

不同蛋白水平下添加晶体氨基酸对罗非鱼生长和饲料利用的影响

金胜洁, 刘永坚, 田丽霞*, 阳会军, 梁桂英
(中山大学生命科学学院鱼类营养实验室, 广东 广州 510275)

摘要: 实验主要研究不同蛋白水平下添加晶体氨基酸(CAA)对罗非鱼生长和饲料利用的影响。实验饲料为全植物蛋白实用饲料,通过调整豆粕含量,设置出4个蛋白梯度(蛋白含量:34%、32%、30%和28%),每个蛋白水平下设置不添加CAA组(34CP-28CP)和添加CAA组(34AA-28AA),后者通过添加赖氨酸、蛋氨酸和苏氨酸,使之在饲料中的水平分别达到1.43%、0.75%和1.05%,满足罗非鱼的必需氨基酸需要量。实验结果显示,34AA、30AA和28AA组的增重率和特定生长率(1074.75%、951.60%、815.12%和4.11%、3.92%、3.69%)显著高于相应的不添加组(869.85%、641.25%、523.75%和3.79%、3.33%、3.05%),32AA与32CP之间则没有显著差异(917.45%对882.27%、3.87%对3.81%)。从增重率的增长幅度来看,30%和28%蛋白水平下添加CAA的效果更为明显(48.4%、55.6%对23.6%、4%)。饲料效率、蛋白质效率、蛋白质保留率和能量保留率方面,34CP、34AA、32CP和32AA 4组间没有显著差异;30CP和28CP组显著低于其它各组,此蛋白水平下添加晶体氨基酸上述指标可得到显著提高,并达到34%蛋白水平。双因素方差分析表明,晶体氨基酸的添加对饲料干物质消化率、蛋白质消化率和能量消化率没有显著影响,但会显著降低饲料磷的消化率。除32%蛋白水平外,其它蛋白水平下添加晶体氨基酸可在一定程度上降低罗非鱼的脏体比、肝体比和脂体比。研究结果表明,罗非鱼饲料中添加晶体氨基酸是有效的,当饲料蛋白水平从34%降低至28%时,通过补足必需氨基酸,不会对罗非鱼的生长性能和饲料利用造成负面影响。

关键词: 吉富罗非鱼; 植物蛋白; 蛋白水平; 晶体氨基酸

中图分类号: S 963

文献标识码: A

鱼粉是水产养殖业的优质蛋白源,由于资源紧缺,目前价格居高不下,加之水产品价格受市场影响,在一些淡水鱼饲料配方中已无添加鱼粉的空间。因此,不含鱼粉的植物蛋白源配方越来越广泛应用于市场。蛋白质是饲料的主要营养成分,鱼类对蛋白质的需要实质上就是对必需氨基酸的需要。植物蛋白源饲料通常会缺乏某种限制性氨基酸,如果依靠增加饲料蛋白质的用量来解决,必然会造成其它氨基酸的过剩,以致蛋白质饲料浪费。在畜禽饲料中,蛋白质水平逐渐降低,添加适当的必需氨基酸可以缓减低蛋白带来的生长、饲料利用及氮排泄的影响^[1]。对虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)、鲤(*Cyprinus carpio*)、异

育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)和凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)等的研究表明,在饲料中添加必需氨基酸,使之满足氨基酸平衡,可以适当降低饲料蛋白的含量,而对养殖对象的生长没有显著影响^[2-6]。而Li等^[7]则认为斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)饲料中添加必需氨基酸不能有效降低饲料蛋白的含量。

罗非鱼是世界第三大养殖品种,也是我国南方的主要养殖鱼类。罗非鱼对饲料中碳水化合物的耐受能力较高,41%水平下并不影响鱼体的生长性能,还起到一定的蛋白节约作用^[8]。

生产实践中,廉价的能量原料也越来越广泛地应用于罗非鱼饲料,以此减少蛋白原料的用量,

收稿日期:2010-03-22 修回日期:2010-07-05

资助项目:国家“十一五”农业行业专项资助(nyhyzx07-044);广东省海洋渔业科技推广专项项目(200899B02)

通讯作者:田丽霞, E-mail:edls@mail.sysu.edu.cn

达到降低成本的目的。本试验以吉富罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 为实验对象, 研究不同蛋白水平下添加晶体氨基酸(CAA)对罗非鱼生长、饲料利用和体组成的影响。

1 材料与方 法

1.1 实验饲料及实验设计

根据实验原料氨基酸组成(表1)设计出饲料配方, 饲料组成与成分分析见表2。实验为双因素设计, 通过降低豆粕含量, 用相应面粉补足, 设置出4个蛋白梯度(34%, 32%, 30%和28%), 每个梯度下均设不添加CAA组(34CP、32CP、30CP和28CP)和添加CAA组(34AA、32AA、30AA和28AA), 后者添加赖氨酸硫酸盐、L-蛋氨酸和L-苏氨酸, 使之达到NRC(1993)推荐的罗非鱼氨基酸需要量(1.43%、0.75%和1.05%), 各组饲料氨基酸组成分析见表3(由于配制或测定过程人为因素存在, 蛋氨酸测定值略低于计算值)。

各组添加0.01%三氧化二钼作为外源指示剂以测定饲料中营养素的表观消化率。

将原料按表2配方中的比例准确称取后, 用搅拌机(A-200T Mixer Bench Model unit, Russel Food Equipment Ltd., Canada)搅拌15 min, 之后加入豆油和大豆卵磷脂, 同时搅拌并加入300~400 g/kg的水分, 饲料通过双螺杆挤压机(华南理工大学化工学院, 中国)挤压出来。饲料粒径为2.5 mm。饲料经制粒, 晒干后储存于-20℃, 直至使用。

饲料粗蛋白、粗脂肪、灰分、总能的测定方法分别为凯氏定氮法(1030-Auto-analyzer, Tecator AB, Sweden), 索氏抽提法(HT6, Tecator AB, Sweden)、马福炉550℃灼烧法和氧弹法。原料和饲料的氨基酸组成用氨基酸自动分析仪(Hitachi, Model 835-50, Hitachi, Tokyo, Japan)分析。

