

鲈幼鱼对饲料中苏氨酸的需要量

何志刚^{1,2}, 艾庆辉^{1*}, 麦康森¹, 徐玮¹, 谭北平³, 张文兵¹, 刘付志国¹

(1. 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 山东 青岛 266003;

2. 湖南省水产科学研究所, 湖南 长沙 410153;

3. 广东海洋大学水产经济动物营养与饲料实验室, 广东 湛江 524025)

摘要:以初始体质量(8.00±0.20)g的鲈为实验对象,在海水网箱(1.5 m×1.5 m×2.0 m)中进行为期8周的摄食生长实验,研究鲈对饲料中苏氨酸的需要量。通过在半精制基础饲料中添加晶体L-苏氨酸使饲料中苏氨酸含量分别达到0.75%、1.03%、1.36%、1.67%、2.04%和2.31%,配制成6水平等氮等能饲料(41.83%粗蛋白质,19.68 kJ/g总能)。每种饲料设3个重复,每个重复随机放养30尾鲈。实验采用表观饱食投喂方式,每天投喂2次(06:00和17:30),实验期间水温为26~32℃,盐度为22~28,溶解氧含量在7 mg/L左右。实验结果表明,各饲料处理组成活率(94.4%~98.9%)无显著差异。随着饲料中苏氨酸含量的增加,鲈的增重率显著升高(150.3%~256.9%)($P<0.05$),且在1.67%苏氨酸饲料组达到最大值(256.9%),然而,随着饲料中苏氨酸含量的进一步增加,增重率有下降的趋势。鲈的氮累积率随着饲料中苏氨酸含量的增加而显著升高(13.18%~26.36%)($P<0.05$),且在1.67%苏氨酸饲料组达到最大值(26.36%),随着饲料中苏氨酸含量的进一步增加,氮累积率有下降的趋势。饲料苏氨酸含量对鲈鱼体粗蛋白、粗脂肪和灰分含量无显著影响。以增重率和氮累积率为评价指标经二次回归分析得出,鲈对饲料中苏氨酸的需要量分别为1.77%和1.88%,占饲料蛋白质的4.21%和4.47%。

关键词: 鲈; 苏氨酸; 需求量; 摄食生长

中图分类号: S 963

文献标志码: A

鱼类对蛋白质的需求其实是对氨基酸的需求,某种必需氨基酸的缺乏或过量,会导致鱼类利用蛋白质效率降低,生长受阻。苏氨酸(threonine, Thr)是十种必需氨基酸之一,由于大量植物性蛋白源如豆粕、菜籽粕、棉粕、玉米蛋白粉等在饲料中的使用,苏氨酸常常是第二或第三限制性氨基酸^[1-2],属易缺乏类必需氨基酸。但国内外对水生动物苏氨酸的营养需求研究尚少^[3]。

鲈(*Lateolabrax japonicus*)俗称七星鲈、花鲈,属广温、广盐性鱼类,具有养殖周期短、肉味鲜美,经济效益高等特点,其网箱养殖业已在我国东南沿海地区如浙江、福建和广东地区到了大规模的发展,是海水鱼类产量最高的养殖品种之一。

近年来,已有部分有关鲈的研究报道,获得了鲈对蛋白、脂肪、维生素和矿物质磷的需要量^[4]。鱼类对饲料蛋白质的需要量实际上是对氨基酸的需要量。但有关鲈的必需氨基酸需要量仅有赖氨酸的报道^[5],本实验以鲈为研究对象,旨在探讨鲈对饲料中苏氨酸的定量需求,以期对鲈高效环保饲料的开发和利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计

以鱼粉、豆粕、明胶为蛋白源,鱼油、大豆油和卵磷脂为脂肪源,糊精为糖源,配制成粗蛋白水平为41.7%,粗脂肪水平为11.3%的基础饲料(表

收稿日期:2011-06-07 修回日期:2011-10-07

资助项目:“十一五”国家科技支撑计划(2006BAD03B03)

通讯作者:艾庆辉, E-mail: qhai@ouc.edu.cn

1)。以鲈鱼体氨基酸含量为标准,添加相应的晶体氨基酸,使基础料中除苏氨酸以外的其它各种氨基酸含量达到鲈鱼体中的含量(表2)。分别在基础饲料中添加 0.00%、0.30%、0.60%、0.90%、1.20% 和 1.50% 的晶体 L-苏氨酸,以等量谷氨酸作为苏氨酸的等氮替代物,配制出 6 种等氮等能的实验饲料。经氨基酸自动分析仪 (Biochrom 30, GE, England) 测定得出,6 种实验饲料中苏氨酸实际含量分别为 0.75%、1.03%、

