

文章编号: 1000-0615(2018)05-0733-11

DOI: 10.11964/jfc.20170310729

小麦蛋白粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼生长、血清生化指标及抗氧化能力的影响

王萍^{1,2}, 娄宇栋², 冯建², 何娇娇², 竺俊全¹, 周歧存^{1*}

(1. 宁波大学海洋学院, 浙江宁波 315211;

2. 浙江海洋大学浙江省海洋养殖装备与工程技术重点室, 浙江舟山 316000)

摘要: 为研究小麦蛋白粉替代大黄鱼幼鱼饲料中的鱼粉对其生长性能、体成分、血清生化指标及肝脏抗氧化能力的影响, 实验以小麦蛋白粉替代基础饲料中0%(FM组为对照组)、25%(WGM25组)、50%(WGM50组)、75%(WGM75组)和100%(WGM100组)的鱼粉, 配制成5种等氮(蛋白质水平为45%)等脂(脂肪水平为10%)的饲料。结果显示, 大黄鱼幼鱼各处理组的存活率(SR)和饲料系数(FCR)差异不显著; 增重率(WGR)和特定生长率(SGR)各替代组显著高于对照组; 各处理组的肝体比(HSI)、脏体比(VSI)和肥满度(CF)差异不显著。全鱼粗蛋白、粗脂肪、水分和灰分的含量差异不显著; 肌肉粗蛋白、粗脂肪、水分含量差异不显著; 肌肉灰分含量WGM50、WGM75组和FM、WGM25、WGM100组差异显著。各处理组大黄鱼血清中谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)的含量均无显著性差异。肝脏超氧化物歧化酶(SOD)的活性, WGM25和WGM100组显著低于FM、WGM50和WGM75组; 丙二醛(MDA)的活性, WGM50组显著高于FM、WGM25和WGM100组; 过氧化氢酶(CAT)的活性, 各组间差异不显著; 谷胱甘肽过氧化物酶(GPx)的活性, WGM100组显著高于其他组。研究表明, 在该实验条件下, 小麦蛋白粉替代饲料(含40%鱼粉)中100%的鱼粉不会影响大黄鱼幼鱼的生长。

关键词: 大黄鱼; 小麦蛋白粉; 生长; 体成分; 血清生化指标; 抗氧化能力

中图分类号: S 963.7

文献标志码: A

鱼类蛋白质需求的研究是水产养殖业的重要方面, 而鱼粉是水产养殖的主要蛋白源, 鱼粉不仅是传统的理想蛋白源, 而且是成功养殖的重要保障^[1]。鱼粉具有蛋白质含量高、必需氨基酸全面、易被消化吸收等优点, 一直是水产饲料首选的优质蛋白源^[2]。然而, 近些年, 由于野生渔业资源的破坏, 水产养殖规模的不断扩大, 导致鱼粉逐渐出现供不应求的场面, 增加了可替代鱼粉蛋白源的研究压力^[3]。不少学者和科研机构已经有了一些研究突破^[4-7]。目前, 研究新型蛋白源替代鱼粉主要集中在植物蛋白和

动物蛋白^[8-11]。但是动物蛋白的产量不稳定、价格波动大、质量不安全, 而植物蛋白基本没有这些问题, 因此倾向于用植物蛋白来替代鱼粉蛋白, 如豆粕、菜粕和棉粕等^[12-16]。

研究表明^[17-19], 小麦蛋白粉是一种很有前景的代替鱼粉的原料, 其来源广、成本低, 粗蛋白含量为60%~80%, 不含抗营养因子, 同时具有十分良好的黏性弹性, 能促进鱼类摄食。关于小麦蛋白粉替代鱼粉的研究已有相关报道^[20-22]。

大黄鱼(*Larimichthys crocea*)分布于我国的黄海、东海和南海, 是我国传统的“四大海产”之

收稿日期: 2017-03-01 修回日期: 2017-06-28

资助项目: 国家自然科学基金(31602205); 浙江省自然科学基金重点基金(Z16E090006); 国家海洋公益性行业科研专项(201505025); 舟山市海洋专项(2015C41001); 浙江省重中之重学科开放基金(XKZSC1406); 浙江省科技项目(2016C02055-7)

通信作者: 周歧存, E-mail: zhouqicun@nbu.edu.cn

—^[23-24]。大黄鱼肉质鲜美,营养丰富,含有丰富的蛋白质、维生素和微量元素^[25]。目前,关于大黄鱼营养方面的研究已经取得了一定的成果^[26-32]。然而,尚未见小麦蛋白粉替代大黄鱼饲料鱼粉的报道。该实验主要研究小麦蛋白粉替代大黄鱼幼鱼饲料鱼粉对大黄鱼幼鱼生长性能、体成分、血清生化指标和抗氧化能力的影响,探索小麦蛋白粉替代大黄鱼幼鱼饲料中鱼粉的适宜比例,为大黄鱼配合饲料的研究提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料配制

以鱼粉(丹麦)、豆粕为主要蛋白源,鱼油、大豆油为主要脂肪源,配制含40%鱼粉的基础饲料。以小麦蛋白粉(购自宁波天邦股份有限公司)替代基础饲料中0%(fish meal, FM组作为对照组)、25%(wheat gluten meal, WGM25组)、50%(WGM50组)、75%(WGM75组)和100%(WGM100组)的鱼粉,并在除对照组外的各饲料中添加适量晶体氨基酸(赖氨酸和蛋氨酸),配制5组等氮(蛋白质水平为45%)等脂(脂肪水平为10%)的实验饲料。饲料原料的主要成分见表1,实验饲料组成及营养水平见表2,实验饲料的氨基酸组成见表3。所有饲料原料分别粉碎过80目筛,然后按逐级扩大的方法混合均匀,放入搅拌机加水搅拌,使其充分湿润;用双螺杆挤条机(华南理工大学, F-26 II型)制作成型,然后用制粒机加工成粒径为2 mm和4 mm的2种粒径颗粒饲料,将颗粒饲料置入90 °C烘箱中熟化30 min,自然风干,塑封后放入-20 °C冰箱保存。

表1 饲料原料成分(干物质基础)
Tab. 1 Ingredients of the experimental diets
(dry matter basis) %

