

网络出版时间:2019-07-10 10:35 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2020.01.002
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20190710.1033.004.html

虾青素对大鳞副泥鳅幼鱼生长、体成分及 抗氧化指标的影响

姚金明,陈秀梅,刘明哲,牛小天,单晓枫,王桂芹,吴莉芳,张东鸣

(吉林农业大学 动物科学技术学院,吉林省动物营养与饲料科学重点实验室,
动物生产及产品质量安全教育部重点实验室,吉林 长春 130118)

【摘 要】 【目的】研究饲料不同虾青素添加水平对大鳞副泥鳅幼鱼生长、体成分及抗氧化指标的影响。【方法】选取 450 尾初始体质量为 (3.00 ± 0.10) g/尾的大鳞副泥鳅幼鱼,随机分成 5 组,每组 3 个重复,每个重复 30 尾鱼,分别饲喂基础饲料(对照组)以及添加 50,100,150,200 mg/kg 虾青素的试验饲料,在控温养殖系统中进行为期 8 周的饲养试验。试验结束后,称量鱼体质量并计算生长指标,测定试鱼体成分及肝胰脏抗氧化指标。【结果】试验期间大鳞副泥鳅成活率为 100%。大鳞副泥鳅的终末体质量、平均增重率和特定生长率在虾青素添加水平为 50~200 mg/kg 时显著高于对照组($P < 0.05$),饲料效率和蛋白质效率在虾青素添加水平为 100~200 mg/kg 时显著高于对照组($P < 0.05$);结合抛物线回归分析结果与方差分析结果可知,大鳞副泥鳅平均增重率最大时的最适虾青素添加水平为 100~151.06 mg/kg,饲料效率最大时的虾青素添加水平为 100~157.04 mg/kg。当虾青素添加水平为 50~200 mg/kg 时,大鳞副泥鳅全鱼蛋白质含量显著高于对照组($P < 0.05$)。肝胰脏总超氧化物歧化酶(T-SOD)、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性及谷胱甘肽(GSH)含量在虾青素添加水平为 50~200 mg/kg 时均显著高于对照组($P < 0.05$);当虾青素添加水平为 50~200 mg/kg 时,丙二醛(MDA)含量显著低于对照组($P < 0.05$)。【结论】本试验条件下,综合生长、体成分及抗氧化指标,大鳞副泥鳅饲料中虾青素的最适添加水平为 100~151.06 mg/kg。

【关键词】 虾青素;大鳞副泥鳅;抗氧化指标;生长指标;饲料效率

【中图分类号】 S965.211.7

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2020)01-0009-07

Effects of astaxanthin on growth, body composition and antioxidant indexes of juvenile *Paramisgurnus dabryanus*

YAO Jinming, CHEN Xiumei, LIU Mingzhe, NIU Xiaotian, SHAN Xiaofeng,
WANG Guiqin, WU Lifang, ZHANG Dongming

(College of Animal Science and Technology, Jilin Provincial Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science,
Key Laboratory for Animal Production, Product Quality and Safety of Ministry of Education,
Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the effects of astaxanthin supplementation on growth, body composition and antioxidant indexes of juvenile *Paramisgurnus dabryanus*. 【Method】 A total of 450 fishes with an initial weight of (3.00 ± 0.10) g were randomly assigned to five groups with three replicates per group and 30 fishes per replicate. The groups received the same basal diet supplemented with astaxanthin levels of 0, 50, 100, 150 and 200 mg/kg, respectively. The feeding trial lasted for 8 weeks in the tem-

【收稿日期】 2018-12-07

【基金项目】 吉林省重点科技攻关项目(20170204032NY);国家现代农业(特色淡水鱼)产业技术体系建设专项(CARS-46)

【作者简介】 姚金明(1993—),女,吉林舒兰人,在读硕士,主要从事水生动物营养与免疫研究。E-mail:630604449@qq.com

【通信作者】 王桂芹(1968—),女,吉林东辽人,教授,博士生导师,主要从事水生动物营养与免疫研究。E-mail:wgqjla@aliyun.com

perature-controlled culture system, and fishes were weighted to calculate the growth indexes. The body composition and antioxidant indexes in hepatopancreas were also measured. 【Result】 The survival rate of *Paramisgurnus dabryanus* was 100% during the experiment. Astaxanthin significantly stimulated the final body weight, average weight gain rate, and special growth rate when the supplementation level was 50 — 200 mg/kg ($P < 0.05$). The feed efficiency and protein efficiency were significantly higher than that of the control group ($P < 0.05$) when the supplementation level was 100 — 200 mg/kg ($P < 0.05$). Combined with the results of parabola regression analysis and ANOVA, the optimum supplementation level of astaxanthin for the maximum weight gain rate was 100 — 151.06 mg/kg and the maximum feed efficiency was 100 — 157.04 mg/kg. The protein content was significantly higher than that of the control group ($P < 0.05$) when the supplementation level of astaxanthin was 50 — 200 mg/kg ($P < 0.05$). Total superoxide dismutase (T-SOD) activity, catalase (CAT) activity, glutathione peroxidase (GSH-Px) activity and glutathione (GSH) content were significantly increased when the supplementation level of astaxanthin was 50 — 200 mg/kg. The content of malonaldehyde (MDA) was significantly lower in 50 — 200 mg/kg groups than that of the control group ($P < 0.05$). 【Conclusion】 Under the experimental conditions, the optimum supplementation level of astaxanthin in the feed of *Paramisgurnus dabryanus* was 100 — 151.06 mg/kg considering growth, body composition and antioxidant indexes.

