

doi: 10.7541/2014.99

饲料蛋白和脂肪水平对青鱼大规格鱼种生长和体组成的影响

陈建明^{1,2} 沈斌乾^{1,2} 潘 茜^{1,2} 孙丽慧^{1,2} 姜建湖^{1,2} 叶金云³

(1. 浙江省淡水水产研究所, 湖州 313001; 2. 农业部淡水渔业健康养殖重点实验室, 湖州 313001;
3. 湖州师范学院, 湖州 313000)

摘要: 设计5个饲料蛋白水平(30%、33%、36%、39%和42%)和2个脂肪水平(6%和9%)的5×2的因子试验, 配制10种试验饲料, 分别饲喂10组三重复平均体重为95.5 g的二龄青鱼70d, 以探讨不同蛋白和脂肪水平对青鱼生长和体组成等的影响。结果表明: 鱼体增重随饲料蛋白水平从30%提高到39%不断增加($P < 0.05$), 进一步提高饲料蛋白水平至42%时, 鱼体增重则不再显著变化($P > 0.05$); 饲料系数随饲料蛋白水平从30%提高到39%而不断降低($P < 0.05$), 进一步提高饲料蛋白水平至42%时, 也不再显著变化; 蛋白质效率和蛋白保留率随饲料蛋白水平呈下降趋势; 以鱼体增重为指标, 经折线模型进行回归分析求得适宜的饲料蛋白水平为占干饲料的40%。饲料蛋白、脂肪水平及其交互作用对的试验鱼成活率均无显著差异($P > 0.05$)。饲料脂肪水平、饲料蛋白与脂肪的交互作用对鱼体增重、饲料系数、摄食率和蛋白质效率也均无显著影响($P > 0.05$)。摄食蛋白水平为30%和33%饲料的青鱼与摄食蛋白水平36%—42%饲料的青鱼相比, 有较低的水分和较高全鱼脂肪($P < 0.05$)。青鱼脏体比和肌肉粗脂肪含量均随着饲料中蛋白水平的提高呈降低的趋势。摄食脂肪水平为9%的饲料的青鱼较摄食脂肪水平为6%的饲料的青鱼, 有较高脏体比、全鱼脂肪含量和肌肉粗脂肪含量($P < 0.05$)。上述结果说明, 青鱼摄食低蛋白和高脂肪的饲料造成过多的体脂积累。在试验条件下, 青鱼大规格鱼种饲养阶段适宜的饲料蛋白和脂肪水平分别为占干饲料的40%和6%。

关键词: 青鱼; 饲料蛋白; 饲料脂肪; 生长; 体组成

中图分类号: S963 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2014)04-0699-07

青鱼 *Mylopharngodon piceus* 是我国传统养殖的四大家鱼之一, 具有生长快、产量高、肉味鲜美的特点, 是深受人们喜欢的养殖对象。随着青鱼营养研究的深入和配合饲料配制技术的不断完善, 配合饲料的应用率不断提高, 加之青鱼加工业的兴起和产业链延伸, 大大地推动了青鱼养殖业的发展。据《中国渔业统计年鉴》统计, 至2008年全国青鱼产量达到35.98万吨, 在2000年的基础上实现了翻番。业已取得的青鱼营养需求和饲料配制技术成果^[1], 对推动青鱼配合饲料产业化起到了积极的作用。但大部分研究集中在当年幼鱼阶段。如杨国华^[2]报道青鱼夏花阶段适宜蛋白质需要量为41%, 王道尊等^[3, 4]研究认为, 体重为37.12—48.32 g的青鱼鱼种

对蛋白质的适宜需求量为30%—41%; 体重为44.23—56.69 g鱼种和体重为10.25—13.73 g的鱼种对脂肪需要量分别为6.2%和6.7%。而青鱼因具性成熟迟的优势和要求上市商品规格大等因素, 使其养殖周期相对较长。传统上以三年为一个养殖周期。即第一年养殖夏花和当年鱼种, 第二年养殖大规格鱼种(过池鱼), 第三年养殖商品鱼。现有研究表明, 随着鱼类规格的长大, 对某些主要营养素的需求可能发生变化^[5]。因此, 有必要对其不同养殖阶段的主要营养素需求参数进行研究和完善, 以进一步优化青鱼配合饲料配方。

蛋白质是饲料中成本最高的部分, 适宜的饲料蛋白水平对设计最优成本配方至关重要。脂肪除为

收稿日期: 2013-05-29; 修订日期: 2013-11-22

基金项目: 现代农业产业技术体系专项(CARS-46-21); 湖州市水产养殖创新团队计划(2010KC02)资助

通信作者: 陈建明(1965—), 男, 浙江湖州人; 学士, 教授级高级工程师; 研究方向为水产动物营养与饲料科学。E-mail: aqua_labjm@163.com

