



李小霞, 陈 锋, 潘 庆, 等. 酵母硒对凡纳滨对虾生长和抗氧化性能的影响[J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(6): 108-112.

# 酵母硒对凡纳滨对虾生长和抗氧化性能的影响

李小霞<sup>1</sup>, 陈 锋<sup>1</sup>, 潘 庆<sup>1</sup>, 陈翠英<sup>1</sup>, 谭玉文<sup>1</sup>, 雷小婷<sup>1</sup>, 曹俊明<sup>2</sup>

(1 华南农业大学 动物科学学院, 广东 广州 510642; 2 广东省农业科学院 畜牧研究所, 广东 广州 510640)

**摘要:**【目的】研究饲料中添加不同水平酵母硒对凡纳滨对虾生长和抗氧化性能的影响。【方法】选取初始体质量为(0.41±0.01)g的凡纳滨对虾 *Litopenaeus vannamei* 720尾, 随机分为6个试验组, 每组3个重复, 每个重复40尾虾, 在室内循环水养殖系统(容积250L)中进行为期56d的生长试验。在基础饲料中分别添加硒(酵母硒)0、0.15、0.30、0.45、0.60、1.00 mg·kg<sup>-1</sup>, 制成6种不同硒水平的半纯化饲料, 实测饲料硒质量分数分别为0.25、0.41、0.56、0.68、0.84、1.20 mg·kg<sup>-1</sup>。【结果和结论】结果表明, 添加酵母硒对凡纳滨对虾增质量率、特定生长率、饲料系数、成活率均无显著影响( $P>0.05$ ), 随着饲料硒水平的增加, 凡纳滨对虾的增质量率和特定生长率不断升高, 在0.84 mg·kg<sup>-1</sup>硒组达到最大值。各试验组对虾肝胰腺超氧化物歧化酶和总抗氧化能力均高于对照组, 而丙二醛含量均低于对照组, 但差异不显著( $P>0.05$ )。以增质量率和特定生长率为评价指标, 通过二次线性回归分析表明, 在该试验条件下凡纳滨对虾饲料中硒含量为0.98 mg·kg<sup>-1</sup>时其生长性能最高。

**关键词:** 凡纳滨对虾; 酵母硒; 生长性能; 抗氧化能力

中图分类号: S963.73

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2014)06-0108-05

## Effects of yeast selenium on the growth and antioxidative performance in *Litopenaeus vannamei*

LI Xiaoxia<sup>1</sup>, CHEN Feng<sup>1</sup>, PAN Qing<sup>1</sup>, CHEN Cuiying<sup>1</sup>, TAN Yuwen<sup>1</sup>, LEI Xiaoting<sup>1</sup>, CAO Junming<sup>2</sup>

(1 College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:**【Objective】The effects of dietary yeast selenium on the growth and antioxidant performance were studied in *Litopenaeus vannamei*. 【Method】Seven hundred and twenty healthy *Litopenaeus vannamei* with an initial average body mass of (0.41±0.01)g were randomly stocked into 6 groups with 3 replicates per group and 40 shrimps per replicate in re-circulated water system. The basal diet was supplemented with 0, 0.15, 0.30, 0.45, 0.60 and 1.00 mg·kg<sup>-1</sup> selenium (yeast selenium) respectively and these shrimps were fed with 6 semi-purified diets containing graded levels of 0.25, 0.41, 0.56, 0.68, 0.84, 1.20 mg·kg<sup>-1</sup> of selenium, respectively for 56 d. 【Result and conclusion】The results showed that mass gain rate (MGR), specific growth rate (SGR), feed conversion rate (FCR), survival rate (SR) had no significant difference among all groups ( $P>0.05$ ), but with the increase of yeast selenium levels, MGR and SGR increased and the highest value was found in the 0.84 mg·kg<sup>-1</sup> group. The total antioxidative capacity (T-AOC) and superoxide dismutase (SOD) of shrimp in hepstopsncreas were higher than those of the control group, while the malondialdehyde (MDA) content was lower than that of the control group. But there were no significant differences ( $P>0.05$ ). A quadratic linear regression a-

收稿日期: 2013-09-04 优先出版时间: 2014-09-30

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20141003.1249.022.html>

作者简介: 李小霞(1985—), 女, 博士研究生, E-mail: 852551793@qq.com; 通信作者: 潘 庆(1969—), 女, 教授, 博士, E-mail: qpan@scau.edu.cn

基金项目: 广东省自然科学基金团队项目(10351064001000000)

<http://xuebao.scau.edu.cn>

analysis showed that using MGR and SGR as response criteria in cultured condition, the optimum dietary selenium content for the highest growth in *Litopenaeus vannamei* was  $0.98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  of dietary mass.

