

胆汁酸对草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)的生长性能、肌肉营养成分及消化酶活性的影响*

曾本和^{1,2} 廖增艳^{1#} 向 泉^{1①} 何文萧¹ 岑 敏¹ 何善成¹

(1. 西南大学荣昌校区水产系 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室 水产科学重庆市市级重点实验室 重庆 402460; 2. 西藏自治区农牧科学院水产科学研究所 拉萨 850002)

摘要 为研究胆汁酸对草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)生长性能、肌肉营养成分及消化酶活性的影响,选取初始体重为(13.11±0.58) g 的草鱼 540 尾,随机分成 6 个实验组,分别饲喂胆汁酸添加量为 0、75、150、225、300、375 mg/kg 的等氮等能饲料(粗蛋白含量 34.56%,总能 13.54 kJ/g),养殖时间为 60 d。结果显示,随着胆汁酸浓度的增加,草鱼的增重率(WGR)、特定生长率(SGR)均呈先上升后下降的变化趋势,且均在胆汁酸添加量为 300 mg/kg 时达到最大值(分别为 281.18%和 2.23%/d);饲料系数(FCR)则呈先下降后上升的趋势,且在胆汁酸添加水平为 225 mg/kg 时达最低值(1.26)。由二次回归方程可知,WGR、SGR、FCR 等生产性能最优时,胆汁酸添加水平分别为 222.15、265.00、242.86 mg/kg。实验鱼肌肉粗脂肪含量随胆汁酸添加量的增加而呈先下降后趋于稳定的变化趋势,粗蛋白质含量则呈先上升后降低的变化趋势。肠道各段及肝脏的消化酶活性均随胆汁酸添加量的增加呈先升高后下降的趋势。由此说明,适量的胆汁酸能提高草鱼生长性能,促进其脂肪代谢,降低机体脂肪沉积,改善其肌肉品质。本研究考虑到草鱼消化酶活性、肌肉品质及生长性能等因素,其饲料中胆汁酸适宜的添加量为 222.15–265.00 mg/kg。

关键词 草鱼;胆汁酸;生长性能;肌肉营养成分;消化酶活性

中图分类号 S963.73 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2017)02-0099-08

胆汁酸是由胆固醇降解所产生的一类固醇类物质(唐俊英, 2011),可与动物消化道中的胰脂肪酶结合,将胰脂肪酶的催化基团暴露出来并发生空间结构的改变,完全发挥胰脂肪酶的活性,完成对长链脂肪酸的消化和吸收(杨汉博, 2008);同时,胆汁酸是动物肠道中脂类物质的乳化剂,可促进脂肪及各种脂溶性物质的消化利用。赖悦丰(2015)研究表明,熊去氧胆酸对非酒精性脂肪肝患者的临床治疗有效率高达

82.35%,较对照组提高了 55.56%;沈昕等(2015)报道,在 35%的高脂饲料中添加 16.70–150.00 mg/kg 胆酸后可显著提高大鼠(*Rattus norvegicus*)的增重率,且高剂量的胆酸显著降低了大鼠的脂肪系数及低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)水平,说明高剂量的胆酸可促使营养性肥胖的大鼠减肥。林仕梅等(2003)研究表明,胆汁酸能促进鲫鱼(*Carassius auratus*)生长,提高其饲料转化率,降低内脏比,改善鱼体品质。研究表明,一

* 重庆市基础与前沿研究计划项目(cstc2013jcyjA80033)、2015 年西南大学青年基金项目 and 2015 年西南大学信豚基金项目共同资助[This work was supported by Basic and Advanced Research Projects in Chongqing (cstc2013jcyjA80033), Youth Fund Project of Southwestern University in 2015, and Xintun Fund Project of Southwestern University in 2015]. 曾本和, E-mail: 675426776@qq.com

#共同第一作者:廖增艳, E-mail: 1170143774@qq.com

① 通讯作者:向 泉, 副教授, E-mail: howlet@126.com

收稿日期: 2016-02-15, 收修改稿日期: 2016-04-12

定浓度的胆汁酸可促进饲料脂肪的乳化, 显著提高军曹鱼(*Rachycentron canadum*)的增重率, 降低其体内脂肪的沉积(周书耘等, 2010)。且胆汁酸可参与肠肝循环, 具有作为信号因子调节机体代谢(Norlin *et al.*, 2007; Thomas *et al.*, 2008)、抑制胃肠致癌因子(Copaci *et al.*, 2005)、保肝利胆(唐精等, 2011)及防治疾病(张久聪等, 2008)等作用。目前, 胆汁酸在草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)中的研究鲜有报道。本研究拟探讨不同胆汁酸水平对草鱼生长性能、肌肉营养成分及消化酶活性的影响, 以期胆汁酸在草鱼配合饲料中的应用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

以鱼粉、豆粕、菜粕、棉粕等为蛋白源, 鱼油为脂肪源配制草鱼基础饲料, 分别在基础饲料中添加 0、75、150、225、300、375 mg/kg 的胆汁酸(胆汁酸由广东信豚饲料有限公司提供, 有效成分的质量分数为 15%)配制成 6 种等氮等能实验饲料, 饲料原料经粉碎后过 60 目筛, 各原料按配方比例定量并逐级扩大混合均匀。用实验室小型绞肉机制成直径为 1 mm 的颗粒, 自然晾干后于 -20℃ 保存。基础饲料配方以及营养成分含量见表 1。

