

硒在畜禽养殖中的应用研究进展

吴 信^{1,2}, 孟田田^{1,2}, 万 丹^{1,2}, 谢春艳^{1,2}, 印遇龙^{1,2,3*}

1.中国科学院亚热带农业生态研究所,中国科学院亚热带农业生态过程重点实验室,长沙 410125;

2.湖南省畜禽健康养殖工程技术研究中心,长沙 410125;

3.湖南师范大学生命科学学院,长沙 410006

摘 要: 硒元素是机体不可缺少的微量元素,具有许多生物学功能。不仅可有效提高机体的抗氧化功能、调节机体的免疫力、广泛参与动物营养物质代谢和繁殖过程等,还对畜禽的生长发育起促进作用。主要论述了硒对畜禽健康的影响及可能的机制,并重点综述了硒在畜禽养殖中的作用相关的研究进展,以期为畜禽的科学化养殖提供参考。

关键词: 硒; 畜禽; 免疫; 抗氧化

DOI:10.19586/j.2095-2341.2017.0092

Advance on Application of Selenium in Livestock and Poultry

WU Xin^{1,2}, MENG Tiantian^{1,2}, WAN Dan^{1,2}, XIE Chunyan^{1,2}, YIN Yulong^{1,2,3*}

1.Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China;

2.Hunan Provincial Engineering Research Center of Healthy Livestock, Changsha 410125, China;

3.School of Life Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410006, China

Abstract: Selenium (Se) is an essential element with a number of biochemical functions in animals. It can effectively improve the antioxidant ability, regulate the immunity, participate in metabolism and multiplicative process, improve the growth performance of livestock and poultry. This paper reviewed the influence of Se on health of livestock and poultry and related possible mechanisms. We especially summarized the application of Se in livestock and poultry raising which was expected to provide references for scientific feeding of livestock and poultry.

Key words: selenium; livestock and poultry; immunity; antioxidant function

1817 年,瑞典化学家 Jons Jakob Berzelius 发现并命名元素“硒”(selenium)。硒元素在地壳中的含量极微(0.05~0.09 mg/kg),约是同族元素硫的六千分之一。大量研究表明,硒作为机体中含硒蛋白的主要组成成分,具有抗氧化、维持正常的免疫力和繁殖功能等 30 多种作用。硒元素缺乏会导致机体发生某些生理方面的疾病,而在适量范围内提高硒的摄取后则可以提高机体的抵抗力。1973 年世界卫生组织(WHO)正式确认了硒元素是生物活动的必需微量元素,其在机体中的生理学功能也越来越明确。

1 硒对畜禽健康的影响概述

作为硒蛋白的主要成分,硒具有抗氧化、维持正常免疫和繁殖等生物学功能,参与动物代谢、繁殖和免疫应答,对畜禽的生长发育起促进作用。机体几乎所有的组织均能利用硒元素,包括参与先天性和适应性免疫反应的细胞。1957 年德国科学家 Schwarz 和 Foltz^[1]研究表明硒元素具有营养作用并可防止犊牛白肌病,首次揭示了硒的动物营养作用和抗病功能。后续研究进一步发现硒

收稿日期:2017-07-18; 接受日期:2017-08-01

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0501201;2016YFD0500504);湖南省科技重大专项(2015NK1002)资助。

作者简介:吴 信,副研究员,硕士生导师,博士,研究方向为氨基酸、核苷酸和矿物元素的营养代谢。E-mail:wuxin@isa.ac.cn。* 通信作者:印遇龙,中国工程院院士,博士生导师,研究方向为单胃动物营养。E-mail:yinyulong@isa.ac.cn

是谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的组成成分,GSH-Px 又是过氧化氢和人类细胞中脂质和磷脂氢过氧化物的清除剂^[2]。硒、维生素 E 及含硫氨基酸在动物体内关系密切,共同参与动物体内的抗氧化过程并维持细胞膜的完整性,维持胰腺、心肌和肝脏的正常功能。

2 硒的缺乏症和毒性

我国地貌多样,这造成硒的分布和含量在不同地区有明显差异,并间接地影响畜禽健康。国内有超过 70%的地区缺硒,其中 30%的地区严重缺硒。土壤 pH 是影响植物中硒含量的主要因素,酸性土壤中硒含量虽高,但硒和铁、铜等元素易形成不易被植物吸收的化合物,故这类地区的植物硒含量一般较低,采食该地区植物的畜禽易患硒缺乏症,其中家禽对低硒更为敏感;碱性土壤中硒为水溶性化合物,易被植物吸收,采食该地区植物的畜禽易出现硒中毒症状。

