

# 鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)养殖中期 对饲料硒的需求量\*

谈枫<sup>1,2</sup> 梁萌青<sup>1①</sup> 郑珂珂<sup>1</sup> 徐后国<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071;  
2. 中国海洋大学 教育部海水养殖重点实验室 青岛 266003)

**摘要** 以初始体重为(214.5±1.0) g的鲈鱼为研究对象,通过在基础饲料中添加亚硒酸钠0、0.48、0.97、1.45、1.93、2.42 mg/kg配成不同水平硒(0.12、0.36、0.42、0.60、0.78、1.10 mg/kg)的6组等氮等脂饲料,在海水浮式网箱进行为期70 d的生长实验,探讨饲料中不同水平的硒对鲈鱼生长、饲料利用、抗氧化酶活力和鱼体硒含量的影响。研究表明,特定生长率随着饲料中硒水平的增加呈先上升后平稳的趋势,在饲料中硒水平为0.60 mg/kg时,特定生长率最高;饲料中不同水平的硒对鲈鱼存活率和饲料效率无显著差异( $P>0.05$ );肝脏和血清中的谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性随着饲料硒水平的提高而呈现出先升高后降低的趋势,在饲料硒含量为0.60 mg/kg时达到最大值;血清和肝脏谷胱甘肽转移酶(GST)活性随着硒含量的增加呈现出先上升后平缓的趋势,在饲料中硒含量为0.78 mg/kg时,血清GST活性显著高于对照组( $P<0.05$ );血清谷胱甘肽还原酶(GR)活性随着硒含量的增加呈现出先上升后平缓的趋势,在饲料中硒含量为0.78 mg/kg时,血清GR活性显著高于对照组( $P<0.05$ );血清中超氧化物歧化酶(SOD)活性随着饲料硒含量的升高呈现出先升高后下降的趋势,在饲料中硒含量为0.60 mg/kg时达到最大值,硒含量为1.10 mg/kg时,血清中SOD活性显著下降且低于对照组饲料( $P<0.05$ );随着饲料硒含量的升高,血清中丙二醛含量呈现出先降低而后升高的趋势,其中在饲料中硒含量为0.60 mg/kg时最低;全鱼和肝脏中硒含量随着饲料中硒水平的升高而显著升高( $P<0.05$ )。综合生长和抗氧化能力,建议214 g规格的鲈鱼饲料中适宜的硒含量为0.63–0.75 mg/kg。

**关键词** 硒; 鲈鱼; 营养需求; 生长中期

**中图分类号** S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2015)03-0093-08

作为鱼类所必需的微量营养元素,硒(Se)对于鱼类的生长和抗氧化能力具有重要作用,目前为止,已经开展了包括鲈鱼在内的部分鱼类对饲料中硒的需求量的研究(Hilton *et al*, 1980; Gatlin *et al*, 1984; Lin *et al*, 2005; 梁萌青等, 2007; Dörr *et al*, 2008; 胡俊茹等, 2010),这些研究表明,适量的硒不仅有利于鱼类的生长,而且作为谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的组成部分,在参与生物体内氧化物的清除(Avanzo *et al*,

2001; Fang *et al*, 2002),防止细胞线粒体脂类过氧化,保护细胞膜不受脂类代谢物的破坏中具有重要作用。

鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)是一种广温、广盐性鱼类,在我国的南方和北方均有分布,为我国重要的经济鱼类之一(Ai *et al*, 2004a、b)。近年来,鲈鱼海水网箱养殖的迅速发展迫切需要优质的商品配合饲料,因而鲈鱼营养素需求的完善显得尤为必要。关于鲈鱼硒的需求量的研究,虽然梁萌青等(2007)进行了报道,

\* 公益性行业(农业)科研专项(201003020)资助。谈枫, E-mail: 805306754@qq.com

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

收稿日期: 2014-05-05, 收修改稿日期: 2014-07-22

但其研究主要针对 20 g 左右的鲈鱼, 对于规格较大的鲈鱼并没有进行进一步研究。由于鱼体各阶段生理、生长状况的不同, 对硒的需求量是存在差异的, 因而出于完善鲈鱼不同生长阶段饲料中硒需要量的目的, 有必要进一步研究较大规格鲈鱼硒的需要量。

由于目前亚硒酸钠的价格较低, 生产上用的最多的还是亚硒酸钠, 因此, 本研究为了更贴近生产, 采用亚硒酸钠作为硒源, 以 214 g 的鲈鱼为实验对象, 研究饲料中不同的硒水平对其生长、肝脏和血清中抗氧化酶和鱼体硒含量的影响, 来探索较大规格鲈鱼对硒的最适需求量, 为完善鲈鱼不同生长阶段的硒营养需求, 提高养殖效益提供技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验饲料

以鱼粉、酪蛋白和明胶为蛋白源, 鱼油和豆油为脂肪源, 玉米淀粉和糊精为糖源, 在每千克基础饲料中分别添加 0、0.48、0.97、1.45、1.93、2.42 mg 的亚硒酸钠(国药集团化学试剂有限公司, 分析纯)配置成不同水平硒的等氮等脂饲料, 饲料中硒的实测含量依次为 0.12、0.36、0.42、0.60、0.78、1.10 mg/kg。实验饲料配方及营养组成见表 1。实验所需原料均粉碎过 60 目筛, 充分混合后, 制成颗粒饲料, 烘干后密封于样品袋中保存在-20℃冰箱中。

