

我国畜禽饲料资源中常量元素钠含量分布的调查研究

李婷婷^{1,2}, 张丽阳¹, 马雪莲¹, 王良治³, 廖秀冬¹, 吕林^{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. 扬州大学动物科学与技术学院, 江苏 扬州 225000; 3. 西南民族大学生命科学与技术学院, 成都 610041)

摘要: 调查我国畜禽饲料资源中钠含量的分布, 为合理利用饲料资源及精准配制畜禽饲料提供科学依据。对采自全国30个省(市、区)的3 853个主要饲料原料样品中的钠含量进行测定, 结果表明: 不同类别饲料原料中平均 $\omega(\text{Na})$ (钠的质量分数)变化范围为47.9~9 179 mg/kg。钠含量分布规律为: 动物性蛋白饲料>矿物质饲料>牧草类>秸秆类>谷物加工副产品>植物性蛋白饲料>谷物籽实。同一类别内不同饲料原料之间钠含量也存在显著或极显著差异($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。以省(区)为单位, 对玉米、小麦、豆粕的钠含量进行地区间比较, 发现饲料原料的钠含量受到地区环境变化的影响较大($P<0.05$)。根据我国各地猪、鸡常用的152个饲料配方所计算出的基础饲料 $\omega(\text{Na})$ 在71.5~271 mg/kg, 远不能满足其正常营养需求, 需要额外补给。研究表明: 饲料原料中钠含量受种类及地区性影响较大, 以植物性饲料为主的猪、鸡基础饲料中背景钠含量较低, 不能满足动物正常营养需求, 需要额外补给。本调查结果对于生产者了解饲料原料中实际钠含量, 精准配制饲料, 以确保动物的健康及高效生产, 降低饲料成本及减少钠元素排放对环境的污染等具有重要意义。

关键词: 饲料资源; 钠; 猪; 鸡

中图分类号: S816.35 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-1891(2019)01-0016-06

A Research on the Distributions of Sodium Content in Feedstuffs for Livestock and Poultry in China

LI Tingting^{1,2}, ZHANG Liyang¹, MA Xuelian¹, WANG Liangzhi³, LIAO Xiudong¹, LÜ Lin^{1*}, LUO Xugang^{1*}

(1. Mineral Nutrition Research Division, Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. School of Animal Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225000, China; 3. School of Life Science and Technology, Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China)

Abstract: The distributions of sodium content in feedstuffs for livestock and poultry in China was studied to provide a scientific basis for rational use and precise formulation of feedstuffs. The determination results of sodium contents in 3 853 feed samples collected from 30 provinces (cities, regions) in China showed that the average sodium contents in different kinds of feeds ranged from 47.9 to 9 179 mg/kg. The distribution regularities of sodium contents were: animal-protein feeds > mineral feeds > forage feeds > straw feeds > cereal processing by-products > plant-protein feeds > cereals. A significant or extremely significant difference ($P<0.05$ or $P<0.01$) was also observed in sodium contents from different feeds in the same categories. Provincial comparisons in sodium contents of corn, wheat and soybean meal showed that the sodium contents in feed materials were greatly affected ($P<0.05$) by regional environmental changes. Among 152 common formulations of basal feeds for pigs and chickens in China, the calculated sodium contents ranged from 71.5 to 271 mg/kg, which could not meet the normal nutritional requirements, and additional sodium needed to be added to the feeds. In brief, results from this survey indicate that the sodium contents in feedstuffs in China were greatly affected by feed types and regions. The results would contribute greatly to producers' knowledge of actual sodium contents in feedstuffs to precisely formulate feeds to ensure animal health, efficient meat production, reduction of feed cost, and reduction of pollution on environment by sodium emission.

Keywords: feed resources; sodium; pig; chicken

收稿日期: 2019-02-03

基金项目: 国家科技部科技基础性工作专项项目(2014FY111000); 中国农业科学院农科英才专项经费(ASTIP-IAS08)、中国农业科学院科技创新工程专项经费(ASTIP-IAS08); 国家现代农业产业技术体系岗位专家专项经费(CARS-41)。

