

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20190402001

http://www.yykxjz.cn/

于万峰, 林黑着, 黄忠, 虞为, 周传朋, 谭连杰, 荀鹏伟, 黄倩倩, 黄小林. 卵形鲳鲹对饲料中硒的需求量. 渔业科学进展, 2020, 41(3): 60–69

Yu WF, Lin HZ, Huang Z, Yu W, Zhou CP, Tan LJ, Xun PW, Huang QQ, Huang XL. Dietary selenium requirement of golden pompano (*Trachinotus ovatus*). Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(3): 60–69

卵形鲳鲹对饲料中硒的需求量*

于万峰^{1,2} 林黑着^{2,3①} 黄忠^{2,3} 虞为^{2,3} 周传朋²
谭连杰^{1,2} 荀鹏伟^{1,2} 黄倩倩^{1,2} 黄小林^{2,3}

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院南海水产研究所 农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室 广州 510300; 3. 中国水产科学研究院南海水产研究所深圳试验基地 深圳 518121)

摘要 为确定卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)对饲料中硒的需求量, 选取初始体重为(15.04±0.20) g 的卵形鲳鲹 450 尾, 随机分成 6 组, 每组 3 个重复, 每个重复 25 尾。分别投喂以亚硒酸钠(Na_2SeO_3) 为硒源, 硒含量分别为 0.41、0.60、0.73、0.80、0.90 和 1.12 mg/kg 的等氮等脂饲料 50 d。结果显示, 随着饲料中硒含量的增加, 卵形鲳鲹的增重率和特定生长率先升高后趋于稳定, 饲料系数变化趋势与之相反。饲料中硒含量对全鱼体成分无显著影响($P>0.05$)。血清白蛋白和高密度脂蛋白胆固醇含量随饲料中硒含量的增加呈先升高后降低的趋势, 而血清碱性磷酸酶活性先升高后保持稳定。饲料中添加硒可以显著提高血清谷胱甘肽过氧化物酶、超氧化物歧化酶和肝脏谷胱甘肽过氧化物酶、谷胱甘肽硫转移酶、谷胱甘肽还原酶、过氧化氢酶活性($P<0.05$), 随着饲料中硒含量的增加, 其谷胱甘肽过氧化物酶、谷胱甘肽硫转移酶和过氧化氢酶活性呈先升高后稳定的趋势, 而超氧化物歧化酶和谷胱甘肽还原酶活性呈先上升后下降的趋势。饲料中不同硒水平显著影响了卵形鲳鲹全鱼中的硒含量($P<0.05$), 且随着饲料中硒含量的增加先上升后趋于稳定。折线回归分析表明, 以增重率、血清谷胱甘肽过氧化物酶活性和全鱼中硒含量为评价指标, 卵形鲳鲹对饲料中硒的需求量分别为 0.66、0.82 和 0.76 mg/kg。

关键词 卵形鲳鲹; 硒; 需求量; 生长性能; 抗氧化能力

中图分类号 S963.73⁺⁴ **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2020)03-0060-10

硒存在于动物机体的所有组织和细胞, 是鱼类所必需的微量元素之一。硒是谷胱甘肽过氧化物酶的组成成分, 该酶能催化过氧化氢和脂质过氧化物分别转

化为水和脂质醇(NRC, 2011), 可维持细胞结构完整和生理功能正常。硒参与多种抗氧化酶的组成, 可通过其抗氧化作用和对免疫细胞及免疫因子的调节来

* 中国水产科学研究院南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2017ZD01)、国家自然科学基金项目(31602175)、中国水产科学研究院基本科研业务费(2018HY-ZD0506)和深圳市科技计划知识创新基础研究项目(JCYJ20170817103947002; JCYJ20180306180203889)共同资助 [This work was supported by Central Public-Interest Scientific Institution Basal Research Fund, South China Sea Fisheries Research Institute, CAFS (2017ZD01), National Natural Science Foundation of China (31602175), Central Public-Interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (2018HY-ZD0506), and Shenzhen Grant Plan for Science and Technology (JCYJ20170817103947002; JCYJ20180306180203889)]. 于万峰, E-mail: yuwanfeng123@163.com

①通讯作者: 林黑着, 研究员, E-mail: linheizhao@163.com

收稿日期: 2019-04-02, 收修改稿日期: 2019-04-18

增强动物机体的免疫功能(方热军等, 2018)。此外, 硒对提高动物生长繁殖性能、维持甲状腺正常生理功能、防癌抗癌及解毒等具有重要作用(段亮亮, 2018)。目前, 部分鱼类对硒的需求量已被确定, 如石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)为 0.70 mg/kg (Lin *et al*, 2005)、异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)为 1.18 mg/kg (Han *et al*, 2011)、黄尾鲷(*Seriola lalandi*)为 5.56 mg/kg (Le *et al*, 2013)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)为 0.15~0.38 mg/kg (Hilton *et al*, 1980)、大黄鱼(*Larimichthys croceus*)为 0.178~0.575 mg/kg (曹娟娟等, 2015)、鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)为 0.63~0.75 mg/kg (谈枫等, 2015)、军曹鱼(*Rachycentron canadum* L.)为 0.788~0.811 mg/kg (Liu *et al*, 2010)、条纹锯鲷(*Centropristis striata*)为 0.62~0.92 mg/kg (张清雯等, 2018)和尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)为 1.06~2.06 mg/kg (Lee *et al*, 2016)等。

卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*), 属暖水性中上层洄游鱼类, 具有生长快、肉细嫩、味鲜美和价格适中等多种优点, 是我国福建、广东及海南等沿海地区的重要经济鱼类之一。关于卵形鲳鲹蛋白质(刘兴旺等, 2011)、脂肪(王飞, 2012)、碳水化合物(Zhou *et al*, 2015)、氨基酸(杜强, 2012; 谭小红, 2015; Huang *et al*, 2018)、脂肪酸(戚常乐, 2016)和维生素(荀鹏伟等, 2018; 黄倩倩等, 2019; Xun *et al*, 2019)等营养需要量的研究已有相关报道, 但对其微量元素硒需要量的研究尚属空白。本实验以卵形鲳鲹为研究对象, 研究饲料中不同硒含量对其生长性能、全鱼体成分、血清生化指标、血清和肝脏抗氧化指标、全鱼和脊椎骨中硒含量的影响, 旨在确定卵形鲳鲹对饲料中硒的最适需求量, 为其配合饲料配制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