表 1 实验饲料配方及成分含量(%干物质)  
Tab.1 Formula and composition of the experimental diets (% dry weight)

饲料成分 Ingredients	Diet 1	Diet 2	Diet 3	Diet 4	Diet 5	Diet 6
酪蛋白 Casein	40	40	40	40	40	40
明胶 Gelatin	10	10	10	10	10	10
鱼粉 Fish meal	10	10	10	10	10	10
鱼油 Fish oil	6	6	6	6	6	6
豆油 Soybean oil	2	2	2	2	2	2
玉米淀粉 Corn starch	20	20	20	20	20	20
糊精 Dextrin	5.85	5.85	5.85	5.85	5.85	5.85
大豆卵磷脂 Soy lecithin	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
维生素混合物 Vitamin premix <sup>1</sup>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
矿物质混合物 Mineral premix <sup>2</sup>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
氯化胆碱 Choline chloride	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
维生素 C Vitamin C	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
诱食剂 Attractant	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
防霉剂 Fungicides	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
抗氧化剂 Antioxidant	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
亚硒酸钠 NaSeO <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O(mg/kg)	0	0.48	0.97	1.45	1.93	2.42
化学组成 Proximate composition(%)						
粗蛋白 Crude protein (%)	44.63	44.21	43.96	44.42	45.07	44.68
粗脂肪 Crude lipid (%)	8.78	8.79	9.02	8.83	8.81	8.91
硒 Se (mg/kg)	0.12	0.36	0.42	0.60	0.78	1.10

注 1: 维生素混合物(mg/kg or g/kg 饲料): 核黄素 45 mg; 硫胺素 25 mg; 维生素 K<sub>3</sub> 10 mg; 肌醇 800 mg; 盐酸吡哆醇 20 mg; 维生素 B<sub>12</sub> 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 18.67g

注 2: 矿物质混合物(mg/kg or g/kg 饲料): 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 15.51g

Note1: Vitamin Premix(mg or g/kg diet): Riboflavin 45 mg, Thiamine 25 mg, Menadione 10 mg, Inositol 800 mg, Pyridoxine 20 mg, Vitamin B<sub>12</sub> 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

Note2: Mineral Premix(mg or g/kg diet); KI 0.8 mg, NaF 2 mg, FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 80 mg, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 50 mg, CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 50 mg, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 10 mg, MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O 1200 mg, NaCl 100 mg, Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O 3000 mg, Mordenzo 15.51 g

## 1.2 实验动物及饲养管理

实验于2013年6月28日-9月5日在宁波市象山港湾水产苗种有限公司进行的, 为期70 d。实验鲈鱼选用当年产的同一批鱼苗, 实验开始前, 放于(3 m×6 m×3 m)海水网箱中暂养14 d, 并用实验对照组(0.12 mg/kg)饲料进行投喂使之适应实验饲料。实验开始前饥饿24 h, 挑选出体格健壮、大小均匀的鲈鱼(214.5±1.0) g随机分于18个浮式海水网箱中(1.5 m×1.5 m×2 m), 每一海水网箱为一组, 每种饲料随机投喂3组实验鱼, 每天饱食投喂两次(05:30和17:00)。实验期间, 水温为25-30℃, 盐度为25-30, 溶氧为7 mg/L以上。在养殖过程中, 对养殖水体硒含量进行检测, 未检测出水体含硒。

实验期间, 监测水质、溶氧、水温变化等, 观察鱼的摄食和生长状况, 记录摄食量。

## 1.3 样品收集

生长实验结束后, 鲈鱼饥饿24 h, 计数、称重。分别从每个网箱中取4尾鱼, 用MS-222麻醉, 测体重、体长; 尾静脉抽血, 血样在4℃冰箱中静置6 h以上, 3000 r/min离心12 min, 获得血清存放于-80℃冰箱中; 解剖取肝脏和内脏并称量, 用于计算肝体比、脏体比, 并将肝脏保存于-80℃冰箱。再分别从每个网箱取3尾鱼保存于-20℃冰箱中, 用于全鱼体成分分析。

## 1.4 生化分析

饲料和全鱼样品的水分采用105℃恒温烘干失重法测定; 粗蛋白含量采用凯氏定氮法测定; 粗脂肪采用索氏抽提法(石油醚为抽提液)测定; 灰分在电炉上碳化后, 放在马福炉(550±20)℃中灼烧3 h, 失重法测定。谷胱甘肽过氧化物酶、谷胱甘肽还原酶、谷胱

甘肽转移酶、SOD活性及MDA含量, 采用南京建成相关试剂盒测定。硒含量按GB 5009.93-2010测定。

## 1.5 计算公式、统计方法

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

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

饲料效率(FE, %)=100×(终末体重-初始体重)/摄食量

肥满度(CF, %)=100×体重(g)/体长(cm<sup>3</sup>)

肝体比(HSI, %)=肝脏湿重/体重量×100

脏体比(VSI, %)=内脏湿重/体重量×100

所得实验数据采用平均值±标准误(Mean ± S.E)表示, 并以SPSS17.0分析软件进行单因子方差分析(ANOVA), 多重比较采用Tukey检验方法, 以P<0.05为显著水平。