Key words: astaxanthin; *Paramisgurnus dabryanus*; antioxidant indexes; growth indexes; feed efficiency

大鳞副泥鳅 (*Paramisgurnus dabryanus*) 隶属于鲤形目 (Cypriniformes)、鳅科 (Cobitidae)、花鳅亚科 (Cobitidae), 副泥鳅属 (*Paramisgurnus*), 广泛分布于中国、朝鲜、韩国、日本及东南亚国家^[1-2], 其因营养丰富, 肉质细嫩, 味道鲜美, 被誉为“水中人参”, 深受消费者喜爱, 市场潜力巨大。目前, 关于大鳞副泥鳅的人工繁育^[3]、杂交育种^[4]、生长性能^[5]等已有相关报道。但在人工养殖过程中, 由于其营养需要无标准规范, 无商业化人工配合饵料, 养殖不够规范等因素, 造成人工投喂技术粗糙、随意性大等问题, 致使饲料浪费, 养殖水体环境恶化, 对鱼体造成应激, 严重影响大鳞副泥鳅的健康生长, 降低了产品品质 and 经济效益。因此, 寻求一种高效安全的饲料添加剂, 通过营养调控手段提升大鳞副泥鳅的抗应激能力势在必行。虾青素 (Astaxanthin) 又名虾黄质、虾黄素、变胞藻黄素、虾红素, 广泛存在于海产甲壳类动物 (如虾、蟹等) 及鱼类 (鲑科鱼类、观赏鱼类等) 组织器官中^[6], 普遍用于特殊体色观赏鱼类的色素沉积, 我国已批准雨生红球藻源的虾青素脂为新食品资源, 可直接食用。虾青素因具有抗氧化生理活性而深受广大养殖者青睐, 其在提高水产动物存活率以及促进机体生长、繁殖和发育等方面同样具有积极作用^[7-9]。目前尚未有研究报道虾青素对大鳞副泥鳅的影响作用。本试验研究了不同添加水平虾青素对大鳞副泥鳅生长、体成分及抗氧化指标的影响, 旨在为虾青素在大鳞副泥鳅健康养殖中的应用

提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

虾青素购于西安泽邦生物科技有限公司 (提取于雨生红球藻, 含量为 2%)。在基础饲料中分别添加 0, 50, 100, 150, 200 mg/kg 虾青素, 最终配制出 5 种试验饲料 (I~V 组, 其中 I 组为对照组 (CK))。将各类饲料原料粉碎后过孔径 0.246 mm (60 目) 的筛, 按饲料配方称取各原料, 加工成直径为 1.2 mm 的颗粒状饲料, 于室外晾晒, 晾干后放置于 -20 °C 冰箱中保存, 备用。饲料配方及营养成分如表 1 所示。

1.2 试验设计

选取健康、体型及规格一致的大鳞副泥鳅幼鱼 ((3.00 ± 0.10) g/尾) 450 尾, 在吉林农业大学控温养殖系统中暂养 15 d, 饱食投喂基础饲料, 每日投喂 2 次 (9:00, 16:00), 投喂 1 h 后检查水族箱内饵料残留情况, 用虹吸法吸出沉积残留饵料, 并根据残饵量调整投喂量, 期间水温保持在 23~25 °C, 溶解氧大于 5.0 mg/kg, pH 值 7.1 ± 0.1。将 450 尾大鳞副泥鳅随机分成 5 组, 每组 3 个重复, 每个重复 30 尾鱼, 禁食 24 h 后分别饲喂上述 I~V 组饲料, 饲养试验为期 8 周。试验期间的日常管理及水质条件同暂养期间保持一致。

表 1 饲料组成及营养水平
Table 1 Feed composition and nutrient levels

饲料组成及营养水平 Feed composition and nutrient levels		I	II	III	IV	V
饲料组成 Feed composition	虾青素/(mg·kg ⁻¹)Astaxanthin	0.0	50.0	100.0	150.0	200.0
	鱼粉/(g·kg ⁻¹)Fish meal	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0
	去皮豆粕/(g·kg ⁻¹)Soybean meal	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0
	玉米蛋白粉/(g·kg ⁻¹)Corn protein powder	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0
	玉米油/(g·kg ⁻¹)Corn oil	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
	小麦麸/(g·kg ⁻¹)Wheat bran	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
	面粉/(g·kg ⁻¹)Flour	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	糊精/(g·kg ⁻¹)Dextrin	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0
	磷酸二氢钙/(g·kg ⁻¹)Monocalcium phosphate	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0
	维生素预混料/(g·kg ⁻¹)Vitamin premix	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	矿物质预混料/(g·kg ⁻¹)Mineral premix	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	赖氨酸/(g·kg ⁻¹)Lysine	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	蛋氨酸/(g·kg ⁻¹)Methionine	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	50%氯化胆碱/(g·kg ⁻¹)Choline chloride	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
营养水平 Nutrient levels	粗蛋白质/(g·kg ⁻¹)Crude protein	356.9	359.8	351.7	360.4	354.6
	粗脂肪/(g·kg ⁻¹)Crude fat	73.2	73.1	73.2	73.2	73.3
	粗灰分/(g·kg ⁻¹)Crude ash	64.3	63.3	64.2	64.3	64.7
	水分/(g·kg ⁻¹)Moisture	55.6	53.8	51.9	52.1	57.4
	总能/(MJ·kg ⁻¹)Gross energy	16.57	16.68	16.53	16.56	16.62