原料 ingredient	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude lipid	灰分 ash	水分 moisture
鱼粉 fish meal	73.88	10.07	13.41	6.43
豆粕 soybean meal	53.34	2.83	6.61	7.06
小麦蛋白粉 wheat gluten meal	80.68	1.76	0.70	6.05

1.2 养殖管理

养殖实验在浙江省象山县西沪港区进行,正式实验开始前将大黄鱼放入3 m×6 m×3 m的海水箱中暂养2周,使用商业饲料进行投喂使之

适应人工配合饲料。2周后,挑选体格强健、大小均一的大黄鱼幼鱼,平均体质量(10.50±0.20) g,进行随机分组。每个处理组随机分配在3个网箱(1.5 m×1.5 m×2 m),每个网箱放养60尾,每天饱食投喂2次(05:00和17:00),养殖周期为56 d。实验期间水温26.0~28.5 °C,溶解氧6.5~7.5 mg/L, pH 7.9~8.1,盐度2.4~2.7。

1.3 样品采集和分析

样品采集和常规分析 养殖实验结束后,对实验鱼饥饿处理24 h,以丁香酚(1:1 000)麻醉,然后计数、称重。取10尾鱼,解剖得到肝脏和内脏,并称量其湿重,用于测定肝体比和脏体比。取5尾鱼置于-20 °C冰箱保存,用于常规成分的分析。每个网箱随机抽取5尾鱼,用一次性无菌注射器(2 mL)自尾部静脉取血,注入常规采血管,于4 °C条件下静置4 h,然后离心(3 000 r/min, 4 °C)10 min,取血清并保存于-20 °C冰箱中,用于血清生化指标分析。

饲料原料、实验饲料及鱼体常规成分测定 采用(AOAC)^[33]的方法。其中水分测定在105 °C恒温烘箱中烘至恒重,粗蛋白的测定采用半微量凯氏定氮法(总氮×6.25),粗脂肪的测定采用索氏抽提法,灰分的测定于马弗炉(550 °C)中灼烧6 h后测定。

血液生化指标测定及分析 将血清样品按照试剂盒说明书测定血浆生化指标,所用试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

肝脏抗氧化酶指标测定及分析 将肝脏样品按照试剂盒说明书测定抗氧化酶指标,所用试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

1.4 统计分析

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

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

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

饲料系数(feed conversion ratio, FCR, %)= $100 \times (T - S) / (W_t - W_0)$;

肝体比(HSI)(%)= $(W_h / W_t) \times 100$;

脏体比(VSI)(%)= $(W_v / W_t) \times 100$;

肥满度(condition factor, CF, g/cm³)= $100 \times W / L^3$ 。

表 2 实验饲料及营养水平(干物质基础)
Tab. 2 Composition and nutrient levels of experiment diets (dry matter basis) %

	饲料组 diets groups				
	FM	WGM 25	WGM 50	WGM 75	WGM 100
原料 ingredients					
鱼粉 fish meal	40.00	30.00	20.00	10.00	0.00
小麦蛋白粉 wheat gluten meal	0.00	9.16	18.32	27.47	36.63
豆粕 soy bean meal	28.96	28.96	28.96	28.96	28.96
小麦淀粉 wheat starch	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
鱼油 fish oil	1.82	2.24	2.67	3.09	3.52
豆油 soybean oil	1.83	2.26	2.67	3.10	3.52
大豆卵磷脂 soybean lecithin	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
多维 ¹ vitamin premix	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
多矿 ² mineral premix	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
赖氨酸 Lys	0.00	0.41	0.82	1.24	1.65
蛋氨酸 Met	0.00	0.10	0.19	0.29	0.39
氯化胆碱 choline chloride	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
牛磺酸 taurine	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
诱食剂 ³ attractant	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
纤维素 cellulose	3.79	2.27	1.76	1.25	0.73
总计 total	100	100	100	100	100
营养成分⁴ proximate composition (dry matter)					
粗蛋白 crude Protein	48.27	49.42	50.01	49.75	50.94
粗脂肪 crude Lipid	10.14	10.18	10.13	10.34	10.11
灰分 ash	11.35	9.70	8.42	6.94	5.82

注: 1. 复合维生素(g/kg): 胡萝卜素 0.1 g, 维生素 D 0.05 g, 生育酚 0.38 g, 维生素 B₁ 0.06 g, 维生素 B₂ 0.19 g, 维生素 B₆ 0.05 g, 氰钴素 0.1 mg, 生物素 0.01 g, 肌醇 3.85 g, 尼克酸 0.77 g, 泛酸 0.27 g, 叶酸 0.01 g, 氯化胆碱 7.87 g, 纤维素 1.92 g; 2. 复合矿物质(g/kg): 氯化钠 2 mg, 碘化钾 0.8 mg, 六水氯化钴(1%) 50 mg, 五水硫酸铜 10 mg, 硫酸亚铁 80 mg, 硫酸锌 50 mg, 硫酸锰 60 mg, 七水硫酸镁 1 200 mg, 磷酸二氢钙 3 000 mg, 氯化钠 100 mg, 沸石粉 15.447 g; 3. 诱食剂: 甘氨酸和甜菜碱(1:2); 4. 粗蛋白、粗脂肪、灰分为实测值

Notes: 1. premix vitamin provided the following (g/kg): carotene 0.1g, VD 0.05 g, tocopherol 0.38 g, VB₁ 0.06 g, VB₂ 0.19 g, VB₆ 0.05 g, cyanocobalamin 0.1 mg, biotin 0.01 g, inositol 3.85 g, niacin acid 0.77 g, pantothenic acid 0.27 g, folic acid 0.01 g, chloride choline 7.87 g, cellulose 1.92 g; 2. premix mineral provides the following (g/kg): 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 1 200 mg, Ca (H₂PO₄)₂·H₂O, 3 000 mg, NaCl 100 mg, Zoelite 15.447 g; 3. attractant: glycine and betaine (1:2); 4. crude protein, crude lipid and ash were measured values

式中 W_0 、 W_t 分别表示实验鱼初始体质量和终末体质量; N_0 、 N_t 分别表示养殖实验开始和结束时的网箱中鱼的尾数; T 、 S 分别表示饲料总量和剩余饲料量; t 表示实验天数(56 d); W_h 表示肝脏重量; W_v 表示内脏重量; L 表示体长。

