

文章编号:1000-0615(2007)06-0743-06

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

冷向军, 王冠, 李小勤, 胡斌, 杨志刚

(上海水产大学生命科学与技术学院, 上海高校水产养殖学E-研究院, 上海 200090)

摘要:进行了二个试验考察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。试验 I 设计了鱼粉含量为 18% 和 9% 的两种基础饲料(分别为高鱼粉对照组、低鱼粉对照组), 在低鱼粉对照组中分别添加晶体形式、环糊精包膜、淀粉包膜的赖氨酸 0.23%、蛋氨酸 0.09%, 饲养平均体重 2.48 g 的异育银鲫鱼种 6 周。结果表明, 高鱼粉对照组、低鱼粉对照组、晶体氨基酸组、环糊精包膜氨基酸组、淀粉包膜氨基酸组的鱼体增重率分别为 214.3%、169.8%、173.3%、204.7%、203.2%, 与低鱼粉对照组相比, 添加晶体氨基酸对异育银鲫的生长无改善 ($P > 0.10$), 但添加环糊精包膜或淀粉包膜氨基酸提高了鱼体增重率 20.5%、19.7% ($P < 0.05$), 饲料系数下降 0.40、0.39 ($P < 0.05$)。试验 II 在鱼粉含量为 6% 的基础饲料分别添加晶体形式、环糊精包膜、淀粉包膜的赖氨酸 0.20%、蛋氨酸 0.08%, 在异育银鲫成鱼(平均体重 220 g)摄食上述 4 种饲料后 1、3、5、12 h, 尾静脉采血测定血清游离氨基酸浓度, 结果表明, 添加晶体氨基酸使血清游离氨基酸的吸收峰值提前, 相对于晶体氨基酸而言, 环糊精包膜或淀粉包膜氨基酸则使血清游离氨基酸的吸收峰值出现不同程度的延迟。上述研究表明, 晶体氨基酸经环糊精、淀粉包膜处理后, 其在消化道的吸收速度减缓, 可利用性显著提高。

关键词:异育银鲫; 晶体氨基酸; 包膜氨基酸; 生长; 血清游离氨基酸

中图分类号: S 963.73

文献标识码: A

Supplemental effects of crystalline or coated amino acids on growth performance and serum free amino acids of allogynogenetic crucian carp

LENG Xiang-jun, WANG Guan, LI Xiao-qin, HU bin, YANG Zhi-gang

(College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University,

E-Institute of Shanghai Municipal Education Commission, Shanghai 200090, China)

Abstract: Two experiments were conducted to investigate the effect of adding crystalline or coated amino acids in diets on growth performance and serum free amino acids of allogynogenetic crucian carp. In Exp. 1, five diets, including high or low fish meal diets (containing 18% or 9% fish meal, respectively), low fish meal diet added with 0.23% Lys and 0.09% Met of crystalline, dextrin coated and starch coated styles, were designed to feed allogynogenetic crucian carp fingerling with initial body weight of 2.48 g for 6

收稿日期: 2006-09-25

资助项目: 上海市重点学科建设项目资助(Y1101); 上海市教委发展基金资助(03-122)

作者简介: 冷向军(1972-), 男, 四川眉山人, 博士, 教授, 从事动物营养与饲料学研究。E-mail: xjleng@shfu.edu.cn

weeks. Growth rates of the five groups were 214.3%, 169.8%, 173.3%, 204.7% and 203.2% respectively. Compared with low fish meal control diet, there was no significant effect of adding crystalline amino acid on growth performance, but growth rate was improved by 20.5%, 19.7% ($P < 0.05$) and feed coefficient was decreased by 0.40, 0.39 ($P < 0.05$) by adding dextrin or starch coated amino acid. In Exp. 2, basal diet (6% fish meal) was added without or with 0.21% Lys and 0.08% Met of crystalline, dextrin coated and starch coated styles. Then serum free amino acids were determined 1, 3, 5, 12 h after allogynogenetic crucian carp (body weight of 220 g) intaking diets. Results showed that serum free amino acids absorbing peak values were advanced by adding crystalline amino acids, but delayed by adding coated amino acids compared with crystalline amino acid. Results above showed that crystalline amino acids' absorbing velocity in digestive tract could be delayed and their availability improved by coating with dextrin or starch.

