

文章编号:1000 - 0615(2004)06 - 0682 - 07

酸制剂对罗非鱼生长和饲料利用的影响

潘 庆¹, 谭永刚¹, 毕英佐¹, 郑石轩²

(1. 华南农业大学动物科学学院水产养殖系, 广东 广州 510642;

2. 湛江粤海饲料有限公司, 广东 湛江 542002)

摘要:为考察不同酸制剂对奥尼罗非鱼幼鱼生长和饲料利用的影响,在基础饲料(对照组)中分别添加 0.3% 磷酸、富马酸、柠檬酸和乳酸,饲养奥尼罗非鱼幼鱼 9 周(初始平均体重约 1.9g)。结果表明,添加 0.3% 柠檬酸和乳酸饲料组的罗非鱼特定生长率显著高于对照组和添加富马酸组 ($P < 0.05$);磷酸组、柠檬酸组和乳酸组的饲料效率较对照组有提高趋势 ($P > 0.05$),乳酸组的饲料效率显著高于富马酸组 ($P < 0.05$);柠檬酸组和乳酸组鱼体水分含量显著高于富马酸组 ($P < 0.05$),体粗蛋白、粗脂肪和灰分含量在组间差异不显著 ($P > 0.05$);胃蛋白酶活性在富马酸组显著低于其它饲料组 ($P < 0.05$),肠淀粉酶活性在柠檬酸组和乳酸组显著高于对照组 ($P < 0.05$);肝脏代谢酶活性在柠檬酸组和乳酸组显著高于对照组、磷酸组和富马酸组 ($P < 0.05$),相应地,柠檬酸组和乳酸组罗非鱼血清甘油三酯含量显著高于对照组 ($P < 0.05$)。结果说明,添加 0.3% 柠檬酸和乳酸能显著促进罗非鱼幼鱼生长,提高饲料的利用,富马酸降低罗非鱼对饲料的利用。

关键词:罗非鱼;酸制剂;生长;饲料利用

中图分类号:S963

文献标识码:A

Effects of acid supplements on growth and feed utilization in tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*

PAN Qing¹, TAN Yong-gang¹, BI Ying-zuo¹, ZHENG Shi-xuan²

(1. Department of Aquaculture, School of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642; China;

2. Yuehai Feed Company Ltd., Zhanjiang 524002, China)

Abstract: A 9-week feeding trial was conducted to investigate effects of different dietary acid supplements on growth performance in juvenile hybrid tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* (average body weight was about 1.9g). 5 test diets were applied for triplicate tanks and 15 fish was stocked randomly in each tank. Feeding rate was 6% of wet body weight. No acid supplement was added in basal diet which was applied as control, 0.3% of phosphoric acid, fumaric acid, citric acid, lactic acid were added in basal diet, respectively. The results showed that specific growth rate of fish fed diet with citric acid and lactic acid were significantly higher than those of fish fed basal diet and diet with fumaric acid ($P < 0.05$). Feed efficiency in fish fed diets with phosphoric acid, lactic acid and citric acid was higher than that of fish fed basal diet, but differences were not significant ($P > 0.05$). However, significantly higher feed efficiency was observed in fish fed diet with lactic acid than that of fish fed diet with fumaric acid ($P < 0.05$). The content of body moisture in fish fed diet with lactic acid was significantly higher than that of fish fed diet with fumaric acid ($P < 0.05$), while no significant differences were

收稿日期:2003-08-01

资助项目:广东省湛江市科技局科技基金资助(罗非鱼优质配合饲料及预混料的研制)

作者简介:潘庆(1969-),女,新疆库尔勒市人,博士,副教授,主要从事水产动物营养学的研究。Tel:020-85283529, E-mail:qpan@

scau.edu.cn

observed in whole body protein, lipid and ash among treatments ($P > 0.05$). The activity of pepsin in fish fed diet with fumaric acid was significantly lower than those of fish fed with other diets. The intestinal amylase activities in fish fed diets with citric acid and lactic acid were significantly higher than that of fish fed basal diet ($P < 0.05$). Significantly higher activities of hepatic lipogenic enzymes were observed in fish fed diet with lactic acid and citric acid than those of fish fed other three diets ($P < 0.05$). Accordingly, serum triglyceride concentration in fish fed diets with citric acid and lactic acid was increased significantly. The results suggested that 0.3% citric acid and lactic acid supplements can significantly improve growth performance in juvenile hybrid tilapia, while, fumaric acid supplement reduces feed utilization.

