

纳米硒的营养特点及其在鸡生产中的应用

蔡超 曲湘勇* 魏艳红 杨岸奇

(湖南农业大学动物科学技术学院,长沙 410128)

摘要: 纳米硒具有高吸收率、高安全性、高抗氧化能力等优点,营养剂量和毒性剂量之间的范围显著高于亚硒酸钠,毒性低于硒代蛋氨酸,是当前已发现的毒性最低的补硒制剂。本文旨在从纳米硒的营养特点及其在鸡生产中的应用2个方面综述国内外学者的最新研究进展。

关键词: 纳米硒;营养特点;肉鸡;蛋鸡;生产性能

中图分类号: S816.7

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2013)12-2818-06

肉鸡与蛋鸡生长迅速,代谢旺盛,对硒的需求量相对较高。肉鸡缺硒,导致体液渗出毛细管造成皮下组织水肿^[1],眼部会分泌出性激素类物质,影响肉鸡健康^[2]。蛋鸡缺硒时卵变形,甚至有的卵变为绿色,同时产蛋量下降^[3]。动物缺硒时还可能导致机体免疫机能失调和损害动物抗肠道病毒感染的免疫防御机制^[4-5]。硒还存在 Weinberg 剂量-效应关系曲线,即动物补硒存在一个适宜剂量范围,不可超过亦不能缺乏,否则都会对动物健康造成影响^[6]。这就表明如何合理补硒在肉鸡与蛋鸡养殖中尤为重要。

纳米硒是根据蛋白质的酰胺平面可以吸附红色元素硒的原理制备而成的。一般以蛋白质作为核和分散剂,红色元素硒为膜,纳米粒径在 20 ~ 60 nm,对热稳定,不转化形成灰或黑色元素硒,易溶于水。Zhang 等^[7]以牛血清白蛋白作分散剂,在谷胱甘肽氧化还原系统中,控制硒原子聚集而形成硒纳米颗粒。

国内肉鸡生产中通常使用亚硒酸钠作为补硒制剂,但其存在吸收率低、存在过氧化作用及潜在的污染等问题^[8],蛋鸡使用时出现了亚硒酸钠急性中毒的现象^[9]。也有使用有机硒,如硒代蛋氨酸的,但硒代蛋氨酸可以替代机体中的蛋氨酸非特异性地融入蛋白质中,长期积累存在中毒危

险^[10]。研究表明,纳米硒具有高吸收率、高生物活性、高安全性、高抗氧化能力等特点。在鸡生产中使用,纳米硒对提高肉鸡与蛋鸡的生长性能和抗氧化能力、增强机体免疫效能、改善肉鸡肉质、提高蛋鸡在免疫接种时的产蛋性能有很大优势。本文旨在就纳米硒的营养特点及其在鸡生产中的应用研究作一综述,为纳米硒在肉鸡和蛋鸡生产中的合理使用提供科学依据。

1 纳米硒的营养特点及可能的机理分析

由于纳米超细颗粒表面覆盖一层 5 ~ 20 nm 厚的聚合物,可固定大量蛋白质或酶,在控制生物化学与有机药物化学反应上有很大的作用^[11]。纳米颗粒被动物吸收后,易通过动物机体的组织间隙与毛细血管,提高动物对硒的生物利用度^[12]。纳米颗粒对动物的生物学效应必将拓宽其研究范畴^[13]。纳米硒就是其中一个重要的研究成果。

1.1 纳米硒吸收率高

Hu 等^[14]研究证明,相比亚硒酸钠,纳米硒能更有效地被肉鸡吸收,机体内的硒含量也较高 ($P < 0.05$)。Shi 等^[15]在羊的饲料中补充纳米硒也发现,血液和组织中的硒的含量高于亚硒酸钠和酵母硒 ($P < 0.05$),同时提高了山羊的生长性能 ($P < 0.05$)。Zhan 等^[16]、张乙山等^[17]试验也证

收稿日期:2013-07-15

基金项目:湖南农业大学产学研基金项目(10068)

