

亚东鲑幼鱼饲料蛋白和脂肪适宜水平的研究

高擘为 杨航 何明 徐 梁高阳 李小勤 冷向军

A STUDY ON THE PROPER PROTEIN AND LIPID LEVELS IN THE DIET OF *SALMO TRUTTA* JUVENILES

GAO Bo-Wei, YANG Hang, HE Ming, XU Zhen, LIANG Gao-Yang, LI Xiao-Qin, LENG Xiang-Jun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2020.057>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

饲料中棕榈油替代鱼油和豆油对黄颡鱼生长和肌肉脂肪酸组成的影响

EFFECTS OF SUBSTITUTING PALM OIL FOR FISH OIL AND SOY OIL IN FEED ON THE GROWTH PERFORMANCE AND MUSCULAR FATTY ACID COMPOSITION OF *PELTEOBAGRUS VACHELLI*

水生生物学报. 2017, 41(5): 1000–1009 <https://doi.org/10.7541/2017.125>

西江鲤仔稚鱼生长及消化酶活性变化

THE GROWTH AND DIGESTIVE ENZYMES ACTIVITIES OF COMMON CARP (*CYPRINUS CARPIO*) DURING LARVAL STAGE

水生生物学报. 2019, 43(2): 362–366 <https://doi.org/10.7541/2019.045>

基于生物能量学原理构建异育银鲫生长、饲料需求和污染排放模型

BIOENERGETICS-BASED MODEL TO DETERMINE GROWTH, FEED REQUIREMENT AND WASTE OUTPUT OF GIBEL CARP (*CARASSIUS AURATUS GIBELIO*)

水生生物学报. 2018, 42(2): 221–231 <https://doi.org/10.7541/2018.028>

饲料蛋白质水平对洛氏生长、非特异性免疫及蛋白质合成的影响

EFFECTS OF DIETARY PROTEIN LEVELS ON THE GROWTH PERFORMANCE, ACTIVITY OF NON-SPECIFIC IMMUNITY AND PROTEIN SYNTHESIS CAPACITY OF *RHYNCHOCYPRIS LAGOWSKII* DYBOWSKI

水生生物学报. 2018, 42(4): 709–718 <https://doi.org/10.7541/2018.087>

饲料蛋白水平对方正银鲫幼鱼生长、体成分、肝脏生化指标和肠道消化酶活性的影响

EFFECTS OF DIETARY PROTEIN LEVELS ON GROWTH PERFORMANCE, BODY COMPOSITION, LIVER BIOCHEMICAL INDICES, AND DIGESTIVE ENZYME ACTIVITIES OF JUVENILE CHINESE CRUCIAN CARP

水生生物学报. 2018, 42(4): 736–743 <https://doi.org/10.7541/2018.090>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2020.057

亚东鲑幼鱼饲料蛋白和脂肪适宜水平的研究

高肇为^{1,2,3} 杨航¹ 何明¹ 徐祺¹ 梁高阳¹ 李小勤^{1,2,3} 冷向军^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学水产科学国家级教学示范中心, 上海 201306; 2. 上海海洋大学农业部鱼类营养与环境生态研究中心, 上海 201306; 3. 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海 201306)

摘要: 为考察饲料蛋白和脂肪水平对亚东鲑(*Salmo trutta*)幼鱼生长性能、体组成、肝脏生化指标和肠道酶活性的影响, 实验采用3×2双因子设计, 蛋白水平为42%、46%和50%(P42、P46、P50), 脂肪水平为12%和16%(L12、L16), 共6组饲料, 饲养平均体重(2.80±0.10) g的亚东鲑幼鱼56d。结果表明, P46L12组增重率最高(110.34%), 饲料系数最低(1.3), 而P50L16组的增重率最低; 各组在脏体比之间无显著差异($P>0.05$); 肝体比随着蛋白和脂肪水平的增加呈现降低的趋势; 蛋白沉积率和脂肪沉积率随着饲料蛋白的升高先上升后下降。饲料脂肪水平对肠蛋白酶, 胃蛋白酶和胃淀粉酶活性均有显著影响($P<0.05$), 饲料蛋白水平仅对胃蛋白酶活性有显著影响($P<0.05$); P46L12组的肠道蛋白酶, 胃蛋白酶活性显著高于其他各组($P<0.05$), 胃、肠淀粉酶活性在各组中也最高。在同一脂肪水平下, 肝脏谷丙转氨酶活性和总胆固醇和甘油三酯含量随着饲料粗蛋白水平的增加呈现先上升后下降的趋势。上述结果表明, 亚东鲑幼鱼饲料中粗蛋白和粗脂肪的适宜水平分别为46%和12%。

关键词: 亚东鲑; 生长; 饲料利用; 消化酶; 蛋白质需求量; 脂肪需求量

中图分类号: S965.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2020)03-0470-09

亚东鲑, 学名为褐鳟(*Salmo trutta*), 原产于欧洲、非洲北部和西亚地区^[1], 属于鲑形目(Salmoniformes)鲑科(Salmonidae)鲑亚科(Salmoninae)。身体为褐色, 并有黑色及红色的斑点, 栖息在寒冷的淡水中。在我国, 褐鳟仅天然分布于西藏亚东县, 是英国人于1866年引种于此, 在当地形成的一个自然种群, 已定名为亚东鲑^[2], 西藏自治区二级重点保护水生动物^[3]。亚东鲑肉质细嫩鲜美、营养丰富, 氨基酸种类齐全, 具有优质的脂肪酸^[4]。随着亚东鲑养殖业的发展, 与其相关的养殖、遗传和生物学研究的工作已相继开展^[5-8]。

脂肪和蛋白质的需要量是鱼类营养研究中的重要参数。若饲料中蛋白质含量不足, 则鱼体生长缓慢, 若蛋白质过量, 成本增加, 还会造成饲料的浪费。目前, 有关褐鳟蛋白质营养需求的研究较少。Arzel等^[9]的研究表明, 体重为1.2 g的褐鳟对饲料蛋白质需要量在48%—53%; Ramezani^[10]发现, 体重为7.0 g的褐鳟对蛋白的最适需要量为50%。而关于褐鳟脂肪营养的研究则主要集中在不同脂肪源的替代

