

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2019.19063

饲料蛋白质水平对拉萨裸裂尻鱼幼鱼肌肉氨基酸及蛋白质代谢的影响

曾本和¹, 刘海平¹, 王建^{1,2}, 王万良¹, 周建设¹, 王金林¹, 朱成科², 张忞忞³

1. 西藏自治区农牧科学院, 水产科学研究所, 西藏 拉萨 850032;
2. 西南大学荣昌校区动物科学学院, 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;
3. 西藏自治区农牧科学院, 西藏 拉萨 850000

摘要: 本实验旨在探索饲料蛋白质水平对拉萨裸裂尻鱼(*Schizopygopsis younghusbandi* Regan)幼鱼肌肉氨基酸及蛋白质代谢的影响。选用初始体重为(22.42±0.56) g 的拉萨裸裂尻鱼 540 尾, 随机分成 6 组, 每组 3 个重复, 每个重复 30 尾鱼, 分别投喂蛋白质水平为 20%、25%、30%、35%、40%、45% 的实验饲料, 养殖时间为 60 d。结果表明: 随着饲料蛋白水平的增加, 拉萨裸裂尻鱼氮摄入量(NI)和绝对氮摄入量(ANI)均呈逐渐升高的变化趋势。氮沉积(ND)、蛋白质效率(PER)、净蛋白质利用率(NPU)均呈先升高后降低的变化趋势。肌肉总必需氨基酸(TEAA)、总呈味氨基酸(TFAA)、总非必须氨基酸(TNEAA)、总氨基酸(TAA)随饲料蛋白的升高呈先升高后趋于稳定的变化趋势。饲料蛋白水平超过 30% 后, 血氨(ammonia)、尿素氮(urea)、白蛋白(ALB)显著升高。总蛋白(TP)在饲料蛋白低于 35% 时呈逐渐升高的变化趋势。拉萨裸裂尻鱼肝脏谷丙转氨酶 ALT、谷草转氨酶 AST 均呈先升高后趋于稳定的变化趋势, 血清 ALT 呈先降低后升高的变化趋势, 血清 AST 在饲料蛋白含量高于 35% 后显著升高。综合考虑饲料蛋白利用率、血液总蛋白含量、肝脏及血清转氨酶活性, 建议拉萨裸裂尻鱼饲料蛋白含量为 30%~35%。

关键词: 拉萨裸裂尻鱼; 饲料蛋白质水平; 肌肉氨基酸; 蛋白质利用; 蛋白质代谢

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2019)06-1153-11

蛋白质是水产动物饲料必需的核心营养物质, 可为鱼体细胞、组织及机体合成蛋白质提供氨基酸, 同时还能为鱼体提供生长和代谢所需的能量^[1]。在一定范围内, 饲料蛋白含量提高可提高机体转氨酶活性, 从而促进从饲料分解而来的氨基酸组装到细胞、组织中, 促进蛋白质在鱼体的沉积, 增强鱼体免疫力, 提高饲料蛋白利用率^[2-3]。然而, 饲料蛋白水平过高, 可提高硬骨鱼类鱼体血氨水平^[4-5], 产生大量的氨氮代谢产物, 对鱼类有毒害作用^[6], 同时增加蛋白质作为能量被消耗的比例, 提高养殖成本, 降低饲料蛋白质效率。因此, 研究鱼类适宜饲料蛋白需求量对其养殖, 饲

料制备和选择具有重要意义。

拉萨裸裂尻鱼(*Schizopygopsis younghusbandi* Regan)属鲤形目(Cypriniformes), 鲤科(Cyprinidae), 裂腹鱼亚科(Schizothoracinae)裸裂尻鱼属(*Schizopygopsis*), 分布在雅鲁藏布江中上游干流水体中, 为中国的特有高原性鱼类^[7]。目前对拉萨裸裂尻鱼研究主要集中在食性^[8]、早期发育^[9]、个体生物学及种群动态^[10]等方面, 有关其营养需求的研究报道仍属空白。近年来, 由于过度捕捞, 使得局部地区拉萨裸裂尻鱼资源受到很大的影响^[10]。此外不科学的放生习惯, 导致外来物种入侵, 致使拉萨裸裂尻鱼等高原鱼类

收稿日期: 2019-04-01; 修订日期: 2019-05-19.

基金项目: 西藏自治区自然科学基金(ZRKX2017000143); 西藏自治区科技厅重点研发及转化计划(XZ201801NB12).

作者简介: 曾本和(1989-), 男, 助理研究员, 硕士研究生, 主要从事水产养殖(营养)研究. E-mail: 675426776@qq.com

通信作者: 刘海平(1981-), 男, 研究员, 主要从事高原渔业养护研究. E-mail: luihappy@163.com

生存压力发生变化。加之拉萨裸裂尻鱼生长速度缓慢,性成熟晚^[8],该资源一旦受到破坏将很难有效恢复。目前,拉萨河拉萨裸裂尻鱼正在小型化^[11-12],2016 年拉萨裸裂尻鱼被列入到中国脊椎动物红色名录^[13]。为保护拉萨裸裂尻鱼的种群数量,人工繁育、苗种培育及增殖放流等技术将会成为一种强有力的保护措施和扩繁手段,同时需要大量优质的全价鱼饲料作为支撑,目前为止,市面上还未有拉萨裸裂尻鱼的全价配合饲料,严重制约了其资源保护及合理利用。本实验以拉萨裸裂尻鱼为研究对象,探讨不同蛋白质水平饲料对拉萨裸裂尻鱼肌肉氨基酸及蛋白质代谢酶的影响,为确定拉萨裸裂尻鱼营养标准和开发低成本、高效益的科学饲料配方提供基础资料,可为苗种的大规模生产和人工增殖放流活动提供技术

支持,也对促进拉萨裸裂尻鱼人工养殖业的发展具有重大意义,从而为拉萨裸裂尻鱼资源合理保护与开发奠定基础。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

本实验饲料以白鱼粉、酪蛋白和南极磷虾粉为蛋白源,鱼油为脂肪源,糊化淀粉和玉米淀粉为糖源,羧甲基纤维素为黏合剂。配制 6 组等脂等能不同蛋白质水平的实验饲料,饲料中蛋白质理论水平为 20%、25%、30%、35%、40%、45%,实测水平为 20.06%、25.16%、30.35%、35.81%、40.37%、45.68% (下文表述为: 20%、25%、30%、35%、40%、45%),实验饲料组成及营养水平见表 1。

表 1 基础饲料配方及营养组成(风干基础)
Tab. 1 Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)