作者简介: 李婷婷(1990—), 女, 江苏宿迁人, 博士, 研究方向: 动物营养与饲料科学。*为通信作者。

钠是畜禽饲料中不可缺少的矿物元素,缺乏或过量都会影响机体正常发育和生产性能^[1-6]。植物性饲料中往往缺钠,不能满足动物对钠的需要,但不同地区、不同种类饲料间的钠元素含量可能相差很大。到目前为止,关于我国不同地区畜禽饲料原料中钠元素含量分布规律的研究还很少。生产者虽然在饲料配制过程中考虑到饲料原料中的钠含量,但应用的数据大多是参考中国饲料数据库和NRC推荐的列表值,属于静态平均值,其是否与我国不同地区畜禽饲料资源中钠含量的分布一致还有待验证。为了充分了解我国畜禽饲料中钠元素含量状况,科学使用矿物元素添加剂,有效利用饲料资源,本研究对我国30个省(市、区)的主要畜禽饲料资源展开调查,采集36种、共计3 853个饲料样品进行钠含量的测定,并选择了3种较常见且采样面较广的玉米、小麦和豆粕,进行以省(区)为单位的平均钠含量比较,为我国饲料工业中调盈补缺,合理补充钠,提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 采样点

针对我国不同区域主要畜禽资源的分布情况,结合区域生态信息特征,以行政区(县)为单位,于全国30个省(市、区)共采集了有代表性的3 853个饲料原料样品。

1.2 样品种类

根据我国不同省(市、区)的实际情况,对主要畜禽饲料资源包括4种谷物籽实(玉米、小麦、稻谷和大麦)、7种谷物籽实加工副产品(玉米蛋白粉、玉米DDGS(Distillers Dried Grains with Solubles)、次粉、小麦麸、小麦DDGS、碎米和米糠)、8种植物性蛋白饲料(豆粕、菜籽粕、棉籽粕、花生粕、亚麻粕、葵花粕、玉米胚芽粕和膨化大豆)、5种动物蛋白饲料(鱼粉、肉粉、水解羽毛粉、血浆蛋白粉和血球蛋白粉)、4种牧草类饲料(羊草、苜蓿、黑麦草和青贮玉米)、4种秸秆类饲料(稻秸、玉米秸、小麦秸和甘薯藤)与4种矿物质饲料原料(石粉、骨粉、贝壳粉和磷酸氢钙)共计36种原料的钠含量进行检测,以便较全面地了解畜禽基础饲料中钠含量水平。

1.3 样品的分析测定方法

1.3.1 样品处理

为保证分析结果的一致性和可靠性,所采样品均集中于北京畜牧兽医研究所统一处理。样品保存于低温仓库中,检测时以四分法缩减分取试样,经挑选、清洁、于80℃下干燥后,使用不锈钢高速粉

碎机粉碎(IL-04BL),装入自封袋保存备用。

1.3.2 分析方法

准确称取0.5 g(精确到0.000 1 g)饲料样品于消化管中,加入5 mL硝酸和2 mL双氧水浸泡过夜,次日于电热板上180℃预消化2 h,冷却后补加2 mL双氧水进行微波消解(MAS-6)。钠的测定采用电感耦合等离子体-质谱仪(ICP-MS7900)测定,同时应用国家标准物质猪肝粉(GBW10051)作对照,检查分析结果的可靠性。

1.4 统计分析

所测数据采用SAS 9.4统计软件进行方差分析,多重比较采用LSD法,试验结果以(平均值±标准差)表示。

2 结果与分析

2.1 各种饲料原料中钠含量分布

为了获得对全国具有一定代表性的结果,共采集了30个省(市、区)的主要粮食、饲料样品3 853个,测定钠含量,结果分类列于表1—7中。

表1 谷物籽实中钠含量(风干基础)

样品名称	省(市、区)数	样品数	$\omega(\text{Na})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$
玉米	30	1 171	8.36±2.87c
小麦	27	251	21.5±5.80b
稻谷	29	206	24.3±14.6b
大麦	15	28	205±140a
P值			0.000 1
总平均值			47.9

注:(1)同列数据中有不同肩标字母者表示差异显著($P<0.05$);(2)结果表示:平均数±标准差,下表同。

表2 谷物籽实加工副产品中钠含量(风干基础)

样品名称	省(市、区)数	样品数	$\omega(\text{Na})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$
碎米	20	46	12.2±4.47c
米糠	22	122	108±30.7b
次粉	20	51	70.5±64.1b
小麦麸	24	112	80.3±33.1b
小麦	4	16	486±275bc
玉米	13	96	1 711±1 019a
玉米蛋白粉	17	90	168±183bc
P值			0.000 1
总平均值			275