表1 原料氨基酸分析及常规组成(干重)

| Tab.1 Amino acid and approximate composition of experimental ingredients(DM) % | | | | | | |
|--|--------------------|---------------------|------------------------|---------------------------|-------|-------------------|
| 氨基酸 amino acid | 豆粕 soybean meal | 双低菜粕 canola meal | 棉粕 cotton seed meal | 米糠粕 defatted rice bran | DDGS | 面粉 wheat flour |
| 天门冬氨酸 Asp | 4.91 | 2.65 | 4.17 | 1.43 | 2.07 | 0.78 |
| 苏氨酸 Thr | 1.58 | 1.41 | 1.35 | 0.54 | 1.06 | 0.42 |
| 丝氨酸 Ser | 1.62 | 1.12 | 1.38 | 0.49 | 1.12 | 0.53 |
| 谷氨酸 Glu | 7.93 | 6.55 | 8.71 | 1.97 | 6.03 | 4.99 |
| 脯氨酸 Pro | 2.18 | 2.21 | 1.71 | 0.69 | 2.98 | 1.75 |
| 甘氨酸 Gly | 1.92 | 1.91 | 1.92 | 0.84 | 1.21 | 0.61 |
| 丙氨酸 Ala | 2.01 | 1.72 | 1.88 | 0.93 | 2.53 | 0.57 |
| 胱氨酸 Cys | 0.16 | 0.13 | 0.13 | 0.04 | 0.11 | 0.07 |
| 缬氨酸 Val | 2.3 | 2.02 | 2.19 | 0.88 | 1.68 | 0.76 |
| 蛋氨酸 Met | 0.62 | 0.64 | 0.66 | 0.25 | 0.6 | 0.30 |
| 异亮氨酸 Ile | 2.08 | 1.54 | 1.58 | 0.58 | 1.28 | 0.64 |
| 亮氨酸 Leu | 3.43 | 2.71 | 2.78 | 1.11 | 4.38 | 1.14 |
| 酪氨酸 Tyr | 1.1 | 0.82 | 0.95 | 0.36 | 0.87 | 0.31 |
| 苯丙氨酸 Phe | 2.24 | 1.55 | 2.45 | 0.70 | 1.69 | 0.77 |
| 赖氨酸 Lys | 2.67 | 1.86 | 1.93 | 0.74 | 0.87 | 0.38 |
| 组氨酸 His | 1.02 | 0.88 | 0.99 | 0.36 | 0.75 | 0.3 |
| 精氨酸 Arg | 3.15 | 2.27 | 4.73 | 1.09 | 1.25 | 0.71 |
| ΣAA(不包括 Trp) | 40.92 | 31.99 | 39.51 | 13.00 | 30.48 | 15.03 |
| 水分 moisture | 10.17 | 8.99 | 10.53 | 11.60 | 9.30 | 12.23 |
| 粗蛋白 crude protein | 46.88 | 42.66 | 47.80 | 17.70 | 35.87 | 19.23 |
| 粗脂肪 crude lipid | 1.90 | 1.4 | 0.5 | 2.00 | 13.70 | - |
| 无氮浸出物 NFE | 28.3 | 28.9 | 26.3 | 53.6/58 | 36.8 | 69 |

注:粗脂肪和无氮浸出物含量为参考值。

Notes: The contents of the crude lipid and NFE of the ingredients are reference value.

表 2 实验饲料配方与营养成分分析
Tab.2 Diet formulation and approximate composition of the experimental diets

| 原料 (g/100g diet) ingredients | 34% | | 32% | | 30% | | 28% | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 34CP | 34AA | 32CP | 32AA | 30CP | 30AA | 28CP | 28AA |
| 豆粕 soybean meal | 24.00 | 24.00 | 16.00 | 16.00 | 8.00 | 8.00 | 0.00 | 0.00 |
| 双低菜粕 canola meal | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 |
| 棉粕 cotton seed meal | 16.00 | 16.00 | 16.00 | 16.00 | 16.00 | 16.00 | 16.00 | 16.00 |
| 米糠粕 defatted rice bran | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 15.00 |
| DDGS | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 |
| 标准面粉 wheat flour | 9.89 | 9.48 | 17.89 | 17.05 | 25.89 | 24.61 | 33.89 | 32.17 |
| 豆油 soybean oil | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 大豆卵磷脂 soybean lecithin | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 复合维生素 Vitamin mix ^a | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| 复合矿物盐 mineral mix ^b | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 |
| 维 C 磷酸酯 ascorbyl-monophosphate | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| 胆碱 choline, 50% | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| 磷酸二氢钙 calcium biphosphate | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| L-蛋氨酸 L-methionine | 0.00 | 0.29 | 0.00 | 0.32 | 0.00 | 0.34 | 0.00 | 0.37 |
| 赖氨酸硫酸盐 lysine sulphate | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.38 | 0.00 | 0.71 | 0.00 | 1.04 |
| L-苏氨酸 L-threonine | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.14 | 0.00 | 0.23 | 0.00 | 0.31 |
| Y ₂ O ₃ (yttrium oxide) | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 营养成分分析 approximate analysis | | | | | | | | |
| 水分 moisture | 10.35 | 6.66 | 8.14 | 8.71 | 8.51 | 7.76 | 7.89 | 9.36 |
| 粗蛋白 (% DM) crude protein | 34.33 | 34.33 | 32.34 | 32.29 | 29.76 | 30.32 | 27.45 | 28.27 |
| 粗脂肪 (% DM) crude lipid | 3.29 | 2.80 | 3.16 | 2.29 | 3.20 | 2.44 | 3.12 | 2.50 |
| 灰分 (% DM) ash | 9.00 | 9.13 | 8.62 | 8.71 | 8.21 | 8.28 | 7.93 | 7.98 |
| 总能 (MJ/kg) gross energy | 18.15 | 18.66 | 18.20 | 18.45 | 17.95 | 18.49 | 17.78 | 18.45 |
| 可消化蛋白 ^c digestible crude protein | 28.27 | 28.70 | 26.17 | 26.14 | 24.02 | 24.25 | 21.54 | 22.62 |

注: a. 每公斤饲料含硫胺素, 20 mg; 核黄素, 20 mg; 吡哆醛, 10 mg; 尼克酸, 100 mg; 泛酸钙, 50 mg; 生物素, 1 mg; 叶酸, 5 mg; 肌醇, 500 mg; 维生素 E, 50 mg; 维生素 A, 2 mg; 维生素 B₁₂, 0.02 mg; 维生素 K₃, 10 mg; 维生素 D₃, 0.05 mg。 b. 每公斤饲料含七水硫酸锌, 525.46 mg; 一水硫酸锰, 49.22 mg; 碘化钾, 5.23 mg; 七水硫酸亚铁, 238.83 mg; 七水硫酸镁, 4.62 g; 五水硫酸铜, 11.82 mg; 六水氯化钴, 0.2 mg; 硒酸钠, 0.66 mg; 氯化钾, 600 mg; 氯化钠, 107.08 mg。 c. 可消化蛋白通过饲料蛋白质消化率计算得出。

