

文章编号: 1000-0615(2019)08-1808-13

DOI: 10.11964/jfc.20180711385

## 摄食不同蛋白质水平饲料的珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长与血清激素和消化酶活性的相关性分析

郭鑫伟<sup>1</sup>, 谭北平<sup>1,2,3</sup>, 迟淑艳<sup>1,3\*</sup>, 董晓慧<sup>1,2,3</sup>,  
杨奇慧<sup>1,3</sup>, 刘泓宇<sup>1,3</sup>, 章双<sup>1,3</sup>

(1. 广东海洋大学水产动物营养与饲料实验室, 广东 湛江 524088;

2. 南海生物资源开发与利用协同创新中心, 广东 广州 510006;

3. 农业农村部南方水产与畜禽饲料重点实验室, 广东 湛江 524088)

**摘要:** 为评估蛋白质水平与珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长、血清激素和消化酶活性的相关性, 探究珍珠龙胆石斑鱼饲料中蛋白质水平对其健康生长的影响, 实验选取珍珠龙胆石斑鱼[初始体质量(6.50±0.00)g]随机分为6组, 每组4个重复, 分别投喂35%、40%、45%、50%、55%和60%蛋白质水平的饲料, 通过8周的摄食生长实验。结果显示, 50%组的增重率(WGR)和特定生长率(SGR)显著高于其他组; 55%和60%组血清总蛋白(TP)含量显著高于35%组; 50%组血清生长激素(GH)和胰岛素(INS)含量显著低于其他组, 45%组血清胰岛素样生长因子 I (IGF- I)含量显著高于其他组; 50%组胃蛋白酶活性和肠胰蛋白酶活性显著高于其他组, 肠淀粉酶活性随饲料蛋白质水平的升高呈逐渐下降的趋势, 并在55%和60%组达到最低值。WGR与血清GH之间呈极显著的负相关关系。研究表明, 以WGR为评价指标, 经折线模型拟合得出珍珠龙胆石斑鱼幼鱼对饲料中蛋白质的需求量为51.57%。

**关键词:** 珍珠龙胆石斑鱼; 蛋白质需求量; 血清激素; 消化酶

中图分类号: S 963

文献标志码: A

石斑鱼养殖在我国已颇具规模, 2016年石斑鱼的养殖产量近11万t, 养殖区域主要集中于福建、海南、广东等地, 其中广东省养殖产量占国内总产量的41.73%<sup>[1]</sup>。饲料蛋白质水平过高或过低均会影响动物生长和养殖成本, 适宜的饲料蛋白质水平不仅可以满足石斑鱼蛋白质沉积还能提高其对饲料的利用效率, 降低饲料成本和养殖水体的氮磷含量<sup>[2-4]</sup>。不同种类的石斑鱼对于饲料中蛋白质的需求量不同, 赤点石斑鱼(*Epinephelus akaara*)<sup>[4]</sup>、驼背鲈(*Cromileptes altivelis*)<sup>[5]</sup>、褐点石斑鱼(*E. fuscoguttatus*)<sup>[6]</sup>、点带石斑鱼(*E. malabaricus*)<sup>[7]</sup>、斜带石斑鱼(*E. coioides*)<sup>[8-9]</sup>、云纹石斑鱼(*E. moara*)<sup>[10]</sup>、云纹龙胆石斑鱼(*E. lanceo-*

*latus*♂×*E. moara*♀)<sup>[11]</sup>等石斑鱼饲料粗蛋白在40%~56%可满足其健康生长。

研究表明, 饲料蛋白质含量和生长性能与异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)<sup>[12]</sup>、吉富品系尼罗罗非鱼(*Oreochromis nilotica*)<sup>[13]</sup>和翘嘴鲌(*Culter alburnus*)<sup>[14]</sup>等鱼的血清胰岛素样生长因子 I (IGF- I)含量或其mRNA表达丰度之间呈正相关, 而与生长激素(GH)呈负相关。鱼类生长发育受到多种激素的调控, 其中GH/IGF- I轴在鱼类生长的调节中发挥着最重要的作用<sup>[15]</sup>。同时, 饲料蛋白质的利用受到机体消化酶活性的影响<sup>[16]</sup>, 有关珍珠龙胆石斑鱼(*E. lanceolatus*♂×*E. fuscoguttatus*♀)消化酶的研究主要集中在不同饲料<sup>[17-18]</sup>和饲料蛋白

收稿日期: 2018-07-31 修回日期: 2018-09-10

资助项目: 广东省科技计划项目公益研究与能力建设专项(2016A020206006); 现代农业产业技术体系专项(CARS-47)

通信作者: 迟淑艳, E-mail: chishuyan77@163.com

源<sup>[19-21]</sup>对消化道中蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性的影响等方面。对于饲料蛋白质水平与生长和几种消化酶活性以及生长激素的相关性研究少见报道。

珍珠龙胆石斑鱼是石斑鱼的杂交品种,具有生长快速、肉质鲜美、抗病力强、营养价值和经济价值高的特点<sup>[22]</sup>。以WGR为评价指标,当珍珠龙胆石斑鱼鱼体规格分别为2.55<sup>[23]</sup>、3.58<sup>[24]</sup>、83.93和341.29 g<sup>[25]</sup>时,适宜的饲料蛋白质水平分别为50%、53.5%、43.44%和40.94%。本实验在参考已知石斑鱼蛋白质需求量的条件下,评估摄食不同蛋白质水平饲料的石斑鱼生长与血清激素指标和消化酶活性的相关性,从相关激素和消化酶的角度解释饲料蛋白质水平对珍珠龙胆石斑鱼生长的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验用鱼及养殖管理

实验用珍珠龙胆石斑鱼幼鱼购自广东省雷州市石斑鱼苗场,在国家“863”高新技术研究发展计划海水养殖种子工程南方基地室内1 m<sup>3</sup>玻璃钢桶中暂养驯化,期间投喂石斑鱼配合饲料(广东上上生物科技有限公司,粗蛋白≥49%,粗脂肪≥8%)。待石斑鱼稳定并适应养殖环境后,随机挑选健康无病、规格均一的实验鱼[初始体质量为(6.50±0.00) g]随机分配到24个养殖桶中,养殖8周。实验共设6个处理组,每个处理4个重复,每个重复30尾鱼。每天饱食投喂2次(8:00和16:00)。观察石斑鱼摄食情况,根据摄食情况及时调整,并同时记录投喂量和死亡情况。实验用水为经过沉淀、沙滤的天然海水,养殖期间水温28~30℃,海水盐度28~29,光照周期为昼夜比12 h:12 h,实验期间不间断充氧气,溶解氧量不低于5 mg/L。养殖水体中氨氮含量不高于0.03 mg/L。

### 1.2 实验饲料配制

配制6组不同蛋白质水平的等脂等能饲料,饲料蛋白质水平分别为35%、40%、45%、50%、55%和60%,饲料配方见表1。所有原料经粉碎后过60目筛,按饲料配方准确称取后搅拌均匀,微量组分采取逐级扩大法混合均匀,经V型立式混合机(浙江正泰电器股份有限公司,JS-14S型)充分混匀,加入预先称取并混合好的鱼油和豆油,边搅拌边添加适量的水,用双螺杆挤条机(华南

理工大学,F-75型)制成粒径为2.5 mm的颗粒饲料。自然风干至水分含量为10%左右,用封口袋分装,-20℃冰箱保存备用。

### 1.3 样品采集与处理

养殖实验结束,空腹24 h后取样。将石斑鱼用丁香酚(1:10 000)麻醉,记录存活尾数,称重,计算成活率(SR)、增重率(WGR)、特定增长率(SGR)等指标。每个重复随机取3尾鱼测体长、体质量后备测全鱼常规成分;另取5~7尾鱼尾静脉采血,放入1.5 mL离心管中,4℃静置12 h,4 000×g,4℃离心10 min,将上清液分装,并保存于-80℃超低温冰箱,用于血清生化及血清激素指标的分析;分离胃和肠道组织,迅速放入液氮中保存,然后置于-80℃冷冻保存,备测消化酶活性;另取3尾鱼,剥离内脏团、肝脏并称重,用以计算形态学指标。

