



**猪粪中重金属元素含量及其变化特征分析**

沈丰菊, 韩建华, 赵润, 张克强

引用本文:

沈丰菊, 韩建华, 赵润, 等. 猪粪中重金属元素含量及其变化特征分析[J]. *农业资源与环境学报*, 2021, 38(3): 466–474.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0349>

**您可能感兴趣的其他文章**

Articles you may be interested in

**西藏一江两河流域中部地区土壤重金属生态风险评价**

王伟鹏, 卢宏伟, 冯三三

*农业资源与环境学报*. 2020, 37(6): 970–980 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0421>

**不同种类有机物对污染农田土壤重金属活性的影响**

倪中应, 邱志腾, 石一珺, 章明奎

*农业资源与环境学报*. 2017, 34(6): 517–524 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0146>

**冻融作用对猪粪模拟施肥条件下东北黑土中重金属铜锌活性的影响**

徐聪珑, 贾丽, 张璐, 刘秋萌, 谢忠雷

*农业资源与环境学报*. 2015(3): 229–234 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2014.0380>

**基于多目标元素的重金属低累积水稻品种筛选及其吸收转运特征**

冯爱焯, 贺红周, 李娜, 李伟, 魏世强, 蒋珍茂

*农业资源与环境学报*. 2020, 37(6): 988–1000 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0617>

**红叶甜菜-花生和油葵-花生轮作修复土壤Cd的能力**

涂鹏飞, 谭可夫, 陈璘涵, 杨洋, 袁婧, 陈奕暄, 杨耀东, 曾清如

*农业资源与环境学报*. 2020, 37(4): 609–614 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0065>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

沈丰菊, 韩建华, 赵润, 等. 猪粪中重金属元素含量及其变化特征分析[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(3): 466-474.

SHEN Feng-ju, HAN Jian-hua, ZHAO Run, et al. Research on the contents and change characteristics of heavy metals in swine manure [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(3): 466-474.



开放科学 OSID

## 猪粪中重金属元素含量及其变化特征分析

沈丰菊<sup>1</sup>, 韩建华<sup>2</sup>, 赵润<sup>1</sup>, 张克强<sup>1\*</sup>

(1. 农业农村部环境保护科研监测所, 天津 300191; 2. 天津市农业环境保护管理监测站, 天津 300061)

**摘要:**为研究猪粪中重金属含量及其变化特征,以天津市某猪场为例,连续4年开展猪粪中7种主要重金属的定位监测,分析猪粪中重金属元素含量及其季节性和周年性变化规律。结果表明:猪粪中重金属种类以锌(Zn)、铜(Cu)、铬(Cr)为主,平均含量分别为 $(1\ 192.37\pm 153.33)$ 、 $(188.67\pm 40.53)$   $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $(83.76\pm 58.79)$   $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,铅(Pb)、镉(Cd)、砷(As)和汞(Hg)含量相对较低,平均含量分别为 $(4.51\pm 2.57)$ 、 $(0.98\pm 0.75)$ 、 $(0.22\pm 0.04)$   $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $(0.021\pm 0.004)$   $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。猪粪中主要重金属含量在不同年份、不同季节均表现出一定的差异性:Zn含量的年度差异在秋季最小、冬季最大;Cu含量年度差异在春季最小、夏季最大;Cr含量年度差异在秋季最小、夏季最大;Pb含量年度差异在冬季最小、夏季最大;Cd含量年度差异在夏季最小、秋季最大;不同季节As和Hg含量的年度差异均表现明显,且在冬季差异最大。研究表明,猪粪中重金属含量受季节、生长阶段、饲料配比以及防病抗病等因素的影响,应从源头严格控制饲料添加剂的用量,确保猪粪的高效资源化利用和粪肥的农田安全利用。

**关键词:**猪粪;重金属;变化特征;定位监测

中图分类号:X713

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2021)03-0466-09

doi: 10.13254/j.jare.2020.0349

### Research on the contents and change characteristics of heavy metals in swine manure

SHEN Feng-ju<sup>1</sup>, HAN Jian-hua<sup>2</sup>, ZHAO Run<sup>1</sup>, ZHANG Ke-qiang<sup>1\*</sup>

(1. Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin 300191, China; 2. Tianjin Agricultural Environmental Protection and Management Monitoring Station, Tianjin 300061, China)

**Abstract:** Large amounts of feces are produced on pig farms in China, most of which is fermented to produce organic manure that is subsequently applied to farmland. In order to address environmental concerns regarding the contamination of soil by heavy metal residues and to apply livestock manure in a reasonable manner, it is of considerable practical importance to monitor and analyze the contents and change characteristics of heavy metals in pig manure. In this study, we monitored the contents and seasonal and annual changes of seven major heavy metals in swine manure over a period of 4 years at a swine farm in Tianjin. The results showed that zinc, copper, and chromium were the main heavy metals in swine manure, with average contents of  $(1\ 192.37\pm 153.33)$ ,  $(188.67\pm 40.53)$   $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  and  $(83.76\pm 58.79)$   $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectively. The contents of lead, cadmium, arsenic, and mercury were found to be comparatively lower, with average contents of  $(4.51\pm 2.57)$ ,  $(0.98\pm 0.75)$ ,  $(0.22\pm 0.04)$   $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  and  $(0.021\pm 0.004)$   $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectively. Our results revealed that contents of the main heavy metals in swine manure differed according to year and season, which was found to be related to differences in the growth stage of pigs and the corresponding feed proportions. For zinc, chromium, lead, and cadmium, the differences between years were less pronounced than

收稿日期:2020-07-02 录用日期:2020-07-30

作者简介:沈丰菊(1979—),女,青海平安人,硕士,助理研究员,主要从事规模化畜禽养殖场环境变化监测与污染物减排技术研究。

E-mail: shenfengju@sina.com

\*通信作者:张克强 E-mail: kqzhang68@126.com

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD0800100);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(22060302008004)

**Project supported:** National Key R&D Program of China(2018YFD0800100); Central Public Research Institutes Basic Funds for Research and Development (22060302008004)

those between seasons. For copper, the annual and seasonal differences were obvious, whereas for arsenic and mercury there were notable annual differences. Collectively, the results revealed that the contents of heavy metals in swine manure are affected by season, the feed ratio at different stages of pig growth, and disease prevention and resistance measures. These findings thus indicate that in order to meet the resource utilization of swine manure and the safe utilization of manure-based organic fertilizers on farmland, it is necessary to strictly control the amounts of additives used in feed.

