

赖氨酸对团头鲂幼鱼生长、血清生化及游离必需氨基酸的影响

廖英杰^{1,2}, 刘波^{1,2}, 任鸣春², 崔红红^{1,2}, 谢骏^{1,2}, 戈贤平^{1,2*}

(1. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081;

2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214081)

摘要:为探讨饲料中不同水平赖氨酸对团头鲂幼鱼生长、血清生化及血清中游离必需氨基酸的影响,选用初始均重(3.34±0.03)g的团头鲂幼鱼540尾,随机分成6个实验组,每个实验组3个重复,每个重复30尾鱼,分别投喂赖氨酸含量为1.29%、1.71%、2.09%、2.48%、2.88%、3.27%的饲料,养殖实验为10周。研究表明:(1)与对照组相比,2.48%赖氨酸实验组显著提高了团头鲂幼鱼的鱼体末重、增重率、特定增重率、氮沉积率、蛋白质效率和蛋白沉积率,显著降低了饵料系数,但不影响存活率;(2)2.09%赖氨酸实验组显著提高鱼体蛋白含量和降低脏体比系数,2.88%、3.27%赖氨酸实验组显著降低了粗灰分含量;(3)3.27%赖氨酸实验组显著提高了血清中谷丙转氨酶和总蛋白含量;2.14%赖氨酸实验组显著降低了血清中白蛋白的含量;2.88%赖氨酸实验组显著降低了血清中尿素含量;(4)除血清亮氨酸和缬氨酸之外,2.88%赖氨酸实验组显著提高了血清中必需氨基酸含量;同时,随着饲料中赖氨酸水平的增加,血清中总必需氨基酸呈先升高后趋于平缓的趋势。以鱼体特定增重率和蛋白沉积率为评价指标,经折线模型回归分析得到团头鲂幼鱼饲料中赖氨酸的适宜添加量分别为饲料干重的2.36%(饲料粗蛋白含量的6.96%)和2.22%(饲料粗蛋白含量的6.53%)。

关键词:团头鲂;赖氨酸;需要量;生长

中图分类号:Q 591.9; S 965

文献标志码:A

团头鲂(*Megalobrama amblycephala*),又称武昌鱼,隶属鲤形目(Cypriniformes),鲤科(Cyprinidae),鲂属(*Megalobrama*)。20世纪60年代时,团头鲂作为我国淡水鱼混养系统中的一种优良的草食性鱼类在全国推广^[1]。该鱼具有肉质鲜美、生长快、营养价值高等优点^[2]。

鱼类的正常生长需要十种必需氨基酸^[3],饲料中缺乏必需氨基酸导致生长缓慢和饲料利用率低下^[4]。因此,在鱼用饲料制作过程中必须确保必需氨基酸充足且平衡。赖氨酸作为鱼类的必需氨基酸之一,是许多饲料蛋白源的第一限制性氨基酸^[5]。赖氨酸作为肉毒碱的前体物质,肉毒碱能够将长链脂肪酸带入线粒体内转化成 β -氧化态的脂肪,在脂肪的代谢过程中起重要作用^[6]。

目前,国内外学者已对澳洲银鲈(*Bidyanus bidyanus*)^[7],大西洋鳕(*Gadus morhua*)^[8],日本花鲈(*Lateolabrax japonicus*)^[9],太平洋马鲛(*Polydactylus sexfilis*)^[10],瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)^[11]等多种鱼类赖氨酸需求量进行研究。

近年来,一些研究学者开展了几种营养元素对团头鲂生长和其他参数影响研究,如:蛋白质/脂肪比率^[12-13]、碳水化合物/脂肪比率^[14]、胆碱^[15]、维生素E^[16]、精氨酸^[17]等。但是,关于赖氨酸对团头鲂幼鱼生长、血清生化和氨基酸吸收的研究未见报道。本实验以含有不同梯度赖氨酸水平的半精制饲料饲喂团头鲂幼鱼,通过生长、体成分、血清生化指标和血清中必需氨基酸含量的

收稿日期:2013-05-29 修回日期:2013-09-22

资助项目:公益性行业(农业)科研专项(201003020);现代农业产业技术体系建设专项(CARS-46)

通信作者:戈贤平,E-mail:geexp@ffrc.cn

指标来确定赖氨酸的功能,为研制团头鲂营养平衡的人工配合饲料提供理论科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计与实验饲料

实验采用单因素梯度配方设计,以鱼粉(67.4%粗蛋白,9.3%粗脂肪)、酪蛋白(90.2%粗蛋白)和明胶(91.3%粗蛋白)为蛋白源,糊精为糖源,豆油为脂肪源配制6组等氮等能半精制饲料。晶体氨基酸(L-氨基酸,99%)购买上海斐

雅科技发展有限公司,饲料中晶体赖氨酸的添加水平分别为:1.34%、1.74%、2.14%、2.54%、2.94%、3.34%。实验饲料按配方(表1)制作时,用甘氨酸作填充剂,调节6种饲料达到等能等氮,用6 mol/L的NaOH溶液调节至中性^[7]。各种原料分别充分混匀,加15%自来水混匀后,用SLP-45型质粒机(中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所)制成粒径1.0 mm的沉性颗粒饲料,室温72 h阴干后于4℃冰柜中保存备用。饲料必需氨基酸组成见表2。

表1 实验饲料配方和营养成分组成
Tab.1 Formulation and proximate analysis of trial diets % , air-dry basis

