

赵建, 师华定, 吴啸, 等. 遵义市土壤锌空间分布特征研究[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(3): 298-303.

ZHAO Jian, SHI Hua-ding, WU Xiao, et al. Study on spatial distribution of zinc in soils in Zunyi City, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(3): 298-303.

遵义市土壤锌空间分布特征研究

赵建¹, 师华定^{2*}, 吴啸³, 韩小斌¹, 彭玉龙¹, 马瑾², 刘京¹

(1. 贵州省烟草公司遵义市公司, 贵州 遵义 563000; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 3. 东北农业大学资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 为了解遵义市土壤锌空间分布现状及其影响因素, 在遵义市采集了701个表层土壤样本, 分析了样品中的锌含量。利用GS+软件构建半变异函数模型, 采用普通克里格法预测了遵义市土壤锌含量空间分布特征, 并进一步探讨土壤理化性质对土壤锌含量及其空间分布的影响。结果表明, 遵义市土壤全锌含量变幅为40.51~315.74 mg·kg⁻¹, 平均值为107.9 mg·kg⁻¹, 土壤锌含量高值区和低值区主要集中在遵义市东南部和西南部。土壤全锌含量与pH无显著相关关系, 与有机质和海拔高度呈极显著正相关关系。研究表明, 遵义市土壤锌的分布地域差异明显, 造成这种差异的主要因素是成土母质、有机质和海拔高度。

关键词: 遵义市; 土壤; 锌; 变异特征; 普通克里格法; 空间分布

中图分类号: S153

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2019)03-0298-06

doi: 10.13254/j.jare.2018.0158

Study on spatial distribution of zinc in soils in Zunyi City, China

ZHAO Jian¹, SHI Hua-ding^{2*}, WU Xiao³, HAN Xiao-bin¹, PENG Yu-long¹, MA Jin², LIU Jing¹

(1. Zunyi Branch Company of Guizhou Tobacco Company, Zunyi 563000, China; 2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. College of Resource and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: The study on soil zinc distribution and its influencing factors in Zunyi City is of great significance for mastering the spatial distribution of zinc in the region, soil environmental protection and human health. We collected 701 representative surface soil samples in Zunyi, and analyzed their zinc concentrations. GS+ software was used to build a semi variant function model, and the ordinary kriging method was used to predict the spatial distribution of zinc in the surface soil of Zunyi. In addition, the potential effects of physical and chemical properties of soil on the concentration and distribution of zinc in soil were also discussed. The results showed that the total zinc content of soil in Zunyi was ranged from 40.51 mg·kg⁻¹ to 315.74 mg·kg⁻¹, with the mean value of 107.9 mg·kg⁻¹. The high and low value areas of soil zinc concentration were mainly concentrated in southeastern and southwestern Zunyi. The content of total zinc in soil had no significant correlation with pH, but had a significant positive correlation with soil organic matter and altitude. The study found that zinc in Zunyi area had obvious distribution in high and low value areas by analyzing the distribution of zinc and its influencing factors in Zunyi. The main factors causing this difference were parent material, soil organic matter and altitude. Spatial prediction of soil properties was complicated. In the future, more attention should be paid to the correlation among soil attributes and the influence of environmental factors, so as to obtain more accurate results.

Keywords: Zunyi City; soil; zinc; variation characteristics; ordinary kriging; spatial distribution

收稿日期: 2018-06-19 录用日期: 2018-08-08

作者简介: 赵建(1987—), 女, 重庆人, 博士, 研究方向为农业微生物。E-mail: 709076562@qq.com

*通信作者: 师华定 E-mail: shihd@craes.org.cn

基金项目: 中国烟草总公司贵州省公司项目(201506)

Project supported: The Project of Guizhou Branch Company of China Tobacco Corporation(201506)