**Keywords:** swine manure; heavy metal; change characteristics; location monitoring

我国是世界上生猪生产和消费大国。2016年世界生猪存栏量、出栏量和猪肉产量分别为78 483万头、119 212万头和10 820万t,而我国则分别达45 112万头、62 002万头和5 185万t,分别占世界总量的57.48%、52.01%和47.92%<sup>[1]</sup>。近年来,国家通过一系列政策法规引导,大力支持畜禽养殖业向集约化、规模化方向发展,一方面可以满足消费者越来越注重猪肉的品质和食品安全的需求,另一方面可以满足养殖场在环保压力以及各种资源束缚之下,对提高饲养水平、降低养殖成本、构筑产业链条的需要。目前,规模化、集约化养殖模式成为必然趋势,天津市生猪、奶牛、蛋鸡和肉鸡产业规模化养殖比例已分别达到85%、95%、90%和95%<sup>[2]</sup>。但随着畜禽养殖规模化、集约化发展,畜牧业对环境造成的污染也越来越严重,尤其是饲料中营养性微量元素的添加引发的畜产品安全问题及其对人畜健康的危害<sup>[3-4]</sup>,已经成为畜牧业健康可持续发展的瓶颈。为了提高畜禽生长效率、增强抗病能力,饲料生产企业和养殖场通常会在饲喂过程中添加一定量的微量元素添加剂,微量元素添加剂是畜禽粪便中重金属的主要来源。各类添加剂均含有不同含量的重金属,而动物对大部分重金属的吸收程度有限,绝大部分重金属会随畜禽粪尿排体外<sup>[5]</sup>。Nicholson等<sup>[6]</sup>对英国境内的多种畜禽饲料和粪便样品的重金属含量测试结果表明,猪的不同生长阶段饲料中Zn和Cu的含量范围分别为150~2 920 mg·kg<sup>-1</sup>和18~217 mg·kg<sup>-1</sup>,而猪粪中Zn和Cu的平均含量分别为500 mg·kg<sup>-1</sup>和360 mg·kg<sup>-1</sup>。黄玉溢等<sup>[7]</sup>对广西规模化猪场饲料和粪便中重金属含量及其残留特征的研究发现,Zn和Cu在猪配合饲料中的平均含量分别为238.2 mg·kg<sup>-1</sup>和159.4 mg·kg<sup>-1</sup>,而猪粪中的平均含量分别为1 330.2 mg·kg<sup>-1</sup>和828.0 mg·kg<sup>-1</sup>。猪粪中含量较高的重金属主要为Cu和Zn<sup>[8-9]</sup>,除此之外还含有As、Hg、Pb、Cr、Cd等,这些重金属随粪肥施入土壤后,将造成土壤中重金属元素积蓄、污染,从而对植物以及土壤微生物产生毒害作用,引起正常代谢紊乱,影响植物的生长发育,并且土壤中的重金属随

降雨迁移至水体,亦将导致水体污染<sup>[10-12]</sup>。因此,本研究以天津市某猪场为例,开展猪粪中主要重金属元素含量长期定位监测及其变化规律分析,为畜禽养殖场粪污无害化处理和肥料化利用提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验监测点概况

本研究以天津市某猪场作为试验监测点。该猪场主要从事种猪养殖,占地48 024 m<sup>2</sup>,建有标准化养殖猪舍32栋,面积1.4万m<sup>2</sup>,生猪年存栏量约5 000头,繁殖母猪约550头,年出栏量约10 000头(优质种猪约3 000头,育肥商品猪约7 000头)。猪舍地面为水泥地板,清粪方式为人工干清粪,粪便收集率超过95%,猪场粪便集中收集后售卖。

### 1.2 采样方法

试验期内粪便样品采集点为猪舍外集粪池(鲜粪),监测周期为4年(2015年1月—2018年12月),每年春(4月)、夏(7月)、秋(10月)、冬(12月)四个季节采样,每个季节连续采样5 d。粪便样品采集与保存按照《畜禽粪便监测技术规范》(GB/T 25169—2010)中的规定执行。

### 1.3 测定项目

粪便样品的检测指标包括Cu、Zn、As、Hg、Pb、Cr、Cd 7种重金属。

### 1.4 样品处理及检测方法

粪便样品中Cu、Zn含量参照GB/T 17138—1997中规定的方法,Cr含量参照HJ 491—2009中规定的方法,Pb、Cd含量参照GB/T 17138—1997中规定的方法,采用TAS-990原子吸收分光光度计测定;As、Hg含量参照GB/T 22105.2—2008中规定的方法,采用SK-2003AZ非色散原子荧光光度计测定。

### 1.5 数据统计与分析

粪便样品的每项指标测定均设定3次平行,对3次平行数据取平均值作为检测结果;再对5 d数据取平均值作为当季最终检测结果。采用SPSS和Graphpad对粪便各项测定指标进行统计分析和作图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 猪粪中的重金属元素含量分析

试验监测点猪粪中Cu、Zn、As、Hg、Pb、Cr、Cd等7种主要重金属元素的平均含量如图1~图7所示。由图可知,猪场粪便中Zn含量最高,其次是Cu和Cr,Pb的含量较低,Cd、As和Hg的含量极低,甚至未检出。

Zn、Cu和Cr是猪粪中含量较高的3种重金属元素,它们在不同季节、不同年度的平均含量如图1~图3所示。结果显示:春季Zn、Cu和Cr的平均含量分别为 $(1\ 054.01 \pm 429.17)$ 、 $(160.32 \pm 79.30)$   $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $(40.87 \pm 31.47)$   $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,夏季分别为 $(1\ 191.23 \pm 599.80)$ 、 $(208.93 \pm 159.80)$   $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $(155.99 \pm 162.91)$   $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,秋季分别为 $(1\ 117.78 \pm 218.79)$ 、 $(149.81 \pm 88.30)$   $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

