

文章编号: 1000-0615(2016)09-1299-10

DOI: 10.11964/jfc.20160410369

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

王雅慧, 王裕玉, 麦康森, 徐玮, 张彦娇,
周慧慧, 龚堃, 艾庆辉*

(中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 农业部水产动物营养与饲料学重点实验室, 山东青岛 266003)

摘要: 为研究饲料中添加姜黄素对大菱鲆幼鱼生长、体组成及血清抗氧化酶活力的影响, 在饲料中分别添加0、0.02%、0.04%和0.06%的姜黄素, 配制成4种等氮等脂的实验饲料。选择初始体质量(5.12±0.04) g大菱鲆幼鱼420尾, 随机分成4组, 每组3个重复, 每个重复35尾鱼。每种饲料随机饲喂1组实验鱼, 养殖周期为77 d。结果显示, 饲料中添加姜黄素对大菱鲆幼鱼的成活率(SR)、特定生长率(SGR)、摄食量(FI)、肝体比(HSI)和脏体比(VSI)没有显著影响。饲料中添加姜黄素对鱼体水分含量无显著影响; 饲料中添加姜黄素后, 鱼体脂肪含量显著下降, 而肝脏和肌肉脂肪含量则呈显著上升趋势; 0.02%和0.06%姜黄素添加组鱼体蛋白质含量显著高于0.04%组。0.06%姜黄素添加组的血清超氧化物歧化酶(SOD)活力显著高于其他组; 姜黄素添加组的血清过氧化氢酶(CAT)活力高于对照组, 但各组间差异不显著; 饲料中添加姜黄素后, 血清丙二醛(MDA)含量和谷胱甘肽酶(GSH)活力呈显著降低的趋势。研究表明, 饲料中添加姜黄素对大菱鲆幼鱼成活和生长无显著影响, 但能够显著提高幼鱼的血清抗氧化能力。

关键词: 大菱鲆; 姜黄素; 生长; 体组成; 抗氧化酶

中图分类号: S 963.7

文献标志码: A

近年来, 随着水产养殖密度增加和养殖污染增多, 养殖动物对疾病的抵抗力下降。随着人们环保意识的增强, 人们更倾向于使用既能够促进动物生长、提高动物的免疫力, 又绿色环保的添加剂。目前, 已经在世界水产养殖范围内被广泛研究并投入生产的绿色环保添加剂主要有β-葡聚糖^[1]、甲壳素^[2]、肽聚糖^[3]、脂多糖^[4]和益生元^[5]等。

姜黄素是一种二酮类化合物, 主要存在于香料姜黄中。研究表明, 姜黄素能够通过调控多种不同的分子机制、调节信号和代谢路径(包括部分转录因子的活性、细胞因子的产生、抗氧化的状态以及细胞增殖的状态和细胞凋亡基因的表达等), 发挥多种多样的生物学活性, 其

中包括抗氧化、抗炎、抗细菌和抗癌活性, 并且姜黄素具有改善糖尿病、动脉硬化、过敏、关节炎、阿尔茨海默症和其他一些恶性或慢性疾病的疗效^[6-8]。姜黄素作为抗氧化剂, 在雄性Wistar大鼠中, 其能够通过促进N-亚硝基二乙胺的产生, 从而使肝脏谷胱甘肽含量下降并且降低肝癌形成过程中脂质过氧化物的发生^[9]。体外研究表明, 姜黄素能够抑制巨噬细胞中一氧化氮(NO)和活性氧簇(ROS)的产生^[10-11]; 也能够抑制小鼠成纤维细胞中脂氧合酶和环氧合酶的产生^[12], 从而抑制小鼠肿瘤细胞的发生和发展。研究表明, 姜黄素能够显著抑制人类脑膜上的G-蛋白的氧化刺激, 而这些氧化刺激又是通过G-蛋白的氧化剂、高半胱氨酸和过氧化氢的代

收稿日期: 2016-04-20 修回日期: 2016-05-20

资助项目: 国家鲜鲷类产业技术体系建设专项(CARS-50-G08)

通信作者: 艾庆辉, E-mail: qhai@ouc.edu.cn

<http://www.sxuebao.cn>

谢而进行的^[13]。通过增加姜黄素的摄入可以激活抗氧化保护机制,以减弱环磷酰胺介导的肺损伤;小鼠摄入姜黄素不仅能够抑制肝脏微粒体的脂质过氧化作用,还能够抑制脑组织的脂质过氧化作用^[14]。在对水产动物的研究中发现,饲料中添加姜黄素能够显著促进大黄鱼的生长,提高其饲料利用效率,改善其体色,提高感官品质^[15];草鱼摄食含姜黄素的饲料能够提高肠道蛋白酶和淀粉酶的活性,提高鱼体对蛋白质的吸收作用^[16];黄镇佳^[17]对凡纳滨对虾的研究结果表明,饲喂含姜黄素的饲料能够增强其生长后期的抗氧化能力;在奥尼罗非鱼的饲料中添加姜黄素能够显著提高其肌肉、肝脏和血清的GSH-Px和SOD活性^[18]。

