

饲料蛋白脂肪比对圆斑星鲈(*Verasper variegates*) 生长、消化酶及血清生化指标的影响*

吕云云^{1,2} 陈四清² 于朝磊^{1,2} 常青^{2①} 秦搏^{1,2} 王志军³

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071;
3. 山东科合海洋高技术有限公司 威海 264500)

摘要 为探讨饲料不同蛋白质和脂肪水平对圆斑星鲈生长、消化酶及血清生化指标的影响,以鱼粉和酪蛋白为蛋白源,鱼油和豆油为脂肪源,配制成蛋白水平为40%、45%、50%,脂肪水平为8%、12%、16%的9组试验饲料(分别表示为P40L8、P40L12、P40L16、P45L8、P45L12、P45L16、P50L8、P50L12、P50L16),每组设3个重复,每重复20尾鱼,经过83 d的饲养试验。结果表明,试鱼成活率不受饲料中蛋白质和脂肪水平的影响($P>0.05$)。增重率、特定生长率和摄食率随脂肪水平的增加而显著降低($P<0.05$),P50L8组试鱼增重率较P40L16组高33.63%,特定生长率高31%。饲料效率随蛋白水平的增加而显著增加($P<0.05$),P50L8组试鱼饲料效率较P40L8组高24.09%。P50L8组表现出最高的增重率、特定生长率、饲料效率及摄食率。胃蛋白酶随蛋白水平的增加呈现先增加后下降的趋势。胰蛋白酶以P50L8组最高,显著高于P50L12组6.91%($P<0.05$),和其他各组差异不显著($P>0.05$)。胃脂肪酶随饲料中蛋白水平的提高先降低后升高。肠脂肪酶以P50L8组最高,但各組间差异不显著($P>0.05$)。试鱼血清中总蛋白含量随饲料蛋白水平的增加显著升高($P<0.05$),P50L8组谷丙转氨酶、谷草转氨酶均高于其他组,但各組之间无显著差异($P>0.05$)。甘油三酯和总胆固醇以P50L8组最低,且显著低于P45L12和P45L16组($P<0.05$),与其他组差异不显著($P>0.05$)。由此可见,饲料脂肪水平增加未引起蛋白质节约作用,饲料中蛋白质、脂肪、蛋能比和蛋白脂肪比分别为50%、8%、104.31mg/kcal和6.63时,可满足圆斑星鲈的较快生长及其生理需要。

关键词 圆斑星鲈; 蛋白脂肪比; 生长性能; 消化酶; 血清生化指标

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2015)02-0118-07

圆斑星鲈(*Verasper variegates*)主要分布于我国北部的黄、渤海及日本九州岛附近,其体型较大、营养丰富且肉质细腻鲜美,具有较高的经济价值,是我国北方重要的名贵海水鱼类。圆斑星鲈体内含有常量、微量元素以及8种人体所必需的氨基酸,而且富含不饱和脂肪酸,其中二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)在同类鱼中含量较高(叶建生等,2007)。

通过蛋白质节约作用,适当降低饲料中蛋白质水

平、增加脂肪水平,可以降低饲料成本,减少氨氮的排放,减轻对水体的污染(Cho *et al*, 1990)。目前,圆斑星鲈在繁殖生物学和分子生物学上已见相关报道(Tian *et al*, 2008; Ma *et al*, 2010; 徐永江等, 2013),而关于其蛋白质和脂肪需求的研究还未见报道。本实验采用双因素实验设计,研究不同蛋白质和脂肪水平对圆斑星鲈生长,消化酶及血清生化指标的影响,确定饲料中适宜的蛋白脂肪比,为圆斑星鲈饲料的配制提供理论依据和参考。

* 山东省科技攻关项目(2013GGA10028)资助。吕云云, E-mail: lv_yunyun@163.com

① 通讯作者: 常青, 研究员, E-mail: changqing@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2014-04-26, 收修改稿日期: 2014-05-20

1 材料与方 法

1.1 材 料

本研究采用双因素试验设计中的“3×3 因子设计”, 以鱼粉和酪蛋白为蛋白源, 鱼油和豆油为脂肪源, 配制 9 组不同蛋白、脂肪水平的饲料, 其中蛋白水平为 40%、45%、50%, 脂肪水平为 8%、12%、16%, 分别标记为 P40L8、P40L12、P40L16、P45L8、P45L12、P45L16、P50L8、P50L12、P50L16。实验饲料配方及营养组成如表 1 所示, 其中, 鱼粉、鱼油购自青岛七好生物科技有限公司, 酪蛋白、糊精、羧甲基纤维素、微晶纤维素购自临夏州华安生物制品有限责任公司, 磷脂、预混料、Vc、胆碱、磷酸二氢钙购自青岛金海力水产科技有限公司。饲料原料经过粉碎, 60 目过筛后配料, 混合均匀后加 35% 的水, 再一次混合, 用制粒机制成粒径为 3 mm 的颗粒饲料, 55℃ 烘干后放入密封袋, 于-20℃ 冷库中保存备用。

