

饲料低蛋白、高脂肪和高消化能对斑点叉尾鲷 一龄鱼生长及体组成的影响

蒋广震, 刘文斌*, 梁丹妮, 姜雪娇, 庄 苏

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

摘要: 为了探讨高脂肪条件下不同的蛋白和能量水平对斑点叉尾鲷生长及体组成的影响,试验设2个蛋白水平(22%,28%),2个脂肪水平(10.0%,14.0%),2个消化能水平(12.56 kJ/g,14.23 kJ/g),共8组,分别为 P28L10E14.23, P28L14E14.23, P22L10E14.23, P22L14E14.23, P28L10E12.56, P28L14E12.56, P22L10E12.56 和 P22L14E12.56。试验饲料配方使用鱼粉和豆粕调节蛋白含量,混合油脂(鱼油:玉米油=1:1)调节脂肪含量, α -淀粉、次粉和麸皮调节消化能含量,并以微晶纤维素为填充物,每组3个重复,每个重复20尾鱼(141.5±1.0)g。饲养60 d后,进行生产性能测定,并采集组织样本,测定相关指标。结果表明,鱼体末重(FW)、增重率(WG)、特定生长率(SGR)和饵料系数(FCR)不受饲料蛋白、脂肪和消化能单一营养水平影响($P>0.05$);但与饲料蛋白、脂肪和消化能三者的交互作用($P<0.01$)有关。胴体蛋白、脂肪含量与饲料脂肪和消化能水平相关($P<0.05$)。由此可见,饲料过高脂肪和消化能对斑点叉尾鲷没有额外的促生长作用;饲料蛋白水平达到22%时,即可满足140~300 g斑点叉尾鲷的营养需要;饲料中22%的蛋白、10%的脂肪、12.56 kJ/g的消化能即可满足斑点叉尾鲷仔鱼的生长需要,同时又能保证其正常生理机能,建议可在实际生产配方中作参考值。

关键词: 斑点叉尾鲷; 饲料营养组成; 生长; 体组成

中图分类号: S 963

文献标志码: A

斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)也称沟鲇,属鲇形目(Siluriformes),鲇科(Ictaluridae)。自1984年引入我国,至2006年年产量达14万t,具有明显的经济及产业发展优势,农业部已将其列为3个淡水鱼类(斑点叉尾鲷、罗非鱼、鳊鲷)品种产业化开发对象之一,且为中国主要出口创汇水产品种之一。国内关于斑点叉尾鲷营养需要量的研究报道较少,缺乏各营养素需要量的基础数据,而可供参考的国外数据发表较早(NRC,1993)^[1]且不全面,NRC中对脂肪需要量没有规定。另外,中国的水产养殖模式和饲料原料品种与欧美国家的不同,欧美现有的斑点叉尾鲷营养标准无法适应中国的养殖现状。目前,国内常使用鲤或鲫饲料饲喂斑点叉尾鲷,但鲤、鲫对营养物

质的需要量与斑点叉尾鲷差异很大^[2-8],因此,营养素的不平衡以及抗生素的不规范使用导致鱼体生长迟缓、免疫力下降、肉质品质降低^[9]和抗生素残留^[10],从而造成斑点叉尾鲷出口滞留,给国内养殖户带来巨大损失。

本实验室已就斑点叉尾鲷幼鱼对蛋白和脂肪的需要量进行了初步研究^[11],但一龄鱼养殖阶段对各营养物质的需要量国内尚未见报道,其蛋白、脂肪和消化能之间是否存在相互作用关系仍不清楚;高脂肪和高能量对斑点叉尾鲷的生长有无额外的促生长作用尚无报道。本实验拟研究不同蛋白、脂肪和消化能水平饲料对斑点叉尾鲷一龄鱼生长、体组成的影响,为我国无公害斑点叉尾鲷饲料的开发提供基础数据。

收稿日期:2011-05-11 修回日期:2011-11-02

资助项目:江苏省水产三项工程项目(PJ2007-13);苏北科技发展专项资金项目(BN2008208)

通讯作者:刘文斌,E-mail:wbliu@njau.edu.cn

1 材料与试验方法

1.1 试验设计与试验饲料

试验设 2 个蛋白水平(22% ,28%),2 个脂肪水平(10.0% ,14.0%),2 个消化能水平(12.56 kJ/g,14.23 kJ/g),共 8 组,分别为 P28L10E14.23, P28L14E14.23, P22L10E14.23, P22L14E14.23, P28L10E12.56, P28L14E12.56, P22L10E12.56 和

P22L14E12.56,每组设 3 个重复。试验饲料配方使用鱼粉和豆粕调节蛋白含量,混合油脂(鱼油:玉米油=1:1)调节脂肪含量, α -淀粉、次粉和麸皮调节消化能含量,并以微晶纤维素为填充物(表 1)。各组饲料总能在(17.75~19.13 kJ/g),在 100% 饲料基础上另外添加 0.5% 的 Cr_2O_3 作为标记物。各组饲料逐级混合均匀,再加水拌匀,用制粒机制成颗粒,25℃ 风干后置于 4℃ 冰箱内储藏备用。

