

鸡肉粉替代鱼粉饲料添加明胶、淀粉包被的氨基酸对凡纳滨对虾生长性能的影响

易 魁 陈 庭 孙云章 宋 凯 叶继丹*

集美大学水产学院 / 厦门市饲料检测与安全评价重点实验室, 福建厦门 361021

摘要 将凡纳滨对虾(初重为 0.3 ± 0.01 g)随机分配到 24 个水族箱(150 L)中,每箱 30 尾,3 个水族箱为 1 个试验处理。配制 8 组试验饲料,即鱼粉组(Diet1)、鸡肉粉组(Diet2)、鸡肉粉+EAA 组(Diet3)、鸡肉粉+NEAA+EAA 组(Diet4)、鸡肉粉+明胶包被 EAA 组(Diet5)、鸡肉粉+明胶包被 NEAA+EAA 组(Diet6)、鸡肉粉+淀粉包被 EAA 组(Diet7)、鸡肉粉+淀粉包被 NEAA+EAA 组(Diet8)。每个处理组对虾饲喂 1 组试验料,每天投喂 3 次,每次至饱食,试验期为 8 周。结果表明,与鸡肉粉组相比,饲料添加 CAA 显著提高了凡纳滨对虾的增重率和饲料效率;添加包被氨基酸饲料组的生长性能高于添加未包被氨基酸饲料组;与明胶包被 EAA 组相比,淀粉包被 EAA 组提高了凡纳滨对虾的生长性能;添加包被 EAA 比添加包被 EAA+NEAA 对凡纳滨对虾有更好的生长效果。

关键词 凡纳滨对虾;鱼粉替代;包被氨基酸;生长性能

鱼粉是水产饲料中最常用的蛋白源之一,因其营养价值与价格高,供应有限,寻找合适的鱼粉替代物成为水产饲料研究领域的热点。在鱼粉替代物应用开发实践中,已有不少报道指出,在部分或全部替代鱼粉的饲料中补充晶体必需氨基酸(Essential amino acids, EAA)可有效促进水产动物生长,提高饲料效率^[1-5]。然而,在饲料中直接添加晶体 EAA 并没有起到明显的生长促进作用^[6-9]。目前有 2 个方面的解释,一是在喂食过程中,饲料中添加的晶体 EAA 产生部分溶失,虾类因“抱啃”行为在进食过程中会造成更为严重的晶体氨基酸溶失;二是饲料中添加的晶体 EAA 和饲料中蛋白结合态氨基酸吸收不同步^[10]。采用包被的方式被认为是一个解决晶体氨基酸利用效率不佳的办法,并得到一些试验的支持^[11-12]。以往鱼粉替代研究中,通常只考虑少数几种 EAA,如赖氨酸、蛋氨酸的丰缺及其利用效果问题,而很少考虑饲料中所有氨基酸的平衡性问题。本试验通过

在鸡肉粉完全替代鱼粉的饲料中分别添加用不同包被壁材包被 EAA 和非必需氨基酸(Nonessential amino acids, NEAA)对凡纳滨对虾生长性能的影响,为开发凡纳滨对虾低鱼粉饲料提供依据。

1 材料与方法

1) 试验饲料。本试验以鱼粉、鸡肉粉、豆粕、虾粉为蛋白源,设计 8 个不同试验饲料组,分别为鱼粉组(Diet 1)、鸡肉粉组(Diet 2)、鸡肉粉+晶体 EAA+NEAA 组(Diet 3)、鸡肉粉+晶体 EAA 组(Diet 4)、鸡肉粉+明胶包被晶体 EAA+NEAA 组(Diet 5)、鸡肉粉+明胶包被晶体 EAA 组(Diet 6)、鸡肉粉+淀粉包被晶体 EAA+NEAA 组(Diet 7)和鸡肉粉+淀粉包被晶体 EAA 组(Diet 8),饲料配方如表 1 所示。

