

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

梁萌青^{1,2}, 王家林², 常青², 柳旭东¹, 麦康森¹

(1. 中国海洋大学, 山东 青岛 266003; 2. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: 在基础饲料中分别添加硒至 $0.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 分别饲喂鲈鱼 (*Lateolabrax japonicus*) 10 周, 观察其对鲈鱼生长性能、肝脏及血液中谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px)、肝脏谷胱甘肽还原酶 (GR)、肝脏谷胱甘肽转移酶 (GST) 活性的影响。实验鲈鱼初始体质量为 $(26.5 \pm 1.02) \text{ g}$, 实验结束后饥饿 24 h 再进行测定。结果显示, SGR 的最大值及 FCR 的最小值均出现在硒水平 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 饲料组, 该组鱼体蛋白质含量也显著高于其他各组 ($P < 0.05$); 硒水平为 $0 \sim 0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 饲料组鲈鱼的肝脏、血清中 GSH-Px 活性随着硒添加量的增加而提高, 饲料硒水平为 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时达到最高, 当硒的添加水平继续提高到 $0.8 \sim 1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 鲈鱼的肝脏、血清中 GSH-Px 活性均显著下降 ($P < 0.05$); 肝组织 GR 活性在饲料硒水平达到 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时达到最高值, 饲料硒水平为 $0.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, GR 的活性显著下降 ($P < 0.05$)。建议鲈鱼饲料硒的适宜添加水平为 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。[中国水产科学, 2006, 13(6): 1 017 - 1 022]

关键词: 鲈鱼; 硒; 生长性能; 酶活性

中图分类号: S963.1

文献标识码: A

文章编号: 1005 - 8737 - (2006) 06 - 1017 - 06

硒是维持动物正常生长繁殖的必需微量元素。据报道大西洋鲑 (*Salmo salar*) 硒缺乏表现为生长迟缓、组织中硒的含量及谷胱甘肽转移酶的活性下降^[1-2]。硒参与了生物体中有机和无机过氧化物的清除过程^[3]。已有研究显示, 虹鳟 (*Salmo gairdneri*) 的硒需求量为 $0.15 \sim 0.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (干饲料)^[4], 鲶鱼 (*Parasilurus asotus*) 为 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (干饲料)^[5], 但饲料中硒的含量超过 $3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (干饲料), 虹鳟就会出现中毒现象, 导致生长缓慢、死亡率增高等^[6]。

鲈鱼 (*Lateolabrax japonicus*), 俗称花鲈, 为近岸浅海暖温性中上层鱼类, 对盐度和温度的适应范围较宽, 其肉质细嫩、味道鲜美深受人们喜爱。近年来鲈鱼的养殖在国内外受到高度重视, 是目前中国南北方养殖的主要品种之一, 然而, 目前有关鲈鱼营养需求的研究刚刚起步^[7-11], 鲈鱼饲料硒的适宜添加量研究至今未见报道, 本实验旨在探讨饲料中不同硒的添加水平对鲈鱼生长性能及相关酶的活性的影响, 以期为高效鲈鱼人工饲料的研制与开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 鲈鱼 选用当年海捕的同一批鱼苗, 正式实验前投喂基础饲料暂养 2 周, 使之逐渐适应实验饲料和养殖环境。

1.1.2 实验饲料 以酪蛋白和明胶为主蛋白源, 鱼油及豆油为脂肪源, 基础饲料配方见表 1。基础饲料中添加 Na_2SeO_3 , 使饲料中的硒水平分别为: 0.0 、 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。基础饲料中的蛋白和脂肪水平分别为 42.1% 和 11.0% 。所有原料粉碎后过 80 目筛, 各原料按配比称量后混匀, 加适量水混合均匀, 经螺旋挤压机加工成 $2.5 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 的颗粒, 经 60°C 烘干, 保存于 -18°C 冰箱中备用。

1.2 方法

1.2.1 鲈鱼养殖 实验在黄海水产研究所青岛水实验室进行。实验开始时, 实验鱼饥饿 24 h, 选出规格一致的鲈鱼, 体质量 $(26.5 \pm 1.02) \text{ g}$, 放养在 18 个 200 L 玻璃钢桶中, 每桶 30 尾, 然后随机分为 6 组, 每

