

饲料蛋氨酸水平对吉富罗非鱼生长、 饲料利用率和体成分的影响

向 泉¹, 周兴华¹, 罗 莉^{2*}, 赵海鹏¹, 文 华³

(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. 西南大学动物科技学院, 重庆 400715;

3. 中国水产科学院长江水产研究所, 中国水产科学院淡水生态与健康养殖重点开放实验室, 湖北 荆州 434000)

摘要: 为了评价不同饲料蛋氨酸水平对吉富罗非鱼生长、饲料利用率及体成分的影响, 实验通过在半精制基础饲料中添加 DL-蛋氨酸, 配制成蛋氨酸水平分别为 0.26%、0.55%、0.85%、1.14%、1.44% 和 1.73% 的 6 种等氮等能 (32.09% 粗蛋白质, 15.82 kJ/g 总能) 的饲料, 以初始体质量 (66.76 ± 2.29) g 的吉富罗非鱼为实验对象, 每种实验饲料设 3 个重复, 每个重复放养实验鱼 25 尾, 养殖系统为室内养殖系统, 每天表观饱食投喂 3 次, 养殖时间为 60 d。结果发现, 随饲料蛋氨酸含量的增大, 罗非鱼的增重率 (WGR)、特定生长率 (SGR)、饲料蛋白效率 (PER)、饲料蛋白沉积率 (PDR) 均呈现先上升后下降的趋势, 饲料系数 (FCR) 呈现先下降后上升的趋势。且在蛋氨酸含量为 1.14% 时 WGR、SGR、PER 均达到最大 (分别为 361.91%、2.73%/d 和 2.53%), FCR 达到最低 (为 1.23), PDR 则在蛋氨酸水平为 1.44% 时达到最大 (47.22%)。随饲料蛋氨酸含量的增加, 罗非鱼肝体比和脏体比呈明显的先下降后上升的变化趋势, 肥满度则无明显的变化; 随饲料蛋氨酸含量的增加, 罗非鱼肌肉粗蛋白质呈先上升后下降的变化趋势, 而全鱼和肌肉粗脂肪呈先升高后稳定的变化趋势。但全鱼粗蛋白、全鱼和肌肉中的水分、灰分的含量差异均不显著, 肌肉中组氨酸、丝氨酸和胱氨酸含量差异不显著, 但其余各种氨基酸含量及肌肉必需氨基酸总量 (ΣEAA)、肌肉氨基酸总量 (ΣTAA) 均呈先上升后下降的趋势。以 WGR、SGR、PER、PDR、FCR 作为评价指标, 通过二次回归分析可知, 胱氨酸含量为 0.30% 时, 罗非鱼饲料中适宜的蛋氨酸水平应为 1.13%~1.16%, 占饲料蛋白质的 3.52%~3.61%。

关键词: 吉富罗非鱼; 蛋氨酸; 生长; 形体指数; 体组成

中图分类号: S 963.3

文献标志码: A

蛋氨酸是一种含硫的非极性 α -氨基酸, 是水产动物的必需氨基酸之一。在鱼类的生长发育过程中, 蛋氨酸可直接参与蛋白质的合成, 以 S-腺苷甲硫氨酸作为甲基供体参与机体的多种生理代谢过程。同时, 还可在机体中转化为半胱氨酸、活性甲基和肌酸等活性前体物质, 参与机体内肾上腺素、胆碱、肌酸等的合成。但在豆粕、棉粕、花生

粕等鱼类主要的植物蛋白源中蛋氨酸则是第一限制性氨基酸^[1]。相关研究表明, 适宜的饲料蛋氨酸水平可显著提高大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*)^[2]、许氏平鲈 (*Sebastes schlegeli*)^[3]、稚鳖 (*Pelodiscus sinensis*)^[4] 的特定生长率、饲料转化率及蛋白沉积率; Li 等^[5] 研究认为, 饲料中添加蛋氨酸可减少杂交条纹鲈 (*Morone chrysops* ×

收稿日期: 2013-10-29 修回日期: 2014-02-12

资助项目: 国家罗非鱼现代产业技术体系建设专项 (CARS-49); 公益性 (农业) 行业科研专项 (201003020); 国家自然科学基金 (31101909); 重庆市自然科学基金 (cstc2011jjA80021); 河南省科技成果项目 [豫科鉴委字 (2013) 2362]

通信作者: 罗 莉, E-mail: luoli1972@163.com

<http://www.scxuebao.cn>

M. saxatilis) 体组织对抗坏血酸的消耗, 增强其免疫能力; 而饲料中蛋氨酸缺乏时, 会导致鱼体增重率和饲料转化率降低^[6], 引起动物食欲减退、生长减缓或停滞、肾脏肿大或肝脏铁堆积等现象, 最后导致肝坏死或纤维化^[7]。Cowey 等^[8]发现, 饲料中蛋氨酸严重缺乏时, 将导致虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 出现明显的白内障, 使奥尼罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) 的生长明显受到抑制^[9]。因此, 只有在饲料中补充适量的蛋氨酸才能满足鱼类生长需要。

吉富罗非鱼 (GIFT, *Oreochromis niloticus*) 是采用先进的遗传技术与 DNA 识别技术选择出的优质罗非鱼新品种, 具有生长快、产量高、耐低氧、遗传性状稳定等优点, 已成为罗非鱼养殖中的主要品种。本实验以吉富罗非鱼为研究对象, 探讨饲料中不同蛋氨酸水平对吉富罗非鱼生长、饲料利用率及体组成的影响, 丰富和完善其营养生理和消化生理, 确定吉富罗非鱼对蛋氨酸的需要量, 为确定吉富罗非鱼饲料理想蛋白模式和配合饲料的配制提供理论依据。

1 材料与方

1.1 实验饲料

实验饲料以明胶、鱼粉、花生粕、包膜氨基酸混合物 (用卡拉胶、羟甲基纤维素钠、 α -淀粉作为包膜材料, 其比例为 1:1:1, 包膜氨基酸混合物的溶失率为 20.63%) 为主要蛋白源, 豆油为脂肪源。氨基酸混合物的包膜参照王冠等^[10]的方法。除蛋氨酸和甘氨酸 (平衡氮) 水平不同外, 其余的必需和非必需氨基酸按照罗非鱼肌肉氨基酸组成模式。配制成低蛋氨酸的基础饲料 (表 1), 并设定为对照组。在基础饲料中分别添加 0、0.3%、0.6%、0.9%、1.2% 和 1.5% 的 DL-蛋氨酸, 同时调节饲料中 L-甘氨酸的含量, 以 0.3% 的水平递减, 调节饲料中氮的水平。设计 6 种等氮 (粗蛋白含量为 32.09%) 等能 (总能为 15.86 kJ/g) 的实验饲料。各原料均粉碎过 80 目筛, 称重后混匀, 量少的组分采用逐级扩大法混合, 用实验室小型绞肉机制成颗粒饲料, 自然晾干后于 -20℃ 保存。经测定 6 种实验饲料中蛋氨酸的质量分数分别为 0.26%、0.55%、0.85%、1.14%、1.44% 和 1.73%, 占饲料蛋白质的质量分数分别为 0.81%、1.71%、2.65%、3.55%、4.49% 和

5.39%。饲料的氨基酸组成见表 2。

表 1 基础饲料配方及主要营养成分 (风干基础, %)
Tab. 1 Composition and nutrient level of foundation diets (air-dry basis)

| 原料 ingredient | 含量/% content |
|--|-----------------|
| 鱼粉 fish meal | 8.00 |
| 明胶 gelatin | 5.00 |
| 花生粕 peanut meal | 15.00 |
| 氨基酸混合物 ¹ amino acid mixture | 13.50 |
| 小麦精粉 wheat powder | 18.50 |
| α -淀粉 α -starch | 20.00 |
| 大豆油 soybean oil | 5.00 |
| 氯化胆碱 choline chloride | 0.50 |
| 复合预混料 ² compound Premix | 1.00 |
| 磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ | 2.00 |
| 微晶纤维素 microcrystalline cellulose | 10.00 |
| L-甘氨酸 L-glycine | 1.50 |
| 合计 total | 100.00 |
| 营养成分 (% 干物质) proximate analysis (dry matter) | |
| 蛋氨酸 methionine | 0.26 |
| 水分 moisture | 10.34 |
| 粗蛋白质 crude protein | 32.09 |
| 粗脂肪 crude lipid | 6.15 |
| 灰分 ash | 3.52 |
| 总能/(kJ/g) total energy | 15.86 |