Key words: tilapia; acid supplements; growth; feed utilization

酸制剂作为畜禽饲料添加剂应用已有近 40 年的历史。最早的报道是乳酸能减少仔猪粪便中大肠杆菌量,随后大量的研究表明,酸制剂对仔猪的促生长效应与其降低饲料及胃肠道 pH 值、提高消化酶活性、影响血液生理功能、抑制肠道有害微生物等因素有关^[1-5]。在水产动物营养生理和饲料中研究过的酸制剂有柠檬酸、延胡索酸、苹果酸、乳酸、甲酸、盐酸和硫酸等,但主要集中在酸制剂的诱食效果^[6,7]和促生长作用^[8-11]等方面,而且各研究结果也存在较大差异。饲料中添加柠檬酸,能促进无胃的草鱼鱼种^[8,12]和鲤^[9]的生长,提高罗非鱼^[10]的增重率和饲料转化率,但虹鳟^[11]饲料中添加柠檬酸,未表现出明显的促生长作用;虹鳟饲料中添加甲酸,甚至降低了鱼的生长速度^[12]。研究结果的差异与不同鱼类消化道生理结构与功能有密切关系。因此,饲料中添加酸要考虑鱼的种类与生长阶段。添加酸的效果还受到饲料系酸力的影响^[13],矿物质和高蛋白饲料的酸结合力比谷类饲料强,被消化时需要较多的酸。因此,对系酸力大的饲料,酸的添加量应适当增加。罗非鱼是我国南方广泛养殖的一种杂食性鱼类,其有胃,可分泌胃酸,具有与鲤科鱼类不同的消化生理特点。本研究以罗非鱼为对象,考察不同酸制剂对鱼类的促生长作用及其机制,为酸制剂的研制及合理应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

共 5 组,分别是基础饲料(对照组);基础饲料 + 0.3% 磷酸(磷酸组);基础饲料 + 0.3% 富马酸(富马酸组);基础饲料 + 0.3% 柠檬酸(柠檬酸组);基础饲料 + 0.3% 乳酸(乳酸组)。磷酸、富马酸、柠檬酸和乳酸以等量替代次粉的方式添加到

饲料中。试验饲料配方组成及化学组成见表 1。

1.2 试验过程

罗非鱼由广州鱼苗场提供,运回实验室后在室内循环过滤水族箱中驯养,两周后选用 225 尾平均体重 1.9g 的罗非鱼,随机分组,共 15 个水族箱,每箱 15 尾鱼。整个饲养期间,每天分别在 9:00、14:30 和 20:00 投喂饲料,投饲率为 6%,同时观察鱼的健康状况,记录死亡情况,每周称重 1 次,并相应调节投喂量,饲养周期共 9 周。试验期间水温 26~30℃,pH 7.5, $\text{NH}_4^+ < 0.02 \text{mg L}^{-1}$,亚硝酸盐 $< 0.1 \text{mg L}^{-1}$,溶氧 $> 5 \text{mg L}^{-1}$ 。饲养结束次日,于喂料后 2h 每箱随机取 2 尾鱼,打开腹腔,取出胃、肝脏和全肠,小心冲洗胃、肠内容物,用滤纸轻轻吸去水分,迅速称重后置于液氮中速冻,在 -80℃ 冰箱中保存备用。另随机取 3~4 尾鱼从尾静脉取血,做一混样,离心后取血清置于 4℃ 冰箱保存,于当天测定葡萄糖、甘油三酯含量。再随机取 2 尾鱼,使窒息而死,烘至绝干重,备测常规营养成分。

1.3 测定指标与方法

饲料和鱼体成分的水分、粗蛋白、粗脂肪、粗灰分、粗纤维、钙和磷含量,根据国标方法测定^[14];能量采用半自动氧弹式测热计测定;饲料 pH 值的测定参考 Radecki 等的方法^[15];胃酶液的制备:取出冷冻的胃,按 W/V 为 1:10 加 4 倍去离子水,在冰浴下匀浆,匀浆液在 12000g min^{-1} 、4℃ 条件下离心 15min,取出上清液等分若干在 -20℃ 下保存,供作酶活和蛋白含量的测定。肠酶液的制备:取出冷冻的肠,按 W/V 为 1:5 加 4 倍磷酸缓冲液(pH7.5),在冰浴下匀浆,同胃酶液上清液一样制备保存,供作酶活和蛋白含量的测定;酶液蛋白质含量测定采用 Folin-酚法^[16];胃蛋白酶活性采用 DAB9 法^[17];肠蛋白酶活性测定采用 Folin-

表1 试验饲料原料组成(%)及化学组成(%, kJ g⁻¹)