原料 ingredients	蛋白质含量/% dietary protein level					
	20	25	30	35	40	45
白鱼粉 white fish meal	20.00	24.80	25.00	25.00	25.00	26.80
酪蛋白 casein	3.80	5.60	11.40	17.20	22.80	27.00
糊化淀粉 gelatinized starch	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	6.00
玉米淀粉 corn starch	37.50	31.00	21.00	12.00	3.00	0.00
鱼油 fish oil	5.10	4.65	4.48	4.32	4.20	4.00
南极磷虾粉 antarctic krill meal	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
维生素 vitamins	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
矿物质 minerals	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
纤维素 cellulose	14.10	14.45	18.62	21.98	25.50	25.70
羧甲基纤维素 carboxymethyl cellulose	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
合计 total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养成分 nutrient levels ¹⁻³						
粗蛋白质 CP	20.06	25.16	30.35	35.81	40.37	45.68
粗脂肪 EE	7.05	7.01	7.01	7.00	7.03	7.08
粗灰分 Ash	5.26	5.86	5.17	5.4	5.76	5.88
总能 gross energy/(MJ/kg)	15.10	15.26	15.10	15.07	15.01	15.39
水分 moisture	11.09	11.65	11.5	11.12	11.52	11.47

注: 1)饲料营养成分为实测值。2)矿物质: 碳酸钙 8%, 乳酸钙 12%, 乳酸亚铁 8%, 柠檬酸锌 4%, 乳酸锌 4%, 柠檬酸钾 6%, 碳酸钾 5%, 氯化钠 20%, 富硒酵母 0.5%, 柠檬酸钠 12%, 麦芽糊精 20%。3)维生素: 维生素 A 10%, 维生素 B1 5%, 维生素 B2 5%, B5 5%, B6 5%, B12 0.1%, 维生素 C 25%, 维生素 D 10%, 维生素 E 10%, 胡萝卜素 5%, 麦芽糊精 20%。

Note: 1) The Feed nutrient content were measured values. 2) Mineral premix: CaCO₃·5H₂O (8%), Calcium lactate (12%), Ferrous lactate (8%), Zinc citrate (4%), Zinc lactate (4%), Potassium citrate (6%), potash (1%), Sodium chloride (20%), Selenium-enriched yeasts (0.5%), Sodium citrate (12%), Maltodextrin (20%). 3) Vitamin premix: Vitamin A (10%), Vitamin B1 (5%), Vitamin B2 (5%), Vitamin B5 (5%), Vitamin B6 (0.1%), Vitamin B12 (0.1%), Vitamin C (25%), Vitamin D (10%), Vitamin E (10%), Carotene (5%), Maltodextrin (20%).

饲料原料过 60 目筛, 采用逐级混匀法混合均匀, 混合后的粉状饲料经制粒机制成粒径 0.2 cm、长度 0.5 cm 左右的颗粒饲料; 自然风干至含水量约 11%, 放入密封袋中于 -4℃ 冰柜中保存待用。

1.2 实验设计及饲养管理

实验用拉萨裸裂尻鱼于 2017 年在雅鲁藏布江日喀则段捕获, 在水泥池(长 4.0 m×宽 3.0 m×高 0.6 m)中驯养 60 d。待野生拉萨裸裂尻鱼能正常抢食后, 选择 540 尾大小均匀、无伤病, 体重为 (22.42 ± 0.56) g 的拉萨裸裂尻鱼, 随机分为 6 个组, 每组 3 个重复, 每个重复 30 尾鱼, 并分别放入 18 个水水族缸(长 0.6 m×宽 0.5 m×高 0.4 m), 分别投喂蛋白质水平不同的 6 种实验饲料, 每天按实验鱼体重 3%~5% 表观饱食投喂 3 次(07:00, 12:00, 17:00), 投饵 1 h 后将残饵捞出烘干称重并记录, 整个实验持续 60 d。实验用水为曝气后的井水, 实验水族缸内水 24 小时循环, 循环量为 120 L/h, 水温 12.0~13.0℃, pH 8.0~8.5, 溶氧 ≥ 6.0 mg/L, 氨氮 ≤ 0.01 mg/L, 亚硝氮 ≤ 0.02 mg/L。

1.3 样品采集及指标测定方法

60 d 养殖实验结束后对实验鱼饥饿 24 h, 分别在各重复组中随机取 13 尾实验鱼用 150 mg/L 的 MS-222 溶液麻醉^[14], 其中 3 尾置于 -80℃ 冰箱保存, 用于检测鱼体粗蛋白含量。10 尾无菌注射器静脉取血, 并在背部相同位置采集肌肉, -80℃ 冰箱保存, 用于检测肌肉氨基酸含量。解剖取肝脏, -80℃ 冰箱保存, 用于检测转氨酶及蛋白代谢相关酶活性。将采集的血液样品在 37℃ 下凝血 1~2 h (不加抗凝剂), 4℃ 冰箱过夜(让血块凝固), 4℃ 条件下, 3000 r/min 离心 10 min, 小心吸取上层血清, -80℃ 保存, 用于检测转氨酶及蛋白代谢相关酶活性。

粗蛋白质的质量分数参考凯氏定氮法测定(GB/T6432-1994); 粗脂肪的质量分数采用索氏抽提法(乙醚为溶剂)测定(GB/T6433-2006); 水分采用冷冻干燥法(GB/T6435-2014)法测定; 粗灰分将样品电炉上碳化后, 在马福炉中灼烧(550℃) 12 h 后测定(GB/T6438-2007); 总能按照(GB/T231-2008)方法测定。肌肉氨基酸含量的检测使用酸解法, 由氨基酸自动分析仪(L-8900)测得。血清谷丙转氨

酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、总蛋白(TP)、白蛋白(Alb)、血氨 Ammonia、尿素氮 Urea, 肝脏 ALT、AST 均采用江苏省南京建成生物研究所试剂盒测定, 按照说明书进行操作。酶活性单位定义: 在 37℃ 条件下, 每分钟酶解 1 μ mol 底物为 1 个活力单位(U)。组织匀浆液中蛋白浓度采用考马斯亮蓝法测定^[15], 以牛血清白蛋白为基准物。

1.4 计算公式

氮摄入量[NI(g/fish)]=摄食量×蛋白含量×16%

绝对氮摄入量[ANI(g kg/(BW/d))]=摄食量×蛋白含量×16%/[(初始重+末重)/2]/天数^[16]

氮沉积[ND(g/fish)]=末重×终末鱼体蛋白含量-初始重×初始鱼体蛋白含量×16%^[16]

蛋白质效率(PER)=增重/蛋白摄入量

净蛋白质利用率(NPU)=体蛋白增量×100/蛋白摄入量

1.5 数据统计

实验结果采用“平均值±标准差”(means±SD)表示。采用 SPSS 19.0 统计软件中 one-way ANOVA 进行单因子方差分析, 若差异显著, 则采用 Duncan's 进行多重比较, 差异显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 饲料蛋白质水平对拉萨裸裂尻鱼蛋白质利用的影响

