

文章编号: 1674 - 5566(2012)02 - 0225 - 08

## 不同蛋白质和能量水平对建鲤幼鱼生长性能、体组成和消化酶活性的影响

李贵锋, 蒋广震, 刘文斌, 李向飞, 蒋阳阳, 邵仙萍

(南京农业大学 江苏省水产动物营养与饲料重点实验室, 江苏 南京 210095)

**摘要:** 探讨了饲料中不同蛋白质和能量水平对建鲤幼鱼生长性能、体组成和消化酶活性的影响。其中, 蛋白质(CP)的4个水平分别为26%、30%、33%和36%, 可消化能(DE)的两个水平分别为13.5 MJ/kg和14.5 MJ/kg。选用建鲤幼鱼960尾随机分为8组, 每组4个重复, 每个重复30尾, 养殖在规格为3.0 m × 1.0 m × 0.8 m的水箱中, 每日投喂3次, 试验期为8周。结果表明: 增重率和特定生长率随蛋白质水平的升高呈升高趋势, 但差异不显著( $P > 0.05$ ); 增重率、特定生长率和饲料系数随能量水平的升高显著改善( $P < 0.05$ ); 其中, CP36DE14.5组和CP33DE14.5组的增重率和特定生长率显著高于CP26DE13.5组、CP30DE13.5组和CP33DE13.5组( $P < 0.05$ ), 但与其他组间差异不显著( $P > 0.05$ ); 蛋白质效率和氮保留率随蛋白质水平的升高显著下降( $P < 0.01$ ); 此外, 氮保留率随能量水平的升高显著升高( $P < 0.05$ ); 摄食率、肝体比和全鱼脂肪含量随蛋白质水平的升高显著下降( $P < 0.05$ ), 而水分则表现出相反的趋势( $P < 0.05$ ); 肠道蛋白酶活性随饲料蛋白质水平的升高显著升高( $P < 0.05$ ), 而脂肪酶和淀粉酶活性受饲料组成的影响则不显著( $P > 0.05$ )。由此可见, 蛋白质水平为33%, 能量水平为14.5 MJ/kg时, 建鲤幼鱼有较好的生长性能和饲料系数; 建鲤幼鱼能对无氮浸出物有很好的利用效果, 并对蛋白质有一定的节约效应。

**研究亮点:** 本实验首次采用正交设计研究了不同蛋白质、能量水平及其交互作用对建鲤幼鱼生长性能、体组成和肠道消化酶活性的影响, 探讨了不同能量水平下建鲤幼鱼的适宜蛋白质需求量。此外, 饲料的能量水平是由无氮浸出物的含量调节的, 因此也就间接考察了建鲤幼鱼对无氮浸出物的利用能力以及其对蛋白质的节约作用。本试验采用的是应用型饲料, 更贴近实际生产, 可以为建鲤饲料的科学配置提供基础数据和理论依据。  
**关键词:** 建鲤; 能量; 蛋白质; 生长性能; 体组成; 消化酶活性

**中图分类号:** S 963.1

**文献标志码:** A

建鲤(*Cyprinus carpio* var. *jian*)是以特定的荷包红鲤和沅江鲤为亲本, 采用家鱼选育、系间杂交及染色体组工程(雌核发育)等综合育种的新工艺, 经六代定向选育而成的良种, 是我国主要的鲤养殖品种之一<sup>[1-2]</sup>。目前, 鲤的适宜蛋白质需求量已有报道, 但研究结果存在较大差异。例如, OGINO和SAITO<sup>[3]</sup>认为鲤仔鱼的适宜蛋白质需求量为38%, 而ERKHARDT等<sup>[4]</sup>的研究却表明鲤的适宜蛋白质需求量为40%~42%, LIU等<sup>[5]</sup>则认为当饲料可消化能水平为14.4 MJ/kg

时, 建鲤的适宜蛋白质需要量为34.1%。鲤的适宜能量需求量和氮能比已有部分报道, 但研究结果不一。比如, TOSHIO等<sup>[6]</sup>的研究表明鲤幼鱼的适宜可消化能水平为12.1 MJ/kg, 并由此确定鲤的适宜氮能比为2.06~2.46; 而TAKESHI等<sup>[7]</sup>的研究则表明, 当饲料蛋白质水平从40%下降到30%时, 适当提高饲料的能量水平对鲤的增重率和饲料效率均无显著影响, 与KESHAVANATH等<sup>[8]</sup>的研究结果类似。由此可见, 饲料的能量和蛋白质间存在较为密切的关系, 要准确确定鱼类的适

收稿日期: 2011-09-19

修回日期: 2011-10-18

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项(cars-49-20)

作者简介: 李贵锋(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: 2009105055@njau.edu.cn

通讯作者: 刘文斌, E-mail: wbliu@njau.edu.cn

宜蛋白质需要量,就要先研究出其适宜的能量水平。

大量研究表明,鱼类(尤其是肉食性鱼类)可以利用脂肪节约蛋白质<sup>[9]</sup>。然而,与糖类相比,脂肪价格较为昂贵、来源有限,且较高的脂肪水平也不利于饲料的加工和贮存<sup>[10-11]</sup>。与肉食性鱼类相比,杂食性和草食性鱼类对糖类的耐受量和利用率相对较高<sup>[11]</sup>,通过调节无氮浸出物的含量来升高饲料的可消化能水平不仅可以降低蛋白质的添加量、降低饲料成本、还有利于饲料的制粒和保存<sup>[12]</sup>。考虑到以上因素,本试验固定了饲料的脂肪水平,通过改变无氮浸出物的含量来调节饲料的能量水平,并在此条件下研究建鲤的适宜蛋白质的需要量,以期为其饲料的科学配置提供基础数据和理论参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计与饲料配方

