

## 饲料中补充晶体或微囊赖氨酸对草鱼生长和 血浆总游离氨基酸的影响

罗运仙<sup>1</sup>, 谢骏<sup>2</sup>, 吕利群<sup>1</sup>, 冷向军<sup>1\*</sup>, 李小勤<sup>1</sup>, 吴小凤<sup>1</sup>, 李忠铭<sup>1</sup>

(1. 上海海洋大学省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 广东 广州 510380)

**摘要:**为考察饲料中补充晶体或微囊赖氨酸对草鱼生长性能的影响, 配制了豆粕含量为23% (高豆粕组), 15% (低豆粕组) 的两种实用饲料, 在低豆粕饲料中补充晶体赖氨酸或微囊赖氨酸, 使赖氨酸达到与高豆粕组一致的水平, 共4个处理组, 即高豆粕组、低豆粕组、低豆粕+晶体赖氨酸(晶体赖氨酸组)、低豆粕+微囊赖氨酸(微囊赖氨酸组), 每处理设3个平行。饲养平均体重为(49.0 ± 2.0) g的草鱼8周。结果表明, 各组鱼体增重率分别为279.3%、239.7%、245.6%、277.5%, 饲料系数为1.62、1.88、1.85、1.62。与低豆粕组相比, 添加晶体赖氨酸对草鱼生长无改善( $P > 0.05$ ), 而添加微囊赖氨酸则提高草鱼增重率15.8% ( $P < 0.05$ ), 降低饲料系数0.24 ( $P < 0.05$ ), 在增重率与饲料系数方面达到与高豆粕组基本一致的水平 ( $P > 0.05$ )。对草鱼摄食上述4种饲料0、1、2、3、4、5 h后的血浆总游离氨基酸浓度测定结果表明, 添加微囊赖氨酸血浆总游离氨基酸的变化趋势与高豆粕组、低豆粕组一致, 即在饲后3 h达到高峰, 而添加晶体赖氨酸使血浆总游离氨基酸的吸收峰值提前。晶体赖氨酸经微囊化后, 其水中溶失率显著降低 ( $P < 0.05$ ), 仅相当于晶体赖氨酸的28.37%。上述结果提示, 在降低豆粕的饲料中添加晶体赖氨酸对草鱼的生长无改善作用, 而添加微囊赖氨酸则显著提高增重率, 降低饲料系数。

**关键词:**草鱼; 晶体赖氨酸; 微囊赖氨酸; 生长; 血浆总游离氨基酸

**中图分类号:** S 963.73<sup>+1</sup>

**文献标识码:** A

随着鱼粉、豆粕等优质动植物蛋白源供应的紧张和价格的上扬, 有关廉价植物蛋白源的研究和应用也逐渐增加, 与优质动植物蛋白源相比, 廉价植物蛋白源通常表现为某些必需氨基酸缺乏或不足, 如赖氨酸、蛋氨酸等<sup>[1]</sup>, 因而向饲料中添加合成氨基酸成为解决这一问题的有效途径。但是, 鱼类能否有效利用晶体氨基酸, 一直是鱼类营养与研究的热点与争议问题。通常认为, 鲢、鳙鱼类可以有效利用晶体氨基酸<sup>[2-3]</sup>, 如在低鱼粉饲料中添加0.4%~1.0%晶体赖氨酸, 可使虹鳟生长达到与高鱼粉对照组基本一致的水平<sup>[4]</sup>; 也有一些研究表明, 在鲤 (*Cyprinus carpio*)<sup>[5]</sup>、真鲷

(*Pagrus major*)<sup>[6]</sup>、斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*)<sup>[7]</sup>、高首鲟<sup>[8]</sup>等饲料中添加晶体氨基酸对鱼类的生长并无改善。

总体来看, 晶体氨基酸在水产饲料中的作用效果, 与水产动物种类<sup>[9-12]</sup>、饲料pH<sup>[13]</sup>、投饲频率<sup>[14]</sup>等因素有关, 特别是游离氨基酸与蛋白态氨基酸的吸收不同步<sup>[10-12]</sup>、氨基酸的水中溶失<sup>[11]</sup>有关。对晶体氨基酸进行缓释处理, 是改善和提高其利用率的有效途径。刘永坚等<sup>[15]</sup>实验中, 在实用饲料中补充结晶氨基酸, 草鱼生长性能并未改善, 但对氨基酸进行包膜处理后, 则提高了其利用性能, 改善了生长。在异育银鲫 (*Carassius*

收稿日期: 2009-07-18 修回日期: 2009-12-06

资助项目: 上海市重点学科建设项目 (Y1101); 现代农业产业技术体系建设专项基金 (nycytx-49); 上海市科委重点定向项目 (08390510200)

