

饲料中补充晶体蛋氨酸和羟基蛋氨酸钙对 罗氏沼虾幼虾生长性能的影响

梁雄培, 周歧存*, 黎 明, 杨 晴, Zacharia Cassian Elmada

(宁波大学 海洋学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 饲料中添加 30% 鱼粉为对照组饲料和 6 组试验饲料(分别替代对照组中 16.67%、33.33% 和 50.00% 的鱼粉, 同一鱼粉替代水平的 2 组分别添加晶体蛋氨酸和羟基蛋氨酸钙, 使其蛋氨酸含量与对照组一致) 喂养罗氏沼虾(初始体重为 (0.29 ± 0.04) g) 10 周, 研究不同鱼粉替代水平下, 分别添加晶体蛋氨酸和羟基蛋氨酸钙对罗氏沼虾幼虾生长性能和血清生化指标的影响。结果表明: 复合蛋白源替代对照组 16.67% 鱼粉并补充羟基蛋氨酸钙组的增重率、特定生长率、蛋白质效率和饲料系数同对照组无显著差异($P > 0.05$); 同一鱼粉替代水平下, 羟基蛋氨酸钙组的增重率、特定生长率和蛋白质效率均显著高于晶体蛋氨酸组($P < 0.05$)。血清生化组成的分析结果表明: 血清总蛋白含量各处理组之间差异显著($P < 0.05$), 对照组血清谷草转氨酶和谷丙转氨酶活力显著低于其他各组($P < 0.05$), 其中同一替代水平下, 饲料中添加羟基蛋氨酸钙组谷草转氨酶和谷丙转氨酶活力低于添加晶体蛋氨酸组。由此可见, 与晶体蛋氨酸相比, 羟基蛋氨酸钙能更有效提高罗氏沼虾生长性能和饲料利用效率。

关键词: 罗氏沼虾; 晶体蛋氨酸; 羟基蛋氨酸钙; 生长; 血清生化; 蛋白代谢酶

中图分类号: S963.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2015) 01-0001-07

众所周知, 由于鱼粉具有必需氨基酸和脂肪酸含量高, 碳水化合物含量低, 适口性好, 抗营养因子少以及能够被养殖动物很好地消化吸收等优点, 一直以来是水产饲料中不可或缺的优质蛋白源^[1]。近年来鱼粉价格高涨, 一些研究者已经在利用植物蛋白源替代鱼粉的方面开展了研究, 并在一些鱼类和甲壳动物中取得了较好的研究结果^[2-4]。由于植物蛋白源中存在多种抗营养因子, 缺乏必需氨基酸如蛋氨酸、赖氨酸等导致氨基酸不平衡, 且适口性、消化率和蛋白质同化效率的下降, 从而影响水生动物的摄食和生长^[5-8]。以植物蛋白源为基础料的饲料需要补充部分外源氨基酸以满足必需氨基酸的需要^[9]。蛋氨酸是虾类饲料中典型的限制性氨基酸, 参与体内蛋白质合成、甲基转移和磷的代谢, 并参与各种含硫化合物如谷胱甘肽、胱氨

酸、肾上腺素、胆碱和肌酸等合成, 促进水产动物的生长、发育, 还能防止脂肪肝、花肝等疾病的产生^[10-12]。然而, 许多研究证实, 由于晶体蛋氨酸水中溶失率高和吸收不同步等问题, 在饲料以动植物蛋白源替代鱼粉并补充晶体氨基酸不能改善部分种类和甲壳动物的生长性能^[13-15]。牛化欣^[15]指出, 在饲料中分别添加 0.1%、0.2% 和 0.4% 晶体蛋氨酸投喂罗氏沼虾, 对生长性能均未有显著提高。羟基蛋氨酸钙含单体羟基蛋氨酸, 不需要水解就可以直接吸收, 是动物的一种最直接廉价有效的活性蛋氨酸源, 是蛋氨酸的一种更有效更经济的替代产品^[16]。沈晓芝等^[17]用豆粕等植物蛋白源替代鱼粉并添加羟基蛋氨酸钙来投喂鲤, 发现添加 0.135% 羟基蛋氨酸钙组的相对增重率显著高于豆粕基础饲料组。然而, 关于羟基蛋氨酸钙对于

收稿日期: 2014-06-16.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journal.lg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家农业部公益性行业(农业)科研专项(201003020)。