2.1 硒的缺乏症

硒缺乏会导致各种疾病产生,如克山病和大骨节病等地方性疾病。动物缺硒主要表现为骨骼肌变性或坏死、肝坏死及心肌纤维变性等症状。早在 1957 年,研究者们就发现,猪缺硒会导致肝坏死以及心肌和骨骼肌的变性甚至死亡。缺硒和维生素 E 可导致大鼠肝坏死,而补硒可预防此病症的发生^[1]。之后的研究表明,饲料中硒缺乏会导致猪出现桑椹心、牛羊产生白肌病,而家禽对硒尤为敏感^[3]。缺硒会使家禽出现渗出性素质病和胰腺坏死、肌肉营养性萎缩等症状。

2.2 硒的毒性

硒作为一种微量元素,缺乏时机体会出现缺乏症,而摄入过多则造成人或动物的硒中毒。硒的毒性通常是由于在食物链中的人体组织和生物放大作用积聚而产生的。动物硒中毒分为急性中毒和慢性中毒。急性中毒主要是因为家畜大量采食含硒量高的植物或误用含硒药物;而硒慢性中毒一般表现为“蹒跚盲”或“碱性病”。13 世纪中叶,马可波罗记录山西省等中国的偏远地区,某些有毒植物的出现会造成动物的蹄脱落。20 世纪 30 年代,美国西部出现“碱性病”,后来经研究确认为硒慢性中毒。这种疾病的症状是蹄坏死或脱

落、脱发、生长和繁殖性能变差,在极端情况下会导致动物死亡。在高硒地区,反刍动物和单胃动物经常出现硒慢性中毒。直到 20 世纪 50 年代,硒一直被视为环境毒物。

过量的硒可降低免疫力、增加氧化损伤并导致一系列临床病理变化。但有研究表明,与硒甲基硒代半胱氨酸相比,纳米硒可增加 GSH-Px、硫氧还蛋白还原酶和谷胱甘肽 S-转移酶的活性,还能降低半数致死量、降低急性肝损伤和短期毒性^[4]。研究发现,硒添加量过高会影响猪肝脏和肌肉的脂质代谢和蛋白质平衡^[5],但适量的硒添加量可通过促进抗氧化酶的活性来增强机体脂质和蛋白质的氧化稳定性^[6]。有研究表明,无机硒或有机硒在 5 mg/kg 时会产生毒性,当亚硒酸钠为硒源时,其产生毒性的剂量更低^[7,8]。有机硒在生物转化和降低对机体的毒性方面明显优于无机硒,因而通过各种途径将无机硒转化为有机硒已成为国内外学者追逐的热点。

3 硒在畜禽养殖中的作用

3.1 硒对畜禽的免疫调节作用

缺硒状态下,幼龄家禽免疫器官的生长发育和成熟会受到影响,免疫器官指数及血清抗体浓度降低,免疫应答和抗病力显著下降,缺硒可通过调控细胞因子的表达,最终损害机体的免疫功能^[9]。硒可提高免疫细胞的活性,如自然杀伤细胞、B 淋巴细胞、吞噬细胞以及 T 淋巴细胞等,同时还能够增强机体非特异性免疫、细胞免疫及体液免疫的功能。硒还可作为免疫增强剂刺激免疫球蛋白的形成,提高机体合成 IgG、IgM 抗体的能力,增强机体特异性体液免疫机能。

免疫反应需要多种酶的参与和激活,其中硒作为谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活性中心,在机体的抗氧化防御系统中起至关重要的作用,也间接参与免疫反应。硒通过硒代半胱氨酸并入硒蛋白而发挥其生物学效应。机体内发挥抗氧化功能的硒蛋白(酶)主要是 GSH-Px、硫氧还蛋白还原酶、硒蛋白 P 和硒蛋白 W 等,其中 GSH-Px 主要通过减少过氧化氢来抑制蛋白激酶的活化和 I κ B α 的磷酸化。研究表明,硒缺乏会显著破坏细胞和线粒体膜,导致机体活性氧水平升高、机体氧化应激增强^[10]。日粮中硒缺乏会导致鸡血清