表 1 试验饲料配方及营养组成
Tab. 1 Formulation and nutrition levels of the diets for channel catfish

原料 ingredients	P28L10 E14.23	P28L14 E14.23	P22L10 E14.23	P22L14 E14.23	P28L10 E12.56	P28L14 E12.56	P22L10 E12.56	P22L14 E12.56
豆粕/% soybean meal	40.09	45.22	18.48	20.77	52.69	19.07	29.85	36.70
鱼粉/% fish meal	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	32.00	8.00	8.00
α -淀粉/% α -starch	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
麸皮/% wheat bran	14.72	0.53	36.24	29.91	0.00	0.00	4.79	0.00
次粉/% wheat middlings	20.00	20.00	20.00	20.00	1.34	0.68	20.00	6.89
微晶纤维素/% microcrystalline cellulose	0.00	5.00	0.00	0.00	20.00	28.00	20.00	26.50
混合油/% mixed oils ¹	6.00	10.05	6.09	10.12	6.77	9.05	6.16	10.71
磷酸二氢钙/% dicalcium phosphate	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
预混料/% premix ³	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
食盐/% dairy salt	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
总计/% total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养成分 proximate analyses								
粗蛋白/% crude protein	28.03	27.69	22.57	21.36	27.94	28.10	21.60	21.56
粗脂肪/% crude lipid	10.08	14.00	10.09	14.40	10.60	14.40	10.30	14.00
无氮浸出物/% N-free extract	36.75	28.36	45.91	37.92	24.35	16.39	34.76	26.97
粗纤维/% crude fiber	7.33	12.62	6.29	7.49	17.88	18.48	15.02	19.91
粗灰分/% crude ash	9.67	9.10	7.24	9.85	10.62	12.24	10.31	8.64
干物质/% dry matter	91.86	91.77	92.10	91.02	91.39	89.61	91.99	91.08
总能/(kJ/g diet) gross energy	18.17	19.13	18.29	18.88	18.04	18.33	17.75	18.67
消化能/(kJ/g diet) digestible energy	14.06	14.23	14.11	14.27	12.64	12.93	12.52	12.77

注:1. 混合油为 1:1 的鱼油和豆油; 2. 根据蛋白质、脂肪、碳水化合物的能量(23.6,39.5,17.2 kJ/g) 计算总能;根据蛋白质、脂肪、碳水化合物的能量(21.2,33.6,12.9 kJ/g) 计算消化能; 3. 每千克预混料包括: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 2.0 g, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 25 g, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 22 g, $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 7 g, Na_2SeO_3 0.04 g, KI 0.026 g, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.1 g, VA 900 000 IU, VD 200 000 IU, VE 4 500 mg, VK₃ 220 mg, VB₁ 320 mg, VB₂ 1 090 mg, VB₅ 2 000 mg, VB₆ 500 mg, VB₁₂ 1.6 mg, VC 10 000 mg, 胆碱 40 000 mg, 泛酸 1 000 mg, 叶酸 165 mg.

Notes: 1. 1:1 mixture of fish oil and soybean oil; 2. Dietary gross energy (GE) levels were calculated using extra organ fuel values of 23.6, 17.2 and 39.5 kJ/g for carbohydrate, protein and lipid, respectively; Dietary digestible energy (DE) levels were calculated using extra organ fuel values of 21.2, 12.9 and 33.6 kJ/g for carbohydrate, protein and lipid, respectively; 3. Premix provided per kg: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 2.0 g, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 25 g, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 22 g, $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 7 g, Na_2SeO_3 0.04 g, KI 0.026 g, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.1 g, VA 900 000 IU, VD 200 000 IU, VE 4 500 mg, VK₃ 220 mg, VB₁ 320 mg, VB₂ 1 090 mg, VB₅ 2 000 mg, VB₆ 500 mg, VB₁₂ 1.6 mg, VC 10 000 mg, Choline 40 000 mg, Pantothenate 1 000 mg, Folic acid 165 mg.

1.2 试验用鱼与饲养管理

试验鱼购自江苏省淡水水产研究所国家级斑

点叉尾鮰良种场。先于水泥池中暂养(暂养期按 2.5% 投喂商品鮰鱼料),驯化 10 d 后,选取体格

健康、无畸形、体质量(141.5 ± 1.0) g 的斑点叉尾鲷鱼苗 480 尾,随机投放 24 个养殖水箱(规格 $3.0 \text{ m} \times 0.8 \text{ m} \times 0.8 \text{ m}$),每箱 20 尾。日投饵 3 次,投喂适量,使其自由采食,30 min 后观察记录吃食情况,投饵 1 h 后有残饵捞出烘干扣除。饲养期为 60 d,每天记录水温、溶解氧,夜间定时充氧保证水体溶解氧稳定。

养殖水为过滤池塘水。24 h 充氧,保持水质清新、溶氧充足。水温(27 ± 3) °C,水体 pH 7.0~7.5,溶解氧 4.8 mg/L 以上。

1.3 指标测定与方法

试验结束前饥饿 24 h,然后进行称重和样品采集,计算其增重率(weight growth, WG)、特定生长率(specific growth rate, SGR)、饲料系数(feed conversion ratio, FCR)、蛋白质效率比(protein efficiency ratio)及养分(氮、脂肪、能量)存留率。