**Key words:** *Litopenaeus vannamei*; yeast selenium; growth; antioxidative performance

凡纳滨对虾 *Litopenaeus vannamei* 是世界养殖产量最高的三大优良品种之一,随着对虾养殖业的迅速发展,大规模和高密度的人工养殖使养殖环境日趋恶化,对虾营养代谢失衡,病害频频发生.研究发现,硒是维持人和动物正常生长及生理功能的必需微量营养素之一,是谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)和含硒转移核糖核酸(tRNA)的组成成分,对动物的生长发育、免疫机能和抗氧化发挥着重要作用,在动物营养中已逐步得到广泛的研究和应用<sup>[1]</sup>.研究表明,鱼类硒缺乏会导致肌营养不良、贫血甚至死亡<sup>[2]</sup>,但硒含量过高亦会产生毒害作用<sup>[3-4]</sup>;在饲料中添加适量的硒源,能显著提高养殖动物的生长速度、成活率和抗氧化酶活性,增强免疫力<sup>[5-6]</sup>.本试验拟在饲料中添加不同水平酵母硒,研究其对凡纳滨对虾生长和抗氧化能力的影响,旨在丰富凡纳滨对虾硒营养的相关知识,为合理利用酵母硒,科学配制凡纳滨对虾饲料提供理论依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验虾与酵母硒

试验用凡纳滨对虾购自正大集团珠海虾苗厂,为当年虾苗,酵母硒由广东海大集团股份有限公司提供,测定硒质量分数为  $1\ 600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

### 1.2 试验饲料

根据凡纳滨对虾的营养需求<sup>[7]</sup>,以鱼粉、酪蛋白和明胶为主要蛋白源,鱼油和大豆磷脂为脂肪源,玉米淀粉和豌豆蛋白粉为糖源配制基础饲料.饲料配方及营养组成见表1.以酵母硒为硒源,采用单因素试验设计,在基础饲料中分别添加硒(酵母硒)0、0.15、0.30、0.45、0.60和  $1.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,配制成6种试验饲料,实测饲料硒质量分数分别为0.25、0.41、0.56、0.68、0.84、 $1.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .饲料原料经粉碎过60目筛后混合均匀,用SLX-80型双螺杆挤压机制成直径为1.0 mm的颗粒饲料,在50℃烘箱中烘干,冷却后放入密封袋中,-20℃冰箱中保存备用.

### 1.3 试验条件及饲养管理

养殖试验于2012年7—9月在室内循环水养殖系统中进行(约250 L).试验开始前将对虾在室外水泥池中暂养2周,期间投喂基础饲料.试验开始时,

选取初始体质量为  $(0.41 \pm 0.01) \text{ g}$  幼虾720尾,随机分为6个处理组,每组3个重复,每重复40尾虾.养殖周期为56 d,每天饱食投喂3次(08:30、14:30、20:00),并在投喂0.5~1 h后,吸取残饵,同时根据摄食情况及时调整投喂量,计算摄食量和饲料系数.试验水源为经沙滤、消毒后的淡化海水,盐度3.5‰~5.5‰.试验期间,水温25~32℃,溶解氧 $> 5.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,氨氮 $< 0.20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,亚硝酸氮 $< 0.10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,pH 7.6~8.0,每3 d排污1次,每7 d换水1/4~1/3.

### 1.4 样品采集与测定

养殖试验结束后禁食24 h,计数、称质量.计算其成活率、饲料系数、增质量率以及特定增长率.每桶随机取15尾虾做全虾样品,采用国际标准方法AOAC(1993)<sup>[8]</sup>进行体成分测定,水分用105℃常压干燥法测定;蛋白质含量用凯氏定氮法测定;脂肪含量用索氏石油醚抽提法测定;粗灰分用550℃高温炉灼烧法测定.另每桶随机取15尾虾,称质量,剥离肝胰腺,匀浆后,在4℃条件下以3 500~4 000 r/min离心10 min,取上清液分装,-80℃条件保存备用.对虾肝胰腺中超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、总抗氧化能力(T-AOC)、丙二醛(MDA)含量及匀浆液中总蛋白含量的测定计算方法参照南京建成生物工程研究所试剂盒说明书.