通过对表1—7中结果的统计表明,各大类别饲料原料的钠含量有极显著差异($P<0.01$),其规律是:动物性蛋白饲料>矿物质饲料>牧草类>秸秆类>谷物加工副产品>植物性蛋白饲料>谷物籽实类。

表3 植物性蛋白饲料中钠含量(风干基础)

样品名称	省(市、区)数	样品数	$\omega(\text{Na})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$
豆粕	23	339	194±739b
菜籽粕	20	157	258±200b
棉籽粕	14	106	155±36.5b
花生粕	11	47	88.2±177b
亚麻粕	3	19	886±428a
葵花粕	3	15	115±20.1b
膨化大豆	13	109	12.3±9.04b
玉米胚芽粕	7	49	299±120b
P值			0.067 0
总平均值			192

表4 动物性蛋白饲料中钠含量(风干基础)

样品名称	省(市、区)数	样品数	$\omega(\text{Na})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$
鱼粉	14	57	15 064 ± 5 429a
肉粉	12	24	7 135 ± 3 884b
水解羽毛粉	16	34	1 328 ± 929c
血浆蛋白粉	13	25	21 240 ± 7 475a
血球蛋白粉	16	28	3 615 ± 786b
P值			0.000 1
总平均值			9 179

表5 牧草中钠含量(风干基础)

样品名称	省(市、区)数	样品数	$\omega(\text{Na})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$
羊草	7	35	1 799±1 359ab
苜蓿	25	93	1 518±1 009a
黑麦草	16	72	2 141±2 306ab
青贮玉米	22	90	529±1 052b
P值			0.008 0
总平均值			1 378

表6 秸秆饲料中钠含量(风干基础)

样品名称	省(市、区)数	样品数	$\omega(\text{Na})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$
稻秸	29	84	2 163±2 162a
玉米秸秆	23	56	68.7±67.9c
小麦秸秆	24	57	367±309b
甘薯藤	12	21	2 451±2 035a
P值			0.000 1
总平均值			1 165

表7 矿物质饲料中钠含量分布(风干基础)

样品名称	省(市、区)数	样品数	$\omega(\text{Na})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$
石粉	18	65	298 ± 243b
骨粉	15	28	7 069 ± 1 354a
贝壳粉	5	9	3 646 ± 2 043ab
磷酸氢钙	13	45	999 ± 1 495b
P值			0.000 1
总平均值			2 797

在同一类别中,部分不同饲料之间存在显著差异($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。大麦中钠含量极显著高于玉米、小麦和稻谷;玉米DDGS中钠含量极显著高于小麦DDGS、玉米蛋白粉、米糠、小麦麸、次粉和碎米;亚麻粕中钠含量显著高于玉米胚芽粕、菜籽粕、豆粕、棉籽粕、葵花粕、花生粕、和膨化大豆;血浆蛋白粉和鱼粉中钠含量显著高于肉粉、血球蛋白粉和水解羽毛粉;苜蓿中钠含量显著高于青贮玉米中钠含量;甘薯藤和稻秸中钠含量显著高于小麦秸秆和玉米秸秆中钠含量;骨粉中钠含量显著高于石粉和磷酸氢钙中钠含量。

2.2 不同地区玉米、小麦及豆粕中的钠含量

为了明确在各地自然条件下对作物钠含量的影响程度,选择了3种较常见且采样面较广的玉米、小麦和豆粕,以省(区)为单位,进行部分重点产区的平均钠含量比较(表8)。由表8可知,同一种原料不同地区间的钠含量波动范围较大,差异显著($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。玉米 $\omega(\text{Na})$ 以山东省的最高(11.7 mg/kg),内蒙古的最低(3.45 mg/kg),两者相差8.25 mg/kg;山东省小麦 $\omega(\text{Na})$ 最高(27.2 mg/kg),湖北省小麦 $\omega(\text{Na})$ 最低(14.4 mg/kg),两者相差12.8 mg/kg;不同地区间豆粕中 $\omega(\text{Na})$ 波动范围最大,以湖北省的最高(78.1 mg/kg),黑龙江省的最低(11.1 mg/kg),两者相差67 mg/kg。

表8 部分省(市、区)玉米、小麦及豆粕中钠含量(风干基础)