本试验采用正交设计中的“4×2 因子设计”,以饲料蛋白质和能量水平为影响因素。其中,蛋白质(CP)的 4 个水平分别为 26%、30%、33% 和 36%,能量(DE)的两个水平为 13.5 MJ/kg 和 14.5 MJ/kg,共 8 组试验饲料。

试验饲料以鱼粉(秘鲁进口鱼粉)为动物蛋白源,豆粕、棉粕和菜粕 3 种植物蛋白源(主要原料全部购置于江苏省淮安正昌饲料有限公司)以 3:1.25:1 的比例添加来调节饲料的蛋白质水平。以混合油(豆油:鱼油=1:1)为脂肪源,并将饲料的脂肪水平固定在 6% 左右。以次粉和麦麸为糖源,辅助调节无氮浸出物(nitrogen-free extract)的含量。以 α-淀粉为粘结剂,以微晶纤维素为填充物。饲料原料粉碎过 80 目筛,称重后将各原料逐级混合均匀,再加入一定量的水充分混匀后用小型颗粒机(购置于江苏牧羊有限公司,型号为 MUZL)加工成粒径为 2 mm 的颗粒饲料,常温风干后置于 4℃ 冰箱保存备用。饲料组成及营养成分见表 1,无氮浸出物的计算公式为:

$$N_{FE} = 100 - (W + P + L + A + F) \quad (1)$$

式中: $N_{FE}$ 为无氮浸出物(%); $W$ 为水分(%); $P$ 为粗蛋白质(%); $L$ 为粗脂肪(%); $A$ 为无氮浸出物(%); $F$ 为粗纤维(%)。

### 1.2 试验用鱼与饲养管理

试验鱼购于中国水产科学院淡水渔业研究

中心宜兴养殖基地,养殖于江苏省淡水所南京禄口实验基地。驯化(投喂蛋白质为 30%、脂肪为 4% 的商品饲料)一周后,挑选体格健壮规格整齐,平均体重为(10.0±0.5)g 的建鲤幼鱼 960 尾,随机分成 8 组,每组 4 个重复,每个重复 30 尾。分组结束后随机选取 10 尾鱼冰冻保存以测定体组成。试验鱼养殖于 32 个玻璃纤维水族缸(规格为 3.0 m×1.0 m×0.8 m)中,每日投喂 3 次(时间分别在 8:00、12:30、17:00),养殖期为 8 周。试验期间,全天用塘水开微流水循环(1.5 L/min),并定期用聚维酮碘按使用说明进行消毒,水温为 24~30℃,pH 为 7.0~7.5,全天 24 h 充氧。

### 1.3 指标测定与方法

#### 1.3.1 生长性能统计和样品采集

养殖试验结束后将鱼饥饿 24 h 采样。统计每缸的尾数、称总重,并从中随机取出 10 尾鱼逐尾进行称重和测量体长,其中 5 尾鱼冰冻保存以测定体组成,另外 5 尾鱼称重并置于冰盘上解剖,取出内脏称重,然后分离出肝胰脏和肠道,用预冷的 0.85% 生理盐水清洗后用滤纸吸干,称取肝胰脏的重量,肠道组织取中间 1/3 处用于消化酶活性的测定。样品全部于 -20℃ 冰箱冷冻保存,待测。计算出成活率(survival rate)、增重率(weight gain rate)、特定生长率(specific growth rate)、相对摄食率(relative feed intake)、饲料系数(feed conversion ratio)、蛋白质效率(protein efficiency ratio)、肥满度(condition factor)、肝体比(hepatosomatic index)、脏体比(viscero-somatic index)和氮保留率(nitrogen retention efficiency)。

$$W_{GR} = (W_t - W_0) \times 100 / W_0 \quad (2)$$

$$S_{GR} = (\ln W_t - \ln W_0) \times 100 / t \quad (3)$$

$$R_{FI} = F \times 100 / [(W_0 + W_t) \times t / 2] \quad (4)$$

$$F_{CR} = F / (W_t - W_0) \quad (5)$$

$$P_{ER} = (W_t - W_0) \times 100 / (F \times P) \quad (6)$$

$$N_{RE} = (W_t \times P_t - W_0 \times P_0) \times 100 / (F \times P) \quad (7)$$

$$C_F = W \times 100 / L^3 \quad (8)$$

$$H_{SI} = W_h \times 100 / W \quad (9)$$

$$V_{SI} = W_v \times 100 / W \quad (10)$$

$$S_R = N_t \times 100 / N_0 \quad (11)$$

式中: $W_{GR}$ 为增重率(%); $S_{GR}$ 为特定生长率(%/d); $R_{FI}$ 为相对摄食率(%/d); $F_{CR}$ 为饲料系数; $P_{ER}$ 为蛋白质效率; $N_{RE}$ 为氮保留率(%); $C_F$ 为肥

满度; $H_{SI}$ 为肝体比(%); $V_{SI}$ 为脏体比(%); $S_R$ 为成活率(%); $W_0$ 为鱼体初重(g); $W_t$ 为鱼体末重(g); $W$ 为鱼体重(g); $W_h$ 为鱼肝脏重(g); $W_v$ 为鱼内脏重(g); $L$ 为鱼体全长(cm); $N_t$ 为实验结

