

不同来源硒对小鼠淋巴结中离子谱的影响

曹楠^{1,2}, 杨舒展³, 陈非玥^{1,2}, 李婉雁^{1,2}, 洪龙胜^{1,2}, 李冰心^{2,4}, 田允波^{1,2}, 黄运茂^{1,2}, 许丹宁^{1,2*}

(1. 仲恺农业工程学院动物科技学院, 广东广州 510225; 2. 广东省水禽健康养殖重点实验室, 广东广州 510225; 3. 广州海关技术中心, 广东广州 510000; 4. 华南农业大学兽医学院, 广东广州 510642)

摘要 [目的]探究不同来源的硒对小鼠淋巴结中离子谱的影响,进而探讨硒调节淋巴结免疫可能的作用途径。[方法]选择40只BALB/c小鼠,随机分为对照组、亚硒酸钠组、酵母硒组、海藻硒组4组,各组饲料中硒含量分别为0.03、0.23、0.23、0.23 mg/kg。试验第60天无菌采集各组小鼠淋巴结,运用电感耦合等离子体质谱法检测各组小鼠淋巴结中各元素水平。[结果]与对照组相比,亚硒酸钠、酵母硒、海藻硒都能不同程度影响小鼠淋巴结中常量元素、必需微量元素、有毒微量元素的含量,其中酵母硒和海藻硒在降低有毒微量元素沉积方面效果显著优于亚硒酸钠。[结论]有机硒在调节小鼠淋巴结中离子谱方面有着更好的效果。

关键词 亚硒酸钠;酵母硒;海藻硒;淋巴结;离子

中图分类号 S852.2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)05-0105-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2021.05.029

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Effects of Selenium from Different Sources on Ion Profiles in Lymph Nodes of Mice**CAO Nan^{1,2}, YANG Shu-zhan³, CHEN Fei-yue^{1,2} et al (1. College of Animal Science and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, Guangdong 510225; 2. Guangdong Key Laboratory of Waterfowl Healthy Breeding, Guangzhou, Guangdong 510225; 3. Technical Center of Guangzhou Customs, Guangzhou, Guangdong 510000)

Abstract [Objective] To investigate the effects of selenium (Se) from different sources on ion profiles in lymph nodes of mice, and further explore the possible pathways of regulating lymph node immunity by selenium. [Method] Forty BALB/c mice were randomly divided into four groups: control group, sodium selenite group, yeast selenium group and seaweed selenium group. Se content in the above four groups were 0.03, 0.23, 0.23 and 0.23 mg/kg, respectively. On the 60th day of the experiment, the lymph nodes of mice in each group were aseptically collected, and the elemental levels in lymph nodes of mice in each group were detected by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). [Result] Compared with control group, sodium selenite, yeast selenium and seaweed selenium could affect the content of macroelements, essential microelements and toxic microelements in mice lymph nodes. The effects of yeast selenium and seaweed selenium were better than that of sodium selenite in reducing the deposition of toxic microelements. [Conclusion] Yeast selenium had the better effects in regulating ion profiles on mice lymph nodes.

Key words Sodium selenite; Yeast selenium; Seaweed selenium; Lymph nodes; Ion

硒(Se)是维持动物健康的必需微量元素,在抗炎、抗氧化和抗肿瘤等方面发挥着重要作用^[1-3]。Duntas^[4]研究表明硒可以通过影响谷胱甘肽过氧化物酶和还原酶的活性来调节甲状腺中的碘化过程。作为各种含硒酶的活性中心,硒可以通过硒蛋白的形式在动物体内发挥各种生物功能^[5-6]。饲料中硒添加剂主要分为无机硒和有机硒2种^[7]。研究发现,不同来源的硒在体内的沉积效果不同。麦芽硒^[8]、酵母硒^[9]、硒代甲硫氨酸^[10]和亚硒酸钠^[11]都能提高机体血清和组织中硒水平,且有机硒的沉淀效果都优于亚硒酸钠。