### 1.4 指标测定

生长及形体指标的计算 成活率(survival rate, SR, %)= $N_t/N_0 \times 100\%$ ;

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

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

饲料系数(feed conversion ratio, FCR)= $W_f / (W_t - W_0)$ ;

蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER)= $(W_t - W_0) / (W_f \times W_p) \times 100\%$

肝体比(hepatosomatic index, HSI, %)= $W_h / W \times 100\%$ ;

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

饱满度(condition factor, CF, g/cm<sup>3</sup>)= $W / L^3 \times 100\%$ ;

式中, $N_t$ 为终末尾数, $N_0$ 为初始尾数, $W_t$ 为终末体质量(g), $W_0$ 为初始体质量(g), $t$ 为实验天数(d), $W_f$ 为摄入饲料量(g), $W_p$ 为饲料粗蛋白质含量(%), $W_h$ 为鱼肝脏质量(g), $W_v$ 为鱼内脏质量(g), $W$ 为鱼体质量(g), $L$ 为鱼体长(cm)。

饲料养分及体成分的测定 实验饲料、肌肉及全鱼营养成分均参照AOAC<sup>[26]</sup>的方法进行测定,具体方法如下:水分含量测定采用105℃烘干恒重法;粗蛋白质含量采用凯氏定氮法[福斯华(北京)科贸有限公司,Kjeltec-8400凯氏定氮仪]测定;粗脂肪含量采用索式抽提法测定;粗

表 1 饲料原料组成及营养水平(干物质基础)

Tab. 1 Composition and nutrient levels of basal diets (DM basis)

项目 items	饲料蛋白质水平/% dietary protein levels					
	35	40	45	50	55	60
<b>原料/% ingredients</b>						
红鱼粉 brown fish meal	38.00	38.00	38.00	38.00	38.00	38.00
酪蛋白 casein	5.54	11.28	17.04	22.80	28.56	34.32
高筋面粉 bread flour	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
玉米淀粉 corn starch	29.00	23.20	17.40	11.60	5.80	0.00
鱼油 fish oil	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30
豆油 soybean oil	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30
氯化胆碱 choline chloride	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
维生素预混料 <sup>1</sup> vitamin premix	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
矿物质预混料 <sup>2</sup> mineral premix	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
维生素C vitamin C	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
乙氧基喹啉 ethoxyquin	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
诱食剂 attractant	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
纤维素 cellulose	0.38	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60
合计 total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
<b>营养水平 nutrition levels</b>						
水分/% moisture	10.03	9.82	9.84	9.84	10.06	10.23
粗蛋白质/% crude protein	36.05	41.18	45.75	50.48	55.20	60.73
粗脂肪/% crude lipid	12.81	12.54	14.99	13.23	12.51	13.10
粗灰分/% crude ash	6.70	6.80	6.82	8.33	8.16	8.36
总能/(MJ/kg) gross energy	19.32	19.70	20.12	20.01	20.31	20.51

注: 1. 维生素预混料: 青岛玛斯特生物技术有限公司提供; 2. 矿物质预混料: 青岛玛斯特生物技术有限公司提供

Notes: 1. vitamin premix: offered by Qingdao Master Biotech Co., Ltd.; 2. mineral premix: offered by Qingdao Master Biotech Co., Ltd

灰分含量采用550 °C马弗炉灼烧法测定。

血清生化及血清激素指标的测定 血清总蛋白(TP)、葡萄糖(GLU)、甘油三酯(TG)和总胆固醇(CHOL)含量运用全自动生化分析仪(日本株式会社日立高新技术, Hitachi-7020型)进行测定。TP含量的检测采用酶学终点法, GLU含量的检测采用己糖激酶法, TG含量的检测采用酶学终点法, CHOL含量的检测采用酶学终点法, INS、GH、IGF- I 的含量委托北京北方生物技术研究所有限公司采用放射免疫技术仪测定(XH-6080)。

组织消化酶活性的测定 胃蛋白酶

(pepsin)、胰胰蛋白酶(trypsin)、肠糜蛋白酶(chymotrypsin)、肠脂肪酶(lipase)和肠淀粉酶(α-amylase)活性均采用南京建成生物工程研究所试剂盒进行检测。

### 1.5 数据处理与统计分析

所有数据均以平均值±标准差(mean±SD)表示, 所有取得的实验数据均在SPSS 20.0软件进行单因子方差分析(One-Way ANOVA), 当不同处理之间有显著差异( $P < 0.05$ )时, 进行Duncan氏多重比较检验。采用Pearson Correlation (2-tailed)方法将石斑鱼血清激素水平和消化酶活性与生

长指标进行相关性分析。

## 2 结果

### 2.1 饲料蛋白质水平对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长性能的影响

本实验中, 饲料蛋白质水平45%、50%和55%组的SR显著高于35%组( $P<0.05$ )(表2)。随着饲料蛋白质水平的升高, WGR、SGR呈先上升

后下降的趋势, 其中50%组的WGR显著高于其他各组( $P<0.05$ ), 该组的SGR与55%组相比未见显著差异, 但是, 显著高于其他各组( $P<0.05$ )。随着饲料蛋白质水平的升高, FCR逐渐下降, 55%和60%组的FCR显著低于其他各组( $P<0.05$ )。35%和50%组的PER显著高于其余各组( $P<0.05$ )。以WGR为评价指标, 经折线模型拟合后得到珍珠龙胆石斑鱼幼鱼对饲料中蛋白质的需求量为51.57%(图1)。

表 2 饲料中蛋白质水平对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长、成活和饲料利用的影响

Tab. 2 Effect of dietary protein level on growth performance, survival and feed utilization of juvenile pearl gentian grouper

项目 items	蛋白质水平/% protein levels					
	35	40	45	50	55	60
初始体质量/g IBW	6.50±0.00	6.50±0.00	6.50±0.00	6.50±0.00	6.50±0.00	6.50±0.00
终末体质量/g FBW	52.76±0.00 <sup>a</sup>	53.89±0.51 <sup>a</sup>	59.00±1.73 <sup>b</sup>	71.84±0.23 <sup>d</sup>	69.78±0.39 <sup>d</sup>	67.06±1.76 <sup>c</sup>
成活率/% SR	97.50±1.67 <sup>a</sup>	99.17±1.67 <sup>ab</sup>	100±0.00 <sup>b</sup>	100±0.00 <sup>b</sup>	100±0.00 <sup>b</sup>	98.34±1.92 <sup>ab</sup>
增重率/% WGR	706.37±9.16 <sup>a</sup>	729.06±7.84 <sup>b</sup>	823.08±0.00 <sup>c</sup>	1 005.13±3.63 <sup>f</sup>	973.50±5.92 <sup>e</sup>	916.80±12.50 <sup>d</sup>
特定增长率/(%/d) SGR	3.73±0.02 <sup>a</sup>	3.78±0.02 <sup>a</sup>	4.00±0.06 <sup>b</sup>	4.29±0.00 <sup>d</sup>	4.25±0.02 <sup>d</sup>	4.15±0.02 <sup>c</sup>
饲料系数 FCR	1.23±0.00 <sup>c</sup>	1.16±0.04 <sup>d</sup>	0.96±0.01 <sup>c</sup>	0.87±0.01 <sup>b</sup>	0.80±0.00 <sup>a</sup>	0.79±0.01 <sup>a</sup>
蛋白质效率/% PER	1.30±0.03 <sup>c</sup>	1.18±0.05 <sup>b</sup>	1.16±0.07 <sup>b</sup>	1.29±0.01 <sup>c</sup>	1.16±0.01 <sup>b</sup>	1.01±0.02 <sup>a</sup>