实验饲料配方及营养组成见表 1。以酪蛋白、鱼粉、大豆浓缩蛋白、豆粕、花生粕和玉米蛋白粉为蛋白源, 鱼油和大豆卵磷脂为脂肪源, 面粉和玉米淀粉为糖源, 配制成基础饲料。以亚硒酸钠(Na_2SeO_3 , 硒含量 0.45%, 饲料级, 购自河北省黄骅市津骅添加剂有限公司)为硒源, 硒的添加水平为 0、0.15、0.30、0.45、0.60 和 0.75 mg/kg, 并相应减少微晶纤维素的用量, 配制成 6 种不同硒含量的等氮等脂半纯化饲料。实验饲料委托中国广州分析测试中心采用氢化物原子荧光光谱法(GB/T 13883-2008)测定, 其硒的含量分别为 0.41、0.60、0.73、0.80、0.90 和 1.12 mg/kg。将鱼粉等原料用粉碎机粉碎, 使其过 40 目筛网。按

照饲料配方准确称量每种饲料原料, 把常量组分混合均匀后, 微量组分通过逐级扩大混匀的方法加入, 初步混匀后倒入搅拌机(SZ250, 广州旭众食品有限公司)搅拌 10 min 后取出。按配方比例加入鱼油和大豆卵磷脂, 搓碎混匀并过 40 目筛网后倒入搅拌机搅拌 10 min。添加适量水(约 40%)再搅拌 10 min 后, 用双螺杆挤条机(F-26, 华南理工大学)挤压成直径为 2.0 和 2.5 mm 的 2 种条形物。经造粒机(G-500, 华南理工大学)将其甩成颗粒后风干, 然后用封口袋密封并做好标签, 保存于 -20°C 冰箱中备用。

1.2 饲养管理

本实验卵形鲳鲹由深圳市龙岐庄实业发展有限公司培育, 正式实验前先在中国水产科学研究院南海水产研究所深圳试验基地养殖池塘的网箱中暂养。投喂基础饲料驯化 7 d 后, 选取体质健康、规格整齐的卵形鲳鲹 450 尾[初始体重为 (15.04 ± 0.20) g], 随机分配到 18 个网箱中($1.0\text{ m}\times 1.0\text{ m}\times 1.5\text{ m}$), 随机分成 6 组, 每组 3 个重复, 每个重复 25 尾, 分别投喂 6 组实验饲料。每天 06:30 和 17:30 饱食投喂 2 次, 24 h 充氧, 实验周期为 50 d。养殖期间水温为 $27^\circ\text{C}\sim 31^\circ\text{C}$, 盐度为 15~20, 溶解氧浓度 $>5.0\text{ mg/L}$ 。

1.3 样品采集

养殖实验结束时, 将卵形鲳鲹停食 24 h 后, 称取每个网箱的鱼体总重并记录鱼尾数。每个网箱随机取 7 尾鱼, 其中 2 尾鱼用于全鱼体成分和硒含量分析, 剩余 5 尾鱼测体长和体重并记录。之后, 用 1 ml 注射器(1%肝素钠润洗)从尾静脉取血, 注入 1.5 ml 离心管中, 4°C 静置 30 min 后离心(3000 r/min , 10 min, 4°C), 获取上清液并分装于 1.5 ml 离心管中, 于 -80°C 保存, 用于血清生化和酶活性分析; 按顺序解剖出采血后鱼的内脏和肝脏, 称量并记录, 肝脏分装于 2 ml 冻存管中, 液氮速冻后于 -80°C 保存, 用于肝脏酶活性分析; 将解剖后的鱼置于微波炉加热 3 min, 剥离肌肉并取出脊椎骨, 于烘箱中 105°C 烘干 2 h, 然后粉碎, 用于脊椎骨硒含量分析。

1.4 指标测定

增重率(Weight gain rate, WGR, %)= $100\times[\text{末均体重}(\text{g})-\text{初均体重}(\text{g})]/\text{初均体重}(\text{g})$

特定生长率(Specific growth rate, SGR, %/d)= $100\times[\ln \text{末均体重}(\text{g})-\ln \text{初均体重}(\text{g})]/\text{养殖天数}(\text{d})$

饲料系数(Feed conversion ratio, FCR)=饲料投喂量(g)/鱼体增重(g)

肥满度(Condition factor, CF)= $100\times\text{体重}(\text{g})/[\text{体}$

长(cm)]³

脏体比(Viscerosomatic index, VSI, %)=100×内脏重(g)/鱼体重(g)

肝体比(Hepatosomatic index, HSI, %)=100×肝脏重(g)/鱼体重(g)

饲料和全鱼水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量分别采用 105℃常压干燥法、凯氏定氮法、索氏抽提法(石油醚为抽提剂)和 550℃马弗炉灼烧法进行测定;

血清生化指标委托广州新海医院检验中心进行测定;血清和肝脏抗氧化指标采用试剂盒(南京建成生物工程研究所提供)进行测定;全鱼和脊椎骨中硒含量委托中国广州分析测试中心采用氢化物原子荧光光谱法(GB 5009.93-2017)进行测定。

1.5 数据分析

实验数据采用 Excel 2016 软件进行处理,通过

表 1 实验饲料配方及营养组成(干物质基础, %)

Tab.1 Formulation and nutrient composition of the experimental diets (DM basis, %)

成分 Ingredients	饲料 Diets					
	Diet 1	Diet 2	Diet 3	Diet 4	Diet 5	Diet 6
酪蛋白 Casein	26	26	26	26	26	26
鱼粉 Fish meal	10	10	10	10	10	10
大豆浓缩蛋白 Soy protein concentrate	10	10	10	10	10	10
豆粕 Soybean meal	6	6	6	6	6	6
花生粕 Peanut meal	5	5	5	5	5	5
玉米蛋白粉 Corn protein meal	2	2	2	2	2	2
面粉 Wheat flour	13	13	13	13	13	13
玉米淀粉 Corn starch	9	9	9	9	9	9
鱼油 Fish oil	9	9	9	9	9	9
大豆卵磷脂 Soybean lecithin	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
维生素预混料 Vitamin premix ¹	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
无硒矿物质预混料 Selenium-free mineral premix ²	2	2	2	2	2	2
维生素 C Vitamin C (95%)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
抗氧化剂 Antioxidant	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
氯化胆碱 Choline chloride	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
微晶纤维素 Microcrystalline cellulose	3.700	3.697	3.693	3.690	3.687	3.683
甜菜碱 Betaine	1	1	1	1	1	1
海藻酸钠 Sodium alginate	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
亚硒酸钠 Na ₂ SeO ₃ (mg/kg)	0	33.33	66.67	100.00	133.33	166.67
营养组成 Nutrient composition (%)						
水分 Moisture	7.30	7.48	7.33	7.40	7.36	7.49
粗蛋白 Crude protein	43.0	42.8	43.0	43.0	42.9	42.9
粗脂肪 Crude lipid	11.4	11.4	11.6	11.5	11.7	11.6
灰分 Ash	6.32	6.27	6.26	6.27	6.33	6.27
硒 Selenium (mg/kg)	0.41	0.60	0.73	0.80	0.90	1.12

