组($P<0.05$), 且呈现先上升后下降的趋势; 姜黄素对黄颡鱼头肾、鳃、脑的 GSH-PX 活力无显著影响($P>0.05$)(表 7)。

2.3.5 姜黄素对黄颡鱼各组织 GSH 含量的影响

黄颡鱼体内各组织 GSH 含量为血清>脑>头肾>肝胰脏>鳃>中肾>脾脏。各组肝胰脏的 GSH 含量均显著高于对照组($P<0.05$), 且呈现先上升后下降的趋势;

表 3 姜黄素对黄颡鱼消化酶活力的影响

Tab.3 Effects of dietary curcumin at different levels on the digestive enzyme activities of *P. fulvidraco* (U/g prot)

项目 Items	组织 Tissue	姜黄素添加组 Curcumin groups					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
脂肪酶 LPS	前肠 Foregut	52.55±4.89 ^b	99.30±1.87 ^{ab}	109.08±10.73 ^a	121.57±53.83 ^a	115.97±6.61 ^a	75.28±29.41 ^{ab}
	中肠 Midgut	50.23±4.29 ^a	38.79±9.12 ^a	45.01±13.38 ^a	68.41±26.86 ^a	60.01±18.84 ^a	58.56±5.27 ^a
	后肠 Hindgut	28.87±4.30 ^b	42.26±10.57 ^{ab}	42.51±9.54 ^{ab}	39.98±6.56 ^{ab}	59.25±14.95 ^a	41.33±18.43 ^{ab}
	胃 Stomach	36.02±6.42 ^b	45.86±9.71 ^a	28.98±3.34 ^b	30.76±8.14 ^b	46.89±24.19 ^a	51.50±15.11 ^a
淀粉酶 AMS	前肠 Foregut	1.32±0.59 ^b	2.73±1.35 ^{ab}	3.25±2.07 ^{ab}	3.54±0.77 ^a	2.69±0.51 ^{ab}	2.67±0.08 ^{ab}
	中肠 Midgut	13.07±1.42 ^a	13.07±4.69 ^a	11.03±0.93 ^a	9.95±1.20 ^a	12.49±2.19 ^a	12.68±0.99 ^a
	后肠 Hindgut	2.29±1.57 ^a	2.22±1.59 ^a	2.35±2.08 ^a	2.05±0.58 ^a	3.27±0.71 ^a	3.01±1.32 ^a
	胃 Stomach	0.78±0.22 ^a	0.38±0.17 ^b	0.50±0.06 ^{ab}	0.71±0.13 ^{ab}	0.63±0.32 ^{ab}	0.42±0.22 ^{ab}
蛋白酶 TRY	前肠 Foregut	67.82±8.76 ^a	62.56±3.55 ^a	61.59±4.12 ^a	64.51±16.95 ^a	64.70±7.59 ^a	69.70±3.68 ^a
	中肠 Midgut	64.96±13.28 ^{ab}	54.65±5.64 ^b	57.77±6.36 ^{ab}	72.55±4.11 ^a	63.47±12.75 ^{ab}	65.03±5.59 ^{ab}
	后肠 Hindgut	63.60±9.89 ^a	54.72±7.98 ^a	57.31±12.49 ^a	48.10±11.68 ^a	57.18±12.00 ^a	68.34±11.05 ^a
	胃 Stomach	109.58±5.64 ^a	112.50±1.66 ^a	107.83±4.13 ^a	106.34±4.99 ^a	100.00±3.97 ^a	122.75±3.41 ^a

表 4 姜黄素对黄颡鱼各组织 SOD 活力的影响

Tab.4 Effects of dietary curcumin at different levels on the SOD activities of *P. fulvidraco*