注: 同行肩标不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ), 下同

Notes: In the same row, values with different letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ), the same below

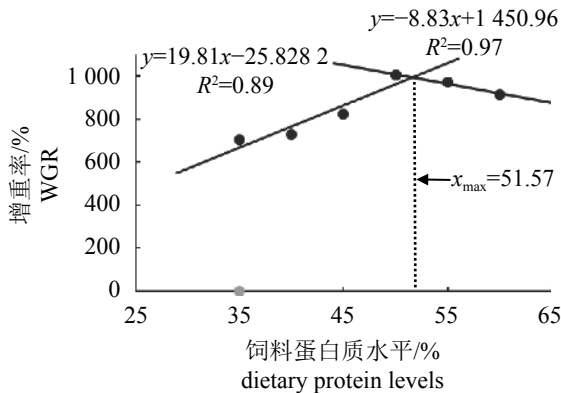


图 1 饲料蛋白质水平与增重率之间的关系

Fig. 1 Relationship between dietary protein levels and WGR of juvenile pearl gentian grouper

随着饲料蛋白质水平的升高, 珍珠龙胆石斑鱼的HSI、VSI逐渐下降, 60%组的VSI显著低于其他组( $P<0.05$ ), 该组的HSI和55%组之间无显著差异( $P>0.05$ ), 但显著低于其他组( $P<0.05$ )。CF随蛋白质水平的升高先上升后下降, 40%组的CF显著高于其他组( $P<0.05$ )(表3)。

随着饲料蛋白质水平的升高, 全鱼水分和粗灰分逐渐上升, 60%组全鱼水分显著高于其他组( $P<0.05$ ), 粗灰分显著高于40%、50%组( $P<0.05$ )(表4); 35%和40%组全鱼粗脂肪无显著差异( $P>0.05$ ), 显著高于其他组( $P<0.05$ ); 55%和60%组全鱼粗蛋白含量显著高于其他各组( $P<0.05$ )。

随着饲料蛋白质水平的升高, 肌肉水分、粗脂肪呈先下降后上升的趋势, 55%组水分显著低于其他组( $P<0.05$ ), 45%组的肌肉粗脂肪和50%组未见显著差异, 但显著低于其他组( $P<0.05$ ); 35%组的肌肉粗蛋白显著低于其他组( $P<0.05$ ); 除35%组外, 随着饲料蛋白质水平的升高, 肌肉粗灰分呈上升趋势(表4)。

### 2.2 饲料蛋白质水平对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼血清生化及血清激素指标的影响

随着饲料蛋白质水平的升高, 血清TP含量呈逐渐上升的趋势, 55%、60%组显著高于其他组( $P<0.05$ ), 2组之间无显著差异( $P>0.05$ )(表5)。血清CHOL含量变化趋势与TP相反, 除35%组

表3 饲料中蛋白质水平对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼形态学指标的影响

Tab. 3 Effect of dietary protein levels on morphological characteristics of juvenile pearl gentian grouper

项目 items	蛋白质水平/% protein levels					
	35	40	45	50	55	60
肝体比/% HSI	3.74±0.06 <sup>c</sup>	2.98±0.05 <sup>d</sup>	2.75±0.07 <sup>c</sup>	2.55±0.09 <sup>b</sup>	2.00±0.06 <sup>a</sup>	1.90±0.09 <sup>a</sup>
脏体比/% VSI	13.59±0.28 <sup>f</sup>	12.68±0.12 <sup>e</sup>	11.45±0.32 <sup>d</sup>	10.97±0.01 <sup>c</sup>	10.20±0.08 <sup>b</sup>	9.77±0.16 <sup>a</sup>
肥满度/(g/cm <sup>3</sup> ) CF	1.70±0.05 <sup>a</sup>	2.51±0.04 <sup>c</sup>	2.41±0.05 <sup>d</sup>	2.38±0.02 <sup>d</sup>	2.26±0.01 <sup>c</sup>	2.07±0.02 <sup>b</sup>

表4 饲料中蛋白质水平对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼体成分的影响

Tab. 4 Effect of dietary protein level on body composition of juvenile pearl gentian grouper

项目 items	蛋白质水平/% protein levels					
	35	40	45	50	55	60
<b>全鱼 whole body</b>						
水分/% moisture	66.88±0.21 <sup>ab</sup>	66.56±0.55 <sup>a</sup>	67.09±0.25 <sup>ab</sup>	67.44±0.22 <sup>b</sup>	67.35±0.40 <sup>b</sup>	68.40±0.05 <sup>c</sup>
粗脂肪/% crude lipid	35.87±0.49 <sup>d</sup>	35.50±1.04 <sup>d</sup>	33.35±0.72 <sup>c</sup>	32.87±0.31 <sup>bc</sup>	31.17±0.19 <sup>ab</sup>	30.24±1.01 <sup>a</sup>
粗蛋白/% crude protein	54.85±0.18 <sup>b</sup>	51.69±0.17 <sup>a</sup>	54.61±0.02 <sup>b</sup>	54.66±0.06 <sup>b</sup>	58.49±0.34 <sup>d</sup>	56.87±0.29 <sup>c</sup>
粗灰分/% crude ash	14.96±0.06 <sup>ab</sup>	14.59±0.05 <sup>a</sup>	14.90±0.73 <sup>ab</sup>	14.65±0.27 <sup>a</sup>	15.03±0.05 <sup>ab</sup>	15.38±0.11 <sup>b</sup>
<b>肌肉 muscle</b>						
水分/% moisture	77.34±0.18 <sup>c</sup>	76.48±0.25 <sup>b</sup>	76.26±0.11 <sup>ab</sup>	76.41±0.01 <sup>ab</sup>	75.74±0.81 <sup>a</sup>	76.56±0.12 <sup>b</sup>
粗脂肪/% crude lipid	44.74±0.19 <sup>bc</sup>	43.34±4.28 <sup>bc</sup>	37.78±0.85 <sup>a</sup>	40.23±0.32 <sup>ab</sup>	43.49±1.45 <sup>bc</sup>	46.75±2.38 <sup>c</sup>
粗蛋白质/% crude protein	86.53±0.04 <sup>a</sup>	89.68±0.001 <sup>b</sup>	90.00±1.07 <sup>b</sup>	90.70±0.01 <sup>b</sup>	90.11±0.43 <sup>b</sup>	89.67±0.04 <sup>b</sup>
粗灰分/% crude ash	5.63±0.20 <sup>ab</sup>	5.46±0.32 <sup>a</sup>	5.97±0.05 <sup>abc</sup>	6.00±0.14 <sup>abc</sup>	6.07±0.01 <sup>bc</sup>	6.28±0.35 <sup>c</sup>

表5 饲料中蛋白质水平对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼血清生化指标的影响

Tab. 5 Effect of dietary protein level on serum biochemical indices of juvenile pearl gentian grouper

项目 items	蛋白质水平/% protein levels					
	35	40	45	50	55	60
总蛋白/(g/L) TP	26.48±0.30 <sup>a</sup>	28.24±0.13 <sup>b</sup>	28.86±0.16 <sup>b</sup>	31.50±0.07 <sup>c</sup>	47.63±0.34 <sup>d</sup>	47.34±1.31 <sup>d</sup>
葡萄糖/(mmol/L) GLU	2.62±0.17 <sup>a</sup>	4.16±0.37 <sup>b</sup>	7.32±0.76 <sup>d</sup>	9.25±0.14 <sup>e</sup>	6.24±0.30 <sup>c</sup>	5.49±0.18 <sup>c</sup>
甘油三酯/(mmol/L) TG	0.68±0.06 <sup>c</sup>	0.50±0.04 <sup>b</sup>	0.39±0.00 <sup>ab</sup>	0.37±0.06 <sup>a</sup>	0.51±0.06 <sup>b</sup>	0.45±0.09 <sup>ab</sup>
总胆固醇/(mmol/L) CHOL	2.98±0.20 <sup>c</sup>	3.3±0.11 <sup>c</sup>	2.28±0.08 <sup>b</sup>	1.44±0.36 <sup>a</sup>	1.31±0.05 <sup>a</sup>	1.21±0.02 <sup>a</sup>