原料 ingredient	组别 groups					
	1.29	1.71	2.09	2.48	2.88	3.27
鱼粉 fish meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
酪蛋白 casein	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
明胶 gelatin	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75
豆油 soybean oil	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
大豆磷脂 soyben lecithin	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
氨基酸混合物 amino acid mix ¹	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64
氯化胆碱 choline chloride	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
维生素 C vitamin C(35%)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
维生素预混料 vitamin mix ²	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
磷酸二氢钙 monocalcium phosphate	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
矿物质预混料 mineral mix ³	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
糊精 dextrin	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
微晶纤维素 microcrystalline cellulose	7.46	7.46	7.46	7.46	7.46	7.46
羧甲基纤维素 carboxymethylcellulose	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
乙氧基喹啉 ethoxy quinoline	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
甘氨酸 glycine	2.50	2.00	1.50	1.00	0.50	0.00
L-赖氨酸 L-lysine	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
合计 total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养成分分析/(%, dry weight) proximate analysis						
赖氨酸 lysine	1.29	1.71	2.09	2.48	2.88	3.27
粗灰分 ash	5.61	5.83	5.59	5.59	5.36	5.49
粗蛋白 crude protein	32.67	33.09	33.13	33.17	32.27	33.81
粗脂肪 crude fat	6.59	6.51	6.72	6.64	6.57	6.73

注:1. 氨基酸混合物(每100克饲料):组氨酸,0.31 g;异亮氨酸,0.68 g;亮氨酸,0.87 g;赖氨酸,1.09 g;蛋氨酸,0.43 g;苯丙氨酸,0.66 g;苏氨酸,0.71 g;缬氨酸,0.56 g;天冬氨酸,1.46 g;丝氨酸,0.55 g;甘氨酸,1.37 g;丙氨酸,1.25 g;胱氨酸,0.14 g;酪氨酸,0.27 g;色氨酸,0.12 g;谷氨酸,1.11 g

2. 维生素预混料(每千克饲料):维生素 A,9 000 IU;维生素 D,2 500 IU;维生素 E,45 mg;维生素 K₃,2.2 mg;维生素 B₁,3.2 mg;维生素 B₂,10.9 mg;维生素 B₆,50 mg;维生素 B₁₂,1.16 mg;生物素,0.5 mg;泛酸盐,10.00 mg;叶酸,1.65 mg;肌醇 150 mg;烟酸,25 mg

3. 矿物添加剂(每千克饲料):硫酸铜·5H₂O,0.025 g;硫酸铁·7H₂O,0.28 g;硫酸锌·7H₂O,0.22 g;硫酸锰·4H₂O,0.09 g;硒酸钠·5H₂O,0.000 45 g;碘化钾,0.000 26 g;氯化钴·6H₂O,0.001 g

Notes:1. Amino acid premix(per 100 g diet): L-histidine,0.31 g; L-isoleucine,0.68 g; Leucine,0.87 g; L-lysine,1.09 g; L-methionine,0.43 g; L-phenylalanine g,0.66; L-threonine,0.71 g; L-valine,0.56 g; L-aspartic acid,1.46 g; Serine,0.55 g; glycine,1.37 g; Alanine,1.25 g; L-cystine 0.14 g; L-tyrosine,0.27 g; Tryptophan,0.12 g; Gulmatic acid,1.11 g

2. Vitamin premix(per kg diet): Vitamin A,9 000 IU; Vitamin D,2 500 IU; Vitamin C,20 mg; Vitamin E,45 mg; Vitamin K₃,2.2 mg; Vitamin B₁,3.2 mg; Vitamin B₂,10.90 mg; Vitamin B₆,50 mg; Vitamin B₁₂,1.16 mg; Biotin,0.50 mg; Pantothenate,10 mg; Folic acid,1.65 mg; Choline,600 mg; Inositol,150 mg; Niacin acid,25 mg

3. Mineral premix(per kg diet): Cupric sulphate pentahydrate,0.025 g; Ferrous sulphate heptahydrate,0.28 g; Zinc sulphate heptahydrate,0.22 g; Manganese sulphate tetrahydrate,0.09 g; Sodium selenate pentahydrate,0.000 45 g; Potassium iodide,0.000 26 g; Cobalt chloride pentahydrate,0.001 g

表 2 饲料中氨基酸组成
Tab. 2 Amino acid analysis of trial diets % , air-dry basis

氨基酸 aminoacids	15% 酪蛋白提供 supplied by 15% casein	3.75% 明胶提供 supplied by 3.75% gelatin	5% 鱼粉提供 supplied by 5% fish meal	晶体氨基酸提供 supplied by crystalline amino acid mixture	总计 total	34% 的鱼体蛋白 34% whole body protein
必需氨基酸 essential amino acids						
赖氨酸 Lys	1.01	0.11	0.23	*	*	2.43
组氨酸 His	0.33	0.01	0.11	0.31	0.76	0.76
异亮氨酸 Ile	0.63	0.05	0.14	0.68	1.49	1.49
亮氨酸 Leu	1.21	0.09	0.23	0.87	2.40	2.40
精氨酸 Arg	0.43	0.24	0.18	1.16	2.01	2.01
蛋氨酸 Met	0.37	0.02	0.09	0.43	0.90	0.90
苯丙氨酸 Phe	0.62	0.06	0.14	0.66	1.47	1.47
苏氨酸 Thr	0.55	0.05	0.11	0.71	1.41	1.41
缬氨酸 Val	0.78	0.08	0.16	0.56	1.57	1.57
非必需氨基酸 non-essential amino acids						
天冬氨酸 Asp	0.96	0.16	0.27	1.46	2.84	2.84
丝氨酸 Ser	0.70	0.09	0.12	0.55	1.45	1.45
甘氨酸 Gly	0.24	0.69	0.19	*	*	2.50
丙氨酸 Ala	0.43	0.27	0.20	1.25	2.14	2.14
胱氨酸 Cys	0.03	0.00	0.02	0.14	0.19	0.19
酪氨酸 Tyr	0.68	0.02	0.10	0.27	1.07	1.07
谷氨酸 Glu	2.79	0.32	0.42	1.11	4.64	4.64