## 2 实验结果

### 2.1 饲料中硒水平对鲈鱼生长和饲料利用的影响

饲料硒水平对鲈鱼生长和饲料利用的影响见表2。由表2可以看出, 在实验阶段, 各饲料组鲈鱼的成活率在88.97%-98.14%, 各饲料组之间的成活率无显著差异(P>0.05); 饲料硒水平对鲈鱼特定生长率(SGR)产生了显著影响(P<0.05), 当饲料中硒在0.12-0.60 mg/kg时, 鲈鱼的SGR随着硒水平的增加而显著上升(P<0.05), 当继续提高硒含量时, 鲈鱼的SGR基本趋于平稳, 并且在4(0.60 mg/kg Se)、5(0.78 mg/kg Se)、6(1.10 mg/kg Se)组的SGR显著高于对照组, 这3组之间无显著差异(P>0.05); 饲料效率在各试验组之间并没有显著差异(P>0.05)。以SGR为评价指标, 用折线回归模型拟合得到鲈鱼的最适需求量为0.63 mg/kg(图1)。

表2 饲料中硒含量对鲈鱼生长和饲料利用的影响(平均值±标准误)

Tab.2 Effects of different dietary Se level on the growth performance and feed utilization of Japanese seabass (Mean±S.E)

生长指标 Growth index	饲料硒水平 Dietary selenium level(mg/kg)					
	0.12	0.36	0.42	0.60	0.78	1.10
初始体重 Initial weight(g)	214.50±2.10	214.50±1.70	214.50±3.00	214.50±1.30	214.50±2.60	214.50±0.80
终末体重 Final weight(g)	384.33±6.33 <sup>b</sup>	396.66±1.76 <sup>ab</sup>	399.71±2.85 <sup>ab</sup>	414.10±6.66 <sup>a</sup>	416.26±5.03 <sup>a</sup>	417.67±4.67 <sup>a</sup>
摄食率 Feeding rate(%/d)	0.90±0.02 <sup>c</sup>	1.00±0.02 <sup>abc</sup>	0.94±0.02 <sup>bc</sup>	1.01±0.03 <sup>ab</sup>	1.05±0.02 <sup>a</sup>	1.03±0.01 <sup>ab</sup>
成活率 Survival rate(%)	94.44±3.75	98.15±1.85	96.31±1.85	88.89±3.20	90.74±4.90	96.30±3.70
饲料效率 FE(%)	0.90±0.03	0.88±0.04	0.91±0.03	0.87±0.01	0.83±0.03	0.94±0.01
特定生长率 SGR(%/d)	0.83±0.02 <sup>b</sup>	0.88±0.01 <sup>ab</sup>	0.89±0.01 <sup>ab</sup>	0.94±0.02 <sup>a</sup>	0.95±0.02 <sup>a</sup>	0.95±0.02 <sup>a</sup>

注: 数据中上标字母不同表示差异显著(P<0.05)

Note: Values with different superscripts are significantly different (P<0.05)

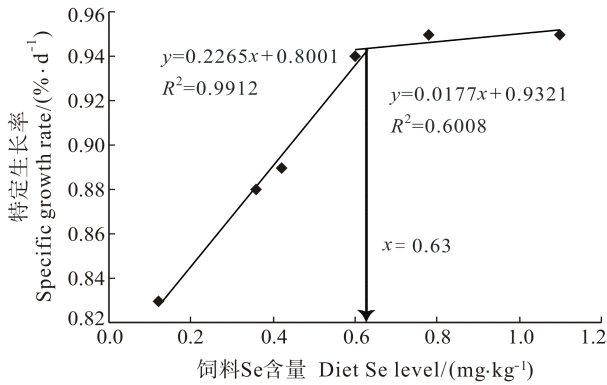


图1 折线拟合得到的饲料硒水平与鲈鱼特定生长率的关系

Fig.1 Correlation between dietary Se level and SGR in Japanese seabass estimated by the broken-line regression analysis

表3 饲料中硒对鲈鱼全鱼体成分的影响(平均值±标准误)

Tab.3 Effects of different dietary Se levels on the whole-body composition of Japanese seabass (Mean±S.E)

饲料标号 Dietary No.(Se mg/kg)	水分 Moisture(%)	粗蛋白 Crude protein(%)	粗脂肪 Crude lipid(%)	灰分 Ash(%)
1(0.12)	73.57±1.15	13.80±0.06 <sup>ab</sup>	7.87±0.38	3.50±0.09
2(0.36)	75.20±0.24	13.28±0.06 <sup>b</sup>	6.90±0.14	3.45±0.15
3(0.42)	74.42±0.12	13.22±0.20 <sup>b</sup>	7.89±0.13	3.43±0.02
4(0.60)	73.65±1.00	14.36±0.21 <sup>a</sup>	7.60±0.77	3.35±0.13
5(0.78)	74.69±0.55	13.22±0.29 <sup>b</sup>	7.40±0.25	3.30±0.19
6(1.10)	74.74±0.48	13.68±0.25 <sup>ab</sup>	7.35±0.20	3.25±0.02

注：数据中上标字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )

Note: values with different superscripts are significantly different ( $P<0.05$ )

表4 饲料中硒对鲈鱼肝体比、脏体比和肥满度的影响(平均值±标准误)

Tab.4 Effects of different dietary Se levels on HSI, VIS, and the condition factor of Japanese seabass (Mean±S.E)