1.36%、1.67%、2.04%、2.31%,分别称为 Diet 1、Diet 2、Diet 3、Diet 4、Diet 5 和 Diet 6。在饲料制作过程中,所有原料粉碎后过 320 μm 筛网,各原料按配比定量后混合均匀,然后加入适量的水揉匀,用 240 g/L 的 NaOH 溶液调整饲料 pH 到中性^[6],经 F(II)-26 型双螺杆挤条机(华南理工大学,广州)加工制成硬颗粒饲料(1.5 mm \times 2.0 mm, 2.5 mm \times 3.0 mm),55 $^{\circ}\text{C}$ 烘干至饲料水分含量为 10% 左右,用塑料袋包装,保存于 -20 $^{\circ}\text{C}$ 冰柜中备用。

表 1 实验饲料配方及营养成分组成

Tab. 1 Formulation and proximate composition of the experimental diets % dry matter

成分 ingredients	饲料号 diet number(苏氨酸水平%, threonine supplementation level %)					
	Diet 1(0.00)	Diet 2(0.30)	Diet 3(0.60)	Diet 4(0.90)	Diet 5(1.20)	Diet 6(1.50)
白鱼粉 white fish meal	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
豆粕粉 soybean meal	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
啤酒酵母 beer yeast meal	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
明胶 gelatin	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
混合晶体氨基酸 crystalline L-amino acid premix	16.98	16.98	16.98	16.98	16.98	16.98
鱼油 fish oil	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
大豆油 soybean oil	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
糊精 dextrin	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
无机盐混合物 ¹ mineral premix	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
维生素混合物 ² vitamin premix	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
诱食剂 ³ attractant	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
苯甲酸钠 sodium benzoate	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
乙氧基喹啉 ethoxyquin	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
大豆卵磷脂 soy lecithin	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
微晶纤维素 microcrystalline cellulose	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07
L-苏氨酸 L-threonine	0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
谷氨酸 glutamic acid	1.5	1.2	0.9	0.60	0.3	0.0
合计 total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
成分分析 proximate analysis (n = 3)						
苏氨酸/% threonine	0.75	1.03	1.36	1.67	2.04	2.31
粗蛋白/(% DM ⁴) crude protein	41.7	42.1	42.6	41.8	41.7	41.1
粗脂肪/(% DM) crude lipid	11.3	11.6	12.7	12.0	11.3	11.7
总能/(% DM kJ/g) gross energy	19.7	19.8	20.1	19.5	19.8	19.2
灰分/(% DM) ash	8.5	7.2	8.0	8.1	7.4	7.7
水分/% moisture	10.9	10.7	10.3	10.8	9.9	10.0

注:1. 无机盐混合物 (mg/kg 饲料): 氟化钠, 2; 碘化钾, 0.8; 氯化钴 (1%), 50; 硫酸铜, 10; 硫酸铁, 80; 硫酸锌, 50; 硫酸锰, 60; 硫酸镁, 1 200; 磷酸二氢钙, 8 000; 氯化钠, 100; 沸石粉, 10 447。2. 维生素混合物 (mg/kg 饲料): 硫胺素, 25; 核黄素, 45; 盐酸吡哆醇, 20; 维生素 B₁₂, 0.1; 维生素 K₃, 10; 肌醇, 800; 泛酸, 60; 烟酸, 200; 叶酸, 20; 生物素, 1.20; 维生素 A, 32; 维生素 D₃, 5; 维生素 E, 120; 维生素 C, 2 000; 胆碱, 2 000; 乙氧基喹啉, 150; 微晶纤维素, 14 520。3. 诱食剂: 甘氨酸和甜菜碱。4. DM: 干物质。

Notes: 1. Mineral premix (mg/kg diet): NaF, 2; KI, 0.8; CoCl₂ · 6H₂O (1%), 50; CuSO₄ · 5H₂O, 10; FeSO₄ · H₂O, 80; ZnSO₄ · H₂O, 50; MnSO₄ · H₂O, 60; MgSO₄ · 7H₂O, 1 200; Ca (H₂PO₄)₂ · H₂O, 8 000; NaCl, 100; Zeolite, 10 447。2. Vitamin premix (mg/kg diet): thiamin, 25; riboflavin, 45; pyridoxine-HCl, 20; vitamin B₁₂, 0.1; vitamin K₃, 10; inositol, 800; pantothenic acid, 60; niacin acid, 200; folic acid, 20; biotin, 1.20; retinol acetate, 32; cholecalciferol, 5; alpha-tocopherol, 120; ascorbic acid, 2 000; choline chloride, 2 000; ethoxyquin, 150; microcrystalline cellulose, 14 520。3. Attractant: glycine and betaine。4. DM: dry matter.

