

## 饲料蛋白水平对星斑川鲈幼鱼生长、体组成及血浆生化指标的影响

丁立云<sup>1,2</sup>, 张利民<sup>2</sup>, 王际英<sup>2</sup>, 孙丽慧<sup>1,2</sup>, 帅继祥<sup>1,2</sup>, 崔立娇<sup>1,2</sup>, 孙永智<sup>2</sup>

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 2. 山东省海洋水产研究所, 山东 烟台 264006)

**摘要:**以鱼粉为蛋白源, 配制5个不同蛋白质水平(34.85%, 40.48%, 46.54%, 51.54%, 56.69%)的等能饲料。以初始体质量为(54.52±0.23)g的星斑川鲈 (*Platichthys stellatus*) 为实验对象, 在室内循环水养殖系统中进行54d的摄食生长实验, 研究饲料蛋白水平对星斑川鲈幼鱼生长、体组成及血浆生化指标的影响。结果显示: (1)增重率(WGR)和特定生长率(SGR)随着饲料蛋白水平的增加而上升, 51.54%和56.69%饲料组之间差异不显著( $P>0.05$ ), 其余各组差异显著( $P<0.05$ ); 51.54%饲料组的蛋白质效率(PER)显著高于其他各组( $P<0.05$ ); 51.54%饲料组的蛋白质沉积率(PRE)也显著高于34.85%、46.54%和56.69%组( $P<0.05$ ), 但与40.48%饲料组差异不显著( $P>0.05$ )。以增重率为参考指标, 折线回归分析结果表明, 星斑川鲈幼鱼获得最佳增重时对饲料中蛋白质的需要量为53.56%。(2)饲料不同蛋白水平对星斑川鲈幼鱼鱼体灰分含量没有显著影响, 但显著影响了鱼体粗蛋白、粗脂肪和水分的含量( $P<0.05$ )。51.54%饲料组鱼体粗蛋白含量最高, 显著高于34.85%组( $P<0.05$ ), 而与40.48%、46.54%和56.69%组之间无显著差异( $P>0.05$ ); 鱼体粗脂肪含量随着饲料蛋白水平的升高而下降, 水分含量表现出与粗脂肪含量相反的趋势。(3)饲料蛋白含量对星斑川鲈幼鱼部分血浆生化指标也产生了显著性的影响。血浆总蛋白(TP)以51.54%组最高, 与56.69%组差异不显著( $P>0.05$ ), 但显著高于34.85%、40.48%和46.54%组( $P<0.05$ ); 40.48%、51.54%和56.69%组间血浆尿素氮(BUN)含量差异不显著( $P>0.05$ ), 但显著低于34.85%和46.54%组( $P<0.05$ )。综合以上结果, 星斑川鲈饲料中蛋白质适宜添加量为51.54%~53.56%。[中国水产科学, 2010, 17(6): 1285-1292]

**关键词:**星斑川鲈; 蛋白水平; 增重率; 体组成; 血浆生化指标

中图分类号: S96

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2010)06-1285-08

蛋白质是饲料中最昂贵且对鱼类生长影响较大的组分, 它不仅为鱼类提供用于合成蛋白质的氨基酸<sup>[1]</sup>, 而且是体内代谢活性物质(激素、酶、免疫抗体)的主要成分<sup>[2]</sup>。饲料蛋白水平过低, 不能满足生长需要; 另一方面, 如果饲料蛋白水平过高, 则可能造成蛋白质的浪费, 而且氨基酸代谢产生的氨会破坏水质。迄今为止, 研究者已确定了部分鲆鲽鱼类如牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)<sup>[2]</sup>、大菱鲆(*Scophthalmus maximus* L.)<sup>[3]</sup>、大西洋漠斑牙鲆(*Paralichthys lethostigma*)<sup>[4]</sup>、拟庸鲽

(*Pleuronectes platessa*)<sup>[5]</sup>、大西洋庸鲽(*Hippoglossus hippoglossus*)<sup>[6]</sup>和美洲拟鲽(*Pleuronectes americanus*)<sup>[7]</sup>等对蛋白质的需要量。

星斑川鲈(*Platichthys stellatus*, Pallas 1788)又称星突江鲈, 隶属鲽形目、鲽科、川鲈属, 是一种经济价值较高的冷温性鱼类。具有生长速度快、抗病能力强、内脏团小、出肉率高、广温广盐等优点, 适宜于高密度集约化养殖, 被认为是继牙鲆、大菱鲆以后最有希望的养殖海水鱼类之一。该鱼营养价值高, 口感独特, 冷冻后肉质基本不

收稿日期: 2010-01-09; 修订日期: 2010-03-26.

基金项目: 农业部国家重点行业公益项目(nyhyzx07-046); 科技部农转资金项目(03EFN213700155); 山东省水生动物营养与饲料泰山学者岗位经费资助项目(TS200651036).

