

饲料蛋白水平对鲈鱼生长、体组成及蛋白酶活力的影响

陈 壮^{1,2} 梁萌青^{1*} 郑珂珂¹ 王新星¹ 窦兵帅^{1,2} 阮树慧³

(¹ 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

(² 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

(³ 威海裕隆水产开发有限公司, 威海 264200)

摘 要 以初始体重为 (34.15 ± 0.33) g 的鲈鱼 *Lateolabrax japonicus* 为研究对象, 鱼粉和酪蛋白作为蛋白源, 设计并制成蛋白质梯度分别为 35%、40%、45%、50%、55% 的 5 组配合饲料, 进行为期 56 d 的生长试验, 探讨配合饲料中不同蛋白质水平对鲈鱼生长、体组成及蛋白酶活力的影响。结果表明, 各组鲈鱼存活率为 91.7% - 96.7%, 无显著差异 ($P > 0.05$); 随着饲料蛋白质水平的提高, 鲈鱼的特定生长率逐渐升高, 当饲料蛋白质水平达到 45% 时趋于稳定, 且饲料蛋白 45%、50%、55% 组试验的特定生长率显著高于 35% 组 ($P < 0.05$); 蛋白质沉积率呈先上升后下降的趋势, 当饲料蛋白质水平达到 45% 时达到最大值; 饲料蛋白质水平对鲈鱼鱼体水分含量无显著性影响 ($P > 0.05$), 鲈鱼鱼体粗蛋白含量随着饲料蛋白水平提高而增加, 粗灰分、粗脂肪含量则呈减少趋势; 随饲料蛋白质水平提高, 胃蛋白酶和胰蛋白酶的活性呈升高趋势, 肝脏组织中谷草转氨酶的活性呈现升高趋势, 而谷丙转氨酶的活性没有显著性变化 ($P > 0.05$)。饲料中蛋白水平为 45.00% - 45.89%, 其生长及蛋白沉积率最高。

关键词 鲈鱼; 蛋白质; 特定生长率; 蛋白质沉积率

中图分类号 S936.7 **文献标志码** A **文章编号** 1000-7075(2014)02-0051-09

Impact of dietary protein level on growth performance, body composition and protease activity of juvenile *Lateolabrax japonicus*

CHEN Zhuang^{1,2} LIANG Meng-qing^{1*} ZHENG Ke-ke¹
WANG Xin-xing¹ DOU Bing-shuai^{1,2} RUAN Shu-hui³

(¹ Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(² College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

(³ Weihai Yulong Aquatic Development Company, Weihai 264200)

ABSTRACT An eight-week experiment was conducted to investigate the effects of dietary protein level on the growth performance, body composition, and protease activity of Japanese seabass *Lateolabrax japonicus* at average weight of (34.15 ± 0.33) g. Fish meal and casein were used as the main dietary protein, and five diets containing 35%, 40%, 45%, 50% and 55% protein were prepared. Feed experiment on the Japanese seabass showed no significant difference in survival rate (91.7% - 96.7%) among dietary treatments ($P > 0.05$). As the dietary protein level increased, the specific

农业部公益性行业科研专项(201003020)资助

* 通讯作者。E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85822914

收稿日期: 2013-03-30; 接受日期: 2013-05-08

作者简介: 陈壮(1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: chenzhuang2006@126.com, Tel: (0532)85822914

growth rate (SGR) increased. Diets at protein level of 45% , 50% , and 55% obtained significantly higher SGR than the diet with 35% protein ($P < 0.05$). The protein productive value (PPV) of fish fed diet with 45% protein was significantly higher than that of other groups. In the experiment, with the increase of dietary protein level, the content of crude protein of whole body increased, but the crude fat and ash decreased. There was no significant difference in whole body moisture content among all groups ($P > 0.05$). As dietary protein increased, activities of pepsin, trypsin and glutamic-oxaloacetic transaminase (GOT) increased significantly ($P < 0.05$), but for activity of glutamic-pyruvic transaminase (GPT), there was no significant differences among all groups ($P > 0.05$). The optimal dietary protein level of Japanese seabass was 45.00% - 45.89%.

KEY WORDS *Lateolabrax japonicus*; Protein; Specific growth rate; Protein productive value

鲈鱼 *Lateolabrax japonicus* 属鲈形目、鲈科、花鲈属, 俗称鲈鱼、寨花、伴鲈等 (Ai *et al.* 2005), 广泛分布于太平洋西部沿岸地区, 是一种凶猛的肉食性鱼类, 其肉质鲜美、营养高、生长快、抗病性强, 对盐度和温度的适应性范围较宽, 不仅可在池塘和网箱中大量饲养, 也可在高密度的工厂中集约化养殖, 现已成为我国沿海地区的一种重要的名贵经济鱼类。近年来, 在江苏浙江、福建、广东一带, 开展大规模养殖后, 取得了良好的经济效益。