大菱鲆(*Scophthalmus maximus*),隶属于鲽形目(Pleuronectiformes)、鲆科(Bothidae)、菱鲆属(*Scophthalmus*),为底栖性冷水鱼类。由于其具有生长迅速、肉质鲜美、抗逆性强等优点,目前已经成为我国北方沿海工厂化养殖的主要养殖品种之一。目前有关大菱鲆的营养学相关的研究已经开展^[19]。对大菱鲆幼鱼饲料添加剂的研究主要集中在核苷酸^[19-20]、牛磺酸^[21-23]、低聚糖^[24-25]等,而对中草药添加剂的研究较少。本实验通过向大菱鲆饲料中添加不同含量的姜黄素,探究其对大菱鲆幼鱼生长、体成分以及血清抗氧化酶的影响,以期姜黄素作为大菱鲆幼鱼饲料添加剂提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料与制备

以红鱼粉、豆粕、谷朊粉和酪蛋白为主要蛋白源,小麦粉为糖源,并添加维生素预混和矿物质预混等,配制基础饲料。在基础饲料中添加0(对照组)、0.02%、0.04%和0.06%的姜黄素(中国,天津),姜黄素使用80℃乙醇温浸提取的方法,有效成分含量98%以上,共配制出4种等氮等脂(粗蛋白质水平为50.66%,脂肪水平为17.36%)的实验饲料,分别记作Diet 1(0)、Diet 2(0.02%)、Diet 3(0.04%)、Diet 4(0.06%)。

在饲料制备之前,鱼粉和豆粕等饲料原料先进行粉碎处理,然后按照配方比例的大小,从小到大逐级定量混匀。将鱼油、豆油和磷脂完全溶解后,将其加入到已经预混好的干粉

中,并进行充分混匀,再加入适量的水(配方中的氯化胆碱溶于水中),用手充分揉搓至均匀即可。使用全自动渔用饵料机[F-26(II),华南理工大学]将其加工制成颗粒饲料(3 mm×3 mm),55℃烘干,双层塑料袋包装封口,置于-20℃的冰箱中保存备用。实验饲料的成分和营养组分详见表1。

1.2 饲养管理和样品采集

实验用大菱鲆幼鱼为山东省烟台海阳养殖场人工孵化的同一批幼鱼。在正式养殖实验前,所有鱼用所制作的对照组饲料暂养2周,使其适应新的养殖系统和饲料粒径大小。

实验开始前,大菱鲆幼鱼禁食24 h。挑选出420尾个体健康、规格一致[初始体质量为(5.12±0.04)g]的幼鱼随机分至12个玻璃钢桶中(体积为300 L)。每种饲料随机设置3个重复,每天饱食投喂2次(08:00和18:00)。大菱鲆摄食后约45 min,用吸管将桶内粪便和多余的饲料吸出。每天记录摄食量,并对死鱼数量和重量进行记录。使用的养殖系统为海水循环养殖系统。海水持续由水泵泵到泡沫分离器,经生物塔沙滤到高位池后最终进入循环系统,控制每桶水流速2 L/min。早晚每次摄食后均更换70%桶体积的海水。在整个养殖实验期间,系统使用气石持续充氧,溶氧在7 mg/L左右;水温17.5~19.0℃;盐度28.0~31.0;NH₄-N、NO₃-N和NO₂-N均低于100.0 μg/L。养殖周期为77 d。

养殖实验结束后,所有实验鱼饥饿24 h,这期间仍然维持换水。采样时,使用丁香酚(1:10 000)麻醉实验鱼后,对每桶鱼计数并称量;每桶取5尾鱼用于鱼体常规分析;鱼体使用酒精消毒后,每桶取5尾鱼,用1 mL注射器由尾椎取血,注入到1.5 mL无菌塑料离心管中,血液样品4℃放置8 h,2500×g,4℃离心5 min,吸取上清液即为血清。将取出的上清液单独分装至200 μL离心管中,液氮速冻,随后保存在-80℃冰箱中用于血清抗氧化酶活力的测定。

1.3 样品测定

体成分测定 实验鱼样品在烘箱中以105℃烘干至恒重后求得鱼体水分含量;烘干后样品磨碎进行体成分分析。粗蛋白质的测定采用凯氏定氮法(Kjeltec 8400 Analyzer Unit,FOSS Analyt-

表1 实验饲料配方和化学组成

Tab.1 Formulation and proximate analysis of the experimental diets

项目 items	饲料姜黄素水平 dietary curcumin level			
	0	0.02	0.04	0.06
原料 ingredient				
红鱼粉 ¹ red fish meal ¹	29	29	29	29
谷朊粉 ¹ wheat gluten meal ¹	15	15	15	15
酪蛋白 ¹ casein ¹	8	8	8	8
小麦粉 ¹ wheat meal ¹	8.72	8.70	8.68	8.66
豆粕 ¹ soybean meal ¹	18	18	18	18
鱼油 fish oil	6	6	6	6
豆油 soybean oil	6	6	6	6
磷脂 phospholipid	2	2	2	2
多矿 ² mineral premix ²	2	2	2	2
多维 ³ vitamin premix ³	2	2	2	2
氯化胆碱(99%) choline chloride	0.13	0.13	0.13	0.13
磷酸二氢钙 monocalcium phosphate	1	1	1	1
丙酸钙 calcium propionic acid	0.1	0.1	0.1	0.1
诱食剂 ⁴ phagostimulant ⁴	0.5	0.5	0.5	0.5
乙氧基喹啉 ethoxyquin	0.05	0.05	0.05	0.05
姜黄素 ⁵ curcumin ⁵	0	0.02	0.04	0.06
海藻酸钠 sodium alginate	1.5	1.5	1.5	1.5
总和 total	100	100	100	100
营养水平(干物质) nutrition level (DM)				
粗蛋白质 crude protein	50.66	50.66	50.66	50.65
粗脂肪 crude lipid	17.36	17.36	17.36	17.36