作者简介:蔡超(1989—),男,贵州赫章人,硕士研究生,从事家禽营养与生长发育的研究。E-mail: 727442819@qq.com

* 通讯作者:曲湘勇,教授,博士生导师,E-mail: quxy99@126.com

明了纳米硒可使硒在育肥猪组织中更有效地沉积,并且提高了育肥猪的抗氧化性能($P < 0.05$)。

纳米硒的高吸收率可能是因为它属纳米物质,表面效应大,并且与它吸收方式有关。Liao 等^[18]、Zha 等^[19]、江龙^[20]研究表明,纳米硒具有独特的性能,其与动物机体细胞膜具有更高效的相互作用界面,使黏膜通透性增加,促进动物的吸收。纳米硒颗粒由于在肠道中形成了纳米乳剂,可改进肠道对硒元素的吸收^[21]。

1.2 纳米硒低毒安全

研究表明,纳米硒是当前发现的毒性最低的补硒制剂。Zhang 等^[7]对纳米硒的短期急性毒性研究发现,纳米硒与无机亚硒酸钠的生物利用度相似,但急性毒性显著降低[$P < 0.05$,半数致死量(LD₅₀)分别为 113.0 和 15.7 mg/kg]。邓岳松等^[22]发现较高剂量的纳米硒能显著提高尼罗罗非鱼的生长速度($P < 0.05$),其毒性较低。Wang 等^[23]在小鼠动物模型中饲喂纳米硒与硒代蛋氨酸,比较两者之间的毒性,结果发现两者生物活性相同,但纳米硒毒性更低。

硒毒性的分子机制尚未完全了解。Spallholz^[24]研究认为硒毒性可能由于硒与谷胱甘肽反应产生的超氧自由基和过氧化氢有关,这些物质可损害细胞元件。纳米硒的急性毒性很低的原因之一,可能是纳米硒与生物体内谷胱甘肽反应率低进而使自由基产生量低。Zhang 等^[25]研究证实,纳米硒与谷胱甘肽的反应速率仅仅是亚硒酸钠与谷胱甘肽反应速率的 1/12.3。另外, Kim 等^[26]发现由于纳米硒可使硒更多地留存于肌肉内,也可有效降低硒中毒的诱导效应。

1.3 纳米硒抗氧化性高

硒对动物的抗氧化作用有着极其重要的地位。研究认为 2 种主要的硒蛋白:谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)和硫氧还蛋白还原酶(TrxR)参与机体重要的抗氧化过程。硒形成硒代半胱氨酸,是 GSH-Px 的活性中心^[27]。它能催化还原型谷胱甘肽变为氧化型谷胱甘肽,使有毒的过氧化物还原成无毒的羟基化合物,同时促进过氧化氢的分解,从而保护细胞膜的结构及功能不受过氧化物的干扰及损害^[28]。GSH-Px 活性升高能够抑制过氧化氢诱导产生的细胞凋亡^[29]。TrxR 能将小分子蛋白质硫氧还蛋白(Trx)上的一S2 还原成一SH,使 Trx 处于还原型,后者在机体氧化还原

调节和抗氧化防御中起重要作用^[30]。

Wang 等^[23]试验报道纳米硒可增高鼠血清 GSH-Px 和 TrxR 的活性($P < 0.05$),且毒性低于硒代蛋氨酸,可作为抗氧化剂使用。Huang 等^[31]通过体外试验发现纳米硒具有直接清除体内自由基,如 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基所产生的 DPPH 自由基、超阴离子、单线态氧和一氧化氮(NO)的功能,还可使 DNA 免于氧化。张红梅等^[32]研究纳米硒对断奶仔猪肝脏 GSH-Px 活性的影响时发现,肝脏 GSH-Px 活性随着纳米硒的添加浓度(0 ~ 0.20 mg/kg)增加而显著提高($P < 0.05$)。张春香等^[33]试验也发现,在山羊中添加纳米硒可显著提高血清超氧化物歧化酶(SOD)和 GSH-Px 活性($P < 0.05$)。另外,纳米硒与维生素 E 具有协同营养作用,董卫星等^[34]试验发现,添加纳米硒和维生素 E 使血浆中硒和维生素 E 的含量显著增加($P < 0.05$),血清中 GSH-Px 活性、丙二醛和活性氧含量、总抗氧化能力显著提高($P < 0.05$)。