外,随着饲料蛋白质水平的升高,CHOL含量呈逐渐下降的趋势,35%、40%组CHOL含量显著高于其他组( $P<0.05$ )。35%组血清TG含量显著高于其他组( $P<0.05$ )。随着饲料蛋白质水平的升高,血清GLU含量呈先上升后下降的趋势,50%组显著高于其他组( $P<0.05$ )。

随着饲料蛋白质水平的升高,血清GH、INS含量呈先下降后上升的趋势,其中50%组GH、INS含量显著低于其他组( $P<0.05$ )(表6)。血清IGF-

I含量随饲料蛋白质水平的升高呈先上升后下降的趋势,45%组IGF-I含量与40%组未见显著差异,但显著高于其他组( $P<0.05$ )。

以生长数据WGR为评判指标,WGR与GH含量呈极显著的负相关关系( $P<0.01$ ),与IGF-I、INS含量无显著相关( $P>0.05$ )(表7)。通过相关性分析发现,珍珠龙胆石斑鱼的生长性能与血清激素评价指标中的GH相关性最为密切。

表 6 饲料中蛋白质水平对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼血清激素指标的影响

Tab. 6 Effect of dietary protein level on serum hormones of juvenile pearl gentian grouper

项目 items	蛋白质水平/% protein levels					
	35	40	45	50	55	60
胰岛素样生长因子 I/(ng/mL) IGF- I	160.86±17.26 <sup>a</sup>	199.70±1.63 <sup>bc</sup>	228.57±8.99 <sup>c</sup>	173.34±17.88 <sup>ab</sup>	152.71±15.71 <sup>a</sup>	169.11±3.29 <sup>ab</sup>
生长激素/(ng/mL) GH	24.83±0.22 <sup>d</sup>	24.52±0.42 <sup>d</sup>	19.42±0.59 <sup>e</sup>	14.55±0.56 <sup>a</sup>	17.66±0.81 <sup>b</sup>	20.16±0.62 <sup>c</sup>
胰岛素/(μIU/mL) INS	58.69±4.82 <sup>d</sup>	42.22±5.61 <sup>e</sup>	26.81±3.58 <sup>b</sup>	16.26±0.39 <sup>a</sup>	26.90±2.62 <sup>b</sup>	45.35±3.50 <sup>c</sup>

表 7 血清激素指标与珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长相关性分析

Tab. 7 The correlation analysis between serum hormone indexes and growth index of juvenile pearl gentian grouper

生长指标 growth index	血清激素指标 serum hormone indexes			
	胰岛素样生长因子 I IGF- I	生长激素 GH	胰岛素 INS	
增重率 WGR	Pearson相关性	-0.143	-0.942 <sup>**</sup>	-0.714
	P	0.787	0.005	0.111

注: \*表示相关性为显著, 显著水平为0.05; \*\*表示相关性为极显著, 极显著水平为0.01; 相关系数<0, 表示二者之间呈现负相关关系; 相关系数>0, 表示二者之间呈现正相关关系; n=14, 下同

Notes: \* indicates a significant correlation, the significance level is 0.05; \*\* indicates a extremely significant correlation, the significance level is 0.01; correlation factor<0, the two factors present negative correlation; correlation factor>0, the two factors present positive correlation, n=14, the same below

### 2.3 饲料蛋白质水平对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼胃肠消化酶活性的影响

随着饲料蛋白质水平的升高, 胃蛋白酶、肠胰蛋白酶活性呈先上升后下降的趋势, 饲料蛋白质水平45%和50%组胃蛋白酶活性显著高于其他组( $P<0.05$ )(表8); 50%组肠胰蛋白酶活性与40%组无显著差异, 但显著高于其他组( $P<0.05$ )。45%组肠糜蛋白酶活性显著高于其他组( $P<0.05$ )。35%、45%组肠脂肪酶活性显著高于其他组( $P<0.05$ ), 其他组间未见显著差异( $P>0.05$ )。随着饲料蛋白质水平的升高, 肠淀粉酶呈逐渐下降的趋势, 55%和60%组肠淀粉酶与50%组无显著差异, 但显著低于其他组( $P<0.05$ )。

以生长数据WGR为评判指标, 摄食不同蛋

白质水平饲料后, 石斑鱼WGR与胃蛋白酶、肠胰蛋白酶、肠糜蛋白酶、肠脂肪酶和肠淀粉酶活性均无显著相关( $P>0.05$ )(表9)。

### 3 讨论

蛋白质是鱼类体组成的主要有机物质, 占总干重的65%~75%。鱼类饲料蛋白质成本占整个饲料成本的60%, 而饲料成本占养殖成本的60~70%<sup>[27]</sup>, 因此饲料中蛋白质水平与鱼类生长和养殖效益密切相关。当饲料蛋白质水平超过暗纹东方鲀(*Takifugu fasciatus*)<sup>[28]</sup>和斜带石斑鱼<sup>[8]</sup>最佳蛋白质需求量后, FCR呈现上升趋势, 然而, 本实验中FCR随着饲料蛋白质水平的提高显著下降, 当蛋白质水平超过50%时达到最低, 这与珍

表 8 饲料中蛋白质水平对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼消化酶活性的影响

Tab. 8 Effect of dietary protein level on digestive enzyme activities of juvenile pearl gentian grouper

指标 parameters	蛋白质水平/% protein levels					
	35	40	45	50	55	60
胃蛋白酶/(U/mg prot) pepsin	8.42±0.71 <sup>ab</sup>	8.30±0.04 <sup>ab</sup>	10.71±0.10 <sup>c</sup>	10.27±0.65 <sup>c</sup>	8.72±0.70 <sup>b</sup>	7.54±0.04 <sup>a</sup>
肠胰蛋白酶/(U/mg prot) trypsin	152.49±6.16 <sup>a</sup>	190.73±11.74 <sup>bc</sup>	188.62±0.61 <sup>b</sup>	207.50±8.49 <sup>c</sup>	147.44±7.65 <sup>a</sup>	143.81±2.41 <sup>a</sup>
肠糜蛋白酶/(U/mg prot) chymotrypsin	0.78±0.21 <sup>a</sup>	0.75±0.05 <sup>a</sup>	1.84±0.01 <sup>d</sup>	1.24±0.13 <sup>b</sup>	1.35±0.06 <sup>bc</sup>	1.50±0.03 <sup>c</sup>
肠脂肪酶/(U/g prot) lipase	3.88±0.19 <sup>b</sup>	2.14±0.08 <sup>a</sup>	3.52±0.45 <sup>b</sup>	2.28±0.05 <sup>a</sup>	2.03±0.31 <sup>a</sup>	2.20±0.58 <sup>a</sup>
肠淀粉酶/(U/mg prot) amylase	1.20±0.11 <sup>c</sup>	0.88±0.07 <sup>b</sup>	0.88±0.02 <sup>b</sup>	0.74±0.07 <sup>ab</sup>	0.66±0.13 <sup>a</sup>	0.57±0.01 <sup>a</sup>

表9 消化酶活性指标与珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长相关性分析

Tab. 9 The correlation analysis between digestive enzyme activities indexes and growth index

消化酶指标 digestive enzyme indexes		生长指标 growth index
		增重率 WGR
胃蛋白酶 pepsin	Pearson相关系数	-0.752
	P	0.085
胰蛋白酶 trypsin	Pearson相关系数	0.041
	P	0.939
糜蛋白酶 chymotrypsin	Pearson相关系数	0.526
	P	0.283
脂肪酶 lipase	Pearson相关系数	-0.598
	P	0.209
淀粉酶 amylase	Pearson相关系数	-0.805
	P	0.053

