2018 年天然植物饲料原料及产品中重金属污染情况调查分析

于治芹[1], 商方方[1], 李 俊[1], 李军国[1], 高云峰[2], 张 博[1], 谷 旭[1*]

(1. 中国农业科学院饲料研究所, 农业部动物产品质量安全饲料源性因子风险评估实验室, 北京 100081;
2. 黑龙江省农产品和兽药饲料技术鉴定站, 哈尔滨 150090)

摘 要: 目的 了解 2018 天然植物原料及产品中重金属的污染状况。**方法** 对北京、天津、黑龙江、江苏、安徽、江西、山东、河南、湖南、广东等 10 个省市采集的天然植物原料及产品样本, 参照国标方法中的干法消解和压力罐消解方法对样品进行消解, 后使用火焰原子吸收光谱仪和原子荧光光谱仪检测样品中砷、铅、铬、汞、镉的含量。**结果** 分析了 100 份植物饲料原料及产品, 其中砷的最高值为 8.54 mg/kg, 大于 2 mg/kg 的样品所占比为 4%; 铅的最高值为 20.33 mg/kg, 大于 10 mg/kg 的样品只有 2 批次; 铬的最高值为 927.63 mg/kg, 大于 5 mg/kg 的样品所占比为 24%; 汞的检出率为 4%; 全部样品中镉未检出。**结论** 本次调查分析发现部分样品有砷、铅、铬、汞检出, 少数样品中的重金属含量相对较高, 因而需加强对天然植物饲料原料及产品安全风险的监测, 以保证动物和动物性产品安全。

关键词: 天然植物饲料原料及产品; 砷; 铅; 铬; 汞

Investigation and analysis of heavy metal pollution in natural plant feed raw meterials and products in 2018

YU Zhi-Qin[1], SHANG Fang-Fang[1], LI Jun[1], LI Jun-Guo[1], GAO Yun-Feng[2], ZHANG Bo[1], GU Xu[1*]

(1. *Agriculture and Rural Ministry Quality and Safety Risk Evaluation Laboratory of Feed and Feed Additives for Animal Husbandry*, *Feed Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Science*, *Beijing* 100081, *China*; 2. *Heilongjiang Agricultural Products and Veterinary Medicine Feed Technology Appraisal Station*, *Harbin* 150090, *China*)

ABSTRACT: Objective To understand the pollution of heavy metals in natural plant raw materials and products in 2018. **Methods** Samples of natural plant raw materials and products collected from 10 provinces and cities including Beijing, Tianjin, Heilongjiang, Jiangsu, Anhui, Jiangxi, Shandong, Henan, Hunan and Guangdong were analyzed. The samples were digested according to the dry digestion and pressure tank digestion methods in the national standard method, and then the contents of arsenic, lead, chromium, mercury and cadmium in the samples were detected by flame atomic absorption spectrometer and atomic fluorescence spectrometer. **Results** A total of 100 samples of plant feed materials and products were analyzed. The highest content of arsenic was 8.54 mg/kg, and the proportion of samples greater than 2 mg/kg was 4%. The highest value of lead was 20.33 mg/kg, and only 2

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(BAIC04-2020)、北京市科技计划项目(Z181100009318008)

Fund: Supported by the Modern Agricultural Industry Technology System Beijing Poultry Innovation Team Project (BAIC04-2020), and Beijing Science and Technology Project (Z181100009318008)

***通讯作者:** 谷旭, 博士, 副研究员, 主要研究方向为饲料及畜产品安全风险评估。E-mail: guxu@caas.cn

***Corresponding author:** GU Xu, Ph.D, Associate Researcher, Safety Risk Assessment of Feed and Animal Products, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081, China. E-mail: guxu@caas.cn

batches of samples greater than 10 mg/kg. The highest value of chromium was 927.63 mg/kg, and the proportion of samples greater than 5 mg/kg was 24%. The detection rate of mercury was 4%. No cadmium was detected in all samples. **Conclusion** This investigation and analysis found that arsenic, lead, chromium and mercury were detected in some samples, and the heavy metal content in a few samples was relatively high. Therefore, it is necessary to strengthen the monitoring of the safety risks of natural plant feed raw materials and products to ensure the safety of animals and animal products.

