

## 我国畜禽饲料资源中微量元素硒含量分布的调查

王丽赛<sup>1,2</sup>, 张丽阳<sup>2</sup>, 马雪莲<sup>2</sup>, 王良治<sup>2,3</sup>, 邢冠中<sup>1</sup>, 杨柳<sup>1</sup>, 于涛<sup>1</sup>, 吕林<sup>2</sup>, 廖秀冬<sup>2</sup>, 李素芬<sup>1</sup>, 罗绪刚<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>河北科技师范学院动物科技学院, 河北秦皇岛 066004; <sup>2</sup>中国农业科学院北京畜牧兽医研究所矿物元素营养研究室, 北京 100193;

<sup>3</sup>西南民族大学生命科学与技术学院, 成都 610041)

**摘要:**【目的】研究我国不同地区间各种饲料原料中硒含量分布情况, 以及我国畜禽基础饲粮中硒水平, 从而为饲粮中合理添补硒提供依据。【方法】对采自全国 31 个省、直辖市和自治区的 7 大类 (谷物籽实、谷物籽实加工副产品、植物性蛋白饲料、动物性蛋白饲料、牧草类、秸秆类和矿物质饲料) 37 种饲料原料共 3 785 个饲料样品, 经预处理后用 MARS6 高通量密闭微波消解系统进行微波消解, 然后用离子色谱-电感耦合等离子体-质谱联用仪 (IC-ICP-MS) 进行测定。用国家标准物质猪肝粉作为参照标准, 以保证测定结果的可靠性。【结果】饲料原料中硒含量测定结果表明: 谷物籽实 (包括玉米、小麦、稻谷和大麦) 平均硒含量为  $0.037 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (范围为  $0.025-0.044 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ); 谷物籽实加工副产品 (包括玉米蛋白粉、玉米 DDGS、玉米胚芽粕、次粉、小麦麸、小麦 DDGS、碎米和米糠) 平均硒含量为  $0.071 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (范围为  $0.034-0.124 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ); 植物性蛋白饲料 (包括膨化大豆、大豆粕、菜籽粕、棉籽粕、花生粕、亚麻粕和葵花粕) 平均硒含量为  $0.209 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (范围为  $0.097-0.502 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ); 动物性蛋白饲料 (包括鱼粉、肉粉、水解羽毛粉、肠膜蛋白粉、血浆蛋白粉和血球蛋白粉) 平均硒含量为  $1.217 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (范围为  $0.611-2.220 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ); 牧草类 (包括羊草、黑麦草、苜蓿和青贮玉米) 平均硒含量为  $0.062 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (范围为  $0.057-0.070 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ); 秸秆类 (包括玉米秸秆、小麦秸秆、稻秸和甘薯藤) 平均硒含量为  $0.069 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (范围为  $0.033-0.128 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ); 矿物质饲料 (包括石粉、磷酸氢钙、骨粉和贝壳粉) 平均硒含量为  $0.352 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (范围为  $0.085-0.544 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。这 37 种饲料原料的平均硒含量范围为  $0.025-2.220 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 而各类饲料原料硒含量分布规律是: 动物性蛋白饲料 ( $1.217 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) > 矿物质饲料 ( $0.352 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) > 植物性蛋白饲料 ( $0.209 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) > 谷物籽实加工副产品 ( $0.071 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) > 秸秆类 ( $0.069 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) > 牧草类 ( $0.062 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) > 谷物籽实 ( $0.037 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。以省 (区) 为单位比较, 发现不同地区间的玉米、小麦和大豆粕的硒含量差异显著 ( $P < 0.05$ ); 所测省 (区) 玉米样品全部缺硒 ( $\leq 0.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), 其中有 61.1% 的省 (区) 严重缺硒 ( $\leq 0.02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ); 四川省小麦严重缺硒 ( $\leq 0.02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ); 四川省和内蒙古自治区豆粕缺硒 ( $0.03-0.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), 河南省豆粕临界缺硒 ( $0.06-0.09 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。根据全国各地猪、鸡常用的 153 个饲料配方计算出基础饲粮中可提供的硒含量为  $0.06-0.11 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 如根据我国猪、鸡饲养标准中硒含量的要求, 基础饲粮中的硒含量仅能提供猪、鸡硒营养需要的约 1/4。【结论】我国不同种类和不同地区饲料原料中硒含量差异较大, 全国猪、鸡常用基础饲粮配方中硒含量可提供硒营养需要量的约 1/4。因此, 在实际生产中, 建议参考不同地区饲料原料中硒含量分布调查数据, 精准配制饲粮, 以满足畜禽高效生产的需要及减少硒的添加量。

**关键词:** 饲料原料; 硒含量; 猪; 鸡

收稿日期: 2019-02-18; 接受日期: 2019-04-15

基金项目: 国家科技部科技基础性工作专项 (2014FY111000)、河北省二期现代农业产业技术体系瘦肉型猪产业创新团队 (HBCT2018150203, HBCT2018150206)、中国农业科学院农科英才专项、中国农业科学院科技创新工程专项 (ASTIP-IAS08)、国家现代农业产业技术体系岗位专家专项 (CARS-41)

联系方式: 王丽赛, Tel: 1883851121; E-mail: 1883851121@163.com。通信作者李素芬, E-mail: lisufen64@163.com。通信作者罗绪刚, E-mail: wlysz@263.net

# A Survey on Distribution of Selenium Contents in Feedstuffs for Livestock and Poultry in China

WANG LiSai<sup>1,2</sup>, ZHANG LiYang<sup>2</sup>, MA XueLian<sup>2</sup>, WANG LiangZhi<sup>2,3</sup>, XING GuanZhong<sup>1</sup>, YANG Liu<sup>1</sup>,  
YU Tao<sup>1</sup>, LÜ Lin<sup>2</sup>, LIAO XiuDong<sup>2</sup>, LI SuFen<sup>1</sup>, LUO XuGang<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> College of Animal Science and Technology, Hebei Normal University of Science and Technology, Qinhuangdao 066004, Hebei;

<sup>2</sup> Mineral Nutrition Research Division, Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193;

<sup>3</sup> College of Life Science and Technology, Southwest Minzu University, Chengdu 610041)

