

鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)生长后期 对苏氨酸需要量*

窦秀丽^{1,2} 梁萌青^{1①} 郑珂珂¹ 王新星¹

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071; 2. 大连海洋大学水产与生命学院 大连 116023)

摘要 在半精制饲料中分别添加0、0.35%、0.70%、1.05%、1.40%、1.75%苏氨酸,制成苏氨酸实际梯度为1.05%、1.35%、1.65%、2.00%、2.42%、2.65%的6组等能等氮饲料(44.67%粗蛋白质,21.65 kJ/g总能),对初始体重为(333.93±6.60)g的鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)在海水浮式网箱(1.5 m×1.5 m×2.0 m)中进行了70 d的喂养实验,研究其对苏氨酸的最适需求量。结果显示,鲈鱼成活率在89.58%–95.83%之间,各处理组之间无显著差异($P>0.05$);随着饲料中苏氨酸水平的升高,鲈鱼的特定生长率(*SGR*)显著增加($P<0.05$),且在2.00%苏氨酸饲料组出现最大值,但随着苏氨酸水平的继续升高,*SGR*呈减小的趋势;饲料效率(*FE*)随饲料中苏氨酸水平的升高呈先增加后减小的趋势,2.00%苏氨酸组的*FE*显著高于1.05%组及2.65%组($P<0.05$);随着饲料中苏氨酸水平的升高,蛋白质沉积率(*PPI*)呈先增加后减小的趋势,且于2.00%苏氨酸组出现最大值;肝脏谷草转氨酶、谷丙转氨酶活性随饲料中苏氨酸水平的升高呈先增加后减小的趋势;饲料中不同水平苏氨酸对鱼体粗蛋白、粗脂肪、粗灰分无显著影响($P>0.05$)。以特定生长率、饲料效率及蛋白质沉积率为评价指标,经二次回归分析得出,鲈鱼对饲料中苏氨酸的最适需求量分别为占饲料干重的1.84%、1.87%及1.83%,占饲料蛋白质的4.11%、4.18%及4.09%。

关键词 鲈鱼; 苏氨酸; 生长; 需求量; 生长后期

中图分类号 S963 文献标识码 A 文章编号 1000-7075(2014)06-0045-08

鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)称花鲈、寨花、伴鲈等,属鲈形目、鲈科、花鲈属。目前对鲈鱼营养需求的研究较多,鲈鱼对蛋白质的需求量为40.0%–44.1%,对脂肪的需求量为5.4%–15.4%,对碳水化合物的需求量为19.8% (陆国君等,1998;洪惠馨等,1994、1999;高淳仁等,1998;苏传福等,2005)。

蛋白质是构成生命的基础物质,是由氨基酸组成的含氮高分子化合物,鱼类对蛋白质的需求其实是对氨基酸的需求(文华等,2009)。苏氨酸作为必需氨基酸之一,属于易缺乏氨基酸,在植物蛋白源中常常是第二或者第三限制性氨基酸(Tibaldi *et al.*, 1999)。苏氨

酸具有重要的生理作用,参与蛋白质的合成、促进生长,且具免疫功能(麦康森等,2008)。随着蛋白质氨基酸营养需求研究的不断深入,苏氨酸在日粮氨基酸平衡中的作用日益突出,最显著的是苏氨酸的缺少会限制养殖动物的生长(Kovar *et al.*, 1993)。国内外学者已确定了印度鲤鱼(Ahmed *et al.*, 2004)、欧洲黑鲈(Tibaldi *et al.*, 1999)、牙鲆(Forster *et al.*, 1998)、美国红鱼(Moon *et al.*, 1991)、草鱼(文华等,2009)、鲈鱼(何志刚等,2012)对苏氨酸的需求量,其范围在占粗蛋白2.3%–4.60%之间。但这些报道多数为幼鱼(0.5–8.5 g)对苏氨酸的需求,实际生产中鲈鱼饲料氨基酸的添加量

* 农业公益性行业专项(201003200)资助。窦秀丽, E-mail: douxiuli103-1101@163.com

① 通讯作者: 梁萌青, 研究员, E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2014-01-04, 收修改稿日期: 2014-03-07

多以幼鱼氨基酸需求量为标准,但是由于鱼体各阶段生理、生长状况的不同,对氨基酸的需求存在差异,以幼鱼氨基酸需求量为标准添加苏氨酸,难以适应养成期鲈鱼对苏氨酸的需求。本研究旨在明确鲈鱼不同生长阶段对饲料中苏氨酸的需求量,为鲈鱼精准饲料配方的设计提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计

以鱼粉、玉米蛋白、明胶为蛋白源,鱼油及豆油为脂肪源,糊精为糖源,配制成粗蛋白含量为平均值44.67%、总能为21.65 kJ/g的基础饲料(表1)。以鲈

表1 实验饲料配方及其化学成分分析
Tab.1 The experimental diet formulation and their proximate analyses

