

硒代蛋氨酸对种公鸡精液品质及精浆抗氧化能力的影响

马鑫¹, 李润桦¹, 盛熙晖¹, 王相国¹, 邢凯¹, 陈余², 王梁², 倪和民¹, 郭勇¹, 齐晓龙^{1*}

(1. 北京农学院动物科学技术学院, 北京 102206; 2. 北京市畜牧总站, 北京 100107)

摘要 [目的]探究日粮中添加硒代蛋氨酸对种公鸡的精液品质和精浆抗氧化能力的影响。[方法]试验选取 120 只健康、体况相近的 378 日龄罗曼褐蛋用种公鸡, 随机分为 2 组, 对照组饲喂基础日粮, 处理组在基础日粮中添加硒水平为 1 mg/kg 的硒代蛋氨酸, 预饲期 7 d, 正试期 28 d, 每周采集精液, 进行精液品质以及精浆抗氧化能力的测定。[结果]与对照组相比, 处理组种公鸡精液量差异不显著 ($P>0.05$), 处理组精子密度、精子活率和精子活力极显著提高 ($P<0.01$); 与对照组相比, 处理组谷胱甘肽过氧化物酶活性和超氧阴离子清除自由基能力显著提高 ($P<0.05$), 总超氧化物歧化酶活性和羟自由基清除能力极显著提高 ($P<0.01$), 但丙二醛含量差异不显著 ($P>0.05$)。[结论]日粮添加硒含量为 1 mg/kg 的硒代蛋氨酸可以显著提高精液品质和精浆抗氧化能力, 为后续提高种公鸡繁殖性能的营养调控提供理论支撑。

关键词 硒代蛋氨酸; 种公鸡; 精液品质; 抗氧化能力

中图分类号 S831.5 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)17-0094-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2019.17.027



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Selenomethionine on the Semen Quality and Antioxidant Capacity of Seminal Plasma of Breeding Cocks

MA Xin, LI Run-hua, SHENG Xi-hui et al (College of Animal Science and Technology, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206)

Abstract [Objective] To investigate the effects of dietary selenomethionine supplementation on the semen quality and antioxidant capacity of seminal plasma of breeding cocks. [Method] 120 healthy Roman brown breeding cocks at 378-day-age were selected and randomly divided into 2 groups. The breeding cocks in control group was fed with the basic diet, and the breeding cocks in experimental group was fed with the basic diet with adding selenomethionine with 1 mg/kg selenium. After pre-feeding 7 days, the semen was samples every week during the trial period of 28 days to determine the semen quality and antioxidant capacity of seminal plasma. [Result] There was no significant difference of semen volume between treatment group and control group ($P>0.05$). Sperm density, sperm viability and sperm motility in treatment group extremely significantly increased than those in control group ($P<0.01$). Compared with the control group, the activity of glutathione peroxidase and the scavenging capacity of free radical by superoxide anion significantly increased in treatment group ($P<0.05$), the activity of total superoxide dismutase and the scavenging capacity of hydroxyl radical extremely significantly increased in treatment group ($P<0.01$). There was no significant difference of malondialdehyde content between treatment group and control group ($P>0.05$). [Conclusion] Dietary supplementation of selenomethionine with 1 mg/kg selenium can significantly improve the semen quality and antioxidant capacity of seminal plasma, which could provide theoretical support for nutritional regulation for the subsequent improvement of reproductive performance of breeding cocks.

Key words Selenomethionine; Breeding cock; Semen quality; Antioxidant capacity

微量元素硒发现于 1817 年, 是一种罕见但广泛存在的元素, 其丰度为 $0.05 \times 10^{-4} \sim 0.09 \times 10^{-4}$ ^[1], 化学性质与磷相似。硒主要以有机硒和无机硒 2 种形式存在, 其中无机硒主要为亚硒酸盐和硒酸盐, 有机硒为硒代氨基酸、硒代肽和硒蛋白等^[2]。硒代蛋氨酸是硒的重要膳食来源, 其生物利用率比无机硒高, 对动物健康十分有益^[3]。