注: * . 变量; 色氨酸没有检测

Notes: * . Variable; Tryptophane was not detected

1.2 实验鱼与饲养管理

养殖实验在中国水产科学研究院淡水渔业研究中心南泉基地的一个水泥池塘(规格:60 m × 30 m)中进行,池塘平均水深约 2.5 m。实验所用团头鲂幼鱼购自本基地,驯化 15 d 后,将 540 条体质健壮,规格和重量基本一致的团头鲂鱼种,初始体质量(3.34 ± 0.03) g,随机分入 18 个网箱(规格:1 m × 1 m × 1 m)中,6 个实验组,每组设 3 个重复,每个网箱放养 30 尾。每天定时投喂 3 次(8:00 h, 12:00 h 和 16:00 h),每次投喂持续 30 min,日投饵量为鱼体的 3% ~ 5%,并根据摄食和生长情况作适当调整,直到表现饱食为止。

每天定时(8:00 h 和 16:00 h)测定网箱内水体的水温、溶解氧和 pH。当水体溶氧低于 5.0 mg/L 时,及时启动增氧机给水体供氧。每周给池塘适当注入一部分新鲜水,并且定期测定氨氮和亚硝酸盐含量,以保证池塘水质清新。饲养期间水温 26 ~ 31 °C, pH 为 7.2 ~ 7.8,溶解氧大于 5 mg/L,氨氮小于 0.01 mg/L。减少人为干扰,保持安静,防止额外应激,每日观察鱼摄食及死亡情

况,发现死鱼及时捞出称重记数,并检查死亡原因。正式养殖 10 周后结束,量取鱼体长、称重和采样等。

1.3 样品收集和测定方法

常规生长指标测定 饲养实验结束后,禁食 24 h,每箱随机选取 3 尾,每组 9 尾团头鲂,采血后测定每条鱼的体质量、体长、内脏重、肝脏重等,以计算内脏比、肝体比及肥满度;随后对每箱余下的鱼体称重后计算增重率,特定生长率等。

血液指标测定 饲养实验结束后,分别从每箱随机取团头鲂 3 尾,每个处理 9 尾鱼,用浓度为 100 mg/L 的 MS-222 作快速深度麻醉,用一次性医用注射器(用肝素钠润湿)从尾静脉采血。将血液于 4 °C 条件下 10 000 r/min 离心 10 min,制备血清, - 70 °C 冻存备测定。谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、白蛋白(ALB)、葡萄糖(Glu)、总蛋白(Tp)和尿素(Urea)等在深圳迈瑞 BS-400 全自动生化分析仪,试剂盒均购自深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司。血清中游离氨基酸用三氯乙酸沉淀蛋白后,采用江南大学食品

科技学院安捷伦-1100液相色谱仪分析仪测定。

全鱼体成分分析 饲养实验结束后,每箱随机选取5尾鱼,每个处理15尾鱼,用于测定鱼体的粗蛋白、粗脂肪、灰分和水分含量等常规营养成分。通过常压干燥法在105℃的烘箱中烘至恒重来计算干物质含量;通过凯氏定氮法(GB/T 6432-1994)来检测样品的粗蛋白含量(AOAC,1995);使用索氏抽提法(GB/T 6432-1994)即利用乙醚抽脂来检测粗脂肪含量;采用560℃灼烧法(GB/T 6438-1992)在马氟炉焚烧5h后计算灰分含量。

氨基酸的测定 饲料用6 mol/L的HCl在110℃下水解24h后,用安捷伦-1100液相色谱仪分析仪测定其中的氨基酸。

1.4 相关指标计算公式

增重率(weight gain rate, WGR, %) = $100 \times (W_t - W_0) / W_0$;

特定增重率(specific growth rate, SGR, % / d) = $100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$;

蛋白沉积率(protein productive value, PPV, %) = $100 \times (W_t \times P_t - W_0 \times P_0) / (FI \times P_t)$

蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER, %) = $100 \times (W_t - W_0) / (FI \times P_t)$

氮沉积率(nitrogen retention efficiency, NRE, %) = $100 \times (W_t \times N_f - W_0 \times N_0) / (W_0 \times N_0)$

饲料系数(feed conversion ratio, FCR) = $FI / (W_t - W_0)$;

成活率(survival rate, SR, %) = $100 \times N_t / N$;

肝体比(hepatosomatic index, HIS, %) = $100 \times W_h / W_b$;

脏体比(viscerosomatic ratio, VR, %) = $100 \times W_v / W_b$;

肥满度(condition factor, CF, %) = $100 \times W_b / L^3$ 。

式中, W_0 (g)为鱼初体均重; W_t (g)为鱼末体均重; t (d)为饲喂天数; FI (g)为每尾鱼平均摄食饲料总量(风干样重); W_h (g)为每尾鱼末肝脏重; W_v (g)为每尾鱼末内脏重; W_b (g)为每尾鱼末体重; L (cm)为每尾鱼末体长; N_t 为收获尾数, N 为放养尾数; P_0 为鱼初蛋白含量; P_t 为鱼末蛋白含量; P_f 为饲料蛋白含量; N_0 为鱼初氮含量; N_f 为鱼末氮含量。

1.5 数据统计与分析

实验数据用SPSS 16.0统计软件包中的单

因素方差分析(One-Way ANOVA),若差异显著时,再进行Duncan氏多重比较, $P < 0.05$ 表示差异显著,所有的结果均以平均值 \pm 标准误(mean \pm SE)表示。通过折线法(Broken-line),根据团头鲂幼鱼的特定生长率和蛋白沉积率与饲料中赖氨酸含量的相关性得出其最适赖氨酸需要量。

2 结果

2.1 不同水平赖氨酸对团头鲂幼鱼生产性能的影响

随着饲料中赖氨酸添加水平的逐渐增加,团头鲂幼鱼鱼体末均重、增重率、特定增重率、蛋白沉积率、蛋白质效率、氮沉积率呈先升高后趋于平缓的趋势。与对照组(1.29%)相比,2.48%赖氨酸实验组显著提高了团头鲂幼鱼鱼体末均重、增重率和氮沉积率($P < 0.05$);2.48%和3.27%赖氨酸实验组显著提高了特定增重率($P < 0.05$);2.09%、2.48%和3.27%赖氨酸实验组显著提高蛋白沉积率($P < 0.05$);2.48%和3.27%赖氨酸实验组显著提高($P < 0.05$)了蛋白质效率;与对照组相比,1.71%、2.09%和2.48%赖氨酸实验组的饵料系数显著下降($P < 0.05$)。饲料中赖氨酸水平对团头鲂幼鱼的成活率无显著影响($P > 0.05$)(表3)。