蛋白质对鱼类的生长有着重要的生理作用, 从饲料中摄取的蛋白质不仅可以用于鱼体组织和器官的生长及修复, 也是体内各种激素和酶类的重要组成成分, 并且是鱼体所需部分能量的来源 (李爱杰 1996; NRC 2011)。饲料蛋白水平直接影响到鱼类的生长, 当饲料中蛋白水平不足时, 一方面会造成鱼类体重停止增长甚至降低 (Mcgoogan *et al.* 2000; Wilson 2002), 另一方面会延误生产; 当饲料中蛋白水平过高, 不仅会造成饲料蛋白质资源的浪费, 还会导致氨氮排放增加, 增加池塘水质管理的压力 (Tibbetts *et al.* 2000)。因此, 研究鱼类的饲料蛋白质需要量对于提高商品品质、降低养殖成本、提高经济效益有着重要作用。国内学者研究了鲈鱼幼鱼蛋白质需求量在 39.85% - 43.0% 之间 (高淳仁等 1998; 林利民等 2004; 苏传福 2005)。本研究以初始体重 34.15 g 鲈鱼作为研究对象, 研究不同蛋白质水平的饲料对鲈鱼生长、体组成及蛋白酶活力的影响, 以期对鲈鱼精准饲料配方设计提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

以鱼粉、酪蛋白为蛋白源, 玉米淀粉为糖源, 鱼油、豆油为脂肪源, 设计 5 组等脂等能饲料, 蛋白质梯度分别为 35%、40%、45%、50%、55%, 依次标记为 1(35%)、2(40%)、3(45%)、4(50%)、5(55%) 饲料组, 试验饲料配方如表 1 所示。饲料原料均粉碎到 60 目以上, 充分混匀, 以含量为 2% 的液体明胶为粘合剂, 制成颗粒径为 3 mm 的颗粒饲料, 60℃ 烘干, 保存于 -20℃ 的冰箱中备用。

1.2 饲养与日常管理

试验于 2011 年 11 月 1 日 - 2012 年 1 月 15 日在山东天源水产有限公司进行, 试验鱼选用当年海捕的同一批鱼苗, 正式试验前, 鲈鱼放于室内养殖池 (5.0 m × 5.0 m × 1.2 m) 中暂养, 并以商业饲料 (山东升索饲料, 蛋白水平为 40%) 饱食投喂 20 d。试验鱼挑选规格大小一致、身体健康的鱼进行分组试验。试验用养殖桶的规格为 200 L, 每桶放养 20 尾, 每个处理设 3 个重复, 每天饱食投喂两次 (08:00 和 18:00), 每次投饵 30 min 后清除残饵及排泄物。试验为期 56 d, 试验期间养殖用水为地下深井海水, 盐度为 30 - 31, pH 值 7.2 - 7.5, 溶解氧含量 6 mg/L 左右, 养殖期间水温为 22 - 24℃。

表1 试验饲料组成(%干物质)

Table 1 Composition of the experimental diets(% dry matter)

| 饲料原料 | Ingredients | 饲料蛋白质水平 Feed protein level | | | | |
|----------|--|----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1(35%) | 2(40%) | 3(45%) | 4(50%) | 5(55%) |
| 鱼粉 | Fish meal | 18.0 | 20.4 | 22.8 | 25.6 | 28.0 |
| 酪蛋白 | Casein | 22.5 | 25.5 | 28.5 | 32.0 | 35.0 |
| 明胶 | Gelatin | 4.5 | 5.1 | 5.7 | 6.4 | 7.0 |
| 玉米淀粉 | Corn starch | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 |
| 鱼油 | Fish oil | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 |
| 豆油 | Soybean oil | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 |
| 磷脂 | Phospholipid | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| 维生素混合物 | Vitamin premix ¹ | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 矿物质 | Mineral premix ² | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 10 |
| 微晶纤维素 | Microcrystalline cellulose | 29.0 | 23.0 | 17.0 | 10.0 | 4.0 |
| 维生素C | V _C | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 胆碱 | Choline | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 磷酸二氢钙 | Ca(H ₂ PO ₄) ₂ | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 主要营养成分分析 | Nutrient analysis | | | | | |
| 粗蛋白 | Crude protein | 35.1 | 40.3 | 44.7 | 49.7 | 55.5 |
| 粗脂肪 | Crude lipid | 8.7 | 8.8 | 8.6 | 8.6 | 8.7 |
| 粗灰分 | Crude ash | 5.3 | 5.4 | 5.6 | 5.6 | 5.6 |
| 总能 | Gross energy(kJ/g) | 21.0 | 21.1 | 20.7 | 21.1 | 21.4 |

注¹:维生素混合物(mg/kg or g/kg 饲料):核黄素45 mg;硫胺素25 mg;维生素K₃10 mg;肌醇800 mg;盐酸吡哆醇20 mg;维生素B₁₂0.1 mg;泛酸60 mg;生物素1.20 mg;维生素A32 mg;维生素D5 mg;烟酸200 mg;叶酸20 mg;维生素E120 mg;次粉18.67 g

注²:矿物质混合物(mg/kg or g/kg 饲料):碘化钾0.8 mg;氟化钠2 mg;硫酸铁80 mg;硫酸锌50 mg;氯化钴50 mg;硫酸铜10 mg;硫酸镁1200 mg;氯化钠100 mg;磷酸二氢钙3000 mg;沸石粉15.51 g

Note¹:Vitamin premix(mg or g/kg diet):Riboflavin 45 mg,Thiamine 25 mg, Menadione 10 mg, Inositol 800 mg, Pyridoxine 20 mg, Vitamin B₁₂ 0.1 mg, Pantothenate 60 mg, Biotin 1.2 mg, Vitamin A 32 mg, Vitamin D 5 mg, Tocopherol acetate 200 mg, Folic acid 20 mg, Vitamin E 120 mg, Wheat flour 18.67 g

