

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2017.04.011

不同蛋白水平对2种规格石斑鱼生长性能、 血清生化及肌肉品质的影响

赵书燕^{1,2,3}, 林黑着¹, 黄忠¹, 周传朋¹, 王珺¹, 王芸¹, 戚常乐^{1,2}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东广州 510300; 2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306; 3. 广东越群海洋生物研究开发有限公司, 广东揭阳 522000)

摘要: 为研究2个不同生长阶段石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus* × *E. fuscoguttatus*)对饲料蛋白质的需求, 设计了蛋白水平分别为37%、40%、43%、46%和49% 5组等脂等能的饲料。大规模石斑鱼平均初始体质量为(341.29 ± 5.72)g, 小规模石斑鱼平均初始体质量为(83.93 ± 0.30)g, 每个网箱15尾, 每组饲料3个平行, 养殖8周。结果显示, 大、小规模石斑鱼增重率、特定生长率均随饲料蛋白水平的增加先升高后降低, 大规模组间无显著差异($P > 0.05$), 小规模43%组石斑鱼特定生长率最大($P < 0.05$)。2个生长阶段石斑鱼的饲料系数、脏体比、肝体比、胆固醇和血糖随蛋白水平增加显著降低($P < 0.05$), 血清蛋白含量先增加后降低($P < 0.05$)。大规模石斑鱼的肌肉灰分随蛋白水平增加先升高后降低, 小规模石斑鱼则显著升高($P < 0.05$)。肌肉滴水损失率、蒸煮损失率随蛋白水平增加显著降低, pH逐渐增加, 肌肉硬度和弹性先增加后降低($P < 0.05$)。结果表明, 大规模石斑鱼适宜蛋白需求量为40.94%, 小规模石斑鱼蛋白需求量为43.44%, 小规模石斑鱼品质优于大规模石斑鱼。

关键词: 石斑鱼; 饲料蛋白质; 营养需求; 生长; 肌肉品质

中图分类号: S 963.72

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2017)04-0087-10

Effect of dietary protein level on growth performance, plasma biochemical indices and flesh quality of grouper (*Epinephelus lanceolatus* × *E. fuscoguttatus*) at two growth stages

ZHAO Shuyan^{1,2,3}, LIN Heizhao¹, HUANG Zhong¹, ZHOU Chuanpeng¹,
WANG Jun¹, WANG Yun¹, QI Changle^{1,2}

(1. Key Lab. of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;
2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Guangdong Yuequn Ocean Biological Research Development Co., Ltd., Jieyang 522000, China)

Abstract: An eight-week feeding trial was conducted to obtain the protein requirement of groupers (*Epinephelus lanceolatus* × *E. fuscoguttatus*) at two growth stages. Five isolipidic and isoenergetic diets containing 37%, 40%, 43%, 46% and 49% crude protein were fed to triplicate groups of 15 groupers [average initial body weight: I (83.93 ± 0.30) g, II (341.29 ± 5.72) g]. The results show that the weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR) increased and then decreased with increasing dietary protein level, and no significant difference was found among treatments at the second stage ($P > 0.05$). The SGR reached to the maximum at

收稿日期: 2016-08-22; 修回日期: 2016-11-08

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201403011)

作者简介: 赵书燕(1990-), 女, 硕士研究生, 从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: zhaoshuyan1990@163.com

通信作者: 林黑着(1965-), 男, 博士, 研究员, 从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: linheizhao@163.com

43% protein level ($P < 0.05$) at the first stage. With increasing protein level, the feed conversion rate (FCR), hepatosomatic index (HSI), viscerosomatic index (VSI), serum cholesterol (GHO) and glucose (GLU) decreased significantly, while the total protein (TP) increased and then decreased at both stages ($P < 0.05$). The muscle ash increased at the first stage and then decreased at the second stage ($P < 0.05$). The flesh drip-loss rate and cooking loss rate decreased, while the pH value increased gradually, and the muscle hardness and springiness increased and then decreased with increasing protein level ($P < 0.05$). The results indicate that the protein requirement of the second stage was 40.94%, and that of the first stage was 43.44%. The flesh quality at the first stage was better than that at the second stage.

Key words: *Epinephelus lanceolatus* × *E. fuscoguttatus*; feed protein; nutritional requirement; growth; flesh quality

石斑鱼俗称石斑, 广泛分布于热带和亚热带海域, 具有生长速度快、肉质细腻、营养丰富和对饲料蛋白需求高等特点。鱼粉是石斑鱼饲料中的主要蛋白源, 具有脂肪酸含量高、氨基酸平衡、消化率高和诱食性好等特点^[1]。饲料蛋白不仅影响鱼类的生长和代谢, 还与鱼肌肉品质有关。不同生长阶段石斑鱼对蛋白需求不同, 饲料中过高的蛋白质会增加氮(N)的排泄而污染水质^[2], 因此饲料中适宜的蛋白水平可以保护环境、降低饲料成本。

随着养殖规模的迅速发展, 鱼粉需求量不断增加。近年来, 鱼粉价格在高位运行, 给饲料行业带来了巨大压力。中国是全球饲料生产第一大国, 2012年以来中国饲料总产量一直徘徊在 1.9×10^8 t, 2015年首次突破 2×10^8 t 大关达到 2.18×10^8 t。因此, 海水鱼类蛋白质需求研究以及配置营养均衡、价格低廉的饲料显得尤为重要。

近年关于石斑鱼蛋白质营养研究主要集中于蛋白水平对一种规格石斑鱼生长和代谢的影响, 对不同规格石斑鱼生长、饲料利用和肌肉品质影响的研究较少见到。该实验旨在研究不同蛋白水平饲料对不同规格石斑鱼生长、代谢和肌肉品质的影响, 为日益发展的石斑鱼养殖业提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 实验饲料

以鱼粉、大豆浓缩蛋白和花生粕为主要动植物蛋白源, 鱼油和面粉为主要脂肪和碳水化合物来源。该实验设计5个蛋白质水平: D1(37%)、D2(40%)、D3(43%)、D4(46%)和D5(49%)(表1)。各种饲料原料经粉碎、充分混匀后过40目筛, 加鱼油、卵磷脂和鲑鱼内脏膏后再混匀, 混合后加入适量的水(约35%)搅拌均匀, 用双螺杆挤条机(F-26, 广州华南理工大学)挤压成直径5 mm