束时总尾数; $N_0$ 为实验开始时总尾数; $F$ 为摄食量(g); $P_0$ 为试验开始时鱼体粗蛋白含量(%); $P_t$ 为实验结束时鱼体粗蛋白含量(%); $P$ 为饲料中粗蛋白含量(%); $t$ 为饲养天数(d)。

表 1 饲料配方组成和营养成分

Tab. 1 Ingredients and proximate composition of the experimental diets

原料	DE <sup>1</sup> (14.5 MJ/kg)				DE (13.5 MJ/kg)			
	CP26	CP30	CP33	CP36	CP26	CP30	CP33	CP36
鱼粉	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
豆粕	16.48	23.11	29.75	36.50	15.00	20.88	27.47	34.13
菜粕	6.86	9.66	12.37	15.11	6.20	8.67	11.47	14.14
棉粕	5.45	7.68	9.84	12.20	4.84	6.94	9.13	11.32
麦麸	12.23	9.79	6.96	2.00	10.42	8.53	5.03	2.80
次粉	27.53	18.34	9.56	2.57	39.40	30.69	22.53	13.12
混合油	3.74	3.83	3.93	4.02	3.55	3.69	3.78	3.90
磷酸二氢钙	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
食盐	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
预混料 <sup>2</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$\alpha$ -淀粉	10.00	10.00	10.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
微晶纤维素	8.00	8.00	8.00	8.00	1.00	1.00	1.00	1.00
概略养分组成 (% 干物质)								
干物质 DM	90.10	89.65	89.45	90.16	90.19	89.98	90.41	90.50
粗蛋白 CP	26.15	29.10	33.14	36.07	26.03	30.04	33.07	36.15
粗脂肪	6.77	6.63	6.52	6.55	6.68	6.64	6.57	6.61
粗纤维	13.69	13.60	13.13	13.27	6.74	6.70	6.42	6.50
粗灰分	7.37	7.65	8.04	8.32	7.54	7.86	8.18	8.50
无氮浸出物 NFE	46.02	43.01	39.17	35.78	53.01	48.76	45.76	42.24
总能 GE (MJ/kg)	17.24	17.13	17.21	17.27	17.33	17.28	17.35	17.44
可消化能 DE (MJ/kg)	13.38	13.39	13.46	13.47	14.35	14.39	14.43	14.45
蛋能比 CP/DE	1.95	2.17	2.46	2.68	1.81	2.09	2.29	2.50

注:1. 可消化能 DE 采用蛋白质 16.74 MJ/kg, 脂肪 33.47 MJ/kg, 无氮浸出物 14.64 MJ/kg 来计算<sup>[13]</sup>。

2. 预混料为饲料提供以下矿物质(g/kg)和维生素(IU 或者 mg/kg): CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O, 2.0 g; FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 25 g; ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 22 g; MnSO<sub>4</sub> · 4H<sub>2</sub>O, 7 g; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, 0.04 g; KI, 0.026 g; CoCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, 0.1 g; VA, 900 000 IU; VD, 200 000 IU; VE, 4 500 mg; VK<sub>3</sub>, 220 mg; VB<sub>1</sub>, 320 mg; VB<sub>2</sub>, 1 090 mg; VB<sub>5</sub>, 2 000 mg; VB<sub>6</sub>, 500 mg; VB<sub>12</sub>, 1.6 mg; VC, 5 000 mg; 泛酸, 1 000 mg; 叶酸, 165 mg; 胆碱, 60 000 mg。

### 1.3.2 样品测定

全鱼的水分、粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量按照 AOAC<sup>[14]</sup> 中的方法测定。

组织匀浆液的制备及酶活性的测定:将肠道组织准确称重,以 1:9(肠道:蒸馏水)的比例加入预冷的蒸馏水后冰浴匀浆,然后于 3 000 r/min 离心 10 min,取上清液于 -20 °C 保存待测。

消化酶活性的测定:总蛋白酶活性采用福林-酚(Folin-phenol)法测定<sup>[15]</sup>。蛋白酶活性单位定义:在 28 °C 条件下,每分钟水解酪蛋白产生相当于 1  $\mu$ g 酪氨酸所需的酶量,规定为一个酶活性单位;脂肪酶和淀粉酶活性均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒(编号为 A054 和 C016)测定,具体方法参见试剂盒说明书。脂肪酶活性单位定义:在 28 °C 条件下,每克组织蛋白在本反应体系中与底物反应 1 min,每消耗 1  $\mu$ mol 底物

为 1 个酶活性单位;淀粉酶活性单位定义:每毫克蛋白在 28 °C 与底物作用 30 min,水解 10 mg 淀粉定义为 1 个淀粉酶活性单位。

### 1.4 数据统计与分析

试验数据采用 SPSS 16.0 软件分析,以饲料蛋白质和能量水平为影响因素,先用双因素方差分析法(Two-way ANOVA)分析,之后采用 Duncan's 多重比较进行单因素统计,显著水平设定为  $P < 0.05$ 。试验结果以平均值  $\pm$  标准差( $\bar{X} \pm SD$ )表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 饲料蛋白质和能量水平对建鲤幼鱼生长性能的影响