作者简介: 丁立云(1981-), 男, 硕士研究生, 专业方向为水产动物营养与饲料. E-mail: dingliyun2008@163.com

通讯作者: 张利民(1956-), 研究员. E-mail: ytzlm@139.com

变, 在国内外市场上深受欢迎<sup>[8]</sup>。然而, 国内外对该鱼营养方面的研究较少, 国内仅见其替代蛋白源<sup>[8]</sup>、脂肪营养需求<sup>[9]</sup>的研究报道。

本实验旨在研究以鱼粉为蛋白源时星斑川鲷幼鱼蛋白质的最适需要量, 并探讨饲料中不同蛋白水平对其生长、体组成及血液生化指标的影响, 为星斑川鲷配合饲料的科学配制提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验饲料

以鱼粉为蛋白源, 用木薯淀粉和纤维素调节蛋白质梯度, 配制 5 个不同蛋白水平的等能饲料, 分为 5 组(D1、D2、D3、D4、D5), 饲料粗蛋白实测值分别为 34.85%、40.48%、46.54%、51.54% 和 56.69%(表 1)。所有原料分析营养成分后, 粉碎

表 1 实验饲料配方及常规营养组成  
Tab. 1 Formulation and chemical composition of experimental diets

原料 Ingredient	组别 Group					%
	D1	D2	D3	D4	D5	
脱脂鱼粉 Defatted fishmeal	42.5	50.5	58.5	66.5	74.5	
乌贼内脏粉 Squid visceral meal	3	3	3	3	3	
鱼油 Fish oil	5	4	3	2	1	
淀粉 Starch	24.8	19	13.3	7.5	2	
纤维素 Cellulose	7	5.8	4.5	3.3	1.8	
面粉 Wheat flour	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	
矿物质预混料 Mineral mixture <sup>1</sup>	2	2	2	2	2	
维生素预混料 Vitamin mixture <sup>2</sup>	1	1	1	1	1	
$\alpha$ -淀粉 Alpha-starch	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	
氯化胆碱 (50%) Choline chloride	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
粘合剂 Binder	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	
抗氧化剂 Antioxidant	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	
化学组成(%干物质)Chemical composition (% DM)						
粗蛋白 Crude protein	34.85	40.48	46.54	51.54	56.69	
粗脂肪 Crude lipid	10.96	10.91	10.82	10.76	10.41	
灰分 Ash	9.50	10.77	12.21	13.57	14.84	
粗纤维 Crude fibre	7.31	6.19	4.91	3.74	2.27	
无氮浸出物 Nitrogen-free extract	37.38	31.65	25.52	20.39	15.79	
赖氨酸 Lysine	2.19	2.55	2.98	3.41	3.79	
蛋氨酸 Methionine	0.69	0.8	0.92	1.02	1.13	
赖氨酸/粗蛋白 Lysine/Crude protein	0.063	0.063	0.064	0.066	0.067	
蛋氨酸/粗蛋白 Methionine/Crude protein	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
总能 <sup>3</sup> Gross energy <sup>3</sup> (kJ·g <sup>-1</sup> )	16.18	16.15	16.10	16.06	16.01	
蛋能比 Protein/energy ratio (mg·kJ <sup>-1</sup> )	21.54	25.06	28.91	32.09	35.41	

注: 1. 矿物质预混料(mg/kg 饲料): MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 3 568.0; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, 25 568.0; KCl, 3 020.5; KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 8.3; CoCl<sub>2</sub>, 28.0; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 353.0; 乳酸钙, 15 968.0; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 9.0; KI, 7.0; MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O, 63.1; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, 1.5; C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>Fe·5H<sub>2</sub>O, 1 533.0; NaCl, 100.0; NaF, 4.0.

2. 维生素预混料(mg/kg 饲料): 维生素 A, 38.0; 维生素 D<sub>3</sub>, 13.2;  $\alpha$ -生育酚, 210.0; 硫胺素, 115.0; 核黄素, 380.0; 盐酸吡哆醇, 88.0; 泛酸, 368.0; 烟酸, 1 030.0; 生物素, 10.0; 叶酸, 20.0; 维生素 B<sub>12</sub>, 1.3; 肌醇 4 000.0; 抗坏血酸, 500.0. 3. 总能值根据蛋白质、脂肪、碳水化合物能量分别按 16.7 kJ/g、37.6 kJ/g、16.7 kJ/g 计算<sup>[1]</sup>.

Note: 1. Mineral mixture (mg/kg diet): MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 3 568.0; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, 25 568.0; KCl, 3 020.5; KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 8.3; CoCl<sub>2</sub>, 28.0; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 353.0; Ca-lactate, 15 968.0; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 9.0; KI, 7.0; MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O, 63.1; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, 1.5; C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>Fe·5H<sub>2</sub>O, 1 533.0; NaCl, 100.0; NaF, 4.0.

2. Vitamin mixture (mg/kg diet): retinol acetate, 38.0; cholecalciferol, 13.2; alpha-tocopherol, 210.0; thiamin, 115.0; riboflavin, 380.0; pyridoxine HCl, 88.0; pantothenic acid, 368.0; niacin acid, 1030.0; biotin, 10.0; folic acid, 20.0; vitamin B<sub>12</sub>, 1.3; inositol, 4000.0; ascorbic acid, 500.0. 3. Gross energy was calculated based on 16.7 kJ/g protein, 37.6 kJ/g lipid and 16.7 kJ/g carbohydrate<sup>[1]</sup>.