所有原料粉碎,过 80 目筛,混合均匀,制成 1.5 mm 颗粒饲料,风干后 -20°C 保存,各试验组饲料氨基酸含量如表 2 所示。

收稿日期:2017-12-22

基金项目:国家自然科学基金(31772861, 31372546);国家公益性行业(农业)专项(201303053)

* 通讯作者

易 魁,男,1993 年生,硕士。

表 1 试验基础配方及营养组成

%

项目	Diet 1	Diet 2	Diet 3	Diet 4	Diet 5	Diet 6	Diet 7	Diet 8
原料								
鱼粉	38.00	0	0	0	0	0	0	0
豆粕	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
虾粉	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
鸡肉粉	0	39.70	39.7	39.7	39.7	39.70	39.7	39.70
玉米淀粉	18.66	18.66	18.66	18.66	18.66	18.66	17.5	17.01
微晶纤维素	1.45	3.29	2.06	1.65	1.88	1.39	1.99	1.65
鱼油	2.17	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
豆油	2.17	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
卵磷脂	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
氯化胆碱	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
胆固醇	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
多种维生素	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
多种矿物质	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
磷酸二氢钙	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
海藻酸钠	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
维生素 C	0.20	0.20	0.2	0.2	0.2	0.20	0.2	0.20
预糊化淀粉	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
晶体氨基酸	0	0	1.23	1.64	0	0	0	0
明胶包被氨基酸	0	0	0	0	1.41	1.90	0	0
淀粉包被氨基酸	0	0	0	0	0	0	2.46	3.29
营养水平								
干物质	91.15	91.07	91.37	91.76	90.62	91.38	90.89	91.58
粗蛋白	40.32	40.25	40.41	40.66	40.62	40.68	40.53	40.55
粗脂肪	7.57	7.69	7.93	7.69	7.79	7.76	7.82	7.75
粗灰分	7.90	7.69	7.24	7.56	7.76	7.73	7.64	7.59

表 2 试验饲料氨基酸含量

%

氨基酸 AA	Diet 1	Die 2	Diet 3	Diet 4	Diet 5	Diet 6	Diet 7	Diet 8
EAA								
苏氨酸	1.43	1.31	1.45	1.49	1.44	1.43	1.39	1.40
缬氨酸	1.58	1.46	1.61	1.64	1.55	1.58	1.58	1.56
蛋氨酸	1.00	0.71	1.02	0.95	0.95	0.95	0.93	1.01
异亮氨酸	1.42	1.25	1.37	1.43	1.37	1.39	1.35	1.38
亮氨酸	2.60	2.44	2.63	2.57	2.53	2.50	2.53	2.49
苯丙氨酸 + 酪氨酸	2.72	2.74	2.70	2.66	2.61	2.60	2.66	2.63
组氨酸	0.98	0.72	0.92	0.94	0.91	0.90	0.92	0.93
赖氨酸	2.73	2.38	2.73	2.73	2.78	2.75	2.72	2.78
精氨酸	2.09	2.31	2.33	2.35	2.34	2.36	2.37	2.36
色氨酸	0.30	0.31	0.35	0.29	0.32	0.31	0.34	0.36
NEAA								
天冬氨酸	3.2	3.03	2.97	3.31	2.91	3.25	3.00	3.20
丝氨酸	1.51	1.62	1.61	1.59	1.55	1.56	1.60	1.61
谷氨酸	4.88	4.9	4.94	4.92	4.86	4.87	4.92	4.92
脯氨酸	1.18	1.76	1.74	1.77	1.68	1.73	1.71	1.74
甘氨酸	2.11	3.23	3.15	3.24	3.18	3.22	3.09	3.15
丙氨酸	1.85	2.21	2.17	2.03	2.16	2.13	2.26	2.22
胱氨酸	0.33	0.34	0.3	0.35	0.24	0.33	0.29	0.33
酪氨酸	1.17	1.22	1.15	1.19	1.11	1.11	1.19	1.19
牛磺酸	0.25	0.11	0.08	0.27	0.14	0.20	0.09	0.22
EAA/NEAA	50/50	46/54	49/51	48/52	49/51	48/52	49/51	48/52