将实验数据用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), 差异显著后进行

Tukey's 多重比较, 显著性水平设为 $P < 0.05$; 实验结果以“平均值 ± 标准误”(mean ± SE) 表示。

2 结果

2.1 小麦蛋白粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼生长性能的影响

大黄鱼幼鱼各处理组的存活率(SR)无显著性

表3 实验饲料氨基酸组成(干物质基础)

Tab. 3 Amino acid composition of the experimental diets (dry matter) %

		饲料组 diets groups				
		FM	WGM 25	WGM 50	WGM 75	WGM 100
必需氨基酸 EAA						
苏氨酸 Thr		1.72	1.73	1.62	1.49	1.36
缬氨酸 Val		2.13	1.95	1.88	1.86	1.93
蛋氨酸 Met		0.82	0.78	0.75	0.73	0.72
异亮氨酸 Ile		1.88	1.65	1.64	1.78	1.86
亮氨酸 Leu		3.82	3.45	3.46	3.62	3.79
苯丙氨酸 Phe		1.76	2.02	2.11	2.08	2.25
赖氨酸 Lys		2.98	2.56	2.49	2.39	2.38
组氨酸 His		0.82	0.61	0.58	0.69	0.84
精氨酸 Arg		2.87	2.64	2.50	2.03	2.18
非必需氨基酸 NEAA						
天门冬氨酸 Asp		4.26	3.68	3.31	3.08	2.80
丝氨酸 Ser		1.68	1.63	1.69	1.75	1.47
谷氨酸 Glu		8.23	10.65	12.83	14.56	15.72
甘氨酸 Gly		2.82	2.37	2.21	2.16	1.97
丙氨酸 Ala		2.63	2.05	1.95	1.64	1.66
胱氨酸 Cys		0.31	0.43	0.42	0.41	0.61
脯氨酸 Pro		2.75	3.93	4.62	4.88	5.08
酪氨酸 Tyr		0.93	0.93	1.03	1.02	1.20

差异($P>0.05$)(表4)。增重率(WGR)和特定生长率(SGR)各替代组显著高于对照组($P<0.05$)。各处理组饲料系数(FCR)、肝体比(HSI)、脏体比(VSI)和肥满度(CF)均无显著性差异($P>0.05$)。

表4 小麦蛋白粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼生长性能的影响

Tab. 4 Effects of replacement of fish meal by WGM on the growth of juvenile *L. crocea*

饲料组 diet groups	初始体质量/g IBW	终末体质量/g FBW	增重率/% WGR	特定生长率/ (%/d) SGR	存活率/% SR	饲料系数/% FCR	肝体比/% HSI	脏体比/% VSI	肥满度/ (g/cm ³) CF
FM	10.53±0.03	37.24±1.25 ^a	253.62±12.38 ^a	2.25±0.06 ^a	94.45±4.01	1.48±0.12	1.11±0.11	3.50±0.50	1.45±0.21
WGM 25	10.47±0.02	41.96±0.64 ^{bc}	300.89±12.39 ^{bc}	2.48±0.03 ^{bc}	84.50±8.73	1.56±0.20	1.07±0.09	3.39±0.19	1.44±0.16
WGM 50	10.48±0.02	44.32±0.64 ^c	322.98±4.45 ^c	2.58±0.02 ^c	88.33±5.85	1.28±0.09	1.15±0.11	3.18±0.32	1.50±0.03
WGM 75	10.56±0.04	42.55±0.71 ^{bc}	303.10±7.80 ^{bc}	2.49±0.04 ^{bc}	90.00±3.47	1.29±0.04	1.34±0.04	3.48±0.10	1.67±0.04
WGM 100	10.48±0.06	39.62±0.16 ^{ab}	278.17±1.99 ^b	2.37±0.01 ^b	94.45±4.01	1.36±0.05	1.38±0.24	3.78±0.68	1.69±0.06

注: 同一列数据不同上标字母则表示差异显著 ($P<0.05$), 表6、表7同

Notes: in the same column, values with different letter superscripts indicate significant difference ($P<0.05$), the same below as Tab.6 and Tab.7

2.2 小麦蛋白粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼体成分的影响

全鱼粗蛋白、粗脂肪、水分和灰分含量, 各处理组差异不显著($P>0.05$)(表5)。肌肉粗蛋白、粗脂肪、水分含量各处理组差异不显著($P>0.05$); 肌肉灰分含量WGM50、WGM75组与FM、WGM25、WGM100组差异显著($P<0.05$), 但是FM、WGM25和WGM100这3组间差异不显著($P>0.05$)。

2.3 小麦蛋白粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼血清生化指标的影响

FM组和WGM25组大黄鱼幼鱼的总蛋白和白蛋白含量显著高于其他组($P<0.05$), WGM25组总蛋白含量最高, 其余各组之间无显著性差异($P>0.05$)(表6); WGM25组的球蛋白(GLOB)含量显著高于其他组($P<0.05$), FM组和WGM50组显著高于WGM75组和WGM100组, 其余各组间无显著性差异($P>0.05$); WGM25组白球蛋白比显著低于其余各组($P<0.05$)。大黄鱼幼鱼血清中总胆固醇的含量WGM25组显著高于其他组($P<0.05$), WGM75组显著低于FM组和WGM25组, 与WGM50和WGM100组无显著性差异($P>0.05$)。FM组和WGM25组甘油三酯的含量显著高于其他组($P<0.05$), 其中WGM25组含量最高, WGM75组显著低于FM、WGM25和WGM50组, 与WGM100组无显著性差异($P>0.05$)。FM组葡萄糖的含量与WGM25组无显著性差异($P>0.05$), 但显著高于WGM50、WGM75和WGM100组。各处理组大黄鱼幼鱼血清中的谷丙转氨酶、谷草转氨酶的含量均无显著性差异($P>0.05$)。

2.4 小麦蛋白粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼肝脏抗氧化能力的影响

超氧化物歧化酶SOD的活性, WGM25和

表5 小麦蛋白粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼体成分的影响(湿重基础)

Tab. 5 Effects of replacement of fish meal by WGM on body composition of juvenile *L. crocea* (wet matter basis) %