注: 1. 鱼粉: 粗蛋白质 69.7%, 粗脂肪 8.67%; 谷朊粉: 粗蛋白质 81.79%, 粗脂肪 0.94%; 酪蛋白: 粗蛋白质 87.77%, 粗脂肪 1.26%; 小麦粉: 粗蛋白质 17.2%, 粗脂肪 2.45%; 豆粕: 粗蛋白质 53.65%, 粗脂肪 2.17%。2. 多矿(mg or g/kg diet): NaF 2 mg; KI 0.8 mg; CoCl₂·6H₂O (1%) 50 mg; CuSO₄·5H₂O 10 mg; FeSO₄·H₂O 80 mg; ZnSO₄·H₂O 50 mg; MnSO₄·H₂O 60 mg; MgSO₄·7H₂O 1200 mg; Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 3000 mg; 沸石粉 15.55 g。3. 多维(mg or g/kg diet): 维生素E醋酸酯 120 mg; 维生素C 2000 mg; 生物素 1.20 mg; 维生素D₃ 5 mg; 肌醇 800 mg; 烟酸 200 mg; 叶酸 20 mg; 核黄素 45 mg; 泛酸钙 60 mg; 维生素B₁ 25 mg; 维生素A醋酸酯 32 mg; 维生素B₁₂ 0.1 mg。4. 诱食剂: 甘氨酸和甜菜碱。5. 姜黄素: 纯度>98%

Notes: 1. fish meal: crude protein 69.7% dry matter, crude lipid 8.67% dry matter; wheat gluten meal: crude protein 81.79% dry matter, crude lipid 0.94% dry matter; casein: crude protein 87.77% dry matter, crude lipid 1.26% dry matter; wheat meal: crude protein 17.2% dry matter, crude lipid 2.45% dry matter; soybean meal: crude protein 53.65% dry matter, crude lipid 2.17% dry matter. 2. mineral premix (mg or g/kg diet): NaF 2 mg; KI 0.8 mg; CoCl₂·6H₂O (1%) 50 mg; CuSO₄·5H₂O 10 mg; FeSO₄·H₂O 80 mg; ZnSO₄·H₂O 50 mg; MnSO₄·H₂O 60 mg; MgSO₄·7H₂O 1200 mg; Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 3000 mg; zeolite 15.55 g. 3. vitamin premix (mg or g/kg diet): alpha-tocopherol 120 mg; ascorbic acid 2000 mg; biotin 1.20 mg; cholecalciferol 5 mg; inositol 800 mg; niacin acid 200 mg; folic acid 20 mg; riboflavin 45 mg; calcium pantothenate 60 mg; thiamin 25 mg; retinol acetate 32 mg; vitamin B₁₂ 0.1 mg. 4. attractant: glycine and betaine. 5. curcumin: purity>98%

ical AB, Sweden), 粗脂肪的测定采用索氏抽提法 (SoxtecTM 8000, FOSS Analytical AB, Sweden)。每份样品重复测定3次。

使用真空冷冻干燥机对大菱鲆肝脏和肌肉进行干燥, 通过称量冻干前与冻干后重量差值

测得肝脏和肌肉的水分含量。肝脏和肌肉脂肪含量的测定方法参照彭墨等^[26]。

血清抗氧化酶的测定 血清超氧化物歧化酶(SOD)酶活、过氧化氢酶(CAT)酶活、丙二醛(MDA)含量以及谷胱甘肽(GSH)含量的测定方法

按照南京建成试剂盒(南京建成生物工程研究所,南京)中说明书的方法测定。

1.4 计算方法和统计分析

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

饲料效率(feed efficiency rate, FER)= $(W_t - W_0) / W_d$

成活率(survival rate, SR, %)= $N_t / N_0 \times 100$

肝体比(hepatosomatic index, HSI, %)= $W_l / W_p \times 100$

脏体比(viscerosomatic index, VSI, %)= $W_v / W_p \times 100$

式中, W_t 、 W_0 分别表示终末体质量、初始体质量, t 为实验周期, W_d 表示摄食总饲料质量, N_t 、 N_0 分别表示实验结束时、开始时鱼尾数, W_l 表示鱼体肝脏湿重, W_p 表示单尾鱼鱼体湿重, W_v 表示鱼体内脏困湿重。

实验数据采用SPSS 17.0软件进行统计分析,首先进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),当达到显著水平时($P < 0.05$),再采用Turkey检验进行多重比较,最终将所得的数据表示为平均值±标准误(mean±SE)。