Tab.1 Ingredients and chemical composition of test diets

试验饲料 test diets	对照组 control	磷酸组 phosphoric acid	富马酸组 fumaric acid	柠檬酸组 citric acid	乳酸组 lactic acid
原料组成 ingredients					
鱼粉 fish meal	13	13	13	13	13
豆粕 soybean meal	23	23	23	23	23
花生粕 peanut meal	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
麦麸 wheat bran	24	24	24	24	24
次粉 wheat middlings	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5
酵母 yeast	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
玉米油 corn oil	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
预混无机盐 mineral premix ¹	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
预混维生素 vitamin premix ²	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
酸制剂 acid supplements	-	0.3	0.3	0.3	0.3
化学组成 chemical composition					
水分 moist	8.74	8.66	8.83	8.85	8.71
粗蛋白 CP	32.37	32.45	32.31	32.31	32.45
粗脂肪 EE	3.24	3.36	3.22	3.22	3.27
粗纤维 CF	5.44	5.46	5.57	5.14	5.14
灰分 ash	7.37	7.75	7.46	7.38	7.50
总能 GE	17.79	18.10	17.77	17.57	17.69
钙 Ca	0.78	0.81	0.80	0.83	0.80
磷 P	1.21	1.30	1.24	1.23	1.22
pH	5.48	5.30	5.32	5.31	5.34

注:1. 维生素预混物组成(%) : 硫胺素:0.25; 核黄素:0.25; 尼克酸:1.0; 泛酸钙:1.25; 叶酸:0.075; 生物素:0.03; 盐酸吡哆醇:0.2; 钴胺素:0.0005; 抗坏血酸:5; K₃:0.2; 肌醇:10; 生育酚:2; 视黄醇:0.2 (500IU·mg⁻¹); 胆碱:20; 小麦粉:20.81; 2. 矿物质预混物组成(%) : NaCl:1.0; MgSO₄·7H₂O:15; NaH₂PO₄·2H₂O:25; KH₂PO₄:32; Ca(H₂PO₄)₂·H₂O:20; FeSO₄:2.5; 乳酸钙:3.5; ZnSO₄·7H₂O:0.353; MnSO₄·4H₂O:0.162; CuSO₄·5H₂O:0.031; CoCl₂·6H₂O:0.01; KIO₃:0.003; 纤维素:0.45

Notes:1. vitamin premix (%) : thiamine:0.25; riboflavin:0.25; niacin:1.0; calcium pantothenate:1.25; folic acid:0.075; biotin:0.03; hydrochloric acid pyridoxin:0.2; cobalamin:0.0005; ascorbic acid:5; inositol:10; tocopherol:2; retinol:0.2 (500IU·mg⁻¹); choline:20; wheat powder:20.81; 2. mineral premix (%) : NaCl:1.0; MgSO₄·7H₂O:15; NaH₂PO₄·2H₂O:25; KH₂PO₄:32; Ca(H₂PO₄)₂·H₂O:20; FeSO₄:2.5; calcium lactic acid:3.5; ZnSO₄·7H₂O:0.353; MnSO₄·4H₂O:0.162; CuSO₄·5H₂O:0.031; CoCl₂·6H₂O:0.01; KIO₃:0.003; cellulose:0.45

酚法^[18], 肠淀粉酶活性采用碘-淀粉比色法^[19]; 血清葡萄糖含量采用氧化酶法(参照上海荣盛生物技术公司试剂盒使用说明书); 血清甘油三酯含量采用甘油磷酸氧化酶-过氧化物酶法(参照上海荣盛生物技术有限公司试剂盒说明书); 肝脏代谢酶液的制备根据 Nagayama 等的方法^[20]; 6-磷酸葡萄糖酸脱氢酶和葡萄糖-6-磷酸脱氢酶、苹果酸酶、异柠檬酸脱氢酶活性测定分别参照 Glock 等^[21]、Kawaga 等^[22]、Wise 等^[23]和 Bernt 等^[24]的方法。

1.4 数据的统计学分析

采用 SPSS11.0 统计软件, 对数据作单因素方差分析, 若组间差异显著, 则做 LSD 多重比较, 显著水平 P 采用 0.05。试验数据用平均数 ± 标准误差表示。

2 结果

2.1 不同酸制剂对饲料 pH 值的影响

不同酸制剂饲料组 pH 值见表 1。结果表明, 添加酸制剂饲料组 pH 值较对照组饲料降低了 0.18~0.14, 不同酸制剂组饲料 pH 值差别不大。

2.2 各饲料组罗非鱼的生长和饲料利用

各饲料组罗非鱼特定增长率、饲料效率见表 2。结果表明, 添加 0.3% 的柠檬酸组和乳酸组的特定增长率显著高于对照组和富马酸组 ($P < 0.05$), 乳酸组特定增长率也显著高于磷酸组 ($P < 0.05$); 添加酸制剂组的饲料效率与对照组差异不显著 ($P > 0.05$), 乳酸组的饲料效率显著高于富马酸组 ($P < 0.05$)。