KEY WORDS: natural plant feedstuffs and feed products; As; Pb; Cr; Hg

1 引 言

天然植物饲料原料包括天然植物本身及其粗提物，作为一种新型高效的饲料原料越来越多的应用于畜禽养殖中，大量报道证实其在畜禽养殖中替代抗生素促生长、提高畜禽生长性能和肉品质方面有巨大潜力。植物精油与丁酸钠对断奶仔猪生长性能、血清抗氧化指标、粪便菌群及氨逸失有积极的影响，且二者的复合制剂效果更好[1]。在仔猪日粮中添加一定比例的牛至油提取物、苦木甘草提取物、植物精油或抗菌肽，均可以改善生长性能，效果接近或优于抗生素[2]。新型猪用植物提取物饲料添加剂替代抗生素能够促进仔猪的生长发育，显著降低料肉比，并且可显著降低仔猪腹泻率[3]。母猪日粮添加止痢草精油可显著提高仔猪的平均日增重和日采食量，且可显著提高肉猪胴体品质[4]。在肉仔鸡饲粮中添加适宜水平葫芦巴粉，能够提高肌肉系水力，促进免疫器官发育，提高抗氧化能力和增强机体蛋白代谢的作用[5]。饲粮中添加 150 mg/kg 迷迭香精油可在一定程度上改善京海黄鸡的肉品质并提高抗氧化能力[6]。饲粮中添加苜蓿多糖对公鸡和母鸡的生长性能无显著影响，当添加量为 1000 mg/kg 时，能够改善公鸡和母鸡的屠宰性能、肉品质和血清抗氧化性能[7]。

在植物生长、加工的过程中，不可避免地会受到重金属的污染，尤其是原料生长的环境，包括土壤、工业“三废”污染、农药和化肥污染等[8,9]。胡国辉等[10]对不同产地制草乌药材中 6 种重金属的含量进行测定，发现部分产地的制草乌药材中有镉、砷和汞等元素超标现象，不同产地的制草乌药材中 6 种金属元素含量差异较大。他们分析超标的原因可能是由于当地长期施用工业磷肥中的镉和砷造成的，以及与当地的植物生长的土壤环境有关。孔丹丹等[11]针对目前市场上常见的黄芪、党参和昆布 3 味中药材共随机抽取了 51 批次，以食品中污染物限量为参考标准时，有 33 批次铬超标，总超标率为 64.71%，并且镉最大含量值超出国家允许限量标准的 5 倍，其余元素的污染水平较低。中药材中重金属的类型和含量存在着明显差异，这与药材生长的土壤、水质、气候等环境因素的差异性、炮制加工工艺等有关。

过量的重金属离子进入生物体后与生物体内的蛋白质、核酸、酶等大分子物质的活性位点或一些非活性位点发生作用，进而影响了生物大分子的正常生理机能[12]。当有害重金属进入畜禽体内，并在机体各组织器官蓄积，主要蓄积于肾脏、脾脏和肝脏[13]，造成脂质过氧化，引起机体慢性中毒[14]，蓄积到一定含量将影响动物神经系统、新陈代谢和免疫机能等[15]，进而威胁畜产品安全。有害重金属易经过食物链浓缩最终进入人体，进而危害人体健康和公共安全。为了解饲料用植物提取物原料及产品中重金属的风险情况，本文对植物饲料原料及饲料添加剂制品进行了摸底调查，检测其中重金属砷、铅、铬、汞、镉的含量，以期加强对天然植物饲料原料及产品安全风险的监测以保证动物和动物性产品安全提供一定的支撑。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

AA6880 原子吸收光谱仪(日本岛津公司); AFS-9130 原子荧光光谱仪(北京吉天仪器公司); 压力消解罐-30 mL(西安常仪仪器设备公司); CWF100 马弗炉(日本岛津公司); 鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器公司)。

砷、铅、铬、镉、汞 5 种元素的单元素标准溶液(1000 mg/L)全部采购的国家标准物质，标准物质证书号分别为 GBW(E)1002031803 、 GBW(E)0815771803 、 GBW(E)0815841803、 GBW(E)0815811803、GBW(E)0815931804。