重金属是一种持续性的污染物,其在土壤中的过量累积会造成土壤污染,影响农作物的质量安全,从而间接对人和动物的生命安全造成威胁^[1]。因此对土壤重金属的研究越来越被重视,国内外学者主要从土壤重金属污染的“源”和“汇”的关系^[2-3]、空间分布特征及其影响因素^[4]、污染评价方法^[5]和迁移特征^[6]等诸多角度进行研究。在进行重金属空间分布研究时,选用何种方法模型和如何利用其他辅助型数据提高其预测精度成为当下的热点和难点。锌是动物和植物体内必需的微量营养元素,对动植物的生长发育具有重要的意义,同时它也是造成土壤污染的典型重金属元素之一^[7-8]。随着时间的推移,锌元素会在土壤-植物-人体传播过程中富集,当超过一定浓度时就会使土壤微生物失活并抑制作物生长,植物中的锌元素被人和动物吸收,则会对其健康产生不利影响,另外土壤中的锌还可通过地表径流和渗透过程造成地下水污染,从而对人类生存产生威胁^[9]。因此,准确测定土壤中的锌含量水平并模拟出其空间分布特征,对锌污染治理和合理利用锌资源都有着重要的意义。近年来,由于工业污染问题突出,城市化进程不断加快,遵义市农田生态环境破坏严重,特别是农药、化肥的不合理施用,导致土壤重金属污染等环境问题不断凸显^[10],对遵义市土壤锌进行空间分布预测是当地土壤锌污染防治的基础性工作。

目前,关于遵义市农田土壤锌含量分布的研究仍较缺乏,本研究拟通过对遵义市不同地区土壤中锌元素的含量进行调查分析,在了解其空间分布特征的基础上分析其影响因素,识别土壤锌缺乏和富集区域,为研究区内的土壤生态环境保护和实施精准农业提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

遵义市位于贵州省北部,地理位置介于东经 $105^{\circ}36'$ ~ $108^{\circ}13'$ 、北纬 $27^{\circ}8'$ ~ $29^{\circ}12'$ 之间,总面积 $30\,753\text{ km}^2$,是典型的亚热带湿润季风气候区,冬季寒冷湿润,夏季炎热多雨。地貌类型较为复杂,地形

起伏明显,从西到东,逐渐变缓,山地、丘陵、盆地及河谷坝子各占总面积的64.4%、29.3%、6.3%。研究区主要分布着紫色土、石灰土、水稻土和黄壤等地带性土壤,母质主要有砂岩、页岩、砂页岩、石灰岩和第四纪红色黏土。市内以锰、铝、铅、锌、硫铁矿等矿产最具资源优势和经济优势,其中铅、锌矿主要分布在绥阳县和正安县。

1.2 土壤样品的采集与测定

由于遵义市多山地,地形较为复杂,研究组依地形进行布点,于2012年9月18—26日在遵义12个下属县(市、区)——道真仡佬族苗族自治县、务川仡佬族苗族自治县、凤冈县、湄潭县、绥阳县、桐梓县、余庆县、正安县、播州区、汇川区、红花岗区和仁怀市——通过GPS开展野外定点采样工作(依据布点可行性和代表性原则,个别县市未进行布点),在土壤表层(0~20 cm)共采集土壤样品701个,每份土样质量300~500 g,采样点位如图1所示。所采集的样品皆位于距公路有一定距离的农田土壤,记录坐标位置、海拔高度、土壤类型及地面的农作物等。采集的土壤样品经风干、研磨、过筛,供土壤锌和相关理化指标测试分析。

土壤pH采用水土比为2.5:1的电位法测定,土壤有机质采用重铬酸钾容量法测定,土壤中的锌采用火焰原子吸收光谱法测定,对测量结果的不确定度进行评定,以确保检测质量^[11]。

1.3 数据分析与制图

数据计算分析和制图均采用所布样点实测数据,原始样点土壤属性数据正态分布检验(K-S法)、统计分析和Pearson相关分析等采用SPSS 20.0软件,半方差函数拟合模型分析采用GS+软件,确定合适的模型及其相关参数后,在ArcGIS 10.0平台上采用普通克里格(Ordinary kriging)法绘制土壤锌含量分布图。

2 结果与讨论

2.1 土壤锌的统计特征分析

对研究区701个土壤样本中锌含量进行描述性统计,特征值见表1。遵义市土壤全锌含量变幅为

表1 土壤锌含量描述性统计特征值

Table 1 Descriptive statistical characteristic value of soil zinc content

采样数 Sample numbers	极小值 Minimum value/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	极大值 Maximum value/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	平均值 Average value/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	标准差 Standard deviation/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	变异系数 Coefficient of variation/%
701	40.51	315.7	107.9	31.89	1.99	8.40	29.55