**Abstract:** 【Objective】 The purpose of this survey was to study the distribution of selenium (Se) contents in various feed ingredients from different regions and the basal diets of pigs and chickens of China, so as to provide a basis for the reasonable addition of Se to the diets. 【Method】 A total of 3 785 feed samples from 37 feed ingredients which fallen into seven types (cereal feeds, cereal by-products, plant protein feeds, animal protein feeds, pasture feeds, straw feeds and mineral feeds) from 31 provinces, municipalities and autonomous regions. After pretreatment, microwave digestion was performed with MARS6 high-throughput closed microwave digestion system, and then feed samples were determined by ion chromatography-inductively coupled plasma-mass spectrometer (IC-ICP-MS). The pig liver powder was used as a reference material to ensure the reliability of the measurement results. 【Result】 The determination of Se contents in feedstuffs showed that the average Se content of cereal feeds (including corn, wheat, rice and barley) was 0.037 mg·kg<sup>-1</sup> (ranged from 0.025 to 0.044 mg·kg<sup>-1</sup>); cereal by-products (including corn gluten meal, corn DDGS, corn germ meal, wheat middling, wheat bran, wheat DDGS, broken rice and rice bran) was 0.071 mg·kg<sup>-1</sup> (ranged from 0.034 to 0.124 mg·kg<sup>-1</sup>); plant protein feeds (including extruded soybean, soybean meal, rapeseed meal, cottonseed meal, peanut meal, linseed meal and sunflower meal) was 0.209 mg·kg<sup>-1</sup> (ranged from 0.097 to 0.502 mg·kg<sup>-1</sup>); animal protein feeds (including fish meal, meat meal, hydrolyzed feather meal, dried porcine soluble, plasma protein powder and blood cells protein powder) was 1.217 mg·kg<sup>-1</sup> (ranged from 0.611 to 2.220 mg·kg<sup>-1</sup>); pasture feeds (including *Leymus chinensis*, ryegrass, alfalfa and corn silage) was 0.062 mg·kg<sup>-1</sup> (ranged from 0.057 to 0.070 mg·kg<sup>-1</sup>); straw feeds (including corn straw, wheat straw, rice straw and sweet potato vine) was 0.069 mg·kg<sup>-1</sup> (ranged from 0.033 to 0.128 mg·kg<sup>-1</sup>); mineral feeds (including limestone, dicalcium phosphate, bone meal and oyster shell meal) was 0.352 mg·kg<sup>-1</sup> (ranged from 0.085 to 0.544 mg·kg<sup>-1</sup>). Results showed that the average Se contents of these 37 kinds of feeds ranged from 0.025 to 2.220 mg·kg<sup>-1</sup> and the Se contents distribution of different species feeds were as follows: animal protein feeds (1.217 mg·kg<sup>-1</sup>) > mineral feeds (0.352 mg·kg<sup>-1</sup>) > plant protein feeds (0.209 mg·kg<sup>-1</sup>) > cereal by-products (0.071 mg·kg<sup>-1</sup>) > straw feeds (0.069 mg·kg<sup>-1</sup>) > pasture feeds (0.062 mg·kg<sup>-1</sup>) > cereal feeds (0.037 mg·kg<sup>-1</sup>). The Se contents in corn, wheat or soybean meal from some provinces (regions) were significantly different ( $P < 0.05$ ). The Se contents of corn samples from all the provinces (regions) were deficient ( $\leq 0.05$  mg·kg<sup>-1</sup>), and 61.1% provinces (regions) were severely deficient ( $\leq 0.02$  mg·kg<sup>-1</sup>). The Se contents of wheat samples from Sichuan province were serious deficient ( $\leq 0.02$  mg·kg<sup>-1</sup>). The Se contents of soybean meal samples from Sichuan province and Inner Mongolia were deficient (0.03-0.05 mg·kg<sup>-1</sup>), and that from Henan province were critical deficient (0.06-0.09 mg·kg<sup>-1</sup>). Calculated Se contents from 153 feed formulas commonly used in pigs and chickens all over the country ranged from 0.06 to 0.11 mg·kg<sup>-1</sup>, which could provide about a quarter of the Se requirement for pigs and chickens according to feeding standards of China. 【Conclusion】 The Se contents enrichments of feeds in livestock and poultry are different among different types and regions in China. The Se contents in the basal diet formula could provide about a quarter of the Se requirement for pigs and chickens in China. Therefore, it is suggested that we should formulate the diet accurately according to distribution data of Se contents in feedstuffs from different types and different areas, so as to meet the need of efficient production of livestock and poultry and reduce supplemental Se level.

**Key words:** feedstuff; selenium content; pig; chicken

## 0 引言

【研究意义】饲料是畜牧业赖以发展的物质基

础, 饲料成本约占整个畜禽养殖成本的 60%—70%。调查研究不同地区畜禽饲料资源及其硒含量分布规律, 可为快速发展的饲料工业解决饲料资源短缺、养

殖企业布局不合理、硒添加剂的不合理使用等问题。

【前人研究进展】硒是动物体必需的微量元素，广泛分布于自然界、人和畜禽机体中。随着人们对硒功能与利用的进一步研究证实，硒蛋白在动物体内起着重要的生物学功能，很多硒蛋白或含硒酶作为细胞重要的抗氧化防御系统而发挥清除氧自由基、保护生物膜完整、解毒和增强机体免疫力等功能<sup>[1-2]</sup>，对于维持机体正常的繁殖机能和畜禽生长发育具有重要作用<sup>[3-4]</sup>。硒的缺乏可导致动物发生一系列疾病，如水肿病、白肌病及桑葚心等<sup>[5-6]</sup>。因此，研究者对饲料中含硒量的高低非常重视。刘金旭等<sup>[7]</sup>对全国饲料、牧草含硒量的调查研究结果表明，我国有 2/3 以上地区属于缺硒地区，对我国畜牧业产生了严重的影响。

【本研究切入点】我国在 20 世纪 80 年代曾对全国饲料、牧草硒含量开展过较系统的调查，并绘制了全国饲料、牧草中含硒量分布图。但是，随着时间、气候环境、土壤及品种等条件的变化，不同地区饲料原料中硒含量分布也随之发生了变化。【拟解决的关键问题】对全国各地主要畜禽饲料原料中硒含量进行测定，研究我国当前不同地区各种饲料原料的硒含量分布情况，以及畜禽基础饲料中硒的水平，从而为畜禽生产中合理添补硒及配制生产硒的平衡饲料提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

