

大鳞鲃幼鱼蛋白质的需求量

王常安^{1,2} 徐奇友¹ 唐玲¹ 李晋南¹
王连生¹ 赵志刚¹ 罗亮¹ 徐伟¹

1. 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 哈尔滨 150070; 2. 东北林业大学野生动物资源学院, 哈尔滨 150040

摘要 设计7个蛋白质水平饲料(30.24%, 33.22%, 36.23%, 39.33%, 42.15%, 45.33%和48.12%), 对大鳞鲃(*Barbus capito*)幼鱼的饲料蛋白质需要量进行研究。每个处理组设3个重复, 每重复30尾鱼。初质量为(11.07±2.42) g的试验鱼放入水族箱(220 L)中, 循环水饲养(流速2 L/min), 饲养周期56 d。结果显示, 当饲料蛋白质水平从30.24%增加到42.15%时, 增重率和特定生长率逐渐升高; 蛋白质水平在42.15%~48.12%时, 各组增重率和特定生长率均差异不显著。随着饲料蛋白质水平的增加, 蛋白质效率逐渐降低。低蛋白质水平处理组(30.24%、33.22%、39.33%、42.15%)蛋白质沉积率显著高于48.12%处理组。蛋白质水平为42.15%时, 饲料系数、全鱼水分达最小值, 粗蛋白水平达最大值; 血清胆固醇在饲料蛋白质水平为48.12%时最低, 显著低于饲料蛋白质水平30.24%~39.33%处理组; 血清甘油三酯在饲料蛋白质水平39.33%~48.12%处理组显著低于蛋白质水平30.24%~33.22%处理组。各试验组成活率、粗脂肪、血清总蛋白、球蛋白、碱性磷酸酶、谷丙转氨酶和谷草转氨酶均差异不显著。以饲料中蛋白质水平为自变量(x), 分别以增重率和饲料系数为因变量(y)进行二次曲线回归, 得出增重率在最大值时, 蛋白质的添加水平为43.09%, 饲料系数为最小值时, 饲料蛋白质水平为44.15%。

关键词 大鳞鲃; 蛋白质; 需求量; 生长; 体成分; 血清生化指标

中图分类号 S 963.73 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)03-0090-07

大鳞鲃(*Barbus capito*)属鲤科、鲃亚科、鲃属, 主要分布于乌兹别克斯坦塞格达尔亚和阿穆达里亚水域, 2003年引入中国^[1]。大鳞鲃为广温性鱼类, 具有肉质鲜美、生长速度快、抗逆性强和耐盐碱等优点, 很适合我国盐碱水域养殖^[2]。目前, 大鳞鲃的移植、驯化、繁殖和养殖已获成功, 这为我国盐碱水域鱼类养殖提供了优良品种。然而, 大鳞鲃的营养需求尚未明确, 这限制了大鳞鲃人工配合饲料的开发及其规模化养殖。

目前, 大鳞鲃饲料以鲤(*Cyprinus carpio*)等杂食性鱼类饲料替代, 产生生长缓慢、蛋白质利用率低等问题。研究表明, 不同鲃鱼对蛋白质的需要量存在明显差异。中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)^[3]的蛋白质需求量为39.6%~42.2%, 四须鲃(*Barbodes altus*)^[4]为41.7%, 鲃(*Barbus grypus*)^[5]为25.0%~30.0%。为此, 本试验通过配制不同蛋白质水平饲料研究其对大鳞鲃幼鱼生长、体组成和血

清生化的影响, 以确定其对饲料蛋白的适宜需求量, 为改善饲料品质, 降低生产成本, 提高经济效益提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计和试验饲料

以酪蛋白和鱼粉为主要饲料蛋白源, 用糊精平衡能量, 参照文献[3-6]设计7个蛋白水平饲料, 含量分别为30.24%(G1)、33.22%(G2)、36.23%(G3)、39.33%(G4)、42.15%(G5)、45.33%(G6)和48.12%(G7)。各组饲料脂肪水平保持一致。将原料粉碎过0.2 mm筛, 混匀, 用鼓型混合机混合, 以小型颗粒机冷制粒(颗粒直径为1.5 mm), 晾干至水分为10.20%±0.31%。然后将饲料置于-20℃冰箱中保存待用。饲料原料和营养组成见表1^[7]。饲料中预混剂的质量分数为1.0%, 包括: 胆碱0.2%; 防霉剂0.02%; 氧化镁0.2%; 沸石0.08%;