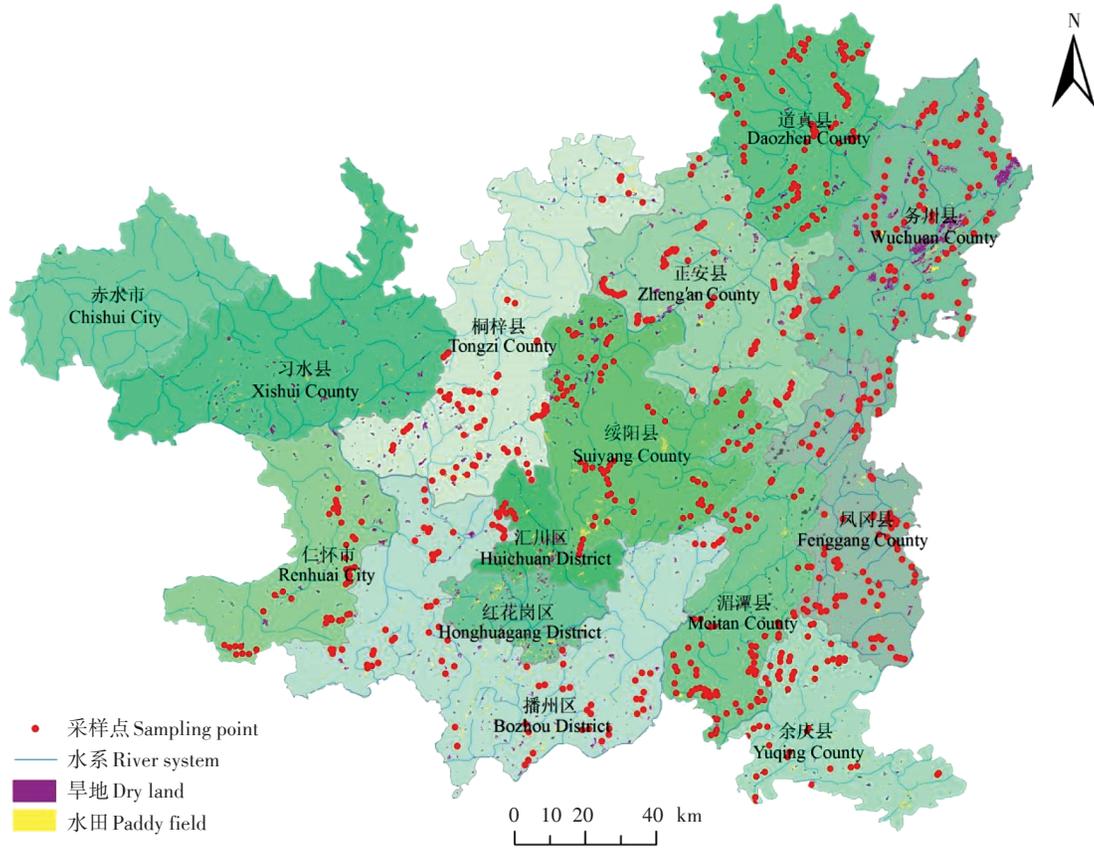


图1 样点分布图

Figure 1 Map of sample locations

40.51~315.7 mg·kg⁻¹,平均含量为 107.9 mg·kg⁻¹,略高于全国土壤锌平均含量(100 mg·kg⁻¹)^[12]。其中,余庆县土壤锌平均含量最高(115.2 mg·kg⁻¹),播州区最低(100.5 mg·kg⁻¹),不同地区土壤锌平均含量差异明显。研究区锌变异系数为 29.55%,根据变异程度的评价标准:CV<0.1时,为弱变异程度,0.1<CV<1时,为中等变异程度,CV>1时为强变异程度^[13-14],研究区锌变异程度为中等变异程度,据此推断研究区土壤锌来源丰富,人类的生产生活活动(主要有工厂废水、废气的排放,不合理的耕种等)都对土壤锌含量和分布产生了较大的影响。