的条形物, 经造粒机(G-500, 广州华南理工大学)制成沉性颗粒饲料, 风干后用封口袋分装置于 -20 °C冷柜保存备用。

1.2 实验设计及实验管理

实验鱼为虎龙斑(鞍带石斑鱼 *Epinephelus lanceolatus* × 棕点石斑鱼 *E. fuscoguttatus*), 随机挑选大规格225尾大小均匀的石斑鱼[平均体质量 (341.29 ± 5.72) g]于15个网箱($1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$), 每箱15尾, 每组饲料3个平行。实验在中国水产科学研究院南海水产研究所深圳试验基地室内水泥池($3.5 \text{ m} \times 5.0 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$)中展开, 用水为经过活性炭过滤的海水, 保持连续充气。随机挑选大小均匀的小规格石斑鱼225尾[均质量为 (83.93 ± 0.30) g]于15个网箱($1.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$), 每个网箱15尾, 每组饲料3个平行, 实验在中国水产科学研究院南海水产研究所深圳试验基地海边鱼排中展开。

实验开始前以商品料投喂1周进行驯化, 使之逐渐适应人工配合饲料和养殖环境。每个实验5个处理, 每个处理3个重复, 每天饱食投喂2次(8:00和16:00), 大规格石斑鱼投喂1 h后用虹吸法吸取残饵和粪便, 每天下午换水量为1/3, 网箱每周清洗1次, 不间断充气。

养殖周期8周, 实验期间每天定时观察石斑鱼摄食情况, 并记录每天水温、摄食情况和死亡数, 养殖期间水温 $28.0 \sim 35.0$ °C, pH $7.5 \sim 8.2$, 盐度 $32 \sim 34$, 溶解氧(DO)为 $6.9 \sim 7.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 氨氮($\text{NH}_4^+ \text{-N}$)总量 $< 0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

1.3 样品采集与处理

养殖8周后, 饥饿24 h, 取样。将石斑鱼全部捞出, 以丁香酚(成都艾科达化学试剂有限公司)麻醉(1:10 000), 称量每个网箱鱼的总质量、计数量, 用于增重、特定生长率和饵料系数计算。从每个网箱中随机取3尾鱼测其体质量、体长, 用于

表1 实验饲料配方(干基)

Tab.1 Formulation and nutrient composition of basal diet (dry matter)

%

	蛋白水平 protein level				
	37%	40%	43%	46%	49%
鱼粉 fish meal	48	48	48	48	48
大豆浓缩蛋白 soy protein concentrate	0.3	5.5	10.8	16	21.5
花生粕 peanut meal	5	5	5	5	5
面粉 wheat flour	20.5	16.7	13.5	9.5	5.4
啤酒酵母 beer yeast powder	2	2	2	2	2
玉米淀粉 corn starch	9.5	8	5.8	4.5	3
鱼油 fish oil	5	5	5	5	5
大豆卵磷脂 soy lecithin	1	1	1	1	1
维生素预混料 ^① vitamin premix	2	2	2	2	2
矿物质预混料 ^② mineral premix	2	2	2	2	2
氯化胆碱 choline chloride	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
鱿鱼内脏粉 squid viscera powder	3	3	3	3	3
纤维素 cellulose	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
乙氧基喹啉 Ethoxyquin	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
总和 total	100	100	100	100	100
营养成分/% proximate composition					
水分 moisture	7.21	6.46	6.31	7.23	7.38
粗蛋白 crude protein	37.00	39.99	43.11	46.07	49.23
粗脂肪 crude fat	9.99	9.96	9.94	9.90	9.87
总能/MJ·kg ⁻¹ total energy	17.04	17.04	17.03	17.03	17.03

注: ① 维生素预混料为每千克饲料提供: VB₁ 21.25 mg, VB₂ 38.25 mg, VB₆ 17 mg, VB₁₂ 0.085 mg, VK₃ 8.5 mg, 肌醇 680 mg, 泛酸 51 mg, 烟酸 170 mg, 叶酸 1.02 mg, 生物素 27.2 mg, VD₃ 4.25 mg, V_E 102 mg, V_C 1.7 g, 氯化胆碱 3.4 g, 乙氧基喹啉 127.5 mg, 粗小麦粉 2.15 g; ② 矿物质预混料为每千克饲料提供: NaF 3.4 mg, KI 1.36 mg, CoCl₂·6H₂O (1%) 85 mg, CuSO₄·5H₂O 17 mg, FeSO₄·H₂O 136 mg, ZnSO₄·H₂O 85 mg, MnSO₄·H₂O 102 mg, MgSO₄·7H₂O 1.14 g, Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 5.1 g, NaCl 170 mg, 沸石粉 1.66 g

Note: ① Vitamin premix provides the following per kg of diet: VB₁ 21.25 mg, VB₂ 38.25 mg, VB₆ 17 mg, VB₁₂ 0.085 mg, VK₃ 8.5 mg, inositol 680 mg, pantothenic acid 51 mg, nicotinic acid 170 mg, folic acid 1.02 mg, biotin 27.2 mg, VD₃ 4.25 mg, V_E 102 mg, V_C 1.7 g, choline chloride 3.4 g, ethoxyquin 127.5 mg, manna-croup 2.15 g; ② mineral premix provides the following per kg of diet: NaF 3.4 mg, KI 1.36 mg, CoCl₂·6H₂O (1%) 85 mg, CuSO₄·5H₂O 17 mg, FeSO₄·H₂O 136 mg, ZnSO₄·H₂O 85 mg, MnSO₄·H₂O 102 mg, MgSO₄·7H₂O 1.14 g, Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 5.1 g, NaCl 170 mg, zeolite power 1.66 g

石斑鱼肥满度计算,之后用 2.5 mL 注射器尾静脉采血,采集的血放入 1.5 mL 的离心管中,室温静置 1 h,然后冷冻离心(3 500 r·min⁻¹, 10 min, 4 ℃),移液枪吸取上清分装于 0.5 mL 的离心管中, -80 ℃ 冰箱中保存以测血液生化指标。取血后的石斑鱼称量内脏、肝脏和肠道脂肪质量,用于形态学指标分析测定(肠脂率、肝体比和脏体比),采集的内脏样品肠、肝和胃立即转至 -80 ℃ 保存,参照南京建成试剂盒说明书分析酶活。然后分离背部侧线肌肉用于肌肉常规成分分析,样品分装于封口袋中置于 -80 ℃ 冰箱中保存。

增重率(weight gain rate, WGR, %) = 100 ×

[末体质量(g) - 初体质量(g)]/初体质量(g)