硒是动物体内必需的微量元素, 影响动物的繁殖力和生产力。卵巢中分泌甾体激素的组织、精子和胚胎在着床前对代谢产生自由基的损害作用极其敏感。硒之所以能大大提高家畜的繁殖性能, 与其抗氧化性能密切相关^[4]。硒是谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活性成分, 可以通过 GSH-Px 的抗氧化作用来消除自由基的损害作用, 保护体内细胞的正常功能, 从而改善动物的繁殖性能。Maiorino 等^[5]研究表明, 当硒缺乏时保护精细胞 DNA 免受氧化破坏的精子核仁

GSH-Px 生成明显减少, 这对精细胞核染色质凝聚有重大影响。大量研究表明, 硒不仅对公畜生殖器官的发育有影响, 而且对精子的生成也有影响。目前, 关于硒对公畜繁殖的影响主要集中在对精子活力的研究中。日粮中补饲 400 mg/kg 有机硒, 可以明显改善公牛的精子活力^[6]。缺硒导致精子畸形率提高, 主要是精子头部畸形和尾中部线粒体异常, 头部畸形的精子没有足够的动力进入卵细胞, 而尾中部线粒体异常的精子会断裂、减慢或者停止游动^[7-9]。日粮中添加有机硒比无机硒更能提高精液品质, 但二者都可以改善精子结构的完整性^[10]。笔者所在课题组前期通过比较日粮中添加不同水平的硒代蛋氨酸(日粮中硒水平分别为 0、0.25、0.50、1.00、2.00 mg/kg)对种公鸡繁殖性能的影响, 发现日粮中添加硒水平为 1 mg/kg 的硒代蛋氨酸能提高种公鸡的繁殖性能且血浆中生殖激素含量最高^[11], 但关于硒是否通过提高种公鸡精液的抗氧化性来提高其精液品质还有待进一步研究。该试验研究对象为 378 日龄蛋用种公鸡, 属于配种后期。此阶段种公鸡睾丸衰退、变小, 精子活率与活力降低, 精液品质变差, 导致受精率降低^[12]。种公鸡精液品质和受精率的高低与种公鸡营养状况和饲养管理条件有直关, 提高种公鸡的饲养环境和日粮营养可以提高种公鸡的精液品质, 进而延长其生物学利用价值。笔者以配种后期种公鸡为动物

基金项目 现代农业产业技术体系北京市家禽创新团队项目(BAIC04-2019); 北京市教育委员会科技计划一般项目(KM201710020012); 北京市农委“菜篮子”新型生产经营主体科技能力提升工程(2018)项目。

作者简介 马鑫(1995—), 女, 辽宁鞍山人, 硕士研究生, 研究方向: 家禽营养调控。*通信作者, 讲师, 博士, 硕士生导师, 从事家禽营养调控研究。

收稿日期 2019-03-05

模型,探讨硒对种公鸡的精液品质和精浆抗氧化能力的影响,旨在为后续提高种公鸡繁殖性能的营养调控提供理论支撑。

1 材料与与方法

1.1 试验动物与日粮营养水平 选取 120 只健康、体况一致的 378 日龄罗曼褐蛋用种公鸡为试验动物。基础日粮的组成及营养水平见表 1。

表 1 基础日粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient level of the basic diet (air dry basis)

原料 Materials	添加比例 Adding proportion %	营养成分 Nutrition component	含量 Content
玉米 Corn	69.32	代谢能 Metabolizable energy //MJ/kg	11.64
豆粕 Soybean meal	22.00	粗蛋白 Crude protein//%	15.70
棉籽粕 Cottonseed meal	2.00	蛋氨酸 Methionine//%	0.38
蛋氨酸 Methionine	0.10	赖氨酸 Lysine//%	0.81
赖氨酸 Lysine	0.13	钙 Calcium//%	1.65
石粉 Limestone	3.50	总磷 Total phosphorus//%	0.60
磷酸氢钙 Dicalcium phosphate	1.60	有效磷 Available phosphorus//%	0.41
食盐 Salt	0.35		
预混料 Premix	1.00		

注:预混料为每千克饲粮提供:Cu 10 mg、Fe 60 mg、Mn 60 mg、Zn 100 mg、V_A 10 000 IU、VD₃ 3 000 IU、V_E 20 IU、V_K 2 mg、VB₁ 2 mg、VB₂ 5 mg、VB₆ 6 mg、VB₁₂ 0.02 mg、叶酸 1 mg、泛酸 20 mg、烟酸 60 mg、生物素 0.2 mg