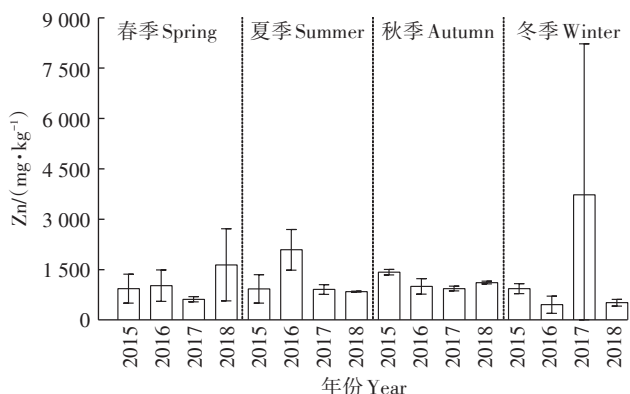


图1 猪粪中Zn含量年度季节变化

Figure 1 Content of Zn in swine manure in different years and seasons

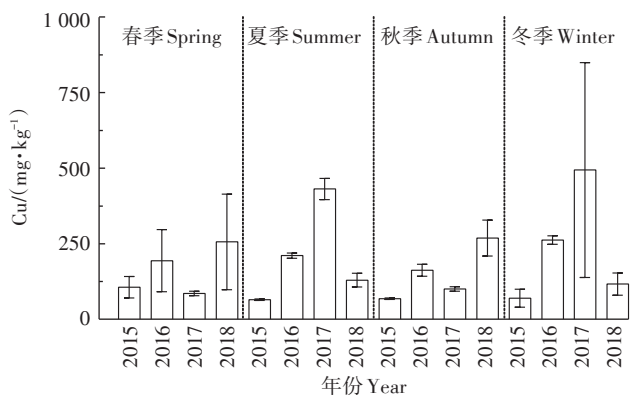
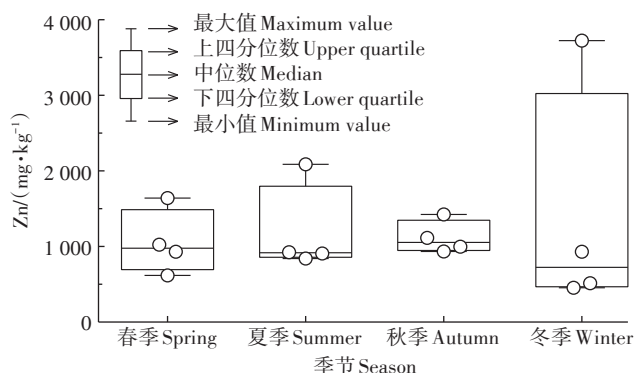


图2 猪粪中Cu含量年度季节变化

Figure 2 Content of Cu in swine manure in different years and seasons

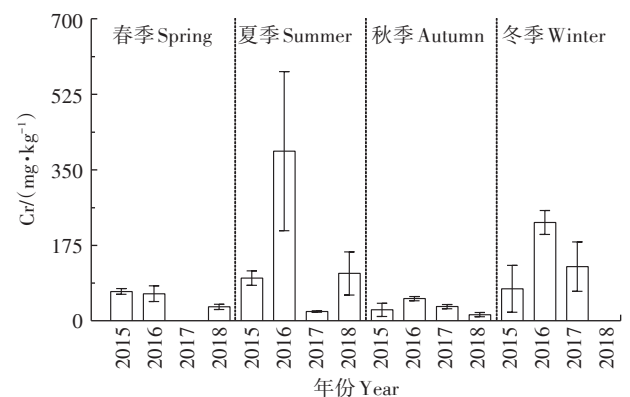
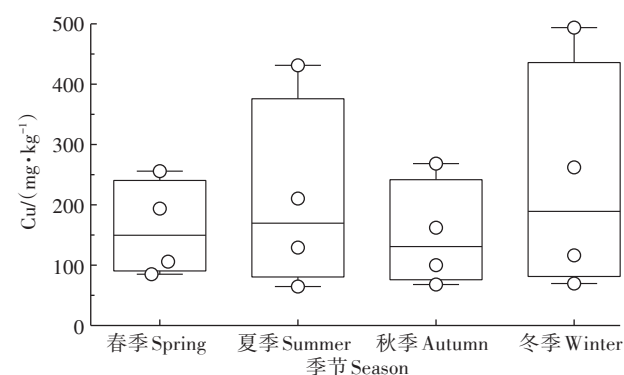
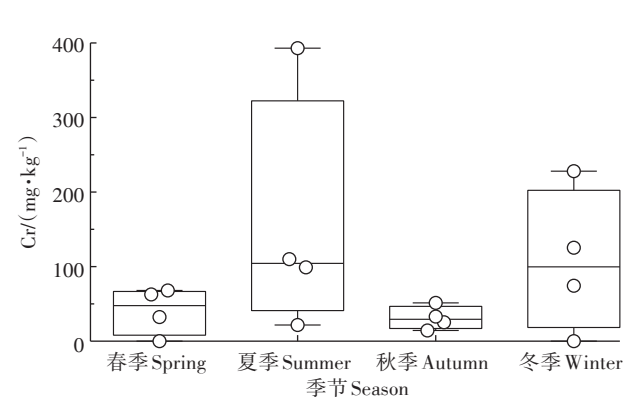


图3 猪粪中Cr含量年度季节变化

Figure 3 Content of Cr in pig manure in different years and seasons



$\text{kg}^{-1}$ 和 $(31.14\pm 15.59)\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,冬季分别为 $(1\ 406.44\pm 1\ 559.72)$ 、 $(235.60\pm 190.67)\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $(107.04\pm 95.86)\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。Pb在猪粪中的含量较低,Cd、As和Hg在猪粪中的含量极低,甚至未检出,它们在不同季节、不同年度的平均含量如图4~图7所示。结果显示:春季Pb、Cd、As和Hg的平均含量分别为 $(5.177\pm 4.750)$ 、 $(0.280\pm 0.284)$ 、 $(0.390\pm 0.385)\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $(0.021\pm$

$0.034)\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,夏季分别为 $(7.745\pm 8.869)$ 、 $(0.326\pm 0.263)$ 、 $(0.202\pm 0.222)\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $(0.027\pm 0.034)\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,秋季分别为 $(3.396\pm 2.630)$ 、 $(1.838\pm 2.591)$ 、 $(0.200\pm 0.211)\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $(0.017\pm 0.026)\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,冬季分别为 $(1.737\pm 0.556)$ 、 $(1.378\pm 1.887)$ 、 $(0.199\pm 0.312)\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $(0.021\pm 0.034)\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