动物器官中离子之间的平衡对于维持机体的正常生理机能十分重要^[12]。Li等^[13]研究发现不同来源的硒能影响小鼠肝脏中多种离子的含量,并且能够提高肝脏中总超氧化物歧化酶活力,降低丙二醛水平。淋巴结是体内硒聚集的主要区域之一^[14],Aaseth等^[15]研究发现淋巴结中硒浓度明显高于其他组织。但是,不同来源的硒对淋巴结中离子谱的影响尚不清楚。

该研究的主要目的是探究不同来源的硒对淋巴结中离

子谱的影响。笔者通过在小鼠日粮中添加亚硒酸钠、海藻硒和酵母硒,建立合适的动物模型,然后采集淋巴结进行离子水平测定。该试验中共测定了28种离子,其中包括4种常量元素(钠Na、镁Mg、钾K、钙Ca),17种必需微量元素(硼B、硅Si、钛Ti、钒V、铬Cr、锰Mn、铁Fe、钴Co、镍Ni、铜Cu、锌Zn、硒Se、锶Sr、钼Mo、锑Sb、钡Ba、铊Tl),7种有毒微量元素(锂Li、铝Al、砷As、镉Cd、锡Sn、汞Hg、铅Pb)。该研究希望能确定不同来源的硒对淋巴结中离子谱的影响,为进一步探究硒的免疫保护作用提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验动物 3周龄雌性BALB/c小鼠,购自广州中医药大学实验动物中心,许可证号SCXK(粤)2013-0034。

1.2 试验设计 40只3周龄BALB/c雌鼠被随机分为4组(对照组、亚硒酸钠组、酵母硒组、海藻硒组),每组10只。试验周期为60d。试验过程中所有小鼠采取相同的饲养和管理模式,对照组饲喂基础日粮(硒含量0.03 mg/kg),亚硒酸钠组、酵母硒组和海藻硒组分别在基础日粮的基础上添加0.44 mg/kg亚硒酸钠(Sigma, USA)、100 mg/kg酵母硒(Alltech, USA)和200 mg/kg海藻硒(天科生物, 中国)。最后,处理组日粮中硒含量为0.23 mg/kg。试验第60天,无菌采集各组小鼠淋巴结(n=3)。所有组织用去离子水清洗3次,迅速放入液氮中,-80℃下保存。

基金项目 广州市科技计划项目(201904010076);广东省教育厅基础研究重大项目(2017KZDXM046);广东省高校青年创新人才项目(2016KTSCX055)。

作者简介 曹楠(1987—),男,黑龙江双城人,副教授,博士,从事动物营养免疫研究。*通信作者,教授,博士,从事动物营养免疫研究。

收稿日期 2020-08-13

1.3 矿物元素含量的测定 运用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS, Thermo, USA)测定小鼠淋巴结中24种元素(Na、Mg、K、B、Si、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Se、Sr、Mo、Sb、Ba、As、Cd、Sn、Hg、Pb)的含量。ICP-MS仪器参数设置如下:频率27.12 MHz,反射功率1.55 kW,采样深度5 mm,炬管0.01 mm,炬管-0.39 mm,载气1.05 L/min,雾化泵40 r/min, S/C温度2.7℃,氧离子(156/140)<2.0%,双电荷(70/140)<3.0%。参照 Xu 等^[16]的方法,采用酸消化法检测淋巴结中矿物质元素的含量。将待测样品用5 mL HNO₃(65%)和2 mL H₂O₂(30%)进行消化,然后用去离子水稀释至10 mL,同时运用相同的方法进行空白消化。微波消化程序如下:1 800 W 100℃消化3 min,1 800 W 150℃消化10 min,最后1 800 W 180℃消化45 min。最后,将消化的样品用超纯水稀释至50 mL,以便进行ICP-MS分析。

1.4 数据统计与分析 运用SPSS 19.0(Chicago, IL)进行单

因素方差分析和 Tukey Honestly 显著差异检验方法进行数据分析(平均值±标准差)。组间比较时, $P<0.05$ 表示差异显著。此外,运用SPSS 19.0统计软件进行主成分分析(PCA)。

