

文章编号: 1004-7271(2007)02-0118-06

羟基蛋氨酸钙对鲤生长性能和 白肌营养组成的影响

沈晓芝¹, 周洪琪¹, 华雪铭¹, 怀明燕², 易敢峰³

1. 上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090;
2. 诺伟司国际贸易(上海)有限公司, 上海 200131;
3. 诺伟思国际公司, 圣路易斯, 美国 63304)

摘要:分别以豆粕或鱼粉加豆粕为主要蛋白源配制等氮、等能的豆粕基础饲料或鱼粉饲料,并在豆粕基础饲料中分别添加不同水平的羟基蛋氨酸钙(MHA-Ca)(0.045%、0.090%、0.135%和0.180%)作为实验饲料。以基础饲料组和鱼粉组为对照,饲喂鲤(47.12±2.54)g 8周,测定实验鱼的体长、体重,并计算存活率、相对增重率、相对增长率、饲料系数和蛋白质效率。同时取实验鱼的白肌,测定其水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分的含量。结果表明,0.135% MHA-Ca组的相对增重率和相对增长率显著地高于豆粕基础饲料组($P < 0.05$),但与鱼粉组和其他MHA-Ca组没有显著性差异;在豆粕基础饲料中添加0.135% MHA-Ca,饲料利用效率和蛋白质效率显著地增加($P < 0.01$),但饲料系数和蛋白质效率与鱼粉组之间无显著性差异($P > 0.05$)。同豆粕基础饲料组相比,0.090%和0.135% MHA-Ca组鲤肌肉蛋白质含量显著增加($P > 0.05$),但与鱼粉组相比无显著性差异($P > 0.05$)。同豆粕基础饲料和鱼粉饲料相比,豆粕基础饲料中添加不同水平的MHA-Ca对鲤白肌中水分、脂肪、灰分含量无显著影响($P > 0.05$)。

关键词:鲤;羟基蛋氨酸钙(MHA-Ca);相对增重率;白肌营养组成

中图分类号:S 963.1 文献标识码:A

Effect of calcium salt of 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid (MHA-Ca) on growth performance and white muscle composition of common carp (*Cyprinus carpio*)

SHEN Xiao-zhi¹, ZHOU Hong-qi¹, HUA Xue-ming¹, HUAI Ming-yan², YI Gan-feng³

1. College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;
2. NOVUS International, Inc. Shanghai 200131, China;
3. NOVUS International, Inc. St. Louis 63304, America)

Abstract: Two isonitrogenous and isocaloric soybean meal basal diet and fish meal plus soybean meal diet were formulated as control diets. The soybean meal basal diet was supplemented with different levels of calcium salt of 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid (MHA-Ca) at 0.045%, 0.090%, 0.135%, and 0.180%, respectively. After eight weeks feeding, weight gain, length gain, feed conversion rate, and protein efficiency ratio of common carp were determined. Moisture, crude protein, crude lipid, and crude ash in white muscles

收稿日期:2005-10-08

基金项目:诺伟司公司资助

作者简介:沈晓芝(1981-),女,山东莒县人,硕士研究生,专业方向为水产动物营养与饲料。E-mail:shenxiaozhi000@126.com

通讯作者:周洪琪,Tel:021-65710017,E-mail:hqzhou@shfu.edu.cn

of common carp were measured. The weight gain, length gain, and protein efficiency ratio of carps fed 0.135% MHA-Ca diet were significantly higher than those of fed soybean meal basal diets ($P < 0.05$), but were not different from those fed fish meal diet. Feed efficiency (feed:gain ratio) of the 0.135% MHA-Ca group was significant lower than the soybean meal control group ($P < 0.01$), and not different from the fish meal group ($P > 0.05$). Compared to the soybean meal basal diet, diet supplemented with 0.090% and 0.135% MHA-Ca resulted in significant higher protein content in the white muscle ($P < 0.05$), but it was not different from the fish meal diet ($P > 0.05$). Dietary supplementation with different levels of MHA-Ca had no significant effect on the moisture, fat, and ash content in the white muscles of common carp relative to the soybean meal basal diet or fish meal diet ($P > 0.05$).