Note:The premix could provide for each kilogram of diet:Cu 10 mg, Fe 60 mg, Mn 60 mg, Zn 100 mg, V_A 10 000 U, VD₃ 3 000 U, V_E 20 IU, V_K 2 mg, VB₁ 2 mg, VB₂ 5 mg, VB₆ 6 mg, VB₁₂ 0.02 mg, folic acid 1 mg, pantothenic acid 20 mg, nicotinic acid 60 mg, biotin 0.2 mg

1.2 试验动物分组 朱冠宇等^[1]研究表明,日粮中添加硒水平为 1 mg/kg 的硒代蛋氨酸能提高种公鸡的繁殖性能且血浆中生殖激素含量最高。该试验采用单因子试验设计,随机分为 2 组,每组 6 个重复,每个重复 10 只鸡。对照组饲喂基础日粮,处理组在基础日粮中添加硒水平为 1 mg/kg 的

代蛋氨酸。预饲期 7 d,正式期 28 d。

1.3 饲养管理 所有试验用种公鸡均采用单笼饲养,早、中、晚分别饲喂 1 次,自由采食和饮水,鸡舍内光照 12 h,温度控制在 24 ℃左右,相对湿度控制在 50%左右,保持通风。

1.4 试验方法

1.4.1 精液品质的测定。采用腹部按摩法采集精液后,立即进行精液量、精子活力、精子活率及精子密度的检测。

1.4.2 精浆抗氧化指标的测定。精浆中总超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶、羟自由基、抗超氧阴离子自由基以及丙二醛的含量均使用酶标仪(Thermo)测定,测定所用试剂盒均由南京建成科技有限公司提供。

1.5 数据统计与分析 试验数据均使用 SPSS 22.0 统计软件进行统计与分析,通过独立样本 *t* 检验分析各组间的数据差异显著性,结果均以平均值±标准差(Mean±SD)表示,其中 $P<0.05$ 表示差异显著, $P<0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 硒代蛋氨酸对种公鸡精液品质的影响 由表 2 可以看出,7 d 处理组精液量与对照组相比提高了 4.88%,但差异不显著($P>0.05$);14、21 d,处理组精液量较对照组显著提高($P<0.05$),较对照组分别提高了 15.00%和 15.91%。与对照组相比,不同时间处理组精子密度均极显著升高($P<0.01$),7、14、21、28 d 处理组精子密度较对照组分别提高了 26.15%、26.25%、25.78%和 27.03%。处理组前 14 d 精子活率与对照组相比差异均不显著($P>0.05$),但 7、14 d 处理组精子活率较对照组分别提高了 5.75%和 5.48%;21 d,处理组的精子活率显著高于对照组($P<0.05$);28 d,处理组的精子活率较对照组提高了 15.60%,差异极显著($P<0.01$)。7 d,处理组精子活力较对照组提高了 15.92%($P<0.05$);14、21、28 d 处理组精子活力均极显著高于对照组($P<0.01$),较对照组分别提高了 20.76%、27.48%和 35.32%。

表 2 硒代蛋氨酸对种公鸡精液品质的影响

Table 2 Effects of selenomethionine on the semen quality of breeding cocks

组别 Group	精液量 Semen volume//mL				精子密度 Sperm density// $\times 10^8$ /mL			
	7 d	14 d	21 d	28 d	7 d	14 d	21 d	28 d
对照组 Control group	0.41±0.06	0.40±0.02	0.44±0.07	0.42±0.05	39.54±3.02	37.75±2.81	38.87±5.31	35.44±5.03
处理组 Treatment group	0.43±0.07	0.46±0.05*	0.51±0.02*	0.46±0.04	49.88±4.90**	47.66±4.44**	48.89±4.26**	45.02±4.75**
组别 Group	精子活率 Sperm viability//%				精子活力 Sperm motility//%			
	7 d	14 d	21 d	28 d	7 d	14 d	21 d	28 d
对照组 Control group	89.55±8.50	89.07±4.00	82.72±7.99	78.59±7.83	48.94±4.67	49.19±4.53	43.63±4.98	38.73±4.17
处理组 Treatment group	94.70±4.35	93.95±3.95	92.14±2.08*	90.85±3.30**	56.73±5.37*	59.40±5.70**	55.62±2.36**	52.41±3.12**

注:*表示与对照组差异显著($P<0.05$);**表示与对照组差异极显著($P<0.01$)