注: 1. 维生素预混料(mg/kg 饲料): 维生素 A 1200 mg, 维生素 D₃ 50 mg, 维生素 E 30000 mg, 维生素 K₃ 30000 mg, 维生素 B₁ 8000 mg, 维生素 B₂ 15000 mg, 维生素 B₆ 12000 mg, 维生素 B₁₂ 90 mg, 烟酸 90000 mg, 肌醇 80000 mg, 泛酸钙 50000 mg, 叶酸 1200 mg, 生物素 40 mg

2. 无硒矿物质预混料(mg/kg 饲料): 氟化钠 4 mg, 碘化钾 1.6 mg, 氯化钴(1%)100 mg, 硫酸亚铁 160 mg, 硫酸锌 100 mg, 硫酸铜 20 mg, 硫酸锰 120 mg, 硫酸镁 1352 mg, 磷酸二氢钙 6000 mg, 氯化钠 200 mg, 沸石粉 11942.4 mg

Note: 1. Vitamin premix (mg/kg diet): Vitamin A 1200 mg, Vitamin D₃ 50 mg, Vitamin E 30000 mg, Vitamin K₃ 30000 mg, Vitamin B₁ 8000 mg, Vitamin B₂ 15000 mg, Vitamin B₆ 12000 mg, Vitamin B₁₂ 90 mg, Nicotinic acid 90000 mg, Inositol 80000 mg, Calcium pantothenate 50000 mg, Folic acid 1200 mg, Biotin 40 mg

2. Selenium-free mineral premix (mg/kg diet): NaF 4 mg, KI 1.6 mg, CoCl₂·6H₂O (1%) 100 mg, FeSO₄·H₂O 160 mg, ZnSO₄·H₂O 100 mg, CuSO₄·5H₂O 20 mg, MnSO₄·H₂O 120 mg, MgSO₄·H₂O 1352 mg, Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 6000 mg, NaCl 200 mg, Zeolite powder 11942.4 mg

SPASS 25.0 软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 所得数据用“平均值±标准差($\bar{X} \pm SD$)”表示, 若组间差异显著, 再采用 Duncan 氏法进行多重比较分析, 以 $P < 0.05$ 为差异显著水平。

2 结果

2.1 饲料中硒含量对卵形鲳鲆生长性能的影响

由表 2 可知, 随着饲料中硒含量的增加, 卵形鲳鲆的终末体重、WGR 和 SGR 先升高后保持稳定, 且 0.41 mg/kg 组的终末体重、WGR 和 SGR 均显著低于其他各组($P < 0.05$)。FCR 随饲料中硒含量的增加先降低后趋于稳定, 0.41 mg/kg 组的 FCR 显著高于 0.80、0.90 和 1.12 mg/kg 组($P < 0.05$)。饲料中硒含量对卵形鲳鲆的 CF、VSI 和 HSI 均无显著影响($P > 0.05$)。以 WGR

为评价指标, 通过折线回归分析得出卵形鲳鲆饲料中最适硒含量为 0.66 mg/kg (图 1)。

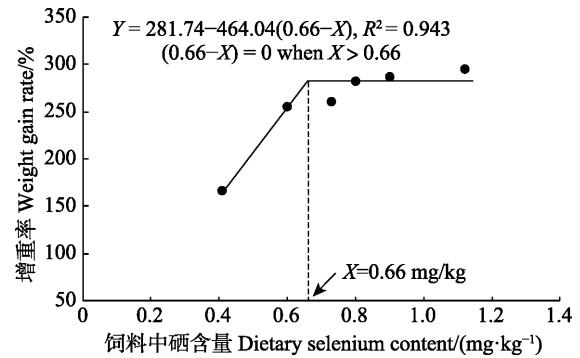


图 1 卵形鲳鲆增重率与饲料中硒含量的关系
Fig.1 Relationship between dietary selenium content and weight gain rate of golden pompano

表 2 饲料中硒含量对卵形鲳鲆生长性能的影响
Tab.2 Effects of dietary selenium content on growth performance of golden pompano

指标 Parameters	饲料中硒含量 Dietary selenium content (mg/kg)					
	0.41	0.60	0.73	0.80	0.90	1.12
初始体重 Initial weight (g)	15.12±0.18	15.00±0.26	15.19±0.11	14.92±0.16	15.02±0.21	14.98±0.27
终末体重 Final weight (g)	40.15±4.33 ^a	53.30±2.06 ^b	54.78±8.01 ^b	57.07±2.15 ^b	58.16±2.27 ^b	59.14±1.86 ^b
增重率 WGR (%)	165.39±26.63 ^a	255.33±8.86 ^b	260.81±55.38 ^b	282.64±17.57 ^b	287.31±18.91 ^b	295.13±19.86 ^b
特定生长率 SGR (%/d)	1.94±0.20 ^a	2.53±0.05 ^b	2.55±0.30 ^b	2.68±0.09 ^b	2.71±0.10 ^b	2.75±0.10 ^b
饲料系数 FCR	2.81±0.31 ^a	2.57±0.22 ^{ab}	2.55±0.11 ^{ab}	2.40±0.11 ^b	2.42±0.06 ^b	2.35±0.07 ^b
肥满度 CF	3.49±0.14	3.72±0.10	3.62±0.15	3.66±0.19	3.69±0.17	3.77±0.11
脏体比 VSI (%)	6.92±0.05	6.80±0.12	6.54±0.24	6.55±0.27	6.74±0.06	6.84±0.36
肝体比 HSI (%)	1.63±0.15	1.68±0.23	1.50±0.03	1.45±0.09	1.47±0.05	1.47±0.07

注: 同行数据上标字母不同表示差异显著($P < 0.05$), 相同字母或无字母表示差异不显著($P > 0.05$), 下同

Note: In the same row, values with different letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$), the same as below

表 3 饲料中硒含量对卵形鲳鲆全鱼体成分的影响
Tab.3 Effects of dietary selenium content on the whole body composition of golden pompano