1.4 纳米硒的高免疫性

适量的纳米硒可增强机体的免疫功能,这与纳米硒促进机体免疫器官生长发育、提高淋巴细胞增殖及动物抗体和免疫球蛋白合成有关。免疫器官指数可用于评价雏鸡的免疫情况^[35]。李宝春等^[36]在蛋雏鸡饲料中添加纳米硒,雏鸡脾小结显著变大($P < 0.05$),法氏囊与胸腺皮质均显著增厚($P < 0.05$)。淋巴细胞转化率是细胞免疫的关键指标。王福香等^[37]研究发现肉鸡饲料中添加 0.6 ~ 1.2 mg/kg 纳米硒,肉鸡 T 淋巴细胞转化率显著高于对照组($P < 0.05$),且 T 淋巴细胞的转化率随着纳米硒的添加水平增加而提高。血清免疫球蛋白含量的测定是检查体液免疫功能最常用的方法,胥保华^[38]发现 3 种硒源对肉鸡血清免疫球蛋白 G、A 和 M 含量的影响分析表明,饲料添加纳米硒的肉鸡体液免疫效能高于硒代蛋氨酸和亚硒酸钠。

1.5 纳米硒的其他生物学功能

研究表明纳米硒可提高动物的繁殖性能。Yant 等^[39]研究表明雄性不育与精子里谷胱甘肽过氧化物酶-4(GPX-4)的活性降低有关。杨茹洁等^[40]研究发现饲料补充 0.3 mg/kg 纳米硒极显著增加了性成熟前雄性波尔山羊睾丸硒沉积($P < 0.01$),提高了睾丸 GSH-Px 活性($P < 0.01$),精子

活力增加 10% ($P < 0.01$), 畸形精子数目降低 27% ($P < 0.01$)。武晓英等^[41] 试验还初步揭示了母源纳米硒可通过胎盘影响胎儿的抗氧化性能、硒蛋白表达以及胎儿的生长发育。饲料中添加 0.5 mg/kg 纳米硒可极显著提高母羊及胎儿血清及肝、胎盘组织中 GSH-Px 和 SOD 的活性 ($P < 0.01$), 极显著提高硒蛋白 p、Trx1、扩增谷胱甘肽过氧化物酶 (cGPX1) 基因 mRNA 的表达水平 ($P < 0.01$)。

纳米硒还具有防辐射作用。卢连华等^[42] 研究报道在⁶⁰Co- γ 射线照射下, 添加纳米硒可显著提高小鼠白细胞总数和骨髓细胞 DNA 含量 ($P < 0.05$), 显著增强 SOD 活性 ($P < 0.05$)。另外, 纳米硒对大鼠急性胃黏膜损伤的保护作用还可通过抗氧化应激调节大脑 NO 含量, 改善睡眠剥夺小鼠认知功能, 其机制可能与纳米硒抗氧化作用有关^[43-44]。

2 纳米硒在肉鸡与蛋鸡饲养中的应用效果

研究表明, 作为硒源, 纳米硒的 Weinberg 剂量-效应的最适剂量范围宽于亚硒酸钠和硒代蛋氨酸, 在提高肉鸡生长性能和健康保健功能上表现出更强的营养生理作用。在蛋鸡方面, 可促进蛋雏鸡生长性能及消化器官和免疫器官的发育, 提高蛋鸡在免疫接种时的产蛋性能, 提高蛋鸡抗氧化能力和免疫能力。

2.1 提高肉鸡的生长性能, 降低料重比, 促进蛋雏鸡的生长发育

在日常肉鸡与蛋鸡饲养中, 基础饲料硒含量低, 从而导致肉鸡存活率低、日增重低、料重比高, 蛋鸡生长发育受阻。试验表明, 饲料中加硒可提高畜禽的生产性能, 并能防病, 促进动物生长。夏枚生等^[45] 试验报道, 虽在 0.1 ~ 0.4 mg/kg 添加水平上, 纳米硒组肉鸡的生长性能与亚硒酸钠组和硒代蛋氨酸组无显著差异 ($P > 0.05$), 但在 0.5 mg/kg 硒添加水平上, 纳米硒组肉鸡生长性能显著高于硒代蛋氨酸组和亚硒酸钠组 ($P < 0.05$)。Zhou 等^[46]、Cai 等^[47] 试验证明添加 0.30 mg/kg 纳米硒时, 表现出最好的饲喂效果, 能有效地增加肉鸡组织中的硒含量 ($P < 0.05$), 改善鸡肉品质, 提高生长性能和降低料重比 ($P > 0.05$)。

