

# 不同硒源对肉鸡生长性能、血清和肌肉硒含量、抗氧化能力及肉品质的影响

赵亚伟<sup>1</sup> 汤加勇<sup>1</sup> 贾刚<sup>1</sup> 田刚<sup>1</sup> 刘光芒<sup>1</sup>陈小玲<sup>1</sup> 蔡景义<sup>1</sup> 康波<sup>2</sup> 赵华<sup>1\*</sup>

(1.四川农业大学动物营养研究所,动物抗病营养教育部重点实验室,成都 611130;

2.四川农业大学动物科技学院,成都 611130)

**摘要:** 本试验旨在研究不同硒源对肉鸡生长性能、血清和肌肉硒含量、抗氧化能力及肉品质的影响。选取1日龄爱拔益加(AA)雄性肉鸡450羽,随机分为5组,每组6个重复,每个重复15只鸡。对照组(CON组)饲喂不添加硒的基础饲料,试验组分别在基础饲料中添加0.3 mg/kg(以硒计)的亚硒酸钠(SS组)、酵母硒(SeY组)、羟基-硒代蛋氨酸(HMSeBA组)和纳米硒(Nano-Se组)。试验期42 d。结果表明:1)各组之间肉鸡的体重、平均日增重和平均日采食量均无显著差异( $P>0.05$ )。与CON组、SeY组和HMSeBA组相比,Nano-Se组肉鸡1~21日龄的料重比显著降低( $P<0.05$ )。2)与CON组相比,SS组、SeY组、HMSeBA组和Nano-Se组肉鸡血清、胸肌和腿肌硒含量显著升高( $P<0.05$ )。各组肉鸡胸肌和腿肌硒含量高低依次为:HMSeBA组>SeY组>Nano-Se组 $\approx$ SS组>CON组。3)与CON组相比,SS组、SeY组、HMSeBA组和Nano-Se组肉鸡血清和腿肌谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性显著升高( $P<0.05$ )。各组之间肉鸡血清、胸肌和腿肌总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性、总抗氧化能力(T-AOC)及丙二醛(MDA)含量无显著差异( $P>0.05$ )。4)各组之间肉鸡胸肌和腿肌的蒸煮损失、滴水损失、pH及亮度( $L^*$ )、黄度( $b^*$ )值均无显著差异( $P>0.05$ )。与SeY组和HMSeBA组相比,Nano-Se组的胸肌的45 min红度( $a^*$ )值显著升高( $P<0.05$ )。综上所述,本试验条件下,饲料添加不同硒源对肉鸡平均日增重、平均日采食量无显著影响,但饲料添加纳米硒降低了肉鸡1~21日龄的料重比;饲料添加不同硒源提高了肉鸡血清和肌肉的硒含量;饲料添加纳米硒能够一定程度改善肉鸡肉品质。

**关键词:** 肉鸡;硒源;硒含量;抗氧化;肉品质

中图分类号:S831

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2021)04-2024-09

硒(Se)是动物必需的微量元素,在提高畜禽生长性能、抗氧化能力和改善肉品质等方面发挥着重要作用。缺硒易导致畜禽发生肌营养不良、渗出性素质等缺乏症。传统硒添加剂以亚硒酸钠为主,但因存在生物利用率低、毒性强等诸多缺点

已被部分国家减少或禁止使用。因此,生物活性强、利用率高、环境污染小的有机硒和纳米硒在现代养殖中的应用越来越广泛。已有研究表明,有机硒和纳米硒在家禽生长性能、抗氧化能力和肉品质等方面的积极作用均优于无机硒<sup>[1]</sup>。

收稿日期:2020-08-28

基金项目:国家自然科学基金(31772643,31272468);四川农业大学双支计划(03570126);四川隆达畜牧科技有限公司项目(2015SCLD001)

作者简介:赵亚伟(1994—),男,河南郑州人,硕士研究生,从事饲料资源开发与利用研究。E-mail: yawzhao@126.com

\*通信作者:赵华,教授,博士生导师,E-mail: zhua666@126.com

纳米硒是利用纳米技术制备而成的单质硒,粒径一般在 60 nm 以下,其不仅具有比普通单质硒和无机硒更好的生物活性,还具有纳米尺寸效应和抗菌抑菌的效果<sup>[2-3]</sup>。与无机硒相比,纳米硒具有较高的生物学效价、硒沉积率、稳定性以及较低的毒性<sup>[4-5]</sup>;而与有机硒相比,纳米硒具有较高的产品稳定性以及低廉的价格。目前,在家禽生产中,酵母硒、硒代甲硫氨酸、纳米硒与无机硒的比较研究较多<sup>[6-9]</sup>,但不同硒源对肉鸡生长性能、组织硒沉积及肌肉品质之间的比较缺乏系统研究。在此,本试验拟以肉鸡为研究对象,考察 4 种不同硒源(亚硒酸钠、酵母硒、羟基-硒代蛋氨酸和纳米硒)对肉鸡生长性能、血清和肌肉硒含量、抗氧化能力及肉品质的影响,以期各硒源在肉鸡生产中的合理应用提供参考依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