项目 items	饲料组 diet groups				
	FM	WGM25	WGM50	WGM75	WGM100
肌肉组成 muscle composition					
粗蛋白 crude protein	19.05±0.28	18.73±0.20	19.64±0.31	19.28±0.14	19.54±0.23
粗脂肪 crude lipid	7.80±0.49	7.36±0.60	7.43±0.74	5.65±0.55	6.97±0.46
水分 moisture	72.39±0.72	72.72±0.76	72.19±0.91	74.42±0.78	72.59±0.54
灰分 ash	4.73±0.05 ^b	4.71±0.08 ^b	4.48±0.03 ^a	5.01±0.01 ^c	4.76±0.03 ^b
全鱼组成 whole body composition					
粗蛋白 crude protein	14.39±0.14	14.45±0.16	15.02±0.13	14.96±0.11	14.66±0.21
粗脂肪 crude lipid	6.23±0.48	7.32±0.40	6.99±0.39	6.47±0.30	5.88±0.16
水分 moisture	76.03±0.15	74.46±0.59	74.70±0.61	75.25±0.36	76.09±0.31
灰分 ash	14.21±0.07	12.64±0.26	12.77±0.17	13.11±0.11	13.43±0.06

注: 同一行数据不同上标字母则表示差异显著 ($P<0.05$)

Notes: in the same row, values with different letter superscripts indicated significant difference ($P<0.05$)

表6 小麦蛋白粉替代鱼粉对大黄鱼血清生化指标的影响

Tab. 6 Effects of replacing fish meal with WGM on serum of juvenile *L. crocea*

饲料组 diet groups	总蛋白/ TP (g/L)	白蛋白/ ALB (g/L)	球蛋白/ GLOB	白球蛋白比例 A/G	总胆固醇/ CHOL (mmol/L)	甘油三酯/ TG (mmol/L)	葡萄糖/ GLU (U/L)	谷丙转氨酶/ ALT (U/L)	谷草转氨酶/ AST (U/L)
FM	29.13±0.73 ^b	7.87±0.09 ^b	21.27±0.64 ^b	0.37±0.01 ^b	2.88±0.14 ^b	10.76±0.22 ^c	6.62±0.81 ^b	12.67±0.33	103.00±5.03
WGM 25	35.13±0.42 ^c	7.77±0.09 ^b	27.37±0.44 ^c	0.28±0.01 ^a	4.03±0.27 ^c	18.78±0.33 ^d	4.21±0.43 ^{ab}	14.67±1.45	120.00±20.60
WGM 50	25.57±0.55 ^a	6.47±0.07 ^a	19.10±0.61 ^{ab}	0.34±0.02 ^b	2.66±0.19 ^{ab}	7.07±1.36 ^b	4.02±0.619 ^a	12.67±1.45	82.67± 8.84
WGM 75	22.50±0.95 ^a	5.97±0.36 ^a	16.53±0.63 ^a	0.36±0.01 ^b	1.93±0.23 ^a	2.98±0.74 ^a	3.99±0.48 ^a	13.67±2.73	74.67±19.53
WGM 100	24.33±0.94 ^a	6.30±0.17 ^a	18.03±0.77 ^a	0.35±0.01 ^b	2.07±0.10 ^{ab}	3.78±0.66 ^{ba}	3.56±0.24 ^a	14.00±1.53	80.33±17.94

WGM100组明显低于FM、WGM50和WGM75组 ($P<0.05$)(表7)。丙二醛(MDA)的活性, WGM50组明显高于FM、WGM25和WGM100组 ($P<0.05$); 过氧化氢酶(CAT)的活性, 各处理组间差异不显著 ($P>0.05$); 谷胱甘肽过氧化物酶(GPx)的活性, WGM100组显著高于其他组 ($P<0.05$), 其他各组间差异不显著 ($P>0.05$)(表7)。

3 讨论

3.1 小麦蛋白粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼生长性能的影响

蛋白质是鱼类生长发育中的必需物质, 它不仅是生物组织组成的重要成分而且还为生物

表7 小麦蛋白粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼肝脏抗氧化能力的影响

Tab. 7 Effects of replacing fish meal with WGM on antioxidant enzyme activity of juvenile *L. crocea*

饲料组 diet groups	超氧化物歧化酶/ SOD (U/mL)	丙二醛/ MDA (nmol/mL)	过氧化氢酶/ CAT (U/mL)	谷胱甘肽过氧化物酶/ GPx (U/mL)
FM	4.44±0.09 ^b	0.24±0.03 ^{ab}	6.54±0.86	5.04±0.82 ^a
WGM 25	1.94±0.27 ^a	0.11±0.00 ^a	5.62±0.37	2.99±0.54 ^a
WGM 50	4.56±0.03 ^b	0.52±0.10 ^c	9.56±2.90	1.69±0.12 ^a
WGM 75	4.28±0.04 ^b	0.41±0.06 ^{bc}	8.92±2.28	6.10±0.72 ^a
WGM100	1.52±0.04 ^a	0.18±0.05 ^{ab}	6.11±0.15	12.08±1.42 ^b

生长提供一定的能量^[34]。鱼粉是鱼类主要的蛋白源,但是由于资源短缺,其价格飙升,不少学者和研究机构进行了植物蛋白源部分甚至全部替代鱼粉的试验。由于养殖环境、养殖品种、养殖鱼的规格等各种原因的影响,植物蛋白源替代鱼粉的比例往往存在很多差异^[35-38]。小麦蛋白粉的蛋白消化率高,缺乏抗营养因子。利用小麦蛋白粉替代饲料鱼粉的研究已有相关报道。Storebakken等^[39]在大西洋鲑(*Salmo salar*)实验中发现小麦蛋白粉替代鱼粉的比例为25%时,大西洋鲑对脂肪和能量物质的消化率最佳,替代比例达到35%时生长与对照组无显著性差异。Robaina等^[21]研究发现小麦蛋白粉替代30%的鱼粉时,舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)对饲料原料具有较高的消化率,而且比对照组生长效果更佳。Messina等^[40]研究发现,利用小麦蛋白粉替代舌齿鲈饲料中的鱼粉,并在饲料中添加限制性氨基酸,当替代70%的鱼粉时,其对鲈鱼的生长、食物吸收、饲料和营养转换没有不利的影响。该试验中,用小麦蛋白粉替代大黄鱼幼鱼饲料中的鱼粉,各替代组的特定生长率均显著高于鱼粉对照组,这说明小麦蛋白粉可以替代大黄鱼幼鱼饲料中100%的鱼粉而对大黄鱼幼鱼的生长没有明显的负作用。这可能是因为在实验在大黄鱼幼鱼饲料中添加了必需氨基酸(赖氨酸、蛋氨酸)和1.0%的牛磺酸。牛磺酸是一些肉食性鱼类的必需营养素,饲料中最适宜的添加水平为1.5%~4.5%^[41]。