2 结果与分析

2.1 不同来源的硒对小鼠淋巴结中常量元素含量的影响 该试验检测了小鼠淋巴结中4种常量元素的含量,结果显示淋巴结中K含量最高,其次为Na、Mg、Ca(表1)。从表1可以看出,不同来源的硒对常量元素含量的影响存在很大差异。与对照组相比,亚硒酸钠组、酵母硒组和海藻硒组淋巴结中Mg含量显著降低($P<0.05$);海藻硒组淋巴结中K含量显著降低($P<0.05$);亚硒酸钠组淋巴结中Ca含量显著升高($P<0.05$),但酵母硒组和海藻硒组中Ca含量显著降低($P<0.05$)。值得注意的是,所有处理组淋巴结中Na含量没有发生明显变化($P>0.05$),说明硒含量与Mg和K含量的相关性较强,而与Na含量的相关性较弱。

表1 各组小鼠淋巴结中常量元素含量的比较

Table 1 The content comparison of macroelements in lymph nodes of mice in each group

组别 Group	钠 Na	镁 Mg	钾 K	钙 Ca	μg/L
对照组 Control group	1 162 012±57 364 a	284 191±6 644 a	5 341 053±107 182 a	78 635±617 b	
亚硒酸钠组 Sodium selenite group	1 170 586±39 145 a	255 730±5 467 b	5 216 309±35 342 a	82 750±1 181 a	
酵母硒组 Yeast selenium group	1 213 852±28 479 a	267 287±5 020 b	5 151 062±59 903 a	70 227±926 c	
海藻硒组 Seaweed selenium group	1 128 879±32 420 a	266 954±4 501 b	4 688 773±84 175 b	69 686±538 c	

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant differences ($P<0.05$)

2.2 不同来源的硒对小鼠淋巴结中必需微量元素含量的影响 由表2可知,硒能显著影响小鼠淋巴结中17种必需微量元素的含量。与对照组相比,亚硒酸钠和酵母硒可以影响淋巴结中13种必需微量元素的含量;海藻硒可以影响15种必需微量元素的含量。以上结果表明,有机硒对有益元素含量的影响略大于无机硒。与对照组相比,亚硒酸钠显著提高了淋巴结中B、Si、V、Cr、Ni、Cu、Se、Sr、Sb、Ba的含量($P<$

0.05),降低了Fe、Mo、Tl的含量($P<0.05$);酵母硒显著提高了淋巴结中Ti、Cr、Co、Se、Mo、Ba、Tl的含量($P<0.05$),降低了B、Si、V、Fe、Cu、Sb的含量($P<0.05$);海藻硒显著提高了淋巴结中Se、Mo、Tl的含量($P<0.05$),降低了B、Ti、V、Cr、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Sr、Sb、Ba的含量($P<0.05$)。值得注意的是,不同来源的硒都能显著提高小鼠淋巴结中硒的含量,其中亚硒酸钠促进硒沉积效果最好。

表2 各组小鼠淋巴结中必需微量元素含量的比较

Table 2 The content comparison of essential microelements in lymph nodes of mice in each group