1.2 实验设计与动物分组

实验鱼来自山东科合海洋高技术有限公司, 为当

年生产的同一批鱼种, 挑选出体格健壮、规格一致(93.0±1.0) g 的圆斑星鲈进行实验, 每组设 3 个重复, 实验鱼随机分到 27 个 2 m×2 m×1 m 的室内水泥池中流水养殖, 每池 20 尾, 水深 50 cm。实验开始前, 先暂养 10 d, 使之逐渐适应环境。养殖期间, 水温控制在 18.5℃ 左右, 盐度为 35 左右, 溶解氧 5.5 mg/L 左右, 实验从 2013 年 6-8 月持续 83 d, 每天 08:00 和 16:00 饱食投喂两次, 投喂完 1 h 后, 记录残饵数, 并清理残饵, 每天记录摄食量, 如有死鱼, 记录并称重。

1.3 样品收集与分析

实验结束时, 采样前将实验鱼饥饿 24 h, 对每个实验组的鱼计数、称重, 计算其增重率、饲料效率、特定生长率等。每个实验组中随机抽取 2 尾鱼从尾部静脉取血 3 ml 左右, 用体积分数为 1% 的肝素钠抗凝, 低温放置 4 h, 4000 r/min 离心 10 min, 分离的血清保存于-20℃ 冰箱中, 用于测定血清谷丙转氨酶 GPT、谷草转氨酶 GOT、总蛋白含量 TP、甘油三酯 TG、总胆固醇 CHOL。之后取其胃、肠、肝胰脏, 用于蛋白酶、淀粉酶 AMS、脂肪酶 LPS 活性分析。

表 1 实验饲料配方及成分含量(%干物质)
Tab.1 Composition and nutrient levels of experimental diets(% dry material)

原料 Ingredients	P40 L8	P40 L12	P40 L16	P45 L8	P45 L12	P45 L16	P50 L8	P50 L12	P50 L16
鱼粉 Fish meal	48.00	48.00	48.00	54.00	54.00	54.00	61.00	61.00	61.00
酪蛋白 Casein	9.00	9.00	9.00	10.00	10.00	10.00	11.00	11.00	11.00
糊精 Dextrin	28.00	25.00	21.00	24.00	20.00	17.00	19.00	13.40	10.50
鱼油 Fish oil	1.80	3.70	5.80	1.50	3.50	5.50	1.30	3.30	5.20
豆油 Soybean oil	1.80	3.70	5.80	1.50	3.50	5.50	1.30	3.30	5.20
磷脂 Phospholipid	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
预混料 Premix ¹⁾	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
羧甲基纤维素 Carboxymethyl cellulose	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
微晶纤维素 Microcrystalline cellulose	6.40	5.60	5.40	4.00	4.00	3.00	1.40	3.00	2.10
Vc	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
胆碱 Choline	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
磷酸二氢钙 Monocalcium phosphate	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
营养水平 Nutrient levels									
粗蛋白 Crude protein	39.97	39.86	41.19	46.47	45.88	46.08	49.82	49.68	51.44
粗脂肪 Crude lipid	7.98	11.71	15.29	7.16	12.15	15.29	7.52	12.50	15.27
能量 Gross energy(KJ/g)	19.85	20.58	21.41	19.67	20.92	21.69	19.98	20.81	21.59
蛋能比 P/E(mg/kcal)	84.25	81.05	80.50	98.83	91.76	88.873.0104.31	99.87	99.71	99.71
蛋白脂肪比 P/L(mg/mg)	5.01	3.40	2.69	6.49	3.78	1	6.63	3.97	3.37

1) 预混料: V_A 1200000 IU, V_D 300000 IU, V_E 5000 mg, V_{B1} 3000 mg, V_{B2} 2000 mg, V_{B6} 800 mg, V_B 125 mg, V_C 20000 mg, V_K 33000 mg, 生物素 30 mg, 肌醇 10000 mg, 叶酸 300 mg, 泛酸钙 3000 mg, 烟酸 3000 mg, 铜 1500 mg, 硒 25 mg, 铁 5000 mg, 钴 500 mg, 碘 150 mg, 锌 2000 mg, TR 消化剂适量, 免疫抗病素适量, 基因促成长剂适量, 抗氧化剂适量, 辅料适量

1) Premix: V_A 1200000 IU, V_D 300000 IU, V_E 5000 mg, V_{B1} 3000 mg, V_{B2} 2000 mg, V_{B6} 800 mg, V_B 125 mg, V_C 20000 mg, V_K 33000 mg, Biotin 30 mg, Inositol 10000 mg, Folic acid 300 mg, Calcium pantothenate 3000 mg, Tocopherol acetate 3000 mg, Cu 1500 mg, Se 25 mg, Fe 5000 mg, Co 500 mg, I 150 mg, Zn 2000 mg, TR digestant adequacy, Immune disease adequacy, Antioxidant adequacy