经折线模型回归分析发现,团头鲂幼鱼特定增重率和蛋白沉积率与赖氨酸水平呈非线性关系(图1)。由图1可知,当特定增重率达到最大时,饲料中赖氨酸最适添加量为2.36%(饲料粗蛋白含量的6.96%);由图2可知,当蛋白沉积率达到最大时,饲料中赖氨酸最适添加量为2.22%(饲料粗蛋白含量的6.53%)。

2.2 不同水平赖氨酸对团头鲂幼鱼对体成分与形态指数的影响

饲料中赖氨酸水平显著影响团头鲂幼鱼的体成分和形态指数。与对照组相比,2.09%赖氨酸实验组显著提高了团头鲂幼鱼鱼体蛋白含量($P < 0.05$);2.88%、3.27%赖氨酸实验组显著降低了团头鲂幼鱼鱼体灰分含量($P < 0.05$);2.09%赖氨酸实验组显著降低了团头鲂幼鱼脏体比系数($P < 0.05$)。饲料中添加赖氨酸对团头鲂幼鱼鱼体粗脂肪、水分、肥满度和肝体比无显著影响($P > 0.05$)(表4)。

表 3 饲料中赖氨酸水平对团头鲂幼鱼生产性能的影响
Tab. 3 Effects of dietary lysine levels on growth performance of juvenile *M. amblycephala*

	赖氨酸含量/% lysine content					
	1.29	1.71	2.09	2.48	2.88	3.27
初始体质量/g IBW	3.34 ± 0.01	3.34 ± 0.01	3.35 ± 0.01	3.35 ± 0.01	3.33 ± 0.00	3.35 ± 0.01
终末体质量/g FBW	16.3 ± 2.16 ^a	18.04 ± 1.57 ^{ab}	19.08 ± 1.08 ^{ab}	22.43 ± 0.93 ^b	19.22 ± 2.38 ^{ab}	19.62 ± 1.82 ^{ab}
增重率/% WGR	387.6 ± 65.16 ^a	440.5 ± 47.5 ^{ab}	470.25 ± 32.52 ^{ab}	570.27 ± 26.93 ^b	477.13 ± 70.98 ^{ab}	485.33 ± 53.93 ^{ab}
特定增重率/(%/d) SGR	2.2 ± 0.19 ^a	2.42 ± 0.07 ^{ab}	2.71 ± 0.07 ^b	2.88 ± 0.06 ^b	2.63 ± 0.18 ^{ab}	2.79 ± 0.1 ^b
饵料系数/% FCR	1.54 ± 0.10 ^b	1.36 ± 0.06 ^a	1.27 ± 0.05 ^a	1.23 ± 0.02 ^a	1.39 ± 0.02 ^{ab}	1.40 ± 0.02 ^{ab}
蛋白沉积率/% PPV	27.01 ± 2.82 ^a	36.47 ± 2.43 ^{ab}	42.02 ± 3.76 ^b	42.05 ± 0.35 ^b	41.67 ± 5.32 ^b	35.85 ± 1.63 ^{ab}
蛋白质效率/% PER	1.82 ± 0.27 ^a	2.15 ± 0.18 ^{ab}	2.33 ± 0.07 ^{ab}	2.45 ± 0.03 ^b	2.45 ± 0.28 ^b	2.29 ± 0.11 ^{ab}
氮沉积率/% NRE	2.8 ± 0.59 ^a	3.61 ± 0.31 ^{ab}	4.01 ± 0.23 ^{ab}	4.82 ± 0.15 ^b	3.97 ± 0.68 ^{ab}	3.77 ± 0.43 ^{ab}
存活率/% SR	97.78 ± 2.22	100 ± 0.00	92.22 ± 4.84	100 ± 0.00	91.11 ± 4.44	100 ± 0.00

注:不同英文字母表示各组间有显著差异($P < 0.05$)。以下表注同此

Notes: Different superscript letters indicate significant differences ($P < 0.05$). The same as the following

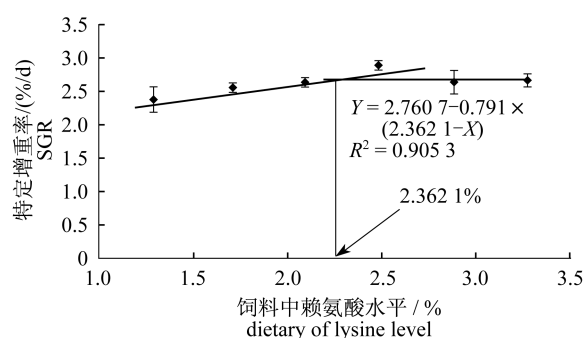


图 1 饲料中赖氨酸水平对团头鲂幼鱼特定增重率的影响

Fig. 1 Effect of dietary lysine level on specific growth rate (SGR) of juvenile *M. amblycephala*

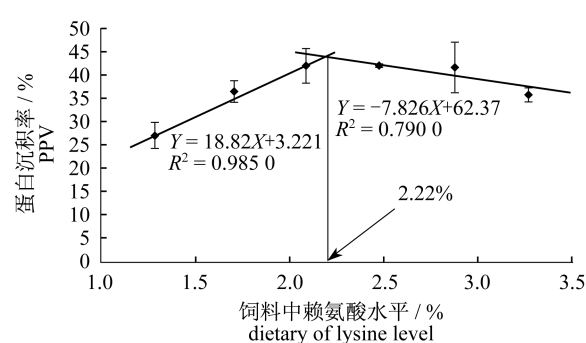


图 2 饲料中赖氨酸水平对团头鲂幼鱼蛋白沉积率的影响

Fig. 2 Effect of dietary lysine level on protein productive value (PPV) of juvenile *M. amblycephala*