1.1.1 采样 针对我国不同区域主要畜禽饲料资源的分布情况，以及 2013 年各省（市、区）的各饲料原料总产量和企业总产量占全省总产量的比例，确定各省（市、区）或代表性企业的样品数。从 2016 年 1 月至 2018 年 6 月期间，在我国除港澳台外的 31 个省、直辖市和自治区，采集了 37 种共 3 785 个饲料样品，饲料样品主要来自于当地农户生产的粮食或当地的饲料加工厂生产的饲料原料。采集饲料样品时采用 GPS 定位并拍照，并按照编码方案标示条形码后，带回实验室备分析硒含量。

1.1.2 样品种类 根据实际情况，选择与畜禽有关的谷物籽实类中的玉米、小麦、稻谷和大麦；谷物籽实加工副产品类中的玉米蛋白粉、玉米 DDGS、玉米胚芽粕等；植物性蛋白饲料中的膨化大豆、大豆粕、菜籽粕等；动物性蛋白饲料中的鱼粉、肉粉、水解羽毛粉等；牧草类饲料中的羊草、黑麦草、苜蓿和青贮玉米；秸秆类饲料中的玉米秸秆、小麦秸

秆、稻秸和甘薯藤；矿物质饲料中的石粉、磷酸氢钙、骨粉和贝壳粉。共计 7 大类 37 种饲料原料，均选择无污染、无霉变等优质样品。

### 1.2 样品处理及分析方法

1.2.1 样品处理 将所采集样品置于滤纸上进行混匀并按四分法取一定量的样品，使用不锈钢小型高速粉碎机（IL-04BL）粉碎后，装入自封袋保存，并注明样品的名称、采样时间及编号等信息以备分析硒含量。

1.2.2 分析方法 称取 0.5 g 饲料样品于消化管中，加入 5 mL 硝酸和 2 mL 双氧水浸泡 2 h 后用 MARS6 高通量密闭微波消解系统进行微波消解，使用离子色谱-电感耦合等离子体-质谱联用仪（IC-ICP-MS）进行测定，同时用国家标准样品猪肝粉作标准，以保证测定结果的可靠性。

1.2.3 数据处理 将所得试验数据用 SAS 9.4<sup>[8]</sup>统计软件中 GLM 过程对所有试验数据进行单因素方差分析。单因素方差分析差异显著者，再以 LSD 法比较各平均值间的差异显著性。以  $P < 0.05$  作为差异显著性判断标准。结果用“平均值±标准差”表示。

## 2 结果

### 2.1 各种饲料原料中硒含量分布

结果分类列于表 1—7 中。在同种饲料中，由于采样点分布于某一省的多个市（区），差异较大，所以有些饲料的标准差很大，如菜籽粕、亚麻粕等。由表 1—7 可见，各大种属类别之间硒含量差异显著（ $P < 0.05$ ），饲料原料中硒含量测定结果表明：谷物籽实（包括玉米、小麦、稻谷和大麦）平均硒含量为  $0.037 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ （范围为  $0.025—0.044 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）；谷物籽实加工副产品（包括玉米蛋白粉、玉米 DDGS、玉米胚芽粕、次粉、小麦麸、小麦 DDGS、碎米和米糠）平均硒含量为  $0.071 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ （范围为  $0.034—0.124 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）；植物性蛋白饲料（包括膨化大豆、大豆粕、菜籽粕、棉籽粕、花生粕、亚麻粕和葵花粕）平均硒含量为  $0.209 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ （范围为  $0.097—0.502 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）；动物性蛋白饲料（包括鱼粉、肉粉、水解羽毛粉、肠膜蛋白粉、血浆蛋白粉和血球蛋白粉）平均硒含量为  $1.217 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ （范围为  $0.611—2.220 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）；牧草类（包括羊草、黑麦草、苜蓿和青贮玉米）平均硒含量为  $0.062 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ （范围为  $0.057—0.070 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）；秸秆类（包括玉米秸秆、小麦秸秆、稻秸和甘薯藤）平均硒含量为  $0.069 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ （范围为  $0.033—0.128$

mg·kg<sup>-1</sup>)；矿物质饲料（包括石粉、磷酸氢钙、骨粉和贝壳粉）平均硒含量为 0.352 mg·kg<sup>-1</sup>（范围为 0.085—0.544 mg·kg<sup>-1</sup>）。这 37 种饲料原料的平均硒含量范围为 0.025—2.220 mg·kg<sup>-1</sup>，而各类饲料原料硒含量分布规律是：动物性蛋白饲料（1.217 mg·kg<sup>-1</sup>）> 矿物质饲料（0.352 mg·kg<sup>-1</sup>）> 植物性蛋白饲料（0.209 mg·kg<sup>-1</sup>）> 谷物籽实加工副产品（0.071 mg·kg<sup>-1</sup>）> 秸秆类饲料（0.069 mg·kg<sup>-1</sup>）> 牧草类饲料（0.062 mg·kg<sup>-1</sup>）> 谷物籽实（0.037 mg·kg<sup>-1</sup>）。为了便于比较，以其中谷物籽实类平均硒含量为 100 相对计算出其他类型的值，则牧草类饲料为 168，秸秆类饲料为 186，谷物籽实加工副产品为 192，植

物性蛋白饲料为 565，矿物质饲料为 951，动物性蛋白饲料为 3 289。

由表 1—7 可知，在同一类别中，部分原料或饲料品种间的硒含量也不相同。大麦中硒含量显著高于玉米中硒含量（ $P<0.05$ ）；玉米蛋白粉中硒含量显著高于玉米 DDGS、玉米胚芽粕、次粉、小麦麸、碎米和米糠中硒含量（ $P<0.05$ ）；亚麻粕硒含量显著高于膨化大豆、大豆粕、菜籽粕、棉籽粕、花生粕和葵花粕中硒含量（ $P<0.05$ ）；鱼粉中硒含量显著高于肉粉、水解羽毛粉、肠膜蛋白粉和血球蛋白粉中硒含量（ $P<0.05$ ）；甘薯藤中硒含量显著高于玉米秸、小麦秸和稻秸中硒含量（ $P<0.05$ ）。

表 1 谷物籽实中硒含量分布（风干基础）  
Table 1 Distribution of Se contents in cereals (air-dry basis)

样品名称 Name of samples	省(市、区)数 No. of provinces (municipalities, regions)	样品数 No. of samples	硒含量 Se contents (mg·kg <sup>-1</sup> )		
			平均值±标准差 Mean ± standard deviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum
玉米 Corn	30	1175	0.025±0.011b	0.481	0.000
小麦 Wheat	26	240	0.038±0.018a	0.414	0.002
稻谷 Rice	29	206	0.040±0.010a	0.475	0.003
大麦 Barley	15	28	0.044±0.028a	0.193	0.006
P 值 P-value			<0.001		
总平均值 Total average			0.037		