收稿日期: 2013-09-02

基金项目: 国家(农业)公益性行业专项(201003055)和国家科技支撑计划项目(2012BAD25B10)

王常安, 博士研究生, 助理研究员。研究方向: 水产动物营养与饲料科学。E-mail: gordoncase@126.com

通信作者: 徐奇友, 博士, 研究员。研究方向: 动物营养与饲料科学。E-mail: xuqiyu@sina.com

复合维生素 0.3%；复合微量元素 0.2%。维生素包括：VC 1 000 mg/kg；VE 60 mg/kg；VK 5 mg/kg；VA 15 000 IU/kg；VD₃ 3 000 IU/kg；VB₁ 15 mg/kg；VB₂ 30 mg/kg；VB₆ 15 mg/kg；VB₁₂ 0.5 mg/kg；烟酸 175 mg/kg；叶酸 5 mg/kg；肌醇 1 000 mg/kg；生物素 2.5 mg/kg；泛酸钙 50 mg/kg；微量元素包括：铁 25 mg/kg；铜 3 mg/kg；锰 15 mg/kg；锌 30 mg/kg；碘 0.6 mg/kg；钴 0.1 mg/kg；硒 0.2 mg/kg。

1.2 试验鱼

试验鱼来自中国水产科学研究院鲟鱼繁育技术中心，初质量(11.07±2.42) g。选取体质健

康、规格一致的个体进行试验。共 7 个处理，每处理设 3 个重复，每重复 30 尾鱼，共 630 尾。用基础饲料进行 14 d 驯养，待试验鱼正常摄食后开始试验。

1.3 饲喂与管理

试验鱼放入水族箱(220 L)中，循环水饲养(流速 2 L/min)。日投喂 4 次(08:00,11:00,13:00,16:00)，投喂近饱食，投喂结束 30 min 后收集残饵，每 14 d 调整投喂量。水温(25.0±0.5)℃，DO>6.0 mg/L，NH₄⁺-N<0.2 mg/L，pH 值 7.5~7.8，光照周期 12 L:12 D。饲养周期为 56 d。

表 1 基础饲料配方及营养组成
Table 1 Formula and nutrients of the basal diets (air-dry basis)

项目 Items	组别 Groups						
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
成分/% Ingredients							
鱼粉 Fish meal	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
小麦水解蛋白 Wheat hydrolyzed protein	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
酪蛋白 Casein	12.36	15.74	19.12	22.50	25.88	29.27	32.65
糊精 Dextrin	29.64	26.26	22.88	19.50	16.12	12.73	9.35
次粉 Wheat middings	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
鱼油 Fish oil	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
豆油 Soybean oil	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
磷脂 Soy lecithin	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
预混剂 Premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
纤维素 Cellulose	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient level							
干物质/% Dry matter	88.20	88.50	88.30	88.60	88.40	88.30	88.60
总能/(kJ/g) Gross energy	18.76	18.90	19.04	19.19	19.33	19.47	19.62
粗蛋白/% Crude protein	30.24	33.22	36.23	39.33	42.15	45.33	48.12
粗脂肪/% Crude lipid	10.10	10.08	10.120	10.10	10.13	10.10	10.12
灰分/% Ash	5.42	5.36	5.41	5.28	5.34	5.15	5.31
蛋能比/(mg/kJ) P/E ratio	16.12	17.58	19.03	20.50	21.81	23.28	24.53

1.4 样品采集

饲养试验开始前取 15 尾鱼(饥饿 24 h)作为初始体成分测定样品。饲养期结束后称每水族箱试验鱼(饥饿 24 h)总质量。每重复随机取 9 尾鱼，其中 5 尾全鱼用于测定体成分，另 4 尾从尾静脉取血，4℃静置 30 min，3 000 r/min 离心 15 min 后取上层血清，装入 1.5 mL 离心管中，置于一80℃冰箱冻存，待用于血清生化指标分析。