2)包被氨基酸的制作。明胶包被氨基酸的制作^[13](明胶:晶体氨基酸=3:20):将明胶加入到蒸馏水中彭润 30 min,加热到 55 ℃,在高速搅拌下加入晶体氨基酸混合物,直至形成浆状物,再把浆状物加入到 40~45 ℃预热的的大豆油中,继续搅拌使其形成均匀分散的颗粒,冷却至 10~15 ℃,形成明胶包膜,再加入 20%戊二醛溶液,高速搅拌 2 h 使明胶壁膜固化完成,倒入丙酮溶液,静置,抽滤上清液,丙酮溶液洗涤 2 次,过滤,干燥得到粉末状明胶包被氨基酸,4 ℃保存备用。淀粉包被氨基酸的制作^[14]:将淀粉与晶体氨基酸混合物按 1:1 比例混合均匀,加水搅拌成糊状,然后放入 95 ℃恒温水浴锅加热搅拌 30 min,将所得物质烘箱中 40 ℃干燥 24 h,干燥后碾碎,过 0.250 mm 筛孔 4 ℃保存。

3)试验用虾与饲养管理。凡纳滨对虾幼虾(0.3 ± 0.01 g)随机分配到 24 个水族箱内(150 L),每个水族箱 30 尾,将 24 个水族箱随机分成 8 组,每组 3 个重复。每天投喂 3 次,喂食 1 h 后用虹吸法吸去粪便,收集剩余饲料。残料风干后,称重记录。养殖期间,持续水体充气,水温在 26~30 ℃。

4)样品采集。养殖试验结束后,按箱称量虾活体重,然后放回试验箱内,24 h 后依次对每箱虾投喂对应的饲料,30 min 后随机从每箱取 10 尾虾,用 1 mL 注射器从心脏取血,采血前用预冷抗凝剂(50 mmol 柠檬酸钠和 10 mmol EDTA·Na₂ 与 1 L 蒸馏水混合均匀)润湿。全血以 4 000 r/min 离心 10 min,收集血浆,-80 ℃保存待测。各箱剩余对虾收集留作全虾样本,-20 ℃保存待分析。

5)测定指标与方法。

①氨基酸的水中溶失率的测定。取 2 g 待测样品于 100 mL 蒸馏水中摇匀后静置 5 min(10、20、40 min),过滤,滤液以 4 000 r/min 的速率离心 10 min,取上清液用凯氏定氮仪测定。

②饲料氨基酸的测定。取 0.1 g 风干饲料样品于 6 mol/L HCl 真空 110 ℃水解 22 h,过滤(0.45 μm 滤膜),真空抽干加入 1 mL 0.02 mol/L HCl,用氨基酸自动分析仪(日立 L-8900)测定氨基酸含量。测定色氨酸:4 mol/L NaOH 水解。测定含硫氨基酸:先用过甲酸(88% HCOOH:30% H₂O₂=9:1)氧化,再用 6 mol/L HCl 水解^[15]。

③饲料和凡纳滨对虾体成分的测定。饲料和全虾中水分采用 105 ℃烘干恒定法测定,粗蛋白采用

凯氏定氮法测定,粗脂肪采用索氏抽提法测定,粗灰分采用 550 ℃灼烧法测定。

④血浆游离氨基酸的测定。按 3:1 的体积比混合血浆样品与 4%磺基水杨酸,经超声波匀质后离心(13 000 r/min),取上清液过滤(0.45 μm 滤膜),滤液用氨基酸自动分析仪(日立 L-8900)测定氨基酸含量^[16]。

⑤计算公式。

增重率(WG,%)=(终末均重-初始均重)/初均重 × 100%;

饲料系数(FCR)=每尾虾的平均摄食总量/(终末均重-初始均重);