增重率(WGR, %) = (末均体质量 - 初均体质量) / 初均重 $\times 100$

特定生长率(SGR, %/d) = $100 \times (\ln \text{ 末均重} - \ln \text{ 初均体质量}) / \text{养殖天数}$

饲料系数(FCR) = 投饵量 / (末体质量 - 初体质量)

蛋白质效率比(PER) = 鱼体蛋白质增重 / 蛋白质摄入量

养分存留率 = [(末体质量 \times 试验结束时鱼体该养分含量) - (初体质量 \times 试验开始时鱼体该养分含量)] $\times 100 /$ (饲料该养分含量 \times 饲料摄入量)

粪便收集采用捞网法,每天上午投饵后 2 h,收集新鲜成形的粪便,65 °C 烘干待测。饲料、粪便和鱼体组成的测定方法参照 AOAC^[12]。粗蛋白采用凯氏定氮法,粗脂肪采用索氏抽提法,灰分采用 550 °C 灼烧法,粗纤维使用 ANKOM A2000i, USA 仪器测定,氨基酸采用酸水解法,无氮浸出物采用差量法计算,总能采用氧弹测热法测定。

肝脏中的脂肪含量测定采用氯仿-甲醇抽提法^[13]。取干样品 50 mg 左右,加入 2 mL 氯仿-甲醇混合液(V:V, 2:1, C-M 液),匀浆后转入离心管,用少量 C-M 液清洗匀浆器。静置 24 h,将 C-M 液加至 4 mL,离心后将上清液转入另一离心管。在残渣中加入 2 mL C-M 液,离心后上清液

仍转入之前的离心管中。在盛有上清液的管中加入 1.2 mL 1.6% CaCl₂,摇匀后静置 1 h。离心后吸去上层液。将 1 mL 2% CaCl₂-C-M(3:8:4)混合液的上层液缓慢加入,离心后吸去上层液。下层液转入称过的瓶中,70 °C 下干燥后称重。

1.4 数据统计与分析

试验数据采用 SPSS 16.0 软件分析,以日粮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)分析,采用 S-N-K 检验。数据差异显著时采用 Duncan 氏检验进行多重比较,标注各组差异性。结果用平均值 \pm 标准差(means \pm SD)表示。

2 结果

2.1 饲料营养水平对斑点叉尾鲷生产性能的影响

饲养 60 d 后,各组斑点叉尾鲷均无死亡。实验结束时剖解可见,试验各组斑点叉尾鲷无病变。从表 2 可以看出,鱼体末重、增重率、特定生长率和饵料系数不受饲料蛋白、脂肪和消化能水平单一营养因素的影响($P > 0.05$);但与饲料蛋白、脂肪和消化能三者的交互作用有关($P < 0.01$)。比较各组末重、增重率和特定生长率数据可以发现,P22L10E12.56 组显著低于其他各组,饵料系数显著高于其他各组。P28L14E12.56 组的增重率为 8 组中最高,但与 P28L10E14.23, P28L14E14.23 和 P22L10E12.5636% 差异不显著。

蛋白质效率比、氮存留率、脂肪存留率和能量存留率数据见表 3。蛋白质效率比受饲料脂肪和脂肪与消化能交互作用影响($P < 0.05$),并且与三者的交互作用有极显著的相关性($P < 0.01$);氮存留率只受饲料蛋白水平影响($P < 0.05$);脂肪存留率受饲料脂肪、消化能的影响($P < 0.05$),并且与两者的交互作用有极显著的相关性($P < 0.01$);能量存留率与饲料消化能($P < 0.05$)及三者的交互作用有关($P < 0.01$)。

2.2 饲料营养水平对体组成的影响

试验鱼胴体和肝脏中营养成分分析结果见表 4 和表 5。胴体蛋白、脂肪和灰分含量与饲料脂肪水平相关($P < 0.05$);各组水分含量变化不显著($P > 0.05$);饲料消化能水平对胴体脂肪和蛋白有显著影响($P > 0.05$),而且,随着消化能水平的提高增加胴体脂肪水平呈现增加趋势($P = 0.066$)。

表2 饲料营养水平对斑点叉尾鲷生长性能的影响
 Tab.2 Growth performances of channel catfish fed diets containing various levels of protein, lipid and digestible energy