方面, Kenari等^[11]发现用植物油部分替代鱼油可长期喂食里海褐鳟。Amiri等^[12]也认为大豆油和鹅油可以完全替代鱼油, 对褐鳟生长性能和存活率没有负面影响。国内关于亚东鲑鱼营养需求的研究则仅见亲鱼对饲料蛋白质和脂肪需求方面, 当饲料脂肪水平为9%和18%时, 亚东鲑亲鱼对蛋白质需要量分别为43.11%和45.69%^[13]。在亚东鲑幼鱼的营养需求方面, 目前尚未见相关报道。由于亚东鲑已形成独立的种群, 以及亚东当地自然条件的特殊性(海拔高、水温低), 故开发适合于当地条件的亚东鲑饲料显得尤为必要。故本试验设计不同蛋白和脂肪水平的饲料, 考察对亚东鲑幼鱼生长、饲料利用、体组成、肝脏生化指标和胃、肠道消化酶活性的影响, 为亚东鲑幼鱼配合饲料的开发提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计与试验饲料

本试验采用3×2双因素完全随机设计, 设3个蛋白质水平(P, 42%、46%、50%)和2个脂肪水平(L,

收稿日期: 2019-04-17; 修订日期: 2019-08-24

基金项目: 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心项目(A1-2041-18-0011)资助 [Supported by the Foundation of Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding (A1-2041-18-0011)]

作者简介: 高肇为(1995—), 男, 硕士研究生; 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: 1060884742@qq.com

通信作者: 冷向军, 教授; 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: xjleng@shou.edu.cn

12%、16%), 共配制6种饲料 (P42/L12、P42/L16、P46/L12、P46/L16、P50/L12、P50/L16)。通过调整沸石粉和纤维素的含量来平衡各组饲料组成。饲料原料经粉碎、过筛(60目)后, 用混合机(GH 200, 上海展望机电设备有限公司)混匀, 制成粒径 2 mm的沉性颗粒饲料(单螺杆挤压机, SLP-45, 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 制粒温度 85—90℃), 晾干, 密封储藏于阴凉干燥处备用。饲料原料购于浙江粤海饲料有限公司。试验饲料的配方组成及营养成分含量见表 1, 饲料氨基酸组成见表 2。

1.2 试验鱼和饲养管理

试验用鱼取自西藏亚东鲑鱼繁育基地。试验鱼用基础饲料暂养驯化2周后, 选取体格健壮、规格均一, 平均体重为(2.80±0.10) g的鲑450尾进行试

验, 将鱼随机分配到18个塑料桶(直径0.55 m, 高 0.65 m)中, 每个试验组三个重复(桶), 每桶25尾。养殖用水为经过滤的溪水, 流水养殖, 水流量为1.8 L/min。试验期间, 每天投喂两次(10:30、17:30), 日投饲率约为鱼体重的2.0%—3.0%, 各桶保持基本一致的投饲量, 并根据摄食情况进行调整。养殖期间, 水体溶氧>6 mg/L, pH 7.5—8.0, 水温7.5—12.5℃, 亚硝酸盐浓度<0.005 mg/L, 氨氮浓度<0.1 mg/L。养殖试验在西藏亚东县鲑鱼繁育基地(春丕)进行, 养殖周期为56d。

1.3 样品采集

在养殖试验结束后, 饥饿24h, 统计每桶亚东鲑鱼尾数并称重。从每桶中随机取6尾, 并在-20℃冷冻保存用于全鱼体成分分析。每桶随机取3尾鲑鱼测量体重和体长, 然后将鲑鱼解剖, 称量内脏和肝

表 1 试验饲料配方组成及营养成分含量

Tab. 1 Ingredients and proximate composition of experimental diets (g/kg)

原料Ingredient ^a	组别Treatment					
	P42/L12	P42/L16	P46/L12	P46/L16	P50/L12	P50/L16
鱼粉Fish meal	415.0	426.0	478.0	489.0	541.0	552.0
豆粕Soybean meal	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
大豆浓缩蛋白Soybean protein concentrate	92.0	94.0	106.0	108.0	120.0	122.0
次粉Wheat meal	242.3	189.3	179.3	126.3	116.3	63.3
鱼油Fish oil	41.0	61.0	36.0	56.0	31.0	51.0
豆油Soybean oil	47.0	66.0	47.0	66.0	47.0	66.0
瓜尔胶Guar gum	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
沸石粉Zeolite powder	20.5	20.5	10.5	10.5	0.5	0.5
维生素预混料 ^b Vitamin premix ^b	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
矿物质预混料 ^c Mineral premix ^c	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
纤维素Cellulose	2.0	3.0	3.0	4.0	4.0	5.0
双乙酸钠Sodium diacetate	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
茶多酚Tea polyphenols	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
氯化胆碱(50%)Choline chloride (50%)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
总计Total	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
常规组成Proximate composition						
粗蛋白Crude protein	426.1	413.7	45.35	462.2	484.7	492.9
粗脂肪Crude lipid	113.9	153.9	113.1	157.3	118.8	161.2
灰分Ash	113.7	115.2	115.7	116.5	114.0	113.7
水分Moisture	97.0	96.8	96.2	96.8	97.4	96.6

注: a. 饲料原料蛋白质含量如下: 鱼粉(665 g/kg), 豆粕(484 g/kg), 大豆浓缩蛋白(631 g/kg), 次粉(166 g/kg); b. 维生素预混料(mg或 IU/kg饲料): VA 10000 IU, VD₃ 3000 IU, VE 150 IU, VK₃ 12.17 mg, VB₁ 20 mg, VB₂ 20 mg, VB₃ 100 mg, VB₆ 22 mg, VB₁₂ 0.15 mg, VC 1000 mg (35%), 生物素biotin 0.6 mg, 叶酸folic acid 8 mg, 肌醇inositol 500 mg; c. 矿物质预混料(mg或IU/kg饲料): I 1.5 mg, Co 0.6 mg, Cu 3 mg, Fe 63 mg, Zn 89 mg, Mn 11.45 mg, Se 0.24 mg, Mg 180 mg, Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 20 g

Note: a. The protein contents of ingredients are as follow: Fish meal (66.5%), Soybean meal (48.4%), Soybean protein concentrate (63.1%), wheat middling (16.6%); b. Vitamin premix (mg or IU/kg diet): vitamin A 10000 IU, vitamin D₃ 3000 IU, vitamin E 150 IU, vitamin K₃ 12.17 mg, vitamin B₁ 20 mg, vitamin B₂ 20 mg, vitamin B₃ 100 mg, vitamin B₆ 22 mg, vitamin B₁₂ 0.15 mg, vitamin C 1000 mg (35%), biotin 0.6 mg, folic acid 8 mg, inositol 500 mg; c. Mineral premix(mg/kg diet): I 1.5 mg, Co 0.6 mg, Cu 3 mg, Fe 63 mg, Zn 89 mg, Mn 11.45 mg, Se 0.24 mg, Mg 180 mg, Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 20 g