成活率(SR,%)=试验结束虾尾数/试验开始虾尾数 × 100%。

⑥数据统计分析。试验数据用 SPSS 17.0 进行单因素方差分析,以 P<0.05 为差异显著。

2 结果与分析

1)包被氨基酸的水中溶失率。由表 3 可知,晶体氨基酸经明胶、淀粉包被处理后,溶失率都显著降低(P<0.05)。5 min 时,明胶包被氨基酸显著低于淀粉包被氨基酸(P<0.05),≥10 min 后,明胶、淀粉包被氨基酸的溶失率差异性不显著(P>0.05)。

表 3 晶体、包被氨基酸的水中溶失率 %

包被形式	5 min	10 min	20 min	40 min
晶体氨基酸	73.5 ± 4.6a			
明胶包被氨基酸	19.1 ± 1.0c	34.5 ± 2.9a	43.3 ± 1.9a	59.3 ± 1.0a
淀粉包被氨基酸	24.8 ± 0.5b	34.6 ± 1.8a	46.6 ± 2.8a	60.4 ± 0.8a

注:同列数字标注的不同小写字母表示差异显著(P<0.05),相同小写字母表示差异不显著(P>0.05),下同。

2)凡纳滨对虾的生长。由表 4 可见,淀粉包被 EAA 组凡纳滨对虾与鱼粉组生长性能差异不显著(P>0.05),其余各试验组均显著低于鱼粉组(P<0.05)。与鸡肉粉组相比,直接添加晶体氨基酸均显著提高对虾的增重率(P<0.05),降低饲料系数(P<0.05)。晶体氨基酸经过包被处理后对虾生长和饲料效率得到进一步改善(P<0.05),但是明胶或淀粉包被 EAA 的饲喂效果优于同时包被 EAA+NEAA 的效果(P<0.05)。淀粉包被 EAA 组对虾生长性能明显优于明胶包被 EAA 组(P<0.05)。

3)凡纳滨对虾的体成分。由表 5 可见,各试验组虾体成分的水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分均无显著性差异。

4) 血浆氨基酸变化。由表 6 可见, 摄食饲料 30 min 后, 与鱼粉组和鸡肉粉组相比, CAA 添加组和明胶、淀粉包被组的血浆 EAA 和 NEAA 含量都有一定程度的升高, 血浆总游离氨基酸含量显著增加 ($P < 0.05$)。其中, CAA 添加组血浆总游离氨基酸含量最

高 ($P < 0.05$), 明胶和淀粉包被组次之, 且明胶包被组和淀粉包被组差异不显著 ($P > 0.05$)。

3 讨 论

本试验结果表明, 通过采用包被方式, 饲料中

表 4 不同试验饲料对凡纳滨对虾生长性能的影响

处理组	初均重 /g	末均重 /g	增重率 /%	饲料系数	存活率 /%
鱼粉组	0.30 ± 0.00	2.99 ± 0.04a	902.96 ± 9.84a	1.35 ± 0.02e	75.67 ± 5.13
鸡肉粉组	0.30 ± 0.00	2.50 ± 0.03e	735.02 ± 7.10e	1.55 ± 0.01b	71.00 ± 3.46
EAA 组	0.31 ± 0.01	2.63 ± 0.03d	759.04 ± 12.93d	1.48 ± 0.02c	74.33 ± 8.08
EAA+NEAA 组	0.30 ± 0.00	2.60 ± 0.02d	774.24 ± 9.38d	1.48 ± 0.03c	72.33 ± 4.04
明胶包被 EAA 组	0.30 ± 0.01	2.86 ± 0.03b	846.97 ± 23.20b	1.38 ± 0.02e	75.67 ± 5.13
明胶包被 EAA+NEAA 组	0.30 ± 0.01	2.70 ± 0.03c	809.13 ± 10.03c	1.46 ± 0.02cd	71.33 ± 5.13
淀粉包被 EAA 组	0.30 ± 0.01	2.96 ± 0.02a	886.03 ± 13.44a	1.36 ± 0.01e	74.58 ± 5.03
淀粉包被 EAA+NEAA 组	0.30 ± 0.00	2.76 ± 0.03c	823.77 ± 13.59bc	1.43 ± 0.01d	73.33 ± 3.51

表 5 不同试验饲料对凡纳滨对虾体成分的影响 (湿重基础)