组别 group	初体质量/g initial weight	末体质量/g final weight	增重率/% weight gain	特定增长率/(%/d) SGR	饵料系数 FCR
P28L10E14.23	140.75 ± 0.38	306.25 ± 3.00 ^{ab}	117.59 ± 2.39 ^{ab}	1.30 ± 0.02 ^{ab}	1.54 ± 0.03 ^b
P28L14E14.23	141.00 ± 0.43	292.25 ± 10.82 ^{ab}	107.23 ± 7.04 ^{ab}	1.21 ± 0.06 ^{ab}	1.70 ± 0.11 ^b
P22L10E14.23	141.83 ± 0.65	287.33 ± 10.69 ^{ab}	102.54 ± 6.81 ^b	1.17 ± 0.06 ^{ab}	1.77 ± 0.12 ^b
P22L14E14.23	143.75 ± 1.89	286.83 ± 3.43 ^{ab}	101.89 ± 2.78 ^b	1.17 ± 0.02 ^b	1.76 ± 0.04 ^b
P28L10E12.56	140.75 ± 0.43	252.47 ± 13.91 ^c	79.40 ± 10.14 ^c	0.97 ± 0.10 ^c	2.36 ± 0.31 ^a
P28L14E12.56	141.67 ± 0.73	318.75 ± 15.12 ^a	124.91 ± 9.63 ^a	1.35 ± 0.07 ^a	1.46 ± 0.13 ^b
P22L10E12.56	141.58 ± 0.65	290.17 ± 9.24 ^{ab}	105.01 ± 7.46 ^{ab}	1.19 ± 0.06 ^{ab}	1.73 ± 0.11 ^b
P22L14E12.56	141.25 ± 0.52	278.42 ± 3.99 ^{bc}	97.10 ± 2.51 ^{bc}	1.13 ± 0.02 ^{bc}	1.86 ± 0.05 ^b
P 值 P value					
P	0.105	0.347	0.256	0.348	0.881
L	0.481	0.170	0.184	0.172	0.143
DE	0.785	0.255	0.251	0.204	0.130
P × L	0.418	0.034	0.037	0.037	0.046
P × DE	0.261	0.447	0.356	0.299	0.213
L × DE	0.956	0.025	0.022	0.023	0.034
P × L × DE	0.418	0.005	0.005	0.005	0.009

注:表中同列数据后标注不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),样本数: $n = 3$ 。

Notes: Means with different superscripts within the same column are significantly different ($P < 0.05$), $n = 3$.

表3 饲料营养水平对斑点叉尾鲷蛋白质效率比和存留率的影响
 Tab.3 Protein efficiency ratio (PER) and retention of nitrogen, lipid and energy of channel catfish fed diets containing various levels of protein, lipid and digestible energy

组别 group	蛋白质效率比 PER	氮存留率/% nitrogen retention	脂肪存留率/% lipid retention	能量存留率/% energy retention
P28L10E14.23	2.319 ± 0.04 ^{ab}	37.14 ± 1.05 ^{ab}	63.60 ± 5.66 ^a	56.61 ± 1.43 ^a
P28L14E14.23	2.145 ± 0.15 ^b	35.44 ± 1.72 ^{ab}	38.06 ± 5.89 ^b	48.23 ± 0.98 ^{bc}
P22L10E14.23	2.532 ± 0.18 ^{ab}	38.23 ± 5.18 ^a	43.49 ± 9.16 ^b	46.84 ± 3.41 ^{bc}
P22L14E14.23	2.631 ± 0.08 ^{ab}	39.02 ± 1.32 ^a	40.32 ± 2.41 ^b	45.75 ± 0.90 ^{bc}
P28L10E12.56	1.570 ± 0.20 ^c	28.91 ± 1.44 ^b	15.59 ± 5.19 ^c	37.57 ± 2.20 ^d
P28L14E12.56	2.665 ± 0.22 ^a	35.21 ± 3.92 ^{ab}	42.12 ± 5.23 ^{bc}	51.17 ± 2.04 ^{ab}
P22L10E12.56	2.559 ± 0.17 ^{ab}	44.06 ± 1.56 ^a	38.80 ± 3.38 ^b	49.01 ± 1.25 ^{bc}
P22L14E12.56	2.498 ± 0.07 ^{ab}	39.18 ± 1.41 ^a	29.23 ± 2.46 ^b	44.81 ± 1.41 ^c
P 值 P value				
P	0.003	0.008	0.629	0.194
L	0.040	0.950	0.452	0.989
DE	0.433	0.756	0.001	0.012
P × L	0.054	0.283	0.382	0.064
P × DE	0.765	0.084	0.085	0.005
L × DE	0.020	0.770	0.009	0.003
P × L × DE	0.004	0.100	0.002	0.000

注:表中同列数据后标注不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),样本数: $n = 3$ 。

Notes: Means with different superscripts within the same column are significantly different ($P < 0.05$), $n = 3$.

表 4 饲料营养水平对斑点叉尾鲷体组成的影响
Tab.4 Proximate composition of whole body of channel catfish fed diets containing various levels of protein, lipid and digestible energy