GSH-Px 和超氧化物歧化酶(SOD)的活性降低、黄嘌呤氧化酶活性和丙二醛含量升高、总抗氧化能力降低^[9]。硒缺乏导致紫外线 B 照射后小鼠的 GSH 水平和抗氧化酶活性降低^[11]。对缺硒动物补充硒之后机体又恢复了抗氧化能力,减少了炎症应激反应的发生^[12]。在防御机制中,硒作为抗氧化应激的重要协调者,可阻断氧自由基作用导致的损伤,影响新陈代谢和免疫过程。

缺硒可降低机体血清白细胞介素-1(IL-1)和白细胞介素-6(IL-6)含量,升高肿瘤坏死因子- α (TNF- α)含量,其中增加的 TNF- α 可以诱导核转录因子-kappaB(NF- κ B)的活化,同时增加肝细胞中 C 反应蛋白(CRP)的分泌。适量补硒会增加硒酶的活性,从而抑制 NF- κ B 与启动子结合,减弱细胞因子的释放,并因此抑制 CRP 的合成^[13](图 1)。本实验室研究表明,日粮中添加酵母硒可降低猪圆环病毒 2 型感染小鼠血清的 TNF- α 水平,并降低肺和脾脏微观损伤评分,从而减轻猪圆环病毒 2 型感染产生的炎症反应^[14]。

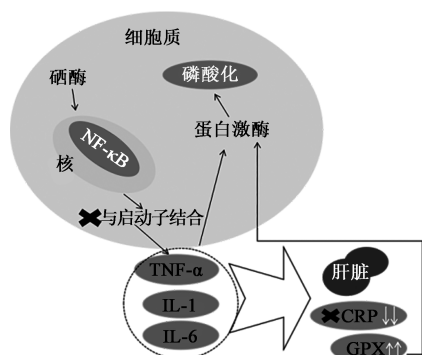


图 1 硒免疫调节机制^[10]

Fig.1 The immune regulation mechanism of selenium^[10].

3.2 硒对动物繁殖性能的影响

硒是影响动物繁殖力和生产力的重要因素。早在 1974 年就有研究报道初产母猪体内沉积硒的量能够满足第一胎的需要,低硒饲料不会影响产仔数,但在随后的生产中发现低硒饲料使母猪的生产性能降低。Mahan^[15] 1996 年的研究结果表明饲喂酵母硒的母猪初乳和常乳中硒含量较饲喂无机硒的高,且断奶仔猪血清、肝脏和眼肌中硒含量都较高。这说明有机硒和无机硒都可以通过母乳转运,但有机硒的转运效率较高。

另外,硒可结合在精子的线粒体上,是精子必需的矿物元素,对维持精子细胞结构和机能的完

整性具有特殊作用。缺硒会导致精子变性和精子活力下降,进而影响动物的繁殖力^[16]。公猪饲料中缺硒会使精子总数及活精子数减少。

3.3 硒对肉质的影响

硒能够通过其抗氧化功能提高畜禽肉产品的品质。硒是 GSH-Px 活性中心的组成成分,该活性中心能够将有害的脂质过氧化物还原为无害的羟基化合物,并使过氧化物分解,从而保持细胞膜的完整性,避免细胞膜结构和功能被破坏,减少肌肉的滴水损失。此外,硒还能通过过氧化氢酶和 SOD 清除脂质过氧化物,提高肉品品质。研究表明,生长肥育猪饲料中添加酵母硒能够降低白肌肉(PSE)产生的可能性,从而显著降低背最长肌的滴水损失,且猪肉适口性良好。Zhou 等^[17] 在基础饲料中添加纳米硒发现,广西黄鸡胸肌肉滴水损失显著降低。Zhan 等^[18] 的研究结果表明硒代蛋氨酸和亚硒酸钠可提高猪宰后肌肉的红色色度(Hunter a 值),减少肌肉的滴水损失,且硒代蛋氨酸(酵母硒的主要成分)作用优于亚硒酸钠。有研究发现,酵母硒和亚硒酸钠均不影响电导率和滴水损失,与亚硒酸钠组相比,酵母硒降低了冷藏储存第 7 天后肌肉样品中的硫代苯巴比妥酸反应底物值(TBARS),升高了第 1 天和第 7 天的 a 值^[19]。Mateo 等^[20] 研究结果表明,无机硒和有机硒均可显著降低猪肉的滴水损失,且滴水损失率随着有机硒浓度的增加而线性降低。