珠龙胆石斑鱼<sup>[25]</sup>和中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)<sup>[29]</sup>的研究结果类似。在本实验条件下,以WGR为评价指标,经折线模型拟合得出珍珠龙胆石斑鱼幼鱼对饲料中蛋白质的适宜需求量为51.57%。摄食含45%、50%和55%蛋白质水平饲料的石斑鱼的SR显著高于其他组,表明适宜的蛋白质水平有利于提高石斑鱼的存活;摄食低蛋白质水平饲料(35%组),鱼体的WGR和SGR最低,表明机体缺乏足够的氨基酸维持组织修补更新和良好生长<sup>[4, 30]</sup>。然而,饲料蛋白质含量超过55%时鱼体WGR和SGR显著下降,过量的蛋白质和氨基酸通过脱氨基的作用作为能量消耗,降低蛋白质利用率<sup>[31]</sup>,因此摄食高蛋白质水平饲料的珍珠龙胆石斑鱼幼鱼PER也较低,同赤点石斑鱼<sup>[4, 32]</sup>、珍珠龙胆石斑鱼<sup>[23-25]</sup>、斜带石斑鱼<sup>[9]</sup>的研究结果相近。

鱼体成分受诸如种类、规格、性别等内源性因素以及饲料成分和养殖环境等外源性因素的影响<sup>[33]</sup>,同时蛋白质的合成、沉积速率也会影响鱼体组成<sup>[4, 32]</sup>。随着饲料蛋白质水平的升高,军曹鱼(*Rachycentron canadum*)<sup>[34]</sup>和卵形鲳鲀(*Trachinotus ovatus*)<sup>[35]</sup>全鱼粗蛋白含量随之升高,本实验中,随着饲料蛋白质含量的增加,珍珠龙胆石斑鱼全鱼粗蛋白以及肌肉粗蛋白含量随之增加。然而在点带石斑鱼<sup>[7]</sup>中发现,全鱼体蛋

白质随着饲料蛋白质水平的升高呈下降趋势。全鱼粗脂肪含量最高值出现在蛋白质水平为35%的实验组,该组饲料配方为低蛋白、高碳水化合物组模式,可能是由于饲料中过多的可消化淀粉转化为脂质和糖原,从而沉积在肝脏和内脏中<sup>[25, 36]</sup>,导致HSI和VSI也显著高于其他组。受不同蛋白质水平的影响,VSI是直接影响鱼产量最重要的指标之一<sup>[4]</sup>。鱼类在摄食较低水平蛋白质的饲料时,同时摄入较高水平的碳水化合物,使鱼类某些组织的脂肪合成酶的活性提高,促进了糖原转变为脂肪,并转运贮存于肝脏、腹腔内的脂肪组织等部位,从而增加内脏团质量<sup>[37]</sup>。随着饲料蛋白质水平的升高,珍珠龙胆石斑鱼VSI逐渐下降。VSI的增加与HSI的增加趋势有关<sup>[36]</sup>,本实验结果显示珍珠龙胆石斑鱼HSI与VSI变化趋势相一致。高HSI与鱼体较差的生长和健康状况有关<sup>[4]</sup>,本实验35%组的HSI最高,而该组的CF和WGR最低,这表明该组鱼体相对瘦弱。

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<sup>[25, 38]</sup>,若肝脏发生病变时,血清TP含量会降低<sup>[39]</sup>。本实验中,35%实验组鱼血清TP含量最低,HSI最高,提示可能鱼体肝脏代谢能力较差,而饲料蛋白质水平为50%和55%的实验组表现出更好的生长性能和相对较高的血清TP含量。饲料蛋白质水平较低组的鱼体血清TG和CHOL含量相对较高,这2种脂类是构成血脂的主要组成成分,广泛地分布在血液中,其含量可以反映出体内脂类代谢情况<sup>[40]</sup>。相比高蛋白低碳水化合物饲料,低蛋白高碳水化合物的饲料可以提供更多葡萄糖,通过糖酵解获得更多的乙酰辅酶A和磷酸二羟丙酮,用于脂质合成,从而引起血脂的增加<sup>[28, 41-42]</sup>。血糖主要来自消化吸收及体内肝糖原、肌糖原分解和糖异生。本实验中,随着饲料蛋白质水平的升高,饲料中玉米淀粉含量下降,GLU含量呈先上升后下降的趋势,最高组对应的生长最好,可能是由于适宜的蛋白质和糖类的含量刚好满足珍珠龙胆石斑鱼的正常生长需求,因此,其能量的利用率较高。

由GH、IGF-I及其相关受体与结合蛋白构成的系统是调节动物生长的中心环节,在鱼类能量代谢与生长调节中扮演着重要的角色。GH

与肝细胞表面生长激素受体结合,直接促进细胞生长,或通过促进IGF- I 分泌间接影响组织细胞生长。GH是由垂体前叶合成和分泌的一种单链多肽类激素, GH的合成与分泌不仅受生长激素释放激素的正调节和生长抑素的负调节,同时还受到血液中GLU、神经递质、IGF- I 等物质的影响。当饲料蛋白质水平在25%~35%时,罗非鱼血清GH含量变化不显著,当饲料蛋白质高于这个水平时GH含量则下降<sup>[43]</sup>,但是翘嘴鲌血清GH含量与饲料蛋白质水平呈负相关<sup>[14]</sup>。IGF- I 是一种广谱性促细胞分裂素,能促进鸟氨酸脱氢酶的活性及细胞内DNA、RNA和蛋白质的生物合成,最终引起细胞的增殖与分化,促进蛋白质的合成和结缔组织及骨髓的产生而影响生长<sup>[14-15, 44-46]</sup>。本实验中,石斑鱼血清GH含量与WGR密切相关,呈极显著的负相关关系。低蛋白质水平时,血清GH含量显著低于其他组,IGF- I 显著高于其他组;高蛋白质水平时,呈相反变化。GH和生长的关系还取决于循环GH的清除率、GH靶组织上GH受体数量和亲和力的变化以及与IGF- I 的相互作用等<sup>[46]</sup>。Bilal等<sup>[47]</sup>研究发现蛋白质水平对羔羊血清GH与IGF- I 水平无影响。低蛋白组绵羊体质量与外周血GH含量呈显著正相关,高蛋白组绵羊体质量与GH含量呈显著负相关,但是无论是低蛋白还是高蛋白组与绵羊外周GH和IGF- I 含量均未呈现明显相关关系<sup>[48]</sup>。INS主要是通过促进糖原、脂肪、蛋白质合成,同时抑制糖异生过程,调节和维持血糖平衡<sup>[49]</sup>。本实验研究表明,随着饲料蛋白质水平的升高,血清INS含量先下降后上升,而血清GLU含量则先上升后下降,提示该鱼INS对血糖的调节能力是有限的<sup>[50]</sup>。

消化酶活力的高低决定着水产动物对营养物质的消化吸收能力,进而决定水产动物的生长速度,饲料成分对鱼类消化酶活性的影响具有复杂性和多样性<sup>[8, 51]</sup>。当饲料蛋白质水平从35%增加到50%时,斜带石斑鱼<sup>[8]</sup>、达氏鲟(*Acipenser dabryanus*)<sup>[52]</sup>幼鱼胃蛋白酶活性随之显著升高;当饲料蛋白质水平从20%增加到40%时,刺鲃(*Barbudes caldwell*)<sup>[53]</sup>和高体革鲷(*Scortum barcoo*)<sup>[54]</sup>肠蛋白酶和肝脏淀粉酶、胃蛋白酶活性增加;当饲料蛋白质水平从34.67%增加到46.19%时,蒙古鲌(*Culter mongolicus*)<sup>[55]</sup>肠道胰蛋白酶活性随之升高;当饲料蛋白质水平从