组别 Group	硼 B	硅 Si	钛 Ti	钒 V	铬 Cr	锰 Mn	μg/L
对照组 Control group	1 049.00±64.97 b	86 991.70±723.70 b	1 310.00±11.56 b	62.50±0.94 b	447.50±5.71 c	421.40±4.67 ab	
亚硒酸钠组 Sodium selenite group	1 208.00±22.79 a	113 930.00±4 820.00 a	1 391.00±34.04 b	86.71±0.30 a	569.20±4.54 a	401.70±12.14 b	
酵母硒组 Yeast selenium group	837.50±23.91 c	81 508.00±625.10 c	1 608.00±19.57 a	58.92±0.21 c	484.40±10.65 b	441.60±9.61 a	
海藻硒组 Seaweed selenium group	224.60±26.63 d	76 163.00±1 202.00 d	1 066.00±72.91 c	49.81±0.56 d	353.90±7.07 d	414.60±4.12 b	
组别 Group	铁 Fe	钴 Co	镍 Ni	铜 Cu	锌 Zn	硒 Se	
对照组 Control group	80 474.00±696.60 a	15.48±0.24 b	170.20±1.52 b	7 580.00±39.46 b	22 274.00±342.00 a	151.80±1.28 c	
亚硒酸钠组 Sodium selenite group	57 784.00±441.60 d	15.48±0.46 b	204.30±7.18 a	9 395.00±76.38 a	21 322.00±731.10 a	222.00±4.12 a	
酵母硒组 Yeast selenium group	61 771.00±462.20 c	17.23±0.34 a	161.30±0.93 b	6 556.00±73.56 c	20 794.00±915.80 a	223.00±5.70 a	
海藻硒组 Seaweed selenium group	72 335.00±787.40 b	14.70±0.63 b	57.78±0.94 c	1 183.00±81.12 d	17 671.00±334.00 b	211.20±2.77 b	
组别 Group	锶 Sr	钼 Mo	锑 Sb	钡 Ba	铊 Tl		
对照组 Control group	44.36±0.56 b	69.06±0.26 c	51.38±0.77 b	93.62±1.53 c	1.62±0.03 b		
亚硒酸钠组 Sodium selenite group	52.90±0.93 a	66.60±0.54 d	59.63±0.60 a	104.30±4.52 b	1.45±0.04 c		
酵母硒组 Yeast selenium group	45.57±0.59 b	72.92±0.68 b	48.63±0.58 c	146.40±2.58 a	1.63±0.02 b		
海藻硒组 Seaweed selenium group	39.36±0.45 c	84.32±0.84 a	9.67±0.62 d	72.85±1.93 d	1.89±0.03 a		

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant differences ($P<0.05$)

2.3 不同来源的硒对小鼠淋巴结中有毒微量元素含量的影响 该试验中检测了 7 种有毒微量元素的含量。由表 3 可知,与对照组相比,亚硒酸钠能够显著提高小鼠淋巴结中 Li、As、Cd、Sn、Hg、Pb 的含量($P<0.05$);酵母硒和海藻硒能够显著

著降低小鼠淋巴结中 Li、As、Cd、Sn、Pb 的含量($P<0.05$),提高了 Al 含量($P<0.05$)。以上结果表明,有机硒在降低有毒微量元素沉积方面的效果显著优于无机硒。

表 3 各组小鼠淋巴结中有毒微量元素含量的比较

Table 3 The content comparison of toxic microelements in lymph nodes of mice in each group

组别 Group	锂 Li	铝 Al	砷 As	镉 Cd	锡 Sn	汞 Hg	铅 Pb
对照组 Control group	41.89±0.23 b	15 324.00±324.00 b	40.56±0.72 b	3.81±0.29 b	131.80±1.91 b	0.53±0.02 b	515.50±8.12 b
亚硒酸钠组 Sodium selenite group	51.38±1.88 a	15 790.00±473.00 b	51.77±0.93 a	4.58±0.20 a	165.70±5.60 a	0.60±0.02 a	597.00±6.50 a
酵母硒组 Yeast selenium group	36.83±0.38 c	18 559.00±513.00 a	34.29±0.57 d	3.19±0.18 c	107.10±1.61 c	0.51±0.01 b	392.50±5.54 c
海藻硒组 Seaweed selenium group	11.43±0.75 d	18 474.00±310.00 a	36.83±0.68 c	2.94±0.08 c	91.02±0.81 d	0.58±0.02 a	70.72±1.35 d

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant differences($P<0.05$)

2.4 主成分分析 利用 SPSS 19.0 统计软件进行主成分分析,结果显示 116 个相关系数的绝对值大于 0.8, 占有所有结果的 28.6%。其中, Li 与 Cu 含量间的相关系数最高, 为 0.999。其次, Li 与 B、Li 与 Ni、Li 与 Mo、Li 与 Pb、B 与 Cu、B 与 Pb、Cu 与 Ni、Sb 与 Ni、Cu 与 Mo、Cu 与 Sb、Cu 与 Pb 间的相关系数都大于 0.99。这说明 Li、Ni 和 Cu 含量与其他元素含量间具有很高的相关性。此外, 与硒含量的相关系数绝对值大于 0.8 的元素有 2 个, 分别为 Mg 和 Fe。