表 4 不同水平赖氨酸对团头鲂幼鱼对体成分与形态指数的影响

Tab. 4 Effects of dietary lysine levels on body composition and body-organ indices of juvenile *M. amblycephala*

	赖氨酸含量 lysine content					
	1.29	1.71	2.09	2.48	2.88	3.27
粗蛋白 crude protein	15.25 ± 0.4 ^a	16.79 ± 0.37 ^{ab}	17.61 ± 0.19 ^b	16.95 ± 0.2 ^{ab}	16.79 ± 0.33 ^{ab}	15.68 ± 0.13 ^a
粗脂肪 crude fat	11.51 ± 0.66	10.86 ± 0.24	11.67 ± 0.43	10.78 ± 0.16	11.36 ± 0.3	11.00 ± 0.24
水分 moisture	69.13 ± 0.59	69.17 ± 0.05	68.63 ± 0.18	69.32 ± 0.22	69.21 ± 0.63	69.74 ± 0.26
灰分 ash	3.35 ± 0.07 ^c	3.33 ± 0.06 ^c	3.25 ± 0.08 ^{bc}	3.09 ± 0.09 ^{abc}	3.01 ± 0.12 ^{ab}	2.95 ± 0.07 ^a
肥满度 CF	1.84 ± 0.06	1.86 ± 0.04	1.91 ± 0.05	1.97 ± 0.03	1.94 ± 0.04	1.88 ± 0.04
脏体比 VSI	2.15 ± 0.27 ^b	1.62 ± 0.13 ^{ab}	1.57 ± 0.2 ^a	1.8 ± 0.1 ^{ab}	1.64 ± 0.17 ^{ab}	1.63 ± 0.13 ^{ab}
肝体比 HSI	9.29 ± 0.43	8.36 ± 0.82	8.68 ± 0.41	9.2 ± 0.65	9.19 ± 0.53	9.14 ± 0.42

2.3 不同水平赖氨酸对团头鲂幼鱼对血清中必需氨基酸含量的影响

饲料中赖氨酸水平显著影响团头鲂幼鱼血清中必需氨基酸含量。与对照组相比,2.88% 赖氨酸实验组显著提高了团头鲂幼鱼血清中赖氨酸、异亮氨酸、精氨酸、苏氨酸含量($P < 0.05$);2.48% 和 2.88%

赖氨酸实验组显著提高了团头鲂幼鱼血清中蛋氨酸含量($P < 0.05$);2.09%、2.48% 和 2.88% 赖氨酸实验组显著提高了团头鲂幼鱼血清中苯丙氨酸、总必需氨基酸含量($P < 0.05$)。与对照组相比,饲料中赖氨酸水平对团头鲂幼鱼血清中游离组氨酸、亮氨酸、缬氨酸含量无显著影响($P > 0.05$) (表 5)。

表 5 不同水平赖氨酸对团头鲂幼鱼血清中必需氨基酸含量的影响

Tab. 5 Effect of dietary lysine levels on essential amino acids of serum in juvenile *M. amblycephala*

必需氨基酸/(mg/L) EAA	赖氨酸含量/% lysine content					
	1.29	1.71	2.09	2.48	2.88	3.27
赖氨酸 Lys	8.98 ± 0.27 ^a	13.87 ± 0.12 ^{ab}	15.24 ± 0.84 ^{ab}	18.18 ± 0.21 ^{ab}	28.13 ± 0.25 ^b	20.64 ± 0.13 ^{ab}
组氨酸 His	26.45 ± 3.02 ^{ab}	24.66 ± 0.47 ^a	35.33 ± 0.69 ^{bc}	39.05 ± 0.02 ^c	29.75 ± 1.77 ^{abc}	30.74 ± 1.40 ^{abc}
异亮氨酸 Ile	4.98 ± 0.91 ^a	6.68 ± 0.85 ^{ab}	6.06 ± 0.19 ^{ab}	7.09 ± 0.66 ^{ab}	8.28 ± 1.13 ^b	5.45 ± 0.80 ^{ab}
亮氨酸 Leu	11.33 ± 0.09	12.44 ± 0.20	13.51 ± 1.41	15.31 ± 0.66	13.22 ± 0.95	11.19 ± 0.59
精氨酸 Arg	16.15 ± 0.37 ^a	17.9 ± 1.41 ^{ab}	16.83 ± 0.74 ^a	20.72 ± 0.47 ^{ab}	24.07 ± 0.24 ^b	14.27 ± 0.01 ^a
苯丙氨酸 Phe	5.51 ± 0.73 ^{ab}	7.33 ± 0.74 ^{abc}	7.93 ± 0.80 ^{bc}	9.63 ± 0.34 ^c	8.95 ± 0.83 ^c	5.22 ± 0.17 ^a
苏氨酸 Thr	17.16 ± 1.40 ^a	17.68 ± 1.05 ^a	24.24 ± 3.19 ^{ab}	20.83 ± 0.13 ^{ab}	29.53 ± 0.94 ^b	25.11 ± 0.23 ^{ab}
缬氨酸 Val	12.62 ± 0.22	15.61 ± 0.05	12.27 ± 0.78	13.72 ± 0.03	12.82 ± 0.25	8.05 ± 0.84
蛋氨酸 Met	3.87 ± 0.44 ^a	6.11 ± 0.67 ^{ab}	6.02 ± 0.55 ^{ab}	7.63 ± 0.45 ^b	7.27 ± 0.05 ^b	5.99 ± 0.99 ^{ab}
总必需氨基酸 ΣEAA	107.05 ± 5.52 ^a	122.28 ± 2.38 ^{ab}	137.43 ± 7.50 ^{bcd}	152.15 ± 7.04 ^{cd}	162.16 ± 3.32 ^d	126.67 ± 8.26 ^{abc}