省名	玉米 $\omega(\text{Na})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	小麦 $\omega(\text{Na})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	豆粕 $\omega(\text{Na})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$
安徽	8.94 ± 4.42 (43)abcd	20.5 ± 9.86 (14)ab	12.0 ± 4.17 (17)bc
甘肃	10.2 ± 6.67 (41)abc	24.6 ± 6.3 (9)ab	—
广西	4.19 ± 3.61 (34)fg	—	—
贵州	7.26 ± 3.95 (39)bcdef	—	—
河北	10.7 ± 4.04 (55)a	17.4 ± 3.78 (19)ab	58.3 ± 36.8 (26)a
河南	9.42 ± 8.56 (53)abcde	18.1 ± 9.75 (26)ab	18.7 ± 14.0 (15)bc
黑龙江	5.20 ± 6.42 (65)defg	—	11.1 ± 4.64 (49)c
湖北	4.77 ± 3.16 (38)efg	14.4 ± 1.31 (8)b	78.1 ± 33.2 (10)a
吉林	9.47 ± 3.91 (60)abc	—	19.4 ± 7.31 (11)bc
江苏	9.66 ± 6.32 (46)abcd	21.7 ± 16.9 (16)ab	11.6 ± 2.11 (15)c
辽宁	8.51 ± 4.42 (53)abcd	—	14.0 ± 3.15 (21)bc
内蒙古	3.45 ± 4.21 (50)g	—	20.2 ± 11.2 (30)b
山东	11.7 ± 8.39 (54)ab	27.2 ± 10.4 (14)a	13.2 ± 8.98 (20)bc
山西	6.57 ± 5.47 (73)cdefg	26.9 ± 18.5 (14)ab	12.1 ± 0.83 (4)c
陕西	9.56 ± 4.46 (40)abc	17.8 ± 3.99 (9)ab	—
四川	7.56 ± 4.88 (44)abcdef	15.8 ± 1.51 (8)ab	60.8 ± 39.8 (8)abc
新疆	8.98 ± 4.11 (46)abc	26.3 ± 13.0 (10)ab	—
云南	7.21 ± 2.11 (56)bed	—	—
P值	0.000 1	0.023 0	0.000 1

注:(1)括号()内的数字为样品数,(2)“—”表示无数据。

2.3 我国猪、鸡基础饲料中钠含量水平

理论上讲,依据饲料中矿物质元素含量确定畜禽饲料中各元素盈缺,再确定适宜的添加量是较合理的。本研究 and 同类研究都反映出:就平均水平而言,不同饲料的矿物质元素含量都有其各自的特点,因此畜禽从饲料中获得矿物质直接受饲料类型和组成影响。根据《动物饲料配方设计》^[7]以及参考各地现行的一般较合理的配方,初步归为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,如豆粕、菜籽粕、棉籽粕等配制的玉米-油籽粕型;以多种谷物籽实,如玉米、小麦、稻谷等为能量饲料,豆粕为蛋白饲料配制的多谷-豆粕型;以多种谷实和多种植物油籽粕类配制的多谷-油籽粕型。按各类型的实测值进行基础饲料中钠含量的计算,结果见表9。由表9可知,各类型饲料的 $\omega(\text{Na})$ 水平都较低(71.5~271 mg/kg)。根据我国及美国猪、鸡饲养标准中,钠的营养需要量,猪按0.25%,鸡按0.15%计算^[8-9],以此值为100,四种类型的基础饲料,可提供动物对钠需要的百分数,猪为7%、10%、7%和3%,鸡为18%、8%、7%和10%(图1)。

表9 我国猪、鸡基础饲料中钠含量(风干基础)

饲料类型	猪		鸡	
	配方数	$\omega(\text{Na})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	配方数	$\omega(\text{Na})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$
玉米-豆粕	25	166±195	22	271±303
玉米-油籽粕类	15	255±330	20	122±116
多谷-豆粕	23	183±200	16	108±25.9
多谷-油籽粕类	16	71.5±22.2	15	144±77.6