饲料标号 Dietary No. (Se mg/kg)	肝体比 HSI(%)	脏体比 VSI(%)	肥满度 CF(%)
1(0.12)	0.93±0.02 <sup>a</sup>	8.80±0.23	1.10±0.02
2(0.36)	0.79±0.03 <sup>b</sup>	8.94±0.18	1.10±0.01
3(0.42)	0.78±0.05 <sup>b</sup>	8.65±0.31	1.12±0.01
4(0.60)	0.81±0.03 <sup>b</sup>	8.44±0.33	1.13±0.02
5(0.78)	0.84±0.04 <sup>ab</sup>	8.85±0.11	1.14±0.02
6(1.10)	0.92±0.02 <sup>a</sup>	8.99±0.07	1.09±0.03

注：数据中上标字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )

Note: Values with different superscripts are significantly different ( $P<0.05$ )

肝体比(HSI)达到最小值；脏体比(VSI)和肥满度(CF)分别在 8.44%–8.99%、1.08–1.14 之间(表 4)，饲料中硒含量对鲈鱼的脏体比(VSI)和肥满度(CF)均没有表现出显著影响( $P>0.05$ )。

## 2.2 饲料中硒对鲈鱼全鱼体成分的影响

含不同水平硒的饲料对鲈鱼体成分的影响见表 3。从表 3 可以看出，鲈鱼鱼体水分、粗脂肪和灰分含量分别在 73.65%–74.74%、6.89%–7.88%、3.24%–3.48% 之间，且各处理组均无显著差异( $P>0.05$ )，灰分随着饲料中硒含量的升高，呈现减小的趋势；而饲料中不同的硒水平对鱼体粗蛋白含量产生显著影响( $P<0.05$ )，当饲料中硒的含量为 0.60 mg/kg 时，粗蛋白含量显著高于硒含量为 0.36、0.42、0.78 mg/kg 的饲料组。

## 2.3 饲料硒对鲈鱼形态学指标的影响

鲈鱼的肝体比(HSI)在各组之间为 0.78%–0.93%，随着饲料中硒含量的升高，呈现出先下降后上升的趋势(表 4)；当饲料中硒水平为 0.42 mg/kg 时，鲈鱼的

## 2.4 饲料硒对鲈鱼肝脏及血清谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、谷胱甘肽还原酶(GST)及谷胱甘肽转氨酶(GR)活性的影响

饲料硒对鲈鱼肝脏及血清 GSH-Px、GST、GR 活性的影响如表 5 所示，血清中 GSH-Px 活性随着饲料硒浓度呈现出先升高后下降的趋势，当饲料中硒的含量为 0.6 mg/kg 时达到最大值，肝脏 GSH-Px 活性表现出类似的趋势，对照组血清及肝脏 GSH-Px 活性最低，以血清 GSH-Px 活力为评价指标，运用曲线回归分析，可得鲈鱼硒需求量为 0.75 mg/kg(图 2)；血清和肝脏 GST 活性呈现出随着硒含量的增加先上升后平缓的趋势，当饲料中硒的含量为 0.78 mg/kg 时，血清 GST 活性显著高于对照组( $P<0.05$ )，硒的含量为 0.36、0.42、0.60、1.10 mg/kg 的饲料组无显著差异( $P>0.05$ )，肝脏 GST 活性在硒含量为 0.42 mg/kg 的饲料组显著高于对照组，与硒含量为 0.36、0.60、0.78、1.10 mg/kg 的饲料组无显著差异( $P>0.05$ )；血清 GR 活性随着硒含量的增加呈现先上升后平缓的趋势，在硒含量为 0.78 mg/kg 的饲料组血清 GR 活性显著高于

表 5 饲料中硒对鲈鱼血清及肝脏 GSH-Px、GST 和 GR 活性的影响(平均值±标准误)

Tab.5 Effects of different dietary Se levels on the activities of GSH-Px, GST and GR in the serum and the liver of Japanese seabass (Mean±S.E)

酶活力单位 Growth index	饲料硒水平 Dietary selenium level(mg/kg)					
	0.12	0.36	0.42	0.60	0.78	1.10
血清谷胱甘肽过氧化物酶活性 Serum GSH-Px activity (U/ml)	394.07±6.56 <sup>b</sup>	439.37±19.47 <sup>ab</sup>	454.94±17.50 <sup>ab</sup>	494.21±11.40 <sup>a</sup>	463.37±20.88 <sup>a</sup>	455.55±22.77 <sup>ab</sup>
肝脏谷胱甘肽过氧化物酶活性 Liver GSH-Px activity (U/mg prot)	3.79±0.82 <sup>c</sup>	4.45±0.67 <sup>bc</sup>	5.74±0.83 <sup>abc</sup>	5.66±0.20 <sup>abc</sup>	7.41±0.48 <sup>a</sup>	6.56±0.58 <sup>ab</sup>
血清谷胱甘肽转移酶活性 Serum GST activity (U/ml)	17.51±0.23 <sup>b</sup>	20.18±1.17 <sup>ab</sup>	21.30±1.69 <sup>ab</sup>	21.52±2.32 <sup>ab</sup>	24.01±3.21 <sup>a</sup>	19.41±1.56 <sup>ab</sup>
肝脏谷胱甘肽转移酶活性 Liver GST activity (U/mg prot)	27.28±1.82 <sup>b</sup>	32.58±2.33 <sup>ab</sup>	35.96±1.82 <sup>a</sup>	32.69±2.27 <sup>ab</sup>	32.51±1.48 <sup>ab</sup>	30.67±3.11 <sup>ab</sup>
血清谷胱甘肽还原酶活性 Serum GR activity (U/ml)	13.17±0.64 <sup>b</sup>	19.67±0.34 <sup>ab</sup>	21.91±1.49 <sup>ab</sup>	22.63±0.77 <sup>ab</sup>	25.03±0.37 <sup>a</sup>	23.82±0.45 <sup>ab</sup>
肝脏谷胱甘肽还原酶活性 Liver GR activity (U/mg prot)	2.47±0.13 <sup>b</sup>	2.57±0.32 <sup>ab</sup>	2.66±0.31 <sup>a</sup>	2.64±0.17 <sup>a</sup>	2.70±0.34 <sup>a</sup>	2.68±0.25 <sup>a</sup>