1.3 样品的采集

取样前停食 24 h,称量每个桶内的大鳞副泥鳅总质量,清点并记录每桶鱼的尾数。然后,每桶随机取 10 尾鱼,采用 MS-222(Sigma,10 mg/L)麻醉后,吸干鱼体表的水分,称质量,其中 5 尾鱼— 20 ℃冷冻保存,用于测定全鱼体成分;另外 5 尾鱼冰上操作解剖分离其肝胰脏样品,液氮速冻后转入— 80 ℃超低温冰箱保存,用于测定抗氧化指标。

1.4 指标的测定

1.4.1 生长指标 根据大鳞副泥鳅初始体质量、终末体质量以及摄食量计算平均增重率(AWGR)、特定生长率(SGR)、饲料效率(FER)、蛋白质效率(PER)。计算公式如下:AWGR=($m_t - m_0$)/ $m_0 \times 100\%$,SGR=($\ln m_t - \ln m_0$)/ $t \times 100\%$,FER=($m_t - m_0$)/ $m_t \times 100\%$,PER=($m_t - m_0$)/($m_t \times m_p$) $\times 100\%$ 。式中: m_0 、 m_t 分别表示鱼初始体质量和终末体质量(g/尾), t 表示试验时间(d), m_t 表示摄入干饲料质量(g/尾), m_p 表示饲料粗蛋白质含量(%)。

1.4.2 体成分指标 根据 GB/T 6435 — 2006、GB/T 6432 — 1994、GB/T 6438 — 2007 和 GB/T 6433 — 2006 的方法,测定全鱼的水分、粗蛋白质、粗灰分和粗脂肪的含量。

1.4.3 抗氧化酶活力及谷胱甘肽(GSH)和丙二醛(MDA)含量 肝胰脏样品在 4 ℃条件下匀浆后,采用冷冻离心机 3 000 r/min 离心 15 min,取上清液待测。总超氧化物歧化酶(T-SOD)、过氧化氢酶

(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活力及 GSH、MDA 含量分别采用相应的试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定。

1.5 数据统计分析

采用 SPSS(20.0)软件对大鳞副泥鳅生长、体成分和抗氧化指标数据进行方差分析,若方差分析显著,进一步进行 Duncan's 多重比较,分析组间差异显著性,显著水平设定为 $P<0.05$ 。试验数据采用“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 虾青素添加水平对大鳞副泥鳅幼鱼生长的影响

试验期间大鳞副泥鳅成活率为 100%。由表 2 可见,在本试验条件下,虾青素对大鳞副泥鳅生长有显著影响。当虾青素的添加水平为 50~200 mg/kg 时,大鳞副泥鳅的终末体质量、平均增重率、特定生长率均显著高于对照组($P<0.05$),且随着虾青素添加水平的提高 3 个指标均呈先上升后降低的趋势,在添加水平为 100 mg/kg 时最大,此时大鳞副泥鳅的平均增重率和特定生长率均显著高于 50 mg/kg 添加组($P<0.05$)。饲料效率和蛋白质效率随虾青素添加水平的提高也呈先上升后下降的趋势,在添加水平为 100 mg/kg 时达到最大,此时饲料效率和蛋白质效率均显著高于 50 mg/kg 添加组($P<0.05$)。

表 2 虾青素添加水平对大鳞副泥鳅幼鱼生长的影响
Table 2 Effects of astaxanthin level on growth of *Paramisgurnus dabryanus*

组别 Groups	初始体质量/ (g·尾 ⁻¹) Initial body weight	终末体质量/ (g·尾 ⁻¹) Final body weight	平均增重率/% Average weight gain rate	特定生长率/% Specific growth rate	饲料效率/% Feed efficiency ratio	蛋白质效率/% Protein efficiency ratio
I (CK)	3.00±0.13	5.89±0.57 a	96.13±11.11 a	1.20±0.10 a	61.22±8.36 a	1.72±0.23 a
II	3.00±0.11	6.71±0.30 b	123.90±9.38 b	1.44±0.08 b	73.55±6.06 ab	2.04±0.17 ab
III	3.00±0.13	7.47±0.50 b	149.08±12.20 c	1.63±0.09 c	88.80±8.25 c	2.53±0.23 c
IV	3.00±0.11	7.44±0.54 b	147.99±16.49 bc	1.62±0.12 bc	87.29±10.14 bc	2.42±0.28 bc
V	3.00±0.09	7.42±0.20 b	147.72±13.67 bc	1.62±0.1 bc	86.16±4.83 bc	2.43±0.14 bc

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note: Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$). The same below.

将饲料中虾青素的添加水平(X)和大鳞副泥鳅的平均增重率(Y_1)做抛物线回归分析,结果如图 1-A 所示,所得方程式为: $Y_1 = -0.002\ 4X^2 + 0.725\ 1X + 95.744$, $R^2 = 0.982\ 3$,可知 Y_1 最大时对应的 X 为 151.06 mg/kg。将抛物线回归分析结果与方差分析结果结合起来可知,大鳞副泥鳅平均增重率最大时的最适虾青素添加水平为 100~151.06 mg/kg。

将饲料中虾青素的添加水平(X)和大鳞副泥鳅的饲料效率(Y_2)做抛物线回归分析,结果如图 1-B 所示,所得方程式为: $Y_2 = -0.001\ 2X^2 + 0.376\ 9X + 60.441$, $R^2 = 0.964\ 3$,可知 Y_2 最大时对应的 X 为 157.04 mg/kg。将抛物线回归分析结果与方差分析结果相结合可得出:大鳞副泥鳅饲料效率最大时的最适虾青素添加水平为 100~157.04 mg/kg。