表 2 试验饲料氨基酸组成(g/kg干物质)

Tab. 2 Amino acid composition of experimental diets (g/kg dry matter)

氨基酸 Amino acid	组别Treatment					
	P42/ L12	P42/ L16	P46/ L12	P46/ L16	P50/ L12	P50/ L16
EAA						
Val	14.9	14.8	17.3	16.9	18.5	18.4
Thr	14.3	14.4	16.8	17.1	18.3	18.3
Met	9.5	9.8	10.7	10.6	11.9	12.0
Ile	11	10.3	11.9	12.1	13.4	13.2
Leu	29.5	30.4	31.9	31.8	33.3	33.1
Phe	19.6	20.5	21.9	21.2	23.1	23.4
His	18.3	17.2	20.1	20.6	21.7	21.8
Lys	27.7	27.4	31.0	31.1	34.3	34.6
Arg	28.1	27.9	29.4	29.7	32.2	32.0
NEAA						
Asp	40.7	40.3	43.7	44.1	48.2	48.3
Ser	20.9	20.3	21.7	21.5	22.8	23.0
Glu	67.1	68.1	73.8	73.1	78.8	78.9
Gly	17.5	17.4	19.3	19.0	22.0	22.1
Ala	17.3	17.6	19.4	20.1	22.6	22.3
Cys	3.7	3.9	4.5	4.4	5.3	5.5
Tyr	10.7	10.9	11.2	11.6	13.1	13.1
Pro	17.6	17.6	19.4	19.3	21.5	21.1
TAA	368.4	368.8	404.0	404.2	441.0	441.1

注: EAA. 必需氨基酸; NEAA. 非必需氨基酸; TAA. 总氨基酸

Note: EAA. essential amino acids; NEAA. nonessential amino acids; TAA. total amino acids

脏重, 计算肥满度(CF)、脏体比(HSI)和肝体比(VSI)。另取3尾鱼的肝脏、胃和前肠, -20℃冷冻保存, 用于肝脏生化指标和胃、肠消化酶活性测定。

1.4 测定指标与方法

生长性能与形体指标 增重率(%)=100×[终末体重(g)-初始体重(g)]/初始体重(g);

饲料系数=采食量(g)/[终末体重(g)-初始体重(g)];

成活率(%)=100×终末尾数(尾)/初始尾数(尾);

肥满度(g/cm³)=100×体重(g)/体长(cm)³;

肝体比(%)=100×肝脏重(g)/体重(g);

脏体比(%)=100×内脏重(g)/体重(g);

蛋白质沉积率(%)=100×鱼体蛋白质贮积量/摄入的蛋白质总量;

脂肪沉积率(%)=100×鱼体脂肪贮积量/摄入的脂肪总量。

肝脏生化指标和胃肠道消化酶活性测定 取肝脏样本于4℃解冻, 加9倍体积生理盐水, 冰水浴匀浆, 4℃离心(3000 r/min, 10min), 取上清液用于测定肝脏谷草转氨酶(GOT)、谷丙转氨酶(GPT)、总

胆固醇(TCHO)和甘油三酯(TG)。采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定GOT、GPT、TCHO和TG。

取胃、肠道样本于4℃解冻, 加9倍体积生理盐水, 冰水浴匀浆, 4℃离心(3000 r/min, 10min), 取上清液用于测定胃和肠道的蛋白酶及淀粉酶活性。肠道蛋白酶活性采用福林酚法测定, 以2%酪蛋白溶液为底物, 每微克组织蛋白质在pH 7.2、37℃条件下每分钟分解酪蛋白生成1 μg酪氨酸的酶量为1个蛋白酶活性单位(U)。胃蛋白酶采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒测定, 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个蛋白酶活力单位(U)。蛋白质含量的测定采用考马斯亮蓝法。淀粉酶活性采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒测定, 组织中每毫克蛋白质在37℃与底物作用30min, 水解10 mg淀粉定义为1个淀粉酶活性单位(U)。

全鱼与饲料组成 全鱼与饲料的水分、粗蛋白含量测定分别采用105℃常压干燥法和凯氏定氮法(2300自动凯氏定氮仪, FOSS, 瑞典), 粗脂肪含量测定采用氯仿-甲醇抽提法, 粗灰分测定采用550℃高温灼烧法。

取70 mg冷冻干燥后的饲料样品, 以6 mol/L盐酸(加1 g/L苯酚)于110℃水解24h(真空状态), 冷却, 取0.5 mL水解液, 烘干, 加5 mL稀释液, 使用Sykam S-433D氨基酸自动分析仪(赛卡姆, 德国)测定饲料氨基酸组成。

1.5 数据处理

试验数据以平均数±标准差表示, 采用SPSS 24.0软件进行单因子方差分析和双因素方差分析, 其中差异显著者进行Duncan多重比较, 差异显著水平为P<0.05。

2 结果

2.1 生长性能和形体指标

由表3可见, 随饲料蛋白水平的增加, 增重率呈现先上升后下降的趋势, 饲料系数则先下降后上升(P<0.05)。P46/L12组的鱼体增重率最高, 饲料系数最低; P50/L12组的肥满度显著高于其他各组(P<0.05); 肝体比随着蛋白水平的增加呈现降低的趋势; 各组脏体比无显著差异(P>0.05)。饲料蛋白质和脂肪水平及二者交互作用均显著影响鱼体增重率和饲料系数(P<0.05), 饲料中蛋白质和脂肪水平对亚东鲑鱼肥满度和脏体比均无显著性影响(P>0.05)。饲料中蛋白水平对亚东鲑鱼肝体比具有显著影响(P<0.05), 但两因素之间并无显著交互作用(P>0.05)。

2.2 全鱼组成和营养物质沉积率

由表 4 可见, 各组在全鱼水分、粗脂肪、粗蛋白和粗灰分含量上均无显著性差异($P>0.05$)。饲料蛋白质和脂肪水平以二者交互作用均显著影响鱼体蛋白质沉积率和脂肪沉积率($P<0.05$), 在同一脂肪水平下二者呈现先上升后下降的趋势。