成分 Ingredients	饲料 Diet					
	Diet 1 (1.05%)	Diet 2 (1.35%)	Diet 3 (1.65%)	Diet 4 (2.00%)	Diet 5 (2.40%)	Diet 6 (2.65%)
玉米蛋白 Zein meal	20	20	20	20	20	20
鱼粉 Fish meal	5	5	5	5	5	5
明胶 Gelatin	15	15	15	15	15	15
糊精 Dextrin	11	11	11	11	11	11
鱼油 Fish oil	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
豆油 Soybean oil	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
磷脂 Phospholipid	2	2	2	2	2	2
混合必需氨基酸 Essential amino acids premix ¹	7	7	7	7	7	7
混合非必需氨基酸 Non-essential amino acids premix ²	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2
维生素和矿物质混合物 Vitamin and mineral premix ³	4	4	4	4	4	4
诱食剂 Attractant ⁴	1	1	1	1	1	1
微晶纤维素 Microcrystalline cellulose	10	10	10	10	10	10
谷氨酸 Glutamic acid	5.8	5.45	5.10	4.75	4.40	4.05
L-苏氨酸 L-threonine	0	0.35	0.70	1.05	1.40	1.75
化学组成 Chemical composition						
苏氨酸 Threonine (% dry matter)	1.05	1.35	1.65	2.00	2.42	2.65
粗蛋白 Crude protein (% dry matter)	44.20	45.15	45.23	44.24	45.21	44.19
粗脂肪 Crude lipid (% dry matter)	8.39	9.09	9.13	8.92	8.53	8.75
灰分 Ash (% dry matter)	2.68	2.76	2.69	2.75	2.73	2.94
水分 Moisture (% dry matter)	7.50	7.07	7.20	7.21	7.40	7.29
能量 Gross energy (kJ/g dry matter)	21.56	21.69	21.69	21.68	21.65	21.62

注: 1. 混合必需氨基酸(%饲料): 精氨酸 0.8; 组氨酸 0.13; 异亮氨酸 0.87; 亮氨酸 0.3; 赖氨酸 2.3; 蛋氨酸 0.9; 苯丙氨酸 0.3; 缬氨酸 1.4

2. 混合非必需氨基酸(%饲料): 天冬氨酸 3.19; 丝氨酸 0.69; 甘氨酸 2.31; 丙氨酸 1.72; 胱氨酸 0.24; 酪氨酸 0.69; 谷氨酸 3.37

3. 维生素和矿物质混合物(mg/kg 预混料): 维核黄素 45 mg; 硫胺素 25 mg; 维生素 K₃ 10 mg; 肌醇 800 mg; 盐酸吡哆醇 20 mg; 维生素 B₁₂ 0.1 mg; 泛酸 60 mg; 生物素 1.20 mg; 维生素 A 32 mg; 维生素 D 5 mg; 烟酸 200 mg; 叶酸 20 mg; 维生素 E 120 mg; 次粉 18.67 g; 碘化钾 0.8 mg; 氟化钠 2 mg; 硫酸铁 80 mg; 硫酸锌 50 mg; 氯化钴 50 mg; 硫酸铜 10 mg; 硫酸镁 1200 mg; 氯化钠 100 mg; 磷酸二氢钙 3000 mg; 沸石粉 15.51 g

4. 诱食剂: 本品由青岛玛斯特生物技术有限公司提供

Note: 1. Essential amino acids premix (% diet): arginine 0.8; histidine 0.13; isoleucine 0.87; leucine 0.3; lysine 2.3; valine 1.4; phenylalanine 0.3

2. Non-essential amino acids premix (% diet): aspartic acid 3.19; serine 0.69; glycine 2.31; alanine 1.72; Cystine 0.24; tyrosine 0.69; Glutamic 3.37

3. Vitamin and Mineral premix (mg/kg diet): Riboflavin 45 mg; Thiamine 25 mg; Menadione 10 mg; Inositol 800 mg; Pyridoxine 20 mg; Vitamin B₁₂ 0.1 mg; Pantothenate 60 mg; Biotin 1.2 mg; Vitamin A 32 mg; Vitamin D 5 mg; Tocopherol acetate 200 mg; Folic acid 20 mg; Vitamin E 120 mg; Wheat flour 18.67 g; KI 0.8 mg; NaF 2 mg; FeSO₄·7H₂O 80 mg; ZnSO₄·7H₂O 50 mg; CoCl₂·6H₂O 50 mg; CuSO₄·5H₂O 10 mg; MnSO₄·4H₂O 1200 mg; NaCl 100 mg; Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 3000 mg; Mordenzeo 15.51 g

4. Attractant: provided by Qingdao Master of Biotechnology Co. Ltd

表 2 各组饲料中氨基酸组成分析(%饲料干物质)
Tab.2 Amino acid composition of the diets (% dry matter)

氨基酸 Amino acids	43%鱼体蛋白 43% whole body protein	饲料 Diet					
		Diet 1 (1.05%)	Diet 2 (1.35%)	Diet 3 (1.65%)	Diet 4 (2.00%)	Diet 5 (2.42%)	Diet 6 (2.65%)
精氨酸 Arg	2.58	2.27	2.11	2.25	2.05	2.11	2.28
组氨酸 His	0.55	0.53	0.52	0.54	0.56	0.53	0.57
异亮氨酸 Ile	1.78	1.53	1.58	1.58	1.53	1.58	1.81
亮氨酸 Leu	3.02	2.78	2.77	2.86	2.56	2.65	2.73
赖氨酸 Lys	3.36	2.50	2.39	2.52	2.32	2.45	2.57
蛋氨酸 Met	1.22	1.11	1.30	1.15	1.05	1.35	1.63
苯丙氨酸 Phe	1.51	1.52	1.63	1.78	1.47	1.62	1.54
苏氨酸 Thr	1.60	1.05	1.35	1.65	2.00	2.42	2.65
缬氨酸 Val	2.01	2.16	2.16	2.16	2.07	2.07	2.15
天冬氨酸 Asp	4.01	4.31	4.31	4.38	4.29	4.30	4.35
丝氨酸 Ser	1.44	1.68	1.70	1.69	1.65	1.66	1.70
甘氨酸 Gly	2.87	3.05	2.86	3.21	3.33	3.12	3.39
丙氨酸 Ala	2.55	2.45	2.62	2.60	2.60	2.35	2.40
胱氨酸 Cys	0.24	0.25	0.26	0.27	0.19	0.26	0.34
酪氨酸 Tyr	1.21	1.29	1.41	1.37	1.19	1.44	1.67
谷氨酸 Glu	6.60	7.19	6.98	6.83	6.58	6.26	6.19