2 结果

2.1 饲料中添加姜黄素对大菱鲆幼鱼成活率、生长和形体指标的影响

饲料中添加姜黄素对大菱鲆幼鱼的成活率没有显著影响,各处理组的存活率均在97%以上($P > 0.05$)(表2);与对照组相比较,饲料中添加姜黄素后,大菱鲆幼鱼的SGR、FI没有显著变化($P > 0.05$);饲料中添加姜黄素后,大菱鲆幼鱼的HSI有所提高,但各处理组之间差异不显著($P > 0.05$)。饲料中添加姜黄素对其HSI和VSI的影响差异不显著($P > 0.05$)。

表2 饲料中添加姜黄素对大菱鲆幼鱼生长、存活及形体指标的影响

Tab. 2 Effects of dietary curcumin level on growth, survival and selected body parameters of *S. maximus*

指标 index	饲料姜黄素水平/% dietary curcumin level			
	0	0.02	0.04	0.06
特定生长率(%/d) SGR	2.70±0.05	2.69±0.06	2.50±0.07	2.71±0.05
初始体质量/g IBW	5.13±0.01	5.11±0.02	5.13±0.01	5.11±0.04
终末体质量/g FBW	41.48±1.56	41.58±1.43	40.33±1.46	41.67±1.32
存活率/% SR	97.14±0.65	98.10±0.95	97.14±0.65	99.05±0.95
摄食量/(g/d) FI	1.32±0.01	1.32±0.02	1.35±0.02	1.27±0.02
肝体比/% HSI	1.11±0.04	1.49±0.08	1.32±0.10	1.30±0.07
脏体比/% VSI	5.76±0.08	5.73±0.19	5.89±0.18	5.79±0.09

注:表中同行数据后无相同字母表示差异显著($P < 0.05$),同行数据后未标注字母表示无显著差异($P > 0.05$),下同

Notes: Values with different superscripts in the same row are significantly different ($P < 0.05$). Values without superscript in the same row are not significantly different ($P > 0.05$), the same below

2.2 饲料中添加姜黄素对大菱鲆幼鱼体成分的影响

饲料中添加姜黄素对鱼体水分含量无显著影响($P > 0.05$)(表3);饲料中添加姜黄素后,鱼体脂肪含量呈现显著下降趋势,其中,0.04%和0.06%姜黄素添加组的鱼体脂肪含量显著低于对照组和0.02%组($P < 0.05$)。饲料中添加姜黄素后,鱼体蛋白质含量有所下降,其中0.04%添加组显著低于其他各处理组($P < 0.05$)。肝脏脂肪含量随

姜黄素添加量的增加呈上升趋势,其中,0.06%添加组的肝脏脂肪含量显著高于对照组($P < 0.05$)。肌肉脂肪含量随着饲料中姜黄素添加量的增加呈显著增加的趋势,其中,0.04%和0.06%添加组显著高于对照组和0.02%组($P < 0.05$)(表3)。

2.3 饲料中添加姜黄素对大菱鲆幼鱼血清抗氧化酶活力的影响

饲料中添加姜黄素显著提高大菱鲆幼鱼血清SOD活力,其中0.06%姜黄素添加组的SOD活

表 3 饲料中添加姜黄素对大菱鲃幼鱼体成分的影响(湿重)

Tab. 3 Effects of dietary curcumin level on proximate composition of whole body, liver and muscle in *S. maximus* (wet weight)

指标 index	饲料姜黄素水平 dietary curcumin level			
	0	0.02	0.04	0.06
全鱼 whole body				
水分 moisture	77.08±0.23	77.60±0.41	78.39±0.54	77.77±0.25
粗蛋白质 crude protein	14.65±0.03 ^a	14.44±0.11 ^a	13.62±0.09 ^b	14.40±0.06 ^a
粗脂肪 crude lipid	4.65±0.03 ^a	4.53±0.02 ^a	3.88±0.04 ^c	4.16±0.05 ^b
组织脂肪含量 tissue lipid content				
肝脏 liver	11.62±0.31 ^b	14.27±0.36 ^{ab}	13.57±0.33 ^{ab}	15.09±0.34 ^a
肌肉 muscle	0.91±0.01 ^c	0.94±0.02 ^c	1.15±0.03 ^b	1.35±0.04 ^a

力显著高于其他组($P<0.05$)(图1), 而0、0.02%和0.04%组间差异不显著。随着饲料中姜黄素添加量的上升, 血清CAT活力各组间差异不显著

($P>0.05$)。饲料中添加姜黄素后, 血清MDA含量呈降低的趋势, 其中0.06%处理组显著低于其他各组($P<0.05$); 饲料中添加姜黄素显著降低血清