过 80 目筛, 按配比称量后加一定量的新鲜鱼油以及适量水混合均匀, 经螺旋挤压机加工成直径为 4.5 mm 的颗粒配合饲料, 烘干并保存于冰箱中备用。饲料配方和营养水平见表 1。

### 1.2 实验动物的来源与饲养管理

养殖实验在山东省海洋水产研究所全封闭水循环系统中进行。实验鱼购自荣成港西水产养殖场, 选用同一批次鱼种, 大小均匀, 健康无病, 体质量(54.52±0.23) g 的星斑川鲷, 随机分为 5 组, 分别饲喂 5 组人工饲料, 每组 3 个重复, 每个重复 20 尾鱼, 分别放养于 70 cm×80 cm 的绿色圆柱形养殖桶中, 控制水深 40 cm 左右, 实验周期 54 d。正式实验前星斑川鲷在养殖系统中进行 2 周的驯养, 期间投喂粗蛋白约 50% 的商品饲料。养殖过程控制水温在(19.0±0.5) ℃, pH 7.8~8.2, 盐度 28~30, 保证溶氧高于 5 mg/L, 氨氮、亚硝酸氮均小于 0.1 mg/L。每天饱食投喂 2 次(08:00, 16:30)。投喂 30 min 后, 从系统自带的排水口将残饵排出, 数颗粒, 计算残饵量。

### 1.3 样品收集与分析

实验前取 10 尾鱼用于体组成常规分析。养殖实验结束后, 停止喂食 24 h, 所有实验鱼于取样前麻醉(MS 222, 100 mg/kg), 测定体质量、体长, 计算增重率、肥满度。随机从每桶中取 5 尾实验鱼用作全鱼样品, 再随机抽取 6 尾鱼尾静脉采血, 迅速将血液注入肝素钠抗凝管中, 4 ℃ 离心分离(4 000 r/min, 10 min), 取上清液放于-70 ℃ 冰箱中保存; 剩余 9 尾鱼分别在称体质量、量体长后, 解剖取内脏团, 分离肝脏和消化道, 称重, 计算脏体比、肝体比和消化道指数。

鱼体和饲料常规成分分析均参照以下方法进行(AOAC, 1995)。其中, 水分的测定为 105 ℃ 烘干恒重法; 粗蛋白采用 FOSS 定氮仪(Kjeltec™ 2100, 瑞典)测定; 粗脂肪采用索氏抽提仪进行测定; 粗纤维用酸碱消煮法; 灰分在马福炉中 550 ℃ 灼烧 6 h, 失重法测定。血浆总蛋白采用紫外可见分光光度计以考马斯亮蓝染色法测定; 尿素氮(UN)浓度采用二乙酰-胍法测定, 使用南京建成生物研究所试剂盒进行分析。血浆谷草转氨酶(AST)、谷

丙转氨酶(ALT)和碱性磷酸酶(ALP)采用全自动生化分析仪(7020 型, Hitachi, 日本)进行测定, 反应温度均为 37 ℃, 检测原理为比色法测其吸光度, 根据检测物浓度与吸光度呈正比的关系即可由所测吸光度计算检测物浓度, 使用北京利德曼生化技术有限公司的生化分析仪专用试剂盒进行分析。

饲料氨基酸分析采用(1+1)盐酸在 110 ℃ 下水解 22 h, 利用 DABS 柱前衍生法在岛津 LC-10AT 型高效液相色谱仪上测定。柱子: Ultrasphere C<sub>18</sub> 250 mm×4.6 mm; 检测波长: 436 nm; 流速: 1.4 mL/min;

### 1.4 计算与统计分析

研究中各参数按下列公式计算:

$$\text{增重率(WGR, \%)} = (\bar{W}_t - \bar{W}_0) / \bar{W}_0 \times 100;$$

$$\text{摄食率 (DFI, \% \cdot d^{-1})} = F / [(W_0 + W_t) / 2 \times d] \times 100;$$

$$\text{饲料系数(FCR)} = F / (W_t - W_0);$$

$$\text{特定生长率(SGR, \% \cdot d^{-1})} = (\ln \bar{W}_t - \ln \bar{W}_0) / d \times 100;$$

$$\text{蛋白质效率(PER, \%)} = (W_t - W_0) / (F \times \text{饲料中粗蛋白质的含量}) \times 100;$$

$$\text{消化道指数(DTI, \%)} = \text{消化道质量} / \text{体质量} \times 100;$$

$$\text{肝体比(HSI, \%)} = \text{肝脏质量} / \text{体质量} \times 100;$$

$$\text{脏体比(VSI, \%)} = \text{内脏质量} / \text{体质量} \times 100;$$

$$\text{肥满度(CF, \%)} = \text{体质量} / \text{体长}^3 \times 100;$$

$$\text{蛋白质沉积率(PRE, \%)} = (\text{体组织蛋白质沉积量} / \text{蛋白质摄入量}) \times 100;$$

式中:  $\bar{W}_0$ —实验初各组鱼平均体质量(g),  $\bar{W}_t$ —实验终各组鱼平均体质量(g),  $W_0$ —实验初各组鱼体总质量(g),  $W_t$ —实验终各组鱼体总重(g),  $F$ —摄食干饲料重(g),  $d$ —养殖天数。

实验所得数据采用 SPSS11.0 软件进行单因素方差分析(ANOVA), 当处理之间差异显著( $P < 0.05$ )时, 用 Duncan 检验进行多重比较分析。所有数据以平均值±标准差( $\bar{x} \pm SD$ )形式表示。增重率与饲料蛋白水平相关关系采用折线分析法<sup>[10]</sup>, 折线模型为:  $Y = L - U(R - X_{RL})$ 。式中,  $Y$ —确定星斑川鲷幼鱼蛋白需求量所选用的参数(增重率, WGR);