3.4 硒对畜禽生长发育的影响

目前,国内外关于硒对畜禽动物是否具有促生长的作用一直存在争论。大部分研究表明硒具有促生长作用。Cao 等^[21] 发现,与 0.3 mg/kg 的亚硒酸钠相比,添加 0.3 mg/kg 和 0.7 mg/kg 的硒代蛋氨酸都可显著降低断奶仔猪的料肉比。Hu 等^[22] 在怀孕母猪后期饲料中分别添加亚硒酸钠和硒代蛋氨酸发现,硒代蛋氨酸可显著提高 28 d 仔猪的活体重和平均日增重。Zhan 等^[23] 报道,与添加 0.3 mg/kg 亚硒酸钠相比,怀孕母猪添加同等水平的硒代蛋氨酸显著提高了仔猪从出生到断奶的平均日增重。另外,肉鸡饲料中添加不同硒源能改善肉仔鸡饲料转化率和日增重,并降低料重比,添加 0.225 mg/kg 的硒代蛋氨酸可以显著提高肉鸡的生长性能^[24]。另一方面,有一些研究者报道,硒并不能促进生长。例如, Mateo 等^[20]

研究表明,有机硒和无机硒对猪的生长性能没有显著影响,但是改善了肉质。

4 展望

随着对硒的功能认识越来越明确,硒在畜禽生产中的应用也越来越广泛。目前硒补充剂一般有两种形式,硒酸盐、亚硒酸钠等形式的无机硒及硒代蛋氨酸等形式的有机硒。无机硒中的亚硒酸根离子易发生氧化作用,生物利用率较低,且可能与其他矿物质发生拮抗作用,导致体内硒沉积和贮备力差。因而添加无机硒不但不能达到理想的补硒效果,还可能对动物存在潜在的危害以及对环境造成污染。而有机硒吸收利用率高、毒副作用小,且在提高机体抗氧化、抗应激和免疫能力等方面效果均明显优于无机硒。农业部 1224 公告中已明确将酵母硒列入使用范围,随着这一新规的出台,有机硒的应用价值也进一步被养殖业所认可。但是目前对硒的营养性功能和毒性作用研究还存在一定争议。因此,应进一步研究硒的吸收转运机制,阐明硒的毒性机理,加强硒的免疫调控机制研究,为其在生产中发挥更积极的应用提供参考。