饲料蛋白水平对拉萨裸裂尻鱼蛋白质利用的影响见表 2。随着饲料蛋白水平的增加, 拉萨裸裂尻鱼氮摄入量(NI)、绝对氮摄入量(ANI)均呈逐渐升高的变化趋势, 且均在饲料蛋白为 45% 的实验组最大, 分别为 (2.10 ± 0.07) g/尾、 (1.30 ± 0.01) g·kg/(BW·d); 显著高于其余各实验组 ($P < 0.05$)。氮沉积(ND)、蛋白质效率(PER)、净蛋白质利用率(NPU)均呈先升高后降低的变化趋势: ND 在饲料蛋白水平为 35% 的实验组取得最大值, 为 (0.42 ± 0.05) g/ind, 与 30% 饲料蛋白组差异不显著 ($P > 0.05$), 显著高于其余各实验组 ($P < 0.05$); PER 在饲料蛋白水平为 30% 的实验组取得最大值, 为 1.29 ± 0.14 , 除与 25% 蛋白质组差异不显著外 ($P > 0.05$), 显著高于其余实验组 ($P < 0.05$); NPU 在

表 2 饲料蛋白水平对拉萨裸裂尻鱼幼鱼蛋白质利用的影响

Tab. 2 Effect of dietary protein levels on protein utilization of juvenile *Schizopygopsis younghusbandi younghusbandi* Regan
n=3; $\bar{x} \pm SD$

蛋白水平/% dietary protein levels	氮摄入量 NI/(g/ind)	绝对氮摄入量 ANI /[g kg/(BW/d)]	氮沉积 ND/(g/ind)	蛋白质效率 PER	净蛋白质利用率 NPU
20	0.97±0.08 ^a	0.62±0.04 ^a	0.16±0.02 ^a	1.11±0.01 ^c	16.25±0.34 ^{ab}
25	1.20±0.04 ^b	0.75±0.01 ^b	0.26±0.01 ^b	1.17±0.03 ^{cd}	21.56±0.53 ^c
30	1.56±0.11 ^c	0.91±0.02 ^c	0.41±0.07 ^d	1.29±0.14 ^d	26.31±2.56 ^d
35	1.93±0.10 ^d	1.12±0.01 ^d	0.42±0.05 ^d	1.07±0.09 ^c	21.90±1.64 ^c
40	1.90±0.07 ^d	1.15±0.03 ^d	0.34±0.03 ^c	0.85±0.06 ^b	17.73±1.14 ^b
45	2.10±0.07 ^c	1.30±0.01 ^c	0.30±0.01 ^{bc}	0.69±0.03 ^a	14.57±0.48 ^a

注：表格中标注字母是按照平均值从小到大，依次标注 a, b... 同列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 ($P<0.05$)。

Note: The letters in the table are drawn from small to large according to the average value, followed by a, b.... In the same column, values with same small letter superscripts or no letter superscripts mean no significant differences ($P>0.05$), different small letter superscripts mean significant differences ($P<0.05$).

饲料蛋白水平为 30% 的实验组取得最大值，为 26.31±2.56，显著高于其余实验组 ($P<0.05$)。

2.2 饲料蛋白质水平对拉萨裸裂尻鱼肌肉氨基酸含量的影响

饲料蛋白水平对拉萨裸裂尻鱼肌肉氨基酸的影响见表 3。随着饲料蛋白水平升高，拉萨裸裂尻鱼肌肉必需氨基酸中的苏氨酸(Thr)、蛋氨酸(Met)均呈先升高后趋于稳定的变化趋势。苯丙氨酸(Phe)呈先升高后降低的变化趋势。总必需氨基酸(TEAA)随饲料蛋白的升高呈逐渐升高趋势，但各实验组差异不显著 ($P>0.05$)。总呈味氨基酸(TFAA)、总非必须氨基酸(TNEAA)、总氨基酸(TAA)均呈先升高后趋于稳定的变化趋势，且在饲料蛋白为 45% 时取得最大值，显著高于饲料蛋白水平为 20%~25% 的实验组 ($P<0.05$)，与饲料蛋白水平为 30%~40% 的实验组差异不显著 ($P>0.05$)。

2.3 饲料蛋白水平对拉萨裸裂尻鱼血清理化指标的影响

饲料蛋白水平对拉萨裸裂尻鱼血清理化指标的影响见表 4。血氨(ammonia)、尿素氮(urea)、白蛋白(ALB)在饲料蛋白水平为 20%~25% 时差异不显著 ($P>0.05$)，饲料蛋白水平超过 30% 后显著升高 ($P<0.05$)。血氨在饲料蛋白水平为 45% 实验组取得最大值，与饲料蛋白水平为 40% 的实验组差异不显著 ($P>0.05$)，显著高于其余各实验组 ($P<$

0.05)。尿素氮在饲料蛋白水平为 45% 实验组取得最大值，与饲料蛋白水平为 35%~40% 的实验组差异不显著 ($P>0.05$)，显著高于其余各实验组 ($P<0.05$)。ALB 在饲料蛋白水平为 40% 实验组取得最大值，与饲料蛋白水平为 35% 和 45% 的实验组差异不显著 ($P>0.05$)，显著高于其余各实验组 ($P<0.05$)。总蛋白(TP)在饲料蛋白低于 35% 时显著升高 ($P<0.05$)，饲料蛋白水平高于 35% 后各实验组差异不显著 ($P>0.05$)。

2.4 饲料蛋白水平对拉萨裸裂尻鱼蛋白质代谢关键酶活性的影响

饲料蛋白水平对拉萨裸裂尻鱼蛋白质代谢关键酶活性的影响见表 5。随着饲料蛋白水平的升高，拉萨裸裂尻鱼肝脏谷丙转氨酶 ALT、谷草转氨酶 AST 均呈先升高后趋于稳定的变化趋势，且均在饲料蛋白水平为 45% 时取得最大值，显著高于饲料蛋白水平为 20%~25% 的实验组 ($P<0.05$)，与饲料蛋白水平为 30%~35% 的实验组差异不显著 ($P>0.05$)。血清 ALT 呈先降低后升高的变化趋势，在饲料蛋白水平为 30% 的实验组最低，与饲料蛋白水平为 25%、35% 的实验组差异不显著 ($P>0.05$)，显著低于饲料蛋白为 20%，40~45% 的实验组 ($P<0.05$)。血清 AST 在饲料蛋白含量低于 35% 的实验组差异不显著 ($P>0.05$)，饲料蛋白含量高于 40% 后显著升高 ($P<0.05$)。

表 3 饲料蛋白水平对拉萨裸裂尻鱼肌肉氨基酸含量的影响(干样)
Tab. 3 Effect of dietary protein levels on muscular amino acids content of juvenile *Schizopygopsis younghusbandi younghusbandi* Regan (dry sample)