Key words: allogynogenetic crucian carp; crystalline amino acid; coated amino acids; growth; serum free amino acid

鱼粉供应的紧张和价格上涨,使得替代鱼粉的研究成为一个热点,其中大豆及其不同加工产品是替代鱼粉研究的主要植物蛋白源。但这些植物蛋白源的必需氨基酸特别是蛋氨酸、赖氨酸不足,在一定程度上影响了替代鱼粉的作用效果。基于理想蛋白的理论,可向其中添加晶体氨基酸以平衡氨基酸组成,这一实践已在畜禽养殖生产中得到了广泛应用,但在水产动物,添加晶体氨基酸的效果则不确定,研究结果呈现很大差异。一种理论认为,其原因在于晶体氨基酸的吸收速度过快导致其与蛋白质来源氨基酸的利用不同步^[1],因此,对晶体氨基酸进行包膜处理、降低吸收速度,是改善其利用性的有效途径。

目前,包膜氨基酸在水产饲料中已有使用^[2-4],但其实用技术和理论基础尚不完善。本次研究考察了饲料中添加晶体氨基酸和包膜氨基酸对异育银鲫生长和血液氨基酸平衡的影响,为氨基酸在水产饲料中的合理使用提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计与试验饲料

试验 I: 分别设置鱼粉含量 18%、9% 的高、低鱼粉对照组,在低鱼粉对照组中分别添加晶体、环糊精包膜、淀粉包膜赖氨酸(0.23%,有效含量,蛋氨酸同)、蛋氨酸(0.09%),共 5 个处理组。除低鱼粉对照组外,其余各组均保持同等含量的赖氨酸、蛋氨酸。

试验 II: 在鱼粉含量 6% 的基础饲料(低鱼粉对照组)中分别添加晶体、环糊精包膜、淀粉包膜

赖氨酸(0.21%,有效含量,蛋氨酸同)、蛋氨酸(0.08%),使其赖氨酸、蛋氨酸达到生产中常用配方(正常鱼粉含量 12%,赖氨酸 1.7%,蛋氨酸 0.58%)的水平,共 4 个处理组。

所用赖氨酸为 L-Lys·HCl,有效含量 78.8%,蛋氨酸为 DL-Met,有效含量 99.5%;包膜氨基酸由本实验室参考梁治齐^[5]的方法及胡友军等^[6]对淀粉糊化适宜条件的研究而制备。各组饲料组成见表 1。

1.2 实验用鱼与饲养管理

试验 I: 异育银鲫平均体重(2.48 ± 0.45) g,取 450 尾体质健壮个体,随机分配到 15 口玻璃缸水族箱中($1.2 \text{ m} \times 0.8 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$),每箱 30 尾;共分 5 个处理组,每处理组 3 重复。水族箱自动充气循环,每天投饲 3 次(9:00、13:00、17:00),投喂率为鱼体重的 3%~5%,据摄食情况作相应调整,以半小时内食完为宜,未食完饲料吸出后晾干称重。饲养周期为 6 周,水温 24~28 °C。

试验 II: 异育银鲫平均体重(220 ± 15.5) g,取 180 尾体质健壮个体,随机分配到 12 口玻璃缸水族箱中($120 \text{ cm} \times 80 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$),每箱 15 尾;共分 5 个处理组,每处理组 3 重复;投喂率为鱼体重的 2%~3%,试验期间水温为(25 ± 0.5) °C,饲养周期为 2 周。其他饲养管理同试验 I。

1.3 测定指标

氨基酸的水中溶失率测定 取蒸馏水 100 mL,加入 3.00 g 结晶或包膜氨基酸,摇匀后静置 5 min,过滤取上清液, $4\ 000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 10 min,取上清液测定水中氮含量,折算为溶液中氨基酸

含量(L-Lys·HCl 和 DL-Met 的氮含量分别为 12.08%、9.34%),计算其水中溶失率。溶失率 (%) = 溶液中氨基酸的含量/投入溶液中氨基酸总量。