随着我国规模化、集约化生猪养殖业的迅速发展

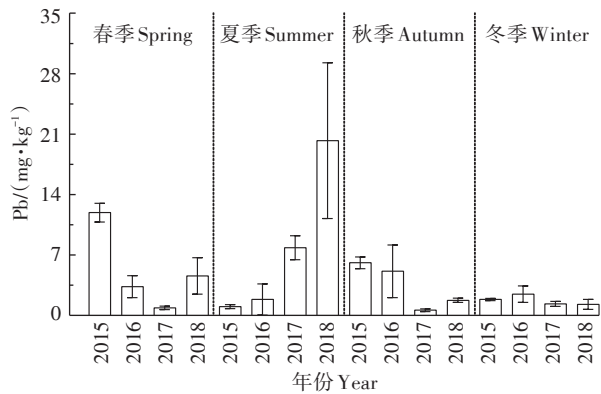


图4 猪粪中Pb含量年度季节变化

Figure 4 Content of Pb in swine manure in different years and seasons

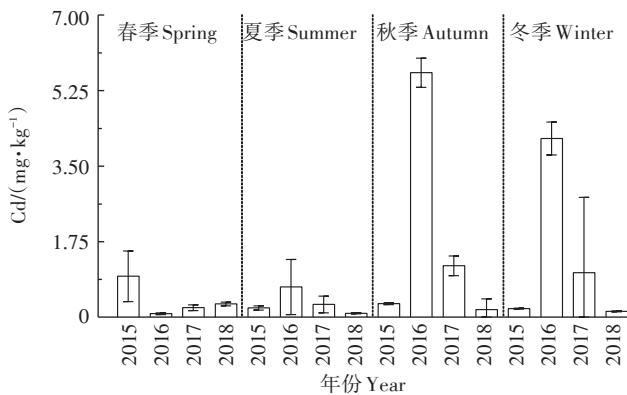
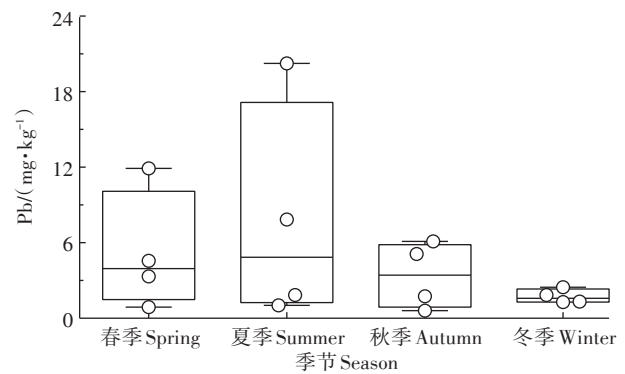


图5 猪粪中Cd含量年度季节变化

Figure 5 Content of Cd in swine manure in different years and seasons

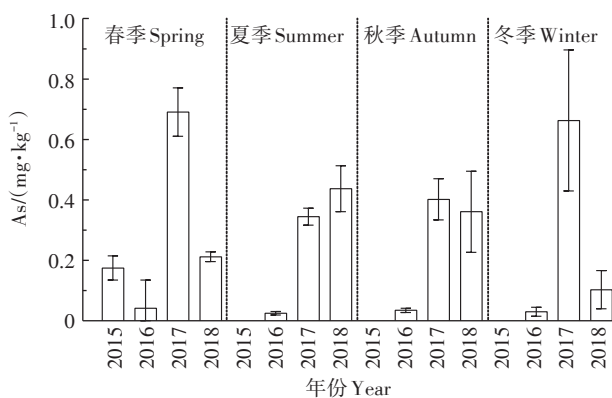
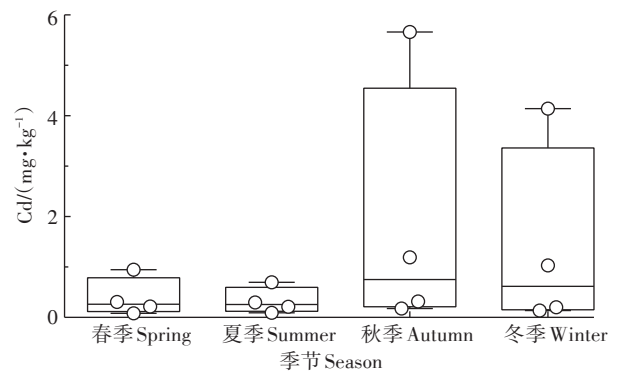
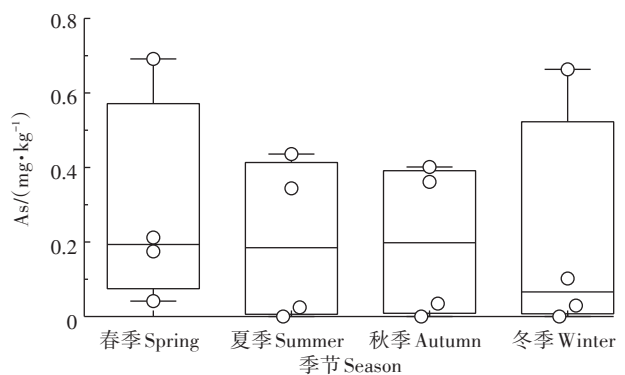