通讯作者: 冷向军. E-mail: xjleng@shou.edu.cn

*auratus gibelio*)<sup>[16]</sup>、鲤<sup>[17]</sup>上也有类似报道。

本试验以草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)为研究对象,在实用饲料基础上,降低豆粕用量,同时在饲料中补充限制性氨基酸——赖氨酸的晶体形式或微囊形式考察对鱼体生长性能和血浆总游离氨基酸、总蛋白及体成分的影响,为氨基酸在水产饲料中的合理应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验动物

试验草鱼购于上海海洋大学特种养殖场,用高豆粕对照组饲料暂养一周,选择体重为(49.0±2.0)g,体质健壮的鱼种360尾,随机分

到12口水泥试验池(3.0 m×2.5 m×1.2 m)中,每池放鱼30尾。

### 1.2 试验设计与试验饲料

以豆粕含量23%的饲料作为高豆粕对照组,在此基础上将豆粕含量降为15%,(相应增加菜粕、棉粕;菜粕:棉粕=1:1),作为低豆粕对照组;在此基础上,分别补充晶体或微囊赖氨酸,使赖氨酸水平达到与高豆粕组一致,各组蛋白水平保持基本一致。共4个处理组,每个处理组设3个平行,饲料配方组成见表1。

氨基酸产品由佛山市海纳川药业有限公司提供。晶体赖氨酸为Lys-HCl,赖氨酸有效含量为78%;微囊赖氨酸中赖氨酸的有效含量为39%。

表1 饲料配方及其营养组成

Tab.1 Ingredient and nutritional composition of diet

成分/含量 ingredients/content	高豆粕组 high soybean meal	低豆粕组 low soybean meal	晶体Lys组 crystalline lysine	微囊Lys组 microcapsuled lysine	%
鱼粉 fish meal	2	2	2	2	
豆粕 soybean meal	23	15	15	15	
棉粕 cottonseed meal	10	14.6	14.6	14.6	
菜粕 rapeseed meal	25	29.6	29.6	29.6	
次粉 wheat middling	25	25	25	25	
麸皮 wheat bran	10.3	9.1	9.01	8.92	
鱼油 fish oil	0.75	0.75	0.75	0.75	
豆油 soybean oil	0.75	0.75	0.75	0.75	
磷酸二氢钙 monocalcium Phosphate	2	2	2	2	
氯化胆碱 choline Chloride	0.5	0.5	0.5	0.5	
矿物质预混料 mineral premix	0.5	0.5	0.5	0.5	
维生素预混料 vitamin premix	0.2	0.2	0.2	0.2	
晶体赖氨酸 crystalline lysine			0.09		
微囊赖氨酸 microcapsuled lysine				0.18	
合计 total	100	100	100	100	
<b>营养成分 nutritional composition</b>					
水分 moisture	11.77	11.83	11.75	11.72	
粗蛋白 crude protein	28.67	28.59	28.54	28.58	
粗脂肪 crude fat	3.65	3.45	3.85	3.89	
粗灰分 crude ash	7.5	7.47	7.49	7.49	
赖氨酸 Lys	1.43	1.36	1.43	1.43	

注:维生素和微量元素在饲料中的添加量(mg/kg饲料):V<sub>A</sub>,6 000 IU;V<sub>D</sub>,2 000 IU;V<sub>E</sub>,50;V<sub>K</sub>,5;V<sub>B1</sub>,15;V<sub>B2</sub>,15;V<sub>B5</sub>,30;V<sub>B6</sub>,10;V<sub>B7</sub>,0.2;V<sub>B11</sub>,3;V<sub>B12</sub>,0.03;Inositol,100;Zn,80;Fe,150;Cu,4;Mn,20;I,0.4;Co,0.1;Se,0.1;Mg,100。

Notes: To contain vitamin and mineral in diet added as premix(mg/kg diet): V<sub>A</sub>,6 000 IU;V<sub>D</sub>,2 000 IU;V<sub>E</sub>,50;V<sub>K</sub>,5;V<sub>B1</sub>,15;V<sub>B2</sub>,15;V<sub>B5</sub>,30;V<sub>B6</sub>,10;V<sub>B7</sub>,0.2;V<sub>B11</sub>,3;V<sub>B12</sub>,0.03;Inositol,100;Zn,80;Fe,150;Cu,4;Mn,20;I,0.4;Co,0.1;Se,0.1;Mg,100。

### 1.3 饲养管理

试验在上海海洋大学特种水产养殖场内进行,养殖时间为56 d。池水深为80 cm,每日凌晨、中午进行充气,按“定时,定点,定量”的原则进行投喂,每天投喂3次,分别在8:30、12:30、16:30进行,投喂量为鱼体重3%~5%,各组保持