Note²:Mineral premix(mg or g/kg diet):KI 0.8 mg, NaF 2 mg, FeSO₄ · 7H₂O 80 mg, ZnSO₄ · 7H₂O 50 mg, CoCl₂ · 6H₂O 50 mg, CuSO₄ · 5H₂O 10 mg, MgSO₄ · 4 H₂O 1200 mg, NaCl 100 mg, Ca(H₂PO₄)₂ · H₂O 3000 mg, Mordenzeo 15.51 g

1.3 取样与检测方法

试验开始时,随机抽取5尾鱼置于-20℃冰箱中保存,用于常规成分分析。56 d生长试验结束后,鲈鱼饥饿24 h,记数,称重。分别从每桶随机抽取5尾鲈鱼,每组15尾,分别取胃、肠、肝脏,放于液氮中快速冷冻,保存于-80℃超低温冰柜中备用。另每桶分别取4尾试验鱼置于-20℃冰箱中,用于常规成分分析。饲料原料、饲料、全鱼样品的成分分析方法如下:水分采用105℃恒温烘干失重法;采用凯氏定氮法(Kjeltec2300,瑞典)测得粗蛋白含量;采用索氏提取法(以石油醚作为抽提液)测得粗脂肪含量;将样品在电炉上炭化后,在550℃马福炉中灼烧6 h测得灰分含量;采用氧弹仪(Parr1281,美国)测定能量值。

胃蛋白酶、胰蛋白酶、肝脏组织谷草转氨酶、谷丙转氨酶活力大小均采用南京建成生物工程研究所试剂盒进行测定,蛋白浓度用考马斯亮蓝染色法进行测定。

胃蛋白酶(Pepsin)测定原理:胃蛋白酶可水解蛋白产生含酚的氨基酸,而酚试剂可被含酚的氨基酸还原成蓝色物质,通过比色可测定胃蛋白酶活力。

胃蛋白酶活力定义:每毫克组织蛋白37℃每分钟分解蛋白生成1 μg 氨基酸相当于1个酶活力单位。1个酶活力单位=1 μg 酪氨酸/min/mg 组织蛋白。

胰蛋白酶(Trypsin)测定原理:胰蛋白酶能催化水解底物精氨酸乙酯的酯链,使其在 253 nm 处吸光度值升高,根据吸光度的变化可以计算出酶的活力。

胰蛋白酶酶单位定义:在 pH 8.0、37℃条件下,每毫克蛋白中含有的胰蛋白酶每分钟使吸光度变化 0.003 即为一个酶活力单位。

谷草转氨酶(Glutamic-oxaloacetic transaminase, AST/GOT)测定原理:谷草转氨酶能使 α -酮戊二酸和天门冬氨酸移换氨基和酮基,生成谷氨酸和草酰乙酸。草酰乙酸在反应过程中可自行脱羧成丙酮酸。丙酮酸与 2,4-二硝基苯腙,在碱性溶液中显红棕色,比色后,查标准曲线,可求得酶的活力单位。

谷丙转氨酶(Glutamic-pyruvic transaminase, ALT/GPT)测定原理:谷丙转氨酶在 37℃及 pH 4.7 条件下,作用于丙氨酸及 α -酮戊二酸组成的底物,生成丙酮酸及谷氨酸。反应 30 min 后(固定时间),加入 2,4-二硝基苯肼(DNPH)盐酸溶液终止反应,同时 DNPH 与酮酸中羰基加成,生成丙酮酸苯肼。苯肼在碱性条件下呈现红棕色,于 505 nm 测定吸光度并计算酶活力。

1.4 计算公式与统计分析

各参数的计算公式:

存活率(Survival rate)(%) = $100 \times \text{终末实验鱼数量} / \text{初始实验鱼数量}$

特定增长率(Specific growth rate, SGR)(%/d) = $100 \times [\ln(\text{终末体重}) - \ln(\text{初始体重})] / \text{实验天数}$

饲料效率(Feed efficiency, FE)(%) = $100 \times (\text{终末体重} - \text{初始体重}) / \text{摄食量}$

摄食率(Feed intake, FI)(%/d) = $100 \times \text{摄食饲料干重} \times 2 / [(\text{终末体重} + \text{初始体重}) \times \text{实验天数}]$

蛋白质效率(Protein efficiency ratio, PER)(%) = $100 \times (\text{终末体重} - \text{初始体重}) / \text{摄入蛋白}$

蛋白质沉积率(Protein productive value, PPV)(%) = $100 \times (\text{鱼体蛋白增量} / \text{摄入蛋白})$

所得试验数据采用平均值 \pm 标准差表示,采用 SPSS 17.0 分析软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),比较组间差异显著性采用 Duncan's 检验方法,以 $P < 0.05$ 为显著水平。

2 结果

2.1 饲料中蛋白质水平对鲈鱼生长性能及蛋白利用的影响

饲料中蛋白质水平对鲈鱼生长性能及蛋白利用的影响见表 2。

表 2 饲料中蛋白质水平对鲈鱼生长性能及蛋白利用的影响(平均值 \pm 标准差)