饲料样品采用凯氏定氮法测得粗蛋白含量(VELP, UDK142 automatic distillation unit 意大利);采用索氏抽提法(石油醚为抽提液)测得粗脂肪含量(FOSS 脂肪测定仪 SOXTEC 2050 瑞典);采用美国 PARR 氧弹量热仪(PARR 6100)测定能量。

酶活的测定采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒进行。甘油三酯和总胆固醇采用 HITACHI 7600.L10 生化自动分析仪检测。

1.4 计算公式

增重率=(末平均体重-初平均体重)/初平均体重×100

成活率=试验末鱼体个数/试验初鱼体个数×100

饲料效率(FER)=总增重量/投饲总量×100

特定生长率(SGR)=(ln 试验末各组鱼平均体重-ln 试验初各组鱼平均体重)/养殖天数×100

摄食率(FI)=投饲总量/(试验初各组鱼体总重 + 试验末各组鱼体总重)/2×养殖天数)×100

1.5 数据分析

实验数据采用 SPSS 软件分析,以蛋白脂肪比水平为主要影响因子,进行二元方差分析(Two-way ANOVA),数据差异显著时采用 Duncan's 进行多重比较,显著水平为 $P < 0.05$,数据以 Mean±SD 表示。

2 结果

2.1 饲粮蛋白脂肪比对圆斑星鲈生长性能的影响

饲粮蛋白脂肪比对圆斑星鲈生长性能的影响见

表 2。经过 83 d 的养殖实验,试鱼表现出较好的生长趋势,初始体重从 93.0 g 增加到 162.5 g,增加了 74.73%。由双因素分析可知,蛋白质和脂肪水平不存在交互作用($P > 0.05$)。各组试鱼的存活率无显著性差异($P > 0.05$),而增重率、特定生长率、饲料效率、摄食率均有显著性差异($P < 0.05$)。其中增重率、特定生长率和摄食率受脂肪水平影响显著($P < 0.05$),并随脂肪水平的增加而降低,8%脂肪组的增重率、特定生长率和摄食率均高于 12%和 16%组,P50L8 组试鱼增重率较 P40L16 组高 33.63%,特定生长率高 31%。饲料效率受蛋白水平影响显著($P < 0.05$),并随蛋白水平的增加而增加,50%蛋白组的饲料效率高于 40%和 45%组,P50L8 组试鱼的饲料效率较 P40L8 组高 24.09%。P50L8 组试鱼的增重率、特定生长率、饲料效率及摄食率最高。

2.2 饲粮蛋白脂肪比对圆斑星鲈消化酶活力的影响

表 3 为饲粮蛋白脂肪比对圆斑星鲈蛋白酶活力的影响,由单因素分析可知,鱼体消化系统的蛋白酶活力受饲粮中蛋白质和脂肪水平影响显著($P < 0.05$),其中胃蛋白酶随蛋白水平的增加呈现先增加后下降的趋势,P45L8 组最高,但和 P50L8 组无显著差异($P > 0.05$)。肠蛋白酶以 P45L16 组最高,显著高于 P40L8 组($P < 0.05$)。胰蛋白酶以 P50L8 组最高,比 P50L12 组高 6.19%($P < 0.05$),和其他各组差异不显著($P > 0.05$)。

饲粮蛋白脂肪比对圆斑星鲈淀粉酶、脂肪酶活力的影响见表 4,由单因素分析可知,淀粉酶和脂肪酶

表 2 饲粮蛋白脂肪比对圆斑星鲈生长性能的影响

Tab.2 Effects of protein to lipid ratio on the growth performance of spotted halibut

组别 Group	增重率 Weight gain	成活率 Survival rate	饲料效率 FER	特定生长率 SGR	摄食率 F_1
P40L8	63.76±11.35 ^b	98.33±2.89	69.29±11.45 ^c	0.79±0.12 ^{ab}	1.08±0.05 ^b
P40L12	61.26±9.59 ^b	100.00±0.00	73.30±8.12 ^{bc}	0.77±0.10 ^a	1.03±0.02 ^{bc}
P40L16	53.15±5.36 ^b	100.00±0.00	82.20±4.92 ^{abc}	0.69±0.06 ^a	0.82±0.05 ^a
P45L8	70.11±15.40 ^{ab}	100.00±0.00	82.30±6.16 ^{abc}	0.85±0.15 ^{ab}	1.01±0.11 ^{bc}
P45L12	67.19±13.33 ^{ab}	100.00±0.00	84.30±4.66 ^{abc}	0.83±0.13 ^{ab}	0.95±0.10 ^{abc}
P45L16	63.10±18.39 ^b	100.00±0.00	82.00±12.87 ^{abc}	0.78±0.18 ^{ab}	0.92±0.06 ^{ac}
P50L8	86.76±14.57 ^a	100.00±0.00	93.38±4.55 ^a	1.00±0.12 ^b	1.04±0.13 ^{bc}
P50L12	58.17±2.99 ^b	98.33±2.89	85.39±6.09 ^{ab}	0.74±0.03 ^a	0.82±0.03 ^a
P50L16	60.13±8.18 ^b	100.00±0.00	88.42±9.94 ^{ab}	0.80±0.06 ^{ab}	0.84±0.06 ^a
二元方差分析 Two-way ANOVA					
蛋白质 Protein	0.263	0.615	0.006	0.266	0.111
脂肪 Lipid	0.044	0.615	0.648	0.047	0.000
蛋白*脂肪 Protein*Lipid	0.326	0.326	0.366	0.370	0.063