表2 实验饲料的氨基酸组成分析
Tab.2 Amino acid composition of experimental diets g/100 g dry matter

氨基酸 amino acids	饲料 diets						43% 鱼体蛋白 whole body protein
	Diet 1	Diet 2	Diet 3	Diet 4	Diet 5	Diet 6	
精氨酸 Arg	2.63	2.58	2.59	2.60	2.56	2.51	2.58
组氨酸 His	0.57	0.53	0.55	0.61	0.51	0.51	0.55
异亮氨酸 ILe	1.72	1.77	1.73	1.77	1.77	1.79	1.78
亮氨酸 Leu	3.06	3.04	3.06	3.05	3.07	3.04	3.02
赖氨酸 Lys	3.35	3.35	3.35	3.34	3.40	3.27	3.36
蛋氨酸 Met	1.25	1.30	1.34	1.28	1.25	1.22	1.22
苯丙氨酸 Phe	1.51	1.53	1.52	1.55	1.55	1.49	1.51
苏氨酸 Thr	0.75	1.03	1.36	1.67	2.04	2.31	1.60
缬氨酸 Val	1.78	1.80	1.78	1.80	1.84	1.77	2.01
天冬氨酸 Asp	4.04	4.10	4.07	4.08	4.04	4.01	4.01
丝氨酸 Ser	1.44	1.42	1.43	1.41	1.43	1.42	1.44
甘氨酸 Gly	4.19	4.25	4.23	4.26	4.26	4.28	2.87
丙氨酸 Ala	2.27	2.27	2.24	2.29	2.31	2.34	2.55
胱氨酸 Cys	0.12	0.12	0.10	0.12	0.15	0.10	0.24
酪氨酸 Tyr	1.03	1.00	1.07	0.99	0.93	0.97	1.21
谷氨酸 Glu	7.86	7.54	7.29	7.03	6.75	6.49	6.60

注:本研究中色氨酸未检测。

Notes: Tryptophane was not determined in this study.

1.2 实验鱼及养殖条件

实验在浙江省宁波市象山县西沪港进行。鲈选用当年海捕的同一批鱼苗。在开始正式实验前,鲈放于海水网箱(3.0 m × 3.0 m × 3.0 m)中暂养2周,并以实验基础饲料(Diet 1)表观饱食投喂,使之逐渐适应实验饲料和养殖环境。实验开始时,实验鱼饥饿24 h,然后称重,并挑选出规格一致,初始体质量为(8.0 ± 0.20) g的鲈进行分组实验。实验在18个浮式海水网箱(1.5 m × 1.5 m × 2.0 m)中进行,放养密度为30尾/箱。每一网箱为一组,每种饲料随机投喂3组实验鱼。每天投喂2次(06:00和17:00),达饱足。养殖周期8周。每天记录投饲量,如有死鱼记录数量并称重。实验期间海水水温为26~32℃,盐度为22~28,溶解氧含量在7 mg/L左右。

1.3 取样

实验开始时,分别从每网箱随机抽取5尾麻醉的实验鱼,保存于-20℃冰箱中,用于常规分析。8周生长实验结束后,对实验鱼饥饿24 h,以丁香酚(1:10 000)麻醉,然后计数,称重。分别从每网箱随机抽取10尾麻醉的实验鱼,保存于-20℃冰箱中,用于常规分析和鱼体氨基酸分析;分别从每网箱抽取3尾鱼取背部两侧肌肉,保存于-20℃冰箱中用于肌肉氨基酸分析。

1.4 营养成分分析

原料、饲料及鱼体样品均在105℃烘干至恒重后,求得干物质含量,然后进行生化测定。采用全自动定氮仪(Kjeltec 2300, Sweden)测定粗蛋白含量(N × 6.25);采用索氏抽提法,以乙醚为抽提剂测定粗脂肪含量;将样品在电炉上炭化后,在马福炉中(550℃)灼烧12 h后测得样品灰分含量;能量用氧弹计测定(Parr1281, USA)^[7]。每一样品至少测定两个平行样。饲料原料、实验饲料和鲈肌肉中的氨基酸测定参照文献[8]的方法,含硫氨基酸测定的样品前处理采用过甲酸氧化法,其它氨基酸测定的样品前处理采用真空充氮气酸水解,用氨基酸自动分析仪(Biochrom 30, GE)测定各氨基酸的含量。

1.5 计算及统计分析

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

摄食率(feeding rate, FR, %/d) = $100 \times \text{总摄食量} / \text{鱼体质量(g)} / \text{摄食天数}$

特定生长率(specific growth rate, SGR, %/d) = $(\ln W_t - \ln W_0) \times 100 / t$;

蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER) = WWG / I_p ;

氮累积率(nitrogen retention, NR, %) = $N_g \times 100 / I_n$;