Table 2 Effects of dietary protein level on the growth performance and protein utilization of Japanese seabass (Mean \pm SD)

| 生长指标 Parameters | 饲料标号(蛋白质水平%) NO. (Protein level %) | | | | |
|---|------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | 1(35%) | 2(40%) | 3(45%) | 4(50%) | 5(55%) |
| 初重 Initial weight(g) | 34.07 \pm 0.24 | 34.27 \pm 0.55 | 34.34 \pm 0.30 | 33.92 \pm 0.09 | 34.17 \pm 0.40 |
| 末重 Final weight(g) | 45.78 \pm 1.02 ^a | 48.41 \pm 1.96 ^{ab} | 51.68 \pm 3.00 ^b | 52.75 \pm 1.15 ^b | 52.31 \pm 4.37 ^b |
| 存活率 Survival rate(%) | 93.33 \pm 2.89 | 91.67 \pm 7.64 | 95.00 \pm 5.00 | 95.00 \pm 5.00 | 96.67 \pm 2.89 |
| 特定增长率 Specific growth rate(SGR, %/d) | 0.52 \pm 0.03 ^a | 0.63 \pm 0.08 ^{ab} | 0.75 \pm 0.10 ^b | 0.77 \pm 0.21 ^b | 0.78 \pm 0.13 ^b |
| 摄食率 Feed intake(FI, %/d) | 1.55 \pm 0.09 ^b | 1.55 \pm 0.03 ^b | 1.53 \pm 0.05 ^b | 1.47 \pm 0.03 ^{ab} | 1.43 \pm 0.02 ^a |
| 饲料效率 Feed efficiency(FE, %) | 0.59 \pm 0.02 ^a | 0.77 \pm 0.03 ^b | 0.93 \pm 0.02 ^c | 0.95 \pm 0.01 ^c | 0.96 \pm 0.02 ^c |
| 蛋白质效率 Protein efficiency ratio (PER, %) | 1.68 \pm 0.05 ^a | 1.90 \pm 0.07 ^b | 2.08 \pm 0.06 ^c | 1.91 \pm 0.02 ^b | 1.70 \pm 0.03 ^a |
| 蛋白质沉积率 Protein productive value(PPV, %) | 32.03 \pm 0.04 ^a | 42.56 \pm 0.86 ^b | 53.39 \pm 0.28 ^d | 52.36 \pm 0.49 ^d | 48.69 \pm 0.14 ^c |

注:同一列中上标字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Data within each column with different superscripts are significantly different($P < 0.05$)

各饲料组鲈鱼存活率较高,在 91.67% - 96.67% 之间,各饲料组间无显著差异 ($P > 0.05$); 饲料蛋白水平由 35% 提高至 45%, SGR 呈逐渐增加趋势,饲料蛋白水平 45% 组 SGR 显著高于 35% 组 ($P < 0.05$), 饲料蛋白水平升至 50% 及 55%, SGR 与 45% 组无显著差异 ($P > 0.05$); 随着饲料蛋白水平的升高, FI 呈逐渐减少趋势, 其中饲料蛋白水平 55% 组 FI 显著低于 35%、40%、45% 组 ($P < 0.05$), 与蛋白水平 55% 组无显著差异 ($P > 0.05$); 饲料蛋白水平由 35% 提高至 45%, FE 呈显著增加 ($P < 0.05$), 蛋白水平由 45% 提高至 55%, FE 无显著差异 ($P > 0.05$)。根据饲料蛋白质水平与鲈鱼 SGR 关系,通过折线模型 (Broken-line model) 分析饲料蛋白质水平对鲈鱼生长的影响 (Robbins *et al.* 1979), 得出饲料蛋白最适水平为 45.89% (图 1)。

PPV 变化范围为 32.03% - 53.39%, 随着饲料蛋白水平提高呈现先升高后降低。其中饲料蛋白质水平为 35% 时, 试验鱼 PPV 最小, 为 32.03%, 显著低于其余试验组 ($P < 0.05$); 饲料蛋白质水平为 45% 时, 试验鱼 PPV 最大, 为 53.39%, 显著高于 55% 组, 但与 50% 组无显著差异 ($P > 0.05$)。PER 与蛋白质沉积率有相似的变化趋势。经对 PPV 进行折线分析可知, 在本研究条件下, 饲料中的蛋白水平为 45.00% 时, PPV 最大 (图 2)。

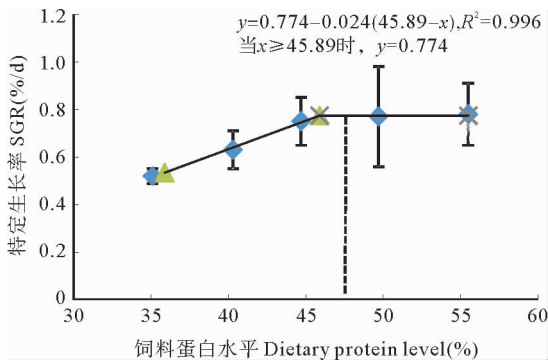


图 1 饲料蛋白质水平对鲈鱼生长的影响

Fig. 1 Effects of dietary protein level on growth performance of Japanese seabass

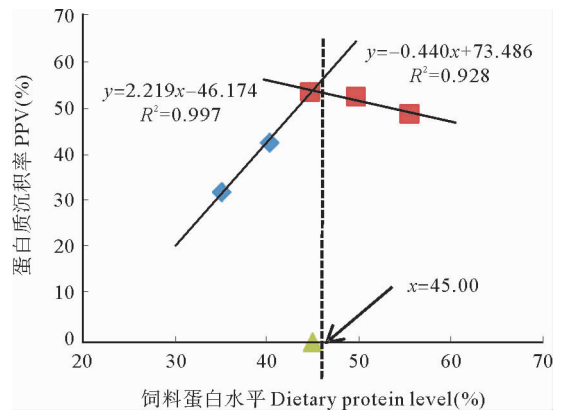


图 2 饲料蛋白水平对鲈鱼 PPV 的影响

Fig. 2 Effects of dietary protein level on protein productive value of Japanese seabass

