

玉米硒和酵母硒对育肥猪生长性能和猪肉富硒效果的影响

张海生, 李林强, 党辉

陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 陕西 西安

收稿日期: 2026年4月10日; 录用日期: 2026年5月11日; 发布日期: 2026年5月19日

摘要

目的: 研究不同硒源对育肥猪生长性能和猪肉富硒效果的影响。方法: 以富硒酵母和安康富硒玉米为硒源, 在育肥猪的日粮中分别添加不同水平的酵母硒和玉米硒进行饲喂, 计算育肥猪的平均日增重、平均日采食量和料重比, 测定育肥猪猪肉、肝脏和肾脏组织的硒含量。结果: 在育肥猪的日粮中分别添加不同水平的酵母硒和玉米硒均能提高育肥猪的生长性能, 酵母硒的效果好于玉米硒; 育肥猪肌肉、肝脏和肾脏组织中的硒富集量与富硒饲料中的硒水平和饲喂时间呈正相关, 且酵母硒的富集效率更高, 在相同添加水平下, 肝脏和肾脏组织的硒富集能力显著强于肌肉组织; 采用硒水平为0.2 mg/kg的酵母硒源富硒饲料或0.3 mg/kg的玉米硒源富硒饲料饲喂育肥猪60 d, 猪肉中的硒含量均可达到富硒猪肉标准(>0.20 mg/kg)。结论: 富硒酵母和富硒玉米均可作为硒源进行富硒猪肉的生产。

关键词

硒源, 育肥猪, 生长性能, 富硒效果

Effects of Corn Selenium and Yeast Selenium on Growth Performance and Pork Selenium Enrichment in Finishing Pigs

Haisheng Zhang, Linqiang Li, Hui Dang

College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an Shaanxi

Received: April 10, 2026; accepted: May 11, 2026; published: May 19, 2026

Abstract

Objective: To investigate the effects of different selenium sources on the growth performance and

pork selenium enrichment in finishing pigs. Methods: Using selenium-enriched yeast and selenium-enriched corn (produced in Ankang City, Shaanxi Province) as selenium sources, different levels of yeast selenium and corn selenium were added to the diets of finishing pigs. The average daily gain, average daily feed intake, and feed-to-gain ratio were calculated, and the selenium contents in the muscle, liver, and kidney tissues of finishing pigs were determined. **Results:** Supplementation with different levels of yeast selenium and corn selenium in the diets of finishing pigs improved growth performance, with yeast selenium showing better effects than corn selenium. The selenium accumulation in the muscle, liver, and kidney tissues of finishing pigs was positively correlated with the selenium level in the enriched feed and the feeding duration, and yeast selenium exhibited higher enrichment efficiency. Under the same addition level, the selenium enrichment capacity of the liver and kidney tissues was significantly stronger than that of muscle tissue. After feeding finishing pigs with selenium-enriched feed containing 0.2 mg/kg of yeast selenium or 0.3 mg/kg of corn selenium for 60 days, the selenium content in pork reached the standard for selenium-enriched pork (>0.20 mg/kg). **Conclusion:** Both selenium-enriched yeast and selenium-enriched corn can be used as selenium sources for the production of selenium-enriched pork.

Keywords

Selenium Source, Finishing Pigs, Growth Performance, Selenium-Enrichment Effect

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

硒是人体必需的微量元素，对人体健康具有多方面的生理功能[1]。充足的硒摄入对维持机体免疫功能、降低死亡风险、保障肌肉正常功能至关重要。硒缺乏会导致免疫力低下、肌肉功能障碍等问题[2]。然而，我国约 2/3 地区存在土壤缺硒问题[3] [4]，导致居民平均硒摄入量显著低于中国营养学会推荐量。

中国是全球最大的猪肉生产和消费国，猪肉作为我国居民膳食中重要的优质蛋白质来源，是硒富集的理想载体，在改善居民硒营养状况方面具有独特优势。安康市是陕西省养猪大市[5]，拥有独特的富硒资源优势。2023 年普查结果显示，安康全域土壤硒含量中硒和高硒区面积占全市国土总面积的 81.87%，其中高硒及以上土壤面积约占全市面积约 37.33% [6]，为发展富硒生猪产业提供了得天独厚的天然条件。本研究将以安康本地生产的富硒玉米和富硒酵母为硒源，研究不同硒源饲料对育肥猪生产性能和猪肉富硒效果的影响，为富硒猪肉的生产提供参考。

2. 材料与方法

2.1. 仪器与设备

微波消解仪 MS8636，-80℃超低温冰箱，ME204 电子天平，涡旋仪，冷冻干燥机 FD-1-50，荧光分光光度计 RF-6000。

2.2. 材料与试剂

富硒玉米：购自安康市紫阳县，平均硒含量 0.36 mg/kg；

酵母硒：购自安期酵母股份有限公司，总硒(以 Se 计) 2000 mg/kg，有机硒含量(占总硒比例) ≥ 98%；

硒标准液、硒代蛋氨酸标准溶液、硒代胱氨酸标准溶液、硒酸盐标准溶液、亚硒酸盐标准溶液，国

家计量科学院；

链酶蛋白酶 E，上海源叶有限公司；蛋白酶 XIV，美国 Sigma-Aldrich 公司；

Tris-HCl 缓冲液，国药集团化学试剂有限公司；

硝酸、盐酸、过氧化氢，均为分析纯，天津市天力化学试剂有限公司。

2.3. 试验设计

实验动物与分组：选用体重相近日龄分别为 90、120 和 150 d 的健康杜洛克 × 长白 × 大白三元杂交育肥猪各 60 头， $3 \times 2 \times 5$ 因子设计，即 3 个饲喂时间(90, 60, 30 d)、2 种硒源(玉米硒、酵母硒)、5 个硒添加水平(0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 mg/kg)。每种日龄的育肥仔猪随机分为 10 个处理组，每组 6 头猪(3 个重复，每个重复 2 头猪)，公母各半。

试验饲料：玉米硒源和酵母硒源按设计水平精确添加到基础日粮中，制成颗粒料。酵母硒组按设计水平将酵母硒直接添加到基础日粮中，玉米硒组按设计水平用富硒玉米代替基础日粮中的普通玉米，不足部分用酵母硒补足。基础日粮配方设计参照 NRC (2012)猪营养需要量标准配制，其组成和营养水平见表 1。

Table 1. Composition and nutrient levels of the basal diet

表 1. 基础日粮组成及营养水平

原料组成		营养成分含量		原料组成		营养成分含量	
种类	比例(%)	种类	含量	种类	比例(%)	种类	含量
玉米	65.0	消化能(MJ/kg)	13.8	玉米	65.0	消化能(MJ/kg)	13.8
豆粕	22.0	粗蛋白(%)	16.2	豆粕	22.0	粗蛋白(%)	16.2
麦麸	8.5	钙(%)	0.85	麦麸	8.5	钙(%)	0.85
石粉	1.0	总磷(%)	0.62	石粉	1.0	总磷(%)	0.62
磷酸氢钙	0.8	有效磷(%)	0.35	磷酸氢钙	0.8	有效磷(%)	0.35
食盐	0.3	赖氨酸(%)	0.82	食盐	0.3	赖氨酸(%)	0.82

注：预混料为每千克日粮提供：维生素 A 8000 IU；维生素 D3 2000 IU；维生素 E 30 IU；维生素 K3 1.5 mg；维生素 B1 1.8 mg；维生素 B2 4.0 mg；烟酸 30 mg；泛酸钙 15 mg；Fe 100 mg；Zn 80 mg；Mn 30 mg；Cu 12 mg；I 0.3 mg。

饲养管理：试验在安康市平利县盛丰源食品有限责任公司标准化示范猪场进行，试验期 30~90 d。本试验育肥猪的生长期为 180 d，所有实验组在开始试验前均饲喂基础日粮，饲喂富硒饲料 30、60 和 90 d 的起始时间分别为仔猪日龄 150、120 和 90 d，试验期间仔猪自由采食和饮水，舍温控制在 22℃~25℃，相对湿度 60%~65%。各组按试验设计饲喂相应日粮。试验开始和结束时，仔猪空腹 12 h 后称重，记录初重和末重。每天记录投料量和剩料量，计算平均日增重、平均日采食量和料重比。

2.4. 测定指标与方法

2.4.1. 育肥猪生长性能指标

平均日增重(ADG) = (末重 - 初重)/试验天数；

平均日采食量(ADFI) = 总采食量/试验天数；

料重比(F/G) = ADFI/ADG。

2.4.2. 组织硒含量测定

试验结束时, 屠宰后采集背最长肌、肝脏和肾脏样品。参照 GB 5009.93-2017 标准, 采用氢化物原子荧光光谱法测定总硒含量。

总硒含量的测定: 称取富硒猪组织匀浆样品 1.0 g, 置于消化管中, 加 8 mL 硝酸、2 mL 过氧化氢, 振摇混合均匀, 于微波消解仪中消化。消解结束待冷却后, 将消化液转入锥形烧瓶中, 加几粒玻璃珠, 在电热板上继续加热至近干。再加 5 mL 盐酸溶液(6 mol/L), 继续加热至溶液变为清亮无色并伴有白烟出现, 冷却, 转移至 10 mL 容量瓶中, 用 5% 盐酸定容至 10 mL, 混匀上机测定。按照下式计算猪组织中的总硒含量:

$$X = \frac{(\rho - \rho_0) \times V}{m \times 100}$$

式中:

X ——试样中硒的含量, mg/kg;

ρ ——试样溶液中硒的质量浓度, $\mu\text{g/L}$;

ρ_0 ——空白溶液中硒的质量浓度, $\mu\text{g/L}$;

V ——试样消化液总体积, mL;

m ——试样称样量或移取体积, g/mL;

100——换算系数。

硒形态测定: 参考耿雅雯[7]的方法并稍作改进。准确称取组织匀浆样品 1 g (精确到 0.001 g) 于 15 mL 离心管中, 分别加入 9 mg 蛋白酶 XIV 和蛋白酶 E, 然后加入 10 mL 75 mmol Tris-HCL 缓冲液, 超声 5 min 后在恒温摇床(37°C, 200 rpm)中孵育 9 h。然后, 将样品以 10,000 rpm 离心 10 min。将上清液过 0.22 μm 滤膜后置入进样小瓶中待测。每个样品做三个平行实验, 并作空白实验。

3. 结果与分析

3.1. 不同硒源及添加水平对育肥猪生长性能的影响

采用富硒玉米和富硒酵母作为硒源, 在育肥猪基础日粮中按照 0.1、0.2、0.3、0.4 和 0.5 mg/kg 的水平分别进行添加, 用添加不同硒源和不同硒水平的饲料分别饲喂日龄 150、120 和 90 d 的育肥猪 30、60 和 90 d, 育肥猪的饲料日均摄入量、平均日增重和料重比如图 1~3 所示。

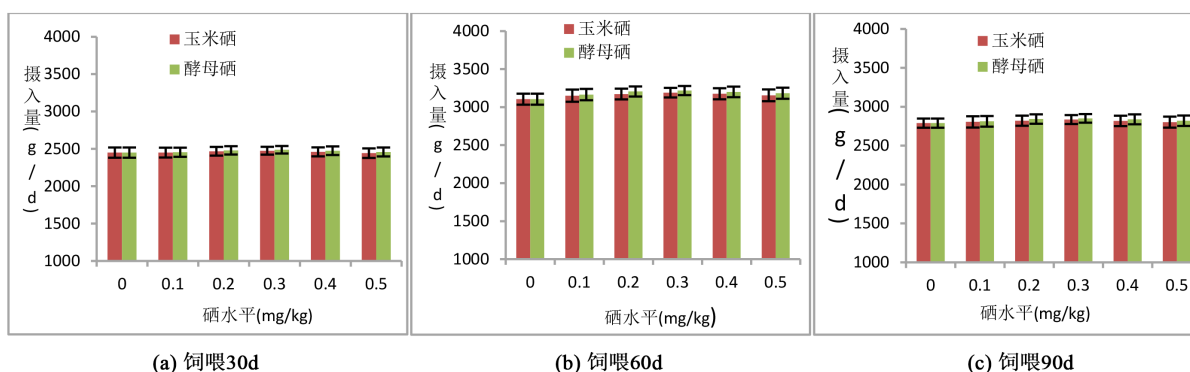


Figure 1. Daily feed intake of finishing pigs fed with different selenium sources over different feeding periods

图 1. 不同硒源饲喂不同时间育肥猪的饲料日均摄入量

由图 1 可知, 育肥猪的饲料日均摄入量与育肥猪的日龄成正比, 日龄越大, 饲料日均摄入量也越大;

饲料中添加不同水平的硒源后,育肥猪的饲料日均摄入量虽然比对照有所增加,但差异不显著($P > 0.05$),且饲喂不同硒源的育肥猪饲料日均摄入量也无明显差异($P > 0.05$),说明添加一定剂量的硒源对育肥猪的进食基本没有影响。

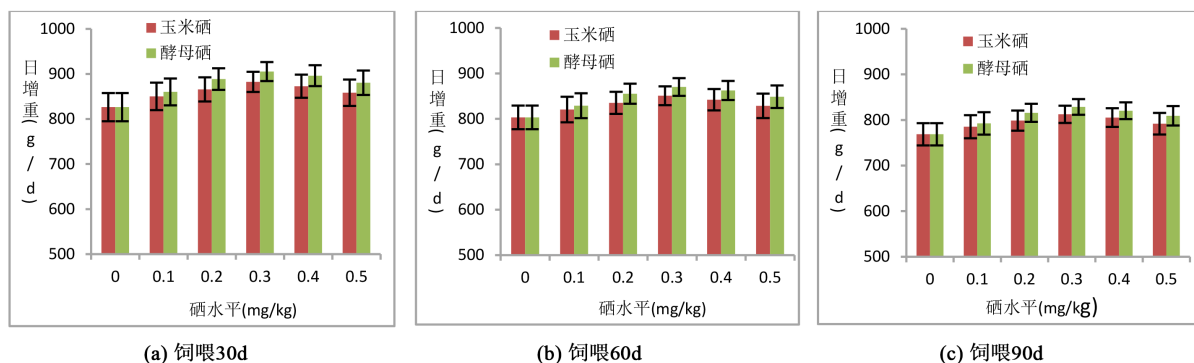


Figure 2. Daily weight gain of finishing pigs fed with different selenium sources over different feeding periods
图 2. 不同硒源饲喂不同时间育肥猪的日增重

由图 2 可以看出,两种硒源的饲料进行育肥时,育肥猪的平均日增重呈现相同的趋势,当饲料的硒添加水平在 0.3 mg/kg 以下时,育肥猪的平均日增重随着硒水平的升高不断增高,在 0.3 mg/kg 时达到最高值,此后,随着饲料硒水平的升高育肥猪平均日增重则逐渐下降。采用硒含量为 0.3 mg/kg 的富硒饲料饲喂 30、60 和 90 d,玉米硒组和酵母硒组育肥猪的平均日增重均显著高于($P < 0.05$)对照组;同时可以看出,育肥猪的平均日增重与日龄呈正相关,这是因为日龄越高,育肥猪的体型越大,采食量越大,日增重也越大;相同硒水平下,酵母硒组育肥猪的平均日增重高于玉米硒组的。

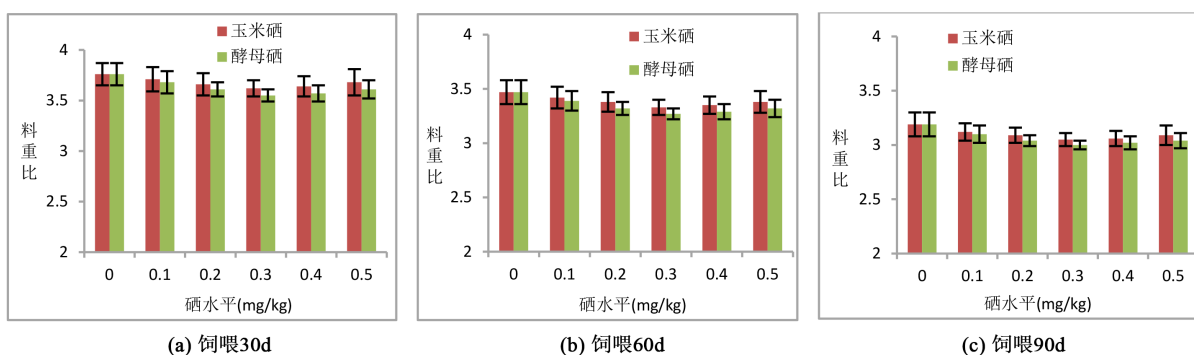


Figure 3. Feed-to-gain ratio of finishing pigs fed with different selenium sources over different feeding periods
图 3. 不同硒源饲喂不同时间育肥猪的料重比

由图 3 可知,育肥猪的料重比随着饲料中硒浓度的升高呈现先降后升的趋势,饲料硒浓度为 0.3 mg/kg 时,育肥猪的料重比(F/G)最低,料重比越低,说明饲料的利用效率越高。

育肥猪的日均饲料摄入量、日增重和料重比综合分析表明,硒源和硒水平主要影响饲料利用效率而非采食量,饲料中添加玉米硒和酵母硒可以提高育肥猪体重,降低料重比,提高饲料的利用效率,改善育肥猪的生长性能,这与 Mateo 等人[8]的研究结果一致。饲料中硒的最佳添加量为 0.3 mg/kg。

3.2. 不同硒源及添加水平对组织硒沉积的影响

饲料中添加不同硒水平的硒源饲喂后育肥猪的猪肉、肝脏和肾脏组织中的硒沉积量如图 4~6 所示。

饲料的硒水平越高,育肥猪组织中的硒沉积量越高。育肥时间为 60 d 时,当富硒饲料硒添加量从 0.1 mg/kg 增至 0.5 mg/kg 时,玉米硒组育肥猪背长肌的硒含量增幅为 100.0%;而酵母硒组的增幅为 111.8%,表明育肥猪猪肉中的硒富集量与饲料硒水平呈正相关,且酵母硒的富集效率更高。

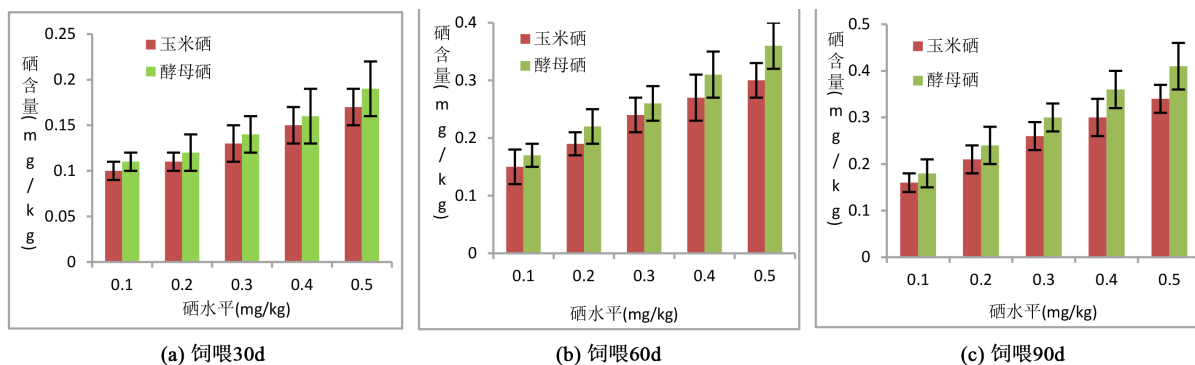


Figure 4. Selenium deposition in pork of finishing pigs fed with different selenium sources over different feeding periods
图 4. 不同硒源饲喂不同时间育肥猪的猪肉硒沉积量

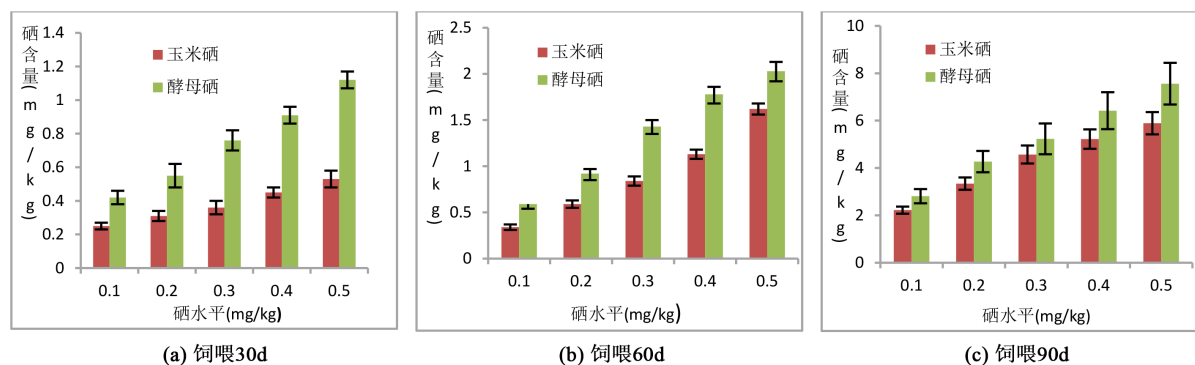


Figure 5. Selenium deposition in liver of finishing pigs fed with different selenium sources over different feeding periods
图 5. 不同硒源饲喂不同时间育肥猪的肝脏硒沉积量

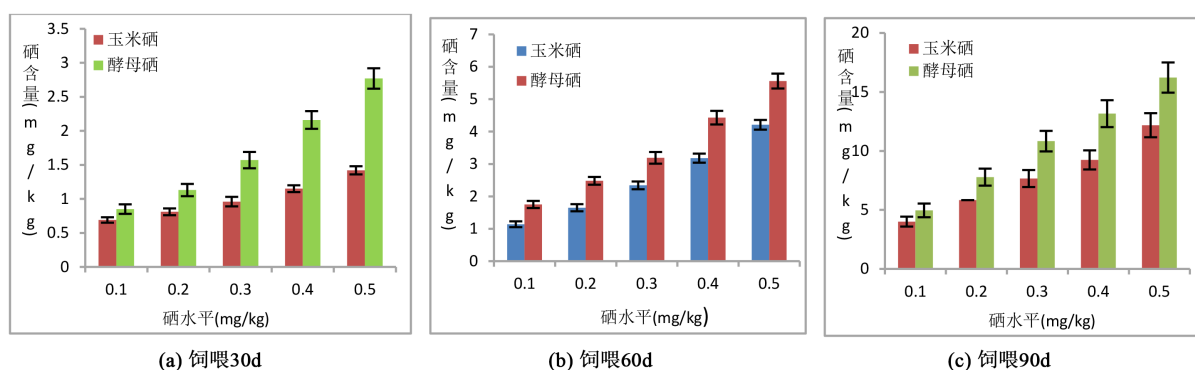


Figure 6. Selenium deposition in kidney of finishing pigs fed with different selenium sources over different feeding periods
图 6. 不同硒源饲喂不同时间育肥猪的肾脏硒沉积量

从时间动态来看,饲喂时间从 30 d 延长至 60 d 后,0.3 mg/kg 酵母硒组育肥猪背长肌的硒含量增幅为 85.7%;而玉米硒组的增幅为 84.6%,表明育肥猪猪肉中的硒富集量与富硒饲料的饲喂时间成正相关,且酵母硒的富集效率更高。

肝脏和肾脏组织的硒沉积量数据表明,在相同添加水平下,肝脏和肾脏组织的硒富集能力显著强于肌肉组织,各组织硒的富集能力由强到弱的顺序依次为:肾脏 > 肝脏 > 肌肉。

采用富硒饲料育肥时,两种硒源各添加水平饲喂 30 d 时,猪背长肌的硒含量均没有达到富硒猪肉标准(<0.20 mg/kg) [9]。饲喂 60 d 后,硒水平为 0.2 mg/kg 酵母硒组的育肥猪的肌肉、肝脏和肾脏中的硒含量达到猪肉富硒标准,肝脏和肾脏内的硒沉积量也在安全范围之内;而玉米硒组的硒水平为 0.3 mg/kg 时,育肥猪的猪肉才达到富硒标准。饲喂 90 d 后,硒水平为 0.2 mg/kg 的酵母硒组和玉米硒组的育肥猪的猪肉就达到了猪肉富硒标准,酵母硒组和玉米硒组育肥猪肌肉、肝脏和肾脏中的硒含量分别为 0.24 mg/kg、4.27 mg/kg、7.78 mg/kg 和 0.261 mg/kg、3.34 mg/kg、5.83 mg/kg,根据中国营养学会《中国居民膳食营养素参考摄入量(2023 版)》标准和各类食品推荐摄入量,我国居民成年人每日硒的摄入量不应超过 400 μg ,育肥猪肝脏和肾脏内的硒沉积量已接近或超出安全范围。因此,富硒猪肉生产技术适宜方案是在育肥猪屠宰前 60 d 中的饲料中添加 0.2 mg/kg 酵母硒或 0.3 mg/kg 玉米硒进行饲喂。

3.3. 不同硒源对猪肉中硒形态组成的影响

采用上述优化的富硒猪肉生产技术即在育肥猪屠宰前 60 d 中的饲料中添加 0.2 mg/kg 酵母硒或 0.3 mg/kg 玉米硒进行富硒猪肉生产,猪肉中硒含量测定结果如图 7 所示。由图 7 可知,不同硒源的富硒饲料饲喂育肥猪 60 d 后,不仅猪肉中的硒含量存在差异,硒的形态组成也有显著区别,0.3 mg/kg 玉米硒组的育肥猪猪肉中的总硒和有机硒含量分别为 0.24 mg/kg 和 0.21 mg/kg,有机硒占比为 87.5%;而 0.2 mg/kg 酵母硒组的育肥猪猪肉中的总硒和有机硒含量分别为 0.22 mg/kg 和 0.20 mg/kg,有机硒占比为 90.9%,酵母硒的效果好于玉米硒,可能是酵母硒中有机硒含量高于玉米硒中有机硒含量之故。

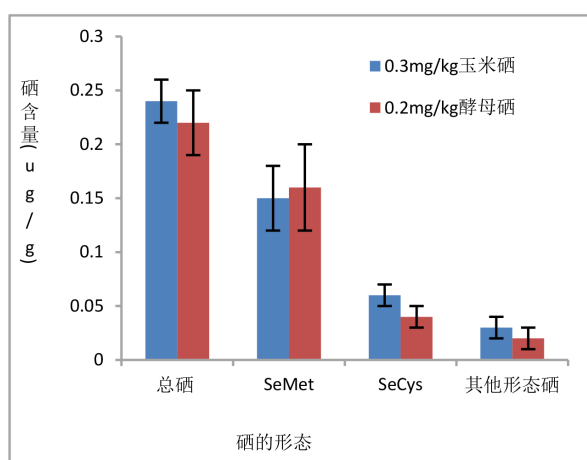


Figure 7. Selenium speciation in pork of finishing pigs fed with different selenium sources
图 7. 不同硒源育肥猪猪肉中硒的形态

4. 结论

在育肥猪生产中,在屠宰前 60 d 中的饲料中添加 0.2 mg/kg 酵母硒或 0.3 mg/kg 玉米硒,均能有效促进仔猪生长,促进硒在猪肉中的沉积,使育肥猪猪肉达到富硒猪肉标准(硒含量 > 0.20 mg/kg),显著提升猪肉的营养价值和富硒效果。

基金项目

陕西省重点研发计划项目 2024CY-JJQ-38, 2024NC-GJHX-21。

参考文献

- [1] Natasha, Shahid, M., Niazi, N.K., Khalid, S., Murtaza, B., Bibi, I., *et al.* (2018) A Critical Review of Selenium Biogeochemical Behavior in Soil-Plant System with an Inference to Human Health. *Environmental Pollution*, **234**, 915-934. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.019>
- [2] Arisekar, U., Shalini, R., Jeya Shakila, R., Abuthagir Ibrahlim, S., Anantharaja, K., Bharathi Rathinam, R., *et al.* (2024) Selenium and Mercury Concentration, Se/Hg Molar Ratio and Risk-Benefit Assessment of Marine Fish Consumption: Human Health Risks and Protective Role of Se against Hg Toxicity. *Food Research International*, **180**, Article ID: 114086. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114086>
- [3] Cardoso, B.R., Cominetti, C. and Seale, L.A. (2022) Editorial: Selenium, Human Health and Chronic Disease. *Frontiers in Nutrition*, **8**, Article 827759. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.827759>
- [4] 李毓华, 谢建亮, 张国坪, 等. 富硒酵母饲喂生长肥育猪对其猪肉硒含量的影响[J]. 畜牧兽医杂志, 2020, 39(2): 34-36.
- [5] 陈元益, 邹赐玺, 章昭, 等. 陕西省安康市生猪产业高质量发展探讨[J]. 中国畜业, 2024(15): 32-33.
- [6] 王海泽, 邓琳玲, 赵宝鑫, 等. 安康富硒土壤立地核桃硒含量与主要营养成分的相关性研究[J]. 陕西林业科技, 2025, 53(3): 40-44.
- [7] 耿雅雯. 富硒食品中硒形态分析及其主要形态体外生物利用率研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉轻工大学, 2024.
- [8] Mateo, R.D., Spallholz, J.E., Elder, R., Yoon, I. and Kim, S.W. (2007) Efficacy of Dietary Selenium Sources on Growth and Carcass Characteristics of Growing-Finishing Pigs Fed Diets Containing High Endogenous Selenium. *Journal of Animal Science*, **85**, 1177-1183. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-067>
- [9] 中国肉类协会. T/CMATB 1003-2021 富硒猪肉[S]. 北京: 中国肉类协会, 2012.