注: 1. 氨基酸混合物组成见表 2; 2. 复合预混料为每千克饲料提供: 维生素 A, 2 000 IU, 维生素 C, 300 mg, 维生素 D₃, 2 000 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, 尼克酸, 100 mg, 泛酸钙, 40 mg, 维生素 B₆, 10 mg, 维生素 B₁₂, 0.02 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

Notes: 1. The compound premix provides vitamin and mineral for a kilogram of diets: vitamin A, 2 000 IU, vitamin C, 300 mg, vitamin D₃, 2 000 IU, vitamin E, 100 mg, vitamin K₃, 10 mg, vitamin B₁, 5 mg, vitamin B₂, 10 mg; nicotinic acid, 100 mg, Calcium Pantothenate, 40 mg, vitamin B₆, 10 mg, vitamin B₁₂, 0.02 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

1.2 实验鱼及饲养管理

实验用罗非鱼购自重庆白市驿渔场, 体质量为 (66.76 ± 2.29) g。购回后先用 3% ~ 5% 的食盐水消毒后放入暂养池, 用商品饲料暂养 7 d。实验开始前, 对暂养鱼进行 24 h 饥饿处理, 选择健康、无伤病的罗非鱼 450 尾, 随机投入 18 个实验水泥池 (150 cm × 100 cm × 50 cm) 中。并随机分

成 6 组,每组 3 个重复,每个重复 25 尾鱼,分别投喂 6 种不同蛋氨酸水平的实验饲料。每天按实验鱼体质量的 3%~5% 投喂饲料(根据实验鱼的摄食情况及水温等环境状况及时调整投喂率),每天 8:00、13:00、16:00 各投饲一次。养殖期间每

天换水一次,每次换水量为养殖水体的 1/3。实验用水为曝气后的自来水,每日监测水温、水质、实验鱼的摄食行为和死亡数量等。水温维持在 25~28 °C,溶氧高于 6.0 mg/L,pH 为 7.0~7.5,养殖时间 60 d。

表 2 基础饲料中氨基酸组成分析(% 干物质)
Tab. 2 Analyzed amino acid composition of the basal diets(dry matter)

| 氨基酸 amino acid | 鱼粉-明胶-花生粕 provided by fish meal-gelatin-gelatin | 氨基酸混合物 provided by AA mixture | 32% 肌肉氨基酸模式 Amount in 32 g muscle protein | 基础饲料 AA in basal diet (measured value) |
|--------------------|---|-------------------------------------|---|--|
| 缬氨酸 valine | 0.68 | 0.64 | 1.32 | 1.43 |
| 色氨酸 tryptophane | 0.15 | 0.24 | 0.39 | ND * |
| 苏氨酸 threonine | 0.50 | 0.94 | 1.44 | 1.46 |
| 苯丙氨酸 phenylalanine | 0.73 | 0.58 | 1.31 | 1.32 |
| 蛋氨酸 methionine | 0.26 | 0.00 | 1.04 | 0.26 |
| 精氨酸 arginine | 1.42 | 0.50 | 1.92 | 2.06 |
| 赖氨酸 lysine | 0.80 | 1.93 | 2.73 | 2.72 |
| 组氨酸 histidine | 0.38 | 0.37 | 0.74 | 0.88 |
| 亮氨酸 leucine | 1.05 | 1.62 | 2.67 | 2.70 |
| 异亮氨酸 isoleucine | 0.55 | 0.91 | 1.46 | 1.47 |
| 甘氨酸 glycine | 1.85 | 0.00 | 1.85 | 3.35 |
| 丙氨酸 alanine | 1.07 | 0.86 | 1.94 | 1.95 |
| 丝氨酸 serine | 0.66 | 0.62 | 1.28 | 1.29 |
| 胱氨酸 cystine | 0.15 | 0.15 | 0.30 | 0.30 |
| 谷氨酸 glutamic acid | 2.98 | 2.14 | 5.12 | 5.15 |
| 酪氨酸 tyrosine | 0.50 | 0.52 | 1.02 | 1.03 |
| 脯氨酸 proline | 1.16 | 0.00 | 1.08 | 1.16 |
| 天冬氨酸 aspartic acid | 1.47 | 1.67 | 3.14 | 3.17 |

注: * 色氨酸没有检测

Notes: tryptophane was not detected

1.3 样品采集

养殖实验开始时随机抽取 10 尾鱼于 -80 °C 下保存,用于体组成分析。实验开始和结束前一天停食 24 h,实验结束后每个实验组中随机取 10 尾鱼,其中 5 尾实验鱼于 -80 °C 下保存,用于体组成分析。另外 5 尾实验鱼用 50 mg/L 的 MS-222 溶液麻醉,测定体质量和体长后,在冰盘上解剖并分离出内脏、肝胰脏,用 4 °C 预冷的生理盐水冲洗,然后用滤纸吸干,精度称量肝胰脏和内脏团的质量。取侧线上方背部肌肉于 -80 °C 下保存,用于其组成分析。

1.4 指标测定

生长指标的测定 根据测定的数据计算实验鱼的增重率(weight gain rate, WGR)、特定增长率(specific growth rate, SGR)、蛋白质效率(protein efficiency rate, PER)、蛋白质沉积率

(protein deposition rate, PDR)、饲料系数(feed conversion ratio, FCR)、肥满度(condition factor, CF)、肝体比(hepatosomatic index, HSI)、脏体比(viscerosomatic index, VSI),根据统计的实验鱼死亡情况计算成活率(survival rate, SR),计算公式如下:

$$\text{增重率 (WGR, \%)} = (W_t - W_0) \times 100 / W_0;$$

$$\text{特定增长率 (SGR, \% / d)} = (\ln W_t - \ln W_0) \times 100 / t;$$

$$\text{蛋白质效率 (PER, \%)} = (W_t - W_0) / F \times P;$$

$$\text{蛋白质沉积率 (PDR, \%)} = 100 \times (W_t \times P_t - W_0 \times P_0) / F \times P$$

$$\text{饲料系数 (FCR)} = F / (W_t - W_0);$$

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

$$\text{肝体指数 (HSI, \%)} = 100 \times W_h / W;$$

脏体指数 (VSI, %) = $100 \times W_v / W$;

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

式中, W_0 为实验鱼初始体质量 (g); W_t 为实验鱼终末体质量 (g); W 为鱼体体质量 (g); F 为饲料摄入总质量 (g); P_0 为实验鱼初始体蛋白质含量 (%); P_t 为实验鱼终末体蛋白质含量 (%); P 为饲料中粗蛋白质含量 (%); t 为实验天数 (d); W_h 为鱼体肝脏质量 (g), W_v 为鱼体内脏质量 (g)。 L 为体长 (cm); N_0 为实验开始时鱼的尾数; N_t 为实验结束时鱼的尾数。

饲料及实验鱼营养成分的测定 饲料、实验鱼全鱼水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分和总能的测定参照 AOAC 的方法^[11]。水分采用 105 °C 干燥恒重法;粗蛋白质采用凯氏定氮法;粗脂肪采用索氏提取法;灰分采用马福炉 550 °C 灼烧法;饲料能量采用氧弹热量计 (WGR-1, 中国) 测定;实验鱼肌肉及基础饲料中氨基酸含量用日立 835-50 型氨基酸分析仪测定。

1.5 数据处理方法

实验数据以平均值 \pm 标准差 (mean \pm SD) 表示,采用 SPSS Statistics 17.0 统计软件中 One-Way ANOVA 进行方差分析,若组间差异显著,再用 Duncan 氏进行多重比较,差异显著水平为 $P < 0.05$ 。通过非线性回归分析,用二次曲线模型对罗非鱼的 WGR、SGR、PER、PDR、FCR 与饲料蛋

氨酸水平的关系进行拟合。

2 结果

2.1 蛋氨酸水平对罗非鱼生长性能和饲料利用率的影响

饲料蛋氨酸水平能显著影响罗非鱼的生长性能和饲料利用率 (表 3)。随饲料蛋氨酸水平的升高,罗非鱼的增重率 (WGR)、特定生长率 (SGR)、蛋白质效率 (PER) 和蛋白质沉积率 (PDR) 均呈先升后降的变化趋势。且 WGR、SGR 在饲料蛋氨酸水平为 1.14% (占饲料蛋白质的 3.55%) 时达到最大,除与饲料蛋氨酸水平为 0.85% 及 1.44% 的实验组差异不显著外 ($P > 0.05$),与其余各实验组差异显著 ($P < 0.05$),同时 PER、PDR 也在饲料蛋氨酸水平为 1.14% (占饲料蛋白质的 3.55%) 时达到最大,且与其余各实验组差异显著 ($P < 0.05$),但当饲料蛋氨酸水平超过 1.14% 后,各实验组 PER、PDR 的差异均不显著 ($P > 0.05$);罗非鱼的饲料系数 (FCR) 则随饲料蛋氨酸水平的升高呈先降后升的变化趋势,且在饲料蛋氨酸水平为 1.14% (占饲料蛋白质的 3.55%) 时达到最低,且与其余各实验组差异显著 ($P < 0.05$);实验期间各组实验鱼的成活率无明显差异 ($P > 0.05$)。

表 3 蛋氨酸水平对罗非鱼生长性能、饲料利用率的影响
Tab.3 Effect of dietary methionine levels on the growth performance and feed utilization of GIFT tilapia

| | 饲料蛋氨酸水平/% dietary methionine levels | | | | | |
|----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | 0.26 | 0.55 | 0.85 | 1.14 | 1.44 | 1.73 |
| 初始体质量/g initial body weigh | 67.52 \pm 0.42 | 67.55 \pm 0.28 | 67.35 \pm 0.13 | 67.55 \pm 0.30 | 67.53 \pm 0.65 | 67.62 \pm 0.15 |
| 终末体质量/g final body weigh | 225.44 \pm 2.64 ^a | 256.95 \pm 5.41 ^b | 306.63 \pm 2.66 ^c | 312.01 \pm 4.48 ^c | 305.81 \pm 3.35 ^c | 263.43 \pm 2.30 ^b |
| 增重率/% WGR | 233.86 \pm 4.43 ^a | 280.35 \pm 5.24 ^b | 355.30 \pm 7.65 ^c | 361.91 \pm 6.38 ^c | 352.90 \pm 5.36 ^c | 289.60 \pm 4.48 ^b |
| 特定生长率/(%/d) SGR | 2.15 \pm 0.02 ^a | 2.38 \pm 0.04 ^b | 2.71 \pm 0.02 ^c | 2.73 \pm 0.02 ^c | 2.70 \pm 0.01 ^c | 2.43 \pm 0.03 ^b |
| 蛋白质效率/% PER | 2.18 \pm 0.01 ^a | 2.24 \pm 0.02 ^a | 2.42 \pm 0.11 ^b | 2.53 \pm 0.06 ^c | 2.52 \pm 0.04 ^c | 2.26 \pm 0.02 ^a |
| 蛋白质沉积率/% PDR | 37.99 \pm 1.69 ^a | 39.35 \pm 1.30 ^a | 43.64 \pm 2.96 ^{bc} | 44.89 \pm 2.71 ^c | 47.22 \pm 1.01 ^c | 39.94 \pm 2.11 ^{ab} |
| 饲料系数 FCR | 1.43 \pm 0.01 ^c | 1.39 \pm 0.01 ^c | 1.29 \pm 0.04 ^b | 1.23 \pm 0.02 ^a | 1.24 \pm 0.02 ^a | 1.38 \pm 0.03 ^c |
| 成活率/% SR | 99.0 \pm 1.00 | 100 \pm 0.00 | 100.0 \pm 0.00 | 99.0 \pm 1.00 | 100.0 \pm 0.00 | 100.0 \pm 0.00 |

注:表格中同行肩标相同小写字母或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$),不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下表同

Notes: In the same row, values with same small letter superscripts or no letter superscripts mean no significant differences ($P > 0.05$), different small letter superscripts mean significant differences ($P < 0.05$). The same as the following

分别对罗非鱼的 WGR、SGR、PER、PDR、FCR 与饲料蛋氨酸水平进行回归分析,表明它们之间呈明显的二次回归关系 (图 1 ~ 图 5)。WGR (Y_1) 与饲料蛋氨酸水平 (X) 的二次回归方程为: $Y_1 = -183.04X^2 + 413.11X + 128.81$ ($R^2 = 0.9499$,

$P < 0.05$),当饲料蛋氨酸水平为 1.13% (占饲料蛋白质的 3.52%) 时,增重率最大 (361.90%); SGR (Y_2) 与饲料蛋氨酸水平 (X) 的二次回归方程为: $Y_2 = -0.815X^2 + 1.853X + 1.686$ ($R^2 = 0.9608$, $P < 0.05$),当饲料蛋氨酸水平为 1.14% (占饲料

蛋白质的 3.55%) 时,特定生长率最大(2.74%/d);PER(Y_3)与饲料蛋氨酸水平(X)的二次回归方程为: $Y_3 = -0.488X^2 + 1.1023X + 1.8681$ ($R^2 = 0.8053, P < 0.05$),当饲料蛋氨酸水平为 1.13% (占饲料蛋白质的 3.52%) 时,蛋白质效率最大(2.49%);PDR(Y_4)与饲料蛋氨酸水平(X)的二次回归方程为: $Y_4 = -10.531X^2 + 24.328X + 31.06$ ($R^2 = 0.7358, P < 0.05$),当饲料蛋氨酸水平为 1.16% (占饲料蛋白质的 3.61%) 时,蛋白质沉积率最大(45.11%);FCR(Y_5)与饲料蛋氨酸水平(X)的二次回归方程为: $Y_5 = 0.275X^2 - 0.6239X + 1.6069$ ($R^2 = 0.837, P < 0.05$),当饲料蛋氨酸水平为 1.13% (占饲料蛋白质的 3.52%) 时,饲料系数最小(1.25)。

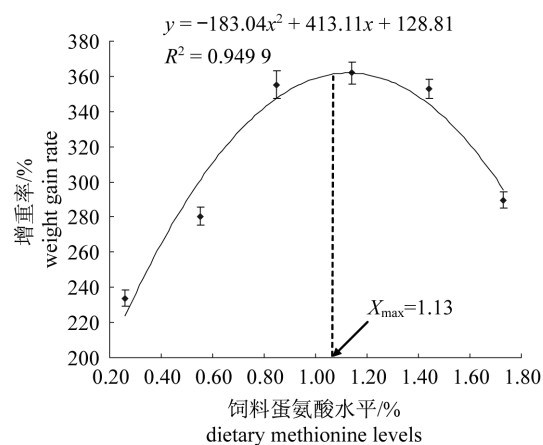


图 1 罗非鱼增重率与饲料蛋氨酸水平的关系
Fig.1 The relationship between weight growth rate and dietary methionine levels of GIFT tilapia

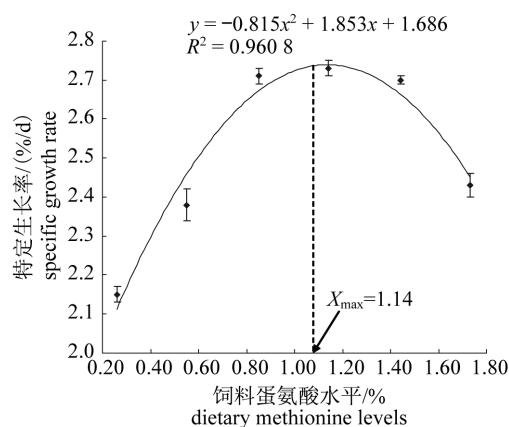


图 2 罗非鱼特定生长率与饲料蛋氨酸水平的关系
Fig.2 The relationship between specific growth rate and dietary methionine levels of GIFT tilapia

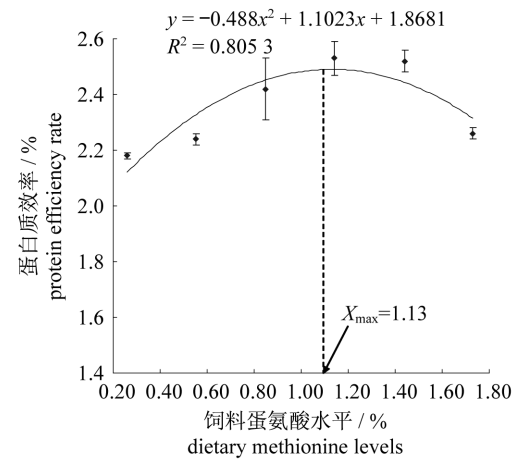


图 3 罗非鱼蛋白质效率与饲料蛋氨酸水平的关系
Fig.3 The relationship between protein efficiency rate and dietary methionine levels of GIFT tilapia

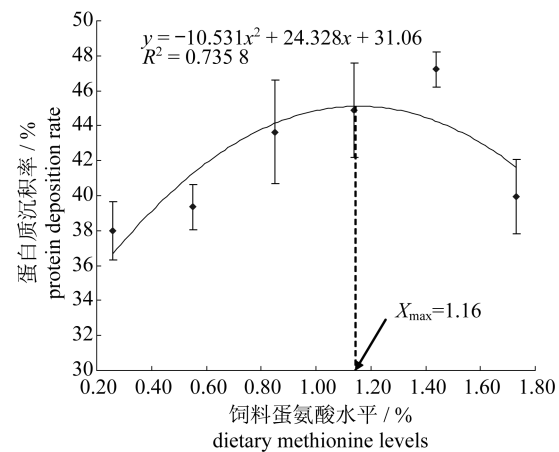


图 4 罗非鱼蛋白质沉积率与饲料蛋氨酸水平的关系
Fig.4 The relationship between protein deposition rate and dietary methionine levels of GIFT tilapia

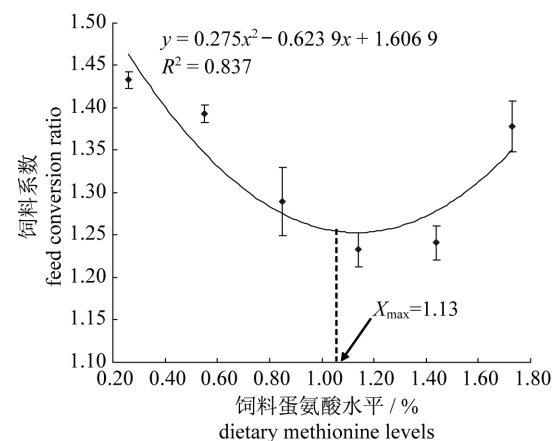


图 5 罗非鱼饲料系数与饲料蛋氨酸水平的关系
Fig.5 The relationship between feed conversion ratio and dietary methionine levels of GIFT tilapia

2.2 蛋氨酸水平对罗非鱼形体指标的影响

肥满度随饲料蛋氨酸水平的升高无明显变化 ($P > 0.05$), 肝体比和脏体比则随饲料蛋氨酸水平的升高呈明显的先降后升的趋势 ($P < 0.05$) (表4)。实验罗非鱼的肝体比在饲料蛋氨酸水平为0.85% (占饲料蛋白质的2.65%) 时最小, 除与

蛋氨酸水平为1.14%的实验组差异不显著外 ($P > 0.05$), 与其余各实验组差异显著 ($P < 0.05$); 脏体比则在饲料蛋氨酸水平为1.14% (占饲料蛋白质的3.55%) 时最小, 除与蛋氨酸水平为0.85%和1.14%的实验组差异不显著外 ($P > 0.05$), 与其余各实验组差异显著 ($P < 0.05$)。

表4 蛋氨酸水平对罗非鱼形体指标的影响
Tab.4 Effect of dietary methionine levels on body index of GIFT tilapia

$n = 3$

| 项目 items | 饲料蛋氨酸水平/% dietary methionine levels | | | | | |
|-------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 0.26 | 0.55 | 0.85 | 1.14 | 1.44 | 1.73 |
| 肥满度 CF | 1.92 ± 0.05 | 1.97 ± 0.08 | 1.95 ± 0.01 | 1.98 ± 0.06 | 2.14 ± 0.22 | 1.96 ± 0.05 |
| 肝体比/% HSI | 3.02 ± 0.07 ^d | 2.63 ± 0.28 ^c | 2.07 ± 0.07 ^a | 2.13 ± 0.08 ^{ab} | 2.35 ± 0.04 ^b | 2.75 ± 0.17 ^c |
| 脏体比/% VSI | 11.40 ± 0.22 ^d | 10.23 ± 0.23 ^c | 9.56 ± 0.18 ^{ab} | 9.31 ± 0.09 ^a | 9.48 ± 0.11 ^a | 9.82 ± 0.19 ^b |

2.3 蛋氨酸水平对罗非鱼体成分的影响

随饲料蛋氨酸水平的升高, 罗非鱼全鱼脂肪呈先升后降, 并逐渐趋于稳定的变化趋势, 且在1.14%水平组 (占饲料蛋白质的3.55%) 达到最高, 与其余各实验组差异显著 ($P < 0.05$); 肌肉粗脂肪则呈先升高后稳定的变化趋势, 当饲料蛋氨酸水平超过1.14%时, 各实验组无显著差异 ($P > 0.05$), 但要显著高于蛋氨酸水平小于0.85%的

各实验组; 肌肉粗蛋白质则随饲料蛋氨酸水平的升高呈先升后降的变化趋势, 且在1.14%水平组 (占饲料蛋白质的3.55%) 最高, 除与蛋氨酸水平为0.85%和1.44%的实验组差异不显著外 ($P > 0.05$), 与其余各实验组差异显著 ($P < 0.05$); 全鱼粗蛋白质, 全鱼及肌肉中的水分和灰分的含量均无显著差异 ($P > 0.05$) (表5)。

表5 蛋氨酸水平对罗非鱼全鱼及肌肉组成的影响

Tab.5 Effect of dietary methionine levels on body and muscle composition of GIFT tilapia

$n = 3$

| 项目 items | 饲料蛋氨酸水平/% dietary methionine levels | | | | | |
|--------------------|-------------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | 0.26 | 0.55 | 0.85 | 1.14 | 1.44 | 1.73 |
| 全鱼 whole fish | | | | | | |
| 水分 moisture | 72.67 ± 0.40 | 72.44 ± 0.44 | 72.29 ± 0.27 | 72.47 ± 0.29 | 72.25 ± 0.29 | 72.52 ± 0.17 |
| 粗蛋白质 crude protein | 16.90 ± 0.61 | 17.13 ± 0.37 | 17.24 ± 0.51 | 17.21 ± 0.78 | 17.42 ± 0.49 | 17.24 ± 0.57 |
| 粗脂肪 crude lipid | 6.87 ± 0.05 ^a | 6.93 ± 0.23 ^{ab} | 7.22 ± 0.19 ^b | 7.56 ± 0.15 ^c | 7.23 ± 0.26 ^b | 7.13 ± 0.02 ^b |
| 灰分 ash | 3.05 ± 0.36 | 3.24 ± 0.08 | 3.21 ± 0.27 | 3.08 ± 0.26 | 3.01 ± 0.12 | 3.18 ± 0.06 |
| 肌肉 muscle | | | | | | |
| 水分 moisture | 77.88 ± 0.51 | 77.45 ± 0.29 | 76.99 ± 0.27 | 76.96 ± 0.74 | 77.02 ± 0.49 | 77.14 ± 0.40 |
| 粗蛋白质 crude protein | 17.46 ± 0.17 ^a | 18.01 ± 0.71 ^{ab} | 18.48 ± 0.12 ^{bc} | 19.15 ± 0.15 ^c | 18.94 ± 0.77 ^{bc} | 18.05 ± 0.69 ^{ab} |
| 粗脂肪 crude lipid | 2.29 ± 0.01 ^a | 2.54 ± 0.08 ^b | 2.75 ± 0.06 ^c | 3.01 ± 0.17 ^d | 2.86 ± 0.15 ^{cd} | 2.81 ± 0.02 ^{cd} |
| 灰分 ash | 2.15 ± 0.19 | 1.95 ± 0.13 | 1.93 ± 0.15 | 1.92 ± 0.08 | 1.94 ± 0.61 | 2.01 ± 0.14 |

2.4 蛋氨酸水平对罗非鱼肌肉氨基酸含量的影响

饲料蛋氨酸水平对肌肉组氨酸、丝氨酸和胱氨酸无显著影响 ($P > 0.05$), 但对其余各种氨基酸含量有显著影响 ($P < 0.05$)。随着饲料蛋氨酸水平的升高, 罗非鱼肌肉中除组氨酸、丝氨酸和胱

氨酸外的其余氨基酸的含量、肌肉必需氨基酸总量 (ΣEAA)、肌肉氨基酸总量 (ΣTAA) 均呈先上升后下降的趋势 (表6)。且均在饲料蛋氨酸水平为1.14% (占饲料蛋白质的3.55%) 时达到最大值, 均与蛋氨酸水平为0.26%时 (对照组) 差异显著 ($P < 0.05$)。

表 6 蛋氨酸水平对罗非鱼肌肉氨基酸含量 (g/100 g,干物质基础) 的影响
 Tab. 6 Effect of dietary methionine levels on amino acid composition (dry matter) of GIFT tilapia $n = 3$

| 氨基酸 ¹ amino acid | 饲料蛋氨酸水平/% dietary methionine levels | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | 0.26 | 0.55 | 0.85 | 1.14 | 1.44 | 1.73 |
| 缬氨酸 valine | 3.91 ± 0.04 ^a | 4.02 ± 0.05 ^{ab} | 4.06 ± 0.05 ^{ab} | 4.08 ± 0.11 ^b | 4.04 ± 0.05 ^{ab} | 4.01 ± 0.06 ^{ab} |
| 苏氨酸 threonine | 3.66 ± 0.04 ^a | 3.71 ± 0.02 ^{ab} | 3.75 ± 0.04 ^{bc} | 3.80 ± 0.01 ^c | 3.74 ± 0.01 ^{bc} | 3.72 ± 0.02 ^{ab} |
| 苯丙氨酸 phenylalanine | 3.32 ± 0.02 ^a | 3.36 ± 0.02 ^{ab} | 3.37 ± 0.01 ^{bc} | 3.42 ± 0.04 ^c | 3.35 ± 0.02 ^{ab} | 3.34 ± 0.01 ^{ab} |
| 蛋氨酸 methionine | 2.39 ± 0.06 ^a | 2.46 ± 0.07 ^{ab} | 2.51 ± 0.05 ^{ab} | 2.55 ± 0.02 ^b | 2.49 ± 0.03 ^{ab} | 2.42 ± 0.06 ^{ab} |
| 精氨酸 arginine | 5.16 ± 0.06 ^a | 5.22 ± 0.01 ^{ab} | 5.28 ± 0.03 ^{ab} | 5.35 ± 0.06 ^b | 5.30 ± 0.09 ^{ab} | 5.18 ± 0.04 ^a |
| 赖氨酸 lysine | 7.36 ± 0.05 ^a | 7.52 ± 0.02 ^{ab} | 7.53 ± 0.03 ^{ab} | 7.59 ± 0.11 ^b | 7.49 ± 0.09 ^{ab} | 7.42 ± 0.04 ^{ab} |
| 组氨酸 histidine | 1.96 ± 0.05 | 2.01 ± 0.03 | 2.02 ± 0.02 | 2.07 ± 0.04 | 1.97 ± 0.03 | 1.96 ± 0.02 |
| 亮氨酸 leucine | 6.71 ± 0.12 ^a | 6.87 ± 0.03 ^{ab} | 6.95 ± 0.03 ^b | 7.01 ± 0.09 ^b | 6.88 ± 0.10 ^{ab} | 6.81 ± 0.07 ^{ab} |
| 异亮氨酸 isoleucine | 3.86 ± 0.02 ^a | 3.96 ± 0.01 ^{bc} | 3.97 ± 0.06 ^{bc} | 4.03 ± 0.04 ^c | 3.99 ± 0.03 ^c | 3.90 ± 0.01 ^{ab} |
| 甘氨酸 glycine | 5.84 ± 0.02 ^a | 5.87 ± 0.04 ^a | 6.13 ± 0.03 ^b | 6.16 ± 0.06 ^b | 6.11 ± 0.05 ^b | 6.09 ± 0.03 ^b |
| 丙氨酸 alanine | 5.72 ± 0.03 ^a | 5.73 ± 0.04 ^a | 5.82 ± 0.06 ^b | 5.86 ± 0.08 ^b | 5.84 ± 0.03 ^b | 5.83 ± 0.04 ^b |
| 丝氨酸 serine | 3.18 ± 0.01 | 3.23 ± 0.02 | 3.24 ± 0.02 | 3.25 ± 0.06 | 3.23 ± 0.03 | 3.22 ± 0.05 |
| 胱氨酸 cystine | 0.78 ± 0.05 | 0.77 ± 0.06 | 0.81 ± 0.03 | 0.82 ± 0.02 | 0.80 ± 0.04 | 0.76 ± 0.01 |
| 谷氨酸 glutamic acid | 12.41 ± 0.14 ^a | 12.73 ± 0.07 ^{bc} | 12.98 ± 0.13 ^c | 13.02 ± 0.17 ^c | 12.76 ± 0.06 ^{bc} | 12.63 ± 0.12 ^{ab} |
| 酪氨酸 tyrosine | 2.60 ± 0.06 ^a | 2.67 ± 0.05 ^{ab} | 2.72 ± 0.02 ^b | 2.74 ± 0.02 ^b | 2.67 ± 0.04 ^{ab} | 2.63 ± 0.03 ^{ab} |
| 脯氨酸 proline | 3.20 ± 0.05 ^a | 3.23 ± 0.02 ^{ab} | 3.33 ± 0.04 ^{bc} | 3.38 ± 0.06 ^c | 3.34 ± 0.04 ^c | 3.23 ± 0.03 ^{ab} |
| 天冬氨酸 aspartic acid | 8.40 ± 0.02 ^a | 8.49 ± 0.06 ^{ab} | 8.61 ± 0.03 ^{ab} | 8.69 ± 0.12 ^b | 8.62 ± 0.10 ^{ab} | 8.56 ± 0.05 ^{ab} |
| ΣEAA ² | 38.32 ± 0.11 ^a | 39.10 ± 0.04 ^{bc} | 39.35 ± 0.04 ^c | 39.89 ± 0.33 ^d | 39.23 ± 0.16 ^c | 38.74 ± 0.18 ^{ab} |
| ΣTAA ³ | 80.43 ± 0.31 ^a | 81.79 ± 0.04 ^b | 82.98 ± 0.17 ^{cd} | 83.79 ± 0.95 ^d | 82.66 ± 0.23 ^{bc} | 81.70 ± 0.06 ^b |

注:1. 色氨酸没有检测;2. 必需氨基酸总量;3. 氨基酸总量

Notes:1. tryptophane was not detected;2. gross of essential amino acid;3. gross of total amino acid

3 讨论

3.1 蛋氨酸水平对罗非鱼生长与饲料利用率的影响

蛋氨酸是水产动物所必需的一种含硫氨基酸,在动物机体中可以转化为胱氨酸,参与蛋白质的合成,为机体提供活性甲基,用来合成核酸等活性物质,促进细胞增殖和动物生长。当蛋氨酸含量不足时将导致饲料中氨基酸的不平衡,降低饲料利用效率^[12]。相关研究发现,蛋氨酸水平为 1.19% ~ 1.44% (占饲料蛋白质 2.64% ~ 3.34%) 时能显著提高军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)^[13]、斜带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*)^[14]、异育银鲫 (*Carassius auratus gibelio*)^[15]、大黄鱼 (*Pseudosciaena crocea*)^[16] 等的特定生长率和饲料转化率;以植物蛋白为主的饲料中添加结晶 D-蛋氨酸,能显著改善奥尼罗非鱼的生长速度、饲料系数及蛋白沉积率^[9];说明适当的蛋氨酸水平不但能促进鱼类的生长,还能提高饲料的蛋白质效率和蛋白质沉积率^[17]。本实验中,饲料蛋氨酸水平对罗非鱼的生长速度有显著的影响。饲料中胱氨酸含量为

0.30%,蛋氨酸水平为 1.14% (占饲料蛋白质的 3.55%) 时罗非鱼的增重率、特定生长率、饲料蛋白质效率和蛋白质沉积率均达到最大,且与饲料蛋氨酸水平成显著的二次曲线关系。通过二次回归模型分析可知,当饲料蛋氨酸水平在 1.13% ~ 1.16% (占饲料蛋白质的 3.52% ~ 3.61%) 时,可显著促进罗非鱼的生长,提高其饲料效率和蛋白质沉积率。其适宜的蛋氨酸含量同饲料蛋白质的比值与大黄鱼的 3.22%^[16]、厚唇鲮 (*Catla catla*) 的 3.6%^[18]、露斯塔野鲮 (*Labeo rohita*) 的 3.23%^[19]、非洲鲶 (*Clarias gariepinus*) 的 3.2%^[20]、建鲤 (*Cyprinus carpio* var. *Jian*) 的 3.6%^[21] 等相接近,但高于斜带石斑鱼的 2.79%^[14]、异育银鲫的 2.17%^[15]、五条鲮 (*Seriola quinqueradiata*) 的 2.6%^[22]、金鲈 (*Perca flavescens*) 的 2.5% ~ 3.0%^[23] 等,说明不同鱼类对蛋氨酸的需求因实验鱼的种属、规格、实验饲料中蛋白源种类及氨基酸的模式等的不同而有差异。

蛋氨酸具有抑制幼建鲤肠道大肠杆菌繁殖,维持消化道微生态平衡的作用^[24],促进其肠道皱襞发育,提高肠道胰蛋白酶、糜蛋白酶、脂肪酶等的活性^[25];低鱼粉饲料中添加包被蛋氨酸有助于

提高凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 蛋白酶和淀粉酶的活性^[26], 提高对饲料的消化率, 降低其饲料系数。本实验中, 当饲料中蛋氨酸含量较低时, 罗非鱼生长速度较慢、饲料系数高, 而随着饲料中蛋氨酸水平的提高, 其生长速度显著提高, 饲料系数显著降低。当饲料蛋氨酸水平超过 1.14% (占饲料蛋白质的 3.55%) 时, 其生长速度则显著下降。与 Ahmed 等^[27] 对麦瑞加拉鲢 (*Cirrhinus mrigala*)、Yan 等^[28] 对许氏平鲈、Huang 等^[29] 对中华鳖的研究相一致。其可能的原因是随着饲料中蛋氨酸水平的提高, 促进了肠道微生态的平衡, 提高了各种消化酶的分泌量和活性, 从而促进了鱼类的饲料中各种营养物质的消化和吸收; 而且随着饲料中蛋氨酸水平的提高, 饲料的氨基酸逐渐平衡, 适口性在一定程度上得到增强, 使鱼类的摄食量增加^[30]; 而当饲料蛋氨酸水平过量后, 造成与其他氨基酸比例失衡, 从而影响其他氨基酸的利用效率^[31]; 同时, 鱼类吸收过量的蛋氨酸可能在体内氧化产生酮或其他代谢产物, 产生毒害作用, 影响鱼类的生长^[19]。

3.2 蛋氨酸水平对罗非鱼形体指数的影响

饲料成分对鱼体肥满度等影响不大^[32]。本实验中, 饲料蛋氨酸水平对罗非鱼肥满度的影响也不明显。饲料中添加蛋氨酸对奥尼罗非鱼^[9]、大菱鲂 (*Scophthalmus maximus*)^[33] 等的肥满度均无明显影响, 这与本研究结果相一致。饲料蛋氨酸水平在一定范围内提高, 大西洋鲑 (*Salmo salar*) 的肝体比和脏体比均呈降低的变化趋势^[34]。Keembiyehetty 等^[35] 在杂交条纹鲈饲料中添加蛋氨酸可降低其肝体比; 蛋氨酸水平小于 1.34% 时, 斜带石斑鱼的肥满度、肝体比、脏体比等均随蛋氨酸水平的提高而增加, 蛋氨酸水平超过 1.34% 时则逐渐趋于稳定^[14]。本实验中, 罗非鱼的肝体比和脏体比则随饲料蛋氨酸水平的提高呈明显的先降后升的变化趋势。与上述研究结果有一定的差异。Espe 等^[34] 研究认为, 蛋氨酸能激活鱼体内的甲基进行高量甲基化反应, 避免鱼类肝增大, 这说明肝体比的减少是蛋氨酸引起的有益作用, 但当蛋氨酸超过适宜水平后, 饲料中过多的游离氨基酸转化为肝糖原^[36], 引起肝脏病变, 造成肝增大。Xiao 等^[37] 发现一定浓度范围内添加 MHA, 可以显著提高幼建鲤的肝体比; Ruchimat 等^[22] 也认为五条鲫的肝体比随着饲料

蛋氨酸水平上升而显著升高; 而军曹鱼的肝体比与脏体比不受饲料蛋氨酸水平的影响^[13]。说明由于饲料组成及实验鱼种类不同, 蛋氨酸水平对不同鱼类的形体指数的影响有一定的差异。

3.3 蛋氨酸水平对罗非鱼营养成分的影响

本实验中, 罗非鱼肌肉粗蛋白质含量随饲料蛋氨酸水平的提高呈先升后降的变化趋势, 且在蛋氨酸水平为 1.14% (占饲料蛋白质的 3.55%) 时最高。与 Cai 等^[38] 对斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*)、Ahmed 等^[27] 对麦瑞加拉鲢、Goff 等^[39] 红拟石首鱼 (*Sciaenops ocellatus*)、陈乃松等^[2] 对大口黑鲈等的研究基本一致。中华鳖的脂肪含量随着饲料蛋氨酸含量增加而增加, 达到其最适需求量后则显著减少^[4], 曾雯娉^[40] 发现凡纳滨对虾肌肉中粗脂肪含量随蛋氨酸水平的提高呈先升后降的变化趋势, 且与增重率呈正相关关系。本研究也发现, 随饲料蛋氨酸水平的提高, 罗非鱼全鱼粗脂肪含量呈先升后降的变化趋势, 肌肉粗脂肪则呈先升后稳定的趋势, 且均在蛋氨酸水平为 1.14% 时达到最高。Ronnestad 等^[41] 认为饲料氨基酸不平衡会导致机体蛋白合成能力降低, 因此当蛋氨酸不足或缺乏时, 使饲料中各种氨基酸比例不平衡, 导致鱼体蛋白质合成率下降; 随着蛋氨酸的添加, 饲料中氨基酸逐渐达到平衡, 也逐渐提高了蛋白质沉积率, 饲料中的蛋白质转化为鱼体蛋白质的比例增多, 从而促进了鱼体蛋白质合成^[42]。本实验中, 罗非鱼全鱼灰分的含量随饲料蛋氨酸水平的提高而呈先降后升并趋于稳定的变化趋势。Simmons 等^[43] 认为, 随着饲料蛋氨酸水平的提高, 北极嘉鱼 (*Salvelinus alpinus*) 灰分的沉积降低; 幼建鲤全鱼灰分含量随着蛋氨酸的补充而有所降低^[24]。罗非鱼全鱼粗脂肪、水分含量随饲料蛋氨酸水平升高而变化的差异不显著。这与大口黑鲈^[2]、异育银鲫^[16]、大黄鱼^[6] 等的研究相一致。随着饲料蛋氨酸水平的提高, 北极嘉鱼体脂肪的沉积显著升高^[43], 斜带石斑鱼的脂肪沉积也随饲料蛋氨酸含量的升高而呈上升的趋势, 水分则呈降低的变化趋势^[14]。可见, 饲料蛋氨酸水平对鱼体组成的影响存在着种属差异, 可能是由于实验鱼种类、基础饲料组成等不同而引起。

水产动物对蛋白质的积累是通过饲料氨基酸的合成来实现的。Alam 等^[44] 认为, 不同饲料氨

氨酸模式将影响牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 的生长及其体蛋白结合态氨基酸的组成;大黄鱼肌肉中蛋氨酸含量随饲料蛋氨酸水平的升高呈现先升高后稳定的趋势^[16];虹鳟肌肉蛋氨酸和胱氨酸含量随着饲料中 L-蛋氨酸水平增加而增加^[45]; Luo 等^[14]发现,点带石斑鱼肌肉必需氨基酸含量随饲料蛋氨酸水平的升高而增大;胭脂鱼肌肉中精氨酸、组氨酸、亮氨酸、赖氨酸和氨基酸总量均随着饲料蛋氨酸水平的升高而呈先升后降的变化趋势^[46];鱼体肌肉中各种氨基酸含量的提高,说明饲料中的各种氨基酸平衡时,鱼类所摄食的氨基酸有更大的比例用于鱼体蛋白质的合成,而达到适宜水平后,多余的氨基酸被氧化分解。本实验中,罗非鱼肌肉中除组氨酸等必需氨基酸及丝氨酸、胱氨酸等非必需氨基酸受饲料中蛋氨酸含量的影响较小外,其余各种氨基酸含量及 Σ EAA、 Σ TAA 均呈先上升后下降的趋势,与上述结果基本一致。这可能是由于饲料中某必需氨基酸缺乏时,导致了正常水平的其余必需氨基酸和非必需氨基酸的氧化^[47]。因此,饲料中蛋氨酸缺乏或不足时,其余的氨基酸将被氧化分解,降低其合成蛋白的能力,减少其在肌肉中的沉积。

4 小结

本实验条件下,饲料蛋氨酸水平对罗非鱼的生长性能、饲料转化率、体成分及肌肉氨基酸含量有显著的影响。罗非鱼的增重率、特定生长率、饲料蛋白质效率、蛋白质沉积率及饲料系数与饲料中的蛋氨酸水平呈显著的二次曲线关系。经二次回归分析可知,饲料中胱氨酸含量为 0.30% 时,罗非鱼饲料中适宜的蛋氨酸水平分别为 1.13%、1.14%、1.13%、1.16% 和 1.13%,分别占饲料蛋白质的 3.52%、3.55%、3.52%、3.61% 和 3.52%。综合分析可知,罗非鱼饲料中适宜的蛋氨酸水平应为 1.13%~1.16%,占饲料蛋白质的 3.52%~3.61%。

参考文献:

- [1] Abimorad E G, Favero G C, Castellani D, et al. Dietary supplementation of lysine and/or methionine on performance, nitrogen retention and excretion in pacu *Piaractus mesopotamicus* reared in cages[J]. Aquaculture, 2009, 295(3-4): 266-270.
- [2] Chen N S, Ma J Z, Zhou H Y, et al. Assessment of dietary methionine requirement in largemouth bass, *Micropterus salmoides* [J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 34(8): 1244-1253. [陈乃松, 马建忠, 周恒永, 等. 大口黑鲈对饲料中蛋氨酸需求量的评定. 水产学报, 2011, 34(8): 1244-1253.]
- [3] Yan Q, Xie S, Zhu X, et al. Dietary methionine requirement for juvenile rockfish, *Sebastes schlegelii* [J]. Aquaculture Nutrition, 2007, 13(3): 163-169.
- [4] Zhou X Q, Yang F, Zhou A G, et al. Methionine requirement of juvenile Chinese soft shell turtle [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2003, 27(1): 69-73. [周小秋, 杨凤, 周安国, 等. 稚鳖蛋氨酸的营养需要量. 水生生物学报, 2003, 27(1): 69-73.]
- [5] Li P, Burr G S, Wen Q, et al. Dietary sufficiency of sulfur amino acid compounds influences plasma ascorbic acid concentrations and liver peroxidation of juvenile hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) [J]. Aquaculture, 2009, 287(3-4): 414-418.
- [6] Mai K S, Wan J L, Ai Q H, et al. Dietary methionine requirement of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R [J]. Aquaculture, 2006, 253(1-4): 564-572.
- [7] Wang L L, Shao Q J. Effects of adding methionine to feeds on the growth of fish [J]. Reservoir Fisheries, 2007, 27(1): 108-110. [王蕾蕾, 邵庆均. 饲料中添加蛋氨酸对鱼类生长的影响. 水利渔业, 2007, 27(1): 108-110.]
- [8] Cowey C B. Nutrition: Estimating requirements of rainbow trout [J]. Aquaculture, 1992, 100(1-3): 177-189.
- [9] Lin S M, Mai K S, Tan B P. Influence of practical diet supplementation with free d-methionine on the growth and body composition in tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2008, 32(5): 742-749. [林仕梅, 麦康森, 谭北平. 实用饲料中添加结晶蛋氨酸对罗非鱼生长、体组成的影响. 水生生物学报, 2008, 32(5): 742-749.]
- [10] Wang G. Study on the technology of micro-capsule improving the effect of free amino acid on the growth of *Carassius auratus gibelio* [D]. Shanghai: Shanghai Fisheries University, 2006. [王冠. 晶体氨基酸经微胶囊技术处理后对异育银鲫生长影响的研究. 上海: 上海水产大学, 2006.]
- [11] AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists [S]. 16th

- edn. Arlington, VA, 1995.
- [12] Takagi S, Shimeno S, Hosokawa H, *et al.* Effect of lysine and methionine supplementation to a soy protein concentrate diet for red sea bream *Pagrus major* [J]. *Fisheries Science*, 2001, 67 (6): 1088 - 1096.
- [13] Zhou Q C, Wu Z H, Tan B P, *et al.* Optimal dietary methionine requirement for Juvenile Cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Aquaculture*, 2006, 258(1-4): 551 - 557.
- [14] Luo Z, Liu Y J, Mai K S, *et al.* Dietary L-methionine requirement of juvenile grouper *Epinephelus coioides* at a constant dietary cystine level [J]. *Aquaculture*, 2005, 249(1-4): 409 - 418.
- [15] Jia P, Xue M, Zhi X, *et al.* Effects of dietary methionine levels on the growth performance of juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, 37(2): 217 - 226. [贾鹏, 薛敏, 朱选, 等. 饲料蛋氨酸水平对异育银鲫幼鱼生长性能影响的研究. *水生生物学报*, 2013, 37(2): 217 - 226.]
- [16] Mai K S, Wan J L, Ai Q H, *et al.* Dietary methionine requirement of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R [J]. *Aquaculture*, 2006, 253 (1 - 4): 564 - 572.
- [17] Zhou F, Xiao J X, Hua Y, *et al.* Dietary l-methionine requirement of juvenile black sea bream (*Sparus macrocephalus*) at a constant dietary cystine level [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2011, 17(5): 469 - 481
- [18] Ravi J, Devaraj K V. Quantitative essential amino acid requirements for growth of catla, *Catla catla* (Hamilton) [J]. *Aquaculture*, 1991, 96 (3 - 4): 281 - 291.
- [19] Murthy H S, Varghese T J. Total sulphur amino acid requirement of the Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1998, 4(1): 61 - 65.
- [20] Fagbenro O A, Balogun A M, Fasakin E A. Dietary methionine requirement of the African catfish, *Clarias gariepinus* [J]. *Journal of Applied Aquaculture*, 1999, 8(4): 47 - 54.
- [21] Tang L, Wang G X, Jiang J, *et al.* Effect of methionine on intestinal enzymes activities, microflora and humoral immune of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2009, 15(5): 477 - 483.
- [22] Ruchimat T, Masumoto T, Hosokawa H, *et al.* Quantitative methionine requirement of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) [J]. *Aquaculture*, 1997, 150(1-2): 113 - 122.
- [23] Twibell R G, Wilson K A, Brown P B. Dietary sulfur amino acid requirement of juvenile yellow perch fed the maximum cystine replacement value for methionine [J]. *The Journal of Nutrition*, 2000, 130 (2): 612 - 616
- [24] Wang G H. Effects of methionine on intestinal microflora, digestive enzyme and immune function of juvenile jian carp (*Cyprinus carpio* var. jian) [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2007. [王光花. 蛋氨酸对幼建鲤肠道菌群、肠道酶活力和免疫功能的影响. 雅安: 四川农业大学, 2007.]
- [25] Ke S. Effect of methionine on digestion and immune function of juvenile jian carp (*Cyprinus carpio* var. jian) [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2006. [柯帅. 蛋氨酸对幼建鲤消化功能和免疫功能的影响. 雅安: 四川农业大学, 2006.]
- [26] Chi S Y, Lin H Z, Tan B P, *et al.* Effects of microcapsules or crystalline methionine in lower fishmeal diets on digestive enzyme activity of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2011(11): 208 - 310. [迟淑艳, 林黑着, 谭北平, 等. 低鱼粉饲料中添加微胶囊或晶体蛋氨酸对凡纳滨对虾消化酶活性的影响. *现代农业科技*, 2011(11): 208 - 310.]
- [27] Ahmed I, Khan M A, Jafri A K. Dietary methionine requirement of fingerling Indian major carp, *Cirrhinus mrigala* (Hamilton) [J]. *Aquaculture International*, 2003, 11(5): 449 - 462
- [28] Yan Q, Xie S, Zhu X, *et al.* Dietary methionine requirement for juvenile rockfish, *Sebastes schlegelii* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2007, 13(3): 163 - 169.
- [29] Huang C H, Lin W Y. Estimation of optimal dietary methionine requirement for softshell turtle, *Pelodiscus sinensis* [J]. *Aquaculture*, 2002, 207 (3 - 4): 281 - 287.
- [30] Kaushik S J, Luquet P. Influence of bacterial protein incorporation and of sulphur amino acid supplementation to such diets on growth of rainbow trout, *Salmo gairdnerii* Richardson [J]. *Aquaculture*, 1980, 19(2): 163 - 175.
- [31] Coloso R M, Murillo-Gurrea D P, Borlongan I G, *et al.* Sulphur amino acid requirement of juvenile Asian sea bass *Lates calcarifer* [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 1999, 15(2): 54 - 58.
- [32] Ji H, Zhu T H, Zhou J S. Effect of dietary fishmeal

- amount on growth performance, biological characteristics, and serum biochemical parameters in common carp *Cyprinus carpio* [J]. Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition, 2008, 36(7): 33 - 39. [吉红, 朱天和, 周继术. 日粮中鱼粉添加量对鲤鱼种生长、生物学性状及血清生化指标的影响. 西北农林科技大学学报, 2008, 36(7): 33 - 39.]
- [33] Wei Y T. Studies on requirements of dietary methionine, arginine, vitamin A, vitamin E for turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010. [魏玉婷. 大菱鲆幼鱼对饲料中蛋氨酸、精氨酸、维生素 A 及维生素 E 需求量的研究. 青岛: 中国海洋大学, 2010.]
- [34] Espe M, Hevrøy E M, Liaset B, *et al.* Methionine intake affect hepatic sulphur metabolism in Atlantic salmon, *Salmo salar* [J]. Aquaculture, 2008, 274(1): 132 - 141.
- [35] Keembiyehetty C N, Gatlin III D M. Total sulphur amino acid requirement of juvenile hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) [J]. Aquaculture, 1993, 110(3-4): 331 - 339.
- [36] Walton M J, Cowey C B, Adron J W. Methionine metabolism in rainbow trout fed diets of differing methionine and cystine content [J]. The Journal of Nutrition, 1982, 112(8): 1525 - 1535.
- [37] Xiao W W, Feng L, Liu Y, *et al.* Effects of dietary methionine hydroxyl analogue supplement on growth, protein deposition and intestinal enzymes activities of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) [J]. Aquaculture Nutrition, 2011, 17(4): 408 - 417.
- [38] Cai Y J, *et al.* Methionine requirement of channel catfish fed soybean meal-corn-based diets [J]. Journal of Animal Science, 1996, 74(3): 514 - 521.
- [39] Goff J B, Gatlin III D M. Evaluation of different sulfur amino acid compounds in the diet of red drum, *Sciaenops ocellatus*, and sparing value of cystine for methionine [J]. Aquaculture, 2004, 241(1-4): 465 - 477.
- [40] Zeng W P. Study on the requirements of lysine, methionine, arginine and phenylalanine for juvenile pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2012. [曾雯婷. 凡纳滨对虾幼虾对赖氨酸、蛋氨酸、精氨酸和苯丙氨酸需要量的研究. 湛江: 广东海洋大学, 2012.]
- [41] Ronnestad I, Conceicao L E C, Aragao C, *et al.* Free amino acids are absorbed faster and assimilated more efficiently than protein in postlarval Senegal sole (*Solea senegalensis*) [J]. The Journal of Nutrition, 2000, 130(11): 2809 - 2812.
- [42] Berge G M, Ruyter B, Åsgård T. Conjugated linoleic acid in diets for juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*); effects on fish performance, proximate composition, fatty acid and mineral content [J]. Aquaculture, 2004, 237(1-4): 365 - 380.
- [43] Simmons L, Moccia R D, Bureau D P, *et al.* Dietary methionine requirement of juvenile Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.) [J]. Aquaculture Nutrition, 1999, 5(2): 93 - 100.
- [44] Alam M S, Teshima M, Ishikawa M, *et al.* Methionine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* estimated by the oxidation of radioactive methionine [J]. Aquaculture Nutrition, 2001, 7(3): 201 - 209.
- [45] Yokoyama M, Nakazoe J I. Accumulation and excretion of taurine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets supplemented with methionine, cystine and taurine [J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Physiology, 1992, 102(3): 565 - 568.
- [46] Lin Y C. Study on lysine and methionine requirements for juvenile Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus* [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012. [林郁葱. 胭脂鱼幼鱼对赖氨酸和蛋氨酸的最适需要量. 武汉: 华中农业大学, 2012.]
- [47] Ozório R O A, Booms G H R, Huisman E A, *et al.* Changes in amino acid composition in the tissues of African catfish (*Clarias gariepinus*) as a consequence of dietary L-carnitine supplements [J]. Journal of Applied Ichthyology, 2002, 18(3): 140 - 147.

Effects of dietary methionine levels on the growth performance, feed utilization and body composition of GIFT Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

XIANG Xiao¹, ZHOU Xinghua¹, LUO Li^{2*}, ZHAO Haipeng¹, WEN Hua³

(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, China;

2. Department of Fishery Science, College of Animal and Technology of Southwest University, Chongqing 400715, China;

3. Key Laboratory of Freshwater Ecology and Aquaculture, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Jingzhou 434000, China)

Abstract: A feeding trial was conducted to evaluate the effects of dietary methionine levels on growth performance, body composition of GIFT (*Oreochromis niloticus*) [initial body weight of (66.76 ± 2.29) g]. Six isonitrogenous (32.09% crude protein) and isoenergetic (17.82 kJ/g gross energy) semipurified diets were formulated with the graded methionine levels (0, 0.3%, 0.6%, 0.9%, 1.2% and 1.5% dry diet, respectively), using gelatin, fishmeal, peanut meal and crystalline amino acids mixtures as the main dietary protein sources. Amino acid pattern in diet is to simulate the amino acid pattern found in the whole body protein of GIFT except for methionine. The six trial diets were determined to contain methionine of 0.26%, 0.55%, 0.85%, 1.14%, 1.44% and 1.73% dry diet, respectively. Each diet was randomly assigned to triplicate groups of 25 fish and fed to apparent satiation by hand thrice daily (8:00, 13:00 and 16:00) for 60 days. The results showed that the weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR), protein efficiency ratio (PER) and protein deposition rate (PDR) initially increased with increasing dietary methionine levels, but then decreased. Conversely, the feed conversion ratio (FCR) first decreased and then increased. The WGR, SGR, PER were all the highest (361.91%, 2.73%/d and 2.53% respectively) when the dietary methionine level was 1.14%. At the same time, the FCR was the lowest (1.23). The PDR was the highest (47.22%) when the dietary methionine level was 1.44%. The hepatosomatic index (HSI) and viscerosomatic index (VSI) of GIFT first decreased with increasing dietary methionine levels, but then increased ($P < 0.05$), yet the condition factor (CF) had no significant differences ($P > 0.05$). The tendency of crude protein content in muscle was similar to WGR and SGR with increasing dietary methionine levels ($P < 0.05$), while the crude lipid in muscle first increased with increasing dietary methionine levels and then leveled off. And there were no significant differences of crude protein in whole body, moisture and the ash in whole body and muscle ($P > 0.05$). With the increase of dietary methionine level, the histidine, serine and cystine in muscle had no significant differences ($P > 0.05$), at the same time, the all other amino acids contents, gross of essential amino acid (Σ EAA), gross of total amino acid (Σ TAA) in muscle first decreased, then increased. With the WGR, SGR, PER, PDR, FCR as evaluation indicators, quadratic regression analysis showed that the optimum dietary methionine level of GIFT was 1.13% – 1.16% of diet (dry matter basis) or 3.52% – 3.61% dietary protein with cystine level at 0.30%.

Key words: *Oreochromis niloticus*; methionine; growth; body index; body composition

Corresponding author: LUO Li. E-mail: luoli1972@163.com