图6 猪粪中As含量年度季节变化

Figure 6 Content of As in swine manure in different years and seasons



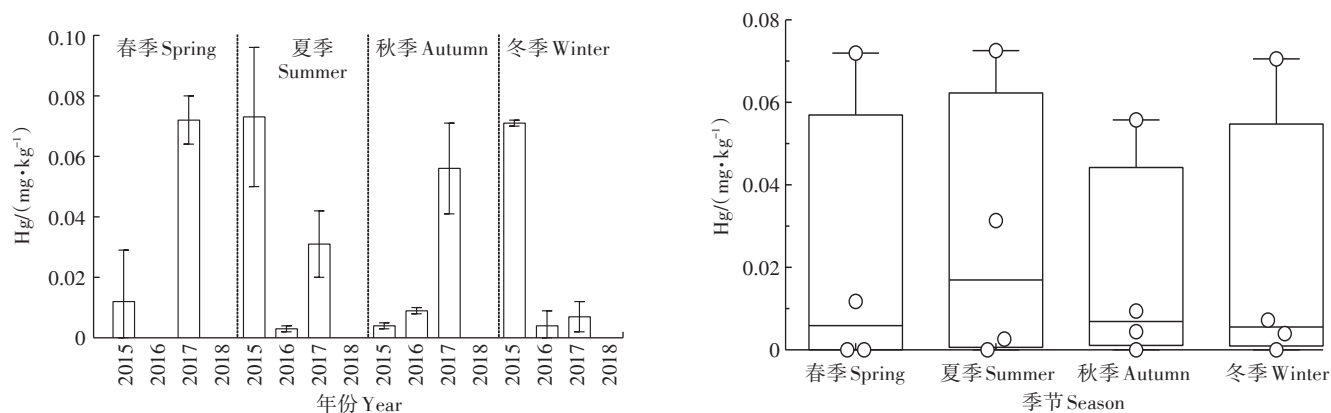


图7 猪粪中Hg含量年度季节变化

Figure 7 Content of Hg in swine manure in different years and seasons

展,一些微量重金属元素作为饲料添加剂也广泛应用于生猪养殖业。我国猪饲料添加剂中普遍含有Cu、Zn、Cr和As等重金属元素。朱建春等<sup>[13]</sup>对陕西省规模化猪场育肥猪饲料中重金属元素的测定结果显示,饲料中Cu和Zn的平均含量分别为185.56~368.75 mg·kg<sup>-1</sup>和392.26~906.25 mg·kg<sup>-1</sup>,Cr、As、Pb和Cd的平均含量分别为5.99~39.76、1.24~29.17、1.12~16.43 mg·kg<sup>-1</sup>和1.76~17.52 mg·kg<sup>-1</sup>;而猪粪中Cu和Zn的平均含量则分别为248.21~1 003.82 mg·kg<sup>-1</sup>和483.17~1 620.62 mg·kg<sup>-1</sup>,Cr、As、Pb和Cd的平均含量分别为10.32~63.79、0.93~28.37、2.55~14.88 mg·kg<sup>-1</sup>和1.71~16.64 mg·kg<sup>-1</sup>。潘寻等<sup>[14]</sup>对山东省规模化猪场不同生长阶段配合饲料中重金属含量的测定结果显示,饲料中Zn、Cu、As、Cr、Pd和Cd的平均含量分别为179.6~2 724.4、87.3~188.5、18.9~31.2、7.5~13.5、2.9~3.4 mg·kg<sup>-1</sup>和0.7~1.3 mg·kg<sup>-1</sup>;猪粪中Zn、Cu、As、Cr、Pd和Cd的平均含量分别为(1 908.6±3 061.6)、(472.8±302.0)、(36.5±69.1)、(12.3±23.5)、(2.9±0.6) mg·kg<sup>-1</sup>和(0.9±0.2) mg·kg<sup>-1</sup>。王飞等<sup>[15]</sup>对华北地区猪饲料中重金属含量的测定结果显示,饲料中Zn、Cu、Cr、Pb、As、Cd和Hg的平均含量分别为(544.85±924.25)、(136.36±103.58)、(8.52±7.52)、(4.88±3.73)、(1.42±3.20)、(0.02±0.01) mg·kg<sup>-1</sup>和(0.01±0.00) mg·kg<sup>-1</sup>;猪粪中Zn、Cu、Cr、Pb、As、Cd和Hg的平均含量分别为250.4~3 797.0、112.7~1 058.0、19.9~78.6、7.18~78.1、0.25~15.8、0.014~0.076 mg·kg<sup>-1</sup>和0.001~0.004 6 mg·kg<sup>-1</sup>。黄玉溢等<sup>[16]</sup>对广西多个规模化养猪场的猪粪样品进行检测,结果发现:猪粪中Zn、Cu和Cr的平均含量分别为1 042.6、760.7 mg·kg<sup>-1</sup>和18.9 mg·kg<sup>-1</sup>。索超等<sup>[17]</sup>对北京多个区县的集约化生猪养殖场的畜

禽粪便样品的检测结果显示:猪粪中Zn的平均含量为2 333.97 mg·kg<sup>-1</sup>,变化范围为458.21~14 031.79 mg·kg<sup>-1</sup>。董占荣等<sup>[18]</sup>对杭州市郊规模化养殖场猪粪中重金属含量测定结果显示:猪粪中Zn和Cu的平均含量分别高达1 064.00 mg·kg<sup>-1</sup>和1 018.00 mg·kg<sup>-1</sup>。朱泉雯<sup>[19]</sup>调查分析了太湖流域西岸区域养猪场的粪便重金属含量,结果显示:猪粪中Zn、Cu和Cr的平均含量分别达6 455.46、1 082.47 mg·kg<sup>-1</sup>和199.61 mg·kg<sup>-1</sup>,猪粪中Pb、Cd和As的平均含量分别为421.24、28.34 mg·kg<sup>-1</sup>和42.46 mg·kg<sup>-1</sup>。本研究试验猪场猪粪中主要重金属含量与其研究结果相比,差异较大,这可能与地域、猪品种以及饲料配方等存在差异有关。由此可见,饲料重金属含量是猪粪中重金属的主要来源,猪粪中重金属含量随饲料中重金属含量的变化而变化。饲料中微量重金属元素的添加可预防动物疾病和促进动物生长,但由于动物对重金属元素的吸收利用率低,添加在饲料中的重金属在动物体内沉积量很少,绝大多数重金属元素经动物排泄物排出体外,进而随着粪肥施用 in 土壤中积蓄,使土壤中的重金属含量大幅提升,对土壤、水体环境以及农产品质量安全造成危害。研究结果表明,猪粪中重金属含量与饲料中重金属含量之间总体呈正相关<sup>[20]</sup>,特别是在育肥阶段饲料中Cu和Zn的含量与猪粪中Cu和Zn的含量呈极显著正相关( $P<0.01$ ),饲料中As的含量与粪便中As的含量呈正相关,但相关性不显著( $P>0.05$ );华北地区畜禽粪便与饲料中重金属相关性分析结果显示,畜禽粪便中重金属Zn、Cu、Cd、Cr的含量与饲料中重金属含量呈极显著正相关( $P<0.01$ ),Pb和As呈显著正相关( $P<0.05$ )<sup>[15]</sup>。

## 2.2 猪粪中重金属元素变化特征分析

猪粪中主要重金属含量在不同年份、不同季节均

表现出一定的差异性,这可能与猪的生长阶段、饲料配比等因素有关。不同季节和不同年度猪粪中Zn、Cu和Cr含量差异性分析见表1~表3。结果显示:Zn含量的年度差异在秋季最小、冬季最大,变异系数分别为19.6%和110.9%,离散系数分别为0.144和1.274;Cu含量的年度差异在春季最小、冬季最大,变异系数分别为49.5%和80.9%,离散系数分别为0.431和0.752;Cr含量的年度差异在秋季最小、夏季最大,变异系数分别为50.1%和104.4%,离散系数分别为0.380和0.914。Zn含量在2017年冬季明显偏