鱼类提供必需脂肪酸外,也是重要的供能物质,饲料中适量的脂肪还可起到节约蛋白质的作用。有关青鱼大规模鱼种养殖阶段饲料中蛋白与脂肪的适宜水平及其相互关系尚未见报道。本试验通过调节饲料蛋白和脂肪水平,探讨其对青鱼大规模鱼种生长等指标的影响,从而揭示该阶段青鱼饲料适宜的蛋白和脂肪水平,为完善青鱼配合饲料的配制技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验鱼

试验鱼种取自本所试验鱼场同一培育池的一冬龄的青鱼鱼种,平均体重约为 95 g。试验前于网箱驯养 2 周后随机分养到 10 组 3 重复的 30 个网箱,每箱放鱼 25 尾。

1.2 试验饲料

以鱼粉、豆粕、菜粕、面粉等为主要原料,通过调节饲料中酪蛋白和鱼油、玉米油含量配制成

5 个饲料蛋白水平(30%、33%、36%、39%和 42%)和 2 个饲料脂肪水平(6%和 9%)的 10 种试验饲料(2 个饲料脂肪水平下,饲料总能分别约为 16.3 kJ/g 和 17.0 kJ/g),其原料组成和营养成分如表 1 所示。试验饲料制作时,先将原料粉碎,使原料粉末能全部通过孔径为 0.355 mm 试验筛,按配方比例称取各原料置于盆内,混合均匀后,加入适量的水,用绞肉机制成直径约为 1.2 mm 的面条状饲料,在室温下风干后制成颗粒,在 4℃ 下保存备用。

1.3 饲养管理

试验鱼饲养在池塘网箱(2 m×3 m×1.5 m)中,网箱入水深度约 1 m。池塘面积 1600 m²,池塘配备 0.6 kW 的水车式增氧机一台,每晚 9:00 至早晨 6:00 开机。在试验鱼放养后,用商品饲料(CP35%)进行驯食 2d,以后用试验饲料每天 9:00 和 15:00 各投饲一餐,每餐均用手工的方法,根据鱼的摄食反应少量多次投喂至接近饱食,日投饲量约占鱼体重的 3%。试验期水温(26—32)℃,溶解氧(5.12—10.85) mg/L,氨氮

表 1 试验饲料配方及组成(% , 干物质)
Tab. 1 Formulation and proximate analysis of the trial diets (% , on dry matter basis)

成分 Ingredients	饲料 Diet									
	P30L6*	P33L6	P36L6	P39L6	P42L6	P30L9	P33L9	P36L9	P39L9	P42L9
酪蛋白 Casein	0	3.30	6.60	9.90	13.20	0	3.30	6.60	9.90	13.20
鱼油 Fish oil	1.90	1.87	1.84	1.81	1.78	3.40	3.37	3.34	3.31	3.28
玉米油 Corn oil	1.90	1.87	1.84	1.81	1.78	3.40	3.37	3.34	3.31	3.28
糊精 Dextrin	24.20	20.96	17.72	14.48	11.24	21.20	17.96	14.72	11.48	8.24
鱼粉 Fish meal	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
豆粕 Soybean meal	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
菜粕 Rapeseed meal	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
面粉 Wheat flour	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
矿物质 ¹ Mineral mix	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
多维 ² Vitamin mix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
褐藻酸钠 Sodium alginate	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
组成分析 Proximate analysis										
粗蛋白 Crude protein	30.24	33.43	36.48	39.66	43.01	30.43	33.73	36.79	39.61	42.95
粗脂肪 Crude lipid	5.62	5.81	5.62	5.86	5.96	8.66	8.60	8.89	8.57	8.90
粗灰分 Crude ash	9.72	9.90	9.50	9.43	9.88	9.62	9.83	9.58	9.23	9.73
总能 ³ (kJ/g) Gross energy	16.29	16.30	16.33	16.39	16.34	16.95	16.90	17.00	16.99	16.98