( $R, L$ )—折点的横坐标和纵坐标;  $U$ —直线  $X_{RL}$  的斜率;  $X_{RL}$ —小于  $R$  的变量值; 当  $R = X_{RL}$  时,  $R - X_{RL} = 0$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 饲料蛋白水平对星斑川鲷幼鱼生长性能的影响

由表 2 可知, 随着饲料中蛋白水平的增加, 星斑川鲷幼鱼的增重率(WGR)和特定生长率(SGR)呈先上升后平稳的趋势, D4 和 D5 组的增重率(WGR)和特定生长率(SGR)显著高于 D1、D2 和 D3 组( $P < 0.05$ )。摄食率(DFI)和饲料系数(FCR)随着饲料蛋白水平的增加呈现减少的趋势, D4 和 D5 组之间差异不显著( $P > 0.05$ ); D4 组的蛋白质效率(PER)显著高于其余各组( $P < 0.05$ ); D4 组的蛋白质沉积率(PRE)也显著高于 D1、D3 和 D5 组, 但与 D2 组差异不显著。肝体比(HSI)和脏体比(VSI)随着饲料蛋白水平的增加呈现下降的趋势。不同蛋白水平组的消化道指数(DTI)和肥满度(CF)无显著性差异( $P > 0.05$ )。各组鱼成活率均为 100%。综上所述, 蛋白质水平为 51.54% 的饲料组各项指标较优。

以增重率为参考指标, 通过折线回归(图 1:

$y = 99.545 - 2.276(53.56 - x)$ ,  $r = 0.983$ )分析可知, 本实验条件下, 星斑川鲷幼鱼对饲料中蛋白质的最适需要量为 53.56%。

### 2.2 饲料蛋白水平对星斑川鲷幼鱼体组成的影响

由表 3 可知, 饲料不同蛋白水平对星斑川鲷幼鱼鱼体灰分含量没有显著影响, 但显著影响鱼体粗蛋白、粗脂肪和水分的含量。D4 组粗蛋白含量最高, 达 17.23%, 比 D1 组提高 6.89%, 呈显著性差异( $P < 0.05$ ); 比 D2、D3 和 D5 组分别提高 2.99%、2.87% 和 0.82%, 但差异均不显著( $P > 0.05$ )。鱼体粗脂肪含量随着饲料蛋白水平的升高而下降, 水分含量表现出与粗脂肪含量相反的趋势。

### 2.3 饲料蛋白水平对星斑川鲷幼鱼血浆生化指标的影响

由表 4 可知, 投喂不同蛋白水平的饲料显著影响了星斑川鲷幼鱼部分血浆生化指标。D4 组谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)活性与 D1、D5 组之间无显著性差异( $P > 0.05$ ), 但显著低于 D2 和 D3 组( $P < 0.05$ ), 不同蛋白水平的饲料对碱性磷酸酶(ALP)活性没有显著影响。血浆总蛋白(TP)含量以 D4 组最高, 与 D5 组差异不显著( $P > 0.05$ ), 但显著高于 D1、D2 和 D3 组( $P < 0.05$ ); D2、D4 和 D5 组间尿素氮(UN)含量差异不显著( $P > 0.05$ ), 但

表 2 饲料不同蛋白水平对星斑川鲷幼鱼生长性能的影响  
Tab.2 Effects of dietary protein levels on growth performance of juvenile starry flounder

$n=3$ ;  $\bar{x} \pm SD$

项目 Item	组别 Group				
	D1	D2	D3	D4	D5
初体质量/g Initial body weight	54.52±0.23	54.52±0.23	54.52±0.23	54.52±0.23	54.52±0.23
终体质量/g Final body weight	88.06±0.84 <sup>a</sup>	94.19±1.45 <sup>b</sup>	97.69±1.24 <sup>c</sup>	107.88±1.43 <sup>d</sup>	108.77±1.28 <sup>d</sup>
增重率(WGR)/%	61.57±1.54 <sup>a</sup>	72.83±2.67 <sup>b</sup>	79.25±2.27 <sup>c</sup>	97.95±2.63 <sup>d</sup>	99.59±2.34 <sup>d</sup>
特定生长率(SGR)/(%)·d <sup>-1</sup>	0.89±0.02 <sup>a</sup>	1.01±0.03 <sup>b</sup>	1.08±0.02 <sup>c</sup>	1.26±0.02 <sup>d</sup>	1.28±0.02 <sup>d</sup>
摄食率(DFI)/(%)·d <sup>-1</sup>	1.18±0.03 <sup>a</sup>	1.16±0.01 <sup>a</sup>	1.10±0.01 <sup>b</sup>	1.06±0.00 <sup>c</sup>	1.06±0.01 <sup>c</sup>
饲料系数(FCR)	1.43±0.01 <sup>a</sup>	1.25±0.04 <sup>b</sup>	1.14±0.02 <sup>c</sup>	0.95±0.02 <sup>d</sup>	0.95±0.00 <sup>d</sup>
蛋白质效率(PER)/%	2.11±0.02 <sup>a</sup>	2.11±0.07 <sup>a</sup>	2.05±0.03 <sup>a</sup>	2.23±0.05 <sup>b</sup>	2.05±0.01 <sup>a</sup>
肝体比(HSI)/%	3.69±0.31 <sup>c</sup>	2.99±0.50 <sup>b</sup>	2.53±0.25 <sup>ab</sup>	2.13±0.29 <sup>a</sup>	2.05±0.15 <sup>a</sup>
脏体比(VSI)/%	6.38±0.15 <sup>c</sup>	5.57±0.48 <sup>b</sup>	5.18±0.30 <sup>ab</sup>	5.00±0.42 <sup>ab</sup>	4.90±0.14 <sup>a</sup>
消化道指数(DTI)/%	2.27±0.16	2.18±0.06	2.20±0.10	2.26±0.02	2.10±0.02
肥满度(CF)/%	2.80±0.16	2.71±0.10	2.73±0.17	2.74±0.05	2.70±0.13
蛋白质沉积率(PRE) /%	37.34±2.64 <sup>a</sup>	39.73±1.52 <sup>ab</sup>	38.48±1.86 <sup>a</sup>	43.02±2.26 <sup>b</sup>	38.88±2.04 <sup>a</sup>