注：数据中上标字母不同表示差异显著(P<0.05)

Note: Values with different superscripts are significantly different (P<0.05)

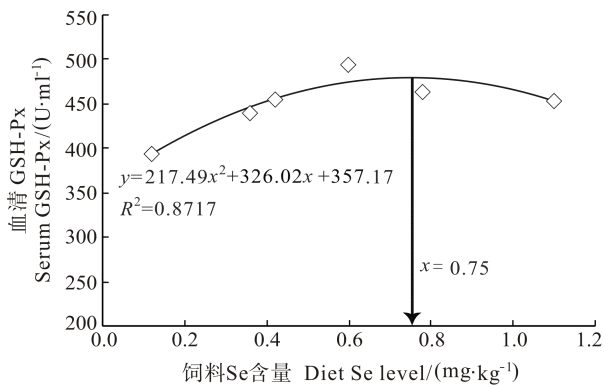


图 2 鲈鱼血清 GSH-Px 活性与饲料中硒水平的关系

Fig.2 The relationship between the activity of serum GSH-Px and the dietary selenium level in Japanese seabass

对照组(P<0.05),与硒含量为 0.36、0.42、0.60、1.10 mg/kg 的饲料组无显著差异(P>0.05),肝脏 GR 活性随着硒

含量的增加先上升后平缓,对照组的肝脏 GR 活性显著低于硒含量为 0.36、0.42、0.60、0.78、1.10 mg/kg 的饲料组(P>0.05),这 5 组之间无显著性差异(P>0.05),肝脏 GR 活性在硒含量为 0.78 mg/kg 的饲料组最高。

### 2.5 饲料硒水平对鲈鱼血清及肝脏超氧化物歧化酶(SOD)活性、丙二醛(MDA)含量的影响

饲料不同水平的硒对鲈鱼血清及肝脏超氧化物歧化酶(SOD)活性、丙二醛(MDA)含量的影响如表 6。从表 6 可以看出,血清中 SOD 活性随着饲料硒浓度的升高呈现出先升高后下降的趋势,在硒含量为 0.60 mg/kg 的饲料组达到最大值,饲料硒水平为 1.10 mg/kg 时,血清中 SOD 活性显著下降且低于对照组饲料(P<0.05),饲料硒水平为 0.12–0.60 mg/kg 时,肝脏中 SOD 活性随着饲料硒浓度的升高而升高,在硒含量为 0.60 mg/kg

表 6 饲料中硒对鲈鱼血清及肝脏 SOD 活性和 MDA 含量的影响(平均值±标准误)

Tab.6 Effects of different dietary Se levels on the activities of SOD and MDA content in the serum and the liver of Japanese seabass (Mean±S.E)

饲料标号 Dietary No. (Se mg/kg)	血清超氧化物歧化酶活性 Serum SOD activity (U/ml)	肝脏超氧化物歧化酶活性 Liver SOD activity (U/mg prot)	血清丙二醛含量 Serum MDA activity (U/ml)	肝脏丙二醛含量 Liver MDA activity (nmol/mg prot)
1	76.40±2.44 <sup>ab</sup>	70.76±1.61 <sup>c</sup>	58.07±2.36 <sup>a</sup>	0.46±0.04 <sup>b</sup>
2	79.45±3.19 <sup>ab</sup>	81.16±3.18 <sup>b</sup>	44.05±1.28 <sup>b</sup>	0.60±0.06 <sup>ab</sup>
3	78.44±1.01 <sup>ab</sup>	83.46±2.98 <sup>ab</sup>	32.03±2.07 <sup>c</sup>	0.68±0.06 <sup>ab</sup>
4	84.14±3.71 <sup>a</sup>	90.85±2.42 <sup>a</sup>	28.54±0.74 <sup>c</sup>	0.64±0.09 <sup>ab</sup>
5	74.80±6.89 <sup>ab</sup>	84.41±1.68 <sup>ab</sup>	37.97±5.33 <sup>bc</sup>	0.74±0.07 <sup>a</sup>
6	71.36±2.73 <sup>b</sup>	84.47±4.17 <sup>ab</sup>	45.63±3.29 <sup>b</sup>	0.75±0.05 <sup>a</sup>

注：数据中上标字母不同表示差异显著(P<0.05)

Note: values with different superscripts are significantly different (P<0.05)



的饲料组达到最高,进一步提高硒浓度,肝脏 SOD 活性维持稳定;血清 MDA 含量随着硒含量的增加先下降后上升,硒含量为 0.60 mg/kg 的饲料组含量最少,对照组血清 MDA 含量显著高于其他各组( $P < 0.05$ ),肝脏 MDA 含量随着硒浓度的增加先上升后平稳,饲料中硒水平为 0.36–1.10 mg/kg 时,鲈鱼肝脏 MDA 含量没有显著差异( $P > 0.05$ )。以血清丙二醛含量为评价指标,运用曲线回归分析,可得鲈鱼硒需求量为 0.70 mg/kg (图 3)。