32%增加到41.9%时,黑鲷(*Sparus macrocephalus*)幼鱼<sup>[56]</sup>胃蛋白酶、前肠和中肠蛋白酶活性逐渐升高。本实验中饲料蛋白质水平从35%增加到50%时,珍珠龙胆石斑鱼幼鱼胃蛋白酶、肠胰蛋白酶活性显著上升,当蛋白质水平超过55%时,珍珠龙胆石斑鱼幼鱼胃蛋白酶、肠胰蛋白酶活性显著下降,说明饲料中蛋白质水平超出某种界限时,珍珠龙胆石斑鱼幼鱼对蛋白质的消化能力不仅不会增强,还有可能减弱,这与斜带石斑鱼<sup>[8]</sup>、云纹龙胆石斑鱼幼鱼<sup>[11]</sup>、黑鲷幼鱼<sup>[56]</sup>等结果相近。饲料蛋白质水平对鱼类淀粉酶活性的影响因鱼种类而异<sup>[51, 57]</sup>,随着饲料蛋白质水平的升高,珍珠龙胆石斑鱼肠淀粉酶呈逐渐下降的趋势,这与斜带石斑鱼<sup>[8]</sup>、高体革鲷<sup>[54]</sup>等研究结果一致,然而,饲料蛋白质水平对卵形鲳鲹<sup>[16]</sup>、黄姑鱼(*Nibea albiflora*)<sup>[57]</sup>、高体革鲷<sup>[54]</sup>等鱼的淀粉酶活性没有显著影响。饲料蛋白质水平为50%~55%的实验组,珍珠龙胆石斑鱼消化酶活性较高,有利于体蛋白和肌肉蛋白的沉积以及血清TP含量的富集。

本实验通过对石斑鱼增重率和消化酶活性相关性分析的研究发现,尽管饲料蛋白质能够显著影响胃和肠道相应消化酶活性,但是二者未呈现显著相关性。姜松等<sup>[58]</sup>通过对斑节对虾(*Penaeus monodon*)家系生长速度和消化酶活性相关关系的研究发现,SGR和肝脏蛋白酶、胃蛋白酶活性高度正相关,可能是由于饲料蛋白质含量的增加,刺激了虾体内蛋白酶的分泌;淀粉酶活性和SGR的相关性远小于蛋白酶活性。与本实验结果出现不同的原因可能是由于物种差异造成的。

#### 参考文献:

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 2017中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017  
Fishery Bureau in Ministry of Agriculture. Chinese Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2017.
- [2] Jobling M. National research council (NRC): Nutrient requirements of fish and shrimp[J]. *Aquaculture International*, 2012, 20: 601-602.
- [3] Wang J T, Han T, Li X Y, et al. Effects of dietary protein and lipid levels with different protein-to-energy ratios on growth performance, feed utilization and body



- composition of juvenile red-spotted grouper, *Epinephelus akaara*[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2017, 23(5): 994-1002.
- [4] Wang J T, Jiang Y D, Li X Y, *et al.* Dietary protein requirement of juvenile red spotted grouper (*Epinephelus akaara*)[J]. *Aquaculture*, 2016, 450: 289-294.
- [5] Giri N A, Suwirya K, Mazuqi M. Effect of dietary protein and energy on growth of juvenile humpback grouper (*Cromileptes altivelis*)[J]. *Indonesian Fisheries Research Journal*, 2017, 8: 5-9.
- [6] Shapawi R, Ebi I, Yong A S K, *et al.* Optimizing the growth performance of brown-marbled grouper, *Epinephelus fuscoguttatus* (Forsk.) by varying the proportion of dietary protein and lipid levels[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2014, 191: 98-105.
- [7] Tuan L A, Williams K C. Optimum dietary protein and lipid specifications for juvenile malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*)[J]. *Aquaculture*, 2007, 267(1-4): 129-138.
- [8] 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.
- Yang J J. The Requirement of protein, lipid and carbohydrate for grouper (*Epinephelus coioides*) at three growth stages[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2013 (in Chinese).
- [9] 黄岩, 李建, 王学习, 等. 饲料中不同蛋白质和淀粉水平对斜带石斑鱼生长性能和肝脏相关代谢酶活性的影响[J]. *水产学报*, 2017, 41(5): 746-756.
- Huang Y, Li J, Wang X X, *et al.* Effects of different dietary protein and starch levels on the growth and liver metabolism of grouper (*Epinephelus coioides*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(5): 746-756(in Chinese).
- [10] 张晨捷, 彭士明, 陈超, 等. 饲料蛋白和脂肪水平对云纹石斑鱼幼鱼免疫和抗氧化性能的影响[J]. *海洋渔业*, 2016, 38(6): 634-644.
- Zhang C J, Peng S M, Chen C, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels on immune and antioxidant function of juvenile *Epinephelus moara*[J]. *Marine Fisheries*, 2016, 38(6): 634-644(in Chinese).
- [11] 公绪鹏. 最适蛋白质和能量含量对云纹龙胆石斑鱼幼鱼的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.
- Gong X P. Optimum of protein and energy content in feed of juvenile hybrid grouper, *Epinephelus lanceolatus*♂×*E. moara*♀[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017 (in Chinese).
- [12] Tu Y Q, Xie S Q, Han D, *et al.* Growth performance, digestive enzyme, transaminase and GH-IGF-I axis gene responsiveness to different dietary protein levels in broodstock allogynetic gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) CAS III[J]. *Aquaculture*, 2015, 446: 290-297.
- [13] 强俊, 杨弘, 王辉, 等. 温度与饲料蛋白质水平对吉富品系尼罗罗非鱼(*Oreochromis nilotica*)幼鱼生长和血清生长激素水平的影响[J]. *动物营养学报*, 2012, 24(8): 1589-1601.
- Qiang J, Yang H, Wang H, *et al.* Temperature and dietary protein level affect growth and serum growth hormone level in gift Nile tilapia juvenile (*Oreochromis nilotica*)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(8): 1589-1601(in Chinese).
- [14] 王桂芹, 周洪琪, 陈建明, 等. 饲料蛋白对翘嘴鲌生长和内分泌激素的影响[J]. *水生生物学报*, 2008, 32(4): 544-550.
- Wang G J, Zhou H Q, Chen J M, *et al.* Effect of dietary protein on growth and hormone of *Culter alburnus* juveniles[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2008, 32(4): 544-550(in Chinese).
- [15] 郑艳, 汝少国. 外源化学物质对鱼类生长和GH/IGF-I轴的影响[J]. *中国海洋大学学报*, 2012, 42(增1): 102-106.
- Zheng Y, Ru S G. Effects of exogenous chemicals on fish growth and GH/IGF-I axis[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2012, 42(suppl. 1): 102-106 (in Chinese).
- [16] 唐媛媛. 饲料蛋白质水平对卵形鲳鲹消化酶、非特异性免疫和肠道内容物细菌的影响[D]. 厦门: 厦门大学, 2014.
- Tang Y Y. Effects of dietary protein levels on digestive enzymes, non-specific immunity and intestinal contents bacteria of *Trachinotus ovatus* (Linn)[D]. Xiamen: Xiamen University, 2014 (in Chinese).
- [17] 赵盼月, 陈学豪, 翟少伟, 等. 不同形态饲料对珍珠龙胆石斑鱼肠道消化酶活性和组织形态的影响[J]. *饲料广角*, 2017(5): 42-44, 46.
- Zhao P Y, Chen X H, Zhai S W, *et al.* Effects of different form feed on digestive enzyme activity and histological morphology in the intestinal tract of pearl