基本一致的投喂量。养殖期间水温为22~29℃,pH为(7.6±0.5),溶解氧为6.7~7.4 mg/L。

### 1.4 测定指标与方法

生长性能 试验开始与结束时称重,计算增重率;记录每天的投喂量,计算饲料系数。

增重率(%)=(末重-初重)/初重×100

饲料系数 = 饲料摄入量(g)/净增重(g)

成活率(%) = 末鱼尾数/初鱼尾数 × 100

**血浆总游离氨基酸** 养殖试验结束后,分别在投喂后 0、1、2、3、4、5 h,每池每时间段取鱼 4 尾,尾静脉取血,用 1% 肝素钠溶液作抗凝剂。血样置 1.5 mL 离心管中 4 000 r/min 离心 10 min 后,取上清液即血浆,于 -20 °C 保存待测。采用总氨基酸(T-AA)测试盒(购于南京建成生物工程研究所)测定血浆总游离氨基酸的含量。

**血浆总蛋白** 采样方法同上,采用考马斯亮兰蛋白测定试剂盒(购于南京建成生物工程研究所)测定血浆总蛋白含量。

**氨基酸水中溶失率** 氨基酸水中溶失率采用茚三酮法测定<sup>[18]</sup>:取蒸馏水 100 mL,加入 2.00 g 晶体或微囊氨基酸,摇匀后在 25 °C 水浴中静置 5 min,过滤取上清液,采用茚三酮法测定水中氨基酸。即取水溶提取液 0.5 mL,加 15% TCA 0.5 mL,摇匀,1 500 r/min 离心 15 min,取上清液 0.01 mL,加入 pH 5.5、0.2 mol/L 的醋酸盐缓冲液至 2 mL,茚三酮试剂(2 g 茚三酮溶解于 50 mL 乙二醇甲醚后,加 25 mL pH 5.5、0.2 mol/L 醋酸盐缓冲液,25 mL 去离子水,0.08 g SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O) 2 mL,于沸水中煮沸 30 min,冷至室温加 50% 乙醇 6 mL,以不加待测样品(以蒸馏水代替)的显色液为对照,用 721 型分光光度计于 570 nm 测

OD 值。

取烘至恒重的标准级 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 50 mg,加水定容至 100 mL,得 0.5 mg/mL 的 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 标准溶液,按一定梯度(0、50、100、150、200、250、300 μg/mL)取标准液与茚三酮显色,测 OD<sub>570nm</sub>,以 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的氮量为横坐标,OD<sub>570nm</sub> 为纵坐标,得 N-OD<sub>570nm</sub> 标准曲线。

根据样品 OD<sub>570nm</sub> 值在 N-OD<sub>570nm</sub> 标准曲线中查出相应 N 量,Lys-HCl 的氮含量 12.08%,按下述公式计算:

$$\text{赖氨酸水中溶失率}(\%) = \frac{N \times 8.28 \times \text{稀释倍数}}{\text{用茚三酮反应的提取液毫升数} \times \text{样品重量}(g)} \times 100$$

## 1.5 数据处理及分析

实验结果用平均数 ± 标准差表示,采用 SPSS 11.0 分析软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),对差异显著者进行 Duncan 氏多重检验, $P < 0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 晶体与微囊赖氨酸水中溶失率

测定晶体与微囊赖氨酸水中溶失率,结果表明(表 2),晶体赖氨酸在水中的溶失率为 69.82%,经微囊化后,其水中溶失率显著降低( $P < 0.05$ ),仅相当于晶体赖氨酸的 28.37%。

表 2 晶体、微囊赖氨酸的水中溶失率

Tab. 2 Leaching loss of crystalline and microcapsuled Lys

氨基酸\溶失率 amino acids\leaching loss	晶体 crystalline	微囊 microcapsuled
赖氨酸 Lys	69.82 ± 0.99 <sup>a</sup>	19.81 ± 0.86 <sup>b</sup>

注:同行上标小写字母不同表示两者之间有显著差异( $P < 0.05$ )。

Notes: Values in the same row with different letters are significant difference( $P < 0.05$ ).