3.2 小麦蛋白粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼体成分的影响

研究表明,不同的营养物质会造成鱼体体成分的不同^[6]。在该实验中,我们评估了小麦蛋白粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼体成分组成的影响。该实验结果表明,大黄鱼幼鱼全鱼的粗蛋白、粗脂肪、灰分和水分含量各处理组间差异不显著,这说明小麦蛋白粉替代鱼粉没有影响大黄鱼幼鱼产品的营养质量。Bui等^[42]用鱼水解蛋白(protein hydrolysates)替代真赤鲷(*Pagrus major*)饲料中的鱼粉,并没有影响鱼体成分的含量。Borquez等^[43]用羽扇豆替代虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)饲料中的鱼粉,也没有改变体成分的含量。这些实验结果与本实验结果一致。但是,

Armando等^[44]用豆粕和藻粉替代鞍带石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*)饲料中的鱼粉时,对照组的粗蛋白含量较高。Zhang等^[45]用复合蛋白源替代大黄鱼饲料中的鱼粉时对全鱼粗蛋白含量有显著性的影响。Silva-Carrillo等^[46]用豆粕替代墨西哥笛鲷(*Lutjanus guttatus*)饲料中的鱼粉时,全鱼粗脂肪含量下降。Helland等^[20]用小麦蛋白粉替代庸鲈(*Hippoglossus hippoglossus*)饲料中的鱼粉时,随着替代比例的增加,全鱼粗蛋白含量明显下降,粗脂肪含量增加。

3.3 小麦蛋白粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼血清生化指标的影响

研究表明,血液健康状况是鱼类营养和健康的重要指标^[47]。徐奇友等^[48]研究发现鱼粉替代比例越高,哲罗鱼(*Hucho taimen*)血清中总蛋白的含量越低,与该实验的结果一致。血清中的总胆固醇、甘油三酯等对鱼体的健康、免疫反应和抗氧化能力起到重要的作用,因此这些物质的动态平衡对于机体的健康也非常重要^[49]。在鱼类中,动脉硬化和血清胆固醇的含量呈正相关^[50]。该实验结果显示,血清胆固醇的含量总体呈下降趋势,因此,目前的研究表明,高水平的小麦蛋白粉没有增加大黄鱼幼鱼动脉硬化的概率。血糖是反映动物糖代谢和全身组织细胞功能状态以及内分泌机能的一个重要指标^[51]。该实验结果显示,小麦蛋白粉替代鱼粉组血清中的葡萄糖含量均低于对照组,这说明小麦蛋白粉不利于大黄鱼幼鱼对饲料中糖原的吸收。Srivastava等^[52]认为ALT是判断肝脏是否受损的重要指标。Kader等^[53]研究发现,用脱壳豆粕(dehulled soybean meal)替代真赤鲷饲料中的鱼粉水平从60%降到0%时,血液指标中的转氨酶活力不受影响。林仕梅等^[54]报道了随着豆粕替代尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)饲料中鱼粉水平的增加,蛋白转氨酶含量减少,这表明蛋白质的利用率下降,肝脏受到一定程度的损伤。冀德伟等^[55]认为AST与心脏的健康有关,低温胁迫下大黄鱼血液中ALT高于对照组,AST低于对照组。该实验中,用小麦蛋白粉替代大黄鱼幼鱼饲料中的鱼粉,随着替代比例的增加对大黄鱼幼鱼也是一种胁迫,但是各处理组大黄鱼幼鱼血清中谷丙转氨酶、谷草转氨酶的含量均无显著性差异,这说明小麦蛋白粉替代鱼粉对大黄鱼幼

鱼的肝脏和心脏不会造成一定程度的损害。

3.4 小麦蛋白粉替代鱼粉对大黄鱼幼鱼肝脏抗氧化能力的影响

鱼类复杂的免疫系统需要多种类型的抗氧化酶来保持,这些抗氧化酶的活力状态能促进其与其他免疫系统达到平衡,抗氧化防御状态也相应改变,当抗氧化防御机制不足时,氧化(还原)控制会异常减少,氧化抵抗压力发生^[20]。MDA是脂质过氧化终产物的指标,大黄鱼幼鱼肝脏MDA的含量在WGM50和WGM75组要高于对照组,这表明小麦蛋白粉替代鱼粉可能引发了大黄鱼幼鱼的氧化应激反应。Ding等^[56]用发酵豆粕(fermented soybean meal)替代日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)饲料中的鱼粉时,随着发酵豆粕替代水平的增加,MDA的含量没有显著性差异,但是SOD的含量显著增加。Zheng等^[57]用棉粕(cottonseed meal)替代草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)幼鱼饲料中16%~64%的鱼粉时,草鱼肝脏中SOD和MDA的含量先明显下降,然后升高。该实验中大黄鱼幼鱼肝脏CAT的含量没有显著性的变化。Xie等^[58]报道了在凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)研究中,随着鱼粉替代水平的增加,CAT的含量下降,这表明鱼粉的替代会导致其抗氧化能力的下降。Zhang等^[59]报道了GPx含量的增加是机体抵抗氧化压力的一种适应保护机制。该实验中,WGM100组大黄鱼幼鱼的GPx含量最高,这表明大黄鱼幼鱼正处于抵抗氧化压力的状态。

小麦蛋白粉是替代水产动物饲料中鱼粉很有潜力的植物蛋白源,在该实验条件下,小麦蛋白粉替代大黄鱼幼鱼饲料(含40%鱼粉)中100%的鱼粉对大黄鱼幼鱼的生长没有显著的负面影响,因此小麦蛋白粉可以完全替代大黄鱼幼鱼饲料中的鱼粉。

参考文献:

- [1] Jobling M. National research council (NRC): Nutrient requirements of fish and shrimp[J]. *Aquaculture International*, 2012, 20(3): 601-602.
- [2] Olsen R L, Hasan M R. A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2012, 27(2): 120-128.
- [3] Pauly D, Froese R. Comments on FAO's State of Fisheries and Aquaculture, or 'SOFIA 2010'[J]. *Marine Policy*, 2012, 36(3): 746-752.
- [4] Zhou Q C, Mai K S, Tan B P, *et al.* Partial replacement of fishmeal by soybean meal in diets for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2005, 11(3): 175-182.
- [5] Carter C G, Hauler R C. Fish meal replacement by plant meals in extruded feeds for Atlantic salmon, *Salmo salar* L.[J]. *Aquaculture*, 2000, 185(3-4): 299-311.
- [6] Hansen A C, Rosenlund G, Karlsen Ø, *et al.* Total replacement of fish meal with plant proteins in diets for Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) I-effects on growth and protein retention[J]. *Aquaculture*, 2007, 272(1-4): 599-611.
- [7] Kaushik S J, Coves D, Dutto G, *et al.* Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass, *Dicentrarchus labrax*[J]. *Aquaculture*, 2004, 230(1-4): 391-404.
- [8] 罗智,刘永坚,麦康森,等.石斑鱼配合饲料中发酵豆粕和豆粕部分替代白鱼粉的研究[J]. *水产学报*, 2004, 28(2): 175-181.
Luo Z, Liu Y J, Mai K S, *et al.* Partial replacement of fish meal by soybean protein in diets for grouper *Epinephelus coioides* juveniles[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2004, 28(2): 175-181.
- [9] 蒋洪斌,张海涛,王华朗,等.一种石斑鱼配合饲料及其制备方法: 101803673B[P]. 2012-09-26.
Jiang H B, Zhang H T, Wang H L, *et al.* Grouper compound feed and preparation method: 101803673B[P]. 2012-09-26(in Chinese).
- [10] 许永安.一种石斑鱼仔稚鱼配合饲料及其制备方法: 201010285000.2[P]. 2011-01-26.
Xu Y A. Compound feed for grouper larvae and juveniles and preparation method: 201010285000.2[P]. 2011-01-26(in Chinese).
- [11] Lin H Z, Liu Y J, Tian L X, *et al.* Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for grouper *Epinephelus coioides*[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2004, 35(2): 134-142.
- [12] 王广军,吴锐全,谢骏,等.军曹鱼饲料中用豆粕代替鱼粉的研究[J]. *大连水产学院学报*, 2005, 20(4): 304-307.
Wang G J, Wu R Q, Xie J, *et al.* Partial replacement for

- fish meal with soybean meal in feed for Cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2005, 20(4): 304-307(in Chinese).
- [13] 高荣兵, 庄平, 章龙珍, 等. 豆粕替代鱼粉对点篮子鱼生长性能的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(10): 1534-1540.
- Gao R B, Zhuang P, Zhang L Z, *et al.* Effects of replacement of fish meal by soybean meal on growth characters of Siganidae (*Siganus guttatus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(10): 1534-1540(in Chinese).
- [14] 陆阳, 杨雨虹, 王裕玉, 等. 不同比例膨化豆粕替代鱼粉对虹鳟生长、体成分及血液学指标的影响[J]. 动物营养学报, 2010, 22(1): 221-227.
- Lu Y, Yang Y H, Wang Y Y, *et al.* Effects of different replacement ratio of fish meal by extruded soybean meal on growth, body composition and hematology indices of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2010, 22(1): 221-227(in Chinese).
- [15] Chou R L, Her B Y, Su M S, *et al.* Substituting fish with soybean meal in diets of juvenile cobia *Rachycentron canadum*[J]. Aquaculture, 2004, 229(1-4): 325-333.
- [16] Deng J M, Mai K S, Ai Q H, *et al.* Effects of replacing fish meal with soy protein concentrate on feed intake and growth of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*[J]. Aquaculture, 2006, 258(1-4): 503-513.
- [17] 陆游, 周飘苹, 袁野, 等. 不同小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼的生长性能、饲料利用及糖代谢关键酶活力的影响[J]. 水产学报, 2017, 41(2): 297-310.
- Lu Y, Zhou P P, Yuan Y, *et al.* Effects of different wheat starch and lipid levels on growth performance, feed utilization and hepatic carbohydrate metabolism key enzymes activities in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(2): 297-310(in Chinese).
- [18] 刘珍, 王卫国. 小麦在水产饲料中的应用研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2005(1): 34-36.
- Liu Z, Wang W G. Research Advancement in Wheat Application in Aquatic Feeds[J]. Cereal & Feed Industry, 2005(1): 34-36(in Chinese).
- [19] Deng Y L, Achten W M J, Van Acker K, *et al.* Life cycle assessment of wheat gluten powder and derived packaging film[J]. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 2013, 7(4): 429-458.
- [20] Helland S J, Grisdale-Helland B. Replacement of fish meal with wheat gluten in diets for Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*): effect on whole-body amino acid concentrations[J]. Aquaculture, 2006, 261(4): 1363-1370.
- [21] Robaina L, Corraze G, Aguirre P, *et al.* Digestibility, postprandial ammonia excretion and selected plasma metabolites in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed pelleted or extruded diets with or without wheat gluten[J]. Aquaculture, 1999, 179(1-4): 45-56.
- [22] Kissil G W, Lupatsch I. Successful replacement of fishmeal by plant proteins in diets for the gilthead seabream, *Sparus aurata* L.[J]. The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh, 2004, 56(3): 188-199.
- [23] 李学英, 许钟, 郭全友, 等. 大黄鱼冷藏过程中的鲜度变化[J]. 中国水产科学, 2009, 16(3): 442-450.
- Li X Y, Xu Z, Guo Q Y, *et al.* Changes of freshness in cultured *Pseudosciaena crocea* during chilled storage[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(3): 442-450(in Chinese).
- [24] 戴志远, 崔雁娜, 王宏海. 不同冻藏条件下养殖大黄鱼鱼肉质构变化的研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(8): 188-191.
- Dai Z Y, Cui Y N, Wang H H. Changes of textural properties of cultured *Pseudosciaena crocea* muscle under different frozen storage conditions[J]. Food and Fermentation Industries, 2008, 34(8): 188-191(in Chinese).
- [25] 马睿. 营养与养殖大黄鱼品质之间关系的初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- Ma R. Preliminary study on relationship between nutrition and fish quality of farmed large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*)[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014(in Chinese).
- [26] Ai Q H, Zhao J Z, Mai K S, *et al.* Optimal dietary lipid level for large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) larvae[J]. Aquaculture Nutrition, 2008, 14(6): 515-522.
- [27] Cai Z N, Li W J, Mai K S, *et al.* Effects of dietary size-fractionated fish hydrolysates on growth, activities of digestive enzymes and aminotransferases and expression of some protein metabolism related genes in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) larvae[J]. Aquaculture, 2015, 440: 40-47.
- [28] Li C, Yao C L. Molecular and expression characterizations of interleukin-8 gene in large yellow croaker (*Lar-*