Key words: common carp (*Cyprinus carpio*); calcium salt of 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid (MHA-Ca); weight gain; nutrient composition of white muscle

鱼粉具有脂肪酸含量高、氨基酸含量丰富且相对比例平衡、适口性好又能为水产动物很好消化吸收等特点,一直作为优质蛋白源被广泛地应用于水产饲料中。但因全球鱼粉产量降低和价格飙升,营养学家趋向于使用植物蛋白源替代水产饲料中部分或全部鱼粉。在一些鱼的饲料中使用植物蛋白源已取得较好的效果^[1,2]。由于植物蛋白源氨基酸含量比鱼粉低,氨基酸组成没有鱼粉合理,如豆粕的赖氨酸含量丰富,含硫氨基酸特别是蛋氨酸含量低。若使用豆粕替代鱼粉,蛋氨酸必然成为水产饲料的限制性氨基酸,因此,在使用植物蛋白源的饲料中补充合成蛋氨酸或其它必需氨基酸有可能提高饲料蛋白的营养价值。程宗佳^[3]将虹鳟鱼饲料中 50% 的鱼粉用植物蛋白源、合成赖氨酸和蛋氨酸羟基类似物(HMTBA)替代,其生产性能和经济效益都有改善,特别是在添加 0.165% HMTBA 时效果最佳。然而,也有不同的观点,饲料中补充合成氨基酸因其吸收不同步而不能改善鱼的生长^[4]。本实验以豆粕为蛋白源,探讨鲤饲料中添加羟基蛋氨酸钙(MHA-Ca)对鲤生长性能、成活率和鱼体成分的影响。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

实验鲤[初体重(47.12 ± 2.54) g,初体长(12.34 ± 0.12) cm]购自浙江省淡水水产研究所。饲料原料购自上海金童饲料有限公司。实验用的 MHA-Ca 为 2-羟基-4-甲硫基丁酸蛋氨酸钙盐,具有 84% 的蛋氨酸活性,由诺伟司国际公司提供。

1.2 实验设计

依据各饲料原料的营养成分(表 1)和鲤的营养需求^[5]设计 6 种饲料(表 2)。以豆粕为蛋白源配制不含鱼粉、缺乏蛋氨酸的基础饲料,该饲料其它营养成分均能满足鲤的营养需要,作为本实验的负对照组;在豆粕基础饲料中分别添加不同水平的 MHA-Ca(0.045%、0.090%、0.135% 和 0.180%)为实验饲料。另外,以鱼粉和豆粕为蛋白源配制鱼粉饲料,不添加 MHA-Ca,作为本实验的正对照组。每饲料组设 3 个重复。

1.3 实验饲料

将各种饲料原料准确称量,微量组分采用逐级扩大法混合,各饲料成分混合均匀后,用 TJ-12 型电动绞肉机加工成直径为 1.5 mm 的颗粒,风干,包装后放入冰箱冷冻保存备用。

1.4 饲养管理

挑选规格一致、体质健壮的鲤暂养在上海水产大学控温、24 h 连续充气的循环养殖系统中,共 18 个水族箱(160 L),每箱 20 尾。实验开始前先驯养一周,水温为 24.0 ~ 26.0 °C,投喂基础饲料,日投饲量为鱼体重的 2% 左右,每天投喂两次(上午 8:00 和下午 4:00)。

表1 实验饲料原料的营养组成(风干重)

Tab.1 Nutrient composition of the experimental ingredients (air-dried weight basis)

饲料原料	鱼粉	豆粕	次粉 _s	%
水分	8.16	12.48	12.49	
粗蛋白	65.57	46.57	14.86	
粗脂肪	10.46	0.91	3.46	
粗灰分	15.17	6.18	3.05	
胱氨酸	0.94	0.68	0.33	
蛋氨酸	1.86	0.40	0.17	
蛋+胱	2.80	1.08	0.50	
苏氨酸	2.98	1.79	0.45	
赖氨酸	4.74	2.49	0.54	

表2 实验饲料主要成分含量及营养成分(风干重)

Tab.2 Ingredient, proximate composition of the experimental diets (air-dried weight basis)