### 2.2 补充晶体或微囊赖氨酸对草鱼生长性能的影响

经过 56 d 养殖,草鱼的生长性能见表 3。各组草鱼均表现出较好的生长性能,增重率为 239.7% ~ 279.3%,饲料系数为 1.62 ~ 1.88。在整个养殖期内,摄食高豆粕组饲料的草鱼具有最高的增重率(279.3%)和最低的饲料系数(1.62);摄食低豆粕组饲料的草鱼具有最低的增重率(239.7%)和最高的饲料系数(1.88)。与低豆粕组相比,添加晶体 Lys 对草鱼的生长性能并

无改善( $P > 0.05$ );添加微囊 Lys 则显著促进草鱼的生长,鱼体增重率提高 15.8%,饲料系数降低 0.24( $P < 0.05$ ),达到与高豆粕组一致的生长性能。

### 2.3 补充晶体或微囊赖氨酸对草鱼肌肉成分的影响

从表 4 可见,各组草鱼肌肉粗蛋白、粗脂肪、粗灰分、水分间并无显著差异( $P > 0.05$ ),与低豆粕组相比,添加微囊赖氨酸后其肌肉粗蛋白含量在数值上有所提高( $P > 0.05$ )。

表 3 添加晶体与微囊赖氨酸对草鱼生长的影响

Tab. 3 Effects of supplement crystalline and microcapsuled Lys on growth performance of grass carp

组别 group	平均初重(g) initial body weight	平均末重(g) final body weight	增重率(%) weight gain	饲料系数 feed coefficient	成活率/% survival rate
高豆粕组 high soybean meal	48.9 ± 0.2	185.6 ± 0.7 <sup>a</sup>	279.3 ± 1.1 <sup>a</sup>	1.62 ± 0.02 <sup>a</sup>	97.8 ± 2.2
低豆粕组 low soybean meal	49.0 ± 0.1	166.6 ± 1.7 <sup>b</sup>	239.7 ± 3.5 <sup>b</sup>	1.88 ± 0.05 <sup>b</sup>	92.2 ± 3.3
晶体赖氨酸组 crystalline Lys	49.0 ± 0.3	169.4 ± 2.8 <sup>b</sup>	245.6 ± 5.6 <sup>b</sup>	1.85 ± 0.04 <sup>b</sup>	94.4 ± 5.6
微囊赖氨酸组 microcapsuled Lys	49.0 ± 0.2	185.2 ± 2.9 <sup>a</sup>	277.5 ± 6.7 <sup>a</sup>	1.64 ± 0.04 <sup>a</sup>	97.8 ± 2.2
ANOVA 分析 P 值 ANOVA analyse P value	0.432	0.001	0.001	0.000	0.606

注:同列上标小写字母不同表示二者之间有显著差异( $P < 0.05$ )。

Notes: Values in the same array with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ ).

表 4 添加晶体或微囊赖氨酸对草鱼肌肉组成的影响

Tab. 4 Effects of supplemental crystalline or microcapsuled Lys on muscle composition of grass carp %

组别 group	水分 moisture	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude fat	粗灰分 crude ash
高豆粕组 high soybean meal	78.63 ± 0.24	18.07 ± 0.12	1.03 ± 0.07	1.23 ± 0.03
低豆粕组 low soybean meal	78.19 ± 0.20	17.82 ± 0.23	1.06 ± 0.04	1.28 ± 0.04
晶体赖氨酸组 crystalline Lys	78.44 ± 0.08	17.95 ± 0.11	1.05 ± 0.08	1.27 ± 0.03
微囊赖氨酸组 microcapsuled Lys	78.35 ± 0.11	18.19 ± 0.15	1.09 ± 0.07	1.29 ± 0.03
ANOVA 分析 P 值 ANOVA analyse P value	0.352	0.424	0.934	0.657

## 2.4 草鱼摄食各组饲料后血浆总游离氨基酸含量的变化

草鱼摄食各组饲料后血浆总游离氨基酸含量的变化见表 5。从表 5 可见,草鱼摄食高豆粕组饲料、低豆粕组饲料后,血浆总游离氨基酸水平的变化趋势较为一致,即摄食后血浆总游离氨基酸水平随时间而增加,在 3 h 达到吸收高峰,其后则

下降;在低豆粕饲料中添加晶体赖氨酸后,血浆总游离氨基酸水平的高峰值提前到 2 h,其后下降;而摄食添加微囊赖氨酸饲料后,血浆总游离氨基酸水平的变化趋势与低豆粕组饲料基本一致,但血浆总游离氨基酸水平的峰值高于低豆粕饲料组( $P < 0.05$ )。

表 5 摄食各组饲料后不同时间段血浆总游离氨基酸含量的变化

Tab. 5 The change of plasma total free amino acids at interval time after feeding  $\mu\text{mol/mL}$ 