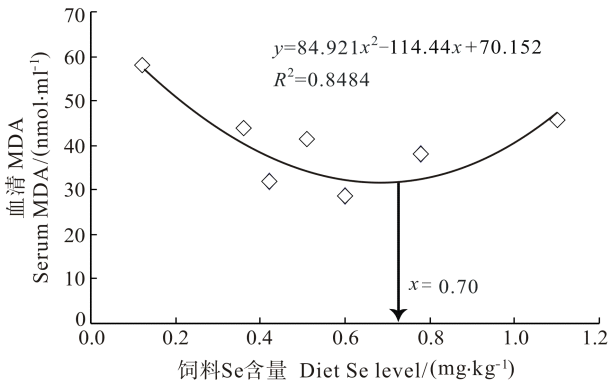


图3 鲈鱼血清 MDA 含量与饲料中硒水平的关系

Fig.3 The relationship between serum MDA content and the dietary selenium level in Japanese seabass

## 2.6 饲料硒水平对鲈鱼全鱼、肝脏硒含量的影响

饲料硒水平对鲈鱼全鱼、肝脏硒含量的影响见表 7。从表 7 可以看出,不同硒水平的饲料对鲈鱼全鱼和肝脏中的硒含量都有显著的影响( $P < 0.5$ ),全鱼和肝脏中的硒含量都随着饲料中硒水平的升高而显著升高( $P < 0.5$ )。

表 7 饲料中硒对鲈鱼肝脏、全鱼中硒含量的影响  
(平均值±标准误)

Tab.7 Se concentrations in the liver and the whole body (Mean±S.E)

饲料标号 Dietary No. Se(mg/kg)	肝脏 Liver(mg/kg)	全鱼 Whole body(mg/kg)
1(0.12)	1.58±0.006 <sup>f</sup>	0.282±0.001 <sup>f</sup>
2(0.36)	3.48±0.015 <sup>e</sup>	0.536±0.004 <sup>d</sup>
3(0.42)	5.05±0.017 <sup>d</sup>	0.446±0.005 <sup>e</sup>
4(0.60)	5.54±0.011 <sup>c</sup>	0.550±0.005 <sup>c</sup>
5(0.78)	5.73±0.013 <sup>b</sup>	0.562±0.002 <sup>b</sup>
6(1.10)	6.82±0.015 <sup>a</sup>	0.614±0.002 <sup>a</sup>

注:数据中上标字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Values with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ )

## 3 讨论

梁萌青等(2007)研究指出,20 g 左右的鲈鱼硒的需要量为 0.40 mg/kg,本研究在这个基础上对 214 g 的鲈鱼饲料中硒的需要量进行研究,结果发现,随着饲料中硒含量在 0.12–0.60 mg/kg 变化时,鲈鱼的 SGR 随着硒水平的增加而显著上升( $P < 0.05$ ),当继续提高硒含量时,鲈鱼的 SGR 基本保持不变。以 SGR 为评价指标,折线模型拟合得到 200 g 左右规格的鲈鱼对饲料中硒的最适需要量为 0.63 mg/kg(图 1)。这一研究结果高于虹鳟(*Salmo gairdneri*)的 0.15–0.38 mg/kg (Hilton *et al*, 1980)、斑点叉尾鲟(*Ictalurus punctatus*)的 0.25 mg/kg (Gatlin *et al*, 1984)、中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)的 0.44 mg/kg(王安利等, 1994)、幼鲤(*Cyprinus carpio*)的 0.52 mg/kg(金明昌等, 2007),与中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)的 0.40–0.60 mg/kg (田文静等, 2014)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)的 0.60 mg/kg (苏传福等, 2007)相近,低于点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)的 0.7 mg/kg(Lin *et al*, 2005)、皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)的 1.09–1.17 mg/kg (王蔚芳, 2008)<sup>1)</sup>、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)的 0.788–0.811 mg/kg (刘康等, 2010)。这些研究表明,水产动物对硒的需求量不仅与其生长阶段有关,而且动物种类不同,其需求量也会发生很大变化。

饲料中硒不仅会影响到鲈鱼的生长,而且也会影响鲈鱼鱼体中硒的含量,在对鲈鱼全鱼和肝脏中硒含量的分析表明,随着饲料中硒水平的上升而其含量上升,并没有出现类似生长的拐点,且硒水平为 1.10 mg/kg 的饲料组全鱼和肝脏硒含量显著高于其他各处理组,表明鲈鱼鱼体对饲料中的硒具有较高的富集能力。苏传福等(2008)研究发现,各组织的硒含量在超过 0.598 mg/kg 后便保持稳定,维持在一个平台期,与本研究的结果有所差异,可能的原因是本研究中鱼个体较大,对硒的积蓄能力更强。

硒对于鱼类等水生动物的一个重要的生理功能是可以影响到水生动物体内的抗氧化系统(Poston *et al*, 1976; Wise *et al*, 1993; 万敏等, 2004)。硒是谷胱甘肽过氧化酶的组成成分,且位于其活性中心(Rotruck *et al*, 1973)。Bell 等(1989)研究表明,缺硒大大降低大西洋鲑血浆和肝脏中 GSH-Px 的活性。梁萌青等(2007)研究表明,在一定范围内的硒含量与鲈鱼幼鱼 GSH-Px 活力呈正相关。在军曹鱼(刘康等, 2010)和中华绒螯蟹(田文静等, 2014)的研究中,也观察到