在蛋鸡方面, 李宝春等^[48] 研究发现 0.20 mg/kg 纳米硒添加组蛋鸡小肠、肝脏、胰腺指

数升高幅度最大, 同时能显著增加空肠绒毛中杯状细胞数量 ($P < 0.05$), 促进小肠腺体的发育, 增加肠腺的数量, 促使肠腺排列紧密, 从而可提高 26 ~ 36 日龄蛋雏鸡的生长, 并且其日耗料量为 16.95 g, 显著低于基础饲料组和亚硒酸钠添加组 ($P < 0.05$)。

2.2 改善肉鸡肌肉品质, 提高屠宰性能, 提高蛋鸡在免疫接种时的产蛋性能

大量试验表明, 肉鸡缺硒状态下机体的抗氧化能力差, 继而脂质过氧化物水平升高, 肌肉组织中合成肌红蛋白的能力降低, 肉色苍白。夏枚生等^[49] 研究纳米硒对肉鸡肌肉品质的影响时发现, 添加 0.20 mg/kg 纳米硒, 胸肌滴水损失趋于平稳, 相比此水平, 0.4 ~ 1.0 mg/kg 纳米硒对胸肌滴水损失有降低的趋势 ($P > 0.05$)。胥保华等^[50] 试验发现, 肉鸡饲料添加 0.5 mg/kg 纳米硒对肉鸡胸肌肌红蛋白含量和肌肉红色度的影响显著高于添加硒代蛋氨酸和亚硒酸钠 ($P < 0.05$)。王福香等^[51] 饲料添加 0.6 ~ 1.2 mg/kg 纳米硒, 相对于对照组可显著提高肉鸡的屠宰率 ($P < 0.05$)。

在蛋鸡生产中, 由于接种操作及免疫应答会对蛋鸡造成强烈的应激, 蛋鸡的产蛋量就会显著下降 ($P < 0.05$), 降低率为 30% ~ 50%^[52]。曾礼华等^[53] 针对该问题, 将纳米硒和碘配合使用, 分别添加纳米硒和碘 0.45 和 4 mg/kg 时, 获得了最佳产蛋性能, 产蛋率为 91.04%, 比空白对照组提高了 1.48% ($P > 0.05$), 比疫苗对照组提高了 26.25% ($P < 0.05$)。

2.3 提高肉鸡与蛋鸡抗氧化能力和免疫能力

研究表明, 纳米硒的抗氧化效果显著, 能有效提高血清 GSH-Px 的活性。胥保华等^[54] 发现纳米硒添加浓度在 0 ~ 0.20 mg/kg, 肉鸡血清 GSH-Px 活性随着硒添加浓度的增加而提高 ($P < 0.05$)。王福香等^[37] 研究证实, 纳米硒在 0.15 ~ 1.20 mg/kg 添加水平可显著提高肝脏的总抗氧化能力、总 SOD 和 GSH-Px 活性 ($P < 0.05$), 降低肝脏丙二醛含量 ($P < 0.05$), 说明饲料中添加纳米硒可有效改善肉鸡的抗氧化性能, 且抗氧化能力随纳米硒添加水平的增加与其呈二次曲线关系。在肉鸡方面, 朱风华等^[55] 也得到了这样的结论, 但是蛋鸡和肉鸡的敏感指标存在很大的差异, 从试验开始至第 60 天的结果可以看出, 添加 5.0、10.0 mg/kg 纳米硒时添加水平与血浆 GSH-Px 活

性、NO 含量呈二次曲线关系。王福香等^[56]还发现,试验至 42 日龄时,在 0.3 ~ 1.2 mg/kg 纳米硒的水平上,纳米硒组的新城疫抗体效价显著高于对照组($P < 0.05$);在 0.6 ~ 1.2 mg/kg 时效果最佳,有效提高了肉鸡免疫器官指数与外周血 T 淋巴细胞转化率($P < 0.05$)。

