

饲料中添加生物素对草鱼幼鱼生长、体成分和血清生化指标的影响

吴凡^{1,2}, 刘安龙¹, 文华^{1,2}, 蒋明^{1,2}, 刘伟^{1,2}, 冷向军³

(1. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 农业部淡水生物多样性保护与利用重点开放实验室, 湖北荆州 434000; 2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏无锡 214081; 3. 上海海洋大学, 上海 200090)

摘要: 在纯化饲料中分别添加生物素 0、0.05、0.10、0.20、0.40、0.80、1.60 mg/kg 投喂初始质量为 (5.92 ± 0.25)g 的草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 幼鱼 8 周, 研究了不同生物素添加量对草鱼幼鱼生长性能、饲料系数、机体营养成分、血清生化指标的影响。试验结果显示: 与对照组相比, 添加生物素提高了草鱼幼鱼的增重率、特定生长率, 降低了饲料系数。添加量为 0.40 mg/kg 时草鱼幼鱼的特定生长率和增重率最大, 饲料系数最低, 并与对照组存在显著差异 ($P < 0.05$); 添加不同水平生物素对草鱼幼鱼全鱼水分、粗蛋白、粗脂肪含量无显著影响, 但添加量为 0.40 mg/kg 时粗蛋白含量最大。0.10 mg/kg 组和 0.20 mg/kg 组的全鱼灰分含量显著高于对照组 ($P < 0.05$); 添加生物素对血清总蛋白 (TP)、血糖 (GLU) 和总胆固醇 (TC) 无显著影响, 但显著提高了血清甘油三酯 (TG) 含量, 各添加组 TG 含量均显著高于对照组 ($P < 0.05$), 1.60 mg/kg 添加组的高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C) 和低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 含量显著高于对照组 ($P < 0.05$)。综合本试验结果, 草鱼幼鱼饲料中生物素适宜添加量为 0.40 mg/kg。

关键词: 草鱼幼鱼 (juvenile *Ctenopharyngodon idellus*); 生物素; 生长; 体成分; 生化指标

中图分类号: S965.112; S963.73

文献标识码: A

文章编号: 1000-6907-(2009)03-0052-05

Effects of dietary biotin on growth, body composition and serum biochemical indexes of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)

WU Fan^{1,2}, LIU An-long¹, WEN Hua^{1,2}, JIANG Ming^{1,2}, LIU Wei^{1,2}, LENG Xiang-jun³

(1. Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation and Utilization, Ministry of Agriculture, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Jingzhou, Hubei 434000; 2. Freshwater Fishery Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi, Jiangsu 214081; 3. Shanghai Ocean University, Shanghai 200090)

Abstract: An 8-week feeding trial was conducted to investigate growth, feed efficiency, body composition, serum biochemical indexes of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). Purified diets with 7 levels (0, 0.05, 0.10, 0.20, 0.40, 0.80, 1.60 mg/kg) of supplemental biotin were fed to juvenile grass carp with mean weight of (5.92 ± 0.25) g for 8 weeks. Each diet was fed to three replicate groups of fish. All fish were fed at a rate of 2% ~ 3% of their body weight per day in three equal feedings. The results showed that: The addition of biotin to diets improved specific growth rate (SGR), weight gain rate (WGR) of fish, while declined feed conversion rate (FCR). Statistical evaluation showed significant differences in the 0.40 mg/kg group compared to control group ($P < 0.05$). The highest SGR and WGR were observed at the 0.40 mg/kg group, while FCR were lowest. Moisture, crude lipid and crude protein contents of body were

收稿日期: 2009-04-15

资助项目: 国家“十一五”科技支撑计划重点项目(2006BAD03B03); 上海市教委重点学科建设项目(Y1101)

第一作者简介: 吴凡(1981-), 女, 湖北荆州人, 助理研究员, 硕士, 主要从事鱼类营养免疫与饲料研究。E-mail: wufan58@sohu.com

通讯作者: 文华。E-mail: wenhua.hb@163.com

not markedly affected by the supplemental levels of dietary biotin but the crude protein content of 0.40 mg/kg group was the highest in all groups, the ash content of 0.10 mg/kg group and 0.20 mg/kg group were significantly higher than control group ($P < 0.05$). Biotin supplementation had no significant influence on total protein (TP), glucose (GLU), total cholesterol (TC) to grass carp with. The total triglyceride (TG) of fish in experimental groups was significantly higher than control group ($P < 0.05$). The low density lipoprotein cholesterol (LDL-C) and high density lipoprotein cholesterol (HDL-C) were significantly higher than control group when the fish fed 1.60 mg biotin per kg diet ($P < 0.05$). Results indicated that the supplementation of biotin to diets for juvenile grass carp was 0.40 mg/kg.