- gentian grouper[J]. *Feed China*, 2017(5): 42-44, 46(in Chinese).
- [18] 曹伏君, 陈思, 梁华芳, 等. 不同饲料对珍珠龙胆石斑幼鱼生长性能的影响[J]. *水产科技情报*, 2016, 43(2): 66-71.  
Cao F J, Chen S, Liang H F, *et al.* Effects of different feed on growth performance of juvenile pearl gentian grouper[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2016, 43(2): 66-71(in Chinese).
- [19] 徐安乐, 黎中宝, 上官静波, 等. 发酵浒苔对珍珠龙胆石斑鱼生长、非特异性免疫及消化酶活性的影响[J]. *海洋学报*, 2018, 40(4): 96-105.  
Xu A L, Li Z B, Shangguan J B, *et al.* Effects of fermented *Enteromorpha prolifera* on growth performance, non-specific immunity and digestive enzyme activity of pearl gentian grouper[J]. *Haiyang Xuebao*, 2018, 40(4): 96-105(in Chinese).
- [20] 徐安乐, 胡晓伟, 黎中宝, 等. 饲料中添加超微粉碎浒苔对珍珠龙胆石斑鱼生长、非特异性免疫及消化酶活性的影响[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2017, 47(12): 37-45.  
Xu A L, Hu X W, Li Z B, *et al.* Effects of *Enteromorpha prolifera* ultrafine powder on growth performance, non-specific immunity and digestive enzyme activity of pearl gentian grouper[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2017, 47(12): 37-45(in Chinese).
- [21] 李学丽, 王际英, 宋志东, 等. 两种豆粕部分替代鱼粉在珍珠龙胆石斑鱼幼鱼饲料中的研究[J]. *上海海洋大学学报*, 2017, 26(5): 716-725.  
Li X L, Wang J Y, Song Z D, *et al.* Research on partial replacement of fishmeal by two kinds of soybean meal in the feed of juvenile ♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus*[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2017, 26(5): 716-725(in Chinese).
- [22] Li S L, Li Z Q, Sang C Y, *et al.* Glucose transporters in pearl gentian grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂): molecular cloning, characterization, tissue distribution and their expressions in response to dietary carbohydrate level[J]. *Aquaculture Research*, 2018, 49(1): 253-264.
- [23] Rahimnejad S, Bang I C, Park J Y, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels on growth performance, feed utilization and body composition of juvenile hybrid grouper, *Epinephelus fuscoguttatus* × *E. lanceolatus*[J]. *Aquaculture*, 2015, 446: 283-289.
- [24] Jiang S T, Wu X Y, Luo Y, *et al.* Optimal dietary protein level and protein to energy ratio for hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂) juveniles[J]. *Aquaculture*, 2016, 465: 28-36.
- [25] 赵书燕, 林黑着, 黄忠, 等. 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[J]. *南方水产科学*, 2017, 13(4): 87-96.  
Zhao S Y, Lin H Z, Huang Z, *et al.* Effect of dietary protein level on growth performance, plasma biochemical indices and flesh quality of grouper (*Epinephelus lanceolatus* × *E. fuscoguttatus*) at two growth stages[J]. *South China Fisheries Science*, 2017, 13(4): 87-96(in Chinese).
- [26] AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International[M]. 16th ed. Arlington, VA: AOAC International, 1995.
- [27] Han D, Shan X J, Zhang W B, *et al.* A revisit to fishmeal usage and associated consequences in Chinese aquaculture[J]. *Reviews in Aquaculture*, 2018, 10(2): 493-507.
- [28] Ye C X, Wu Y L, Sun Z Z, *et al.* Dietary protein requirement of juvenile obscure puffer, *Takifugu obscurus*[J]. *Aquaculture Research*, 2017, 48(5): 2064-2073.
- [29] Lin S, Luo L, Ye Y. Effects of dietary protein level on growth, feed utilization and digestive enzyme activity of the Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2010, 16(3): 290-298.
- [30] Wen B, Chen Z Z, Zhang X X, *et al.* Dietary protein demand of the juvenile blue discus *Symphysodon haraldi*[J]. *North American Journal of Aquaculture*, 2018, 80(2): 216-222.
- [31] Guy E L, Li M H, Allen P J. Effects of dietary protein levels on growth and body composition of juvenile (age-1) Black Buffalo *Ictiobus niger*[J]. *Aquaculture*, 2018, 492: 67-72.
- [32] 姜宇栋. 赤点石斑鱼幼鱼主要营养素需要量的研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2016.  
Jiang Y D. Study on the main nutrient elements requirement of the red spotted grouper (*Epinephelus akaara*)[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2016 (in Chinese).
- [33] Li Q F, Lu X B, Liang H O, *et al.* Effects of dietary levels of protein on growth, feed utilization and

- physiological parameters for juvenile Dabry's sturgeon, *Acipenser dabryanus*[J]. *Aquaculture Research*, 2018, 49(6): 2099-2107.
- [34] 骆艺文. 军曹鱼蛋白质需要量及菜籽粕、玉米蛋白粉替代鱼粉的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- Luo Y W. Nutrition requirement of dietary protein and optimal replacement of fish meal protein by rapeseed meal and corn gluten meal in cobia, *Rachycentron canadum* L. [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012 (in Chinese).
- [35] 刘兴旺, 许丹, 张海涛, 等. 卵形鲳鲹幼鱼蛋白质需要量的研究[J]. *南方水产科学*, 2011, 7(1): 45-49.
- Liu X W, Xu D, Zhang H T, *et al.* Optimal dietary protein requirement for juvenile *Trachinotus ovatus*[J]. *South China fisheries Science*, 2011, 7(1): 45-49(in Chinese).
- [36] Yang M, Wang J T, Han T, *et al.* Dietary protein requirement of juvenile bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*)[J]. *Aquaculture*, 2016, 459: 191-197.
- [37] 曾本和, 王万良, 朱龙, 等. 饲料蛋白质水平对台湾泥鳅生长性能、形体指标和体成分的影响[J]. *动物营养学报*, 2017, 29(9): 3413-3421.
- Zeng B H, Wang W L, Zhu L, *et al.* Effects of dietary protein level on growth performance, physical indices and body composition of Taiwan Loach[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(9): 3413-3421(in Chinese).
- [38] 石桂城, 董晓慧, 陈刚, 等. 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生长性能及其在低温应激下血清生化指标和肝脏脂肪酸组成的影响[J]. *动物营养学报*, 2012, 24(11): 2154-2164.
- Shi G C, Dong X H, Chen G, *et al.* Effects of dietary lipid level on growth performance of genetic improvement of farmed Tilapia (GIFT, *Oreochromis niloticus*) and its serum biochemical indices and fatty acid composition under cold stress[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(11): 2154-2164(in Chinese).
- [39] Zhang J Z, Zhou F, Wang L L, *et al.* Dietary protein requirement of juvenile black sea bream, *Sparus macrocephalus*[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2010, 41(S2): 151-164.
- [40] 董志航. 香鱼幼鱼饲料蛋白需要及膨化加工的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
- Dong Z H. Study on feed protein requirement and extrusion processing of juveniles *Plecoglossus altivelis*[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014 (in Chinese).
- [41] Zhou F, Ding X. Y, Feng H, *et al.* The dietary protein requirement of a new Japanese strain of juvenile Chinese soft shell turtle, *Pelodiscus sinensis*[J]. *Aquaculture*, 2013, 412-413: 74-80.
- [42] 王常安, 徐奇友, 唐玲, 等. 大鳞鲃幼鱼蛋白质的需求量[J]. *华中农业大学学报*, 2014, 33(3): 90-96.
- Wang C A, Xu Q Y, Tang L, *et al.* Dietary protein requirement of young *Barbus capito*[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2014, 33(3): 90-96(in Chinese).
- [43] Shepherd B S, Ron B, Burch A, *et al.* Effects of salinity, dietary level of protein and 17 $\alpha$ -methyltestosterone on growth hormone (GH) and prolactin (tPRL<sub>177</sub> and tPRL<sub>188</sub>) levels in the tilapia, *Oreochromis mossambicus*[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1997, 17(1-6): 279-288.
- [44] 王桂芹, 周洪琪. 鱼类主要内分泌激素和蛋白质代谢的关系[J]. *中国饲料*, 2007(5): 35-38.
- Wang G Q, Zhou H Q. Correlation between main endocrine hormones and protein metabolism in fish[J]. *China Feed*, 2007(5): 35-38(in Chinese).
- [45] Song Z D, Wang J Y, Qiao H J, *et al.* Assessing the effects of dietary inclusion of hydrolyzed soy protein on the growth, nutrient retention, body composition, and serum hormone of juvenile starry flounder, *Platichthys stellatus*[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2016, 47(2): 230-238.
- [46] Wu M J, Lu S D, Wu X Y, *et al.* Effects of dietary amino acid patterns on growth, feed utilization and hepatic IGF-I, TOR gene expression levels of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*♀ $\times$ *Epinephelus lanceolatus*♂) juveniles[J]. *Aquaculture*, 2017, 468: 508-514.
- [47] Bilal T, Keser O, Serpek B, *et al.* The effects of dietary protein level on serum growth hormone, insulin-like growth factors and performance in kivircik lambs[J]. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2008, 7(11): 1383-1386.
- [48] 闫云峰. 日粮蛋白质水平对绵羊IGF-1、GH及生长发育影响的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2014.
- Yan Y F. The effect of diets with different protein contents on the IGF-1, GH and growth in sheep[D].