组别 group	蛋白 protein	脂肪 lipid	灰分 ash	水分 moisture
P28L10E14.23	53.42 ± 2.74 ^{ab}	41.46 ± 1.62 ^{ab}	6.89 ± 0.61 ^d	72.41 ± 1.15
P28L14E14.23	50.08 ± 0.61 ^{ab}	41.26 ± 1.62 ^{ab}	8.62 ± 0.06 ^{abc}	71.04 ± 0.28
P22L10E14.23	51.20 ± 2.87 ^{ab}	39.62 ± 1.35 ^{abc}	9.34 ± 0.39 ^{ab}	73.20 ± 0.75
P22L14E14.23	46.20 ± 1.49 ^b	42.16 ± 1.11 ^{ab}	8.02 ± 0.69 ^{bcd}	70.56 ± 0.83
P28L10E12.56	57.09 ± 1.18 ^a	33.68 ± 2.65 ^c	9.55 ± 0.26 ^{ab}	73.54 ± 1.51
P28L14E12.56	49.09 ± 3.52 ^{ab}	44.55 ± 2.14 ^a	7.32 ± 0.59 ^{cd}	73.77 ± 0.86
P22L10E12.56	54.51 ± 2.56 ^{ab}	35.69 ± 2.43 ^{bc}	10.05 ± 0.77 ^a	72.70 ± 0.72
P22L14E12.56	51.19 ± 3.27 ^{ab}	38.44 ± 1.43 ^{abc}	8.73 ± 0.37 ^{abc}	72.55 ± 1.12
<i>P</i> 值 <i>P</i> value				
P	0.367	0.422	0.021	0.531
L	0.014	0.020	0.049	0.169
DE	0.143	0.066	0.076	0.068
P × L	0.676	0.395	0.163	0.554
P × DE	0.440	0.612	0.966	0.396
L × DE	0.681	0.085	0.016	0.152
P × L × DE	0.385	0.096	0.016	0.751

注:表中同列数据后标注不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),样本数: $n = 3$ 。

Notes: Means with different superscripts within the same column are significantly different ($P < 0.05$), $n = 3$.

由表 5 可见,肝胰脏蛋白水平受饲料营养水平影响显著($P < 0.01$);肝胰脏脂肪水平与饲料蛋白和消化能水平相关($P < 0.05$);灰分含量与饲料蛋白、消化能及其相互作用相关($P < 0.01$);水分含量与饲料蛋白和脂肪的相互作用相关($P < 0.05$),且与饲料消化能水平极相关($P < 0.01$)。

表 5 饲料营养水平对斑点叉尾鲷肝脏组成的影响
Tab.5 Proximate composition of liver of channel catfish fed diets containing various levels of protein, lipid and digestible energy

组别 group	蛋白 protein	脂肪 lipid	灰分 ash	水分 moisture
P28L10E14.23	38.18 ± 0.15 ^c	5.86 ± 0.03 ^{abc}	3.48 ± 0.04 ^c	80.67 ± 0.88 ^{bcd}
P28L14E14.23	37.70 ± 0.00 ^c	6.41 ± 0.82 ^{abc}	4.87 ± 0.07 ^b	80.00 ± 0.00 ^d
P22L10E14.23	31.81 ± 0.39 ^c	7.71 ± 0.55 ^a	4.03 ± 0.36 ^c	80.50 ± 0.50 ^{cd}
P22L14E14.23	34.99 ± 0.03 ^d	7.55 ± 0.01 ^{ab}	3.76 ± 0.11 ^c	82.00 ± 0.58 ^{abc}
P28L10E12.56	44.03 ± 0.03 ^a	5.44 ± 0.61 ^c	3.82 ± 0.47 ^c	82.67 ± 0.33 ^a
P28L14E12.56	39.76 ± 0.16 ^b	5.64 ± 0.30 ^{bc}	3.96 ± 0.03 ^c	81.67 ± 0.33 ^{abcd}
P22L10E12.56	35.41 ± 0.38 ^d	7.03 ± 0.49 ^{abc}	5.65 ± 0.22 ^a	82.33 ± 0.33 ^{ab}
P22L14E12.56	44.05 ± 0.23 ^a	5.38 ± 0.75 ^c	4.29 ± 0.01 ^{bc}	82.67 ± 0.25 ^a
<i>P</i> 值 <i>P</i> value				
P	0.000	0.024	0.038	0.107
L	0.000	0.540	0.874	0.910
DE	0.000	0.033	0.042	0.001
P × L	0.000	0.153	0.001	0.030
P × DE	0.000	0.346	0.003	0.435
L × DE	0.029	0.299	0.007	0.319
P × L × DE	0.000	0.511	0.815	0.575

注:表中同列数据后标注不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),样本数: $n = 3$ 。

Notes: Means with different superscripts within the same column are significantly different ($P < 0.05$), $n = 3$.

2.3 饲料营养水平对消化率的影响

饲料蛋白、脂肪、干物质和能量的表观消化率数据见表6。粗蛋白的表观消化率受饲料各营养成分的影响($P < 0.01$);粗脂肪的表观消化率与饲料蛋白和脂肪的相互作用无关($P > 0.05$),而与其他指标均相关($P < 0.05$);饲料总能

的消化率与饲料脂肪水平有关($P < 0.05$),而且与饲料能量水平极相关($P < 0.01$);干物质的表观消化率受饲料蛋白和消化能的交互作用影响($P < 0.05$),且与饲料消化能和蛋白与脂肪的交互作用极相关($P < 0.01$)。

表6 饲料营养水平对斑点叉尾鲷饲料消化率的影响

Tab.6 Apparent digestibility coefficients for dry matter, crude protein, crude lipid and energy of the diets for channel catfish fed diets containing various levels of protein, lipid and digestible energy