Key words: juvenile grass carp (juvenile *Ctenopharyngodon idellus*); biotin; growth; body composition; biochemical indexes

生物素又名维生素 H, 属于水溶性 B 族维生素, 是动物维持正常生理机能所必需的维生素之一, 是机体代谢中羧化和脱羧反应的辅助因子, 能够参与羧化反应、糖原异生和蛋白质的合成^[1]。由于生物素在饲料原料中广泛分布, 并可由动物肠道内的细菌合成^[2], 因此其重要性常被忽视。但随着生物素缺乏症在多种养殖动物中出现, 同时亦有大量的试验证明, 日粮中补充生物素对动物生产性能的提高具有积极作用, 人们重新开始重视和研究生物素及其营养作用^[3]。由于生物素属于水溶性维生素, 其在饲料中的溶失使得水产动物生物素需要量的研究显得尤为重要。

国外很多研究表明, 生物素对于鱼类有非常重要的作用, 鱼类在缺乏生物素时会表现出缺乏症, 如虹鳟为粘膜脱落, 食欲减退, 呆板和生长不良^[4]; 印度鲶为食欲减退, 摄食量减少, 体色变黑, 死亡率升高^[5]; 鲤表现为生长缓慢, 摄食量减少, 活动迟钝^[6]; 斑点叉尾鲷缺乏生物素时会引起贫血和体色减退等症^[7]; 而在饲料中添加生物素可以提高虹鳟^[4], 印度鲶^[5], 罗非鱼^[8], 镜鲤^[9]的增重率, 促进其生长。草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 作为中国优质的淡水养殖品种, 其饲料配方的研究值得重视, 目前国内外尚未见有关草鱼对生物素需要量的报道。本试验采用单因子梯度法研究不同生物素添加水平对草鱼幼鱼生长, 鱼体成分和血清生化指标的影响, 旨在确定草鱼幼鱼饲料中是否需要添加生物素以及适宜的生物素添加量, 为其饲料配制提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料及饲料

以酪蛋白、明胶、白糊精等为主要原料的精制纯化饲料, 基本组成和营养成分见表 1。试验饲料中的生物素共设计 7 个添加梯度, 分别为: 0, 0.05, 0.10, 0.20, 0.40, 0.80 和 1.60 mg/kg (所

用生物素为饲料级, 含量 2%), 生物素用微晶纤维素预混后添加到饲料中。用高效液相色谱法^[10]测得饲料中生物素实际含量为 0, 0.04, 0.09, 0.20, 0.37, 0.76 和 1.41 mg/kg。饲料原料经粉碎通过孔径 0.18 mm 的分样筛, 按表 1 配比混合均匀, 少量的组分采用逐级扩大法混合, 制成 2.0 mm 粒径的颗粒饲料, 储存于低温冰箱中备用。

表 1 试验饲料的原料组成及基本营养成分

Tab. 1 Formulation and proximate analysis of experimental diets

项 目		含 量 %
原 料 组 成	酪蛋白	40.0
	白糊精	31.0
	明胶	6.0
	玉米油	5.0
	豆油	5.0
	复合维生素 ¹	1.75
	复合无机盐 ²	5.0
	微晶纤维素	5.0
	氯化胆碱	1.0
	生物素预混料	0.25
营 养 成 分	水分	11.25
	粗脂肪	7.69
	粗蛋白质	35.42
	粗灰分	4.63

注: 1. 复合维生素: 维生素 A 4500 IU/kg; 维生素 D 1000 IU/kg; 维生素 E 100 mg/kg; 维生素 K₃ 5 mg/kg; 维生素 B₁ 10 mg/kg; 维生素 B₂ 20 mg/kg; 维生素 B₆ 10 mg/kg; 维生素 B₁₂ 0.05 mg; 维生素 C 400 mg/kg; 烟酸 150 mg/kg; 泛酸钙 100 mg/kg; 叶酸 5 mg/kg; 肌醇 500 mg/kg