同一列中不同字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。下同  
Means with different letters within the same column differ ( $P<0.05$ ). The same as below

表 2 谷物籽实加工副产品中硒含量分布（风干基础）  
Table 2 Distribution of Se contents in cereal by-products (air-dry basis)

样品名称 Name of samples	省(市、区)数 No. of provinces (municipalities, regions)	样品数 No. of samples	硒含量 Se contents (mg·kg <sup>-1</sup> )		
			平均值±标准差 Mean ± standard deviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	17	90	0.124±0.045a	0.325	0.005
玉米 DDGS Corn DDGS	13	93	0.050±0.019bc	0.212	0.010
玉米胚芽粕 Corn germ meal	7	49	0.072±0.035b	0.297	0.019
次粉 Wheat middling	20	50	0.047±0.028bc	0.240	0.010
小麦麸 Wheat bran	22	107	0.058±0.018bc	0.107	0.008
小麦 DDGS Wheat DDGS	4	16	0.113±0.050a	0.189	0.061
碎米 Broken rice	21	54	0.034±0.016c	0.237	0.003
米糠 Rice bran	19	106	0.073±0.029b	0.253	0.007
P 值 P value			<0.001		
总平均值 Total average			0.071		

表 3 植物性蛋白饲料中硒含量分布（风干基础）  
Table 3 Distribution of Se contents in plant protein ingredients (air-dry basis)

样品名称 Name of samples	省(市、区)数 No. of provinces (municipalities, regions)	样品数 No. of samples	硒含量 Se contents (mg·kg <sup>-1</sup> )		
			平均值±标准差 Mean ± standard deviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum
膨化大豆 Extruded soybean	10	95	0.287±0.128b	0.637	0.002
大豆粕 Soybean meal	19	319	0.182±0.072bc	0.766	0.002
菜籽粕 Rapeseed meal	16	136	0.174±0.151bc	0.815	0.004
棉籽粕 Cottonseed meal	13	104	0.105±0.025c	0.292	0.041
花生粕 Peanut meal	11	49	0.118±0.066c	0.446	0.035
亚麻粕 Linseed meal	3	19	0.502±0.558a	1.513	0.030
葵花粕 Sunflower meal	3	15	0.097±0.046c	0.192	0.030
P 值 P value			<0.001		
总平均值 Total average			0.209		

表 4 动物性蛋白饲料中硒含量分布（风干基础）  
Table 4 Distribution of Se contents in animal protein ingredients (air-dry basis)

样品名称 Name of samples	省(市、区)数 No. of provinces (municipalities, regions)	样品数 No. of samples	硒含量 Se contents (mg·kg <sup>-1</sup> )		
			平均值±标准差 Mean ± standard deviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum
鱼粉 Fish meal	14	57	2.220±0.675a	3.385	0.390
肉粉 Meat meal	12	24	0.628±0.117c	0.922	0.274
水解羽毛粉 Hydrolyzed feather meal	16	34	0.611±0.098c	0.812	0.196
肠膜蛋白粉 Dried porcine soluble	3	9	0.974±0.177b	1.214	0.697
血浆蛋白粉 Plasma protein powder	13	25	1.998±0.237a	2.339	0.950
血球蛋白粉 Blood cells protein powder	16	28	0.871±0.086bc	1.057	0.649
P 值 P value			<0.001		
总平均值 Total average			1.217		

表 5 牧草类饲料中硒含量分布（风干基础）  
Table 5 Distribution of Se contents in pasture ingredients (air-dry basis)

样品名称 Name of samples	省(市、区)数 No. of provinces (municipalities, regions)	样品数 No. of samples	硒含量 Se contents (mg·kg <sup>-1</sup> )		
			平均值±标准差 Mean ± standard deviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	7	33	0.059±0.021	0.197	0.013
黑麦草 Ryegrass	15	70	0.070±0.035	0.190	0.007
苜蓿 Alfalfa	23	88	0.057±0.038	0.302	0.001
青贮玉米 Corn silage	23	86	0.060±0.034	0.339	0.010
P 值 P value			0.686		
总平均值 Total average			0.062		

2.2 不同地区饲料原料中硒含量分布

我国土地辽阔，气候和环境复杂多样，为明确各

地区自然条件对作物硒含量的影响程度，选择了 3 种较常见且采样面积广的玉米、小麦和大豆粕原料，进

表 6 秸秆类饲料中硒含量分布（风干基础）  
Table 6 Distribution of Se contents in straw ingredients (air-dry basis)

样品名称 Name of samples	省(市、区)数 No. of provinces (municipalities, regions)	样品数 No. of samples	硒含量 Se contents (mg·kg <sup>-1</sup> )		
			平均值±标准差 Mean ± standard deviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum
玉米秸秆 Corn straw	29	80	0.051±0.033bc	0.233	0.003
小麦秸秆 Wheat straw	20	51	0.033±0.016c	0.117	0.005
稻秸 Rice straw	27	81	0.064±0.039b	0.308	0.007
甘薯藤 Sweet potato vine	12	21	0.128±0.056a	0.362	0.026
P 值 P value			<0.001		
总平均值 Total average			0.069		

表 7 矿物质饲料中硒含量分布（风干基础）  
Table 7 Distribution of Se contents in mineral ingredients (air-dry basis)

样品名称 Name of samples	省(市、区)数 No. of provinces (municipalities, regions)	样品数 No. of samples	硒含量 Se contents (mg·kg <sup>-1</sup> )		
			平均值±标准差 Mean ± standard deviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum
石粉 Limestone	18	65	0.544±0.448	3.072	0.006
磷酸氢钙 Dicalcium phosphate	4	45	0.344±0.215	1.095	0.024
骨粉 Bone meal	15	28	0.436±0.253	2.552	0.045
贝壳粉 Oyster shell meal	2	9	0.085±0.019	0.185	0.031
P 值 P value			0.310		
总平均值 Total average			0.352		

行以省（区）为单位的硒含量比较（表 8）。可知，以省（区）为单位进行比较，玉米和大豆粕地区间差异显著（ $P<0.05$ ），其中均以山西省硒含量最高。小麦地区间也有显著差异（ $P<0.05$ ），以新疆硒含量最高。