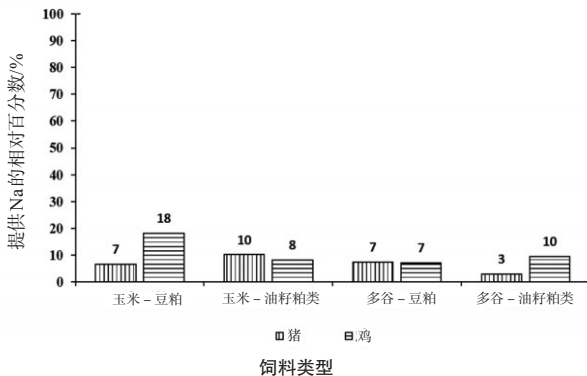


图1 我国猪、鸡基础饲料钠含量满足动物钠需要量

3 讨论

3.1 各种饲料原料中钠含量分布

无论是动物还是植物,其吸收和积累环境中钠元素的能力有较大差别。本研究发现不同类别饲料中动物性蛋白饲料的平均钠含量最高,其中以血

浆蛋白粉中钠含量为最高、鱼粉次之,谷物籽实中平均钠含量最低,尤其以玉米的钠含量为最低。这与《中国饲料成分及营养价值表》(2018年第29版)中各种饲料原料钠含量分布规律相似,鱼粉、肉粉等动物性饲料原料中 $\omega(\text{Na})$ 最高(0.8%~1.15%),谷物籽实中 $\omega(\text{Na})$ 最低(0.01%~0.06%)^[10]。相比于谷物籽实,其加工副产品的 $\omega(\text{Na})$ 较高,如玉米DDGS的 $\omega(\text{Na})$ 高达1 711 mg/kg,是玉米钠含量的205倍,高于畜禽维持正常生产对钠的最低需要量(鸡:0.10%~0.2%;猪:0.1%~0.4%;奶牛:0.10%~0.18%)^[8-9,11]。因此,当饲料配方中含有一定比例鱼粉、肉粉、玉米DDGS等钠含量较高的饲料原料时,应考虑原料中的本底钠含量,适量减少钠补充。

不同饲料作物同一部位对矿物元素的吸收积累能力也不同。李珊珊等(2012)对4个优质谷产区的谷物籽实样品的营养成分进行了检测和分析,发现“张杂谷6号”的矿物质含量普遍高于玉米、大麦和大米^[12]。另外,吴宝华等(2005)检测了3种谷物秸秆中矿物元素含量,发现“蒙金谷一号”中铁、钙、磷、硒的含量较高^[13]。本研究也发现,不同谷物籽实和谷物秸秆对钠的富集能力均存在差异,因此在不影响配方营养水平的前提下合理搭配各种原料,可以更好地满足畜禽对钠的营养需要,提高生产性能,降低成本。

除受饲料种类和品种等因素影响外,同一饲料作物不同部位的钠含量也有很大差异。本研究中玉米、小麦和稻谷秸秆中的钠含量均大于籽实,其中稻秸的钠含量甚至是稻谷的89倍,这与其他矿物元素的分布规律相似,如钙、钾、镁和铜在饲用植物秸秆中的含量都高于籽实^[14-15]。另外,小麦和稻谷加工为糠麸产品后,钠的浓度得到富集,如麦麸比其全麦粒钠浓度高约3.7倍,米糠比全稻谷粒高4.4倍。这与钾、磷、锌、硒等矿物元素在籽实中的分布相同,多集中于籽实的表皮层和糊粉层^[16-17]。单从矿物元素角度来看,谷物籽实作为畜禽主要的能量饲料,其矿物质营养价值不如糠麸和秸秆。

20世纪70年代后期,我国就开始对畜禽饲料原料矿物元素营养进行不同程度和不同规模的调研,但对全国范围内畜禽饲料资源中钠含量分布的调查结果却很少,仅王学文(2006)对我国18个省的112个饲料样品进行了钠含量测定^[18],其测定结果与本研究相比差别较大,造成结果差异较大的原因可能是:(1)调查覆盖面和采样点不同;(2)所采集的饲料原料品种和数量不同;(3)测定方法不一致。

3.2 不同地区玉米、小麦及豆粕中钠含量分布

我国地域辽阔,土壤类型、地质结构复杂多变,土壤中矿物质元素含量差异很大,使得不同地区同一作物的矿物元素含量也存在一定差异。席冬梅等(2006)对云南6个主要地质背景区的土壤和饲料样品的矿物元素进行测定分析,发现大多数饲料中矿物元素含量受土壤中元素的丰度影响较大^[19]。杨淑芬(2017)研究发现,不同土壤类型下玉米、稻谷微量元素含量差异显著,且不同来源米糠、豆粕、棉籽粕和菜籽粕中微量元素含量变异度大^[20]。本研究中,玉米和小麦的钠含量受区域环境变化影响较大,具有明显的地区性差异。豆粕中钠含量的波动范围最大,以湖北省为最高,是黑龙江省的7倍。这种差异可能是由于不同地区豆粕加工工艺和质量等级不一所致,有研究表明,不同加工工艺对饲料原料影响很大^[21-23]。也有可能是因为不同地区用于生产豆粕的原料钠含量本就存在差异,所以生产所得豆粕的钠含量存在差异。因此,在饲料加工工业中,配合饲料计算钠含量时,应同时考虑饲料原料的品种和地区差异,不能近似使用同一品种饲料原料的平均值。