	豆粕基础 饲料组	0.045% MHA-Ca 组	0.090% MHA-Ca 组	0.135% MHA-Ca 组	0.180% MHA-Ca 组	鱼粉组
原料组成						
鱼粉	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.35
豆粕	54.00	54.00	54.00	54.00	54.00	49.50
次粉	41.47	41.42	41.38	41.33	41.29	40.15
磷酸二氢钙	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.00
多维	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
多矿	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
氯化胆碱(60%)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
MHA-Ca 84%	0.000	0.045	0.090	0.135	0.180	0.00
豆油	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.00
苏氨酸	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.00
赖氨酸	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.00
营养成分						
水分	11.92	11.91	11.91	11.90	11.90	11.79
粗蛋白	31.59	31.61	31.63	31.64	31.66	33.84
粗脂肪	4.43	4.42	4.42	4.42	4.42	4.61
粗灰分	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	5.40
能量	3 186.17	3 186.37	3 186.86	3 187.06	3 187.55	3 189.55
蛋氨酸	0.286	0.324	0.362	0.400	0.437	0.403
蛋+胱	0.793	0.831	0.868	0.906	0.944	0.944
赖氨酸	1.801	1.801	1.801	1.800	1.800	1.800

饲养实验从2005年5月23日至2005年7月17日。实验期间,各实验组每天投喂两次(上午8:00和下午4:00),日投喂量为鱼体重的2%左右,并根据摄食情况适量调整。每天排污换水,各水族箱的水质基本一致,水中溶氧 $>5\text{mg/L}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ $<0.5\text{mg/L}$ 、pH 6.5~7.0、水温 $24.0\sim 26.0\text{ }^\circ\text{C}$ 。

1.5 测定及数据处理

1.5.1 鱼的生长

在实验开始及结束前一天停止投饵,记录每个水族箱中鱼的尾数,用电子天平称鱼体重(精确到0.01 g),用量鱼板测量鱼的体长(精确到0.01 cm)。计算存活率、相对增重率和相对增长率。记录饲养期间实验鱼的摄食量,依据鱼的增重及其摄食的蛋白量计算蛋白质效率,依据鱼的增重及其摄食的饲料量计算饲料系数。

1.5.2 饲料原料及肌肉营养成分

每组随机取 10 条鱼,从鱼体背鳍以下、侧线以上取出白肌, -18 ℃ 冷冻保藏以备用。将饲料原料和白肌样品在 105 ℃ 下烘至恒重测定水分含量;采用凯氏定氮法测定其粗蛋白含量;采用索氏提取法(以乙醚为抽提液)测定粗脂肪的含量;将样品在马福炉中灼烧(550 ℃),测定其灰分含量。

1.5.3 数据处理

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 氏多重检验。

2 结果

2.1 植物蛋白饲料中添加 MHA-Ca 对鲤生长性能的影响

豆粕基础饲料组鲤的增重率为 69.79%,鱼粉组鲤的增重率为 95.16%(表 3)。植物性蛋白饲料中添加 MHA-Ca 对鱼的生长具有显著影响。0.135% MHA-Ca 组鱼的增重率和增长率分别比基础饲料组提高了 34.73% 和 55.65% ($P < 0.05$),但与鱼粉组的增重率和增长率没有显著性差异 ($P > 0.05$)。0.045%、0.090% 和 0.180% MHA-Ca 组的增重率与基础饲料组之间无显著差异 ($P > 0.05$),但均显著地低于鱼粉组 ($P < 0.05$)。添加 MHA-Ca 对鲤的饲料利用具有显著影响。所有 MHA-Ca 组的饲料系数均显著地低于基础饲料组 ($P < 0.05$),除了 0.135% MHA-Ca 组的饲料系数与鱼粉组没有显著差异之外,其余 MHA-Ca 组的饲料系数均高于鱼粉组 ($P < 0.05$)。

表 3 植物蛋白饲料中添加蛋氨酸对鲤成活率、增长率、增重率、饲料系数和蛋白质效率的影响

Tab.3 Survival rate, length gain, weight gain, feed conversion ratio (FCR), protein efficiency ratio (PER) of the common carp fed experimental diets