注: 1. 无机盐(g/kg 预混料) Mineral premix (g/kg premix): FeSO₄·7H₂O 15, CuSO₄·H₂O 0.3, ZnSO₄·7H₂O 10, MnSO₄·H₂O 0.5, NaCl 30, MgSO₄ 40, Ca(H₂PO₄)₂ 400, KI 0.05, Na₂SeO₃ 0.005, CoCl₂·6H₂O 0.5, 沸石粉 zeolite 503.645; 2. 维生素混合物(g/kg 预混料) Vitamin premix (g/kg premix): Vit A retinol acetate 0.80, Vit D₃ cholecalciferol 0.06, Vit E α -tocopherol acetate 4.00, Vit K₃ menadione 8.00, 硫胺素 thiamin 2.00, 核黄素 riboflavin 2.00, 泛酸 pantothenic acid 6.00, 吡哆醇 pyridoxine 2.00, 叶酸 folic acid 0.50, 尼克酸 niacin 15, Vit B₁₂ cyanocobalamin 0.02, 肌醇 inositol 40.00, 包膜维 C coated vitamin C 20, 氯化胆碱 choline chloride 50, 玉米淀粉 corn starch 850.62; 3. 总能由碳水化合物、蛋白和脂肪的能值分别为 16.7、16.7 和 37.7 kJ/g 计算。Gross energy calculated by using standard physiological fuel values of 16.7, 16.7 and 37.7 kJ/g for carbohydrate, protein and lipid, respectively (Garling and Wilson, 1977)^[6]; *P, Protein; L, Lipid

(0.21—0.53) mg/L, 亚硝酸氮(0.02—0.25) mg/L。饲养试验持续 70d。

1.4 取样和成分分析

饲养试验完成后饥饿 2d, 称各网箱的鱼体重, 清点鱼尾数。每箱分别各取 6 尾试验鱼, 3 尾为全鱼混合样, 另 3 尾取背肌做混合样, 供营养组成测定。另取 8 尾测定体重、体长、脏体重和肝胰脏重。

试验饲料、全鱼和肌肉营养成分测定方法为: 105 常压干燥法测定水分; 凯氏定氮法测定粗蛋白; 箱式电阻炉 550 灼烧法测定粗灰分。上述测定步骤均参照 AOAC^[7]规定的方法进行。

1.5 指标及其计算方法

成活率(%)=100×(收获尾数/放养尾数); 鱼体增重(%)=100×(鱼体终重-鱼体始重)/鱼体始重; 饲料系数=干饲料摄入量/鱼体增重; 蛋白质效率=鱼体增重/饲料蛋白摄入量; 蛋白保留率(%)=100×(试验末鱼体蛋白量-起始鱼体蛋白量)/(摄入饲料蛋白量);

体形比=体长/体宽; 肝体比(%)=100×肝胰脏重/体重; 脏体比(%)=100×内脏重/体重; 肥满度(%·g/cm³)=100×体重/(体长)³。

1.6 数理统计方法

使用 SPSS 11.5 计算各试验组指标平均值, 用双因子方差分析(Two-way ANOVA), 以检验蛋白水平、脂肪水平及其交互作用对各指标平均值影响的显著性。 $P<0.05$ 时, 为有显著性差异。如蛋白水平对指标平均值有显著影响, 则作 NSK 多重比较分析。鱼体增重和饲料蛋白水平之间关系拟合成折线回归模型 (Broken line regression model)^[8], 求出饲料蛋白适宜水平。

2 结果

2.1 青鱼生长情况

试验鱼生长情况列于表 2。饲料蛋白水平对鱼体增重、饲料系数和蛋白质效率均有显著影响

表 2 试验饲料对青鱼生长和饲料利用的影响
Tab. 2 Effect of trial diets on growth performance and feed utilization of black carp

饲料 Diet	初均重 Initial body weight (g)	成活率 Survival rate (%)	增重率 Weight gain (%)	饲料系数 Feed conversion ratio	蛋白质效率 Protein efficiency ratio	蛋白保留率 Protein retention (%)
P30L6	95.73	90.67	268.41	1.75	1.89	34.30
P33L6	95.47	94.67	291.81	1.53	1.96	35.60
P36L6	95.47	90.67	307.14	1.51	1.82	34.87
P39L6	95.23	88.00	339.61	1.40	1.80	32.86
P42L6	95.30	92.00	334.06	1.36	1.71	33.07
P30L9	95.40	96.00	260.99	1.71	1.92	37.52
P33L9	95.53	89.33	292.60	1.62	1.83	33.81
P36L9	95.13	89.33	296.26	1.60	1.70	31.02
P39L9	95.30	88.00	342.15	1.38	1.82	32.63
P42L9	95.53	90.67	332.35	1.39	1.68	31.91
Pooled SE	0.12	0.98	5.41	0.03	0.02	0.42
P30	95.57	93.33	264.70 ^a	1.73 ^c	1.90 ^a	35.82 ^a
P33	95.50	92.00	292.20 ^b	1.58 ^b	1.90 ^a	34.39 ^{ab}
P36	95.30	90.00	301.70 ^b	1.56 ^b	1.76 ^{bc}	32.63 ^{bc}
P39	95.26	88.00	340.88 ^c	1.39 ^a	1.81 ^b	32.45 ^{bc}
P42	95.42	91.33	333.21 ^c	1.37 ^a	1.70 ^c	31.96 ^c
L6	95.44	91.20	308.21	1.51	1.84	33.89
L9	95.38	90.67	304.87	1.54	1.79	33.00
双因子方差分析 Two-way ANOVA						
P		0.554	0.000	0.000	0.001	0.001
L		0.799	0.411	0.205	0.136	0.113
P×L		0.606	0.804	0.302	0.275	0.008