3.3 我国猪、鸡基础饲料中钠含量状况

根据美国猪(NRC,2012)^[8]、鸡(NRC,1994)^[9]中

钠的营养需要量,如猪、鸡分别按0.25%和0.15%计算,发现以谷物籽实和植物油籽粕类为主的基础饲料中背景钠含量远远不能满足动物的正常营养需求,需要额外补给。在同一饲料类型中,由于包含了猪、鸡各生长阶段的饲料配方,部分添加动物性蛋白饲料(鱼粉)的配方中钠含量偏高,所以有些饲料类型中平均钠含量的标准差很大。目前,在猪、鸡饲料的实际配制中,一般不考虑基础饲料中钠的本底值,直接加入一定比例的食盐,但对于钠含量较高的饲料原料,如动物性蛋白饲料(鱼粉、肉粉等)、糟渣饲料(玉米DDGS)等,需要考虑饲料原料中的钠含量,适当减少钠的补充^[24]。

4 结语

不同种类饲料原料中钠含量存在差异,同一种类不同地区饲料原料中钠含量亦有差异。以植物性饲料为主的猪、鸡基础饲料中背景钠含量较低,不能满足动物正常营养需求,需要额外补给。本研究结果对于生产者了解饲料原料中实际钠含量,精准配制饲料,以确保动物的健康及高效生产,降低饲料成本及减少钠元素排放对环境的污染,均具有重要意义。

参考文献:

- [1] CENGİZ Ö, HESS J B, BILGİLİ S F. Influence of graded levels of dietary sodium on the development of footpad dermatitis in broiler chickens [J]. *Journal of Applied Poultry Research*,2012,21(4):770-775.
- [2] JANKOWSKI J, ZDUN' CZYK Z, JUŚKIEWICZ J, *et al.* The effect of different dietary sodium levels on the growth performance of broiler chickens, gastrointestinal function, excreta moisture and tibia mineralization [J]. *Journal of Animal & Feed Sciences*, 2011,20(1):93-106.
- [3] KORELESKI J, ŚWIATKIEWICZ S, ARCZEWSKA A. The effect of dietary potassium and sodium on performance, carcass traits, and nitrogen balance and excreta moisture in broiler chicken [J]. *Journal of Animal & Feed Sciences*,2010,19(2):244-256.
- [4] MURAKAMI A E, SAKAMOTO M I, FRANCO J R G, *et al.* Requirements of sodium and chloride by leghorn laying hens [J]. *Journal of Applied Poultry Research*,2003,12(2):217-221.
- [5] MUSHTAQ M M H, PASHA T N, MUSHTAQ T, *et al.* Electrolytes, dietary electrolyte balance and salts in broilers: an updated review on growth performance, water intake and litter quality [J]. *Worlds Poultry Science Journal*, 2013, 69(4):789-802.
- [6] VIEIRA S L, PENZ A M, POPHAL S, *et al.* Sodium requirements for the first seven days in broiler chicks [J]. *Journal of Applied Poultry Research*,2003,12(3):362-370.
- [7] 章世元. 动物饲料配方设计[M]. 南京:江苏科学技术出版社, 2008.
- [8] National Research Council. Nutrient requirements of swine [S]. Washington, DC:National Academy Press,2012.
- [9] National Research Council. Nutrient requirements of poultry [S]. Washington, DC:National Academy Press,1994.
- [10] 中国饲料数据库. 中国饲料成分及营养价值表 2018 年第 28 版[J]. 中国饲料, 2018(21):70-71.
- [11] National Research Council. Nutrient requirements of dairy cattle [S]. Washington, DC:National Academy Press,2001.
- [12] 李珊珊,张爱霞,王桂荣,等.不同地区种植的‘张杂谷6号’营养成分差异分析 [J]. 中国农学通报,2012,28(36):82-86.
- [13] 吴宝华,王伟斌,孙连震,等.不同品种谷子秸草的营养成分分析[J]. 北方农业学报,2005(6):33-34.
- [14] 席冬梅,邓卫东,毛华明,等.云南省反刍家畜主要饲料中钙、磷、钾和镁的含量与分布[J]. 畜牧与兽医,2005,37(2):28-29.
- [15] 韩妙杰. 海南西部农田土壤—水稻系统重金属分布特征[D]. 海口:海南大学, 2014.
- [16] 李春燕,封超年,王亚雷,等.小麦籽粒不同部位的矿质元素组成与其含量差异[J]. 植物生理学报,2007,43(6):1077-1081.
- [17] 苏琪,段玉琴,刘金旭,等.我国畜禽饲料中微量元素锌含量的调查研究[J]. 中国农业科学,1994,27(2):83-88.