由表 2 可见,各试验组间的成活率无显著差异( $P > 0.05$ )。末重、增重率和特定生长率随饲

料能量水平的升高显著升高 ( $P < 0.01$ ), 而饲料系数则显著下降 ( $P < 0.05$ ); 随饲料蛋白质水平的升高, 这些指标虽然表现出了类似的变化趋势, 但差异均不显著 ( $P > 0.05$ )。此外, 相对摄食

率随饲料蛋白质水平的升高显著降低 ( $P < 0.05$ ); 其随饲料能量水平的升高呈降低趋势, 但差异不显著 ( $P > 0.05$ )。就建鲤幼鱼生长性能而言, 蛋白质和能量间不存在交互作用。

表 2 不同蛋白质和能量水平对建鲤幼鱼的生长性能的影响

Tab. 2 Growth performance of juvenile Jian carp fed diets differing in protein and energy levels

组别	末重/g	增重率/%	特定增长率 (%/d)	相对摄食率 (%/d)	饲料系数	成活率/%
1(CP26DE13.5)	46.14 ± 1.45 <sup>d</sup>	325.81 ± 12.20 <sup>c</sup>	2.59 ± 0.05 <sup>c</sup>	3.94 ± 0.12 <sup>a</sup>	1.72 ± 0.07 <sup>a</sup>	90.83 ± 3.15
2(CP30DE13.5)	47.64 ± 2.31 <sup>cd</sup>	339.81 ± 21.39 <sup>bc</sup>	2.64 ± 0.08 <sup>bc</sup>	3.75 ± 0.03 <sup>ab</sup>	1.65 ± 0.02 <sup>ab</sup>	91.67 ± 2.15
3(CP33DE13.5)	49.65 ± 2.61 <sup>bcd</sup>	356.86 ± 23.67 <sup>bc</sup>	2.71 ± 0.10 <sup>bc</sup>	3.67 ± 0.01 <sup>abc</sup>	1.51 ± 0.01 <sup>ab</sup>	94.17 ± 2.10
4(CP36DE13.5)	50.75 ± 1.81 <sup>abcd</sup>	366.67 ± 16.45 <sup>abc</sup>	2.75 ± 0.06 <sup>abc</sup>	3.54 ± 0.06 <sup>bc</sup>	1.48 ± 0.05 <sup>ab</sup>	89.17 ± 4.17
5(CP26DE14.5)	50.14 ± 1.86 <sup>abcd</sup>	362.48 ± 19.98 <sup>abc</sup>	2.73 ± 0.08 <sup>abc</sup>	3.84 ± 0.08 <sup>a</sup>	1.56 ± 0.16 <sup>ab</sup>	90.83 ± 3.44
6(CP30DE14.5)	53.31 ± 2.37 <sup>abc</sup>	393.06 ± 23.40 <sup>ab</sup>	2.84 ± 0.09 <sup>ab</sup>	3.66 ± 0.09 <sup>abc</sup>	1.42 ± 0.04 <sup>b</sup>	87.50 ± 2.10
7(CP33DE14.5)	56.42 ± 1.10 <sup>ab</sup>	424.04 ± 10.81 <sup>a</sup>	2.96 ± 0.04 <sup>a</sup>	3.52 ± 0.08 <sup>bc</sup>	1.41 ± 0.05 <sup>b</sup>	94.17 ± 1.60
8(CP36DE14.5)	56.63 ± 2.39 <sup>a</sup>	426.81 ± 25.75 <sup>a</sup>	2.96 ± 0.09 <sup>a</sup>	3.45 ± 0.09 <sup>c</sup>	1.42 ± 0.09 <sup>b</sup>	88.33 ± 3.97
P 值						
蛋白质	0.055	0.060	0.067	0.010	0.055	0.303
能量	0.001	0.001	0.001	0.097	0.021	0.558
蛋白质 * 能量	0.962	0.887	0.917	0.985	0.777	0.880

注:表中同列数据后标注不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

## 2.2 饲料蛋白质和能量水平对建鲤幼鱼形体指标和蛋白质利用率的影响

由表 3 所示, 饲料蛋白质和能量水平对建鲤幼鱼的肥满度无显著影响 ( $P > 0.05$ )。脏体比、肝体比和蛋白质效率随饲料蛋白质水平的升高显著降低 ( $P < 0.05$ ), 而随着饲料能量水平的升

高有所升高, 但差异不显著 ( $P > 0.05$ )。此外, 氮保留率随饲料能量水平的升高和蛋白质水平的降低显著升高 ( $P < 0.01$ )。就建鲤幼鱼形体指标和蛋白质利用率而言, 蛋白质和能量间不存在交互作用。

表 3 不同蛋白质和能量水平对建鲤幼鱼形体指标和蛋白质利用率的影响

Tab. 3 Biometric parameters and protein utilization of juvenile Jian carp fed diets differing in protein and energy levels