注: 在同一列中, 不同蛋白水平处理间有显著差异用上标字母 a、b 或 c 表示; 不同脂肪水平处理间有显著差异用 x 和 y 表示 ($P<0.05$); 下表同

Note: In a column, mean values with various alphabetic superscripts as a, b or c are of significantly difference among dietary protein treatments ($P<0.05$) and as x or y between dietary lipid treatments; The same applies bellow

($P < 0.05$); 鱼体增重随饲料蛋白水平从 30% 提高到 39% 而不断增加($P < 0.05$), 进一步提高饲料蛋白水平至 42% 时, 鱼体增重则不再显著变化($P > 0.05$); 饲料系数随饲料蛋白水平从 30% 提高到 39% 而不断降低($P < 0.05$), 进一步提高饲料蛋白水平至 42% 时, 也不再显著变化($P > 0.05$); 蛋白质效率和蛋白保留率随饲料蛋白水平呈下降趋势; 饲料蛋白水平、脂肪水平及其交互作用对的试验鱼成活率均无显著差异($P > 0.05$); 饲料脂肪水平和饲料蛋白与脂肪的交互作用对鱼体增重、饲料系数、摄食率和蛋白质效率也均无显著影响($P > 0.05$)。

2.2 饲料蛋白适宜水平

根据饲养实验的生长反应, 以鱼体增重(Y)为指标, 与饲料蛋白水平(X)拟合折线模型(Broken line model)进行回归分析(图 1), 估算得出适宜的饲料蛋白水平为: 约占饲料干物质的 40%。

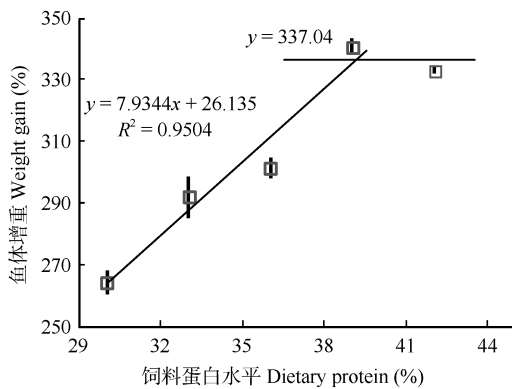


图 1 鱼体增重与饲料蛋白水平的关系

Fig. 1 Relationship of weight gain with dietary protein level

2.3 青鱼体形指标

青鱼体形指标列于表 3。饲料蛋白水平、脂肪水平及其交互作用对试验鱼形体比、肝体比和肥满度均无显著差异($P > 0.05$); 饲料蛋白和脂肪水平对青鱼脏体比有显著影响($P < 0.05$)。青鱼脏体比(S)随着饲料中蛋白水平(P)的提高呈降低的趋势($S = 0.0577P + 9.902$, $R^2 = 0.9828$); 青鱼在摄食脂肪水平为 6% 的饲料后, 其脏体比显著低于摄食脂肪水平为 9% 的饲料的青鱼($P < 0.05$)。

2.4 青鱼全鱼体组成

青鱼肌肉组成列于表 4。饲料蛋白水平对全鱼水分有显著影响($P < 0.05$), 摄食蛋白水平为 30% 和 33% 饲料的青鱼水分含量显著低于摄食蛋白水平 36%—42% 饲料的青鱼($P < 0.05$); 饲料蛋白水平对全