根据《中国饲料、牧草中含硒量分布图简要说明》<sup>[9]</sup>中的分级标准，全国 18 个玉米重点调查省（区）中平均硒含量均低于 0.05 mg·kg<sup>-1</sup>，其中小于或等于 0.02 mg·kg<sup>-1</sup> 的严重缺硒地区有 11 个，占总测定省（区）的 61.1%，由低到高依次为云南、安徽、江苏、吉林、黑龙江、山东、四川、内蒙古、辽宁、河南和甘肃；平均硒含量在 0.03 至 0.05 mg·kg<sup>-1</sup> 之间的缺硒地区有 7 个，占总测定省（区）的 38.9%。全国 11 个小麦重点调查省份中平均硒含量小于或等于 0.02 mg·kg<sup>-1</sup> 的严重缺硒地区为四川，占总测定省（区）的 9.1%；平均硒含量在 0.03 至 0.05 mg·kg<sup>-1</sup> 之间的缺硒地区有 7 个，占总测定省（区）的 63.6%；平均硒含量在 0.06 至 0.09 mg·kg<sup>-1</sup> 之间的变动地区有 3 个，占总测定省（区）的 27.3%。全国 12 个大豆粕重点调查省（区）中，四川和内蒙古大豆粕中硒含量均低于 0.05 mg·kg<sup>-1</sup>，占总测定省（区）的 16.7%；平均硒含量在 0.06 至 0.09 mg·kg<sup>-1</sup>

之间的变动地区有 2 个，为河南和湖北，占总测定省（区）的 16.7%；其余 8 个省（区）平均硒含量大于或等于 0.10 mg·kg<sup>-1</sup> 为正常地区，占总测定省（区）的 66.7%。

2.3 我国猪、鸡基础饲料中硒含量状况

参考章世元编写的《动物饲料配方设计》<sup>[10]</sup>及各地区常用的一些合理的配方，将其分为 4 种饲料类型，即以玉米和大豆粕为主配制的玉米-豆粕型；以玉米和各种油籽粕，如大豆、棉籽和菜籽加工后的副产品配制的玉米-油籽粕型；以多种谷物籽实，如玉米、小麦等为能量饲料，大豆粕等为蛋白质饲料配制的多谷-豆粕型；以多种谷物籽实，如玉米、小麦和大豆、棉籽和菜籽等加工的副产品配制的多谷-油籽粕型。在基础饲料中按各饲料原料的实测值进行硒含量的计算（表 9）。可知，4 种类型的基础饲料中硒含量都很接近。根据我国鸡饲养标准（2004）<sup>[11]</sup>和美国猪饲养标准（NRC，2012）<sup>[12]</sup>中硒的营养需要量，猪、鸡都按 0.3 mg·kg<sup>-1</sup> 计算，假设此为 100，4 种类型的基础饲料可提供硒需要量的百分数，猪为 23%、30%、27%、20%，鸡为 37%、27%、23%、23%，均只能满足约 1/4 的硒需要量。

表 8 部分省（区）玉米、小麦及大豆粕硒含量分布（mg·kg<sup>-1</sup>，风干基础）  
Table 8 Distribution of Se contents in corn, wheat and soybean meal from some provinces of China (mg·kg<sup>-1</sup>, air-dry basis)

省（区）名 Name of provinces (Regions)	玉米硒含量 Se contents in corn			小麦硒含量 Se contents in wheat			大豆粕硒含量 Se contents in soybean meal		
	平均值±标准差 Mean ± standard deviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值±标准差 Mean ± standard deviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值±标准差 Mean ± standard deviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum
黑龙江 Heilongjiang	0.014±0.013e(78)	0.076	0.004				0.241±0.176b(50)	0.544	0.017
河南 Henan	0.018±0.014cde(53)	0.063	0.003	0.040±0.035bc(26)	0.131	0.012	0.057±0.047cd(12)	0.158	0.012
山东 Shandong	0.016±0.006e(54)	0.037	0.005	0.052±0.042abc(13)	0.164	0.016	0.180±0.192bc(19)	0.584	0.017
河北 Hebei	0.028±0.022bc(53)	0.086	0.003	0.058±0.049ab(19)	0.223	0.012	0.300±0.178b(27)	0.705	0.027
内蒙古 Inner Mongolia	0.016±0.015e(52)	0.061	0.005				0.036±0.017cd(26)	0.103	0.009
吉林 Jilin	0.014±0.009e(59)	0.034	0.001				0.270±0.227b(11)	0.606	0.009
辽宁 Liaoning	0.018±0.013de(53)	0.057	0.001				0.296±0.264b(22)	0.709	0.017
山西 Shanxi	0.048±0.041a(83)	0.196	0.006	0.047±0.039bc(14)	0.139	0.012	0.623±0.277a(4)	0.865	0.380
四川 Sichuan	0.016±0.015e(42)	0.068	0.001	0.021±0.017c(8)	0.061	0.009	0.027±0.013d(8)	0.055	0.014
安徽 Anhui	0.012±0.007e(43)	0.031	0.001	0.037±0.019bc(14)	0.082	0.013	0.235±0.174b(17)	0.485	0.027
陕西 Shaanxi	0.027±0.014bcd(41)	0.066	0.003	0.036±0.027bc(9)	0.088	0.013			
云南 Yunnan	0.010±0.016e(50)	0.083	0.000						
甘肃 Gansu	0.018±0.013cde(40)	0.066	0.001	0.044±0.032bc(9)	0.099	0.007			
新疆 Xinjiang	0.026±0.020bcd(47)	0.087	0.001	0.086±0.071a(10)	0.232	0.017			
贵州 Guizhou	0.035±0.039b(39)	0.170	0.002						
湖北 Hubei	0.027±0.034bcd(36)	0.155	0.006	0.058±0.050abc(8)	0.181	0.027	0.075±0.078cd(8)	0.224	0.011
江苏 Jiangsu	0.014±0.012e(44)	0.052	0.000	0.026±0.010bc(16)	0.048	0.010	0.165±0.011bcd(15)	0.187	0.148
广西 Guangxi	0.044±0.036a(33)								
P-value	<0.001			0.015			<0.001		

括号内的数字为样品数 Number of samples in parentheses

表 9 我国猪、鸡基础饲料中硒含量状况（风干基础）  
Table 9 Se contents in the basal diets for pigs and chickens in China (air-dry basis)