1.5 化学成分分析

水分测定用 105℃烘箱干燥恒重法；粗蛋白测定为凯氏定氮法(总氮×6.25)；粗脂肪测定用索氏乙醚抽提法；灰分测定用茂福炉灼烧法(550℃)；总

能采用恒温式微机热量计(HWR-15C,上海)测定。

血清生化指标采用全自动生化分析仪(贝克曼 ProCX4,美国)测定，其中谷丙转氨酶(alanine transaminase,ALT)、谷草转氨酶(aspartate aminotransferase,AST)和碱性磷酸酶(alkaline phosphatase,ALP)采用速率法，甘油三酯(triglyceride,TG)和胆固醇(cholesterol,CHOL)用酶法，总蛋白(total protein,TP)和白蛋白(albumin,ALB)采用化学法，球蛋白(globulin,GLB)为计算值。

1.6 统计分析方法

增重率(weight gain rate,WGR)、特定生长率(specific growth rate,SGR)、饲料系数(feed con-

version rate,FCR)、蛋白质效率(protein efficiency rate,PER)、蛋白质沉积率(protein retention efficiency,PRE)、成活率(survival rate,SR)、肥满度(condition factor,CF)的计算方法参照文献[8]。

试验结果用 SPSS for Windows 19.0 过程进行单因素方差分析和 Duncan’s 多重比较,显著性水平 P 值为 0.05。以 WGR、FCR 为指标进行二次曲线回归分析,用 Sigma Plot for Windows 12.0 绘图。

2 结果与分析

2.1 不同蛋白质水平饲料对大鳞鲃生长性能和饲料利用的影响

从表 2 可见,试验期间饲料中蛋白质水平显著

影响大鳞鲃生长性能和饲料利用($P<0.05$)。当饲料蛋白质水平从 G1(30.24%)增加到 G5(42.15%)时,大鳞鲃 WGR 和 SGR 逐渐增加,且蛋白质水平至 42.15%时,WGR 和 SGR 最大值;饲料蛋白质水平在 42.15%~48.12%时,各组 WGR 和 SGR 均差异不显著。各试验组大鳞鲃的肥满度和成活率均差异不显著。饲料系数在蛋白质水平 42.15%时达最低值 1.71,显著低于蛋白质水平 30.24%和 36.23%处理组。随着饲料中蛋白质水平的增加,大鳞鲃 PER 逐渐降低,当饲料蛋白质水平为 48.12%时,达最低值 1.12。低蛋白质水平处理组 30.24%、33.22%、39.33%和 42.15% PRE 显著高于蛋白质水平 48.12%处理组。

表 2 不同蛋白质水平饲料对大鳞鲃生长性能和饲料利用的影响($n=3$; $\bar{x} \pm S_D$)¹⁾

Table 2 Effects of different dietary protein levels on growth performance and feed utilization of *Barbus capito*

项目 Items	组别 Groups						
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
初质量/g Initial weight	11.32±0.28	11.48±0.26	11.35±0.25	11.23±0.25	11.23±0.13	11.08±0.10	11.31±0.10
末质量/g Final weight	26.34±0.41 a	27.85±0.48 b	27.87±0.91 b	27.89±0.18 b	28.20±0.66 b	27.72±0.09 b	28.08±0.03 b
增重率/% WGR	132.78±4.36 a	142.59±3.60 b	145.53±3.48 bc	148.37±4.05 bc	151.07±3.18 c	150.07±2.70 c	148.17±2.50 bc
特定生长率/(%/d) SGR	1.51±0.04 a	1.58±0.03 b	1.61±0.03 bc	1.63±0.03 bc	1.64±0.03 c	1.64±0.02 c	1.62±0.02 bc
肥满度 CF	1.03±0.01	1.06±0.03	1.05±0.01	0.99±0.14	1.04±0.06	1.05±0.04	1.03±0.02
饲料系数 FCR	2.13±0.05 c	1.94±0.06 abc	2.00±0.09 bc	1.88±0.23 abc	1.71±0.13 a	1.79±0.17 ab	1.86±0.13 ab
蛋白质效率/% PER	1.56±0.04 c	1.55±0.04 c	1.38±0.06 bc	1.37±0.18 bc	1.40±0.10 bc	1.24±0.12 ab	1.12±0.07 a
成活率/% SR	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
蛋白质沉积率/% PRE	26.69±1.58 bc	26.96±1.68 c	23.91±2.13 abc	24.90±2.66 bc	26.24±1.92 bc	22.76±2.42 ab	20.63±1.83 a