注: 同行数值后不同上标英文字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Values in the same row with different superscripts show significant difference ( $P < 0.05$ ).

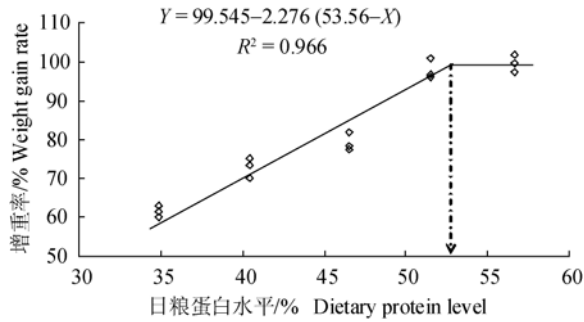


图 1 饲料蛋白水平与增重率关系的折线模型分析

Fig.1 Broken-line model analysis of the relationship of weight gain with dietary protein levels

显著低于 D1 和 D3 组( $P < 0.05$ ).

### 3 讨论

#### 3.1 饲料不同蛋白水平对星斑川鲷幼鱼生长性能的影响

本实验结果表明, 饲料不同蛋白水平对星斑川鲷幼鱼的成活率、消化道指数和肥满度无显著影响。折线模型和二次曲线模型这 2 种数学分析

方法, 已分别广泛应用于鱼类对某种营养物质最适需求量的确定<sup>[11]</sup>。当鱼类的生长率随着添加物的增加而线性上升, 到达一定含量范围之后, 生长率便不再增加而维持在一定水平上, 这种情形便可以用折线模型来描述<sup>[12]</sup>。本实验中, 随着饲料蛋白水平的升高, 星斑川鲷幼鱼的生长状况得到明显改善, 当饲料蛋白水平达到或超过 51.54% 时, 增重率和特定生长率达到一个平台(表 2), 因而适宜用折线模型。本实验研究得到的星斑川鲷幼鱼对饲料蛋白质的适宜需要量在目前已报道的牙鲆<sup>[2]</sup>、大西洋漠斑牙鲆<sup>[4]</sup>、拟庸鲷<sup>[5]</sup>、大西洋庸鲷<sup>[6]</sup>和美洲拟鲷<sup>[7]</sup>需要量(45%~55%)范围之内。虽然同是鲆鲷鱼类, 但对蛋白质的最佳需要量是有一定差异的, 即使同一品种鲆鲷鱼, 不同研究者所推荐的蛋白质需要量也有较大差异。如 Lee 等<sup>[3]</sup>报道初始体质量为 89 g 的大菱鲆获得最大生长的蛋白需求量为 49.4%; 而 Caceres-Martinez 等<sup>[13]</sup>研究认为体质量 10 g 左右的大菱鲆获得最佳生

表 3 饲料不同蛋白水平对星斑川鲷幼鱼体组成的影响

Tab.3 Effect of dietary protein levels on body composition of juvenile starry flounder

$n=3; \bar{x} \pm SD; \%$ ; WW

项目 Item	组别 Group				
	D1	D2	D3	D4	D5
水分 Moisture	71.24±0.95 <sup>a</sup>	72.06±0.22 <sup>ab</sup>	72.07±0.30 <sup>ab</sup>	72.06±0.23 <sup>ab</sup>	72.90±0.32 <sup>b</sup>
粗蛋白 Crude protein	16.12±0.44 <sup>a</sup>	16.73±0.30 <sup>ab</sup>	16.75±0.31 <sup>ab</sup>	17.23±0.45 <sup>b</sup>	17.09±0.48 <sup>b</sup>
粗脂肪 Crude lipid	8.71±0.06 <sup>c</sup>	7.49±0.79 <sup>b</sup>	7.47±0.11 <sup>b</sup>	7.30±0.11 <sup>b</sup>	6.46±0.33 <sup>a</sup>
灰分 Ash	3.32±0.15	3.46±0.17	3.40±0.11	3.28±0.25	3.24±0.15

注: 同行数值后不同上标英文字母表示差异显著( $P < 0.05$ ).

Note: Values in the same row with different superscripts show significant difference ( $P < 0.05$ ).