指标 Parameters	饲料中硒含量 Dietary selenium content (mg/kg)					
	0.41	0.60	0.73	0.80	0.90	1.12
水分 Moisture (%)	69.25±1.02	68.00±1.01	68.87±1.46	68.32±0.52	68.91±1.51	68.18±0.77
粗蛋白 Crude protein (%)	52.29±1.61	52.63±1.55	53.60±0.52	52.55±0.85	51.49±2.69	52.67±1.35
粗脂肪 Crude lipid (%)	34.76±3.20	35.71±3.16	34.93±1.14	35.71±0.68	37.46±1.14	36.04±2.31
灰分 Ash (%)	13.23±1.44	11.44±0.76	12.77±1.43	12.26±0.46	11.37±0.67	11.75±1.18

2.2 饲料中硒含量对卵形鲳鲆全鱼体成分的影响

由表 3 可知, 随着饲料中硒含量的增加, 各组间卵形鲳鲆鱼体的水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量差异不显著($P > 0.05$)。

2.3 饲料中硒含量对卵形鲳鲆血清生化指标的影响

由表 4 可知, 血清白蛋白(ALB)和高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)含量均随饲料中硒含量的增加呈先上升后下降的趋势, 且 0.73 mg/kg 组的血清 ALB 含

量和 0.90 mg/kg 组的血清 HDL-C 含量显著高于 0.41 mg/kg 组 ($P<0.05$)。0.41 和 0.60 mg/kg 组的血清碱性磷酸酶(ALP)活性显著低于其他各组 ($P<0.05$), 其活性随饲料中硒含量的增加先升高后趋于稳定。饲料中硒含量对血清总蛋白(TP)和总胆固醇(TCHO)含量无显著影响 ($P>0.05$)。

2.4 饲料中硒含量对卵形鲳鲹血清抗氧化指标的影响

由表 5 可知, 随着饲料中硒含量的增加, 血清谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)活性先升高后趋于稳定, 且 0.41 mg/kg 组的血清 GSH-PX 活性显著低于其他各组 ($P<0.05$)。血清超氧化物歧化酶(SOD)活性随饲料中硒含量的增加呈先升高后降低的趋势, 0.73 mg/kg 组的血清 SOD 活性除了与 0.60 mg/kg 组没有显著性差异 ($P>0.05$)外, 均显著高于其他各组

($P<0.05$)。以血清 GSH-PX 活性为评价指标, 通过折线回归分析得出卵形鲳鲹饲料中最适硒含量为 0.82 mg/kg (图 2)。

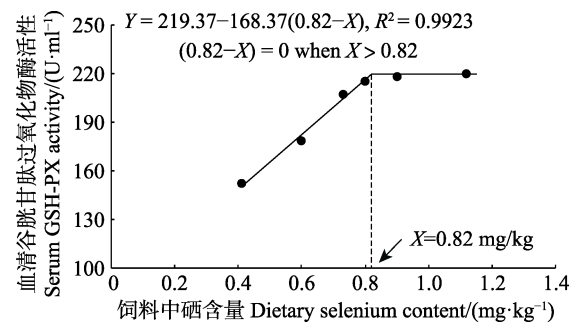


图 2 卵形鲳鲹血清谷胱甘肽过氧化物酶活性与饲料中硒含量的关系

Fig.2 Relationship between dietary selenium content and serum GSH-PX activity of golden pompano

表 4 饲料中硒含量对卵形鲳鲹血清生化指标的影响

Tab.4 Effects of dietary selenium content on serum biochemical indexes of golden pompano

指标 Parameters	饲料中硒含量 Dietary selenium content (mg/kg)					
	0.41	0.60	0.73	0.80	0.90	1.12
总蛋白 TP (g/L)	41.97±5.25	45.13±2.31	47.25±2.65	45.95±2.55	42.80±2.00	42.60±1.10
白蛋白 ALB (g/L)	9.83±0.93 ^a	11.03±0.95 ^{ab}	11.95±0.85 ^b	11.37±1.31 ^{ab}	11.00±0.20 ^{ab}	10.60±0.10 ^{ab}
碱性磷酸酶活性 ALP activity (U/L)	59.00±9.64 ^a	61.33±4.16 ^a	75.00±5.29 ^b	74.67±8.08 ^b	73.33±4.93 ^b	74.00±1.00 ^b
总胆固醇 TCHO (mmol/L)	3.05±0.21	3.42±0.12	3.53±0.38	3.51±0.49	3.68±0.45	3.44±0.33
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C (mmol/L)	2.20±0.17 ^a	2.42±0.29 ^{ab}	2.40±0.11 ^{ab}	2.42±0.15 ^{ab}	2.59±0.20 ^b	2.41±0.16 ^{ab}

表 5 饲料中硒含量对卵形鲳鲹血清抗氧化相关酶活性的影响

Tab.5 Effects of dietary selenium content on serum antioxidant enzyme activity of golden pompano

指标 Parameters	饲料中硒含量 Dietary selenium content (mg/kg)					
	0.41	0.60	0.73	0.80	0.90	1.12
谷胱甘肽过氧化物酶活性 GSH-PX activity (U/ml)	151.77±1.56 ^a	178.40±20.81 ^b	207.36±17.33 ^c	215.56±8.06 ^c	218.34±16.18 ^c	220.17±15.42 ^c
超氧化物歧化酶活性 SOD activity (U/ml)	43.25±2.57 ^a	49.58±4.28 ^{ab}	55.66±2.76 ^b	45.71±4.36 ^a	44.17±2.48 ^a	45.19±4.02 ^a

2.5 饲料中硒含量对卵形鲳鲹肝脏抗氧化指标的影响

由表 6 可知, 饲料中不同硒含量显著影响了卵形鲳鲹肝脏 GSH-PX、谷胱甘肽硫转移酶(GST)、谷胱甘肽还原酶(GR)和过氧化氢酶(CAT)的活性 ($P<0.05$)。随着饲料中硒含量的增加, 肝脏 GSH-PX、GST 和 CAT 活性先升高后保持稳定, 其中, 0.41 mg/kg 组的肝脏 GSH-PX 活性显著低于其他各组 ($P<0.05$), 0.41 和 0.60 mg/kg 组的肝脏 GST 和 CAT 活性显著低于其他各组 ($P<0.05$)。肝脏 GR 活性随饲料中硒含量的增加呈先上升后下降的趋势, 其活性在 0.60 mg/kg 组达