Notes: a. per kg diet contain Thiamine, 20 mg; Riboflavin, 20 mg; Pyridoxine, 10 mg; Nicotinic acid, 100 mg; Calcium Pantothenate, 50 mg; Biotin, 1 mg; folacin, 5 mg; Inositol, 500 mg; Vitamin E, 50 mg; Vitamin A, 2 mg; Vitamin B₁₂, 0.02 mg; Vitamin K₃, 10 mg; Vitamin D₃, 0.05 mg. b. per kg diet contain ZnSO₄ · 7H₂O, 525.46 mg; MnSO₄ · H₂O, 49.22 mg; KI, 5.23 mg; FeSO₄ · 7H₂O, 238.83 mg; MgSO₄ · 7H₂O, 4.62 g; CuSO₄ · 5H₂O, 11.82 mg; CoCl · 6H₂O, 0.2 mg; Sodium selenium, 0.66 mg; KCl, 600 mg; NaCl, 107.08 mg. c. calculated by apparent digestibility coefficient of gross energy of the diets.

表 3 实验饲料氨基酸组成 (干重)
Tab.3 Analyzed amino acid contents of the experimental diets (DM) %

| 氨基酸 amino acid | 34% | | 32% | | 30% | | 28% | |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 34CP | 34AA | 32CP | 32AA | 30CP | 30AA | 28CP | 28AA |
| 精氨酸 Arg | 2.19 | 2.22 | 2.02 | 2.02 | 1.89 | 1.87 | 1.76 | 1.73 |
| 苏氨酸 Thr | 1.07 | 1.14 | 1.00 | 1.07 | 0.94 | 1.07 | 0.87 | 1.08 |
| 缬氨酸 Val | 1.65 | 1.63 | 1.53 | 1.35 | 1.46 | 1.43 | 1.39 | 1.36 |
| 蛋氨酸 Met | 0.42 | 0.60 | 0.46 | 0.64 | 0.46 | 0.64 | 0.48 | 0.68 |
| 异亮氨酸 Ile | 1.27 | 1.26 | 1.17 | 1.16 | 1.09 | 1.06 | 1.02 | 0.98 |
| 亮氨酸 Leu | 2.36 | 2.35 | 2.17 | 2.19 | 2.06 | 2.02 | 1.93 | 1.89 |
| 苯丙氨酸 Phe | 1.46 | 1.45 | 1.35 | 1.39 | 1.29 | 1.26 | 1.21 | 1.18 |

· 续表 3 ·

| 氨基酸 amino acid | 34% | | 32% | | 30% | | 28% | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 34CP | 34AA | 32CP | 32AA | 30CP | 30AA | 28CP | 28AA |
| 赖氨酸 Lys | 1.31 | 1.39 | 1.22 | 1.39 | 1.09 | 1.42 | 1.00 | 1.43 |
| 组氨酸 His | 0.76 | 0.75 | 0.69 | 0.71 | 0.66 | 0.66 | 0.63 | 0.62 |
| ∑EAA(不包含 Trp) | 12.49 | 12.79 | 11.61 | 11.92 | 10.94 | 11.43 | 10.29 | 10.95 |
| 天门冬氨酸 Asp | 2.82 | 2.85 | 2.40 | 2.52 | 2.15 | 2.13 | 1.85 | 1.85 |
| 丝氨酸 Ser | 1.02 | 1.11 | 1.03 | 0.91 | 0.97 | 0.85 | 0.91 | 0.83 |
| 谷氨酸 Glu | 5.94 | 5.96 | 5.73 | 5.81 | 5.66 | 5.62 | 5.57 | 5.45 |
| 脯氨酸 Pro | 1.69 | 1.69 | 1.67 | 1.67 | 1.73 | 1.72 | 1.72 | 1.68 |
| 甘氨酸 Gly | 1.40 | 1.39 | 1.30 | 1.33 | 1.23 | 1.23 | 1.17 | 1.17 |
| 丙氨酸 Ala | 1.50 | 1.51 | 1.37 | 1.35 | 1.29 | 1.24 | 1.24 | 1.20 |
| 胱氨酸 Cys | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.18 | 0.19 | 0.19 |
| 酪氨酸 Tyr | 0.78 | 0.81 | 0.70 | 0.67 | 0.65 | 0.61 | 0.59 | 0.56 |
| ∑NEAA | 15.33 | 15.5 | 14.38 | 14.45 | 13.87 | 13.58 | 13.24 | 12.93 |
| ∑EAA/∑NEAA | 0.81 | 0.83 | 0.81 | 0.82 | 0.79 | 0.84 | 0.78 | 0.85 |

1.2 实验鱼与饲养管理

实验用吉富罗非鱼购自广州市番禺区罗非鱼良种场,平均初始体重为 (5.18 ± 0.07) g。实验鱼均饲养在室内循环水族箱(长×宽×高:90 cm×50 cm×40 cm)中,实验用水经珊瑚砂和生化棉过滤,采用低压鼓风机提供氧气,溶氧水平维持或接近饱和,水温为 (31 ± 1) °C,氨氮小于0.04 mg/L,pH为 (7.9 ± 0.1) 。

商用饲料暂养两周后,选择大小均匀、体格健壮的幼鱼随机分配于24个水族箱(8个处理组,每组3个重复),每箱25尾。每天投喂2次(09:00,16:30),达表观饱食水平。试验持续62 d。

1.3 样品采集及化学分析

实验开始前随机取20尾鱼保存在 -20 °C用于体组成分析。实验结束前两周,开始虹吸法收集粪便,在清理残饵及收集过程中尽量减少鱼的惊吓,挑取新鲜饱满的粪便,60 °C烘干,保存待测。实验结束,将鱼饥饿24 h后称重记录作为终末体重(FBW),以进行生长指标计算。经麻醉剂(MS-222,10 mg/L)麻醉后,取2尾用作全鱼组成分析;另6尾经分别称重后由静窦脉处取血,然后解剖并称内脏、肝脏和肠系膜脂肪重量;另取白肌保存待测。血浆在 $3\ 500 \times g$ 下离心10 min, -20 °C保存,用于血浆相关酶分析。