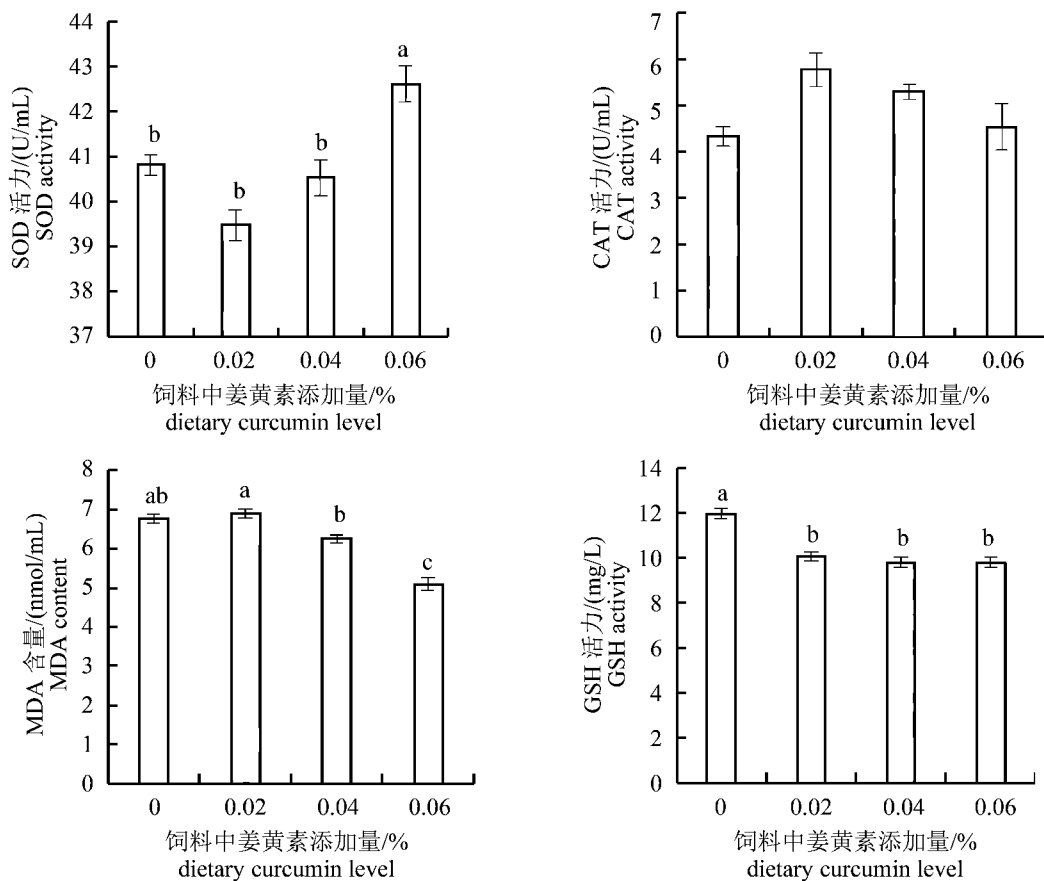


图 1 饲料中添加姜黄素对大菱鲃幼鱼血清抗氧化酶的影响

字母不同表示差异显著($P<0.05$)

Fig. 1 Effects of dietary curcumin level on antioxidant activity of plasma in juvenile *S. maximus*

The different letters mean significant difference ($P<0.05$)

GSH活力, 姜黄素添加组显著低于对照组 ($P < 0.05$), 但姜黄素添加组之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

3 讨论

在本研究中, 饲料中添加姜黄素对大菱鲂幼鱼的存活率和特定生长率没有显著影响, 而0.04%姜黄素添加组大菱鲂幼鱼的摄食量有所提高。Lawhavinit等^[27]研究发现, 在初始体质量为0.25 g的凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)饲料中, 添加姜黄提取物对其存活率和饲料转化率没有显著影响, 这与本研究结果基本一致, 而当饲喂姜黄乙醇提取物的量达到15 g/kg时, 南美白对虾的增重率显著提高。在草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)^[16]、凡纳滨对虾^[17]、奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus*♂×*O. aureus*♀)^[18]和露斯塔野鲮(*Labeo rohita*)^[28]的研究中亦表明, 饲料中添加姜黄素具有促进其生长、提高饲料效率的作用。不同研究者得出不同的结论, 造成差异的原因可能与实验鱼虾的规格、种类、饲料原料组成、投饲频率、养殖环境(如水温、溶氧)等有较大的关系。

在本研究中, 饲料中添加低剂量的姜黄素(0.02%)提高了幼鱼的肝体比, 而添加较高剂量(0.04%和0.06%)的姜黄素则能够使其肝体比下降; 并且随着饲料中姜黄素的增加鱼体脂肪含量显著降低, 这表明饲料中添加较高剂量的姜黄素能够降低鱼体脂肪含量。本研究结果与对小鼠和兔子的研究的结果类似, 对其饲喂姜黄素能够减少脂肪细胞中脂肪沉积等现象的发生; 这可能与姜黄素能够抑制血管再生有关, 并伴随脂肪细胞的数量以及含量的减少, 同时抑制脂肪前体细胞的分化, 从而降低了鱼体的脂肪含量^[29-30]。饲料中添加高剂量的姜黄素导致大菱鲂幼鱼肝脏和肌肉中脂肪含量的升高, 可能与高含量姜黄素导致脂肪代谢混乱有关, 因此这种情况出现的原因及调控机制有待于进一步深入探讨。

SOD、CAT、谷胱甘肽过氧化物酶(GPx)等是鱼体抗氧化系统的重要组成部分。研究表明, 除降脂作用外, 姜黄素在提高抗氧化能力方面也起到重要作用。在本实验中, 饲料中添加姜黄素显著提高大菱鲂幼鱼血清SOD活性, 但随饲料中姜黄素添加量的升高, 血清MDA含量和GSH含量显著下降。SOD是机体抗氧化系统损