1.2 实验鱼的采集及饲养管理

实验草鱼购自重庆市双河养殖场的同一批繁殖的幼鱼, 购回后用 3%~5% 的食盐水消毒后放入暂养池, 暂养 10 d 后, 选取健康、无伤病、初始体重为 (13.11±0.58) g 的草鱼 540 尾, 随机分成 6 个实验组, 每组设 3 个重复, 每个重复 30 尾实验鱼, 随机放养在实验水族箱(1.2 m×0.4 m×0.6 m)中。分别投喂不同胆汁酸水平的实验饲料, 养殖时间为 60 d。每天表观饱食投喂 3 次(08:00、12:00 和 19:00)。实验期间, 每天换水 1 次, 每次换水 1/3。水温保持在 25~30℃, pH 值 6.5~7.5、溶氧>6.0 mg/L、NH₃-N<0.2 mg/L, NO₂-N>0.01 mg/L。每日监测实验鱼的摄食行为和死亡数量等。

1.3 样品的采集

在实验结束前一天对实验鱼饥饿 24 h, 对各实验水族箱中的草鱼称重并统计尾数, 分别从每个实验组中随机抽取 10 尾鱼, 并用 50 mg/L 的 MS-222 溶液麻醉后, 称重并解剖。取出内脏, 分离出肝胰脏和肠道, 清除肠道内的食物, 去除脂肪、肠系膜, 用预冷

表 1 基础饲料配方及营养组成(干物质基础, %)

Tab.1 Composition and nutrient levels of basal diet (Dry matter basis, %)

原料 Ingredient	含量 Content	营养成分 Nutrient	含量 Content
鱼粉 Fish meal	10	粗蛋白 Crude protein	34.56
豆粕 Soybean meal	23	粗脂肪 Crude lipid	6.12
菜粕 Rapeseed meal	25	粗灰分 Crude ash	9.76
棉粕 Cotton meal	8	水分 Moisture	9.68
次粉 Wheat middling	22	总能	13.54
麸皮 Wheat bran	5	Total energy (kJ/g)	
鱼油 Fish oil	4		
预混料 Premix ¹	1		
氯化胆碱 Choline chloride	1		
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1		

1. 复合预混料为每千克饲料提供: 维生素 A 2000 IU, 维生素 C 300 mg, 维生素 D₃ 2000 IU, 维生素 E 100 mg, 维生素 K₃ 10 mg, 维生素 B₁ 5 mg, 维生素 B₂ 10 mg, 维生素 B₆ 10 mg, 维生素 B₁₂ 0.02 mg, 尼克酸 100 mg, 泛酸钙 40 mg, 生物素 1 mg, 叶酸 5 mg, 肌醇 100 mg, FeSO₄·7H₂O 600 mg, CuSO₄·5H₂O 15 mg, MnSO₄·H₂O 80 mg, ZnSO₄·7H₂O 300 mg, KI (1%) 60 mg, Na₂SeO₃·5H₂O (1%) 60 mg, CoCl₂·6H₂O (1%) 7 mg。饲料营养成分为实测值

1. The premix ingredient provides vitamin and mineral for one kilogram of diet: vitamin A 2000 IU, vitamin C 300 mg, vitamin D₃ 2000 IU, vitamin E 100 mg, vitamin K₃ 10 mg, vitamin B₁ 5 mg, vitamin B₂ 10 mg, vitamin B₆ 10 mg, vitamin B₁₂ 0.02 mg, nicotinic acid 100 mg, calcium pantothenate 40 mg, biotin 1 mg, folic acid 5 mg, inositol 100 mg, FeSO₄·7H₂O 600 mg, CuSO₄·5H₂O 15 mg, MnSO₄·H₂O 80 mg, ZnSO₄·7H₂O 300 mg, KI (1%) 60 mg, Na₂SeO₃·5H₂O (1%) 60 mg, CoCl₂·6H₂O (1%) 7 mg. The feed nutrient contents were measured values

的生理盐水冲洗干净并用滤纸吸干, 将肠道分为前肠、中肠和后肠; 同时, 取下实验鱼背鳍以下侧线以上的肌肉, 用样品袋分别将肝胰脏、各段肠道及肌肉密封, 用液氮速冻后转入 -80℃ 冰箱中保存备用。

1.4 指标的测定

1.4.1 生长性能的测定 根据实验测定数据计算草鱼的增重率、特定生长率、饲料系数、成活率。

增重率(Weight gain rate, WGR, %)=(W_t-W₀)×100/W₀

特定生长率(Specific growth rate, SGR, %/d)=
(lnW_t-lnW₀)×100/t

饲料系数(Feed conversion ratio, FCR)=F/(W_t-W₀)

成活率(Survival rate, SR, %)= $100 \times N_t/N_0$ 。

式中, W_0 、 W_t 分别为实验鱼的初始体重和终末体重(g), t 为实验时间(d), N_0 、 N_t 分别为实验开始和结束时实验鱼的尾数, F 为摄食量(g)。

1.4.2 实验饲料及肌肉营养成分的测定 实验饲料及实验鱼背部肌肉粗蛋白质采用凯氏定氮法测定(GB/T 6432-1994);粗脂肪采用索氏抽提仪测定(GB/T 6433-1994);水分采用干燥法(105℃)测定(GB 6435-1986);粗灰分采用马福炉灼烧(550℃)法测定(GB/T 6438-1992)。