$n=3; \bar{x} \pm SD$

		蛋白水平/% dietary protein levels					
		20	25	30	35	40	45
必需氨基酸 (EAA)	苏氨酸(Thr)	3.63±0.04 ^a	3.71±0.06 ^{ab}	3.68±0.04 ^{ab}	3.73±0.04 ^{ab}	3.71±0.07 ^{ab}	3.76±0.10 ^b
	缬氨酸(Val)	4.18±0.02	4.27±0.10	4.25±0.10	4.22±0.03	4.31±0.02	4.31±0.10
	蛋氨酸(Met)	2.34±0.02 ^a	2.38±0.02 ^{ab}	2.41±0.04 ^{ab}	2.43±0.05 ^b	2.44±0.08 ^b	2.43±0.03 ^b
	异亮氨酸(Ile)	3.67±0.10	3.65±0.09	3.64±0.03	3.69±0.05	3.71±0.03	3.68±0.09
	亮氨酸(Leu)	6.69±0.14	6.74±0.15	6.68±0.07	6.80±0.08	6.84±0.05	6.78±0.16
	苯丙氨酸(Phe)	3.48±0.02 ^a	3.55±0.06 ^{ab}	3.61±0.11 ^b	3.63±0.03 ^b	3.55±0.02 ^{ab}	3.59±0.04 ^{ab}
半必需氨基酸 (HEAA)	赖氨酸(Lys)	7.74±0.13	7.80±0.19	7.82±0.14	7.81±0.12	7.85±0.06	7.70±0.10
	组氨酸(His)	2.52±0.16	2.40±0.11	2.41±0.04	2.53±0.04	2.51±0.04	2.53±0.12
非必需氨基酸 (NEAA)	精氨酸(Arg)	4.86±0.12	4.81±0.10	4.78±0.03	4.84±0.07	4.81±0.11	4.73±0.02
	天冬氨酸(Asp)*	8.34±0.07 ^a	8.42±0.16 ^{ab}	8.56±0.21 ^{ab}	8.58±0.08 ^b	8.64±0.06 ^b	8.59±0.09 ^b
	丙氨酸(Ala)*	4.74±0.01 ^a	4.80±0.05 ^{ab}	4.81±0.05 ^{ab}	4.82±0.14 ^{ab}	4.81±0.11 ^{ab}	4.90±0.03 ^b
	谷氨酸(Glu)*	11.81±0.04 ^a	11.86±0.07 ^a	12.08±0.35 ^{ab}	12.21±0.03 ^b	12.09±0.05 ^{ab}	12.25±0.13 ^b
	甘氨酸(Gly)*	3.91±0.14	3.90±0.03	4.01±0.10	4.08±0.02	4.06±0.09	4.07±0.17
	丝氨酸(Ser)	3.40±0.04 ^{ab}	3.39±0.02 ^a	3.45±0.05 ^{abc}	3.47±0.04 ^{bc}	3.50±0.03 ^{cd}	3.57±0.05 ^d
	半胱氨酸(Cys)	0.28±0.03 ^a	0.30±0.02 ^a	0.31±0.02 ^{ab}	0.34±0.02 ^{bc}	0.31±0.01 ^{abc}	0.35±0.01 ^c
	酪氨酸(Tyr)	2.71±0.01	2.78±0.11	2.79±0.06	2.80±0.05	2.76±0.03	2.82±0.04
	脯氨酸(Pro)	2.74±0.03	2.81±0.03	2.73±0.06	2.76±0.03	2.81±0.09	2.77±0.02
总必需氨基酸量(W _{EAA})		31.73±0.29 ^a	32.10±0.53 ^{ab}	32.07±0.28 ^{ab}	32.31±0.24 ^{ab}	32.41±0.20 ^b	32.24±0.40 ^{ab}
总半必需氨基酸量(W _{HEAA})		7.38±0.1	7.21±0.13	7.18±0.07	7.36±0.03	7.32±0.13	7.26±0.11
总非必需氨基酸总量(W _{TNEAA})		37.93±0.20 ^a	38.25±0.21 ^{ab}	38.73±0.67 ^{bc}	39.06±0.22 ^c	38.97±0.21 ^c	39.30±0.26 ^c
总呈味氨基酸量(W _{TFAA})		28.8±0.16 ^a	28.97±0.2 ^{ab}	29.45±0.63 ^{bc}	29.69±0.23 ^c	29.59±0.09 ^c	29.79±0.2 ^c
总氨基酸量(W _{TAA})		77.04±0.35 ^a	77.57±0.80 ^{ab}	77.98±0.41 ^{bc}	78.73±0.47 ^c	78.70±0.39 ^c	78.80±0.26 ^c
W _{EAA} /W _{TAA} (%)		50.77±0.12	50.68±0.26	50.33±0.61	50.39±0.09	50.48±0.23	50.13±0.47
W _{TNEAA} /W _{TAA} (%)		37.38±0.04	37.35±0.23	37.76±0.65	37.71±0.08	37.6±0.2	37.81±0.37

注: 1)表中*为呈味氨基酸。2)表格中标注字母是按照平均值从小到大, 依次标注 a, b...同列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($P<0.05$)。

Note: 1) The amino acid have * rearwards are delicious amino acid. 2) The letters in the table are drawn from small to large according to the average value, followed by a, b.... In the same column, values with same small letter superscripts or no letter superscripts mean no significant differences($P>0.05$), different small letter superscripts mean significant differences ($P<0.05$).

3 讨论

3.1 拉萨裸裂尻鱼肌肉氨基酸特征及饲料蛋白对其含量的影响

拉萨裸裂尻鱼肌肉总氨基酸量(W_{TAA})为 77.04%~78.80%。其中: 总必需氨基酸含量(W_{EAA})为 31.73%~32.41%, 较鲫(*Carassius auratus*)^[17]、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)^[18]、江鳊(*Lota lota*)^[19]、河鲈(*Perca fluviatilis*)^[19]等鱼高,

较鲤(*Cyprinus carpio*)^[17]、丁鲑(*Ding salmon*)^[19]、白斑狗鱼(*Esox lucius*)^[20]、斑尾复虾虎鱼(*Synechogobius ommaturus*)^[21]低, 同云南裂腹鱼(*Schizothorax yunnanensis*)^[22]相近; 总呈味氨基酸含量(W_{TNEAA})为 28.8%~29.79%, 较北极茴鱼(*Arctic fennel*)^[19]、草鱼^[17]、中国鲮(*Pampus chinensis*)幼鱼和成鱼^[23]高, 较青石斑鱼(*Epinephelus awoara*)^[24]、河鲈^[19]、花点石斑鱼(*Epinephelus maculatus*)^[24]、江鳊^[19]、泉水鱼(*Semilabeo prochilus*)^[25]、

表 4 饲料蛋白水平对拉萨裸裂尻鱼血氨、尿素氮、血清总蛋白、白蛋白的影响

Tab. 4 Effect of dietary protein levels on ammonia, urea, TP, ALB in serum of juvenile *Schizopygopsis younghusbandi younghusbandi* Regan
 $n=3; \bar{x} \pm SD$