伤防御体系中的一种最重要的抗氧化酶; CAT则可以通过清除过氧化体系中的过氧化氢, 从而发挥其抗氧化的作用。而MDA是脂质过氧化反应的最终代谢产物, 其含量的高低可以间接地反映机体脂质过氧化水平, 在一定程度上间接反映细胞的损伤情况, 因此抗氧化酶活性是衡量健康与否的重要标志^[31]。本研究结果表明, 饲料中添加姜黄素能够减轻大菱鲂幼鱼脂质过氧化程度, 提高大菱鲂幼鱼的抗氧化能力, 这与研究者对凡纳滨对虾和奥尼罗非鱼的研究结果一致^[17-18]。而在露斯塔野鲮的研究中表明, 姜黄素类化合物能够直接作用于髓过氧化物酶, 使其活性增强, 从而提高髓过氧化物酶、呼吸爆发活性等抗氧化指标^[32-34]。同时, 姜黄素能够差异性激活巨噬细胞并提高其吞噬活性, 促进抗体的产生以及淋巴细胞的增殖, 但是较高剂量的姜黄素则具有相反的作用^[35-37]。姜黄素能够提高鱼体免疫力, 其原因可能是由于在铜(Cu)和铁(Fe)离子存在时, 姜黄素既可以作为自由基清除剂、还原剂, 又可以作为DNA损伤抑制剂; 姜黄素能够与Fe、Mn和Cu离子结合, 以调节姜黄素的抗氧化能力和自由基清除效应^[38-41]。而本实验中的GSH活力下降可能是因为不同免疫指标对饲料处理的反应不同导致的^[42]。SOD、CAT以及GSH酶活力与机体脂质过氧化反应关系密切, 姜黄素由于其化学结构中存在酚基团和甲氧基团, 这2种基团相互作用能够清除氧自由基, 从而抑制脂质过氧化反应, 进一步提高机体的抗氧化能力^[43-44]。然而, 姜黄素又能够表现出促氧化作用, 且受到浓度的调控, 使姜黄素的作用在抗氧化和促氧化之间相互转化^[44, 45]。

4 结论

饲料中添加姜黄素对大菱鲂幼鱼存活、生长和形体指数无显著影响, 饲料中添加0.06%的姜黄素能够显著提高大菱鲂幼鱼的血清抗氧化力。

感谢本实验彭墨和张凯凯博士在实验方案设计以及徐翰林、王杰、郭敬萍、杨沛同学在饲料制备、养殖实验及样品采集时给予的帮助。

参考文献:

- [1] Ai Q H, Mai K S, Zhang L, et al. Effects of dietary β -1, 3 glucan on innate immune response of large yellow

- croaker, *Pseudosciaena crocea*[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2007, 22(4): 394-402.
- [2] Gopalakannan A, Arul V. Immunomodulatory effects of dietary intake of chitin, chitosan and levamisole on the immune system of *Cyprinus carpio* and control of *Aeromonas hydrophila* infection in ponds[J]. Aquaculture, 2006, 255(1-4): 179-187.
- [3] Zhou J, Song X L, Huang J, *et al.* Effects of dietary supplementation of A3 α -peptidoglycan on innate immune responses and defense activity of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*)[J]. Aquaculture, 2006, 251(2-4): 172-181.
- [4] Swain P, Nayak S K, Nanda P K, *et al.* Biological effects of bacterial lipopolysaccharide (endotoxin) in fish: a review[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2008, 25(3): 191-201.
- [5] Merrifield D L, Dimitroglou A, Foey A, *et al.* The current status and future focus of probiotic and prebiotic applications for salmonids[J]. Aquaculture, 2010, 302(1-2): 1-18.
- [6] Noorafshan A, Ashkani-Esfahani S. A review of therapeutic effects of curcumin[J]. Current Pharmaceutical Design, 2013, 19(11): 2032-2046.
- [7] Kim W K, Ke K, Sul O J, *et al.* Curcumin protects against ovariectomy-induced bone loss and decreases osteoclastogenesis[J]. Journal of Cellular Biochemistry, 2011, 112(11): 3159-3166.
- [8] Sikora E, Scapagnini G, Barbagallo M. Curcumin, inflammation, ageing and age-related diseases[J]. Immunity & Ageing, 2010, 7: 1.
- [9] Sreepriya M, Bali G. Effects of administration of Embelin and Curcumin on lipid peroxidation, hepatic glutathione antioxidant defense and hematopoietic system during N-nitrosodiethylamine/Phenobarbital-induced hepatocarcinogenesis in Wistar rats[J]. Molecular and Cellular Biochemistry, 2006, 284(1-2): 49-55.
- [10] Joe B, Lokesh B R. Role of capsaicin, curcumin and dietary n-3 fatty acids in lowering the generation of reactive oxygen species in rat peritoneal macrophages[J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research, 1994, 1224(2): 255-263.
- [11] Sreejayan, Rao M N A. Nitric oxide scavenging by curcuminoids[J]. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 1997, 49(1): 105-107.
- [12] Lin J K, Shih C A. Inhibitory effect of curcumin on xanthine dehydrogenase/oxidase induced by phorbol-12-myristate-13-acetate in NJH3T3 cells[J]. Carcinogenesis, 1994, 15(8): 1717-1721.
- [13] Jefremov V, Zilmer M, Zilmer K, *et al.* Antioxidative effects of plant polyphenols[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2007, 1095(1): 449-457.
- [14] Hatcher H, Planalp R, Cho J, *et al.* Curcumin: From ancient medicine to current clinical trials[J]. Cellular and Molecular Life Sciences, 2008, 65(11): 1631-1652.
- [15] 王进波, 吴天星. 姜黄素在大黄鱼饲料中的应用效果研究[J]. 水利渔业, 2007, 27(6): 105-106.
Wang J B, Wu T X. Application of curcumin in the feed for *Pseudosciaena crocea*[J]. Reservoir Fisheries, 2007, 27(6): 105-106(in Chinese).
- [16] 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.
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(in Chinese).
- [17] 黄镇佳. 姜黄素对凡纳滨对虾的营养作用及对罗非鱼的毒性作用研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2009.
Huang Z J. Study on nutritional effects and toxicity of curcumin on *Litopenaeus vannamei* and *Tilapia*[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2009(in Chinese).
- [18] 卢婉怡. 姜黄素的生物学功能及其在奥尼罗非鱼养殖上的应用研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2009.
Lu W Y. Biological function of curcumin and applied research on aquaculture of *Mossabica tilapia*[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2009(in Chinese).
- [19] Peng M, Xu W, Ai Q H, *et al.* Effects of nucleotide supplementation on growth, immune responses and intestinal morphology in juvenile turbot fed diets with graded levels of soybean meal (*Scophthalmus maximus* L.)[J]. Aquaculture, 2013, 392-395: 51-58.
- [20] Fuchs V I, Schmidt J, Slater M J, *et al.* The effect of supplementation with polysaccharides, nucleotides, acidifiers and *Bacillus* strains in fish meal and soy bean based diets on growth performance in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*)[J]. Aquaculture, 2015, 437:

- 243-251.
- [21] Qi G S, Ai Q H, Mai K S, *et al.* Effects of dietary taurine supplementation to a casein-based diet on growth performance and taurine distribution in two sizes of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.)[J]. Aquaculture, 2012, 358-359: 122-128.
- [22] Yun B, Mai K S, Zhang W B, *et al.* Effects of dietary cholesterol on growth performance, feed intake and cholesterol metabolism in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) fed high plant protein diets[J]. Aquaculture, 2011, 319(1-2): 105-110.
- [23] Yun B, Ai Q H, Mai K S, *et al.* Synergistic effects of dietary cholesterol and taurine on growth performance and cholesterol metabolism in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) fed high plant protein diets[J]. Aquaculture, 2012, 324-325: 85-91.
- [24] 张雪, 吴立新, 姜志强, 等. 果寡糖和甘露寡糖对大菱鲆幼鱼生长性能和血清生化指标的影响[J]. 水产科学, 2014, 33(9): 545-550.
- Zhang X, Wu L X, Jiang Z Q, *et al.* Effects of fructo-oligosaccharides and mannan oligosaccharides on growth performance and serum biochemical indices of juvenile turbot *Scophthalmus maximus*[J]. Fisheries Science, 2014, 33(9): 545-550(in Chinese).
- [25] Cui L Q, Xu W, Ai Q H, *et al.* Effects of dietary chitosan oligosaccharide complex with rare earth on growth performance and innate immune response of turbot, *Scophthalmus maximus* L.[J]. Aquaculture Research, 2013, 44(5): 683-690.
- [26] 彭墨. 饲料脂肪水平和脂肪酸组成对大菱鲆幼鱼脂沉积的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- Peng M. The effects of dietary lipid level and fatty acids composition on lipid deposition in turbot (*Scophthalmus maximus* L.)[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014(in Chinese).
- [27] Lawhavinit O, Sincharoenpokai P, Sunthornandh P. Study on effects of ethanol tumeric (*Curcuma longa* Linn.) extract on *Vibrio* spp., growth and immunity of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)[C]//Proceedings of the 48th Kasetsart University Annual Conference, Kasetsart, 3-5 March, 2010. Subject: Fisheries. Bangkok: Kasetsart University, 2010.
- [28] Sahu S, Das B K, Mishra B K, *et al.* Effect of dietary *Curcuma longa* on enzymatic and immunological profiles of rohu, *Labeo rohita* (Ham.), infected with *Aeromonas hydrophila*[J]. Aquaculture Research, 2008, 39(16): 1720-1730.
- [29] Ahn J, Lee H, Kim S, *et al.* Curcumin-induced suppression of adipogenic differentiation is accompanied by activation of Wnt/ β -catenin signaling[J]. American Journal of Physiology-Cell Physiology, 2010, 298(6): C1510-C1516.
- [30] Ejaz A, Wu D Y, Kwan P, *et al.* Curcumin inhibits adipogenesis in 3T3-L1 adipocytes and angiogenesis and obesity in C57/BL mice[J]. Journal of Nutrition, 2009, 139(5): 919-925.
- [31] 韩雨哲, 姜志强, 任同军, 等. 氧化鱼油与棕榈油对花鲈肝脏抗氧化酶及组织结构的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(4): 798-806.
- Han Y Z, Jiang Z Q, Ren T J, *et al.* Effects of oxidized fish oil blended with palm oil on antioxidant capacity and histology of Japanese sea bass (*Lateolabrax maculatus*) juvenile[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(4): 798-806(in Chinese).
- [32] Franck T, Kohlen S, Grulke S, *et al.* Inhibitory effect of curcuminoids and tetrahydrocurcuminoids on equine activated neutrophils and myeloperoxidase activity[J]. Physiological Research, 2008, 57(4): 577-587.
- [33] Bhaumik S, Jyothi M D, Khar A. Differential modulation of nitric oxide production by curcumin in host macrophages and NK cells[J]. FEBS Letters, 2000, 483(1): 78-82.
- [34] Li X J, Liu X C. Effect of curcumin on immune function of mice[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Medical Sciences), 2005, 25(2): 137-140.
- [35] Kuramoto Y, Yamada K, Tsuruta O, *et al.* Effect of natural food colorings on immunoglobulin production *in vitro* by rat spleen lymphocytes[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 1996, 60(10): 1712-1713.
- [36] Jagetia G C, Aggarwal B B. "Spicing up" of the immune system by curcumin[J]. Journal of Clinical Immunology, 2007, 27(1): 19-35.
- [37] Antony S, Kuttan R, Kuttan G. Immunomodulatory activity of curcumin[J]. Immunological Investigations, 1999, 28(5-6): 291-303.
- [38] Antunes L M G, Araújo M C P, da Luz Dias F, *et al.*

- Effects of H_2O_2 , Fe^{2+} and Fe^{3+} on curcumin-induced chromosomal aberrations in CHO cells[J]. *Genetics and Molecular Biology*, 2005, 28(1): 161-164.
- [39] Jovanovic S V, Boone C W, Steenken S, *et al.* How curcumin works preferentially with water soluble antioxidants[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2001, 123(13): 3064-3068.
- [40] Patro B S, Rele S, Chintalwar G J, *et al.* Protective activities of some phenolic 1, 3-diketones against lipid peroxidation: possible involvement of the 1, 3-diketone moiety[J]. *ChemBioChem*, 2002, 3(4): 364-370.
- [41] Vajragupta O, Boonchoong P, Berliner L J. Manganese complexes of curcumin analogues: evaluation of hydroxyl radical scavenging ability, superoxide dismutase activity and stability towards hydrolysis[J]. *Free Radical Research*, 2004, 38(3): 303-314.
- [42] Zuo R T, Ai Q H, Mai K S, *et al.* Effects of dietary docosahexaenoic to eicosapentaenoic acid ratio (DHA/EPA) on growth, nonspecific immunity, expression of some immune related genes and disease resistance of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) following natural infestation of parasites (*Cryptocaryon irritans*) [J]. *Aquaculture*, 2012, 334-337: 101-109.
- [43] Priyadarsini K I, Maity D K, Naik G H, *et al.* Role of phenolic O-H and methylene hydrogen on the free radical reactions and antioxidant activity of curcumin[J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2003, 35(5): 475-484.
- [44] Miriyala S, Panchatcharam M, Rengarajulu P. Cardioprotective effects of curcumin[M]//Aggarwal B B, Surh Y J, Shishodia S. *The Molecular Targets and Therapeutic Uses of Curcumin in Health and Disease*. New York: Springer US, 2007: 359-377.
- [45] Sandur S K, Ichikawa H, Pandey M K, *et al.* Role of pro-oxidants and antioxidants in the anti-inflammatory and apoptotic effects of curcumin (*diferuloylmethane*)[J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2007, 43(4): 568-580.

Effects of dietary curcumin on growth performance, body composition and serum antioxidant enzyme activity in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*)

WANG Yahui, WANG Yuyu, MAI Kangsen, XU Wei, ZHANG Yanjiao,
ZHOU Huihui, GONG Ye, AI Qinghui*

(Key Laboratory of Aquaculture Nutrition and Feed, Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: A 77-d feeding trial was conducted to evaluate the effects of dietary curcumin on growth performance, body composition and serum antioxidant enzyme activity in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) [initial body weight (5.12±0.04) g]. Four isonitrogenous and isoenergetic practical diets (50.66% protein, 17.36% lipid) were formulated to contain graded levels (0, 0.02%, 0.04% and 0.06% dry weight) of curcumin. Each diet was randomly assigned to triplicate groups of 35 fish and the fish were fed twice daily to apparent satiation. The results showed that survival rate (SR), specific growth rate (SGR), feed intake (FI), hepatosomatic index (HSI) and viserosomatic index (VSI) were not significantly affected by the dietary curcumin levels. There were no significant differences observed in whole body moisture content among all treatments. Lipid content in whole body significantly decreased, while lipid content in liver and muscle significantly increased with increasing dietary curcumin levels. Fish fed diet with 0.04% curcumin showed lower protein content in whole body than other groups. The activity of serum SOD increased with increasing dietary curcumin levels, and fish fed diet with 0.06% curcumin had significantly higher value than the control group. The activity of serum CAT was opposite to the trend of serum SOD activity, and the group fed diet with 0.06% curcumin had higher value than the control group. The serum MDA content and GSH content were significantly decreased with increasing dietary curcumin levels. In conclusion, the results from the present study indicated that 0.06% dietary curcumin improved the serum anti-oxidation ability of juvenile turbot, but did not affect the growth of fish.

Key words: *Scophthalmus maximus*; curcumin; growth performance; body composition; antioxidant enzyme

Corresponding author: AI Qinghui. E-mail: qhai@ouc.edu.cn

Funding projects: China Agriculture Research System (CARS-50-G08)