第一作者: 梁雄培(1989—), 男, 广东佛山人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 水生动物营养与饲料。E-mail: 524659893@qq.com

*通信作者: 周歧存(1967—), 男, 安徽舒城人, 博导/教授, 主要研究方向: 水生动物营养与饲料。E-mail: zhouqicun@nbu.edu.cn

罗氏沼虾的生长性能影响尚未有报道。因此,笔者开展了在饲料中以豆粕等蛋白源替代鱼粉并补充羟基蛋氨酸或晶体蛋氨酸投喂罗氏沼虾的试验,旨在通过比较二者对罗氏沼虾的饲养效果,以期丰富罗氏沼虾幼虾对晶体氨基酸和羟基蛋氨酸利用的营养学基础研究,更为配制罗氏沼虾幼虾低鱼粉饲料提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以晶体蛋氨酸(L-蛋氨酸, 国药集团化学试剂有限公司生产, 有效含量 99.93%)和羟基蛋氨酸钙(诺伟司饲料添加剂上海有限公司生产, 有效含量 86%)为蛋氨酸源。试验设计饲料中添加 30%鱼粉为对照组, 用豆粕、花生粕和鸡肉粉来替代鱼粉, 替代水平分别为 16.67%、33.33%和 50.00%, 同一鱼粉替代水平的 2 组分别添加晶体蛋氨酸和羟基蛋氨酸钙, 配制成 7 组等蛋等脂饲料。实验饲料配方和营养成分见表 1, 氨基酸组成见表 2。

表 1 饲料组成及营养水平(干物质基础) %

原料	DC	DME1	DME2	DME3	DMH1	DMH2	DMH3
鱼粉	30.00	25.00	20.00	15.00	25.00	20.00	15.00
豆粕	12.00	15.00	18.00	21.00	15.00	18.00	21.00
花生粕	6.00	8.00	10.00	12.00	8.00	10.00	12.00
鸡肉粉	8.00	10.00	12.00	15.00	10.00	12.00	15.00
磷虾粉	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
面粉	25.67	25.67	25.67	25.67	25.67	25.67	25.67
豆油	0.90	0.94	0.98	0.96	0.94	0.98	0.96
鱼油	0.90	0.94	0.98	0.96	0.94	0.98	0.96
磷酸二氢钙	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
氯化胆碱	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
大豆卵磷脂	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
维生素预混料	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
矿物质预混料	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
L-蛋氨酸		0.04	0.08	0.11			
羟基蛋氨酸钙					0.04	0.08	0.11
纤维素	7.24	5.11	2.99	0.01	5.11	2.99	0.01
合计	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
粗蛋白	41.08	41.12	41.18	40.85	41.17	40.89	41.06
粗脂肪	7.48	7.47	7.39	7.52	7.52	7.55	7.41
灰分	10.66	10.43	9.75	10.23	10.30	9.85	10.36

表 2 试验饲料的氨基酸组成(干物质) %

氨基酸	DC	DME1	DME2	DME3	DMH1	DMH2	DMH3
苏氨酸	1.44	1.45	1.40	1.43	1.44	1.45	1.47
缬氨酸	1.95	1.97	1.89	1.97	1.95	1.96	2.01
蛋氨酸	0.76	0.76	0.75	0.74	0.75	0.74	0.72
异亮氨酸	1.60	1.62	1.56	1.63	1.61	1.63	1.66
亮氨酸	2.88	2.92	2.82	2.93	2.89	2.93	3.01
苯丙氨酸	1.63	1.70	1.67	1.74	1.68	1.71	1.79
赖氨酸	2.25	2.19	2.04	2.05	2.18	2.11	2.09
组氨酸	0.96	0.94	0.90	0.91	0.94	0.93	0.93
精氨酸	2.44	2.56	2.57	2.76	2.54	2.66	2.83
天门冬氨酸	3.41	3.51	3.45	3.60	3.46	3.56	3.70
丝氨酸	1.43	1.49	1.46	1.51	1.45	1.51	1.57
谷氨酸	6.24	6.45	6.41	6.71	6.38	6.62	6.87
甘氨酸	2.29	2.35	2.30	2.41	2.33	2.36	2.46
丙氨酸	2.17	2.17	2.11	2.14	2.23	2.16	2.21
胱氨酸	0.46	0.50	0.54	0.55	0.51	0.52	0.56
脯氨酸	2.07	2.17	2.15	2.26	2.14	2.22	2.35
酪氨酸	1.08	1.12	1.11	1.16	1.11	1.13	1.19
总必需氨基酸	15.91	16.08	15.50	16.05	15.98	16.14	16.49
总非必需氨基酸	19.16	19.76	19.53	20.34	19.62	20.08	20.92
氨基酸总量	35.06	35.89	35.10	36.49	35.61	36.22	37.41