2.2 饲料中蛋白质水平对鲈鱼体成分的影响

饲料各组试验鲈鱼全鱼水分、蛋白质、脂肪、灰分含量见表 3。

表 3 饲料中蛋白质水平对鲈鱼全鱼体成分的影响 (平均值 ± 标准差)

Table 3 Effect of dietary protein level on the whole-body composition of Japanese seabass (Mean ± SD)

| 饲料编号 (蛋白质水平%) | 水分 | 粗蛋白 | 粗脂肪 | 粗灰分 |
|-----------------------|--------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| NO. (Protein level %) | Moisture (%) | Crude protein (%) | Crude lipid (%) | Crude ash (%) |
| 1 (35%) | 70.43 ± 1.54 | 16.04 ± 0.67 ^a | 7.66 ± 0.68 ^b | 4.68 ± 0.20 ^b |
| 2 (40%) | 70.54 ± 0.51 | 17.23 ± 0.19 ^{ab} | 7.21 ± 0.37 ^{ab} | 4.50 ± 0.14 ^b |
| 3 (45%) | 69.93 ± 1.35 | 18.58 ± 0.71 ^{bc} | 7.13 ± 0.15 ^{ab} | 4.14 ± 0.30 ^a |
| 4 (50%) | 70.74 ± 1.14 | 19.44 ± 0.47 ^{bc} | 6.51 ± 0.05 ^a | 3.40 ± 0.25 ^a |
| 5 (55%) | 71.73 ± 2.36 | 19.73 ± 1.74 ^c | 6.32 ± 0.50 ^a | 3.24 ± 0.36 ^a |

注: 同一列中上标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Data within each column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

鲈鱼全鱼水分含量无显著性差异 ($P > 0.05$); 鱼体粗蛋白含量范围为 16.04% - 19.73%, 随饲料蛋白水平的增加, 鱼体的粗蛋白含量呈增加趋势, 饲料蛋白水平 35% 组鱼体粗蛋白含量最低, 为 16.04%, 但与饲料蛋白

水平 40% 无显著差异 ($P > 0.05$), 饲料蛋白水平 55% 组鱼体粗蛋白含量最高, 为 19.73%, 但与 45%、50% 组无显著差异; 随饲料蛋白水平的提高, 鱼体的粗脂肪含量呈减少的趋势, 饲料蛋白水平 35% 组鱼体粗脂肪含量显著高于蛋白水平 50% 及 55% 组 ($P > 0.05$), 与蛋白水平 40%、45% 组无显著性差异 ($P > 0.05$), 饲料蛋白水平 55% 鱼体粗脂肪含量最低, 但与饲料蛋白水平 40%、45% 及 50% 组无显著差异 ($P > 0.05$); 随着饲料中蛋白质水平的提高, 鱼体的灰分呈减少趋势, 蛋白水平 35% 组和 40% 组显著高于蛋白水平 45%、50% 及 55% 组, 蛋白水平 35% 组和 40% 组无显著差异 ($P > 0.05$), 蛋白水平 45%、50% 及 55% 组无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.3 饲料中蛋白质水平对胃和肠道中蛋白酶活性的影响

饲料中蛋白质水平对胃和肠道中蛋白酶活性的影响见表 4。随着饲料蛋白水平提高, 胃蛋白酶的活性呈升高趋势, 其中, 饲料蛋白水平 35% 组, 试验鱼胃蛋白酶活性显著低于其他试验组 ($P < 0.05$), 蛋白水平 50% 组显著高于 40%、35% 组 ($P < 0.05$), 与 45% 组无显著差异 ($P > 0.05$), 蛋白水平 55% 组显著高于其他试验组 ($P < 0.05$), 而蛋白水平 40%、45% 组之间无显著差异 ($P > 0.05$); 对于肠道胰蛋白酶的活性范围为 1105 - 1977.68 U/g prot, 随着饲料蛋白水平的提高胰蛋白酶的活性也升高, 当饲料蛋白水平达到 55% 时, 试验鱼胰蛋白酶活性显著高于饲料蛋白水平 35% 组 ($P < 0.05$), 与蛋白水平 40%、45% 及 50% 组之间无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 4 饲料蛋白质水平对鲈鱼胃和肠道中蛋白酶活性的影响 (平均值 ± 标准差)

Table 4 Effects of dietary protein level on protease activity in stomach and intestines of Japanese seabass (Mean ± SD)

| 饲料编号(蛋白质水平%)NO. (Protein level %) | 胃蛋白酶 Pepsin (U/g prot) | 胰蛋白酶 Trypsin (U/g prot) |
|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1(35%) | 23.84 ± 1.59 ^a | 1105.46 ± 199.83 ^a |
| 2(40%) | 33.78 ± 2.70 ^b | 1366.20 ± 154.61 ^{ab} |
| 3(45%) | 36.98 ± 6.76 ^{bc} | 1568.00 ± 490.95 ^{ab} |
| 4(50%) | 44.40 ± 5.05 ^c | 1735.63 ± 210.92 ^{ab} |
| 5(55%) | 56.66 ± 3.11 ^d | 1977.68 ± 498.56 ^b |