收稿日期: 2006 - 03 - 28; 修订日期: 2006 - 05 - 15。

基金项目: 国家“十五”攻关项目 (2004BA526B06)。

作者简介: 梁萌青 (1963 -), 女, 副研究员, 在读博士, 主要从事水产动物营养与饲料研究。

通讯作者: 麦康森. Tel: 0532 - 82032495; E-mail: kangsenmai@ouc.edu.cn

组设 3 个平行, 分别投喂 6 组实验饲料, 每天 3 次 (7: 00、12: 00、18: 00) 投喂至饱食, 并记录饲料投喂量, 连续投喂 10 周。实验期间每天吸污, 并换水 1/3 左右, 溶氧保持在 7 mg/L, 水温 26 ~ 29 ℃。

表 1 基础饲料配方及化学组成

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

组成 Composition	含量 Content
原料 Ingredients	
酪蛋白 Casein	37
明胶 Gelatin	19
糊精 Dextrin	16.85
羧甲基纤维素 CM-cellulose	5
褐藻酸钠 Sodium alginate	5
维生素混合物 Vitamin mix ¹⁾	1
无机盐混合物 Mineral mix ²⁾	1
豆油 Soybean oil	4
鱼油 Fish oil	7
Vc Ascorbic acid	0.2
氯化胆碱 Choline chloride	0.3
卵磷脂 Lecithin	3
诱食剂 Attractant	0.5
防霉剂 Antimold	0.1
抗氧化剂 Antioxidant	0.05
化学组成 Chemical composition	
粗蛋白 Crude protein	42.1
粗脂肪 Crude lipid	11.0

注: 1) 维生素混合物 (kg 饲料): 硫胺素, 25 mg; 核黄素, 45 mg; 盐酸吡哆醇, 20 mg; 维生素 B₁₂, 0.1 mg; 维生素 K₃, 10 mg; 肌醇, 800 mg; 泛酸, 60 mg; 烟酸, 200 mg; 叶酸, 20 mg; 生物素, 1.20 mg; 维生素 A, 32 mg; 维生素 D, 5 mg; 维生素 E, 120 mg; 次粉 18.67 g。

2) 无机盐混合物 (kg 饲料): 氯化钠, 2 mg; 碘化钾, 0.8 mg; 氯化钴, 50 mg; 硫酸铜, 10 mg; 硫酸铁, 80 mg; 硫酸锌, 50 mg; 硫酸镁, 1 200 mg; 磷酸二氢钙, 3 000 mg; 氯化钠, 100 mg; 沸石粉, 15.51 g。

Note: 1) Vitamin premix (kg diet): thiamin, 25 mg; riboflavin, 45 g; pyridoxine HCl, 20 mg; vitamin B₁₂, 0.1 mg; vitamin K₃, 10 mg; inositol, 800mg; pantothenic acid, 60 mg; niacin 200 mg; folic acid, 20 mg; biotin, 1.2 mg; retinal acetate, 32 mg; cholecalciferol, 5 mg; α-tocopherol, 120 mg; wheat middling, 18.67 g。

2) Mineral premix (kg diet): NaF, 2 mg; KI, 0.8 mg; CoCl₃ · 6H₂O, 50 mg; CuSO₄ · 5H₂O, 10 mg; FeSO₄ · H₂O, 80 mg; ZnSO₄ · H₂O, 50 mg; MgSO₄ · H₂O, 1 200 mg; Ca (H₂PO₃)₂, 3 000 mg; NaCl, 100 mg; zeolite, 15.51 g。

1.2.2 样品采集 实验 10 周结束时, 对实验鱼饥饿 24 h 后, 计数、称重。每桶分别随机取 2 尾鱼, 用 1 mL 注射器从尾动脉取血, 室温凝结 2 h 后, 4 ℃凝

结 2 h, 2 000 r · min⁻¹离心 10 min 分离血清, 置于 -80 ℃保存以备测定谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 活力及血清硒含量分析; 每桶分别随机取 10 尾鱼, 5 尾用于鱼体常规分析, 5 尾鱼取肝脏用于谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px)、谷胱甘肽转移酶 (GST) 及肝脏中谷胱甘肽还原酶 (GR) 活力的测定。

1.2.3 常规成分及硒的测定 采用 AOAC (1995) 法^[12]。水分测定采用 105 ℃烘干至恒重法; 粗蛋白含量测定采用凯氏定氮法进行; 粗脂肪采用索氏抽提法, 以乙醚为抽提剂测定粗脂肪含量; 将样品在电炉上炭化后, 在马福炉中灼烧 (550 ℃) 8 h 后测得样品灰分含量。硒含量采用等离子发射光谱进行测定。

