

我国畜禽饲料资源中微量元素锌含量分布的调查

邵玉新¹, 张丽阳¹, 马雪莲¹, 王良治^{1,2}, 刘东元³, 吕林¹, 廖秀冬¹, 罗绪刚¹

(¹ 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; ² 西南民族大学生命科学与技术学院, 成都 610041;

³ 北京元创智汇生物技术有限公司, 北京 100020)

摘要:【目的】研究我国不同地区间各种饲料原料中锌含量分布情况, 以及我国畜禽基础饲料中锌水平, 为饲料中合理添补锌提供科学依据。【方法】对采自全国 31 个省、直辖市和自治区的 37 种共 3 919 个主要畜禽饲料原料, 经微波消解后, 用 IRIS Intrepid II 等离子体发射光谱仪测定其锌含量。主要畜禽饲料原料可分为七大类, 包括谷类籽实(玉米、小麦、稻谷及大麦)、谷物籽实加工副产品(碎米、次粉、小麦麸、米糠、玉米 DDGS、小麦 DDGS、玉米胚芽粕及玉米蛋白粉)、植物性蛋白饲料(膨化大豆、豆粕、菜籽粕、棉粕、花生粕、亚麻粕、葵花粕)、动物性蛋白饲料(鱼粉、肉粉、水解羽毛粉、肠系膜蛋白粉、血浆蛋白粉和血球蛋白粉)、秸秆类饲料(玉米秸、甘薯藤、稻秸和小麦秸)、牧草类饲料(羊草、黑麦草、苜蓿和青贮玉米)和矿物质饲料(石粉、磷酸氢钙、贝壳粉和骨粉)。【结果】结果表明: 这 37 种饲料原料的平均锌含量范围为 5.5—268.2 mg·kg⁻¹ 之间, 而各类饲料原料锌含量分布规律是: 矿物质饲料(107.8 mg·kg⁻¹) > 动物性蛋白饲料(69.8 mg·kg⁻¹) > 植物性蛋白饲料(54.9 mg·kg⁻¹) > 谷物籽实加工副产品(43.0 mg·kg⁻¹) > 牧草类饲料(26.4 mg·kg⁻¹) > 谷类籽实(22.7 mg·kg⁻¹) > 秸秆类饲料(18.8 mg·kg⁻¹)。同一类饲料中, 除牧草类饲料中的锌含量无显著差异($P > 0.05$)外, 其他类别的不同饲料中的锌含量均存在显著差异($P < 0.05$), 其中矿物质饲料锌含量以磷酸氢钙最高(268.2 mg·kg⁻¹), 石粉最低(7.3 mg·kg⁻¹); 动物性蛋白饲料锌含量以水解羽毛粉最高(120.8 mg·kg⁻¹), 血球蛋白粉最低(19.6 mg·kg⁻¹); 植物性蛋白饲料锌含量以亚麻粕最高(85.2 mg·kg⁻¹), 膨化大豆最低(38.9 mg·kg⁻¹); 谷物籽实加工副产品锌含量以小麦麸最高(86.2 mg·kg⁻¹), 碎米最低(12.5 mg·kg⁻¹); 谷类籽实锌含量以小麦最高(30.4 mg·kg⁻¹), 玉米最低(16.9 mg·kg⁻¹); 秸秆类饲料锌含量以稻秸最高(27.6 mg·kg⁻¹), 小麦秸最低(5.5 mg·kg⁻¹)。通过比较不同省(区)玉米、小麦和豆粕的锌含量发现, 不同省(区)同一种饲料原料的锌含量均存在显著差异($P < 0.05$), 其中广东省玉米锌含量最高(20.6 mg·kg⁻¹), 而吉林省最低(13.7 mg·kg⁻¹); 四川省小麦锌含量最高(41.4 mg·kg⁻¹), 甘肃省最低(22.4 mg·kg⁻¹); 山西省豆粕锌含量最高(51.5 mg·kg⁻¹), 江苏省最低(46.6 mg·kg⁻¹)。根据全国各地猪、鸡常用的 142 个饲料配方所计算出的基础饲料中锌含量范围为 21.3—31.0 mg·kg⁻¹, 如按我国猪、鸡饲养标准或美国 NRC 畜禽锌营养需要量的要求, 基础饲料中锌含量可提供猪、鸡前期约 1/4 的锌营养需要, 可提供猪、鸡后期约 1/2 的锌营养需要。【结论】不同种类和不同地区饲料原料中锌含量差异较大, 全国各地猪、鸡常用的基础饲料配方中锌含量可提供猪、鸡部分锌营养需要量。因此, 在实际生产中, 应充分考虑不同地区基础饲料中的锌含量, 精准配制饲料, 以满足畜禽高效生产的需要, 同时减少锌的添加和排放对环境的污染。

关键词: 饲料原料; 锌含量; 猪; 鸡

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

SHAO YuXin¹, ZHANG LiYang¹, MA XueLian¹, WANG LiangZhi^{1,2}, LIU DongYuan³, LÜ Lin¹,
LIAO XiuDong¹, LUO XuGang¹

收稿日期: 2019-02-18; 接受日期: 2019-04-23

基金项目: 国家科技部科技基础性工作专项(2014FY111000)、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-IAS09)和国家现代农业产业技术体系岗位专家专项(CARS-41)

联系方式: 邵玉新, E-mail: syul23@sina.com. 通信作者廖秀冬, E-mail: liaoxd56@163.com. 通信作者罗绪刚, E-mail: wlysz@263.net

¹Mineral Nutrition Research Division, Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193;

²College of Life Science and Technology, Southwest Minzu University, Chengdu 610041; ³Beijing Yuanchuang Zhihui

Biotechnology Co., Ltd, Beijing 100020)

Abstract: 【Objective】The purpose of this survey was to study the zinc (Zn) contents in various feed ingredients from different provinces and the basal diets of pigs and chickens in China, so as to provide a scientific basis for the reasonable addition of Zn in the livestock and poultry's diets. **【Method】**A total of 37 kinds of 3 919 feed samples from 31 provinces, municipalities and regions were digested by microwave, and then the Zn contents were measured by IRIS Intrepid II plasma emission spectrometer. The feed samples fall into seven types: cereals (corn, wheat, rice and barley), cereal by-products (broken rice, wheat middling, wheat bran, rice bran, corn DDGS, wheat DDGS, corn germ meal and corn gluten meal), plant protein ingredients (extruded soybean, soybean meal, rapeseed meal, cottonseed meal, peanut meal, linseed meal and sunflower seed meal), animal protein ingredients (fish meal, meat meal, hydrolyzed feather meal, dried porcine solubles, plasma protein powder and dried blood cells), straw ingredients (corn straw, sweet potato vine, rice straw and wheat straw), pasture ingredients (*Leymus chinensis*, ryegrass, alfalfa and corn silage) and mineral ingredients (limestone, dicalcium phosphate, oyster shell meal and bone meal). **【Result】**The results showed that the average Zn contents of these 37 kinds of feed ingredients ranged from 5.5 to 268.2 mg·kg⁻¹, and the distribution of Zn contents in different species of feed ingredients was as follows: mineral ingredients (107.8 mg·kg⁻¹)>animal protein ingredients (69.8 mg·kg⁻¹)>plant protein ingredients (54.9 mg·kg⁻¹)>cereal by-products (43.0 mg·kg⁻¹)>pasture ingredients (26.4 mg·kg⁻¹)>cereals (22.7 mg·kg⁻¹)>straw ingredients (18.8 mg·kg⁻¹). Among the same kind of feed samples, there were significant differences ($P<0.05$) in the Zn contents from other six types of feed ingredients except pasture ingredients. In the mineral ingredients, the highest and lowest Zn contents were observed in the dicalcium phosphate (268.2 mg·kg⁻¹) and limestone (7.3 mg·kg⁻¹), respectively; in the animal protein ingredients, the highest and lowest Zn contents were observed in the hydrolyzed feather meal (120.8 mg·kg⁻¹) and dried blood cells (19.6 mg·kg⁻¹), respectively; in the plant protein ingredients, the highest and lowest Zn contents were observed in the linseed meal (85.2 mg·kg⁻¹) and extruded soybean (38.9 mg·kg⁻¹), respectively; in the cereal by-products, the highest and lowest Zn contents were observed in the wheat bran (86.2 mg·kg⁻¹) and broken rice (12.5 mg·kg⁻¹), respectively; in the cereals, the highest and lowest Zn contents were observed in the wheat (30.4 mg·kg⁻¹) and corn (16.9 mg·kg⁻¹), respectively; in the straw ingredients, the highest and lowest Zn contents were observed in the rice straw (27.6 mg·kg⁻¹) and wheat straw (5.5 mg·kg⁻¹), respectively. Regional comparison of Zn contents on a basis of provinces (regions) were made for Zn contents of corn, wheat and soybean meal, showing a significant effect ($P<0.05$) of regional environments on Zn contents of the same ingredient. The highest and lowest Zn contents of corn were observed in Guangdong (20.6 mg·kg⁻¹) and Jilin (13.7 mg·kg⁻¹) provinces, respectively; the highest and lowest Zn contents of wheat were observed in Sichuan (41.4 mg·kg⁻¹) and Gansu (22.4 mg·kg⁻¹) provinces, respectively; the highest and lowest Zn contents of soybean meal were observed in Shanxi (51.5 mg·kg⁻¹) and Jiangsu (46.6 mg·kg⁻¹) provinces, respectively. Calculated Zn contents in basal diets from 142 common formulations of pigs and chickens in our country ranged from 21.3 to 31.0 mg·kg⁻¹. According to Zn requirements of pigs and chicks from feeding standards of China and NRC of United States, the Zn contents in the basal diets could provide about one-fourth and one-second of the recommended Zn requirements for pigs and chickens in growing and finishing phase, respectively. **【Conclusion】**Results showed that the Zn contents in feed ingredients varied greatly among different kinds and regions, and the Zn contents in basal diets from common formulations of pigs and chickens could partly meet the nutrient requirements of pigs and chickens. Therefore, the Zn contents in basal diets from different regions should be considered in the preparation of diets, so as to meet the need of efficient production of livestock and poultry and to reduce supplemental Zn level and environmental pollution caused by Zn emission.

Key words: feedstuff; zinc contents; pig; chicken

0 引言

【研究意义】饲料在畜牧业发展中起着重要作用,随着我国畜禽养殖业规模化、集约化的迅速发展,我国饲料资源短缺状况愈加严重,产地与养殖企业布局

不合理,严重制约了畜牧业的发展。研究不同地区畜禽饲料资源及其锌含量和分布规律,为合理高效利用我国现有饲料原料提供科学依据,避免造成饲料原料的浪费,从而改善饲料资源短缺的状况,最终推动我国畜牧业的发展。**【前人研究进展】**锌是畜禽机体必

须的微量元素之一,为体内 300 多种酶或功能蛋白的必需组分或激活因子^[1-2],广泛参与碳水化合物、蛋白质、脂类、DNA 和 RNA 等的代谢^[3-4]。由于锌有利于畜禽机体生长和发育的功能非常明确,我们通常在饲料配方中添加外源锌添加剂,过量添加的锌超出了机体正常生理发育的需要,不被吸收而随粪便排出,最终引起土壤和水污染^[5]。【本研究切入点】20 世纪 90 年代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就进行了我国畜禽饲料中锌的调查研究^[6],但随着我国作物品种、耕种习惯、土壤类型、粮食深加工企业的发展变化,该数据信息已不能准确代表当前我国畜禽饲料资源中微量元素锌含量的分布情况,而且随着贸易流通发展,企业越来越多的从全国市场甚至全世界市场来调配饲料资源,一直用过去的数据可能会导致饲料配方中锌的添加不合理,进而增加饲料成本和锌的排放。【拟解决的关键问题】因此,本研究对全国不同区域主要畜禽饲料中微量元素锌含量进行测定,以研究不同地区各种饲料中锌含量的分布以及全国各地猪、鸡常用基础饲料中的锌水平,为畜禽饲料中合理添加锌提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

1.1.1 采样 根据各省(市、区)的 2013 年各原料总产量及其在各县(市)或企业总产量占全省合计总产量的比例,以确定各省(市、区)及其各县(市)或代表性企业的样品数;其中谷物籽实、牧草或秸秆饲料还需根据其在各县(市)的镇(乡)分布情况,确定各县(市)的代表性镇(乡)及其样品数。于 2016 年 1 月至 2018 年 6 月期间,在我国东北、西北、华北、华东、华中、西南和华南地区共 31 个省、直辖市和自治区当地的农户、农场或饲料原料加工企业(原料产自当地),应用 GPS 定位并拍照,采集了 37 种共 3 919 个饲料样品,装于密封袋中并贴上标示条形码后,带回实验室备分析。

1.1.2 样品种类 为了全面了解饲料中的锌水平,采集的 37 种饲料样品分为七大类型,分别为:谷物籽实 4 种,包括玉米、小麦、稻谷、大麦;谷物籽实加工副产品 8 种,包括碎米、次粉、小麦麸、米糠、玉米 DDGS、小麦 DDGS、玉米胚芽粕、玉米蛋白粉;植物性蛋白饲料 7 种,包括膨化大豆、豆粕、菜籽粕、棉籽粕、花生粕、亚麻粕、葵花粕;

动物性蛋白饲料 6 种,包括鱼粉、肉粉、水解羽毛粉、肠膜蛋白粉、血浆蛋白粉、血球蛋白粉;秸秆类饲料 4 种,包括玉米秸、甘薯藤、稻秸、小麦秸;牧草类饲料 4 种,包括羊草、黑麦草、苜蓿、青贮玉米;矿物质饲料 4 种,包括石粉、磷酸氢钙、骨粉、贝壳粉。

1.2 样品处理及分析方法

1.2.1 样品处理 2016 年 1 月至 2018 年 10 月期间,所采样品均集中于中国农业科学院北京畜牧兽医研究所统一处理,以保证分析结果的准确性。样品经过混合均匀后以四分法缩减分取试样约 200 g,于不锈钢小型高速粉碎机(IL-04BL)粉碎后装自封袋,注明样品名称、编号并贴条形码以备分析。

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 浓硝酸和 2 mL 双氧水浸泡 2 h 后,在高通量密闭微波消解仪(CME,美国)上消化约 90 min 后定容至 15 mL,使用 IRIS Intrepid II 等离子体发射光谱仪(TE,美国)测定饲料原料中锌含量^[7-8],同时应用国家标准物质猪肝粉(GBW10051)作为对照^[9],检查分析的可靠性。

1.2.3 数据处理 所有数据均采用 SAS 9.4^[10]中的一般线性模型(GLM)程序进行单因素方差分析,差异显著者,以最小显著差异(LSD)法比较各组间的差异显著性。数据以平均值±标准差表示,以 $P < 0.05$ 作为各项数据的差异显著性检验水平。

2 结果

2.1 各种饲料原料中锌含量分布

饲料原料中锌含量的结果分类列于表 1—6 中。在同一类别中,除牧草类饲料中的锌含量无显著差异($P > 0.05$,平均锌含量为 $26.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)外,其他类别的不同饲料中的锌含量均存在显著差异($P < 0.05$)。谷类籽实中的平均锌含量为 $22.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中小麦中的锌含量最高($30.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),玉米中最低($16.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$);谷物籽实加工副产品中的平均锌含量为 $43.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中小麦麸中的锌含量最高($86.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),碎米和玉米蛋白粉最低(分别为 12.5 和 $14.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$);植物性蛋白饲料中的平均锌含量为 $54.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中亚麻粕中的锌含量最高($85.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),膨化大豆中最低($38.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),但亚麻粕样本只来源于 3 个省,且样本之间的变异较大,因此其锌含量可能不具备代表性;动物性蛋白饲料中的平均锌含量为 $69.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中水解羽毛粉中的锌含量最高

表 3 动物性蛋白饲料中锌含量分布（风干基础）

Table 3 Distribution of Zn contents in animal protein feeds (air-dry basis)

样品名	省（市、区）数	样品数	锌含量
Name of samples	No. of provinces (municipalities, regions)	No. of samples	Zn contents (mg·kg ⁻¹)
鱼粉 Fish meal	14	57	76.9±27.5b
肉粉 Meat meal	12	24	97.4±29.6ab
水解羽毛粉 Hydrolyzed feather meal	16	34	120.8±28.4a
肠系膜蛋白粉 Dried porcine solubles	3	9	100.7±16.8ab
血浆蛋白粉 Plasma protein powder	11	23	21.1±23.0c
血球蛋白粉 Dried blood cells	16	28	19.6±3.0c
<i>P</i> 值 <i>P</i> value			<0.0001
总体平均值 Total average			69.8

表 4 秸秆类饲料中锌含量分布（风干基础）

Table 4 Distribution of Zn contents in straw feeds (air-dry basis)

样品名	省（市、区）数	样品数	锌含量
Name of samples	No. of provinces (municipalities, regions)	No. of samples	Zn contents (mg·kg ⁻¹)
玉米秸 Corn straw	29	83	19.0±9.7b
甘薯藤 Sweet potato vine	12	21	22.1±9.1ab
稻秸 Rice straw	28	82	27.6±13.0a
小麦秸 Wheat straw	22	53	5.5±4.4c
<i>P</i> 值 <i>P</i> value			<0.0001
总体平均值 Total average			18.8

表 5 牧草类饲料中锌含量分布（风干基础）

Table 5 Distribution of Zn contents in pasture feeds (air-dry basis)

样品名	省（市、区）数	样品数	锌含量
Name of samples	No. of provinces (municipalities, regions)	No. of samples	Zn contents (mg·kg ⁻¹)
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	7	34	24.7±14.7
黑麦草 Ryegrass	16	72	32.3±27.7
苜蓿 Alfalfa	25	93	25.9±15.0
青贮玉米 Corn silage	23	87	23.4±13.2
<i>P</i> 值 <i>P</i> value			0.493
总体平均值 Total average			26.4

表 6 矿物质饲料中锌含量分布（风干基础）

Table 6 Distribution of Zn contents in mineral feeds (air-dry basis)

样品名	省（市、区）数	样品数	锌含量
Name of samples	No. of provinces (municipalities, regions)	No. of samples	Zn contents (mg·kg ⁻¹)
石粉 Limestone	18	65	7.3±5.6c
磷酸氢钙 Dicalcium phosphate	13	45	268.2±170.0a
贝壳粉 Oyster shell meal	5	9	14.2±18.6c
骨粉 Bone meal	15	28	120.4±22.1b
<i>P</i> 值 <i>P</i> value			<0.0001
总体平均值 Total average			107.8

由以上结果可以看出,这 37 种饲料原料的平均锌含量范围为 5.5—268.2 mg·kg⁻¹ 之间,而各类饲料原料锌含量分布规律是:矿物质饲料(107.8 mg·kg⁻¹)>动物性蛋白饲料(69.8 mg·kg⁻¹)>植物性蛋白饲料(54.9 mg·kg⁻¹)>谷类籽实加工副产品(43.0 mg·kg⁻¹)>牧草类饲料(26.4 mg·kg⁻¹)>谷类籽实(22.7 mg·kg⁻¹)>秸秆类饲料(18.8 mg·kg⁻¹)。

2.2 不同地区饲料原料中锌含量分布

为了明确在各地区自然条件下对饲料原料锌含量的影响程度,选择了三种较常见而且采样面较广的玉米、小麦和豆粕,根据玉米、小麦和豆粕的主产地及畜禽主要养殖区域分布情况,进行以省(区)为单位的平均锌含量的比较,结果见表 7。由表 7 可见,18 个主要省(区)的玉米平均锌含量具有显著差异(*P*

<0.05),其中以吉林省玉米平均锌含量最低,为 13.7 mg·kg⁻¹,而广东省玉米平均锌含量最高,为 20.6 mg·kg⁻¹,相差 6.9 mg·kg⁻¹;11 个主要省(区)的小麦平均锌含量具有显著差异(*P*<0.05),其中甘肃省的小麦平均锌含量最低,为 22.4 mg·kg⁻¹,四川省最高,为 41.4 mg·kg⁻¹,相差 19 mg·kg⁻¹;12 个主要省(区)的豆粕平均锌含量具有显著差异(*P*<0.05),其中江苏省的豆粕平均锌含量最低,为 46.6 mg·kg⁻¹,山西省最高,为 51.5 mg·kg⁻¹,相差 4.9 mg·kg⁻¹。

2.3 我国猪、鸡基础饲粮中的锌含量状况

根据章世元编著《动物饲料配方设计》中的饲料配方^[1],并参考各地现行的一般较合理的配方,初步归纳为 4 种饲料类型,即以玉米和豆粕为主配制的玉米-豆粕型;以玉米和各种植物油籽粕类,如大豆,菜

表 7 我国部分省(区)玉米、小麦及豆粕中锌含量分布(mg·kg⁻¹, 风干基础)

Table 7 Distribution of Zn contents of corn, wheat and soybean meal in some provinces (regions) of China (mg·kg⁻¹, air-dry basis)

省(区)名 Name of provinces (Regions)	玉米锌含量 Zn contents of corn	省(区)名 Name of provinces (Regions)	小麦锌含量 Zn contents of wheat	省(区)名 Name of provinces (Regions)	豆粕锌含量 Zn contents of soybean meal
广西 Guangxi	20.6±4.9(36)a	四川 Sichuan	41.4±6.3(8)a	山西 Shanxi	51.5±1.4(4)a
山东 Shandong	20.5±3.4(54)a	湖北 Hubei	30.5±4.6(8)b	吉林 Jilin	51.1±3.5(11)ab
河北 Hebei	20.2±4.9(55)a	江苏 Jiangsu	28.6±3.8(16)bc	河南 Henan	51.0±1.6(15)ab
贵州 Guizhou	19.8±1.2(39)a	安徽 Anhui	27.8±5.2(14)bcd	安徽 Anhui	50.1±2.3(18)abc
湖北 Hubei	18.5±2.5(38)b	河南 Henan	27.8±6.7(26)bcd	河北 Hebei	49.6±3.3(27)abcd
四川 Sichuan	18.2±2.3(44)b	陕西 Shaanxi	26.9±6.0(9)bcd	辽宁 Liaoning	49.5±1.1(22)abcd
云南 Yunan	17.7±4.1(27)bc	山西 Shanxi	26.8±8.3(14)bcd	湖北 Hubei	49.1±3.0(10)bcde
安徽 Anhui	17.6±3.6(44)bc	山东 Shandong	26.5±5.3(14)bcd	四川 Sichuan	49.0±1.8(8)bcde
河南 Henan	17.2±2.6(54)bcd	新疆 Xinjiang	24.9±7.4(10)bcd	山东 Shandong	48.4±2.5(20)cdef
山西 Shanxi	17.1±3.1(83)bcd	河北 Hebei	24.3±4.7(19)cd	黑龙江 Heilongjiang	47.6±2.2(50)def
陕西 Shaanxi	16.6±4.3(41)cde	甘肃 Gansu	22.4±5.7(9)d	内蒙古 Inner Mongolia	46.9±3.8(30)ef
江苏 Jiangsu	16.1±2.4(46)de			江苏 Jiangsu	46.6±0.6(15)f
辽宁 Liaoning	15.3±2.6(53)ef				
甘肃 Gansu	14.4±3.6(42)fg				
黑龙江 Heilongjiang	14.4±2.1(78)fg				
新疆 Xinjiang	14.3±3.3(48)fg				
内蒙古 Inner Mongolia	13.8±1.1(52)g				
吉林 Jilin	13.7±2.1(60)g				
<i>P</i> 值 <i>P</i> value	<0.0001	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	<0.0001	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	<0.0001
总体平均值 Total average	16.8	总体平均值 Total average	27.9	总体平均值 Total average	48.7

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

粕，棉粕，花生粕榨油后的副产品配制的玉米-油籽粕型；以多种谷类籽实，如玉米、小麦、稻谷、大麦等为能量饲料，豆粕为蛋白饲料配制的多谷-豆粕型；以多种谷类籽实和多种植物油籽粕类配制的多谷-油籽粕型。按各品种的实测值进行基础饲料中锌含量的计算，结果列于表 8。

由表 8 可见，各种类型的猪、鸡基础饲粮锌含量都较接近，根据全国各地猪、鸡常用的 152 个饲料配方中所计算出的基础饲料中，猪 4 种基础饲料中锌含量水平在 24.2—31.0 mg·kg⁻¹ 范围之内，平均

值为 26.8 mg·kg⁻¹，鸡 4 种基础饲料中锌含量水平在 21.3—26.7 mg·kg⁻¹ 范围之间，平均值为 23.9 mg·kg⁻¹。按我国猪、鸡饲养标准中锌需要量的要求^[12-13]，不同阶段的生长肥育猪为 50—110 mg·kg⁻¹，前后期生长阶段的肉仔鸡为 80—100 mg·kg⁻¹，则基础饲粮中锌含量可提供猪、鸡前期约 1/4 的锌营养需要。按美国 NRC 猪、鸡锌营养需要量的要求^[14-15]，不同阶段的生长肥育猪为 50—100 mg·kg⁻¹，前后期生长阶段的肉仔鸡均为 40 mg·kg⁻¹，则基础饲粮中锌含量可提供猪、鸡后期约 1/2 的锌营养需要。

表 8 我国猪、鸡一般基础饲粮中的锌含量状况（风干基础）
Table 8 Zn contents in 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	含锌量 Zn contents (mg·kg ⁻¹)	配方数 No. of formulas	含锌量 Zn contents (mg·kg ⁻¹)
玉米-豆粕 Corn-soybean meal	25	24.9±3.9	22	21.3±1.1
玉米-油籽粕 Corn-oilseed meal	15	24.2±1.9	20	21.7±1.2
多谷-豆粕 Cereals-soybean meal	23	27.0±3.2	16	26.7±2.2
多谷-油籽粕 Cereals-oilseed meal	16	31.0±2.5	15	25.7±1.7

平均值±标准差 Results are expressed as mean ± standard deviation

3 讨论

本研究中所调查的 7 大类饲料以矿物质饲料中锌含量最高，其中以磷酸氢钙中锌含量最高，秸秆类饲料中锌含量最低。尽管磷酸氢钙中锌含量的数值变异较大，但来自 13 个省（区）的磷酸氢钙中锌含量最低也有 87 mg·kg⁻¹，这表明来自磷酸氢钙中的锌可能并非是人为操作污染导致的，但我们通常并不考虑磷酸氢钙中的锌。因此，合理的饲料配方应考虑其中的锌含量，降低额外锌的添加，以节约成本并减少环境污染。此外，还发现谷物籽实加工副产品，除碎米和玉米蛋白粉外，均对锌有富集作用，如玉米胚芽粕中的锌含量是玉米的 2.7 倍，小麦麸中的锌含量是全麦粒的 2.8 倍，米糠中的锌含量是全稻谷籽粒的 1.9 倍，这同之前的研究一致，即锌多沉积于籽实的表皮层^[6]。李绍钰等^[16]调查了湖北省红安县饲料中锌元素的含量及分布，发现锌在豆科植物及加工副产品中较高，在作物秸秆中含量很低；同一品种小麦的不同部位的锌含量不同，一般为籽粒>茎和叶^[17]，可能是由于锌在植物不同器官分布不同造成的，这与本研究的结果一致，即秸秆类饲料中锌含量最低。

同一种原料不同地区的锌含量明显不同，其中西北地区包括甘肃和新疆及东北三省的玉米平均锌含量较其他地区明显偏低，可能与不同地区的土壤、气候条件、作物品种和遗传差异及其加工方式有关^[18-19]。杨永生^[20]研究表明湖南省不同类型土壤的饲料原料中微量元素不同，锌表现不同程度的盈缺。王秋菊等^[21]研究发现黑龙江省不同土壤类型的锌含量与水稻籽粒中锌含量呈显著正相关，锌含量表现在白浆土>黑土>盐碱土>草甸土。郭春华等^[22]对西藏那曲地区尼玛高原草地牧草矿物元素含量进行测定，发现夏秋季牧草锌含量高于冬季。殷敬峰等^[23]发现不同品种及遗传背景水稻糙米的锌含量存在明显差异，其中二系杂交稻糙米中锌含量显著高于三系杂交稻糙米。此外，施用氮肥也可增加作物如小麦籽粒中的锌含量^[24-25]。苏琪等^[6]曾对 16 个主要省（区）的玉米及 9 个省（区）的小麦进行分析，发现同一原料的锌含量在不同地区之间尽管有一定的波动范围，但无显著差异，这与本次调查中锌含量的分布规律不同，可能是调查省（区）及其采集样品个数不同导致的。然而，本研究中豆粕的锌含量在不同采样地点差异很小，差异幅度小于玉米和小麦中锌含量，且玉米和小麦锌含量较低的省（区）（分别为吉林和河北），这两个省（区）的豆

粕锌含量却未见降低。造成这一现象的原因可能是部分省(区)豆粕的大豆可能来自国外,并非来自取样地,还可能是不同类型或不同品种的原料,对同一地区土壤中锌的富集能力不同^[18]。因此,对于不同地区来源的饲料原料或同一地区不同类型的饲料原料,应测定其锌含量,根据饲料原料中锌营养含量的实测值制定合理的饲料配方。

此外,本研究发现4种基础饲粮可提供猪、鸡前期约1/4的锌营养需要,可提供后期约1/2的锌营养需要,较之前研究关于基础饲粮中可提供猪、鸡的锌需要量低。苏琪等^[4]研究发现基础饲粮可对猪提供1/3,对鸡提供2/3的锌营养需要。两次研究结果不一致的原因是,基础饲粮中锌含量不同,本研究基础饲粮中锌含量略低于之前研究;猪、鸡锌营养需要量的参考标准不同,之前研究统一按 $50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 计算鸡的锌营养需要量,而本次研究根据猪、鸡不同生长阶段将我国猪、鸡饲养标准和美国NRC猪、鸡锌营养需要量分开计算。此外,锌的需要量还与猪、鸡的品种相关,不同品种的猪、鸡锌需要量不同,如本实验室最近的研究表明AA肉仔鸡1—21日龄和22—42日龄所需锌营养的最适需要量分别为84和 $65\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[26-27],而43—63日龄黄羽肉鸡日粮锌适宜水平为 $78\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[28]。关于锌营养需要量的计算标准,无论是参照美国NRC猪、鸡锌营养的推荐需要量或是我国猪、鸡的饲养标准中锌营养的推荐需要量,在配制饲粮时都应考虑不同地区基础饲粮中锌的含量及其利用率,以减少锌的添加及其排放对环境的污染^[29-31]。因此,本次调查研究获得的我国不同地区饲料原料的锌含量分布数据,可为实际生产合理添加锌和降低生产成本提供科学依据,在很大程度上推动了畜禽饲料资源的有效开发和利用。