表 4 饲料不同蛋白水平对星斑川鲷幼鱼血浆生化指标的影响

Tab.4 Effects of dietary protein levels on plasma biochemistry indices of juvenile starry flounder

$n=3; \bar{x} \pm SD$

项目 Item	组别 Group				
	D1	D2	D3	D4	D5
谷草转氨酶 AST/(U·L <sup>-1</sup> )	33.07±5.86 <sup>a</sup>	126.33±33.08 <sup>c</sup>	95.33±13.20 <sup>b</sup>	33.33±3.79 <sup>a</sup>	28.67±5.51 <sup>a</sup>
谷丙转氨酶 ALT/(U·L <sup>-1</sup> )	19.00±3.46 <sup>ab</sup>	47.33±15.31 <sup>c</sup>	32.33±3.79 <sup>b</sup>	14.00±3.61 <sup>a</sup>	14.33±4.04 <sup>a</sup>
碱性磷酸酶 ALP/(U·L <sup>-1</sup> )	15.67±3.21	17.83±2.75	19.00±1.73	17.33±0.58	16.67±1.15
总蛋白 TP/(g·L <sup>-1</sup> )	27.22±0.87 <sup>a</sup>	28.34±1.02 <sup>a</sup>	29.11±1.16 <sup>a</sup>	31.45±1.43 <sup>b</sup>	31.30±1.35 <sup>b</sup>
尿素氮 BUN/(mg·L <sup>-1</sup> )	6.06±0.39 <sup>c</sup>	2.64±0.50 <sup>a</sup>	3.47±0.32 <sup>b</sup>	2.71±0.36 <sup>a</sup>	2.76±0.21 <sup>a</sup>

注: 同行数值后不同上标英文字母表示差异显著( $P < 0.05$ ).

Note: Values in the same row with different superscripts show significant difference ( $P < 0.05$ ).

长效果的蛋白需求量为 69.8%; Aires 等<sup>[14]</sup>饲喂初始体质量 60 g 左右的大菱鲂幼鱼时, 当饲料蛋白含量为 56.2%时达到最佳生长效果。这主要是因为研究者所采用的饲料蛋白源、实验鱼规格、水质条件、配制饲料原料的质量、饲养环境以及饲喂方式等不同而引起的<sup>[15]</sup>。

有研究认为摄食率受饲料中能量水平的影响, 如 Luo 等<sup>[16]</sup>和 Wang 等<sup>[17]</sup>分别报道随着饲料中能量水平的升高, 石斑鱼(*Epinephelus coioides*)和军曹鱼(*Rachycentron canadum*)的摄食率逐渐下降。而在本实验中, 饲喂不同蛋白含量的等能饲料, 随着饲料中粗蛋白含量的增加, 星斑川鲷幼鱼的摄食率也呈现下降的趋势, 且到 51.54%饲料组趋于稳定, 说明星斑川鲷幼鱼摄食首先满足蛋白质的需要。这与 Peres 和 Oliva-Teles 报道<sup>[18]</sup>的舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)摄食率与饲料中的蛋白水平相关而非能量水平相关的结果相似。随着饲料粗蛋白含量的增加, 饵料系数不断下降, 当蛋白水平达到鱼体最佳生长需求时便趋于稳定, 这与 Lee 等<sup>[3]</sup>对大菱鲂的研究结论一致。但对金头鲷(*Spargus aurata*)<sup>[19]</sup>的研究报道表明, 饵料系数下降到蛋白水平满足鱼体最佳生长效果后, 便开始上升。蛋白质效率和蛋白质沉积率在饲料粗蛋白水平为 51.54%, 即星斑川鲷幼鱼获得最佳生长效果时, 达到最大, 分别为 2.23%和 43.02%, 当蛋白质水平继续升高时, 两项指标显著下降, 这与 Lee 等<sup>[3]</sup>对大菱鲂的研究结果相近。而 Kim 等<sup>[20]</sup>对牙鲆的研究结果表明, 随着饲料中粗蛋白含量的增加, 蛋白质效率逐渐下降。Santiago 和 Reyes<sup>[21]</sup>研究认为等能的高蛋白水平饲料含有的非蛋白能量不足, 使部分饲料蛋白被鱼体转化为能量, 从而导致蛋白质效率下降。

### 3.2 饲料不同蛋白水平对星斑川鲷幼鱼体组成的影响

本实验中, 随着饲料中粗蛋白水平的增加, 全鱼中蛋白质含量逐渐升高, 但 51.54%和 56.69%饲料组之间无显著性差异( $P>0.05$ ), 这与 Kim 等<sup>[20]</sup>对牙鲆的研究结论大体相近。而 Page 等<sup>[22]</sup>、Millikin 等<sup>[23]</sup>、Arzel 等<sup>[24]</sup>分别对胡子鲶

(*Ictalurus punctatus*)、条纹鲈(*Morone saxatilis*)、棕鲷(*Salmo trutta*)的研究结果表明, 饲料中粗蛋白含量变化时, 鱼体蛋白质变化不大。星斑川鲷幼鱼体脂含量随着饲料中粗蛋白水平的增加, 呈现下降的趋势, 鱼体水分含量表现出与粗脂肪含量相反的趋势。全鱼脂肪含量和水分含量呈负相关已在美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*)<sup>[25]</sup>、石斑鱼<sup>[16]</sup>和军曹鱼<sup>[17]</sup>中有过报道。全鱼灰分含量未受饲料中粗蛋白含量的影响, Kim 等<sup>[20]</sup>也发现牙鲆全鱼灰分并不受饲料中蛋白质含量的影响。