Note:* indicated significant differences with control group($P<0.05$);** indicated extremely significant differences with control group($P<0.01$)

2.2 硒代蛋氨酸对种公鸡精浆抗氧化能力的影响 由表 3 可知,从 21 d 开始,处理组 T-SOD 活性极显著高于对照组,分别提高了 30.91%和 26.09%($P<0.01$);7 和 14 d 处理组 GSH-Px 活性较对照组分别提高了 3.31%和 8.60%,但差异均不显著($P>0.05$);21 和 28 d 处理组 GSH-Px 活性均显著

高于对照组,分别较对照组提高了 11.95%和 23.08%($P<0.05$);与对照组相比,前 14 d 处理组羟自由基清除能力分别提高了 6.08%和 12.06%,但差异均不显著($P>0.05$);21 d 处理组羟自由基清除能力与对照组相比差异显著,提高了 22.41%($P<0.05$);28 d 羟自由基清除能力与对照组相比提

高了 25.00% ($P < 0.01$); 前 21 d, 处理组超氧阴离子清除能力与对照组相比均无显著差异 ($P > 0.05$), 28 d 处理组超氧阴离子清除能力较对照组提高了 13.04% ($P < 0.05$); 与对照组

相比, 7、14、21、28 d 处理组丙二醛的含量分别降低了 3.27%、9.75%、29.07% 和 30.8%, 但均未达到显著差异 ($P > 0.05$)。

表 3 硒代蛋氨酸对种公鸡精浆抗氧化性能的影响

Table 3 Effects of selenomethionine on antioxidant activity in seminal plasma of breeding cocks

组别 Group	总超氧化物歧化酶 T-SOD//U/mL				谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px//U/mL			
	7 d	14 d	21 d	28 d	7 d	14 d	21 d	28 d
对照组 Control group	116.93±18.45	102.98±13.60	103.44±6.51	121.06±13.80	500.69±36.70	507.27±48.38	753.33±33.55	526.50±53.75
处理组 Treatment group	117.72±10.15	113.12±4.13	135.41±7.52**	152.64±6.82**	517.24±24.83	550.91±62.67	843.33±60.98*	648.00±58.79*

组别 Group	羟自由基清除能力 Hydroxyl radical scavenging ability//U/mL				超氧阴离子清除能力 Superoxide anion scavenging ability//U/L				丙二醛含量 MDA content nmol/mL			
	7 d	14 d	21 d	28 d	7 d	14 d	21 d	28 d	7 d	14 d	21 d	28 d
对照组 Control group	660.49±67.64	673.59±79.56	582.09±38.95	545.17±44.48	343.32±24.71	309.89±34.23	273.45±33.07	303.91±24.63	3.06±1.02	2.77±0.54	2.58±0.96	2.50±0.81
处理组 Treatment group	700.68±67.91	754.85±71.62	712.52±76.23*	681.46±52.07**	338.04±21.97	315.44±24.73	297.07±14.70	343.53±13.43*	2.96±0.52	2.5±0.87	1.83±0.33	1.73±0.62

注: * 表示与对照组差异显著 ($P < 0.05$); ** 表示与对照组差异极显著 ($P < 0.01$)

Note: * indicated significant differences with control group ($P < 0.05$); ** indicated extremely significant differences with control group ($P < 0.01$)