1.2.4 相关酶活性测定 肝组织及血清谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px)、肝组织谷胱甘肽转移酶 (GST) 及肝脏中谷胱甘肽还原酶 (GR) 活力的测定采用市售南京建成生物工程研究所试剂盒, 按试剂盒说明书操作。

肝组织谷胱甘肽转移酶 (GST) 活力单位定义: 每 mg 蛋白在 37 ℃反应 1 min, 扣除非酶促反应, 使反应体系中谷胱甘肽 (GSH) 浓度降低 1 μmol · L⁻¹ 为 1 个酶活力单位。

肝组织谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 活力单位定义: 每 mg 蛋白质, 37 ℃每 min 扣除非酶促反应, 使反应体系中谷胱甘肽 (GSH) 浓度降低 1 μmol · L⁻¹ 为 1 个酶活力单位。

血清谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 活力单位定义: 每 0.1 mL 血清在 37 ℃反应 5 min, 扣除非酶促反应作用, 使反应体系中谷胱甘肽 (GSH) 浓度降低 1 μmol · L⁻¹ 为 1 个酶活力单位。

肝脏谷胱甘肽还原酶 (GR) 活力单位定义: 每 g 组织蛋白每 min 使反应体系中底物 NADPH 的浓度改变 1 mmol · L⁻¹ 所需的酶量为 1 个酶活力单位。

1.2.5 肝脏蛋白质含量测定 采用微量考马斯亮兰法, 试剂盒购自南京建成生物工程研究所, 按试剂盒说明书操作。

1.3 计算及统计方法

特定生长率 (SGR) = $\frac{[\ln(W_{终}) - \ln(W_{始})]}{t} \times 100\%$

饲料系数 (FCR) = W_F / W_{BW}

式中, W_终 为实验结束时鱼体质量 (g); W_始 为实验开始鱼体质量 (g); t 为实验时间 (d); W_F 为饲料消耗 (g); W_{BW} 为鱼体增重 (g)。各组实验数据, 采用 SPSS 11.0 数理统计软件进行

单因素方差分析, 当各水平下总体方差有显著差异时, 进行组间 Turkey 检验, $P < 0.05$ 为显著差异, 实验数据用平均数 $\pm$ 标准误差表示。

2 结果

2.1 饲料中硒含量对鲈鱼生长性能的影响

各实验组鲈鱼成活率在 76.0% ~ 87.8% (表 2), 其中基础饲料组(对照)和硒水平 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 饲料组的成活率最低, 显著低于硒水平 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 组 ($P < 0.05$), 但与硒水平 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 饲料组无显著差异 ($P > 0.05$), 说明饲料中硒缺乏会影响降低鲈鱼的成活率, 但饲料中硒过量也会对成活率产生不利影响。

硒水平 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 及 $0.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 饲料组成活率无显著差异。各实验组鲈鱼生长状态指标如表 2 所示, 对照组特定增长率与饲料硒水平 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 组无显著差异 ($P > 0.05$), 但显著低于其他各组 ($P < 0.05$), 这说明饲料中硒缺乏对鲈鱼的生长有抑制作用, 随着饲料中硒水平的提高, 鲈鱼的生长状况明显改善, 但特定增长率的最大值及饲料系数的最小值均出现在硒水平为 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 饲料组, 此后随饲料中硒的水平继续提高, 但特定增长率却逐渐降低; 硒水平 $0.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 饲料组特定增长率显著低于硒水平 $0.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 饲料组和 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 饲料组 ($P < 0.05$)。基础饲料组除观察到生长受到抑制现象外, 未见其他缺乏症。

表 2 饲料中硒添加量对鲈鱼成活率、特定增长率、饲料系数的影响

Tab. 2 Effects of dietary Se on survival, SGR and FCR of juvenile Japanese seabass (*L. japonicus*) $\bar{X} \pm \text{SE}$