蛋白 水平/% dietary protein levels	血氨 /($\mu\text{mol/L}$) ammonia	尿素氮 /(mmol/L) urea	总蛋白 (TP)	白蛋白 (ALB)
20	27.58 $\pm$ 0.70 ^a	0.44 $\pm$ 0.04 ^a	15.60 $\pm$ 0.38 ^a	7.44 $\pm$ 0.08 ^a
25	28.07 $\pm$ 1.47 ^a	0.48 $\pm$ 0.04 ^{ab}	17.10 $\pm$ 0.26 ^b	7.66 $\pm$ 0.21 ^{ab}
30	30.92 $\pm$ 1.35 ^b	0.54 $\pm$ 0.04 ^{bc}	17.82 $\pm$ 0.17 ^c	7.73 $\pm$ 0.11 ^{bc}
35	31.73 $\pm$ 1.64 ^b	0.57 $\pm$ 0.03 ^{cd}	18.27 $\pm$ 0.21 ^d	7.91 $\pm$ 0.11 ^{cd}
40	34.91 $\pm$ 1.90 ^c	0.61 $\pm$ 0.03 ^d	18.47 $\pm$ 0.19 ^d	8.02 $\pm$ 0.10 ^d
45	35.38 $\pm$ 1.11 ^c	0.62 $\pm$ 0.03 ^d	18.46 $\pm$ 0.17 ^d	8.01 $\pm$ 0.13 ^d

注：表格中标注字母是按照平均值从小到大，依次标注 a, b... 同列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($P<0.05$)。

Note: The letters in the table are drawn from small to large according to the average value, followed by a, b.... In the same column, values with same small letter superscripts or no letter superscripts mean no significant differences ($P>0.05$), different small letter superscripts mean significant differences ($P<0.05$).

表 5 饲料蛋白水平对拉萨裸裂尻鱼蛋白质代谢关键酶活性的影响

Tab. 5 Effect of dietary protein levels on key enzyme activity of protein metabolism in juvenile *Schizopygopsis younghusbandi younghusbandi* Regan
 $n=3; \bar{x} \pm SD$ U/g prot

蛋白 水平/% dietary protein levels	肝谷丙转 氨酶 ALT	肝谷草转 氨酶 AST	血清谷丙转 氨酶 ALT	血清谷草转 氨酶 AST
20	32.47 $\pm$ 1.93 ^a	83.21 $\pm$ 7.42 ^a	7.15 $\pm$ 0.90 ^b	17.32 $\pm$ 0.79 ^a
25	33.87 $\pm$ 2.22 ^{ab}	95.64 $\pm$ 3.76 ^b	6.14 $\pm$ 0.62 ^{ab}	16.36 $\pm$ 1.11 ^a
30	35.48 $\pm$ 0.85 ^{abc}	100.10 $\pm$ 3.31 ^{bc}	5.64 $\pm$ 0.46 ^a	16.08 $\pm$ 1.36 ^a
35	36.75 $\pm$ 0.48 ^{bc}	102.50 $\pm$ 5.38 ^{bc}	6.30 $\pm$ 0.90 ^{ab}	16.66 $\pm$ 1.64 ^a
40	37.05 $\pm$ 1.81 ^c	104.19 $\pm$ 1.63 ^c	9.10 $\pm$ 0.35 ^c	20.08 $\pm$ 0.88 ^b
45	37.98 $\pm$ 1.88 ^c	104.84 $\pm$ 2.49 ^c	10.07 $\pm$ 0.75 ^c	22.32 $\pm$ 1.30 ^c

注：表格中标注字母是按照平均值从小到大，依次标注 a, b... 同列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($P<0.05$)。

Note: The letters in the table are drawn from small to large according to the average value, followed by a, b.... In the same column, values with same small letter superscripts or no letter superscripts mean no significant differences ($P>0.05$), different small letter superscripts mean significant differences ($P<0.05$).

表 6 部分鱼肌肉总氨基酸量、总必需氨基酸量、总呈味氨基酸量
Tab. 6 The content of muscle TAA, TEAA, TNEAA in some species of fishes

%, 干重 dry weight

鱼种类 fish species	拉丁名 latin name	总氨基酸量 W_{TAA}	总必需氨基酸 含量 W_{EAA}	总呈味氨基酸 含量 W_{TNEAA}	参考文献 reference
北极茴鱼	<i>Arctic fennel</i>	59.37	23.72	26.37	[19]
鲫	<i>Carassius auratus</i>	65.98	26.14	/	[17]
草鱼	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>	66.22	27.61	21.86	[17]
中国鲮(幼鱼)	<i>Pampus chinensis</i>	72.90	42.58	26.44	[23]
多鳞铲颌鱼	<i>Varicorhinus macrolepis</i>	73.91	30.56	28.05	[26]
青石斑鱼	<i>Epinephelus awoara</i>	74.38	41.99	44.37	[24]
鳃	<i>Elopichthys bambusa</i>	75.87	/	28.91	[27]
河鲈	<i>Perca fluviatilis</i>	75.89	38.15	32.54	[19]
花点石斑鱼	<i>Epinephelus maculatus</i>	76.50	40.87	45.03	[24]
江鳕	<i>Lota lota</i>	76.71	31.74	34.64	[19]
云南裂腹鱼	<i>Schizothorax yunnanensis</i>	78.50	36.86	27.95	[22]
中国鲮(成鱼)	<i>Pampus chinensis</i>	78.68	42.28	26.44	[23]
泉水鱼	<i>Semilabeo prochilus</i>	79.83	33.95	35.69	[25]
鲤	<i>Cyprinus carpio</i>	80.70	31.7	/	[17]
丁鲶	<i>Ding salmon</i>	80.92	43.31	28.44	[19]
白斑狗鱼	<i>Esox lucius</i>	82.65	43.58	30.51	[20]
斑尾复虾虎鱼	<i>Synechogobius ommaturus</i>	83.36	31.40	31.79	[21]

白斑狗鱼^[20]、斑尾复虾虎鱼^[21]低，同多鳞铲颌鱼(*Varicorhinus macrolepis*)^[26]、云南裂腹鱼^[22]、丁鲶^[19]等相近。

鱼体从饲料中摄取蛋白质，在消化器官内经酶的作用分解成氨基酸，它在被吸收后通过血液进入鱼体，在肝脏中必须氨基酸可以通过转氨

基作用转化为鱼体所需要的氨基酸, 包括呈味氨基酸^[2]。随着饲料蛋白水平的升高, 肠道分解形成的氨基酸含量增加, 吸收进入鱼体的氨基酸含量增加, 最终提高鱼体必需氨基酸和呈味氨基酸含量。卓立应^[28]研究发现, 随着饲料蛋白含量的升高, 黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)背肌必需氨基酸和呈味氨基酸含量显著升高。本实验研究也发现, 拉萨裸裂尻鱼肌肉总氨基酸含量随着饲料蛋白水平升高而逐渐升高, 其必需氨基酸和呈味氨基酸总量也随着饲料蛋白水平升高在一定程度上也有所提高, 进一步佐证了以上观点。因此, 在一定范围内提高饲料蛋白水平, 可以提高拉萨裸裂尻鱼的营养价值, 改善其风味。

3.2 饲料蛋白水平对拉萨裸裂尻鱼氮摄入及氮沉积的影响

本实验中, 随着蛋白水平的提高, 氮摄入量 NI, 绝对氮摄入量 ANI 均显著提高, 这与鲤^[17]、幼建鲤(*Cyprinus carpio* var. Jian)^[16]、中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)^[30]、银鲈(*Rhamdia quelen*)^[31]上的研究结果一致。在摄食量变化不大的情况下, 随着饲料蛋白含量的提高, NI 和 ANI 即随之升高。净蛋白利用率(NPU)和蛋白质效率(PER)比是指鱼摄入单位重量蛋白质鱼体蛋白质和体重的增加量。本实验研究发现, 随着饲料蛋白质含量增加, 拉萨裸裂尻鱼 NPU 和 PER 均呈先升高后降低的变化趋势。随着饲料蛋白质含量的升高, 有更多的蛋白用于构建体蛋白, 从而促进鱼体健康, 增加蛋白质沉积率^[29]。但在高蛋白水平下由于蛋白不再表现为缺乏, 而鱼类优先利用蛋白质供能^[29], 因而此时的蛋白被用于供能的比例就更大, 从而降低了饲料蛋白质效率及沉积率。由此可见, 在一定范围提高饲料蛋白水平, 可增加蛋白质的沉积率和利用率, 但当蛋白水平过量时, 其沉积率和利用率显著降低。Lee 等^[32]对日本黄姑鱼(*Nibea japonica*), Zeitoun 等^[33]对虹鳟(*Salmo gairdneri*)、Jauncey 等^[34]对罗非鱼(*Sarotherodon mossambicus*)的研究均发现 NPU 和 PER 均随饲料蛋白的升高而升高, 但饲料蛋白质水平超过需要量后便显著下降, 进一步验证了以上观点。

3.3 饲料蛋白水平对拉萨裸裂尻鱼蛋白质代谢影响

在一定程度上可以通过血清总蛋白(TP)反映饲料蛋白质的营养水平及鱼体对蛋白质的消化吸收程度。本实验研究发现, 随着饲料蛋白质水平的提高, TP 浓度升高, 当饲料蛋白含量大于 35% 后, TP 趋于稳定。这说明在一定范围内随着饲料蛋白水平的升高, 鱼体消化吸收的蛋白质随之升高, 但饲料蛋白质水平超过其需求时, 鱼体不能有效地对其消化吸收, 多余的蛋白质被浪费掉。赵书燕等对石斑鱼^[35]、李彬等对大规格草鱼^[36]研究均得出类似的结果。这说明适宜蛋白水平范围内拉萨裸裂尻鱼可以吸收饲料蛋白质收进入血液, 而蛋白水平过高时鱼体不能有效地消化吸收饲料蛋白质。

蛋白质代谢酶能反映鱼类的蛋白质代谢状态, 与饲料营养水平密切相关。饲料蛋白质在吸收进入鱼体后的代谢变化机制可以通过蛋白质代谢酶来阐明。肝脏谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)是氨基酸代谢关键酶, ALT、AST 活性大小可反应氨基酸代谢强度的大小, 在鱼体蛋白质代谢中起着重要作用^[29]。ALT、AST 主要在肝细胞的胞质中, 在血清中含量低, 当肝脏细胞损伤时, 血清转氨酶浓度增加^[35]。杨磊对鳃幼鱼^[37]、刘勇对建鲤幼鱼^[16]、李彬等对大规格草鱼^[36]研究均发现, 高蛋白饲料可提高鱼体肝脏 ALT、AST 活性; 强俊等对吉富罗非鱼^[38]研究发现, 摄食高蛋白饲料鱼体血清 ALT、AST 含量升高。本实验研究也发现, 随着饲料蛋白水平的升高, 拉萨裸裂尻鱼肝脏 ALT、AST 均呈先升高后趋于稳定的变化趋势, 这说明在一定范围内随着饲料蛋白的升高, 鱼体蛋白质合成和分解代谢逐渐增强。血清 ALT 呈先降低后升高的变化趋势, AST 在饲料蛋白含量低于 35% 的实验组差异不显著, 饲料蛋白含量高于 40% 后显著升高, 这说明当饲料蛋白质水平超过一定量后, 会加重拉萨裸裂尻鱼肝脏负担, 造成干细胞损伤, 进一步验证了以上观点。

血氨(ammonia)和尿素氮(urea)是硬骨鱼蛋白质代谢的主要产物^[39], 可以较准确反映动物体内

蛋白质分解代谢情况^[35]。Preston 等^[40]和 Bibiano Melo 等^[3]的研究发现, 高蛋白质水平饲料可以加快鱼体肌肉蛋白质周转速度和降解速度^[41]。这可能是因为鱼体摄食高蛋白质水平饲料, 增加了消化吸收进入鱼体的蛋白质, 当用于组成鱼体细胞、组织及机体的蛋白质达到饱和后, 过多的蛋白质则用于分解功能。本实验研究结果也发现, 随着饲料蛋白质水平的提高, 血清血氨和尿素氮含量增加。说明随着饲料蛋白质水平升高, 鱼体摄食进入血液的蛋白质增加, 蛋白质则用于分解供能数量增加, 导致血清血氨和尿素氮增加, 从而增加鱼体代谢产物, 造成养殖水体污染, 养殖成本增加。

4 小结

适量增加饲料蛋白含量可以提高拉萨裸裂尻鱼氮沉积(ND)、蛋白质效率(PER)、净蛋白质利用率(NPU), 从而提高饲料蛋白质利用率; 提高肌肉总必须氨基酸量、总鲜味氨基酸量, 从而提高肌肉品质, 改善肌肉味道; 增加肠道对蛋白质的吸收量, 增加血清总蛋白含量; 增加肝脏转氨酶活性, 从而增加体内蛋白质代谢速度。但饲料蛋白含量过高, 会造成鱼体蛋白质利用率降低, 肠道对饲料蛋白质的吸收不充分, 同时增加氮排泄物, 加重肝脏负荷, 损伤鱼体肝细胞。在本实验条件下, 综合考虑饲料蛋白利用率、血液总蛋白含量、肝脏及血清转氨酶活性, 建议拉萨裸裂尻鱼饲料蛋白含量为 30%~35%。

参考文献:

- [1] Abdel-Tawwab M, Ahmad M H, Khattab Y A E, et al. Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.)[J]. Aquaculture, 2010, 298(3-4): 267-274.
- [2] Bibiano Melo J F, Lundstedt L M, Metón I, et al. Effects of dietary levels of protein on nitrogenous metabolism of *Rhamdia quelen* (Teleostei: Pimelodidae)[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2006, 145(2): 181-187.
- [3] Kim K I, Grimshaw T W, Kayes T B, et al. Effect of fasting or feeding diets containing different levels of protein or amino acids on the activities of the liver amino acid-degrading enzymes and amino acid oxidation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Aquaculture, 1992, 107(1): 89-105.
- [4] Yang S D, Liou C H, Liu F G. Effects of dietary protein level on growth performance, carcass composition and ammonia excretion in juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*)[J]. Aquaculture, 2002, 213(1-4): 363-372.
- [5] Ballestrazzi R, Lanari D, D'agaro E, et al. The effect of dietary protein level and source on growth, body composition, total ammonia and reactive phosphate excretion of growing sea bass (*Dicentrarchus labrax*)[J]. Aquaculture, 1994, 127(2-3): 197-206.
- [6] NRC. Nutrient Requirements of Fish[M]. Washington: National Academy Press, 1993: 25-29.
- [7] Tibet Autonomous Region Aquaculture Bureau. Fish and Fishes Resources in Tibet[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 121-123. [西藏自治区水产局. 西藏鱼类及其资源[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 121-123.]
- [8] Yang X F. Feeding habits and food selection of naked split fish in Lhasa[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011. [杨学峰. 拉萨裸裂尻鱼食性及食物选择的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.]
- [9] Xu J. Early development of four species of cleavage fish in Yarlung Zangbo River[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011. [许静. 雅鲁藏布江四种特有裂腹鱼类早期发育的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.]
- [10] Duan Y J. Study on the biology and population dynamics of *Schizopygopsis Younghusbandi*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015. [段友健. 拉萨裸裂尻鱼个体生物学和种群动态研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.]
- [11] Chen F, Chen Y F. Investigation and protection strategies of fishes of Lhasa River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2010, 34(2): 278-285. [陈锋, 陈毅峰. 拉萨河鱼类调查及保护[J]. 水生生物学报, 2010, 34(2): 278-285.]
- [12] Luo S, Dan Z, Bu D. Current status of fish resource in Lhasa River and countermeasure of its utilization[J]. Journal of Tibet University, 2011, 26(2): 7-10. [洛桑, 旦增, 布多. 拉萨河鱼类资源现状与利用对策[J]. 西藏大学学报(自然科学版), 2011, 26(2): 7-10.]
- [13] Jiang Z G, Jiang J P, Wang Y Z, et al. Red list of China's vertebrates[J]. Biodiversity Science, 2016, 24(5): 500-551. [蒋志刚, 江建平, 王跃招, 等. 中国脊椎动物红色名录[J]. 生物多样性, 2016, 24(5): 500-551.]
- [14] Liu Y C, Liu H P, Liu S Y, et al. Anesthetic effects of MS-222 on *Schizothorax o'connori* Llord in two size ranges[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2018, 42(6): 1214-

1223. [刘艳超, 刘海平, 刘书蕴, 等. MS-222 对两种规格的异齿裂腹鱼麻醉效果研究[J]. 水生生物学报, 2018, 42(6): 1214-1223.]
- [15] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72(1-2): 248-254.
- [16] Liu Y, Zhou X Q, Liu Y, et al. The effects of protein on the growth performance, digestive function and protein metabolism of young carp[C]//Symposium on the Tenth Symposium of Animal Nutrition Branch of China Animal Husbandry and Veterinary Society. Beijing: Chinese Association of Animal Science and Veterinary Medicine, 2008: 227. [刘勇, 周小秋, 刘扬, 等. 蛋白质对幼建鲤生长性能、消化功能和蛋白质代谢的影响[C]//中国畜牧兽医学会动物营养学分会第八届全国会员代表大会暨第十次动物营养学术研讨会论文集. 北京: 中国畜牧兽医学会, 2008: 227.]
- [17] Lv X S, Zhang L G, Bao J G, et al. Analysis of amino acids in carp and *Carassius auratus*[J]. Amino Acids & Biotic Resources, 1988, 10(3): 43-44. [吕宪禹, 张鑫光, 鲍建国, 等. 鲤、鲫肌肉氨基酸的分析[J]. 氨基酸和生物资源, 1988, 10(3): 43-44.]
- [18] Cheng H L, Jiang F, Peng Y X, et al. Comparison of nutrient composition of muscles of wild and farmed grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*[J]. Food Science, 2013, 34(13): 266-270. [程汉良, 蒋飞, 彭永兴, 等. 野生与养殖草鱼肌肉营养成分比较分析[J]. 食品科学, 2013, 34(13): 266-270.]
- [19] Wei D M, Alimujiang Abudula, Shen H, et al. Comparative analysis of amino acids and nutrition in the muscle of five kinds of wild fish in the Irtysh River[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2017, 54(2): 377-385. [魏冬梅, 阿力木江·阿布都拉, 申慧, 等. 额尔齐斯河 5 种土著鱼肌肉氨基酸组成及营养比较[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(2): 377-385.]
- [20] Wang Y X, Qian L, Lü Y. Determination and nutritional evaluation of amino acids in *Esox lucius* muscle[J]. Food Science, 2010, 31(11): 238-240. [王咏星, 钱龙, 吕艳. 白斑狗鱼肌肉氨基酸含量测定及其营养评价[J]. 食品科学, 2010, 31(11): 238-240.]
- [21] Huang W, Zhang Z H, Shi Y H, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in muscle of cultured *Synechogobius ommaturus*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(9): 2866-2873. [黄薇, 张忠华, 施永海, 等. 养殖斑尾复虾虎鱼肌肉营养成分的分析和评价[J]. 动物营养学报, 2014, 26(9): 2866-2873.]
- [22] Li G Z, Lu S X, Yan D W, et al. Analysis of biochemical components in muscle and nutritional evaluation of *Schizothorax yunnanensis*[J]. South China Fisheries Science, 2009, 5(2): 56-62. [李国治, 鲁绍雄, 严达伟, 等. 云南裂腹鱼肌肉生化成分分析与营养品质评价[J]. 南方水产, 2009, 5(2): 56-62.]
- [23] Zhao F, Zhuang P, Shi Z H, et al. Comparative analysis on biological components of muscles in young and adult *Pampus chinensis*[J]. Marine Fisheries, 2010, 32(1): 102-108. [赵峰, 庄平, 施兆鸿, 等. 中国鲢成鱼和幼鱼肌肉生化成分的比较分析[J]. 海洋渔业, 2010, 32(1): 102-108.]
- [24] Zhang B, Lu Z N, Zhang H Z, et al. Preliminary study of composition of amino acids in the muscle of grouper[J]. Natural Science Journal of Hainan University, 1991, 9(2): 35-41. [张本, 卢子襄, 章华忠, 等. 石斑鱼肌肉氨基酸组成的初步研究[J]. 海南大学学报(自然科学版), 1991, 9(2): 35-41.]
- [25] Zhu C K, Huang H, Xiang X, et al. Analysis of nutrient components in muscle of semilabeo prochilus and its nutritive quality[J]. Food Science, 2013, 34(11): 246-249. [朱成科, 黄辉, 向泉, 等. 泉水鱼肌肉营养成分分析及营养学评价[J]. 食品科学, 2013, 34(11): 246-249.]
- [26] Li Z W, Zheng S M. Determination and nutrient analysis of amino acids in the muscle of *Onychostoma macrolepi*[J]. Feed Industry, 2014, 35(20): 65-68. [李正伟, 郑曙明. 多鳞铲颌鱼肌肉氨基酸含量测定及营养分析[J]. 饲料工业, 2014, 35(20): 65-68.]
- [27] Wang M M, Wang H L, Luo Q H, et al. Analysis and evaluation of nutrient components in muscle of yellow cheek carp[J]. Food Science, 2014, 35(15): 238-242. [王苗苗, 王海磊, 罗庆华, 等. 鳊鱼肌肉营养成分测定及评价[J]. 食品科学, 2014, 35(15): 238-242.]
- [28] Zhuo L Y. Effects of dietary protein to energy ratios on growth and body composition of juvenile black seabream (*Sparus macrocephalus*)[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006. [卓立应. 饲料蛋白能量比对黑鲷幼鱼生长和体组成的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.]
- [29] Ogino C, Saito K. Protein nutrition in fish. 1. The utilization of dietary protein by young carp[J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1970, 36: 250-254.
- [30] Yang S D, Lin T S, Liou C H, et al. Influence of dietary protein levels on growth performance, carcass composition and liver lipid classes of juvenile *Spinibarbus hollandi* (Oshima)[J]. Aquaculture Research, 2003, 34(8): 661-666.
- [31] Meyer G, Fracalossi D M. Protein requirement of jundia fingerlings, *Rhamdia quelen*, at two dietary energy concentrations[J]. Aquaculture, 2004, 240(1-4): 331-343.
- [32] Lee H M, Cho K C, Lee J E, et al. Dietary protein requirement of juvenile giant croaker, *Nibea japonica* Temminck