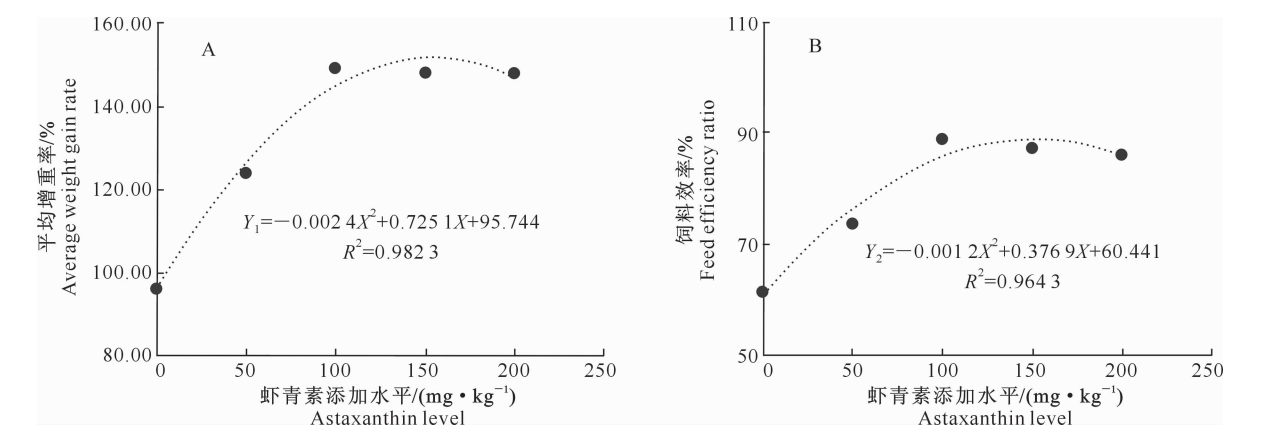


图 1 虾青素添加水平与大鳞副泥鳅幼鱼平均增重率(A)和饲料效率(B)的抛物线回归分析

Fig. 1 Parabola regression analysis between average weight gain rate (A) and feed efficiency ratio (B) with the dietary astaxanthin level of *Paramisgurnus dabryanus*

2.2 虾青素添加水平对大鳞副泥鳅幼鱼体成分的影响

饲料中虾青素添加水平对大鳞副泥鳅幼鱼体成分的影响见表 3。由表 3 可知,当虾青素添加水平为 50~200 mg/kg 时,大鳞副泥鳅全鱼粗蛋白质含量均显著高于对照组($P<0.05$);随着虾青素添加

水平的提高,蛋白质含量呈先上升后降低的趋势,在添加水平为 100 mg/kg 时最大,100~200 mg/kg 添加组之间无显著性差异,但均显著高于 50 mg/kg 添加组($P<0.05$)。大鳞副泥鳅全鱼粗脂肪、粗灰分和水分含量各组之间差异不显著($P>0.05$)。综合分析,虾青素的添加水平以 100~200 mg/kg 为宜。

表 3 虾青素添加水平对大鳞副泥鳅幼鱼全鱼体成分的影响

Table 3 Effects of astaxanthin level on whole body composition of *Paramisgurnus dabryanus*

组别 Groups	粗蛋白质/% Crude protein	粗脂肪/% Crude lipid	粗灰分/% Crude ash	水分/% Moisture
I (CK)	16.35±0.11 a	2.46±0.19	78.43±0.18	1.78±0.20
II	17.48±0.18 b	2.17±0.22	78.33±0.11	1.88±0.04
III	18.16±0.12 c	2.50±0.26	77.91±0.37	1.70±0.19
IV	17.89±0.03 c	1.40±0.34	78.13±0.13	1.81±0.01
V	17.69±0.06 c	2.14±0.54	78.36±0.06	1.75±0.03

2.3 虾青素添加水平对大鳞副泥鳅肝胰脏抗氧化指标的影响

饲料中虾青素水平对大鳞副泥鳅肝胰脏抗氧化指标的影响结果见表 4。由表 4 可知,虾青素添加组大鳞副泥鳅的肝胰脏 T-SOD、CAT 和 GSH-Px 活性以及 GSH 含量均显著高于对照组($P<0.05$);随着虾青素添加水平的提高,上述 4 个指标均呈现

先上升后降低的趋势,在虾青素添加水平为 100~200 mg/kg 时达到最高水平。虾青素添加组大鳞副泥鳅的肝胰脏 MDA 含量均显著低于对照组($P<0.05$),且随着虾青素添加水平的提高呈现下降的趋势。综合分析,虾青素的添加水平以 100~200 mg/kg 为宜。

表 4 虾青素添加水平对大鳞副泥鳅肝胰脏抗氧化指标的影响

组别 Groups	T-SOD/(U·mg ⁻¹)	CAT/(U·mg ⁻¹)	GSH-Px/(U·mg ⁻¹)	GSH/(μmol·g ⁻¹)	MDA/(nmol·mg ⁻¹)
I (CK)	11.63±0.98 a	7.51±0.02 a	132.98±10.11 a	338.92±16.75 a	8.54±0.28 c
II	14.35±0.81 b	8.33±0.09 b	202.66±15.90 b	530.05±7.93 b	5.73±0.31 b
III	18.37±1.0 1c	9.22±0.06 c	296.94±7.88 c	798.24±19.87 c	4.32±0.31 a
IV	19.63±1.00 c	9.24±0.43 c	283.48±7.11 c	792.00±51.45 c	4.39±0.32 a
V	19.35±1.05 c	9.21±0.47 c	280.42±7.76 c	771.62±62.07 c	4.15±0.12 a