高,表现出极大的季节差异性,变异系数为94.4%,离散系数为0.851;Cu含量在2017年夏季和冬季明显高于春季和秋季,季节差异性较大,变异系数为77.5%,离散系数为0.696;Cr含量在2015年季节差异性最小,变异系数为45.8%,离散系数为0.280,而2016—2018年则季节差异性较大,变异系数分别为87.6%、122.8%和125.1%,离散系数分别为0.870、1.250和1.368。

不同季节、不同年度猪粪中Pb、Cd、As和Hg含量差异性分析见表4~表7。结果显示:猪粪中Pb含

表1 不同年度、季节猪粪中Zn含量对比( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )Table 1 Contents of Zn in different years and seasons of swine manure( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

季节/年份 Season/year	最大值 Maximum	最小值 Minimum	中位数 Median	平均值 Mean	离散系数 Discrete coefficient	变异系数 Coefficient of variation/%
春季 Spring	1 642.12	616.76	978.59	1 054.01±429.17	0.285	40.7
夏季 Summer	2 089.29	841.78	916.23	1 191.23±599.80	0.345	50.4
秋季 Autumn	1 426.41	934.08	1 055.32	1 117.78±218.79	0.144	19.6
冬季 Winter	3 724.14	453.80	723.91	1 406.44±1 559.72	1.274	110.9
2015	1 426.41	926.33	932.93	1 054.65±500.08	0.134	23.5
2016	2 089.29	453.80	1 010.52	1 141.03±684.57	0.411	60.0
2017	3 724.14	616.76	920.80	1 545.62±1 459.44	0.851	94.4
2018	1 642.12	515.10	977.70	1 028.16±476.87	0.358	46.4

表2 不同年度、季节猪粪中Cu含量对比( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )Table 2 Contents of Cu in different years and seasons of swine manure( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

季节/年份 Season/year	最大值 Maximum	最小值 Minimum	中位数 Median	平均值 Mean	离散系数 Discrete coefficient	变异系数 Coefficient of variation/%
春季 Spring	256.00	85.40	149.95	160.32±79.30	0.431	49.5
夏季 Summer	431.26	64.61	169.93	208.93±159.80	0.659	76.5
秋季 Autumn	268.58	68.19	131.24	149.81±88.30	0.500	58.9
冬季 Winter	498.86	69.90	189.33	235.60±190.67	0.752	80.9
2015	105.89	64.61	69.05	77.15±19.29	0.156	25.0
2016	262.22	162.31	202.30	207.29±41.74	0.144	20.1
2017	493.86	85.40	265.71	277.67±215.10	0.696	77.5
2018	268.58	116.43	192.63	192.57±81.84	0.362	42.0

表3 不同年度、季节猪粪中Cr含量对比( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )Table 3 Contents of Cr in different years and seasons of swine manure( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

季节/年份 Season/year	最大值 Maximum	最小值 Minimum	中位数 Median	平均值 Mean	离散系数 Discrete coefficient	变异系数 Coefficient of variation/%
春季 Spring	68.07	0	47.70	40.87±31.47	0.517	77.0
夏季 Summer	393.13	21.68	104.58	155.99±162.91	0.914	104.4
秋季 Autumn	51.49	14.39	29.35	31.14±15.59	0.380	50.1
冬季 Winter	228.28	0	99.93	107.04±95.86	0.699	89.6
2015	99.15	25.58	71.20	66.78±30.57	0.280	45.8
2016	393.13	51.49	145.64	183.97±161.14	0.870	87.6
2017	125.53	0	27.40	45.08±55.36	1.250	122.8
2018	110.00	0	23.40	39.20±49.03	1.368	125.1

表4 不同年度、季节猪粪中Pb含量对比( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )Table 4 Contents of Pb in different years and seasons of swine manure( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

季节/年份 Season/year	最大值 Maximum	最小值 Minimum	中位数 Median	平均值 Mean	离散系数 Discrete coefficient	变异系数 Coefficient of variation/%
春季 Spring	11.919	0.882	3.953	5.177±4.750	0.777	91.8
夏季 Summer	20.246	1.035	4.850	7.745±8.869	1.299	114.5
秋季 Autumn	6.102	0.607	3.438	3.396±2.630	0.644	77.4
冬季 Winter	2.476	1.287	1.593	1.737±0.556	0.268	32.0
2015	11.919	1.035	3.978	5.227±4.983	0.951	95.3
2016	5.118	1.857	2.902	3.195±1.417	0.354	44.4
2017	7.842	0.607	1.107	2.666±3.464	1.736	129.9
2018	20.246	1.287	3.169	6.968±8.971	1.718	128.8

表5 不同年度、季节猪粪中Cd含量对比( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )Table 5 Contents of Cd in different years and seasons of swine manure( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

季节/年份 Season/year	最大值 Maximum	最小值 Minimum	中位数 Median	平均值 Mean	离散系数 Discrete coefficient	变异系数 Coefficient of variation/%
春季 Spring	0.949	0.081	0.264	0.390±0.385	0.905	98.7
夏季 Summer	0.700	0.092	0.256	0.326±0.263	0.674	80.8
秋季 Autumn	5.665	0.179	0.754	1.838±2.591	2.111	141.0
冬季 Winter	4.141	0.136	0.618	1.378±1.887	1.959	136.9
2015	0.949	0.201	0.265	0.420±0.356	0.800	84.8
2016	5.665	0.081	2.421	2.647±2.690	0.932	101.7
2017	1.192	0.220	0.665	0.686±0.499	0.643	72.8
2018	0.308	0.092	0.158	0.179±0.093	0.411	52.1

表6 不同年度、季节猪粪中As含量对比( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )Table 6 Contents of As in different years and seasons of swine manure( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

季节/年份 Season/year	最大值 Maximum	最小值 Minimum	中位数 Median	平均值 Mean	离散系数 Discrete coefficient	变异系数 Coefficient of variation/%
春季 Spring	0.691	0.042	0.194	0.280±0.284	0.886	101.3
夏季 Summer	0.437	0	0.185	0.202±0.222	1.023	110.0
秋季 Autumn	0.402	0	0.198	0.200±0.211	0.919	105.9
冬季 Winter	0.663	0	0.067	0.199±0.312	2.767	157.0
2015	0.175	0	0	0.044±0.088	—	200.0
2016	0.042	0.025	0.033	0.033±0.007	0.169	22.0
2017	0.691	0.345	0.533	0.525±0.177	0.285	33.7
2018	0.437	0.103	0.287	0.278±0.150	0.421	53.8