式中, W_t 、 W_0 分别为实验鲈的终末体质量和初始体质量, t 为实验天数, WWG 和 N_g 分别为湿重增加和氮增加, I_d 、 I_p 和 I_n 分别为饲料、蛋白、氮的摄入量(以干重计)。

采用 SPSS 11.5 for Windows 对所得数据进行单因素方差分析(One-Way Analysis, ANOVA), 若差异达到显著, 则进行 Tukey 氏多重比较, 显著性水平为 $P < 0.05$ 。根据 WGR 和 NR 数据, 通过二次曲线模型(second-order polynomial regression model)^[9] 确定苏氨酸的最适需求量。

2 结果

2.1 饲料中添加苏氨酸对鲈生长性能的影响

各处理组实验鱼的成活率在 94.4% ~

98.9%, 且各组间差异不显著($P > 0.05$) (表 3)。当饲料中 Thr 含量为 0.75% 时(Diet 1), 鲈的生长性能显著低于其它各组(表 3), 分别为增重率 150.27%、特定生长率 1.31%/d、蛋白质效率 1.05 和氮累积率 13.18%。随着饲料中苏氨酸添加量的增加, 鲈的生长明显得到改善。各生长性能的最大值均出现在饲料中 Thr 为 1.67% 组(Diet 4), 分别为增重率 256.88%、特定生长率 1.82%/d、蛋白质效率 1.90 和氮累积率 26.36%。此后, 随着饲料中苏氨酸含量的增加(苏氨酸含量从 1.67% 到 2.31%), 生长性能逐渐降低(表 3)。基础饲料组除生长受到抑制外未见其它缺乏症状出现。

表 3 饲料中苏氨酸水平对鲈增重率、摄食率、特定生长率、蛋白质效率、氮累积率及成活率的影响(平均值 ± 标准误)

饲料号 diet no.	苏氨酸/ dry diet threonine	初始 体质量/g initial weight	终末体 质量/g final weight	增重率/ % WGR	摄食率/ (%/d) FR	特定生 长率/ (%/d) SGR	蛋白质 效率 PER	氮累积 率/% nitrogen retention	成活率/ % survival
1	0.75	8.00 ± 0.20	20.02 ± 0.42 ^a	150.3 ± 5.26 ^a	2.01 ± 0.04	1.63 ± 0.04 ^a	1.05 ± 0.04 ^a	13.18 ± 1.31 ^a	96.7 ± 1.93
2	1.03	8.00 ± 0.20	23.50 ± 0.55 ^b	193.8 ± 6.91 ^b	2.10 ± 0.06	1.92 ± 0.04 ^b	1.44 ± 0.05 ^b	19.02 ± 1.69 ^{ab}	96.7 ± 1.93
3	1.36	8.00 ± 0.20	25.82 ± 0.32 ^c	222.7 ± 4.04 ^c	2.12 ± 0.07	2.09 ± 0.02 ^c	1.56 ± 0.06 ^{bc}	21.75 ± 1.74 ^{bc}	98.9 ± 1.11
4	1.67	8.00 ± 0.20	28.55 ± 0.37 ^d	256.9 ± 4.61 ^d	2.03 ± 0.07	2.27 ± 0.04 ^d	1.90 ± 0.03 ^d	26.36 ± 0.85 ^c	98.9 ± 1.11
5	2.04	8.00 ± 0.20	26.85 ± 0.54 ^{cd}	235.6 ± 6.74 ^{cd}	2.13 ± 0.07	2.16 ± 0.06 ^{cd}	1.80 ± 0.06 ^{cd}	24.73 ± 0.96 ^{bc}	94.4 ± 4.01
6	2.31	8.00 ± 0.20	25.60 ± 0.42 ^{bc}	220.0 ± 5.30 ^{bc}	2.05 ± 0.07	2.07 ± 0.05 ^{bc}	1.71 ± 0.10 ^{bcd}	23.86 ± 1.25 ^{bc}	94.4 ± 1.11
F 值(F value)			44.329	44.319	1.254	45.227	24.615	12.781	0.873
P 值(P value)			0.000	0.000	0.073	0.000	0.000	0.000	0.527

注:1. 同一列中不同的上标字母表示经 Turkey 检验差异显著($P < 0.05$)。

Notes: 1. Means with different letter in the same column differ significantly determined by Turkey test($P < 0.05$).