3 小 结

通过在肉鸡和蛋鸡饲料中添加纳米硒,提高了鸡的抗氧化性能、免疫性能、生长性能、产蛋性能,并在生产中取得了良好的效果。但是纳米硒对不同动物的作用效果存在较大差别。我国是一个严重缺硒的国家,弄清纳米硒对畜禽动物的有效添加量,将有利于动物的健康生长和富硒产品的开发,满足国人对硒的营养需要。此外,硒蛋白对动物的抗氧化、生殖发育、解毒消炎起着重要的作用,但研究纳米硒对畜禽动物硒蛋白表达的影响较少,弄清其表达机制将为今后的动物疾病防治提供理论依据。而根据硒蛋白的特殊作用原理,将纳米硒添加于畜禽母本研究其对胎儿的生长发育影响也是重要的研究方向。

参考文献:

- [1] 陈结福. 肉鸡缺硒症的诊治[J]. 中国畜牧兽医, 2006,33(6):66.
- [2] VAN RYSEN J B J, MAVIMBELA D T. Broiler litter as a source of selenium for sheep [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1999, 78 (3/4): 263 - 272.
- [3] 章国忠. 一例产蛋鸡罕见的硒缺乏症[J]. 中国家禽, 2003,25(23):23.
- [4] DAVIS C D, UTHUS E O. Dietary selenite and azadeoxycytidine treatments affect dimethylhydrazine-induced aberrant crypt formation in rat liver colon and DNA methylation in HT-29 cells [J]. *The Journal of Nutrition*, 2002, 132(2):292 - 297.
- [5] UTHUS E O, YOKOI K, DAVIS C D. Selenium deficiency in Fisher-344 rats decreases plasma and tissue homocysteine concentrations and alters plasma homocysteine and cysteine redox status [J]. *The Journal of Nutrition*, 2002, 132(6):1122 - 1128.
- [6] WASCHUIEWSKI I H, SUNDE R A. Effect of dietary methionine on tissue selenium and glutathione peroxidase (EC 1. 11. 1. 9) activity in rats given selenomethionine [J]. *British Journal of Nutrition*, 1998, 60 (1):57 - 68.
- [7] ZHANG J S, GAO X Y, ZHANG L D, et al. Biological effects of a nano red elemental selenium [J]. *Biofactors*, 2001, 15(1):27 - 38.
- [8] 王亮, 单安山. 纳米硒在动物营养中的研究进展 [J]. *中国畜牧兽医*, 2011, 38(4):38 - 42.
- [9] 刘福辰, 李平信, 翟小京. 蛋鸡亚硒酸钠急性中毒的诊治 [J]. *中国家禽*, 2002, 24(15):20.
- [10] DERKS A F L M, LEMMERS M E C, VAN GEMEN B A, et al. Lily mottle virus in lilies: characterization, strains and its differentiation from tulip breaking virus in tulips [J]. *Acta Horticulturae*, 1994, 377: 281 - 288.
- [11] 胡文祥, 桑宝华, 谭生建, 等. 分子纳米技术在生物医药学领域的应用 [J]. *化学通报*, 1998(5):32 - 38.
- [12] DELIE F. Evaluation of nano- and microparticle uptake by the gastrointestinal tract [J]. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 1998, 34(2/3):221 - 233.
- [13] 曾广厅, 毛华明. 纳米硒在动物生产中的应用前景 [J]. *饲料研究*, 2005(5):11 - 15.
- [14] 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.
- [15] SHI L G, XUN W J, YUE W B, et al. Effect of sodium selenite, Se-yeast and nano-elemental selenium on growth performance, Se concentration and antioxidant status in growing male goats [J]. *Small Ruminant Research*, 2011, 96(1):49 - 52.
- [16] 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]. *Animal Feed Science and Technology*, 2007, 132(3/4):202 - 211.
- [17] 张乙山, 边连全, 游思亲. 三种硒源对生长肥育猪组织硒沉积及抗氧化能力的影响 [J]. *饲料工业*, 2008, 29(1):18 - 20.
- [18] LIAO C D, HUNG W L, JAN K C, et al. Nano/sub-microsized lignan glycosides from sesame meal exhibit higher transport and absorption efficiency in Caco-2 cell monolayer [J]. *Food Chemistry*, 2010, 119(3):896 - 902.
- [19] ZHA L Y, XU Z R, WANG M Q, et al. Chromium nanoparticle exhibits higher absorption efficiency than chromium picolinate and chromium chloride in Caco-