表 1 饲料配方组成与主要营养成分含量
Tab.1 Diet composition and nutrients content

成分 ingredient	试验 I Exp. I		试验 II Exp. II
	高鱼粉组 high fish meal diet	低鱼粉组 low fish meal diet	低鱼粉组 low fish meal diet
鱼粉 fish meal	18.00	9.00	6.00
豆粕 soybean meal	29.00	35.00	25.00
菜籽粕 rape seed meal	22.25	25.50	15.00
棉籽粕 cotton seed meal	7.00	7	10
次粉 wheat middling	16.00	16.00	20.00
麦麸 wheat bran	3.00	2.00	18.80
矿物质预混料 mineral mixture	0.50	0.50	0.50
维生素预混料 vitamin mixture	0.25	0.25	0.25
氯化胆碱 chloride choline	0.50	0.50	0.50
豆油 soybean oil	1.00	1.25	1.10
鱼油 fish oil	1.00	1.25	1.10
CaH ₂ PO ₄	1.5	1.75	1.75
总计 total	100.00	100.00	100.00
营养组成 proximate analysis(%)			
粗蛋白 crude protein	38.03	36.33	30.13
粗脂肪 crude lipid	4.72	4.90	5.15
赖氨酸 lysine	2.01	1.78	1.49
蛋氨酸 methionine	0.67	0.58	0.50

异育银鲫的生长性能 相对增重率 (%) = (末重 - 初重)/初重 × 100; 饲料系数 = 总投饲量/(末重 - 初重); 成活率 (%) = 试验初鱼尾数/试验末鱼尾数 × 100。

肌肉成分分析 试验 I 饲养实验结束后,每箱取鱼 10 尾,取其背部肌肉,其中 5 尾鱼肌肉绞碎混匀作为一个样本,测定肌肉水分(105 ℃烘干法)、粗蛋白(凯氏定氮法)、粗脂肪(乙醚浸提法)、灰分(550 ℃灼烧法)。

血清游离氨基酸测定 试验 II 饲养结束后,试验鱼禁食 1 d 后投喂饲料,分别在摄食后 1、3、5、12 h 从每箱中取 3 尾鱼于尾静脉处采血,以 4 000 r·min⁻¹ 离心 10 min,取上清液,混合后置 -20 ℃ 冰箱冻存待用。

测定血清游离氨基酸时,加入等量磺基水杨酸(10%),混合摇匀去除蛋白质,以 15 000 r·min⁻¹ 离心 20 min。取上清液,加入等量盐酸(0.02 N)稀释,所得样品以日立 5-50 氨基酸分析仪测定游离氨基酸的含量。

1.4 计算方法与统计分析

最后结果采用平均数 ± 标准差表示,并采用 SPSS 软件进行方差分析和多重比较。

2 结果

2.1 氨基酸的水中溶失率

对所制得的包膜氨基酸测定其水中溶失率,结果表明(表 2),晶体氨基酸经环糊精、淀粉包膜后,其水中溶失率极显著降低,其中环糊精包膜氨基酸的水中溶失率仅相当于晶体氨基酸的 25.1% (赖氨酸)、21.7% (蛋氨酸),淀粉包膜氨基酸的水中溶失率略高于环糊精包膜氨基酸。

2.2 添加晶体或包膜氨基酸对异育银鲫生长的影响

经过 6 周饲养试验,各组异育银鲫生长情况见表 3。与低鱼粉对照组相比,添加晶体赖氨酸、蛋氨酸对异育银鲫的生长性能并无改善;添加环糊精或淀粉包膜氨基酸则显著促进了异育银鲫生长,分别提高鱼体增重率 20.5%、19.7% ($P < 0.05$),饲料系数下降 0.40、0.39 ($P < 0.05$);与高鱼粉对照组相比,在增重率和饲料系数上则无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.3 添加晶体或包膜氨基酸对异育银鲫肌肉成分的影响

从表 4 中可见,低鱼粉组鱼体肌肉的粗蛋白含量和粗脂肪含量均为最低,在低鱼粉饲料中添加环糊精或淀粉包膜氨基酸后,肌肉粗

蛋白含量显著上升($P < 0.05$), 脂肪含量也呈现不同程度的增加。在肌肉水分和灰分含量方面, 各组间无显著差异($P > 0.05$)。

表 2 晶体、包膜氨基酸的水中溶失率

Tab.2 Leaching loss of crystalline and coated amino acids

%

氨基酸/溶失率 amino acids/ leaching loss	晶体氨基酸 crystalline amino acid	环糊精包膜氨基酸 dextrin coated amino acid	淀粉包膜氨基酸 starch coated amino acid
Lys	57.2 ^A	16.0 ^C	18.7 ^B
Met	87.7 ^A	21.0 ^C	23.3 ^B

注:同一行中数值具不同大写上标字母者表示差异极显著($P < 0.01$)

Notes: Values with different letters in the same row are significantly different among the treatments($P < 0.01$)