3 讨 论

3.1 虾青素对大鳞副泥鳅生长性能的影响

作为饲料添加剂,虾青素对水生动物具有明显的促生长作用,目前此方面的研究内容大多集中在观赏鱼、虾和蟹中。黄璞玮等^[10]研究表明,虾青素对七彩神仙鱼(*Symphysodon aequifasciata*)的增重率和特定生长率有显著影响,50 mg/kg 添加量比较适宜。孙刘娟等^[11]的研究结果显示,添加 2‰和 3‰的虾青素对血鹦鵒(*Cichlasoma* var.)生长影响显著。崔培等^[12]研究表明,红白锦鲤(*Cyprinus carpio*)饲料中虾青素的适宜添加量为 700 mg/kg。Rehulka^[13]研究表明,49.8 mg/kg 虾青素可显著影响虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)的生长性能。虾青素对斑节对虾(*Penaeus monodon*)^[14]、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[15]和日本对虾(*Marsupenaeus japonicus*)^[16]幼虾和仿刺参(*Apostichopus japonicus*)幼参^[17]也有促生长作用。本试验结果同样表明,在饲料中添加 100.00~151.06 mg/kg 虾青素可显著促进大鳞副泥鳅的生长。上述研究均证明虾青素具有明显的促生长作用,主要表现为提高存活率、增重率及饲料效率方面,分析其原因可能与虾青素极强的抗氧化功能密切相关。在哺乳动物上的研究结果也证明,虾青素在机体营养和健康方面有积极的调控作用,尤其对病理条件下的机体作用更明显^[18-19]。但也有研究表明,虾青素对个别水产动物无明显促生长作用,如 Harpaz 等^[20]发现饲料中添加虾青素对红螯螯虾(*Chrtax quadricarinatus*)的生长及成活率无显著作用。究其原因,不同种类

的水产动物因代谢机制的差异其适宜的虾青素添加量可能存在差异。这暗示虾青素的促生长作用可能存在剂量依赖性,具体调控机制需深入研究。

3.2 虾青素对大鳞副泥鳅体成分的影响

鱼体营养成分可直接体现鱼类营养价值的高低^[21]。鱼类的体成分受遗传因子影响,在一定的生长发育阶段是保持恒定的,但在养殖过程中,随着生长环境、养殖技术、饲料营养水平及加工技术等外界因素的变化,鱼体成分也会有所变化^[22],并且随着现代水产养殖越来越趋向集约化,人工配合饲料的使用日益普遍,从而使饲料与鱼体营养成分的联系更加紧密。付兴周等^[23]研究证明,肉鸡饲料中添加 1.0% 虾青素复合添加剂可以改善鸡肉品质。目前,虾青素对水产动物影响的研究主要集中在生长、体色、抗氧化等方面,对体成分的影响未见报道。本试验结果表明,随着虾青素添加量的增加,大鳞副泥鳅全鱼体蛋白含量显著提高,可见虾青素可有效改善大鳞副泥鳅鱼体蛋白质的积累。分析其原因,可能是虾青素的添加改善了大鳞副泥鳅的健康状况,减少机体用于抵抗外界应激的能量消耗,增加机体内营养物质的储存,最终提高了鱼体的营养成分^[24],但具体机制还有待进一步研究。

3.3 虾青素对大鳞副泥鳅肝胰脏抗氧化指标的影响

生物机体内通常具有一套精密的抗氧化防御系统(主要分为酶类和非酶类)来清除过量的自由基,保护细胞免受氧化危害。机体抗氧化酶类一般有 GSH-Px、CAT 和 T-SOD,其主要通过阻碍和清除自由基来发挥作用^[25-27]。机体的非酶抗氧化剂有两

类,即代谢型抗氧化剂和营养型抗氧化剂,其中营养型抗氧化剂多为外源性物质,主要从天然食物中获得。本试验所添加的虾青素就是外源性抗氧化剂,具有极强的抗氧化活性,其清除 DPPH· 的能力强于 $V_E^{[28]}$ 。动物机体缺乏合成虾青素的相关酶系,不能合成虾青素(海产动物也不例外)^[29],虽然大多数水产动物可通过摄食含虾青素的藻类或其他微生物而在体内积聚虾青素,但在人工集约化养殖条件下,水产动物从外界获取虾青素的量有限,因此外源添加虾青素就显得很有必要。

虾青素除本身具有抗氧化活性直接发挥抗氧化作用外,也对机体抗氧化酶系统有调节作用。麻楠等^[30]研究发现,饲料中添加虾青素可显著提高中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)成体雌蟹的 CAT 活性,降低 MDA 含量。牟文燕等^[31]研究发现,2‰ 虾青素可显著提高血鸚鵡肝胰脏和鳃丝中 CAT 的活性。韩星星等^[32]研究发现,随着虾青素添加水平的增大,大黄鱼(*Larimichthys crocea*)肝脏 T-SOD 活性显著上升,MDA 含量显著下降。本试验结果显示,添加适量的虾青素可显著提高大鳞副泥鳅肝胰脏 T-SOD、CAT 和 GSH-Px 活性及 GSH 含量,降低 MDA 水平。分析其原因可能是,外源虾青素可及时清除大鳞副泥鳅体内过多的自由基,而不必动用抗氧化酶系统来发挥作用,从而提高抗氧化酶活性及抗氧化物质 GSH 水平,增强鱼机体的抗氧化能力,同时机体过多自由基的消耗也会降低脂质氧化的程度,进而减少 MDA 的生成。但目前,关于虾青素对某些抗氧化酶活性的影响还存在分歧,王吉桥等^[19]研究发现,饲喂 β -胡萝卜素(90 mg/kg)和虾青素(60 mg/kg)后,仿刺参体腔液中的总抗氧化能力显著高于对照组,而 SOD、CAT 活力却显著低于对照组。Wang 等^[33]的研究发现,摄食添加虾青素的饲料后,海参血清中的总抗氧化能力升高,但 SOD 和 GPx 活力降低。在斑节对虾^[34]和中华绒螯蟹^[35]上的研究结果也证明,摄食虾青素和 β -胡萝卜素后,SOD 活性降低。分析其原因:一是 SOD 直接与不同金属离子螯合后用于猝灭机体中的氧自由基而被消耗掉;二是 CAT 亦在降解歧化作用产生的 H_2O_2 为 H_2O 的过程中被大量消耗;三是 GSH-Px 可利用 GSH 还原氢过氧化物为 H_2O 或醇类化合物,同样被消耗掉。总之,水生动物机体总抗氧化水平的提高与相关抗氧化酶活性有关,相关酶活性的高低则与机体的抗氧化状态有关,具体机理尚需深入研究。