到峰值并显著高于其他各组 ($P<0.05$)。

2.6 饲料中硒含量对卵形鲳鲹全鱼和脊椎骨中硒含量的影响

由表 7 可知, 全鱼中硒含量随着饲料中硒含量的增加先升高后保持稳定, 且 0.41mg/kg 组全鱼硒含量除了与 0.60 mg/kg 组差异不显著 ($P>0.05$)外, 均显著低于其他各硒添加组 ($P<0.05$)。饲料中硒含量对脊椎骨中硒含量的影响不显著 ($P>0.05$)。以全鱼中硒含量为评价指标, 通过折线回归分析得出卵形鲳鲹饲料中最适硒含量为 0.76 mg/kg (图 3)。

表 6 饲料中硒含量对卵形鲳鲹肝脏抗氧化相关酶活性的影响
Tab.6 Effects of dietary selenium content on liver antioxidant enzyme activity of golden pompano

指标 Parameters	饲料中硒含量 Dietary selenium content (mg/kg)					
	0.41	0.60	0.73	0.80	0.90	1.12
谷胱甘肽过氧化物酶活性 GSH-PX activity (U/mg prot)	7.68±0.25 ^a	15.93±0.84 ^b	17.77±1.34 ^b	18.57±2.21 ^b	22.63±2.28 ^c	23.13±2.19 ^c
谷胱甘肽硫转移酶活性 GST activity (U/mg prot)	29.44±0.69 ^a	30.74±2.05 ^a	35.67±3.05 ^b	36.12±2.35 ^b	39.71±0.11 ^c	40.25±1.38 ^c
谷胱甘肽还原酶活性 GR activity (U/g prot)	1.63±0.02 ^a	1.96±0.16 ^b	1.72±0.03 ^a	1.69±0.08 ^a	1.63±0.09 ^a	1.63±0.07 ^a
过氧化氢酶活性 CAT activity (U/mg prot)	85.22±5.02 ^a	95.19±1.75 ^a	123.58±5.56 ^b	115.73±13.28 ^b	117.47±0.48 ^b	114.71±2.99 ^b

表 7 饲料中硒含量对卵形鲳鲹全鱼和脊椎骨中硒含量的影响
Tab.7 Effects of dietary selenium content on selenium concentrations in whole body and vertebrae of golden pompano

指标 Parameters	饲料中硒含量 Dietary selenium content (mg/kg)					
	0.41	0.60	0.73	0.80	0.90	1.12
全鱼中硒含量 Whole body selenium concentration (mg/kg)	0.24±0.03 ^a	0.34±0.01 ^{ab}	0.41±0.09 ^b	0.43±0.07 ^b	0.43±0.06 ^b	0.41±0.08 ^b
脊椎骨中硒含量 Vertebrae selenium concentration (mg/kg)	0.08±0.00	0.10±0.00	0.09±0.02	0.10±0.02	0.10±0.01	0.10±0.02

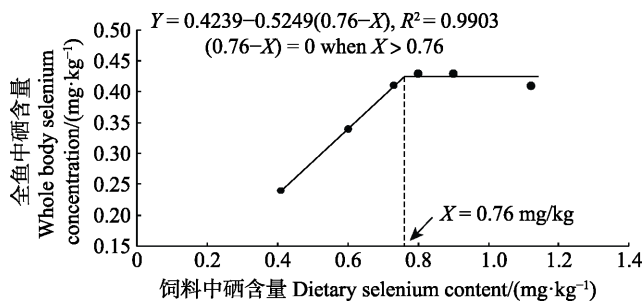


图 3 卵形鲳鲹全鱼中硒含量与饲料中硒含量的关系
Fig.3 Relationship between dietary selenium content and whole body selenium concentration of golden pompano

3 讨论

饲料中添加硒可促进鱼类生长。本实验结果显示,随着饲料中硒含量的增加,卵形鲳鲹的增重率和特定生长率先升高后保持稳定,这与大黄鱼(曹娟娟等, 2015)、异育银鲫(Han *et al*, 2011)和军曹鱼(Liu *et al*, 2010)的研究报道相似。饲料中添加硒不仅可以改善鱼类生长性能,还可提高其饲料利用率。本研究中,饲料系数随饲料中硒水平的上升先降低后稳定在一定水平,这与军曹鱼(Liu *et al*, 2010)的研究结果相吻合。这是因为硒不仅可以提高动物机体的抗氧化、抗应激和免疫能力,而且硒还是 5'-脱碘酶的组成部分,介导甲状腺素的合成与代谢,催化 T4 转化成 T3,而 T3 控制着生长激素的基因表达及合成,有利于动物

的生长发育(谢帝芝等, 2010)。然而在尼罗罗非鱼(Lee *et al*, 2016)、石斑鱼(Lin *et al*, 2005)和黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*) (胡俊茹等, 2016)的研究中发现,饲料中添加硒也可显著提高其增重率和饲料效率,不同的是随着饲料中硒含量的增加,增重率和饲料效率呈先升高后降低的趋势,造成这种差异显示了硒营养和毒性的双重效应(Wang *et al*, 2012),再加上不同种类对硒的耐受程度不同所导致。Seko 等(1989)认为过量硒可能会攻击特定的脱氢酶系统,并且硒化合物浓度过高会产生自由基而对动物组织造成氧化损伤,从而影响动物的正常生长发育。

饲料中不同硒水平对不同鱼种全鱼体成分存在较大差异。饲料中硒含量显著影响了黄颡鱼(胡俊茹等, 2016)鱼体的水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量,且粗脂肪含量随饲料中硒含量的增加呈先升高后稳定的趋势;而在绿鲟(*Acipenser medirostris*)和白鲟(*Acipenser transmontanus*) (Riu *et al*, 2014)的研究中发现,其全鱼粗脂肪含量随饲料中硒水平的上升呈下降趋势,这可能是因为硒与动物体脂肪的代谢有关。本研究中,饲料中硒含量对卵形鲳鲹鱼体的水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量影响不显著,与曹娟娟等(2015)的研究结果相似。