亚硒酸钠来自成都某饲料有限公司,硒含量 1%;酵母硒来自宜昌某股份有限公司,硒含量 0.2%;羟基-硒代蛋氨酸来自法国某公司,硒含量

2%;纳米硒来自某生物科技有限公司,硒含量 0.3%。

### 1.2 试验设计

将 450 羽 1 日龄爱拔益加(AA)雄性肉鸡(购自湖北襄大农牧有限公司)按照单因素试验设计随机分为 5 组,每组 6 个重复,每个重复 15 只鸡。对照组(CON 组)饲喂不添加硒的基础饲料,试验组分别在基础饲料中添加 0.3 mg/kg(以硒计)的亚硒酸钠(SS 组)、酵母硒(SeY 组)、羟基-硒代蛋氨酸(HMSeBA 组)和纳米硒(Nano-Se 组)。试验期 42 d,分为 1~21 日龄、22~42 日龄 2 个阶段。

### 1.3 试验饲料和饲养管理

试验在四川农业大学动物营养研究所教学科研基地进行。采用网上笼养,自由饮水和采食,定期清粪消毒。每日观察并记录鸡只生长状况和饲料损失,其他饲养管理按照常规程序进行。基础饲料参照我国农业行业标准《鸡饲养标准》(NY/T 33—2004)进行配制,基础饲料组成及营养水平见表 1。SS 组、SeY 组、HMSeBA 组和 Nano-Se 组饲料硒含量(实测值)分别为:1~21 日龄 1 to 21 days of age,0.42、0.42、0.43 和 0.43 mg/kg;22~42 日龄,0.47、0.47、0.49 和 0.48 mg/kg。

表 1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)

原料 Ingredients	1~21 日龄	22~42 日龄	营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup>	1~21 日龄	22~42 日龄
	1 to 21 days of age	22 to 42 days of age		1 to 21 days of age	22 to 42 days of age
玉米 Corn	56.29	60.55	代谢能 ME/(MJ/kg)	12.07	12.27
豆粕 Soybean meal	34.40	28.20	粗蛋白质 CP	20.37	18.17
豆油 Soybean oil	2.40	2.70	钙 Ca	1.01	0.91
小麦麸 Wheat bran	2.40	4.50	有效磷 AP	0.45	0.38
石粉 Limestone	1.40	1.40	赖氨酸 Lys	1.15	1.01
磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>	1.77	1.40	蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.91	0.76
苏氨酸 Thr	0.05	0.05	蛋氨酸 Met	0.60	0.48
L-赖氨酸盐酸 L-Lys·HCl	0.11	0.11	苏氨酸 Thr	0.81	0.72
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.31	0.22	缬氨酸 Val	0.93	0.83
氯化钠 NaCl	0.37	0.37	色氨酸 Try	0.23	0.21
预混料 Premix <sup>1)</sup>	0.50	0.50	硒 Se/(mg/kg)	0.14	0.18
合计 Total	100.00	100.00			

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diets: 1~21 日龄 1 to 21 days of age, VA 8 000 IU, VB<sub>1</sub> 2 mg, VB<sub>2</sub> 8 mg, VB<sub>6</sub> 3.5 mg, VB<sub>12</sub> 0.01 mg, VD<sub>3</sub> 1 000 IU, VE 20 IU, VK 0.5 mg, 泛酸 pantothenic acid 10 mg, 烟酸 niacin 35 mg, 叶酸 folic acid 0.55 mg, 胆碱 choline 1 300 mg, Fe (as ferrous sulfate) 100 mg, Cu (as copper sulfate) 8 mg, Mn (as manganese sulfate) 120 mg, Zn (as zinc sulfate) 100 mg, I (as potassium iodide) 0.7 mg; 22~42 日龄 22 to 42 days of age, VA 6 000 IU, VB<sub>1</sub> 2 mg, VB<sub>2</sub> 5 mg, VB<sub>6</sub> 3.0 mg, VB<sub>12</sub> 0.01 mg, VD<sub>3</sub> 750 IU, VE 10 IU, VK 0.5 mg, 泛酸 pantothenic acid 10 mg, 烟酸 niacin 30 mg, 叶酸 folic acid 0.55 mg, 胆碱 choline 1 000 mg, Fe (as ferrous sulfate) 80 mg, Cu (as copper sulfate) 8 mg, Mn (as manganese sulfate) 100 mg, Zn (as zinc sulfate) 80 mg, I (as potassium iodide) 0.7 mg。

2) 硒为实测值,其他营养水平为计算值。Se was a measured value, while the other nutrient levels were calculated values.

## 1.4 样品的采集与测定

### 1.4.1 生长性能

试验期间,以重复为单位,于 21 和 42 日龄早晨空腹称重,并准确记录各阶段的采食量和余料量。计算各组试验 1~21 日龄、22~42 日龄和 1~42 日龄的平均日采食量 (ADFI)、平均日增重 (ADG) 和料重比 (F/G)。

### 1.4.2 样品的采集

42 日龄后,依据体重相近原则,每个重复选取 1 只鸡,采集颈静脉血,静置 40 min 后 4 ℃、3 500 r/min 离心 10 min,取上清置于 -20 ℃ 保存备用。屠宰后取胸肌和腿肌于冻存管,放置液氮中保存备用。

### 1.4.3 硒含量的测定

按照 GB/T 13883—2008 方法处理血清、胸肌和腿肌样品,采用原子吸收光谱法 (AFS-230E 双道原子荧光光度计,北京海光仪器公司) 测定硒含量。

### 1.4.4 抗氧化指标的测定

测定血清、胸肌和腿肌的谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 和总超氧化物歧化酶 (T-SOD) 活性、总抗氧化能力 (T-AOC) 及丙二醛 (MDA) 含量。所用试剂均购自南京建成生物工程研究所,具体操作步骤按照试剂盒说明书进行。