饲料硒水平/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Level of Se in diet	实验始重/g Initial body weight	实验终重/g Final body weight	特定增长率/ ($\% \cdot \text{d}^{-1}$) SGR	饲料系数 FCR	成活率/% Survival rate
0	26.2 $\pm$ 3.5	61.5 $\pm$ 4.5	1.22 $\pm$ 0.04 ^a	1.23 $\pm$ 0.04 ^a	76.0 $\pm$ 6.2 ^a
0.2	28.2 $\pm$ 2.8	74.0 $\pm$ 3.9	1.38 $\pm$ 0.03 ^a	1.07 $\pm$ 0.02 ^b	76.0 $\pm$ 6.8 ^a
0.4	27.7 $\pm$ 4.2	100.7 $\pm$ 6.1	1.84 $\pm$ 0.05 ^b	0.89 $\pm$ 0.02 ^c	84.5 $\pm$ 4.0 ^b
0.6	26.0 $\pm$ 3.2	80.9 $\pm$ 4.8	1.62 $\pm$ 0.04 ^b	0.97 $\pm$ 0.03 ^{ab}	85.6 $\pm$ 10.0 ^b
0.8	26.5 $\pm$ 2.5	75.8 $\pm$ 3.7	1.50 $\pm$ 0.02 ^{ab}	0.99 $\pm$ 0.05 ^{ab}	87.8 $\pm$ 6.0 ^b
1.0	25.6 $\pm$ 2.8	80.3 $\pm$ 3.8	1.63 $\pm$ 0.03 ^b	1.05 $\pm$ 0.02 ^b	78.0 $\pm$ 5.4 ^a

注: 表中同一列数据中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Figures in the same column with different superscript letters mean significant differences between treatments ($P < 0.05$).

饲料中添加硒对鲈鱼鱼体成分的影响如表 3 所示, 硒添加量 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 饲料组的鱼体蛋白含量明显高于其他各组 ($P < 0.05$), 其他各组之间鱼体蛋白含量无显著差异 ($P > 0.05$)。各实验组鱼体脂

肪含量为 1.13% ~ 1.59%; 鱼体灰分含量为 1.12% ~ 1.30%; 鱼体水分含量在 76.00% ~ 78.24%, 各组之间无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 3 饲料中添加硒对鲈鱼鱼体成分组成的影响

Tab. 3 Effects of dietary Se on body composition of juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) $\bar{X} \pm \text{SE}, \text{DW}$

饲料硒水平/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Level of Se in diet	鱼体组成 Body composition			
	水分/% Moisture	灰分/% Ash	粗蛋白/% Crude protein	粗脂肪/% Crude lipid
0	76.22 $\pm$ 1.4	1.30 $\pm$ 0.25	19.89 $\pm$ 1.32 ^b	1.59 $\pm$ 0.12
0.2	78.24 $\pm$ 1.5	1.16 $\pm$ 0.22	19.24 $\pm$ 1.25 ^b	1.19 $\pm$ 0.52
0.4	76.00 $\pm$ 1.2	1.24 $\pm$ 0.18	21.41 $\pm$ 2.01 ^a	1.13 $\pm$ 0.21
0.6	77.92 $\pm$ 1.6	1.17 $\pm$ 0.22	19.98 $\pm$ 1.78 ^b	1.72 $\pm$ 0.21
0.8	77.41 $\pm$ 1.3	1.12 $\pm$ 0.15	19.68 $\pm$ 1.65 ^b	1.25 $\pm$ 0.25
1.0	76.87 $\pm$ 1.2	1.16 $\pm$ 0.14	19.57 $\pm$ 1.85 ^b	1.21 $\pm$ 0.31

注: 表中同一列数据中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Figures in the same column with different superscript letters mean significant differences between treatments ($P < 0.05$).

2.2 饲料中添加硒对鲈鱼肝脏及血液硒水平的影响

基础饲料组鲈鱼肝脏中的硒含量明显低于其他组($P < 0.05$),见表4;随着饲料中硒水平的提高,鲈鱼肝脏硒含量明显提高,当饲料中硒水平为 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 饲料时,鲈鱼肝脏硒含量达到最高值,此后,当饲料中硒水平继续提高时,鲈鱼肝组织中的硒含量反而呈现下降趋势。

表4 饲料中添加硒对鲈鱼血清和肝组织硒含量的影响

Tab. 4 Effects of dietary Se on Se contents in serum and liver of juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*)

$\bar{X} \pm \text{SE}$		
饲料硒水平/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	血清/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	肝脏/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Level of Se in diet	Serum	Liver
0	1.11 ± 0.014^a	1.42 ± 0.027^a
0.2	1.83 ± 0.021^b	1.81 ± 0.019^b
0.4	1.99 ± 0.017^c	1.92 ± 0.016^c
0.6	2.05 ± 0.026^c	1.71 ± 0.021^b
0.8	2.99 ± 0.018^d	1.58 ± 0.025^{ab}
1.0	1.96 ± 0.028^c	1.66 ± 0.014^{ab}

注:表中同一列数据中不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: Figures in the same column with different superscript letters mean significant difference between treatments ($P < 0.05$).