组别 group	投喂后时间 interval time after feeding					
	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h
高豆粕组 high soybean meal	37.7 ± 1.0	45.0 ± 1.8 <sup>a</sup>	51.2 ± 0.4 <sup>a</sup>	65.3 ± 0.7 <sup>a</sup>	55.7 ± 0.3 <sup>a</sup>	49.9 ± 0.5 <sup>a</sup>
低豆粕组 low soybean meal	36.2 ± 0.7	42.5 ± 1.2 <sup>a</sup>	47.3 ± 1.0 <sup>a</sup>	56.8 ± 0.8 <sup>b</sup>	52.8 ± 1.3 <sup>a</sup>	47.3 ± 0.3 <sup>b</sup>
晶体赖氨酸组 crystalline Lys	37.2 ± 0.5	49.9 ± 0.7 <sup>b</sup>	69.1 ± 1.1 <sup>b</sup>	52.2 ± 0.2 <sup>c</sup>	46.4 ± 0.5 <sup>b</sup>	53.2 ± 1.2 <sup>c</sup>
微囊赖氨酸组 microcapsuled Lys	36.6 ± 1.2	43.4 ± 0.9 <sup>a</sup>	52.1 ± 3.9 <sup>a</sup>	67.9 ± 1.6 <sup>a</sup>	55.3 ± 1.3 <sup>a</sup>	49.1 ± 1.8 <sup>a</sup>
ANOVA 分析 P 值 ANOVA analyse P value	0.744	0.003	0.000	0.000	0.000	0.042

注:同列上标小写字母不同表示二者之间有显著差异( $P < 0.05$ )。

Notes: Values in the same array with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ ).

## 2.5 草鱼摄食各组饲料后血浆总蛋白含量的变化

草鱼摄食各组饲料后血浆总蛋白含量的变化

见表 6。草鱼摄食各组饲料后,血浆总蛋白含量的变化趋势相似。即摄食后 0 ~ 1 h,血浆总蛋白含量保持平稳,1 ~ 2 h 其含量缓慢降低,其后迅

速上升,至 4 h 达到峰值,然后又迅速回落。在低豆粕组中添加微囊赖氨酸的血浆总蛋白水平的峰

值显著大于添加晶体赖氨酸( $P < 0.05$ )。

表 6 摄食各组饲料后不同时间段血浆总蛋白含量的变化  
Tab.6 The change of plasma total protein at interval time after feeding g/L

组别 group	投喂后时间 interval time after feeding					
	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h
高豆粕组 high soybean meal	25.5 ± 0.3	26.5 ± 0.3	24.5 ± 0.4	29.9 ± 0.5 <sup>a</sup>	39.2 ± 0.3 <sup>a</sup>	33.8 ± 0.5
低豆粕组 low soybean meal	26.6 ± 0.2	27.6 ± 0.3	22.7 ± 0.8	30.6 ± 0.9 <sup>a</sup>	36.6 ± 0.3 <sup>b</sup>	34.2 ± 0.6
晶体赖氨酸组 crystalline Lys	26.0 ± 0.4	27.0 ± 0.5	22.5 ± 1.5	27.9 ± 0.5 <sup>b</sup>	37.0 ± 0.3 <sup>b</sup>	35.5 ± 0.5
微囊赖氨酸组 microcapsuled Lys	26.9 ± 0.4	26.7 ± 0.6	25.7 ± 0.2	29.1 ± 0.4 <sup>a</sup>	41.0 ± 0.6 <sup>a</sup>	33.8 ± 0.3
ANOVA 分析 P 值 ANOVA analyse P value	0.000	0.353	0.134	0.021	0.000	0.139

注:同列上标小写字母不同表示二者之间有显著差异( $P < 0.05$ )。

Notes: Values in the same array with different letters are significantly difference ( $P < 0.05$ ).

### 3 讨论

饲料中限制性氨基酸的含量是影响鱼类生长的主要因素<sup>[19]</sup>。适当添加某些晶体氨基酸,可提高动物生长性能,降低饲料系数。一些研究发现青鱼<sup>[20]</sup>、鲤<sup>[21]</sup>、鲫<sup>[22-23]</sup>能有效利用晶体氨基酸,提高增重率,降低饲料系数;但是,刘永坚等<sup>[15]</sup>在草鱼、冷向军等<sup>[24]</sup>在异育银鲫、陈丙爱等<sup>[17]</sup>在鲤、涂永锋等<sup>[25]</sup>在鲫鱼饲料中添加晶体氨基酸对其生长无改善作用。本试验在鱼粉用量为 2%,豆粕用量由 23% 降为 15% 的低豆粕饲料中补充晶体赖氨酸对草鱼的生长也无改善作用,与刘永坚等<sup>[15]</sup>报道一致。这些不同的研究结果表明,晶体氨基酸的作用效果与水产动物种类、基础配方、饲料 pH、投饲频率、氨基酸构成、氨基酸溶失、吸收不同步等因素有关。