[参考文献]

- [1] Xia L I, Chen M A, Qin Y J, et al. Establishment and characterization of fin cell lines from different ploidy oriental weatherfish, *Misgurnus anguillicaudatus* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2014, 38(1): 150-157.
- [2] Dong Z, Li X, Zhang X, et al. Development of microsatellite markers for genetic analysis in the large scale loach *Paramisgurnus dabryanus* [J]. Conservation Genetics Resources, 2014, 6(1): 151-153.
- [3] 郑玉珍, 王玉新, 王锡荣, 等. 大鳞副泥鳅人工繁殖技术研究 [J]. 山东农业科学, 2012, 44(12): 97-99.
Zheng Y Z, Wang Y X, Wang X R, et al. Study on artificial propagation of *Paramisgurnus dabryanus* [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2012, 44(12): 97-99.
- [4] 赵振山, 高贵琴, 吴青江. 两种泥鳅杂交及人工诱导大鳞副泥鳅雄核发育的染色体变化 [J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(1): 15-19.
Zhao Z S, Gao G Q, Wu Q J, et al. The chromosome set variation in hybridization of *Misgurnus anguillicaudatus* with *Paramisgurnus dabryanus* and in artificial and rogenetic *P. dabryanus* [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2002, 17(1): 15-19.
- [5] 范涛, 刘毅, 明伟, 等. 蚯蚓粉替代鱼粉对大鳞副泥鳅生长、肌肉成分、血清生化指标及免疫性能的影响 [J]. 中国水产科学, 2016, 23(6): 1320-1331.
Fan T, Liu Y, Ming W, et al. Effects of substituting fishmeal with earthworm (*Eisenia foetida*) meal on growth, muscle composition, serum biochemistry index and immunity performance in the loach *Paramisgurnus dabryanus* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(6): 1320-1331.
- [6] Matsuno T, Miki W. Biological functions and activities of carotenoids [J]. Pure & Applied Chemistry, 1991, 63(1): 141-146.
- [7] Menasvet P, Worawattanamateekul W, Latsch T, et al. Correction of black tiger prawn (*Penaeus monodon fabricius*) coloration by astaxanthin [J]. Aquacultural Engineering, 1993, 12(93): 203-213.
- [8] Halliwell B, Gutteridge J M. Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition metals and disease [J]. Biochemical Journal, 1984, 219(1): 1-14.
- [9] Jyonouchi H, Sun S, Iijima K, et al. Antitumor activity of astaxanthin and its mode of action [J]. Nutrition & Cancer, 2000, 36(1): 59-65.
- [10] 黄璞玮, 贾铭宇, 刘涛, 等. 虾青素对七彩神仙鱼生长和形体的影响 [J]. 吉林农业, 2011(3): 93-94.
Huang P Y, Jia M Y, Liu T, et al. The effects of astaxanthin on the growth and body shape of *Symphysodon haraldi* [J]. Jilin Agriculture, 2011(3): 93-94.
- [11] 孙刘娟, 吴李芸, 白东清, 等. 虾青素对血鸚鵡体色、生长和非特异性免疫指标的影响 [J]. 北方农业学报, 2016, 44(1): 91-95.
Sun L J, Wu L Y, Bai D Q, et al. Effect of staxanthin on parrot blood body color, growth and nonspecific immune indexes