2.4 不同水平赖氨酸对团头鲂幼鱼血液生化指标的影响

与对照组相比,3.27% 赖氨酸实验组显著提高了团头鲂幼鱼血清中谷丙转氨酶(ALT)和总蛋白(TP)含量($P < 0.05$);2.09% 赖氨酸实验组显著降低了团头鲂幼鱼血清中白蛋白(ALB)的

含量($P < 0.05$);2.88% 赖氨酸实验组显著降低了血清中团头鲂幼鱼血清中尿素(Urea)含量($P < 0.05$)。与对照组相比,赖氨酸实验组对团头鲂幼鱼血清中谷草转氨酶(AST)和葡萄糖(Glu)含量无显著影响($P > 0.05$)(表6)。

表 6 不同水平赖氨酸对团头鲂幼鱼血液生化指标的影响

Tab. 6 Effect of dietary lysine levels on biochemical indexes of plasma in juvenile *M. amblycephala*

赖氨酸含量/ % lysine content	谷丙转氨酶/ (U/L) ALT	谷草转氨酶/ (U/L) AST	总蛋白/ (mmol/L) TP	白蛋白/ (mmol/L) ALB	尿素/ (mmol/L) Urea	葡萄糖/ (mmol/L) Glu
1.29	6.06 ± 1.12 ^{ab}	37.94 ± 3.78	23.97 ± 1.26 ^{ab}	2.25 ± 0.25 ^a	0.7 ± 0.04 ^b	2.78 ± 0.31
1.71	5.49 ± 0.67 ^{ab}	32.44 ± 3.50	23.47 ± 1.02 ^a	2.50 ± 0.30 ^a	0.61 ± 0.03 ^{ab}	2.82 ± 0.17
2.09	4.60 ± 0.62 ^a	31.17 ± 2.57	26.65 ± 0.83 ^{ab}	3.69 ± 0.34 ^b	0.61 ± 0.02 ^{ab}	2.70 ± 0.18
2.48	5.73 ± 0.81 ^{ab}	40.79 ± 5.06	26.61 ± 0.88 ^{ab}	2.98 ± 0.18 ^{ab}	0.60 ± 0.04 ^{ab}	2.95 ± 0.10
2.88	5.83 ± 0.60 ^{ab}	41.57 ± 3.46	25.74 ± 0.94 ^{ab}	2.65 ± 0.28 ^a	0.58 ± 0.02 ^a	3.16 ± 0.22
3.27	6.79 ± 0.65 ^b	40.81 ± 4.32	27.30 ± 1.54 ^b	2.83 ± 0.13 ^{ab}	0.61 ± 0.04 ^{ab}	3.23 ± 0.24

3 讨论

3.1 不同水平赖氨酸对团头鲂幼鱼生长性能的影响

在水产动物蛋白质合成和促生长中,赖氨酸起着很重要的作用^[18-19]。在本实验中,随着饲料中赖氨酸水平的提高,团头鲂生长性能和饲料利用率显著提高。相关报道也显示,适量赖氨酸对澳洲银鲈^[8]幼鱼和淡水鲶鱼(*Mystus nemurus* Cuv. & Val.)^[20]的生长有明显促进作用。结果表明,赖氨酸对团头鲂幼鱼生长是必需的,并且能够吸收利用饲料中的晶体赖氨酸。

在水产动物饲料中,赖氨酸是其中一种限制性

氨基酸^[21-22]。在一定范围之内,鱼类随着饲料中赖氨酸水平的提高,生长加快、饲料利用率提高^[23-24]。这与本实验所得结果是一致的。这说明饲料中赖氨酸不足或过量,造成总的氨基酸不平衡,生长减慢,饲料利用率降低。本实验表明,团头鲂幼鱼的特定增重率和蛋白效率均随着饲料中赖氨酸的增加而增加,在赖氨酸含量达到2.48%后变化趋于平稳,以此为评价指标,通过曲线拟合和回归方程分析,团头鲂幼鱼赖氨酸最适需要量为占饲料干重的2.36%和2.22%。按其占饲料含量比较,本实验所得赖氨酸最适需要量与某些鱼类对赖氨酸需求量相近,如军曹鱼(*Rachycentron canadum*)的2.33%^[3]和澳洲银鲈

的 2.32%^[7] 等。

3.2 赖氨酸水平对团头鲂幼鱼体成分和形态指标的影响

饲料中必需氨基酸的添加量对鱼体的营养成分组成影响结果报道不一。饲料中赖氨酸含量不会影响澳洲银鲈^[7] 全鱼蛋白质。在本实验中,随着饲料中赖氨酸水平的增加,团头鲂幼鱼全鱼蛋白质呈先增加后降低,灰分含量却显著下降的趋势。这说明鱼体摄食缺乏赖氨酸(或氨基酸不平衡)的饲料时,机体内分解代谢大于合成代谢,体内氨基酸或蛋白质被当作能量消耗;摄食合适赖氨酸(或氨基酸平衡)的饲料时,体内合成代谢大于分解代谢,体内氨基酸或蛋白质被储存^[25]。但杜强等^[26] 报道,饲料中添加赖氨酸对真鲷的全鱼蛋白质和灰分含量没有影响。在本实验中,随着饲料中赖氨酸水平的增加,团头鲂幼鱼的脏体比显著下降。这与澳洲银鲈^[7] 类似。由于赖氨酸在机体蛋白质合成中有一定的限制作用,团头鲂幼鱼摄食缺乏赖氨酸的饲料时,导致氨基酸转化为内脏脂肪或糖原而不是鱼体的蛋白质储存。