2. 无机盐预混料采用获野珍吉^[11]配方。

1.2 试验鱼及其饲养管理

试验鱼为长江水产研究所鱼类育种试验场繁殖的幼鱼, 试验前先将鱼体药浴消毒, 并调节水温, 再暂养于养殖缸中, 以不添加生物素的基础饲料驯养 2 周, 使其适应试验条件。试验鱼初始体重为

(5.92 ± 0.25)g。

试验分为7个处理, 投喂相应的饲料, 每个处理3个重复, 共21组。每组25尾鱼随机分在21只直径1 m, 水深35 cm的玻璃纤维养殖缸中。水源为曝气后的井水与湖水的混合水, 保持微流水, 供水量为0.4~0.6 L/min。每天上、下午各测定水温1次, 试验期间水温为(26.9 ± 3.0)℃。水体pH(7.6 ± 0.2), 溶解氧7.0 mg/L以上, NH₄⁺-N和NO₂-N分别不高于0.5 mg/L和0.029 mg/L。正式养殖试验进行8周, 随机确定每缸的饲料组编号, 每天投喂量为鱼体重的2%~3%, 每日投喂3次(8:00、13:00、17:00), 每日观察草鱼摄食及死亡情况, 发现死鱼及时捞出称重记数, 并检查死亡原因。

1.3 取样与测定

试验结束后, 停食24h, 测定每缸鱼的总体重, 计算增重率、特定生长率、饲料系数和存活率, 各指标计算公式如下:

$$WGR = (W_t - W_0) / W_0 \times 100\%$$

$$SGR = (\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100\%$$

$$FCR = F / (W_t N_t - W_0 N_0 + W_d)$$

$$SR = N_t / N_0 \times 100\%$$

式中: WGR为增重率(%), W_t为第t天后各组鱼体平均体重(g), W₀为初始时各组鱼体平均体重(g); SGR为特定生长率(%/d); FCR为饲料系数, W_d为t天内各组死亡的鱼体总重(g), F为t天内各组的饲料摄取量(g); SR为存活率(%), N_t为第t天后各组鱼总数(尾), N₀为初始各组鱼总数(尾), t为饲养天数(d)。

每缸取4尾鱼断尾取血, 制备血清, 在O-LYMPUS AU600型(日本)全自动生化分析仪上测定血糖(GLU)、总蛋白(TP)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量。每缸另取3尾鱼

测定全鱼体成分, 饲料和全鱼水分采用105℃恒温干燥失重法测定; 粗脂肪采用索氏抽提法测定; 粗蛋白采用凯氏定氮法测定; 灰分采用马福炉灰化法测定。

1.4 数据分析

采用STATISTICA 6.0统计软件中one-way ANOVA方差分析和Duncan氏均值多重比较对试验数据进行分析处理, P < 0.05即认为有显著性差异, 所有的数据结果均以样本平均值 ± 标准偏差表示。

2 结果分析

2.1 饲料中添加生物素对草鱼幼鱼生长性能的影响

表2显示了饲料中生物素添加水平对草鱼幼鱼生长的影响, 生物素对草鱼的存活率无显著影响, 各组存活率保持在93.67%~97.33%。饲料中添加生物素可以提高草鱼幼鱼增重率和特定生长率, 添加量为0.40 mg/kg时, 增重率和特定生长率显著高于对照组(P < 0.05), 其他各添加组与对照组无显著差异(P > 0.05)。当生物素添加量为0.40 mg/kg时, 饲料系数最低, 显著低于对照组(P < 0.05)。

2.2 饲料中添加生物素对草鱼幼鱼鱼体成分的影响

表3显示了不同生物素水平对草鱼幼鱼鱼体成分的影响。对照组灰分含量只与0.10 mg/kg、0.20 mg/kg组有显著性差异(P < 0.05); 当生物素添加量为0.40 mg/kg时, 鱼体粗蛋白达到最大值, 为(14.56 ± 0.02)%, 当生物素含量进一步增加时, 粗蛋白含量呈下降趋势, 各组均无显著性差异; 各生物素添加组的粗脂肪含量均高于对照组, 但无显著性差异; 鱼体水分亦不受生物素含量的影响。