注: 同一列中上标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Data within each column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

2.4 饲料中蛋白水平对鲈鱼肝脏转氨酶活性的影响

饲料中蛋白水平对肝脏中转氨酶活性的影响见表 5。随着饲料蛋白水平升高, GOT 呈升高趋势; 各组 GPT 活性无显著性差异 ($P > 0.05$)。

表 5 饲料蛋白水平对肝脏转氨酶活性的影响 (平均值 ± 标准差)

Table 5 Effects of dietary protein level on transaminase activity in liver of Japanese seabass (Mean ± SD)

| 饲料编号(蛋白质水平%)NO. (Protein level %) | 谷草转氨酶 GOT (U/g prot) | 谷丙转氨酶 GPT (U/g prot) |
|-----------------------------------|----------------------------|----------------------|
| 1(35%) | 12.25 ± 1.11 ^a | 62.24 ± 5.35 |
| 2(40%) | 14.52 ± 7.40 ^a | 60.54 ± 6.95 |
| 3(45%) | 16.31 ± 7.41 ^a | 49.54 ± 9.65 |
| 4(50%) | 22.69 ± 7.45 ^{ab} | 58.75 ± 8.31 |
| 5(55%) | 29.37 ± 4.67 ^b | 65.02 ± 8.77 |

注: 同一列中上标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Data within each column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

3 讨论

3.1 饲料蛋白质水平对鲈鱼生长性能及蛋白利用的影响

鱼类适宜蛋白质需要量一直是鱼类配合饲料研究的首要课题。目前许多研究结果表明,在蛋白质水平梯度的营养试验中,鱼类的生长率与饲料蛋白水平之间的关系通常符合折线模型或二次曲线模型,当鱼类的生长率随着饲料蛋白水平的提高而不断上升,到达一个水平范围时,生长率维持在一定水平不再显著增加,此时即符合折线模型;而当生长率在饲料低蛋白水平范围时,生长率迅速增加,当饲料蛋白水平升至一定水平范围后,生长率增加缓慢,然后随着饲料蛋白水平进一步提高而下降,即二次曲线模型(Robbins *et al.* 1979;李爱杰 1996;石英等 2009)。本研究中,饲料蛋白水平 45% 时 SGR 较高,显著高于蛋白水平 35% 组,与 40%、50%、55% 组无显著差异,符合典型的折线模型(图 1): $y = 0.774 - 0.024(45.89 - x)$ ($R^2 = 0.996$, x 为饲料蛋白水平, y 为 SGR),当 $x \geq 45.89$ 时, $y = 0.774$,即饲料蛋白水平为 45.89% 时,鲈鱼具有最高的 SGR(0.774%/d)。类似的研究结果在大菱鲂(刘兴旺 2010)、卵形鲳鲹鱼(刘兴旺等 2011)、军曹鱼(骆艺文 2012)中也有报道。以 SGR 和 PPV 为评价指标,经分析得到饲料蛋白水平为 45.00% - 45.89% 时,鲈鱼的生长效果及蛋白沉积效果最佳(图 1、图 2)。林利民等(1994)以鱼粉为蛋白源,配制蛋白质梯度分别为 32.0%、38.46%、43.30% 和 49.25%,对照组投喂冰冻鲢科鱼类,经 25 d 的试验得出最适蛋白质水平为 42.73% - 43.04%。高淳仁等(1998)以鱼粉为蛋白源,以鱼油为脂肪源,设计不同蛋白及脂肪双因素试验喂养体重 2.6 g 的鲈鱼 35 d,认为花鲈幼鱼饲料最适蛋白质水平为 39.85% - 40.12%,脂肪水平为 5.4% - 15.4%。这些研究结果的差异可能与饲料蛋白源种类、试验鱼大小、试验周期、试验饲料配方、实验条件、养殖管理方法、投喂水平和评价指标等多种因素有关(NRC 1993;Halver 2002)。

许多研究表明,鱼类能够通过调节 FI 来满足机体对能量的需要(Calcedo 1989;Wilson 1989;Gouillou-Coustans 2002)本研究中,饲料蛋白水平 35%、40%、45% 组 FI 均显著高于 55% 组,FI 随着饲料蛋白质水平的提高而逐渐降低,与以上研究观点相一致。一些研究中发现当饲料蛋白水平超过适宜需要量时,过多的蛋白质并不能用于鱼体生长,而是通过脱氨基分解作用产生能量供给机体,增加了鱼体氮代谢的负担,甚至会导致某些鱼类出现生长下降等现象(Mcgoogan *et al.* 2000;Wilson 2002)。

3.2 饲料蛋白质水平对鲈鱼全鱼体组成的影响

一般来说,随着饲料中蛋白质水平的提高,鱼体对饲料的摄入量和消化率也逐渐提高,更多摄入并消化的蛋白质可作为鱼体的构件蛋白质,用于鱼体的组织修复和新的组织形成(Page *et al.* 1973;邓君明等 2007)。大部分研究发现,随着饲料蛋白水平的提高,鱼体粗蛋白含量逐渐增加,鱼体粗脂肪含量逐渐降低(Lee *et al.* 2001;Chou *et al.* 2001;Kim *et al.* 2009;马国军等 2012),本研究中,随着饲料蛋白质水平的提高,鲈鱼全鱼粗蛋白含量逐渐增加,饲料蛋白质为 55% 时鲈鱼全鱼粗蛋白含量达到最大值,与以上研究结果相一致。但在一些研究中发现,饲料蛋白质水平对鱼体粗蛋白含量并无显著性影响(Moore *et al.* 1988;Ng *et al.* 2001;刘兴旺 2010),这可能与鱼的种类、养殖环境、饲料组成、饲养方法等有关(Zeitler *et al.* 1984)。