表 2 各饲料组罗非鱼体重、特定生长率和饲料效率

Tab. 2 Body weight, specific growth rate and feed efficiency in fish fed with test diets

	初始平均体重(g) average initial body weight	终末平均体重(g) average final body weight	特定生长率(% d ⁻¹) specific growth rate	饲料效率(%) feed efficiency
对照组 control	1.90 ±0.03	24.65 ±1.91 ^c	4.07 ±0.06 ^c	73.36 ±2.15 ^{ab}
磷酸组 phosphoric acid	1.89 ±0.01	26.34 ±0.76 ^{bc}	4.18 ±0.02 ^{bc}	78.01 ±1.07 ^{ab}
富马酸组 fumaric acid	1.89 ±0.03	24.09 ±0.80 ^c	4.04 ±0.02 ^c	71.59 ±1.91 ^b
柠檬酸组 citric acid	1.89 ±0.03	28.06 ±1.57 ^{ab}	4.28 ±0.06 ^{ab}	76.30 ±2.59 ^{ab}
乳酸组 lactic acid	1.92 ±0.01	30.32 ±2.42 ^a	4.38 ±0.07 ^a	80.07 ±3.66 ^a

注:1. 同列的数据肩注字母有相同的表示组间差异不显著($P > 0.05$); 2. 特定生长率 = $(\ln \text{末重} - \ln \text{初重}) / \text{饲养时间}(\text{天}) \times 100$; 3. 饲料效率 = $\text{鱼总净增重量} / \text{总摄食量} \times 100$

Notes: 1. values within a column with the same superscript letters are not significant difference among groups ($P > 0.05$); 2. specific growth rate (SGR) = $(\text{average final body weight} - \text{average initial body weight}) / \text{feeding time}(\text{day}) \times 100$; 3. feed efficiency (FE) = $\text{total weight gain} / \text{total feed intake} \times 100$

2.3 各饲料组罗非鱼全鱼体成分

由表 3 可知,柠檬酸组和乳酸组罗非鱼全鱼水分含量显著高于富马酸组($P < 0.05$); 体粗蛋白、粗脂肪、灰分含量在组间差异不显著。

2.4 各饲料组罗非鱼血清葡萄糖和甘油三酯含量

由表 4 可知,柠檬酸组血清葡萄糖含量最高,但各组间差异不显著($P > 0.05$)。柠檬酸组血清甘油三酯含量显著高于对照组、磷酸组和富马酸组($P < 0.05$),乳酸组显著高于对照组和富马酸组($P < 0.05$)。

2.5 各饲料组罗非鱼的消化酶活性

各饲料组罗非鱼胃、肠蛋白酶和肠淀粉酶比活性见表 5。结果表明,柠檬酸组和乳酸组罗非鱼较对照组的胃蛋白酶活性有所提高,但差异不显著($P > 0.05$),而富马酸组的胃蛋白酶活性显著低于其它各饲料组($P < 0.05$)。各饲料组罗非鱼肠蛋白酶活性差异不显著($P > 0.05$)。柠檬酸组和乳酸组肠淀粉酶活性显著高于对照组($P < 0.05$)。

表 3 各饲料组罗非鱼全鱼体成份

Tab. 3 Composition of whole body of fish fed test diets

	对照组 control	磷酸组 phosphoric acid	富马酸组 fumaric acid	柠檬酸组 citric acid	乳酸组 lactic acid
水分 moist	73.49 ±0.52 ^{ab}	73.82 ±0.20 ^{ab}	73.17 ±0.32 ^b	74.43 ±0.10 ^a	74.45 ±0.11 ^a
粗蛋白 CP	16.67 ±0.19	16.85 ±0.25	16.76 ±0.21	16.63 ±0.14	16.26 ±0.10
粗脂肪 EE	6.22 ±0.33	5.37 ±0.33	6.26 ±0.21	5.27 ±0.37	5.57 ±0.13
灰份 ash	3.48 ±0.02	3.59 ±0.02	3.66 ±0.03	3.51 ±0.11	3.56 ±0.04

注:同行的数据肩注字母有相同的表示组间差异不显著($P > 0.05$)

Notes: values within a row with the same superscript letters are not significant difference among groups ($P > 0.05$)