基础和实验饲料组	初重 (g)	初长 (cm)	存活率 (%)	增重率 (%)	增长率 (%)	饲料系数 FCR	蛋白质效率 PER
豆粕基础饲料组	49.72 ± 3.11	12.27 ± 0.13	100.00 ± 0.00	69.79 ± 4.94 ^c	14.52 ± 2.43 ^b	2.42 ± 0.03 ^{Aa}	1.31 ± 0.01 ^{Cd}
0.045% MHA-Ca 组	46.93 ± 1.49	12.04 ± 0.11	100.00 ± 0.00	73.92 ± 4.48 ^{bc}	16.27 ± 2.25 ^{ab}	2.06 ± 0.04 ^{BCbc}	1.54 ± 0.03 ^{ABCbc}
0.090% MHA-Ca 组	48.02 ± 3.62	11.99 ± 0.33	98.33 ± 2.89	74.94 ± 15.63 ^{bc}	18.71 ± 4.49 ^{ab}	1.94 ± 0.12 ^{CDe}	1.56 ± 0.10 ^{ABCbc}
0.135% MHA-Ca 组	45.65 ± 1.65	11.87 ± 0.35	100.00 ± 0.00	94.03 ± 13.20 ^{ab}	22.60 ± 5.10 ^a	1.76 ± 0.08 ^{DEd}	1.80 ± 0.10 ^{Aa}
0.180% MHA-Ca 组	46.62 ± 1.76	12.01 ± 0.30	98.33 ± 2.89	73.74 ± 7.80 ^{bc}	17.56 ± 4.82 ^{ab}	2.19 ± 0.15 ^{Bb}	1.38 ± 0.19 ^{BCcd}
鱼粉组	45.80 ± 2.51	12.04 ± 0.18	96.67 ± 2.89	95.16 ± 13.41 ^a	21.50 ± 3.44 ^{ab}	1.67 ± 0.06 ^{Ed}	1.66 ± 0.15 ^{ABab}

注:表中同列大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$),小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$),下同

植物性蛋白饲料中添加 MHA-Ca 对鲤的蛋白质效率也具有显著影响。除 0.180% MHA-Ca 组之外,其余 MHA-Ca 饲料组和鱼粉组的蛋白质效率都显著高于豆粕基础饲料组 ($P < 0.05$)。0.135% MHA-Ca 饲料组的蛋白质效率与鱼粉组没有显著差异 ($P > 0.05$),其余 MHA-Ca 添加组的蛋白质效率均显著低于鱼粉组 ($P < 0.05$)。

豆粕基础饲料组、MHA-Ca 实验组和鱼粉组的鲤成活率没有显著差异 ($P > 0.05$)。

2.2 植物蛋白饲料中添加 MHA-Ca 对鲤肌肉营养成分的影响

鱼粉组鲤白肌的水分 76.83%,蛋白质、脂肪和灰分分别为白肌干重的 86.54%、5.26% 和 5.67% (表 4)。添加 MHA-Ca 对肌肉中的粗蛋白具有显著性影响。0.090% 和 0.135% MHA-Ca 组的肌肉粗蛋白含量显著高于豆粕基础饲料组、0.045% 和 0.180% MHA-Ca 组 ($P < 0.05$),但与鱼粉组没有显著性差异 ($P > 0.05$)。MHA-Ca 实验组与豆粕基础饲料组、鱼粉组的鲤白肌水分、粗脂肪和粗灰分均没有显著性差异 ($P > 0.05$)。

表4 植物蛋白饲料中添加蛋氨酸对鲤白肌水分、蛋白质、脂肪和灰分含量的影响

Tab. 4 Moisture, crude protein, crude lipid and crude ash content in the white muscle of the common carp fed experimental diets

基础和实验组	水分 (%)	粗蛋白 (%)	粗脂肪 (%)	粗灰分 (%)
豆粕基础饲料组	77.73 ± 0.72	83.22 ± 1.12 ^{Bc}	5.93 ± 1.49	5.38 ± 0.34
0.045% MHA-Ca 组	77.32 ± 0.45	84.83 ± 0.81 ^{ABbc}	5.46 ± 1.06	5.46 ± 0.39
0.090% MHA-Ca 组	76.38 ± 1.87	85.23 ± 1.83 ^{ABab}	5.13 ± 1.12	5.54 ± 0.45
0.135% MHA-Ca 组	76.67 ± 1.42	85.62 ± 1.35 ^{ABa}	5.11 ± 1.00	5.61 ± 0.38
0.180% MHA-Ca 组	75.85 ± 1.80	83.53 ± 1.83 ^{Bbc}	5.70 ± 1.28	5.71 ± 0.43
鱼粉组	76.83 ± 0.83	86.54 ± 0.71 ^{Aa}	5.26 ± 1.73	5.67 ± 0.40