1)同列数据后面不同字母表示组间存在显著性差异($P<0.05$)。下同。Values (mean±SD) in the same column with different letters are significantly different ($P<0.05$). The same as below.

以饲料蛋白质水平为自变量(x),分别以 WGR 和 FCR 为因变量(y)进行二次曲线回归分析(图 1,图 2)。根据计算得出 WGR 在最大值时对应的值为 150.75,对应的饲料蛋白质水平为 43.09%;根据计算得出 FCR 达最小值对应的值为 1.80,对应的饲料蛋白质水平为 44.15%。因此,分别以 WGR 和 FCR 为指标,得出大鳞鲃幼鱼对饲料蛋白质最适需要量分别为 43.09%和 44.15%。

2.2 不同蛋白质水平饲料对大鳞鲃体成分的影响

不同蛋白质水平饲料饲养大鳞鲃后,其体成分

测定结果见表 3。全鱼水分含量在饲料中蛋白质水平为 42.15%时达最小值 67.27%,显著低于蛋白质水平 30.24%和 33.22%处理组;全鱼粗蛋白水平在蛋白质水平为 42.15%时达最大值 17.97%,显著高于蛋白质水平 30.24%处理组;饲料蛋白质水平在 39.33%时,粗灰分水平达最低值 2.74%,显著低于蛋白质水平 33.22%和 36.23%处理组,饲料蛋白质水平在 39.33%~48.12%之间时,各组粗灰分水平差异不显著;各处理组间粗脂肪水平差异不显著。

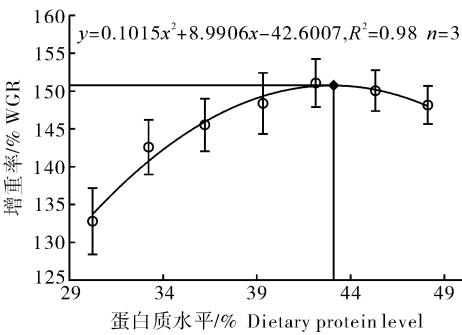


图 1 饲料蛋白质水平和增重率的回归分析

Fig. 1 Regression analysis between dietary protein levels and specific growth rate of *Barbus capito*

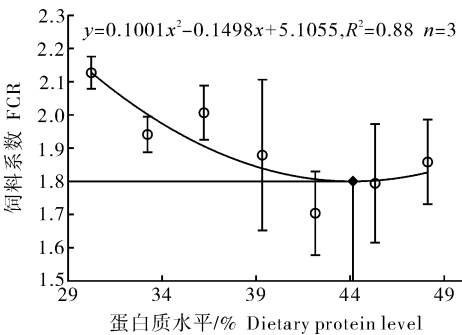


图 2 饲料蛋白质水平和饲料系数的回归分析

Fig. 2 Regression analysis between dietary protein levels and feed conversion rate of *Barbus capito*

表 3 不同蛋白质水平饲料对大鳞鲂体成分的影响 (n=3; $\bar{x} \pm S_D$)

Table 3 Effects of different dietary protein levels on body composition of *Barbus capito*