相关生长指标计算公式如下:

$$\text{增质量率} = (m_t - m_0) / m_0 \times 100\%$$

$$\text{成活率} = \text{终末尾数} / \text{初始尾数} \times 100\%$$

$$\text{特定增长率} = (\ln m_t - \ln m_0) / t \times 100\%$$

$$\text{摄食量} = \text{总投喂量} - \text{残饵量},$$

$$\text{饲料系数} = \text{摄食量} / (m_t + m_1 - m_0),$$

$$\text{肝胰指数} = m_h / m_b \times 100\%$$

式中: $m_0$ —试验开始时虾尾均质量(g), $m_1$ —试验中死亡虾体质量, $m_t$ —试验结束时虾尾均质量(g), $m_h$ —虾肝胰腺质量, $m_b$ —虾体质量, $t$ —养殖时间(d).

### 1.5 数据分析

试验数据用平均值±标准误表示,采用SPSS 20.0版软件进行分析和统计,先对数据作单因素方差分析(ANOVA),若处理组间差异显著,再采用Duncan's多重比较.

表1 饲料配方及营养组成

Tab.1 Composition and nutrient levels of the experimental diets

$w(\text{酵母硒})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	饲料原料及质量分数/%									
	鱼粉	酪蛋白	明胶	豌豆蛋白粉	玉米淀粉	鱼油	大豆磷脂	乌贼膏	磷酸二氢钙	微晶纤维素
0.00	10.00	22.00	8.00	8.00	28.50	6.50	2.00	2.40	3.00	3.00
0.15	10.00	22.00	8.00	8.00	28.50	6.50	2.00	2.40	3.00	3.00
0.30	10.00	22.00	8.00	8.00	28.50	6.50	2.00	2.40	3.00	3.00
0.45	10.00	22.00	8.00	8.00	28.50	6.50	2.00	2.40	3.00	3.00
0.60	10.00	22.00	8.00	8.00	28.50	6.50	2.00	2.40	3.00	3.00
1.00	10.00	22.00	8.00	8.00	28.50	6.50	2.00	2.40	3.00	3.00

  

$w(\text{酵母硒})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	饲料原料及质量分数/%					营养成分					总能/ $(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1})$
	复合矿物质 <sup>1)</sup>	维生素预混料 <sup>2)</sup>	氯化胆碱	胆固醇	$w(\text{水分})/\%$	$w(\text{粗蛋白})/\%$	$w(\text{粗脂肪})/\%$	$w(\text{粗灰分})/\%$	$w(\text{硒})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$		
0.00	2.50	2.50	1.00	0.60	4.69	42.43	9.71	9.17	0.25	20.18	
0.15	2.50	2.50	1.00	0.60	4.64	42.05	9.30	8.85	0.41	20.15	
0.30	2.50	2.50	1.00	0.60	4.53	41.92	9.38	9.05	0.56	20.13	
0.45	2.50	2.50	1.00	0.60	4.38	41.77	9.08	8.89	0.68	20.09	
0.60	2.50	2.50	1.00	0.60	4.63	41.98	9.36	9.02	0.84	20.15	
1.00	2.50	2.50	1.00	0.60	4.22	41.62	9.41	8.89	1.20	20.07	

1) 复合矿物质原料由广州海因特水产科技有限公司提供,每千克复合矿物质预混料中含有:NaCl 59.34 g、KCl 114.54 g、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  146.08 g、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0.84 g、 $\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  4.95 g、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  3.67 g、 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  19.35 g、 $\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$  0.04 g、 $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.50 g、沸石粉 397.76 g、 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  252.93 g;2) 维生素预混料由广州飞禧特水产科技有限公司提供,每千克多维预混料中含有: $\text{V}_A$   $4 \times 10^6$  IU、 $\text{V}_E$  30 g、 $\text{V}_D$   $2.0 \times 10^6$  IU、 $\text{V}_{K_3}$  10 g、 $\text{V}_{B_1}$  5 g、 $\text{V}_{B_2}$  15 g、 $\text{V}_{B_6}$  8 g、 $\text{V}_{B_{12}}$  20 mg、烟酸 40 g、泛酸钙 25 g、叶酸 2.5 g、肌醇 150 g、生物素 80 mg、水分 10%。

## 2 结果

### 2.1 酵母硒水平对凡纳滨对虾生长性能的影响

饲料中添加不同水平的酵母硒对表2中所列凡纳滨对虾各项生长性能指标均无显著影响 ( $P > 0.05$ ),但对虾末均质量、增质量率、特定生长率和成活率均高于对照组,且增质量率和特定生长率均以

0.60  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  硒组最高(分别提高了 15.79% 和 7.78%);添加酵母硒组饲料系数均较对照组下降,降低了 8.08% ~ 11.45%。采用多项式分析饲料酵母硒水平与凡纳滨对虾增质量率、特定生长率之间的相关关系。结果表明,凡纳滨对虾获得最大增质量率和最大特定生长率时饲料中硒的最低质量分数为 0.98  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

表2 饲料酵母硒水平对凡纳滨对虾生长性能的影响<sup>1)</sup>

Tab.2 Effects of dietary yeast selenium levels on the growth performance in *Litopenaeus vannamei*

$w(\text{酵母硒})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	初均 体质量/g	末均 体质量/g	增质量 率/%	特定 生长率/%	饲料 系数	成活率/%	肝胰 指数/%
0.00	0.42 ± 0.02	1.88 ± 0.04	355.75 ± 28.56	2.70 ± 0.11	2.97 ± 0.16	92.50 ± 1.44	6.21 ± 0.45
0.15	0.41 ± 0.01	1.94 ± 0.05	377.69 ± 21.98	2.79 ± 0.08	2.63 ± 0.06	95.00 ± 2.89	6.32 ± 0.26
0.30	0.42 ± 0.00	2.09 ± 0.07	401.43 ± 22.54	2.88 ± 0.08	2.70 ± 0.08	93.33 ± 4.41	6.34 ± 0.29
0.45	0.41 ± 0.00	2.05 ± 0.11	394.69 ± 25.54	2.85 ± 0.09	2.73 ± 0.10	93.33 ± 3.63	6.33 ± 0.15
0.60	0.41 ± 0.01	2.10 ± 0.05	411.92 ± 19.60	2.91 ± 0.07	2.69 ± 0.12	93.33 ± 2.20	6.26 ± 0.18
1.00	0.41 ± 0.01	2.10 ± 0.13	407.71 ± 29.24	2.90 ± 0.10	2.63 ± 0.10	95.83 ± 2.20	6.07 ± 0.35

1) 同列数据后无标注字母者表示差异不显著 ( $P > 0.05$ , Duncan's 法)。

## 2.2 酵母硒水平对凡纳滨对虾体成分和肝胰腺抗氧化指标的影响

由表3可以看出,试验组全虾体脂肪含量与对照组差异不显著( $P > 0.05$ ); $0.60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 硒添加组全虾体蛋白含量显著高于对照组( $P < 0.05$ ),其他试验组与对照组均无显著性差异( $P > 0.05$ ).全虾水分含量在 $0.60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 硒添加组呈现最高值,但各

组间差异不显著( $P > 0.05$ ).饲料中添加酵母硒可提高凡纳滨对虾肝胰腺 T-AOC 活性,降低 MDA 含量, GSH-Px 活性随添加量的增加表现出先上升后下降的趋势,但均未达到显著水平( $P > 0.05$ ).添加酵母硒对肝胰腺 SOD 活性有一定的影响, $0.15$ 、 $0.60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 硒添加组 SOD 活性均显著高于对照组( $P < 0.05$ ),其余各试验组间差异不显著( $P > 0.05$ ).

表3 饲料酵母硒水平对凡纳滨对虾体成分(湿质量)和肝胰腺抗氧化指标的影响<sup>1)</sup>

Tab.3 Effects of dietary yeast selenium levels on body composition (wet mass basis) and antioxidant indexes of hepatopancreas in *Litopenaeus vannamei*

$w$ (酵母硒)/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$w$ (水分)/%	$w$ (粗蛋白)/%	$w$ (粗脂肪)/%	T-AOC 活性/ ( $\text{U} \cdot \text{mg}^{-1}$ )	GSH-Px 活性/ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{mg}^{-1}$ )	SOD 活性/ ( $\text{U} \cdot \text{mg}^{-1}$ )	$b$ (MDA)/ ( $\text{nmol} \cdot \text{mg}^{-1}$ )
0.00	77.08 ± 0.46a	15.68 ± 0.00b	0.68 ± 0.04a	0.66 ± 0.40a	529.23 ± 78.64a	43.80 ± 4.50b	5.49 ± 1.10a
0.15	77.12 ± 0.98a	15.74 ± 0.07b	0.71 ± 0.07a	1.58 ± 0.14a	617.76 ± 187.89a	49.57 ± 1.55a	4.59 ± 0.24a
0.30	77.35 ± 0.52a	15.45 ± 0.06b	0.64 ± 0.02a	1.44 ± 0.62a	612.94 ± 108.06a	48.08 ± 3.14ab	4.52 ± 1.19a
0.45	77.47 ± 0.66a	15.68 ± 0.15b	0.85 ± 0.00a	1.60 ± 1.13a	423.69 ± 28.55a	43.22 ± 2.56ab	4.92 ± 0.67a
0.60	77.89 ± 0.52a	16.17 ± 0.03a	0.76 ± 0.05a	1.38 ± 0.06a	450.11 ± 45.05a	49.29 ± 0.86a	4.72 ± 0.17a
1.00	77.45 ± 0.33a	15.65 ± 0.12b	0.88 ± 0.04a	1.72 ± 0.88a	502.94 ± 80.52a	44.39 ± 4.25ab	4.49 ± 1.67a

1) 同列数据后凡有一个相同小写字母者,表示差异不显著( $P > 0.05$ , Duncan's 法)。

## 3 讨论

硒是动物生长所必需的微量元素,对水产动物有促生长作用,研究证明,硒可促进生长激素合成与分泌,从而加快动物的生长和蛋白质合成<sup>[9]</sup>.本试验结果表明,饲料中硒质量分数为 $0.98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时凡纳滨对虾的生长性能最佳,特定生长率和增质量率均达到最大值,饲料系数最低.类似结论已有报道<sup>[10-11]</sup>.研究发现,在异育银鲫饲料中添加硒酵母可不同程度促进异育银鲫的生长,提高饲料利用率<sup>[12]</sup>.另外,在中国对虾<sup>[13]</sup>试验中发现,添加外源硒可显著提高其增质量率和饲料效率.这些研究结果均与本试验的结果有所不同,原因可能是试验对象、饲料原料、养殖条件、硒源等与本试验存在差异;或者可能与饲料中鱼粉量有关.有学者指出,鱼粉是饲料硒的重要来源<sup>[11]</sup>.本试验饲料配方中含有10%的鱼粉,可能使饲料中硒含量已经达到凡纳滨对虾对硒的最小需求量,故再添加硒对其生长和抗氧化性能无显著影响.另外,Alam等<sup>[14]</sup>认为影响营养素作用效果的关键因素是吸收,不同动物对不同来源的硒在肠道内的吸收率是不同的.

饲料中硒水平对凡纳滨对虾体成分的影响表明,硒摄入的增加,增加了虾体对饲料蛋白利用率,提高了蛋白质效率.有研究表明,适量添加硒可提高

草鱼鱼体和肌肉中的粗蛋白质含量,降低粗脂肪含量<sup>[10]</sup>.梁萌青等<sup>[4]</sup>研究发现,在鲈鱼饲料中添加 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 硒可以提高鱼体蛋白含量,但对脂肪、粗灰分和水分含量无显著影响.储霞玲等<sup>[15]</sup>在凡纳滨对虾饲料中联合添加蛋氨酸硒和谷胱甘肽的试验中发现,添加量 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 硒 +  $120 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 谷胱甘肽可显著提高虾体蛋白含量.本试验结果表明,添加适量酵母硒可显著提高全虾体蛋白含量,对体脂肪含量的影响不显著.与前人在添加硒可提高体蛋白上的研究结果类似,可能是硒的添加影响了机体对蛋白的代谢,具体原因需做进一步的研究.

硒的主要生物学功能是清除生物体内过多的活性氧自由基,保护细胞膜的正常功能,防止细胞和亚细胞膜受到过氧化物的破坏.研究表明动物体通过抗氧化或自由基防御系统能有效地清除脂质过氧化物等活性氧,并终止自由基链式反应,从而对脂质过氧化作用的损伤进行防御.肝胰腺 GSH-Px、T-AOC、SOD 活性和 MDA 含量是反映机体抗氧化能力的重要指标.本试验结果表明,饲料中添加适量酵母硒可提高凡纳滨对虾机体抗氧化能力,但未达到显著水平,这与赵吉伟等<sup>[11]</sup>在虹鳟上研究结论相似.有学者发现在饲料中添加适量有机硒对动物的生长和抗氧化性能有显著影响<sup>[16-17]</sup>,这些添加硒对养殖动物抗氧化能力的研究结果均与本试验的结果有所不同.

表明不同养殖对象对硒源的吸收和机体抗氧化能力方面存在很大的差异. 本试验结果说明, 在凡纳滨对虾饲料中补充添加适量的硒对机体抗氧化能力的改善有一定的促进作用.

#### 参考文献:

- [1] 陈敏. 微量元素硒的存在形式及其生物学功能 [J]. 中国畜牧杂志, 2005, 41(6): 60-63.
- [2] BELL J G, PIRIE B, 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 (2): 305-311.
- [3] WANG Weifang, MAI Kangsen, ZHANG Wenbing, et al. Dietary selenium requirement and its toxicity in juvenile abalone *Haliotis discus hannai* Ino [J]. Aquaculture, 2012, 330/331/332/333: 42-46.
- [4] 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 [J]. 中国水产科学, 2006, 13(6): 1017-1022.
- [5] WANG Weina, WANG Anli, ZHANG Yajuan. Effect of dietary higher level of selenium and nitrite concentration on the cellular defense response of *Penaeus vannamei* [J]. Aquaculture, 2006, 256 (1/2/3/4): 558-563.
- [6] ZHOU Xuxia, WANG Yanbo, GU Qing, et al. Effects of different dietary selenium sources (selenium nanoparticle and selenomethionine) on growth performance, muscle composition and glutathione peroxidase enzyme activity of crucian carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. Aquaculture, 2009, 291 (1/2): 78-81.
- [7] 刘群芳, 曹俊明, 黄燕华, 等.  $\beta$ -葡聚糖与硒、维生素 E 联合添加对凡纳滨对虾组织生化指标及免疫、抗氧化相关酶 mRNA 表达的影响 [J]. 动物营养学报, 2013, 25(5): 1045-1053.
- [8] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official methods of analysis [M] // HELRCH K. Association of official analytical chemists. 16th ed. Rockville: AOAC International Publishers, 1993: 1298.
- [9] ARTHUR J R, NICOL F, BECKETT G J. Hepatic iodothyronine 5'-deiodinase: The role of selenium [J]. Biochem J, 1990, 272(2): 537-540.
- [10] 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 [J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(2): 124-129.
- [11] 赵吉伟, 张颖, 卢彤岩, 等. 不同硒源对虹鳟生长性能及抗氧化能力的影响 [J]. 水产学杂志, 2005, 18(2): 28-34.
- [12] 华雪铭, 周洪琪, 邱小琮, 等. 饲料中添加芽孢杆菌和硒酵母对异育银鲫的生长及抗病力的影响 [J]. 水产学报, 2001, 25(5): 448-453.
- [13] 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 [J]. 水产学报, 1994, 18(3): 245-248.
- [14] ALAM M, TANAKA A, ALLINSON G, et al. A comparison of trace element concentrations in cultured and wild carp (*Cyprinus carpio*) of Lake Kasumigaura, Japan [J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2002, 53(3): 348-354.
- [15] 储霞玲, 曹俊明, 赵红霞, 等. 饲料中联合添加硒和谷胱甘肽对凡纳滨对虾生长、饲料系数和体成分的影响 [J]. 饲料工业, 2008, 29(12): 28-31.
- [16] 刘新轶, 马恒甲, 冯晓宇, 等. 补充有机硒对杂交鳢生长性能及抗氧化能力的影响 [J]. 饲料研究, 2013(4): 57-59.
- [17] WANG Yanbo, XU Baohua. Effect of different selenium source (sodium selenite and selenium yeast) on broiler chickens [J]. Anim Feed Sci Technol, 2008, 144 (3/4): 306-314.

【责任编辑 柴 焰】