1.4.3 消化酶活性的测定 粗酶液的制备参照叶元土等(2015)的方法制备各段肠道、肝胰脏的粗酶液。将实验鱼的前肠、中肠、后肠和肝胰脏按组分别合并称重。分别加入相当于其重量 20 倍的生理盐水,迅速用冰冻玻璃匀浆器匀浆后,用离心机在 3500 r/min 转速下离心 20 min,取其上清液作为粗酶液提取液,保存于 4℃ 冰箱中,用于测定消化酶的活性。蛋白酶活性采用 Folin-酚法测定(中山大学生物系, 1979)。蛋白酶活性单位定义为: pH 7.4、28℃ 条件下,以 1% 的酪蛋白为底物,酶液每分钟催化生成 1 μg 酪氨酸的酶量为 1 个酶活性单位(U);淀粉酶活性采用淀粉-碘显色法测定(中山大学生物系, 1979)。淀粉酶活性单位定义为: pH 7.4、28℃ 条件下,1 g 组织与底物作用 30 min,水解 10 mg 淀粉的酶量为 1 个淀粉酶活性单位(U);脂肪酶活性采用聚乙烯醇橄榄油乳化液水解法(中山大学生物系, 1979)。脂肪酶活性单位定义为: pH 7.4、28℃ 条件下,1 g 组织每 1 h 所产生 1 μmol 游离脂肪酸的酶量为 1 个酶活性单位(U)。

1.5 数据统计与处理

实验数据以平均值±标准差(Mean±SD)表示,采用 SPSS 19.0 中的单因素方差分析(One-way ANOVA)

进行数据统计,若组间差异显著,再用 Duncan 氏方法进行多重比较,差异显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 胆汁酸对草鱼生长性能的影响

由表 2 可知,实验草鱼的 WGR、SGR 均随着胆汁酸添加量的增加呈先上升后下降的趋势,且在胆汁酸添加量均为 300 mg/kg 时达到最大,分别为 281.18%和 2.23%/d, WGR 显著高于对照组($P < 0.05$); SGR 除与 150 mg/kg 组和 225 mg/kg 组差异不显著外($P > 0.05$),显著高于其余各实验组($P < 0.05$)。以二次回归方程可知,实验鱼 WGR、SGR 的回归方程分别为 $Y_1 = -0.0023X^2 + 1.0219X + 159.83$ ($R^2 = 0.8789$) (图 1)、 $Y_2 = -0.00001X^2 + 0.0053X + 1.0693$ ($R^2 = 0.9039$) (图 2)。在抛物线的最高点分别获得草鱼 WGR、SGR 的最大值,此时对应的胆汁酸添加量分别为 222.15 mg/kg 和 265.00 mg/kg; FCR 则随胆汁酸添加量的增加而呈先下降后上升的趋势,且在胆汁酸添加量为 225 mg/kg 时最低,为 1.26,除与 300 mg/kg 组差异不显著($P > 0.05$)外,显著低于其余各实验组($P < 0.05$),FCR 的回归方程为 $Y_3 = 0.000007X^2 - 0.0034X + 1.6886$ ($R^2 = 0.8589$) (图 3),FCR 最小时的胆汁酸添加量为 242.86 mg/kg。实验期间各实验组的 SR 差异不显著($P > 0.05$)。

2.2 胆汁酸对草鱼肌肉营养成分的影响

由表 3 可知,随着胆汁酸添加水平的提高,实验鱼肌肉中粗脂肪含量呈先下降后趋于稳定的趋势,且在添加水平为 225 mg/kg 时最低(为 3.51%),除显著低于对照组和 75 mg/kg 组($P < 0.05$)外,与其余各实验组差异不显著($P > 0.05$);粗蛋白质含量则呈先上升后降低的变化趋势,且在胆汁酸含量为 300 mg/kg 时最

表 2 胆汁酸添加水平对草鱼生长性能的影响(平均值±标准差, $n=3$)
Tab.2 Effects of dietary bile acids on growth of *C. idellus* (Mean±SD, $n=3$)

项目 Items	胆汁酸水平 Levels of bile acids (mg/kg)					
	0	75	150	225	300	375
初重 Initial weight (g)	13.19±0.03	13.02±0.01	13.11±0.04	13.07±0.06	13.23±0.05	13.06±0.04
末重 Final weight (g)	35.75±2.30 ^a	39.82±1.01 ^a	47.14±2.93 ^b	48.27±4.44 ^b	50.43±3.05 ^b	39.59±1.86 ^a
增重率 Weight gain rate (%)	171.04±5.40 ^a	205.84±9.08 ^b	259.57±5.39 ^c	269.32±7.40 ^{cd}	281.18±6.75 ^d	203.17±6.06 ^b
特定生长率 Specific growth rate (%/d)	1.66±0.06 ^a	1.86±0.09 ^b	2.13±0.11 ^c	2.18±0.17 ^c	2.23±0.08 ^c	1.85±0.10 ^b
饲料系数 Feed conversion ratio	1.65±0.02 ^c	1.52±0.07 ^b	1.42±0.04 ^b	1.26±0.03 ^a	1.30±0.05 ^a	1.53±0.11 ^b
存活率 Survival rate (%)	98.89±1.92	98.89±1.04	100.0±0.00	97.78±2.13	98.89±1.28	98.89±2.09

注:同行中,相同肩标字母或无字母表示差异不显著($P > 0.05$),不同肩标字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同