注:同一列数据中具有不同字母的表示差异显著($P < 0.05$)

Note: values with different letters in the same row are significantly different ($P < 0.05$)

表 3 饲料蛋白脂肪比对圆斑星鲈蛋白酶活力的影响
Tab.3 Effects of protein to lipid ratio on protease activity in spotted halibut (U/mg prot)

组别 Group	胃 Stomach	肠 Intestine	肝胰脏 Hepatopancreas
P40L8	5.26±2.70 ^a	12.96±2.86 ^a	17.19±3.23 ^{ab}
P40L12	12.49±2.73 ^{ab}	14.19±4.98 ^{ab}	18.94±3.43 ^{ab}
P40L16	14.05±0.95 ^{ab}	20.33±3.15 ^b	19.30±2.60 ^{ab}
P45L8	18.60±4.65 ^b	17.57±4.73 ^{ab}	18.40±3.65 ^{ab}
P45L12	16.72±4.99 ^b	18.28±4.71 ^{ab}	18.64±4.49 ^{ab}
P45L16	17.50±8.89 ^b	20.43±5.35 ^b	16.16±2.03 ^{ab}
P50L8	15.57±1.07 ^b	14.36±1.49 ^{ab}	22.47±5.14 ^b
P50L12	18.84±9.67 ^b	16.29±2.06 ^{ab}	15.56±3.57 ^a
P50L16	12.75±2.20 ^{ab}	16.20±1.32 ^{ab}	18.53±1.93 ^{ab}
二元方差分析 Two-way ANOVA			
蛋白质 Protein	0.027	0.162	0.789
脂肪 Lipid	0.511	0.091	0.578
蛋白*脂肪 Protein*Lipid	0.257	0.609	0.221

注: 同一列数据中具有不同字母的表示差异显著 ($P<0.05$)

Note: values with different letters in the same row are significantly different ($P<0.05$)

活力受饲料中蛋白质和脂肪水平影响显著 ($P<0.05$)。胃淀粉酶以 P40L12 和 P50L16 组最高, 显著高于 P40L16 组 ($P<0.05$), 和其他各组无显著差异 ($P>0.05$)。肠淀粉酶以 P45L8 组最高, 显著高于 P40L16 和 P45L12 组 ($P<0.05$), 但和其他组无显著差异 ($P>0.05$)。胃脂肪酶随蛋白水平的提高先降低后升高, 其中

P50L16 组最高, 高于 P45L16 组 5.69% ($P<0.05$)。肠脂肪酶以 P50L8 组最高, 和其他各组差异不显著 ($P>0.05$)。

2.3 饲料蛋白脂肪比对圆斑星鲈血清生化指标的影响

饲料蛋白脂肪比对圆斑星鲈血清生化指标的影响见表 5。由双因素分析可知, 蛋白质和脂肪水平对鱼体血清的总蛋白, 甘油三酯和总胆固醇存在交互作用 ($P<0.05$)。蛋白水平显著影响鱼体血清中总蛋白的含量 ($P<0.05$), 并随蛋白水平的提高呈现上升的趋势。P50L8 组鱼体血清中的谷丙转氨酶、谷草转氨酶均高于其他组, 但各组之间无显著差异 ($P>0.05$)。甘油三酯和总胆固醇受蛋白质和脂肪水平影响显著 ($P<0.05$), P50L8 组的甘油三酯和总胆固醇最低, 显著低于 P45L12 和 P45L16 组 ($P<0.05$), 与其他组差异不显著 ($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 饲料蛋白脂肪比对圆斑星鲈生长性能的影响

饲料蛋白质水平增加对鱼体生长和饲料利用有积极作用, 8% 脂肪组鱼体的增重率和特定生长率随蛋白水平的提高而增加, 与鲤鱼(伍代勇等, 2011)、白姑鱼(Chatzifotis *et al*, 2010)、黄颡鱼(Kim *et al*, 2005)试验中得到的结果一致。饲料效率也随蛋白水平的提高而增加 ($P<0.05$), 相同的结果已在卵形鲳鲹(刘兴旺等, 2011)的文章中报道。饲料蛋白质含量在 50% 时, 圆斑星鲈的生长最佳, P50L8 组试鱼表现出最高的增重率、特定生长率、饲料效率及摄食率。González 等(2005)研究表明, 牙鲆的蛋白需求为 50.8%, 丁立云等(2010)