组别	脏体比/%	肝体比/%	肥满度	蛋白质效率	氮保留率/%
1(CP26DE13.5)	11.31 ± 0.47 <sup>ab</sup>	2.61 ± 0.11 <sup>ab</sup>	2.91 ± 0.04	2.45 ± 0.19 <sup>abc</sup>	39.47 ± 1.97 <sup>ab</sup>
2(CP30DE13.5)	11.70 ± 0.56 <sup>a</sup>	2.37 ± 0.19 <sup>bc</sup>	2.88 ± 0.03	2.30 ± 0.03 <sup>abc</sup>	37.60 ± 1.14 <sup>bc</sup>
3(CP33DE13.5)	10.12 ± 0.24 <sup>bc</sup>	2.24 ± 0.12 <sup>bc</sup>	2.97 ± 0.08	2.24 ± 0.01 <sup>bc</sup>	37.12 ± 0.68 <sup>bc</sup>
4(CP36DE13.5)	9.90 ± 0.41 <sup>c</sup>	2.24 ± 0.12 <sup>bc</sup>	2.87 ± 0.03	2.07 ± 0.07 <sup>c</sup>	33.23 ± 0.78 <sup>d</sup>
5(CP26DE14.5)	10.55 ± 0.36 <sup>abc</sup>	2.82 ± 0.14 <sup>a</sup>	2.92 ± 0.02	2.66 ± 0.19 <sup>a</sup>	42.58 ± 0.89 <sup>a</sup>
6(CP30DE14.5)	11.24 ± 0.26 <sup>ab</sup>	2.52 ± 0.12 <sup>abc</sup>	2.96 ± 0.02	2.54 ± 0.08 <sup>ab</sup>	40.20 ± 0.98 <sup>ab</sup>
7(CP33DE14.5)	9.83 ± 0.39 <sup>c</sup>	2.56 ± 0.13 <sup>abc</sup>	2.93 ± 0.05	2.29 ± 0.08 <sup>abc</sup>	37.62 ± 1.25 <sup>bc</sup>
8(CP36DE14.5)	10.34 ± 0.39 <sup>bc</sup>	2.16 ± 0.13 <sup>c</sup>	2.93 ± 0.02	2.13 ± 0.14 <sup>c</sup>	34.73 ± 0.72 <sup>cd</sup>
P 值					
蛋白质	0.003	0.010	0.705	0.007	0
能量	0.349	0.134	0.350	0.115	0.032
蛋白质 * 能量	0.493	0.520	0.469	0.820	0.703

注:表中同列数据后标注不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

## 2.3 饲料蛋白质和能量水平对建鲤幼鱼全鱼组成的影响

全鱼的组成如表 4 所示。同一能量水平下,

全鱼中脂肪含量随着蛋白质水平升高而显著升高 ( $P < 0.05$ ), 而水分的含量呈相反趋势 ( $P < 0.05$ )。同一蛋白质水平下, 全鱼水分、灰分、蛋

蛋白质和脂肪含量受能量水平的影响均不显著 ( $P > 0.05$ )。此外,就建鲤幼鱼体组成而言,蛋白质和能量间不存在交互作用。

表 4 不同蛋白质和能量水平对建鲤幼鱼全鱼组成的影响

Tab. 4 Whole-body composition of juvenile Jian carp fed diets differing in protein and energy levels

组别	水分/%	粗灰分/%	粗蛋白/%	粗脂肪/%
初样	78.66 ± 0.35	2.44 ± 0.40	14.36 ± 0.73	4.03 ± 0.30
1(CP26DE13.5)	70.93 ± 0.67 <sup>b</sup>	2.48 ± 0.28	15.92 ± 0.45	8.18 ± 0.72 <sup>ab</sup>
2(CP30DE13.5)	72.79 ± 0.56 <sup>a</sup>	2.34 ± 0.02	15.80 ± 0.19	7.10 ± 0.62 <sup>bc</sup>
3(CP33DE13.5)	72.97 ± 0.50 <sup>a</sup>	2.26 ± 0.02	15.94 ± 0.13	6.70 ± 0.19 <sup>c</sup>
4(CP36DE13.5)	73.15 ± 0.27 <sup>a</sup>	2.51 ± 0.29	16.04 ± 0.20	6.61 ± 0.16 <sup>c</sup>
5(CP26DE14.5)	70.89 ± 0.20 <sup>b</sup>	2.40 ± 0.08	15.72 ± 0.26	8.68 ± 0.27 <sup>a</sup>
6(CP30DE14.5)	72.99 ± 0.40 <sup>a</sup>	2.77 ± 0.13	15.68 ± 0.37	7.33 ± 0.18 <sup>bc</sup>
7(CP33DE14.5)	73.62 ± 0.33 <sup>a</sup>	2.49 ± 0.17	15.89 ± 0.22	6.55 ± 0.48 <sup>c</sup>
8(CP36DE14.5)	73.63 ± 0.62 <sup>a</sup>	2.23 ± 0.05	15.85 ± 0.31	6.77 ± 0.53 <sup>c</sup>
P 值				
蛋白质	0	0.675	0.878	0.002
能量	0.326	0.510	0.476	0.557
蛋白质 * 能量	0.868	0.201	0.988	0.894

注:表中同列数据后标注不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

#### 2.4 饲料蛋白质和能量水平对建鲤幼鱼肠道消化酶活性的影响

建鲤幼鱼肠道消化酶活性如表 5 所示。肠道蛋白酶活性随着饲料蛋白质水平的升高显著升高 ( $P < 0.05$ ), 而能量水平对其无显著影响

( $P > 0.05$ )。饲料蛋白质和能量水平对肠道脂肪酶和淀粉酶活性均无显著影响 ( $P > 0.05$ ), 但淀粉酶活性随着饲料蛋白质水平的升高呈下降趋势。就肠道消化酶活性而言, 蛋白质和能量间不存在交互作用。