特定生长率(special growth rate, SGR, %) = 100 × [ln 末体质量(g) - ln 初体质量(g)]/天数(d)

饲料系数(feed conversion ratio, FCR) = 投喂饲料总质量(g)/增加体质量(g)

脏体指数(viscerosomatic index, VSI, %) = 100 × 内脏质量(g)/体质量(g)

肝体指数(hepatosomatic index, HSI, %) = 100 × 肝脏质量(g)/体质量(g)

肥满度(condition factor, CF, %) = 100 × 体质量(g)/[体长(cm)]³

1.4 粗营养成分测定

养殖实验结束后,取石斑鱼背部肌肉测量肌肉水分、粗蛋白、粗脂肪及灰分质量分数。水分采用烘箱 105 °C 烘至恒重法测定;粗蛋白(N × 6.25)酸解后采用凯氏定氮法测定(FOSS 2300, Hoganas, 瑞士);粗脂肪采用索氏抽提法测定(以石油醚为抽提剂; Soxtec Avanti 2050, Foss Tecator AB, 瑞士);灰分采用 550 °C 马弗炉灼烧法 8 h 测定(FO610C, Yamato Scientific Co., Ltd., 日本)。

1.5 血清生化指标的测定

血清生化指标委托金域生物检测中心测定。血清谷丙转氨酶和谷草转氨酶、总蛋白、白蛋白、球蛋白、甘油三酯、胆固醇和血糖采用全自动生化分析仪测定(ROCHE-P800, 罗氏公司, 瑞士)。

1.6 肉质测定

1.6.1 滴水损失率 取一定质量的新鲜背部肌肉, 4 °C 冰箱悬挂 24 h、48 h 后称质量。

滴水损失率 = $100 \times [\text{贮存前质量}(\text{g}) - \text{贮存后质量}(\text{g})] / \text{贮存前质量}(\text{g})$

1.6.2 蒸煮损失率 取一定质量的新鲜背部肌肉, 沸水中煮 5 min, 冷却后擦干水分, 称量蒸煮后的质量。

蒸煮损失率 = $100 \times [\text{蒸煮前质量}(\text{g}) - \text{蒸煮后质量}(\text{g})] / \text{蒸煮前质量}(\text{g})$

1.6.3 pH 测定前 pH = 4、pH = 7 和 pH = 12 标准液校准。

取一定质量鱼侧线上背部肌肉, 4 °C 放置 24 h、48 h 后, 按肌肉质量和水体积 1 : 9 匀浆, 然后测定 pH^[3]。

1.6.4 质地测定 实验采集的肌肉样品用食物分析仪(LFRA-100, 美国)中的 TPA(texture profile analysis)模式分析肌肉质地。相关参数为:直径为 6 mm 的圆柱形探头, 测试速度为 0.5 mm·s⁻¹, 形变量 60%, 分别测肌肉弹性(形变样品在去挤压力时恢复原状的比率)、硬度(挤压样品的力量)。

1.7 数据分析与处理

实验数据采用 Excel 2013 和 SPSS 20.0 软件分析, 以蛋白水平为因素进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), 并比较各组间的显著性。若各组间存在显著差异, 进行 Duncan's 多重比较, 各组显著性分析通过设定聚合 I 型误差在 5% ($P < 0.05$) 来评定。3 个重复数据的分析值均以“平均值 ± 标准差($\bar{X} \pm \text{SD}$)”来表示。

2 结果

2.1 对生长性能的影响

大规模石斑鱼 D1 ~ D3 组随着蛋白水平的增加, 增重、增重率和特定生长率逐渐增加, D3 ~ D5 组增重、增重率和特定生长率随饲料蛋白水平增加逐渐降低, 组间无显著差异($P > 0.05$)(表 2)。饵料系数随蛋白水平增加显著降低, D5 组显著低于 D1 组, 与其他组差异不显著($P > 0.05$)。各组间成活率均为 100%。

投喂不同实验饲料对小规格石斑鱼生长性能的影响见表 2。各组间石斑鱼增重率和特定生长率先增加后降低, D3 和 D4 组显著高于其他组($P < 0.05$)。饵料系数随着蛋白水平的增加不断降低, D4 和 D5 组显著低于其他组, D1 组显著高于其他 4 组($P < 0.05$)。成活率均为 100%。

经二次回归分析表明大规模石斑鱼蛋白需求为 40.94%, 小规格石斑鱼蛋白需求为 43.44%, 随着实验鱼规格增大, 石斑鱼的蛋白需求量降低(图 1, 图 2)。

大规模石斑鱼形态学指标中, 随着蛋白水平的增加, D1 ~ D3 组肥满度随着蛋白水平的增加而降低, D1 组显著高于其他组($P < 0.05$)。随着蛋白水平的增加脏体比和肝体比显著降低, D1 组显著高于 D5 组($P < 0.05$)(表 3)。

小规格石斑鱼中, 肝体比和脏体比随着蛋白水平的增加显著降低, D2、D3、D4 和 D5 组间无显著差异($P > 0.05$), 均显著低于 D1 组($P < 0.05$)。肥满度随蛋白水平增加不断降低, D1 ~ D4 组差异不显著($P > 0.05$), 均显著高于 D5 组($P < 0.05$)(表 3)。

2.2 对肌肉粗营养成分的影响

大规模石斑鱼肌肉水分、粗蛋白和粗脂肪含量不受蛋白水平的影响($P > 0.05$), 各组水分和粗蛋白含量随蛋白水平增加先升高后降低, 各组间无显著差异($P > 0.05$), 各组灰分含量先升高后降低($P < 0.05$)(表 4)。

不同实验饲料对小规格石斑鱼肌肉各营养成分的影响不同。各组间肌肉水分和粗蛋白含量无显著性差异, 粗脂肪随蛋白水平增加而下降, 但未达到显著水平($P > 0.05$)。灰分随蛋白水平增加不断增高, D5 组显著高于 D1 组($P < 0.05$), 其他组间无显著差异($P > 0.05$)(表 4)。

表 2 蛋白水平对 2 个生长阶段石斑鱼生长性能的影响

Tab. 2 Effect of different protein levels on growth performance of groupers at two growth stages