注: 本实验未测定色氨酸的含量, 实验测定中 $n=3$

Note: tryptophane was not determined in this study. $n=3$

鱼体氨基酸含量为标准, 在基础饲料中添加相应的晶体氨基酸, 使除苏氨酸以外的氨基酸达到鱼体最适需要量(表 2)。在 6 组基础饲料中分别添加晶体 L-苏氨酸 0、0.35%、0.70%、1.05%、1.40%、1.75%, 以谷氨酸进行配平, 使 1-6 组实验饲料中苏氨酸含量分别为 1.05%、1.35%、1.65%、2.00%、2.42%、2.65%饲料干重。配制饲料时先将原料粉碎均匀, 用 6 mol/L 的 NaOH 调节饲料的 pH 值至中性(Wilson *et al*, 1977), 加工成 5 mm 粒径的颗粒, 于 55℃ 下烘干, 置于阴凉干燥处保存备用。

1.2 实验鱼及饲养管理

实验在浙江省宁波市象山港湾水产苗种有限公司海水浮式网箱中进行, 选用同一批初始体重为 (333.93±6.60) g 的鲈鱼。在开始正式实验前, 将鲈鱼放于海水网箱(3.0 m×3.0 m×3.0 m)中暂养 14 d, 并投喂实验基础饲料(对照组)至表观饱食, 使之逐渐适应实验饲料和养殖环境。实验开始前, 实验鱼饥饿 24 h, 然后称重, 随机挑选规格一致的鲈鱼, 并随机分组。实验鱼在海水浮式网箱(1.5 m×1.5 m×2.0 m)中养殖, 每个网箱放养 16 尾, 每组 3 个平行。每天投喂两次(06:00 和 18:00)至饱食, 养殖周期为 70 d(2012 年 9 月 25 日-12 月 4 日)。实验期间, 海水温度为 19-24.5℃, 盐度为

25-30, pH 值为 7.2-7.5, 溶解氧含量在 7 mg/L 左右。

1.3 样品采集与分析

实验开始时, 随机抽取 5 尾鱼置于-20℃冰箱中保存, 用于常规成分分析。生长实验结束后, 鲈鱼饥饿 24 h, 记数, 称重。分别从每网箱随机抽取 3 尾鲈鱼, 每个饲料组 15 尾, 分别取肌肉、肝脏, 放于液氮中快速冷冻, 保存于-80℃超低温冰柜中备用。另每网箱分别取 4 尾实验鱼置于-20℃冰箱中, 用于常规成分分析。

饲料、全鱼样品的水分采用 105℃恒温烘干失重法。粗蛋白含量测定采用凯氏定氮法(VELP UDK142 automatic distillation unit)。粗脂肪含量采用索氏提取法(以石油醚作为抽提液)测得(丹麦 FOSS 索氏抽提仪 SOXTEC 2050)。灰分测试采用灼烧法, 将样品在电炉上炭化后, 在 550℃马福炉中灼烧 5 h, 测得灰分含量。肌肉及饲料中氨基酸的含量采用日立 L-8900 型氨基酸分析仪测定。谷草转氨酶和谷丙转氨酶均采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定。蛋白浓度用考马斯亮蓝染色法测定。

1.4 计算及统计分析

各参数的计算公式:

存活率(Survival rate, %)=100×终末实验鱼数量/初始实验鱼数量

增重率(Weight gain rate, *WGR*, %)=100×(终末体重-初始体重)/初始体重

摄食率(Feed intake, *FI*, %/d)=100×摄食饲料干重×2/[(终末体重+初始体重)×实验天数]

特定生长率(Specific growth rate, *SGR*, %/d)=100×[ln(终末体重)-ln(初始体重)]/实验天数

饲料效率(Feed efficiency, *FE*, %)=100×(终末体重-初始体重)/摄食量

蛋白质效率(Protein efficiency ratio, *PER*, %)=100×(终末体重-初始体重)/摄入蛋白

蛋白质沉积率(Protein productive value, *PPV*, %)=100×(鱼体蛋白增量/摄入蛋白)

所得实验数据采用平均值±标准差表示, 采用SPSS 19.0 分析软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), 比较组间差异显著性采用 Duncan's 检验方法, 以 $P<0.05$ 为显著水平。

2 结果

2.1 饲料中苏氨酸水平对鲈鱼生长性能的影响

不同水平苏氨酸对鲈鱼生长性能的影响如表3。结果显示, 各组存活率在89.58%–95.83%之间, 饲料苏氨酸水平对各组存活率无显著影响($P>0.05$)。随着饲料中苏氨酸水平的升高, 实验组鱼体特定生长率(*SGR*)呈现先增加后减少的趋势, 并且苏氨酸水平2.00%组的 *SGR* 显著高于其他各组($P<0.05$)。鲈鱼鱼体增重率(*WGR*)随饲料中苏氨酸水平的升高, 呈先增