- Shihezi: Shihezi University, 2014 (in Chinese).
- [49] 刘泓宇,毛义波,谭北平,等.饲料糖水平对不同食性鱼类生长及葡萄糖耐受能力的影响[J].水产学报,2015,39(12):1852-1862.
- Liu H Y, Mao Y B, Tan B P, *et al.* Effects of different dietary carbohydrate levels on growth and glucose tolerance ability in fishes of different feeding habits[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(12): 1852-1862(in Chinese).
- [50] 李建.饲料中不同蛋白质和淀粉水平对斜带石斑鱼生长和生理的影响[D].厦门:集美大学,2014.
- Li J. Effect of different dietary protein and starch levels on the growth and physiology of grouper, *Epinephelus coioides*[D]. Xiamen: Jimei University, 2014 (in Chinese).
- [51] 王常安,户国,孙鹏,等.饲料蛋白质和脂肪水平对亚东鲑亲鱼生长性能、消化酶活性和血清指标的影响[J].*动物营养学报*,2017,29(2):571-582.
- Wang C A, Hu G, Sun P, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels on growth performance, digestive enzyme activities and serum indices of *Salmo trutta fario* broodstock[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(2): 571-582(in Chinese).
- [52] 张磊,危起伟,张书环,等.饲料蛋白水平对达氏鲟幼鱼生长性能、体组成、消化酶活性以及血液生化指标的影响[J].*淡水渔业*,2016,46(6):79-85.
- Zhang L, Wei Q W, Zhang S H, *et al.* Effects of dietary protein level on growth performance, body composition, digestive enzyme activities and blood biochemical parameters of juvenile *Acipenser dabryanus*[J]. *Freshwater Fisheries*, 2016, 46(6): 79-85(in Chinese).
- [53] 吕耀平,陈建明,叶金云,等.饲料蛋白质水平对刺鲃幼鱼的生长、胴体营养组成及消化酶活性的影响[J].*农业生物技术学报*,2009,17(2):276-281.
- Lv Y P, Chen J M, Ye J Y, *et al.* Effects of diet protein level on the growth, body composition and digestive enzyme activities of the *Barbudes caldwell* juvenile[J]. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2009, 17(2): 276-281(in Chinese).
- [54] 邵庆均,苏小凤,许梓荣.饲料蛋白水平对宝石鲈增重和胃肠道消化酶活性影响[J].*浙江大学学报(农业与生命科学版)*,2004,30(5):553-556.
- Shao Q J, Su X F, Xu Z R. Effects of dietary protein levels on growth performance and digestive enzyme activities of jade perch *Scortum bacoo*[J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences)*, 2004, 30(5): 553-556(in Chinese).
- [55] 方桂萍.蛋白质水平对蒙古鲟生长、体成分及消化酶活性的影响[D].福州:福建农林大学,2014.
- Fang G P. Effect of protein levels on growth performance, body composition and digestive enzyme activity of *Culter mongolicus*[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014 (in Chinese).
- [56] 王蕾蕾.黑鲟幼鱼适宜蛋白需要量的研究[D].杭州:浙江大学,2007.
- Wang L L. Study of optimum protein requirement of juvenile Black sea bream (*Sparus macrocephalus*)[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007 (in Chinese).
- [57] 鲁琼,王立改,楼宝,等.饲料蛋白质水平对黄姑鱼幼鱼生长性能、体组成和消化酶活性的影响[J].*动物营养学报*,2015,27(12):3763-3771.
- Lu Q, Wang L G, Lou B, *et al.* Effects of dietary protein level on growth performance, body composition and digestive enzyme activities of juvenile *Nibea albiflora*[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(12): 3763-3771(in Chinese).
- [58] 姜松,杨其彬,黄建华,等.蛋白水平对不同斑节对虾家系生长与消化酶活性的影响[J].*海洋渔业*,2013,35(1):86-94.
- Jiang S, Yang Q B, Huang J H, *et al.* Study on the correlation between the growth of *Penaeus monodon* families and the digestive enzyme activity[J]. *Marine Fisheries*, 2013, 35(1): 86-94(in Chinese).

## Correlation analysis of fish growth performance and serum hormone and digestive enzyme activities of juvenile pearl gentian grouper (*Epinephelus lanceolatus*♂×*E. fuscoguttatus*♀) fed with different protein levels diets

GUO Xinwei<sup>1</sup>, TAN Beiping<sup>1,2,3</sup>, CHI Shuyan<sup>1,3\*</sup>, DONG Xiaohui<sup>1,2,3</sup>,  
YANG Qihui<sup>1,3</sup>, LIU Hongyu<sup>1,3</sup>, ZHANG Shuang<sup>1,3</sup>

- (1. Laboratory of Aquatic Animal Nutrition and Feed, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;
2. South China Sea Bio-Resource Exploitation and Utilization Collaborative Innovation Center, Guangzhou 510006, China;
3. Key Laboratory of Aquatic Livestock and Poultry Feed Science and Technology in South China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhanjiang 524088, China)

**Abstract:** An 8-week feeding trial was conducted to assess the correlation of the dietary protein with growth of juvenile pearl gentian grouper (*Epinephelus lanceolatus*♂×*E. fuscoguttatus*♀), serum hormone and digestive enzyme activities, to explore the effects of dietary protein levels on healthy growth. Grouper [average body weight (6.50±0.00) g] were randomly divided into 6 groups with 4 replicates in each group. The fish were fed isoenergetic and isolipidic experimental diets with protein levels 35%, 40%, 45%, 50%, 55% and 60%, respectively. The results showed that weight gain rate and specific growth rate of the fish fed with 50% protein diet were significantly higher than those of fish fed other protein level diets. The concentrations of total protein (TP) in 50% group and 60% group were significantly higher than 35% group. The concentrations of growth hormone (GH) and insulin (INS) in 50% group were significantly lower than those in other groups. The highest insulin-like growth factors- I (IGF- I ) concentration was found in 45% group and significantly higher than those in other groups. Pepsin and intestinal trypsin activities in 50% group were significantly higher than those in other groups. With increasing dietary protein levels, intestinal amylase activity was decreased, the lowest value was found in 55% group and 60% group and significantly lower than those in other groups. There was extremely significantly negative correlation between WGR and GH. According to these results, based on broken-line regression analysis of WGR, a diet containing 51.57% protein is recommended for efficient growth of juvenile pearl gentian grouper.

**Key words:** *Epinephelus lanceolatus*♂×*E. fuscoguttatus*♀; protein requirement; serum hormone; digestive enzyme

**Corresponding author:** CHI Shuyan. E-mail: chishuyan77@163.com

**Funding projects:** Public Welfare Research and Capacity Building of Guangdong Province (2016A020206006); China Agriculture Research System (CARS-47)