

## 晶体或包膜氨基酸对鲤鱼的作用效果研究

陈丙爱 冷向军 李小勤 胡斌

(上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090)

### STUDY ON THE EFFECT OF CRYSTALLINE OR COATED AMINO ACIDS FOR CYPRINUS CARPIO

CHEN Bing-Ai LENG Xiang-Jun LI Xiao-Qin and HU Bin

(College of Aqua-life Science and Technology Shanghai Fisheries University Shanghai 200090)

关键词: 鲤鱼; 晶体氨基酸; 包膜氨基酸; 生长; 血清游离氨基酸

Key words Common carp Crystalline amino acid Coated amino acid Growth Serum free amino acid

中图分类号: S963.73 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2008)05-0774-05

对于鱼类能否有效利用外源晶体氨基酸, 一直存在不同的看法, 目前尚无定论。通常认为, 鲑鳟鱼类可有效利用外源添加的晶体氨基酸<sup>[1-2]</sup>, 而对于我国广泛养殖的鲤科鱼类, 如鲤、鲫、草鱼等, 则存在不同的报道: 张满隆等在鲤鱼饲料中添加晶体赖氨酸、晶体蛋氨酸, 在鲫鱼饲料中添加晶体蛋氨酸的试验均表明添加晶体氨基酸可改善鱼类生长<sup>[3-5]</sup>; 而刘永坚等在草鱼饲料中添加晶体赖氨酸、*Violax*在鲤鱼饲料中添加晶体赖氨酸、涂永锋等在鲫鱼饲料中添加晶体异亮氨酸的试验却表明添加晶体氨基酸对鱼类无促生长作用<sup>[6-8]</sup>。鱼类对外源添加晶体氨基酸的利用效果不确定的原因, 通常认为是晶体氨基酸的吸收速度过快, 导致与蛋白质来源氨基酸的利用不同步<sup>[9]</sup>, 故对晶体氨基酸进行包膜处理是改善其利用性的有效途径。本试验以鲤鱼为研究对象, 自制了两种包膜氨基酸, 考察了晶体和包膜氨基酸的水中溶失率及添加于饲料中后对鱼体生长、血清游离氨基酸的影响, 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 试验设计与饲料** 分别设计鱼粉含量为 10% 和 15% 的两种饲料作为低鱼粉和高鱼粉对照组, 其赖氨酸含量分别为 1.93%、1.73%, 蛋氨酸含量分别为 0.59%、0.52%; 在低鱼粉饲料中分别补充晶体赖氨酸(含量为 78.8%)和蛋氨酸(含量为 98.5%), 淀粉或  $\beta$ -环糊精包膜赖氨酸和蛋氨酸, 使这三种补充氨基酸的饲料的赖氨酸、蛋氨酸水平达到与高鱼粉组一致的水平, 共 5 组饲料。淀粉、 $\beta$ -环糊精包膜由本实验室根据胡友军<sup>[10]</sup>、王冠<sup>[11]</sup>的方法制备, 其赖氨酸、蛋氨酸含量分别为 39.4%、49.3%。高、低鱼粉对照组饲料配方组成及营养指标(表 1)。

饲料原料全部经粉碎过 40 目筛, 充分混合均匀后用绞肉机加工成颗粒状饲料, 晾干后置于 4°C 冰箱备用。

表 1 实验饲料配方组成及营养指标(%干物质)

Tab 1 Formulation of experimental diets and nutrient index(% dry diet)

成分 Ingredient(%)	高鱼粉组 High fish meal diet	低鱼粉组 Low fish meal diet	营养成分 Nutrients(%)	高鱼粉组 High fish meal diet	低鱼粉组 Low fish meal diet
鱼粉 Fish meal	15	10	Lys	1.93	1.73
豆粕 Soybean meal	20	20	Met	0.59	0.52
菜粕 Rapeseed meal	21.5	21.5	Ile	1.36	1.28
棉粕 Cotton meal	7	10	Leu	2.46	2.31
次粉 Wheat middling	23	22	Phe	1.56	1.51

收稿日期: 2006-12-25 修订日期: 2007-11-03

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

作者简介: 陈丙爱(1980—), 女, 汉族, 山东泰安人; 硕士研究生; 主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: babingai2004@163.com