取得所有样品后即刻称重记录并在105 °C烘箱中烘至恒重,以测定水分含量,之后放入干燥器中保存待测。全鱼、肌肉、肝脏和粪便样品常规测定同饲料。血浆酶活性使用自动生化分析仪

(Hitachi 7170A, Japan)测定。饲料和粪便中Y、P的含量用等离子体原子发射光谱仪(IRIS, America)测定。

1.4 计算与统计分析

增重率(WGR,%) = $100 \times (\text{末均重} - \text{初均重}) / \text{初均重}$

特定生长率(SGR,%/d) = $100 \times [\text{Ln}(\text{末均重}) - \text{Ln}(\text{初均重})] / \text{天数}$

摄食量(FI) = 投喂总干重/尾数

饲料效率(FE) = $(\text{末均重} - \text{初均重}) / \text{摄食量}$

蛋白质效率(PER) = $(\text{末均重} - \text{初均重}) / \text{每尾鱼蛋白质摄入量}$

蛋白质保留率(%) = $100 \times \text{实验结束时每尾鱼蛋白增加量} / \text{每尾鱼蛋白摄入量}$

能量保留率(%) = $100 \times \text{实验结束时每尾鱼能量增加量} / \text{每尾鱼能量摄入量}$

饲料干物质消化率(%) = $100 \times (1 - \text{饲料中Y\%} / \text{粪便中Y\%})$

饲料营养成分消化率(%) = $100 - 100 \times (\text{饲料中Y\%} / \text{粪便中Y\%}) \times (\text{粪便中某营养成分\%} / \text{饲料中某营养成分\%})$

肥满度(CF,%) = $100 \times \text{体重} / \text{体长}^3$

脏体比(VSI,%) = $100 \times \text{内脏重} / \text{体重}$

肝体比(HSI,%) = $100 \times \text{肝重} / \text{体重}$

脂体比(IPR,%) = $100 \times \text{肠系膜脂肪重} / \text{体重}$

本试验中所有数据均用3个平行的均值±标准差表示,并用单因素方差分析(ANOVA)($n =$

3) 检验试验处理的影响。对饲料蛋白水平和 CAA 的添加进行双因素方差分析 (univariate analysis of variance), 检验两个因子间的相互作用。统计软件为 SPSS 13.0。采用 Duncan 氏多重比较来检验试验处理均值间差异的显著性。当 $P < 0.05$ 时, 表示均值间差异显著。

2 结果

2.1 生长和摄食

实验结束后, 不添加组中, 34CP 与 32CP 两组间的增重率和特定生长率无显著差异 ($P > 0.05$), 分别为 869.85、3.79 和 882.27、3.81, 均显著高于 30CP (641.25、3.33) 和 28CP (523.75、3.05) 两组 ($P < 0.05$)。同一蛋白水平下, 34AA、30AA 和 28AA 3 组在 WG 和 SGR 上均显著高于不添加组 ($P < 0.05$), 分别增长 23.6%、48.4%、55.6% 和 8.5%、17.7%、21%; 而 32AA 仅增长 4% 和 1.5%, 与 32CP 无显著差异 ($P > 0.05$)。虽然 28AA 组的生长性能显著低于其它添加组 ($P < 0.05$), 但与不添加组的 34CP 无显著差异 ($P > 0.05$) (表 4)。对饲料蛋白水平和添加 CAA 的影响进行了双因子分析, 结果表明, 两者对罗非鱼的 WG 和 SGR 均有显著影响 ($P < 0.05$), 并且

具有交互作用 ($P < 0.05$)。

另外, 同一蛋白水平下, CAA 添加组的摄食量均显著高于未添加组 ($P < 0.05$), 随着蛋白水平的降低, 摄食量有降低的趋势, 饲料蛋白水平和 CAA 添加均对摄食量有显著影响 ($P < 0.05$), 但不具有交互作用 ($P > 0.05$)。30CP 和 28CP 两组在饲料利用方面均显著低于其它各组 ($P < 0.05$)。在 34% 和 32% 蛋白水平, 饲料效率、蛋白质效率、蛋白保留率和能量保留率均不受 CAA 添加影响 ($P > 0.05$), 但在 30% 和 28% 蛋白水平下添加 CAA 可得到显著提高 ($P < 0.05$), 并与前两个蛋白水平组之间无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.2 饲料表观消化率

饲料的干物质消化率和能量消化率并不受饲料蛋白水平和 CAA 添加的影响 (表 4), 各组间没有显著差异 ($P > 0.05$); 但与其它 3 个蛋白水平组不同, 32AA 与 32CP 相比在数值上有所降低。各组饲料的蛋白质消化率在 78.5% ~ 83.6% 之间, 并受饲料蛋白水平影响, 28% 蛋白组显著低于 34% 蛋白组 ($P < 0.05$), CAA 的添加对蛋白质消化率没有显著影响 ($P > 0.05$)。饲料 P 的消化率会随 CAA 的添加而显著降低 ($P < 0.05$)。

表 4 不同蛋白水平下添加 CAA 对饲料表观消化率的影响
Tab. 4 Effects of CAA supplementation of diets with different CP levels on apparent digestibility coefficients (%) of the diets

| | 34% | | 32% | | 30% | | 28% | | P-value | | |
|--------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|------------|------------|----------|
| | 34CP | 34AA | 32CP | 32AA | 30CP | 30AA | 28CP | 28AA | CAA | CP | CAA × CP |
| 干物质消化率 ADC of dry matter | 49.43 ± 3.41 | 51.99 ± 6.52 | 54.57 ± 2.72 | 50.87 ± 1.36 | 52.72 ± 5.98 | 53.72 ± 5.15 | 53.38 ± 4.46 | 56.22 ± 4.90 | ns | ns | ns |
| 蛋白质消化率 ADC of crude protein | 82.35 ± 1.25 ^b | 83.59 ± 0.43 ^b | 80.92 ± 1.77 ^{ab} | 80.96 ± 1.69 ^{ab} | 80.69 ± 2.50 ^{ab} | 79.98 ± 0.73 ^{ab} | 78.49 ± 2.85 ^a | 80.02 ± 1.25 ^{ab} | ns | $P < 0.05$ | ns |
| 能量消化率 ADC of gross energy | 59.76 ± 2.50 | 61.92 ± 5.54 | 62.08 ± 2.59 | 60.52 ± 0.86 | 60.79 ± 6.17 | 61.37 ± 4.50 | 60.31 ± 4.09 | 64.23 ± 4.33 | ns | ns | ns |
| 磷消化率 ADC of phosphorus | 51.88 ± 4.75 ^{ab} | 46.06 ± 3.11 ^a | 55.84 ± 5.34 ^b | 45.55 ± 5.24 ^a | 54.03 ± 1.67 ^{ab} | 51.39 ± 6.77 ^{ab} | 56.42 ± 1.69 ^b | 55.44 ± 4.70 ^b | $P < 0.05$ | ns | ns |

注: 数据以 3 个重复的平均值 ± 标准差来表示, 同一行标有不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), ns. 无显著差异 ($P > 0.05$), 以下各表注同。

Notes: Values are means ± SD of 3 replicates and values within the same row with different letters are significantly different ($P < 0.05$), ns. no significant difference. The same as the following.