2.3 胃、肠道消化酶活性

由表 5 可见, 饲料中脂肪水平对肠道蛋白酶、胃蛋白酶和胃淀粉酶活性均有显著性影响($P<0.05$), 饲料蛋白水平仅对胃蛋白酶活性具有显著性影响($P<0.05$)。两者的交互对肠道淀粉酶、胃蛋白酶和胃淀粉酶具有显著性影响($P<0.05$)。46%蛋白水平下的胃蛋白酶活性显著高于其他 2 个蛋白水平下的胃蛋白酶活性($P<0.05$), 12%脂肪水平下的胃蛋白酶、胃淀粉酶活性也显著高 16%脂肪水平下的胃蛋白酶、胃淀粉酶活性($P<0.05$)。

2.4 肝脏生化指标

由表 6 可见, 在同一脂肪水平下, GPT、TCHO 和 TG 随着饲料粗蛋白水平的增加呈现先上升后下降的趋势。TCHO 在 P46L12 组达到最高值, 且显著高于其他各组($P<0.05$)。饲料粗蛋白水平对各肝脏生化指标均有显著性影响($P<0.05$); 饲料粗脂肪水平仅显著影响 TCHO 含量($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 饲料蛋白和脂肪水平对亚东鲑幼鱼生长性能及全鱼组成的影响

在本实验中, 在同一脂肪水平下随着饲料蛋白水平提高, 亚东鲑幼鱼增重率呈现先升高后降低的趋势, 饲料系数呈现先降低后升高的趋势。在黄斑蓝子鱼(*Siganus canaliculatus*)^[14]的研究中, 饲料蛋白水平从 24% 增加到 40%, 幼鱼增重率也呈现先升高后降低的趋势。同样, 在南方鲇(*Silurus meridionalis*)^[15]和淡水石斑鱼(*Cichlasoma managuense*)^[16]中也有类似报道。可见, 鱼类对饲料蛋白质的需求具有适宜水平, 过高或过低, 均不利用鱼类生长和饲料利用。在本实验中, 亚东鲑幼鱼的饲料蛋白质需要量为 46%。在 Arzel 等^[9]和 Ramezani^[10]对褐鲟的研究中, 所确定的饲料粗蛋白适宜水平分别为 48%—53% 及 50%。本试验所得结果与之相比略低, 其原因与鱼体规格大小、褐鲟品系(淡水褐鲟 vs. 海水褐鲟)和水温等因素有关。本试验所用褐鲟属淡水种, 未经选育, 规格也较 Arzel 等^[9]所用褐鲟(1.2 g)大。有研究表明, 鱼类的摄食和饲料利用受到水温的影响, 水温较高可促进鱼类的消化吸收^[17]。在本实验中, 水温较低, 亚东鲑生长较慢, 过高的饲料蛋白可能被用作能量, 影响了亚东鲑的生长和饲

表 3 饲料粗蛋白、粗脂肪水平对亚东鲑鱼生长性能的影响

Tab. 3 Effects of dietary crude protein and crude lipid levels on growth of brown trout

组别Diet	初均重 IBW (g)	末均重 FBW (g)	成活率 Survival (%)	增重率 WG (%)	饲料系数 FCR	肥满度 CF (g/cm ³)	脏体比 VSI (%)	肝体比 HSI (%)
P42/L12	2.81±0.03	5.36±0.15 ^b	86.67±12.22	91.44±5.47 ^b	1.71±0.11 ^c	1.39±0.06 ^{ab}	9.13±1.92	1.50±0.19 ^a
P42/L16	2.82±0.05	5.34±0.19 ^b	88.00±11.13	90.71±6.82 ^b	2.07±0.11 ^b	1.31±0.13 ^b	8.98±1.51	1.40±0.11 ^{ab}
P46/L12	2.79±0.10	5.89±0.27 ^a	94.00±2.83	110.34±9.58 ^a	1.30±0.04 ^c	1.38±0.06 ^{ab}	8.78±1.01	1.34±0.16 ^{ab}
P46/L16	2.80±0.05	5.78±0.09 ^a	80.00±22.63	106.28±3.11 ^a	1.40±0.04 ^{de}	1.36±0.07 ^{ab}	8.31±0.89	1.28±0.12 ^{bc}
P50/L12	2.81±0.06	5.80±0.09 ^a	72.00±5.66	107.18±3.51 ^a	1.55±0.04 ^{cd}	1.42±0.07 ^a	8.62±1.33	1.16±0.11 ^{cd}
P50/L16	2.79±0.08	4.95±0.09 ^c	66.00±2.83	75.48±2.88 ^c	2.47±0.12 ^a	1.37±0.09 ^{ab}	8.13±1.61	1.07±0.11 ^d
粗蛋白水平Crude protein levels (%)								
42		5.35±0.14 ^{ab}	87.20±10.35 ^a	91.08±5.06	1.89±0.23 ^a	1.35±0.11	9.05±1.68	1.45±0.16 ^a
46		5.83±0.18 ^a	87.00±15.45 ^a	108.31±6.27	1.35±0.06 ^b	1.37±0.06	8.55±0.96	1.31±0.14 ^b
50		5.29±0.47 ^b	69.00±5.03 ^b	91.33±18.49	2.01±0.53 ^a	1.40±0.08	8.38±1.45	1.11±0.12 ^c
粗脂肪水平Crude lipid levels (%)								
12		5.68±0.29	84.57±11.87	102.99±10.43	1.51±0.19	1.39±0.06 ^a	8.85±1.42	1.33±0.21
16		5.30±0.38	78.00±15.13	90.82±14.24	1.98±0.49	1.34±0.10 ^b	8.47±1.37	1.25±0.18
双因素分析Two-way ANOVA								
脂肪Lipid		0.000	0.168	0.011	0.000	0.288	0.343	0.000
蛋白Protein		0.000	0.293	0.008	0.000	0.052	0.343	0.056
交互Interaction		0.000	0.877	0.017	0.001	0.592	0.921	0.949

注: 同一列数据后不同小写字母表示两者有显著差异($P<0.05$); 下同

Note: Values in the same column with different letters are significantly different ($P<0.05$); the same applies below

料利用。

研究发现,虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[18]和南方鲇^[19]的饲料脂肪添加量达20%和15%,表明肉食性鱼类具有很强的脂肪代谢的能力,进而有效节约了蛋白添加量。在本研究中,当饲料蛋白质水平在