表 3 饲料中添加晶体或包膜赖氨酸、蛋氨酸对异育银鲫生长的影响

Tab.3 Effect of adding crystalline or coated Lys, Met on growing performance of allogynogenetic crucian carp

组别 groups	初体重(g) initial weight	终体重(g) final weight	增重率(%) growth rate	饲料系数 feed conversion rate	成活率(%) survival rate
高鱼粉对照组 high FM diet	2.48	7.80	214.3 ± 11.9 ^a	2.07 ± 0.08 ^b	100
低鱼粉对照组 low FM diet	2.48	6.67	169.8 ± 6.9 ^b	2.58 ± 0.14 ^a	100
晶体氨基酸组 crystalline AA diet	2.48	6.79	173.3 ± 10.9 ^b	2.54 ± 0.11 ^a	100
环糊精包膜氨基酸组 dextrin coated AA diet	2.48	7.55	204.7 ± 14.6 ^a	2.18 ± 0.12 ^b	100
淀粉包膜氨基酸组 starch coated AA diet	2.48	7.48	201.6 ± 8.3 ^a	2.19 ± 0.09 ^b	100

注:同一列中数值具不同上标字母者表示差异显著($P < 0.05$); FM, AA 为鱼粉、氨基酸的英文缩写。以下各表同

Notes: Values with different letters in the same column are significantly different among the treatments($P < 0.05$); FM, AA is the abbreviation of fish meal, amino acid. The same as following tables

表 4 饲料中添加晶体或包膜赖氨酸、蛋氨酸对异育银鲫肌肉成分的影响

Tab.4 Effect of adding crystalline or coated Lys, Met on muscle composition of allogynogenetic crucian carp

%

组别 groups	水分 moisture	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude fat	灰分 ash
高鱼粉对照组 high FM diet	72.75 ± 0.44	18.80 ± 0.40 ^a	2.44 ± 0.05 ^a	2.16 ± 0.05
低鱼粉对照组 low FM diet	73.65 ± 0.64	17.50 ± 0.39 ^b	2.19 ± 0.14 ^b	2.12 ± 0.07
晶体氨基酸组 crystalline AA diet	73.21 ± 0.51	17.86 ± 0.38 ^{ab}	2.67 ± 0.19 ^a	2.23 ± 0.11
环糊精包膜氨基酸组 dextrin coated AA diet	73.67 ± 0.23	18.36 ± 0.18 ^a	2.29 ± 0.06 ^{ab}	2.24 ± 0.03
淀粉包膜氨基酸组 starch coated AA diet	72.69 ± 0.59	18.69 ± 0.12 ^a	2.58 ± 0.09 ^a	2.13 ± 0.04

2.4 异育银鲫摄食含晶体或包膜氨基酸饲料后血清游离氨基酸浓度的变化

异育银鲫摄食含晶体或包膜氨基酸饲料后血清游离氨基酸浓度的变化(图 1-图 4), 由于篇幅限制, 在此仅列出了 8 种必需氨基酸数据。从图 1 中可见, 异育银鲫摄食低鱼粉饲料后, 血清游离氨基酸水平的变化曲线较为平缓, 3~5 h 为吸

收高峰期(或平台期); 而添加晶体氨基酸后, 血清游离氨基酸水平在 3 h 即出现了一个显著吸收高峰, 其后迅速回落(图 2); 以环糊精包膜氨基酸后, 其血清游离氨基酸的吸收峰值延迟至 5 h(图 3); 以淀粉包膜氨基酸, 其血清游离氨基酸的吸收峰值也出现在 3 h, 但与晶体氨基酸组相比, 其吸收峰的上升或下降均较缓慢(图 4)。

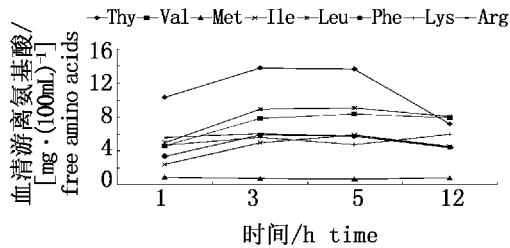


图1 摄食低鱼粉饲料后血清游离氨基酸的变化
Fig. 1 The change of serum free amino acids after
intaking low fish meal diet