表 4 各饲料组罗非鱼血清葡萄糖和甘油三酯含量

Tab. 4 Concentration of serum glucose and triglyceride in fish fed test diets

	葡萄糖(mmol L ⁻¹) glucose	甘油三酯(mg dL ⁻¹) triglyceride
对照组 control	4.31 ±0.26	243.84 ±13.47 ^c
磷酸组 phosphoric acid	4.34 ±0.04	280.27 ±69.48 ^{bc}
富马酸组 fumaric acid	4.27 ±0.06	164.06 ±2.61 ^c
柠檬酸组 citric acid	4.47 ±0.47	483.20 ±44.69 ^a
乳酸组 lactic acid	4.22 ±0.32	384.66 ±24.54 ^{ab}

注:同列的数据肩注字母有相同的表示组间差异不显著($P > 0.05$)

Notes: values within a column with the same superscript letters are not significant difference among groups ($P > 0.05$)

表5 各饲料组罗非鱼胃肠消化酶比活性

Tab. 5 Specific activities of digestive enzymes of stomach and intestine in fish fed test diets

	U g ⁻¹ protein · min ⁻¹		
	胃蛋白酶 pepsin	肠蛋白酶 intestinal proteinase	肠淀粉酶 intestinal amylase
对照组 control	10.87 ±0.93 ^a	40645 ±8376	11161 ±998 ^b
磷酸组 phosphoric acid	12.61 ±0.30 ^a	41573 ±11159	11972 ±579 ^{ab}
富马酸组 fumaric acid	8.71 ±0.28 ^b	41485 ±12814	13107 ±2507 ^{ab}
柠檬酸组 citric acid	12.19 ±1.01 ^a	47219 ±7044	17588 ±2225 ^a
乳酸组 lactic acid	12.33 ±0.21 ^a	38662 ±10241	17958 ±2040 ^a

注:同列的数据肩注字母有相同的表示组间差异不显著($P > 0.05$)

Notes: values within a column with the same superscript letters are not significant difference among groups ($P > 0.05$)

2.6 各饲料组罗非鱼肝脏代谢酶活性

各饲料组罗非鱼肝脏代谢酶比活性见表6。由表6可知,乳酸组G6PDH活性显著高于磷酸组($P < 0.05$);柠檬酸组6PGDH活性显著高于对照

组和磷酸组($P < 0.05$);ME活性在组间差异不显著($P > 0.05$);乳酸组ICDH活性显著高于对照组、磷酸组和富马酸组($P < 0.05$),柠檬酸组ICDH活性也显著高于对照组($P < 0.05$)。

表6 各饲料组罗非鱼肝脏代谢酶比活性

Tab. 6 Specific activities of hepatic metabolic enzymes in fish fed test diets

试验饲料 test diets	nmol NADPH · mg ⁻¹ protein · min ⁻¹				
	对照组 control	磷酸组 phosphoric acid	富马酸组 fumaric acid	柠檬酸组 citric acid	乳酸组 lactic acid
G6PDH	910 ±100 ^{ab}	770 ±80 ^b	1030 ±120 ^{ab}	930 ±40 ^{ab}	1100 ±110 ^a
6PGDH	260 ±30 ^b	270 ±30 ^b	330 ±40 ^{ab}	390 ±20 ^a	310 ±30 ^{ab}
ME	2750 ±760	3770 ±520	3610 ±350	2270 ±204	2770 ±330
ICDH	400 ±80 ^c	490 ±10 ^{bc}	510 ±50 ^{bc}	610 ±40 ^{ab}	710 ±40 ^a

注:1. 同行的数据肩注字母有相同的表示组间差异不显著($P > 0.05$);2. G6PDH:葡萄糖-6-磷酸脱氢酶;3. 6PGDH:6-磷酸葡萄糖酸脱氢酶;4. ME:苹果酸脱氢酶;5. ICDH:异柠檬酸脱氢酶

Notes: 1. values within a row with the same superscript letters are not significant difference among groups ($P > 0.05$); 2. G6PDH: glucose-6-phosphate dehydrogenase; 3. 6PGDH: 6-phosphogluconate dehydrogenase; 4. ME: malate dehydrogenase; 5. ICDH: isocitrate dehydrogenase

3 讨论

饲料中添加不同的酸制剂对饲料酸度、罗非鱼的血液生化指标、消化酶和代谢酶活性的影响不同,进而影响了罗非鱼的生长性能和对饲料的利用。

3.1 对饲料pH和鱼体消化酶活性的影响

酸作为水产饲料添加剂,可降低有胃鱼类胃液的pH值,弥补鱼体自身胃酸分泌之不足,增强胃中的酸性环境^[25-27],从而提高胃蛋白酶活性。本试验中,饲料中添加酸能明显降低饲料pH值,不同酸制剂降低饲料酸度的效果由小到大依次为乳酸、富马酸、柠檬酸、磷酸。在理论上,pH值越低的饲料进入胃中后,需要中和的胃酸量越少,胃蛋白酶原可尽快在适宜的酸性环境中被激活继而