加后减少的趋势, 各组间差异显著($P<0.05$), 且苏氨酸水平2.00%组增重率出现最大值。各实验组的摄食率在0.47–0.54%/d之间, 饲料中不同水平苏氨酸对鲈鱼的摄食率无显著影响($P>0.05$)。随着饲料中苏氨酸水平的升高, 各实验组饲料效率呈现出先增加后减少的趋势, 苏氨酸水平2.00%组饲料效率显著高于苏氨酸水平1.05%组($P<0.05$), 与1.35%、1.65%及2.42%组无显著性差异($P>0.05$)。随着饲料中苏氨酸水平的升高, 蛋白质效率(*PER*)呈现先增加后减少的趋势, 其中苏氨酸水平2.00%组蛋白质效率最高, 且显著高于苏氨酸水平1.05%及2.65%组($P<0.05$), 与1.35%、1.65%及2.42%组无显著性差异($P>0.05$)。各实验组蛋白质沉积率(*PPV*)亦呈现先增加后减少的趋势, 苏氨酸水平2.00%组显著高于苏氨酸水平1.05%及2.65%组($P<0.05$), 与1.35%、1.65%及2.42%组无显著性差异($P>0.05$)。

以饲料苏氨酸水平为横坐标, 鲈鱼的特定生长率(*SGR*)为纵坐标, 经二次曲线回归分析得 $y = -0.211x^2 + 0.776x - 0.291$, $R^2 = 0.937$, 当苏氨酸水平为1.84%饲料干重时, 得到最大特定生长率(图1)。以饲料苏氨酸水平为横坐标、鲈鱼的饲料效率(*FE*)为纵坐标进行二次曲线回归分析得 $y = -0.401x^2 + 1.506x - 0.591$, $R^2 = 0.779$, 当苏氨酸水平为1.87%饲料干重时, 饲料效率达到最大值(图2)。以饲料苏氨酸水平为横坐标、鲈鱼的蛋白质沉积率(*PPV*)为纵坐标进行二次曲线回归分析得 $y = -16.794x^2 + 61.453x - 20.944$, $R^2 = 0.986$, 当苏氨酸水平为1.83%饲料干重时, 蛋白沉积率最大(图3)。

表3 饲料中苏氨酸水平对鲈鱼生长性能的影响(平均值±标准差)

Tab.3 Effects of dietary threonine levels on the growth performance of Japanese seabass (Mean±SD, $n=3$)

指标 Parameters	饲料 Diet					
	Diet 1 (1.05%)	Diet 2 (1.35%)	Diet 3 (1.65%)	Diet 4 (2.00%)	Diet 5 (2.42%)	Diet 6 (2.65%)
初始体重 Initial weight(g)	333.93±6.60	333.93±6.60	333.93±6.60	333.93±6.60	333.93±6.60	333.93±6.60
终末体重 Final weight(g)	420.74±9.32 ^{bc}	432.67±4.08 ^b	455.42±9.96 ^a	461.39±7.74 ^a	435.79±4.65 ^b	405.20±15.61 ^c
存活率 Survival rate (%)	95.83±3.61	95.83±3.61	93.75±0.00	91.67±3.61	95.83±3.61	89.58±7.21
增重率 <i>WGR</i> (%)	23.76±0.17 ^e	27.78±0.36 ^d	32.87±0.41 ^b	35.41±0.37 ^a	28.49±0.35 ^c	21.04±0.52 ^f
特定生长率 <i>SGR</i> (%/d)	0.30±0.02 ^d	0.35±0.04 ^c	0.41±0.04 ^b	0.43±0.04 ^a	0.36±0.04 ^c	0.27±0.06 ^e
摄食率 <i>FI</i> (%/d)	0.52±0.07	0.54±0.08	0.54±0.14	0.52±0.03	0.47±0.10	0.54±0.09
饲料效率 <i>FE</i> (%)	0.59±0.07 ^{bc}	0.65±0.09 ^{abc}	0.78±0.17 ^{ab}	0.83±0.05 ^a	0.79±0.15 ^{ab}	0.52±0.09 ^c
蛋白质效率 <i>PER</i> (%)	1.44±0.18 ^{bc}	1.54±0.20 ^{abc}	1.89±0.42 ^{ab}	2.01±0.12 ^a	1.87±0.37 ^{ab}	1.26±0.22 ^c
蛋白质沉积率 <i>PPV</i> (%)	25.20±3.12 ^{bc}	31.2±4.25 ^{abc}	34.34±7.64 ^{ab}	35.64±2.09 ^a	28.72±5.65 ^{abc}	24.25±4.25 ^c

注: 同一行中不同的上标字母表示组间差异显著($P<0.05$)

Note: Means in each row with different superscripts are significantly different ($P<0.05$)

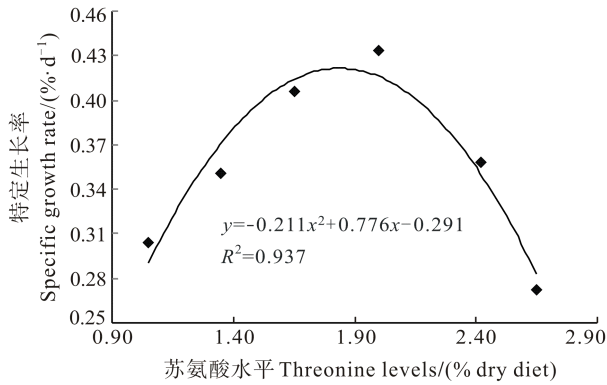


图 1 饲料中不同苏氨酸水平对鲈鱼特定生长率的影响
Fig.1 Effects of dietary threonine levels on the specific growth rate of Japanese seabass