2.3 罗非鱼形态学指标

不同蛋白水平下添加 CAA 对罗非鱼肥满度、脏体比、肝体比和脂体比的影响如表 5 所示。肥满度除 28CP 组显著低于 34CP 和 34AA ($P < 0.05$) 外, 其余各组间均无显著差异 ($P > 0.05$)。

除 32% 外的各个蛋白水平下, 添加 CAA 可在一定程度上降低罗非鱼的脏体比、肝体比和脂体比, 但差异并不显著 ($P > 0.05$), 而 32AA 与 32CP 相比, 各个指标均有上升趋势。饲料蛋白水平对脏体比、肝体比和脂体比均有显著影响 ($P < 0.05$)。

2.4 鱼体生化成分

各组饲料对罗非鱼全鱼、肌肉、肝脏的水分含量及全鱼蛋白和肝脏蛋白含量均无显著影响 ($P > 0.05$) (表6)。CAA 的添加显著影响全鱼灰分和肌肉蛋白含量 ($P < 0.05$)。随着蛋白水平的

降低,全鱼蛋白、灰分含量呈下降趋势,而全鱼脂肪和肝脏脂肪含量则逐渐升高。34AA 的肌肉蛋白含量显著高于其它各组 ($P < 0.05$),肝脏蛋白则为 34CP 组最高。

表5 不同蛋白水平下添加 CAA 对罗非鱼肥满度、脏体比、肝体比和脂体比的影响

Tab.5 Effects of CAA supplementation of diets with different CP levels on CF, VSI, HSI and IPR in juvenile tilapia

| | 34% | | 32% | | 30% | | 28% | | P-value | | |
|---------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------|------------|----------|
| | 34CP | 34AA | 32CP | 32AA | 30CP | 30AA | 28CP | 28AA | CAA | CP | CAA × CP |
| 肥满度 CF | 3.84 ± 0.23 ^b | 3.83 ± 0.06 ^b | 3.63 ± 0.10 ^{ab} | 3.72 ± 0.13 ^{ab} | 3.77 ± 0.15 ^{ab} | 3.72 ± 0.04 ^{ab} | 3.58 ± 0.04 ^a | 3.71 ± 0.09 ^{ab} | ns | ns | ns |
| 脏体比 VSI | 9.13 ± 0.24 ^{ab} | 8.65 ± 0.68 ^a | 9.06 ± 0.33 ^{ab} | 9.47 ± 0.48 ^{abc} | 10.11 ± 0.59 ^{cd} | 9.16 ± 0.14 ^{ab} | 10.35 ± 0.45 ^d | 9.58 ± 0.34 ^{bcd} | $P < 0.05$ | $P < 0.05$ | ns |
| 肝体比 HSI | 1.37 ± 0.14 ^{ab} | 1.26 ± 0.04 ^a | 1.61 ± 0.11 ^{abc} | 2.25 ± 0.45 ^d | 1.94 ± 0.08 ^{cd} | 1.88 ± 0.05 ^{bcd} | 1.96 ± 0.32 ^{cd} | 1.78 ± 0.59 ^{abcd} | ns | $P < 0.05$ | ns |
| 脂体比 IPR | 0.74 ± 0.03 ^{ab} | 0.63 ± 0.10 ^a | 0.84 ± 0.04 ^{ab} | 1.18 ± 0.18 ^{bc} | 1.23 ± 0.25 ^{bc} | 1.05 ± 0.05 ^{abc} | 1.42 ± 0.07 ^c | 1.12 ± 0.68 ^{abc} | ns | $P < 0.05$ | ns |

表6 不同蛋白水平下添加 CAA 对罗非鱼体生化组成的影响

Tab.6 Effects of CAA supplementation of diets with different CP levels on biochemical composition of tilapia