表 3 试验饲料对青鱼体形指标的影响

Tab. 3 Effect of trial diets on morphology indexes of black carp

饲料 Diet	形体比 Body profile	肝体比 Hepato- somatic index (%)	脏体比 Viscera- somatic index (%)	肥满度 Condition factor (%·g/cm ³)
P30L6	5.19	2.06	7.93	1.02
P33L6	5.22	2.05	7.67	1.02
P36L6	5.15	2.17	7.75	1.03
P39L6	5.17	2.09	7.45	1.03
P42L6	5.18	2.11	7.43	1.08
P30L9	5.17	1.89	8.48	1.04
P33L9	5.01	2.04	8.29	1.07
P36L9	5.21	2.13	7.83	1.06
P39L9	5.08	2.09	7.82	1.04
P42L9	5.16	2.05	7.60	1.05
Pooled SE	0.12	0.03	0.08	0.01
P30	5.19	1.97	8.21 ^b	1.03
P33	5.12	2.04	7.98 ^{ab}	1.04
P36	5.18	2.15	7.79 ^{ab}	1.04
P39	5.12	2.09	7.63 ^{ab}	1.04
P42	5.17	2.08	7.52 ^a	1.06
L6	5.18	2.10	7.65 ^x	1.04
L9	5.13	2.04	8.01 ^y	1.05
双因子方差分析 Two-way ANOVA				
P	0.758	0.420	0.020	0.636
L	0.185	0.338	0.011	0.316
P×L	0.381	0.897	0.623	0.396

鱼蛋白水平的影响无明显规律。饲料蛋白水平、脂肪水平及其交互作用对全鱼灰分含量均无显著影响($P > 0.05$); 饲料蛋白和脂肪水平以及蛋白与脂肪交互作用均对青鱼全鱼粗脂肪含量影响显著($P < 0.05$)。摄食蛋白水平为 30% 和 33% 饲料的青鱼全鱼脂肪含量显著高于摄食蛋白水平 36%—42% 饲料的青鱼($P < 0.05$); 摄食脂肪水平为 6% 的饲料后, 青鱼全鱼脂肪含量显著低于摄食脂肪水平为 9% 的饲料的青鱼($P < 0.05$)。

2.5 青鱼肌肉组成

青鱼肌肉组成列于表 5。饲料蛋白和脂肪水平以及蛋白与脂肪的交互作用对青鱼肌肉的水分和灰分含量均无显著影响($P > 0.05$)。饲料蛋白水平对青鱼肌肉粗蛋白含量有显著影响($P < 0.05$); 摄食蛋白水平为 42% 饲料的青鱼, 肌肉粗蛋白水平显著高于摄食饲料蛋白水平为 30%—36% 的青鱼($P < 0.05$)。饲

表 4 试验饲料对青鱼全鱼体组成的影响

Tab. 4 Effect of trial diets on whole fish composition of black carp

饲料 Diet	水分 Moisture	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude Lipid	粗灰分 Crude ash
起始鱼 Initial fish	70.93	17.07	9.64	2.68
P30L6	70.19	17.88	9.26	2.87
P33L6	70.56	17.85	8.92	2.91
P36L6	71.88	18.57	6.32	3.34
P39L6	71.99	17.83	7.20	3.01
P42L6	72.02	18.51	6.51	3.04
P30L9	70.11	18.79	8.41	3.00
P33L9	70.56	17.93	8.92	2.81
P36L9	71.73	17.80	7.32	3.01
P39L9	71.52	17.57	7.87	3.15
P42L9	70.82	18.29	8.03	3.05
Pooled SE	0.16	0.09	0.20	0.04
P30	70.15 ^a	18.34 ^a	8.83 ^a	2.94
P33	70.56 ^a	17.89 ^{ab}	8.91 ^a	2.86
P36	71.81 ^b	18.18 ^{ab}	6.81 ^b	3.17
P39	71.76 ^b	17.70 ^b	7.54 ^b	3.08
P42	71.42 ^b	18.40 ^a	7.26 ^b	3.05
L6	71.33	18.13	7.64 ^x	3.03
L9	71.95	18.08	8.11 ^y	3.01
双因子方差分析 Two-way ANOVA				
P	0.000	0.014	0.000	0.114
L	0.091	0.701	0.029	0.712
P×L	0.400	0.010	0.012	0.287

料蛋白和脂肪水平对青鱼肌肉粗脂肪均有显著影响 ($P<0.05$), 青鱼肌肉粗脂肪含量随着饲料蛋白水平升高有降低的趋势; 摄食含 30% 蛋白饲料的青鱼肌肉粗脂肪显著高于摄食含更高蛋白水平饲料的青鱼 ($P<0.05$); 青鱼摄食脂肪水平为 9% 饲料后, 其肌肉粗脂肪含量显著高于摄食脂肪水平为 6% 的青鱼 ($P<0.05$)。