根据饲料苏氨酸含量与鲈 WGR 的关系, 经抛物线回归拟合得:

$$Y = -94.099X^2 + 333.62X - 48.966$$

$$(R^2 = 0.9692)$$

根据饲料苏氨酸含量与 NR 的关系, 经抛物线回归拟合得:

$$Y = 9.6748X^2 + 36.345X - 8.5913$$

$$(R^2 = 0.9698)$$

依据 WGR 和 NR, 经计算, 鲈对饲料苏氨酸的需求量分别为 1.77% 饲料(4.21% 蛋白)(图 1)和 1.88% 饲料(4.47% 蛋白)(图 2)。

2.2 饲料中添加苏氨酸对鲈鱼体组成成分的影响
各组实验鱼体的蛋白含量在 14.7% ~

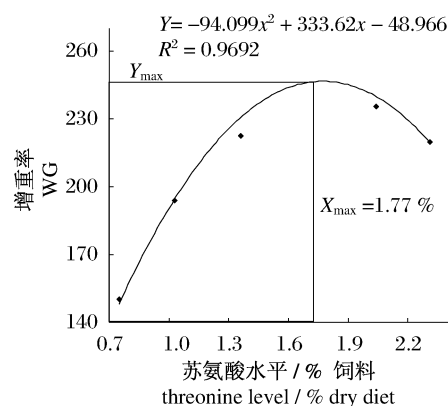


图 1 饲料苏氨酸水平与鲈增重率的关系
Fig. 1 Relationship between dietary threonine and WG of juvenile Japanese seabass

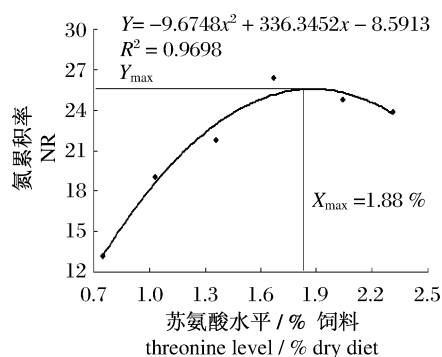


图2 饲料苏氨酸水平与鲈氮累积效率的关系
Fig. 2 Relationship between dietary threonine and NR of juvenile Japanese seabass

15.2% ; 鱼体脂肪含量在 6.1% ~ 6.9% ; 鱼体灰分含量在 5.8% ~ 6.3% ; 鱼体水分含量在 76.5% ~ 78.0% ; 各组间粗蛋白、粗脂肪、灰分、水分含量均无显著性差异 ($P > 0.05$) (表 4)。

除苏氨酸外, 鲈肌肉的其它必需氨基酸含量均不受饲料中苏氨酸水平的影响 (表 5)。对照组 (Diet 1) 的苏氨酸含量最低 (2.97% 蛋白), 随着饲料中苏氨酸添加量的增加, 苏氨酸含量逐渐升高, 在 Diet 6 组达到最大值 (3.22% 蛋白), 但各苏氨酸添加组 (Diet 2 ~ Diet 6) 之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 4 饲料中苏氨酸水平对鲈体组成的影响 (平均值 ± 标准误)

Tab. 4 Effect of dietary threonine levels on body composition of juvenile Japanese seabass mean ± SE

饲料号 diet no.	苏氨酸/ (% dry diet) threonine	鱼体组成 body composition			
		水分/% moisture	粗蛋白/ (% wet weight) crude protein	粗脂肪/ (% wet weight) crude lipid	灰分/ (% wet weight) ash
1	0.75	77.9 ± 0.66	14.7 ± 0.50	6.1 ± 0.15	6.2 ± 0.25
2	1.03	76.5 ± 1.47	14.9 ± 0.95	6.9 ± 0.28	5.8 ± 0.39
3	1.36	76.6 ± 1.14	15.2 ± 0.66	6.3 ± 0.41	6.3 ± 0.31
4	1.67	77.6 ± 0.65	15.0 ± 0.18	6.2 ± 0.05	6.0 ± 0.18
5	2.04	77.9 ± 0.39	15.0 ± 0.25	6.7 ± 0.09	6.3 ± 0.25
6	2.31	78.0 ± 0.15	15.2 ± 0.38	6.1 ± 0.08	6.0 ± 0.11
F 值 (F-value)		0.645	0.108	2.563	0.556
P 值 (P-value)		0.671	0.988	0.084	0.731

表 5 饲料中苏氨酸水平对鲈肌肉必需氨基酸组成的影响 (% 蛋白) (平均值 ± 标准误)

Tab. 5 Effects of dietary threonine on essential amino acid profile in the muscle of juvenile Japanese seabass % protein, mean ± SE