饲料类型 Type of diet	猪 Pigs		鸡 Chickens	
	配方数 No. of formulas	硒含量 Se contents (mg·kg <sup>-1</sup> )	配方数 No. of formulas	硒含量 Se contents (mg·kg <sup>-1</sup> )
玉米-豆粕 Corn-Soybean meal	25	0.07±0.03	22	0.11±0.04
玉米-油籽粕 Corn-Oilseed meals	15	0.09±0.05	20	0.08±0.02
多谷-豆粕 Cereals-Soybean meal	23	0.08±0.03	16	0.07±0.01
多谷-油籽粕 Cereals-Oilseed meals	16	0.06±0.01	15	0.07±0.01

结果表示：平均值±标准差  
Results are expressed as mean ± standard deviation

3 讨论

3.1 各种饲料原料中硒含量分布

无论是植物还是动物吸收利用硒的能力是有一定差异的，都有其自己的特性。本研究中所调查饲料分

类中以动物性饲料中硒含量最高，其中以鱼粉中硒含量最高，谷物籽实类饲料中硒含量较低，其中以玉米硒含量最低。与一些已有文献报道相似，如商常发等<sup>[13]</sup>对丹阳地区部分饲料资源硒含量进行了分析，结果以动物性饲料中鱼粉硒含量最高，谷实类

饲料中玉米含量最低。张薛勤等<sup>[14]</sup>对不同地区畜禽水产品硒含量进行了分析,发现鱼肉硒含量显著高于猪肉和鸡肉。说明鱼粉最适合做为动物补硒的来源之一。

谷物籽实在深加工的过程中会产生大量副产品,充分利用这些加工副产品可以使谷物籽实价值最大化。柏雪等<sup>[15]</sup>对四川省常用能量饲料和蛋白质饲料中重金属分布发现,加工副产品如玉米胚芽粕、DDGS、麦麸、米糠等较其籽实玉米、小麦的硒含量高。本研究也发现谷物籽实经过加工后的副产品有很高的硒含量,如玉米蛋白粉、玉米胚芽粕和玉米 DDGS 比玉米籽实硒含量分别约高 4.9 倍、2.9 倍和 2.0 倍,小麦 DDGS 比小麦籽实约高 3.0 倍,说明硒主要集中在玉米和小麦等谷物籽实的胚芽部分。因此,在饲料配制中合理搭配各种原料,可以更好满足畜禽对硒的营养需要,提高生产性能,降低成本。

硒是植物生长发育重要的元素,植物对硒元素的吸收不仅取决于土壤中硒含量,还与土壤类型和不同植物品种聚硒能力等条件有关<sup>[16-17]</sup>。尽管有调查报道各省(区)玉米<sup>[18]</sup>、小麦<sup>[19]</sup>和稻谷<sup>[20]</sup>中硒含量,但对全国范围内玉米、小麦和稻谷中硒含量调查结果很少,仅苏琪等<sup>[9]</sup>报道,全国 28 个省(区)玉米、小麦和稻谷中平均硒含量分别为  $(0.029 \pm 0.018) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $(0.062 \pm 0.064) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $(0.057 \pm 0.030) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。本研究中玉米和稻谷平均硒含量与上述报道相近,但小麦平均硒含量降低了  $0.02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  左右。造成这种差异的原因一方面可能与所调查省份和采样点不同有关,另一方面可能是品种及所在地土壤不同及谷物籽实收割、储存和环境气候等变化有关。不同谷物种植品种富集硒的能力还有待于进一步研究。

### 3.2 不同地区饲料原料中硒含量分布

刘金旭等<sup>[7]</sup>测定 28 个省(区)包括谷物、豆类和牧草样品中硒含量,并以各县所调查样品的平均值表示该地区的硒含量,发现黑龙江、吉林、青海、陕西、四川和西藏等省(区)的饲料严重缺硒,其中以黑龙江省缺硒最严重,所调查的 69 个县 749 个饲料样品中平均硒含量低于  $0.02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  的县占 93%,所有县饲料样品中平均硒含量全都低于  $0.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。由本研究中所调查的各省(区)玉米、小麦和大豆粕三种原料中硒含量来看,玉米仍然是缺硒严重的原料,严重缺硒省份不仅包括东北地区的黑龙江、吉林、辽宁三省,西北地区的甘肃和西南地区的四川和云南,严重缺硒省份还蔓延至华北地区的山东、河南和华中地区的安

徽、江苏;四川和江苏小麦中也缺硒较严重;四川和内蒙古豆粕中缺硒,河南和湖北豆粕中也临界缺硒,而原来严重缺硒的黑龙江和吉林两省大豆粕中硒含量均超过  $0.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。造成这种变迁的原因,一方面可能与各省(区)土壤硒含量有关,多数文献报道自然条件下植物硒含量与土壤总硒含量及其分布形态密切相关,富硒土壤能明显提高玉米<sup>[21]</sup>、小麦<sup>[22-23]</sup>和大豆<sup>[24-25]</sup>中硒含量;另一方面可能与饲料原料品种、气候条件及加工方式有关<sup>[26]</sup>。近 30 多年来随着人们对硒的生物学功能研究的逐渐增多,认识越来越明确,在畜禽饲料中添补硒也越来越广泛,不能被吸收利用的随着肺呼吸和粪尿排泄等途径排出体外,可能导致土壤中硒含量改变,进而引起植物中硒含量也发生变化,这也正是本研究的意义所在。所调查省(区)对应的土壤硒含量尚需进一步研究。