3 讨论

3.1 硒代蛋氨酸对种公鸡精液品质的影响 硒是组成精子的矿物元素之一, 具有维持精细胞结构和机能完整性的作用。硒蛋白对精细胞的成熟和发育起着关键的作用^[13]。硒代蛋氨酸是硒的有机形式, 在动物体的小肠内采用主动运输的方式被吸收, 具有提高繁殖性能和抗氧化性的作用^[14]。研究表明, 日粮添加适量的硒可以降低精子畸形率, 改善精液品质, 提高繁殖能力, 但硒添加过量会使附睾中沉积过量的硒, 导致附睾和精细胞的微观结构发生损坏^[15]。精液量是指雄性动物一次射精的多少, 是评定精液品质的一项重要指标。Marin-Guzman 等^[16] 研究表明, 在公猪基础日粮中补充适量的硒可以显著提高其射精量和精子活力。精子密度是指 1 个单位体积的精液内含有的精子数^[17]。研究表明, 缺硒会使得精子发生畸形、细胞膜损坏、鞭毛异常的概率大大升高, 使其活力值低下, 精液品质下降, 长时间硒营养匮乏还会降低精子密度^[18-20]。精子活率反映精子质膜的完整性, 而精子质膜的完整性标志精子细胞的分化和成熟^[21]。精子活率降低与不育症状密切相关, 引起精子活率下降的原因较多, 如精液 pH 改变、氧自由基大量产生等^[22]。若精子活率低, 精子死亡个数多, 大多数精子质膜发生损伤, 最终导致精子活力值降低。精子活力是指精液中呈前进运动精子所占的百分率。精子活力对蛋受精率的影响很大, 只有活力大的精子才能进入母鸡输卵管, 到达漏斗部使卵子受精, 所以活力与母鸡受精率密切相关, 因此精子活力是目前评定精液品质常规检查的主要指标之一。Mahmoud 等^[23] 研究表明, 日粮添加 0.5 mg/kg 硒可以显著降低公鸡的精子畸形率。富硒日粮的精子畸形率仅为 38%, 而低硒日粮的精子畸形率则高达 75%^[24]。该试验结果表明, 当日粮中硒含量为 1 mg/kg 时可以显著提高种公鸡的精液量、精子密度、精子活率和精子活力, 可能是因为硒代蛋氨酸通过促进精细胞的发育, 降低精子畸形率等来提高种公鸡的精液品质。配种后期种公

鸡身体机能老化, 细胞生长发育缓慢, 精子活力降低, 可通过补饲适量硒代蛋氨酸来提高其繁殖性能。

3.2 硒代蛋氨酸对种公鸡精浆抗氧化能力的影响 动物体内的硒代蛋氨酸无法靠自身合成, 只能通过外部获得。外源硒代蛋氨酸不仅能为硒酶和硒蛋白的合成提供硒源, 而且还可以替代蛋氨酸非特异性参与蛋白质合成, 进而提高机体内硒的沉积量, 因此硒代蛋氨酸作为饲料添加剂被广泛应用于动物生产中, 进而提高动物的生产性能^[25]。活性氧是需氧生物日常生命活动中的产物, 也是自由基的重要组成成分。自由基作为第二信使, 通过调控信号转导改变基因的表达, 但过多的自由基会对机体造成氧化损伤^[26]。活性氧通过使精子细胞膜产生脂质氧化反应, 降低细胞膜的流动性, 损伤线粒体, 减少能量补给, 降低酶活性, 从而降低精液品质^[27]。日粮中添加适量的硒通过有效阻止原生质膜磷脂的自主氧化, 可确保精液品质和精子正常的生命活动^[28]。生物体在进化过程中形成一套完整的抗氧化系统, 保护机体免受损伤^[29], 其中包含谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px)、超氧化物歧化酶 (SOD) 等酶类抗氧化剂和 V_C 、 V_E 、NO 等非酶类抗氧化剂。赵先英等^[30] 研究表明 Se 浓度与 SOD 活性呈正相关, 机体内硒浓度偏低时, SOD 活性减弱, 过氧化物因得不到充分催化反应, 从而导致大量的脂质自由基和过氧化物在体内聚积, 对机体造成损伤。该试验结果与上述论述相似, 日粮中硒含量为 1 mg/kg 时显著提高种公鸡精浆内谷胱甘肽过氧化物酶、总超氧化物歧化酶的活性。羟自由基和超氧阴离子是活性氧的主要组成成分。羟自由基是公认的毒性强且活泼的活性氧, 可以与大部分分子产生化学作用, 对机体造成损害^[31-33]。超氧阴离子自由基 (O_2^-) 是细胞内 O_2 失去一个电子后产生的活性氧产物^[34], 在机体内短暂停留后参与机体内与氧化还原信号调控相关的化学反应^[35-37]。该试验结果表明, 日粮中硒含量为 1 mg/kg 时可以显著提高种公鸡精浆内超氧阴离子清除自由基能力和羟自由基清除能力。