Note: Within the same row, values with same superscripts or no superscripts indicated no significant difference ($P > 0.05$), values with different superscripts indicated significant difference ($P < 0.05$). The same as below

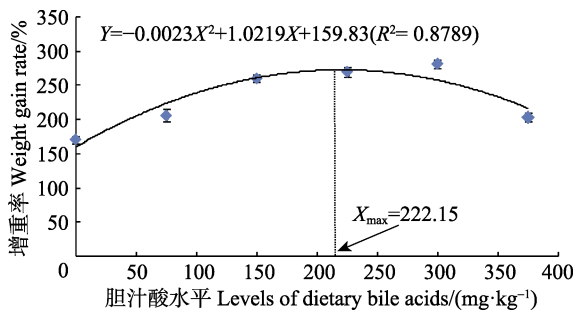


图1 胆汁酸添加水平对草鱼增重率的影响

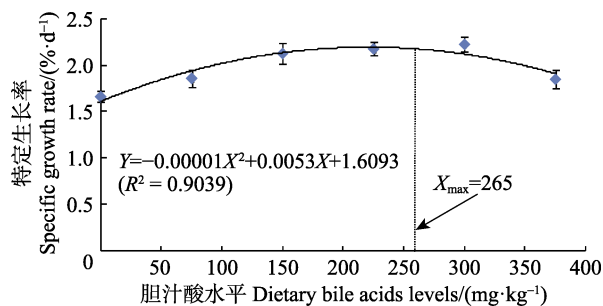
Fig.1 Effects of different levels of bile acids on the weight gain rate of *C. idellus*

图2 胆汁酸添加水平对草鱼特定生长率的影响

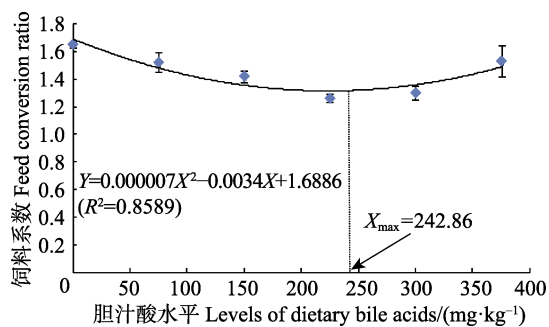
Fig.2 Effects of different levels of bile acids on the specific growth rate of *C. idellus*

图3 胆汁酸添加水平对草鱼饲料系数的影响

Fig.3 Effects of different levels of bile acids on the feed conversion ratio of *C. idellus*

高(为 15.05%), 除与 150 mg/kg 组和 225 mg/kg 组无明显差异外($P>0.05$), 显著高于其余各实验组($P<0.05$); 各实验组水分和灰分均无明显差异($P>0.05$)。

2.3 胆汁酸对草鱼消化酶活性的影响

由表 4 可知, 胆汁酸添加水平对草鱼消化酶活性有显著影响。实验鱼肠道各段及肝胰脏中, 蛋白酶、脂肪酶及淀粉酶的活性均随胆汁酸添加水平的提高呈先上升后下降的变化趋势。肠道各段及肝胰脏蛋白酶活性均在胆汁酸添加量为 150 mg/kg 时活性最强, 此时前肠、后肠及肝胰脏的蛋白酶活性显著高于其他各实验组($P<0.05$), 而中肠蛋白酶活性与胆汁酸水平为 0–75 mg/kg 时的差异不显著($P>0.05$), 但显著高于其他各实验组($P<0.05$); 中肠及肝胰脏脂肪酶活性在 225 mg/kg 组最强, 前肠脂肪酶活性在 300 mg/kg 组最强, 而后肠脂肪酶活性在 150 mg/kg 组最强, 且均显著高于其他各实验组($P<0.05$); 前肠及后肠淀粉酶活性在 150 mg/kg 组最强, 但此时前肠淀粉酶活性与胆汁酸水平为 75–375 mg/kg 时的差异不显著($P>0.05$), 而后肠淀粉酶活性显著高于其他各实验组($P<0.05$); 中肠及肝胰脏淀粉酶活性则在 300 mg/kg 组最强, 且中肠淀粉酶活性在胆汁酸水平为 225–375 mg/kg 时差异不显著($P>0.05$), 肝胰脏淀粉酶活性除与 225 mg/kg 组差异不显著($P>0.05$)外, 显著高于其他各实验组($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 胆汁酸对草鱼生长性能的影响

胆汁酸能乳化脂肪, 扩大脂肪与脂肪酶的接触面积, 促进鱼类对脂肪的消化吸收, 提高饲料脂肪利用率(Chou *et al.*, 1996)。胡田恩等(2015)研究发现, 饲料中添加一定量的胆汁酸能有效提高牛蛙(*Rana catesbeiana*)的生长速度, 且胆汁酸添加量为 200 mg/kg 时其特定生长率、饲料效率和氮保留率达到最高; 胆汁酸添加量>300 mg/kg 时能显著提高军曹鱼的增重率和饲料利用率(周书耘等, 2010), Deshimaru 等(1982)认为, 饲料中添加熊去氧胆酸能显著提高黄尾鲷(*Seriola quinqueradiata*)的增重率和饲料效率; 同时, 胆汁酸能明显提高大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)

表3 胆汁酸添加水平对草鱼肌肉营养成分的影响

Tab.3 Effects of different levels of dietary bile acids on the muscle composition of *C. idellus* (%)