3.3 赖氨酸水平对血清中游离必需氨基酸的影响

一般而言,在蛋白质合成过程中,血清中游离氨基酸的含量能够反映氨基酸的吸收情况^[27]。在本实验中,添加赖氨酸不仅促进团头鲂幼鱼生长,而且提高血清中赖氨酸含量。此结果与 Rchumat 等^[28] 研究结果一样。但是, Zhou 等^[3,29] 在军曹鱼和黑鲷 (*Sparus macrocephalus*) 的研究中发现,随着饲料中赖氨酸水平的增加,血清中赖氨酸含量也增加,但超过一定需要量后血清中赖氨酸含量不再增加。在本实验中,当饲料中缺乏赖氨酸时,团头鲂体内新陈代谢需要更多的赖氨酸去满足机体蛋白质合成,血清中赖氨酸含量也增加,一旦饲料中赖氨酸水平达到最适时,血清中赖氨酸含量也达到最大,但超过需要量时,血清中赖氨酸含量却下降。造成本实验结果的原因可能是鱼体储存氨基酸库有限或短时间内单个氨基酸吸收的缓冲能力被抑制^[30]。值得一提的是,从本实验的结果发现随着赖氨酸水平的增加,血清中必需氨基酸除亮氨酸和缬氨酸(色氨酸未检测)都出现先升高后下降的趋势,并且变化显著。可能是饲料中赖氨酸缺乏或过量都会对鱼体蛋白质合成和分解代谢产生一定的影响,具体原

因有待进一步研究。

3.4 赖氨酸水平对血清生化指标的影响

鱼类血液指标受到多种因素共同影响,同机体代谢、营养水平、健康状况及免疫功能密切相关^[31]。鱼类摄食的氨基酸最终被肠道吸收后进入血液在体内运输,到达肝脏、脑、肌肉及其他组织,被用于蛋白质合成,或氧化分解并释放能量,或参与其他生理活性物质的合成。在本实验中,随着饲料中赖氨酸含量的增加,尿素含量逐渐下降,总蛋白含量却一直上升,白蛋白呈先上升后下降的趋势。这一结果与 Wang 等^[23] 的研究结果一样。这说明氨基酸不平衡时,机体内分解代谢大于合成代谢,体内氨基酸或蛋白质被当作能量消耗;氨基酸平衡时,体内合成代谢大于分解代谢,体内氨基酸或蛋白质被储存^[25]。Zhou 等^[3] 发现军曹鱼血清中葡萄糖含量随着赖氨酸含量增加而上升,与本实验结果不一样。这可能与品系、生长阶段、实验饲料和养殖条件等有关。AST 和 ALT 是广泛存在于动物细胞线粒体中的两种重要氨基转移酶,在机体蛋白质和氨基酸代谢中起着重要作用,其活性与氨基酸代谢强弱有一定关系^[26]。在正常情况下,脊椎动物组织(主要为肝脏)细胞内的转氨酶只有少量释放到血液中,因此血清中的转氨酶活性较小。若组织病变或者受损伤时,细胞内的转氨酶大量释放出来进入血液。本实验测得血清 AST、ALT 活性随着饲料中赖氨酸水平的增加呈先下降后上升的趋势,说明饲料缺乏或过量赖氨酸对团头鲂幼鱼的肝功能有一定的负面影响,这与赖氨酸对许氏平鲈 (*Sebastes schlegeli*) 幼鱼的结果一致^[32]。

参考文献:

- [1] Ke H W. An excellent freshwater food fish, *Megalobrama amblycephala*, and its propagating and culturing[J]. Acta Hydrobiologica Sinica of China, 1975, 5(3): 293 - 314.
- [2] 蒋阳阳, 李向飞, 刘文斌, 等. 不同蛋白质和脂肪水平对 1 龄团头鲂生长性能和体组成的影响[J]. 水生生物学报, 2012, 36(5): 826 - 836.
- [3] Zhou Q C, Wu Z H, Chi S Y, et al. Dietary lysine requirement of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. Aquaculture, 2007, 273 (4): 634 - 640.
- [4] Ahmed I, Khan M A. Dietary lysine requirement of fingerling Indian major carp, *Cirrhinus mrigala*