由表4可见,基础饲料组鲈鱼血清中的硒含量最低,随着饲料中硒水平的提高,鲈鱼血清中硒含量呈正相关提高,当饲料中硒添加量为 $0.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,鲈鱼血清中硒水平为 $2.99 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,达到最大值,而当饲料中硒水平继续增加为 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,鲈鱼血清中硒含量反而降低为 $1.96 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

2.3 饲料中添加硒对鲈鱼肝脏及血清中谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、谷胱甘肽转移酶(GST)及谷胱甘肽还原酶(GR)活力的影响

饲料中添加硒对鲈鱼血清中GSH-Px及肝脏GSH-Px、GST及GR活力的影响如表5所示,饲料硒水平为 $0 \sim 0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 饲料组鲈鱼的肝脏和血清中GSH-Px活性随着硒添加浓度的增加而提高并趋于平缓;与硒添加量 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 饲料组相比,当饲料硒水平达到 $0.6 \sim 0.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,GSH-Px活性没有显著性差异($P > 0.05$),而当饲料中硒水平为 $0.8 \sim 1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,与饲料硒水平为 $0.6 \sim 0.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 组相比,GSH-Px活性明显下降($P < 0.05$)。

表5 饲料中添加硒对鲈鱼血清GSH-Px活性及肝组织GSH-Px、GR及GST活性的影响

Tab. 5 Effects of dietary Se on GSH-Px activities in serum and GSH-Px activities, GR and GST activities in liver of juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*)

$\bar{X} \pm \text{SE}$				
硒添加量/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	血清 GSH-Px/	肝组织 GSH-Px/	肝组织 GR/	肝组织 GST/
Level of Se in diet	($10 \text{ U} \cdot \text{mL}^{-1}$)	($\text{U} \cdot \text{mg}^{-1} \text{ protein}$)	($\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ protein}$)	($\text{U} \cdot \text{mg}^{-1} \text{ protein}$)
	Serum GSH-Px	Liver GSH-Px	Liver GR	Liver GST
0	15.6 ± 2.5^a	35.0 ± 5.6^a	1.16 ± 0.21^a	171.1 ± 26^a
0.2	20.8 ± 3.6^b	42.4 ± 6.2^b	1.44 ± 0.25^b	175.5 ± 17^a
0.4	31.0 ± 2.1^c	47.8 ± 2.9^c	2.63 ± 0.22^c	147.7 ± 25^b
0.6	24.7 ± 5.2^{bc}	45.6 ± 5.2^{bc}	1.12 ± 0.34^a	131.8 ± 31^b
0.8	26.1 ± 6.4^{bc}	46.7 ± 6.5^{bc}	1.16 ± 0.12^a	208.5 ± 29^c
1.0	12.9 ± 4.9^a	27.6 ± 3.1^d	0.09 ± 0.14^d	162.5 ± 21^a

注:表中同一列数据中不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: Figures in the same column with different superscript letters mean significant difference between treatments ($P < 0.05$).

表5结果表明,当饲料中硒的水平为 $0 \sim 0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,鲈鱼肝组织谷胱甘肽还原酶GR的活性随着硒水平的提高而提高,饲料硒水平达到 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,谷胱甘肽还原酶GR的活性达到最高;与硒水平 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 饲料组相比,饲料硒水平为 $0.6 \sim 0.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,谷胱甘肽还原酶GR的活性明显下降($P < 0.05$),并趋于平缓;但当饲料中硒的水平为 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,谷胱甘肽还原酶GR的活性进一步显著下降甚至低于对照组饲料($P < 0.05$)。

饲料中硒的水平为 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,鲈鱼肝组织谷胱甘肽转移酶GST的活性与对照组没有显著差异($P > 0.05$);饲料硒水平为 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 组和 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 组,鲈鱼肝组织谷胱甘肽转移酶GST的活性显著下降($P < 0.05$);饲料中硒水平为 $0.4 \sim 0.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,鲈鱼肝组织谷胱甘肽转移酶GST的活性趋于平缓,没有显著差异($P > 0.05$);饲料中硒水平为 $0.6 \sim 0.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,鲈鱼肝组织谷胱甘肽转移酶GST的活性显著增加($P < 0.05$);饲料中