项目 Items	胆汁酸水平 Levels of bile acids (mg/kg)					
	0	75	150	225	300	375
水分 Moisture	78.69±0.62	78.47±0.75	79.02±0.29	78.83±0.81	79.14±0.55	78.71±0.46
粗蛋白质 Crude protein	13.66±0.14 ^a	14.07±0.36 ^{ab}	14.38±0.28 ^{bc}	14.73±0.10 ^c	15.05±0.69 ^{bc}	14.17±0.22 ^{ab}
粗脂肪 Crude lipid	4.98±0.08 ^c	4.16±0.12 ^b	3.73±0.14 ^a	3.51±0.13 ^a	3.39±0.18 ^a	3.80±0.27 ^{ab}
灰分 Ash	2.67±0.04	1.86±0.08	1.81±0.15	1.90±0.11	1.84±0.72	2.09±0.18

表 4 胆汁酸添加水平对草鱼消化酶活性的影响(鲜物质基础, U/g)

Tab.4 Effects of different levels of dietary bile acids on digestive enzyme activities of *C. idellus* (Fresh matter base, U/g)

项目 Items	胆汁酸水平 Levels of bile acids (mg/kg)						
	0	75	150	225	300	375	
蛋白酶 Protease	前肠 Foregut	7.36±0.21 ^a	9.54±0.15 ^d	10.31±0.27 ^e	8.69±0.31 ^c	8.25±0.56 ^{bc}	7.95±0.52 ^{ab}
	中肠 Midgut	8.08±0.41 ^{ab}	8.92±0.39 ^b	10.59±0.40 ^b	7.90±0.55 ^a	8.19±0.64 ^{ab}	7.79±0.46 ^a
	后肠 Hindgut	8.67±0.10 ^b	9.68±0.12 ^c	10.66±0.42 ^f	9.35±0.09 ^c	8.87±0.29 ^b	8.27±0.08 ^a
	肝胰脏 Hepatopancreas	8.68±0.20 ^a	9.64±0.06 ^b	10.26±0.36 ^c	9.75±0.09 ^b	8.48±0.26 ^a	8.48±0.26 ^a
脂肪酶 Lipase	前肠 Foregut	206.15±29.51 ^a	255.56±88.53 ^b	281.11±51.11 ^c	306.67±51.11 ^d	415.72±193.50 ^f	383.33±0.00 ^e
	中肠 Midgut	385.04±78.08 ^a	415.71±106.39 ^b	654.22±51.11 ^e	739.417±59.02 ^f	487.26±156.15 ^d	470.22±51.11 ^c
	后肠 Hindgut	369.70±29.51 ^c	402.074±78.07 ^d	492.37±59.02 ^f	424.22±51.11 ^e	315.19±59.02 ^b	267.48±29.51 ^a
	肝胰脏 Hepatopancreas	345.85±29.51 ^a	403.78±88.53 ^b	511.11±102.22 ^d	606.52±59.017 ^f	534.96±59.018 ^e	429.33±153.33 ^c
淀粉酶 Amylase	前肠 Foregut	227.81±7.22 ^a	241.71±1.30 ^b	242.03±1.86 ^b	240.39±0.28 ^b	240.39±1.24 ^b	240.56±1.24 ^b
	中肠 Midgut	252.04±4.85 ^a	254.18±5.83 ^a	254.10±0.85 ^a	261.73±3.69 ^b	266.65±1.99 ^b	264.68±2.80 ^b
	后肠 Hindgut	239.74±6.28 ^a	265.01±5.49 ^c	277.64±2.74 ^d	251.88±6.68 ^b	240.56±2.22 ^a	234.32±2.26 ^a
	肝胰脏 Hepatopancreas	246.46±2.84 ^a	255.16±3.13 ^b	264.19±4.41 ^c	294.71±1.73 ^d	299.14±5.22 ^d	250.24±4.13 ^{ab}

幼鱼的特定生长率和蛋白质效率,显著降低其饲料系数(孙建珍等, 2014)。本研究中, 实验草鱼的 WGR、SGR、FCR 均与胆汁酸添加水平呈明显的二次曲线关系。通过二次回归模型分析可知, 当胆汁酸添加水平在 239.61–265.00 mg/kg 时, 可显著促进草鱼的生长, 提高其饲料效率和蛋白沉积率。与对日本鳗鲡(*Anguilla japonica*) (Maita *et al.*, 1996)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*) (颜志刚等, 2002)、异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*) (谭永刚等, 2008) 等的研究结果基本一致, 说明在饲料中添加适量的胆汁酸可促进鱼类的生产性能。其可能原因有: 首先, 胆汁酸具有杀菌抑菌的作用(刘敬盛等, 2010), 改善肠道健康, 利于肠道中各种消化酶的分泌, 提高鱼类的生长速度和饲料效率。其次, 胆汁酸有利于脂类物质的乳化, 可促进对脂肪的消化利用率, 从而节约蛋白质(黄炳山等, 2015), 促进鱼类生长; 第三, 胆汁酸可提高动物对饲料营养物质的消化利用率。饲料中添加 200 mg/kg 的胆汁酸可使牛蛙对饲料蛋白质和脂肪的表现消化率较对照组分别提高 73.47% 和 77.92% (胡田恩等, 2015); 王优军 (2006)¹⁾ 发现, 添加 800 mg/kg 的胆汁酸可使大菱鲂对