发挥对饲料蛋白质的水解作用。有研究报道,饲料中添加延胡索酸,虹鳟在摄食后胃中食糜pH值立即下降^[25]。添加磷酸能显著提高仔猪胃蛋白酶的活性^[28]。添加磷酸、柠檬酸和乳酸罗非鱼胃蛋白酶活性均有提高的趋势(表5),说明罗非鱼幼鱼胃的泌酸功能尚不完善,饲料中添加酸能增加胃肠道内的酸度,促进胃蛋白酶原被激活。添加酸制剂还能不同程度地提高肠淀粉酶活性,其中柠檬酸和乳酸的作用显著,这与柠檬酸组和乳酸组罗非鱼生长速度最快相一致,提示酸制剂可通过提高饲料淀粉的消化吸收促进罗非鱼生长。

富马酸显著降低了胃蛋白酶活性,该组罗非鱼的生长率也最低,这与虹鳟中的研究结果相近^[12]。富马酸作为防霉剂在饲料中的常规添加

量是 0.05% ~ 0.08%^[29],本试验中的添加量为 0.3%,可能添加量过大降低了蛋白酶活性是富马酸抑制生长的主要原因。

3.2 对鱼体中间代谢的影响

某些有机酸是机体代谢的中间产物,可作为营养物质直接被机体吸收利用。柠檬酸是动物体内三羧酸循环的中间物质,乳酸是机体糖酵解的终产物。有研究表明,饲料中添加酸能显著降低仔猪血糖浓度,提高血清胰岛素水平^[30]。用不同水平柠檬酸饲料饲喂小鼠,血清甘油三酯和葡萄糖含量有所降低^[31]。在鱼类中还未见有相似的研究报道。本试验中柠檬酸和乳酸能显著提高血清中甘油三酯含量,说明其可能对脂肪代谢有影响。酶活分析结果表明,柠檬酸组和乳酸组罗非鱼肝脏 6-磷酸葡萄糖酸脱氢酶和异柠檬酸脱氢酶活性显著升高,这两种酶参与磷酸戊糖的代谢,反应生成的 NADPH 又可提供脂肪合成所需要的氢^[32],这进一步证实了柠檬酸和乳酸可参与机体的脂肪合成代谢,结果同显著提高的血清甘油三酯含量相一致。

3.3 对鱼体成分的影响

通常矿物元素在碱性环境中容易形成不溶性的盐而难以吸收,酸既可提供酸性环境又具有螯合的作用,有利于后部肠道对矿物质元素的吸收^[11, 25-27]。目前,饲料中添加酸对动物体成分的影响主要集中在对矿物质利用方面。在猪中已证实了延胡索酸具有有益的螯合效应^[33]。虹鳟饲料中添加甲酸和柠檬酸, Mg 和 Ca 等矿物质的利用率得到提高^[11, 27]。饲料中添加 0.4% ~ 1.6% 柠檬酸,虹鳟鱼体灰份含量提高,铁含量也随柠檬酸的添加量增加而增加^[27]。本试验中添加不同酸制剂,各试验组罗非鱼体灰分含量较对照组有所提高,但未达到显著水平,这一结果与虹鳟的有所差异^[11, 27],可能是因为本试验基础饲料中添加的钙磷等矿物元素已能满足鱼体最大生长的需要,再添加酸反映不出酸提高矿物元素利用的作用。柠檬酸组和乳酸组罗非鱼体水分含量高于对照组,并显著高于富马酸组,相应的特定生长率也显著高于对照组和富马酸组。这与畜禽动物生长快导致体水分含量升高的现象相似。

有研究表明,饲料中添加 0.01mol 的柠檬酸可提高草鱼鱼种的摄食量和饲料转化率^[8];鲤饲料中添加 0.2% 柠檬酸,可提高增重率 12.3%^[9];

饲料中分别添加 1.0%、1.5% 和 2.5% 甲酸、盐酸和硫酸可降低虹鳟的生长速度,其中 2.5% 的添加量作用显著,可能是酸的添加量过高,消化道已受到损伤^[12],但虹鳟^[11]饲料中添加柠檬酸,未表现出明显的促生长作用。这些研究结果说明酸的种类和添加量与所应用的鱼的种类和生长阶段有很大关系。有必要进一步研究鱼类配合饲料中酸制剂的最适添加量和最适应用的生长阶段。