指标 index	D1	D2	D3	D4	D5
大规格石斑鱼 second stage grouper					
初始均体质量(IW,g)	338.18 ± 6.57	340.71 ± 13.58	334.50 ± 12.58	349.68 ± 5.02	343.40 ± 8.90
增重(WG,g)	273.28 ± 17.25	281.32 ± 28.38	291.61 ± 15.22	271.79 ± 10.39	263.24 ± 16.51
增重率(WGR,%)	80.73 ± 3.57	82.70 ± 9.33	84.77 ± 5.20	82.02 ± 10.01	76.73 ± 6.12
特定生长率(SGR,%)	0.99 ± 0.03	1.00 ± 0.09	1.02 ± 0.05	0.96 ± 0.03	0.95 ± 0.06
饵料系数(FCR)	1.52 ± 0.08 ^b	1.36 ± 0.08 ^a	1.32 ± 0.04 ^a	1.30 ± 0.07 ^a	1.24 ± 0.03 ^a
成活率(survival,%)	100	100	100	100	100
小规格石斑鱼 first stage grouper					
初始均体质量(IW,g)	83.77 ± 0.38	83.87 ± 0.50	84.43 ± 0.60	83.97 ± 0.57	83.63 ± 0.29
增重率(WGR,%)	185.39 ± 13.76 ^a	193.20 ± 9.71 ^{ab}	208.86 ± 10.23 ^b	208.00 ± 7.04 ^b	184.63 ± 9.37 ^a
特定生长率(SGR,%)	1.07 ± 0.12 ^a	1.17 ± 0.04 ^{ab}	1.29 ± 0.08 ^b	1.26 ± 0.06 ^b	1.09 ± 0.10 ^a
饵料系数(FCR)	1.66 ± 0.18 ^b	1.55 ± 0.14 ^{ab}	1.43 ± 0.02 ^{ab}	1.40 ± 0.02 ^a	1.30 ± 0.03 ^a
成活率(survival,%)	100	100	100	100	100

注：平均值 ± 标准差，n=3，同列不同字母表示差异显著 (P<0.05)，后表同此。

Note: Values are $\bar{X} \pm SD$ of three replications. The values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05). The same case in the following tables.

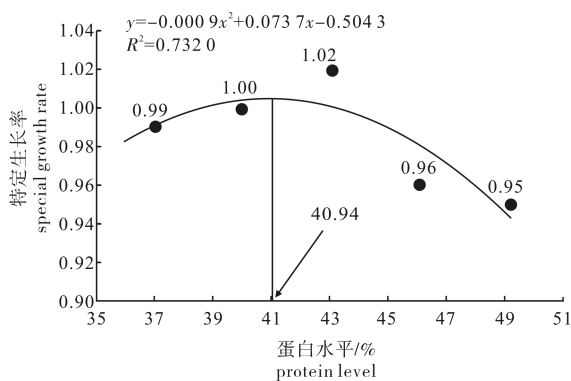


图 1 二次回归分析不同蛋白水平对大规格石斑鱼特定生长率的影响

Fig. 1 Quadratic regression analysis of special growth rate for second stage groupers fed with different protein levels

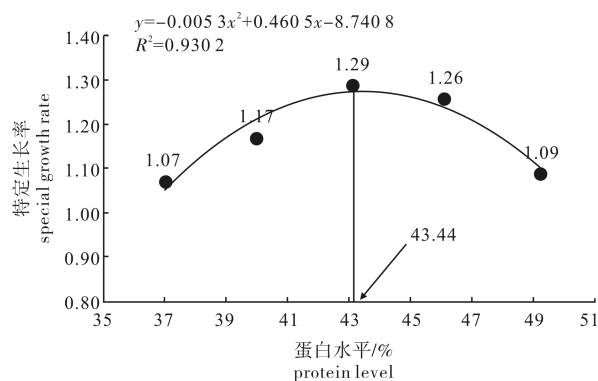


图 2 二次回归分析不同蛋白水平对小规格石斑鱼特定生长率的影响

Fig. 2 Quadratic regression analysis of special growth rate for first stage groupers fed with different protein levels

2.3 对血清生化指标的影响

大规格石斑鱼血清白蛋白和总蛋白水平随着蛋白水平的增加先升高后降低，D3 组显著高于 D1 组 (P<0.05)。血糖随着蛋白水平的增加逐渐降低，D5 组显著低于 D1 组 (P<0.05)，与其他组无显著差异 (P>0.05)。胆固醇随着蛋白水平增加先升高后降低，D3 组显著高于 D4、D5 组 (P<0.05)。饲料蛋白水平对大规格石斑鱼血清谷丙转

氨酶、谷草转氨酶和甘油三酯无显著影响 (P>0.05) (表 5)。

随着蛋白水平的增加，小规格石斑鱼血清总蛋白先上升后降低，D2、D3 组显著高于 D5 组 (P<0.05) (表 5)。各组血清白蛋白降低，D4、D5 组显著低于 D1、D2 组 (P<0.05)。血糖和胆固醇显著降低 (P<0.05)。血清谷丙转氨酶和谷草转氨酶逐渐升高，但组间无显著差异 (P>0.05)。

表3 蛋白水平对2个生长阶段石斑鱼形态学指标的影响

Tab. 3 Effect of different protein levels on morphological indices of groupers at two growth stages

指标 index	D1	D2	D3	D4	D5
大规模石斑鱼 second stage grouper					
肥满度(CF)	2.85 ± 0.25 ^b	2.51 ± 0.30 ^a	2.51 ± 0.13 ^a	2.70 ± 0.13 ^{ab}	2.64 ± 0.17 ^a
肝体比(HSI,%)	2.27 ± 1.26 ^b	2.18 ± 0.88 ^{ab}	1.88 ± 0.80 ^{ab}	1.76 ± 0.36 ^{ab}	1.39 ± 0.29 ^a
脏体比(VSI,%)	8.48 ± 1.74 ^b	8.46 ± 1.10 ^b	8.08 ± 1.45 ^{ab}	8.10 ± 1.31 ^{ab}	7.04 ± 0.94 ^a
小规模石斑鱼 first stage grouper					
肥满度(CF)	2.33 ± 0.38 ^b	2.12 ± 0.58 ^b	2.07 ± 0.60 ^b	1.93 ± 0.33 ^b	1.41 ± 0.52 ^a
肝体比(HSI,%)	1.98 ± 0.66 ^b	1.74 ± 0.35 ^{ab}	1.51 ± 0.28 ^a	1.51 ± 0.22 ^a	1.75 ± 0.37 ^{ab}
脏体比(VSI,%)	13.24 ± 1.18 ^b	12.07 ± 1.01 ^a	11.56 ± 0.88 ^a	11.47 ± 0.90 ^a	11.76 ± 1.23 ^a