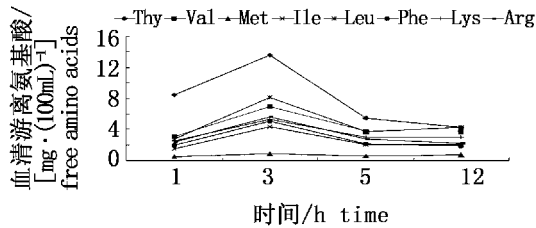


图2 摄食含晶体氨基酸饲料后
血清游离氨基酸的变化
Fig. 2 The change of serum free amino acids after
intaking basal diet added with crystalline amino acids

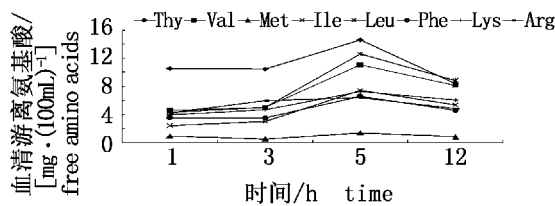


图3 摄食含环糊精包膜氨基酸饲料后
血清游离氨基酸变化
Fig. 3 The change of serum free amino acids after
intaking basal diet added with dextrin coated amino acids

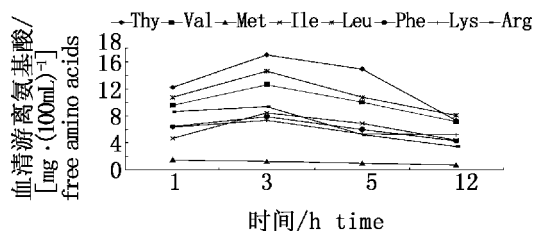


图4 摄食含淀粉包膜氨基酸饲料后
血清游离氨基酸变化
Fig. 4 The change of serum free amino acids after
intaking basal diet added with starch coated amino acids

3 讨论

3.1 晶体氨基酸的作用效果

水产饲料中添加晶体氨基酸的作用效果,常因动物种类的不同而不同。一般认为,在虹鳟等

鲑鳟鱼类饲料中补充晶体氨基酸较为有效^[7-8],而对于我国主要养殖的鲤科鱼类,研究结果则呈现很大差异。在鲤^[9]、草鱼^[2]饲料中添加晶体赖氨酸,对鱼体增重并无改善;本试验也表明,在饲料中直接添加晶体赖氨酸、蛋氨酸,对异育银鲫的生长性能无显著影响;但在周贤君^[10]和黄更生^[11]的试验中,异育银鲫和草鱼可有效利用饲料中添加的晶体赖氨酸;此外,添加晶体赖氨酸、蛋氨酸对鲤、鲫均有显著的促生长作用^[12-14]。这些不同的研究表明,即便是在无胃鲤科鱼类,关于晶体氨基酸的作用效果仍难以有明确结论。实际上,晶体氨基酸的作用效果受到很多因素影响,如基础饲料氨基酸是否平衡,所补充者是否为第一限制性氨基酸,投喂次数等。通常认为,鱼虾类对游离氨基酸利用效果不佳,主要是因为添加的游离氨基酸与蛋白态氨基酸吸收的不同步而造成,解决办法可通过包膜处理氨基酸,或增加投饲次数^[1]。冷向军等^[15]已证明了增加投饲频率可改善晶体氨基酸的作用效果,但增加投饲次数势必加大养殖管理的工作量,并不实用,因而对晶体氨基酸进行包膜缓释处理是更为有效的途径。

3.2 包膜氨基酸的作用效果及对血清游离氨基酸的影响

外源添加晶体氨基酸在肠道中不经过消化而被直接吸收,而饲料蛋白质则需分解为氨基酸或小肽后才可被吸收,二者吸收速度的不同步是客观存在的。Annette等^[16]以完整蛋白饲料(小麦筋蛋白)或晶体氨基酸混合物饲料饲喂虹鳟,发现摄食上述两种饲料后鱼体血清游离氨基酸浓度分别在摄食后18 h、9 h达到高峰。本次实验中,异育银鲫摄食完整蛋白饲料后,血清游离氨基酸吸收高峰期食后3~5 h;而添加晶体氨基酸后,血清游离氨基酸的峰值出现时间提前为3 h。由此可见晶体氨基酸的吸收速度快于蛋白态氨基酸。因此,对晶体氨基酸进行包膜成为缓释处理的一条有效途径。本试验中,赖氨酸、蛋氨酸以环糊精包膜后,其血液氨基酸吸收峰值由食后3 h延迟为5 h;以淀粉包膜后,尽管其吸收峰值也出现在3 h,但与晶体氨基酸相比,吸收峰的上升或下降均较为缓慢。刘永坚等^[2]的试验也证明了晶体氨基酸经包膜处理后,其在血液的吸收峰值出现了不同程度的延迟。这表明,氨基酸经包膜处理后,延缓了吸收速度,从而缓解了游离氨基酸与蛋白态氨基酸吸收不同的步矛盾,提高了其利用率。