表 5 不同蛋白质和能量水平对建鲤幼鱼肠道消化酶活性的影响

Tab. 5 Intestine digestive enzyme activities of juvenile Jian carp fed diets differing in protein and energy levels

组别	蛋白酶/(U/g)	淀粉酶/(U/g)	脂肪酶/(U/g)
1(CP26DE13.5)	46.11 ± 2.98 <sup>b</sup>	164.70 ± 30.58	41.04 ± 3.61 <sup>a</sup>
2(CP30DE13.5)	48.84 ± 2.10 <sup>ab</sup>	169.75 ± 28.30	39.62 ± 3.29 <sup>a</sup>
3(CP33DE13.5)	54.06 ± 2.01 <sup>ab</sup>	140.74 ± 14.39	38.68 ± 2.66 <sup>a</sup>
4(CP36DE13.5)	53.42 ± 1.89 <sup>ab</sup>	139.11 ± 7.54	41.11 ± 2.48 <sup>a</sup>
5(CP26DE14.5)	46.84 ± 3.27 <sup>ab</sup>	175.77 ± 24.45	40.87 ± 2.95 <sup>a</sup>
6(CP30DE14.5)	49.60 ± 3.36 <sup>ab</sup>	173.07 ± 27.67	41.36 ± 2.35 <sup>a</sup>
7(CP33DE14.5)	55.86 ± 2.74 <sup>a</sup>	152.77 ± 19.35	40.42 ± 2.02 <sup>a</sup>
8(CP36DE14.5)	56.16 ± 2.56 <sup>a</sup>	157.22 ± 13.15	38.10 ± 2.81 <sup>a</sup>
P 值			
蛋白质	0.017	0.488	0.947
能量	0.454	0.461	0.971
蛋白质 * 能量	0.980	0.987	0.812

注:表中同列数据后标注不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

### 3 讨论

从本试验结果来看,在同一能量水平下,建鲤幼鱼的增重率和特定生长率随着饲料中蛋白质水平的升高呈升高趋势,这可能是因为本试验选取的蛋白质水平在建鲤幼鱼的适宜需求范围之内。经比较可知,CP36DE14.5 组和

CP33DE14.5 组均具有较好的增重率和饲料系数,而 CP33DE14.5 组的饲料系数最低,因此初步估计满足鲤幼鱼生长需要的饲料蛋白质水平至少为 33%,这与 NRC<sup>[12]</sup> 推荐的鲤鱼蛋白需要量为 31% ~ 38% 相符合。MURAI 等<sup>[16]</sup> 通过蛋白质和脂肪水平双因素的试验设计得出鲤鱼的适宜蛋白质需要量为 30% ~ 35%,LIU 等<sup>[5]</sup> 用折线法

得出建鲤的适宜蛋白质需要量为 34.1%, 均与本试验结果相近。本试验中, 在同一蛋白质水平下, 建鲤幼鱼的增重率和特定生长率随饲料能量水平的升高显著升高, 这可能是由于本试验选取的能量水平在建鲤幼鱼的适宜需求范围之内。大量研究表明, 在适宜能量范围内, 鱼类的生长速度和饲料能量存在正相关性<sup>[7, 17-18]</sup>。同时, 这也表明建鲤幼鱼的适宜可消化能量水平可能在 14.5 MJ/kg 之上。此外, 在同一能量水平下, 随着蛋白质水平的降低, 建鲤幼鱼的相对摄食率逐渐增大。分析原因, 可能是因为饲料蛋白质水平较低时, 未能满足建鲤幼鱼的生长需要, 其通过提高摄食率来增加蛋白质的摄入量从而满足自身的需要<sup>[19]</sup>。

虽然大量研究已证明脂肪是鱼类的主要非蛋白质能量, 但无氮浸出物对蛋白质的节约作用也已在多种鱼类上得到证明(尤其是杂食性鱼类)<sup>[11]</sup>, 例如尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)<sup>[20]</sup>和鲮鱼(*Labeo rohita*)<sup>[21]</sup>。同样, KESHAVANATH 等<sup>[8]</sup>的研究也表明, 在池塘养殖模式下, 适当提高饲料的无氮浸出物含量同时降低蛋白质水平对鲤鱼的增重率和饲料系数均无显著影响。在本试验中, CP26DE14.5 组的增重率与 CP36DE13.5 组相当, 而 CP26DE14.5 组的蛋白质效率和氮保留率均显著高于 CP36DE13.5 组。这表明, 建鲤幼鱼对无氮浸出物有着较强的利用能力, 适当提高饲料中的无氮浸出物含量同时降低蛋白质的添加量不会影响建鲤幼鱼的生长速度, 同时还可以提高建鲤幼鱼对蛋白质的利用率和保留率, 并表现出了无氮浸出物对蛋白质的节约效应。这种节约作用的机理可能在于提高无氮浸出物的含量后, 饲料的非蛋白能量水平升高, 降低了建鲤幼鱼对蛋白质的分解供能<sup>[19]</sup>, 减少了肝脏的脱氨基作用, 进而减轻了鱼体的代谢负担<sup>[10]</sup>。

本试验中, 在同一蛋白质水平下建鲤的肝体比和脏体比随着饲料能量水平升高有所升高, 但差异不显著, 这表明试验饲料中无氮浸出物的添加量均在建鲤的耐受范围内, 并未导致肝脏的显著增大和内脏器官相对质量的显著改变。相似的结果见于对虹鳟(*Salmo gairdneri*)<sup>[22]</sup>的研究, 这可能是因为虹鳟为肉食性鱼类, 对糖类的利用率较低, 过高的饲料糖导致了脂肪和肝糖原的大