通讯作者: 冷向军, E-mail: xjeng@shfu.edu.cn

续表

成分 Ingredient (%)	高鱼粉组 High fish meal diet	低鱼粉组 Low fish meal diet	营养成分 Nutrients (%)	高鱼粉组 High fish meal diet	低鱼粉组 Low fish meal diet
麦麸 Wheatmeal	8.5	11.5	Arg	2.3	2.27
多维 Pre mix vitamin	0.4	0.4	Thr	1.37	1.27
多矿 Pre mix mineral	0.5	0.5	Trp	0.44	0.42
氯化胆碱 Choline	0.3	0.3	Val	1.68	1.59
豆油 Soybean oil	1	1	His	0.91	0.86
鱼油 Fish oil	1	1	粗蛋白 Crude protein	34.72	33.08
<chem>CaH2PO4</chem>	1.8	1.8	粗脂肪 Crude lipid	4.5	4.2
总计 Total	100	100			

注: 多维和多矿在每千克饲料添加量为 (mg/kg 饲料) the additive combination of multi vitamin and multimineral substance (mg/kg feed): V<sub>A</sub> 6000 IU/kg V<sub>D</sub> 2000 IU/kg V<sub>E</sub> 50 V<sub>K</sub> 5 V<sub>B1</sub> 15 V<sub>B2</sub> 15 V<sub>B3</sub> 25 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 V<sub>C</sub> 100 Zn 80 Fe 150 Cu 4 Mn 20 I 0.4 Co 0.1 Se 0.1 Mg 100

**1.2 试验用鱼与试验管理** 试验用鲤鱼平均体重 (32.91±0.23) g/尾。取回暂养 1周后饲养于玻璃钢水族箱 (0.8m×0.5m×0.5m) 共分五个处理组, 每个处理组三个平行, 每箱放养 15尾, 共 15个水族箱 225尾。采用循环水系统, 每天投饲三次 (8:00, 12:00 和 16:00), 投饲率为 3%—5%, 并根据摄食情况作相应调整, 各箱投饲量保持一致水平, 以在 15min 内食完为宜。饲养周期为四周, 饲养期间水温为 (26±2)℃, pH 6.5—7.3 溶解氧>4mg/L

### 1.3 测定指标与方法

**1.3.1 氨基酸的水中溶失率测定** 取蒸馏水 100mL 加入 50mg 晶体或包膜氨基酸, 摆匀静置 5min 过滤取上清液, 利用茚三酮比测法<sup>[12]</sup> 测定溶失在水中的氨基酸含量。

### 1.3.2 生长性能

$$\text{增重率} = (\text{末重} - \text{初重}) / \text{初重} \times 100\%$$

$$\text{饲料系数} = \text{饲料摄入量 (g)} / \text{净增重 (g)}$$

$$\text{成活率} = \text{末鱼尾数} / \text{初鱼尾数}$$

**1.3.3 肌肉营养成分分析** 饲养实验结束后, 每箱取鱼 6尾, 取其背部白肌, 将每 3尾鱼的肌肉绞碎混匀作为一个样本, 测定肌肉水分 (105℃烘干法)、灰分 (550℃灼烧法)、粗脂肪 (索氏抽提法)、粗蛋白 (KDN-04A型 凯氏定氮法)。

**1.3.4 血清游离氨基酸测定** 养殖试验结束, 将鱼禁食一天, 从除高鱼粉对照组以外的其他 4组中每组取两尾鱼于尾静脉取血, 离心得空腹血清样品。然后投喂饲料, 分别在摄食后 1, 2, 3, 4, 5, 6h 从每组中取两尾鱼取血, 制得血清样品, 于冰箱中冷冻保存备用。

样品解冻 1.5h 加入等量磺基水杨酸 (10%) 混匀以 15000r/min 离心 20min 取上清液, 加入等量盐酸 (0.02N) 稀释, 得到样品, 采用日立的 L-8800型氨基酸分析仪测定游离氨基酸的量, 其中色氨酸没有测定。