2.2 锌的空间结构特征分析

对研究区锌的空间结构特征进行分析,是空间预

测的基础性工作,同时也影响普通克里格法空间插值精度。本研究通过对锌含量进行半变异函数模型拟合得出其相关拟合参数(表2)和半变异函数拟合图(图2)。从表2、图2可以看出,研究区土壤中的锌半方差函数拟合模型符合指数(Exponential)模型,决定系数R²为0.488,能够有效反映研究区锌的空间结构特征。指数模型的表达式为:

$$r(h)=C_0+C[1-\exp(-h/a)] \quad (1)$$

式中: $r(h)$ 表示间隔距离为 h 时的半方差; C_0 表示块金值(块金方差); C_0+C 为基台值; C 表示基台值与块金值之差(结构方差); a 为变程,当指数模型中的有效变程为 $3a$ 时,锌的含量是空间自相关的,观测点之间存在着一定的相关性^[15-16]。

表2 锌半方差函数模型及参数

Table 2 Parameters of the semi-variogram models for zinc

理论模型 Theoretical model	块金值 Nugget(C_0)	基台值 Sill(C_0+C)	块金效应 Nugget effect[$C_0/(C_0+C)$]	变程 Range/m	决定系数 Coefficient of determination(R^2)	残差 Residual(RSS)
指数模型 Exponential model	137	1037	0.132	2500	0.488	17 063

图2所示指数模型变异函数的块金值(C_0)和基台值(C_0+C)比较明显,表明遵义市土壤锌空间分布的结构性特征比较突出,研究区块金效应值为0.132,表明研究区土地资源受人类开发利用时间较短,锌空间变异受一些随机性因素(土地利用方式、耕作施肥)影响比较小,主要是由成土母质、地形地貌、气候条件、土壤类型等结构性因素引起的。变程是衡量土壤属性特征空间自相关性范围的定量指标,研究区锌的有效变程较小,为2.5 km,说明造成土壤锌富集的来源

比较丰富^[10]。实际上,土壤中的锌有一部分是由成土母质分化而成,母质中的锌含量水平影响了其上覆土壤的锌含量和分布,这部分锌在相当大的范围内存在着一定的空间相关性,而有一部分锌来源较为丰富,如地表污水灌溉、汽车尾气尘降、农药化肥施用等都可以使土壤中的锌浓度变高^[17],这类锌往往具有较强的随机性和不稳定性,在空间和时间上变化特征明显,在较小的范围内土壤中的锌含量存在空间相关性^[18]。

2.3 土壤锌含量分布特征

通过K-S验证法对原始数据进行非参数检验,结果表明锌含量数据不符合正态分布,故对其进行对数转化后以符合正态分布。根据所得的半方差函数模型和拟合参数,在ArcGIS 10.0软件中用普通克里格法选用指数模型,设置相应块金效应、变程和空间异质性等高级参数,绘制遵义市土壤锌含量分布图(图3),由于赤水市、习水县缺乏样点数据,未作插值分析。从图3可以看出:土壤锌含量高值区和低值区主要集中在遵义市东南部和西南部。其中凤冈县、湄潭县、绥阳县、余庆县和正安县土壤锌平均含量明显高于其他地区,且锌主要富集于凤冈县北部和南部、湄