饲料粗蛋白消化率提高 1.5%, 粗脂肪消化率提高 3.0%, 说明胆汁酸可促进鱼类对饲料营养物质的消化和吸收, 提高其生长速度。王恒(2010)²⁾ 则认为, 添加胆汁酸虽然可显著降低罗氏沼虾 (*Macrobrachium rosenbergii*) 的饲料系数, 但对其增重率无明显影响。说明胆汁酸对水产动物生长的影响因实验对象、生长阶段、实验饲料组成等不同而有一定的差异。

3.2 胆汁酸对草鱼肌肉营养成分的影响

本研究中, 胆汁酸能有效降低草鱼肌肉中粗脂肪的含量, 提高其粗蛋白质的含量。与对军曹鱼(周书耘等, 2010)、大菱鲂(孙建珍等, 2014; 黄炳山等, 2015)、罗氏沼虾(王恒等, 2010)²⁾ 等的研究结果基本一致。说明胆汁酸能改善养殖动物肌肉品质。胆汁酸能促进动物体内脂肪的分解, 提高 PUFA 在鱼体内的吸收和利用率(孙建珍等, 2014)。Watanabe 等(2006) 研究表明, 胆汁酸可激活大鼠 (*Rattus norvegicus*) 褐色脂肪细胞表面 G 蛋白偶联胆汁酸受体 (TGR5), 从而提高胞内环腺苷酸 (cAMP) 和甲状腺激素水平, 加快其机体的基础代谢速度, 提高机体中脂肪组织的代谢速

1) Wang YJ. Effect and mechanism of several non-nutritional and non-pollution additives on turbot (*Scophthalmus maximus* L.). Master's Thesis of Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2006, 26–33 [王优军. 几种非营养无公害添加剂对大菱鲂的效应和机制研究. 中国科学院研究生院硕士研究生学位论文, 2006, 26–33]

2) Wang H. Effect of different lipid sources and bile acid on growth performance and fatty acid composition in *Macrobrachium rosenbergii*. Master's Thesis of Yangzhou University, 2010, 64–72 [王恒. 不同脂肪源及胆汁酸对罗氏沼虾生长性能及脂肪酸组成的影响. 扬州大学硕士研究生学位论文, 2010, 64–72]

度,改善脂肪在动物体内的转运,降低鱼体粗脂肪的含量;且胆汁酸能显著提高牛蛙对饲料氮的保留率(胡田恩等,2015),因此,胆汁酸可通过促进动物脂肪分解代谢而节约饲料蛋白质,提高养殖动物体内蛋白质的沉积。同时,胆汁酸降低了脂肪在肝脏中的沉积,降低了养殖鱼类脂肪肝发生的可能性(唐精等,2011)。说明胆汁酸可有效地改善水产动物机体营养组成,提高养殖产品品质;同时减少肝脏中脂肪的沉积,预防养殖过程中脂肪肝的发生。

3.3 胆汁酸对草鱼消化酶活性的影响

消化酶活性是反映动物对营养物质消化能力的重要指标。胆汁酸能够将小肠内脂肪酶原激活为有活性的脂肪酶使其发挥作用,并能增强其酶活性(刘敬盛等,2010),同时胆汁酸具有特殊的生物活性,可以部分溶解肠道内容物中脂肪的分解产物,并将其从酶作用位点及时移除,避免这些产物对脂肪分解系统的抑制作用(Bauer *et al.*, 2005),从而促进脂肪分解生成脂肪酸,而脂肪酸水平提高又可以增强胆囊收缩素(CCK)的释放,进而刺激胰腺分泌消化酶(周旭春等,2002)。武中会等(2008)研究发现,添加 800 mg/kg 胆汁酸复合乳化剂可使肉鸡胰蛋白酶、糜蛋白酶、脂肪酶活性显著提高;翟少伟等(2015)认为,添加 300 mg/kg 的胆汁酸可显著提高吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)脂肪酶和蛋白酶活性。牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)饲料中添加适宜水平的胆汁酸可显著提高其肠道脂肪酶活性(Alam *et al.*, 2001);牛蛙饲料中添加适宜水平的胆汁酸可显著提高其肠道蛋白酶和脂肪酶活性(胡田恩等,2015)。在本研究中,添加胆汁酸显著提高了草鱼肠道各段及肝胰脏中蛋白酶及脂肪酶的活性,与上述研究结果基本一致。说明胆汁酸可提高动物消化道中脂肪酶和蛋白酶的活性,促进对饲料中脂肪和蛋白质的消化吸收,促进动物的生长。研究表明,胆汁酸对幼鳗(*Anguilla anguilla*)(Maita *et al.*, 1996)、牛蛙(胡田恩等,2015)、吉富罗非鱼(翟少伟等,2015)肠道淀粉酶活性无显著影响。本研究中,添加胆汁酸可显著提高草鱼肠道各段及肝胰脏中淀粉酶的活性,与上述研究有一定的差异。这可能与实验鱼的种类和生长发育阶段有关,具体原因还有待于进一步的研究。