表7 不同年度、季节猪粪中Hg含量对比( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )Table 7 Contents of Hg in different years and seasons of swine manure( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

季节/年份 Season/year	最大值 Maximum	最小值 Minimum	中位数 Median	平均值 Mean	离散系数 Discrete coefficient	变异系数 Coefficient of variation/%
春季 Spring	0.072	0	0.006	0.021±0.034	3.500	164.1
夏季 Summer	0.073	0	0.017	0.027±0.034	1.485	126.5
秋季 Autumn	0.056	0	0.007	0.017±0.026	2.346	151.3
冬季 Winter	0.071	0	0.006	0.021±0.034	3.364	164.8
2015	0.073	0.004	0.042	0.040±0.037	0.771	92.8
2016	0.009	0.000	0.004	0.004±0.004	0.714	93.5
2017	0.072	0.007	0.044	0.042±0.029	0.517	68.7
2018	0	0	0	0	—	—



量的年度差异在冬季最小、夏季最大,变异系数分别为32.0%和114.5%,离散系数分别为0.268和1.299;Cd含量的年度差异在春季和夏季明显小于秋季和冬季,夏季最小、秋季最大,变异系数分别为80.8%和141.0%,离散系数分别为0.674和2.111;As和Hg含量的年度差异在不同季节均表现明显,而在冬季差异最大,变异系数分别为157.0%和164.8%,离散系数分别为2.767和3.364。Pb含量在2016年季节性差异最小,变异系数为44.4%,离散系数为0.354,2017年和2018年夏季含量明显偏高,季节性差异较大,变异系数分别为129.9%和128.8%,离散系数分别为1.736和1.718;Cd含量在2016年秋季和冬季明显偏高,季节性差异较大,变异系数为101.7%,离散系数为0.932,2018年季节性差异最小,变异系数为52.1%,离散系数为0.411;As在2015年仅在春季有检出,而2017年和2018年明显偏高;Hg在2016年仅在春季未检出,在2018年则在四季均未检出,而在2017年春季和秋季以及2015年夏季和冬季明显偏高。

潘寻等<sup>[14]</sup>对山东省多家规模化猪场夏、冬两季的粪便样品进行检测,结果发现:猪粪中Zn、Cu、As、Cr、Pb和Cd的平均含量夏季分别为(1 305.4±1 962.6)、(456.2±298.8)、(34.4±65.6)、(16.9±32.4)、(2.8±0.5)mg·kg<sup>-1</sup>和(0.8±0.1)mg·kg<sup>-1</sup>,冬季分别为(2 511.8±3 782.5)、(489.4±306.6)、(38.6±72.9)、(7.7±5.3)、(2.9±0.7)mg·kg<sup>-1</sup>和(1.0±0.2)mg·kg<sup>-1</sup>,Cu、As、Pb的含量冬季和夏季差异不显著( $P>0.05$ ),Cd的含量冬季显著高于夏季( $P<0.05$ ),Zn的含量冬季明显高于夏季,差异极显著( $P<0.01$ ),郭建凤等<sup>[21]</sup>研究表明,Zn作为饲料添加剂能有效降低猪腹泻病的发病率,冬季气温较低,猪舍环境潮湿又寒冷,极易发生猪腹泻病。因此,冬季猪场往往会增加饲料Zn的添加量,造成冬季猪粪中Zn含量明显增加,同时,Cd和Zn常常伴生存在,所以冬季和夏季Cd和Zn在猪粪中的含量差异呈现出相同的变化规律。夏季猪粪中Cr的含量高于冬季,Cr的含量夏季明显高于冬季,差异极显著( $P<0.01$ )。为防止夏季高温影响猪的生长育肥和热调节能力,夏季猪场通常会在饲料中补充一定量的含Cr添加剂,以缓解猪的高温应激作用,提高猪的生长性能<sup>[22]</sup>。本研究所得结果与前人结论一致,但Pb含量略高且存在较明显的季节差异。研究表明,猪粪中重金属含量受季节、生长阶段、饲料配比以及防病抗病等因素的影响。过量使用含重金属添加剂的猪饲

料,造成了猪粪中重金属元素含量的蓄积,制约猪粪的资源化利用。为实现规模化猪场粪污安全、合理的资源化利用,需要从源头严格控制饲料重金属添加剂的种类和用量,同时开展猪粪中重金属含量的长期定位监测,确保粪肥的农田安全利用。

### 3 结论

(1)Zn和Cu是猪粪中含量最高的两种重金属元素,平均含量分别为(1 192.371±153.33)、(188.67±40.53)mg·kg<sup>-1</sup>,这与饲料中营养性微量元素的添加有关,其次是Cr、Pb、Cd,平均含量分别为(83.76±58.79)、(4.51±2.57)、(0.98±0.75)mg·kg<sup>-1</sup>,As和Hg含量极低或未检出,平均含量分别为(0.22±0.04)mg·kg<sup>-1</sup>和(0.021±0.004)mg·kg<sup>-1</sup>。

(2)猪粪中主要重金属含量在不同年份、不同季节均表现出一定的差异性,这与猪的生长阶段、饲料配比等因素有关。

(3)重金属在猪的生长代谢过程中有逐渐被富集的趋势,导致猪粪中的重金属含量远高于饲料中的重金属含量,猪饲料中过量的重金属添加剂导致猪粪中重金属残留量增加,带来较高环境风险,制约粪便的资源化利用。因此,在猪粪作为有机肥施用到土壤的过程中,必须开展长期定位监测,实时掌握猪粪以及由猪粪制备成的有机肥中重金属的含量,以降低有机肥施用过程中的环境风险。

### 参考文献:

- [1] 虞华,张士洲,虞丽娜. 2016年生猪市场回顾及2017年形势展望[J]. 中国畜牧业, 2017(4): 35-38. YU Hua, ZHANG Shi-zhou, YU Li-na. Review of pig market in 2016 and prospect in 2017[J]. *China Animal Industry*, 2017(4): 35-38.
- [2] 魏秀芬. 从天津畜牧业粪污治理中我们能学到什么?[J]. 北方牧业, 2017(21): 9. WEI Xiu-fen. What can we learn from the treatment of livestock manure in Tianjin?[J]. *Bei Fang Mu Ye*, 2017(21): 9.
- [3] 张树清,张夫道,刘秀梅,等. 规模化养殖畜禽粪便主要有害成分测定分析研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(6): 822-829. ZHANG Shu-qing, ZHANG Fu-dao, LIU Xiu-mei, et al. Determination and analysis on main harmful composition in excrement of scale livestock and poultry feedlots[J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2005, 11(6): 822-829.
- [4] Chen S Y, Lin J G. Bioremediation of heavy metals from livestock sludge by indigenous sulfur-oxidizing bacteria: Effects of sludge solids concentration[J]. *Chemosphere*, 2004, 54(3): 283-289.
- [5] 姚丽贤,李国良,党志. 集约化养殖畜禽粪中主要化学物质调查[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1989-1992. YAO Li-xian, LI Guo-liang, DANG Zhi. Major chemical components of poultry and livestock