- and Schlegel[J]. *Aquaculture Research*, 2001, 32(1): 112-118.
- [33] Zeitoun I H, Halver J E, Ullrey D E, et al. Influence of salinity on protein requirements of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fingerlings[J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1973, 30(12): 1867-1873.
- [34] Jauncey K. The effects of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body composition of juvenile tilapias (*Sarotherodon mossambicus*)[J]. *Aquaculture*, 1982, 27(1): 43-54.
- [35] Zhao S Y, Lin H Z, Huang Z, et al. Effect of dietary protein level on growth performance, plasma biochemical indices and flesh quality of grouper (*Epinephelus lanceolatus* × *E. fuscoguttatus*) at two growth stages[J]. *South China Fisheries Science*, 2017, 13(4): 87-96. [赵书燕, 林黑着, 黄忠, 等. 不同蛋白水平对 2 种规格石斑鱼生长性能、血清生化及肌肉品质的影响[J]. *南方水产科学*, 2017, 13(4): 87-96.]
- [36] Li B, Liang X F, Liu L X, et al. Effects of dietary protein levels on growth, feed utilization and the enzymes activity on nitrogen metabolism of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, 38(2): 233-240. [李彬, 梁旭方, 刘立维, 等. 饲料蛋白水平对大规格草鱼生长、饲料利用和氮代谢相关酶活性的影响[J]. *水生生物学报*, 2014, 38(2): 233-240.]
- [37] Yang L. Effects of protein levels on growth performance, digestive functions and protein metabolism of juvenile yellow cheek carp (*Elopichthys bambusa*)[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011. [杨磊. 蛋白质水平对鳊幼鱼生长、消化和蛋白质代谢的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.]
- [38] Qiang J, Yang H, Wang H, et al. Effects of different dietary protein levels on serum biochemical indices and expression of liver HSP70 mRNA in gift tilapia (*Oreochromis niloticus*) under low temperature stress[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, 37(3): 434-443. [强俊, 杨弘, 王辉, 等. 饲料蛋白水平对低温应激下吉富罗非鱼血清生化指标和 HSP70 mRNA 表达的影响[J]. *水生生物学报*, 2013, 37(3): 434-443.]
- [39] Elliott J M. The energetics of feeding, metabolism and growth of brown trout (*Salmo trutta* L.) in relation to body weight, water temperature and ration size[J]. *The Journal of Animal Ecology*, 1976, 45(3): 923-948.
- [40] Preston R L, Schnakenberg D D, Pfander W H. Protein utilization in ruminants: I. Blood urea nitrogen as affected by protein intake[J]. *The Journal of Nutrition*, 1965, 86(3): 281-288.
- [41] Luo L, Ye Y T, Lin S M. Effects of dietary protein levels with same EAA pattern on protein turnover in muscle and hepatopancreas of grass carps[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2002, 14(3): 24-28. [罗莉, 叶元土, 林仕梅. 相同 EAA 模式下不同日粮蛋白水平对草鱼肌肉、肝胰脏蛋白周转代谢的影响[J]. *动物营养学报*, 2002, 14(3): 24-28.]

Effects of dietary protein levels on muscular amino acids and protein metabolism of *Schizopygopsis younghusbandi younghusbandi* Regan

ZENG Benhe¹, LIU Haiping¹, WANG Jian², WANG Wanliang¹, ZHOU Jianshe¹, WANG Jinlin¹, ZHU Chengke², ZHANG Bianbian³

1. Institute of Fisheries Science, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850032, China;
2. Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education, Key Laboratory of Aquatic Science of Chongqing, College of Animal Science, Southwest University, Chongqing 402460, China
3. Tibet Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 85000, China

Abstract: The goal of this experiment was to investigate the effects of dietary protein levels on muscular amino acids and protein metabolism of *Schizopygopsis younghusbandi younghusbandi* Regan. Six diets were formulated that contained 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, and 45% protein levels. Each diet was fed to triplicate groups of 30 fish with an initial body weight of (22.42 ± 0.56) g for 60 d. The results showed that both nitrogen intake (NI) and the amount of absolute nitrogen intake (ANI) of *S. younghusbandi younghusbandi* Regan increased with the increase in dietary protein levels. The nitrogen deposition (ND), protein efficiency ratio (PER), and net protein utilization (NPU) increased at first and then decreased. Total essential amino acids (TEAA), total flavored amino acids (TFAA), total non-essential amino acids (TNEAA), and total amino acids (TAA) initially increased and then tended to stabilize with the raising supplemental dietary protein level. There was no significant difference in blood ammonia, urea nitrogen, or albumin (ALB) at the feed protein levels of 20%–25%; however, these factors increased significantly after the feed protein level increased significantly after 30%. Total protein (TP) increased gradually when feed protein was lower than 35%, and there was no significant difference among the experimental groups when feed protein was higher than 35%. Both the liver ALT and AST increased at first and then tended to stabilize. There was a tendency for serum ALT to decrease first and then increase. Serum AST was not significantly different in the experimental group with feed protein content below 35% but increased significantly above 35%. Thus, the appropriate amount of dietary protein level can increase the absorption of protein, increase the protein utilization from feed, increase the rate of body protein metabolism, improve the content of essential amino acids, and improve the taste of muscle. However, it can cause a decrease in the protein utilization in the fish body, inadequate absorption of the protein in the intestine, the increase nitrogen excreta, aggravate the liver load, and damage liver cells when the content of feed protein is too high. Under these experimental conditions, the suitable dietary protein level was 30%–35% based on the feed protein utilization, total protein content in blood, and liver and serum transaminase activity.

Key words: *Schizopygopsis younghusbandi younghusbandi* Regan; protein levels; muscle amino acid; protein utilization; protein metabolism

Corresponding author: LIU Haiping. E-mail: luihappy@163.com