晶体氨基酸具有水溶性,在饲料中直接添加易溶失于水中,导致利用率降低<sup>[26]</sup>。刘永坚等<sup>[15]</sup>试验表明,草鱼饲料在水中浸泡 10 min 后晶体赖氨酸的损失达 13.2%;同样,在异育银鲫<sup>[27]</sup>、斑点叉尾鲴<sup>[28-29]</sup>等试验中也发现,饲料中大量晶体氨基酸溶失于水中。可见,晶体氨基酸水中溶失是客观存在的。

对于水生动物不能有效利用晶体氨基酸,目前一种普遍的看法认为添加的游离氨基酸与蛋白态氨基酸吸收不同步而造成。饲料中添加的晶体氨基酸进入鱼体消化道后很快被鱼体吸收入血

液、组织中,形成氨基酸含量高峰值<sup>[30-31]</sup>。冷向军等<sup>[24]</sup>试验表明,鲫摄食基础饲料后,血液氨基酸水平在 3~5 h 出现吸收高峰值,而添加晶体氨基酸后,氨基酸吸收峰值提前;刘永坚等<sup>[15]</sup>的试验中,草鱼摄食纯化饲料后的血液必需氨基酸水平在 3~5 h 达到高峰,而实用饲料组在 1~3 h 达到高峰。本研究也发现,草鱼摄食对照组饲料,血浆总游离氨基酸在 3 h 达到高峰;而摄食晶体赖氨酸组饲料后吸收峰值比对照组提前 1 h,与上述报道基本一致。晶体氨基酸吸收过快,不能和饲料中蛋白态氨基酸同步吸收,并且在血液中转移的速度比蛋白态氨基酸快,使用来合成蛋白质的氨基酸减少<sup>[30,32]</sup>,从而影响游离氨基酸乃至整个蛋白质的利用率。

为减少晶体氨基酸在水中的溶失,延缓晶体氨基酸在肠道中的吸收速度,可对晶体氨基酸进行缓释处理—包膜或微囊。刘永坚等<sup>[15]</sup>报道,添加晶体赖氨酸饲料在水中浸泡 10 min 后溶失率为 13.2%,而包膜后仅为 4.8%;王冠等<sup>[16]</sup>用蛋白质、脂肪、碳水化合物将赖氨酸、蛋氨酸包膜后发现其水中溶失率仅相当于晶体氨基酸的 23.8%~37.1%。本实验也发现,晶体赖氨酸经微囊化后水中溶失率显著降低,与上述报道一致。晶体氨基酸经缓释处理,降低了水中溶失率,同时也延缓了其在消化道的吸收速度,延迟了血液中氨基酸的峰值出现时间。刘永坚等<sup>[15]</sup>、冷向军等<sup>[24]</sup>、陈丙爱等<sup>[17]</sup>分别在草鱼、鲫、鲤饲料中添

加包膜氨基酸发现,血液氨基酸水平出现峰值时间与对照组相一致,较添加晶体氨基酸组延迟。本实验也发现,草鱼摄食对照组饲料与微囊赖氨酸组饲料后,其血浆总游离氨基酸的峰值出现时间一致,均为 3 h,与上述报道相同。

添加包膜氨基酸对鱼类生长的影响,已有一些研究报道。刘永坚等<sup>[15]</sup>在实用饲料中添加包膜赖氨酸 0.4%,草鱼鱼种增重率从 192.3% 提高到 222.0%,而添加晶体赖氨酸则无改善;高玉杰<sup>[33]</sup>在鲫饲料中分别添加以硬化油脂、明胶包被的赖氨酸和蛋氨酸,鱼种增重率较对照组提高 18.6%、17.9%;冷向军等<sup>[24]</sup>在低鱼粉饲料中分别添加以环糊精、淀粉包膜的赖氨酸与蛋氨酸,异育银鲫增重率提高 20.5%、19.7%,饲料系数下降 0.40、0.39;陈丙爰等<sup>[17]</sup>在鲤的试验中也有类似报道。本实验中,添加微囊赖氨酸后,草鱼的增重率与饲料系数达到与高豆粕组基本一致的水平。