- manures under intensive breeding[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(10):1989-1992.
- [6] Nicholson F A, Chambers B J, Williams J R, et al. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales[J]. *Bioresource Technology*, 1999, 70(1):23-31.
- [7] 黄玉溢, 陈桂芬, 刘斌, 等. 广西集约化养殖猪饲料Cu和Zn含量及粪便Cu和Zn残留特性研究[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(17):9280-9281, 9284. HUANG Yu-yi, CHEN Gui-fen, LIU Bin, et al. Content and residual characteristics of Cu and Zn in pig feeds and manures on intensive piggery in Guangxi[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40(17):9280-9281, 9284.
- [8] Drogui P, Picher S, Guay R. Wastewater sludge and pig manure used as culture media for bioleaching of metal sulphides[J]. *Hydrometallurgy*, 2002, 65(2/3):177-186.
- [9] Cang L, Wang Y J, Zhou D M, et al. Heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu Province, China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2004, 16(3):371-374.
- [10] 彭来真. 畜禽粪便中铜、锌、砷在土壤蔬菜系统的迁移和富集[D]. 福州:福建农林大学, 2007. PENG Lai-zhen. Move and concentrate of copper, zinc, arsenic in the livestock and poultry excrement in the soil-vegetable system[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2007.
- [11] 王秋丽. 畜禽养殖导致土壤重金属污染现状及对策[J]. *现代农业科技*, 2016(11):245, 247. WANG Qiu-li. Status and counter measures on soil heavy metal pollution of livestock[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2016(11):245, 247.
- [12] 朱凤莲, 周静, 马友华, 等. 水体重金属污染状况及其与养殖场排污之间关系的探讨[J]. *农业环境与发展*, 2007, 24(6):19-21. ZHU Feng-lian, ZHOU Jing, MA You-hua, et al. Discussion of heavy metals pollution in water body and the relationship between heavy metal pollution and pollution discharge from aquaculture farms[J]. *Agro-Environment and Development*, 2007, 24(6):19-21.
- [13] 朱建春, 李荣华, 张增强, 等. 陕西规模化猪场猪粪与饲料重金属含量研究[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(11):98-104. ZHU Jian-chun, LI Rong-hua, ZHANG Zeng-qiang, et al. Heavy metal contents in pig manure and feeds under intensive farms and potential hazard on farmlands in Shaanxi Province, China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2013, 44(11):98-104.
- [14] 潘寻, 韩哲, 贲伟伟. 山东省规模化猪场猪粪及配合饲料中重金属含量研究[J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(1):160-165. PAN Xun, HAN Zhe, BEN Wei-wei. Heavy metal contents in pig manure and pig feeds from intensive pig farms in Shandong Province, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(1):160-165.
- [15] 王飞, 邱凌, 沈玉君, 等. 华北地区饲料和畜禽粪便中重金属质量分数调查分析[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(5):261-267. WANG Fei, QIU Ling, SHEN Yu-jun, et al. Investigation and analysis of heavy metal contents from livestock feed and manure in north China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(5):261-267.
- [16] 黄玉溢, 刘斌, 陈桂芬, 等. 规模化养殖场猪配合饲料和粪便中重金属含量研究[J]. *广西农业科学*, 2007, 38(5):544-546. HUANG Yu-yi, LIU Bin, CHEN Gui-fen, et al. Contents of heavy metals in formulated feed for pig and pig manure of scaled piggery[J]. *Guangxi Agricultural Science*, 2007, 38(5):544-546.
- [17] 索超, 李艳霞, 张增强, 等. 北京集约化养殖畜禽饲料Zn含量及粪便Zn残留特征研究[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(10):2173-2179. SUO Chao, LI Yan-xia, ZHANG Zeng-qiang, et al. Residual characteristic of Zn in feeds and feces from intensive livestock and poultry farms in Beijing[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(10):2173-2179.
- [18] 董占荣, 陈一定, 林咸永, 等. 杭州市郊规模化养殖场猪粪的重金属含量及其形态[J]. *浙江农业学报*, 2008, 20(1):35-39. DONG Zhan-rong, CHEN Yi-ding, LIN Xian-yong, et al. Contents and fractionation investigation of heavy metals in swine manures from intensive livestock farms in the suburb of Hangzhou[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2008, 20(1):35-39.
- [19] 朱泉雯. 重金属在猪饲料-粪污-沼液中的变化特征[J]. *水土保持研究*, 2014, 21(6):284-289. ZHU Quan-wen. Distribution characteristics of heavy metals in feeds, pig manures and biogas slurry[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2014, 21(6):284-289.
- [20] 李梦云, 崔锦, 郭金玲, 等. 河南省规模化猪场饲料及粪便中氮磷、重金属元素及抗生素含量调查与分析[J]. *中国畜牧杂志*, 2017, 53(7):103-106. LI Meng-yun, CUI Jin, GUO Jin-ling, et al. Investigation and analysis of nitrogen, phosphorus, heavy metal elements and antibiotics in feed and feces of large-scale pig farms in Henan Province[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2017, 53(7):103-106.
- [21] 郭建凤, 王诚, 蔺海朝, 等. 规模猪场不同季节保育猪、育肥猪及繁殖母猪粪特性分析[J]. *广东饲料*, 2012, 21(5):22-26. GUO Jian-feng, WANG Cheng, LIN Hai-chao, et al. Fecal characteristics analysis of nurseries, fattening pigs and breeding sows in different seasons in large scale pig farms[J]. *Guangdong Feed*, 2012, 21(5):22-26.
- [22] 雷郑丽, 董小海, 任红. 饲料级硫酸锌中高含量镉的快速定性鉴别方法[J]. *中国饲料添加剂*, 2007(10):44-46. LEI Zheng-li, DONG Xiao-hai, REN Hong. Rapid qualitative identification of high content cadmium in feed grade zinc sulfate[J]. *China Feed Additive*, 2007(10):44-46.