氨基酸 amino acids	饲料号 diet no.						ANOVA	
	1	2	3	4	5	6	F 值 (F-value)	P 值 (P-value)
精氨酸 Arg	4.55 ± 0.03	4.53 ± 0.01	4.54 ± 0.03	4.55 ± 0.01	4.53 ± 0.05	4.54 ± 0.02	0.074	0.995
组氨酸 His	1.60 ± 0.05	1.58 ± 0.04	1.52 ± 0.02	1.56 ± 0.02	1.61 ± 0.02	1.60 ± 0.01	1.153	0.386
异亮氨酸 Iso	3.13 ± 0.03	3.11 ± 0.04	3.12 ± 0.04	3.16 ± 0.05	3.24 ± 0.05	3.27 ± 0.02	2.885	0.062
亮氨酸 Leu	5.52 ± 0.04	5.54 ± 0.08	5.51 ± 0.09	5.53 ± 0.03	5.56 ± 0.03	5.55 ± 0.10	0.079	0.994
赖氨酸 Lys	6.39 ± 0.02	6.37 ± 0.07	6.36 ± 0.10	6.36 ± 0.06	6.45 ± 0.11	6.48 ± 0.02	0.513	0.762
蛋氨酸 Met	2.14 ± 0.02	2.10 ± 0.05	2.05 ± 0.05	2.10 ± 0.05	2.19 ± 0.04	2.18 ± 0.02	1.906	0.167
苯丙氨酸 Phe	2.59 ± 0.01	2.64 ± 0.06	2.57 ± 0.02	2.56 ± 0.04	2.63 ± 0.06	2.53 ± 0.01	1.319	0.320
苏氨酸 Thr	2.97 ± 0.03 ^a	3.13 ± 0.03 ^{ab}	3.07 ± 0.00 ^{ab}	3.15 ± 0.01 ^b	3.19 ± 0.08 ^b	3.22 ± 0.04 ^b	5.426	0.008
缬氨酸 Valine	3.24 ± 0.01	3.24 ± 0.04	3.19 ± 0.03	3.27 ± 0.09	3.29 ± 0.02	3.24 ± 0.06	0.494	0.775

注: 同一行中不同的上标字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Notes: Means with different letter in the same row differ significantly ($P < 0.05$).

3 讨论

本研究通过在基础饲料中添加不同含量的苏氨酸饲养鲈 8 周后,发现摄食缺乏苏氨酸饲料的鲈生长缓慢,特定生长率、蛋白质效率、氮累积率数值偏低。随饲料苏氨酸水平的上升,鲈生长状况明显得到改善,当饲料苏氨酸含量达到 1.67% 饲料时,增重率达到峰值(表 3,图 1),同时鲈的成活率也有所升高(表 3)。而随着添加量的进一步升高,增重率逐渐下降。这些结果表明,苏氨酸为鲈正常生长所必需的营养成分之一,同时鲈具有利用晶体苏氨酸的能力。

依据 WGR 和 NR 得到鲈对饲料中苏氨酸的需求量为 1.77% ~ 1.88% 饲料(4.21% ~ 4.47% 蛋白)。按其占蛋白含量比较,这一结果高于鲑科鱼类如大鳞大马哈鱼(*Oncorhynchus tshawytscha*)^[10]和狗大马哈鱼(*Oncorhynchus keta*)的 2.2% ~ 3.0%^[10-11],高于鲟鱼类如日本牙鲟(*Paralichthys olivaceus*)的 3.2%^[12],也高于鲈形目鱼类如尼罗罗非鱼、莫桑比克罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)、欧洲黑鲈(*Dicentrarchus labrax*)、条纹鲈(*Morone saxatilis*)、杂交条纹鲈(*Morone chrysops* × *M. saxatilis*)、斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)和美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*)的 2.2% ~ 3.8%^[13-20],但与在南亚野鲮(*Catla catla*)、印度鲤(*Cirrhinus mrigala*)、印鲃(*Labeo rohita*)、异育银鲫、黄鳍鲷和遮目鱼(*Chanos chanos*)的研究结果(4.30% ~ 4.66%)相类似^[21-26]。不同鱼类氨基酸需求量的差异受多种因素的影响,如实验鱼的种类和大小、基础饲料组成(纯化、半纯化、实用饲料等)、晶体氨基酸、投喂次数及水平和实验设计等^[27-30]。

已有研究显示,饲料中苏氨酸过量时对鱼类生长的影响存在明显的种间差异。部分学者通过生长实验指出,遮目鱼^[26]、斑点叉尾鲷^[18]、美国红鱼^[20]、杂交条纹鲈^[17]和欧洲黑鲈^[15]饲料中苏氨酸过量时对生长无显著影响。本实验结果表明,当饲料中苏氨酸含量(2.31%)超过最适需求量时,鲈的生长受到显著抑制。对印度鲤^[22]、日本牙鲟^[12]等的研究结果也表明,饲料中苏氨酸过量会引起食欲低下、摄食减少和生长受阻,这与本研究结果相同。关于饲料中过量苏氨酸抑制生长的机理目前尚不