- [J]. Journal of Northern Agriculture, 2016, 44(1): 91-95.
- [12] 崔培, 刘芳, 杨广, 等. 虾青素对锦鲤血液及抗氧化指标的影响[J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(3): 89-94.
Cui P, Liu F, Yang G, et al. Effects of dietary astaxanthin on hematic and immune parameters of ornamental carp (*Cyprinus carpio* L.) [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2013, 44(3): 89-94.
- [13] Rehulka J. Influence of astaxanthin on growth rate, condition, and some blood indices of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. Aquaculture, 2000, 190(1/2): 27-47.
- [14] 温为庚, 林黑着, 吴开畅, 等. 饲料中添加虾青素对斑节对虾生长和免疫指标的影响[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2011, 50(3): 144-146.
Wen W G, Lin H Z, Wu K C, et al. Effects of dietary with astaxanthin on growth and immunological parameters of black tiger shrimp, *Penaeus monodon* [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2011, 50(3): 144-146.
- [15] 裴素蕊, 管越强, 马云婷. 饲料中添加虾青素对凡纳滨对虾生长、存活和抗氧化能力的影响[J]. 水产科学, 2009, 28(3): 126-129.
Fei S R, Guan Y Q, Ma Y T. Effects of dietary supplementation of astaxanthin on growth, survival and antioxidant capacity of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. Fisheries Science, 2009, 28(3): 126-129.
- [16] Wang W, Ishikawa M, Koshio S, et al. Effects of dietary astaxanthin supplementation on juvenile kuruma shrimp, *Marsupenaeus japonicus* [J]. Aquaculture, 2018, 491: 197-204.
- [17] Guerin M, Huntley M E, Olaizola M. Haematococcus astaxanthin: applications for human health and nutrition [J]. Trends in Biotechnology, 2003, 21(5): 210-216.
- [18] Varady K A, Wang Y, Jones P J. Role of policosanols in the prevention and treatment of cardiovascular disease [J]. Nutrition Reviews, 2010, 61(11): 376-383.
- [19] 王吉桥, 樊莹莹, 徐振祥, 等. 饲料中 β -胡萝卜素和虾青素添加量对仿刺参幼参生长及抗氧化能力的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2012, 27(3): 215-220.
Wang J Q, Fan Y Y, Xu Z X, et al. Effects of dietary carotene and astaxanthin levels on anti-oxidation in juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2012, 27(3): 215-220.
- [20] Harpaz S, Rise M, Arad S, et al. The effect of three carotenoid sources on growth and pigmentation of juvenile fresh water crayfish *Cherax quadricarinatus* [J]. Aquacult Nutri, 1998, 4(3): 201-208.
- [21] Higuera-ciapapa I, Felix-valenzuela L, Goycoolea F M. Astaxanthin: a review of its chemistry and applications [J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 2006, 46(2): 185-196.
- [22] 陈秀梅, 王桂芹, 徐贺, 等. γ -氨基丁酸对建鲤生长、饲料利用及肌肉营养成分的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2015, 51(13): 53-56.
Chen X M, Wang G Q, Xu H, et al. Effects of γ -aminobutyric acid on growth, feed utilization and nutritional composition of *Cyprinus carpio* var. jian [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2015, 51(13): 53-56.
- [23] 付兴周, 路志芳, 李东. 虾青素复合添加剂对肉鸡生长性能及肉质的影响[J]. 畜牧与兽医, 2017, 49(1): 27-30.
Fu X Z, Lu Z F, Li D. Effects of astaxanthin composite additives on growth performance and meat quality in the broiler [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2017, 49(1): 27-30.
- [24] Fakhri S, Abbaszadeh F, Dargahi L, et al. Astaxanthin: a mechanistic review on its biological activities and health benefits [J]. Pharmacological Research, 2018, 136: 1-20.
- [25] Dinstel R R, Cascio J, Koukel S. The antioxidant level of Alaska's wild berries: high, higher and highest [J]. International Journal of Circumpolar Health, 2013, 72(1): 796-802.
- [26] Irshad M, Chaudhuri P S. Oxidant-antioxidant system: role and significance in human body [J]. Indian Journal of Experimental Biology, 2002, 40(11): 1233-1239.
- [27] Poljšak B, Jamnik P, Raspor P, et al. Oxidation-antioxidation-reduction processes in the cell: impacts of environmental pollution [J/OL]. Encyclopedia of Environmental Health, 2011: 300-306. <http://doi.org/10.1016/B978-0-444-52272-6.00679-6>.
- [28] Mortensen A. Scavenging of benzylperoxyl radicals by carotenoids [J]. Free Radical Research Communications, 2002, 36(2): 211-216.
- [29] 刘合露, 郑怀平, 张涛, 等. 海产动物体内虾青素的代谢及转运沉积[J]. 海洋科学, 2010, 34(4): 104-108.
Liu H L, Zheng H P, Zhang T, et al. Metabolism, transportation and deposition of astaxanthin in marine animals [J]. Marine Sciences, 2010, 34(4): 104-108.
- [30] 麻楠, 龙晓文, 赵磊, 等. 饲料中添加合成虾青素对中华绒螯蟹成体雌蟹性腺发育、色泽和抗氧化能力的影响[J]. 水生生物学报, 2017, 41(4): 755-765.
Ma N, Long X W, Zhao L, et al. Effects of dietary supplementation of synthetic astaxanthin on ovarian development, coloration and antioxidant capacity of adult female Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2017, 41(4): 755-765.
- [31] 牟文燕, 韦敏侠, 高妍, 等. 虾青素对血鹦鹉生长、体形、体色及抗氧化能力的影响[J]. 饲料工业, 2014(S1): 73-76.
Mou W Y, Wei M X, Gao Y, et al. Effects of astaxanthin on growth, body shape, body color and antioxidant capacity of blood parrot [J]. Feed Industry, 2014(S1): 73-76.
- [32] 韩星星, 王秋荣, 叶坤, 等. 叶黄素和虾青素对大黄鱼体色及抗氧化能力的影响[J]. 渔业研究, 2018(2): 104-111.
Han X X, Wang Q R, Ye K, et al. Effect of xanthophylls and astaxanthin on the skin color and antioxidant capacity of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. Journal of Fisheries Research, 2018(2): 104-111.