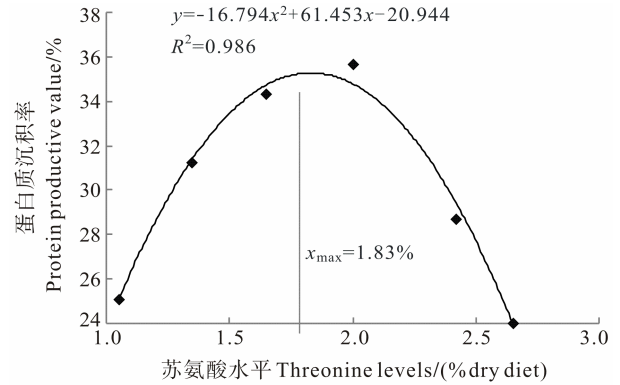


图 3 饲料中不同苏氨酸水平对鲈鱼蛋白质沉积率的影响
Fig.3 Effects of dietary threonine levels on the protein productive value of Japanese seabass

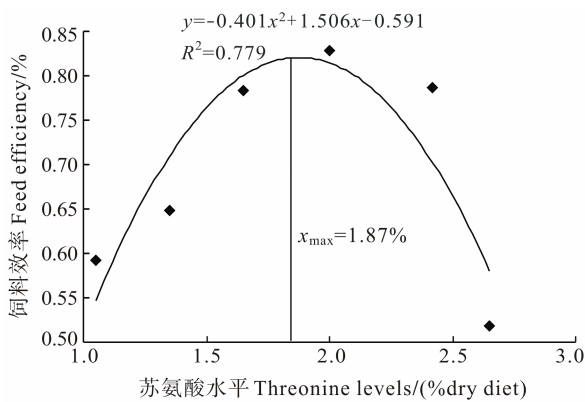


图 2 饲料中不同苏氨酸水平对鲈鱼饲料效率的影响
Fig.2 Effects of dietary threonine levels on the feed efficiency of Japanese seabass

2.2 饲料中苏氨酸水平对鲈鱼体组成的影响

饲料中不同水平的苏氨酸对鲈鱼体组成的影响如表 4。各实验组鲈鱼水分含量为 69.52%–74.65%，粗蛋白含量为 15.04%–15.35%(湿重)，粗脂肪含量为 7.04%–7.17%(湿重)，灰分含量为 5.35%–5.68%(湿重)，各组间无显著差异($P>0.05$)，饲料中不同水平苏氨酸对鲈鱼体组成无显著影响($P>0.05$)。

2.3 饲料中苏氨酸水平对鲈鱼肝脏转氨酶的影响

肝脏谷草转氨酶活性随饲料中苏氨酸水平的升高呈现先增加后减少的趋势，其中苏氨酸水平 2.00% 组显著高于其他各组($P<0.05$) (表 5)。肝脏谷丙转氨酶的活性亦随饲料中苏氨酸水平的升高呈现先增加后

表 4 饲料中苏氨酸水平对鲈鱼体组成的影响(均值±标准差)

Tab.4 Effects of dietary threonine levels on the whole body composition of Japanese seabass (Mean±SD, n=3)

指标 Parameters	饲料 Diet					
	Diet 1 (1.05%)	Diet 2 (1.35%)	Diet 3 (1.65%)	Diet 4 (2.00%)	Diet 5 (2.42%)	Diet 6 (2.65%)
鱼体水分 Moisture (%)	74.65±1.22	69.68±2.88	70.91±1.91	69.52±0.89	72.85±1.96	70.12±2.18
鱼体粗蛋白 Crude protein (%)	15.28±0.27	15.04±0.21	15.35±0.24	15.14±0.36	15.12±0.51	15.27±0.37
鱼体粗脂肪 Crude lipid (%)	7.06±0.11	7.17±0.08	7.10±0.26	7.04±0.62	7.04±0.07	7.04±0.07
鱼体灰分 Ash (%)	5.55±0.43	5.49±0.89	5.36±0.04	5.68±0.58	5.64±0.27	5.35±0.26

注：同一行中不同的上标字母表示组间差异显著($P<0.05$)

Note: Means in each row with different superscripts are significantly different ($P<0.05$)

表 5 饲料中苏氨酸水平对鲈鱼肝脏转氨酶活性的影响(均值±标准差)

Tab.5 Effects of dietary threonine levels on GOT, GPT activities of livers in Japanese seabass (Mean±SD, n=3)

指标 Parameters	饲料 Diet					
	Diet 1 (1.05%)	Diet 2 (1.35%)	Diet 3 (1.65%)	Diet 4 (2.00%)	Diet 5 (2.42%)	Diet 6 (2.65%)
谷草转氨酶 GOT(U/g prot)	40.65±0.29 ^b	40.97±0.89 ^b	41.10±0.63 ^b	43.62±1.29 ^a	41.72±1.96 ^{ab}	39.90±1.22 ^b
谷丙转氨酶 GPT(U/g prot)	46.02±1.94 ^b	45.07±0.94 ^b	49.76±0.57 ^a	50.62±1.07 ^a	46.01±1.17 ^b	46.95±0.70 ^b

注：同一行中不同的上标字母表示组间差异显著($P<0.05$)

Note: Means in each row with different superscripts have significant differences ($P<0.05$)

表6 饲料苏氨酸水平对鲈鱼肌肉必需氨基酸组成的影响(均值±标准差)

Tab.6 Effects of dietary threonine levels on the essential amino acid profile of the muscle in Japanese seabass (Mean±SD, n=3)