- [18] 王学文.中国肉牛常用饲料原料微量元素及主要常量矿物元素含量的分析[D].北京:中国农业大学,2006.
- [19] 席冬梅,邓卫东,高宏光,等.云南省土壤和植物性饲料中矿质元素含量及相关性研究[J].水土保持学报,2006,20(6):187-191.
- [20] 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.
- [21] JACELA J Y, DEROUCHÉY J M, DRITZ S S, *et al.* Amino acid digestibility and energy content of deoiled (solvent-extracted) corn distillers dried grains with solubles for swine and effects on growth performance and carcass characteristics [J]. *Journal of Animal Science*, 2011, 89(6):1817-1829.
- [22] KINGSLEY A R P, ILELEJI K E, CLEMENTSON C L, *et al.* The effect of process variables during drying on the physical and chemical characteristics of corn dried distillers grains with solubles (DDGS):plant scale experiments [J]. *Bioresource Technology*,2010,101(1):193-199.
- [23] SOARES J A, STEIN H H, SINGH V, *et al.* Amino acid digestibility of corn distillers dried grains with solubles, liquid condensed solubles, pulse dried thin stillage, and syrup balls fed to growing pigs [J]. *Journal of Animal Science*,2012,90(4):1255.
- [24] 于欢,高春国,简运华,等. 家禽钠、氯营养研究进展[J]. *中国家禽*,2016,38(14):41-46.

(责任编辑:蒋召雪)

(上接第15页)

3 结论

采用石墨炉消解-石墨炉原子吸收对黄花石莲样品中的Pb和Cr质量分数进行了测定,选择磷酸二氢铵作为基体改性剂,有效的克服了基体成分对Pb元素测定的干扰,建立了石墨炉原子吸收测定黄

花石莲中Pb和Cr的方法。该方法检出限低,灵敏度高,测定结果准确,可用于黄花石莲中Pb和Cr元素的分析。黄花石莲花中Pb和Cr含量以及叶中的Pb含量均未超过食品中污染物限量标准^[5]($\omega(\text{Pb}) < 5 \text{ mg/kg}$, $\omega(\text{Cr}) < 2 \text{ mg/kg}$),黄花石莲茎中Pb和Cr含量以及叶中的Cr含量超过国家规定标准值。

参考文献:

- [1] 兑宝峰.石莲花属多肉植物栽培繁殖[J]. *中国花卉园艺*,2012,24:22-24.
- [2] 章海风,陆红梅,路新国.食品中重金属污染现状及防治对策[J]. *中国食物与营养*,2010(8):17-19.
- [3] SLAVICA R S D. Determination of chromium in *Menthapiperita* L. and soil by graphite furnace atomic absorption spectrometry after sequential extraction and microwave-assisted acid digestion to assess potential bioavailability[J]. *Chemosphere*,2010,78(4):451-456.
- [4] 李玲,谭力,段丽萍,等.食品重金属污染来源的研究进展[J]. *食品与发酵工业*,2016,42(4):238-243.
- [5] GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》[J]. *中国食品卫生杂志*,2018,30(3):329-340.
- [6] 曹璐,赵丽娇,钟儒刚.原子吸收光谱法测定食品中重金属含量的研究进展[J]. *食品科学*,2012,33(7):304-309.
- [7] 周志强.食品中微量元素分析数据的质量保证[J]. *中国食品学报*,2002,2(4):82-86.

(责任编辑:曲继鹏)