4 结论

不同饲料原料中锌含量分布不同,各省(区)玉米、小麦和豆粕中锌含量也存在差异。全国各地猪、鸡常用的基础饲粮仅可满足猪、鸡部分的锌营养需要量。

References

- [1] VALLEE B L, FALCHUK K H. The biochemical basis of zinc physiology. *Physiological Reviews*, 1993, 73(1): 79-118.
- [2] GAITHER L A, EIDE D J. Eukaryotic zinc transporters and their regulation. *Biometals*, 2001, 14:251-270.
- [3] HUANG Y L, LU L, LUO X G, LIU B. An optimal dietary zinc level of broilers chicks fed a corn-soybean meal diet. *Poultry Science*, 2007, 86(12): 2582-2589.
- [4] YU Y, LU L, LI S F, ZHANG L Y, LUO X G. Organic zinc absorption by the intestine of broilers *in vivo*. *British Journal of Nutrition*, 2017, 117(8): 1086-1094.
- [5] 邵玉新. 锌营养对肉鸡肠黏膜及Caco-2细胞肠上皮屏障功能的作用及机制[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- SHAO Y X. The mechanism of supplementation of zinc on intestinal mucosa barrier function [D]. Beijing: China Agricultural University, 2017. (in Chinese)
- [6] 苏琪, 段玉琴, 刘金旭, 陆肇海. 我国畜禽饲料中微量元素锌含量的调查研究. *中国农业科学*, 1994, 27(2): 82-88.
- SU Q, DUAN Y Q, LIU J X, LU Z H. A study on zinc contents in feedstuffs for livestock and poultry in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 1994, 27(2): 82-88. (in Chinese)
- [7] HUANG Y L, LU L, LI S F, LUO X G, LIU B. Relative bioavailabilities of organic zinc sources with different chelation strengths for broilers fed a conventional corn-soybean meal diet. *Journal of Animal Science*, 2009, 87(6): 2038-2046.
- [8] SUO H Q, LU L, ZHANG L Y, ZHANG X Y, LI H, LU Y F, LUO X G. Relative bioavailability of zinc-methionine chelate for broilers fed a conventional corn-soybean meal diet. *Biological Trace Element Research*, 2015, 165(2): 206-213.
- [9] YU Y, LU L, LUO X G, LIU B. Kinetics of zinc absorption by in situ ligated intestinal loops of broilers involved in zinc transporters. *Poultry Science*, 2008, 87(6): 1146-1155.
- [10] SAS user's guide: statistics. Version 9.4. SAS Institute Inc. 2003, Cary, NC.
- [11] 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)
- [12] 文杰, 蔡辉益, 冯于明, 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)
- [13] 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)
- [14] NRC. Nutrient requirements of poultry [S]. Washington, DC. National Academy Press, 1994.
- [15] NRC. Nutrient requirements of swine [S]. Washington, DC. National Academy Press, 2012.
- [16] 李绍钰, 赵国璋. 红安县饲料中微量元素含量及其分布. 湖北农业科学, 1995(1): 60-63.
- LI S Y, ZHAO G Z. The contents and distribution of trace elements of feedstuffs in Hong'an county. *Hubei Agricultural Sciences*, 1995(1): 60-63. (in Chinese)
- [17] LAVADO R S, PORCELLI C A, ALVAREZ R. Nutrient and heavy metal concentration and distribution in corn, soybean and wheat as affected by different tillagesystems in the Argentine Pampas. *Soil Tillage Research*, 2001, 62(1-2): 55-60.
- [18] 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)
- [19] 钟茂. 肉仔鸡常用饲料原料中矿物元素生物学利用率研究[D]. 成都: 西南大学, 2006.
- ZHONG M. Research on bioavailability of minerals in feedstuff for broilers [D]. Chengdu: Southwest University, 2006. (in Chinese)
- [20] 杨永生. 湖南省饲料微量元素盈缺规律及猪日粮中不同添加模式的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2009.
- YANG Y S. Study on surplus-deficit regularity and optimum supplemental pattern of trace elements in pig feedstuffs in Hunan [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [21] 王秋菊, 张玉龙, 赵宏亮, 李明贤, 孟英, 王立志, 姜辉. 黑龙江省不同类型土壤微量元素含量及对稻米品质的影响. 作物杂志, 2011(6): 46-49.
- WANG Q J, ZHANG Y L, ZHAO H L, LI M X, MENG Y, WANG L Z, JIANG H. Contents of mineral nutrient elements in different types of soil and effects on rice qualities in Heilongjiang province. *Crops*, 2011(6): 46-49. (in Chinese)
- [22] 郭春华, 张均, 王康宁, 意西多吉, 吴玉江, 索朗达. 高寒草地生物量及牧草养分含量年度动态研究. 中国草地学报, 2007(1): 1-5.
- GUO C H, ZHANG J, WANG K N, YI-XI D J, WU Y J, SUO L D. Yearly dynamics of biomass and nutrient contents in alpine grassland. *Chinese Journal of Grassland*, 2007(1): 1-5. (in Chinese)
- [23] 殷敬峰, 李华兴, 卢维盛, 谢斯斯, 骆海雄, 黄杏媛. 不同品种水稻糙米对 Cd Cu Zn 积累特性的研究. 农业环境科学学报, 2010, 29(05): 844-850.
- YIN J F, LI H X, LU W S, XIE S S, LUO H X, HUANG X Y. Variations of Cd, Cu, Zn accumulation among rice cultivars. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(05): 844-850. (in Chinese)
- [24] SHI R, ZHANG Y, CHEN X, SUN Q, ZHANG F, ROMHELD V, ZOU C. Influence of long term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science*, 2010, 51(1): 165-170.
- [25] 惠晓丽, 王朝辉, 罗来超, 马清霞, 王森, 戴健, 靳静静. 长期施用氮磷肥对旱地冬小麦籽粒产量和锌含量的影响. 中国农业科学, 2017, 50(16): 3175-3185.
- HUI X L, WANG Z H, LUO L C, MA Q X, WANG S, DAI J, JIN J J. Winter wheat grain yield and Zn concentration affected by long-term N and P application in dryland. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(16): 3175-3185. (in Chinese)
- [26] HUANG Y L, LU L, LUO X G, LIU B. An optimal dietary zinc level of broiler chicks fed a corn-soybean meal diet. *Poultry Science*, 2007, 86(12), 2582-2589.
- [27] LIAO X D, LI A, LU L, LIU S B, LI S F, ZHANG L Y, WANG G Y, LUO X G. Optimal dietary zinc levels of broiler chicks fed a corn-soybean meal diet from 22 to 42 days of age. *Animal Production Science*, 2013, 53: 388-394.
- [28] 蒋宗勇, 刘小雁, 蒋守群, 周桂莲, 林映才, 陈芳, 马现永. 43-63 日龄黄羽肉鸡锌需要量的研究. 中国农业科学, 2010, 43(20): 4295-4302.
- JIANG Z Y, LIU X Y, JIANG S Q, ZHOU G L, LIN Y C, CHEN F, MA X Y. Zinc requirement of yellow broilers from forty-three to sixty-three days of age. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(20): 4295-4302. (in Chinese)
- [29] LIU G Q, LI S F, SU X, HE Y, ZHANG L Y, LU L, LIAO X D, LUO X G. Estimation of standardized mineral availabilities in feedstuffs for broilers. *Journal of Animal Science*, 2019, 97(2): 794-802.
- [30] WANG W, YANG Q, SUN Z, CHEN X, YANG C, MA X. Advance of interactions between exogenous natural bioactive peptides and intestinal barrier and immune responses. *Current Protein Peptide Science*, 2015, 16: 574-575.
- [31] HEO J M, OPAPEJU F O, PLUSKE J R, KIM J C, HAMPSON D J, NYACHOTI C M. Gastrointestinal health and function in weaning pigs: A review of feeding strategies to control post-weaning diarrhoea without using in-feed antimicrobial compounds. *Journal of Animal Physiology Animal Nutrition (Berlin)*, 2013, 97(2): 207-237.

(责任编辑 林鉴非)