血清生化指标可以反映鱼体的正常生理状态、健康状况和营养水平(韩娜娜等, 2010)。血清白蛋白(ALB)由肝脏合成,对维持血液胶体渗透压、运输小

分子物质、修补组织及清除自由基等具有重要作用(Ahmed *et al.*, 2002; 张敏, 2011)。本研究中,血清 ALB 含量随饲料中硒水平的上升呈先升高后降低的趋势,这说明饲料中适宜硒含量可提高肝脏合成 ALB 的能力,但硒含量过高可能会对鱼体的肝功能造成损害。碱性磷酸酶(ALP)是一种磷酸单脂水解酶,其活性可以反映鱼体非特异性免疫能力的水平(Prabhu *et al.*, 2016; 张媛媛等, 2012)。本研究结果显示,随着饲料中硒含量的增加,血清 ALP 活性先上升后趋于稳定,这可能是因为硒对于增强鱼体的非特异性免疫功能具有一定程度的促进作用。高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)主要是由肝脏合成,可将血液中多余的血脂和胆固醇转运到肝脏并分解(吴凡等, 2011),起到清除血液垃圾的作用。本研究中,饲料中添加硒可以显著提高血清 HDL-C 的含量,有利于鱼体血脂的代谢,但随着饲料中硒水平进一步升高,血清 HDL-C 含量呈下降趋势,与大口黑鲈(*Micropterus salmoides*) (李宁等, 2017)的研究报道相似,这可能是由于饲料中较高硒含量会对机体肝脏造成不同程度的损伤,降低肝脏对 HDL-C 的合成能力,从而不利于血液垃圾的清除,进而影响鱼体健康。

硒影响鱼类的抗氧化能力是其主要作用之一。饲料中硒不足,可导致草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*) (苏传福, 2008)血清和肝脏谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)活性明显降低。饲料中适宜硒水平可显著提高大口黑鲈(李宁等, 2017)血清和肝脏 GSH-PX、谷胱甘肽硫转移酶(GST)和 SOD 活性。GSH-PX 能将体内多余的过氧化物清除掉,以保护机体免受其氧化损伤(张滕闲等, 2017)。SOD 能清除体内氧自由基以起到对机体的防御保护作用(王丽丽等, 2019)。本研究中,饲料中添加硒显著提高了血清 GSH-PX 活性,这与军曹鱼(Liu *et al.*, 2010)的报道相似。随着饲料中硒含量的增加,血清 SOD 活性呈先上升后下降的趋势,与大黄鱼(曹娟娟等, 2015)和鲈鱼(谈枫等, 2015)的研究结果类似,这是因为 SOD 是一种含金属元素的蛋白酶,而饲料中较高硒水平可能影响了机体对金属元素的吸收利用,从而降低其活性。GST 属于抗氧化酶之一,可通过修复自由基造成的细胞膜磷脂损伤和抑制微粒体的过氧化反应等多种途径来发挥其抗氧化作用(冯欣等, 2010)。谷胱甘肽还原酶(GR)能清除在氧化胁迫反应中所产生的活性氧自由基(张新党等, 2018)。过氧化氢酶(CAT)通过参与活性氧的代谢能使机体内的功能性大分子物质免受其氧化损伤(谭连杰等, 2019)。本研究中,肝脏 GSH-PX 活性随饲料中硒含量的增加先升高后保持稳定,这一结果与石斑鱼

(Lin *et al.*, 2005)和军曹鱼(Liu *et al.*, 2010)等诸多研究报道相似。饲料中添加硒也可显著提高肝脏 GST 和 CAT 活性,且随着饲料中硒水平的上升,其活性先升高后趋于稳定。肝脏 GR 活性随饲料中硒含量的增加呈先上升后下降的趋势,这与大黄鱼(曹娟娟等, 2015)的研究报道相吻合。以上结果表明,饲料中适宜硒含量可通过提高 GSH-PX、GST、GR、CAT 和 SOD 等抗氧化酶的活性来清除体内的活性氧和自由基,进而提高卵形鲳鲹的抗氧化能力以起到保护机体的作用。

硒在体内沉积对满足鱼体营养需要和氧化应激生理状态下的快速利用具有重要意义(张清雯等, 2018)。本实验结果显示,饲料中添加硒可显著提高全鱼中的硒含量,且随着饲料中硒水平的上升,其含量先增加后趋于稳定,此结果与大黄鱼(曹娟娟等, 2015)和军曹鱼(Liu *et al.*, 2010)的报道相吻合。饲料中硒水平不会显著影响卵形鲳鲹脊椎骨中的硒含量,这可能是因为脊椎骨中硒含量对饲料中硒添加水平不太敏感,或者更多的硒被储存在其他组织,如肝脏(Le *et al.*, 2014)和肌肉(Lin, 2014)等,因此,增加饲料中的硒含量并不会使硒在其脊椎骨中沉积。

通过对卵形鲳鲹增重率、血清 GSH-PX 活性和全鱼中硒含量进行评估,得出卵形鲳鲹对饲料中硒的需求量分别为 0.66、0.82 和 0.76 mg/kg,与石斑鱼(Lin *et al.*, 2005)、鲈鱼(谈枫等, 2015)、军曹鱼(Liu *et al.*, 2010)和条纹锯鲈(张清雯等, 2018)的硒需求量相接近,低于异育银鲫(Han *et al.*, 2011)、黄尾鲷(Le *et al.*, 2013)和尼罗罗非鱼(Lee *et al.*, 2016),高于虹鳟(Hilton *et al.*, 1980)和大黄鱼(曹娟娟等, 2015)。

4 结论

饲料中添加硒可以改善卵形鲳鲹的生长性能和血清生化指标,并能提高机体的抗氧化能力和鱼体硒沉积量。以增重率、血清 GSH-PX 活性和全鱼中硒含量为评价指标,得出卵形鲳鲹对饲料中硒的需求量分别为 0.66、0.82 和 0.76 mg/kg。

参 考 文 献

- Ahmed AF, Constable PD, Misk NA. Effect of feeding frequency and route of administration on abomasal luminal pH in dairy calves fed milk replacer. *Journal of Dairy Science*, 2002, 85(6): 1502-1508
- Cao JJ, Zhang WB, Xu W, *et al.* Dietary selenium requirement of juvenile large yellow croaker *Larimichthys croceus*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, 39(2): 241-249 [曹娟娟,