| | 34% | | 32% | | 30% | | 28% | | P-value | | |
|------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------|------------|----------|
| | 34CP | 34AA | 32CP | 32AA | 30CP | 30AA | 28CP | 28AA | CAA | CP | CAA × CP |
| 全鱼 whole fish | | | | | | | | | | | |
| 水分 moisture | 74.39 ± 1.08 | 74.31 ± 1.41 | 74.82 ± 0.83 | 75.17 ± 1.95 | 74.26 ± 0.57 | 73.45 ± 0.86 | 73.15 ± 1.16 | 73.24 ± 0.58 | ns | ns | ns |
| 蛋白 crude protein | 14.67 ± 0.40 | 14.47 ± 0.41 | 14.23 ± 0.68 | 13.79 ± 1.01 | 14.30 ± 0.28 | 13.91 ± 0.35 | 13.92 ± 0.33 | 13.92 ± 0.49 | ns | ns | ns |
| 脂肪 crude lipid | 4.79 ± 0.88 ^a | 5.30 ± 1.15 ^a | 4.85 ± 0.28 ^a | 5.06 ± 0.99 ^a | 6.57 ± 0.97 ^{ab} | 6.57 ± 0.92 ^{ab} | 8.03 ± 0.69 ^b | 7.18 ± 0.91 ^b | ns | $P < 0.05$ | ns |
| 灰分 crude ash | 3.39 ± 0.19 ^{bc} | 3.57 ± 0.09 ^c | 3.17 ± 0.14 ^{abc} | 3.31 ± 0.16 ^{abc} | 2.91 ± 0.10 ^a | 3.48 ± 0.10 ^c | 2.97 ± 0.07 ^{ab} | 2.98 ± 0.51 ^{ab} | $P < 0.05$ | $P < 0.05$ | ns |
| 肌肉 muscle | | | | | | | | | | | |
| 水分 moisture | 78.18 ± 0.29 | 77.67 ± 0.34 | 77.97 ± 0.19 | 77.53 ± 0.19 | 77.52 ± 0.56 | 77.63 ± 0.12 | 77.94 ± 0.54 | 77.72 ± 0.94 | ns | ns | ns |
| 蛋白 crude protein | 17.66 ± 0.30 ^{ab} | 18.52 ± 0.21 ^c | 17.64 ± 0.23 ^{ab} | 17.92 ± 0.20 ^{bc} | 18.00 ± 0.64 ^{bc} | 17.83 ± 0.18 ^{ab} | 17.18 ± 0.29 ^a | 17.59 ± 0.47 ^{ab} | $P < 0.05$ | $P < 0.05$ | ns |
| 脂肪 crude lipid | 0.87 ± 0.21 ^{ab} | 0.59 ± 0.20 ^a | 0.83 ± 0.10 ^{ab} | 1.21 ± 0.41 ^{bc} | 1.15 ± 0.19 ^{bc} | 1.12 ± 0.05 ^{abc} | 1.55 ± 0.30 ^c | 1.09 ± 0.53 ^{abc} | ns | $P < 0.05$ | ns |
| 肝脏 liver | | | | | | | | | | | |
| 水分 moisture | 74.42 ± 0.77 | 74.13 ± 1.89 | 74.88 ± 0.90 | 72.74 ± 1.42 | 71.43 ± 2.18 | 71.98 ± 0.42 | 73.02 ± 2.85 | 71.94 ± 2.36 | ns | ns | ns |
| 蛋白 crude protein | 12.22 ± 0.83 ^b | 10.81 ± 1.97 ^{ab} | 9.42 ± 0.84 ^a | 11.17 ± 0.67 ^{ab} | 9.91 ± 1.08 ^{ab} | 10.45 ± 0.63 ^{ab} | 10.61 ± 1.03 ^{ab} | 9.92 ± 1.78 ^{ab} | ns | ns | ns |
| 脂肪 crude lipid | 3.24 ± 0.53 ^a | 3.85 ± 0.79 ^{ab} | 4.23 ± 1.85 ^{abc} | 4.03 ± 1.65 ^{abc} | 6.06 ± 1.01 ^{bc} | 5.31 ± 0.66 ^{abc} | 5.42 ± 0.99 ^{abc} | 6.28 ± 1.38 ^c | ns | $P < 0.05$ | ns |

2.5 血浆生理生化指标

由表7知,28CP 组的血浆谷草转氨酶(GOT)

和谷丙转氨酶(GPT)活性最高 ($P < 0.05$),其它各组之间差异并不显著 ($P > 0.05$)。CAA 的添加均

可显著影响 GOT 和 GPT ($P < 0.05$),尤其是 28% 蛋白组,添加 CAA 后,显著降低了血浆的 GOT 和 GPT ($P < 0.05$),两个因子对 GOT 和 GPT 具有交互作用 ($P < 0.05$)。碱性磷酸酶 (ALP) 活性在各

组间没有显著差异 ($P > 0.05$),而血浆尿素氮 (UREA) 含量则受饲料蛋白水平影响 ($P < 0.05$),32AA、28AA 组的含量高于其它各组。

表 7 不同蛋白水平下添加 CAA 对罗非鱼血浆生理生化指标的影响
Tab. 7 Effects of CAA supplementation of diets with different CP levels on several plasma parameters in juvenile tilapia

| | 34% | | 32% | | 30% | | 28% | | P-value | | |
|---------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|------------|------------|------------|
| | 34CP | 34AA | 32CP | 32AA | 30CP | 30AA | 28CP | 28AA | CAA | CP | CAA × CP |
| GOT (U/L) | 48.35 ± 11.67 ^a | 40.85 ± 11.53 ^a | 47.70 ± 8.33 ^a | 48.20 ± 9.90 ^a | 55.10 ± 18.07 ^a | 42.75 ± 2.19 ^a | 90.10 ± 1.13 ^b | 43.00 ± 3.54 ^a | $P < 0.05$ | ns | $P < 0.05$ |
| GPT (U/L) | 19.07 ± 1.60 ^{abc} | 16.10 ± 2.95 ^a | 22.57 ± 4.44 ^{abc} | 24.47 ± 4.60 ^{bc} | 25.00 ± 0.14 ^c | 20.25 ± 3.61 ^{abc} | 34.60 ± 3.68 ^d | 17.80 ± 2.03 ^{ab} | $P < 0.05$ | $P < 0.05$ | $P < 0.05$ |
| ALP (U/L) | 17.67 ± 4.04 | 18.00 ± 2.65 | 19.33 ± 2.52 | 18.00 ± 1.41 | 18.67 ± 2.08 | 14.50 ± 2.12 | 19.33 ± 2.08 | 16.00 ± 2.83 | ns | ns | ns |
| UREA (mmol/L) | 0.37 ± 0.06 ^{ab} | 0.33 ± 0.06 ^a | 0.50 ± 0.17 ^{abc} | 0.57 ± 0.15 ^c | 0.47 ± 0.06 ^{abc} | 0.35 ± 0.07 ^{ab} | 0.33 ± 0.06 ^a | 0.53 ± 0.06 ^{bc} | ns | $P < 0.05$ | ns |

3 讨论

不同的鱼类对晶体氨基酸的利用能力不同。饲料中的 CAA 与结合态氨基酸吸收不同步,因而血浆游离氨基酸峰值提前^[9-13],使得先行吸收的氨基酸被用作能量消耗或转氨作用分解掉了^[14],这可能是影响 CAA 利用的主要原因。研究发现,以虹鳟为代表的冷水性鱼类的小肠对饲料氨基酸的吸收速度显著低于温水性鱼类^[15-16],能够与结合态氨基酸一样有效利用 CAA^[2-3,17];而部分有胃鱼如尖吻鲈 (*Lates calcarifer*)^[18]、南方鲶 (*Silurus meridionalis*)^[19]、罗非鱼^[20-21]等同样能够很好地利用饲料中的 CAA,这可能是由于一定程度上胃延缓了食物直接进入肠道,使得晶体 CAA 与结合态氨基酸吸收不同步的问题得到缓解。影响 CAA 利用效率的原因还包括氨基酸溶失^[10,13,22]、投喂策略^[23-24]、水温^[25]、饲料营养成分^[18-19,26]等因素,因此同一种鱼也可能得出不同的结论,如斑点叉尾鲷^[7,27]、鲤^[28-29]等。