浓硝酸(分析纯，德国 EMSURE 公司); 浓盐酸(优级纯，国药集团化学试剂有限公司); 硫脲、抗坏血酸(分析纯，国药集团化学试剂有限公司); 实验室用水为 Milli-Q 制备的超纯水。

本实验所用玻璃仪器及坩埚均需以 20%硝酸溶液浸泡 24 h 以上，去离子水冲净晾干备用。

2.2 实验方法

2.2.1 溶液配制

硝酸溶液(1%): 取 10.0 mL 硝酸加入 100 mL 水中，稀释至 1000 mL。

盐酸溶液(6 mol/L): 取 250 mL 盐酸慢慢加入 250 mL 水中。

硼氢化钾(KBH_4)溶液(1%): 称取硼氢化钾 1.0 g，溶

于 100 mL 氢氧化钾(0.5%)溶液中, 混合(现用现配)。

硫脲溶液(50 g/L): 称取硫脲 5 g, 溶于 100 mL 水中, 混匀(现用现配)。

重金属元素标准储备液(10 mg/L): 准确吸取 1 mL 单元素标准溶液于 100 mL 容量瓶中, 用 1%硝酸溶液定容。依照此方法逐级稀释, 得到标准曲线工作液。

2.2.2　样品和试样制备

在北京、天津、黑龙江、江苏、安徽、江西、山东、河南、湖南、广东等 10 个省市采集 100 批次样本, 其中天然植物原料和植物提取物有 74 批次、含有植物提取物的混合饲料添加剂 26 批次。四分法缩分至约 250 g, 粉碎后过 0.425 mm 孔径的分析筛, 混匀, 装入自封袋中, 备用。

2.2.3　样品前处理

根据元素特点, 镉、铬、铅元素选用干灰化法消解, 砷和汞元素选用压力消解罐消解法:

(1)压力消解罐消解法: 称取试样 0.5 g(精确至 0.0001 g)于聚四氟乙烯内罐, 加硝酸 5 mL 浸泡过夜。盖好内盖, 旋紧不锈钢外套, 放入恒温干燥箱, 140 ℃保持 4 h, 在箱内自然冷却至室温, 打开后低温加热赶酸至 0.5~1 mL, 冲洗合并到 25 mL 容量瓶中, 然后加入 0.75 mL 盐酸及 2.5 mL 硫脲溶液, 定容, 同时做试剂空白试验。

(2)干灰化法: 称取 2 g 试样(0.0001 g)于瓷坩埚中, 先小火在可调式电炉上炭化至无烟, 移入马弗炉 550 ℃灰化 4 h, 直至无碳粒。冷却, 加入 10 mL 盐酸溶液(6 mol/L), 直到无气泡溢出, 电炉加热直到消化液至 1~2 mL(注意防止溅出), 用 1%硝酸溶液定容至 50 mL 容量瓶中, 摇匀, 用无灰滤纸过滤, 上机待用, 同时制备试剂空白溶液。

2.2.4　光谱条件

(1) 原子荧光光谱条件

吉天原子荧光光谱仪光电倍增管电压: 270 V; 砷空心阴极灯电流: 60 mA; 汞空心阴极灯电流: 30 mA; 原子化器高度: 8 mm; 载气流量: 400 mL/min; 屏蔽气流量: 800 mL/min; 读数时间 7.0 s; 延迟时间: 1.5 s。

(2) 原子吸收光谱条件

光源: Cr 空心阴极灯; 波长: 357.9 nm; 灯电流: 10 mA; 狭缝宽度: 0.7 nm; 燃烧头高度: 9 mm, 火焰: 空气-乙炔; 助燃气流量: 15 L/min; 燃气流量: 2.5 L/min; 氘灯背景校正。

光源: Cd 空心阴极灯; 波长: 228.8 nm; 灯电流: 8 mA; 狭缝宽度: 0.7 nm; 燃烧头高度: 7 mm, 火焰: 空气-乙炔; 助燃气流量: 15 L/min; 燃气流量: 1.8 L/min; 氘灯背景校正。

光源: Pb 空心阴极灯; 波长: 283.3 nm; 灯电流: 10 mA; 狭缝宽度: 0.7 nm; 燃烧头高度: 7 mm, 火焰: 空气-乙炔; 助燃气流量: 15 L/min; 燃气流量: 2.0 L/min; 氘灯背景校正。