### 3.3 饲料不同蛋白水平对星斑川鲷幼鱼血浆生化指标的影响

血液生化指标的改变是组织细胞通透性发生改变和机体新陈代谢机能发生改变的反映。谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)主要参与体内转氨基作用, 正常情况下, 血浆 ALT、AST 的活性很低, 当组织细胞受损或通透性增大时, 大量的 ALT、AST 释入血液, 使血浆 ALT、AST 活性升高, 因此血液中这 2 种酶可作为诊断肝肾病变的重要参考指标<sup>[26-27]</sup>。在本实验中, 星斑川鲷幼鱼血浆 ALT、AST 活性范围与 Pham 等<sup>[28]</sup>对牙鲆的研究结果相近, 但其数值并未随饲料中蛋白变化呈现趋势性, 具体原因有待进一步深入研究。

血浆总蛋白在一定程度上代表了日粮中蛋白质的营养水平及动物对蛋白质的消化吸收程度。实验中随着饲料中粗蛋白含量的增加, 血浆总蛋白浓度升高, 51.54%组达到最高值, 与 56.69%饲料组无显著性差异( $P>0.05$ ), 这说明蛋白质水平超过需要量时, 星斑川鲷幼鱼不能对其有效地消化吸收, 血浆总蛋白沉积率并不增高, 多余的蛋白质被浪费掉。Malmolf 等<sup>[29]</sup>研究认为血浆尿素氮浓度可以较准确地反映动物体内蛋白质代谢和氨基酸之间的平衡状况, 较低的血浆尿素氮浓度表明氨基酸平衡好, 机体蛋白质合成率较高。在本研究中, 生长速度最快的 51.54%和 56.69%组血浆尿素氮的浓度显著低于生长速度较慢的 34.85%和 46.54%组( $P<0.05$ ), 表明星斑川鲷幼鱼对 51.54%和 56.69%组的蛋白质利用效率较高, 这与血浆总蛋白水平有增高的趋势大体吻合。

#### 4 小结

综上所述, 在本实验条件下, 饲料中粗蛋白水平为 51.54%~53.56%, 能量约为 16 kJ/g 时, 初始体质量为(54.52±0.23) g 的星斑川鲷幼鱼取得最佳生长效果, 体组成和血液生化指标均达到理想状态。

#### 参考文献:

- [1] Kim K W, Wang X J, Bai S C. Optimum dietary protein level for maximum growth of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*[J]. Aquac Res, 2002, 33: 673-679.
- [2] Lee S M, Park C S, Bang I C. Dietary protein requirement of young Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* fed isocaloric diets[J]. Fish Sci, 2002, 68: 158-164.
- [3] Lee J K, Cho S H, Park S U, et al. Dietary protein requirement for young turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [J]. Aquac Nutr, 2003, 9: 283-286.
- [4] Gao Y, Lv J, Lin Q, et al. Effect of protein levels on growth, feed utilization, nitrogen and energy budget in juvenile southern flounder, *Paralichthys lethostigma*[J]. Aquac Nutr, 2005, 11: 427-433.
- [5] Cowey C B, Pope J A, Adron J W, et al. Studies on the nutrition of marine flatfish: The protein requirement of plaice (*Pleuronectes platessa*) [J]. Br J Nutr, 1972, 28: 447-456.
- [6] Helland S J, Grisdale-Helland B. Growth, feed utilization and body composition of juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed diets differing in the ratio between the macronutrients[J]. Aquaculture 1998, 166: 49-56.
- [7] Hebb, C D, Castell, J D, Anderson, D M, et al Growth and feed conversion of juvenile winter flounder (*Pleuronectes americanus*) in relation to different protein-to-lipid levels in isocaloric diets[J]. Aquaculture, 2003, 221: 439-449.
- [8] 段培昌, 张利民, 王际英, 等. 新型蛋白源替代鱼粉对星斑川鲷幼鱼生长、体成分和血液学指标的影响[J]. 水产学报, 2009, 33 (5): 799-806.
- [9] Ding L Y, Zhang L M, Wang J Y, et al. Effect of dietary lipid level on the growth performance, feed utilization, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*) [J]. Aquac Res, 2009, doi: 10.1111/j.1365-2109.2009.02440.x.
- [10] Robbins K R, Norton H W, Baker D H. Estimation of nutrient requirements from growth data [J]. J Nutr, 1979, 109: 1710-1714.
- [11] Zeitoun I H, Ullrey D E, Magae D E. Quantifying nutrient requirements of fish [J]. J Fish Res Board Can, 1976, 33: 167-172.
- [12] 李爱杰. 水产动物营养与饲料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 103.
- [13] Caceres-Martinez C, Cadena-Roa M, Metailler R. Nutritional requirements of turbot (*Scophthalmus maximus*). I: A preliminary study of protein and lipid utilization[J]. J World Mar Soc, 1984, 15: 191-202.
- [14] Aires Oliva-Teles, Antonio L C, Paula G, et al. The utilization of diets containing high levels of fish protein hydrolysate by turbot (*Scophthalmus maximus* L.) juveniles[J]. Aquaculture, 1999, 179: 195-201.
- [15] NRC (National Research Council). Nutrient requirements of fish [M]. Washington D C : National Academy Press, 1993.
- [16] Luo Z, Liu Y J, Mai K S, et al. Effect of dietary lipid level on growth performance, feed utilization and body composition of grouper *Epinephelus coioides* juveniles fed isonitrogenous diets in floating net cages[J]. Aquac Int, 2005, 13: 257-269.
- [17] Wang J T, Liu Y J, Tian L X, et al. Effect of dietary lipid level on growth performance, lipid deposition, hepatic lipogenesis in juvenile cobia *Rachycentron canadum*[J]. Aquaculture, 2005, 249: 439-447.
- [18] Peres H, Oliva-Teles A. Effect of dietary lipid level on growth performance and feed utilization by European sea bass juveniles (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquaculture, 1999, 179: 325-334.
- [19] Jose M V, Fernandez-Palacios H, Marje H E, et al. The effects of varying dietary protein level on the growth, feed efficiency, protein utilization and body composition of gilt-head sea bream fry[J]. Fish Sci, 1996, 62: 620-623.
- [20] Kim K W, Wang X J, Bai S C. Reevaluation of the Dietary Protein Requirement of Japanese Flounder *Paralichthys olivaceus*[J]. J World Aquac Soc, 2003, 34(2): 133-139.
- [21] Santiago C B, Reyes Q S. Optimum dietary protein level of growth of big head carp (*Aristichthys nobilis*) fry in static water system[J]. Aquaculture, 1991(93): 155-165.
- [22] Page J W. Interaction of dietary levels of protein and energy on channel catfish (*Ictalurus punctatus*)[J]. J Nutr, 1973 (103): 1339-1346.
- [23] Millikin M R. Effect of dietary protein concentration on the growth, feed efficiency and body composition of age - 0