参 考 文 献

- [1] Schwarz K, Foltz C M. Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration[J]. J. Am. Chem. Soc., 1957, 79(12): 3292-3293.
- [2] Rotruck J T, Pope P A, Ganther H E, *et al.*. Selenium: Biochemical role as a component of glutathione peroxidase[J]. Science, 1973, 179(4073): 588-590.
- [3] Mayland H F. Selenium in plant and animal nutrition[A]. In: Frankenberger J W T, Benson S. Selenium in Theenvironment[M]. New York: Marcel Dekker Inc., 1994, 29-45.
- [4] Zhang J, Wang X, Xu T. Elemental selenium at nano size (Nano-Se) as a potential chemopreventive agent with reduced risk of selenium toxicity: Comparison with se-methylselenocysteine in mice[J]. Toxicol. Sci., 2008, 101(1): 22-31.
- [5] Zhao Z, Barcus M, Kim J, *et al.*. High dietary selenium intake alters lipid metabolism and protein synthesis in liver and muscle of pigs[J]. J. Nutr., 2016, 146(9): 1625-1633.
- [6] Delles R M, Xiong Y L, True A D, *et al.*. Dietary antioxidant supplementation enhances lipid and protein oxidative stability of chicken broiler meat through promotion of antioxidant enzyme activity[J]. Poult. Sci., 2014, 93(6): 1561-1570.
- [7] Kim Y Y, Mahan D C. Comparative effects of high dietary levels of organic and inorganic selenium on selenium toxicity of growing-finishing pigs[J]. J. Anim. Sci., 2001, 79(4): 942-948.
- [8] Bennett D C, Cheng K M. Selenium enrichment of table eggs[J]. Poult. Sci., 2010, 89(10): 2166-2172.
- [9] Zhang Z W, Wang Q H, Zhang J L, *et al.*. Effects of oxidative stress on immunosuppression induced by selenium deficiency in chickens[J]. Biol. Trace. Elem. Res., 2012, 149(3): 352-361.
- [13] Duntas L H. Selenium and inflammation; underlying anti-inflammatory mechanisms[J]. Horm. Metab. Res., 2009, 41(6): 443-447.
- [14] Liu G, Yang G, Guan G, *et al.*. Effect of dietary selenium yeast supplementation on porcine circovirus type 2 (PCV2) infections in mice[J]. PLoS ONE, 2015, 10(2): e0115833.
- [10] Brenneisen P, Steinbrenner H, Sies H. Selenium, oxidative stress, and health aspects[J]. Mol. Aspects. Med., 2005, 26(4-5): 256-267.
- [11] Zhu X, Jiang M, Song E, *et al.*. Selenium deficiency sensitizes the skin for UVB-induced oxidative damage and inflammation which involved the activation of p38 mapk signaling[J]. Food. Chem. Toxicol., 2015, 75: 139-145.
- [12] Ebert R, Ulmer M, Zeck S, *et al.*. Selenium supplementation restores the antioxidative capacity and prevents cell damage in bone marrow stromal cells *in vitro* [J]. Stem. Cells, 2006, 24(5): 1226-1235.
- [15] Mahan D C, Kim Y Y. Effect of inorganic or organic selenium at two dietary levels on reproductive performance and tissue selenium concentrations in first-parity gilts and their progeny[J]. J. Anim. Sci., 1996, 74(11): 2711-2718.
- [16] Marín-Guzmán J, Mahan D C, Pate J L. Effect of dietary selenium and vitamin E on spermatogenic development in boars[J]. J. Anim. Sci., 2000, 78(6): 1537-1543.
- [17] Zhou X, Wang Y. Influence of dietary nano elemental selenium on growth performance, tissue selenium distribution, meat quality, and glutathione peroxidase activity in guangxi yellow chicken[J]. Poult. Sci., 2011, 90(3): 680-686.
- [18] Zhan X A, Wang M, Zhao R Q, *et al.*. Effects of different selenium source on selenium distribution, loin quality and antioxidant status in finishing pigs[J]. Anim. Feed Sci. Technol., 2007, 132(3-4): 202-211.
- [19] Calvo L, Toldra F, Rodríguez A I, *et al.*. Effect of dietary selenium source (organic vs. mineral) and muscle pH on meat quality characteristics of pigs[J]. Food Sci. Nutr., 2017, 5(1): 94-102.
- [20] Mateo R D, Spallholz J E, Elder R, *et al.*. Efficacy of dietary selenium sources on growth and carcass characteristics of growing-finishing pigs fed diets containing high endogenous selenium[J]. J. Anim. Sci., 2007, 85(5): 1177-1183.
- [21] Cao J, Guo F, Zhang L, *et al.*. Effects of dietary selenomethionine supplementation on growth performance, antioxidant status, plasma selenium concentration, and immune function in

- weaning pigs[J]. J. Anim. Sci. Biotechnol.,2014,5(1):46.
- [22] Hu H, Wang M, Zhan X A, *et al.*. Effect of different selenium sources on productive performance, serum and milk se concentrations, and antioxidant status of sows[J]. Biol. Trace. Elem. Res.,2011,142(3):471-480.
- [23] Zhan X, Qie Y, Wang M, *et al.*. Selenomethionine: An effective selenium source for sow to improve se distribution, antioxidant status, and growth performance of pig offspring[J]. Biol. Trace. Elem. Res.,2011,142(3):481-491.
- [24] Jiang Z, Lin Y, Zhou G, *et al.*. Effects of dietary selenomethionine supplementation on growth performance, meat quality and antioxidant property in yellow broilers[J]. J. Agric. Food. Chem.,2009,57(20):9769-9772.

印遇龙院士团队介绍

团队在印遇龙院士的带领下,围绕生猪健康养殖开展了系统的应用基础研究和关键技术创新研究,主要开展亚热带区域集约型养猪业产品健康与环境安全方面的研究,研究营养在猪体内的消化、吸收和排泄规律及其调控机理,近年来获省部级和国家科技奖共15项,其中国家自然科学二等奖1项和国家科技进步二等奖2项,获发明专利24项,印遇龙院士入选汤森路透2014年和2015年全球高被引科学家和中国引文桂冠奖。