4 结论

胆汁酸对草鱼的生长性能、饲料转化率、肌肉营养成分及消化酶活性有显著的影响。本实验条件下,建议草鱼饲料中胆汁酸的适宜添加水平为 222.15–

265.00 mg/kg。

参 考 文 献

- Alam MS, Teshima S, Ishikawa M, *et al.* Effects of ursodeoxycholic acid on growth and digestive enzyme activities of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* (Temminck & Schlegel). *Aquaculture Research*, 2001, 32(S1): 235–243
- Bauer E, Jakob S, Mosenthin R. Principles of physiology of lipid digestion. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2005, 18(2): 282–295
- Biology Department of Sun Yat-sen University. Introduction to biochemical technology. Beijing: People's Education Press, 1979: 26–29 [中山大学生物系. 生化技术导论. 北京: 人民教育出版社, 1979: 26–29]
- Chou BS, Shiau SY. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*. *Aquaculture*, 1996, 143(2): 185–195
- Copaci I, Micu L, Iliescu L, *et al.* New therapeutical indications of ursodeoxycholic acid. *Romanian Journal of Gastroenterology*, 2005, 14(3): 259–266
- Deshimaru O, Kuroki K, Yone Y. Suitable levels of lipids and ursodesoxycholic acid in diet for yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1982, 48(9): 1265–1270
- Hu TE, Wang L, Zhang CX, *et al.* Effects of dietary bile acid supplementation on the growth, whole-body composition and apparent nutrient digestibility of bullfrog (*Rana catesbeiana*). *Acta Hydrobiologica Sinica*. 2015, 39(4): 677–685 [胡田恩, 王玲, 张春晓, 等. 饲料中添加胆汁酸对牛蛙生长性能、体组成和营养物质表观消化率的影响. *水生生物学报*, 2015, 39(4): 677–685]
- Huang BS, Li BS, Zhang LM, *et al.* Effects of dietary bile acid on growth performance, fatty enzymatic activities and biochemical indices of turbot *Scophthalmus maximus* L. juveniles. *Journal of Shanghai Ocean University*. 2015, 24(5): 737–744 [黄炳山, 李宝山, 张利民, 等. 胆汁酸对大菱鲆幼鱼生长、脂肪代谢酶及血清生化的影响. *上海海洋大学学报*, 2015, 24(5): 737–744]
- Lai YF. The clinical value of treatment of ursodeoxycholic acid to nonalcoholic fatty liver. *Journal of Qiqihar University of Medicine*, 2015, 36(7): 977–978 [赖悦丰. 熊去氧胆酸治疗非酒精性脂肪肝的临床价值分析. *齐齐哈尔医学院学报*, 2015, 36(7): 977–978]
- Lin SM, Ye YT, Luo L. Effects of bile acid on growth of *Carassius auratus gibelio*. *Guangdong Feed*, 2003, 12(3): 14–15 [林仕梅, 叶元土, 罗莉. 胆汁酸添加剂对异育银鲫生长的影响. *广东饲料*, 2003, 12(3): 14–15]
- Liu JS, Yang YZ, Wang JR, *et al.* The advances in bile acid nutritional function and mechanism. *China Feed*, 2010(6):