表4 蛋白水平对2个生长阶段石斑鱼肌肉粗营养成分分析(干质量)

Tab. 4 Effect of different protein levels on muscle composition of groupers at two growth stages (dry matter) %

组 group	水分 moisture	灰分 ash	粗脂肪 crude lipid	粗蛋白 crude protein
大规模石斑鱼 second stage grouper				
D1	77.05 ± 0.66	5.71 ± 0.08 ^{ab}	6.46 ± 1.11	89.67 ± 1.17
D2	77.49 ± 0.38	5.93 ± 0.09 ^b	6.47 ± 1.14	90.81 ± 1.45
D3	77.38 ± 0.14	5.81 ± 0.15 ^{ab}	6.42 ± 0.7	90.95 ± 0.81
D4	76.66 ± 0.97	5.62 ± 0.08 ^a	7.30 ± 0.17	89.44 ± 1.38
D5	76.28 ± 0.70	5.72 ± 0.24 ^{ab}	5.92 ± 0.39	89.12 ± 0.47
小规模石斑鱼 first stage grouper				
D1	77.51 ± 0.49	5.63 ± 0.07 ^a	6.52 ± 0.32	91.45 ± 1.04
D2	77.19 ± 0.15	5.74 ± 0.10 ^{ab}	6.50 ± 0.48	91.64 ± 0.84
D3	76.99 ± 0.36	5.74 ± 0.12 ^{ab}	6.41 ± 0.10	91.32 ± 0.67
D4	77.12 ± 0.18	5.72 ± 0.06 ^{ab}	6.10 ± 1.14	91.02 ± 0.63
D5	77.15 ± 0.27	5.83 ± 0.06 ^b	6.09 ± 0.97	90.90 ± 1.67

2.4 对肌肉品质的影响

随着蛋白水平的增加,大规模石斑鱼肌肉滴水损失率显著降低,D5组显著低于D1组($P < 0.05$),与其他组无显著差异($P > 0.05$)。肌肉蒸煮损失率逐渐降低,D1和D2组显著高于其他组($P < 0.05$)。第24和第48小时肌肉pH显著升高($P < 0.05$)且第48小时的pH高于第24小时。肌肉硬度、弹性先升高后降低,D2和D3组显著高于D1组($P < 0.05$),两组之间无显著性差异($P > 0.05$)(表6)。

随着蛋白水平增加,小规模石斑鱼肌肉滴水损失率先降低后升高,D1组显著高于D3、D4组($P < 0.05$)。蒸煮损失率逐渐降低,D1组显著高于

D5组($P < 0.05$)。第24和第96小时肌肉pH均而升高,第24小时各组间差异不显著($P > 0.05$),第96小时D4、D5组显著高于D1组($P < 0.05$)。各组间石斑鱼肌肉硬度、弹性逐渐增加,但差异不显著($P > 0.05$)(表6)。

3 讨论

蛋白质占鱼类总干物质质量的65%~75%,在生物体内有重要的营养生理作用,是构建机体组织细胞的主要成分、组织更新和修复的主要原料、直接或转化成脂肪和糖提供能量等,是决定鱼类生长和配合饲料性能的首要参数^[4]。蛋白质除了提供鱼类生长所需的必需氨基酸,还可以提供所需的

表5 蛋白水平对2个生长阶段石斑鱼血清生化指标的影响

Tab. 5 Effect of different protein levels on plasma biochemical indices of groupers at two growth stages

指标 index	D1	D2	D3	D4	D5
大规模石斑鱼 second stage grouper					
ρ (白蛋白)/g·L ⁻¹ ALB	5.35 ± 0.21 ^a	6.60 ± 0.85 ^{ab}	7.65 ± 0.78 ^b	6.30 ± 0.71 ^{ab}	6.73 ± 0.21 ^{ab}
ρ (总蛋白)/g·L ⁻¹ TP	36.40 ± 2.61 ^{ab}	36.4 ± 3.81 ^{ab}	40.67 ± 1.35 ^b	35.50 ± 1.61 ^a	36.97 ± 2.35 ^{ab}
谷丙转氨酶/U·L ⁻¹ ALT	531.00 ± 467.93	490.67 ± 236.86	492.33 ± 107.48	391.67 ± 160.46	306.00 ± 206.18
谷草转氨酶/U·L ⁻¹ AST	24.67 ± 6.51	28.00 ± 4.00	31.00 ± 4.00	26.33 ± 2.51	23.33 ± 0.58
c(甘油三酯)/mmol·L ⁻¹ TG	1.50 ± 0.29	1.67 ± 0.17	1.50 ± 0.14	1.54 ± 0.34	1.64 ± 0.38
c(血糖)/mmol·L ⁻¹ GLU	5.26 ± 0.25 ^b	4.18 ± 0.84 ^{ab}	3.24 ± 0.30 ^a	3.13 ± 0.61 ^a	2.81 ± 1.21 ^a
c(胆固醇)/mmol·L ⁻¹ CHO	2.21 ± 0.14 ^{abc}	2.26 ± 0.34 ^{bc}	2.52 ± 0.05 ^c	2.00 ± 0.15 ^{ab}	1.88 ± 0.07 ^a
小规模石斑鱼 first stage grouper					
ρ (总蛋白)/g·L ⁻¹ TP	35.40 ± 2.33 ^{ab}	37.33 ± 1.77 ^b	36.83 ± 1.37 ^b	34.80 ± 3.21 ^{ab}	31.73 ± 1.64 ^a
ρ (白蛋白)/g·L ⁻¹ ALB	5.73 ± 1.00 ^b	5.83 ± 0.40 ^b	5.60 ± 0.26 ^{ab}	4.77 ± 0.42 ^a	4.60 ± 0.46 ^a
谷草转氨酶/U·L ⁻¹ AST	16.33 ± 4.16	16.33 ± 4.93	18.00 ± 1.00	18.00 ± 7.55	20.00 ± 7.00
谷丙转氨酶/U·L ⁻¹ ALT	445.33 ± 145.41	568.67 ± 146.55	767.77 ± 193.11	819.33 ± 218.08	809 ± 229.58
c(甘油三酯)/mmol·L ⁻¹ TG	1.67 ± 0.17	1.34 ± 0.06	1.56 ± 0.17	1.73 ± 0.057	1.53 ± 0.0.31
c(血糖)/mmol·L ⁻¹ GLU	3.49 ± 0.40 ^a	3.32 ± 0.37 ^a	3.27 ± 0.06 ^a	3.29 ± 0.04 ^a	4.66 ± 0.24 ^b
c(胆固醇)/mmol·L ⁻¹ CHO	2.72 ± 0.49 ^b	2.33 ± 0.36 ^{ab}	2.17 ± 0.24 ^{ab}	1.92 ± 0.26 ^a	1.99 ± 0.28 ^a