**1.4 数据分析** 实验结果用平均数±标准差表示, 采用 SPSS11.0 分析软件进行 ANOVA 单因子方差分析和 Duncan's 多重检验。p<0.05 表示差异显著。

## 2 结 果

### 2.1 晶体和包膜氨基酸的溶失率

晶体和包膜氨基酸的水中溶失率 (表 2)。在本实验条件下, 晶体赖氨酸、蛋氨酸的水中溶失率分别为 85.94%、69.00%; 经淀粉、β 环糊精包膜后水中溶失率极显著下降, 仅相当于晶体赖氨酸的 26.33%、21.61% 和晶体蛋氨酸的 31.11%、32.15%。

表 2 晶体和包膜氨基酸的水中溶失率<sup>\*</sup>

Tab 2 The leaching rate of crystalline and coated amino acids (%)

	Leaching rate of lysine	赖氨酸溶失率	蛋氨酸溶失率
		Leaching rate of methionine	Leaching rate of methionine
晶体氨基酸 Crystalline amino acid		85.94±2.30 <sup>A</sup>	69.00±1.61 <sup>A</sup>
淀粉包膜氨基酸 CAA coated by starch		22.63±0.19 <sup>B</sup>	21.47±0.66 <sup>B</sup>
β 环糊精包膜氨基酸 CAA coated by β-dextrin		18.57±0.16 <sup>C</sup>	22.19±1.52 <sup>B</sup>

\* 同一列数据右标不同上标字母代表有极差异显著 (p<0.01), 下同

\* Values with different superscript letters within same column indicate significant differences (p<0.01). The same as follows: CAA, Crystalline amino acid

## 2.2 添加不同形式的氨基酸对鲤鱼生长的影响

经四周饲养后,各组鲤鱼的生长情况(表3)。从表3中可见,低鱼粉组的增重率最低,仅85.33%,显著低于高鱼粉组的92.48%( $p<0.05$ );在低鱼粉饲料中添加晶体氨基酸

对鱼体增重率没有改善( $p>0.10$ ),但添加淀粉包膜和 $\beta$ 环糊精包膜氨基酸显著提高鱼体增重率( $p<0.05$ );饲料系数方面,在低鱼粉饲料中添加 $\beta$ 环糊精包膜氨基酸显著降低了饲料系数( $p<0.05$ )。

表3 配合饲料中添加晶体或包膜氨基酸对鲤鱼生长和饲料系数的影响\*

Tab 3 Influence of practical diet supplemented with free or coated amino acids on growth and FCR of common carp

组别 Group	初均重 Initial mean weight (g)	末均重 Final mean weight (g)	增重率 Weight gain rate (%)	饲料系数 FCR	成活率 Survival rate (%)
高鱼粉组 High fish meal diet	32.51±0.26	62.58±0.24 <sup>a</sup>	92.48±1.23 <sup>a</sup>	1.11±0.01 <sup>b</sup>	100
低鱼粉组 Low fish meal diet	32.53±0.24	60.28±0.41 <sup>b</sup>	85.33±1.06 <sup>b</sup>	1.19±0.02 <sup>a</sup>	100
低鱼粉+CAAS组 LFMD+CAAS	32.48±0.30	61.29±1.00 <sup>ab</sup>	88.66±1.73 <sup>ab</sup>	1.15±0.03 <sup>ab</sup>	100
低鱼粉+淀粉 AAS组 LFMD+S-AAS	32.54±0.16	61.85±0.90 <sup>ab</sup>	90.07±3.50 <sup>a</sup>	1.14±0.04 <sup>ab</sup>	100
低鱼粉+ $\beta$ -DAAS组 LFMD+ $\beta$ -DAAS	32.51±0.23	62.21±1.11 <sup>a</sup>	91.38±3.24 <sup>a</sup>	1.12±0.04 <sup>b</sup>	100

\*: LFMD 低鱼粉组; CAAS 晶体氨基酸; S-AAS 淀粉包膜氨基酸;  $\beta$ -DAAS  $\beta$  环糊精包膜氨基酸; 下同

\*: LFMD low fish meal diet CAAS crystalline amino acids S-AAS the coated amino acid by starch  $\beta$ -DAAS the coated amino acid by  $\beta$ -dextrin The same as follows