### 1.4.5 肉品质的测定

利用色差仪和 pH 计分别测定屠宰后 45 min、

24 h 胸肌和腿肌的亮度 ( $L^*$ )、红度 ( $a^*$ )、黄度 ( $b^*$ ) 值及 pH。取胸肌或腿肌 5 g 左右称重 ( $m_1$ ), 悬空放入自封袋,并置于 0~4 ℃ 冷库中,24 h 后取出称重 ( $m_2$ ), 计算滴水损失:

$$\text{滴水损失}(\%) = 100 \times (m_1 - m_2) / m_1。$$

取胸肌或腿肌 10 g 左右称重 ( $m_3$ ), 放入 80 ℃ 的恒温水浴锅中蒸煮 30 min, 冷却 20 min 后称重 ( $m_4$ ), 计算蒸煮损失:

$$\text{蒸煮损失}(\%) = 100 \times (m_3 - m_4) / m_3。$$

## 1.5 数据处理和统计分析

利用 Excel 2016 对数据进行初步整理, 利用 SPSS 22.0 软件进行统计分析, 对试验数据进行单因素方差分析 (one-way ANOVA), 差异显著者进行 Duncan 氏法多重比较,  $P < 0.05$  表示差异显著。所有数据均以平均值 ± 标准差表示。

## 2 结果

### 2.1 不同硒源对 AA 肉鸡生长性能的影响

从表 2 可知, 各组之间肉鸡各阶段的体重、ADG 和 ADFI 均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。与 CON 组、SeY 组和 HMSeBA 组相比, Nano-Se 组肉鸡 1~21 日龄的 F/G 显著降低 ( $P < 0.05$ ); 各组之间肉鸡 22~42 日龄、1~42 日龄的 F/G 均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

表 2 不同硒源对 AA 肉鸡生长性能的影响

Table 2 Effects of different Se sources on growth performance of AA broilers

项目 Items	组别 Groups					P 值 P-value
	CON	SS	SeY	HMSeBA	Nano-Se	
体重 BW/g						
1 日龄 1 day of age	45.00±0.28	45.71±9.25	45.25±0.22	45.46±0.28	45.49±0.32	0.44
21 日龄 21 days of age	695.52±8.00	677.78±5.14	674.75±10.70	666.51±9.35	691.03±16.59	0.31
42 日龄 42 days of age	2 141.20±40.93	2 086.95±35.05	2 215.69±55.06	2 182.07±49.17	2 176.38±47.32	0.24
平均日增重 ADG/g						
1~21 日龄 1 to 21 days of age	29.26±0.38	30.10±0.24	29.98±0.51	29.58±0.44	30.74±0.78	0.32
22~42 日龄 22 to 42 days of age	70.56±1.64	66.25±1.63	73.38±2.40	72.17±2.19	70.73±1.62	0.13
1~42 日龄 1 to 42 days of age	49.91±0.97	48.17±0.84	51.68±1.31	50.87±1.17	50.74±1.12	0.33
平均日采食量 ADFI/g						
1~21 日龄 1 to 21 days of age	41.66±0.74	41.94±0.35	42.63±0.55	42.38±0.64	42.44±0.79	0.81

续表 2

项目 Items	组别 Groups					P 值 P-value
	CON	SS	SeY	HMSeBA	Nano-Se	
22~42 日龄 22 to 42 days of age	126.77±3.08	120.11±2.19	127.69±3.18	126.75±2.90	126.98±2.71	0.30
1~42 日龄 1 to 42 days of age	82.21±1.88	81.02±1.17	85.16±1.84	84.57±1.71	84.71±1.74	0.44
料重比 F/G						
1~21 日龄 1 to 21 days of age	1.43±0.01 <sup>ab</sup>	1.40±0.00 <sup>bc</sup>	1.42±0.01 <sup>ab</sup>	1.43±0.01 <sup>a</sup>	1.38±0.02 <sup>c</sup>	0.02
22~42 日龄 22 to 42 days of age	1.80±0.01	1.81±0.02	1.75±0.03	1.76±0.03	1.80±0.01	0.17
1~42 日龄 1 to 42 days of age	1.69±0.01	1.68±0.01	1.65±0.02	1.66±0.02	1.67±0.01	0.31

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ), 相同或无字母表示差异不显著 ( $P>0.05$ )。下表同。

In the same row, values with different small 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.

## 2.2 不同硒源对 AA 肉鸡血清、胸肌和腿肌硒含量的影响

从表 3 可知, 与 CON 组相比, SS 组、SeY 组、HMSeBA 组和 Nano-Se 组肉鸡胸肌和腿肌硒含量显著升高 ( $P<0.05$ )。与 SS 组相比, HMSeBA 组

和 SeY 组肉鸡胸肌硒含量显著升高 ( $P<0.05$ )。Nano-Se 组肉鸡血清、胸肌和腿肌硒含量与 SS 组无显著差异 ( $P>0.05$ )。肉鸡胸肌和腿肌硒含量高低依次为: HMSeBA 组>SeY 组>Nano-Se 组≈SS 组>CON 组。

表 3 不同硒源对 AA 肉鸡血清、胸肌和腿肌硒含量的影响

Table 3 Effects of different Se sources on contents of selenium in serum, breast and thigh muscle of AA broilers