- (Hamilton) [J]. *Aquaculture*, 2004, 235 (1 - 4): 499 - 511.
- [5] Small B C, Soares J H. Quantitative dietary lysine requirement of juvenile striped bass *Morone saxatilis* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2000, 6(4): 207 - 212.
- [6] Walton M J, Cowey C B, Adron J W. The effect of dietary lysine levels on growth and metabolism of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *British Journal of Nutrition*, 1984, 52: 115 - 122.
- [7] Yang S D, Liu F G, Liu C H. Assessment of dietary lysine requirement for silver perch (*Bidyanus bidyanus*) juveniles [J]. *Aquaculture*, 2011, 312 (1 - 4): 102 - 108.
- [8] Barbara G K, Bjarne H, Harald M, et al. Dietary lysine requirement and efficiency of lysine utilization for growth of Atlantic cod [J]. *Aquaculture*, 2011, 315 (3 - 4): 260 - 268.
- [9] Mai K S, Zhang L, Ai Q H, et al. Dietary lysine requirement of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* [J]. *Aquaculture*, 2006, 258 (1 - 4): 535 - 542.
- [10] Deng D, Warren D, Ju Z Y, et al. Dietary lysine requirement of juvenile Pacific threadfin (*Polydactylus sexfilis*) [J]. *Aquaculture*, 2010, 308 (1 - 2): 44 - 48.
- [11] 封福鲜, 艾庆辉, 徐玮, 等. 精氨酸和赖氨酸对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长和非特异性免疫力的影响 [J]. *水产学报*, 2011, 35(7): 1072 - 1080.
- [12] Li X F, Liu W B, Jiang Y Y, et al. Effects of dietary protein and lipid levels in practical diets on growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings [J]. *Aquaculture*, 2010, 303 (1 - 4): 65 - 70.
- [13] Li X F, Liu W B, Jiang Y Y, et al. Protein-sparing effect of dietary lipid in practical diets for blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings: effects on digestive and metabolic responses [J]. *Fish Physiology Biochemistry*, 2012, 38(2): 529 - 541.
- [14] Li X F, Liu W B, Lu K L, et al. Dietary carbohydrate/lipid ratios affect stress, oxidative status and non-specific immune responses of fingerling blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2012, 33 (2): 316 - 323.
- [15] Jiang G Z, Wang M, Liu W B, et al. Dietary choline requirement for juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2013, 19(4): 499 - 505.
- [16] 周明, 刘波, 戈贤平, 等. 不同水平维生素 E 对高温应激及常温恢复后团头鲂血清生化指标、肠道抗氧化能力的影响 [J]. *水产学报*, 2013, 37 (9): 1369 - 1377.
- [17] Ren M C, Liao Y J, Xie Jun, et al. Dietary arginine requirement of juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. *Aquaculture*, 2013: 229 - 234.
- [18] Dairiki J K, Dias C T S, Cyrino J E P. Lysine requirement of largemouth bass, *Micropterus salmoides*: a comparison of methods of analysis of dose-response trials data [J]. *Journal Applied Aquaculture*, 2007, 19(4): 1 - 27.
- [19] Abboudi T, Mambrini M, Ooghe W, et al. Protein and lysine requirements for maintenance and for tissue accretion in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry [J]. *Aquaculture*, 2006, 261(1): 369 - 383.
- [20] Tantikitti C, Chimsung N. Dietary lysine requirement of freshwater catfish (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.) [J]. *Aquaculture Research*, 2001, 32(1): 135 - 141.
- [21] Luo Z, Liu Y J, Mai K S, et al. Quantitative L-lysine requirement of juvenile grouper *Epinephelus coioides* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2006, 12(3): 1 - 9.
- [22] 张永正, 周凡, 邵庆均, 等. 黑鲷幼鱼赖氨酸需求量的研究 [J]. *动物营养学报*, 2009, 21(1): 78 - 87.
- [23] Wang S, Liu Y J, Tian L X. Quantitative dietary lysine requirement of juvenile grass carp *Ctenopharyngodon idella* [J]. *Aquaculture*, 2005, 249 (1 - 4): 419 - 429.
- [24] Cheng Z J, Hardy R W, Usry J L. Effects of lysine supplementation in plant protein-based diets on the performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and apparent digestibility coefficients of nutrients [J]. *Aquaculture*, 2003, 215 (1 - 4): 255 - 265.
- [25] Zhou F, Xiao J X, Hua Y, et al. Dietary L-methionine requirement of juvenile black sea bream (*Sparus macrocephalus*) at a constant dietary cystine level [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2011, 17 (5): 469 - 481.
- [26] 杜强, 林黑着, 牛津, 等. 卵形鲳幼鱼的赖氨酸需求量 [J]. *动物营养学报*, 2011, 23(10): 1725 - 1732.
- [27] Blasco J, Fernandez J, Gutierrez J. The effects of starvation and re-feeding on plasma amino acid levels in carp, *Cyprinus carpio* L., 1758 [J]. *Journal of Fish Biology*, 1991, 38(4): 587 - 598.
- [28] Ruchimat T, Masumoto T, Hosokawa H, et al. Quantitative lysine requirement of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) [J]. *Aquaculture*, 1997, 158 (3 -

- 4);331 – 339.
- [29] Zhou F, Shao J, Xu R, *et al.* Quantitative L-lysine requirement of juvenile black sea bream (*Sparus macrocephalus*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2010, 16 (2):194 – 204.
- [30] Ye Y T. Freshwater fish nutrition and feed formulation technology development trends and problem analysis [J]. *The Journal of Feed Chinese*, 2005, 9(3):32 – 34.
- [31] 周玉, 郭文场, 杨振国, 等. 鱼类血液学指标研究的进展 [J]. *上海水产大学学报*, 2001, 10 (2): 163 – 165.
- [32] 严全根, 解绶启, 雷武, 等. 许氏平鲈幼鱼的赖氨酸需要量 [J]. *水生生物学报*, 2006, 30 (4): 459 – 465.

Effects of lysine on growth, physiological and biochemical indexes of blood and essential amino acids of serum in juvenile blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*)

LIAO Yingjie^{1,2}, LIU Bo^{1,2}, REN Mingchun², CUI Honghong^{1,2}, XIE Jun^{1,2}, GE Xianping^{1,2*}

(1. Wuxi Fishery College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China;

2. Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)

Abstract: A 10-week feeding trial was conducted to investigate effects of lysine on growth, physiological and biochemical indexes of blood and essential amino acids of plasma in juvenile *Megalobrama amblycephala*. Six isonitrogenous and isoenergetic semi-purified diets were formulated to contain graded dietary lysine levels, and the values were 1.29%, 1.71%, 2.09%, 2.48%, 2.88% and 3.27%, respectively. At the initiation of experiment, fish [(3.34 ± 0.03) g] were randomly chosen and sorted into eighteen cages with 30 fish per cage. Each experimental diet was randomly assigned to triplicate cages in a completely randomized design. At the end of feeding trial, final body weight (FBW), weight gain rate (WRG), specific growth rate (SGR), Nitrogen retention efficiency (NRE), protein productive value (PPV) and protein efficiency ratio (PER) of fish fed diet containing 2.48% lysine were significantly higher than those fish fed 1.29% lysine diet while feed conversion ratio (FCR) showed an adverse tendency, but no significant difference was observed in survival rate (SR) of fish fed different dietary methionine levels. Increased crude protein and reduced viscerosomatic ratio (VR) were observed in fish fed 2.48% lysine diet. Ash of whole body of fish fed 2.88% and 3.27% lysine diet was higher than those fish fed 1.29% lysine diet. Alanine aminotransferase (ALT) and total protein (TP) contents were significantly improved with increasing lysine levels up to 3.27%. Urea content in plasma of fish fed 2.94% lysine diet was lower than those fish fed 1.29% lysine diet. Fish fed the 2.88% lysine diet demonstrated a significant improvement in plasma lysine content and total essential amino acid except for Leu and Val. On the basis of SGR and PPV, the optimum dietary lysine requirement of juvenile *M. amblycephala* was estimated to be 2.36% of diet (6.94% of protein) and 2.22% of diet (6.53% of protein), respectively, using broken-line regression analysis.

Key words: *Megalobrama amblycephala*; lysine; requirement; growth performance

Corresponding author: GE Xianping. E-mail: gexp@ffrc.cn