1) 王蔚芳. 皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)矿物质元素(K、Mg、Se、Cu)及糖类营养生理的研究. 中国海洋大学博士研究生学位论文, 2008, 97–105

GSH-Px 的活性在随着饲料中硒的含量而变化。本研究中发现, 饲料中添加适宜的硒后, 对鲈鱼抗氧化能力有一定的影响, 硒含量在 0.15–0.60 mg/kg 的范围里, 血清 GSH-Px 活力随着饲料中硒水平的增加而升高, 硒含量为 0.60 mg/kg 时达到顶峰。由此可以看出, 血清 GSH-Px 可以作为评价鲈鱼硒需求量的一个灵敏指标, 对饲料硒水平和血清 GSH-Px 活性用二次曲线模型进行回归分析, 饲料中硒的需求量为 0.75 mg/kg (图 2)。

另一个评价机体抗氧化性能的指标为 SOD, SOD 能够有效地清除自由基, 保护组织细胞免受氧化损伤(赵先英等, 2004)。本研究中, 鲈鱼血清和肝胰脏 SOD 活性随饲料中硒含量的增加呈现先增加后降低, 在饲料中硒含量为 0.60 mg/kg 时达到最大值, 当硒含量大于 0.60 mg/kg 后, 血清和肝脏 SOD 活性开始下降。这与王蔚芳等(2008)<sup>1)</sup>在皱纹盘鲍上所得的结果类似, 说明硒对鲈鱼在一定范围内有保护作用。另外, MDA 是自由基引发的脂质过氧化作用的最终分解产物, 其含量越高表明机体受损伤越严重(Grundy *et al*, 1998; 赵晶, 2002)。田文静等(2014)的研究指出, 中华绒螯蟹血清 MDA 含量在饲料中硒含量从 0–0.40 mg/kg 变化时逐渐降低, 硒水平超过 0.4 mg/kg 逐渐升高。本研究中, 同样发现鲈鱼血清 MDA 含量随日粮中硒水平的升高呈现出先下降后升高的趋势, 在饲料硒含量为 0.60 mg/kg 时 MDA 含量最低。结合 MDA 含量的变化趋势正好和 SOD 活性变化, 说明饲料中适量的硒对机体脂质过氧化有较强的保护作用。同时, 以血清丙二醛含量为评价指标, 运用曲线回归分析, 可得鲈鱼硒需求量为 0.70 mg/kg (图 3)。

#### 4 结论

饲料中适量添加硒可以有效促进鲈鱼的生长, 并有效清除体内的过氧化物和自由基; 饲料中硒水平为 0.60 mg/kg 时, 214 g 的鲈鱼可以达到较佳的生长效果, 以 SGR 评价指标用一次折线回归模型拟合对硒的最适需要量为 0.63 mg/kg 饲料; 以血清 GSH-Px 活性为评价指标, 用二次曲线模型进行回归分析, 得出 214 g 鲈鱼对硒的最适需要量为 0.75 mg/kg 饲料; 以 MDA 含量为评价指标, 用二次曲线模型进行回归分析, 得出 214 g 鲈鱼对硒的最适需要量为 0.70 mg/kg 饲料。综合生长和抗氧化能力, 建议 200 g 左右规格

的鲈鱼饲料中适宜的硒含量为 0.63–0.75 mg/kg。

#### 参 考 文 献

- 万敏, 麦康森, 马洪明, 等. 硒和维生素 E 对皱纹盘鲍血清抗氧化酶活性的影响. 水生生物学报, 2004, 28(5): 496–503
- 王安利, 王维娜, 刘存岐, 等. 饲料中硒含量对中国对虾生长及其体内含量的影响. 水产学报, 1994, 18(3): 245–248
- 田文静, 李二超, 陈立侨, 等. 酵母硒对中华绒螯蟹幼蟹生长、体组成分及抗氧化能力的影响. 中国水产科学, 2014, 21(1): 92–100
- 刘康. 军曹鱼幼鱼(*Rachycentron canadum*)微量元素硒、锰的营养生理研究. 2010, 中国海洋大学, 25–30
- 苏传福, 罗莉, 文华, 等. 硒对草鱼生长、营养组成和消化酶活性的影响. 上海水产大学学报, 2007, 16(2): 124–129
- 金明昌, 汪开毓. 不同硒水平对幼鲤生产性能和免疫功能的影响. 中国畜牧杂志, 2008, 44(5): 32–36
- 赵晶, 康世良. 肌注亚硒酸钠后仔猪血硒浓度与抗氧化系统动态变化. 动物医学进展, 2002, 23(6): 93–95
- 赵先英, 刘毅敏, 覃军, 等. 微量元素硒, 锰, 氟对 SOD 活性的影响. 第三军医大学学报, 2004, 26(2): 171–173
- 胡俊茹, 王安利, 曹俊明. 维生素 E 和硒互作对凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 抗氧化系统的调节作用. 海洋与湖沼, 2010, 41(1): 68–74
- 梁萌青, 王家林, 常青, 等. 饲料中硒的添加水平对鲈鱼生长性能及相关酶活性的影响. 中国水产科学, 2007, 13(6): 1017–1022
- Ai QH, Mai KS, Li HT, *et al*. Effects of dietary protein to energy ratios on growth and body composition of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. Aquaculture, 2004a, 230(1–4): 507–516
- Ai QH, Mai KS, Zhang CX, *et al*. Effects of dietary vitamin C on growth and immune response of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. Aquaculture, 2004b, 242(1–4): 489–500
- Avanzo JL, de Mendonça Jr CX, Pugine SMP, *et al*. Effect of vitamin E and selenium on resistance to oxidative stress in chicken superficial pectoralis muscle. Comp Biochem Physiol Part C: Toxicol Pharmacol, 2001, 129(2): 163–173
- Bell JG, Cowey CB. Digestibility and bioavailability of dietary selenium from fishmeal, selenite, selenomethionine and selenocystine in Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture, 1989, 81(1): 61–68
- Dörr AJM, Pacini N, Abete MC, *et al*. Effects of a selenium-enriched diet on antioxidant response in adult crayfish (*Procambarus clarkia*). Chemosphere, 2008, 73(7): 1090–1095
- Fang YZ, Yang S, Wu G. Free radicals, antioxidants, and nutrition. Nutrition, 2002, 18(10): 872–879
- Gatlin III DM, Wilson RP. Dietary selenium requirement of fingerling channel catfish. J Nutr, 1984, 114(3): 627–633
- Grundy JE, Storey KB. Antioxidant defenses and lipid peroxidation damage in estivating toads, *Scaphiopus couchii*. J Comp Physiol B, 1998, 168(2): 132–142