组别 Groups	肝胰脏 Hepatopancreas (U/mg prot)	脾脏 Spleen (U/mg prot)	中肾 Middle kidney (U/mg prot)	头肾 Head kidney (U/mgprot)	鳃 Gill (U/mg prot)	脑 Brain (U/mg prot)	血清 Serum (U/ml)
T1	249.64±99.58 ^b	193.65±39.11 ^b	178.02±19.36 ^b	141.74±29.88 ^b	307.32±38.12 ^b	311.07±99.87 ^b	56.71±7.96 ^b
T2	247.82±7.64 ^b	177.70±20.03 ^b	182.85±15.70 ^{ab}	112.59±8.84 ^{abc}	312.50±20.62 ^b	433.59±123.67 ^a	75.26±5.66 ^a
T3	209.39±33.67 ^b	210.00±41.50 ^b	190.10±3.71 ^b	92.10±15.37 ^{bc}	390.62±36.78 ^a	280.94±49.26 ^b	70.55±7.54 ^a
T4	161.63±32.09 ^b	170.57±21.40 ^b	180.38±43.89 ^{ab}	170.29±6.07 ^a	399.34±68.83 ^a	372.83±96.17 ^{ab}	79.90±6.94 ^a
T5	230.80±24.42 ^b	485.74±272.52 ^a	252.86±7.88 ^a	98.37±25.48 ^{bc}	384.68±33.97 ^a	423.70±49.47 ^a	74.17±13.01 ^a
T6	373.81±92.48 ^a	396.55±127.70 ^{ab}	168.05±40.37 ^{ab}	62.88±6.40 ^c	382.25±25.88 ^a	375.13±93.12 ^{ab}	67.29±6.95 ^a

T6组脾脏、T5组中肾、T4组鳃、T5组血清中的GSH含量均显著高于对照组($P<0.05$)；姜黄素对黄颡鱼头肾、脑GSH含量无显著影响($P>0.05$)(表8)。

2.3.6 姜黄素对黄颡鱼各组织NO含量的影响

黄颡鱼体内各组织NO含量为血清>中肾>脑>鳃>肝胰脏>脾脏>头肾。各实验组中肾、头肾、脑、鳃NO含量与对照组相比无显著差异($P>0.05$)；T5组肝胰脏、T4组脾脏和T4组血清的NO含量显著高于对照组($P<0.05$)(表9)。

3 讨论

3.1 姜黄素对黄颡鱼生长性能的影响

本研究发现,在饲料中添加不同水平的姜黄素饲

喂黄颡鱼,对促进鱼体的增重率、特定增长率、存活率、降低饲料系数及提高蛋白质效率均有一定的功效。其中,400 mg/kg姜黄素水平对黄颡鱼存活率和肥满度的提高效果最佳,而200 mg/kg姜黄素水平对黄颡鱼增重率、特定增长率的促进效果和降低饲料系数的效果最佳。陈征义等(2010)研究发现,姜黄素能显著提高实验前期肉仔鸡的末重、日增重、料重比及肉仔鸡的存活率($P<0.05$),促进肉仔鸡的生长,这与本研究结果相似。王斌等(2010)报道,杜长大肥育猪饲料中添加400 mg/kg的姜黄素,饲喂3周,发现对肥育猪的生长性能影响显著($P<0.05$),这与本研究结果类似。但其达到最佳效果的姜黄素添加量比本研究高,这可能是由于实验动物不同造成的。对水产动物的研究表明,在饲料中添加姜黄素可以提高水产动物

表5 姜黄素对黄颡鱼MDA含量的影响

Tab.5 Effects of dietary curcumin at different levels on the MDA activities of *P. fulvidraco*