## 2.3 添加不同形式氨基酸对肌肉营养组分的影响

各组鲤鱼的肌肉基本组分(表4)。由表4可知, $\beta$ 环糊精包膜组水分含量显著低于低鱼粉组( $p<0.05$ );在低鱼粉

饲料中添加不同形式的氨基酸后均显著降低了鱼体肌肉的灰分含量( $p<0.05$ );在蛋白质和脂肪含量上,添加不同形式的氨基酸后均无显著改善( $p>0.05$ )。

表4 鲤鱼肌肉的营养组成\*

Tab 4 Nutritional composition of muscle of common carp

组别 Group	水分 Moisture	蛋白质 Protein	脂肪 Lipid	灰分 Ash
高鱼粉组 High fish meal diet	77.96±0.38 <sup>ab</sup>	81.01±1.54	5.97±0.49	5.45±0.20 <sup>a</sup>
低鱼粉组 Low fish meal diet	78.22±0.50 <sup>a</sup>	78.98±1.37	6.52±0.73	5.36±0.19 <sup>a</sup>
低鱼粉+CAAS组 LFMD+CAAS	77.67±0.41 <sup>ab</sup>	78.79±1.05	6.96±0.92	4.91±0.14 <sup>b</sup>
低鱼粉+淀粉 AAS组 LFMD+S-AAS	77.69±0.55 <sup>ab</sup>	79.35±0.60	6.44±0.53	4.97±0.12 <sup>b</sup>
低鱼粉+ $\beta$ -DAAS组 LFMD+ $\beta$ -DAAS	77.12±0.37 <sup>b</sup>	79.59±0.94	5.84±0.49	4.75±0.18 <sup>b</sup>

\* 粗蛋白、粗脂肪、粗灰分为干物质中含量

\* Crude protein crude lipid crude ash were determined on dry matter basis

## 2.4 血清游离氨基酸模式分析

血清游离氨基酸的测定结果(图1)。从图1可见,低鱼粉饲料组血清游离必需氨基酸在摄食2h后达到高峰;添加晶体氨基酸组在摄食1h后达到高峰;淀粉包膜组和 $\beta$ 环糊精包膜组的血清游离氨基酸高峰时间均为摄食后3h,较晶体氨基酸组延迟2h左右。

## 3 讨论

### 3.1 晶体氨基酸的作用效果

对我国广泛养殖的无胃鲤科鱼类,在饲料中添加晶体氨基酸的作用效果尚无定论。一些研究表明,饲料中添加晶体氨基酸可改善鱼类生长。张满隆等<sup>[3]</sup>在平均体重为22.7g尾的鲤鱼饲料中添加0.25%晶体赖氨酸,提高鲤鱼增重率

19%,饲料系数下降0.21;此外添加晶体组氨酸对青鱼<sup>[13]</sup>、添加晶体赖氨酸、蛋氨酸对鲤、鲫鱼<sup>[3-5]</sup>均有显著促生长作用;而另一些研究则表明饲料中添加晶体氨基酸对鱼类无促生长作用。刘永坚等<sup>[6]</sup>在饲料中添加0.4%晶体赖氨酸,投喂平均体重7.27g的草鱼9周,增重率和饲料系数均无改善;Violas<sup>[7]</sup>在鲤鱼饲料中添加晶体赖氨酸,涂永锋等<sup>[8]</sup>在鲫鱼饲料中添加晶体异亮氨酸,王冠<sup>[14]</sup>在异育银鲫饲料中添加晶体赖氨酸和蛋氨酸的实验均表明,添加晶体氨基酸对鱼体增重无改善。本试验在鱼粉用量10%、赖氨酸、蛋氨酸含量分别为1.73%、0.52%的基础饲料中补充晶体赖氨酸0.20%、蛋氨酸0.08%对鲤鱼的生长也无改善作用,与刘永坚等<sup>[6]</sup>报道一致,与张满隆等<sup>[3-5]</sup>的试验结果相反。