- 2 cell monolayers [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2008, 92(2): 131 - 140.
- [20] 江龙. 量子化尺寸纳米颗粒及其在生物体系中的作用[J]. *无机化学学报*, 2000, 16(2): 185 - 194.
- [21] ALEXANDER A T, ANYA A M, HILLERY, et al. Nanoparticles as carriers for oral peptide absorption; Studies on particle uptake and fate [J]. *Journal of Controlled Release*, 1995, 36(1/2): 39 - 46.
- [22] 邓岳松, 陈权军. 纳米硒对尼罗罗非鱼生长的影响[J]. *内陆水产*, 2003, 28(6): 28 - 30.
- [23] WANG H L, ZHANG J S, YU H Q. Elemental selenium at nano size possesses lower toxicity without compromising the fundamental effect on selenoenzymes; comparison with selenomethionine in mice [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2007, 42(10): 1524 - 1533.
- [24] SPALLHOLZ J E. On the nature of selenium toxicity and carcinostatic activity [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 1994, 17(1): 45 - 64.
- [25] ZHANG J S, WANG H L, YAN X X, et al. Comparison of short-term toxicity between Nano-Se and selenite in mice [J]. *Life Sciences*, 2001, 76(10): 1099 - 1109.
- [26] 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]. *Journal of Animal Science*, 2001, 79(4): 942 - 948.
- [27] FINLEY J W, KINCAID R L. Selenium and glutathione peroxidase tissue distribution in rats; effect of dietary intake and total body burden of selenium [J]. *Nutrition Research*, 1991, 11(1): 91 - 104.
- [28] 井明艳, 赵树盛, 付亮剑. 硒的生化特性与谷胱甘肽系统[J]. *饲料工业*, 2006, 27(4): 8 - 11.
- [29] DEMELASH A, KARLSSON J O, NILSSON M, et al. Selenium has a protective role in caspase-3-dependent apoptosis induced by H₂O₂ in primary cultured pig thyrocytes [J]. *European Journal of Endocrinology*, 2004, 150(6): 841 - 849.
- [30] TAMURA T, STADTMAN T C. A new selenoprotein from human lung adenocarcinoma cells; purification, properties, and thioredoxin reductase activity [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1996, 93(3): 1006 - 1011.
- [31] HUANG B, ZHANG J S, HOU J W, et al. Free radical scavenging efficiency of Nano-Se *in vitro* [J]. *Free Radical Biology & Medicine*, 2003, 35(7): 805 - 813.
- [32] 张红梅, 夏枚生, 胡彩虹. 纳米硒对断奶仔猪肝脏谷胱甘肽过氧化物酶和脱碘酶 I 活性的影响 [J]. *生物医学工程杂志*, 2007, 24(1): 153 - 156.
- [33] 张春香, 岳文斌, 董文甫, 等. 纳米硒对山羊生长、血清抗氧化酶、生长激素和胰岛素的影响 [J]. *激光生物学报*, 2007, 16(5): 583 - 588.
- [34] 董卫星, 王冬梅, 李征, 等. 纳米硒和维生素 E 对热应激奶牛抗氧化性能的影响 [J]. *中国奶牛*, 2009(9): 22 - 24.
- [35] RIVAS A L, FABRICANT J. Indications of immunodepression in chickens infected with various strains of Marek's disease virus [J]. *Avian Diseases*, 1988, 32(1): 1 - 8.
- [36] 李宝春, 朱磊. 不同硒源对蛋雏鸡生长性能和免疫器官发育的影响 [J]. *畜牧与饲料科学*, 2009, 30(2): 15 - 17.
- [37] 王福香, 李文立, 任慧英, 等. 纳米硒对肉鸡肝脏硒含量和抗氧化能力的影响 [J]. *中国畜禽杂志*, 2009, 45(3): 27 - 30.
- [38] 胥保华. 纳米硒对 Avian 肉鸡的生物学效应及其分子机理的研究 [D]. 博士学位论文. 杭州: 浙江大学, 2003: 83 - 84.
- [39] YANT L J, RAN Q T, RAO L, et al. The seleprotein GPX4 is essential for mouse development and protects from radiation and oxidative damage insults [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2003, 34(4): 496 - 502.
- [40] 杨茹洁, 施力光, 岳文斌, 等. 纳米硒对性成熟前雄性波尔山羊生殖机能发育的影响 [J]. *中国农业科学*, 2009, 42(8): 2923 - 2929.
- [41] 武晓英, 曹贵东, 任有蛇, 等. 纳米硒对岢岚绒山羊妊娠母羊及胎儿抗氧化性、硒蛋白表达及生长发育的影响 [J]. *激光生物学报*, 2011, 20(5): 631 - 638.
- [42] 卢连华, 周景洋, 颜燕, 等. 纳米硒的免疫调节及辐射防护作用研究 [J]. *中国辐射卫生*, 2009, 18(2): 161 - 163.
- [43] 于晓红, 许秀举, 苏军. 纳米硒对大鼠急性胃粘膜损伤的保护作用 [J]. *卫生研究*, 2008, 37(5): 594 - 596.
- [44] 秦粉菊, 袁红霞, 聂继华, 等. 纳米硒通过抗氧化应激调节大脑 NO 含量改善睡眠剥夺小鼠认知功能 [J]. *动物学杂志*, 2010, 45(1): 43 - 49.
- [45] 夏枚生, 潘金敏, 胡彩虹, 等. 纳米硒对肉鸡生长、肝脏脱碘酶 I 活性和血清甲状腺激素的影响 [J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2005, 33(4): 24 - 28.