3 讨论

本试验结果显示, 青鱼生长和饲料系数与饲料中蛋白质水平间呈现一定的生长—剂量反应。在饲料蛋白不足时, 鱼体生长减慢, 饲料系数较高; 提高饲料蛋白水平, 促进了鱼体生长, 饲料系数降低; 但当饲料蛋白水平达到适宜值后, 再提高饲料蛋白水平, 鱼体生长和饲料系数则不再有显著变化。在尼罗罗非鱼 *Oreochromis nilotica* × *O. aureus*、乌鳢 *Channa striata*、墨累鳊 *Maccullochella peeliii*、台湾马口鱼 *Zacco barbata*、银鲈 *Bidyanus Bidyanus*、光

倒刺鲃 *Spinibarbus hollandi*^[9-14] 等其他鱼类对蛋白质需求量研究中, 也出现类似生长—剂量反应。在本试验条件下, 以鱼体增重为指标, 用折线回归模型分析青鱼大规模鱼种最适饲料蛋白水平为: 约占干饲料的 40%。该结果比青鱼夏花鱼种对蛋白质需量 (占投喂状态饲料的 41%)^[2] 要低, 反映出青鱼与其鱼类一样, 随着鱼体规格的增大对饲料蛋白的需求也有所降低。

青鱼饲料蛋白质效率和饲料蛋白保留率随饲料蛋白的升高而呈下降的趋势。与对幼青鱼^[3]及其他鱼类如: 草鱼 *Ctenopharyngodon Idella*、莫桑比克罗非鱼 *O. mossambicus*、马来西亚淡水鲶 *Mystus nemurus*、鲫鱼 *Carassius auratus*、四须鲃 *Barbode altus* 及墨累鳊 *M. peeliii*^[11, 14-19] 等的同类研究有相似的观察。这可能与当鱼类摄食较高蛋白水平的饲料时, 饲料蛋白被水解后, 较多的氨基酸用作能量分解, 而且鱼体还需消耗能量来排出多余的氨^[20]。同时,

表 5 试验饲料对青鱼肌肉组成的影响

Tab. 5 Effect of trial diet on muscle composition of black carp

饲料 Diet	水分 Moisture	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude Lipid	粗灰分 Crude ash
P30L6	77.75	19.45	2.69	1.21
P33L6	78.08	19.30	2.15	1.21
P36L6	77.91	19.50	2.03	1.18
P39L6	77.67	19.77	2.45	1.17
P42L6	77.95	20.43	1.72	1.18
P30L9	76.69	19.67	3.37	1.21
P33L9	77.71	19.34	2.66	1.15
P36L9	78.04	19.34	2.41	1.17
P39L9	77.44	19.72	2.34	1.15
P42L9	77.71	20.18	2.14	1.21
Pooled SE	0.10	0.10	0.09	0.10
P30	77.22	19.56 ^a	3.03 ^b	1.21
P33	77.90	19.32 ^a	2.41 ^a	1.18
P36	77.97	19.42 ^a	2.22 ^a	1.18
P39	77.56	19.75 ^{ab}	2.40 ^a	1.61
P42	77.83	20.30 ^b	1.93 ^a	1.20
L6	77.87	19.69	2.21 ^x	1.19
L9	77.51	19.65	2.58 ^y	1.18
双因子方差分析 Two-way ANOVA				
P	0.100	0.016	0.000	0.184
L	0.069	0.818	0.003	0.350
P×L	0.380	0.931	0.277	0.334

在某一饲料能量水平时, 饲料中蛋白水平越低, 饲料中提供的非蛋白形式的可消化能则越高, 可使饲料氮损失减少, 提高饲料氮在体内的积累量^[21]。

饲料脂肪水平从 6% 提高到 9%, 青鱼的生长、饲料和蛋白质利用均未见明显改善。青鱼可能与团头鲂 *Megalobrama amblycephala*^[22]、尖吻鲈 *Lates calcarifer* 和军曹鱼 *Rachycentron canadum* 等鱼类相似, 对饲料脂肪耐受性相对较低, 或者说饲料应保持相对较高蛋白能量比^[5]。对青鱼鱼种研究显示, 饲料最佳脂肪水平为 6.2%—6.7%^[4]。根据本试验结果, 随着青鱼规格的增大, 对饲料脂肪的需要仍基本不变。