### 3.3 我国猪、鸡基础饲料中硒含量状况

根据我国鸡饲养标准(2004)<sup>[11]</sup>和美国猪饲养标准(NRC, 2012)<sup>[12]</sup>中硒的营养需要量,如猪、鸡均按  $0.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  计算,则我国基础饲料中可提供猪、鸡硒营养需要量的约 1/4。目前,在实际生产猪、鸡饲料时,一般不考虑基础饲料中的硒含量,只参照美国 NRC<sup>[12,27]</sup>和我国猪、鸡饲养标准<sup>[11,28]</sup>中推荐的硒需要量作为猪、鸡饲料配制中硒的添加水平。这样往往会造成硒添加过量和资源浪费。此外,硒需要量还与猪、鸡的品种和评价指标有关,如李龙等<sup>[29]</sup>研究发现,以血浆、肝脏和红细胞谷胱甘肽过氧化物酶(GPX)活性为评价指标获得 22—42 日龄黄羽肉鸡对无机亚硒酸钠形态硒的营养需要量为  $0.337 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;胥保华<sup>[30]</sup>研究发现,以生长性能、血清、肝脏和肌肉 GPX 活性、肝脏 Gpx1 mRNA 表达水平、全血、肌肉和肝脏硒含量为评价指标获得 1—42 日龄肉鸡对  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ 、硒代蛋氨酸或纳米硒等形态硒的营养需要量为  $0.24—0.54 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;RAO 等<sup>[31]</sup>研究发现,以血浆抗氧化能力(GPX、谷胱甘肽还原酶和红细胞过氧化氢酶活性)为评价指标获得 1—42 日龄肉鸡对有机形态硒的营养需要量为  $0.58 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。因此,在配制饲料时应考虑饲料原料本底中的可利用硒含量,以精准满足畜禽对硒的需要量。因此,本调查研究获得的我国不同地区饲料原料的硒含量分布数据,可为实际生产合理添加硒和降低生产成本提供科学依据。

## 4 结论

对采自全国 31 个省、直辖市和自治区的 37 种共

3 785 个主要畜禽饲料原料中硒含量分布的调查研究发现, 我国不同种类和不同地区饲料原料中硒含量差异较大。因此, 在实际生产中, 建议参考不同地区饲料原料中硒含量分布调查数据, 精准配制饲料, 以满足畜禽高效生产的需要及减少硒的添加量。

## References

- [1] 雷新根, 赵华, 周继昌. 哺乳动物硒蛋白研究进展//中国畜牧兽医学会动物营养学分会学术研讨会, 2008: 23-32.  
LEI X G, ZHAO H, ZHOU J C. Research advances on mammalian selenoproteins//*Animal Nutrition Branch of China Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2008: 23-32. (in Chinese)
- [2] LABUNSKYY V M, HATFIELD D L, GLADYSHEV V N. Selenoproteins: Molecular pathways and physiological roles. *Physiological Reviews*, 2014, 94(3): 739-777.
- [3] 吴信, 孟田田, 万丹, 谢春艳, 印遇龙. 硒在畜禽养殖中的应用研究进展. *生物技术进展*, 2017, 7(5): 428-432.  
WU X, MENG T T, WAN D, XIE C Y, YIN Y L. Advance on application of Selenium in livestock and poultry. *Progress in Biotechnology*, 2017, 7(5): 428-432. (in Chinese)
- [4] 吴小玲, 石建凯, 张攀, 吴德, 徐盛玉. 硒对母猪繁殖性能的影响及其作用机制. *动物营养学报*, 2018, 30(2): 444-450.  
WU X L, SHI J K, ZHANG P, WU D, XU S Y. Effects of Selenium on reproductive performance of sows and its mechanism. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(2): 444-450. (in Chinese)
- [5] HUANG J Q, LI D L, ZHAO H, SUN L H, XIA X J, WANG K N, LUO X, LEI X G. The Selenium deficiency disease exudative diathesis in chicks is associated with downregulation of seven common Selenoprotein genes in liver and muscle. *Journal of Nutrition*, 2011, 141(9): 1605-1610.
- [6] ZHAO X, YAO H D, FAN R F, ZHANG Z W, XU S W. Selenium deficiency influences nitric oxide and selenoproteins in pancreas of chickens. *Biological Trace Element Research*, 2014, 161: 341-349.
- [7] 刘金旭, 陆肇海, 苏琪. 家畜家禽的硒营养缺乏的调查研究. *中国农业科学*, 1985(4): 76-78.  
LIU J X, LU Z H, SU Q. Regional Selenium deficiency of feedstuffs in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 1985(4): 76-78. (in Chinese)
- [8] SAS User's Guide: Statistics. Version 9. 4. SAS Institute Inc. Cary, NC. 2003.
- [9] 苏琪, 万贵, 段玉琴, 陆肇海, 刘金旭. 中国饲料、牧草中含硒量分布图简要说明. 北京: 中国农业科技出版社, 1985.  
SU Q, WAN G, DUAN Y Q, LU Z H, LIU J X. *A Distribution Map of Selenium Content of Feedstuff and Forages in China*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1985. (in Chinese)
- [10] 章世元. 动物饲料配方设计. 江苏: 江苏科学技术出版社, 2008.  
ZHANG S Y. *Animal Feed Formulation*. Jiangsu: Phoenix Science Press, 2008. (in Chinese)
- [11] 文杰, 蔡辉益, 吕于明, 齐广海, 陈继兰, 张桂芝, 刘国华, 熊本海, 苏基双, 计成, 刁其玉, 刘汉林. NY/T 33-2004 鸡饲养标准. 北京: 中华人民共和国农业部, 2004.  
WEN J, CAI H Y, GUO Y M, QI G H, CHEN J L, ZHANG G Z, LIU G H, XIONG B H, SU J S, JI C, DIAO Q Y, LIU H L. NY/T 33-2004 Feeding Standard of Chicken. Beijing: Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2004. (in Chinese)
- [12] NRC. Nutrient Requirements of Swine. Washington, DC. National Academy Press, 2012.
- [13] 商常发, 张家勤, 杨红, 吴丹, 顾有方, 刘德义, 陈会良. 凤阳地区部分饲料资源硒含量分析. *微量元素与健康研究*, 2003, 20(3): 28-29.  
SHANG C F, ZHANG J Q, YANG H, WU D, GU Y F, LIU D Y, CHEN H L. Determine the content of Selenium in parts feed ingredient in Fengyang. *Studies of Trace Elements and Health*, 2003, 20(3): 28-29. (in Chinese)
- [14] 张薛勤, 梅晓宏, 袁长梅, 石文婷. 中国不同地区畜禽水产品硒含量分析. *中国食物与营养*, 2018, 24(6): 15-19.  
ZHANG X Q, MEI X H, YUAN C M, SHI W T. Selenium content in poultry aquatic products in different areas of China. *Food and Nutrition in China*, 2018, 24(6): 15-19. (in Chinese)
- [15] 柏雪, 原泽鸿, 王建萍, 丁雪梅, 白世平, 曾秋凤, 张克英. 四川省常用能量饲料和蛋白质饲料中重金属分布研究. *动物营养学报*, 2016, 28(9): 2847-2860.  
BAI X, YUAN Z H, WANG J P, DING X M, BAI S P, ZENG Q F, ZHANG K Y. Investigation on heavy metal distribution in energy feedstuffs and protein feedstuffs of Sichuan Province. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(9): 2847-2860. (in Chinese)
- [16] 徐聪, 刘媛媛, 孟凡乔, 吴文良, 郭岩彬, 李花粉. 农产品硒含量及与土壤硒的关系. *中国农学通报*, 2018, 34(7): 96-103.  
XU C, LIU Y Y, MENG F Q, WU W L, GUO Y B, LI H F. Selenium content in agricultural products and its relationship with soil Selenium. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34(7): 96-103. (in Chinese)
- [17] WHITE P J. Selenium accumulation by plants. *Annals of Botany*, 2016, 117(2): 217-235.
- [18] 蒋翠文, 谢丽萍, 李焘, 陈伟, 牙禹, 闫飞燕, 蔡卓. 广西玉米硒含量及其健康风险评估. *西南农业学报*, 2018, 31(3): 444-447.  
JIANG C W, XIE L P, LI T, CHEN W, YA Y, YAN F Y, CAI Z. Selenium content in maize from Guangxi and its health risk