- 张文兵, 徐玮, 等. 大黄鱼幼鱼对饲料硒的需求量. 水生生物学报, 2015, 39(2): 241–249]
- Du Q. Dietary lysine and methionine requirements and substitution of fish meal in diets for juvenile *Trachinotus ovatus*. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2012, 1–58 [杜强. 卵形鲳鲹赖氨酸和蛋氨酸需求量及饲料中鱼粉替代的研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2012, 1–58]
- Duan LL. The physiological function of selenium and the development of selenium-rich health food. Modern Food, 2018, 1(14): 42–45 [段亮亮. 硒的生理功能和富硒保健食品开发. 现代食品, 2018, 1(14): 42–45]
- Fang RJ, Yang KL. The antioxidant and immune effects of selenium and its metabolic regulation pathway. Feed Industry, 2018, 39(23): 1–7 [方热军, 杨凯丽. 硒的抗氧化和免疫作用及其代谢调控途径. 饲料工业, 2018, 39(23): 1–7]
- Feng X, Du Y, Pan K, et al. Glutathione S-transferases and its oxidative stress. Medical Research and Education, 2010, 27(5): 80–83 [冯欣, 杜宇, 潘坤, 等. 谷胱甘肽硫转移酶与氧化应激. 医学研究与教育, 2010, 27(5): 80–83]
- Han D, Xie S, Liu M, et al. The effects of dietary selenium on growth performances, oxidative stress and tissue selenium concentration of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). Aquaculture Nutrition, 2011, 17(3): e741–e749
- Han NN, Shi CY. The application of blood indexes in ichthyological research. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(33): 18877–18878, 18880 [韩娜娜, 史成银. 血液指标在鱼类学研究中的应用. 安徽农业科学, 2010, 38(33): 18877–18878, 18880]
- Hilton JW, Hodson PV, Slinger SJ. The requirement and toxicity of selenium in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). The Journal of Nutrition, 1980, 110(12): 2527–2535
- Hu JR, Wang GX, Sun YP, et al. Effects of dietary selenium content on growth performance, antioxidant capacity and lipid metabolism gene expression of juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). Chinese Journal of Animal Nutrition, 2016, 28(12): 3925–3934 [胡俊茹, 王国霞, 孙育平, 等. 饲料硒含量对黄颡鱼幼鱼生长性能、抗氧化能力和脂肪代谢基因表达的影响. 动物营养学报, 2016, 28(12): 3925–3934]
- Huang QQ, Lin HZ, Zhou CP, et al. Vitamin B₂ requirement of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). South China Fisheries Science, 2019, 15(1): 69–76 [黄倩倩, 林黑着, 周传朋, 等. 卵形鲳鲹幼鱼对维生素 B₂ 的需要量. 南方水产科学, 2019, 15(1): 69–76]
- Huang Z, Tan XH, Zhou CP, et al. Effect of dietary valine levels on the growth performance, feed utilization and immune function of juvenile golden pompano, *Trachinotus ovatus*. Aquaculture Nutrition, 2018, 24(1): 74–82
- Le KT, Fotedar R. Dietary selenium requirement of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*). Agricultural Sciences, 2013, 4(6): 68–75
- Le KT, Fotedar R. Toxic effects of excessive levels of dietary selenium in juvenile yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*). Aquaculture, 2014, 433: 229–234
- Lee S, Nambi RW, Won S, et al. Dietary selenium requirement and toxicity levels in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture, 2016, 464: 153–158
- Li N, Zheng YH, Wu XF, et al. Tolerance of selenium-yeast in diets of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Chinese Journal of Animal Nutrition, 2017, 29(6): 1949–1960 [李宁, 郑银桦, 吴秀峰, 等. 大口黑鲈对饲料中酵母硒的耐受性研究. 动物营养学报, 2017, 29(6): 1949–1960]
- Lin YH. Effects of dietary organic and inorganic selenium on the growth, selenium concentration and meat quality of juvenile grouper *Epinephelus malabaricus*. Aquaculture, 2014, 430: 114–119
- Lin YH, Shiao SY. Dietary selenium requirements of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*. Aquaculture, 2005, 250(1–2): 356–363
- Liu K, Wang XJ, Ai QH, et al. Dietary selenium requirement for juvenile cobia, *Rachycentron canadum* L. Aquaculture Research, 2010, 41(10): e594–e601
- Liu XW, Xu D, Zhang HT, et al. Optimal dietary protein requirement for juvenile *Trachinotus ovatus*. South China Fisheries Science, 2011, 7(1): 45–49 [刘兴旺, 许丹, 张海涛, 等. 卵形鲳鲹幼鱼蛋白质需要量的研究. 南方水产科学, 2011, 7(1): 45–49]
- National Research Council (NRC). Nutrient requirements of fish and shrimp. Washington, D C: National Academy Press, 2011
- Prabhu PAJ, Schrama JW, Kaushik SJ. Mineral requirements of fish: A systematic review. Reviews in Aquaculture, 2016, 8(2): 172–219
- Qi CL. The study on effects of dietary LNA, ARA, DHA and EPA levels on growth performance and immunity of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2016, 1–63 [戚常乐. LNA、ARA、DHA 和 EPA 对卵形鲳鲹幼鱼生长及免疫影响的研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2016, 1–63]
- Riu ND, Lee JW, Huang SSS, et al. Effect of dietary selenomethionine on growth performance, tissue burden, and histopathology in green and white sturgeon. Aquatic Toxicology, 2014, 148: 65–73
- Seko Y, Saito Y, Kitahara J, et al. Active oxygen generation by the reaction of selenite with reduced glutathione in vitro. Selenium in Biology and Medicine, 1989, 70–73
- Su CF. Studies on dietary selenium requirements of juvenile grass carp, *Ctenopharyngodon ideelus*. Master's Thesis of Southwest University, 2008, 1–51 [苏传福. 草鱼幼鱼硒的营养需要研究. 西南大学硕士研究生学位论文, 2008, 1–51]
- Tan F, Liang MQ, Zheng KK, et al. The requirement of dietary selenium at the middle growth stage of Japanese seabass