注:粗蛋白、粗脂肪、粗灰分为干物质中含量

3 讨论

3.1 植物蛋白饲料中添加 MHA-Ca 对鲤生长性能的影响

本实验在无鱼粉的豆粕饲料中添加适量的 MHA-Ca, 鱼的生长显著提高。由于豆粕饲料中蛋氨酸是第一限制性氨基酸, 因此, 随着 MHA-Ca 添加量的增加, 鲤饲料的氨基酸含量和组成比例趋于平衡, 实验鱼的生长也随之得到改善。当饲料中蛋氨酸的含量满足鲤需要时, 氨基酸被氧化减少, 更多的氨基酸可以用于体蛋白质的合成, 鱼的生长达到最大。MHA-Ca 过量添加, 鲤的生长反而有所下降。是因为饲料中蛋氨酸含量超过鲤的需要量, 饲料的氨基酸组成又趋于不平衡, 氨基酸被氧化供能又增多。因此, 在无鱼粉的豆粕饲料中, 使用适量的 MHA-Ca 可提高饲料蛋白的营养价值, 既能提高鱼的生长, 又能有效地降低饲料成本。在本实验条件下, 以豆粕为蛋白源, 饲料粗蛋白质水平为 31% ~ 32%、水温 24 ~ 26 °C 时, 鲤饲料中 MHA-Ca 的适宜添加量为 0.135%。

对遮目鱼^[6]、斑点叉尾鲷^[7]、草鱼^[8]、大马哈鱼^[9]、鲤^[10]、虹鳟^[11]、海鲈^[12]等的研究也得到了相似的结果, 必需氨基酸不足的植物性蛋白饲料中添加限制性氨基酸可以促进鱼的生长。大豆粕饲料中添加蛋氨酸或赖氨酸就能提高鱼对饲料的利用率, 改善鱼的生长^[13]。鲤以去脂大豆蛋白为蛋白源完全替代鱼粉的饲料中添加蛋氨酸可以取得良好的生长效果^[7,14]。然而鱼类对饲料中添加氨基酸的利用, 效果并不一致。鲈鱼在豆粕饲料中仅添加蛋氨酸或赖氨酸并没有改善鲈鱼的生长^[15]。对拟石首鱼^[16]的研究也表明饲料中添加晶体氨基酸不能提高鱼类的生长。由此可见, 合成氨基酸在水产动物饲料的添加效果可能因鱼的种类、饲料的氨基酸组成、饲料原料的消化利用率、氨基酸来源和饲料加工工艺等因素而异。

3.2 植物蛋白饲料中添加蛋氨酸对鲤肌肉营养成分的影响

鱼类白肌的营养成分比较稳定, 因此, 本实验分析白肌的营养成分。豆粕饲料中添加 MHA-Ca 对肌肉蛋白含量有显著影响, 与拟石首鱼^[17]和草鱼^[18,19]的鱼体营养成分有相似的结果。饲料中含硫氨基酸/赖氨酸为 0.48 时能够显著地提高肌肉中蛋白质的含量^[17]。由于蛋氨酸是豆粕的限制性氨基酸, 随着 MHA-Ca 添加量的增加, 饲料中氨基酸趋于平衡, 鱼体蛋白的合成能力、体蛋白的合成速率及蛋白质的沉积率也相应地提高^[18,19], 所以当饲料中蛋氨酸的含量满足鲤的需要时, 鱼体蛋白的合成率和沉积率最大。当 MHA-Ca 过量添加, 蛋氨酸不仅不会被实验鱼利用, 反而可导致饲料氨基酸不平衡, 鱼体蛋白质合成和蛋白质沉积也相应减少。