氨基酸的水中溶失率试验表明,晶体氨基酸经环糊精和淀粉包膜包膜处理后,水中溶失率大为降低,仅相当于晶体氨基酸组的 21.7% ~ 26.6%,这与刘永坚等^[2]、Alam 等^[4]试验一致,这意味着其在消化道溶解和吸收速度的降低,同时也减少了氨基酸的水中溶失。

目前,已有一些通过包膜晶体氨基酸提高其利用率的报道。在全植物蛋白饲料中添加0.36%缓释型赖氨酸,鲤鱼种生长性能与含4%鱼粉组基本一致^[3];在实用饲料中添加包膜赖氨酸0.1%(有效含量),草鱼种增重率从192.3%提高到222.0%($P < 0.05$)^[2]。在低鱼粉饲料中添加硬化油脂或明胶包膜赖氨酸0.23%、蛋氨酸0.09%,提高了异育银鲫增重率18.6%、17.9%^[17];在牙鲆仔鱼、日本对虾的研究均表明了添加包膜氨基酸较晶体氨基酸具有显著的促生长效果^[18-19]。本次试验的结果也表明,在鱼粉含量9%的对照组饲料中添加环糊精或淀粉包膜赖氨酸、蛋氨酸,显著提高了异育银鲫的增重率。

可见,晶体氨基酸经包膜处理后,减少了水中溶失率,延缓了在消化道的吸收速度,促进了外源添加氨基酸与蛋白态氨基酸的同步吸收,从而改善了其可利用性,对异育银鲫鱼种的生长具有显著促进作用。

参考文献:

- [1] 李爱杰. 水产动物营养与饲料学[M]. 北京:中国农业出版社,1996.
- [2] 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.
- [3] 阎军,杨子龙,刘春海. 缓释赖氨酸在鲤鱼饲料中的应用[J]. 饲料研究,2004,7:36-37.
- [4] Alam M S, Teshima S, 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: 13-19.
- [5] 梁治齐. 微胶囊技术及其应用[M]. 北京:中国轻工业出版社,1999:255-256,348-350.
- [6] 胡友军,周安国. 饲料淀粉糊化的适宜加工工艺参数研究[J]. 动物营养学报,2003,15(1):53-56.
- [7] Cheng Z J, Ronaid W H, James L U. Effects 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.
- [8] Markus R, Friedeman B, Zoltan G. Availability and utilization of free lysine in rainbow trout. 2. Comparison of L-Lysine·HCl and L-Lysine sulphate [J]. Aquaculture, 2000, 187: 177-183.
- [9] Violas S, Mokad Y, Arieli Y S. Effect of soybean proceeding methods on the growth of carp [J]. Aquaculture, 1983, 32: 27-38.
- [10] 周贤君,解绶启,谢从新,等. 异育银鲫幼鱼对饲料中赖氨酸的利用及需要量研究[J]. 水生生物学报,2006,30(3):247-255.
- [11] 黄更生,李贵生,周黎华. 草鱼生长阶段对赖氨酸需要量的研究[J]. 生态科学,2003,22(2):147-149.
- [12] 高玉杰. 饲料中添加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.
- [13] 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.
- [14] 张满隆,邓理. 蛋氨酸在鲫鱼饲料中的作用[J]. 饲料研究,2001,(5):26-27.
- [15] 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.
- [16] Annette S, Christine W, Jurgen G. Plasma amino acids in rainbow trout fed intact protein or a crystalline amino acid diet [J]. Aquaculture, 1997, 151: 15-28.
- [17] 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.
- [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 [J]. Aquaculture, 2002, 210: 359-369.
- [19] Alam M S, Teshima S, Koshio S, *et al.* Effect of supplemental of coated crystalline amino acids on growth performance and body composition of juvenile kuruma shrimp, *Marsupenaeus japonicus* [J]. Aquaculture Nutrition, 2004, 10: 309-316.