根据每个成分的特征值, 该试验提取了 3 个特征值大于 1 的成分作为主成分(表 4)。主成分 1 的贡献率为 59.278%, 主成分 2 的贡献率为 20.745%, 主成分 3 的贡献率为 15.593%, 3 个主成分的累计贡献率为 95.616%, 可以反映绝大多数变量的信息。

表 4 小鼠淋巴结中元素的主成分和提取量

Table 4 Principal components and extracted amount of ions in lymph nodes of mice

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate %	累计贡献率 Cumulative contribution rate//%
1	16.598	59.278	59.278
2	5.809	20.745	80.023
3	4.366	15.593	95.616

通过分析旋转成分矩阵(表 5)和因子载荷图(图 1)发现, Pb、B、Mo、Li、Cu、Sn、Ca、Ni、Cd、Sb、V、Sr、Cr、Si、Zn 含量与主成分 1 呈高度正相关, Mo、Tl、Al 含量与主成分 1 呈高度负相关; Ba、Co、Ti、Mn 含量与主成分 2 呈高度正相关; Se 含量与主成分 3 呈高度正相关, Mg、Fe、K 含量与主成分 3 呈高度负相关。

3 讨论

离子的平衡对于维持机体生理功能具有非常重要的作用^[17]。硒作为机体必需微量元素之一, 其在调节离子分布和抗氧化方面已有大量报道^[12,16]。但是, 不同来源的硒对淋巴结中离子水平的影响尚不清楚。该研究通过添加亚硒酸钠、酵母硒和海藻硒, 检测小鼠淋巴结中 28 种元素的含量。结果发现, 不同来源的硒能影响 28 种元素中的 27 种。

表 5 旋转成分矩阵

Table 5 Rotated component matrix

元素 Element	成分 1 Principal component 1 (59.28%)	成分 2 Principal component 2 (20.75%)	成分 3 Principal component 3 (15.59%)
铅 Pb	0.974	0.221	-0.020
硼 B	0.968	0.235	-0.011
钼 Mo	-0.964	-0.244	0.025
锂 Li	0.961	0.263	0.074
铜 Cu	0.957	0.281	0.058
锡 Sn	0.955	-0.177	0.227
钙 Ca	0.936	-0.327	0.019
镍 Ni	0.935	0.333	0.086
铊 Tl	-0.932	-0.250	-0.227
镉 Cd	0.917	-0.255	0.229
锑 Sb	0.915	0.401	0.018
钒 V	0.885	-0.108	0.440
锶 Sr	0.863	0.116	0.486
铬 Cr	0.856	0.273	0.430
铝 Al	-0.853	0.339	0.365
硅 Si	0.847	-0.221	0.474
锌 Zn	0.842	0.338	-0.363
砷 As	0.785	-0.465	0.383
钡 Ba	0.206	0.952	0.216
钴 Co	0.104	0.886	0.161
钛 Ti	0.424	0.883	0.153
锰 Mn	-0.347	0.838	-0.304
汞 Hg	0.110	-0.757	0.585
钠 Na	0.201	0.716	0.061
镁 Mg	-0.058	0.090	-0.950
硒 Se	-0.237	0.197	0.928
铁 Fe	-0.233	-0.316	-0.905
钾 K	-0.513	0.140	-0.827

已有大量研究表明, 有机硒在肝脏中硒沉淀的效果优于无机硒^[18]。该研究发现不同来源的硒在小鼠淋巴结内的沉积效果存在差异。对照组淋巴结内硒含量为 152 $\mu\text{g/L}$, 亚硒酸钠、酵母硒、海藻硒组内硒含量分别为 222、223、211 $\mu\text{g/L}$ ($P<0.05$), 说明硒能有效沉积在淋巴结中。但是, 亚硒酸钠与酵母硒组内硒沉积效果类似, 并显著高于海藻硒组。这与此前的研究结果类似, 可能与试验周期不同有关^[13]。