组别 Groups	肝胰脏 Hepatopancreas (nmol/mg prot)	脾脏 Spleen (nmol/mg prot)	中肾 Middle kidney (nmol/mg prot)	头肾 Head kidney (nmol/mg prot)	鳃 Gill (nmol/mg prot)	脑 Brain (nmol/mg prot)	血清 Serum (nmol/ml)
T1	0.53±0.27 ^{ab}	8.08±2.78 ^b	4.25±0.54 ^a	4.19±0.34 ^a	0.95±0.69 ^a	13.04±4.14 ^a	4.68±0.62 ^b
T2	0.49±0.11 ^{ab}	7.43±1.31 ^b	5.50±2.19 ^a	6.15±1.40 ^a	1.13±0.97 ^a	7.47±4.37 ^b	7.05±2.76 ^{ab}
T3	0.42±0.12 ^b	8.85±2.32 ^b	4.86±0.57 ^a	4.32±0.23 ^{ab}	1.28±0.89 ^a	8.83±3.17 ^b	15.58±10.86 ^a
T4	0.27±0.17 ^b	10.01±1.41 ^b	5.31±0.71 ^a	3.91±2.11 ^{ab}	0.89±0.61 ^a	5.81±1.90 ^b	15.32±1.24 ^a
T5	0.34±0.15 ^b	23.80±13.67 ^a	4.06±0.19 ^a	2.99±1.21 ^b	0.82±0.45 ^a	6.67±2.16 ^b	8.27±0.33 ^{ab}
T6	1.12±0.77 ^a	9.98±5.95 ^b	5.99±2.24 ^a	2.77±0.38 ^b	0.62±0.23 ^a	8.80±4.10 ^b	5.77±1.89 ^b

表6 姜黄素对黄颡鱼CAT活力的影响

Tab.6 Effects of dietary curcumin at different levels on the CAT activities of *P. fulvidraco*

组别 Groups	肝胰脏 Hepatopancreas (U/mg prot)	脾脏 Spleen (U/mg prot)	中肾 Middle kidney (U/mg prot)	头肾 Head kidney (U/mg prot)	鳃 Gill (U/mg prot)	脑 Brain (U/mg prot)	血清 Serum (U/ml)
T1	241.18±114.49 ^b	7.18±0.50 ^b	21.10±2.46 ^a	12.75±2.73 ^a	134.07±18.51 ^a	215.96±53.70 ^a	42.53±1.65 ^a
T2	246.35±37.40 ^b	7.07±2.23 ^b	19.63±3.07 ^a	10.49±1.93 ^{ab}	123.84±6.50 ^{ab}	215.98±32.35 ^a	46.84±0.89 ^a
T3	227.27±73.77 ^b	7.05±3.04 ^b	17.18±0.78 ^a	10.96±3.24 ^{ab}	107.33±13.46 ^{abc}	183.11±19.89 ^a	45.42±0.90 ^a
T4	190.46±10.01 ^b	6.12±2.29 ^b	18.29±3.66 ^a	9.91±2.46 ^{ab}	103.48±22.15 ^{bc}	188.27±67.34 ^a	45.27±1.94 ^a
T5	250.69±37.99 ^b	22.85±15.74 ^a	23.96±6.88 ^a	6.68±4.28 ^{bc}	88.23±12.12 ^c	177.08±24.68 ^a	42.77±0.18 ^a
T6	404.62±59.30 ^a	16.86±9.66 ^{ab}	20.73±2.11 ^a	4.71±0.59 ^c	86.52±11.51 ^c	199.68±54.15 ^a	43.74±5.39 ^a

表7 姜黄素对黄颡鱼GSH-PX活力的影响

Tab.7 Effects of dietary curcumin at different levels on the GSH-PX activities of *P. fulvidraco*

组别 Groups	肝胰脏 Hepatopancreas (μmol/g prot)	脾脏 Spleen (μmol/g prot)	中肾 Middle kidney (μmol/g prot)	头肾 Head kidney (μmol/g prot)	鳃 Gill (μmol/g prot)	脑 Brain (μmol/g prot)	血清 Serum (μmol/ml)
T1	177.78±17.82 ^b	24.78±2.18 ^b	52.65±0.71 ^b	516.78±52.48 ^a	10.82±2.75 ^{ab}	2.63±0.40 ^b	137.14±55.07 ^b
T2	127.32±37.05 ^b	24.26±11.02 ^b	57.90±24.41 ^b	384.41±48.12 ^a	12.39±2.05 ^{ab}	3.37±2.78 ^{ab}	215.38±5.49 ^a
T3	136.67±35.19 ^b	31.33±10.20 ^b	47.07±15.04 ^b	244.66±96.92 ^a	16.27±4.10 ^{ab}	6.31±2.33 ^b	214.51±42.96 ^a
T4	238.50±18.13 ^a	37.08±3.91 ^{ab}	60.65±10.66 ^b	391.45±72.87 ^a	19.36±5.14 ^a	2.51±1.02 ^b	251.43±35.61 ^a
T5	194.75±20.88 ^b	62.50±20.26 ^a	71.34±25.00 ^a	555.59±27.00 ^a	10.07±2.77 ^{ab}	4.51±3.35 ^{ab}	251.54±37.20 ^a
T6	184.08±94.82 ^b	45.99±24.66 ^{ab}	61.74±11.60 ^b	488.70±55.28 ^a	6.57±0.76 ^b	11.33±9.67 ^a	260.22±45.40 ^a