组 别 Groups	水分/% Moisture	粗蛋白/% Crude protein	粗脂肪/% Crude lipid	灰分/% Ash
初始 Initialization	70.52±0.58	16.74±0.28	8.29±0.42	3.69±0.07
G1	68.94±0.35 c	16.98±0.48 a	10.88±0.13	3.20±0.11 c
G2	68.34±0.73 bc	17.11±0.40 ab	10.68±0.09	3.09±0.35 bc
G3	68.18±0.48 abc	17.11±0.93 ab	10.82±0.63	2.74±0.11 a
G4	67.71±0.39 ab	17.63±0.22 ab	10.98±0.45	3.06±0.13 abc
G5	67.27±0.24 a	17.97±0.03 b	11.19±0.23	2.92±0.11 abc
G6	67.79±0.29 ab	17.72±0.18 ab	11.29±0.17	2.82±0.18 ab
G7	67.74±0.62 ab	17.71±0.30 ab	10.98±0.25	3.05±0.06 abc

2.3 不同蛋白质水平饲料对大鳞鲂血液生化指标的影响

试验结果见表 4。血清 ALB 含量在饲料蛋白质水平为 33.22% 时最高,显著高于蛋白质水平 48.12% 处理组;血清 CHOL 含量在饲料蛋白质水

平为 48.12% 时最低,显著低于饲料蛋白质水平 30.24%~39.33% 处理组;血清 TG 含量在饲料蛋白质水平 39.33%~48.12% 处理组显著低于蛋白质水平 30.24%~33.22% 处理组。各处理组间 TP、GLB、ALP、ALT 和 AST 水平均差异不显著。

表 4 不同蛋白质水平饲料对大鳞鲂血液生化指标的影响 (n=3; $\bar{x} \pm S_D$)

Table 4 Effects of different dietary protein levels on serum indices of *Barbus capito*

指标 Indices	组别 Groups						
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
总蛋白/(g/L) TP	47.97±8.78	50.97±7.16	47.13±4.69	45.93±3.41	44.47±2.19	45.90±4.81	39.73±6.40
白蛋白/(g/L) ALB	14.40±2.40 ab	15.20±1.84 b	13.73±0.74 ab	13.77±1.16 ab	13.27±1.21 ab	13.53±1.31 ab	11.93±1.53 a
球蛋白/(g/L) GLB	33.57±6.40	35.77±5.36	33.40±3.96	32.17±2.28	31.20±1.44	32.37±3.52	27.80±4.91
碱性磷酸酶/(IU/L) ALP	12.67±8.62	16.33±7.02	14.33±8.33	14.33±6.66	9.33±3.06	15.33±6.51	16.33±6.66
谷丙转氨酶/(IU/L) ALT	34.33±12.10	31.33±6.43	29.00±6.00	30.67±6.03	34.00±4.58	31.33±3.21	27.67±10.01
谷草转氨酶/(IU/L) AST	349.67±133.81	360.33±27.61	326.33±37.44	367.00±132.35	352.67±12.42	340.33±47.48	306.67±63.26
胆固醇/(mmol/L) CHOL	15.44±1.75 bc	16.46±1.03 c	14.88±1.18 bc	14.91±1.05 bc	13.65±1.13 ab	14.11±1.11 abc	12.17±2.00 a
甘油三酯/(mmol/L) TG	15.35±0.08 b	15.73±1.45 b	14.57±0.27 ab	13.25±1.29 a	13.21±1.03 a	13.15±0.03 a	13.11±0.56 a

3 讨论

3.1 大鳞鲃最适蛋白质需要量

本试验运用 FCR 进行二次曲线回归得到的蛋白质最适需要量(44.15%)高于 WGR 得出的结果(43.09%),这种差异可能与投喂过程中饲料的损失、溶失有关^[9]。从结果可以看出,以 FCR 和 WGR 指标估测大鳞鲃蛋白质需要量,结果较为接近,两者均能较好地反映鱼体蛋白质需要量。估测鱼类饲料中蛋白质的需要量主要通过生长试验依据剂量—效应曲线测定,采用的数学模型主要有折线模型和二次曲线模型等^[10]。通过分析本试验生长数据,利用 2 种模型对数据进行拟合发现,二次曲线模型的拟合度更高,因此,本试验数据适宜用二次曲线模型拟合。但暗纹东方鲀(*Takifugu obscurus*)^[11]、中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)^[3]等 WGR 在一定范围内随着蛋白质水平的增加呈线性升高关系,高于这个范围后, WGR 不再呈现显著变化而维持水平状态,这种情况下折线模型拟合度更高。