表6 蛋白水平对2个生长阶段石斑鱼肌肉品质的影响

Tab. 6 Effect of different protein levels on flesh quality of groupers at two growth stages

指标 index	D1	D2	D3	D4	D5
大规模石斑鱼 second stage grouper					
滴水损失率/% drip loss rate	7.57 ± 0.01 ^b	7.53 ± 0.01 ^{ab}	7.47 ± 0.01 ^{ab}	7.45 ± 0.02 ^{ab}	7.43 ± 0.01 ^a
蒸煮损失率/% cooking lose rate	28.99 ± 4.10 ^b	28.82 ± 3.32 ^b	24.49 ± 2.40 ^a	23.80 ± 3.52 ^a	22.11 ± 1.51 ^a
pH 24 h	6.39 ± 0.01 ^a	6.36 ± 0.03 ^a	6.43 ± 0.01 ^{ab}	6.53 ± 0.01 ^b	6.53 ± 0.05 ^b
pH 48 h	6.49 ± 0.05 ^a	6.54 ± 0.08 ^a	6.57 ± 0.04 ^{ab}	6.68 ± 0.02 ^c	6.66 ± 0.06 ^{bc}
硬度/g hardness	1.39 ± 0.27 ^a	1.63 ± 0.07 ^b	1.62 ± 0.11 ^b	1.53 ± 0.25 ^{ab}	1.47 ± 0.11 ^{ab}
弹性/mm springiness	68.64 ± 13.22 ^a	100.00 ± 15.87 ^b	98.78 ± 28.03 ^b	73.10 ± 27.7 ^{ab}	70.88 ± 21.43 ^a
小规模石斑鱼 first stage grouper					
滴水损失率/% drip loss rate	7.45 ± 0.03 ^b	7.23 ± 0.02 ^{ab}	7.19 ± 0.03 ^a	7.17 ± 0.02 ^a	7.23 ± 0.02 ^{ab}
蒸煮损失率/% cooking lose rate	22.64 ± 6.20 ^b	19.74 ± 3.54 ^{ab}	19.36 ± 3.64 ^{ab}	18.87 ± 3.16 ^{ab}	16.96 ± 5.55 ^a
pH 24 h	6.67 ± 0.09	6.74 ± 0.02	6.76 ± 0.08	6.80 ± 0.12	6.80 ± 0.00
pH 96 h	6.67 ± 0.07 ^a	6.75 ± 0.11 ^{ab}	6.80 ± 0.08 ^{ab}	6.85 ± 0.09 ^b	6.88 ± 0.04 ^b
硬度/g hardness	1.48 ± 0.28	1.63 ± 0.07	1.69 ± 0.07	1.81 ± 0.26	1.94 ± 0.53
弹性/mm springiness	66.67 ± 13.30	96.56 ± 13.32	103.90 ± 22.96	105.94 ± 73.97	104.69 ± 27.69

部分能量。饲料中蛋白含量低或氨基酸不平衡,会抑制鱼类生长;含量过高,多余的蛋白用于代谢供

能,氨氮排放量增加,对鱼类产生毒害作用和污染养殖环境。研究表明,10.7 g 斜带石斑鱼(E.

coioides)的蛋白需求为48%^[5], 20 g的石斑鱼(*E. malabaricus*)蛋白需求为48.03%^[6]。在该实验中石斑鱼增重、特定生长率随饲料蛋白水平增加先升高后降低。这可能与高蛋白饲料分解代谢中产生的氮代谢物加重鱼的代谢负担或产生危害有关^[7]。由生长数据可以看出, 大规格石斑鱼低蛋白水平和高蛋白水平的生长无显著差异, 以特定生长率为依据指标, 经二次回归分析得出大规格石斑鱼最适蛋白需求量为40.94%, 小规格石斑鱼为43.44%。对罗非鱼的研究表明, 25%~45%蛋白水平对特定生长率、增重率和饵料系数均无显著性影响^[8]。该实验中大规格石斑鱼蛋白需求低于斜带石斑鱼(均质量为275.1 g)蛋白需求的45.28%^[9], 这可能与该实验鱼规格较大, 以及饲料原料成分、实验鱼的种类和养殖环境有关。赤点石斑鱼(*E. akaara*)(均质量为126.36 g)人工配合饲料的适宜蛋白水平为48.37%~49.24%^[10], 高于小规格石斑鱼的需求量, 这可能与该实验设计的饲料脂肪水平较高有关。该实验饲料脂肪水平为10%(表1), 高于赤点石斑鱼的脂肪水平, 在不影响生长的情况下, 可以通过提高脂肪水平降低对蛋白的需求量。在一定范围内, 提高青石斑(*E. awoara*)饲料中脂肪能使更多的蛋白质用于鱼体的生长, 减少作为能源物质被消耗, 从而提高蛋白质利用率, 起到节约蛋白质的作用^[11]。然而, 过高的脂肪会抑制蛋白质的利用^[12]。在该实验中饵料系数随着蛋白水平的增加逐渐降低。这与鲤(*Carassius auratus gibelio*)^[13]、丝尾鲮(*Hemibagrus wyckioides*)^[4]、东方红鳍豚(*Takifugu rubripes*)^[14]的研究结果相似。由于鱼不能吸收超出机体需要的蛋白质, 但可以作为能量消耗^[15], 牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)对饲料利用效率随蛋白水平的增加而升高^[16]。

在该实验中, 石斑鱼肥满度、肝体比和脏体比随蛋白水平的增加而降低。尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)饲料蛋白水平对肥满度、脏体比和肝体比无显著影响, 而奥尼罗非鱼(*O. niloticus* × *O. aureus*)的研究中肥满度、肝体比和脏体比随蛋白水平增加而降低^[17]; 胡子鲶(*Clarias batrachus*)的肝体比和脏体比随蛋白水平的增加而降低, 肥满度则随之升高^[18]。这可能与饲料中的淀粉含量有关, 提高饲料的可消化淀粉含量, 可以增加肝脏中肝糖原的积累, 使脏体比和肝体比升高^[19]。