离子水平在体内呈现动态平衡。硒含量的改变可以显著影响其他组织中离子水平, 尤其是有毒元素沉积^[12]。研究发现, 亚硒酸钠可以在鸡的大脑中与 Cd 产生拮抗作用, 从

而降低 Cd 造成的氧化损伤^[19]。此外,酵母硒也可以降低鸡肝脏中 Cd 含量,并能提高 Zn、Cu 和 Fe 的含量。该试验检测了 7 种有毒微量元素的含量,结果发现亚硒酸钠组 6 种有毒微量元素的含量显著上升($P < 0.05$),海藻硒组和酵母硒组内分别有 5 种和 6 种有毒微量元素的含量显著下降($P < 0.05$)。因此,酵母硒在降低有毒元素沉积方面效果最好。

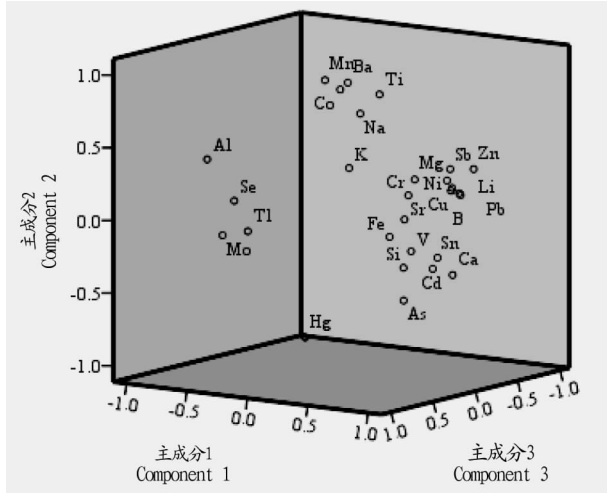


图 1 主成分因子载荷图

Fig. 1 Factor load diagram of principal components

4 结论

综上所述,亚硒酸钠能显著提高淋巴结中 Ca、B、Si、V、Cr、Ni、Cu、Se、Sr、Sb、Ba 的含量($P < 0.05$);酵母硒组能显著提高淋巴结中 Ti、Cr、Co、Se、Mo、Ba、Tl 的含量($P < 0.05$);海藻硒能显著提高淋巴结中 Se、Mo、Tl 的含量($P < 0.05$)。因此,亚硒酸钠在促进有益元素沉积方面效果最好。酵母硒能显著降低淋巴结中 Li、As、Cd、Sn、Hg、Pb 的含量($P < 0.05$);海藻硒能显著降低淋巴结中 Li、As、Cd、Sn、Pb 的含量($P < 0.05$)。因此,酵母硒在降低有毒元素沉积方面效果最好。综合所有元素分析结果发现,酵母硒在促进有益元素沉积、降低有毒元素沉积方面效果最好。

参考文献

[1] FAIRWEATHER-TAIT S J, COLLINGS R, HURST R. Selenium bioavailability: Current knowledge and future research requirements[J]. American journal of clinical nutrition, 2010, 91(5): 1484S-1491S.
 [2] GAO H, LIU C P, SONG S Q, et al. Effects of dietary selenium against lead toxicity on mRNA levels of 25 selenoprotein genes in the cartilage tissue of broiler chicken[J]. Biological trace element research, 2016, 172(1): 234-241.