1) 王蔚芳. 皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)矿物元素(K、Mg、Se、Cu)及糖类营养生理的研究. 中国海洋大学博士研究生学位论文, 2008, 97–105

- Hilton JW, Hodson PV, Slinger SJ. The requirement and toxicity of selenium in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J Nutr*, 1980, 110(12): 2527–2572
- Lin YH, Shiau SY. Dietary selenium requirements of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*. *Aquaculture*, 2005, 250(1–2): 356–363
- Poston HA, Combs Jr GF, Leibovitz L. Vitamin E and selenium interrelations in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*): gross, histological and biochemical deficiency signs. *J Nutr*, 1976, 106(7): 892–904
- Rotruck JT, Pope AL, Ganther HE, *et al.* Selenium: biochemical role as a component of glutathione peroxidase. *Science*, 1973, 179(4073): 588–590
- Wise DJ, Tomasso JR, Gatlin III DM, *et al.* Effects of dietary selenium and vitamin E on red blood cell peroxidation, glutathione peroxidase activity, and macrophage superoxide anion production in channel catfish. *Journal of Aquatic Animal Health*, 1993, 5(3): 177–194

(编辑 陈严)

## The Requirement of Dietary Selenium at the Middle Growth Stage of Japanese Seabass (*Lateolabrax japonicus*)

TAN Feng<sup>1,2</sup>, LIANG Mengqing<sup>1①</sup>, ZHENG Keke<sup>1</sup>, XU Houguo<sup>1</sup>

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Qingdao 266071; 2. Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003)

**Abstract** In this study we conducted a 10-week feeding trial to evaluate the effects of dietary selenium on the growth, the physiological status and the body composition of Japanese seabass with initial average weight of (214.5±1.0) g. Six semi-purified diets were supplemented with NaSeO<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O and the concentrations of Se were 0.12, 0.36, 0.42, 0.60, 0.78 and 1.10 mg/kg. In seawater floating net cages (1.5 m×1.5 m×2 m), a group of 18 fish was fed with these six diets twice daily and every 3 fish had one type of diet. The survival rate and the feed efficiency were not significantly affected by the increased level of dietary Se ( $P>0.05$ ). The weight gain and the whole body crude protein were the highest in Japanese seabass fed with 0.60 mg Se/kg (diet) ( $P<0.05$ ). Hepatopancreas and the level of the whole body selenium were positively correlated to the dietary Se level. The activities of both serum and hepatopancreas glutathione peroxidases (GSH-Px) were increased along with the elevated dietary Se level, and peaked at 0.60 mg Se/kg (diet) ( $P<0.05$ ). When the dietary Se increased to 0.78 mg/kg, the activity of the serum GSH-Px decreased significantly ( $P<0.05$ ). The activities of both serum and hepatopancreas glutathione S-transferase (GST) initially decreased and then increased along with the elevated dietary Se level. The activity of serum GST was significantly higher in the 0.78 mg/kg group than in the 0.12 mg/kg group ( $P<0.05$ ). The activity of serum glutathione reductase (GR) was also significantly affected by the dietary selenium level, and was significantly higher in the 0.78 mg/kg group than in the 0.12 mg/kg group ( $P<0.05$ ). The activity of serum superoxide dismutase (SOD) increased along with the elevated dietary Se level up to 0.60 mg/kg, and then declined ( $P<0.05$ ). The activity of serum SOD was significantly decreased in the 0.78 mg/kg group compared to the 0.12 mg/kg group ( $P<0.05$ ). The level of malonaldehyde (MDA) was initially decreased and then increased along with the elevated dietary Se level. Japanese seabass in the 0.60 mg/kg group showed the lowest level of MDA, which was distinct from the control group and the 1.0 mg/kg group ( $P<0.05$ ). These results indicated that 0.60 mg Se/kg (diet) might promote the growth and the anti-oxidative ability of Japanese seabass. Quadratic broken-line analysis with specific growth rate (SGR) showed that 0.63 mg Se/kg (diet) could be optimal for the growth of Japanese seabass.

**Key words** Selenium; Japanese seabass; Nutrient requirement; Middle growth stage

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