处理组	水分	粗蛋白	粗脂肪	灰分
鱼粉组	78.02 ± 0.65	17.37 ± 0.12	0.96 ± 0.04	3.22 ± 0.03
鸡肉粉组	77.74 ± 0.17	17.54 ± 0.16	1.01 ± 0.08	3.25 ± 0.02
EAA 组	77.76 ± 0.32	17.62 ± 0.37	1.01 ± 0.04	3.25 ± 0.02
EAA+NEAA 组	77.87 ± 0.46	17.65 ± 0.32	1.04 ± 0.04	3.27 ± 0.03
明胶包被 EAA 组	77.40 ± 0.62	17.59 ± 0.12	1.09 ± 0.04	3.25 ± 0.03
明胶包被 EAA+NEAA 组	77.64 ± 0.12	17.62 ± 0.29	1.07 ± 0.07	3.25 ± 0.02
淀粉包被 EAA 组	77.38 ± 0.36	17.63 ± 0.36	1.05 ± 0.07	3.27 ± 0.02
淀粉包被 EAA+NEAA 组	77.57 ± 0.40	17.51 ± 0.19	1.08 ± 0.10	3.26 ± 0.03

表 6 不同试验饲料对凡纳滨对虾血浆游离氨基酸含量的影响

氨基酸	Diet1	Diet2	Diet3	Diet4	Diet5	Diet6	Diet7	Diet8
EAA								
苏氨酸	0.62 ± 0.04bc	0.58 ± 0.11c	1.39 ± 0.03a	1.26 ± 0.06a	0.77 ± 0.09bc	0.76 ± 0.06bc	0.79 ± 0.02b	0.75 ± 0.07bc
缬氨酸	0.31 ± 0.12d	0.47 ± 0.06e	0.94 ± 0.13ab	1.01 ± 0.06a	0.71 ± 0.07b	0.77 ± 0.13b	0.76 ± 0.06b	0.82 ± 0.08b
蛋氨酸	0.82 ± 0.05bc	0.64 ± 0.05c	1.44 ± 0.06a	1.47 ± 0.11a	0.89 ± 0.06b	0.84 ± 0.08b	0.84 ± 0.11b	0.79 ± 0.11bc
异亮氨酸	3.65 ± 0.17e	3.57 ± 0.11e	5.41 ± 0.12b	5.81 ± 0.07a	4.48 ± 0.24cd	4.19 ± 0.21d	4.68 ± 0.07cd	4.63 ± 0.07cd
亮氨酸	1.06 ± 0.06b	0.65 ± 0.09c	1.44 ± 0.08a	1.50 ± 0.09a	0.76 ± 0.04c	0.69 ± 0.06c	0.81 ± 0.08c	0.77 ± 0.07c
苯丙氨酸	0.63 ± 0.05c	0.43 ± 0.09d	1.70 ± 0.12a	1.65 ± 0.09a	0.76 ± 0.04bc	0.66 ± 0.08bc	0.85 ± 0.07b	0.78 ± 0.03bc
组氨酸	1.49 ± 0.12e	1.44 ± 0.10e	2.35 ± 0.06b	2.71 ± 0.29a	2.03 ± 0.05bcd	1.99 ± 0.11cd	2.05 ± 0.35bcd	1.99 ± 0.16bcd
赖氨酸	3.56 ± 0.23c	2.60 ± 0.27d	5.91 ± 0.38a	6.11 ± 0.45a	4.37 ± 0.08b	4.21 ± 0.13b	4.28 ± 0.08b	4.22 ± 0.10b
精氨酸	3.78 ± 0.11	3.79 ± 0.18	3.80 ± 0.25	3.98 ± 0.11	3.92 ± 0.06	3.93 ± 0.01	3.96 ± 0.06	3.87 ± 0.10
色氨酸	0.96 ± 0.04b	0.71 ± 0.05c	1.89 ± 0.03a	1.90 ± 0.09a	1.03 ± 0.01b	1.01 ± 0.06b	0.99 ± 0.04b	1.01 ± 0.03b
NEAA								
天冬氨酸	0.29 ± 0.06d	0.27 ± 0.07d	0.32 ± 0.04d	1.77 ± 0.07a	0.32 ± 0.02d	0.52 ± 0.09c	0.31 ± 0.04d	0.70 ± 0.06b
丝氨酸	0.56 ± 0.03b	1.51 ± 0.34a	1.29 ± 0.35a	1.49 ± 0.14a	1.28 ± 0.12a	1.19 ± 0.10a	1.40 ± 0.13a	1.61 ± 0.08a
谷氨酸	2.75 ± 0.18b	3.75 ± 0.21a	3.62 ± 0.34a	3.85 ± 0.10a	3.68 ± 0.11a	3.77 ± 0.09a	3.73 ± 0.22a	3.66 ± 0.09a
脯氨酸	7.88 ± 0.12	8.54 ± 1.18	8.80 ± 0.62	9.17 ± 0.81	8.76 ± 0.26	8.72 ± 0.15	8.65 ± 0.19	8.57 ± 0.20
甘氨酸	0.34 ± 0.07b	0.66 ± 0.11a	0.63 ± 0.10a	0.76 ± 0.08a	0.57 ± 0.04a	0.71 ± 0.05a	0.77 ± 0.10a	0.74 ± 0.02a
丙氨酸	9.55 ± 0.43b	13.19 ± 0.21a	12.63 ± 0.27a	12.48 ± 0.46a	12.55 ± 0.37a	12.85 ± 0.33a	12.76 ± 0.39a	12.92 ± 0.22a
胱氨酸	2.65 ± 0.24b	3.53 ± 0.21a	3.56 ± 0.35a	3.55 ± 0.23a	3.45 ± 0.08a	3.54 ± 0.08a	3.55 ± 0.07a	3.61 ± 0.07a
酪氨酸	0.50 ± 0.07cd	0.49 ± 0.09d	0.44 ± 0.06d	1.15 ± 0.12a	0.41 ± 0.02d	0.48 ± 0.02cd	0.42 ± 0.03d	0.68 ± 0.03b
牛磺酸	1.76 ± 0.08b	1.43 ± 0.12c	1.38 ± 0.18c	2.47 ± 0.09a	1.35 ± 0.05c	1.78 ± 0.10b	1.41 ± 0.15c	1.91 ± 0.04b
总游离氨基酸	43.14 ± 0.97e	48.43 ± 1.13d	58.95 ± 1.15b	64.11 ± 1.27a	52.11 ± 0.56c	52.51 ± 1.14c	53.03 ± 0.64c	53.98 ± 0.61c
EAA/NEAA	39/61	31/69	45/55	43/57	38/62	36/64	38/62	37/63

晶体氨基酸的水中溶失率明显降低,不同包被壁材降低晶体氨基酸水中溶失率也存在一定差异。鸡肉粉组凡纳滨对虾增重率显著低于鱼粉组,这是因为鸡肉粉缺少鱼粉所富含的几种 EAA,所以鸡肉粉组饲料中氨基酸的平衡性不如鱼粉组。虽然在鸡肉粉组中添加晶体氨基酸能够促进凡纳滨对虾生长,但其增重率仍无法达到鱼粉组的水平,主要原因可能是晶体氨基酸与蛋白质降解的氨基酸通过凡纳滨对虾肠道的时间和部位不一致造成^[17]。有研究表明,采用耐消化的包被壁材时,包被的氨基酸在消化道的释放速率和蛋白质态结构氨基酸的释放速率相当。本试验中 2 种氨基酸包被处理比不进行氨基酸包被处理显著提高了增重率和饲料效率,说明采用包被处理方式有助于提高晶体氨基酸的利用效率,这与以往的研究结果一致^[18-19]。本试验中,虽然明胶包被 EAA+NEAA 组凡纳滨对虾生长与淀粉包被 EAA+NEAA 组的差异不明显,但淀粉包被 EAA 组生长性能优于明胶包被 EAA 组,说明不同包被壁材影响晶体氨基酸的吸收利用,其原因在于不同包被壁材在凡纳滨对虾肠道内缓释氨基酸的效果有所不同^[20]。由本试验结果可见,凡纳滨对虾生长性能好坏依次为鱼粉组、包被 EAA 组、包被 EAA+NEAA、鸡肉粉组,其饲料 EAA/NEAA 比值依次为 50/50、49/51、48/52、46/54,可见饲料 EAA/NEAA 比例与生长性能关系密切。本试验中,同一包被处理条件下鸡肉粉组中单独添加 EAA 与同时添加 EAA 和 NEAA 对凡纳滨对虾的饲喂效果也存在明显差异,这与饲料中 EAA 和 NEAA 的比例有关^[21]。尽管饲料中添加 NEAA,但其饲料 EAA/NEAA 比值反而低于仅添加 EAA 饲料 EAA/NEAA 比值,说明前者氨基酸的平衡性反而不如后者,因而出现前者生长性能不如后者的情况。

摄食晶体氨基酸的鱼类血浆氨基酸浓度比摄食完整蛋白的鱼类能更快达到峰值^[22]。这与本试验结果一致,在凡纳滨对虾摄食了直接添加晶体氨基酸的饲料 30 min 后,其血浆中总氨基酸浓度明显高于其他试验组。晶体氨基酸经包被处理后凡纳滨对虾血浆总氨基酸浓度比未经包被处理晶体氨基酸的饲料组低,但又明显高于完整蛋白的鱼粉组和鸡肉粉组,这说明通过包被壁材的包被处理,晶体氨基酸在消化道内实现一定程度的缓释,从而推迟了氨基酸入血时间和达到氨基酸浓度峰值的时间^[23-24]。试

验中的 2 种包被处理组血浆中不同氨基酸浓度也存在明显差异,说明 2 种包被壁材的缓释效果不同,这与邓明君等^[20]的研究结果一致。

4 结 论

在鸡肉粉完全替代鱼粉的凡纳滨对虾饲料中,添加 EAA 或 EAA+NEAA 都能显著促进凡纳滨对虾的生长,但效果有限。用明胶和淀粉作为壁材对晶体氨基酸进行包被处理能更加有效地改善凡纳滨对虾的生长性能,提高饲料效率。淀粉作为氨基酸的包被壁材要优于明胶。

参 考 文 献

- [1] ZARATE D D, LOVELL R T. Free lysine(1-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.
- [2] 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): 297-307.
- [3] 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.
- [4] EI-DAHAR A A, EI-SHAZLY K. Effect of essential amino acids (methionine and lysine) and treated oil in fish diet on growth performance and feed utilization of Nile tilapia, *Tilapia nilotica* (L.) [J]. *Aquaculture Research*, 2010, 24(6): 731-739.
- [5] WILLIAMS K, BARLOW C, RODGERS L. Efficacy of crystalline and protein-bound amino acids for amino acid enrichment of diets for barramundi/Asian seabass (*Lates calcarifer* Bloch) [J]. *Aquaculture Research*, 2015, 32(s1): 415-429.
- [6] DESHIMARU O. Studies on a purified diet for prawn, 4: evaluation of protein, free amino acids and their mixture as nitrogen source [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1975, 41(1): 101-103.
- [7] NOSE T, ARAI S, LEE D L, et al. A note on amino acids essential for growth of young carp [J]. *Nihon suisan gakkai shi*, 1974, 40(9): 903-908.
- [8] LIU 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): 35-40.
- [9] 肖伟伟, 冯琳, 刘扬, 等. 日粮中等硫添加 DL-蛋氨酸和蛋氨酸羧基类似物游离酸在幼鲤上饲喂效果的比较研究 [J]. *动物营养学报*, 2010, 22(4): 1122-1130.