硒水平为 $0.8 \sim 1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,谷胱甘肽转移酶 GST 的活性显著降低 ($P < 0.05$)。

3 讨论

动物对硒的营养需要存在一个适宜剂量范围,在这个范围内,硒对动物具有营养作用,而在这个范围之外会引起硒缺乏症或慢、急性中毒,这种关系是硒的 Weinberg 原理,即硒的剂量-效应关系曲线^[13]。本实验经过 10 周的饲喂,结果表明,饲料中硒的水平为 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,鲈鱼的生长性能达到最大,这与 Hilton 有关虹鳟硒的最适需要量 $0.15 \sim 0.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (干饲料)的研究结果相似^[4],本研究结果高于鲢鱼硒需要量的研究结果^[5],鲈鱼成活率在 $75.0\% \sim 87.8\%$,特定增长率在 $(1.22 \sim 1.84)\% \cdot \text{d}^{-1}$,相对较低,可能是由于本实验使用纯化饲料,影响了鲈鱼的适口性所致。

硒的生物功能主要是通过各种硒酶表现出来。谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)是动物体内重要的抗氧化酶,对催化谷胱甘肽还原、清除机体内有毒的过氧化物具有特异性,从而保护生物膜和生物大分子免受氧化损伤^[13]。GSH-Px 既是一种抗氧化酶,又是体内硒的代谢库^[14-15]。本实验的结果表明,实验基础饲料组和饲料中硒水平为 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,其生长性能、血清、肝组织中 GSH-Px 及肝组织中 GR 活性均显著低于饲料中硒水平为 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 组 ($P < 0.05$),但谷胱甘肽转移酶(GST)的活性却显著高于硒水平为 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 组 ($P < 0.05$)。Bell 等^[2]研究了缺硒对大西洋鲑幼鱼 GSH-Px 活性和组织过氧化作用的影响,用缺硒和补硒的饲料饲喂平均体质量为 6 g 的大西洋鲑 28 周。结果表明,补硒组鱼的增重率和成活率均高于缺硒组,缺硒组鱼的血浆和肝脏中 GSH-Px 的活性大大降低,但肝脏中谷胱甘肽-S-转移酶(GST)活性却显著增加。本实验中,饲料添加硒后,鲈鱼生长、血清和肝脏中 GSH-Px、肝脏中谷胱甘肽-S-转移酶(GST)活性的变化趋势与 Bell 的结果有相似之处,鲈鱼肝组织中硒水平随着饲料中硒添加量的增加而增加,当饲料中硒水平为 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,鲈鱼肝脏硒水平达到最高;此后,随着饲料中硒添加量的增加,鲈鱼肝组织中硒水平有下降趋势,基础饲料组肝组织中硒水平最低。表明谷胱甘肽过氧化物酶活性与鱼体肝组织硒的含量存在相似的变化趋势。这与刘永萍^[16]研

究鼠全血组织中谷胱甘肽过氧化物酶活力与硒含量的关系有相似的结果。因而,综合以上分析,建议鲈鱼饲料硒的适宜水平为 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