丙二醛是一种理化性质稳定的脂质过氧化物,是机体内的一些自由基通过与生物膜中多不饱和脂肪酸发生脂质过氧化反应而产生的,其含量越高表明机体脂质过氧化的程度越大^[38]。邱榕生等^[38]研究表明有机硒可以显著降低肉鸡肝脏中丙二醛的含量。该试验结果表明,与对照组相比,处理组丙二醛的含量降低了30.8%,但差异不显著($P < 0.05$)。硒代蛋氨酸可能是通过提高精浆抗氧化酶活性清除精液中过多的氧自由基,以减少脂质过氧化反应的发生,进而提高种公鸡的精液品质。配种后期种公鸡体内抵御氧化损伤的抗氧化防御系统灵敏度降低,导致活性氧含量增多,可通过补饲适量硒代蛋氨酸来减少自由基对机体造成的氧化损伤,提高其繁殖性能。

4 结论

日粮中添加硒水平为1 mg/kg的硒代蛋氨酸时,可以显著提高种公鸡的精液品质和精浆抗氧化能力。

参考文献

- [1] WOOLINS J D, LAITINEN R S. Selenium and tellurium chemistry: From small molecules to biomolecules and materials [M]. Germany: Springer, 2011: 1-39.
- [2] PREEDY V R. Selenium: Chemistry, analysis, function and effects [M]. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry, 2015: 3-15.
- [3] 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[J]. 动物营养学报, 2017, 29(12): 4281-4286.
- [4] 梁明振, 峻新跃, 黄钦华, 等. 微量元素硒对动物繁殖性能的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2003, 30(3): 14-16.
- [5] MAIORINO M, SCAPIN M, URSINI F, et al. Distinct promoters determine alternative transcription of gpx-4 into phospholipid-hydroperoxide glutathione peroxidase variants [J]. Journal of biological chemistry, 2003, 278(36): 34286-34290.
- [6] 危克周, 潘志雄, 吴宗万, 等. 添加适量有机硒对种公牛精子活力的影响[J]. 山地农业生物学报, 2004, 23(6): 539-540.
- [7] SURAI P F, CEROLINI S, WISHART G J, et al. Lipid and antioxidant composition of chicken semen and its susceptibility to peroxidation [J]. Poultry and avian biology reviews, 1998, 9(1): 11-23.
- [8] SURAI P F, BRILLARD J P, SPEAKE B K, et al. Phospholipid fatty acid composition, vitamin E content and susceptibility to lipid peroxidation of duck semen [J]. Theriogenology, 2000, 53(5): 1025-1039.
- [9] SURAI P F, FUJIHARA N, SPEAKE B K, et al. Polyunsaturated fatty acids, lipid peroxidation and antioxidant protection in avian semen [J]. Asian-Australasian journal of animal sciences, 2001, 14(7): 1024-1050.
- [10] 庄惠君, 卢素琳, 林立, 等. 富硒蘑菇对小鼠脂质过氧化一氧化氮含量和精子质量的研究[J]. 微量元素与健康研究, 2004, 21(3): 3-6.
- [11] 朱冠宇, 李征, 张立昌, 等. 硒代蛋氨酸对蛋用种公鸡繁殖性能及血液生殖激素的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017(21): 1-4.
- [12] 张晓红, 孙梅. 提高种公鸡繁殖性能的日常管理措施[J]. 畜禽业, 2013(2): 64-65.
- [13] 郑世杰. 硒对雄鼠睾丸蛋白组表达及相关生殖功能的影响[D]. 广州: 广东药学院, 2014.
- [14] MURPHY R. 了解不同类型的有机硒[J]. 国外畜牧学(猪与禽), 2016, 36(9): 76-78.
- [15] 侯燕平, 张建新, 贺俊平. 硒微量元素对种公鸡睾丸细胞超微结构的影响[J]. 电子显微学报, 2004, 23(4): 336-336.
- [16] MARIN-GUZMAN J, MAHAN D C, PATE J L. Effect of dietary selenium and vitamin E on spermatogenic development in boars [J]. Journal of animal science, 2000, 78(6): 1537-1543.
- [17] CHRISTEN R, SCHACKMANN R, SHAPIRO B. Elevation of the intracellular pH activates reparation and motility of sperm of the sea urchin, strongylocentrotus purpuratus [J]. Journal of biological chemistry, 1983, 257(24): 14881-14890.
- [18] WU S H, OLDFIELD J E, SHULL L R, et al. Specific effect of selenium deficiency on rat sperm [J]. Biology of reproduction, 1979, 20(4): 793-798.
- [19] SÁNCHEZGUTIÉRREZ M, GARCÍAMONTALVO E A, IZQUIERDOVEGA J A, et al. Effect of dietary selenium deficiency on the in vitro fertilizing ability of mice spermatozoa [J]. Cell biology & toxicology, 2008, 24(4): 321-329.