3　结果与分析

3.1　样品检测总体情况

对 100 批次样品进行总砷、铅、铬、汞和镉 5 种重金属检测(检测结果见表 1), 依据《饲料卫生标准》判定, 累计共有 30 批次样品超标(超标样品情况见表 2)。

总砷检测结果在 0~8.538 mg/kg 之间, 平均含量为 0.53 mg/kg。其中总砷含量大于 2 mg/kg 的样品共有 4 批次, 占总样本比例为 4%, 4 批次样品均为含植物提取物的混合型饲料添加剂; 总砷含量最高的样品为一种含有姜黄油树脂的混合型饲料添加剂, 总砷含量为 8.54 mg/kg, 是总砷限量值的 4.27 倍。

铅的检测结果在 0~20.33 mg/kg 之间, 平均含量为 1.55 mg/kg。其中含量大于 10 mg/kg 的样品共有 2 批次, 数值为 20.33 mg/kg 和 20.11 mg/kg, 占总样本比例为 2%, 分别是一种含植物提取物的多种维生素和含姜黄树脂的混合型饲料添加剂。

铬的检测结果在 0~927.63 mg/kg 之间, 平均含量为 2.41 mg/kg。其中含量大于 5 mg/kg 的样品有 24 批次, 占总样本比例为 24%, 其中一个中草药动物抗应激添加剂样品中铬的含量高达 927.63 mg/kg, 是铬限量值的 464 倍, 其次是一个含植物提取物的多种维生素和一个含姜黄油树脂的混合型饲料添加剂的样品, 铬含量值分别为 35.17 mg/kg 和 20.31 mg/kg, 24 批次高铬样品中有 15 批次是天然植物原料, 有 9 批次是含植物提取物的混合型饲料添加剂。

汞的检测结果在 0~3.36 μg/kg 之间, 依据《饲料卫生标准》判定均未超标。有 4 批次样品检出含量较低的汞, 4 批次样品都是含植物提取物的混合型饲料添加剂。

镉含量较低, 火焰原子吸收法未检出。

表 1　植物提取物中重金属检测结果

Table 1　The results of heavy metals in plant extracts

项目	含量范围	平均值/(mg/kg)	限量值/(mg/kg)	超限量值批次
总砷	ND~8.538 mg/kg	0.53 mg/kg	2	4
铅	ND~20.33 mg/kg	1.55 mg/kg	10	2
汞	ND~3.36 μg/kg	0.068 μg/kg	0.1	0
镉	ND	—	1	—
铬	ND~927.63 mg/kg	2.41 mg/kg	5	24

表 2 重金属含量超限量值样品表

Table 2 The sample table of heavy metal content exceeding the limit value

检测项目	样品名	含量/(mg/kg)
铬	混合型饲料添加剂淫羊藿提取物	6.06
	混合型饲料添加剂杜仲叶提取物糖萜素淫羊藿提取物	5.03
	混合型饲料添加剂杜仲叶提取物糖萜素淫羊藿提取物	6.12
	植物提取物混合型添加剂	35.17
	蒲公英、红三叶草	8.91
	蒲公英、甘草	7.88
	蒲公英、黄芪	6.18
	蒲公英、女贞子	7.09
	蒲公英、知母	7.52
	蒲公英、女贞子	7.88
	红三叶草、苦木、蒲公英	8.61
	红三叶草、黄芪、蒲公英	10.31
	蒲公英、甘草、杜仲叶	7.64
	苦木、杜仲叶、女贞子	7.40
	诃子、甘草	7.88
	葛根、黄芪、山楂	10.07
	杜仲叶、山楂	8.97
	杜仲叶、山楂、葛根	9.16
	蒲公英、杜仲叶、苦木	8.85
总砷	植物提取物混合型添加剂	927.63
	混合型饲料添加剂食品用香料(姜黄油树脂)	20.31
	新金金(植物精油)	8.12
	蛋白质改良剂	14.31
	益长素	7.4
	杜仲叶提取物蒲公英提取物产品	2.47
	混合型饲料添加剂淫羊藿提取物	2.53
	混合型饲料添加剂食品用香料(姜黄油树脂)	8.54
	新金金(植物精油)	2.33
铅	植物提取物混合型添加剂	20.33
	混合型饲料添加剂食品用香料(姜黄油树脂)	20.11