与其他杂食性鱼类比较,大鳞鲃幼鱼蛋白质的需要量(43.09%)高于罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)(25%~30%)^[12]、鲤(31%~38%)^[13]等,与中华倒刺鲃(39.6%~42.2%)^[3]、四须鲃(*Barbodes altus*)(41.7%)^[4]的研究结果类似。可见,不同种类间杂食性鱼类对蛋白质的需求仍然具有较大差异^[10]。野生大鳞鲃以底栖动物、鱼虾、植物碎片为主要食物来源^[2],其食性偏动物性,这可能是其饲料蛋白质需要量较高的原因。影响饲料蛋白质需要量的因素较多,如饲料蛋白源及其他成分、水温、规格、养殖密度和试验方法等^[12],其中饲料蛋白源氨基酸组成的平衡性可能是导致试验结果差异的主要原因^[10]。本试验以白鱼粉和酪蛋白为蛋白源,改善饲料蛋白源氨基酸组成的平衡性,较利于饲料中蛋白质需要量的研究。此外,蛋能比也显著影响鱼类蛋白质需要量^[6],因此,后续研究还需确定大鳞鲃饲料中同一蛋白水平下的不同蛋能比,这对提高饲料质量,节约饲料蛋白质起到重要的作用。

3.2 不同蛋白质水平对大鳞鲃蛋白质利用的影响

饲料中蛋白质水平对鱼类 PER 和 PRE 的影响存在差异,这可能由于鱼的种类、饲料组成、饲养条件的不同所造成的^[13]。本试验结果显示,饲料中蛋

白质水平较高时,PER 和 PRE 值较低,说明饲料中蛋白质水平低于最适需要量时,大鳞鲃对饲料中蛋白质的利用率较高。当饲料中蛋白质添加量过高,鱼体会将多余的蛋白质用作能量或转化为脂肪^[14],从而导致 PER 和 PRE 的下降。这与中华倒刺鲃^[3]、尖吻重牙鲃(*Diplodus puntazzo*)^[15]、银鲃(*Pampus argenteus*)^[16]、银鲈(*Bidyanus bidyanus*)^[17]、鲤(*Huso huso*)^[18]、中华鲟(*Acipenser sinensis*)^[14]等研究结果一致。与此不同的是,黑鲟(*Sparus macrocephalus*)^[19]、建鲤(*Cyprinus carpio* var. *Jian*)^[13]等饲料中蛋白质增加至某一水平时,PER 逐渐降低,当蛋白质水平继续增加时,PER 维持在同一水平;而条纹锯鲈(*Centropristis striata*)^[20]、紫红笛鲷(*Lutjanus argentimaculatus*)^[21]、日本黄姑鱼(*Nibea japonica*)^[22]等鱼类的 PER 和 PRE 随着饲料中蛋白质水平的增加而提高,当超过最适需要量以后,PER 和 PRE 显著下降。

3.3 不同蛋白质水平对大鳞鲃生化成分的影响

饲料中蛋白质水平显著影响大鳞鲃体成分。本试验中,随着饲料中蛋白质水平的增加,鱼体粗蛋白的变化趋势与 WGR 相似,通过二次曲线回归分析可知,饲料中蛋白质的添加水平在 44.59%时,粗蛋白达峰值,这在其他鱼类的研究中也类似的报道^[22-23]。一般鱼类对脂肪的利用率较高,饲料中脂肪的水平显著影响鱼体粗脂肪含量^[11],大鳞鲃鱼体粗脂肪水平无显著变化,应与本试验饲料采用等脂肪水平设计有关。大鳞鲃肌肉水分随着饲喂蛋白质水平的增加,显著降低后趋于平缓,这与有关报道不一致^[6],可能的原因是各试验组粗脂肪水平基本一致,粗灰分的变化规律不明显,这使得大鳞鲃水分随粗蛋白水平变化而发生改变。