- [20] MCCOY K E M, WESWIG P H. Some selenium responses in the rat not related to vitamin E [J]. Journal of nutrition, 1969, 98(4): 383-389.
- [21] YEUNG C H, SONNENBERGRIETHMACHER E, COOPER T G. Infertile spermatozoa of c-roos tyrosine kinase receptor knock-out mice show flagellar angulation and maturational defects in cell volume regulatory mechanisms [J]. Biology of reproduction, 1999, 61(4): 1062-1069.
- [22] 田丰丰, 张玲, 周友泉. 精子形态与活率及活力关系探讨[J]. 检验医学与临床, 2009, 6(21): 1816, 1818.
- [23] MAHMOUD K Z, EDENS F W. Influence of selenium sources on age-related and mild heat stress-related changes of blood and liver glutathione redox cycle in broiler chickens (*Gallus domesticus*) [J]. Comparative biochemistry and physiology part B: Biochemistry and molecular biology, 2003, 136(4): 921-934.
- [24] MARIN-GUZMAN J, MAHAN D C, CHUNG Y K, et al. Effects of dietary selenium and vitamin E on boar performance and tissue responses, semen quality, and subsequent fertilization rates in mature gilts [J]. Journal of animal science, 1997, 75(11): 2994-3003.
- [25] 王永侠. 硒代蛋氨酸对肉鸡的生物学效应及其分子机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- [26] JIN L H, BAHN J H, EUM W S, et al. Transduction of human catalase mediated by an HIV-1 tat protein basic domain and arginine-rich peptides into mammalian cells [J]. Free radical biology & medicine, 2001, 31(11): 1509-1519.
- [27] 朱宇旌, 朱广楠, 李方方, 等. N-乙酰谷氨酸与牛磺酸对公猪精液品质、血清激素指标及精浆抗氧化能力的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(10): 3125-3133.
- [28] KENDALL N R, MCMULLEN S, GREEN A, et al. The effect of a zinc, cobalt and selenium soluble glass bolus on trace element status and semen quality of ram lambs [J]. Animal reproduction science, 2000, 62(4): 277-83.
- [29] 张克烽, 张子平, 陈芸, 等. 动物抗氧化系统中主要抗氧化酶基因的研究进展[J]. 动物学杂志, 2007, 42(2): 153-160.
- [30] 赵先英, 刘毅敏. 微量元素硒、锰、氟对SOD活性的影响[J]. 第三军医大学学报, 2004, 26(2): 171-173.
- [31] 李云. 综述自由基对人体健康的影响及目前的预防措施[J]. 内蒙古石油化工, 2011, 37(1): 87-89.
- [32] 张丽, 陈冠华, 方柔, 等. 毛细管电泳法测定过氧化氢酶与天然抗氧化剂协同清除羟自由基作用[J]. 分析化学, 2013, 41(10): 1571-1576.
- [33] 吕明生, 王淑军, 房耀维, 等. 超声波提取雪莲薯多糖工艺优化及其对羟自由基的清除[J]. 食品科学, 2011, 32(2): 24-27.
- [34] FINKEL T. Oxygen radicals and signaling [J]. Current opinion in cell biology, 1998, 10(2): 248-253.
- [35] GARDNER P R, RAINERI I, EPSTEIN L B, et al. Superoxide radical and iron modulate aconitase activity in mammalian cells [J]. Journal of biological chemistry, 1995, 270(22): 13399-13405.
- [36] LI K, ZHANG W, FANG H, et al. Superoxide flashes reveal novel properties of mitochondrial reactive oxygen species excitability in cardiomyocytes [J]. Biophysical journal, 2012, 102(5): 1011-1021.
- [37] ZHANG W, WANG X, LI P, et al. Illuminating superoxide anion and pH enhancements in apoptosis of breast cancer cells induced by mitochondrial hyperfusion using a new two-photon fluorescence probe [J]. Analytical chemistry, 2017, 89(12): 6840-6845.
- [38] 邱榕生, 冯于明. 有机镁与有机硒对肉鸡机体组织抗氧化机能的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2003, 34(6): 542-547.