3.2 主要生产企业样品的检测情况

本次天然植物饲料原料及粗提物样本的采集主要集中在 3 个生产单位，企业 A 中采集了 19 批次，企业 B 中采集了 18 批次，企业 C 中采集了 28 批次，3 个企业采集的样数量占样品总数的 65%。

企业 A 样品中总砷的平均值为 0.84 mg/kg，是企业 B 样品中总砷的平均值的 3.36 倍，是企业 C 样品中总砷的平均值的 3.11 倍。企业 A 样品中铅的平均值为 1.25 mg/kg，是企业 B 样品中铅的平均值的 4.17 倍，企业 C 样品中铅未检出。企业 A 样品中铬的平均值为 6.54 mg/kg，是企业 B 样品中铬的平均值的 17.21 倍，是企业 C 样品中铬的平均值的 24.22 倍，企业 A 样品中铬的最高含量为 10.31 mg/kg，19 个样品中有 15 个样品铅含量大于 5 mg/kg，而另外 2 个生产单位中的样品铬含量均小于 5 mg/kg(见表 3)。

通过对比 3 个生产单位中天然植物饲料原料及粗提物样本中重金属的检测结果可以看出，企业 A 样品中重金属含量普遍高于企业 B 和企业 C，尤其是重金属铬，含量大于 5 mg/kg 的样品占 79%。企业 A 中天然植物饲料原料重金属含量高的原因可能是由于原料生长环境受到了重金属污染，也可能是植物原料的采集、运输、仓储过程中重金属污染，对于粗提物重金属含量高还有可能是加工粉碎等过程中机器磨损带入及提取工艺流程中溶剂带入。因此建议企业 A 严格把控植物原料的质量，认真对待原材料的运输和仓储，同时也要提高植物提取物加工过程中重金属的脱除技术。

表 3 天然植物饲料原料及粗提物重金属检测结果对比

Table 3 Thecomparison of heavy metal results ofnatural plant feedstuffs and crude extract

生产单位	总样本	检测项目	平均值/(mg/kg)	含量范围/(mg/kg)
企业 A	19	总砷	0.84	0.02-1.95
		铅	1.25	0-5.79
		铬	6.54	0-10.31
企业 B	18	总砷	0.25	0.02-1.54
		铅	0.30	0-5.42
		铬	0.38	0-4.12
企业 C	28	总砷	0.27	0.02-0.61
		铅	—	ND
		铬	0.27	0-4.37

3.3 样品超标原因分析

本次测定结果可看出，植物提取物中的重金属大部分未检出，个别样品检出但含量较低，天然植物原料和含植物提取物的混合型饲料添加剂中重金属砷、铅、镉、汞的含量较植物提取物中的含量高很多，个别样品污染较严重，重金属铬的污染最严重，含量大于 5 mg/kg 的有 24 批

次，其中有 15 批次是天然植物原料，铬平均含量为 7.17 mg/kg, 有 9 批次是含植物提取物的混合型饲料添加剂产品，铬平均含量为 114.46 mg/kg, 需要引起重视并做进一步风险评估。值得注意的是，其中一个含姜黄油树脂的混合型饲料添加剂样品中的砷、铅、铬含量都较高，另一个含植物提取物的多种维生素样品中铅、铬含量也很高，尤其一个中草药动物抗应激添加剂的铬含量高达 927.63 mg/kg, 这 3 个样品都属于含植物提取物的混合型饲料添加剂。天然植物原料铬超标的原因可能是植物原料的生长环境或加工过程受到了污染，含植物提取物的混合型饲料添加剂重金属含量较高的原因有可能是植物原料的生长环境受到了污染，也有可能是产品中的辅料(载体稀释剂)中重金属含量较高，还有可能是生产加工过程中不锈钢机器设备受腐蚀磨损造成，这个中草药动物抗应激添加剂样品的高铬污染原因更有可能是设备磨损造成的。

4 结　论

目前市场上的植物提取物产品种类繁多、来源广泛，调查监测是一个系统的工作，建议监测市场销量相对较高的产品，同种类型样本抽取足够多，以发现规律，对天然植物提取物样本应追溯其生长地及加工方式。建议出台相关的卫生标准，规定重金属的最大限量值，以便于监督生产管理。