- small-peptide by enzymatic hydrolysis [J]. *Soybean Science*, 2016, 35(5): 824-829.
- [22] 赵延伟, 王雨生, 陈海华, 等. 响应面法优化豆粕酶解工艺条件 [J]. *食品科学*, 2013, 34(8): 70-75.
- Zhao Y W, Wang Y S, Chen H H, et al. Optimization of hydrolysis conditions of soybean meal by response surface methodology [J]. *Food Science*, 2013, 34(8): 70-75.
- [23] 李舒宇, 杨瑞金, 金妙仁, 等. 枯草芽孢杆菌固态发酵高温豆粕的工艺优化 [J]. *食品与机械*, 2013, 29(4): 194-199.
- Li S Y, Yang R J, Jin M R, et al. Optimization of process parameters for high-temperature denatured protein in soybean meal under solid-state fermentation by *Bacillus subtilis* [J]. *Food and Machinery*, 2013, 29(4): 194-199.
- [24] Zhu J, Gao M, Zhang R, et al. Effects of soybean meal fermented by *Lactobacillus plantarum*, *Bacillus subtilis* and *Saccharomyces cerevisiae* on growth, immune function and intestinal morphology in weaned piglets [J]. *Microbial Cell Factories*, 2017, 16(1): 191-199.
- [25] Shi C, Zhang Y, Lu Z, et al. Solid-state fermentation of corn-soybean meal mixed feed with *Bacillus subtilis* and *Enterococcus faecium* for degrading antinutritional factors and enhancing nutritional value [J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2017, 8(4): 50-59.
- [26] 王彦萍, 熊涛, 王浩, 等. 以豆粕为基质的植物乳杆菌固态发酵菌剂的制备 [J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(8): 127-133.
- Wang Y P, Xiong T, Wang H, et al. Optimization of solid-state culture conditions for *Lactobacillus plantarum* agent utilizing soybean meal as nitrogen source [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2017, 43(8): 127-133.
- [27] Wongputtisin P, Khanongnuch C, Khongbantad W, et al. Screening and selection of *Bacillus* spp. for fermented corticate soybean meal production [J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2012, 113(4): 798-806.
- [28] 左进华, 董海洲, 武建堂, 等. 挤压蒸煮对豆粕体外消化率的影响 [J]. *食品与发酵工业*, 2008, 34(5): 124-127.
- Zuo J H, Dong H Z, Wu J T, et al. Study on the influence of extrusion cooking on soybean *in vitro* digestibility [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2008, 34(5): 124-127.
- [29] 姜建阳, 李洁云, 谯仕彦. 热处理对大豆制品在生长猪回肠表观和真可消化氨基酸消化率的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2008, 44(7): 25-29.
- Jiang J Y, Li J Y, Qiao S Y. Apparent and true ileal digestibility of amino acids in raw soyflakes and four heated soybean meals for growing pigs [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2008, 44(7): 25-29.
- [30] 朱翠, 蒋宗勇, 郑春田, 等. 大豆抗原蛋白的组成及其致敏作用机理 [J]. *动物营养学报*, 2011, 23(12): 2053-2063.
- Zhu C, Jiang Z Y, Zheng C T, et al. Soybean antigenic protein: composition and allergy mechanisms [J]. *Acta Zoonutrientia Sinica*, 2011, 23(12): 2053-2063.
- [31] Wu J J, Zhang Y, Dong J H, et al. Allergens and intestinal damage induced by soybean antigen proteins in weaned piglets [J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2016, 15(3): 437-445.
- [32] 宋青龙, 袁翔, 张海燕, 等. 大豆球蛋白的抗营养作用及检测技术研究进展 [J]. *动物营养学报*, 2017, 29(12): 4260-4265.
- Song Q L, Yuan X, Zhang H Y, et al. Progress in anti-nutritional action of glycinin and its detection technology [J]. *Zoonutrientia Sinica*, 2017, 29(12): 4260-4265.
- [33] He L, Han M, Qiao S, et al. Soybean antigen proteins and their intestinal sensitization activities [J]. *Current Protein & Peptide Science*, 2015, 16(7): 613-621.
- [34] 张连慧, 熊小辉, 惠菊, 等. 发酵豆粕及其在动物养殖行业中的应用研究进展 [J]. *中国油脂*, 2017, 42(3): 108-112.
- Zhang L H, Xiong X H, Hui J, et al. Progress in fermented soybean meal and application in animal breeding industry [J]. *China Oils and Fats*, 2017, 42(3): 108-112.
- [35] Wu J J, Cao C M, Ren D D, et al. Effects of soybean antigen proteins on intestinal permeability, 5-hydroxytryptamine levels and secretory IgA distribution in the intestine of weaned piglets [J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2016, 15(1): 174-180.
- [36] 朱滔, 黄小燕, 王根虎. 发酵豆粕产品质量的综合评价 [J]. *饲料工业*, 2017, 38(15): 21-26.
- Zhu T, Huang X Y, Wang G H. Comprehensive evaluation of fermented soybean meal's quality [J]. *Feed Industry*, 2017, 38(15): 21-26.

(上接第 15 页)

- [33] Wang Y J, Chien Y H, Panc H. Effects of dietary supplementation of carotenoids on survival, growth, pigmentation, and antioxidant capacity of characins, *Hypophessobrycon callistus* [J]. *Aquaculture*, 2006, 261: 641-648.
- [34] Panc H, Chien Y H, Hunter R B. The resistance to ammonia stress of *Penaeus monodon* fabricius juvenile fed diets supplemented with astaxanthin [J]. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology*, 2003, 297(1): 107-118.
- [35] 袁春营, 崔青曼. β -胡萝卜素对中华绒螯蟹卵巢发育及免疫学指标的影响 [J]. *海洋科学*, 2007, 31(6): 25-28.
- Yuan C Y, Cui Q M. The effect of β -carotene on ovary development and immunological parameters of *Eriocheir sinensis* [J]. *Marine Sciences*, 2007, 31(6): 25-28.