表 8 姜黄素对黄颡鱼 GSH 含量的影响
Tab.8 Effects of dietary curcumin at different levels on the GSH content of *P. fulvidraco*

组别 Groups	肝胰脏 Hepatopancreas ($\mu\text{mol/g prot}$)	脾脏 Spleen ($\mu\text{mol/g prot}$)	中肾 Middle kidney ($\mu\text{mol/g prot}$)	头肾 Head kidney ($\mu\text{mol/g prot}$)	鳃 Gill ($\mu\text{mol/g prot}$)	脑 Brain ($\mu\text{mol/g prot}$)	血清 Serum ($\mu\text{mol/ml}$)
T1	36.44±14.83 ^d	2.88±0.98 ^b	13.29±9.14 ^b	39.89±31.26 ^a	20.12±16.77 ^b	44.56±33.29 ^a	524.38±89.00 ^c
T2	72.09±9.54 ^c	3.11±1.38 ^b	17.31±1.90 ^b	31.87±25.51 ^a	15.05±20.39 ^b	35.10±25.62 ^a	607.17±113.53 ^c
T3	74.63±14.24 ^c	4.58±2.66 ^b	16.24±11.96 ^b	43.45±27.71 ^a	47.52±12.43 ^a	22.32±9.58 ^a	572.62±167.78 ^c
T4	80.88±5.88 ^{bc}	5.70±4.41 ^{ab}	28.06±9.70 ^{ab}	35.95±20.40 ^a	40.45±23.02 ^a	50.19±13.91 ^a	782.76±427.12 ^b
T5	118.66±22.97 ^a	5.05±2.47 ^b	35.33±6.55 ^a	37.76±15.12 ^a	15.62±12.77 ^b	46.95±1.01 ^a	938.03±194.57 ^a
T6	104.32±8.03 ^{ab}	9.85±3.77 ^a	27.87±5.25 ^{ab}	26.25±14.10 ^a	21.62±19.73 ^b	55.32±7.75 ^a	801.87±288.77 ^{bc}

表 9 姜黄素对黄颡鱼 NO 含量的影响
Tab.9 Effects of dietary curcumin at different levels on the NO content of *P. fulvidraco*

组别 Groups	肝胰脏 Hepatopancreas ($\mu\text{mol/g prot}$)	脾脏 Spleen ($\mu\text{mol/g prot}$)	中肾 Head kidney ($\mu\text{mol/g prot}$)	头肾 Head kidney ($\mu\text{mol/g prot}$)	鳃 Gill ($\mu\text{mol/g prot}$)	脑 Brain ($\mu\text{mol/g prot}$)	血清 Serum ($\mu\text{mol/ml}$)
T1	0.29±0.13 ^b	0.21±0.02 ^b	2.20±1.04 ^a	0.18±0.17 ^b	0.54±0.35 ^a	1.15±1.16 ^a	3.03±1.63 ^b
T2	0.37±0.13 ^b	0.19±0.05 ^b	0.83±0.62 ^{ab}	0.37±0.28 ^b	0.40±0.27 ^a	0.53±0.22 ^a	5.93±2.27 ^{ab}
T3	0.47±0.25 ^b	0.34±0.14 ^b	2.10±1.68 ^{ab}	0.45±0.27 ^a	0.37±0.26 ^a	0.79±0.57 ^a	6.32±2.08 ^a
T4	0.47±0.10 ^b	1.17±1.21 ^a	1.35±0.37 ^{ab}	0.25±0.14 ^b	0.21±0.02 ^a	0.38±0.09 ^a	5.41±1.79 ^{ab}
T5	0.70±0.22 ^a	0.59±0.13 ^b	0.14±0.28 ^{ab}	0.24±0.27 ^b	0.12±0.09 ^a	0.87±0.70 ^a	2.77±2.11 ^b
T6	0.51±0.22 ^b	0.45±0.26 ^b	1.20±1.28 ^{ab}	0.12±0.06 ^b	0.39±0.32 ^a	0.48±0.52 ^a	3.47±1.51 ^b