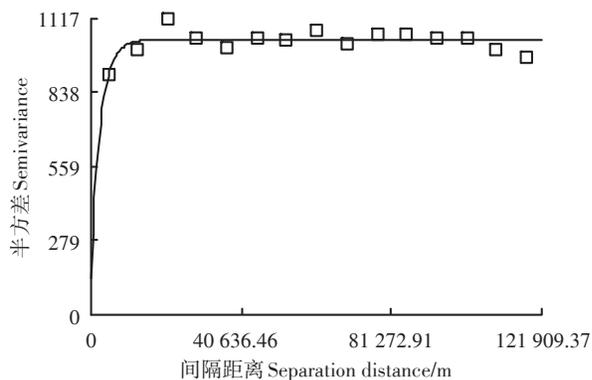


图2 指数模型变异函数

Figure 2 Variation function of exponential model

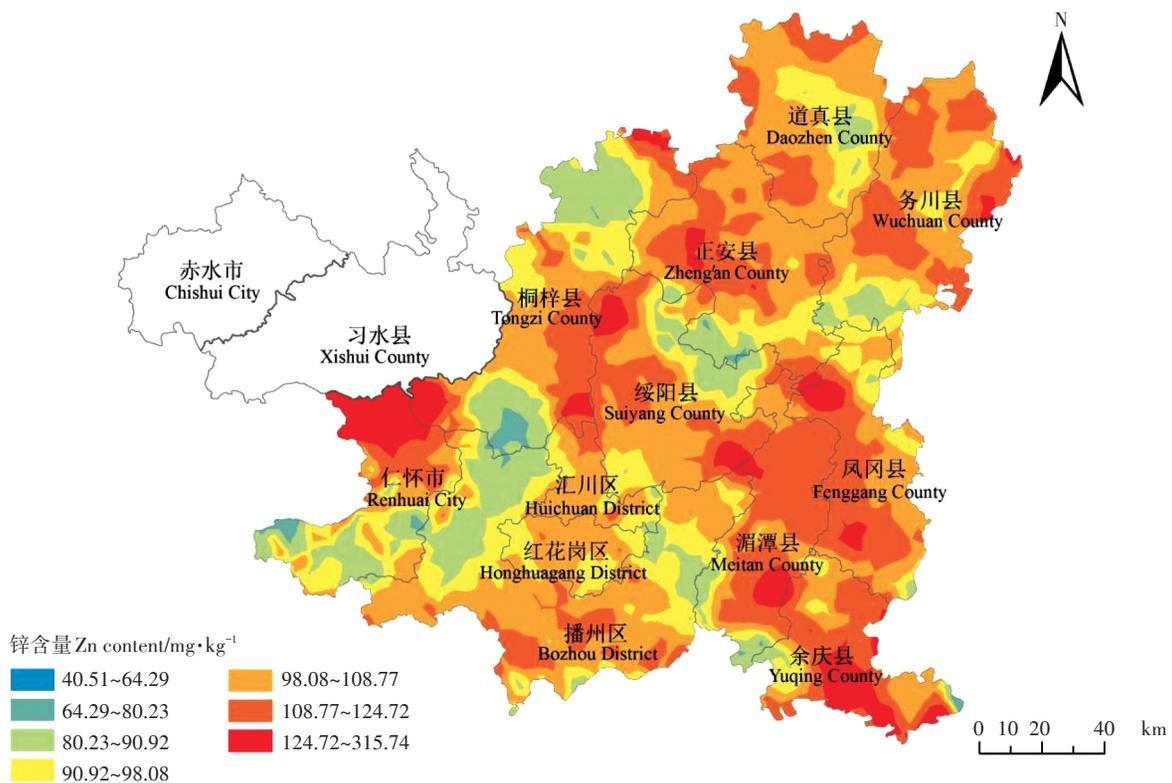


图3 遵义市土壤锌含量分布

Figure 3 Distribution of soil zinc content in Zunyi City

潭县南部、绥阳县西北部和东南部、余庆县南部、正安县中部和仁怀市北部地区,上述土壤全锌含量高值斑块形成的主要原因除与该区域成土母质含锌量高有关外,可能也与该区域交通扬尘、汽车尾气的大气沉降和冶金化工类企业排放各类废物有关。锌缺乏区域主要集中于正安县、绥阳县、凤冈县和务川县交界区域及播州区北部、桐梓县南部地区。这可能与这一地区广泛分布着黄土地带性土壤有关。已有研究^[19]表明,黄土地带性土壤中的锌含量普遍较低。

2.4 土壤锌含量及分布的主要影响因素

2.4.1 土壤理化性质

土壤是母质层在生物、气候、地形、时间等一系列因素共同作用下形成的自然历史综合体^[20],不同区域的土壤其理化性质存在差异,这种差异直接或间接影响了土壤中的元素含量水平。因此,除成土母质外,土壤理化性质也是对土壤锌含量及其分布产生影响的重要因素。为探究遵义市表层土壤理化性质对锌含量和分布产生的影响,本研究对表层土壤全锌含量与pH和有机质进行了Pearson相关性分析(表3)。