- imichthys crocea*][J]. Fish & Shellfish Immunology, 2013, 34(3): 799-809.
- [29] Xie F J, Ai Q H, Mai K S, *et al.* The optimal feeding frequency of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*, Richardson) larvae[J]. Aquaculture, 2011, 311(1-4): 162-167.
- [30] Xie F J, Ai Q H, Mai K S, *et al.* Dietary lysine requirement of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*, Richardson 1846) larvae[J]. Aquaculture Research, 2012, 43(6): 917-928.
- [31] Yu H R, Ai Q H, Mai K S, *et al.* Effects of dietary protein levels on the growth, survival, amylase and trypsin activities in large yellow croaker, *Pseudosciaena Crocea* R., larvae[J]. Aquaculture Research, 2012, 43(2): 178-186.
- [32] 赵金柱, 艾庆辉, 麦康森, 等. 微粒饲料替代生物饵料对大黄鱼稚鱼生长、存活和消化酶活力的影响[J]. 水产学报, 2008, 32(1): 91-97.
- Zhao J Z, Ai Q H, Mai K S, *et al.* Effects of substitution of live prey by microdiet on growth, survival and activities of digestive enzymes of larval *Pseudosciaena crocea*[J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(1): 91-97(in Chinese).
- [33] AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC[M]. 17th ed. Gaithersburg, MD, USA: AOAC, 2000.
- [34] 向泉, 周兴华, 陈建, 等. 饲料中豆粕蛋白替代鱼粉蛋白对齐口裂腹鱼幼鱼生长性能、体成分及血液生化指标的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(5): 723-731.
- Xiang X, Zhou X H, Chen J, *et al.* Effect of dietary replacement of fish meal protein with soybean meal protein on the growth, body composition and hematology indices of *Schizothorax prenanti*[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(5): 723-731(in Chinese).
- [35] Hassan S, Altaff K, Satyanarayana T, *et al.* Use of soybean meal supplemented with cell bound phytase for replacement of fish meal in the diet of juvenile milkfish, *Chanos chanos*[J]. Pakistan Journal of Nutrition, 2009, 8(4): 341-344.
- [36] 周歧存, 麦康森, 刘永坚, 等. 动植物蛋白源替代鱼粉研究进展[J]. 水产学报, 2005, 29(3): 404-410.
- Zhou Q C, Mai K S, Liu Y J, *et al.* Advances in animal and plant protein sources in place of fish meal[J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 29(3): 404-410(in Chinese).
- [37] 张帆. 大黄鱼(*Pseudosciaena crocea* R.)脂类营养生理和饲料替代蛋白源的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- Zhang F. Lipid requirement and fishmeal replacement in diets of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R.[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012(in Chinese).
- [38] 涂贵雄, 陈刚, 周晖, 等. 3种蛋白源替代鱼粉对褐点石斑鱼幼鱼血液指标的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2012, 32(4): 12-19.
- Tu G X, Chen G, Zhou H, *et al.* Effects of partial replacement dietary fish meal by three kinds of protein sources on haematological indices of juvenile *Epinephelus fuscoguttatus*[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2012, 32(4): 12-19(in Chinese).
- [39] Storebakken T, Refstie S, Ruyter B. Soy products as fat and protein sources in fish feeds for intensive aquaculture[C]//Drackley J K. Soy in Animal Nutrition. Savoy IL: Federation of Animal Science Societies, 2000: 127-170.
- [40] Messina M, Piccolo G, Tulli F, *et al.* Lipid composition and metabolism of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) fed diets containing wheat gluten and legume meals as substitutes for fish meal[J]. Aquaculture, 2013, 376-379: 6-14.
- [41] Kissinger K R, Garcia-Ortega A, Trushenski J T. Partial fish meal replacement by soy protein concentrate, squid and algal meals in low fish-oil diets containing *Schizochytrium limacinum* for longfin yellowtail *Seriola rivoliana*[J]. Aquaculture, 2016, 452: 37-44.
- [42] Bui H T D, Khosravi S, Fournier V, *et al.* Growth performance, feed utilization, innate immunity, digestibility and disease resistance of juvenile red seabream (*Pagrus major*) fed diets supplemented with protein hydrolysates[J]. Aquaculture, 2014, 418-419: 11-16.
- [43] Borquez A, Serrano E, Dantagnan P, *et al.* Feeding high inclusion of whole grain white lupin (*Lupinus albus*) to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effects on growth, nutrient digestibility, liver and intestine histology and muscle fatty acid composition[J]. Aquaculture Research, 2011, 42(8): 1067-1078.
- [44] Armando G O, Karma R. Trushenski Evaluation of fish meal and fish oil replacement by soybean protein and algal meal from *Schizochytrium limacinum* in diets for