感谢广东省佛山市海纳川药业有限公司提供部分研究经费。

#### 参考文献:

- [1] Small B C, Soares J H. Quantitative dietary lysine requirement of juvenile striped bass *Morone saxatilis* [J]. *Aquacult Nutr*, 2000, 6(4): 207 - 212.
- [2] Dabrowski K, Dabrowska H. Digestion of protein by rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.) and absorption of amino acids with in alimentary tract [J]. *Comparative Biochemistry Physiology*, 1981, 69(1): 99 - 111.
- [3] Williams K, Barlow C, Rodgers L. Efficacy of crystalline and protein-amino acids for amino acid enrichment of diets for barramundi Asian seabass [J]. *Aquaculture research*, 2001, 1: 415 - 429.
- [4] Cheng Z J, Ronald W H, James L U. Effect of lysine supplementation in plant protein-based diets on the performance of rainbow trout and apparent digestibility coefficients of nutrients [J]. *Aquaculture*, 2003, 215: 255 - 265.
- [5] Pongmaneerat J, Watanabe T, Takechi T, et al. Use of different protein meals as partial or total substitution for fish meal in carp diets [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1993, 59(7): 1249 - 1257.
- [6] Takagi S, Shmeno 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 Sci*, 2001, 67(6): 1008 - 1096.
- [7] Zarated D D, Lovell R T, Payne M. Effects of feeding frequency and rate of stomach evacuation on utilization of dietary free and protein-bound lysine for growth by channel catfish *Ictalurus punctatus* [J]. *Aquac Nutr*, 1999, 5(1): 17 - 22.
- [8] Wngk N, Hungs S, Heroldm A. Poor utilization of dietary free amino acids by white sturgeon [J]. *Fish Physiology Biochemistry*, 1996, 15(2): 131 - 142.
- [9] Storebakken T, Shearer K D, Roem A J. Growth, uptake and retention of nitrogen and phosphorus, and absorption of other minerals in Atlantic salmon *Salmo salar* fed diets with fish meal and soy-protein concentrate as the main sources of protein [J]. *Aquaculture Nutr*, 2000, 6: 103 - 108.
- [10] Jaramllo F, Gatlniid D M. Comparison of purified and practical diets supplemented with or without  $\beta$ -glucan and selenium on resistance of hybrid striped bass *Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂ to *Streptococcus iniae* infection [J]. *J World Aquac Soc*, 2004, 35: 245 - 252.
- [11] De la Higuera M, Garzon A, Hidalgo M C, et al. Influence of temperature and dietary-protein supplementation either with free or microcapsuled lysine on the fractional protein turnover rates in the white muscle of carp [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1998, 18: 85 - 95.
- [12] Alam M S, Teshima S, Koshio S, et al. Effects of supplementation of microcapsuled crystalline amino acids on growth performance and body composition of juvenile kuruma shrimp *Marsupenaeus japonicas* [J]. *Aquaculture Nutr*, 2004, 10: 309 - 316.
- [13] Lim C. Effect of dietary pH on amino acid utilization by shrimp (*Penaeus vannamei*) [J]. *Aquaculture*, 1993, 114: 293 - 303.
- [14] 冷向军,王冠. 投饲频率对异育银鲫饲料中添加晶体氨基酸的影响[J]. *饲料研究*, 2005, 12: 50 - 52.
- [15] 刘永坚,田丽霞,刘栋辉,等. 实用饲料补充结晶或包膜氨基酸对草鱼生长、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.
- [16] 王冠,冷向军,李小勤,等. 饲料中添加包膜氨基酸对异育银鲫生长和体成分的影响[J]. *上海水*