一定范围内, 大规格石斑鱼肌肉灰分随蛋白水

平增加先升高后降低, 小规格石斑鱼肌肉灰分升高, 脂肪含量不断降低, 粗蛋白含量略高于大规格石斑鱼, 这与团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)^[20]、宝石鲈(*Scortum barcoo*)^[21]随蛋白水平增加灰分升高、粗脂肪降低相似; 然而蒋阳阳^[22]对团头鲂的研究表明蛋白水平对全鱼营养成分没有显著影响。这是由于饲料配方、实验鱼规格等因素造成的。肌肉脂肪含量降低, 可能与饲料碳水化合物含量有关, 因为碳水化合物可以转化成脂肪^[23], 还可能是由于鱼的种类、规格和环境引起的。

血清生化指标的变化可以反映鱼体的新陈代谢和生理状况, 常用来评价鱼体的健康状况及其对环境的适应能力。在2种规格的石斑鱼中, 血清总蛋白、白蛋白随饲料蛋白水平的增加先升高后降低, 这可能是由于适宜蛋白水平范围内蛋白质被肠道消化吸收进入血液, 而蛋白水平过高时石斑鱼不能有效地吸收利用, 导致血清蛋白沉积不高。饲料蛋白水平增加可以降低2种规格石斑鱼血糖含量, 这是由于蛋白水平增加使饲料淀粉含量降低, 也可能由于三大营养物质代谢旺盛, 血清高蛋白促进肝脏蛋白糖原异生成糖类, 与斜带石斑鱼^[9]的研究结果一致。饲料蛋白水平可以降低血清甘油三酯、胆固醇含量, 这与低密度脂蛋白随蛋白水平的增加而降低、减少了将胆固醇从肝脏携带到血管^[24]有关。

转氨酶在三大营养物质的相互转化和氨基酸的代谢过程中起重要作用, 谷丙转氨酶反映肝功能, 谷草转氨酶反映心脏或肌肉组织受损伤程度。在该实验中, 谷丙转氨酶和谷草转氨酶均随蛋白水平的增加而升高。随着蛋白水平的增加, 罗非鱼谷丙转氨酶活性升高, 谷草转氨酶变化不显著^[25]; 饲料高蛋白使吉富罗非鱼(GIFT *O. niloticus*)^[26]血清谷丙转氨酶、谷草转氨酶含量升高。谷丙转氨酶和谷草转氨酶存在于肝细胞的胞质中, 在血清中含量低, 当投喂高蛋白水平饲料时增加了对肝脏的压力和细胞的损伤, 血清转氨酶浓度增加。不同的实验结果有差异, 可能与鱼的种类、饲料蛋白梯度和鱼的大小不同有关。

石斑鱼是一种高档海水鱼, 随着市场需求的增加和养殖技术的成熟, 人工养殖的石斑鱼逐渐满足了市场的需求, 然而人工养殖的石斑鱼与野生石斑鱼相比, 脂肪含量高, 多不饱和脂肪酸比例低。随着人民生活水平的提高, 对优质和安全食品要求越来越高, 通过营养调控的方式增加肉质的口感与品

质成为近年来营养学研究的热点。

肌肉品质包括肌肉质量和风味,常用物理性状和化学指标来衡量肌肉质量。物理性状包括保水率、嫩度、pH等,化学指标包括水分、粗脂肪、粗蛋白和水分含量等^[27]。该研究采用系水率、嫩度和pH 3个肌肉营养成分来评价蛋白质水平对2种规格石斑鱼的影响。系水力是肌肉受外界因素影响保持原有水分的能力,损失率越高,保水能力越差。肌肉保藏性和蒸煮损失与鱼的大小、取样位置、肌肉的pH等有关。活体鱼的pH近中性,在捕捞时由于环境和应激反应,肌肉无氧运动产生乳酸,pH降低。采血后机体生理活动和体液平衡受到破坏使机体处于无氧状态,肌糖原发生无氧酵解,pH继续降低。当肌糖原代谢完,在酸性蛋白酶和脂肪酶作用下,蛋白质分解成肽类和胺类物质,胺类进一步脱氨产生氨气,脂肪氧化成醛、酮等,使机体pH上升。该研究中随着蛋白水平的增加,2种规格石斑鱼肌肉pH不断增加,随着屠宰时间的延长,pH逐渐增大。pH低,肌肉质地干、品质差,pH高的鱼肉质地柔软、多汁^[28],可能与肌肉脂肪和糖原含量有关^[29]。在该实验中还可以看出小规格石斑鱼肌肉pH高于大规格石斑鱼。大规格石斑鱼肌肉滴水损失率和蒸煮损失率均高于小规格石斑鱼,说明小规格石斑鱼肌肉保水率高于大规格石斑鱼。

鱼肉的嫩度反映了消费者的口感惬意程度,与肌肉组织各组分及生物化学变化的程度有关,常从硬度、黏着性等来评价嫩度^[30],还有弹性、咀嚼性、剪切力等综合评价指标,其中肌纤维和肌间脂肪是影响嫩度的重要因素^[28]。肌纤维从组织学特征方面来评价肉质,肌纤维越细、密度越大,嫩度越高;高营养水平饲料,纤维直径增大,肌束间摩擦力增大,嫩度降低^[31]。影响鱼肉嫩度的因素有鱼的种类、投喂饲料史、遗传因素、营养水平、养殖环境和养殖方式等。肌肉品质还与胶原蛋白和脂肪含量有关,低脂肪、高胶原蛋白含量则肌肉嫩度降低,同时硬度、弹性和咀嚼力增大^[32]。对大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)的研究表明,随着饲料蛋白质水平的增加,肌肉硬度、弹性和咀嚼性增大,小规格大黄鱼肉质优于大规格和中等规格大黄鱼,中等规格优于大规格^[33],该研究结果与其一致。从数据中还可以看出小规格石斑鱼肌肉弹性和硬度高于大规格石斑鱼。

4 小结

饲料蛋白水平影响2个生长阶段石斑鱼的生长、饲料利用、代谢和肌肉品质。根据二次回归分析,40.94%蛋白水平可满足大规格石斑鱼(341.29±5.72)g的生长需要,小规格石斑鱼(83.93±0.30)g的蛋白需求量为43.44%;随着鱼规格增大石斑鱼对蛋白质需求不断降低,小规格石斑鱼肌肉品质指标优于大规格石斑鱼。

参考文献:

- [1] 邹文超. 凡纳滨对虾和斜带石斑鱼饲料中大豆蛋白替代鱼粉的研究[D]. 厦门:集美大学,2014:2.
- [2] 赵书燕,林黑着,黄忠,等. 不同蛋白质水平下添加小肽对石斑鱼生长、消化酶、血清生化和抗氧化能力的影响[J]. 南方水产科学,2016,12(3):15-23.
- [3] FUENTES A, FERNANDEZ-SEGOVIA I, SERRA J A, et al. Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality[J]. Food Chem, 2010, 119(4): 1514-1518.
- [4] DENG J, ZHANG X, BI B, et al. Dietary protein requirement of juvenile Asian red-tailed catfish *Hemibagrus wyckioides* [J]. Anim Feed Sci Tech, 2011, 170(3/4): 231-238.
- [5] LUO Z, LIU Y J, MAI K S, et al. Optimal dietary protein requirement of grouper *Epinephelus coioides* juveniles fed isoenergetic diets in floating net cages [J]. Aquacult Nutr, 2004, 10(4): 247-252.
- [6] 王庆奎,陈成勋,邢克智,等. 饲料中蛋白质、糖类、脂类对点带石斑鱼生长的影响[J]. 饲料工业,2010,31(14):7-10.
- [7] JAUNCEY K. The effects of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body composition of juvenile tilapias (*Sarotherodon mossambicus*) [J]. Aquaculture, 1982, 27(1): 43-54.
- [8] 杨弘,徐起群,乐贻荣. 饲料蛋白质水平对尼罗罗非鱼幼鱼生长性能,体组成,血液学指标和肝脏非特异性免疫指标的影响[J]. 动物营养学报,2012,24(12):2384-2392.
- [9] 杨俊江. 三个生长阶段斜带石斑鱼蛋白质、脂肪和碳水化合物需要量研究[D]. 湛江:广东海洋大学,2013:12-18.
- [10] 陈学豪,林利民,洪惠馨. 赤点石斑鱼人工配合饲料中蛋白质最适含量的研究[J]. 台湾海峡,1995,14(4):407-412.
- [11] 陈学豪,胡家财,周立红. 青石斑鱼配合饲料中脂肪节约蛋白质效应的初步研究[J]. 厦门水产学院学报,1996,18(1):21-24.
- [12] 肖温温. 饲料中脂肪与蛋白质水平对大口黑鲈生长、体组成、非特异性免疫和血液学的影响[D]. 上海:上海海洋大学,2012:74.
- [13] YUN B, YU X, XUE M, et al. Effects of dietary protein levels on the long-term growth response and fitting growth models of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. Anim Nutr, 2015, 1(2): 70-76.

- [14] KIM S, LEE K. Dietary protein requirement of juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*) [J]. *Aquaculture*, 2009, 287(1/2): 219-222.
- [15] SANTINHA P, GOMES E, COIMBRA J O. Effects of protein level of the diet on digestibility and growth of gilthead sea bream, *Sparus auratus* L. [J]. *Aquacult Nutr*, 1996, 2(2): 81-87.
- [16] LEE S, CHO S H, KIM K. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus* [J]. *J World Aquacult Soc*, 2000, 31(3): 306-315.
- [17] 徐起群. 尼罗罗非鱼和奥尼罗非鱼幼鱼蛋白质营养需求研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012: 11-29.
- [18] SINGH R K, DESAI A S, CHAVAN S L, et al. Effect of water temperature on dietary protein requirement, growth and body composition of Asian catfish, *Clarias batrachus* fry [J]. *J Thermal Biol*, 2009, 34(1): 8-13.
- [19] MOREIRA I S, PERES H, COUTO A, et al. Temperature and dietary carbohydrate level effects on performance and metabolic utilisation of diets in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles [J]. *Aquaculture*, 2008, 274(1): 153-160.
- [20] HABTYE-TSION H M, LIU B, GE X, et al. Effects of dietary protein level on growth performance, muscle composition, blood composition, and digestive enzyme activity of Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*) fry [J]. *Isr J Aquacult Bamid*, 2013, 65(1): 1-9.
- [21] 邵庆均, 苏小凤, 许梓荣, 等. 饲料蛋白水平对宝石鲈生长和体组成影响研究[J]. *水生生物学报*, 2004, 28(4): 367-373.
- [22] 蒋阳阳. 不同蛋白质、脂肪和糖水平对团头鲂幼鱼生长性能、体组成和生理生化指标的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2012: 22-29.
- [23] YANG S D, LIU C H, LIU F G. Effects of dietary protein level on growth performance, carcass composition and ammonia excretion in juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*) [J]. *Aquaculture*, 2002, 213(1): 363-372.
- [24] 唐玲, 徐奇友, 王常安, 等. 不同水温和饲料蛋白质水平对镜鲤血清生化指标的影响[J]. *大连海洋大学学报*, 2011, 26(1): 41-46.
- [25] ABDEL-TAWWAB M, AHMD M H, KHATTAB Y A E, et al. Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) [J]. *Aquaculture*, 2010, 298(3/4): 267-274.
- [26] 强俊, 杨弘, 王辉, 等. 饲料蛋白水平对低温应激下吉富罗非鱼血清生化指标和 *HSP70* mRNA 表达的影响[J]. *水生生物学报*, 2013, 37(3): 434-443.
- [27] 刘丽, 余红心, 肖维, 等. 鱼肉品质的研究进展[J]. *内陆水产*, 2008(8): 9-12.
- [28] 姜俊, 胡肆, 周小秋, 等. 膨化饲料中豆粕替代鱼粉比例对建鲤肌肉品质的影响[J]. *动物营养学报*, 2015, 27(2): 623-630.
- [29] 李文情, 李小勤, 冷向军, 等. 鳊鱼肌肉品质评价的初步研究[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(9): 114-117.
- [30] 朱志伟, 李汴生, 阮征, 等. 脆肉鲩鱼肉与普通鲩鱼肉理化特性比较研究[J]. *现代食品科技*, 2008, 24(2): 109-112.
- [31] GRIGORAKIS K, ALEXIS M N. Effects of fasting on the meat quality and fat deposition of commercial-size farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) fed different dietary regimes [J]. *Aquacult Nutr*, 2005, 11(5): 341-344.
- [32] 李宝山, 冷向军, 李小勤, 等. 投饲蚕豆对草鱼生长和肌肉品质的影响[J]. *中国水产科学*, 2008, 15(6): 1042-1049.
- [33] 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: 71-79.