本研究中,鲈鱼全鱼粗脂肪含量随着饲料蛋白质水平的提高呈逐渐下降的趋势,与鲶鱼(Khan 1993)、鲮鱼(林黑着等 1998)、东北六须鲶(孙丽等 2009)研究结果相似。可能原因为饲料蛋白质水平较低时,饲料的能量蛋白质比较高,鲈鱼摄食能量蛋白质比较高的饲料会提高肝脏中脂肪合成酶的活性,使未被分解代谢作为能源的糖类在肝细胞内转变为脂肪,并通过血液循环等转运到肝外贮存,促进了脂肪的沉积(孙丽等 2009;马国军等 2012)。

3.3 饲料蛋白质水平对鲈鱼蛋白代谢相关酶活力的影响

消化酶活力能够反应鱼类消化机能能力,决定鱼类对营养物质消化和吸收能力,从而影响鱼类的生长速度,蛋白酶活性的高低与饲料中蛋白质水平关系紧密(刘兴旺等 2011)。在一定范围内,蛋白酶活性与饲料

中蛋白水平呈正相关,在鳊鱼(赵东海 2004)、草鱼(张家国等 2007)、匙吻鲟(孙海涛等 2011)等的研究中发现,蛋白酶活性随着饲料蛋白质水平提高呈先增加后降低的趋势。本研究中,饲料蛋白质水平由 35% 提高到 55% 时,鲈鱼胃蛋白酶和胰蛋白酶的活性随着饲料蛋白水平的提高而增强,在饲料蛋白水平 55% 时均达到最大值,与邵庆均等(2004)对宝石鲈的研究结果类似。此外,在鲢鱼的研究中发现,饲料蛋白质水平对鲢鱼消化道蛋白酶活性无显著影响,可见,饲料蛋白质水平对鱼类蛋白酶影响与否跟鱼的种类、饲料原料、化学组成等有关(Lazzari *et al.* 2010;王常安等 2012)。

肝脏是鱼类氨基酸代谢的主要场所,在肝脏细胞中存在大量的与氨基酸代谢相关的酶类,其中 GDT 和 GPT 是活性最强、分布最广的转氨酶,其活力大小反映了氨基酸代谢的强度,常作为评价鱼体营养状况的指标(Alexis *et al.* 1986;冯健等 2004;潘鲁青等 2005)。本研究中 GDT 活力随着饲料中蛋白质水平的提高也呈逐渐增强的趋势,说明鲈鱼摄食高蛋白饲料时,体内蛋白质代谢强度相应得到增强。本研究中,GPT 的活性比较高,但并未随着饲料蛋白水平的提高而增加,与军曹鱼(骆艺文 2012)研究结果类似。

4 结论

在本研究条件下,对于初重为(34.15 ± 0.33)g 的鲈鱼,以特定生长率作为评价指标,饲料中的蛋白质水平为 45.89% 时生长最好,以蛋白质沉积率作为评价指标,饲料蛋白质水平为 45.00% 时效果最佳。