试验原料经粉碎, 过 60 目筛, 按表 1 配方。称量各种饲料原料, 添加成分采取逐级扩大法混合均匀, 再添加 30%左右的水分, 再次混匀后, 压制成粒径为 1.0 mm 和 1.5 mm 的颗粒饲料。风干后, 用自封袋密封, 放于 -20 °C 冰柜中保存备用。

表 1 中每千克维生素预混料含有: VA 25 000 IU, VD₃ 10 000 IU, α-生育酚醋酸盐 2 500 mg, VK₃ 120 mg, VB₁ 500 mg, VB₂ 750 mg, VB₆ 400 mg, 维生素 B₁₂ 25 mg, 烟酸 800 mg, 泛酸 2 000 mg, 叶酸 150 mg, 肌醇 10 000 mg, VC 6 000 mg。每千克矿物质预混料含有: FeC₆H₅O₇ 22.86 g, CuSO₄·5H₂O 7.94 g, ZnSO₄·7H₂O 11.05 g, MnSO₄·H₂O 1.55 g, MgSO₄·7H₂O 35.85 g, Na₂SeO₃ 0.02 g, KI 0.17 g。营养水平均为计算值。

1.2 试验动物

饲养试验在宁波大学海洋学院养殖实习基地的养殖车间进行, 所用的罗氏沼虾幼虾购自湖州罗氏沼虾育苗场。养殖试验前, 虾苗暂养于 300 L 玻璃钢桶中, 并以商业饲料饱食投喂驯化, 时间为 3 周。实验分组前停食 24 h, 试验选用外观正常,

体质健壮,平均体重为 (0.29 ± 0.04) g 的罗氏沼虾苗 630 尾作试验用虾。

1.3 饲养管理

试验共分 7 个处理,每个处理设 3 个重复,每个重复 30 尾罗氏沼虾在同一个玻璃钢桶放养,玻璃钢桶水容量为 500 L。每天投喂 4 次,投喂时间分别为 7:00、12:00、17:00 以及 21:00,日投喂量为其体重的 5%~8%,早晚投喂量为总投喂量的 60%。试验期间水温为 27.0~30.0 °C,溶解氧 $>7.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,pH 为 7.8~8.2,氨氮含量 $<0.03\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。养殖试验期为 10 周。

1.4 样品采集

养殖试验结束前的 24 h 停止投喂。试验结束时,称重并记尾数,计算增重率、饲料系数、特定生长率和成活率。每桶随机抽取 10 尾虾放于-20 °C冰箱保存,用于体成分分析。再随机取 10 尾虾,以 1 mL 注射器从围心腔中取血,抽取的血液放置于 1.5 mL 的 Eppendorff 管中,在 4 °C 冰箱中静置 12 h, $4\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 20 min,分离血清,分装后-20 °C 保存待测血清中谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)和碱性磷酸酶(AKP)活性。

1.5 指标测定

1.5.1 饲料氨基酸测定

用氨基酸自动分析仪(Model 835-50, 日本日立公司)测定饲料样品中氨基酸(除色氨酸外)的含量。

1.5.2 饲料和虾体成分测定

饲料和虾体中的水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量按照标准方法^[18]测定。

1.5.3 血清生化指标测定

血清中总蛋白(TP)、葡萄糖(GLU)、总胆固醇

(TC)和甘油三酯(TG)等生化指标均使用日立 7600-110 型全自动生化分析仪检测。

1.5.4 谷草转氨酶、谷丙转氨酶和碱性磷酸酶活性测定

谷草转氨酶、谷丙转氨酶活性采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒(赖氏法)测定。碱性磷酸酶活性采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定,以每毫升血清蛋白质在 37 °C 与底物作用 15 min 产生 1 mg 酚为 1 个酶活性单位。