项目 Items	组别 Groups					P 值 P-value
	CON	SS	SeY	HMSeBA	Nano-Se	
血清 Serum/( $\mu\text{g/L}$ )	112.18±3.73 <sup>c</sup>	147.68±4.89 <sup>ab</sup>	136.23±5.12 <sup>b</sup>	155.45±3.65 <sup>a</sup>	149.57±3.92 <sup>a</sup>	0.01
胸肌 Breast muscle/( $\mu\text{g/kg}$ )	167.23±3.60 <sup>d</sup>	195.16±7.61 <sup>c</sup>	247.41±3.28 <sup>b</sup>	385.19±7.60 <sup>a</sup>	197.05±7.33 <sup>c</sup>	0.01
腿肌 Thigh muscle/( $\mu\text{g/kg}$ )	170.37±12.68 <sup>c</sup>	206.25±8.26 <sup>b</sup>	240.34±11.07 <sup>b</sup>	395.94±13.27 <sup>a</sup>	207.13±9.68 <sup>b</sup>	0.01

## 2.3 不同硒源对 AA 肉鸡血清和肌肉抗氧化指标的影响

从表 4 可知, 与 CON 组相比, SS 组、SeY 组、HMSeBA 组和 Nano-Se 组肉鸡血清和腿肌 GSH-Px 活性显著升高 ( $P<0.05$ ), 但各硒源组之间肉鸡胸肌 GSH-Px 活性无显著差异 ( $P>0.05$ )。各组之间肉鸡血清、胸肌和腿肌 T-SOD 活性、T-AOC 及 MDA 含量无显著差异 ( $P>0.05$ )。

## 2.4 不同硒源对 AA 肉鸡肉品质的影响

从表 5 可知, 各组之间肉鸡胸肌和腿肌的蒸煮损失、滴水损失、 $\text{pH}_{45\text{min}}$ 、 $\text{pH}_{24\text{h}}$  及肉色的  $L_{45\text{min}}^*$

$L_{24\text{h}}^*$ 、 $b_{45\text{min}}^*$ 、 $b_{24\text{h}}^*$  值均无显著差异 ( $P>0.05$ )。与 SeY 组和 HMSeBA 组相比, Nano-Se 组的胸肌的  $a_{45\text{min}}^*$  值显著升高 ( $P<0.05$ ); 但与 CON 组和 SS 组相比, Nano-Se 组的胸肌  $a_{45\text{min}}^*$  无显著差异 ( $P>0.05$ )。各组之间肉鸡腿肌  $a_{45\text{min}}^*$  和  $a_{24\text{h}}^*$  无显著差异 ( $P>0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 不同硒源对 AA 肉鸡生长性能的影响

微量元素硒能够改善动物生长性能, 但不同硒源对动物生长性能改善程度有所差异。与亚

硒酸钠相比,饲料添加纳米硒、酵母硒或硒代蛋氨酸可通过提高饲料转化效率提高肉鸡生长性能<sup>[8,10-11]</sup>。本试验中,与 CON 组相比,饲料添加 0.3 mg/kg 纳米硒可显著降低 1~21 日龄的 F/G,与前人研究结果<sup>[10-11]</sup>一致。有研究表明,饲料添加 0.3 mg/kg 亚硒酸钠、酵母硒、DL-硒代蛋氨酸和纳米硒对肉鸡生长性能无显著影响<sup>[9,12-13]</sup>。本试验条件下,亚硒酸钠、酵母硒、羟基-硒代蛋氨酸和纳米硒添加对肉鸡各阶段的体重、ADG、ADFI 及 1~42 日龄 F/G 无显著影响,这与

Bakhshalinejad 等<sup>[9]</sup>和 Boostani 等<sup>[12]</sup>的结论一致。本试验条件下,饲料添加不同硒源对肉鸡各阶段的体重、ADG 和 ADFI 无显著影响,可能是肉鸡基础饲料中的硒含量(0.14、0.18 mg/kg)已能够满足肉鸡生长对硒的需要<sup>[14]</sup>。在 1~21 日龄,Nano-Se 组肉鸡的 F/G 最低,可能是纳米硒具有一定的抗菌和抗应激能力<sup>[2-3]</sup>。本试验在夏季炎热季节进行,同时受制于试验场环境条件,可能是本试验中 42 日龄各组体重偏低的原因。

表 4 不同硒源对 AA 肉鸡血清和肌肉抗氧化指标的影响

Table 4 Effects of different Se sources on indexes of antioxidant in serum and muscle of AA broilers