饲料中过多的重金属元素会被畜禽机体吸收并蓄积在组织中，过多无法代谢的重金属元素便随粪便排入环境[16]。畜禽组织中积累的重金属会直接影响畜产品安全并通过食物链直接危害人类健康[17]; 随粪便排入环境的重金属元素也会在土壤中蓄积，会对水质、农作物及其农产品造成污染，经过食物链浓缩最终进入人体，从而危害人类健康[18,19]。鉴于食物链的危害，需从源头做起，积极推行天然植物饲料原料的无公害化种植，减少农药、化肥的使用，积极改进加工工艺等，最大限度地减少污染。植物提取物已被广泛应用于食品添加剂、饲料添加剂、农药杀虫剂、医药等领域,确保植物提取物的卫生安全，就能从源头上控制并保障食品安全。

参考文献

[1] 张玲玲, 冯杰, 李慧, 等. 植物精油与丁酸钠复合制剂对断奶仔猪生长性能、血清抗氧化指标、粪便菌群及氨逸失的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(2): 678–684.
Zhang LL, Feng J, Li H, *et al*. Effects of plant essential oil and sodium butyrate compound preparation on growth performance, serum antioxidant indices, fecal flora and ammonia loss of weaner piglets [J]. Chin J Anim Nutr, 2018, 30(2): 678–684.

[2] 王亮, 梁代华, 杨运玲, 等. 4 种抗生素替代产品对断奶仔猪生长性能、血液生化及免疫性能的影响[J]. 饲料研究, 2015, 6: 53–56.
Wang L, Liang DH, Yang YL, *et al*. Effects of four antibiotic substitutes on growth performance, blood biochemical and immune performance of weaned piglets [J]. Feed Res, 2015, 6: 53–56.

[3] 肖传明, 刘志成. 新型猪用植物提取物饲料添加剂对断奶仔猪生产性能及血液生化指标的影响[J]. 饲料工业, 2014, 35(20): 7–10.
Xiao CM, Liu ZC. Effects of novel swine plant extracts feed additive on the production performance and blood biochemical parameters of weaning piglet [J]. Feed Ind, 2014, 35(20): 7–10.

[4] 纪少丽, 李爱花, 姜洁凌. 饲料中添加植物提取物对断奶–育肥猪生长性能及胴体品质的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2013, 49(8): 61–67.
Ji SL, Li AH, Jiang JL. Effects of plant extracts on growth performance and carcass quality of weaning–fattening pigs [J]. Chin J Anim Sci, 2013, 49(8): 61–67.

[5] 颜陶, 王思宇, 杨小军, 等. 胡芦巴粉对肉仔鸡生长性能、肉品质、免疫器官指数及血清抗氧化和生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2017, 29(9): 3248–3257.
Yan T, Wang SY, Yang XJ, *et al*. Effects of fenugreek powder on growth performance, meatquality, immune organ indexes, serum antioxidant and biochemical parameters of broilers [J]. Chin J Anim Nutr, 2017, 29(9): 3248–3257.

[6] 刘大林, 王奎, 杨俊俏, 等. 迷迭香精油对京海黄鸡生长性能、肉品质及抗氧化指标影响的研究[J]. 中国畜牧杂志, 2014, 50(11): 65–68.
Liu DL, Wang K, Yang JQ, *et al*. Effects of Rosemary essential oil on growth performance, meat qualityand antioxidant index of Jinghai yellow chicken [J]. Chin J Anim Sci, 2014, 50(11): 65–68.

[7] 杨耀翔, 杨玉, 董晓芳, 等. 苜蓿多糖对不同性别肉仔鸡生长性能、屠宰性能、肉品质及抗氧化性能的影[J]. 动物营养学报, 2017, 29(2): 488–501.
Yang YX, Yang Y, Dong XF, *et al*. Effects of Alfalfapolysaccharide on growth performance, slaughter performance, meatquality and antioxidant ability in male and female broilers [J]. Chin J Anim Nutr, 2017, 29(2): 488–501.