的生长性能。胡忠泽等(2003)在姜黄素喂食草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)的研究中,分别在草鱼基础饲料中添加姜黄素,实验时间为 30 d,结果显示,在草鱼饲料中添加 0.02%、0.04%和 0.06%的姜黄素可以分别使相对增长率提高 14.67%、16.22%和 22.93%,同时,饲料系数分别降低 13.29%、9.79%和 18.88%,表明姜黄素对草鱼生长具有明显的促进作用,可提高饲料利用率和蛋白质效率,这与本研究结果一致。姜黄素可能通过提高鱼体对蛋白质的利用率,从而促进其生长性能。俞军等(2015)研究表明,投喂含姜黄素的饵料 45 d 后,大黄鱼 SR 和 SGR 显著提高。饵料中添加 300 mg/kg 姜黄素能有效提高大黄鱼的生长性能,且长期投喂效果更佳,是一种安全高效的饲料添加剂。史合群等(2013)的实验结果显示,草鱼基础饲料中添加 200 mg/kg 的姜黄素能够显著提高草鱼相对增重率($P < 0.05$),降低饲料系数($P < 0.05$),该研究中添加剂量与本研究较为接近,但由于研究对象规格种类的不同,姜黄素在黄颡鱼基础饲料中的最适添加量仍需进一步研究。

3.2 姜黄素对黄颡鱼消化能力的影响

鱼类体内消化酶活力直接影响着机体对营养物质的消化与吸收,对鱼体的生长速度起决定性作用(吴旋,2011)¹⁾。蛋白酶能够将难被机体直接吸收的蛋白质降解为蛋白胨和氨基酸等小分子物质;脂肪酶能够催化油脂水解为脂肪酸、甘油等;淀粉酶能够将淀粉、糖原等水解为麦芽糖、葡萄糖等容易被鱼类吸收的单糖(牛凤池等,2015)。已有研究表明,饲料中添加姜黄素可以提高鱼类肠道消化酶的活力。张宝彤等(2014)在罗非鱼(*Oreochromis spp*)的基础饲料中添加姜黄素,发现罗非鱼中肠绒毛数和绒毛高度显著增加,进而提高了罗非鱼肠道消化酶活力,此结果在一定程度上揭示了姜黄素促进罗非鱼肠道消化酶活力的机理。胡忠泽等(2003)研究表明,当在草鱼饲料中姜黄素添加量为 0.02%–0.06%时,可以极显著提高草鱼肠道蛋白酶和淀粉酶的活力($P < 0.01$)。与上述研究结果相似,本研究中添加 200–400 mg/kg 姜黄素可以有效提高黄颡鱼肠道和胃的消化酶活力,从而促进黄

1) Wu X. Effects of four kinds of Chinese herbal polysaccharides on the growth performance, body composition, part of physiological and biochemical indicator of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). Master's Thesis of Tianjin Agricultural University, 2011, 39–40 [吴旋. 四种中草药多糖对黄颡鱼生长、体成分及部分生理生化指标的影响. 天津农学院硕士学位论文, 2011, 39–40]

鲩的生长,但本研究中未涉及姜黄素对黄颡鱼肠道和胃组织结构影响,姜黄素对黄颡鱼肠道及胃的作用机理仍需今后进一步深入探讨。

3.3 姜黄素对黄颡鱼抗氧化能力的影响

姜黄素分子中具有多个功能基团,如 2 个苯丙烯酸基骨架、苯环上的酚羟基和甲氧基及丙烯基与 β -双酮/烯醇式结构的连接,使姜黄素具有很强的抗氧化活性(Ramassamy, 2006)。姜黄素可通过诱导抗氧化酶及还原性物质的生成和活化,如 SOD、CAT、GSH 等,将多种超氧化物、过氧化物、氧化物等自由基分解或还原,从而起到抗氧化、减少氧化应激损伤的作用(李薇等, 2009)。卢婉怡(2014)用姜黄素添加到饲料中投喂奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*),结果显示,饲料中添加姜黄素能有效提高罗非鱼机体的 SOD 和 CAT 活力,800 mg/kg 剂量对肝胰脏 SOD 和 CAT 活力的提高作用显著($P<0.05$)。张宝彤等(2014)将姜黄素添加到罗非鱼的基础饲料中,结果显示,姜黄素可显著提高罗非鱼的抗氧化能力($P<0.05$),添加姜黄素实验组罗非鱼肝胰脏、肌肉和血清等组织中 MDA 含量以 0.02%水平组最低,显著低于其他实验组($P<0.05$)。本研究结果显示,姜黄素添加到饲料中投喂黄颡鱼,鱼体内各组织 SOD、CAT 活力均提高,且在鳃和脑等气体交换密切的组织中 SOD、CAT 活力明显高于肾脏、脾脏等组织,同时,肝胰脏、脑和头肾的 MDA 含量也显著降低。说明姜黄素通过诱导黄颡鱼体内抗氧化酶和还原性物质的生成,提高了黄颡鱼抗氧化能力。目前,未见关于姜黄素对黄颡鱼脑组织抗氧化酶活性的研究报道,本研究发现脑组织抗氧化酶活性较强,且在投喂添加姜黄素的饲料后效果更显著,表明姜黄素在今后的生产实践中具有良好的开发前景及应用空间。

GSH-PX 可分解过氧化物,可在 CAT 含量少的组织中代替 CAT 清除 H_2O_2 ,从而防止机体遭受氧化损伤(Kohen *et al.*, 2002)。GSH 能自行或经 GSH-PX 催化还原 H_2O_2 和过氧化脂质,消除自由基造成的损伤(Chen *et al.*, 2009)。本研究中,添加不同水平姜黄素投喂黄颡鱼可以显著提高黄颡鱼肝胰脏、脾脏、血清的 GSH-PX 活性和 GSH 含量($P<0.05$)。

iNOS 是介导炎症反应的重要酶, iNOS 催化 L-精氨酸氧化成 NO(Murakami, 2009)。NO 在生理上涉及血管舒张、神经传递、血小板凝集、免疫防御和胞内信号转导。NO 和 O_2 反应形成强烈氧化性物质过氧化亚硝酸盐(狄建彬等, 2010)。在本研究的各组织中,姜黄素对黄颡鱼肝胰脏、头肾的 NO 含量有促进作用,对鳃、脑这类氧交换密切的组织的 NO 含量有抑制作

用,此结果印证了以上理论,姜黄素可以抑制氧交换密切组织中 NO 的含量,保护组织不受过氧化亚硝酸盐的损伤。姜黄素对黄颡鱼体内 NO 含量的影响与姜黄素添加水平、鱼体组织中 NO 分布等因素有关,其调控机理仍需深入探讨。

4 结 论

综上所述,饲料中姜黄素添加水平为 200–400 mg/kg 时,可显著提高黄颡鱼机体的生长性能、消化能力和抗氧化能力。本研究为姜黄素作为功能性饲料添加剂的开发和利用提供了理论依据。

参 考 文 献

- Chen J, Zhou X, Feng L, *et al.* Effects of glutamine on hydrogen peroxide-induced oxidative damage in intestinal epithelial cells of Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture*, 2009, 288(3–4): 285–289
- Chen ZY, Wu D. Effects of curcumin and antibiotic on performance and immune function in broiler. *Guangdong Feed*, 2010, 19(6): 24–26 [陈征义, 吴迪. 姜黄素和饲用抗生素对肉鸡生产性能和免疫机能的影响. *广东饲料*, 2010, 19(6): 24–26]
- Di JB, Gu ZL, Zhao XD, *et al.* Advances in studies on antioxidant and anti-inflammation of curcumin. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2010, 41(5): 854–857 [狄建彬, 顾振纶, 赵笑东, 等. 姜黄素的抗氧化和抗炎作用研究进展. *中草药*, 2010, 41(5): 854–857]
- Gu J, Han X, Gu X. The basic pharmacological effects of curcumin. *Tianjin Pharmacy*, 2000, 12(2): 5–6 [顾军, 韩香, 顾欣. 姜黄素的基础药理作用. *天津药学*, 2000, 12(2): 5–6]
- Hu ZZ, Yang JF, Tan ZJ, *et al.* Effect of curcumin on the growth and activity of digestive enzyme in grass carps (*Ctenopharyngodon idells*). *Cereal and 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. *粮食与饲料工业*, 2003(11): 29–30]
- Kohen R, Nyska A. Oxidation of biological systems: Oxidative stress phenomena, antioxidants, redox reactions, and methods for their quantification. *Toxicologic Pathology*, 2002, 30(6): 620–650
- Li MF. Progress of study on the biology of *Pelteobagrus fulvidraco*. *Modern Fisheries Information*, 2010, 25(9): 16–22 [李明锋. 黄颡鱼生物学研究进展. *现代渔业信息*, 2010, 25(9): 16–22]
- Li W, Li HL. Curcumin inhibits hyperoxia-induced pulmonary fibrosis in neonatal rats. *Journal of Medical Postgraduates*, 2009, 22(6): 574–577 [李薇, 李海浪. 姜黄素对高氧致新生大鼠肺纤维化的保护作用及机制探讨. *医学研究生学报*, 2009, 22(6): 574–577]
- Lu WY. Research on antioxidation of curcumin. *China Practical Medicine*, 2014, 9(2): 34–35 [卢婉怡. 姜黄素的抗氧化研究. *中国实用医药*, 2014, 9(2): 34–35]
- Murakami A. Chemoprevention with phytochemicals targeting inducible nitric oxide synthase. In Yoshikawa T (ed): *Food factors for health promotion*. Forum Nutrition, Basel, Karger, 2009, 61: 193–203

- Ni Y, Wu HL, *et al.* Fish fauna of Jiangsu. Beijing: China Agriculture Press, 2006, 392–404 [倪勇, 伍汉霖, 等. 江苏鱼类志. 北京: 中国农业出版社, 2006, 392–404]
- Niu FC, Huang YH, Cao JM, *et al.* Effects of five additives on growth performance, body composition and serum biochemical indices of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(7): 2176–2183 [牛凤池, 黄燕华, 曹俊明, 等. 5 种添加剂对黄颡鱼生长性能、体成分及血清生化指标的影响. 动物营养学报, 2015, 27(7): 2176–2183]
- Ramassamy C. Emerging role of polyphenolic compounds in the treatment of neurodegenerative diseases: A review of their intracellular targets. European Journal of Pharmacology, 2006, 545(1): 51–64
- Shi HQ, Zhou YK, Xie XH. The physiological function of curcumin and its application in aquatic feed industry. Feed Research, 2013(6): 9–11 [史合群, 周永奎, 谢晓晖. 姜黄素的生理功能及其在水产饲料工业中的应用. 饲料研究, 2013(6): 9–11]
- Wang B, Hou FQ, Zhu GQ, *et al.* Effect of curcumin on growth performance, meat quality and carcass parameters. Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2010, 42(7): 47–50 [王斌, 侯风琴, 祝国强, 等. 姜黄素对育肥猪生产性能、肉品质及胴体参数的影响. 畜牧与兽医, 2010, 42(7): 47–50]
- Yang XP, Zhou LY. Application research of curcumin in animal feed. Feed Review, 2009(7): 22–24 [杨小萍, 周隆英. 动物饲料中姜黄素的应用研究. 饲料博览, 2009(7): 22–24]
- Yu J, Chen QT, Li SY, *et al.* Effects of curcumin on growth and non-specific immunity of *Pseudosciaena crocea*. Journal of Southern Agriculture, 2015, 46(7): 1315–1321 [俞军, 陈庆堂, 李宋钰, 等. 姜黄素对大黄鱼生长及非特异性免疫功能的影响. 南方农业学报, 2015, 46(7): 1315–1321]
- Zhang BT, Zhang B, Xiao PZ, *et al.* Effects of curcumin on growth performance, serum biochemical parameters and intestinal morphology of Tilapia. China Feed, 2014(2): 34–37 [张宝彤, 张波, 萧培珍, 等. 姜黄素对罗非鱼生长性能、血清生化指标及肠道组织形态的影响. 中国饲料, 2014(2): 34–37]

(编辑 马璀璨)

The Effects of Curcumin on the Growth, Digestion and Antioxidant Ability of Yellow Catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)

ZHANG Tengxian^{1#}, CHEN Qian^{1#}, ZHANG Baolong², LIN Chengli¹, ZHU Guoxia¹,
FANG Zhenzhen¹, BAI Dongqing^{1①}

(1. Tianjin Key Laboratory of Aqua-Ecology and Aquaculture, College of Fisheries, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384; 2. Tianjin Chenhui Modern Technology Limited Company, Tianjin 301800)

Abstract A feeding trial was conducted to investigate the effects of dietary curcumin at different levels on the growth performance, digestive enzyme activities and antioxidant ability of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). Juvenile yellow catfish with an initial body weight of (13.17±0.68) g were fed with 6 different experimental diets containing curcumin at the concentration of 0 (control), 50, 100, 200, 400, and 800 mg/kg (namely T1, T2, T3, T4, T5 and T6 respectively) for 60 days. There were 3 replicates per group of 40 yellow catfish. The results were described as follows. The specific growth rate (SGR) and the survival rate (SR) of fish fed in the control group were significantly lower than those of all treatment groups ($P<0.05$), and the feed conversion ratio (FCR) was higher in T3 and T4 than the control group ($P<0.05$). The lipase activity in the foregut of fish from T3, T4 and T5 was significantly higher than the control group ($P<0.05$). The amylase activity in the foregut of fish from T4 was significantly higher than the control group ($P<0.05$). The level of superoxide dismutase (SOD) was higher in the hepatopancreas of fish from T6, in the brain of fish from T5 and in the head kidney of fish from T4 ($P<0.05$). A significantly lower content of malondialdehyde (MDA) was observed in the brain of fish from all treatment groups ($P<0.05$). In T5 and T6, there was a significant increase in the catalase (CAT) activity in the spleen and hepatopancreas ($P<0.05$). The glutathione peroxidase (GSH-PX) activity was enhanced ($P<0.05$) in the fish from T4, in the spleen of fish from T5 and in the mid-kidney of fish from T5, furthermore, it was also higher in the serum of fish from all treatment groups compared to the control group ($P<0.05$). The GSH activity in the hepatopancreas of fish from all treatment groups was higher than that in the control group ($P<0.05$). A significantly higher level of nitric oxide was found in the hepatopancreas of fish from T5 and in the spleen and serum of fish from T4, compared to all other treatment groups ($P<0.05$). The results indicated that 200 mg/kg curcumin supplemented into the diets could effectively boost the growth performance, and enhance the intestinal digestive enzyme activities and the antioxidant ability of juvenile yellow catfish.

Key words Curcumin; *Pelteobagrus fulvidraco*; Growth; Digestive activities; Antioxidant ability

① Corresponding author: BAI Dongqing, E-mail: baidongqing@tjau.edu.cn