项目 Items	组别 Groups					P 值 P-value
	CON	SS	SeY	HMSeBA	Nano-Se	
血清 Serum						
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	1 695.38±77.96 <sup>c</sup>	2 021.61±166.27 <sup>ab</sup>	2 292.98±166.25 <sup>a</sup>	2 379.82±109.07 <sup>a</sup>	2 231.43±191.57 <sup>a</sup>	0.04
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	297.00±39.76	280.85±21.76	337.40±28.80	311.45±19.29	343.52±23.77	0.45
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	8.10±1.06	7.17±1.33	7.70±1.08	7.97±0.98	7.81±1.49	0.99
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	2.77±0.34	2.35±0.45	2.11±0.17	2.00±0.20	2.09±0.18	0.31
胸肌 Breast muscle						
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mg prot)	22.73±2.39	20.68±1.93	19.91±2.50	31.03±7.24	19.21±0.84	0.14
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mg prot)	0.73±0.08	0.60±0.04	0.62±0.04	0.65±0.09	0.62±0.04	0.66
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mg prot)	0.17±0.01	0.21±0.04	0.18±0.02	0.23±0.03	0.19±0.02	0.55
丙二醛 MDA/(nmol/mg prot)	0.98±0.20	1.33±0.54	0.76±0.08	0.98±0.12	0.74±0.11	0.55
腿肌 Thigh muscle						
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mg prot)	59.09±1.33 <sup>b</sup>	76.51±1.77 <sup>a</sup>	73.02±3.91 <sup>a</sup>	74.60±7.99 <sup>a</sup>	72.11±4.77 <sup>a</sup>	<0.01
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mg prot)	1.48±0.13	1.58±0.10	1.71±0.16	1.49±0.08	1.37±0.10	0.37
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mg prot)	0.22±0.03	0.21±0.05	0.27±0.04	0.24±0.02	0.21±0.01	0.40
丙二醛 MDA/(nmol/mg prot)	2.37±1.45	1.05±0.39	0.77±0.29	1.07±0.34	1.11±0.50	0.54

### 3.2 不同硒源对 AA 肉鸡血清和肌肉硒含量的影响

饲料添加硒可提高动物血清和肌肉组织硒含量,不同硒源在动物组织中的硒沉积率不尽相同。

研究发现,饲料添加 0.25 或 0.30 mg/kg 的纳米硒、亚硒酸钠、酵母硒或羟基-硒代蛋氨酸均可提高肉鸡组织硒含量,且纳米硒和羟基-硒代蛋氨酸的添加效果优于亚硒酸钠<sup>[1,15-16]</sup>。Bakhshalinejad

等<sup>[9]</sup>在肉鸡饲料中添加不同硒源发现,纳米硒组的胸肌硒含量显著高于 DL-硒代蛋氨酸组。本试验中,饲料添加不同硒源可提高肉鸡血清、胸肌和腿肌硒含量,且 Nano-Se 组的血清硒含量显著高于 SeY 组,造成该现象的原因可能与硒在体内的代谢路径有关,无机硒主要以简单扩散的方式进行吸收代谢,有机硒主要以主动运输的方式进行吸

收代谢,而纳米硒是通过被动扩散和主动转运的方式进行吸收代谢<sup>[17-18]</sup>。同时,与无机硒相比,纳米硒具有更高的表面活性和极细的粒度<sup>[3-4]</sup>,因而其所含的硒更容易在组织中富集和存留。但本试验条件下,Nano-Se 组的胸肌和腿肌硒含量却低于 HMSeBA 组和 SeY 组,与 SS 组相当,其原因还需通过试验进一步验证。

表 5 不同硒源对 AA 肉鸡肌肉品质的影响

Table 5 Effects of different Se sources on muscle quality of AA broilers

项目 Items	组别 Groups					P 值 P-value	
	CON	SS	SeY	HMSeBA	Nano-Se		
胸肌 Breast muscle							
蒸煮损失 Cooking loss/%	32.95±1.55	34.47±1.29	33.15±0.77	36.02±3.16	34.04±1.54	0.78	
滴水损失 Drip loss/%	3.23±0.12	3.49±0.21	3.13±0.39	3.13±0.17	3.35±0.16	0.78	
pH <sub>45 min</sub>	6.73±0.04	6.63±0.04	6.54±0.09	6.58±0.09	6.61±0.05	0.33	
pH <sub>24 h</sub>	5.98±0.06	5.91±0.07	6.01±0.08	5.91±0.07	5.97±0.08	0.84	
L <sub>45 min</sub> <sup>*</sup>	49.03±0.75	50.55±1.32	50.12±0.97	51.12±0.49	47.79±1.32	0.15	
	L <sub>24 h</sub> <sup>*</sup>	53.82±1.78	56.00±1.22	56.08±1.63	56.51±1.00	54.64±1.29	0.63
肉色 Meat color	a <sub>45 min</sub> <sup>*</sup>	8.79±0.72 <sup>ab</sup>	8.80±0.93 <sup>ab</sup>	6.82±0.30 <sup>b</sup>	7.16±0.22 <sup>b</sup>	9.33±0.81 <sup>a</sup>	0.04
	a <sub>24 h</sub> <sup>*</sup>	9.77±0.90	9.75±0.60	7.88±0.38	8.53±0.79	8.93±0.59	0.25
b <sub>45 min</sub> <sup>*</sup>	10.28±0.46	10.11±0.60	8.41±0.30	8.05±0.35	10.23±0.84	0.16	
	b <sub>24 h</sub> <sup>*</sup>	9.88±0.78	9.93±0.75	8.59±1.04	7.58±0.61	10.16±0.67	0.13
腿肌 Thigh muscle							
蒸煮损失 Cooking loss/%	34.60±1.44	39.21±0.89	38.66±1.28	34.14±2.71	37.76±0.86	0.10	
滴水损失 Drip loss/%	3.21±0.31	3.44±0.24	3.19±0.18	3.17±0.16	3.19±0.25	0.92	
pH <sub>45 min</sub>	6.59±0.03	6.56±0.02	6.51±0.05	6.43±0.08	6.52±0.05	0.27	
pH <sub>24 h</sub>	6.49±0.03	6.44±0.09	6.46±0.07	6.40±0.05	6.42±0.06	0.87	
L <sub>45 min</sub> <sup>*</sup>	54.60±1.47	52.87±0.71	53.65±1.36	53.24±0.96	54.32±1.65	0.86	
	L <sub>24 h</sub> <sup>*</sup>	56.92±1.36	52.91±1.60	55.60±1.12	53.77±1.37	53.80±0.90	0.24
肉色 Meat color	a <sub>45 min</sub> <sup>*</sup>	9.65±0.72	9.76±0.39	9.63±0.42	9.10±0.54	9.58±0.52	0.92
	a <sub>24 h</sub> <sup>*</sup>	9.47±0.93	10.73±0.92	8.48±0.36	8.89±0.82	8.72±0.43	0.20
b <sub>45 min</sub> <sup>*</sup>	10.86±0.41	10.05±0.53	10.62±0.79	9.46±0.46	10.39±0.70	0.51	
	b <sub>24 h</sub> <sup>*</sup>	6.42±0.72	9.11±0.35	7.42±0.85	7.61±0.57	8.25±0.78	0.12