量沉积, 进而导致了肝体比和脏体比的升高。在同一能量水平下, 饲料的蛋白质水平对建鲤的肝体比和脏体比均有显著影响, 可能是随着蛋白质水平的升高, 无氮浸出物的添加量减小, 这与石首鱼(*Bidyanus bidyanus*)<sup>[23]</sup>的研究结果相似。造成此结果的另一原因可能是饲料中蛋能比的减小, 类似结果见于对团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)<sup>[24]</sup>、大西洋鳕鱼(*Gadus morhua*)<sup>[25]</sup>和非洲鲶鱼(*Clarias gariepinus*)<sup>[26]</sup>的研究。此外, 随着饲料蛋白质水平的升高全鱼水分含量显著升高而脂肪含量则显著降低, 这可能是随着饲料蛋能比的降低, 过量的能量被转化为脂肪并沉积在鱼体内。

本试验中, 建鲤幼鱼的肠道蛋白酶活性随饲料蛋白质水平的升高显著升高。分析原因, 可能是因为随着饲料蛋白质水平的增加, 肠道蛋白酶与底物接触的面积增加, 进而提高了其活性<sup>[27]</sup>。类似结果见于对南亚野鲮(*Labeo rohita*)<sup>[26]</sup>和翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis bleeker*)<sup>[28]</sup>等的研究。然而, 当蛋白质水平最高时, 建鲤幼鱼的肠道蛋白酶活性有所下降, 从侧面印证了 33% 蛋白质水平可能更适合建鲤幼鱼的需要。此外, 随着饲料蛋白质水平的降低, 肠道淀粉酶活性呈升高趋势, 原因可能在于试验饲料的蛋白质水平是通过无氮浸出物来调节的, 随着蛋白质水平的降低饲料中无氮浸出物的含量在逐步升高, 使得淀粉酶与其底物的接触面积增加, 体现了消化酶对饲料的适应性, 类似结果见于对黑鲷(*Sparus macrocephalus*)<sup>[29]</sup>的研究。

综上所述, 在蛋白质水平为 33%, 能量水平为 14.3 MJ/kg 时, 建鲤幼鱼有着较好的生长性能、饲料系数和蛋白质效率; 另外, 建鲤幼鱼对无氮浸出物有较好的利用率, 适当增加饲料中的无氮浸出物含量可以降低蛋白质的用量并提高建鲤幼鱼对蛋白质的利用率。

#### 参考文献:

- [1] SUN X Y, ZHANG J S, SHI Y, et al. Studies on the genetic characteristic of Jian carp (*Cyprinus carpio* var Jian) in China [J]. *Aquaculture*, 1995, 137(1/4): 276-277.
- [2] 贝念湘, 李峰. 建鲤生理生化血液流变学常值研究[J]. *上海水产大学学报*, 1996, 5(1): 43-47.
- [3] OGINO C, SAITO K. Protein nutrition in fish; The utilization of dietary protein by young carp [J]. *Bulletin of the Japanese*