组别 group	蛋白 protein	脂肪 lipid	总能 gross energy	干物质 dry matter
P28L10E14.23	78.69 ± 0.50 ^c	92.50 ± 0.18 ^c	71.13 ± 1.51 ^{bc}	54.01 ± 1.07 ^d
P28L14E14.23	79.49 ± 1.56 ^c	91.97 ± 0.62 ^c	72.88 ± 0.18 ^{abc}	63.15 ± 2.81 ^{ab}
P22L10E14.23	70.46 ± 0.56 ^d	88.24 ± 0.23 ^d	74.68 ± 1.43 ^{ab}	58.41 ± 0.79 ^c
P22L14E14.23	70.54 ± 0.68 ^d	92.87 ± 0.17 ^c	76.56 ± 0.96 ^a	53.80 ± 1.06 ^d
P28L10E12.56	80.43 ± 0.58 ^c	92.46 ± 0.23 ^c	69.96 ± 1.70 ^{cd}	58.70 ± 1.22 ^{bc}
P28L14E12.56	92.44 ± 0.09 ^a	97.68 ± 0.03 ^a	72.39 ± 0.49 ^{bc}	64.53 ± 0.40 ^a
P22L10E12.56	91.42 ± 0.16 ^a	95.54 ± 0.08 ^b	66.45 ± 0.64 ^d	66.22 ± 0.60 ^a
P22L14E12.56	88.01 ± 0.37 ^b	97.33 ± 0.09 ^a	70.18 ± 0.88 ^c	61.90 ± 1.18 ^{abc}
P 值 P value				
P	0.001	0.424	0.639	0.988
L	0.001	0.000	0.013	0.147
DE	0.000	0.000	0.001	0.000
P × L	0.000	0.049	0.658	0.000
P × DE	0.000	0.000	0.003	0.031
L × DE	0.005	0.004	0.436	0.447
P × L × DE	0.000	0.000	0.716	0.367

注:表中同列数据后标注不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),样本数: $n = 3$ 。

Notes: Means with different superscripts within the same column are significantly different ($P < 0.05$), $n = 3$.

3 讨论

3.1 饲料营养水平对斑点叉尾鲷生长性能的影响

在水产动物营养研究中,蛋白、脂肪和碳水化合物始终被认为是鱼类三大营养物质和能量来源,而三者鱼体内的供能情况、沉积情况和组织代谢中相互转化情况仍不完全清楚^[14-16]。饲料蛋白作为鱼类生长和能量供给的最重要的营养物质已有很多研究。一般认为,斑点叉尾鲷的增重率、体长增长率与饲料蛋白水平呈正相关,而且其对蛋白质的适宜需要量在24%~32%^[17-19],这与养殖模式、鱼种大小及养殖水体有关。本实验中饲料蛋白水平22%时,仍能获得较高的增重率,这可能是由于采食量的增加导致的^[19]。在对虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[20-21]、大西洋鲑

(*Oncorhynchus kisutch*)^[22]和黑鲷(*Dicentrarchus labrax*)^[23]等的研究中发现,在满足其基本脂肪需要量的基础上,提高饲料脂肪水平,仍能显著改善试验鱼的增重率和饵料系数,这可能是非蛋白能量对蛋白质的节约作用导致的。斑点叉尾鲷的营养研究中,尚无此类报道,一般认为斑点叉尾鲷适宜的脂肪需要量在6%~10%^[24],本实验中饲料脂肪水平从10%上升到14%,对其生长没有显著影响,说明在10%以上再提高饲料脂肪水平,并不能改善斑点叉尾鲷的生长。鱼类对糖类的利用率较低受到大家的公认,因此饲料中关于蛋白和脂肪需求量和代谢情况的研究很多而糖类代谢的研究却相对较少,近年来,随着研究的深入,饲料糖类在鱼体内的代谢作用越来越受到重视^[25]。部分鱼类可以利用饲料中少量碳水化合物,斑点叉尾鲷可以利用饲料中的淀粉和糊精等多糖,且

对糊精的利用率高于其他糖类物质,但是不能利用饲料中的单糖(如葡萄糖、果糖)。本实验采用次粉、麸皮和淀粉作为饲料碳水化合物的来源,结果表明,斑点叉尾鲷对糖类的消化率是比较高的,这证实了其可以利用部分多糖的理论。然而当消化能高于 12.56 时,对其生长没有显著的影响。

已有研究显示,32% 的饲料蛋白水平能够满足斑点叉尾鲷夏花对蛋白质的需要,本实验室前期研究也证实了这一观点^[11]。但 Li 等^[26]对 30 g 的斑点叉尾鲷研究显示,当饵料充足时,26% 的蛋白水平也可以满足斑点叉尾鲷对蛋白质的需要量,而当摄食量为 87.5% 时,则需要 28% 的饲料蛋白水平;对斑点叉尾鲷(20 ~ 500 g)来说, Li 等^[27]认为 24% 蛋白质水平可以满足其对生长的需要。但在本实验条件下,22% 的饲料蛋白水平增重率与 28% 差异不显著,说明在中国目前的养殖条件下,当饵料充足时,饲料蛋白水平 22% 也能满足斑点叉尾鲷的营养需要,但是饲料脂肪水平应保持在 10% 以下为宜。