L<sup>\*</sup>:亮度 brightness;a<sup>\*</sup>:红度 redness;b<sup>\*</sup>:黄度 yellowness。

### 3.3 不同硒源对 AA 肉鸡抗氧化能力的影响

抗氧化酶类是机体内极为重要的抗氧化系统之一,主要通过 T-SOD、GSH-Px、T-AOC 和 MDA 等指标来反映机体抗氧化能力。其中,GSH-Px 是典型的含硒酶,其活性可能与机体组织硒含量有关<sup>[19]</sup>。饲料添加不同硒源可通过改变组织硒含量而影响 GSH-Px 活性<sup>[20]</sup>。有报道认为,GSH-Px 的活性不受硒源和硒浓度的影响<sup>[21-22]</sup>。无机硒、有机硒和纳米硒虽然在畜禽中都能够发挥抗氧化功能,但纳米硒的独特之处在于其清除体内过多自

由基的效率高于无机硒和有机硒<sup>[23]</sup>。本试验中,与 CON 组相比,饲料添加不同硒源可提高血清和腿肌 GSH-Px 活性;但与 SS 组、SeY 组和 HMSeBA 组相比,Nano-Se 组的血清和腿肌 GSH-Px 活性无显著差异,该结果与 Meng 等<sup>[21]</sup>、Cichoski 等<sup>[22]</sup>和 Li 等<sup>[13]</sup>的研究结论一致。同时,Mikulková 等<sup>[24]</sup>和 Li 等<sup>[25]</sup>研究发现,饲料添加亚硒酸钠、酵母硒、硒代蛋氨酸和纳米硒对胸肌 GSH-Px 活性无显著影响,该结果与本试验肌肉 GSH-Px 活性的研究结果相似。T-AOC 和 T-SOD 能清除体内过多的自

由基,而MDA是动物机体脂质的过氧化产物,T-AOC、T-SOD活性及MDA含量均可反映机体抗氧化能力。本试验中,与CON组相比,饲料添加不同硒源对肉鸡血清、胸肌和腿肌T-SOD、T-AOC活性和MDA含量无显著影响,可能原因是基础饲料所含的硒已能够满足肉鸡生理需求。此外,正常生理状态下,肉鸡自身氧化与抗氧化系统处于平衡状态,额外补硒对其影响不大。

### 3.4 不同硒源对AA肉鸡肉品质的影响

硒在体内发挥抗氧化作用的同时还可阻止多不饱和脂肪酸过氧化,而肉色又与肌肉氧化密切相关。因此,可通过防止肌肉氧化进而改善肉品质<sup>[26]</sup>。饲料添加纳米硒可显著降低胸肌的蒸煮损失,改善肌肉a\*和b\*值,改善肉品质,且纳米硒改善效果优于亚硒酸钠<sup>[1,9]</sup>。有研究发现,饲料添加纳米硒、有机硒和亚硒酸钠对肌肉pH、滴水损失和肉色值无显著影响<sup>[27-29]</sup>。本试验中,与CON组相比,饲料添加不同硒源对胸肌和腿肌蒸煮损失、滴水损失、pH、L\*和b\*值均无显著影响;且随着货架时间的延长,各组的pH和肉色也无显著差异;与HMSeBA组和SeY组相比,Nano-Se组的胸肌 $a_{45\text{min}}^*$ 显著升高,这与Bakhshalinejad等<sup>[9]</sup>和Ibrahim等<sup>[1]</sup>研究结果一致。综上所述,与羟基-硒代蛋氨酸和酵母硒相比,饲料添加纳米硒可改善肉品质。

## 4 结论

本试验条件下,饲料添加不同硒源对肉鸡ADG、ADFI无显著影响,但饲料添加纳米硒降低了肉鸡1~21日龄的F/G;饲料添加不同硒源提高了肉鸡血清和肌肉的硒含量;饲料添加纳米硒能够一定程度改善肉鸡肉品质。