表 4 饲料蛋白脂肪比对圆斑星鲈淀粉酶(U/mg 蛋白)、脂肪酶(U/g 蛋白)活力的影响
Tab.4 Effects of protein to lipid ratio on amylase activity(U/mg prot)and lipase activity (U/g prot) in spotted halibut

组别 Group	胃淀粉酶 Stomach AMS	肠淀粉酶 Intestine AMS	胃脂肪酶 Stomach LPS	肠脂肪酶 Intestine LPS
P40L8	0.27±0.04 ^{ab}	0.35±0.06 ^{ab}	5.62±0.64 ^d	9.93±6.54
P40L12	0.30±0.07 ^b	0.40±0.05 ^{ab}	4.66±1.12 ^{cd}	11.25±5.24
P40L16	0.20±0.02 ^a	0.30±0.08 ^a	3.22±0.96 ^{abc}	7.39±3.15
P45L8	0.22±0.01 ^{ab}	0.45±0.05 ^b	2.66±0.92 ^{ab}	6.50±3.70
P45L12	0.21±0.06 ^{ab}	0.33±0.04 ^a	3.33±1.51 ^{abc}	6.08±2.61
P45L16	0.24±0.04 ^{ab}	0.37±0.10 ^{ab}	1.94±0.45 ^a	9.75±6.12
P50L8	0.23±0.02 ^{ab}	0.40±0.04 ^{ab}	3.48±1.37 ^{abc}	13.04±2.73
P50L12	0.24±0.06 ^{ab}	0.35±0.03 ^{ab}	4.55±0.91 ^{bcd}	12.50±2.55
P50L16	0.30±0.05 ^b	0.38±0.07 ^{ab}	7.63±0.71 ^e	9.99±5.09
二元方差分析 Two-way ANOVA				
蛋白质 Protein	0.251	0.432	0.000	0.139
脂肪 Lipid	0.920	0.208	0.757	0.897
蛋白*脂肪 Protein*Lipid	0.057	0.134	0.000	0.575

注: 同一列数据中具有不同字母的表示差异显著 ($P<0.05$)

Note: values with different letters in the same row are significantly different ($P<0.05$)

表5 饲料蛋白脂肪比对圆斑星鲈血清生化指标的影响
Tab.5 Effects of protein to lipid ratio on blood biochemical parameters of spotted halibut

组别 Group	总蛋白 TP(g/L)	谷丙转氨酶 GPT(U/g prot)	谷草转氨酶 GOT(U/g prot)	甘油三酯 TG(g/L)	总胆固醇 CHOL(g/L)
P40L8	27.50±1.46 ^a	7.79±1.33	15.97±3.76	3.18±1.42 ^a	2.70±1.18 ^{ab}
P40L12	29.75±2.54 ^a	7.18±3.88	8.74±1.60	1.78±0.96 ^a	2.64±0.76 ^{ab}
P40L16	28.28±4.48 ^a	5.19±2.32	16.30±11.44	2.89±1.79 ^a	4.39±2.72 ^b
P45L8	33.80±3.44 ^{ab}	6.02±4.24	10.46±3.71	2.75±1.70 ^a	2.55±1.07 ^{ab}
P45L12	28.13±2.73 ^a	7.51±3.01	17.34±5.01	15.82±1.11 ^b	9.01±1.55 ^c
P45L16	43.42±1.94 ^c	8.51±4.08	17.25±8.34	15.33±1.86 ^b	8.14±0.79 ^c
P50L8	36.47±2.21 ^b	9.15±5.09	18.65±10.49	0.82±0.19 ^a	1.96±0.59 ^{ab}
P50L12	36.85±5.26 ^b	5.53±1.74	14.58±3.93	1.43±0.47 ^a	2.03±0.61 ^{ab}
P50L16	33.32±5.80 ^{ab}	4.50±4.20	8.43±4.46	1.13±0.66 ^a	1.80±0.53 ^a
二元方差分析 Two-way ANOVA					
蛋白质 Protein	0.000	0.845	0.901	0.000	0.000
脂肪 Lipid	0.116	0.641	0.892	0.000	0.000
蛋白*脂肪 Protein*Lipid	0.001	0.486	0.142	0.000	0.000

注：同一列数据中具有不同字母的表示差异显著($P<0.05$)

Note: values with different letters in the same row are significantly different ($P<0.05$)