青鱼摄食蛋白水平较低的饲料后, 全鱼脂肪含量较高。在本试验条件下, 无论饲料脂肪水平为 6% 或 9%, 饲料蛋白水平下调均是通过相应增加糊精用量来实现, 也就相应增加了饲料中可消化碳水物的水平, 从而引起全鱼脂肪含量的升高。同类研究表明, 鱼类在摄食较低水平的饲料蛋白同时, 摄进了较高水平的碳水化合物, 使鱼类某些组织的脂肪合成酶的活性提高, 促进了糖源转变为脂肪, 并转运贮存于肝、腹腔内的脂肪组织和胴体等部位^[10,14]。青鱼摄食较高脂肪水平(9%)的饲料后, 其全鱼脂肪含量也较高。这种饲料脂肪水平升高会伴随养殖鱼体脂存积增加的现象在其他温水性淡水鱼中已有报道^[23]。鱼类长期摄食低蛋白能量比的饲料被认为会引起鱼体脂积累, 鱼肉产品脂肪过多, 甚至损害养殖鱼体健康^[20]。本试验结果表明, 青鱼摄食低蛋白和高脂肪(低蛋白能量比)的饲料后, 体脂积累增加, 除体现在全鱼脂肪含量提高外, 也表现在脏体比升高和肌肉脂肪含量升高。这种影响是否也会引起产品品质下降及鱼体健康, 有待深入研究和评价。

总之, 在本试验条件下, 以生长为评价指标, 确定青鱼大规格鱼种饲养阶段适宜饲料蛋白和脂肪水平分别为占干饲料的 40% 和 6%, 相应的饲料蛋白能量比(CP/GE)为: 24.5 mg/kJ。青鱼摄食低蛋白和高脂肪的饲料会造成体脂过多积累。

参考文献:

[1] Leng X J, Wang D Z. Nutrient requirements and feed manufacturing technology of *Mylopharyngodon piceus* [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2003, **12**(3): 265—270 [冷向军, 王道尊. 青鱼的营养与饲料配制技术. 上海水产大学学报, 2003, **12**(3): 265—270]

[2] Yong G H, Li J, Gu L J, et al. Optimal dietary protein level

for summerling black carp [J]. *Journal of Fisheries*, 1981, **5**(1): 49—55 [杨国华, 李军, 郭履骥, 等. 夏花青鱼饲料中的最适蛋白质含量. 水产学报, 1981, **5**(1): 49—55]

[3] Wang D Z, Song T F, Du H B, et al. The effect of protein and carbohydrate contents in feeds on the growth of fingerling black carp [J]. *Journal of Fisheries*, 1984, **8**(1): 9—17 [王道尊, 宋天复, 杜汉斌, 等. 饲料中蛋白质和糖的含量对青鱼鱼种生长的影响. 水产学报, 1984, **8**(1): 9—17]

[4] Wang D Z, Gong X Z, Liu Y F. The effects of fat contents in feeds on the growth of fingerling black carp [J]. *Journal of Fisheries*, 1987, **11**(1): 23—28 [王道尊, 龚希章, 刘玉芳. 饲料中脂肪的含量对青鱼鱼种生长的影响. 水产学报, 1987, **11**(1): 23—28]

[5] NRC. Nutrient Requirements of Fish [M]. Washington, D.C.: National Academy Press. 2011

[6] Garling D, Wilson R P. Effects of dietary carbohydrate-to lipid ratios on growth and body composition of fingerling channel catfish [J]. *Progressive Fish-Culturist*, 1977, **39**(1): 43—47

[7] Zeitoun I H, Ullrey D E, Magee W T, et al. Quantifying nutrient requirements of fish [J]. *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, 1976, **33**: 167—172

[8] AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Official Methods of Analysis [M]. 14th edn, Washington. 1984, 152—163

[9] Shiau S Y, Huang S L. Optimal dietary protein level of hybrid tilapia *Oreochromis nilotica* × *Oreochromis aureus* reared in seawater [J]. *Aquaculture*, 1989, **81**(2): 119—127

[10] Mohanty S S, Samantaray K. Effects of varying levels of dietary protein on the growth performance and feed conversion efficiency of snake head, *Channa striata*, fry [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1996, **2**(2): 89—94

[11] Gunasekera R M, De Silva S, Collins, et al. Effect of dietary protein level on growth and food utilization in juvenile Murray cod *Maccullochella peelii peellii* [J]. *Aquaculture Research*, 2000, **31**(2): 181—187.