有研究^[21-22]表明,在一定pH值范围内,土壤锌含量富集或缺乏。但在本研究中,土壤锌含量与pH的相关系数为0.051,相关性不明显,而且将pH以0.5的间隔等分成若干组时,未发现相应组别有锌含量富集或缺乏现象,这可能与研究区所采点位大多位于农用地,受人为干扰较大有关。而土壤锌含量和有机质之间的相关系数为0.175,呈显著正相关性,即采样点所在区域土壤有机质含量对于土壤锌含量有显著影响,可能随着有机质含量的增加而增加,这与前人研究^[21-22]结果相同。有机质可能通过以下几方面影响土壤锌含量及其分布:(1)有机质含量高的地方可能施用了有机肥,为土壤中锌的输入提供了条件^[22],有机质本身可能也是锌的重要来源;(2)有机质改善土壤性质,从而增加土壤保锌能力;(3)有机质可能通过

吸附作用来固定土壤中的锌,进而形成结构复杂的沉淀,使土壤中锌富集。因此,可以通过适当增施有机肥来提高土壤中有机质的含量,进而增加土壤中的锌含量。

2.4.2 海拔高度

对遵义市土壤全锌含量与海拔高度做相关分析发现,遵义市土壤全锌含量与海拔高度相关系数为0.305,呈显著正相关关系,结合图4发现土壤全锌含量随着海拔的升高而增加。遵义地区地形起伏较大,由西至东逐渐变缓,本研究采集的土壤样品海拔在461~1658 m范围之内,随着海拔的升高温度降低,有机质分解缓慢,土壤表层中大部分锌被有机质吸附和固定,进而使得植物吸收的锌以及土壤中被淋溶的锌含量减少,使得表层土壤锌含量富集,表现出表层土壤锌含量随着海拔的升高而增加的趋势。

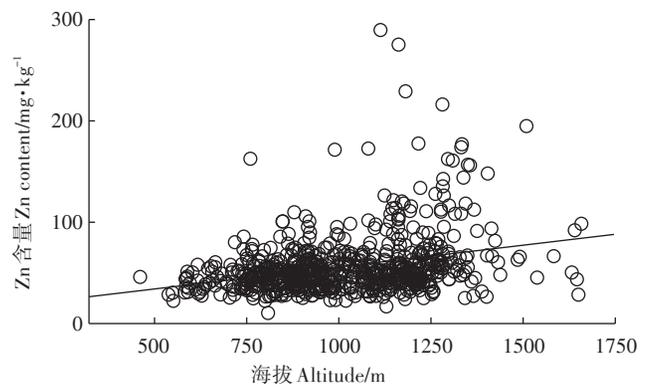


图4 表层土壤全锌含量与海拔的相关关系

Figure 4 Correlation between soil total Zn content and altitude

3 结论

(1)遵义市土壤锌含量平均值 $107.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,略高于全国土壤锌平均含量 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。研究区锌变异程度为中等,其变异主要是由成土母质、地形地貌、气候条件、土壤类型等结构性因素引起。

(2)遵义地区土壤锌含量高值区主要位于遵义市东南部,低值区主要位于遵义市西南部。

(3)除成土母质外,土壤有机质和海拔高度也是影响土壤锌含量的主要因素,且锌含量随着有机质含量和海拔高度的增加而增加。

(4)遵义市复杂的地形条件和不同的土地利用状况,使得土壤锌的空间分布呈现较强的复杂性和变异性,进一步研究需要结合更多的时间、空间等相关信息或数据,才能对该地区土壤锌的分布得出全面、准确的认识。

表3 土壤全锌含量与pH和有机质的相关性(r)

Table 3 Correlation between soil total zinc content, pH and soil organic matter(r)

项目 Items	Zn	pH	有机质 Soil organic matter
Zn	1		
pH	0.051	1	
有机质 Soil organic matter	0.175**	0.037	1

注:**表示在 $P < 0.01$ 水平显著相关。

Note:**represents significant correlation at the $P < 0.01$ level.