### 参考文献:

- [ 1 ] IBRAHIM D, KISHAWY A T Y, KHATER S I, et al. Effect of dietary modulation of selenium form and level on performance, tissue retention, quality of frozen stored meat and gene expression of antioxidant status in Ross broiler chickens [ J ]. *Animals*, 2019, 9 ( 6 ) : 342.
- [ 2 ] SHOEIBI S, MASHREGHI M. Biosynthesis of selenium nanoparticles using *Enterococcus faecalis* and evaluation of their antibacterial activities [ J ]. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2017, 39: 135-139.
- [ 3 ] NABI F, ARAIN M A, HASSAN F, et al. Nutritional role of selenium nanoparticles in poultry nutrition: a review [ J ]. *World's Poultry Science Journal*, 2020, 33: 1-13.
- [ 4 ] GOPI M, PEARLIN B, KUMAR R D, et al. Role of nanoparticles in animal and poultry nutrition: modes of action and applications in formulating feed additives and food processing [ J ]. *International Journal of Pharmacology*, 2017, 13 ( 7 ) : 724-731.
- [ 5 ] HU C H, LI Y L, XIONG L, et al. Comparative effects of nano elemental selenium and sodium selenite on selenium retention in broiler chickens [ J ]. *Animal Feed Science and Technology*, 2012, 177 ( 3/4 ) : 204-210.
- [ 6 ] 王兴华, 靳东南. 日粮中不同硒源对肉鸡生产性能和抗氧化能力的影响 [ J ]. *山西农业科学*, 2016, 44 ( 8 ) : 1184-1191.  
WANG X H, JIN D N. Effect of different selenium sources on production performance and antioxidant capacity of broilers [ J ]. *Journal of Shanxi Agricultural Science*, 2016, 44 ( 8 ) : 1184-1191. ( in Chinese )
- [ 7 ] MOHAMMADI E, JANMOHAMMADI H, OLYAYEE M, et al. Nano selenium improves humoral immunity, growth performance and breast-muscle selenium concentration of broiler chickens [ J ]. *Animal Production Science*, 2020, 60 ( 16 ) : 1902-1910.
- [ 8 ] 邹晓庭, 郑根华, 尹兆正, 等. 不同硒源对肉鸡生长性能、胴体特性和肉质的影响 [ J ]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2005, 31 ( 6 ) : 773-776.  
ZOU X T, ZHENG G H, YIN Z Z, et al. Effects of different selenium sources on growth performance, carcass composition and meat quality in broilers [ J ]. *Journal of Zhejiang University ( Agriculture & Life Science )*, 2005, 31 ( 6 ) : 773-776. ( in Chinese )
- [ 9 ] BAKHSHALINEJAD R, HASSANABADI A, SWICK R A. Dietary sources and levels of selenium supplements affect growth performance, carcass yield, meat quality and tissue selenium deposition in broilers [ J ]. *Animal Nutrition*, 2019, 5 ( 3 ) : 256-263.
- [ 10 ] LIN X, YANG T, LI H, et al. Interactions between different selenium compounds and essential trace elements involved in the antioxidant system of laying hens [ J ]. *Biological Trace Element Research*, 2020, 193: 252-260.
- [ 11 ] SALEH A A, EBEID T A. Feeding sodium selenite and nano-selenium stimulates growth and oxidation resistance in broilers [ J ]. *South African Journal of Ani-*

- mal Science, 2019, 49(1): 176.
- [12] BOOSTANI A, SADEGHI A A, MOUSAVI S N, et al. Effects of organic, inorganic, and Nano-Se on growth performance, antioxidant capacity, cellular and humoral immune responses in broiler chickens exposed to oxidative stress[J]. Livestock Science, 2015, 178: 330–336.
- [13] LI J L, ZHANG L, YANG Z Y, et al. Effects of different selenium sources on growth performance, antioxidant capacity and meat quality of local Chinese Subei chickens [J]. Biological Trace Element Research, 2018, 181(2): 340–346.
- [14] OLIVEIRA T F B, RIVERA D F R, MESQUITA F R, et al. Effect of different sources and levels of selenium on performance, meat quality, and tissue characteristics of broilers [J]. Journal of Applied Poultry Research, 2014, 23(1): 15–22.
- [15] BRIENS M, MERCIER Y, ROUFFINEAU F, et al. 2-hydroxy-4-methylselenobutanoic acid induces additional tissue selenium enrichment in broiler chickens compared with other selenium sources [J]. Poultry Science, 2014, 93(1): 85–93.
- [16] ZHAO L, SUN L H, HUANG J Q, et al. A novel organic selenium compound exerts unique regulation of selenium speciation, selenogenome, and selenoproteins in broiler chicks [J]. The Journal of Nutrition, 2017, 147(5): 789–797.
- [17] MEHDI Y, HORNICK J L, ISTASSE L, et al. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions [J]. Molecules, 2013, 18(3): 3292–3311.
- [18] 孙庆艳. 不同硒源在产蛋鸡上的评价 [D]. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2016.  
SUN Q Y. Evaluation of different selenium sources on laying hens [D]. Master's Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016. (in Chinese)
- [19] ZOIDIS E, DEMIRIS N, KOMINAKIS A, et al. Meta-analysis of selenium accumulation and expression of antioxidant enzymes in chicken tissues [J]. Animal, 2014, 8(4): 542–554.
- [20] CHAOSAP C, SIVAPIRUNTHEP P, TAKEUNG-WONGTRAKUL S, et al. Effects of Zn-L-selenomethionine on carcass composition, meat characteristics, fatty acid composition, glutathione peroxidase activity, and ribonucleotide content in broiler chickens [J]. Food Science of Animal Resour, 2020, 40(3): 338–349.
- [21] MENG T T, LIU Y L, XIE C Y, et al. Effects of different selenium sources on laying performance, egg selenium concentration, and antioxidant capacity in laying hens [J]. Biological Trace Element Research, 2019, 189(2): 548–555.
- [22] CICHOSKI A J, ROTTA R B, SCHEUERMANN G, et al. Investigation of glutathione peroxidase activity in chicken meat under different experimental conditions [J]. Food Science and Technology, 2012, 32(4): 661–667.
- [23] 陈辉, 黄仁录, 邸科前. 纳米硒在动物营养中的应用进展 [J]. 饲料工业, 2005, 26(17): 58–59.  
CHEN H, HUANG L N, DI K Q. Research progress on application of nano-selenium in animal nutrition [J]. Journal of Feed Industry, 2005(17): 58–59. (in Chinese)
- [24] MIKULKOVÁ K, ILLEK J, BEZDĚKOVÁ Z, et al. Glutathione as an antioxidant marker; determination of glutathione concentration in the breast muscles and liver of broilers supplemented with different selenium sources [J]. Acta Veterinaria Brno, 2019, 88(2): 157–163.
- [25] LI K X, WANG J S, YUAN D, et al. Effects of different selenium sources and levels on antioxidant status in broiler breeders [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2018, 31(12): 1939–1945.
- [26] LIU S M, SUN H X, JOSE C, et al. Phenotypic blood glutathione concentration and selenium supplementation interactions on meat colour stability and fatty acid concentrations in merino lambs [J]. Meat Science, 2011, 87(2): 130–139.
- [27] ZHANG K, ZHAO Q Y, ZHAN T F, et al. Effect of different selenium sources on growth performance, tissue selenium content, meat quality, and selenoprotein gene expression in finishing pigs [J]. Biological Trace Element Research, 2020, 196(2): 463–471.
- [28] GÖÇMEN R, YAZGAN O, CUFADAR Y. Effect of different organic and inorganic selenium levels on performance, selenium concentrations of some tissues, glutathione peroxidase enzyme activity and meat quality in broilers [J]. The Journal of Animal & Plant Sciences, 2016, 26(4): 916–923.
- [29] CAI S J, WU C X, GONG L M, et al. Effects of nano-selenium on performance, meat quality, immune function, oxidation resistance, and tissue selenium content in broilers [J]. Poultry Science, 2012, 91(10): 2532–2539.

# Effects of Different Selenium Sources on Growth Performance, Serum and Muscle Selenium Contents, Antioxidant Capacity and Meat Quality of Broilers

ZHAO Yawei<sup>1</sup> TANG Jiayong<sup>1</sup> JIA Gang<sup>1</sup> TIAN Gang<sup>1</sup> LIU Guangmang<sup>1</sup> CHEN Xiaoling<sup>1</sup>  
CAI Jingyi<sup>1</sup> KANG Bo<sup>2</sup> ZHAO Hua<sup>1\*</sup>

(1. Key Laboratory of Animal Disease-Resistant Nutrition, Ministry of Education, Animal Nutrition Institute, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2. College of Animal Science and Technology, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to study the effects of difference selenium sources on growth performance, serum and muscle selenium contents, antioxidant capacity and meat quality of broilers. A total of 450 one-day-old Arbor Acres (AA) male broilers were selected and randomly divided into 5 groups with 6 replicates per group and 15 broilers per replicate. The control group (CON group) was fed a basal diet without selenium addition, and experimental groups were fed the basal diets supplemented with 0.3 mg/kg (as selenium) sodium selenium (SS group), selenium-enriched yeast (SeY group), 2-hydroxy-4-methylselenobutanoic acid (HMSeBA group) and nano-selenium (Nano-Se group), respectively. The experiment lasted for 42 days. The results showed as follows: 1) there were no significant differences in body weight, average daily gain and average daily feed intake of broilers among all groups ( $P>0.05$ ). Compared with the CON group, SeY group and HMSeBA group, the feed to gain ratio of broilers during 1 to 21 days of age of Nano-Se group was significantly decreased ( $P<0.05$ ). 2) Compared with the CON group, the contents of selenium in breast muscle and thigh muscle of broilers of SS group, SeY group, HMSeBA group and Nano-Se group were significantly increased ( $P<0.05$ ). The contents of selenium in breast muscle and thigh muscle of broilers in each groups from high to low were HMSeBA group > SeY group > Nano-Se group  $\approx$  SS group > CON group. 3) Compared with the CON group, the activity of glutathione peroxidase (GSH-Px) in serum and thigh muscle of broilers of SS group, SeY group, HMSeBA group and Nano-Se group was significantly increased ( $P<0.05$ ). There were no significant differences in total superoxide dismutase (T-SOD) activity, total antioxidant capacity (T-AOC) and malondialdehyde (MDA) content in serum, breast muscle and thigh muscle of broilers among all groups ( $P>0.05$ ). 4) There were no significant differences in cooking loss, drip loss, pH and brightness ( $L^*$ ) and yellowness ( $b^*$ ) values in breast muscle and thigh muscle of broilers among all groups ( $P>0.05$ ). Compared with the SeY group and HMSeBA group, the breast muscle 45 min redness ( $a^*$ ) value of Nano-Se group was significantly increased ( $P<0.05$ ). In conclusion, in present study, dietary supplementation of difference selenium sources has no significant effects on average daily gain and average daily feed intake of broilers, but dietary nano-selenium decrease the feed to gain ratio of broilers during 1 to 21 days of age; dietary supplementation of difference selenium sources increase the contents of selenium in serum and muscle; dietary nano-selenium can improve the meat quality to some extent. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(4):2024-2032]

**Key words:** broilers; selenium sources; selenium content; antioxidant; meat quality