研究发现,用添加 CAA 的无鱼粉饲料喂罗非鱼,血清中游离氨基酸第一高峰出现在摄食后第 1 小时,较不添加的对照组没有提前,氨基酸的吸收没有出现不同步性,而添加 CAA 促进了鱼体的生长^[30],表明对罗非鱼而言,饲料氨基酸吸收的同步性对 CAA 的利用影响较小。本试验结果显示,在饲料蛋白水平为 30% 和 28% 时添加 CAA 可提高 48.4%、55.6% 的增重率,而在 34%

和 32% 蛋白水平下,添加 CAA 仅增长 23.6% 和 4%,相对而言,低蛋白条件下添加 CAA 效果更为明显。Gaylord 等^[2]在虹鳟中也得到了类似的结果,蛋白水平为 45% 时,在植物蛋白饲料中添加多种必需氨基酸在增重方面提高 11.5%,而在 35% 蛋白水平添加 EAA,则达到 15%。同样在尖吻鲈饲料中补充 CAA 可有效促进生长,并且在高蛋白水平 (54% CP) 中的作用显著低于低蛋白水平组 (39% CP)^[18]。这可能是由于低蛋白水平下饲料氨基酸更为不平衡,限制性氨基酸的影响更为明显。本试验中,28AA 和 30AA 两组添加 CAA 后,生长效果达到 34CP 水平,足以看出平衡氨基酸的作用。对虹鳟、鲤、异育银鲫和南美白对虾等的研究也表明,在饲料中添加 EAA,使之满足氨基酸平衡,可以适当降低饲料蛋白的含量,而对养殖对象的生长没有显著影响^[2-6]。

在以植物蛋白原料为主要蛋白源时,通常会缺少某些必需氨基酸,造成氨基酸不平衡,并导致摄食量明显下降^[25],而摄食量的降低会导致生长性能的降低^[31]。饲料中添加 CAA,不仅可以改善饲料的营养平衡性,并且可刺激鱼类的嗅觉和味觉功能,起到很好的诱食作用,从而增加鱼类的摄食量,提高饲料利用效率^[27,32]。本试验也表明,在各个饲料蛋白水平,添加 CAA 均可显著提高罗非鱼的摄食量。Bai 等^[27]报道,在以大豆蛋白为主要蛋白源、蛋白水平分别为 30% 和 25% 的实用饲料中分别添加 0.4% Lys,可显著提高斑点

叉尾鲷的饲料效率和蛋白质效率。本实验中, 34%和32%蛋白水平添加CAA对饲料利用没有显著影响,但是在30%和28%蛋白水平下,则可显著提高饲料效率和蛋白质效率,并达到34%蛋白水平。蛋白质保留率和能量保留率的变化趋势亦与此一致,表明在较低蛋白水平饲料中添加CAA可以使饲料氨基酸更有效地用于体内蛋白质的合成,而不是通过异化作用作为能量消耗掉。

血清转氨酶的活性一方面可反应氨基酸的周转代谢能力,另一方面,也是检验肝脏是否受损的指标。对牙鲆的研究表明,饲料中添加CAA可显著提高血浆谷草转氨酶和谷丙转氨酶的活性^[33]。而在本试验条件下,除28CP组活性偏高外,其它各组间的GOT和GPT活性并不受CAA添加而影响,在28%蛋白水平下添加CAA显著降低了两种转氨酶的活性,使之达到与其它组相同的水平。

4 结论

以上研究表明,饲料中添加晶体氨基酸对罗非鱼的生长起到很好的促进作用,尤其是30%和28%蛋白水平下添加的效果更为明显,可显著提高罗非鱼的增重率、特定生长率、饲料效率、蛋白质效率、蛋白质保留率、能量保留率,并达到34%蛋白水平组,即当饲料蛋白水平从34%降低至28%时,如果补足必需氨基酸,使之达到需要量水平,罗非鱼的生长性能和饲料利用将不受影响。

参考文献:

- [1] Versteegen M W A, Jongbloed A W. Crystalline amino acids and nitrogen emission[J]. *Amino Acids in Animal Nutrition*, 2003, 449-458.
- [2] Gaylord T G, Barrows F T. Multiple amino acid supplementations to reduce dietary protein in plant-based rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, feeds [J]. *Aquaculture*, 2009, 287(1-2): 180-184.
- [3] Cheng Z J, Hardy R W, Usry J L. Plant protein ingredients with lysine supplementation reduce dietary protein level in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets, and reduce ammonia nitrogen and soluble phosphorus excretion [J]. *Aquaculture*, 2003, 218(1-4): 553-565.
- [4] Viola S, Lahav E, Angeoni H. Reduction of feed protein levels and of nitrogenous N-excretions by lysine supplementation in intensive carp culture [J]. *Aquat Living Resour*, 1992, 5: 277-285.
- [5] 王爱民, 李朝霞, 吕林兰, 等. 氨基酸平衡模式在异育银鲫饲料中的应用研究 [J]. *饲料工业*, 2006, 27(16): 24-27.
- [6] Huai M Y, Liu Y J, Tian L X, et al. Effect of dietary protein reduction with synthetic amino acids supplementation on growth performance, digestibility, and body composition of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* [J]. *Aquaculture International*, 2009; 1-15.
- [7] Li M H, Robinson E H. Effects of supplemental lysine and methionine in low protein diets on weight gain and body composition of young channel catfish *Ictalurus punctatus* [J]. *Aquaculture*, 1998, 163(3-4): 297-307.
- [8] Shiao S Y, Peng C Y. Protein-sparing effect by carbohydrates in diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. *Aquaculture*, 1993, 117(3-4): 327-334.
- [9] Yamada S, Simpson K L, Tanaka Y, et al. Plasma amino acid changes in rainbow trout *Salmo gairdneri* force-fed casein and a corresponding amino acid mixture [J]. *Bull Jap Soc Sci Fish*, 1981, 47: 1035-1040.
- [10] Zarate D D, Lovell R T. Free lysine (L-lysine · HCl) is utilized for growth less efficiently than protein-bound lysine (soybean meal) in practical diets by young channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. *Aquaculture*, 1997, 159(1-2): 87-100.
- [11] Rodehutsord M, Borchert F, Gregus Z, et al. Availability and utilisation of free lysine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): 1. Effect of dietary crude protein level [J]. *Aquaculture*, 2000, 187(1-2): 163-176.
- [12] 冷向军, 王冠, 李小勤, 等. 饲料中添加晶体或包膜氨基酸对异育银鲫生长和血清游离氨基酸水平的影响 [J]. *水产学报*, 2007, 31(6): 743-748.
- [13] 罗运仙, 谢骏, 吕利群, 等. 饲料中补充晶体或微囊赖氨酸对草鱼生长和血浆总游离氨基酸的影响 [J]. *水产学报*, 2010, 34(3): 466-473.
- [14] Liou C H, Lin S C, Cheng J H. Urinary amino acid excretion by marine shrimp, *Penaeus monodon*, in response to orally administered intact protein and crystalline amino acids [J]. *Aquaculture*, 2005, 248(1-4): 35-40.
- [15] Murai T, Ogata H, Hirasawa Y, et al. Portal absorption and hepatic uptake of amino acids in rainbow trout force-fed complete diets containing