- giant grouper *Epinephelus lanceolatus*[J]. Aquaculture, 2016, 452: 1-8.
- [45] Zhang L, Mai K S, Ai Q H, *et al.* Use of a Compound protein source as a replacement for fish meal in diets of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R.[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2008, 39(1): 83-90.
- [46] Silva-Carrillo Y, Hernández C, Hardy R W, *et al.* The effect of substituting fish meal with soybean meal on growth, feed efficiency, body composition and blood chemistry in juvenile spotted rose snapper *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869)[J]. Aquaculture, 2012, 364-365: 180-185.
- [47] Li M, Yu N, Qin J G, *et al.* Effects of ammonia stress, dietary linseed oil and *Edwardsiella ictaluri* challenge on juvenile darkbarbel catfish *Pelteobagrus vachelli*[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2014, 38(1): 158-165.
- [48] 徐奇友, 王常安, 许红, 等. 大豆分离蛋白替代鱼粉对哲罗鱼稚鱼生长、体成分和血液生化指标的影响[J]. 水生生物学报, 2008, 32(6): 941-946.
- Xu Q Y, Wang C A, Xu H, *et al.* Effects of replacing fish meal with soy protein isolated on the growth performance, body composition and biochemical indexes of juvenile *Hucho taimen*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2008, 32(6): 941-946(in Chinese).
- [49] Deng J M, Mai K S, Chen L Q, *et al.* Effects of replacing soybean meal with rubber seed meal on growth, antioxidant capacity, non-specific immune response, and resistance to *Aeromonas hydrophila* in tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2015, 44(2): 436-444.
- [50] Farrell A P. Coronary arteriosclerosis in salmon: Growing old or growing fast?[J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2002, 132(4): 723-735.
- [51] 吴文俊, 周飘苹, 黎明, 等. 饲料中添加不同核苷酸对大黄鱼生长、血液指标及血清酶活性的影响[J]. 宁波大学学报(理工版), 2014, 27(2): 7-12.
- Wu W J, Zhou P P, Li M, *et al.* Effects of different nucleotides supplementation on growth performance, hematological characteristics and serum enzyme activities of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*)[J]. Journal of Ningbo University (Natural Science & Engineering Edition), 2014, 27(2): 7-12(in Chinese).
- [52] Srivastava A R, Kumar S, Agarwal G G, *et al.* Blunt abdominal injury: Serum ALT-a marker of liver injury and a guide to assessment of its severity[J]. Injury, 2007, 38(9): 1069-1074.
- [53] Kader M A, Bulbul M, Koshio S, *et al.* Effect of complete replacement of fishmeal by dehulled soybean meal with crude attractants supplementation in diets for red sea bream, *Pagrus major*[J]. Aquaculture, 2012, 350-353: 109-116.
- [54] 林仕梅, 毛述宏, 关勇, 等. 罗非鱼低鱼粉饲料中脱酚棉籽蛋白替代鱼粉的研究[J]. 动物营养学报, 2011, 23(12): 2231-2238.
- Lin S M, Mao S H, Guan Y, *et al.* Replacement of fish meal with degossypolled cottonseed protein in low fish meal diets for tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2011, 23(12): 2231-2238(in Chinese).
- [55] 冀德伟, 李明云, 王天柱, 等. 不同低温胁迫时间对大黄鱼血清生化指标的影响[J]. 水产科学, 2009, 28(1): 1-4.
- Ji D W, Li M Y, Wang T Z, *et al.* Effects of low temperature stress periods on serum biochemical indexes in large yellow croaker *Pseudosciaena crocea*[J]. Fisheries Science, 2009, 28(1): 1-4(in Chinese).
- [56] Ding Z L, Zhang Y X, Ye J Y, *et al.* An evaluation of replacing fish meal with fermented soybean meal in the diet of *Macrobrachium nipponense*: Growth, nonspecific immunity, and resistance to *Aeromonas hydrophila*[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2015, 44(1): 295-301.
- [57] Zheng Q M, Wen X B, Han C Y, *et al.* Effect of replacing soybean meal with cottonseed meal on growth, hematology, antioxidant enzymes activity and expression for juvenile grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2012, 38(4): 1059-1069.
- [58] Xie S W, Liu Y J, Zeng S L, *et al.* Partial replacement of fish-meal by soy protein concentrate and soybean meal based protein blend for juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. Aquaculture, 2016, 464: 296-302.
- [59] Zhang J F, Shen H, Wang X R, *et al.* Effects of chronic exposure of 2,4-dichlorophenol on the antioxidant system in liver of freshwater fish *Carassius auratus*[J]. Chemosphere, 2004, 55(2): 167-174.

Effect of replacing fish meal with wheat gluten meal on growth, serum biochemical indexes and antioxidant enzyme activity of juvenile large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)

WANG Ping^{1,2}, LOU Yudong², FENG Jian², HE Jiaojiao², ZHU Junquan¹, ZHOU Qicun^{1*}

(1. School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. National Engineering Research Center of Marine Facilities Aquaculture, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China)

Abstract: A 56 d feeding experiment was conducted to investigate the effects of replacement of fish meal (FM) with wheat gluten meal (WGM) in diets on the growth, body composition, serum biochemical indexes and liver antioxidant ability of juvenile large yellow croaker, *Larimichthys crocea* [initial weight (10.49±0.03)g]. The basal diets were formulated by replacing 0% (FM), 25% (WGM25), 50% (WGM50), 75% (WGM75), 100% (WGM100) FM with WGM. The results showed that there were no significant differences in survival rate (SR), feed conversion ratio (FCR), hepatosomatic index (HSI), viscerosomatic index (VSI) and condition factor (CF) among all diets; there were significant differences between the treatment and the control diets in the weight gain rate (WGR) and the specific growth rate (SGR). There were no significant differences in whole body crude protein, crude lipid, water and ash content. There were no significant differences in muscle crude protein, crude lipid and water content, but in muscle ash content, there were significant differences between WGM50, WGM75 diets and FM, WGM25, WGM100 diets. There were no significant differences in serum alanine aminotransferase (ALT) and aspartate amino-transferase (AST) content. For liver superoxide dismutase (SOD) activity, it was significantly lower in WGM25, WGM100 diets than FM, WGM50 and WGM75 diets; for liver malondialdehyde (MDA) activity, it was significantly lower in WGM50 diet than FM, WGM25 and WGM100 diets; for liver catalase (CAT) activity, there were no significant differences; for liver glutathione peroxidase (GPx) activity, it was significantly higher in WGM100 diet than the other diets. From what have been discussed above, we can conclude that replacing 100% FM with WGM is suitable for juvenile large yellow croaker, and would not affect the growth performance.

Key words: *Larimichthys crocea*; wheat gluten meal; growth; body composition; serum biochemical indices; antioxidant enzyme activity

Corresponding author: ZHOU Qicun. E-mail: zhouqicun@nbu.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31602205); Key Project of Zhejiang Natural Science Foundation (Z16E090006); National Marine Special Public Welfare Research (201505025); Marine Special Research of Zhoushan City (2015C41001); Zhejiang Open Foundation of the Most Important Subjects (XKZ-SC1406); Scientific and Technical Project of Zhejiang Province, China(2016C02055-7)