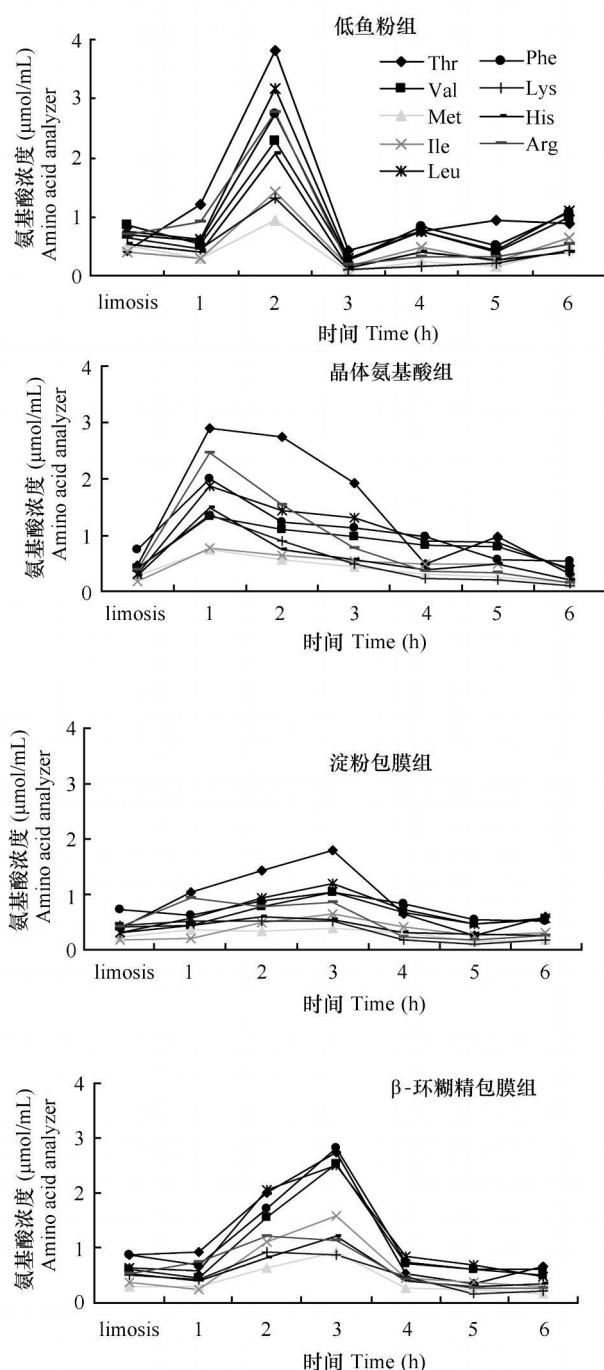


图 1 摄食后的血清游离氨基酸水平变化

Fig 1 Postprandial changes of plasma free amino acid of common carp at various intervals

一种理论认为晶体氨基酸作用效果不佳的原因在于晶体氨基酸的吸收速度快于蛋白态氨基酸, 导致两者吸收利用上的不同步性。由于氨基酸合成蛋白质必须按一定比例方可进行, 且水生动物贮存游离氨基酸的能力甚低, 导致先吸收的晶体氨基酸不能用于合成蛋白质而直接排泄或代谢。实际上, 影响晶体氨基酸作用效果的因素是多方面的, 如基础饲料的组成、氨基酸是否平衡、所补充的氨基酸是否为第

一限制性氨基酸、投饲频率为多少。其中投饲频率是影响晶体氨基酸作用效果的重要因素。冷向军等<sup>[15]</sup>在含 6% 鱼粉的基础饲料中添加 0.30% 晶体赖氨酸和 0.10% 晶体蛋氨酸, 日投饲 4 次, 显著提高了鱼体增重率, 而日投饲 2 或 3 次则对增重率无影响。张满隆等<sup>[13]</sup>在基础饲料中添加 0.25% 晶体蛋氨酸, 提高鲤鱼增重率 19% 也是在日投饲 4 次下取得的。上述结果表明, 增加投饲频率, 可以改善晶体氨基酸的作用效果, 其原因在于缩短投喂间隔后, 可以使前次投饲时产生的血液氨基酸仍然保持在一个较高的水平, 后一次投饲产生的血清游离氨基酸峰值与前次的高峰部分重合, 在一定程度上使得氨基酸相互补充, 从而对鱼体产生一定促生长作用。但是增加投饲频率会引起劳动强度的增加, 因而对晶体氨基酸进行缓释包膜处理是改善其利用性的更为有效的途径。