表2 饲料中添加生物素对草鱼幼鱼生长的影响

Tab. 2 Effects of dietary biotin levels on growth of juvenile grass carp

生物素添加量 (mg/kg)	初均重 (g)	末均重 (g)	增重率 (%)	饲料系数	特定生长率 (%/d)	存活率 (%)
0.00	6.04 ± 0.17	15.72 ± 0.81 ^a	160.28 ± 8.94 ^a	1.50 ± 0.09 ^a	1.71 ± 0.06 ^a	95.67 ± 4.04
0.05	5.68 ± 0.16	16.57 ± 1.33 ^{ab}	191.94 ± 30.42 ^{ab}	1.43 ± 0.12 ^a	1.91 ± 0.19 ^{ab}	95.67 ± 3.51
0.10	6.16 ± 0.13	17.82 ± 0.83 ^b	189.34 ± 7.29 ^{ab}	1.39 ± 0.13 ^a	1.90 ± 0.05 ^{ab}	94.00 ± 6.56
0.20	6.12 ± 0.05	17.78 ± 0.92 ^b	190.83 ± 15.24 ^{ab}	1.43 ± 0.07 ^a	1.90 ± 0.09 ^{ab}	93.67 ± 5.68
0.40	5.84 ± 0.17	18.03 ± 0.45 ^b	209.11 ± 7.92 ^b	1.24 ± 0.08 ^b	2.01 ± 0.05 ^b	97.33 ± 2.51
0.80	5.90 ± 0.40	17.33 ± 0.98 ^{ab}	194.85 ± 32.53 ^{ab}	1.36 ± 0.13 ^{ab}	1.92 ± 0.19 ^{ab}	94.67 ± 5.86
1.60	5.73 ± 0.24	17.27 ± 1.35 ^{ab}	202.43 ± 35.17 ^{ab}	1.33 ± 0.15 ^b	1.96 ± 0.21 ^{ab}	96.33 ± 3.21

注: 同列肩标字母相异表示差异显著(P < 0.05)。表3、4同。

表3 饲料中添加生物素对草鱼幼鱼体成分的影响
Tab.3 Effect of dietary biotin levels on body compositions of juvenile grass carp

生物素添加量 (mg/kg)	水分 (%)	粗蛋白 (%)	粗脂肪 (%)	粗灰分 (%)
0.00	72.58 ± 0.65	14.27 ± 0.10	8.57 ± 0.52	3.20 ± 0.07 ^a
0.05	72.18 ± 0.24	14.33 ± 0.25	8.93 ± 0.39	3.24 ± 0.05 ^{ab}
0.10	72.57 ± 0.46	14.27 ± 0.49	8.53 ± 0.35	3.28 ± 0.02 ^b
0.20	72.09 ± 0.44	14.56 ± 0.21	8.93 ± 0.54	3.28 ± 0.03 ^b
0.40	72.20 ± 0.38	14.56 ± 0.02	9.02 ± 0.12	3.26 ± 0.04 ^{ab}
0.80	72.33 ± 0.63	14.38 ± 0.10	9.01 ± 0.28	3.27 ± 0.02 ^{ab}
1.60	72.10 ± 0.53	14.41 ± 0.19	9.05 ± 0.49	3.23 ± 0.03 ^{ab}

2.3 饲料中添加生物素对草鱼幼鱼部分血清生化指标的影响

表4显示了饲料中不同生物素水平对草鱼幼鱼血清中GLU、TC、TG、TP、LDL-C、HDL-C的影响。生物素对TP、GLU和TC无显著差异($P >$

0.05); 添加生物素可以提高血清TG含量, 各添加组TG含量均显著高于对照组($P < 0.05$), 且随着饲料中生物素的增加有增加的趋势; 1.60 mg/kg添加组的LDL-C和HDL-C含量显著高于对照组($P < 0.05$)。

表4 饲料中添加生物素对草鱼幼鱼血清中血糖、总胆固醇、甘油三酯、总蛋白、低密度脂蛋白胆固醇和高密度脂蛋白胆固醇的影响

Tab.4 Effects of dietary biotin levels on blood glucose (GLU), total cholesterol (TC), total triacylglycerol (TG), total protein (TP), low density lipoprotein cholesterol (LDL-C) and high density lipoprotein cholesterol (HDL-C) in blood serum of juvenile grass carp