氨基酸 Amino acids	饲料 Diet						ANOVA	
	Diet 1 (1.05%)	Diet 2 (1.35%)	Diet 3 (1.65%)	Diet 4 (2.00%)	Diet 5 (2.42%)	Diet 6 (2.65%)	F 值	P 值
精氨酸 Arg	4.56±1.33	4.52±1.19	4.34±1.64	4.35±0.17	4.55±0.44	5.03±1.14	0.16	0.97
组氨酸 His	2.60±0.33	2.45±0.30	2.69±0.05	2.57±0.19	2.60±0.49	2.49±0.40	0.17	0.97
异亮氨酸 Ile	3.51±0.12	3.46±0.11	3.48±0.08	3.43±0.06	3.46±0.11	3.44±0.06	0.14	0.98
亮氨酸 Leu	5.36±0.04	5.5±0.04	5.35±0.04	5.33±0.05	5.34±0.08	5.33±0.05	0.16	0.97
蛋氨酸 Met	3.84±0.90	3.40±0.23	3.15±0.47	2.90±0.16	2.89±0.15	2.83±0.16	2.44	0.10
苯丙氨酸 Phe	4.37±0.28	4.35±0.04	4.07±0.63	4.25±0.28	4.14±0.34	4.23±0.28	0.34	0.88
赖氨酸 Lys	5.99±0.03	5.99±0.02	5.99±0.07	5.98±0.03	5.98±0.08	5.97±0.04	0.17	0.97
缬氨酸 Val	4.29±0.02	4.23±0.05	4.22±0.06	4.21±0.04	4.27±0.03	4.24±0.03	1.78	0.20
苏氨酸 Thr	4.01±0.08	3.99±0.11	4.06±0.04	3.99±0.09	4.05±0.09	3.99±0.08	0.35	0.87

注: 本实验未测定色氨酸的含量, 实验测定中 $n=3$

Note: tryptophane was not determined in this study

减少的趋势(表5), 苏氨酸水平 2.00%及 1.65%组显著高于其他各组 ($P<0.05$), 这两组间无显著差异 ($P>0.05$)。

2.4 饲料中苏氨酸水平对鲈鱼肌肉必需氨基酸组成的影响

饲料中添加不同水平的苏氨酸对鲈鱼肌肉中必需氨基酸组成的影响如表6。肌肉中除色氨酸未做测定外, 在饲料不同的苏氨酸水平下其他9种必需氨基酸, 各组间均没有显著差异 ($P>0.05$)。

3 讨论

本研究以鲈鱼(333.93±6.60 g)为研究对象, 通过在基础饲料中添加不同水平的苏氨酸, 经过70 d的生长试验, 以 SGR、FE 和 PPV 为评价指标, 探讨鲈鱼生长后期对饲料中苏氨酸的最适需求量。结果显示, 当饲料中苏氨酸含量为饲料干重 1.83%–1.87%时, 鲈鱼呈现最佳生长性能和最高蛋白质利用效率。此结果高于欧洲黑鲈(*Dicentrarchus labrax*) 2.6%饲料蛋白(Tibaldi *et al*, 1996)、条纹鲈(*Morone saxatilis*) 3.0%饲料蛋白(Small *et al*, 1998)、日本牙鲆(*Paralichthys olivaceus*) 2.3%饲料蛋白(Forster *et al*, 1998)、美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*) 2.9%饲料蛋白(Moon *et al*, 1991), 低于印度鲤鱼(*Cirrhinus mrigala*) 4.5%饲料蛋白(Ahmed *et al*, 2004)、尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*) 5.5%饲料蛋白(Silva *et al*, 2006), 不同种鱼对氨基酸的需求量不同是存在差异的主要原因。

鲈鱼幼鱼的苏氨酸需求量为 4.21%饲料蛋白(何志刚等, 2012), 高于本研究条件下苏氨酸需求量占饲料蛋白 4.09%–4.18%, 鱼体不同生长阶段对苏氨酸需求量不同是出现差异的主要原因。有研究显示,

初重 2.7 g 条纹鲈对苏氨酸的需求量为 1.03%饲料干重(13.4 kJ/kg 可消化能, 42%粗蛋白)(Small *et al*, 1999), 而 Small 等(1998)在之前对 110 g 及 790 g 左右的条纹鲈研究中证明苏氨酸的需求量为 1.10%饲料干重(13.39 MJ/kg 可消化能, 42%粗蛋白)。此外, 鲈鱼幼鱼实验温度为 26–32℃(何志刚等, 2012), 本研究实验温度为 19.0–24.5℃, 实验温度的不同可能会影响鱼体对苏氨酸的吸收与代谢, 从而导致实验结果的差异。鲈鱼幼鱼实验与本实验的实验配方及饲料原料均不同, 鲈鱼幼鱼实验所采用的蛋白源为白鱼粉、豆粕与明胶(何志刚等, 2012), 本实验蛋白源为玉米蛋白、鱼粉与明胶, 并且两个实验中蛋白源的比例也不同, 这也可能是两个实验结果存在差异的一个原因。