研究表明, 星斑川鲈饲料中蛋白质的适宜添加量为51.54%–53.56%, Rema等(2008)研究发现, 塞内加尔鲷最适蛋白需求为53%。表明了鲷形目鱼类蛋白质需求基本维持在50%左右。

本研究中, 随饲料脂肪水平的提高, 鱼体增重率、特定生长率及摄食率均有下降的趋势, 该结果与Liu等(2013)在半滑舌鲷中的研究结果一致。饲料脂肪水平为8%时, 鱼体的生长最佳。投喂高脂肪饲料时, 鱼体的生长下降, 表明饲料中脂肪水平的提高未引起蛋白质节约作用, 这可能是圆斑星鲈消化吸收脂肪的能力较弱, 或是饲料中8%的脂肪已满足圆斑星鲈基本的生长及生理需要, 12%脂肪已明显过量, 不仅抑制鱼体脂肪酸的合成, 同时也降低鱼体消化吸收脂肪的能力, 导致试鱼摄食减弱、生长下降, 这与卵形鲳鲹(刘兴旺等, 2011)、印度鲳(Ng *et al*, 2008)、太平洋马鲛(Deng *et al*, 2011)的研究结果相似。在蛋能比方面, 圆斑星鲈的最适蛋能比为104.31mg/kcal, 该结果略高于大口黑鲈99.25 mg/kcal(陈乃松等, 2012)和斑点叉尾鲷93.72 mg/kcal(蒋广震等, 2010), 而与大口鲈107.28 mg/kcal(许国焕等, 2001)和许氏平鲈101–105 mg/kcal (Lee *et al*, 2002)的研究结果接近。

3.2 饲料蛋白脂肪比对圆斑星鲈消化酶活性的影响

本研究中, 胃蛋白酶活性随蛋白水平的升高先增加后降低, 表明在一定范围内, 饲料中蛋白质水平升高, 鱼体会增加蛋白酶的分泌来适应, 以提高对蛋白

质的消化吸收。这与邵庆均等(2004)对宝石鲈的研究结果一致。本研究中, 胰蛋白酶活性>肠蛋白酶活性>胃蛋白酶活性, 说明胰蛋白酶是圆斑星鲈最主要的消化酶, 胰脏是圆斑星鲈分泌蛋白酶的主要器官。陈度煌等(2012)研究表明, 胰蛋白酶是斜带石斑鱼各个部位蛋白酶活性最高的, 这与本研究结果一致。

圆斑星鲈消化系统中存在淀粉酶, 说明其具有消化吸收淀粉的能力, 整体来说, 鱼类淀粉酶的活力较低, 不同消化器官所承载的功能不同, 淀粉酶活力也不同。本研究中, 肠淀粉酶活性>胃淀粉酶活性, 这表明肠道可能是淀粉的主要消化场所。孙翰昌等(2010)在研究瓦氏黄颡鱼消化酶活性时发现, 肠道淀粉酶活性最高, 而胃最低, 该结果与本研究结果一致。

在一定范围内, 圆斑星鲈的胃脂肪酶活性随饲料中蛋白水平的提高, 有一个降低的趋势, 这与孙翰昌等(2010)研究瓦氏黄颡鱼消化酶活性的结果相一致。本实验中, 肠脂肪酶活性>胃脂肪酶活性, 说明肠道是圆斑星鲈消化脂肪的主要器官。陈度煌等(2012)报道, 脂肪酶随饲料中脂肪的增加而增加, 肠道的脂肪酶活性最大, 斜带石斑鱼消化脂肪的主要器官是肠道。李金秋等(2006)报道, 牙鲆肠道中脂肪酶活性高于胃中, 肠道可能是其消化吸收脂类物质的主要器官。而吴莉芳等(2009、2010)报道鲤鱼和埃及胡子鲈肝胰脏的脂肪酶活力高于其他各部位, 胰脏是脂肪酶的主要分泌器官。产生这种差异性的原因可能是鱼体消化酶与鱼的种类、摄食、食性、营养、饲料均相关。

3.3 饲料蛋白脂肪比对圆斑星鲈血清生化指标的影响

血清总蛋白是机体蛋白质代谢水平的重要指标, 可以反映机体蛋白质和氨基酸的消化及吸收程度(丁立云等, 2010)。本研究中, 血清总蛋白随蛋白水平的升高有上升的趋势, 说明在一定范围内, 饲料中蛋白水平升高能促进血清中蛋白质的合成。该结果与丁立云¹⁾等(2010)的研究结果一致。

在正常状态下, 谷丙转氨酶活性升高表明, 机体氨基酸代谢旺盛, 其合成代谢增强, 蛋白质分解减弱, 有利于氮在体内的沉积, 而谷草转氨酶活性升高, 说明尿素生成加快, 从而降低了氨基酸代谢产物对机体的毒害(Yan *et al.*, 2007)。在本研究中, P50L8 组鱼体血清中的谷丙转氨酶、谷草转氨酶均高于其他组, 说明鱼体的氨基酸代谢旺盛, 有利于蛋白质的消化吸收, 进而提高其生长速度。