[12] Yang S D, Liou C D, Liu F G. Effect 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

[13] Shyong W J, Huang C H, Chen H C. Effect of dietary protein concentration on growth and muscle composition of juvenile *Zacco barbata* [J]. *Aquaculture*, 1998, **167**(1): 35—42

[14] Yang S D, Lin T S, Liou C H, et al. Influence of dietary protein levels on growth performance, carcass composition and liver lipid classes of juvenile *Spinibarbus hollandi* [J]. *Aquaculture Research*, 2003, **34**(8): 661—666

[15] Lin D, Mao Y Q, Cai F S. Experiments on the protein requirements of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1980, **7**(3): 207—212 [林鼎, 毛永庆, 蔡发盛. 幼鲢鱼种生长阶段蛋白质最适需要量的

- 研究. 水生生物学集刊, 1980, 7(3): 207—212]
- [16] Jauncey K. The effect of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body composition of juvenile tilapia *Sarotherodon mosambicus* [J]. *Aquaculture*, 1982, 27(1): 34—54
- [17] Khan M S, Ang K J, Ambak M A, *et al.* Optimum dietary protein requirement of a Malaysian freshwater catfish, *Mystus nemurus* [J]. *Aquaculture*, 1993, 112(2-3): 227—235
- [18] Lochmann R T, Phillips H. Dietary protein requirement of juvenile golden shiners (*Notemigonus crysoleucas*) and goldfish (*Carassius auratus*) in aquaria [J]. *Aquaculture*, 1994, 128(3-4): 277—285
- [19] Elangovan A, Shim K F. Growth response of juvenile *Barbodes altus* fed isocaloric diets with variable protein levels [J]. *Aquaculture*, 1997, 158(3): 321—329
- [20] Kim K, Kayes T B, Amundson C H. Quantitative protein requirements of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L) [J]. *Journal of Fish Biology*, 1983, 22(6): 705—712
- [21] Cho C Y, Kaushik S J. Effect of protein intake on metabolizable and energy values of fish diets. In: Cowey C B, Mackie A M, Bell J B (Eds.), *Nutrition Feeding in Fish* [M]. London: Academic Press. 1985, 95—117
- [22] Jian Y Y, Li X F, Liu W B, *et al.* Effect of different protein and lipid levels on the growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) yearling [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2012, 36(5): 826—835 [蒋阳阳, 李向飞, 刘文斌, 等. 不同蛋白质和脂肪水平对 1 龄团头鲂生长性能和体组成的影响. 水生生物学报, 2012, 36(5): 826—835]
- [23] Pei Z, Xie S, Lei W, *et al.* Comparative study on the effect of dietary lipid level on growth and feed utilization for gibel carp and Chinese longsnout catfish [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2004, 10: 209—216

EFFECTS OF DIETARY PROTEIN AND LIPID ON GROWTH PERFORMANCE AND BODY COMPOSITION OF ADVANCED FINGERLING BLACK CARP (*MYLOPHARYNGODON PICEUS*)

CHEN Jian-Ming^{1,2}, SHEN Bin-Qian^{1,2}, PAN Qian^{1,2}, SUN Li-Hui^{1,2}, JIANG Jian-Hu^{1,2} and YE Jin-Yun³

(1. Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, China; 2. Agriculture Ministry Key Laboratory of healthy Freshwater Aquaculture, Huzhou 313001 China; 3. Huzhou Teacher's College, Huzhou 313000, China)

Abstract: To investigate the effects of dietary protein and lipid on growth and body composition of advanced fingerling black carp (*Mylopharyngodon piceus*), ten trial diets for a 5×2 factorial experiment, formulated with five protein levels (30%, 33%, 36%, 39% and 42%) and two lipid levels (6% and 9%), were fed to triplicate groups of black carp (initial average weight 95.54 g/fish) for 70 days. We observed that weight gain increased with increasing dietary protein level up to 39% ($P<0.05$), but did not increase further with increasing dietary protein level to 42% ($P>0.05$). Accordingly, feed conversion ratio decreased with increasing dietary protein level from 30% to 39% and kept stable with further increasing dietary protein level to 42%; protein efficiency ratio, protein retention and viscera somatic index tended to decrease with increasing dietary protein level; analysis of weight gain data by a broken line regression model showed that the optimum dietary protein level required for the maximum growth of black carp was 40% of dry diet. Dietary lipid level and the interaction of dietary protein and lipid did not affect weight gain and feed utilization ($P>0.05$); levels of dietary protein or lipid and their interaction did not affect the survival, body profile index, hepato-somatic index and condition factor ($P>0.05$); fish viscera-somatic index and muscle lipid had an increasing tendency with the decrease of dietary protein level; fish fed diets with a dietary lipid level of 9% had higher whole body and muscle lipid than those of fish fed diets with a dietary lipid level of 6% ($P<0.05$). It could be concluded that 40% dietary protein and 6% dietary lipid are suitable for maintaining good growth performance. Low dietary protein and high dietary lipid may cause extra body lipid deposition.

Key words: *Mylopharyngodon piceus*; Dietary protein; Dietary lipid; Growth performance; Body composition