[8] 常晓红, 李静. 浅论中药与重金属[J]. 中国药业, 2011, 20(10): 79–80.
Chang XH, Li J. Analysis of traditional Chinese medicine and heavy metals [J]. Chin Pharm, 2011, 20(10): 79–80.

[9] 高锐. 黄连饮片中小檗碱的提取与重金属去除工艺的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2012.
Gao R. Studies on extraction of berberine and removal of heavy metal from *Coptischinensist* Franch [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2012.

[10] 胡国辉, 谭丽盈, 梁文能. ICP–MS 同时测定不同产地制草乌药材中 6 种重金属的含量及聚类分析[J]. 实用药物与临床, 2020, 23(2): 165–169.
Hu GH, Tan LY, Liang WN. Simultaneous determination of six heavy metal elements of processed kusnezoffmonkshood from different localities by ICP–MS and system cluster analysis [J]. Practical Pharm Clin Remedies, 2020, 23(2): 165–169.

[11] 孔丹丹, 李歆悦, 闫卉欣, 等. 药食两用植物药中重金属污染及其健康风险评估模型的建立—以黄芪、党参、昆布为例[J]. 中国中药杂志, 2019, 44(23): 5042–5050.
Kong DD, Li XY, Yan HX, *et al*. Establishment of health risk assessment model for assessing medicinal andedible plants contaminated by heavy metals—take astragali radix, codonopsis radix and laminariae thallus as examples [J]. China J Chin Materia Med, 2019, 44(23): 5042–5050.

[12] 张立兵. 具有脱除中药中重金属功能的仿生材料的合成与应用[D]. 天津: 天津理工大学, 2013.
Zhang LB. Synthesis and application of biomimetic materials with the function of removing heavy metals from traditional Chinese medicine [D]. Tianjin: Tianjin University of Technology, 2013.

[13] 魏帅, 郭波莉, 魏益民, 等. 铅在猪不同组织和器官中的富集状态[J]. 中国兽医学报, 2009, 29(11): 1459–1462.
Wei S, Guo BL, Wei YM, *et al*. Enrichment of Lead in different tissues and organs of pigs[J]. Chin J Vet Sci, 2009, 29(11): 1459–1462.

[14] Rehman SU. Lead–exposed increase in movement behaviorand brain lipid peroxidation in fish [J]. J Environ Sci Health Part A, 2003, 38(4): 631–643.

[15] Kan CA, Meijer GA. The risk of contamination of food withtoxic substances present in animal feed [J]. Anim Feed Sci Technol, 2007, 133: 84–108.

[16] 奉向东, 邓激光. 饲粮中高铜高锌在组织中残留及排泄规律的研究[J]. 检验检疫学刊, 2009, 19(1) ;21–23.
Feng XD, Deng JG. Study on the residue and excretion of high copper and high zinc in the diet [J]. J Inspection Quarantine, 2009, 19(1), 21–23.

[17] 唐志刚, 温超, 周岩民. 动物源性食品重金属污染现状及其饲料控制技术[J]. 粮食与饲料工业, 2012, (5): 42–44.
Tang ZG, Wen C, Zhou YM. Heavy metal pollution of animal food and its feed control technology [J]. Cereal Feed Ind, 2012, (5): 42–44.

[18] 姜萍, 金盛杨, 郝秀珍, 等. 重金属在猪饲料—粪便—土壤—蔬菜中的分布特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(5): 942–947.
Jiang P, Jin SY, Hao XZ, *et al*. Distribution characteristics of heavy metals in pig feed–manure–soil–vegetable [J]. J. Agro–Environ Sci, 2010, 29(5): 942–947.

[19] 郑孝成, 钱仲仓, 杨泉灿. 规模化养猪场周边土壤重金属污染及防控[J]. 上海畜牧兽医通讯, 2013, (2): 58–59.
Zheng XC, Qian ZC, Yang QC. Heavy metal pollution and control of soil around large–scale pig farms [J]. Shanghai J Anim Husb Vet Med, 2013, (2): 58–59.

(责任编辑: 王 欣)

作者简介

于治芹, 助理研究员, 主要研究方向为饲料及畜产品质量安全
E-mail: 514470057@qq.com

谷 旭, 副研究员, 主要研究方向为饲料及畜产品安全风险评估
E-mail: guxu@caas.cn