然而添加氨基酸对鱼体营养成分的影响并不一致。对海鲈^[12]、斑点叉尾鲷^[20]、遮目鱼^[6]饲料中添加蛋氨酸并不影响实验鱼的鱼体成分。饲料中添加氨基酸对鱼类肌肉蛋白质含量的影响也可能因鱼的种类、氨基酸的剂型、饲料加工工艺和饲料原料的氨基酸利用效率而异。

参考文献:

- [1] Elangivan 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 altus*) [J]. *Aquaculture*, 2000, 189:133 - 144.
- [2] Chou R L, Her B Y, Su M S, *et al.* Substituting fish meal with soybean meal in diets of juvenile cobia *Rachycentron canadum* [J]. *Aquaculture*, 2004, 229:325 - 333.
- [3] 程宗佳. 在豆粕型饲料中添加蛋氨酸羟基类似物(MHA)对虹鳟鱼生产性能的影响(二)最适 MHA 添加量[J]. *饲料广角*, 2004 (13):30 - 32.
- [4] 李爱杰. 水产动物营养与饲料学[M]. 北京:中国农业出版社,1996:18 - 22.
- [5] Takeuchi T, Satoh S, Kiron V. Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture [M]. Washington D C; National Academy Press, 2002:245 - 261.
- [6] Shiau S Y, Pan B S, Chen S, *et al.* Successful use of soybean meal with a methionine supplement to replace fish meal in diets fed to milkfish *Chanos chanos* Forskal [J]. *World Aquaculture Soc*, 1988, 19:14 - 19.
- [7] Murai T, Ogata H, Nose T. Methionine coated with various materials supplemented to soybean meal diet for fingerling carp *Cyprinus carpio* and channel catfish *Ictalurus punctatus* [J]. *Bull Jan Soc Sci Fish*, 1982, 48:85 - 88.
- [8] 叶元土,林仕梅,罗 莉. 饲料必需氨基酸的平衡效果对草鱼生长的影响[J]. *饲料工业*, 1999, 20(3):39 - 42.
- [9] Bureau D P, Harris A M, Cho C Y. The effects of purified alcohol extracts from soy products in feed intake and growth of Chinool salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1998, 161:27 - 43.
- [10] Murai T, Ogata H, Kosutarak P, *et al.* Effects of amino acid suppletion and methanol treatment on utilization of soy flour in fingerling carp [J]. *Aquaculture*, 1986, 56:197 - 206.
- [11] Krogdahl A, Lea T B, Olli J. Soybean proteinase inhibitors affect intestinal trypsin activities and amino acid digestibilities in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Comp Biochem Physiol*, 1994, 107:215 - 219.
- [12] Hidalgo F, Alliot E, Thebault H. Methionine- and cystine-supplemented diets for juvenile sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. *Aquaculture*, 1987, 64:209 - 217.
- [13] Zongjia J Cheng, Hardy R W, Usry J L. Plant protein ingredients with lysine supplementation reduce dietary protein level in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets, and reduce ammonia nitrogen and soluble phosphorus excretion [J]. *Aquaculture*, 2003, 218:553 - 565.
- [14] Viola S, Mokady S, Rappaport U, *et al.* Partial and complete replacement of fishmeal by soybean meal in feeds for intensive culture of carp [J]. *Aquaculture*, 1982, 26:223 - 236.
- [15] Andrews J W, Page J W. Growth factors in the fishmeal component of catfish diets [J]. *Nutr*, 1974, 104:1091 - 1096.
- [16] Reigh R C, Ellis S C. Effects of dietary soybean and fish protein rations on growth and body composition of red drum (*Sciaenops ocellatus*) fed isonitrogenous diets [J]. *Aquaculture*, 1992, 104:279 - 292.
- [17] Goff J B, Gatlin D M. Evaluation of different sulfur amino acid compounds in the diet of red drum, *Sciaenops ocellatus*, and sparing value of cystine for methionine [J]. *Aquaculture*, 2004, 241:465 - 477.
- [18] 罗 莉,叶元土,林仕梅. 饲料必需氨基酸模式对草鱼生长及蛋白质周转的影响[J]. *水生生物学报*, 2003, 27(3):278 - 282.
- [19] 刘永坚,田丽霞,刘栋辉,等. 实用饲料中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.
- [20] Meng H. L, 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, 163:297 - 307.