42%和46%时,脂肪水平从12%提高到16%,尽管褐鳟增重率在数值上有下降,但并不显著($P>0.05$);而蛋白质水平达到50%时,16%脂肪组的增重率较12%脂肪组显著降低($P<0.05$)。这说明高蛋白高脂肪饲料造成了饲料利用的降低和生产性能的下

表4 饲料粗蛋白、粗脂肪水平对亚东鲑鱼全鱼组成和营养物质沉积率的影响

Tab. 4 Effects of dietary crude protein and crude lipid levels on body composition and nutrient retention of brown trout (%)

组别Diet	水分 Moisture	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	粗灰分 Ash	蛋白质沉积率 Protein retention	脂肪沉积率 Lipid retention
P42L12	75.58±0.68	15.75±0.42	4.48±0.40	2.56±0.15	24.74±0.18 ^b	27.21±0.90 ^c
P42L16	75.67±0.46	15.46±0.38	4.60±0.18	2.47±0.07	20.21±0.05 ^c	22.19±1.70 ^d
P46L12	75.75±0.34	15.63±0.35	4.45±0.20	2.48±0.06	30.19±0.06 ^a	36.52±0.24 ^a
P46L16	75.56±0.28	16.16±0.48	4.59±0.14	2.52±0.24	29.19±2.35 ^a	27.49±2.08 ^c
P50L12	75.37±0.23	15.87±1.06	4.29±0.19	2.43±0.10	24.56±1.27 ^b	33.61±0.62 ^b
P50L16	75.24±0.20	15.62±0.24	4.40±0.35	2.50±0.17	14.93±1.16 ^d	18.77±0.91 ^c
粗蛋白水平Crude protein level (%)						
42	75.63±0.55	15.61±0.41	4.54±0.29	2.51±0.12	22.48±2.62 ^b	24.70±3.11
46	75.65±0.31	15.89±0.49	4.52±0.17	2.50±0.17	29.59±1.75 ^a	32.01±5.35
50	75.31±0.22	15.74±0.74	4.36±0.30	2.47±0.14	19.74±5.65 ^b	27.68±7.15
粗脂肪水平Crude lipid level (%)						
12	75.56±0.46	15.75±0.65	4.41±0.27	2.49±0.12	26.50±2.92	32.61±3.95 ^a
16	75.52±0.36	15.75±0.47	4.50±0.27	2.50±0.17	22.55±6.73	22.82±4.13 ^b
双因素分析Two-way ANOVA						
脂肪Lipid	0.069	0.981	0.318	0.849	0.000	0.000
蛋白Protein	0.124	0.456	0.352	0.747	0.000	0.000
交互Interaction	0.078	0.144	0.994	0.380	0.009	0.001

表5 饲料粗蛋白、粗脂肪水平对亚东鲑鱼消化酶活性的影响

Tab. 5 Effects of dietary crude protein and crude lipid levels on digestive enzyme activities of brown trout (U/mg prot)

组别Diet	胃蛋白酶Pepsin	胃淀粉酶 Stomachamylase	肠蛋白酶 Intestineprotease	肠淀粉酶 Intestineamylase
P42L12	232.31±26.19 ^b	0.29±0.050 ^b	511.69±39.56 ^b	0.23±0.03 ^b
P42L16	146.81±27.98 ^d	0.21±0.039 ^c	422.99±32.46 ^b	0.25±0.02 ^{ab}
P46L12	295.75±10.51 ^a	0.37±0.051 ^a	630.37±50.98 ^a	0.29±0.02 ^a
P46L16	214.62±9.57 ^{bc}	0.22±0.024 ^{ab}	452.29±75.08 ^b	0.21±0.02 ^b
P50L12	198.62±20.11 ^{bc}	0.24±0.039 ^{ab}	524.76±143.48 ^b	0.24±0.04 ^b
P50L16	174.86±35.81 ^{cd}	0.22±0.023 ^{ab}	442.89±62.83 ^b	0.23±0.02 ^b
粗蛋白水平Crude protein level (%)				
42	183.45±52.05 ^b	0.24±0.057	461.00±57.42	0.24±0.03
46	249.39±44.31 ^a	0.29±0.089	541.33±113.18	0.24±0.05
50	186.74±29.74 ^b	0.23±0.031	483.82±108.74	0.24±0.03
粗脂肪水平Crude lipid level (%)				
12	237.87±46.08 ^a	0.30±0.067 ^a	555.61±96.77 ^a	0.25±0.04
16	178.76±37.85 ^b	0.21±0.028 ^b	437.75±51.55 ^b	0.23±0.03
双因素分析Two-way ANOVA				
脂肪Lipid	0.000	0.001	0.005	0.057
蛋白Protein	0.000	0.063	0.220	0.750
交互Interaction	0.042	0.041	0.472	0.007

降。López等^[20]发现, 当饲料蛋白水平为61%时, 饲料脂肪水平从15.5%增加到21.5%, 锤形石首鱼 (*Attractoscion nobilis*) 的增重从21.5 g下降到14.7 g。在红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)^[21]和细鳞鲑(*Brachymystax lenok*)^[22]的研究中, 均发现在高饲料蛋白水平下, 饲料脂肪含量增加导致了生长性能的下降。根据本试验结果, 亚东鲑幼鱼可能并不需要过高脂肪营养即可满足生长需求, 其饲料脂肪需要量为12%, 与6.9 g的虹鳟脂肪需求量(8%—10.6%)相比略高^[23]。

鱼类的营养状态可由肝体比和脏体比等形态学指标反映出来。在本研究中, 饲料蛋白和脂肪水平对亚东鲑幼鱼脏体比无显著影响, 而肝体比随着蛋白和脂肪水平的提高, 呈现出逐渐下降的趋势, 同样在草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)^[24]、欧洲鲈(*Dicentrarchus labrax*)^[25]和黄姑鱼(*Nibea albiflora*)^[26]的研究中也发现肝体比随着饲料中脂肪的增加而下降的现象。

在本试验中, 各组亚东鲑幼鱼全鱼水分、蛋白质、灰分和脂肪含量无显著差异。且蛋白、脂肪和两者交互作用对全鱼水分、蛋白、灰分和脂肪均无显著性影响($P>0.05$)。蛋白质沉积率和脂肪沉积率随着饲料蛋白水平的升高表现出先增加后下降的趋势, P46L12组的蛋白沉积率和脂肪沉积率最高。在叶文娟等^[27]的研究中, 随着蛋白水平的增加, 泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)的蛋白沉积率也