清楚。Borlongan 等^[26]认为,过量的苏氨酸对生长的抑制作用可能是由于高苏氨酸使饲料的适口性下降造成的。本实验通过对鲈摄食行为的观察,各实验组均保持较高的摄食速度,未发现因高苏氨酸添加量降低饲料适口性从而减少鲈摄食情况。因此,过量的苏氨酸对鲈生长的抑制并非完全由于饲料的适口性下降造成的。Murthy 等^[23]研究认为,饲料氨基酸间的平衡对鱼类氨基酸的吸收有重要作用,过量摄入苏氨酸会影响鱼类吸收和利用其它氨基酸,从而影响生长效果,这可能是过量苏氨酸抑制生长的原因之一。

关于苏氨酸对实验鱼存活率的影响,不同研究者的结果也不一致。在美国红鱼^[20]和欧洲黑鲈^[15]实验中,饲料中苏氨酸缺乏时对实验鱼成活率并无影响,仅出现因食欲差而导致的生长下降和饲料系数升高。但在遮目鱼^[26]上发现苏氨酸缺乏时死亡率升高。本实验各实验组的成活率均较高(94.4% ~ 98.9%),且各组间差异不显著,表明苏氨酸缺乏对鲈的成活率无显著影响。苏氨酸缺乏时实验鱼成活率的高低与实验饲料组成、基础饲料中苏氨酸含量、实验鱼种类以及实验条件等因素有关。

有研究报道指出,摄食不同水平的苏氨酸饲料 8 ~ 10 周,会影响鱼类血浆游离氨基酸的含量^[7-8,11]或鱼体氨基酸的含量^[10]。Kaushik^[31]经分析比较指出,不同规格的欧洲黑鲈和大菱鲆鱼体总氨基酸含量并无显著差异,本实验中肌肉氨基酸的差异可能是因为组织中游离氨基酸的不同含量而导致^[10]。

参考文献:

- [1] Thong H T, Liebert F. Amino acid requirement of growing pigs depending on amino acid efficiency and level of protein deposition. 2nd communication; Threonine [J]. Archives of Animal Nutrition, 2004, 58: 157 - 168.
- [2] Tibaldi E, Tulli F, Corsin F. Current estimates of the essential amino acid requirements of sea bass (*D. labrax*) as determined by unconventional (empirical) methods [C] // The International Workshop on Seabass and Seabream Culture: Problems and Prospects, Verona, Italy, 1996: 320 - 323.
- [3] 文华, 高文, 罗莉, 等. 草鱼幼鱼的饲料苏氨酸需要量 [J]. 中国水产科学, 2009, 16(2): 238 - 247.
- [4] 邓锦峰, 王安利, 周初霞, 等. 鲈的营养研究进展 [J]. 饲料工业, 2006, 27(10): 59 - 60.