本研究结果显示, 饲料中不同苏氨酸水平会显著影响鲈鱼的生长, 适宜的苏氨酸含量会显著提高鲈鱼的生长, 这与王琤韡等(2013)、Shi 等(2010)、文华等(2009)及何志刚等(2012)的研究一致。苏氨酸缺乏或者过量均会阻碍鲈鱼的生长, 饲料中苏氨酸含量过少或过高时, 鱼体生长缓慢, 蛋白质效率降低, 主要原因可能是氨基酸平衡破坏, “水桶效应”产生, 从而影响鱼体生长。Ravia 等(1991)证明苏氨酸过量会抑制印度锦鲤(*Catla catla*)的生长。彭艳等(2009)研究显示, 饲料中苏氨酸不足会显著降低鼠的摄食量, 阻碍其生长速度。另外有研究表明, 苏氨酸缺乏会影响欧洲鲈鱼(Tibaldi *et al*, 1999)及虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)(Rodehutsord *et al*, 1995)的摄食和生长。

肝脏是鱼类氨基酸代谢的主要场所, 在肝脏细胞中存在大量的与氨基酸代谢相关的酶类, 转氨酶是催化氨基酸氧化分解时, 氨基酸转移到 α -酮酸的酶, 其常作为评价鱼类营养状况的指标。本研究结果显示, 饲料中不同苏氨酸水平对肝脏谷草转氨酶及谷丙转氨

酶活性具有显著影响($P < 0.05$)。但是也有研究表明, 苏氨酸在代谢过程不经过转氨基作用(麦康森等, 2008; 国春艳等, 2006)。本研究结果可能是由于适宜的苏氨酸促进了体内氨基酸的平衡, 促进了苏氨酸与丝氨酸和甘氨酸之间的转化, 从而表现出较高的酶活性。

饲料中氨基酸会影响鱼体血浆、血清、肝脏及肌肉中氨基酸水平(Mai *et al.*, 2006), 但也有研究显示, 喂食 48 h 后氨基酸水平会恢复正常水平(Walton *et al.*, 1986)。本实验条件下对肌肉氨基酸进行测定, 并对除色氨酸外的 9 种必需氨基酸进行分析, 结果显示, 各实验组均无显著差异($P > 0.05$), Mai(2006)等证明饲料氨基酸水平会显著影响大黄鱼肌肉氨基酸的水平, 与本实验结果不一致。但也有报道饲料中苏氨酸水平会影响鲈鱼肌肉苏氨酸的含量(何志刚等, 2012), 与本实验结果存在差异, 其主要原因可能是鱼体规格的不同。

饲料中氨基酸会影响鱼体组成(Mai *et al.*, 2006), Zhou 等(2011)和陈乃松等(2010)研究证明, 饲料中不同水平蛋氨酸会影响黑鲷体蛋白组成。本实验条件下, 饲料中不同苏氨酸水平对鲈鱼体组成无显著影响($P > 0.05$), 这与赵红霞等(2007)、李燕等(2011)、Helena 等(2008)、何志刚等(2012)的研究一致。出现这种结果的原因可能是本研究的鱼体偏大, 实验周期比较短, 对鱼体组分的影响不明显。

综上所述, 在本研究条件下, 对于处于生长后期初重为(333.93±6.60) g 的鲈鱼, 以特定生长率(SGR)、饲料效率(FE)及蛋白质沉积率(PPI)为评价指标经二次回归分析得出的鲈鱼对饲料中苏氨酸的最适需求量分别为 1.84%、1.87%及 1.83%饲料干重, 占饲料蛋白质的 4.11%、4.18%及 4.09%。

参 考 文 献

王瑄, 喻兵权, 王仁华, 等. 日粮苏氨酸水平对生长肥育猪生长性能和屠宰性能的影响. 江西饲料, 2013(4): 12-16, 19

文华, 高文, 尚晓迪, 等. 草鱼幼鱼的饲料苏氨酸需要量. 中国水产科学, 2009, 16(2): 238-246

李燕, 艾庆辉, 麦康森, 等. 鲈鱼对组氨酸需求量的研究. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2011, 41(3): 31-36

麦康森, 何志刚, 艾庆辉. 鱼类苏氨酸营养生理研究进展. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2008, 38(2): 195-200

陈乃松, 马建忠, 周恒永, 等. 大口黑鲈对饲料中蛋氨酸需求量的评定. 水产学报, 2010, 34(8): 1243-1253

何志刚, 艾庆辉, 麦康森, 等. 鲈鱼幼鱼对饲料中苏氨酸的需要量. 水产学报, 2012, 36(1): 124-131

苏传福. 花鲈营养需求的研究进展. 饲料研究, 2005(11): 30-33

国春艳, 许宗运, 刁其玉. 苏氨酸的营养免疫作用及畜禽对其需要量的研究. 饲料工业, 2006, 27(14): 46-48

林利民, 胡家财, 洪惠馨. 鲈鱼人工配合饲料中蛋白质最适含量的研究. 厦门水产学院学报(自然科学版), 1994, 16(1): 6-10

陆国君, 罗红宇, 钟明杰. 鲈鱼幼鱼对饵料中蛋白质、脂肪、碳水化合物适宜含量的研究. 海洋水产研究, 1998, 19(1): 81-85

洪惠馨, 林利民, 陈学豪, 等. 鲈鱼人工配合饵料中脂肪的适宜含量研究. 集美大学学报(自然科学版), 1999, 4(2): 41-51

赵红霞, 曹俊明, 吴建开, 等. 军曹幼鱼对饲料中精氨酸的需要量. 华南农业大学学报, 2007, 28(4): 87-90

高淳仁, 刘庆慧, 梁亚全, 等. 鲈鱼幼鱼对人工配合饲料中蛋白质、脂肪适宜含量的研究. 海洋水产研究, 1998, 9(1): 81-86

高敏英, 关金藏. 淡水养殖鲈鱼试验技术总结. 福建水产, 1992(2): 29-34

彭艳, 周小秋, 冯琳. 苏氨酸缺乏引起动物厌食反应的研究进展. 中国饲料, 2009(9): 8-11, 14

Ahmed I, Khan MA, Jafri AK. Dietary threonine requirement of fingerling Indian major carp, *Cirrhinus mrigala*(Hamilton). Aquaculture Research, 2004, 35(2): 162-170