4 结论

(1) 在本试验条件下,添加 0.3% 柠檬酸和乳酸能显著促进罗非鱼幼鱼生长,提高罗非鱼对饲料的利用。富马酸则降低罗非鱼对饲料的利用。

(2) 添加 0.3% 柠檬酸和乳酸可显著提高罗非鱼全肠淀粉酶活性和肝脏代谢酶活性。富马酸则显著降低罗非鱼幼鱼胃蛋白酶活性。

(3) 饲料中添加 0.3% 磷酸、富马酸、柠檬酸和乳酸对罗非鱼体营养成分没有显著影响。

参考文献:

- [1] Sciopioni R, Zaghini G, Biovati A. Acidified diets in early weaning piglets[J]. *Zootechnical Nutrition of Animal*, 1978, 4:201 - 208.
- [2] Liu Z H, Yu L, Luo W H. Effect of citric acid in supplemental diet on lactating pigs [J]. *J Sichuan Agricultural University*, 1992, 10(2): 378 - 382. [刘作华, 于莉, 罗文华. 哺乳仔猪补料中添加柠檬酸的效果研究[J]. *四川农业大学学报*, 1992, 10(2): 378 - 382.]
- [3] Deng Y L, Zhang J, Qiu Z H, *et al.* Effect of citric acid added in piglet diet[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 1993, 29(3): 9 - 11. [邓跃林, 张继, 邱质华, 等. 仔猪料中添加柠檬酸的效果[J]. *中国畜牧杂志*, 1993, 29(3): 9 - 11.]
- [4] Bosi P, Jung J, Han K, *et al.* Effect of dietary buffering characteristics and protected or unprotected acid on piglet growth, digestibility and characteristics of gut content [J]. *Asian-Australian Journal of Animal Science*, 1999, 12(7): 1104 - 1110.
- [5] Lin Y C, Cheng J X, Jiang Z Y, *et al.* Effects of complexed acid supplement on production performance, serum biochemical criterion, morpha and microflora of intestine in early weaned swine[J]. *Swine Production*, 2001, 1:13 - 16. [林映才, 陈建新, 蒋宗勇, 等. 复合酸制剂对早期断奶仔猪生产性能、血清生化指标、肠道形态和微生物区系的影响[J]. *养猪*, 2001, 1:13 - 16.]
- [6] Admas M A, Johnsen P B, Zhou H Q. Chemical enhancement of feeding for the herbivorous fish *Tilapia zillii* [J]. *Aquac*, 1988, 72(10): 95 - 107.
- [7] Hidaka I, Zeng C, Kohbara J. Gustatory response to organic acid in the yellowtail *Seriola quinqueradiata* [J]. *Bull Jap Soc Sci Fish*, 1992. 58(6): 1179 - 1187.

- [8] Balamurali R S, Aravindan C M. Citric acid as a feed stimulant [J]. Fish Technol Soc Fish Technol India, 1997, 34(1): 9 - 12.
- [9] Xia C Q, Liu Y N, Fu D Y. Effect of feed adding citric acid supplement on the production performance of *Cyprinus carpio* [J]. J Shanghai Fish Univ, 1998, 7:406 - 408. [夏长青, 刘豫宁, 符冬岩. 饲料中添加柠檬酸促进鲤鱼生长的试验[J]. 上海水产大学学报, 1998, 7:406 - 408.]
- [10] Leng X J, Zhong W, Huang C P, *et al.* Effect of adding citric acid on the growth of tilapia [J]. J Guangxi Agric and Biol Science, 1998, 7:406 - 408. [冷向军, 钟 炜, 黄春萍, 等. 饲料添加柠檬酸对罗非鱼的养殖效果分析[J]. 广西农业生物科学, 1998, 7:406 - 408.]
- [11] Chang Q. Effect of citric acid on availability of minerals in fishmeal of fish feed [J]. Feed Industry, 1999, 1:22 - 26. [常青. 柠檬酸对鱼饲料鱼粉中矿物元素有效性的影响[J]. 饲料工业, 1999, 1:22 - 26.]
- [12] Rungruangsak K, Utne F. Effect of different acidified wet feeds on protease activities in the digestive tract and on growth rate of rainbow trout [J]. Aquac, 1981, 22(1): 67 - 79.
- [13] Zhang H F, Yang L, Lu Q P, *et al.* Effects of dietary acid-binding capacity on growth performance in weaning pigs [J]. China Feed, 2002, 3:9 - 11. [张宏福, 杨 琳, 卢庆萍, 等. 日粮系酸力对断奶仔猪生长性能的影响[J]. 中国饲料, 2002, 3:9 - 11.]
- [14] Cui S W, Cheng B F. Information collection of feed standard [S]. Beijing: China Standard Press, 1991. 254 - 280. [崔淑文, 陈必芳. 饲料标准资料汇编[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991. 254 - 280.]
- [15] Radecki S V, Juhl M R, Miller E R. Fumaric and citric acids as feed additives in starter pig diets: effect on performance and nutrient balance [J]. J Animal Science, 1988, 66: 2598 - 2605.
- [16] Zhou S W. Experimental technology of biochemistry [M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1983. 38 - 41. [周顺伍. 生物化学实验技术[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1983. 38 - 41.]
- [17] Qian J Z. Measurement of Enzyme [M]. Beijing: Light Industry Press, 1992. 262 - 265. [钱嘉渊(译). 酶的测定方法[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1992. 262 - 265.]
- [18] Laboratory of Biochemistry, Dept of Biochemistry of Peking University. Direction of biochemical experiments [M]. Shanghai: People Education Press, 1980. 151 - 154. [北京大学生物系生物化学教研室. 生物化学实验指导[M]. 上海: 人民教育出版社, 1980. 151 - 154.]
- [19] Zhu Z Y, Ma L R, Wang A L, *et al.* Application of medical quarantine [M]. Beijing: People Military Medicine Press, 1992. 381 - 383. [朱志勇, 马立人, 王艾丽, 等. 实用医学检验学[M]. 北京: 人民军医出版社, 1992. 381 - 383.]
- [20] Nagayama F, Ohshima H, Umezawa K. Effect of starvation on the activities of glucose metabolizing enzymes in fish [J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1972, 38(6): 594 - 598.
- [21] Glock G E, Mclean P. Further studies on the properties of glucose - 6 - phosphate dehydrogenase and 6-phosphoglucose dehydrogenase in rat liver [J]. J Biochem, 1953, 55: 400 - 408.
- [22] Kawaga Y, Kawaga A, Shimazono N. Enzymatic studies on metabolic adaptation of hexose monophosphate shunt in rat liver [J]. J Biochem, 1964, 56: 364 - 371.
- [23] Wise E M, Ball E G. Malic enzyme and lipogenesis [C]. Proc Natl Acad Sci USA, 1964, 52: 1255 - 1263.
- [24] Bernt E, Bergmeyer H U. Isocitrate dehydrogenase [M]. In: Bergmeyer H U (Ed.), Methods of enzymatic analysis. Academic Press, New York, 1974, vol. 2: 624 - 627.
- [25] Amerio M, Cademartiri E, Moietta A, *et al.* Effect of acidified feeds on some physiological aspects of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. Aquaculture and the Environment, 1991, 9. Special Publication, European Aquaculture Society, no. 14.
- [26] Vielma J, Lall S P. Dietary fumaric acid enhances apparent digestibility of minerals in rainbow trout [J]. Aquaculture Nutrition, 1997, 4: 265 - 268.
- [27] Vielma J, Lall S P. Supplement citric acid and article size of fish bone-meal influence the availability of mineral in rainbow trout [J]. Aquaculture Nutrition, 1999, 5(1): 65 - 71.
- [28] Hou Y Q, Liang D S, Ding B Y, *et al.* Effects of different acid supplements diets of early weaning pigs [J]. Chinese Journal of Animal Science, 1996, 32(6): 8 - 11. [侯永清, 梁敦素, 丁斌鹰, 等. 早期断奶仔猪日粮中添加不同种类酸制剂的效果[J]. 中国畜牧杂志, 1996, 32(6): 8 - 11.]
- [29] Zhang L, Zheng Z C. Handbook of feed additives [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000. 233. [张 力, 郑中朝. 饲料添加剂手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000. 233.]
- [30] Cheng B, Liu X C. Effects of acidified diet on some blood criterion in piglet [J]. Acta Zoonutrimenta Sinica, 1996, 8(2): 37 - 42. [陈 斌, 刘孝淳. 酸化日粮对仔猪几种血液生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 1996, 8(2): 37 - 42.]
- [31] Liu Y, Liu Y B, Wang Z H, *et al.* Study on effects of acidified diet on physiological-biochemical criterion in experimental mice [J]. Feed Industry, 1998, 19(6): 14 - 15. [刘 源, 刘勇波, 王志红, 等. 酸化日粮对实验小鼠生理、生化指标影响的研究[J]. 饲料工业, 1998, 19(6): 14 - 15.]
- [32] Sheng T, Wang J Y, Zhao B T. Biochemistry [M]. Shanghai: People Education Press, 1981. 457 - 461, 507 - 509. [沈 同, 王镜岩, 赵邦梯. 生物化学[M]. 上海: 人民教育出版社, 1981. 457 - 461, 507 - 509.]
- [33] Kirchgessner M, Roth F X. Fumaric acid as a feed additives in pig nutrition [J]. Pig News and Information, 1982, 3: 259 - 263.