- casein or crystalline amino acids[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1987, 53: 1847 - 1859.
- [16] 邓君明, 麦康森. 鱼类对晶体氨基酸利用效率的研究进展[J]. 云南农业大学学报, 2008, 23(4): 552 - 557.
- [17] Cheng Z J, Hardy R W, Usry J L. Effects of lysine supplementation in plant protein-based diets on the performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and apparent digestibility coefficients of nutrients [J]. Aquaculture, 2003, 215(1-4): 255 - 265.
- [18] Williams K. Efficacy of crystalline and protein-bound amino acids for amino acid enrichment of diets for barramundi/Asian seabass (*Lates calcarifer* Bloch) [J]. Aquaculture Research, 2001, 32(S1): 415 - 429.
- [19] Ai Q, Xie X. Effects of replacement of fish meal by soybean meal and supplementation of methionine in fish meal/soybean meal-based diets on growth performance of the southern catfish *Silurus meridionalis* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2005, 36(4): 498 - 507.
- [20] 林仕梅, 麦康森, 谭北平. 实用饲料中添加结晶氨基酸对罗非鱼生长、体组成的影响[J]. 水生生物学学报, 2008, 32(5): 741 - 749.
- [21] El-Saidy D M S D, Gaber M M A. Complete replacement of fish meal by soybean meal with dietary L-lysine supplementation for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2002, 33(3): 297 - 306.
- [22] 刘永坚, 田丽霞, 刘栋辉, 等. 实用饲料补充结晶或包膜赖氨酸对草鱼生长、血清游离氨基酸和肌肉蛋白质合成率的影响[J]. 水产学报, 2002, 26(3): 252 - 258.
- [23] Zarate D D, Lovell R T, Payne M. Effects of feeding frequency and rate of stomach evacuation on utilization of dietary free and protein-bound lysine for growth by channel catfish *Ictalurus punctatus* [J]. Aquaculture Nutrition, 1999, 5(1): 17 - 22.
- [24] 冷向军, 王冠. 投饲频率对异育银鲫饲料中添加晶体氨基酸的影响[J]. 饲料研究, 2005(12): 50 - 52.
- [25] De La Higuera M, Garzón A, Hidalgo M C, et al. Influence of temperature and dietary-protein supplementation either with free or coated lysine on the fractional protein-turnover rates in the white muscle of carp [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 1998, 18(1): 85 - 95.
- [26] Shiau S Y, Chuang J L, Sun C L. Inclusion of soybean meal in tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) diets at two protein levels [J]. Aquaculture, 1987, 65(3-4): 251 - 261.
- [27] Bai S C, Gatlin D M. Effects of L-lysine supplementation of diets with different protein levels and sources on channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque) [J]. Aquaculture and Fisheries Management, 1994, 25: 465 - 474.
- [28] Murai T, Ogata H, Kosutarak P, et al. Effects of amino acid supplementation and methanol treatment on utilization of soy flour by fingerling carp [J]. Aquaculture, 1986, 56(3-4): 197 - 206.
- [29] Nose T, Arai S, Lee D, et al. A note on amino acids essential for growth of young carp [J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1974, 40: 903 - 908.
- [30] 陈丙爱. 鲤鱼、罗非鱼对合成氨基酸利用的比较研究[D]. 上海: 上海水产大学, 2007.
- [31] Aragão C, Conceição L E C, Dias J, et al. Soy protein concentrate as a protein source for Senegalese sole (*Solea senegalensis* Kaup 1858) diets; Effects on growth and amino acid metabolism of postlarvae [J]. Aquaculture Research, 2003, 34(15): 1443 - 1452.
- [32] Deng J, Mai K, Ai Q, et al. Effects of replacing fish meal with soy protein concentrate on feed intake and growth of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* [J]. Aquaculture, 2006, 258(1-4): 503 - 513.
- [33] 邓君明, 麦康森, 艾庆辉, 等. 不同氨基酸包被方法对牙鲆生长及血浆生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2007, 19(6): 706 - 713.

Evaluation of protein reduction and amino acids supplementation of practical diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)

JIN Sheng-jie, LIU Yong-jian, TIAN Li-xia*, YANG Hui-jun, LIANG Gui-ying
(Laboratory of Fish Nutrition, School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: A 62-day growth trial was undertaken to estimate effects of crystalline amino acid (CAA) supplementation of diets with different protein levels on growth performance and feed utilization in juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*). 8 plant-based diets were prepared, and they were formulated to contain 4 graded protein levels (crude protein; 34%, 32%, 30% and 28%) with (expressed as 34AA, 32AA, 30AA and 28AA, respectively) or without (expressed as 34CP, 32CP, 30CP and 28CP, respectively) CAA supplementation, respectively. In the supplementary group, lysine, methionine and threonine were added to ensure the amino acid requirement of Nile tilapia. With CAA supplementation, higher weight gain improvement was observed at 30% and 28% protein level, which is 48.4%, and 55.6%. Feed efficiency, protein efficiency, protein retention ratio and energy retention ratio were significantly lower in 28CP and 30CP groups, while increased by adding CAA, which were similar to that in another two protein levels. Regardless of diet protein level, CAA supplementation had no effects on the apparent digestibility coefficients (ADC) of dry matter, crude protein and gross energy of the diets, except for reducing the ADC of phosphorous. VSI, HSI and IPR decreased to some extent with CAA supplementation, yet body composition was not affected. The results indicated that supplementing CAA to the plant-based diets with different protein levels can improve the growth performance and feed utilization of juvenile tilapia, and it had no adverse effects when diet protein level reduced from 34% to 28%.

Key words: *Oreochromis niloticus*; plant protein; protein level; crystalline amino acid

Corresponding author: TIAN Li-xia. E-mail: edls@mail.sysu.edu.cn