呈现先上升后下降的趋势, 说明过多的蛋白质被当作能量物质消耗, 从而降低了蛋白质沉积效率。

3.2 饲料蛋白和脂肪水平对亚东鲑幼鱼消化酶的影响

消化酶对摄食和相关代谢调整的反应可用于评估饲料配方的营养价值。在本试验中, 脂肪因素对于肠道蛋白酶, 胃蛋白酶和胃淀粉酶均具有显著性影响, 表现为在同一蛋白水平下, 脂肪升高, 消化酶活性降低。在王朝明等^[28]关于胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)的研究中, 脂肪水平从2.04%增加到13.39%, 蛋白酶活性也呈现下降的趋势。其原因可能是因为过高的脂肪含量抑制了消化酶的活性。

在本研究中, 在同一脂肪水平上, 随着饲料蛋白水平的升高, 消化酶活性呈现先上升后下降的趋势。这说明在适宜蛋白水平内, 亚东鲑幼鱼可通过提高体内消化酶的活性来适应饲料, 以提高对饲料的消化与吸收能力。在芙蓉鲤鲫(*Carassius auratus gibelio*)^[29]、瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)^[30]、刺鲃(*Barbudes caldwell*)^[31]和方正银鲫(*Carassius auratus gibelio* Bloch)^[32]的研究中也有类似结果。高饲料蛋白组(50%)的肠蛋白酶和胃蛋白酶活性降低, 表明过量的蛋白质造成了浪费, 加重了消化道的负担, 影响了肠道消化酶的分泌^[33]。淀粉酶出现先上升后下降的趋势, 可能因为饲料中蛋白和脂肪水平的变化导致碳水化合物含量的变化, 引起淀粉酶活性的变化。

表 6 饲料粗蛋白、粗脂肪水平对亚东鲑鱼肝脏生化指标的影响

Tab. 6 Effects of dietary crude protein and crude lipid levels on liver biochemical indices of brown trout

组别Diet	谷丙转氨酶GPT (U/g prot)	谷草转氨酶GOT (U/g prot)	总胆固醇TCHO (mmol/g prot)	甘油三酯TG (mmol/g prot)
P42L12	107.60±23.56 ^c	38.01±3.42 ^c	6.15±0.16 ^{bc}	4.21±0.58 ^{bc}
P42L16	104.96±12.03 ^c	51.09±2.07 ^a	5.81±0.21 ^c	4.59±0.19 ^{ab}
P46L12	205.78±19.82 ^a	44.64±1.71 ^b	10.17±1.07 ^a	4.97±0.56 ^a
P46L16	222.02±16.17 ^a	39.49±2.86 ^c	6.36±0.29 ^{bc}	4.97±0.22 ^a
P50L12	162.85±16.59 ^b	52.77±2.14 ^a	6.82±0.28 ^b	3.65±0.19 ^c
P50L16	145.92±19.10 ^b	51.71±5.02 ^a	5.42±0.38 ^c	4.08±0.44 ^{bc}
粗蛋白水平Crude protein level (%)				
42	106.28±16.79 ^c	45.48±7.41 ^b	5.98±0.25 ^b	4.38±0.47 ^b
46	212.74±18.94 ^a	42.43±3.43 ^b	8.27±2.21 ^a	4.97±0.40 ^a
50	154.39±18.53 ^b	52.24±3.61 ^a	6.12±0.82 ^b	3.89±0.40 ^c
粗脂肪水平Crude lipid level (%)				
12	163.45±46.40	45.79±6.54	7.72±1.95 ^a	4.27±0.70
16	157.64±53.28	48.15±6.44	5.86±0.48 ^b	4.51±0.48
双因素分析Two-way ANOVA				
脂肪Lipid	0.898	0.102	0.000	0.110
蛋白Protein	0.000	0.000	0.000	0.000
交互Interaction	0.300	0.000	0.000	0.516

3.3 饲料蛋白和脂肪水平对亚东鲑幼鱼肝脏生化指标的影响

在肝脏中, GOT和GPT是活性最高的两种转氨酶, 广泛存在于组织细胞线粒体内, 是一项反映肝功能的重要指标^[34]。当肝细胞坏死或肝脏功能受到损伤时, 肝脏GOT和GPT活性下降, 血清和组织中的酶活性升高^[35, 36]。在本试验中, 在同一脂肪水平下, 随饲料蛋白水平增加, 肝脏GPT活性先升高后降低, 在46%蛋白水平时达到最大。在石英等^[37]对血鸚鵡(*Cichlasoma* sp.)的研究中, 随着饲料蛋白从37%升高到49%, 肝脏GPT也呈现先上升后下降的趋势。桑永明等^[32]对方正银鲫的研究也有相似结果。在一定的饲料蛋白水平范围内, 肝脏GPT活性的增加, 意味着转氨作用的增强, 可以促进体内的氨基酸代谢。

甘油三酯和胆固醇含量是反映机体对脂肪代谢状况的重要指标, 二者均在肝脏进行合成^[38]。在本试验中, 在同一脂肪水平下, 肝脏甘油三酯和胆固醇含量均随着饲料蛋白水平的升高呈现先上升后下降的趋势, 其原因可能因为过多的蛋白水平, 增加了鱼体的代谢负担从而抑制了甘油三酯和胆固醇等脂肪代谢。在中高蛋白水平下(12%, 16%), 饲料脂肪水平的升高, 降低了胆固醇含量, 其原因可能是饲料中过多的脂肪造成了脂肪肝, 影响了肝脏的正常功能。这在陈建明等^[39]、Lin等^[40]的研究中也有类似报道。

4 结论

在本实验条件下, 综合考虑饲料系数、增重率、成活率和消化酶活性等因素, 亚东鲑幼鱼饲料中粗蛋白和粗脂肪的适宜水平分别为46%和12%。

参考文献:

- [1] MacCrimmon H R, Marshall T L. World distribution of brown trout, *Salmo trutta* [J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1968, **25**(12): 2527-2548.
- [2] Zhang C L, Wang W B. A preliminary report on the fishes from Tibet [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1962, (4): 529-536. [张春霖, 王文滨. 西藏鱼类初篇 [J]. 动物学报, 1962, (4): 529-536.]
- [3] Tibet Fisheries Bureau. Fishes and Fish Resources in Tibet, China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 32-33. [西藏自治区水产局. 西藏鱼类及其资源 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 32-33.]
- [4] Wang B Q, Wang F, Gu W, et al. Effect of different stocking density on growth performance of developing fry of *Salmo trutta* [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2014, **45**(12): 18-23. [王炳谦, 王芳, 谷伟, 等. 不同养殖密度对褐鳟(*Salmo trutta*)稚鱼生长性能的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2014, **45**(12): 18-23.]
- [5] Hao F H, Chen Y F, Cai B. Embryonic development of *Salmo trutta fario* from Yadong River, Tibet [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2006, **30**(3): 289-296. [豪富华, 陈毅峰, 蔡斌. 西藏亚东鲑的胚胎发育 [J]. 水产学报, 2006, **30**(3): 289-296.]
- [6] Hao F H, Chen Y F, Tang W X, et al. Age and growth of *Salmo trutta fario* L. from Yadong River, Tibet [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, **31**(5): 731-737. [豪富华, 陈毅峰, 唐卫星, 等. 亚东鲑的年龄与生长的研究 [J]. 水生生物学报, 2007, **31**(5): 731-737.]
- [7] Hao F H. Studies on the biology and genetic diversity of *Salmo trutta fario* L. from Yadong River, Tibet [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2006: 1-146. [豪富华. 亚东鲑的生物学和遗传多样性研究 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2006: 1-146.]
- [8] Meng W, Yang T Y, Hai S, et al. Study of DNA barcoding based on the mitochondrial *CO I* gene sequences in *Salmo trutta fraio* [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2010, **23**(1): 6-10. [孟玮, 杨天燕, 海萨, 等. 基于线粒体 *CO I* 基因序列的亚东鲑DNA条形码研究 [J]. 水产学杂志, 2010, **23**(1): 6-10.]
- [9] Arzel J, Métailler R, Kerleguer C. The protein requirement of brown trout (*Salmo trutta*) fry [J]. *Aquaculture*, 1995, **130**(94): 67-78.
- [10] Ramezani H. Effects of different protein and energy levels on growth performance of caspian brown trout, *Salmo trutta caspius* (Kessler, 1877) [J]. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 2009, **4**(4): 203-209.
- [11] Kenari A A, Mozanzadeh M T, Pourgholam R. Effects of total fish oil replacement to vegetable oils at two dietary lipid levels on the growth, body composition, haematoimmunological and serum biochemical parameters in caspian brown trout (*Salmo trutta caspius* Kessler, 1877) [J]. *Aquaculture Research*, 2011, **42**(8): 1131-1144.
- [12] Amiri M J, Abediankenari A, Khodabandeh S. Effects of dietary vegetal fatty acid and fat content on growth and acclimation to caspian sea water in caspian brown trout (*Salmo trutta caspius*) parr [J]. *Aquaculture*, 2013, **412**(6): 144-150.
- [13] 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. [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.]
- [14] Wang S Q, Xu S D, Wu Q Y, et al. Optimal levels of protein and lipid in diets for rabbitfish *Siganus canaliculatus* juvenile [J]. *Marine Sciences*, 2010, **34**(11): 18-22. [王树

- 启, 徐树德, 吴清洋, 等. 黄斑蓝子鱼幼鱼对蛋白质和脂肪适宜需要量的研究 [J]. 海洋科学, 2010, **34**(11): 18-22.]
- [15] Zhang W B, Xie X J, Fu S J, *et al.* The nutrition of *Silurus meridionalis*: optimum dietary protein level [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, **24**(6): 603-609. [张文兵, 谢小军, 付世建, 等. 南方鲇的营养学研究: 饲料的最适蛋白质含量 [J]. 水生生物学报, 2000, **24**(6): 603-609.]
- [16] Zhu Z Z, Sun H R, Wang T, *et al.* Effect of different protein and lipid contents on the growth performance and digestive enzyme activity of *Cichlasoma managuense* [J]. *Feed Industry*, 2015, **36**(22): 24-28. [朱泽州, 孙浩然, 王涛, 等. 饲料中不同蛋白质、脂肪含量对淡水石斑鱼生长性能及消化酶活性的影响 [J]. 饲料工业, 2015, **36**(22): 24-28.]
- [17] Musuka C G, Likongwe J S, Kang Òmbe J, *et al.* The effect of dietary protein and water temperatures on performance of *T. rendalli* juveniles reared in indoor tanks [J]. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2009, **8**(10): 1526-1531.
- [18] Cho C Y, Kaushik S J. Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *World Review of Nutrition and Dieteticst*, 1990, (61): 132-172.
- [19] Fu S J, Xie X J, Zhang W B, *et al.* The untrition of *Silurus meridionalis*: III. protein-sparing effect of dietary lipid [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2001, **25**(1): 70-75. [付世建, 谢小军, 张文兵, 等. 南方鲇的营养学研究: III. 饲料脂肪对蛋白质的节约效应 [J]. 水生生物学报, 2001, **25**(1): 70-75.]
- [20] López L M, Torres A L, Durazo E, *et al.* Effects of lipid on growth and feed utilization of white seabass (*Atractoscion nobilis*) fingerlings [J]. *Aquaculture*, 2006, **253**(1-4): 557-563.
- [21] Kikuchi K, Furuta T, Iwata N, *et al.* Effect of dietary lipid levels on the growth, feed utilization, body composition and blood characteristics of tiger puffer *Takifugu rubripes* [J]. *Aquaculture*, 2009, **298**(1-2): 111-117.
- [22] Xu G F, Liu Y, Hao Q R, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels on growth and amino acids in muscle of juvenile lenok, *Brachymystax lenok* (Pallas) [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, **23**(6): 1311-1319. [徐革锋, 刘洋, 郝其睿, 等. 不同蛋白质和脂肪水平对细鳞鲑幼鱼生长和肌肉氨基酸含量的影响 [J]. 中国水产科学, 2016, **23**(6): 1311-1319.]
- [23] Dominique P B, Katheline H, Andrew M H. The Effect of dietary lipid and long-chain n-3 PUFA levels on growth, energy utilization, carcass quality, and immune function of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2008, **39**(1): 1-21.
- [24] Du Z Y, Liu Y J, Tian L X, *et al.* Effect of dietary lipid level on growth, feed utilization and body composition by juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2005, **11**(2): 139-146.
- [25] Peres H, Oliva T A. Effect of dietary lipid level on growth performance and feed utilization by European sea bass juveniles (*Dicentrarchus labrax*) [J]. *Aquaculture*, 1999, **179**(1): 325-334.
- [26] Allan G L, Johnson R J, Booth M A, *et al.* Estimating digestible protein requirements of silver perch, *Bidyanus bidyanus* Mitchell [J]. *Aquaculture Research*, 2001, **32**(5): 337-347.
- [27] Ye W J, Han D, Zhu X M, *et al.* Effect of dietary protein level on growth and feed utilization of juvenile *Misgurnus anguillicaudatus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, **38**(3): 571-575. [叶文娟, 韩冬, 朱晓鸣, 等. 饲料蛋白水平对泥鳅幼鱼生长和饲料利用的影响 [J]. 水生生物学报, 2014, **38**(3): 571-575.]
- [28] Wang C M, Luo L, Zhang G Z, *et al.* Effects of dietary lipid levels on growth performance, intestinal digestive enzyme activities and lipid metabolism of Chinese sucker (*Myxocyprinus asiaticus*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2010, **22**(4): 969-976. [王朝明, 罗莉, 张桂众, 等. 饲料脂肪水平对胭脂鱼生长性能、肠道消化酶活性和脂肪代谢的影响 [J]. 动物营养学报, 2010, **22**(4): 969-976.]
- [29] 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 allogengogynetic gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) CAS III [J]. *Aquaculture*, 2015, (446): 290-297.
- [30] Sun H C, Xu J M, Pang M. Effects of dietary protein levels on digestive enzyme activities of yellow catfish *Pelteobagrus vachelli* [J]. *Journal of Hydroecology*, 2010, **3**(2): 84-88.
- [31] Lü 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. [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.]
- [32] Sang Y M, Yang Y, Yin H, *et al.* Effects of dietary protein levels on growth performance, body composition, liver biochemical indices, and digestive enzyme activities of juvenile Chinese crucian carp [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, **42**(4): 736-743. [桑永明, 杨瑶, 尹航, 等. 饲料蛋白水平对方正银鲫幼鱼生长、体成分、肝脏生化指标和肠道消化酶活性的影响 [J]. 水生生物学报, 2018, **42**(4): 736-743.]
- [33] Das K M, Tripathi S D. Studies on the digestive enzymes of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Val.) [J]. *Agricultural*, 1991, **92**(1): 21-32.
- [34] Sun R J. Effects of dietary level, lipid level and feeding frequency on the growth and feed utilization of juvenile large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R. [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012, 1-73. [孙瑞健. 饲