- 产大学学报, 2006, 15(3): 365-369.
- [17] 陈丙爱, 冷向军, 李小勤, 等. 晶体或包膜氨基酸对鲤鱼的作用效果研究[J]. 水生生物学报, 2008, 32(5): 774-778.
- [18] 叶元土. 茚三酮法测定蛋白饲料中水溶蛋白质[J]. 饲料工业, 1993, 14(9): 18-20.
- [19] Floretoa T, Bayerr C, Brown P. The effects of soybean-based diets, with and without amino acid supplementation, on growth and biochemical composition of juvenile American lobster, *Homarus americanus* [J]. Aquaculture, 2000, 189: 211-235.
- [20] 蒋艾青, 王晓华. 青鱼饲料中添加组氨酸的试验[J]. 中国水产, 2002, (2): 67-73.
- [21] 张满隆, 冯丽芝. 鲤鱼饲料中添加赖氨酸的试验[J]. 饲料研究, 2001, (6): 31-32.
- [22] 刘长忠, 周克勇. 添加晶体氨基酸降低蛋白水平对鲫鱼生产性能的影响[J]. 饲料工业, 2001, 22(6): 9-11.
- [23] 朱世成, 冯现维, 段铭, 等. 配合饲料中添加赖氨酸饲养鲫鱼的试验[J]. 饲料研究, 1999, (4): 5-6.
- [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.
- [25] 涂永锋, 叶元土, 宋代军, 等. 游离异亮氨酸对鲫鱼的促生长作用[J]. 齐鲁渔业, 2004, 21(11): 41-43.
- [26] Lopez-Alvarado J, Langdon C J, Teshma S I, et al. Effects of coating and encapsulation of crystalline amino acids on leaching in larval feeds [J]. Aquaculture, 1994(4), 122: 335-346.
- [27] 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[D]. 上海: 上海水产大学, 2005.
- [28] Wilson R P, Hardng D E, Garlng D L. Effect of dietary pH on amino acid utilization and the lysine requirement of fingerling channel catfish [J]. J Nutr, 1977, 107(1): 166-170.
- [29] Zarated D D, Lovell R T. Free lysine (L-lysine HCl) is utilized for growth less efficiently than protein-bound lysine (soybean meal) in practical diets by young channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. Aquaculture, 1997, 159(1-2): 87-100.
- [30] Murai T, Ogata H, Hirasawa Y, et al. Portal absorption and hepatic uptake of amino acids in rainbow trout force-fed complete diets containing casein or crystalline amino acids [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1987, 53(10): 1847-1859.
- [31] Cowey C B, Walton M J. Studies on the uptake of (<sup>14</sup>C) amino acids derived from both dietary (<sup>14</sup>C) protein and dietary (<sup>14</sup>C) amino acids by rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson [J]. J Fish Biol, 1988, 33(2): 293-305.
- [32] De la Higuera M, Garzon A, Hdalgom C, et al. Influence of temperature and dietary protein supplementation either with free or coated lysine on the fractional protein turnover rates in the white muscle of carp [J]. Fish Physiol Biochem, 1998, 18(1): 85-95.
- [33] 高玉杰. 饲料中添中赖氨酸对鲤鱼生长的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2002, 33(6): 437-438.

## Effect of dietary crystalline or microcapsuled lysine supplementation on growth and plasma total free amino acids of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)

LUO Yun-xian<sup>1</sup>, XIE Jun<sup>2</sup>, LV Li-qun<sup>1</sup>, LENG Xiang-jun<sup>1\*</sup>

LI Xiao-qin<sup>1</sup>, WU Xiao-feng<sup>1</sup>, LI Zhong-ming<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Pearl River Fishery Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510380, China)

**Abstract:** At present, more plant protein feedstuffs are used in aquatic feeds for the shortage and the increasing price of fish meal. The deficiencies of some essential amino acids (EAA) in plant protein feedstuffs lead to the addition of some EAA to balance diet composition. However, the effect of supplementing crystalline EAA was not positive for some fishes. As a result, the present experiment was conducted to investigate the effect of crystalline or microcapsuled lysine supplementation into practical diets on growth performance, and the total plasma free amino acids content of grass carp *Ctenopharyngodon idellus*. Four diets were prepared, which were high soybean meal (SM) diet with 23% SM, low SM diet with 15% SM, low SM diet added with crystalline or microcapsuled lysine, which had the same lysine content as high SM diet respectively. Grass carp ( $49.0 \pm 2.0$ ) g were fed the four diets with triplicate for 8 weeks. Growth rates (GR) of the four groups were 279.3%, 239.7%, 245.6%, 277.5%, feed coefficient (FC) were 1.62, 1.88, 1.85, 1.64, respectively. Compared with low SM group, adding crystalline lysine in diet had no significant effects on growth performance, but the growth rate was improved by 15.8% and FC decreased by 0.24 ( $P < 0.05$ ) by adding microcapsuled lysine in diet. Fish fed on low SM added with microcapsuled lysine had the same GR and FC as those of high SM group ( $P > 0.05$ ). Plasma total free amino acids (TFAA) concentration at 0, 1, 2, 3, 4, 5 h after feeding were determined, and the highest concentration of TFAA occurred at 3 h after feeding for high SM diet, low SM diet added without or with microcapsuled lysine, but absorbing peak occurred at 2 h after feeding for low SM diet added with crystalline lysine, which means the absorbing peak was advanced. Leaching loss of crystalline and microcapsuled lysine were 69.82% and 19.81%, which indicated leaching loss of crystalline lysine was significantly decreased by microcapsuling. Results above showed that grass carp fed with diet supplemented with microcapsuled lysine had a slower absorbing peak of serum TFAA than that fed with crystalline lysine. Microcapsuled lysine had a lower leaching loss in water than crystalline lysine. Growth rate of grass carp could be improved, FC decreased by adding microcapsuled lysine in low SM practical diet, but was not affected by crystalline lysine.

**Key words:** grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*); crystalline lysine; microcapsuled lysine; growth; plasma total free amino acids

**Corresponding author:** LENG Xiang-jun. E-mail: xjleng@shou.edu.cn