[3] XU D N, TIAN Y B. Selenium and polysaccharides of *Atractylodes macrocephala* Koidz play different roles in improving the immune response induced by heat stress in chickens[J]. Biological trace element research, 2015, 168(1): 235-241.
 [4] DUNTAS L H. Environmental factors and autoimmune thyroiditis[J]. Nature clinical practice, endocrinology & metabolism, 2008, 4(8): 454-460.
 [5] HUANG Z, ROSE A H, HOFFMANN P R. The role of selenium in inflammation and immunity: From molecular mechanisms to therapeutic opportunities[J]. Antioxidants & redox signaling, 2012, 16(7): 705-743.
 [6] YANG Z J, LIU C, LIU C P, et al. Selenium deficiency mainly influences antioxidant selenoproteins expression in broiler immune organs[J]. Biological trace element research, 2016, 172(1): 209-221.
 [7] DELEZIE E, ROVERS M, VAN DER AA A, et al. Comparing responses to different selenium sources and dosages in laying hens[J]. Poultry science, 2014, 93(12): 3083-3090.
 [8] LI J K, WANG X L. Effect of dietary organic versus inorganic selenium in laying hens on the productivity, selenium distribution in egg and selenium content in blood, liver and kidney[J]. Journal of trace elements in medicine biology, 2004, 18(1): 65-68.
 [9] LONG M, YANG S H, ZHANG W K, et al. The influence of selenium yeast on hematological, biochemical and reproductive hormone level changes in Kunming mice following acute exposure to zearalenone[J]. Biological trace element research, 2016, 174(2): 362-368.
 [10] 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[J]. Biological trace element research, 2018, 181(2): 340-346.
 [11] MUEGGE C R, BRENNAN K M, Schoonmaker J P. Supplementation of organic and inorganic selenium to late gestation and early lactation beef cows effect on cow and preweaning calf performance[J]. Journal of animal science, 2016, 94(8): 3399-3408.
 [12] PAPPAS A C, ZOIDIS E, GEORGIU C A, et al. Influence of organic selenium supplementation on the accumulation of toxic and essential trace elements involved in the antioxidant system of chicken[J]. Food additives & contaminants: Part A, 2011, 28(4): 446-454.
 [13] LI B X, LIU Y, LI W Y, et al. Effect of selenium on ion profiles and antioxidant defense in mice livers[J]. Biological trace element research, 2018, 184(1): 127-135.
 [14] JONKLAAS J, DANIELSEN M, WANG H. A pilot study of serum selenium, vitamin D, and thyrotropin concentrations in patients with thyroid cancer[J]. Thyroid, 2013, 23(9): 1079-1086.
 [15] AASETH J, FREY H, GLATTRE E, et al. Selenium concentrations in the human thyroid gland[J]. Biological trace element research, 1990, 24(2/3): 147-152.
 [16] XU T, GAO X J, LIU G W. The antagonistic effect of selenium on lead toxicity is related to the ion profile in chicken liver[J]. Biological trace element research, 2016, 169(2): 365-373.
 [17] LI J L, GAO R, LI S, et al. Testicular toxicity induced by dietary cadmium in cocks and ameliorative effect by selenium[J]. Biometals, 2010, 23(4): 695-705.
 [18] LEESON S, NAMKUNG H, CASTON L, et al. Comparison of selenium levels and sources and dietary fat quality in diets for broiler breeders and layer hens[J]. Poultry science, 2008, 87(12): 2605-2612.
 [19] MAREITOVÁ E, MAREITTA M, LEGÁTH J, et al. The retention of cadmium and selenium influence in fowl and chickens of F₁ generation[J]. Biological trace element research, 2012, 147(1/2/3): 130-134.

(上接第 104 页)

[22] 张丽君, 耿或, 刘孝刚. 浅谈“互联网+”的畜禽养殖环境污染治理预警机制[J]. 中国畜禽种业, 2019, 15(1): 13-14.
 [23] 包从兴. 畜禽养殖业猪粪便治理及其资源化利用: 以江苏申牧畜禽有限公司为例[D]. 苏州: 苏州科技学院, 2015.
 [24] 张延生. 生态猪养殖技术及发展趋势[J]. 畜牧兽医学(电子版), 2019(11): 82-83.

[25] 陈鉴生. 猪生态养殖技术应用推广实践探讨[J]. 畜禽业, 2019, 30(7): 30.
 [26] 张凯, 王金林, 谢骏, 等. “猪—草—鱼”生态循环养殖池塘水体营养盐及浮游植物群落结构研究[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(20): 51-56.
 [27] 蒲文娟. 畜牧业养殖中环境污染的特征与治理[J]. 现代畜牧科技, 2016(4): 186.
 [28] 曹立文. 畜牧养殖过程中环境保护措施[J]. 中国畜禽种业, 2019, 15(8): 36-37.