- striped bass [J]. *Trans Am Fish Soc*, 1982, 111: 373–378.
- [24] Arzel J, Metailler R, Kerleguer C, et al. The protein requirement of brown trout (*Salmo trutta*) fry [J]. *Aquaculture*, 1995, 130: 67–68.
- [25] Serrano J A, Nepatipour G R, Gatlin D M. Dietary protein requirement of the red drum (*Sciaenops ocellatus*) and relative use of dietary carbohydrate and lipid [J]. *Aquaculture*, 1992, 101: 283–291.
- [26] Maita M, Shiomitsu K, Ikeda Y. Health assessment by the climogram of hemochemical constituents in cultured yellow-tail[J]. *Bull Jpn Soc Sci Fish*, 1984, 51: 205–211.
- [27] Racicot J G, Gaudet M, Leray C. Blood and liver enzymes in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) Rich. With emphasis on their diagnostic use: study of CCl<sub>4</sub> toxicity and a case of *Aeromonas* infection[J]. *J Fish Biol*, 1975, 7: 825–835.
- [28] Pham M A, Lee K J, Lim S J, et al. Evaluation of cottonseed and soybean meal as partial replacement for fishmeal in diets for juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*[J]. *Fish. Sci*, 2007, 73: 760–769.
- [29] Malmlof K. Amino acid in farm animal nutrition metabolism, partition and consequences of imbalance [J]. *Swed J Agr Res*, 1988, 18(4): 191–193.

## Effects of dietary protein level on growth performance, body composition and plasma biochemistry indices of juvenile starry flounder, *Platichthys stellatus*

DING Liyun<sup>1,2</sup>, ZHANG Limin<sup>2</sup>, WANG Jiying<sup>2</sup>, SUN Lihui<sup>1,2</sup>, SHUAI Jixiang<sup>1,2</sup>, CUI Lijiao<sup>1,2</sup>, SUN Yongzhi<sup>2</sup>

(1. College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Marine Fisheries Research Institute of Shandong Province, Yantai 264006, China)

**Abstract:** A study was conducted to determine the effect of dietary protein level on growth performance, body composition and haematological parameters in juvenile starry flounder. Only fish meal was used as protein source to formulate five isoenergetic experimental diets at various protein levels (34.85%, 40.48%, 46.54%, 51.54% and 56.69%, DM) which were fed to triplicate groups of starry flounder (mean initial body weight: 54.52 g±0.23 g) in a recirculating rearing system for 54 d. (1) Weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR) were significantly improved with increasing dietary protein from 34.85% to 51.54% ( $P<0.05$ ) and leveled off. protein efficiency ratio (PER) of fish fed diet with 51.54% protein level was significantly higher than those of the other groups ( $P<0.05$ ). Protein retention efficiency (PRE) at 51.54% dietary protein was also significantly higher than those of the groups with 34.85%, 46.54% and 56.69% dietary proteins ( $P<0.05$ ), but there were no significant difference with 40.48% dietary protein ( $P>0.05$ ). Broken-line model analysis based on weight gain rate (WGR) indicated that dietary protein requirement for juvenile starry flounder was 53.65%. (2) Proximate composition of fish body was significantly affected by dietary lipid level. Body protein content achieved the highest value at 51.54% dietary protein and significant difference ( $P<0.05$ ) to 34.85% dietary protein group, while there were no significant differences with 40.48%, 46.54% and 56.69% groups ( $P>0.05$ ). Fat content in whole body decreased with the increase in dietary protein level. Moisture content of whole body showed a reverse trend compared to body fat content. Body ash content was not significantly affected by dietary protein level. (3) Plasma total protein (TP) concentration increased with increasing dietary protein level up to 51.54%, and then leveled off. Plasma urea nitrogen (UN) content at 51.54% dietary protein was significantly lower than those of 34.85% and 46.54% dietary proteins ( $P<0.05$ ), while there was no significant difference with 40.48% and 56.69% dietary proteins ( $P>0.05$ ). In considering these results, it was concluded that the optimum dietary protein requirement for *Platichthys stellatus* was 51.54%–53.56%. [*Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(6): 1285–1292]

**Key words:** *Platichthys stellatus*; protein level; growth performance; weight gain; body composition; plasma biochemistry indices

**Corresponding author:** ZHANG Limin. E-mail: ytzlm@139.com