- Society of Scientific Fisheries, 1970,38(3): 250-254.
- [4] ERKHARDT O, BECKER K, GUNTHER K D, et al. Protein and energy requirements of growing carp (*Cyprinus carpio* L.) II. Effect of additional fat in rations of various protein and carbohydrate content on growth and body composition [J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 1982,47(4): 186-96.
- [5] LIU Y, FENG L, JIANG J, et al. Effects of dietary protein levels on the growth performance, digestive capacity and amino acid metabolism of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) [J]. Aquaculture Research, 2009, 40 (9): 1073-1082.
- [6] TOSHIO T, TAKESHI W, OGINO C. Optimum ratio of dietary energy to protein for carp [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1979,45(8): 983-987.
- [7] TAKESHI W, TOSHIO T, SHUICHI S, et al. Development of low protein-high energy diets for practical carp culture with special reference to reduction of total nitrogen excretion [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1987,53(8): 1413-1423.
- [8] KESHAVANATH P, MANJAPPA K, GANGADHARA B. Evaluation of carbohydrate rich diets through common carp culture in manured tanks [J]. Aquaculture Nutrition, 2002,8(3): 169-174.
- [9] WATANABE T. Strategies for further development of aquatic feeds [J]. Fisheries Science, 2002,68(2): 242-252.
- [10] JAUNCEY K. The effects of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body composition of juvenile tilapia (*Sarotherodon mossambicus*) [J]. Aquaculture, 1982,27(1): 43-54.
- [11] WILSON R P. Utilization of dietary carbohydrate by fish [J]. Aquaculture, 1994,124(1/4): 67-80.
- [12] NRC. Nutrient requirements of fish [M]. Washington D C: National Academy Press, 1993: 16,128.
- [13] OGINO C, CHIOU J Y, TAKEUCHI T. Protein nutrition in fish: Effects of dietary energy sources on the utilization of dietary proteins by rainbow trout and carp [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1976,42(2): 213-218.
- [14] AOAC. Official methods of analysis [M]. 15th ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 2001: 98,450,606,589.
- [15] LOWRY O H, ROSEBROUGH N J, FARR A L, et al. Protein measurement with the Folin-phenol reagent [J]. The Journal of Biological Chemistry, 1951,193(1): 265-275.
- [16] MURAI T, AKIYAMA T, TAKEUCHI T, et al. Effects of dietary protein and lipid levels on performance and carcass composition of fingerling carp [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1985,51(4): 605-608.
- [17] ALI M Z, JAUNCEY K. Approaches to optimizing dietary protein to energy ratio for African catfish *Clarias gariepinus* [J]. Aquaculture Nutrition, 2005,11(2): 95-101.
- [18] SHI S Y, LIN Y H. Carbohydrate utilization and its protein-sparing effect in diets for grouper (*Epinephelus malabaricus*) [J]. Animal Science, 2001,73(1): 299-304.
- [19] HEPHER B. Nutrition of pond Fishes [M]. Cambridge: Cambridge University press, 1988: 388.
- [20] ALI A, AL-ASGAH N A, AL-OGAILY S M, et al. Effect of feeding different carbohydrate to lipid ratios on the growth performance and body composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings [J]. Asian Fisheries Science, 2001,50(1): 91-100.
- [21] ERFANULLAH, JAFRI A K. Protein-sparing effect of dietary carbohydrate in diets for fingerling Labeo rohita [J]. Aquaculture, 1995,136(3/4): 331-339.
- [22] HILTON J W, ATKINSON J L. Response of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to increased levels of available carbohydrate in practical trout diets [J]. British Journal of Nutrition, 1982,47(3): 597-607.
- [23] YANG S D, LIOU C H, LIU F G. Effects of dietary protein level on growth performance, carcass composition and ammonia excretion in juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*) [J]. Aquaculture, 2002,213(1/4): 363-372.
- [24] LI X F, LIU W B, JIANG Y Y, et al. Effects of dietary protein and lipid levels in practical diets on growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings [J]. Aquaculture, 2010,303(1/4): 65-70.
- [25] GRISDALE H B, SHEARER K D, GATLIN D M, et al. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, protein digestibility, feed utilization and body composition of Atlantic cod (*Gadus morhua*) [J]. Aquaculture, 2008,283(1/4): 156-162.
- [26] DEBNATH D, PAL A K, SAHU N P, et al. Digestive enzymes and metabolic profile of Labeo rohita fingerlings fed diets with different crude Protein levels [J]. Comparative Biochemistry and Physiology-B Biochemistry and Molecular Biology, 2007,146(1): 107-114.
- [27] GIRI S S, SAHOO S K, SAHU A K, et al. Effect of dietary protein level on growth, survival, feed utilization and body composition of hybrid Clarias catfish (*Clarias batrachus* × *Clarias gariepinus*) [J]. Animal Feed Science of Technology, 2003,104(1/4): 169-178.
- [28] 钱曦,王桂芹,周洪琪,等. 饲料蛋白水平及豆粕替代鱼粉比例对翘嘴红鲌消化酶活性的影响 [J]. 动物营养学报, 2007,19(2): 182-187.
- [29] 韩勃,宋理平. 饲料淀粉水平对淡水黑鲟生长和消化酶活性的影响 [J]. 上海海洋大学学报, 2010,19(2): 207-213.

## Effects of dietary protein and energy levels on growth performance, body composition and digestive enzyme activities of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *jian*)

LI Gui-feng, JIANG Guang-zhen, LIU Wen-bin, LI Xiang-fei, JIANG Yang-yang, SHAO Xian-ping

(Key Laboratory for Aquaculture Nutrition of Jiangsu Province, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China)

**Abstract:** The objective of this study was to evaluate the effects of dietary energy and protein levels on growth performance, body composition and digestive enzyme activities of juvenile Jian carp (average initial body weight,  $10 \pm 0.5$  g). 960 fish were randomly distributed into 32 tanks ( $3.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m} \times 0.8 \text{ m}$ ) at a density of 30 fish per tank. Fish were fed eight practical diets with two digestible energy (DE) levels (13.5 and 14.5 MJ/kg) and four crude protein (CP) levels (26%, 30%, 33% and 36%) three times daily for 8 weeks. The results indicated that weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR) increased with increasing dietary protein levels although no significant difference was observed ( $P > 0.05$ ). WGR, SGR and feed conversion ratio (FCR) improved significantly ( $P < 0.05$ ) as dietary energy levels increased. WGR and SGR of fish fed diets P36E14.5 and P33E14.5 were significantly ( $P < 0.05$ ) higher than those of fish fed diets P26E13.5, P30L13.5 and P33L13.5, but showed little difference from those of the other groups ( $P > 0.05$ ). Protein efficiency ratio and nitrogen retention efficiency (NRE) decreased significantly ( $P < 0.01$ ) as dietary protein levels increased. In addition, NRE increased significantly ( $P < 0.05$ ) as dietary energy levels increased. Contrary to moisture, relative feed intake, hepatosomatic index and whole-body lipid content decreased significantly ( $P < 0.05$ ) as dietary protein levels increased. Intestine protease activities increased significantly ( $P < 0.05$ ) as dietary protein levels increased, whereas little difference was observed in lipase and amylase activities ( $P > 0.05$ ). These results demonstrated that the diet which contains 33% protein and 14.5 MJ/kg energy is optimal for growth performance and feed utilization of juvenile Jian carp. Nitrogen-free extract could be used effectively by juvenile Jian carp and has a protein-sparing effect.

**Key words:** Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *jian*); energy; protein; growth performance; body composition; digestive enzyme activities