血清中的甘油三酯和总胆固醇反映了机体的脂肪沉积情况(李富伟等, 2005)。在本研究中, P50L8 组的甘油三酯和总胆固醇含量低于其他各组, 其原因可能是适宜的蛋白质和脂肪水平可以加快脂类的代谢, 从而降低了血清中脂肪的含量。

本研究中, 圆斑星鲈的最适蛋白质和脂肪水平分别为 50% 和 8%, 蛋能比为 104.31 mg/kcal。饲料中高脂肪的添加未引起蛋白质的节约作用。为促进圆斑星鲈养殖业的健康发展, 有必要继续开展圆斑星鲈其他营养素需求量的研究工作。

参 考 文 献

丁立云, 张利民, 王际英, 等. 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. 中国水产科学, 2010, 17(6): 1285–1292

叶建生, 王兴强, 马姓, 等. 圆斑星鲈的生物学特性及其研究进展. 渔业经济研究, 2006(6): 5–7

刘兴旺, 王华朗, 张海涛, 等. 卵形鲳鲹幼鱼饲料中适宜蛋白能量比的研究. 水产科学, 2011, 30(3): 136–139

孙翰昌, 徐敬明, 庞敏. 饲料蛋白水平对瓦氏黄颡鱼消化酶活性的影响. 水生态学杂志, 2010, 31(2): 84–88

伍代勇, 朱传忠, 杨健, 等. 饲料中不同蛋白质和脂肪水平对鲤鱼生长和饲料利用的影响. 中国饲料, 2011(16): 31–35

许国焕, 丁庆秋, 王燕. 饲料中不同能量蛋白比对大口鲶生长及体组成的影响. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2001, 20(Z1): 94–97

李金秋, 林建斌, 朱庆国, 等. 不同能量蛋白比饲料对牙鲆体内消化酶活性的影响. 集美大学学报(自然科学版), 2005, 10(4): 296–299

李富伟, 蔡辉益. 肽对肉鸡生长性能的影响及其生理机理研究. 动物营养学报, 2005, 17(1): 40–44

吴莉芳, 秦贵信, 刘春力, 等. 饲料大豆蛋白对鲤鱼消化酶活力和血液主要生化指标的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(8): 63–69

吴莉芳, 秦贵信, 孙泽威, 等. 饲料中去皮豆粕替代鱼粉对埃及胡子鲇消化酶活力和肠道组织的影响. 中山大学学报(自然科学版), 2010, 49(4): 99–105

吴莉芳, 秦贵信, 赵元, 等. 饲料中去皮豆粕替代鱼粉比例对草鱼消化酶活力的影响. 中国畜牧杂志, 2010, 46(1): 23–27

陈度煌, 林建斌, 黄种持, 等. 几种饲料对斜带石斑鱼消化酶活性的影响. 福建水产, 2012, 34(2): 156–159

陈乃松, 肖温温, 梁勤朗, 等. 饲料中脂肪与蛋白质比大口黑鲈生长、体组成和非特异性免疫的影响. 水产学报, 2012, 36(8): 1270–1280

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. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2004, 30(5): 553–556

徐永江, 王妍妍, 陈学周, 等. 环境因子对圆斑星鲈精子活力的影响. 渔业科学进展, 2013, 34(4): 21–26

蒋广震, 刘文斌, 王煜衡, 等. 饲料中蛋白脂肪比对斑点叉尾鲷幼鱼生长、消化酶活性及肌肉成分的影响. 水产学报, 2010, 34(7): 1129–1135

Chatzifotis S, Panagiotidou M, Papaioannou N, *et al.* Effect of dietary lipid levels on growth, feed utilization, body composition and serum metabolites of meagre (*Argyrosomus regius*) juveniles. Aquaculture, 2010, 307(1): 65–70

Cho CY, Kaushik SJ. Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). World Rev Nutr Diet, 1990(61): 132–172

Deng DF, Ju ZY, Dominy W, *et al.* Optimal dietary protein levels for juvenile Pacific threadfin (*Polydactylus sexfilis*) fed diets with two levels of lipid. Aquaculture, 2011, 316(1): 25–30

González S, Craig SR, McLean E, *et al.* Dietary protein requirement of southern flounder, *Paralichthys lethostigma*. J Appl Aquacult, 2005, 17(3): 37–50

Khan MS, Ang KJ, Ambak MA, *et al.* Optimum dietary protein requirement of a Malaysian freshwater catfish, *Mystus nemurus*. Aquaculture, 1993, 112(2): 227–235

Kim LO, Lee SM. Effects of the dietary protein and lipid levels on growth and body composition of bagrid catfish, *Pseudobagrus fulvidraco*. Aquaculture, 2005, 243(1): 323–329