生物素添加量 (mg/kg)	血糖 GLU (mmol/L)	总胆固醇 TC (mmol/L)	甘油三酯 TG (mmol/L)	总蛋白 TP (mmol/L)	低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C (mmol/L)	高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C (mmol/L)
0.00	3.76 ± 0.07	7.34 ± 0.50	5.65 ± 0.35 ^a	36.20 ± 1.25	1.73 ± 0.20 ^a	1.33 ± 0.11 ^a
0.05	4.21 ± 0.82	8.04 ± 0.89	6.08 ± 0.11 ^b	37.10 ± 1.92	1.85 ± 0.22 ^a	1.38 ± 0.14 ^a
0.10	4.68 ± 0.83	8.08 ± 0.80	6.26 ± 0.02 ^b	36.93 ± 1.55	1.64 ± 0.29 ^a	1.34 ± 0.08 ^a
0.20	4.86 ± 0.63	8.05 ± 0.63	6.76 ± 0.21 ^c	36.80 ± 1.87	1.79 ± 0.14 ^a	1.40 ± 0.13 ^{ab}
0.40	4.33 ± 0.23	8.85 ± 0.60	6.85 ± 0.54 ^c	38.63 ± 2.46	2.24 ± 0.25 ^{ab}	1.51 ± 0.11 ^{ab}
0.80	5.26 ± 1.73	8.25 ± 1.00	6.79 ± 0.47 ^c	39.03 ± 1.88	2.09 ± 0.60 ^{ab}	1.40 ± 0.03 ^{ab}
1.60	4.87 ± 0.90	9.16 ± 0.81	6.98 ± 0.50 ^c	39.30 ± 1.40	2.50 ± 0.33 ^b	1.59 ± 0.07 ^b

3 讨论

Shiau等^[8]在纯化饲料中添加不同量的生物素, 投喂0.98 g的罗非鱼8周, 发现0.1 mg/kg组的罗非鱼生长最快, 而不添加生物素的对照组生长最慢。Woodward等^[4]对虹鳟的研究也有相似的结果。本试验结果表明, 饲料中添加生物素可以增加草鱼幼鱼的增重率, 降低饲料系数, 当生物素添加量为0.40 mg/kg时, 增重率最大, 饲料系数最低, 并与对照组有显著差异, 说明添加适量的生物素对草鱼生长有促进作用。

以往的研究表明, 生物素对鱼类的生长是必需的, 但不同种类的需求量却不相同, 如虹鳟的需求量0.05 ~ 0.14 mg/kg^[4], 印度鲷0.25 mg/kg^[5], 鲤0.02 ~ 0.03 mg/kg^[6], 罗非鱼0.06 mg/kg^[8], 镜鲤2.0 ~ 2.5 mg/kg^[9], 湖红点鲑0.1 mg/kg^[12]。

这可能与鱼的种类、实验周期、试验条件有关。尾崎久雄^[2]研究表明鱼类肠道内细菌可以合成生物素; 崔青曼等^[13]研究认为生物素合成量不足以满足鱼类生长需要, 不同种类的鱼因合成能力的不同对生物素的需求量也就存在差异。Mohamed等^[5]以不同生物素含量的饲料养殖印度鲷15周, 在6周后发现对照组的鱼出现严重的生物素缺乏症, 如抽搐、死亡率增加、饲料转化率低、鱼体重减轻及体色发黑等, 饲料中添加生物素的组未出现缺乏症。本试验中, 对照组除生长迟缓外, 未见明显的生物素缺乏症产生: 这可能是本试验的养殖时间不够长, 早期的生物素缺乏症状并没有明显的表现; 也可能是草鱼肠道内细菌能合成一定量的生物素, 但其合成量不足, 虽未出现缺乏症但却影响到草鱼的生长。

生物素在动物体内主要以辅酶的形式, 参与蛋

白质的代谢过程。生物素作为丙酰辅酶 A 羧基酶的成分作用于蛋氨酸、异亮氨酸、苏氨酸等,使其经琥珀酰辅酶 A 进入柠檬酸循环,并为多种氨基酸的转移和脱羧所必需^[14]。Atwal 等^[15]的研究指出,当生物素缺乏时,氨酰基-tRNA 与核糖体的结合过程被显著抑制,从而抑制了蛋白质的合成;当给动物补充生物素时,能促进氨酰基-tRNA 与核糖体的结合,促进蛋白质的合成。本试验中,生物素添加量为 0.40 mg/kg 时鱼体粗蛋白含量达到最大值,说明添加适量生物素对鱼体蛋白质的合成有一定促进作用,但与对照组间未出现显著差异可能与试验周期不够长有关。