岩原鲤鱼苗室外池塘培育试验

李 锐^{1,2,4} 任 旺³ 文正勇^{1,2} 袁登越^{1,2} 覃川杰^{1,2} 陶永明⁴

1.内江师范学院,四川内江 641100;

2.长江上游珍稀特有鱼类资源保护与利用四川省重点实验室,四川内江 641100;

3.重庆市三峡生态渔业发展有限公司,重庆 400000;

4.成都渔缘渔业科技有限公司,四川郫县 611700

摘要 采用单养模式,连续 2 年进行室外池塘岩原鲤鱼苗培育生产试验,取得了良好的养殖效果。试验结果表明,鱼苗培育以每 667 m² 放养水花 2 万~4 万尾效果较好,30 d 左右可养成 3~4 cm 规格,其成活率可达 86%。

关键词 岩原鲤;鱼苗培育;池塘;放养密度;成活率

岩原鲤(*Procypris rabaudi*)俗称岩鲤、黑鲤、岩鲤鲃,属鲤科,原鲤属,是长江中上游特有名贵经济鱼类。主要分布于长江上游和中上游的干支流内,在《中国濒危动物红皮书》中被列为我国易危鱼类^[1]。它具有体腔小,味鲜美、营养价值高等优

点,是人们所喜爱的经济鱼类,重庆、四川等省市均相继开展其养殖技术研究^[2-3]。本试验紧密结合实践生产,通过室外土池单养模式,连续 2 年进行了岩原鲤鱼苗培育的相关技术研究,现将试验成果总结如下。

收稿日期:2017-12-22

基金项目:四川省教育厅一般项目(17ZB0224);四川省科技厅应用基础项目(2017JY0161)

李 锐,男,1980 年生,硕士,讲师。

[10] 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.

[11] CHEN H Y, LEU Y T, ROELANTS I. Effective supplementation of arginine in the diets of juvenile marine shrimp, *Penaeus monodon*[J]. Aquaculture, 1992, 108(1-2): 87-95.

[12] ALAM M S, TESHIMA S I, KOSHIO S, et al. Supplemental effects of coated methionine and/or lysine to soy protein isolate diet for juvenile kuruma shrimp, *Marsupenaeus japonicus*[J]. Aquaculture, 2005, 248(1-4): 13-19.

[13] 梁治齐.微胶囊技术及其应用[M].北京:中国轻工业出版社,1999.

[14] 胡友军,周安国,杨凤,等.饲料淀粉糊化的适宜加工工艺参数研究[J].饲料工业,2002,23(12):5-8.

[15] MENTE E, COUTTEAU P, HOULIHAN D, et al. Protein turnover, amino acid profile and amino acid flux in juvenile shrimp *Litopenaeus vannamei*: effects of dietary protein source [J]. The Journal of Experimental Biology, 2002, 205(20): 3107-3122.

[16] FINDLEY A M, STICKLE W B. Effects of salinity fluctuation on the hemolymph composition of the blue crab *Callinectes sapidus* [J]. Marine Biology, 1978, 46(1): 9-15.

[17] 麦康森,李爱杰,尹左芬.对虾对饲料蛋白质及氨基酸吸收利用的研究[J].海洋学报,1987,9(4):489-495.

[18] ALAM M S, TESHIMA S, YANIHARTO D, et al. Influence of

different dietary amino acid patterns on growth and body composition of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*[J]. Aquaculture, 2002, 210(1-4): 359-369.

[19] ALAM M S, TESHIMA S, YANIHARTO D, et al. Dietary amino acid profiles and growth performance in juvenile kuruma prawn *Marsupenaeus japonicus* [J]. Comparative Biochemistry & Physiology Part B Biochemistry & Molecular Biology, 2002, 133(3): 289-297.

[20] 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.

[21] 孙龙生,魏凯,安振华,等.水产动物理想蛋白质模式研究进展[J].动物营养学报,2011,23(9):1453-1458.

[22] GOYTORTUABORES E, CIVERACERECEDO R, ROCHAMEZA S, et al. Partial replacement of red crab (*Pleuroncodes planipes*) meal for fish meal in practical diets for the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Effects on growth and in vivo digestibility [J]. Aquaculture, 2006, 256(1-4): 414-422.

[23] 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.

[24] 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.