Liu XW, Mai KS, Ai QH, *et al.* Effects of protein and lipid levels in practical diets on growth and body composition of tongue sole, *Cynoglossus semilaevis* Gunther. J World Aquacult Soc, 2013, 44(1): 96–104

Ma HY, Chen SL, Yang JF, *et al.* Isolation of sex-specific AFLP markers in Spotted Halibut (*Verasper variegatus*). Environ Biol Fish, 2010, 88(1): 9–14

Ng WK, Abdullah N, De Silva SS. The dietary protein requirement of the Malaysian mahseer, *Tor tambroides* (Bleeker), and the lack of protein-sparing action by dietary lipid. Aquaculture, 2008, 284(1): 201–206

Rema P, Conceição LEC, Evers F, *et al.* Optimal dietary protein levels in juvenile Senegalese sole (*Solea senegalensis*). Aquacult Nutr, 2008, 14(3): 263–269

1) 丁立云. 星斑川鲈对蛋白质和脂肪的营养需求及其血液生化指标的研究. 上海海洋大学硕士学位论文, 2010, 5

- SangMin L, ImGi J, JongYun L. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture*, 2002, 211(1): 227–239
- Tian YS, Chen SL, Ji XS, *et al.* Cryopreservation of spotted halibut (*Verasper variegatus*) sperm. *Aquaculture*, 2008, 284(1–4): 268–271
- Watanabe T. Lipid nutrition in fish. *Comp Biochem*, 1982, 73(1): 3–15
- Yan Q, Xie S, Zhu X, *et al.* Dietary methionine requirement for juvenile rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Aquacult Nutr*, 2007, 13(3): 163–169

(编辑 陈严)

The Effects of the Ratio of Dietary Protein to Lipid on the Growth, Digestive Enzyme Activities and Blood Biochemical Parameters in Spotted Halibut, *Verasper variegates*

LÜ Yunyun^{1,2}, CHEN Siqing², YU Chaolei^{1,2}, CHANG Qing^{2①}, QIN Bo^{1,2}, WANG Zhijun³

(1. College of Fishers and Life Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306;

2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071;

3. Kehe Ocean High Technologies Company of Shandong, Weihai 264500)

Abstract Spotted halibut, *Verasper variegates* has been a target model in the studies of reproductive biology and molecular biology. However, little is known about the dietary requirements of this species. In this study, we determined the optimal ratio of protein to lipid for this fish and analyzed the combined effects on the growth, digestive enzyme activities and blood biochemical parameters in spotted halibut. Fish meal and casein were used as protein sources, and soybean oil and fish oil served as lipid sources. Nine experimental diets were formulated as combinations of three levels of crude proteins (40%, 45%, and 50%) and three levels of crude lipid (8%, 12%, and 16%), namely P40L8, P40L12, P40L16, P45L8, P45L12, P45L16, P50L8, P50L12 and P50L16. They were randomly distributed into 27 cement ponds (2 m×1 m×1 m) with 20 fish/pond for 83 d in an in-door flow-through aquarium system. The results showed that the survival rate of fish was not significantly affected by the levels of protein and lipid ($P>0.05$). The weight gain, specific growth rate and feed intake were significantly reduced along with the increase in the dietary lipid ($P<0.05$). Compared to P40L16, the weight gain in P50L8 was 33.63% higher and the specific growth rate was 31% higher. The feed efficiency was significantly boosted along with the increase in the dietary protein ($P<0.05$). The feed efficiency in P50L8 was 24.09% higher than P40L8, and the weight gain, specific growth rate, feed intake and feed efficiency in P50L8 were significantly higher than those in other groups. The activity of stomach protease was first increased and then decreased along with the increase in dietary protein. The protease activity in the hepatopancreas in P50L8 group was significantly higher than that in P50L12 group ($P<0.05$), but showed no significant differences with other groups ($P>0.05$). The activity of the stomach lipase was first decreased and then increased along with the increase in the dietary protein. The activity of intestine lipase in P50L8 group was higher than other groups, but there was no significant difference between all groups ($P>0.05$). The increase in dietary protein resulted in significantly higher level of total proteins ($P<0.05$). Glutamic pyruvic transaminase and Glutamic oxalacetic transaminase in P50L8 group were higher than other groups, but there were no significant differences between all groups ($P>0.05$). Triglyceride and total cholesterol in P50L8 group were significantly lower than P45L12 and P45L16 groups ($P<0.05$), but showed no significant differences with other groups ($P>0.05$). These results indicated that increased dietary lipid level might not cause the protein-sparing effect. Therefore the recommended formula for the best growth performance was 50% protein, 8% lipid, 104.31 mg/kcal P/E and 6.63 P/L.

Key words Spotted halibut; Dietary protein to lipid ratio; Growth performance; Digestive enzyme; Blood biochemical parameters

① Corresponding author: CHANG Qing, E-mail: changqing@ysfri.ac.cn