- (*Lateolabrax japonicus*). *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(3): 93–100 [谈枫, 梁萌青, 郑珂珂, 等. 鲈鱼 (*Lateolabrax japonicus*) 养殖中期对饲料硒的需求量. *渔业科学进展*, 2015, 36(3): 93–100]
- Tan LJ, Lin HZ, Huang Z, *et al.* Effects of *lycium barbarum* polysaccharide on growth performance, antioxidant capacity, serum immune and biochemical indexes of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(1): 418–427 [谭连杰, 林黑着, 黄忠, 等. 枸杞多糖对卵形鲳鲹生长性能、抗氧化能力及血清免疫、生化指标的影响. *动物营养学报*, 2019, 31(1): 418–427]
- Tan XH. Assessment of arginine and leucine requirement for juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus*. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2015, 1–58 [谭小红. 卵形鲳鲹幼鱼对饲料中精氨酸和亮氨酸需求量的研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2015, 1–58]
- Wang F. Study on the optimum protein and lipid requirement and supplementation with animal and plant ingredient in feeds for golden pompano *Trachinotus ovatus*. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2012, 1–49 [王飞. 卵形鲳鲹饲料最适蛋白和脂肪需求及添加不同动植物原料的研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2012, 1–49]
- Wang LL, Li BS, Wang JY, *et al.* Effects of dietary vitamin D₃ on growth performance, body composition, and antioxidant capacity of the juvenile sea cucumber. *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(1): 110–118 [王丽丽, 李宝山, 王际英, 等. 维生素 D₃ 对仿刺参幼参生长、体组成及抗氧化能力的影响. *渔业科学进展*, 2019, 40(1): 110–118]
- Wang WF, Mai KS, Zhang WB, *et al.* Dietary selenium requirement and its toxicity in juvenile abalone *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquaculture*, 2012, 330–333: 42–46
- Wu F, Wen H, Jiang M, *et al.* Effects of different dietary carbohydrate levels on growth performance, body composition and serum biochemical indices of juvenile hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂). *Journal of South China Agricultural University*, 2011, 32(4): 91–95 [吴凡, 文华, 蒋明, 等. 饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼幼鱼生长、体成分和血清生化指标的影响. *华南农业大学学报*, 2011, 32(4): 91–95]
- Xie DZ, Liu Z, Xiao DY, *et al.* Study on selenium in aquatic animal nutrition. *Hunan Feed*, 2010(6): 30, 34–36 [谢帝芝, 刘臻, 肖调义, 等. 硒元素在水产动物营养中的研究. *湖南饲料*, 2010(6): 30, 34–36]
- Xun PW, Lin HZ, Huang Z, *et al.* Dietary pantothenic acid requirement of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *South China Fisheries Science*, 2018, 14(5): 80–87 [荀鹏伟, 林黑着, 黄忠, 等. 卵形鲳鲹对饲料中泛酸的需求量. *南方水产科学*, 2018, 14(5): 80–87]
- Xun PW, Lin HZ, Wang RX, *et al.* Effects of dietary vitamin B₁ on growth performance, intestinal digestion and absorption, intestinal microflora and immune response of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *Aquaculture*, 2019, 506: 75–83
- Zhang M. Physiological functions and clinical applications of human albumin. *Sichuan Journal of Physiological Sciences*, 2011, 33(1): 36–38 [张敏. 人血浆白蛋白的生理功能及临床应用. *四川生理科学杂志*, 2011, 33(1): 36–38]
- Zhang QW, Chen C, Shao YX, *et al.* Effects of selenomethionine on growth performance, tissue selenium content, antioxidant capacity and serum biochemical indices of *centropomus striata*. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(11): 4746–4756 [张清雯, 陈超, 邵彦翔, 等. 硒代蛋氨酸对条纹锯鲷生长性能、组织硒含量、抗氧化能力及血清生化指标的影响. *动物营养学报*, 2018, 30(11): 4746–4756]
- Zhang TX, Chen Q, Zhang BL, *et al.* The effects of curcumin on the growth, digestion and antioxidant ability of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(6): 56–63 [张滕闲, 陈钱, 张宝龙, 等. 姜黄素对黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*) 生长、消化与抗氧化能力的影响. *渔业科学进展*, 2017, 38(6): 56–63]
- Zhang XD, Zhang X, Tao LL, *et al.* Effects of fish oil replacement by rubber seed oil on growth performance, digestive enzyme activity, lipoprotein content and antioxidant capacity of juvenile genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(3): 1007–1018 [张新党, 张曦, 陶琳丽, 等. 橡胶籽油替代鱼油对吉富罗非鱼幼鱼生长性能、消化酶活性、脂蛋白含量和抗氧化功能的影响. *动物营养学报*, 2018, 30(3): 1007–1018]
- Zhang YY, Liu B, Ge XP, *et al.* Effect of dietary oil sources on growth performance, body composition, the serum biochemical indices, fatty acids composition and lipid metabolism of *Carassius auratus gibelio*. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(7): 1111–1118 [张媛媛, 刘波, 戈贤平, 等. 不同脂肪源对异育银鲫生长性能、机体成分、血清生化指标、体组织脂肪酸组成及脂质代谢的影响. *水产学报*, 2012, 36(7): 1111–1118]
- Zhou CP, Ge XP, Niu J, *et al.* Effect of dietary carbohydrate levels on growth performance, body composition, intestinal and hepatic enzyme activities, and growth hormone gene expression of juvenile golden pompano, *Trachinotus ovatus*. *Aquaculture*, 2015, 437: 390–397

(编辑 陈 辉)

Dietary Selenium Requirement of Golden Pompano (*Trachinotus ovatus*)

YU Wanfeng^{1,2}, LIN Heizhao^{2,3}①, HUANG Zhong^{2,3}, YU Wei^{2,3}, ZHOU Chuanpeng²,
TAN Lianjie^{1,2}, XUN Pengwei^{1,2}, HUANG Qianqian^{1,2}, HUANG Xiaolin^{2,3}

(1. College of Fisheries and Life Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 2. Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300; 3. Shenzhen Base of South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shenzhen 518121)

Abstract To determine the optimal dietary selenium requirement of golden pompano (*Trachinotus ovatus*), a total of 450 fish with an initial body weight of (15.04±0.20) g were randomly assigned into 6 groups with 3 replicates per group and 25 fish per replicate. The fish were fed isonitrogenous and isolipidic diets with sodium selenite (Na₂SeO₃) as the selenium source for 50 days, which the selenium contents were 0.41, 0.60, 0.73, 0.80, 0.90 and 1.12 mg/kg, respectively. The results showed that weight gain rate and specific growth rate firstly increased and then remained stable with the increased dietary selenium content, while the feed conversion ratio had an opposite trend. No significant difference was found in the whole body composition ($P>0.05$). In serum, with the dietary selenium levels increasing, the contents of albumin and high density lipoprotein cholesterol firstly increased and then decreased, while the activity of alkaline phosphatase increased and then remained stable. The selenium in the feed had significant effects on the activities of glutathione peroxidase and superoxide dismutase in the serum, and glutathione peroxidase, glutathione S-transferase, glutathione reductase, catalase in the liver ($P<0.05$). As the dietary selenium levels increased, the activities of glutathione peroxidase, glutathione S-transferase and catalase firstly increased and then remained stable, whereas the activities of superoxide dismutase and glutathione reductase increased and then decreased. The selenium levels in feed significantly affected the selenium concentration in the whole body ($P<0.05$), as the dietary selenium content increased, whole body selenium concentration increased and then remained stable. Broken-line regression analysis based on the weight gain rate, serum glutathione peroxidase activity and whole body selenium concentration indicate that the optimal dietary selenium requirements for golden pompano are 0.66, 0.82 and 0.76 mg/kg, respectively.

Key words *Trachinotus ovatus*; Selenium; Requirement; Growth performance; Antioxidant capacity

① Corresponding author: LIN Heizhao, E-mail: linheizhao@163.com