### 3.2 包膜氨基酸的作用效果及对血清游离氨基酸的影响

晶体氨基酸经包膜处理后, 可延缓其在消化道的吸收速度。王冠等<sup>[11]</sup>在异育银鲫饲料中添加包膜氨基酸的实验得出, 添加  $\beta$ -环糊精包膜氨基酸后血清游离氨基酸出现峰值在摄食后 5h 较直接添加晶体氨基酸延迟 2h。晶体氨基酸经包膜后延缓了吸收速度。本试验得出, 在鲤鱼饲料中添加晶体赖氨酸、蛋氨酸后, 其血清游离氨基酸吸收峰值出现在摄食后 1h 而氨基酸经包膜后其血清游离氨基酸吸收峰延迟至摄食后 3h, 结果与上述研究一致。

另一方面, 氨基酸经包膜后大大降低水中溶失率。Wilson et al<sup>[16]</sup>在斑点叉尾鮰、Chham<sup>[17]</sup>在范氏对虾的试验中均观察到添加于饲料中的晶体氨基酸水中溶失严重而导致生长不佳。晶体氨基酸经硬化油脂包膜后其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)<sup>[14]</sup>; 在饲料中添加 0.4% 晶体赖氨酸, 其水中溶失率为 13.22%, 而添加同样量的包膜赖氨酸, 水中溶失率仅为 4.81%<sup>[16]</sup>。本试验条件下赖氨酸、蛋氨酸经淀粉、 $\beta$ -环糊精包膜后, 水中溶失率也极显著降低, 与上述报道一致。

晶体氨基酸经包膜后, 其吸收速度和水中溶失率降低, 因而改善了其利用性。目前, 已有一些关于包膜氨基酸作用效果的研究报道。在全植物蛋白饲料中添加 0.36% 缓释赖氨酸, 鲤鱼种的生长性能与含 4% 鱼粉组基本一致<sup>[18]</sup>; 在实用饲料中添加包膜赖氨酸 0.1%, 草鱼种增重率从 192.3% 提高到 222.0% ( $p < 0.05$ )<sup>[19]</sup>; 本次试验在基础饲料中添加淀粉或  $\beta$ -环糊精包膜赖氨酸 0.20% 和包膜蛋氨酸 0.08%, 鱼体增重率分别由 85.33% 显著提高到 90.07% 和 91.38%; 此外在牙鲆仔鱼、日本对虾、尼罗罗非鱼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<sup>[19-21]</sup>。可见晶体氨基酸经包膜处理后, 其利用性显著改善, 原因在于氨基酸经包膜处理后其水中溶失率降低, 延缓了消化道的吸收速度, 促进了外源氨基酸与蛋白态氨基酸的同步吸收。

### 参考文献:

- [1] Dabrowski K, Dabrowska H. Digestion of protein by rainbow trout and absorption of amino acids within alimentary tract [J]. Com-