- [46] 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]. *Poultry Science*, 2011, 90(3): 680–686.
- [47] 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.
- [48] 李宝春, 周金星, 陈会良, 等. 纳米硒对蛋雏鸡生长性能和消化器官发育影响的研究 [J]. *中国粮油学报*, 2011, 26(11): 65–70.
- [49] 夏枚生, 宋保强, 胡彩虹, 等. 纳米硒对肉鸡肌肉品质的影响 [J]. *科技通报*, 2005, 21(4): 421–426.
- [50] 胥保华, 夏枚生, 胡彩虹, 等. 纳米硒对肉鸡组织硒含量和谷胱甘肽过氧化物酶活性的影响 [J]. *动物营养学报*, 2005, 17(1): 49–53.
- [51] 王福香, 朱风华, 姜建阳, 等. 纳米硒对肉鸡生长、屠宰性能和养分消化率的影响 [J]. *青岛农业大学学报: 自然科学版*, 2009, 26(2): 119–123.
- [52] 王传强, 董伟峰, 吴春滨, 等. 产蛋鸡疫苗免疫应激反应的原因及对策 [J]. *家禽科学*, 2005(10): 29–30.
- [53] 曾礼华, 马慧敏, 王之盛, 等. 纳米硒、碘对免疫接种蛋鸡产蛋性能的影响 [J]. *西南农业学报*, 2009, 22(5): 1465–1468.
- [54] 胥保华, 胡彩虹, 夏枚生. 纳米硒对肉鸡肝脏谷胱甘肽过氧化物酶和脱碘酶 I 活性的影响 [J]. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2005, 31(5): 633–637.
- [55] 朱风华, 朱连勤, 李玲, 等. 日粮中添加高水平纳米硒对蛋鸡血硒含量及抗氧化能力的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2010, 46(13): 31–34.
- [56] 王福香, 任慧英, 朱风华, 等. 纳米硒对肉鸡免疫和抗氧化能力的影响 [J]. *中国农学通报*, 2008, 24(2): 37–43.

Nano-Selenium: Nutritional Characteristics and Application in Chickens

CAI Chao QU Xiangyong* WEI Yanhong YANG Anqi

(College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: Nano-selenium has the advantages of high absorption rate, high security, high antioxidant capacity, and the range between nutrition dose and toxic dose of nano-selenium is significantly wider than that of sodium selenite. The toxicity of nano-selenium is lower than that of selenomethionine, and its toxicity is currently the lowest of all selenium supplements. This paper reviewed the latest research results on the nutritional characteristics of nano-selenium and its application in chickens. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(12): 2818-2823]

Key words: nano-selenium; nutritional characteristics; broilers; laying hens; performance