- [5] Mai K, Zhang L, Ai Q, *et al.* Dietary lysine requirement of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* [J]. *Aquaculture*, 2006, 258 : 535 – 542.
- [6] Nose T, Arai S, Lee D L, *et al.* A note on amino acids essential for growth of young carp [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1974, 40 : 903 – 908.
- [7] AOAC. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists [M]. 15th edn. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA. 1990 : 1298.
- [8] Llames C R, Fontaine J. Determination of amino acids in feeds; Collaborative study [J]. *Journal of AOAC International*, 1994, 77 (6) : 1362 – 1402.
- [9] Zeitoun I H, Ullrey D E, Magee W T, *et al.* Quantifying nutrient requirement of fish [J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1976, 33 : 167 – 172.
- [10] Delong D C, Halver J E, Mertz E T. Nutrition of salmonoid fishes quantitative threonine requirements of *Chinook salmon* at two water temperatures [J]. *Journal of Nutrition*, 1962, 76 : 174 – 178.
- [11] Akiyama T, Arai S, Murai T. Threonine, histidine and lysine requirements of chum salmon fry [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1985, 51 : 635 – 639.
- [12] Alam M S, Teshima S, Koshio S, *et al.* Optimum dietary threonine level for juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* [J]. *Asian Fisheries Society*, 2003, 16 : 175 – 184.
- [13] Santiago C B, Lovell R T. Amino acid requirements for growth of Nile tilapia [J]. *Journal of Nutrition*, 1988, 118 : 1540 – 1546.
- [14] National Research Council. Nutrient requirements of fish [M]. Washington, D C, USA; National Academy Press. 1993 : 12 – 19.
- [15] Tibaldi E, Tulli F. Dietary threonine requirement of juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. *Aquaculture*, 1999, 175 : 155 – 166.
- [16] Small B C, Soares J H Jr. Quantitative dietary threonine requirement of juvenile striped bass (*Morone saxatilis*) [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1999, 30 : 319 – 323.
- [17] Keembiyehetty C N, Gatlin M III. Dietary threonine requirement of juvenile hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1997, 3 : 217 – 221.
- [18] Wilson R P, Allen O W, Robinson E H, *et al.* Tryptophan and threonine requirements of fingerling channel catfish [J]. *Journal of Nutrition*, 1978, 108 : 1595 – 1599.
- [19] Rodehutsord M, Jacobs S, Pack M, *et al.* Response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growing from 50 to 170 g to supplements of either L-arginine or L-threonine in a semipurified diet [J]. *Journal of Nutrition*, 1995, 125 : 970 – 975.
- [20] Boren R S, Gatlin D M III. Dietary threonine requirement of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*) [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1995, 26 : 279 – 283.
- [21] Ravi J, Devaraj K V. Quantitative essential amino acid requirements for growth of catla, *Catla catla* (Hamilton) [J]. *Aquaculture*, 1991, 96 : 281 – 291.
- [22] Ahmed I, Khan M A, Jafri A K. Dietary threonine requirement of fingerling Indian major carp, *Cirrhinus mrigala* (Hamilton) [J]. *Aquaculture Research*, 2004, 35 : 162 – 170.
- [23] Murthy H S, Varghese T J. Quantitative dietary requirement of threonine for the growth of the Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton) [J]. *Journal of Aquaculture in the Tropics*, 1996, 11 : 1 – 7.
- [24] 李佳梅. 异育银鲫幼鱼对饲料苏氨酸、亮氨酸、缬氨酸、异亮氨酸需求量的研究 [D]. 武汉:中国科学院水生生物研究所, 2009 : 15 – 18.
- [25] 肖伟平. 黄鳍鲷投喂率和对蛋白质及三种必需氨基酸需求量的研究 [D]. 广州:中山大学, 2006 : 12 – 16.
- [26] Borlongan I G. Quantitative arginine and threonine requirements of milkfish (*Chanos chanos*) juveniles [J]. *Aquaculture*, 1991, 93 : 312 – 322.
- [27] Tacon A G, Cowe C B. Protein and amino acid requirements [M] // Tytler P, Calow P, Eds. *Fish energetics and new perspectives*, London; Croom Helm, 1985 : 155 – 183.
- [28] Moon H Y, Gatlin D M. Total sulphur amino acid requirements of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus* [J]. *Aquaculture*, 1991, 95 : 97 – 106.
- [29] 周小秋, 杨凤, 刘安国, 等. 稚鳖赖氨酸营养的需要量 [J]. *水产学报*, 2001, 25 (5) : 454 – 460.
- [30] 冯琳, 彭艳, 刘扬, 等. 晶体苏氨酸和微囊苏氨酸对幼建鲤生长性能和消化吸收能力影响的比较研究 [J]. *动物营养学报*, 2011, 23 (5) : 771 – 780.
- [31] Kaushik S J. Whole body amino acid composition of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*), gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and turbot (*Psetta maxima*) with an estimation of their IAA requirement profiles [J]. *Aquatic Living Resources*, 1998, 11 : 355 – 358.

Dietary threonine requirement of juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*)

HE Zhi-gang^{1,2}, AI Qing-hui^{1*}, MAI Kang-sen¹, XU Wei¹,
TAN Bei-ping³, ZHANG Wen-bing¹, LIUFU Zhi-guo¹

(1. Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Fishery Institute of Hunan Province, Changsha 410153, China;

3. Laboratory of Aquatic Animal Nutrition and Feed, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China)

Abstract: A feeding experiment was conducted to determine the dietary requirement of threonine of juvenile Japanese seabass (initial average weight 8.00 ± 0.20 g). Six isonitrogenous and isoenergetic semi-purified diets were formulated to contain 41.83% crude protein, 19.68% kJ/g gross energy and six levels of threonine 0.75%, 1.03%, 1.36%, 1.67%, 2.04% and 2.31% (dry matter basis) at about 0.35% increment (diets 1–6). Each diet was randomly assigned to triplicate groups of 30 fish and fed to apparent satiation by hand twice daily (06:00 and 17:30) for 8 weeks in floating sea cages. The water temperature fluctuated from 26 to 32 °C, salinity from 22‰ to 28‰ and dissolved oxygen was approximately 7 mg/L during the experimental period. No significant differences in survival were found among dietary treatments. Weight gain rate (WGR) significantly increased with increasing dietary threonine from 150.3 to 256.9% ($P < 0.05$), and thereafter showed a declining tendency. Nitrogen retention (NR) significantly increased with increasing dietary threonine from 13.18% to 26.36% ($P < 0.05$), same as above, declined. No significant differences in body composition were found among dietary treatment. On the basis of either WGR or NR, the optimum dietary threonine requirements of juvenile Japanese seabass were estimated to be 1.77% of diet (4.21% of dietary protein) and 1.88% of diet (4.47% of dietary protein), respectively, using second-order polynomial regression analysis.

Key words: Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*); threonine; requirement; feeding and nutrition

Corresponding author: AI Qing-hui. E-mail: qhai@ouc.edu.cn