- 35–37, 43 [刘敬盛, 杨玉芝, 王君荣, 等. 胆汁酸营养功能及作用机制的研究进展. 中国饲料, 2010(6): 35–37, 43]
- Maita M, Tachiki, Kaibara A, *et al.* Pharmacological effect of ursodeoxycholic acid in juvenile eel. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1996, 62(1): 129–130
- Norlin M, Wikvall K. Enzymes in the conversion of cholesterol into bile acids. *Current Molecular Medicine*, 2007, 7(2): 199–218
- Shen X, Li PF, Li X, *et al.* The effect of cholic acid on the lipid mobilization of diet-reduced obesity model rats. *China Feed*, 2015(20): 14–17 [沈昕, 李培锋, 李欣, 等. 胆酸对大鼠脂肪代谢的影响. 中国饲料, 2015(20): 14–17]
- Shun JZ, Wang JY, Ma JJ, *et al.* Effects of dietary bile acids on growth, body composition and lipid metabolism of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) at different lipid levels. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2014, 45(3): 617–625 [孙建珍, 王际英, 马晶晶, 等. 不同脂肪水平下添加胆汁酸对大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)幼鱼生长、体组成和脂肪代谢的影响. 海洋与湖沼, 2014, 45(3): 617–625]
- Tan YG, Wei WZ, Zeng DS, *et al.* Effect of bile acids growth performance in *Carassius auratus gibelio*. *Guangdong Feed*, 2008, 17(1): 25–26 [谭永刚, 魏文志, 曾党胜, 等. 饲料中添加胆汁酸对异育银鲫生长性能的影响. 广东饲料, 2008, 17(1): 25–26]
- Tang JY. The use of bile acid in animal nutrition. *Aquaculture Technical Advisor*, 2011(9): 47 [唐俊英. 胆汁酸在动物营养中的应用. 养殖技术顾问, 2011(9): 47]
- Tang J, Wang JQ, Zhang BT, *et al.* Metabolic and physiological function of bile acids. *Marine and Fisheries*, 2011(7): 65–66 [唐精, 王继强, 张宝彤, 等. 胆汁酸的代谢与生理功能. 海洋与渔业, 2011(7): 65–66]
- Thomas C, Auwerx J, Schoonjans K. Bile acid and the membrane bile acid receptor TGR5-connecting nutrition and the metabolism. *Thyroid*, 2008, 18(2): 167–174
- Watanabe M, Houten SM, Matakai C, *et al.* Bile acids induce energy expenditure by promoting intracellular thyroid hormone activation. *Nature*, 2006, 439(7075): 484–489
- Wu ZH, Han XM. Effects of bile acid compound emulsifier on performance and digestive enzymatic activities of broilers. *Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 2008, 27(5): 1–4 [武中会, 韩向敏. 胆汁酸复合乳化剂对肉鸡生产性能及肠道消化酶活性的影响. 畜牧兽医杂志, 2008, 27(5): 1–4]
- Xie ZG, Niu CJ. Effect of Kelikang on growth performance of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Feed Research*, 2002(10): 22, 25 [颀志刚, 牛翠娟. 可利康对虹鳟生长的影响. 饲料研究, 2002(10): 22, 25]
- Yang HB. Bile acid: The fat digestion accelerator. *Feed China*, 2008(11): 49–50 [杨汉博. 胆汁酸—脂肪消化促进剂. 饲料广角, 2008(11): 49–50]
- Ye YT, Cai CF, Xu F, *et al.* Feeding grass carps (*Ctenopharyngodon idellus*) with oxidized fish oil up-regulates the gene expression in the cholesterol and bile acid synthesis pathway in intestinal mucosa. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, 39(1): 90–100 [叶元土, 蔡春芳, 许凡, 等. 灌喂氧化鱼油使草鱼肠道黏膜胆固醇胆汁酸合成基因通路表达上调. 水生生物学报, 2015, 39(1): 90–100]
- Zhai SW, Li J, Lu P, *et al.* Effect of different feed emulsifier on growth performance and intestinal digestive enzyme activity of tilapia. *Cereal and Feed Industry*, 2015, 12(15): 58–60 [翟少伟, 李剑, 陆鹏, 等. 不同饲用乳化剂对吉富罗非鱼生长性能和肠道消化酶活性的影响. 粮食与饲料工业, 2015, 12(15): 58–60]
- Zhang JC, Nie QH. Bile acid metabolism and related progress. *Chinese Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 2008, 17(11): 953–955 [张久聪, 聂青和. 胆汁酸代谢及相关进展. 胃肠病学和肝病学杂志, 2008, 17(11): 953–955]
- Zhou SY, Liu YJ, Liang HO, *et al.* Effect of bile acids on growth and body composition of cobia (*Rachycentron canadum*). *South China Fisheries Science*, 2010, 6(4): 20–25 [周书耘, 刘永坚, 梁海鸥, 等. 饲料中添加胆汁酸对军曹鱼生长及体组成的影响. 南方水产, 2010, 6(4): 20–25]
- Zhou XC, Tang CW. Nerve of pancreatic secretion: Hormonal regulation. *Chinese Journal of Pancreatology*, 2002, 2(2): 113–115 [周旭春, 唐承薇. 胰液分泌的神经—激素调节. 胰腺病学, 2002, 2(2): 113–115]

(编辑 马瑾艳)

Effects of Bile Acids on Growth Performance, Muscle Composition and Digestive Enzyme Activities of *Ctenopharyngodon idellus*

ZENG Benhe^{1,2}, LIAO Zengyan^{1#}, XIANG Xiao^{1①}, HE Wenxiao¹, CEN Min¹, HE Shancheng¹

(1. Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education, Key Laboratory of Aquatic Science of Chongqing, Department of Fisheries in Rongchang Campus, Southwest University, Chongqing 402460;

2. Institute of Fisheries Science, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lasa 850002)

Abstract This experiment was conducted to study the effects of dietary bile acids levels on growth, muscle composition and digestive enzyme activities of juvenile *Ctenopharyngodon idellus*. Five hundred and forty healthy fish, mean body weight of (13.11±0.58) g, were randomly selected and divided into six groups, with three replicates in each group (30 fish/replicate). Each group was fed a diet containing bile acids level of either 0 (control group), 75 mg/kg, 150 mg/kg, 225 mg/kg, 300 mg/kg and 375 mg/kg for a period of 60 days. The results showed that the increase of dietary bile acids levels resulted in an initial elevation of weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR) and followed by a decrease in WGR and SGR when bile acids was 375 mg/kg in the diet. Furthermore, inclusion of 300 mg/kg dietary bile acids produced the highest WGR and SGR (281.18% and 2.23%/d respectively). By contrast, coupled with the increase of dietary bile acids, the feed conversion ratio (FCR) decreased initially and then increased. The FCR reached the lowest (1.26) level when the dietary bile acids level was 225 mg/kg. Based on square regression analysis, to optimize each growth parameter: WGR, SGR and FCR during *C. idellus* juvenile growth, the most appropriate inclusion levels of dietary bile acids were 222.15 mg/kg, 265.00 mg/kg and 242.86 mg/kg respectively. The crude lipid of muscle during the experiment decreased initially and then leveled out, while the crude protein of muscle increased with the increase of dietary bile acids levels (0–300 mg/kg) and then decreased. Similarly, digestive enzyme activities of segments intestinal and hepatopancreas had a tendency of increasing with the elevated bile acids inclusion and then leveled out at the end. Results indicated that certain range of dietary bile acids levels could promote growth, fat metabolism, reduce fat deposition in muscle and improve meat quality. In conclusion, the bile acids supplementary level of 222.15–265.00 mg/kg is recommended for growing juvenile *C. idellus* based on the consideration of digestive enzyme activities, meat quality and growth performance.

Key words *Ctenopharyngodon idellus*; Bile acids; Growth performance; Muscle composition; Digestive enzyme activities

① Corresponding author: XIANG Xiao, E-mail: howlet@126.com