3.2 饲料营养水平对斑点叉尾鲷鱼体组成的影响

当饲料脂肪满足需要量后,随饲料脂肪水平升高,鱼体脂肪含量也会随之增加。王爱民等^[28]对吉富罗非鱼的研究表明,当饲料中脂肪水平逐渐升高时,饲料蛋白质效率也随之增加,但并未提及鱼体组成方面的数据。Wilson 等^[24]的研究发现,斑点叉尾鲷对脂肪的需要量在 6% ~ 8%,当饲料中脂肪水平高于这一值时,多余的脂肪会在内脏和胴体中沉积;Gatling 等^[29]也有相似观点,认为斑点叉尾鲷饲料脂肪水平从 5% 升高到 7.5% ~ 10% 时,饵料系数和蛋白质效率增加,但脂肪沉积也显著升高。但关于能量对脂肪沉积的影响,目前尚不完全清楚。一般认为,饲料能量水平高,会造成肝脏脂肪酸合成酶(FAS)活性上升,从而导致肝脏脂肪沉积。在本实验中,饲料脂肪和能量水平均对鱼体脂肪含量有显著的影响,而肝脏中脂肪含量不受饲料脂肪的影响。这可能是由于过高的脂肪水平抑制了肝脏脂肪酸合成酶的活性,使内源性脂肪合成量降低;高脂肪水平促进了体内脂肪转移蛋白活性,加快脂肪转移出肝脏,但脂肪代谢和沉积的机制仍需进一步研究。

在本实验条件下,斑点叉尾鲷饲料中提高脂肪用量时,脂肪主要沉积在胴体中,而肝脏中脂

肪含量变化不大。当饲料消化能从 12.56 kJ/g 上升到 14.23 kJ/g 时,斑点叉尾鲷肝脏中的脂肪沉积量显著增加,这都提示饲料碳水化合物更易沉积在肝脏,而饲料脂肪可能更易沉积在胴体中。

4 小结

在本试验条件下,饲料过高脂肪和消化能对斑点叉尾鲷没有额外的促生长作用;饲料蛋白水平达到 22% 时,即可满足 140 ~ 300 g 斑点叉尾鲷的营养需要;饲料中 22% 的蛋白、10% 的脂肪、12.56 kJ/g 的消化能即可满足斑点叉尾鲷仔鱼的生长需要,同时又能保证其正常生理机能,建议可在实际生产配方中作参考值。

参考文献:

- [1] NRC (National Research Council). Nutrient Requirements of Fish [M]. Washington, DC: National Academy Press,1993:63.
- [2] Bromiey P J. Effect of dietary protein, lipid and energy content on the growth of *Scophthalmus* [J]. Aquaculture,1980,100:107 - 123.
- [3] Wilson R P, Moreau Y. Nutrient requirements of catfishes(*Siluroidei*) [J]. Aquatic Living Resources, 1996,9:103 - 111.
- [4] Dias J, Alvarez M J, Diez A, et al. Regulation of hepatic lipogenesis by dietary protein energy in juvenile European seabass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquaculture,1998,161:169 - 186.
- [5] Ronald G T, Robert P W. Effects of dietary conjugated linoleic acids and total dietary lipid concentrations on growth responses of juvenile channel catfish, *Ictalurus punctatus* [J]. Aquaculture, 2003,221:621 - 628.
- [6] Gaylord T G, Gatlin D M. Dietary protein and energy modifications to maximize compensatory growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. Aquaculture,2001,194:337 - 348.
- [7] Rainuzzo J, Reitan K. The significance of lipids at early stages of marine fish: a review [J]. Aquaculture,1997,155:103 - 115.
- [8] Sargent J, Bell G. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish [J]. Aquaculture, 1999,177:191 - 199.
- [9] 刘永涛,郭东方,杨莉,等. 喹烯酮在建鲤和斑点叉尾鲷体内的残留消除规律研究 [J]. 水生态学杂