参 考 文 献

- 马国军,王裕玉,石野,杨雨虹. 2012. 乌苏里拟鲮稚鱼饲料中蛋白质的适宜水平. 动物营养学报,24(1):176-182
- 王常安,徐奇友,徐伟,许红,赵志刚,罗亮,苗建发,王洋. 2012. 饲料蛋白质水平对大鳞鲤幼鱼消化酶活性的影响. 天津农学院学报,19(3):26-30
- 邓君明,麦康森,艾庆辉,张文兵,王小洁. 2007. 鱼类蛋白质周转代谢的研究进展. 中国水产科学,14(1):165-172
- 冯健,刘永坚,田丽霞,王勇,高玲. 2004. 草鱼试验性镉中毒对肝胰脏、肾脏和骨骼的影响. 水产学报,28(2):195-200
- 石英,冷向军,李小勤,刘满仔,史少奕. 2009. 饲料蛋白水平对血鸚鵡幼鱼生长、体组成和肠道蛋白消化酶活性的影响. 水生生物学报,33(5):874-880
- 刘永坚,刘栋辉,田丽霞,冯健,梁桂英,杜震宇. 2002. 饲料蛋白质和能量水平对红姑鱼生长和鱼体组成的影响. 水产学报,26(3):242-281
- 刘兴旺,王华朗. 2011. 鱼类蛋白质营养生理研究进展. 广东饲料,20(7):27-31
- 刘兴旺. 2010. 大菱鲆及半滑舌鲷蛋白质营养生理研究. 见:中国海洋大学博士研究生学位论文
- 孙丽,郭贵良,闫先春,安长春,杨建光,徐彦兵. 2009. 东北六须鲶对蛋白质的最适需求量. 饲料工业,30(12):33-35
- 孙海涛,吉红. 2011. 饲料蛋白水平对匙吻鲟肌肉营养成分及消化酶活力的影响. 水产科学,30(12):721-725
- 张文兵,谢小军,付世建,曹振东. 2000. 南方鲶的营养学研究:饲料的最适蛋白质含量. 水生生物学报,24(6):603-609
- 张家国,王义强,邹师哲. 1997. 不同蛋白质能量比饲料与夏花草鱼消化酶的关系. 上海水产大学学报,6(1):54-59
- 李爱杰. 1996. 水产动物营养与饲料学. 北京:中国农业出版社,10-12
- 苏传福. 2005. 花鲈营养需求的研究进展. 广东饲料,14(5):30-33
- 邵庆均,苏小凤,许梓荣. 2004. 饲料蛋白水平对宝石鲈增重和胃肠道消化酶活性影响. 浙江大学学报(农业与生命科学版),30(5):553-556
- 林利民,胡家财,洪惠馨. 1994. 鲈鱼人工配合饲料中蛋白质最适含量的研究. 厦门水产学院学报,16(1):6-10
- 林黑着,江琦,黄剑南,石红. 1998. 鲮配合饲料适宜蛋白质含量及蛋白能量比的初步研究. 上海海洋大学学报,7(3):187-192
- 赵东海. 2004. 饲料蛋白水平对鳊鱼实验种群胃肠道消化酶活性的影响. 河北渔业,(2):10-11
- 骆艺文. 2012. 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. 见:中国海洋大学博士研究生学位论文
- 高淳仁,刘庆慧,梁亚全,韩阿寿. 1998. 鲈鱼幼鱼对人工配合饲料中蛋白质、脂肪适宜含量的研究. 海洋水产研究,19(1):81-85
- 潘鲁青,吴众望,张红霞. 2005. 重金属离子对凡纳滨对虾组织转氨酶活力的影响. 中国海洋大学学报(自然科学版),35(2):195-198
- 崔毅,马菲菲,夏斌,荣伟,陈碧娟,曲克明,赵俊,陈聚法. 2013. 靖海湾松江鲈鱼种质资源保护区海水环境质量年际变化趋势及综合评价. 渔业科学进展,34(6):1-8
- Ai QH, Mai KS, Li HT and 8 others. 2004. Effects of dietary protein to energy ratios on growth and body composition of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. Aquaculture 230(1-4):507-516
- Alexis MN, Papaparaskeva-Papoutsoglou E. 1986. Aminotransferase activity in the liver and white muscle of *Mugil capito* fed diets containing different levels of protein and carbohydrate. Comp Biochem Physiol Part B 83(1):245-249
- Calcedo IE. 1989. Growth and feed intake of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) on a silage-based feed. J World Aquacult Soc 20:50-53
- Chou RL, Su MS, Chen HY. 2001. Optimal dietary protein and lipid levels for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). Aquaculture 193(1-2):81-89

- Gouillou-Coustans MF, Fournier V, Múétailler R and 6 others. 2002. Dietary arginine degradation is a major pathway in ureagenesis in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Comp Biochem Physiol Part A* 132(2):305-319
- Halver JE. 2002. Protein. In: Halver JE (ED), *Fish Nutrition*, 3rd edition, Academic Press, New York
- Kim SS, Lee KJ. 2009. Dietary protein requirement of juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*). *Aquaculture* 287(1-2):219-222
- Lee SM, Jeon IG, Lee JY. 2002. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish *Sebastes schlegeli*. *Aquaculture* 211(1-4):227-239
- Lazzari R, Neto JR, Pedron FA and 3 others. 2010. Protein sources and digestive enzyme activities in jundia (*Rhamdia quelen*). *Scientia Agricola* 67(3):259-266
- Lee SM, Kim KD, Park HG and 2 others. 2001. Protein requirement of juvenile Manchurian trout *Brachymystax lenok*. *Fish Sci* 67(1):46-51
- Mai K, Mercer JP, Donlon J. 1995. Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. IV. Optimum dietary protein level for growth. *Aquaculture* 136(1-2):165-180
- McGoogan BB, Gatlin DM. 1999. Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum, *Sciaenops ocellatus* L. *Aquaculture* 178(3-4):333-348
- Moore BJ, Hung SSO, Medrano JF. 1988. Protein requirement of hatchery-produced juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *Aquaculture* 71(3):235-245
- National Research Council. 2011. *Nutrient requirements of fish and shrimp*. National Academic Press, Washington, DC
- Ng WK, Soon SC, Hashim R. 2001. The dietary protein requirement of a bagrid catfish, *Mystus nemurus* (Cuvier & Valenciennes), determined using semi-purified diets of varying protein level. *Aqua Nutri* 7(1):45-51
- Page JW, Andrews JW. 1973. Interactions of dietary levels of protein and energy on channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *J Nutri* 103(9):1339-1346
- Pongmaneerat J, Watanabe T. 1992. Utilization of soybean meal as protein source in diets for rainbow trout. *Nippon Suisan Gakkaishi* 58:1983-1990
- Robbins KR, Norton HW, Baker DH. 1979. Estimation of nutrient requirements from growth data. *J Nutri* 109:1710-1714
- Wilson RP. 1989. Amino acids and proteins. In: *Fish Nutrition*, 2nd edn. (Halver, JE ed.), pp. 112-153, New York
- Zeitler MH, Kirchgessner M, Schwarz FJ. 1984. Effects of different and energy supplies on carcass composition of carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture* 36(1-2):37-48