血液生化指标已广泛用于评价鱼类的疾病、营养状况、应激反应等^[24]。饲料中蛋白质水平较低时,红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)由于营养的缺乏,表现出血清的 ALT 和 AST 显著升高($P<0.05$)^[6]。在本试验中,大鳞鲃各处理组间血清 TP、GLB、ALP、ALT 和 AST 均差异不显著,这可能与大鳞鲃对环境的适应性强有关。饲料能量水平满足鱼体需求时,多余的蛋白质主要以氨氮的形式排泄,其对鱼体脂肪代谢影响较小,而非蛋白营养

成分,如纤维素、植酸、异黄酮等均显著影响鱼体与脂肪代谢有关的 CHOL 和 TG 等指标^[25]。用低蛋白质水平高碳水化合物饲料饲喂罗非鱼,其粗脂肪含量较高^[26]。随着饲料中蛋白质水平的增加,大鳞鲃粗脂肪水平虽然趋于平缓,但血清 CHOL 和 TG 呈现降低的趋势,与红鳍东方鲀^[6]的研究结果类似,这说明饲料中碳水化合物影响大鳞鲃的脂肪代谢。

参 考 文 献

- [1] 蔺玉华,耿龙武.大鳞鲃形态特征测量与分析[J].天津师范大学学报,2006,26(2):16-18.
- [2] 蔺玉华,耿龙武,王信海,等.池塘驯养大鳞鲃某些生物学特性研究[J].天津师范大学学报,2009,29(4):72-75.
- [3] 林小植,谢小军,罗毅平.中华倒刺鲃幼鱼饲料蛋白质需求量的研究[J].水生生物学报,2009,33(4):674-678.
- [4] ELANGO VAN A, SHIM K F. The influence of replacing fish meal partially in the diet with soybean meal on growth and body composition of juvenile tin foil barb (*Barbodes altus*) [J]. Aquaculture, 2000, 189: 133-144.
- [5] MARAMMAZI J G, KAHKESH F. Effects of dietary protein and energy levels on growth performance [J]. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 2011, 10(3): 461-474.
- [6] KIMA S S, KYEONG J L. Dietary protein requirement of juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*) [J]. Aquaculture, 2009, 287: 219-222.
- [7] 王常安,徐奇友,徐伟,等.饲料蛋白质水平对大鳞鲃幼鱼消化酶活性的影响[J].天津农学院学报,2012(3):26-31.
- [8] 赵巧娥,朱邦科,沈凡,等.饲料脂肪水平对鲢幼鱼生长、体成分及血清生化指标的影响[J].华中农业大学学报,2012,31(3):357-363.
- [9] JACQUELINE A, ROBERT M, CHRISTOPHE K, et al. The protein requirement of brown trout (*Salmo trutta*) fry [J]. Aquaculture, 1995(130):67-78.
- [10] 钱雪桥,崔奕波,解爱启,等.养殖鱼类饲料蛋白需要量的研究进展[J].水生生物学报,2002,26(4):410-416.
- [11] 扬州,杨家新.暗纹东方鲀幼鱼对蛋白质的最适需要量[J].水产学报,2003,27(5):450-455.
- [12] National Research Council (NRC). Nutrient requirements of fish [M]. Washington DC: National Academy Press, 1993: 16-18, 28-50.
- [13] 刘勇.蛋白质对幼建鲤生长性能、消化功能和蛋白质代谢的影响[D].雅安:四川农业大学图书馆,2008.
- [14] 陈喜斌,庄平,曾翠平,等.中华鲟幼鱼蛋白质营养最适需要量[J].中国水产科学,2002,9(1):60-64.
- [15] COUTINHO F, PERES H, GUERREIRO I, et al. Dietary protein requirement of sharpsnout sea bream (*Diplodus puntazzo*, Cetti 1777) juveniles [J]. Aquaculture, 2012, 356: 391-397.
- [16] ARSHAD H M, ALMATAR S M, JAMES C M. Optimum dietary protein level for juvenile silver pomfret, *Pampus argenteus* (Euphrasen) [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2010, 41(5): 710-720.
- [17] YANG S D, LIOU C H, LI 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: 363-372.
- [18] MOHSENI M, POURALI H R, KAZEMI R, et al. Evaluation of the optimum dietary protein level for the maximum growth of juvenile beluga (*Huso huso* L. 1758) [J]. Aquaculture Research, 2013(1): 1-10.
- [19] ZHANG J, ZHOU F, WANG L, et al. Dietary protein requirement of juvenile black sea bream, *Sparus macrocephalus* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2010, 41(1): 151-164.
- [20] SHAH A M, WATANABE W O, CARROLL P M. Dietary protein requirements of juvenile black sea bass, *Centropristis striata* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2008, 39(5): 656-663.
- [21] ABBAS G, SIDDIQUI P J A. The effects of varying dietary protein level on growth, feed conversion, body composition and apparent digestibility coefficient of juvenile mangrove red snapper, *Lutjanus argentimaculatus* (Forsskal 1775) [J]. Aquaculture Research, 2013, 44(5): 807-818.
- [22] LEE, H Y M, CHO K C, LEE J E, et al. Dietary protein requirement of juvenile giant croaker, *Nibea japonica* Temminck and Schlegel [J]. Aquaculture Research, 2001, 32: 112-118.
- [23] YANG S D, LIU 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: 363-372.
- [24] CHIEN Y H, PAN C H, HUNTER B. The resistance to physical stresses by *Penaeus monodon* juveniles fed diets supplemented with astaxanthin [J]. Aquaculture, 2003, 216: 177-191.
- [25] POTTER S M. Overview of proposed mechanisms for the hypocholesterolemic effect of soy [J]. Journal of Nutrition, 1995, 125(3 Suppl): 606-611.
- [26] GAYE S J, FOCKEN U, BECKER K. Effect of dietary protein carbohydrate ratio on activities of hepatic enzymes involved in the amino acid metabolism of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2006, 32(4): 275-282.