本实验表明,当饲料中硒的水平为 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,鲈鱼鱼体中的蛋白质含量显著高于其他实验组 ($P < 0.05$),饲料中适宜的硒含量通过何种途径影响鲈鱼蛋白质的沉积,尚待进一步研究。此外,本实验当饲料中硒水平增加时,鲈鱼肝组织 GST 活性呈现波浪起伏的变化(表 5),与肝组织中硒的含量变化无相关关系,笔者尚无法给予合理解释,还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Poston H A, Combs G F, Leibovitz A. Vitamin E and selenium interrelations in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*): gross, histological and biochemistry deficiency signs[J]. J Nutr, 1976, 106:892-904.
- [2] Bell J G, Cowey C B, Pirie B J S. Some effects of selenium deficiency on enzyme activities and induces of tissue peroxidation in Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Aquaculture, 1987, 65: 43-54.
- [3] Rutruck J T, Pope A L, Gather H E. Selenium: Biochemical role as a component of glutathione peroxidase [J]. Science, 1973, 179:588-590.
- [4] Hilton J W, Hodson P V, Slinger S J. The requirements and toxicity of selenium in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. J Nutr, 1980, 110:2 527-2 535.
- [5] Gatlin D M, Wilson R P. Dietary selenium requirement of fingerling channel catfish [J]. J Nutr, 1984, 114: 627-633.
- [6] Bell J G, Pirie B J S, Adron J W, et al. Some effects of selenium deficiency on glutathione peroxidase activity and tissue pathology in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. Br J Nutr, 1986, 55: 305-311.
- [7] Ai Q H, Mai K S, Li H T, et al. Effects of dietary protein to energy ratios on growth and body composition of juvenile Japanese seabass *Lateolabrax japonicus* [J]. Aquaculture, 2004a, 230: 507-516.
- [8] Ai Q H, Mai K S, Li H T, et al. Effects of dietary vitamin C on growth and immune response of juvenile Japanese seabass *Lateolabrax japonicus* [J]. Aquaculture, 2004b, 242: 489-500.
- [9] 李会涛. 饲料有毒有害物质对鲈鱼和大黄鱼生长的影响及其在鱼体组织残留的研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2004.
- [10] 高淳仁, 刘庆慧, 梁亚全, 等. 鲈鱼幼鱼人工配合饲料中蛋白质、脂肪适宜含量的研究[J]. 海洋水产研究, 1998, 19: 81-85.
- [11] 洪惠馨, 林立民, 陈学豪, 等. 鲈鱼人工配合饲料中脂肪适宜含量的研究[J]. 集美大学学报, 1999, 4: 41-44.
- [12] Association of Official Analytical Chemists (AOAC), (1995). Of-

- Official Method of Analysis of Official Analytical Chemists International, 16th edn. Association of Official Analytical Chemists. Arlington: VA.
- [13] 徐辉碧, 黄开勋. 硒的化学、生物化学及其在生命科学的应用[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1994. 25–35.
- [14] Combs G F, Combs S B. Absorption and Transfer. The Role of Selenium in Nutrition[M]. New York: Academic Press, 1986. 120–126.
- [15] 徐辉碧, 冯志明, 成 驿. 硒化合物毒性的自由基机理[J]. 华东理工大学学报, 1991, 19: 13–19.
- [16] 刘永萍, 边建朝. 鼠全血组织中谷胱甘肽过氧化物酶活力与硒含量的关系[J]. 中国地方病防治杂志, 2003, 18: 134–136.

Effects of dietary Se on growth performance and activities of related enzymes in juvenile Japanese seabass *Lateolabrax japonicus*

LIANG Meng-qing^{1,2}, WANG Jia-lin², CHANG Qing², LIU Xu-dong², MAI Kang-sen¹

(1. Ocean University of China, Qingdao 266011, China; 2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: Six levels of dietary Se were designed at 0.0 mg • kg⁻¹, 0.2 mg • kg⁻¹, 0.4 mg • kg⁻¹, 0.6 mg • kg⁻¹, 0.8 mg • kg⁻¹ and 1.0 mg • kg⁻¹ respectively and fed to juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) for 10 weeks. The initial body weight of seabass was (26.5 ± 1.02) g. After 10 weeks experiment the fish were deprived of food for 24 h and then the GSH-Px activities in serum and liver, GR and GST activities in liver were analyzed and the growth performances were evaluated. The results indicated that in the treatment with dietary Se at 0.4 mg • kg⁻¹, seabass got the highest SGR and the lowest FCR, and the protein content in fish body was significantly higher than those in other treatments ($P < 0.05$). The GSH-Px activities in serum and liver increased as dietary Se level raising from 0 to 0.4 mg • kg⁻¹ and reached peak with Se level at 0.4 mg • kg⁻¹, but when dietary Se level continued to raise from 0.8 mg • kg⁻¹ to 1.2 mg • kg⁻¹, the GSH-Px activities in serum decreased significantly ($P < 0.05$). The highest GR activity in liver was observed in the seabass fed diet of Se level 0.4 mg • kg⁻¹, and GR activities in liver decreased when dietary Se level was 0.6 mg • kg⁻¹. [Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(6): 1 017–1 022]

Key words: *Lateolabrax japonicus*; Se; growth performance; enzyme activity

Corresponding author: MAI Kang-sen. E-mail: kangsenmai@ouc.edu.cn