1.6 计算公式

增重率($\%$)= $100\times(W_t-W_0)/W_0$,

特定生长率($\%\cdot\text{d}^{-1}$)= $100\times(\ln W_t-\ln W_0)/t$,

饲料系数= $F/(W_t-W_0)$,

蛋白质效率($\%$)= $100\times(W_t-W_0)/(F\times P)$,

成活率($\%$)= $100\times(N_t/N_0)$,

其中: W_0 为实验开始时的虾质量, g; W_t 为实验结束时的虾质量, g; F 为饲料摄入量, g; t 为实验天数, d; P 为饲料蛋白质含量, %; N_t 为实验结束时的虾数量, 尾; N_0 为实验开始时的虾数量, 尾。

1.7 数据处理和分析

试验数据采用平均数 $\pm$ 标准差,用 SPSS 16 统计软件对试验数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA),差异显著时采用 Duncan 氏方法对各组间平均数进行多重比较,以($P<0.05$)作为差异显著性判断标准。

2 结果

2.1 不同饲料对罗氏沼虾生长性能和饲料利用率的影响

由表 3 可知,随着鱼粉替代水平的上升,晶体蛋氨酸组和羟基蛋氨酸钙组的终末体重、增重率和

表 3 各种饲料对罗氏沼虾生长性能的影响

组别	终末体重/g	增重率/%	特定生长率/ $(\%\cdot\text{d}^{-1})$	饲料系数	蛋白质效率/%	成活率/%
DC	5.04 ± 0.11^c	$1\,636.56\pm 51.71^c$	3.95 ± 0.04^c	1.11 ± 0.16^a	1.78 ± 0.25^b	61.11 ± 8.39
DME1	4.69 ± 0.17^b	$1\,551.28\pm 22.37^b$	3.86 ± 0.02^b	1.19 ± 0.02^{ab}	1.67 ± 0.30^{ab}	62.22 ± 8.38
DME2	4.43 ± 0.16^{ab}	$1\,427.13\pm 20.43^{ab}$	3.78 ± 0.02^{ab}	1.28 ± 0.08^{ab}	1.48 ± 0.04^a	60.78 ± 1.92
DME3	4.41 ± 0.31^{ab}	$1\,420.00\pm 100.83^{ab}$	3.77 ± 0.01^{ab}	1.34 ± 0.10^b	1.59 ± 0.40^{ab}	61.78 ± 13.47
DMH1	4.92 ± 0.15^c	$1\,601.23\pm 34.65^c$	3.92 ± 0.03^c	1.17 ± 0.13^{ab}	1.65 ± 0.30^{ab}	60.89 ± 10.18
DMH2	4.59 ± 0.71^b	$1\,482.26\pm 66.90^b$	3.83 ± 0.07^b	1.23 ± 0.09^{ab}	1.68 ± 0.19^{ab}	64.44 ± 5.09
DMH3	4.28 ± 0.13^a	$1\,377.59\pm 55.40^a$	3.73 ± 0.05^a	1.30 ± 0.12^{ab}	1.54 ± 0.15^a	63.33 ± 3.33

注:表中数据为平均值 $\pm$ 标准差, $n=3$, 同列数据标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 下表同。

特定生长率均有下降趋势,而饲料系数则有上升趋势.试验组中,补充 0.041%羟基蛋氨酸钙组的终末体重、增重率和特定生长率均显著高于其他各试验组,但与对照组间的差异不显著.在鱼粉替代水平为 16.67%时,羟基蛋氨酸钙组的终末体重、增重率和特定生长率均显著高于晶体蛋氨酸组.对照组的饲料系数显著低于补充 0.11%晶体蛋氨酸组,蛋白质效率显著高于补充 0.082%晶体蛋氨酸组和 0.11%羟基蛋氨酸钙组.成活率在 60.78%~64.44%,各组间差异不显著($P>0.05$).

2.2 不同饲料对罗氏沼虾体成分的影响

由表 4 可知,随着鱼粉替代水平的上升,羟基蛋氨酸钙组和晶体蛋氨酸组的虾体粗脂肪含量显著降低.全虾水分、粗蛋白和粗灰分含量在各组间差异均不显著($P<0.05$).

表 4 不同饲料对罗氏沼虾体成分的影响 %

组别	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分
DC	75.24±1.26	16.39±0.25	2.12±0.27 ^c	4.42±0.11
DME1	76.80±1.35	15.82±0.33	2.05±0.21 ^b	4.45±0.06
DME2	75.98±0.69	15.57±0.34	1.86±0.18 ^{ab}	4.39±0.12
DME3	76.44±1.24	15.62±0.21	1.51±0.11 ^a	4.51±0.11
DMH1	76.48±0.74	16.21±0.31	2.18±0.15 ^c	4.39±0.08
DMH2	76.20±0.71	15.94±0.41	1.93±0.19 ^{ab}	4.37±0.08
DMH3	76.05±0.51	15.66±0.16	1.73±0.24 ^{ab}	4.46±0.05

2.3 不同饲料对罗氏沼虾血清生化指标的影响

晶体蛋氨酸和羟基蛋氨酸钙对罗氏沼虾血清中总蛋白和甘油三酯含量有显著影响($P<0.05$).在鱼粉替代水平为 50.00%时,晶体蛋氨酸组的血清总蛋白含量显著低于羟基蛋氨酸组($P<0.05$).表 5

表 5 不同饲料对罗氏沼虾血清生化指标的影响

组别	总蛋白/ (g·L ⁻¹)	葡萄糖/ (mmol·L ⁻¹)	甘油三酯/ (mmol·L ⁻¹)	总胆固醇/ (mmol·L ⁻¹)
DC	102.53±7.34 ^{ab}	0.88±0.16	1.66±0.27 ^a	1.53±0.26
DME1	113.87±19.03 ^b	0.76±0.14	1.89±0.26 ^a	1.37±0.32
DME2	102.40±10.93 ^{ab}	0.79±0.07	2.03±0.31 ^{ab}	1.10±0.27
DME3	90.63±11.73 ^a	0.71±0.12	2.47±0.24 ^b	0.83±0.29
DMH1	103.63±8.13 ^{ab}	0.86±0.12	1.74±0.33 ^a	1.07±0.11
DMH2	113.77±6.29 ^b	0.74±0.11	1.87±0.36 ^a	1.13±0.25
DMH3	120.27±10.06 ^b	0.77±0.08	2.19±0.48 ^{ab}	1.06±0.21

为不同饲料对罗氏沼虾血清生化指标的影响.对照组的甘油三酯含量显著低于补充 0.11%晶体蛋氨酸组($P<0.05$).葡萄糖和胆固醇含量在各组间的差异均不显著($P>0.05$).

2.4 不同饲料对罗氏沼虾血清谷草转氨酶、谷丙转氨酶和碱性磷酸酶活性的影响

由表 6 可知,在鱼粉替代水平为 16.67%时,晶体蛋氨酸组的谷丙转氨酶活力显著低于羟基蛋氨酸组($P<0.05$).在鱼粉替代水平为 50.00%时,晶体蛋氨酸组谷草转氨酶活力显著高于羟基蛋氨酸钙组($P<0.05$),且两者同时显著高于对照组($P<0.05$).

表 6 不同饲料对罗氏沼虾血清谷草转氨酶、谷丙转氨酶和碱性磷酸酶活性的影响 U·mL⁻¹

组别	谷草转氨酶	谷丙转氨酶	碱性磷酸酶
DC	38.81±1.92 ^a	56.91±3.43 ^a	62.33±7.62
DME1	45.04±4.52 ^{ab}	59.34±4.27 ^a	58.83±5.73
DME2	50.85±3.97 ^b	65.23±4.69 ^b	49.07±4.51
DME3	57.28±4.24 ^c	75.71±6.43 ^c	46.33±3.58
DMH1	41.06±3.61 ^{ab}	66.23±5.31 ^b	54.87±4.41
DMH2	45.32±4.92 ^{ab}	67.75±5.13 ^b	42.23±5.93
DMH3	48.79±4.61 ^b	71.37±7.61 ^{bc}	43.63±4.53

3 讨论

3.1 不同饲料对罗氏沼虾生长性能和饲料利用的影响

从试验结果可知,随着鱼粉含量降低,添加羟基蛋氨酸钙组和晶体蛋氨酸组的终末体重、增重率和特定生长率均有下降趋势.与晶体蛋氨酸相比,羟基蛋氨酸钙显著提高了罗氏沼虾幼虾的终末体重、增重率和特定生长率,说明羟基蛋氨酸钙比晶体蛋氨酸能更有效地提高罗氏沼虾的生长性能.这一试验结果与大菱鲆(*Psetta maxima*)^[19]、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[20-21]等研究结果相似. Rui 等^[19]在大菱鲆研究中发现,羟基蛋氨酸钙比晶体蛋氨酸更能提高大菱鲆的特定生长率和蛋白效率,并促进血清中抗坏血酸含量升高; Browdy 等^[20]认为在低鱼粉饲料中添加羟基蛋氨酸钙能提高凡纳滨对虾的增重率;然而 Forster 等^[21]认为羟基蛋氨酸钙与 L-蛋氨酸同样能提高凡纳滨对虾的增重率和饲料效率.本试验在 25%鱼粉饲料中补充 0.041%羟基蛋氨酸钙,罗氏沼虾幼虾的终末体重、

增重率、特定生长率和饲料系数与对照组的差异不显著。上述结果说明在饲料中添加羟基蛋氨酸钙能提高罗氏沼虾幼虾的生长性能,并起到节约鱼粉的作用,与文献[22-23]研究结果相似。然而,Robinson等^[24]和Poston^[25]发现羟基蛋氨酸类似物被鱼利用的效果(生长性能和饲料效率)比L-蛋氨酸和DL-蛋氨酸差。同时,晶体蛋氨酸的水中溶失速率、饲料pH和离子平衡^[26]、不同水生动物生理构造等几个因素都会影响到晶体蛋氨酸在动物体中的吸收和运转机制^[27-28]。

3.2 不同饲料对罗氏沼虾体成分的影响

在本研究中,虾体粗脂肪含量在羟基蛋氨酸钙组和晶体蛋氨酸组的变化趋势与增重率相似,都呈下降趋势。表明罗氏沼虾体粗脂肪含量跟增重率呈正相关,其增长速率快,可能首先体现在肌肉脂肪沉积。

3.3 不同饲料对罗氏沼虾血清生化指标的影响

血清总蛋白是反映蛋白质代谢的重要指标,在一定程度上能反映出饲料中蛋白质的营养水平及动物对蛋白质的消化和吸收^[29]。本试验在鱼粉替代量为50.00%时,晶体蛋氨酸组血清中的总蛋白含量显著低于羟基蛋氨酸组。该结果说明了高鱼粉替代量下,添加羟基蛋氨酸钙可以有效地提高罗氏沼虾对蛋白质的消化和吸收。血液中甘油三酯的浓度与外源性供给、内源性产生和分解代谢的速度有关,血脂浓度可间接反映脂类在肝脏的沉积情况^[30]。本试验中晶体蛋氨酸组的血清甘油三酯含量随鱼粉量减少而呈现上升趋势,Ruchimat等^[31]研究发现,在饲料中添加0.57%~1.58%L-蛋氨酸显著提高了鲈的血清中甘油三酯含量,这与本文试验结果相似。

3.4 不同饲料对罗氏沼虾血清谷草转氨酶、谷丙转氨酶和碱性磷酸酶活性的影响

谷丙转氨酶和谷草转氨酶是广泛存在于动物组织细胞线粒体内,二者均参与氨基酸的分解和合成,其活性与氨基酸代谢强弱有关^[32-33],其含量升高是肝细胞、心脏和肌肉受损的标志^[34]。冷向军等^[33]在饲料中添加晶体氨基酸显著提高了罗非鱼肝脏中谷草转氨酶和谷丙转氨酶的活性。迟淑艳等^[35]研究发现,在饲料中添加0.3%晶体蛋氨酸显著提高了军草鱼肝脏谷草转氨酶活性。本试

验中,随着饲料中鱼粉替代水平上升,补充羟基蛋氨酸钙或晶体蛋氨酸都会导致罗氏沼虾血清中谷丙转氨酶和谷草转氨酶含量的上升;然而在低鱼粉水平中,晶体蛋氨酸组谷草转氨酶活性低于羟基蛋氨酸钙组。结果表明添加不同形式蛋氨酸,能提高谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性,但是否意味着虾体代谢器官的损伤,目前尚无法下此结论,有待于今后进一步研究。

4 结论

在16.67%鱼粉替代水平饲料中添加0.041%羟基蛋氨酸钙可与鱼粉组取得相同生长性能。与晶体氨基酸相比,羟基蛋氨酸钙能更有效地提高罗氏沼虾的生长性能和饲料利用效率。

参考文献:

- [1] 周歧存,麦康森,刘永坚,等.动植物蛋白源替代鱼粉研究进展[J].水产学报,2005,29(3):404-410.
- [2] Sans A, Morales A E, Dela H M, et al. Sunflower meal compared with soybean meal as partial substitutes for fishmeal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: Protein and energy utilization[J]. Aquaculture, 1994, 128: 287-300.
- [3] Eusebio P S, Coloso R M. Nutritional evaluation of various plant protein sources in diets for Asian sea bass *Lates calcarifer*[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2000, 16:56-60.
- [4] Shimeno S, Masumoto T, Hujita T, et al. Alternative protein sources for fish meal in diets of young yellowtail [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1993, 59(1):137-143.
- [5] Elangovan A, Shim K F. The influence of replacing fish meal partially in the diet with soybean meal on growth and body composition of juvenile tin foil barb (*Barbodes altos*)[J]. Aquaculture, 2000, 189:133-144.
- [6] 艾庆辉,谢小军.南方鲇的营养学研究:饲料中大豆蛋白水平对生长的影响[J].水生生物学报,2002,26(1):57-75.
- [7] Samocha T M, Davis D A, Saoud I P, et al. Substitution of fish meal by co-extruded soybean poultry by-product meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. Aquaculture, 2004, 231:197-203.
- [8] Amaya E A, Davis D A, Rouse D B. Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under pond conditions[J].

- Aquaculture, 2007, 262:393-401.
- [9] Ogino C, Nanry H. Relationship between the nutritive value of dietary proteins for rainbow trout and the essential amino acids compositions[J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1980, 46:109-112.
- [10] Fox J M, Lawrence A L, Li C E. Dietary requirement for lysine by juvenile *Penaeus vannamei* using intact and free amino acid sources[J]. Aquaculture, 1995, 131:279-290.
- [11] Halver E J, Hardy R W. Fish nutrition[M]. Washington D C: Academic Press, 2002:162.
- [12] Nordrum S, Krogdahl R. Effects of methionine, cysteine and medium chain triglycerides on nutrient digestibility, absorption of amino acids along the intestinal tract and nutrient retention in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) under pair-feeding regime[J]. Aquaculture, 2000, 186: 341-360.
- [13] Rojas R, Ronnestad I. Assimilation of dietary free amino acids, peptides and protein in post-larval Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*)[J]. Marine Biology, 2003, 142:801-808.
- [14] Murthy R K, Varghese T J. Total sulphur amino acid requirement of the Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton)[J]. Aquaculture Nutrition, 1998, 4(1):61-65.
- [15] 牛化欣. 微胶囊氨基酸制备及其在饲料加工和虾养殖中的效果研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011.
- [16] 李博, 武书庚, 张海军, 等. 蛋氨酸羟基类似物相对生物学效应影响因素的研究进展[J]. 动物营养学报, 2009, 21:423-427.
- [17] 沈晓芝, 周洪琪, 华雪铭, 等. 羟基蛋氨酸钙对鲤生长性能和白肌营养组成的影响[J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(2):119-123.
- [18] AOAC. Official methods of analysis[M]. 15th ed. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists, 1995:117-130.
- [19] Rui M, Hou H P, Mai K S, et al. Comparative study on the effects of L-methionine or 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid as dietary methionine source on growth performance and anti-oxidative responses of turbot (*Psetta maxima*)[J]. Aquaculture, 2013, 12:136-143.
- [20] Browdy C L, Bharadwaj A S, Venero J A, et al. Supplementation with 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid (HMTBa) in low fish meal diets for the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. Aquaculture Nutrition, 2012, 18:432-440.
- [21] Forster I P, Dominy W G. Efficacy of three methionine sources in diets for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2006, 37:474-480.
- [22] Boonyoung S, Haga Y, Satoh S. Preliminary study on effects of methionine hydroxy analog and taurine supplementation in a soy protein concentrate-based diet on the biological performance and amino acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum))[J]. Aquaculture Research, 2013, 44(9):1339-1347.
- [23] Cheng Z J, Hardy R W, Blair M. Effects of supplementing methionine hydroxy analogue in soybean meal and distiller's dried grain-based diets on the performance and nutrient retention of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*(Walbaum))[J]. Aquaculture Research, 2003, 34:1303-1310.
- [24] Robison E H, Allen J, Poe W. Utilization of dietary sulfur compounds by fingerling channel catfish: L-methionine, DL-methionine, methionine hydroxy analogue, taurine and inorganic sulfate[J]. The Journal of Nutrition, 1978, 108:19-32.
- [25] Poston C H A. Response of rainbow trout to source and level of supplemental dietary methionine[J]. Comparative Biochemistry and Physiology: Part A Physiology, 1986, 83:739-744.
- [26] 魏凯, 孙龙生, 安振华, 等. 虾类对晶体氨基酸或微囊氨基酸利用效果的研究进展[J]. 动物营养学报, 2012, 24(10):1871-1877.
- [27] 姜洁凌, 贺建华. 蛋氨酸羟基类似物的研究进展[J]. 广东饲料, 2005, 14:24-26.
- [28] Vazquez-Anono M, Cassidy T, McCullough P, et al. Effects of alimet on nutrient digestibility, bacterial protein synthesis, and ruminal disappearance during continuous culture[J]. Journal of Dairy Science, 2001, 84:159-166.
- [29] Zhou Q C, Wu Z H, Tan B P, et al. Optimal dietary methionine requirement for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. Aquaculture, 2006, 258:551-557.
- [30] 赵兰江, 赵冬. 尿酸代谢异常与甘油三酯代谢异常的关系[J]. 中华流行病学杂志, 2006, 27:362-365.
- [31] Ruchamit T T, Masumoto T, Hosokawa H, et al. Quantitative methionine requirement of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*)[J]. Aquaculture, 1997, 150:113-122.
- [32] 马志英, 朱晓鸣, 解绶后, 等. 异育银鲫幼鱼对饲料苯丙氨酸需求的研究[J]. 水生生物学报, 2010, 4(5): 1012-1021.
- [33] 冷向军, 田娟, 陈丙爱, 等. 罗非鱼对晶体蛋氨酸、包膜蛋氨酸利用的比较研究[J]. 水生生物学报, 2013,