Dietary protein requirement of young *Barbus capito*

WANG Chang-an^{1,2} XU Qi-you¹ TANG Ling¹ LI Jin-nan¹
WANG Lian-sheng¹ ZHAO Zhi-gang¹ LUO Liang¹ XU Wei¹

1. Heilongjiang Fishery Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences,
Harbin 150070, China;

2. College of Wildlife Resources, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract This study was conducted to determine the dietary protein requirement for young *Barbus capito* by formulating diets with seven protein levels of 30.24%, 33.22%, 36.23%, 39.33%, 42.15%, 45.33% and 48.12%. Each diet was randomly assigned to triplicates with 30 fish each. Fish with initial body weight of (11.07 ± 2.42) g were raised in recirculation system (each aquarium 220 L) for 56 d with water flow rate of 2 L/min. The results showed that weight gain and specific growth rate increased with the increasing protein level from 30.24% to 42.15%, but had no difference with each other when protein level ranged from 42.15% to 48.12%. Protein efficiency rate declined gradually with the increasing dietary protein level. Protein retention efficiency in 30.24%, 33.22%, 39.33% and 42.15% protein level groups was significantly higher than that of 48.12% protein group ($P < 0.05$). Feed conversion efficiency and crude protein of body reached the maximum value, and moisture of body reached the minimum value in 42.15% protein group. Serum cholesterol reached the minimum value in 48.12% protein group and was significantly lower than that of groups with dietary protein ranged from 30.24% to 39.33% ($P < 0.05$). Serum triglyceride in groups with protein ranged from 39.13% to 48.12% was significantly lower than that of groups with protein ranged from 30.24% to 33.22% ($P < 0.05$). There were no difference in survival rate, crude lipid, serum total protein, globulin, alkaline phosphatase, alanine transaminase and aspartate aminotransferase ($P > 0.05$). The weight gain and feed conversion efficiency reached the maximum value in 43.09% and 44.15% protein group respectively by using the polynomial regression model.

Key words *Barbus capito*; protein; requirement; growth; body composition; serum biochemical indices

(责任编辑:边书京)