- 料蛋白质、脂肪水平与投喂频率对大黄鱼幼鱼生长和饲料利用的影响 [D]. 青岛: 中国海洋大学. 2012, 1-73.]
- [35] Chen H Q, Yang W G. The effect of hunger on certain blood indicators [J]. *Journal of Aquaculture*, 2002, (5): 32-33. [陈惠群, 杨文鸽. 饥饿对鳊鲈某些血液指标的影响 [J]. 水产养殖, 2002, (5): 32-33.]
- [36] Chen Q T, Hu B, Zhang J N. Application of RNA/DNA ratio in aquatic animal research [J]. *Feed Industry*, 2008, 29(2): 30-31. [陈庆堂, 胡兵, 张蕉南. RNA/DNA比值在水产动物研究中的应用 [J]. 饲料工业, 2008, 29(2): 30-31.]
- [37] Shi Y, Leng X J, Li X Q, *et al.* Effect of dietary protein levels on growth performance, whole body composition and intestinal digestive enzyme activities of *Cichlasoma* sp. juvenile [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33(5): 874-880. [石英, 冷向军, 李小勤, 等. 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 [J]. 水生生物学报, 2009, 33(5): 874-880.]
- [38] Huang C H, Xiao D Y, Hu Y, *et al.* Indicators construction for excessive lipid accumulation in hepatopancreas of grass carp based on hepatopancreas lipid [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2016, 39(4): 640-649. [黄春红, 肖调义, 胡毅, 等. 基于肝脂的草鱼肝脂过量蓄积评价指标构建 [J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(4): 640-649.]
- [39] Chen J M, Shen B Q, Pan Q, *et al.* Effects of dietary protein and lipid on growth performance and body composition of advanced fingerling black carp (*Mylopharyngodon piceus*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, 38(4): 699-705. [陈建明, 沈斌乾, 潘茜, 等. 饲料蛋白和脂肪水平对青鱼大规模鱼种生长和体组成的影响 [J]. 水生生物学报, 2014, 38(4): 699-705.]
- [40] Lin D, Mao Y Q, Cai F S. Nutritional lipid liver disease of grass carp *Ctenopharyngodon idellus* (C. et V.) [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1990, 8(4): 363-373.

A STUDY ON THE PROPER PROTEIN AND LIPID LEVELS IN THE DIET OF *SALMO TRUTTA* JUVENILES

GAO Bo-Wei^{1,2,3}, YANG Hang¹, HE Ming¹, XU Zhen¹, LIANG Gao-Yang¹, LI Xiao-Qin^{1,2,3} and LENG Xiang-Jun^{1,2,3}

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Centre for Research on Environmental Ecology and Fish Nutrition (CREEFN) of the Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: This study was conducted to evaluate the effects of dietary protein and lipid levels on the growth performance, body composition, liver biochemical index and intestinal enzyme activity of juvenile brown trout. The experiment used a 3×2 two-factor design with protein levels of 42%, 46%, and 50% (P42, P46, and P50) and lipid levels of 12% and 16% (L12, and L16). Brown trout with an average initial weight of (2.80±0.10) g were randomly distributed into six groups with three fish per group and fed with one of the six diets for 56d. The results indicated that the P46L12 group had the highest weight gain (110.34%) and the lowest feed coefficient ratio (1.30), while the P50L16 group showed the lowest growth. There was no significant difference in the viscerosomatic index among all groups ($P>0.05$). The hepatosomatic index decreased with increasing dietary protein and fat levels. With the increase of dietary protein levels, the protein retention and lipid retention first increased and then decreased. Dietary lipid levels significantly affected the activity of intestinal protease, pepsin and gastric amylase activity ($P<0.05$), while dietary protein levels only affected pepsin activity ($P<0.05$). The P46L12 group had the highest protease and amylase activities in the stomach and intestine among those of all groups. At the same fat level, glutamic-pyruvic transaminase (GPT) activity and total cholesterol (TC) and triglyceride (TG) contents first increased and then decreased with increasing dietary protein levels. The above results indicated that the proper levels of crude protein and crude lipid in the diet of juvenile brown trout were 46% and 12%, respectively.

Key words: *Salmo trutta*; Growth performance; Feed utilization; Digestive enzymes; Protein requirement; Lipid requirement