Forster I, Ogata HY. Lysine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* and juvenile red seabream *Pagrus major*. Aquaculture, 1998, 161: 131-142

Helena P, Aires OT. Lysine requirement and efficiency of lysine utilization in turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles. Aquaculture, 2008, 275(1-4): 283-290

Kovar JL, Lewis AJ, Radke TR, *et al.* Bioavailability of threonine in soybean meal for young pigs. J Anim Sci, 1993, 71(8): 2133-2142

Mai KS, Zhang L, Ai QH, *et al.* Dietary lysine requirement of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. Aquaculture, 2006, 258(1-4): 535-542

Mai KS, Wan JL, Ai QH, *et al.* Dietary methionine requirement of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R. Aquaculture, 2006, 253(1-4): 564-572

Moon HY, Gatlin DM. Total sulfur amino acid requirement of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. Aquaculture, 1991, 95(1-2): 97-106

Ravia J, Devarajb KV. Quantitative essential amino acid requirements for growth of catla, *Catla catla* (Hamilton). Aquaculture, 1991, 96(3-4): 281-291

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 Nutr, 1995, 125(4): 964-969

Silva LCR, Furuva WM, Wilson M, *et al.* Threonine levels in diets for Nile Tilapia. Revista Brasileira de Zootecnia, (R.Bras. Zootec.). 2006, 35(4): 1258-1264

Shi SR, Wang ZY, Zou JM, *et al.* Effects of dietary threonine on

- growth performance and carcass traits of Yangzhou Geese. Czech. J Anim Sci, 2010, 55(9): 1212–1819
- Small BC, Soares JH Jr. Quantitative dietary threonine requirement of juvenile stripe bass *Morone saxatilis*. J World Aquacul Soc, 1999, 30(3): 319–323
- Small BC, Soares JH Jr. Estimating the quantitative essential amino acid requirements of striped bass *Morone saxatilis*, using fillet A/E ratios. Aquaculture Nutrition, 1998, 4(4): 225–232
- Tibaldi E, Tulli F, Corsin F. Dietary threonine requirement of juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Aquaculture, 1999, 175(1–2): 155–166
- Walton MJ, Wilson RP. Postprandial changes in plasma and liver free amino acids of rainbow trout fed complete diets containing casein. Aquaculture, 1986, 51(2): 105–115
- Wilson RP, Harding DE, Garling DL Jr. Effect of dietary pH on amino acid utilization and the lysine requirement of fingerling channel catfish. J Nutr, 1977, 107(1): 166–236
- Zhou F, Xiao JX, Hua Y, et al. Dietary L-methionine requirement of juvenile black sea bream (*Sparus macrocephalus*) at a constant dietary cystine level. Aquaculture Nutrition, 2011, 17(5): 469–481

(编辑 刘丛力)

Threonine Requirement of Japanese Seabass (*Lateolabrax japonicus*) in Mature Stages

DOU Xiuli^{1,2}, LIANG Mengqing¹①, ZHENG Keke¹, WANG Xinxing¹

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071;
2. College of Fisheries and Life Sciences, Dalian Ocean University, Dalian 116023)

Abstract It has been clear that the dietary threonine is essential in the growth of juvenile Japanese seabass, and the requirement of threonine could vary at different growth stages. It is necessary to identify the requirement of threonine at mature stages. We designed a 10-week feeding experiment to investigate the effects of threonine on the growth performance of Japanese seabass and to determine the optimal level of dietary threonine. Six isonitrogenous and isoenergetic semipurified diets (44.67% crude protein, 21.65 kJ/g gross energy) were formulated with graded levels of crystalline threonine (0, 0.35%, 0.70%, 1.05%, 1.40%, and 1.75%). The actual levels of threonine were determined to be 1.05%, 1.35%, 1.65%, 2.00%, 2.42%, and 2.65% in the dry diets, respectively, and then used them to feed the six groups of Japanese seabass (average body weight: 333.93±6.60 g). The result showed that no significant differences in survival rate (89.58%–95.83%) were found among dietary treatments ($P>0.05$). With the increasing of dietary threonine levels, the specific growth rate (*SGR*), feed efficiency (*FE*) and protein productive value (*PPV*) increased significantly ($P<0.05$), then these indexes showed a declining tendency after reaching their peaks at the 2.00% dietary threonine level. The activities of glutamic-oxaloacetic transaminase (*GOT*) in livers observably increased when threonine level was increased from 1.05% to 2.00% ($P<0.05$), and then decreased when the threonine level was increased from 2.00% to 2.65%. The highest activity of glutamic-pyruvic transaminase (*GPT*) in liver was obtained in fish fed with 2.00% of dietary threonine. However there was no significant difference in the body composition between different dietary treatments ($P>0.05$). The second-order regression analysis based on different parameters (*SGR*, *FE*, and *PPV*) indicated that the optimal levels of dietary threonine were 1.84%, 1.87% and 1.87% (of diet), and 4.11%, 4.18% and 4.09% (of dietary protein) respectively.

Key words *Lateolabrax japonicus*; Threonine; Growth performance; Requirement; Mature stages

① Corresponding author: LIANG Mengqing, E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn