



硒对畜禽产品品质的影响及作用机制研究进展

刘永辉^{1,2}, 周锡红², 何流琴^{1,2}, 印遇龙^{1,2*}, 李凤娜²

1. 湖南师范大学生命科学学院, 湖南省动物肠道生态与健康国际科技创新合作基地, 动物营养与人体健康实验室, 长沙 410081;

2. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 动物营养生理与代谢过程湖南省重点实验室, 长沙 410125

* 联系人, E-mail: yinyulong@isa.ac.cn

收稿日期: 2019-07-29; 接受日期: 2019-09-09; 网络版发表日期: 2019-12-30

国家重点研发计划(批准号: 2018YFD0500405, 2016YFD0501201)资助

摘要 硒元素是机体不可缺少的微量元素. 硒可提高动物机体抗氧化能力、调节免疫应答、促进生长发育并参与营养物质代谢和繁殖等. 硒一直是畜禽饲料中重要的抗氧化剂, 近年来它的应用越来越广泛. 饲料中添加硒一方面可以提高畜禽屠宰性能和肉品质, 另一方面还可以促进硒在肉、蛋和奶中富集, 提高人体每日硒摄入量. 本文主要总结了近年来关于不同硒源以及硒的添加水平和时长对畜禽产品品质影响的研究进展, 并对硒改善畜禽产品品质的相关机制作简要阐述.

关键词 硒, 畜禽, 肉, 蛋, 奶

硒元素是机体不可缺少的微量元素. 作为硒蛋白的主要成分, 硒具有抗氧化、维持机体正常免疫功能、提高繁殖性能和促进生长发育等生物学功能. 硒广泛参与动物营养代谢、繁殖和免疫应答等生理生化过程. 硒与维生素E等共同参与动物体内的抗氧化过程以及维持细胞膜稳定性和完整性等, 维持动物机体各器官的正常功能^[1].

中国营养学会推荐的成人每日硒摄入量为 60~400 μg ^[2]. 全球范围内很多地方土壤、水以及植物中的硒缺乏常导致人和动物体硒摄入量不足. 硒的缺乏会导致机体谷胱甘肽过氧化物酶活性降低, 自由基和过氧化物积累; 硒缺乏还将影响人和动物的细胞和体液免疫功能^[3]. 硒缺乏是心血管疾病、哮喘、糖尿

病以及甲状腺功能低下症等人类疾病发生的原因之一. 近期研究发现, 硒缺乏与目前日益增长的癌症发生率紧密相关^[4]. 但是硒摄入过量也会导致许多疾病, 造成急性和慢性硒中毒, 对畜禽的生长带来不利影响^[5]. 通过在育肥猪日粮中添加硒代蛋氨酸发现, 随着日粮添加水平的增加, 硒在血浆、肝脏和肌肉中的含量大幅增加^[6], 这之前报道的随着日粮中硒含量添加, 肉鸡和牛的相应组织硒含量逐渐增加的结果相一致^[7,8]. 由于食物是人体硒的重要来源, 而动物产品——肉、蛋、奶等是食物中最重要的硒来源且含有多种形态的硒, 因此生产富硒的肉、蛋、奶产品是提高人体每日硒摄入量、防止因缺硒和药物过量补硒而发生疾病、维持身体健康最安全有效的方法.

引用格式: 刘永辉, 周锡红, 何流琴, 等. 硒对畜禽产品品质的影响及作用机制研究进展. 中国科学: 生命科学, 2020, 50: 25–32

Liu Y H, Zhou X H, He L Q, et al. Recent advances in the effects and mechanism of selenium on the quality of domestic animal products (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2020, 50: 25–32, doi: 10.1360/SSV-2019-0054

1 硒对畜禽肉品质和营养价值的影响及其作用机制

近几十年的研究表明, 饲料中添加硒可以改善肉产品的品质和营养价值, 因此硒在动物生产中得到了广泛应用. 硒是谷胱甘肽过氧化物酶的组成成分, 该酶可通过清除过氧化氢和脂质过氧化物等调节肌肉氧化还原平衡^[9], 从而改善肉品质. 此外, 有机硒在动物宰后还可以继续发挥抗氧化作用, 抑制氧自由基形成, 从而提高宰后肉产品的风味、营养价值以及延长保质期等^[10]. 动物饲料中常添加的硒主要包括无机硒(亚硒酸钠)、有机硒(硒代蛋氨酸、硒代半胱氨酸等)以及纳米硒等. 有机硒和纳米硒在动物体内更容易被吸收并发挥生物学作用. 此外, 有机硒的抗氧化作用更强以及动物体对有机硒的耐受性也更强, 而高剂量的无机硒可能具有促氧化和毒性作用^[11].

1.1 硒对畜禽肉品质的影响

虽然目前关于饲料中添加硒及不同硒源对畜禽屠宰性能和肉品质的影响还存在争议, 但大部分研究认为硒可改善畜禽屠宰性能和肉品质. 其争议主要是小部分研究认为硒对肉品质无影响, 如研究发现, 饲料中添加富亚硒酸钠的谷物对比比利时蓝牛胴体指标以及肉嫩度、氧化酸败和失水率等肉质指标均无影响^[4]. 关于江南白鹅的研究发现, 不同硒源和硒添加水平(0.2~0.4 mg/kg)对鹅屠宰性能均无显著影响^[12]. 但绝大多数研究已经证实, 硒的添加水平及在动物机体不同生长阶段添加硒对畜禽肉品质的影响不同. 在肉鸡不同生长阶段添加有机硒实验结果表明, 屠宰前一周开始添加0.3 mg/kg有机硒(硒代蛋氨酸)与饲养全过程添加有机硒对滴水损失的改善作用相同^[13]. 这一结果为节约饲料成本提供了参考. 在肉鸡不同生长阶段添加不同水平酵母硒发现, 饲料中添加不同水平硒均可显著提高屠宰率和胴体中胸肌所占比例, 且生长后期(第22~42天)添加酵母硒(0.9 mg/kg)的作用更加显著^[14]. 近期研究表明, 酵母硒(0.3 mg/kg)可提高山羊屠宰率、胴体重和腿重^[15], 且饲养方式(群养或单独饲养)不影响硒对屠宰性能的改善作用^[16].

Calvo等人^[17]研究认为, 硒主要通过调节肌肉pH值来影响肉品质. 随着pH值的增加, 肌肉滴水损失降低. 这一变化关系在饲喂有机硒的猪肌肉中更加显著.

与亚硒酸钠相比, 酵母硒可显著提高猪肉和中国地方品种苏北鸡肉pH值、减少滴水损失、降低丙二醛含量、提高谷胱甘肽过氧化物酶活性、改善肉色a(红度)和b(黄度)值^[17,18]. 有机硒对肉色影响较大, 如酵母硒可提高宰后猪肉a值和b值; 肉产品冷藏保存7天后, 酵母硒组肉色a值和b值显著高于亚硒酸钠组. 随着饲料中亚硒酸钠含量的增加, 猪肉变得越来越苍白, 但是饲料中添加有机硒则不会引起猪肉的这一变化^[19]. 这一结果表明, 无机硒添加过量可能对肉色产生负面影响. 也有研究报道, 补充高剂量亚硒酸钠和酵母硒(0.5 mg/kg)均可使猪肉维持在消费者较偏好的肉色, 但补充高剂量硒对滴水损失和系水力无显著影响^[4]. 这可能是因为当肌肉中硒含量超过其抗氧化酶的需求时, 硒对大部分肉品质性状无显著影响.

维生素E和硒是饲料中最重要的抗氧化物质, 因此饲料中维生素E和硒平衡对维持动物机体健康和获得优质畜产品非常重要. 在一定范围内, 饲料中添加维生素E可减少机体对硒的需求. 研究发现, 随着维生素E水平增加, 机体对硒的需求减少; 而硒缺乏时机体对维生素E的需求增加^[20]. 这些结果表明, 维生素或硒其中一种未达到机体需求时, 补充另一种虽然在一定程度上可发挥代偿作用, 但是并不能完全互相替代. 日粮同时添加维生素E和酵母硒可提高肉鸡胸肌肉中维生素E和硒的含量, 二者协同发挥抗氧化作用, 进而改善胸肌肉pH值、系水力等肉品质性状^[21]. 但是也有研究称, 虽然酵母硒促进了维生素E在肌肉内聚集, 提高了猪肉滴水损失和系水力, 但未显著改善肌肉抗氧化能力^[17]. 近期还有研究报道称, 不同硒源对猪肉中维生素E水平无显著影响, 但是随着猪肉保存时间的延长, 饲喂酵母硒的猪肉中维生素E含量高于饲喂亚硒酸钠的猪肉^[17]. 此外, 饲料原料中硒和维生素E的水平也会影响添加硒的效果. 例如以稻米为主要成分的日粮中添加硒后, 肉鸡胸肌肉中的硒含量并没有显著增加^[21].

热应激条件下机体氧化应激反应增强^[22,23], 肌肉脂质过氧化物含量升高以及谷胱甘肽过氧化物含量降低, 进而导致肉品质降低. 研究发现, 富硒益生菌显著改善了高温条件下饲养的肉鸡胸肌pH、肉色、系水力、滴水损失以及剪切力等肉质指标. 富硒益生菌显著提高了谷胱甘肽过氧化物酶基因表达, 下调了热应激蛋白基因(HSP70)表达, 且其作用优于亚硒酸钠或

益生菌单独添加组^[24]。这一结果表明富硒益生菌可综合益生菌和硒的优点。富硒益生菌的强抗氧化性使其可缓解氧化应激, 减少乳酸形成, 从而改善肌肉pH; 同时抑制细胞凋亡, 从而降低肌肉的滴水损失。

1.2 硒对畜禽肉产品营养价值的影响

硒及不同硒源主要影响肌肉硒含量、脂肪酸组成以及蛋白含量等。饲料中添加硒尤其是有机硒可提高肉中硒含量, 从而增加人体每日硒摄入量, 防止机体因缺硒而引发的疾病^[4,24,25]。有机硒更容易转运进入肌肉, 因为硒代蛋氨酸可依赖蛋氨酸转载体而被主动吸收, 且硒代蛋氨酸可代替蛋氨酸参与蛋白质合成, 从而储存在动物肌肉中^[21]。关于硒对肌肉脂肪含量以及脂肪酸组成的影响目前还存在争议。近期研究发现, 酵母硒提高了山羊和肉鸭肌肉脂肪含量^[15,26]。而Mehdi等人^[25]发现, 亚硒酸钠降低了比利时蓝牛肌肉中脂肪和胆固醇含量。Markovic等人^[14]则发现, 酵母硒也可降低鸡胸肉中脂肪含量。肌肉中的脂肪酸组成尤其是不饱和脂肪酸含量影响肉产品营养价值。Calvo等人^[17]近期研究发现, 酵母硒显著提高宰后猪背长肌中 $\Delta 9$ 去饱和酶活性, 肌肉中C18:1n-9水平显著提高, 而C18:0显著降低。这一结果与Korniluk等人^[27]在羔羊上的研究结果一致。但是也有报道称, 饲料中添加硒降低了猪背长肌中C18:3n-3的含量^[28,29]。不同动物甚至相同动物的饲料中添加硒对肌肉脂肪及脂肪酸组成产生的作用截然相反的原因还有待进一步探讨。关于硒对肌肉蛋白含量的影响结果则比较一致, 大量研究发现, 不同硒源均可提高不同动物肌肉中的蛋白含量^[14,26]。此外也有研究报道, 富硒钴紫花苜蓿草粉可显著提高新西兰大白兔肉中必需氨基酸的含量, 但对蛋白质含量及总氨基酸含量无显著影响^[30]。

1.3 硒影响肉品质及营养价值的作用机制

动物宰后肌肉的酶活性和氧化还原系统迅速衰竭。宰后血液循环中止, 肌肉缺氧导致肌糖原转化产生大量乳酸, 引起肌肉pH降低。猪肉贮存和处理过程中, 水分的大量损失造成肉品质和肉重量下降而产生经济损失。应激条件下脂质和蛋白质过氧化物增加导致肌肉系水力和嫩度降低。氧自由基导致肌肉细胞凋亡增加、肌肉滴水损失升高^[24]。宰后pH的降低速率决定了

滴水损失程度。肌肉细胞中85%的水分保存在肌原纤维中, 而低pH值(5.4~5.6)降低了肌肉蛋白结合水的能力和肌丝间负静电斥力, 使肌丝间空间减小, 导致肌原纤维失水收缩^[17]。研究认为钙蛋白酶失活是肌肉失水的重要原因。钙蛋白酶活性位点含有组氨酸和半胱氨酸, 因此其在氧化反应和pH变化过程中极容易失活。但钙蛋白酶可促进肌肉产生肌间线蛋白, 使肌原纤维连接在细胞膜上, 从而阻止肌细胞膜失水收缩^[31]。因此, 维持肌肉氧化还原平衡和肌肉较高的pH值, 才能保证钙蛋白酶活性, 以降低滴水损失。

作为谷胱甘肽过氧化物酶、碘甲腺原氨酸脱碘酶以及其他酶重要组成部分而发挥强抗氧化性是饲料中添加硒改善肉品质的主要原因。硒的抗氧化性使其具有提高宰后肌细胞膜稳定性和完整性的作用, 从而改善滴水损失和系水力。硒代蛋氨酸通过蛋氨酸转载体吸收, 合成含硒酶的一部分, 或者取代蛋氨酸以硒代蛋氨酸的形式成为蛋白组成部分。硒代蛋氨酸取代蛋氨酸不影响蛋白结构, 但如果硒代蛋氨酸位于酶活性位点的附近, 则会影响酶的活性。此外由于血液循环中止时, 肌细胞缺氧激活磷脂酶A2, 导致细胞膜通透性增加, 也可降低系水力^[32]。但是研究发现, 有机硒提高了系水力, 但对磷脂酶A2活性无影响^[18]。这一结果表明, 有机硒可能主要通过影响钙蛋白酶活性来改善肌肉系水力。硒也是硒蛋白蛋氨酸亚砷还原酶的组成成分, 而该酶是抑制蛋白氧化的重要酶, 可有效防止贮存过程中肉品质的降低^[26]。肉色与肌肉中肌红蛋白氧化紧密相关, 因此抑制肌肉氧化反应是维持肌肉肉色的重要因素。硒可降低肌肉中氧自由基水平, 延迟宰后肌肉中氧合肌红蛋白(红色)向高铁肌红蛋白(棕色)的转化, 从而改善肉色^[16]。

大部分研究认为, 硒对肌肉脂肪含量的影响是因为硒在体内发挥了胰岛素样作用^[15,26]。而有研究认为, 硒对肌肉蛋白含量的影响是因为硒作为硒蛋白重要组成成分, 改变了碘甲腺原氨酸脱碘酶活性, 进而调节甲状腺激素的分泌和肌肉能量代谢^[26]。

2 硒对产蛋性能、蛋品质和营养价值的影响

近几十年来, 大量研究报道了不同硒来源及添加水平对蛋鸡产蛋性能和蛋品质的影响。部分研究表明,

饲料中添加不同硒源(有机硒或无机硒)或不同水平硒(0.2~0.5 mg/kg)对蛋鸡产蛋性能和蛋品质均无显著影响, 但有机硒的生物利用率高于无机硒。另一部分研究则认为, 有机硒可在一定程度上提高蛋品质和贮存时间。这些矛盾的结果可能是由于硒对产蛋性能和蛋品质的影响受蛋鸡种类、蛋鸡所处的产蛋期、饲料配方、环境(温度、湿度和病原菌)、硒的来源、硒的添加水平及时长等多方面因素的影响。如亚硒酸钠提高了高温饲养条件下宝万斯蛋鸡鸡蛋中总蛋白、白蛋白、总脂肪以及总胆固醇含量^[33]; 饲料中添加酵母硒或酵母硒与苜蓿草联合应用可提高产蛋后期海兰褐壳蛋鸡的生产性能和蛋壳强度等^[34,35]; 而在鸡场环境较好(每天光照恒定16 h, 保持自然通风和栏舍清洁卫生, 无任何应激因素), 不使用硒缺乏地区饲料原料的情况下, 黄羽肉种鸡玉米豆粕型饲料不额外添加硒对其产蛋性能无影响^[36]。

但是近期的大部分结果都表明, 不同硒源及不同添加时长均对蛋鸡产蛋性能和蛋品质无显著影响。如Lu等人^[37]发现, 海兰褐壳蛋鸡饲料中连续添加84天亚硒酸钠或酵母硒后, 其平均产蛋率、平均蛋重、每日产蛋重等产蛋性能均无显著变化。Słupczyńska等人^[38]发现, 罗曼蛋鸡饲料中连续添加5个月的亚硒酸钠、酵母硒或硒代蛋氨酸对其产蛋性能和蛋品质无显著影响。此外, Han等人^[39]研究发现, 与单独应用酵母硒相比, 亚硒酸钠和酵母硒联合应用提高了产蛋率且可降低饲料成本, 但对蛋品质和鸡蛋硒沉积均无显著影响。但也有实验报道, 饲料中添加亚硒酸钠、酵母硒或纳米硒都可提高产蛋量、蛋重和日产蛋重等^[40]。

硒对鸡蛋营养价值的影响主要是可提高鸡蛋中硒含量, 以补充人体每日摄入硒含量。通常认为有机硒在鸡蛋的沉积速度比无机硒快且生物利用率比无机硒高^[37,39,41]。如酵母硒中主要成分是硒代蛋氨酸, 其进入鸡蛋的效率与蛋氨酸一样。有机硒是被机体主动吸收且可直接被组装进入蛋白, 而无机硒是被机体被动吸收的^[42,43]。但是近期也有研究发现, 饲喂硒代蛋氨酸的蛋鸡其鸡蛋中硒含量最高, 而饲喂酵母硒和亚硒酸钠的蛋鸡其鸡蛋中硒含量却无差异^[39]。与有机硒在肠道被氨基酸转运载体主动吸收不同, 纳米硒有比表面积高、粒径小和具有纳米乳剂的结构等特点, 而容易被肠道吸收^[44,45]。因此, 与其他硒源相比, 纳米硒可以显著提高硒蛋白表达, 促进自由基清除, 且具有毒性低

和高生物利用度等特点。然而近期孟田田等人^[40]发现, 饲料中添加酵母硒时鸡蛋中硒含量最高, 酵母硒生物利用度高于亚硒酸钠和纳米硒。因此推测, 酵母硒和纳米硒的生物利用度可能受产品本身纯度和性能结构的影响较大。

近期研究主要针对饲料中添加不同硒源及不同时长对鸡蛋中硒含量动态变化的影响。饲料中添加亚硒酸钠或酵母硒仅3天后就显著提高了海兰褐壳蛋鸡所产鸡蛋中的硒含量; 且与亚硒酸钠相比, 酵母硒显著提高了鸡蛋中硒含量; 鸡蛋中硒含量随着饲料中添加硒天数的延长而增加, 第84天时鸡蛋中硒含量最高^[37]。虽然之前也有研究报道过相同的结论, 但其添加时间都比本实验短。然而, 虽然添加硒28天和56天时鸡蛋中的硒含量都高于实验开始时鸡蛋硒含量, 但是第28天和56天鸡蛋中的硒含量无显著差异^[46]。此外还有研究报道称, 罗曼蛋鸡添加不同硒源(亚硒酸钠、酵母硒和硒代蛋氨酸)3个月和5个月时的鸡蛋中硒含量无显著差异^[38]。这可能使得鸡蛋中硒富集到一定程度时, 其硒含量不再增加。

3 硒对产乳性能和乳成分的影响

近年来, 关于硒在奶牛中的应用研究普遍认为无机硒和有机硒对产奶量和乳成分组成均无显著影响。近期关于羟基硒代蛋氨酸的研究也表明, 硒对产乳性能和乳品质无影响, 硒仅影响乳脂率及乳脂含量^[47]。但Sun等人^[47]报道了羟基硒代蛋氨酸饲喂10周后奶中乳脂率及乳脂含量显著增加。而孙玲玲等人^[48]的实验结果则发现, 在基础日粮中添加羟基硒代蛋氨酸(0.3 mg/kg)饲喂4周时奶牛乳脂率及乳脂含量有下降的趋势。此外, 除了影响乳脂含量, 有机硒还有利于提高牛奶中的亚麻酸含量^[49]。但是, 近期也有研究报道称, 虽然添加高剂量有机硒(6 mg/天)对奶牛日产奶量及奶成分无显著影响, 但添加90天后全程产奶量比添加无机硒的奶牛提高了20%^[47]。此外, 饲料中添加硒虽对奶山羊乳成分无显著影响, 但显著提高了奶山羊产奶量, 且有机硒的作用优于无机硒; 但是硒添加水平(0.2 mg/kg vs. 0.4 mg/kg)对奶产量无显著影响^[50]。饲料中添加不同硒源均可提高乳中硒含量, 且有机硒效果优于无机硒^[47,50](图1)。

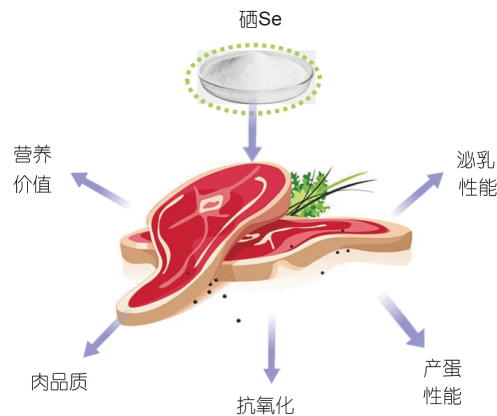


图 1 硒对畜禽产品品质的影响(网络版彩图)

Figure 1 The effect of selenium on the quality of domestic animal products (color online)

4 总结

基于硒对维持动物机体健康以及提高畜产品品质的重要作用, 其目前在猪、蛋鸡、肉鸡、鸭、鹅、兔、奶牛等畜禽中得到了广泛应用. 在畜禽中应用的

硒源也日益增多, 从最开始的无机硒, 如亚硒酸钠, 到有机硒, 如酵母硒、硒代蛋氨酸、硒代半胱氨酸等, 再到近年来开始应用的羟基硒代蛋氨酸、富硒益生菌、富硒苜蓿草以及纳米硒等. 畜禽补充硒时要注意饲料原料中硒含量、动物是否对环境产生应激等; 同时饲料中可以搭配使用不同硒源以促进吸收, 提高利用效率, 节约饲料成本. 此外, 饲料中添加硒还应注意与维生素E的平衡关系, 以及硒与其他物质, 如亚麻油、苜蓿草等联合使用可能发挥更好的作用.

硒主要作为多种抗氧化酶蛋白的重要组成部分来提高畜禽抗氧化能力, 从而发挥改善畜禽产品品质的作用. 有机硒在畜禽体内的生物利用率高, 通常能表现出比无机硒更好的效果. 然而, 硒改善肉品质的机制, 如硒如何影响宰后肉pH值等还有待进一步研究. 此外, 硒主要通过改善畜禽产品硒、脂肪和蛋白质等含量来改善产品品质. 目前研究普遍认为, 不同硒源、不同添加水平和时长均能增加肉、蛋和奶中的硒含量. 但是硒是否影响畜禽产品脂肪和蛋白质含量及相关机制都有待进一步探讨.

参考文献

- Meng T T, Liu Y L, Zhang B, et al. Biological functions of selenomethionine and its application in laying hens (in Chinese). *Chin J Anim Nutr*, 2017, 29: 4281–4286 [孟田田, 刘怡琳, 张彬, 等. 硒代蛋氨酸的生物学功能及在蛋鸡生产中的应用. *动物营养学报*, 2017, 29: 4281–4286]
- Wang Z M, Yuan L X, Zhu Y Y, et al. On standards of selenium enriched agricultural products and selenium-rich soil in China (in Chinese). *Soils*, 2018, 50:1080–1086 [王张民, 袁林喜, 朱元元, 等. 我国富硒农产品与土壤标准研究. *土壤*, 2018, 50:1080–1086]
- Yin Y L, Yan S G, Wang P Z, et al. Review of soil selenium biotransformation (in Chinese). *Soils*, 2018, 50: 1072–1079 [印遇龙, 颜送贵, 王鹏祖, 等. 富硒土壤生物转硒技术的研究进展. *土壤*, 2018, 50: 1072–1079]
- Batorska M, Więcek J, Rekiel A. Influence of organic vs. inorganic source and different dietary levels of selenium supplementation in diets for growing pigs on meat quality. *J Elementol*, 2017, 22: 653–662
- Jin J Z, Shao F J. Selenium in animals and the environment (in Chinese). *J Agro-Environ Sci*, 1985, 5: 38–43 [金家志, 邵凤君. 动物与环境中的硒. *农业环境科学学报*, 1985, 5: 38–43]
- Jiang Z Y, Wang Y, Lin Y C, et al. Effects of selenomethionine on selenium concentration in plasma and tissues and antioxidant capacity of finishing pigs (in Chinese). *Sci Agric Sin*, 2010, 43: 2147–2155 [蒋宗勇, 王燕, 林映才, 等. 硒代蛋氨酸对肥育猪血浆和组织硒含量及抗氧化能力的影响. *中国农业科学*, 2010, 43: 2147–2155]
- Payne R L, Southern L L. Comparison of inorganic and organic selenium sources for broilers. *Poultry Sci*, 2005, 84: 898–902
- Juniper D T, Phipps R H, Ramos-Morales E, et al. Effect of dietary supplementation with selenium-enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in beef cattle. *J Anim Sci*, 2008, 86: 3100–3109
- Feng Y, Yang L, Zhu Y W, et al. Methionine regulates the major physiological functions of animals (in Chinese). *Sci Sin Vitae*, 2019, 49: 228–237 [冯艳, 杨琳, 朱勇文, 等. 蛋氨酸调控动物主要生理功能的机制. *中国科学: 生命科学*, 2019, 49: 228–237]
- Mahan D C, Azain M, Crenshaw T D, et al. Supplementation of organic and inorganic selenium to diets using grains grown in various regions of the United States with differing natural Se concentrations and fed to grower-finisher swine. *J Anim Sci*, 2014, 92: 4991–4997
- Wu X, Meng T T, Wan D, et al. Advance on application of selenium in livestock and poultry (in Chinese). *Curr Biotechnol*, 2017, 7: 428–432 [吴

- 信, 孟田田, 万丹, 等. 硒在畜禽养殖中的应用研究进展. *生物技术进展*, 2017, 7: 428–432]
- 12 Ju G Y, Wan X L, Yang H M, et al. Effects of different selenium sources and selenium supplemental levels on growth performance, slaughter performance, meat quality and breast muscle selenium content of geese (in Chinese). *Chin J Anim Nutr*, 2019, 31: 662–668 [鞠耿越, 万晓莉, 杨海明, 等. 不同硒源和硒添加水平对鹅生长性能、屠宰性能、肉品质和胸肌硒含量的影响. *动物营养学报*, 2019, 31: 662–668]
 - 13 Silva V A, Clemente A H S, Nogueira B R F, et al. Supplementation of selenomethionine at different ages and levels on meat quality, tissue deposition, and selenium retention in broiler chickens. *Poultry Sci*, 2018, 98: 2150–2159
 - 14 Markovic R, Ciric J, Drljacic A, et al. The effects of dietary selenium-yeast level on glutathione peroxidase activity, tissue Selenium content, growth performance, and carcass and meat quality of broilers. *Poultry Sci*, 2018, 97: 2861–2870
 - 15 Samo S P, Malhi M, Gadahi J, et al. Effect of organic selenium supplementation in diet on gastrointestinal tract performance and meat quality of goat. *Pakistan J Zool*, 2018, 50: 995–1001
 - 16 Maraba K P, Mlambo V, Yusuf A O, et al. Extra dietary vitamin E-selenium as a mitigation strategy against housing-induced stress in Dohne Merino lambs: Effect on growth performance, stress biomarkers, and meat quality. *Small Ruminant Res*, 2018, 160: 31–37
 - 17 Calvo L, Toldrá F, Rodríguez A I, et al. Effect of dietary selenium source (organic vs. mineral) and muscle pH on meat quality characteristics of pigs. *Food Sci Nutr*, 2017, 5: 94–102
 - 18 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. *Biol Trace Elem Res*, 2018, 181: 340–346
 - 19 Mahan D C, Cline T R, Richert B. Effects of dietary levels of selenium-enriched yeast and sodium selenite as selenium sources fed to growing-finishing pigs on performance, tissue selenium, serum glutathione peroxidase activity, carcass characteristics, and loin quality. *J Anim Sci*, 1999, 77: 2172–2179
 - 20 Tugarova A V, Vetchinkina E P, Loshchinina E A, et al. Reduction of selenite by *Azospirillum brasilense* with the formation of selenium nanoparticles. *Microb Ecol*, 2014, 68: 495–503
 - 21 Roll A A P, Gopinger E, Castro M L S, et al. Brown rice, selenium yeast and α -tocopherol acetate in chicken's diet: Effects on meat quality. *Semin: Ciênc Agrár*, 2017, 38: 957–968
 - 22 Yin J, Han H, Liu Z M, et al. Regulation of functional amino acids on oxidative stress in pigs (in Chinese). *Sci Sin Vitae*, 2019, 49: 193–201 [尹杰, 韩慧, 刘泽民, 等. 功能性氨基酸调控猪氧化应激的研究进展. *中国科学: 生命科学*, 2019, 49: 193–201]
 - 23 Wang T W, Teng K L, Liu G, et al. The functions and mechanisms of microecological agents in weaning piglet intestine (in Chinese). *Sci Sin Vitae*, 2019, 49: 97–107 [王天成, 滕坤玲, 刘刚, 等. 微生态制剂对断奶仔猪肠道健康的影响及作用机制. *中国科学: 生命科学*, 2019, 49: 97–107]
 - 24 Khan A Z, Kumbhar S, Liu Y, et al. Dietary supplementation of selenium-enriched probiotics enhances meat quality of Broiler chickens (*Gallus gallus domesticus*) raised under high ambient temperature. *Biol Trace Elem Res*, 2018, 182: 328–338
 - 25 Mehdi Y, Clinquart A, Hornick J L, et al. Meat composition and quality of young growing Belgian blue bulls offered a fattening diet with selenium enriched cereals. *Can J Anim Sci*, 2015, 95: 465–473
 - 26 Baltić M Ž, Starčević M D, Bašić M, et al. Effects of selenium yeast level in diet on carcass and meat quality, tissue selenium distribution and glutathione peroxidase activity in ducks. *Anim Feed Sci Tech*, 2015, 210: 225–233
 - 27 Korniluk K, Gabryszuk M, Kowalczyk J, et al. Effect of diet supplementation with selenium, zinc and alpha-tocopherol on fatty acid composition in the liver and loin muscle of lambs. *Anim Sci Pap Rep*, 2008, 26: 59–70
 - 28 Nuernberg K, Kuechenmeister U, Kuhn G, et al. Influence of dietary vitamin E and selenium on muscle fatty acid composition in pigs. *Food Res Int*, 2002, 35: 505–510
 - 29 Jin S K, Kim I S, Hur I C, et al. Effect of feeding complex of wild chrysanthemum powder, probiotics and selenium on meat quality in finishing porks. *Korean J Food Sci Anim Resour*, 2009, 29: 114–120
 - 30 Guo X, Hu H F, Jie X L, et al. Effects of alfalfa meals abundant in selenium and cobalt applied to diets of rabbit on forage conversion rate and meat quality (in Chinese). *J Domest Anim Ecol*, 2017, 38: 29–33 [郭孝, 胡华峰, 介晓磊, 等. 日粮中添加富硒钴苜蓿草粉对家兔饲料转化率和肉品质的影响. *家畜生态学报*, 2017, 38: 29–33]
 - 31 Huff-Lonergan E, Lonergan S M. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Sci*, 2005, 71: 194–204
 - 32 Lambert I H, Nielsen J H, Andersen H J, et al. Cellular model for induction of drip loss in meat. *J Agric Food Chem*, 2001, 49: 4876–4883

- 33 Abd El-Hack M E, Mahrose K, Askar A A, et al. Single and combined impacts of vitamin A and selenium in diet on productive performance, egg quality, and some blood parameters of laying hens during hot season. *Biol Trace Elem Res*, 2017, 177: 169–179
- 34 Yang Y, Sun Y, Sun B S, et al. Effects of selenium yeast supplementation on performance, egg quality, antioxidant and lipid metabolism and their related gene expression of laying hens at late laying period (in Chinese). *Chin J Anim Nutr*, 2018, 30: 4397–4407 [杨玉, 孙煜, 孙宝盛, 等. 酵母硒对产蛋后期蛋鸡生产性能、蛋品质、抗氧化与脂代谢及其相关基因表达的影响. *动物营养学报*, 2018, 30: 4397–4407]
- 35 Yang Y, Sun Y, Sun B S, et al. Effects of combination of selenium yeast and polysavone on egg quality, antioxidant ability and cholesterol metabolism of hens during late period of laying (in Chinese). *Chin J Anim Nutr*, 2018, 30: 4095–4104 [杨玉, 孙煜, 孙宝盛, 等. 酵母硒和苜蓿素联用对产蛋后期蛋鸡蛋品质、抗氧化能力和胆固醇代谢的影响. *动物营养学报*, 2018, 30: 4095–4104]
- 36 Lin X J, Jiang S Q, Li L, et al. Effects of dietary vitamin E and selenoyeast on laying performance, hatching performance and vitamin E and selenium deposition in egg of yellow-feathered Broiler Breeders (in Chinese). *Chin J Anim Nutr*, 2017, 29: 1515–1526 [林厦菁, 蒋守群, 李龙, 等. 饲料添加维生素E和酵母硒对黄羽肉种鸡产蛋性能、孵化性能及蛋中维生素E和硒沉积量的影响. *动物营养学报*, 2017, 29: 1515–1526]
- 37 Lu J, Qu L, Shen M M, et al. Comparison of dynamic change of egg selenium deposition after feeding sodium selenite or selenium-enriched yeast. *Poultry Sci*, 2018, 97: 3102–3108
- 38 Słupczyńska M, Jamroz D, Orda J, et al. Long-term supplementation of laying hen diets with various selenium sources as a method for the fortification of eggs with selenium. *J Chem*, 2018, 2018(3): 1–7
- 39 Han X J, Qin P, Li W X, et al. Effect of sodium selenite and selenium yeast on performance, egg quality, antioxidant capacity, and selenium deposition of laying hens. *Poultry Sci*, 2017, 96: 3973–3980
- 40 Meng 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. *Biol Trace Elem Res*, 2018, 189: 548–555
- 41 Chantiratikul A, Chinrasri O, Chantiratikul P. Effect of selenium from selenium-enriched kale sprout versus other selenium sources on productivity and selenium concentrations in egg and tissue of laying hens. *Biol Trace Elem Res*, 2018, 182: 105–110
- 42 Chao Y M. Evaluation on efficiency and tolerance of hydroxy-analogue of selenomethionine (HMSeBA) in weanling piglets (in Chinese). Dissertation for Master's Degree. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2017 [晁娅梅. 硒蛋氨酸羟基类似物(HMSeBA)在断奶仔猪饲料中的有效性和耐受性评价研究. 硕士学位论文. 成都: 四川农业大学, 2017]
- 43 Mehdi Y, Hornick J L, Istasse L, et al. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules*, 2013, 18: 3292–3311
- 44 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. *Anim Feed Sci Tech*, 2012, 177: 204–210
- 45 He Y M, Su Y, Hong L L, et al. Screening and application of peptamers (in Chinese). *Sci Sin Vitae*, 2018, 48: 1054–1064 [贺玉敏, 苏云, 洪玲玲, 等. 肽适体的筛选及其应用. *中国科学: 生命科学*, 2018, 48: 1054–1064]
- 46 Utterback P L, Parsons C M, Yoon I, et al. Effect of supplementing selenium yeast in diets of laying hens on egg selenium content. *Poultry Sci*, 2005, 84: 1900–1901
- 47 Sun P, Wang J, Liu W, et al. Hydroxy-selenomethionine: A novel organic selenium source that improves antioxidant status and selenium concentrations in milk and plasma of mid-lactation dairy cows. *J Dairy Sci*, 2017, 100: 9602–9610
- 48 Sun L L, Wang K, Gao S T, et al. Effects of different selenium sources on selenium content in plasma and milk, and serum antioxidant capacity of lactating dairy cows under short-term trial conditions (in Chinese). *Chin J Anim Nutr*, 2018, 30: 589–596 [孙玲玲, 王坤, 高胜涛, 等. 短期试验条件下不同硒源对泌乳奶牛血浆和乳中硒含量及血清抗氧化能力的影响. *动物营养学报*, 2018, 30: 589–596]
- 49 Đidara M, Šperanda M, Domaćinović M, et al. Plasma and milk fatty acid composition as a response to dietary n-3 fatty acids and selenium in periparturient Holstein cows. *Mljekarstvo*, 2017, 67: 123–129
- 50 Zhang L, Liu X R, Liu J Z, et al. Supplemented organic and inorganic selenium affects milk performance and selenium concentration in milk and tissues in the Guanzhong Dairy Goat. *Biol Trace Elem Res*, 2018, 183: 254–260

Recent advances in the effects and mechanism of selenium on the quality of domestic animal products

LIU YongHui^{1,2}, ZHOU XiHong², HE LiuQin^{1,2}, YIN YuLong^{1,2} & LI FengNa²

1 Hunan International Joint Laboratory of Animal Intestinal Ecology and Health, Laboratory of Animal Nutrition and Human Health, College of Life Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;

2 Laboratory of Animal Nutritional Physiology and Metabolic Process, Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China

Selenium is an essential trace element for the body. Selenium plays important roles in the enhancement of antioxidant capability, regulation of immune response, promotion of growth and development, and is involved in nutrition metabolism and reproduction as well. Selenium has been used as an antioxidant additive in animal feed for decades and its application is widely increasing in recent years. Dietary supplementation with selenium not only improves carcass traits and meat quality of livestock, but also increases the accumulation of selenium in meat, eggs and milk, which help improve daily uptake of selenium for humans. This review summarizes the recent advances in the effects of supplementation of selenium with different sources, levels and periods on the quality of domestic animal products. Furthermore, the mechanisms of the improvement of animal products by selenium are also discussed.

selenium, livestock and poultry, meat, egg, milk

doi: [10.1360/SSV-2019-0054](https://doi.org/10.1360/SSV-2019-0054)