- assessment. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 31(3): 444-447. (in Chinese)
- [19] 黄杰, 崔泽玮, 杨文晓, 周菲, 王梦珂, 梁东丽. 陕西泾惠渠灌区土壤-小麦体系中硒的空间分布特征. *环境科学学报*, 2018, 38(2): 722-729.
- HUANG J, CUI Z W, YANG W X, ZHOU F, WANG M K, LIANG D L. Spatial distribution of selenium in soils and winter wheat grain of Jinghui irrigation area of Shaanxi. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2018, 38(2): 722-729. (in Chinese)
- [20] 张栋, 翟勇, 张妮, 冶军, 侯振安. 新疆水稻主产区土壤硒含量与水稻籽粒硒含量的相关性. *中国土壤与肥料*, 2017(1): 139-143.
- ZHANG D, ZHAI Y, ZHANG N, YE J, HOU Z A. Correlation between soil selenium content and rice grain selenium content in Xinjiang rice production areas. *Soil and Fertilizer Science in China*, 2017(1): 139-143. (in Chinese)
- [21] 王孟, 张军强, 谭亚华, 商水根, 徐印印, 石垒, 姜硕琛, 姜汉峰, 熊瑞刚, 贾旭东, 邢丹英, 谢义梅. 土壤含硒量对玉米农艺性状、产量及籽粒硒含量的影响. *土壤*, 2018, 50(6): 1145-1149.
- WANG M, ZHANG J Q, TAN Y H, SHANG S G, XU Y Y, SHI L, JIANG S C, JIANG H F, XIONG R G, JIA X D, XING D Y, XIE Y M. Effects of Soil Selenium content on agronomic traits, yield and Selenium content of maize. *Soils*, 2018, 50(6): 1145-1149. (in Chinese)
- [22] 鲁晋秀, 闫秋艳, 杨峰, 董飞, 段增强, 李峰, 闫翠萍, 王苗. 土壤硒含量显著影响黑小麦与普通小麦的硒吸收. *生态环境学报*, 2018, 27(10): 1966-1971.
- LU J X, YAN Q Y, YANG F, DONG F, DUAN Z Q, LI F, YAN C P, WANG M. Soil Selenium content affects Selenium accumulation in seeds of triticale and bread wheat. *Ecology and Environmental Sciences*, 2018, 27(10): 1966-1971. (in Chinese)
- [23] 罗定祥. 有机物料对土壤硒形态及小麦硒吸收的影响[D]. 石河子: 石河子大学, 2018.
- LUO D X. Effect of organic materials on selenium form of soil and selenium absorption of wheat[D]. Shihezi: Shihezi University, 2018. (in Chinese)
- [24] 陈金, 潘根兴, 王雅玲. 土壤硒水平对两种春大豆硒吸收与转化的影响. 北京: 中国农业科学, 2005, 38(2): 428-432.
- CHEN J, PAN G X, WANG Y L. Effect of Soil Se Level on Selenium Uptake and Transformation by Two Spring Soybean Cultivars. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(2): 428-432. (in Chinese)
- [25] 陈金, 潘根兴, 李正文, 张艳玲. 不同硒水平下两种大豆对土壤中硒吸收积累的生育期动态. *大豆科学*, 2003, 22(4): 278-282.
- CHEN J, PAN G X, LI Z W, ZHANG Y L. Dynamics of se uptake and accumulation in growth period by two soybean cultivars under different se -levels of soil. *Soybean Science*, 2003, 22(4): 278-282. (in Chinese)
- [26] 杨淑芬. 湖南省主要饲料资源分析与评价[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017.
- YANG S F. Analysis and evaluation of main feed resources in Hunan province[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2017. (in Chinese)
- [27] NRC. Nutrient Requirements of Poultry. Washington, DC. National Academy Press, 1994.
- [28] 李德发, 王康宁, 谯仕彦, 贾刚, 蒋宗勇, 陈正玲, 林映才, 吴德, 朱锡明, 熊本海, 杨立彬, 王凤来. NY/T65-2004 猪饲养标准. 北京: 中华人民共和国农业部, 2004.
- LI D F, WANG K N, QIAO S Y, JIA G, JIANG Z Y, CHEN Z L, LIN Y C, WU D, ZHU X M, XIONG B H, YANG L B, WANG F L. NY/T65-2004 Feeding Standard of Swine. Beijing: Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2004. (in Chinese)
- [29] 李龙, 蒋守群, 郑春田, 苟钟勇, 陈芳, 林厦菁, 谢秀珍, 钟少华. 饲料不同硒水平对 22~42 日龄黄羽肉鸡生长性能、抗氧化指标的影响. *中国家禽*, 2017, 39(10): 23-26.
- LI L, JIANG S Q, ZHENG C T, GOU Z Y, CHEN F, LIN X Q, XIE X Z, ZHONG S H. Effects of dietary selenium level on growth performance and antioxidant indices of yellow-feather broilers aged from 22 to 42 days. *China Poultry*, 2017, 39(10): 23-26. (in Chinese)
- [30] 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]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- XU B H. The biological effect of Nano selenium on Avian broiler and approach to the molecular mechanism[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2003. (in Chinese)
- [31] RAN S V, PARKASH B, RAJU M V L N, PANDA A K, POONAM S, MURTHY O K. Effect of supplementing organic selenium on performance, carcass traits, oxidative parameters and immune responses in commercial broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2013, 26(2): 247-252.

(责任编辑 林鉴非)