- parative Biochemistry Physiology 1981 69A 99—111
- [ 2] Williams K Barlow G Rodgers L Efficacy of crystalline and protein-bound amino acids for amino acid enrichment of diets for baramundi/Asian seabass [ J]. Aquaculture Research 2001 1 415—429
- [ 3] Zhang M L He X H. An experiment of adding lysine in diet to feed common carp [ J]. Feed Research 2001 6 31—32 [ 张满隆, 何小慧. 鲤鱼饲料中添加赖氨酸的试验. 饲料研究, 2001 6 31—32]
- [ 4] Zhang M L Feng L Z An experiment of adding methionine in diet to feed common carp [ J]. Hebei Fisheries 2002 122(2): 32—33 [ 张满隆, 冯丽芝. 鲤鱼饲料中添加蛋氨酸的应用试验. 河北渔业, 2002 122(2): 32—33]
- [ 5] Zhang M L Deng L Effect of methionine in practical diet for crucian carp [ J]. Feed Research 2001 5 26—27 [ 张满隆, 邓理. 蛋氨酸在鲫鱼饲料中的作用. 饲料研究, 2001 5 26—27]
- [ 6] Liu Y J Tian L X Liu D H et al Influence of practical diet supplementation with free or coated lysine on the growth plasma free amino acids and protein synthesis rates in the muscle of *Ctenopharyngodon idellus* [ J]. Journal of Fisheries of China 2002 26 (3): 252—258 [ 刘永坚 田丽霞, 刘栋辉, 等. 实用饲料补充晶体或包膜赖氨酸对草鱼生长、血清晶体氨基酸和肌肉蛋白质合成率的影响. 水产学报, 2002 26(3): 252—258]
- [ 7] Vadas S Mekad Y Arieli Y S Effect of soybean processing methods on growth of carp [ J]. Aquaculture 1983 32 27—38
- [ 8] Tu Y F Ye Y T Song D J et al Effect of free isoleucine on growth for crucian carp [ J]. Shandong Fisheries 2004 21 (11): 40—43 [ 涂永锋 叶土元, 宋代军, 等. 游离亮氨酸对鲫鱼的促生长作用. 齐鲁渔业, 2004 21(11): 40—43]
- [ 9] Li A J Nutrition and Feed of Aqua-animals [ M]. Chinese Agricultural Publishing House 1996 18—22 [ 李爱杰. 水产动物营养与饲料学. 中国农业出版社. 1996 18—22]
- [ 10] Hu Y J Zhou A G Yang F et al Study of suited processing technology parameters of the starch gelatinization in diet [ J]. Chinese Journal of Animal Nutrition 2003 15(1): 53 [ 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. 动物营养学报, 2003 15(1): 53]
- [ 11] Wang G Study on the technology of micro-capsule improving the effect of free amino acid on the growth of *Carassius auratus gibelio* [ D]. Master Degree Thesis of Shanghai Fisheries University 2005 [ 王冠. 利用微胶囊技术改善晶体氨基酸添加效果的研究. 上海水产大学硕士学位论文. 2005]
- [ 12] Dalian Light Industry Food Analyses [ M]. Beijing Chinese Light Industry Publishing House 1994 235—237 [ 大连轻工业. 食品分析. 北京: 中国轻工业出版社. 1994 235—237]
- [ 13] Jiang A Q Wang X H. An experiment of practical diet supplementation with histidine for black carp [ J]. Chinese Fisheries 2002 2 67—73 [ 蒋艾青, 王晓华. 青鱼饲料中添加组氨酸的试验. 中国水产, 2002 2 67—73]
- [ 14] Wang G Leng X J Li X Q et al Effect of adding coated amino acids on growth and body composition of *Carassius auratus gibelio* [ J]. Journal of Shanghai Fisheries University 2006 15(3): 365—369 [ 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. 上海水产大学学报, 2006 15(3): 365—369]
- [ 15] Leng X J Wang G Influence of feeding frequency on adding crystalline amino acid in diet for *Carassius auratus gibelio* [ J]. Feed Research 2005 12 50—52 [ 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. 饲料研究, 2005 12 50—52]
- [ 16] Wilson R P Poe W E Robinsin E H Leucine Isoleucine Valine and Histidine requirements of fingerling channel catfish [ J]. Journal of Nutrition 1980 110(4): 627—633
- [ 17] Chham L Effect of dietary pH on amino acid utilization by shrimp [ A]. Advance of the studies on nutrition finfish and shellfish [ M]. Guangzhou: Zhongshan University Publishing House 1995 287—300
- [ 18] Yan J Yang Z L Liu C H Application of slow-releasing lysine in diet of common carp [ J]. Feed Research 2004 7: 36—37 [ 阎军, 杨子龙, 刘春海. 缓释赖氨酸在鲤鱼饲料中的应用. 饲料研究, 2004 7: 36—37]
- [ 19] Alam M S Teshima S Yanaihara D et al Influence of different dietary amino acid pattern on growth and body composition of juvenile Japanese flounder [ J]. Aquaculture 2002 210 359—369
- [ 20] Alam M S Teshima S Ishikawa M et al Dietary amino acid profiles and growth performance in juvenile kuruma prawn [ J]. Comparative Biochemistry Physiology 2002 133(B): 289—297
- [ 21] Segovia M A Reigh R C Coating crystalline methionine with tri-palmitin - polyvinyl alcohol shows its absorption in the intestine of Nile tilapia [ J]. Aquaculture 2004 238 355—367