- 志,2009,2(5):95-98.
- [10] 甄润英,陶秉春,马俪珍,等. 3种鲢鱼肌肉主要营养成分的对比分析[J]. 食品与机械,2008,24(4):108-110,142.
- [11] 蒋广震,刘文斌,王煜衡,等. 饲料蛋白脂肪比对斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)幼鱼生长、消化酶活性及肌肉成分的影响[J]. 水产学报,2010,34(7):145-152.
- [12] AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Official Methods of Analysis[M]. 15th ed. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists, 1990:684.
- [13] Folch J, Lees M, Sloane G H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues [J]. The Journal of Biological Chemistry, 1956, 226:497-509.
- [14] Anderson J S, Jackson A J, Matty A J, et al. Effects of dietary carbohydrate and fiber on the tilapia, *Oreochromis niloticus* [J]. Aquaculture, 1984, 37:303-314.
- [15] Catacutan M R, Coloso T M T. Effect of dietary protein to energy ratios on growth, survival, and body composition of juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*[J]. Aquaculture, 1995, 131:125-133.
- [16] 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 Dietetics, 1990, 61:132-172.
- [17] Andrews J W. Some effects of feeding rate on growth, feed conversion and nutrient absorption of channel catfish [J]. Aquaculture, 1979, 16:243-246.
- [18] Cho S H. Variable feed allowance with constant protein input for channel catfish ponds[D]. Auburn: Auburn University, 1998.
- [19] Gatlin D M, Bai S C. Effects of dietary lipid and reduced glutathione on composition and torage quality of channel catfish, *Ictalurus punctatus* [J]. The Journal of Aquatic Fish and Management, 1993, 24:457-463.
- [20] Lee D J, Putnam G B. The response of rainbow trout to varying protein/energy ratios in a test diet [J]. Journal of Nutrition, 1973, 103:916-922.
- [21] Kaushik S J, Oliva T A. Effect of digestible energy on nitrogen and energy balance in rainbow trout [J]. Aquaculture, 1985, 50:89-101.
- [22] Lin H, Romsos D R, Tack P I, et al. Influence of dietary lipid on lipogenic enzyme activities in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) [J]. Journal of Nutrition, 1977, 107:846-854.
- [23] Thierry B, Anne G, Denis C, et al. Regulation of feed intake, growth, nutrient and energy utilisation in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed high fat diets [J]. Aquaculture, 2004, 231:529-545.
- [24] Wilson R P, Moreau Y. Nutrient requirements of catfishes (*Siluroidei*) [J]. Aquatic Living Resources, 1996, 9:103-111.
- [25] Cho C Y, Woodward B. Studies on the protein-to-energy ratio in diets for rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. European Association for Animal Production Publication, 1989:37-40.
- [26] Li M, Lovell R T. Comparison of satiate feeding and restricted feeding of channel catfish with various concentration of dietary protein in production ponds [J]. Aquaculture, 1992, 103:165-175.
- [27] Li M, Lovell R T. Growth, feed efficiency and body composition of second- and third-year channel catfish fed various concentrations of dietary protein to satiety in production ponds [J]. Aquaculture, 1992, 103:153-162.
- [28] 王爱民, 韩光明, 封功能, 等. 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生产性能、营养物质消化及血液生化指标的影响[J]. 水生生物学报, 2011, 35(1):80-87.
- [29] Gatling D L, Wilson R P. Optimum dietary protein to energy ratio for channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus* [J]. Journal of Nutrition, 1976, 106:1368-1375.

Effects of different dietary protein, lipid and digestible energy levels on growth and body composition of juvenile channel catfish (*Ictalurus punctatus*)

JIANG Guang-zhen, LIU Wen-bin*, LIANG Dan-ni, JIANG Xue-jiao, ZHUANG Su

(Laboratory of Aquatic Nutrition and Ecology, College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: A 60-day feeding trial including diets with two protein levels (22%, 28%), two lipid levels (10.0%, 14.0%) and two digestible energy levels (12.56 kJ/g, 14.23 kJ/g) designed with three replications was conducted to investigate the growth, nutrient utilization and body composition of juvenile channel catfish. Four hundred and eighty fish (initial weight, 141.5 ± 1.0 g) were randomly distributed into 24 tanks (3.0 m \times 0.8 m \times 0.8 m) at a rate of 20 fish per tank and fed three times daily. Fish were fed respectively to apparent satiation by experimental diets named P28L10E14.23, P28L14E14.23, P22L10E14.23, P22L14E14.23, P28L10E12.56, P28L14E12.56, P22L10E12.56 and P22L14E12.56. Final weight, weight gain, specific growth rates (SGR) and feed conversion ratio (FCR) were not significantly affected by dietary protein or dietary lipid or dietary digestible energy ($P > 0.05$), but were significantly affected by a dietary protein \times lipid interaction ($P < 0.05$), and extremely significantly affected by a dietary protein \times lipid \times digestible energy interaction ($P < 0.01$). With the protein/energy ratio increasing, it took an increasing trend to final weight, weight gain and SGR ($P < 0.05$), except that fish fed diet P28L10E12.56. The digestibility of dietary protein, lipid, energy and dry matter is increasing when dietary digestible energy decreased ($P < 0.05$) and dietary lipid increased ($P < 0.05$). With the dietary protein decreasing, it took a decreasing trend to the digestibility of dietary protein, energy and dry matter ($P < 0.05$). The digestibility of dietary protein, lipid, energy and dry matter is increasing by dietary lipid levels ($P < 0.05$). Nitrogen retention was significantly increased as dietary protein levels decreased ($P < 0.05$), lipid retention decreased significantly with dietary digestible energy and lipid levels decreasing ($P < 0.05$), protein efficiency ratio (PER) was significantly increased as dietary digestible energy decreased ($P < 0.05$). Carcass protein and lipid were not significantly affected by dietary digestible energy concentrations ($P > 0.05$); however, carcass lipid tended to improve ($P = 0.066$) as dietary digestible energy levels increased. The results of this study indicated that the diet containing 28% protein with 14% lipid and 12.56 kJ/g digestible energy is optimal for growth of juvenile channel catfish (150 to 300 g weight). However, group P28L10E14.23 and P22L10E12.56 got second best weight, highest nutrient utilization and best body composition of juvenile channel catfish. It also indicates that lipid saved protein in diet of juvenile channel catfish.

Key words: channel catfish (*Ictalurus punctatus*); diet composition; growth; body composition

Corresponding author: LIU Wen-bin. E-mail: wbliu@njau.edu.cn