关于生物素对鱼类血脂含量的影响目前未见报道,但在对肉仔鸡的研究中发现,添加生物素可以提高血清甘油三酯(TG)的浓度^[16]。本研究中各生物素添加组的草鱼血清 TG 含量显著高于对照组,出现相似结果的原因可能是生物素在动物体内作为乙酰辅酶 A 羧基酶消耗 ATP 而形成羟基生物素中间体,将其活性辅酶 II 提供给乙酰辅酶 A,生成丙二酰辅酶 A,参与脂肪酸的合成,因而提高了血清 TG 的含量。而 TG 过高有可能会影响鱼类脂肪代谢,造成营养性脂肪肝^[17],因此饲料中添加过量的生物素可能对草鱼的脂肪代谢有不利影响。

4 小结

饲料中添加生物素有利于草鱼幼鱼生长,降低饲料系数,添加量为 0.40 mg/kg 时特定生长率最大,饲料系数最低。饲料中添加生物素可以显著提高血清 TG 含量,但添加过量可能对草鱼的脂肪代谢有不利的影响。初始体重为 5.92 g 的草鱼幼鱼,在本实验条件下,其饲料中生物素的添加量以 0.40 mg/kg 为宜。

参考文献:

- [1] 吴琼,孙文志,白兆鹏. 生物素及其在动物生产中的应用[J]. 饲料博览, 2004, 6: 46-47.
- [2] 尾崎久雄. 鱼类消化生理[M]. 李爱杰,沈宗武,译. 上海: 科学技术出版社, 1985.
- [3] 刁立兰,王燕. 生物素及其营养研究进展[J]. 饲料博览, 2007, 21: 25-28.
- [4] Woodward B, Frigg M. Dietary biotin requirements of young rainbow trout (*Salmo gairdneri*) determined by weight gain, hepatic biotin concentration and maximal biotin-dependent enzyme activities in liver and white muscle[J]. J Nutr, 1989, 119: 54-60.
- [5] Mohamed J S. Dietary biotin requirement determined for Indian catfish, *Heteropneustes fossilis* (Bloch), fingerlings[J]. Aquacul Res, 2001, 32(9): 709-716.
- [6] Ogino C, Watanabe T, Kakino J, et al. B vitamin requirements of carp: III. Requirement of biotin[J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1970, 36: 734-740.
- [7] Robinson E H, Lovell R T. Essentiality of biotin for channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed lipid and lipid-free diets[J]. J Nutr, 1978, 108, 1600-1611.
- [8] Shiao S Y, Chin Y H. Estimation of the dietary biotin requirement of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*[J]. Aquaculture, 1999, 170: 71-78.
- [9] Gunther K D, Meyer-Burgdorff K H. Studies on biotin supply to mirror carp (*Cyprinus carpio L.*)[J]. Aquaculture, 1990, 84: 49-60.
- [10] 余林梁,黄晓兰,吴惠勤. 饲料中生物素的高效液相色谱测定[J]. 分析测试学报, 2003, 22: 102-104.
- [11] 获野珍吉. 鱼类的营养与饲料[M]. 郑长义,戴宏宗,译. 台湾: 养鱼世界杂志出版社, 1984.
- [12] Poston H A. Optimum level of dietary biotin for growth, feed utilization and swimming stamina of fingerling lake trout[J]. Fish Res Board Can, 1976, 33: 1803-1806.
- [13] 崔青曼,袁春营. 鱼类消化道微生物区系调控技术的研究进展[J]. 水产科技情报 2003, 30(6): 257-260.
- [14] 常文环. 动物生物素营养研究进展[J]. 畜禽业, 2003, 4: 12-13.
- [15] Atwal A S, Robblee A R, Milligan L P. Effect of dietary biotin on liver pyruvate carboxylase and 32P incorporation into nucleic acids in livers of chicks[J]. J Nutr, 1971, 101: 1555-1562.
- [16] 于会民,蔡辉宜,常文环,等. 不同生物素添加水平对肉仔鸡生长性能、血清生理生化指标和机体免疫功能的影响[J]. 饲料工业, 2004, 25(6): 36-40.
- [17] 程汉良,夏德全,吴婷婷. 鱼类脂类代谢调控与脂肪肝[J]. 动物营养学报, 2006, 18(4): 294-298.