- 37(2):235-242.
- [34] 傅伟龙, 江青艳, 高萍. 动物生理学[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001:83.
- [35] 迟淑艳, 谭北平, 董晓慧, 等. 微胶囊蛋氨酸或晶体蛋氨酸对军曹鱼幼鱼相关酶活性的影响[J]. 中国水产科学, 2011, 18(1):110-118.

Effects of Crystalline Methionine and 2-hydroxy-4-(methylthio) Butanoic Acid on Growth Performance and Protein Metabolism of Juvenile Giant Freshwater Prawn, *Macrobrachium rosenbergii*

LIANG Xiong-pei, ZHOU Qi-cun*, LI Min, YANG Qin, Zacharia Cassian Elmada
(School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: This experiment is conducted to study the effects of L-Methionine (L-Met) or Methionine hydroxy analogue calcium (MHA-Ca) on growth performance, plasma biochemical indices and protein metabolism of juvenile giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). A fish meal diet was included as a control. 2×3 factorial arrangement with two methionine resources (L-Met and MHA-Ca) and three fish meal replacement levels (16.67%, 33.33% and 50.00%) was used. L-Met and MHA-Ca were supplemented respectively to the experimental diets in order to match the methionine profile of the control diet. Each diet was fed to juvenile giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) (average initial weight (0.29±0.04) g) for 10 weeks. The results are presented as follows: At the level of 16.67% fish meal replacement, there is no significant difference between MHA-Ca supplemental diet and basal diet in prawns final weight, so are among weight gain, special growth rate and protein efficiency ratio. For the same level of fish meal replacement, prawns fed with MHA-Ca has the significantly higher weight gain, special growth rate and protein efficiency ratio than prawns with fed L-Met ($P<0.05$). The serum total protein content is significantly influenced by L-Met and MHA-Ca among all experimental diets ($P<0.05$). Prawns fed with the basal diet has the lower aspartate aminotransferase and glutamic-oxalacetic transaminase activity than prawns fed with MHA-Ca or L-Met ($P<0.05$). Given the same fish meal replacement level, prawns fed with MHA-Ca has lower aspartate aminotransferase and glutamic-oxalacetic transaminase activity than prawns fed with L-Met. In conclusion. Due to the low release rate and the function of sustained-release, MHA-Ca can more effectively improve the growth performance, feed utilization and the synthesis of body proteins than L-Met in juvenile giant freshwater prawn.

Key words: *Macrobrachium rosenbergii*; crystalline methionine; 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid; growth; hematological characteristics; protein metabol

(责任编辑 史小丽)