参考文献:

- [1] 王金金, 秦樊鑫. 遵义市植烟土壤中重金属含量及污染评价[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(10): 116-120.
WANG Jin-jin, QIN Fan-xin. Assessment of soil heavy metal content and contamination in flue-cured tobacco planting areas in Zunyi[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2013, 41(10): 116-120.
- [2] Nicholson F A, Smith S R, Alloway Y J, et al. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales[J]. *Science of the Total Environment*, 2003, 311(1): 205-219.
- [3] Colgan A, Hankard P K, Spurgeon D J, et al. Closing the loop: A spatial analysis to link observed environmental damage to predicted heavy metal emissions[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2003, 22(5): 970-976.
- [4] Martin J A R, Arias M L, Corbi J M G. Heavy metals contents in agricultural top soils in the Erbo basin (Spain): Application of the multivariate geostatistical methods to study spatial variations[J]. *Environmental Pollution*, 2006, 144(3): 1001-1012.
- [5] Gil C, Boluda R, Ramos J. Determination and evaluation of cadmium, lead and nickel in greenhouse soils of Almeria (Spain)[J]. *Chemosphere*, 2004, 55: 1027-1034.
- [6] 崔玉静, 张旭红, 王丽明. 广西某污染区金属元素在土壤-植物系统中的迁移规律[J]. 生态学杂志, 2008, 27(10): 1822-1825.
CUI Yu-jing, ZHANG Xu-hong, WANG Li-ming. Transfer patterns of metal elements in soil-plant system in a contaminated area in Guangxi, China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(10): 1822-1825.
- [7] Christie P, Li X L, Chen B D. Arbuscular mycorrhiza can depress translocation of zinc to shoots of host plants in soils moderately polluted with zinc[J]. *Plant and Soil*, 2004, 261: 209-217.
- [8] Lock K, Janssen C R. Influence of soil zinc concentrations on zinc sensitivity and functional diversity of microbial communities[J]. *Environmental Pollution*, 2005, 136(2): 275-281.
- [9] Chen X T, Wang G, Liang Z C. Effect of amendments on growth and element uptake of pakchoi in a cadmium, zinc and lead contaminated soil [J]. *Pedosphere*, 2002, 12(3): 243-250.
- [10] 谢锋, 吉玉碧, 何锦林, 等. 用模糊评价法评价土壤重金属污染程度[J]. 贵州农业科学, 2005, 33(3): 24-26.
XIE Feng, JI Yu-bi, HE Jin-lin, et al. Evaluation on polluted degree by heavy metal in soils with fuzzy comprehensive assessment[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2005, 33(3): 24-26.
- [11] 丁文. 火焰原子吸收光谱法测定土壤中锌含量的测量不确定度评定[J]. 化学分析计量, 2005, 14(3): 7-9.
DING Wen. Evaluation of the uncertainty of measurement of zinc in soil by FAAS[J]. *Chemical Analysis and Meterage*, 2005, 14(3): 7-9.
- [12] 陈玉真, 王峰, 王果, 等. 土壤锌污染及其修复技术研究进展[J]. 福建农业学报, 2012, 27(8): 901-908.
CHEN Yu-zhen, WANG Feng, WANG Guo, et al. Research advances on zinc pollution and remediation of soil system[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 27(8): 901-908.
- [13] Weindorf D C, Zhu Y. Spatial variability of soil properties at Capulin Volcano, New Mexico, USA: Implications for sampling strategy[J]. *Pedosphere*, 2010, 20(2): 185-197.
- [14] 柴旭荣, 黄元仿, 苑小勇. 用高程辅助提高土壤属性的空间预测精度[J]. 中国农业科学, 2007, 40(12): 2766-2773.
CHAI Xu-rong, HUANG Yuan-fang, YUAN Xiao-yong. Enhancing spatial prediction of soil properties using elevation[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(12): 2766-2773.
- [15] Webster R. Quantitative spatital analysis of soil in the field[J]. *Advances in Soil Science*, 1985, 3: 2-70.
- [16] 王政权. 地统计学及其在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 35-149.
WANG Zheng-quan. Geostatistics and its application in ecology[M]. Beijing: Science Press, 1999: 35-149.
- [17] 张乃明, 李保国, 胡克林. 太原污灌区土壤重金属和盐分含量的空间变异特征[J]. 环境科学学报, 2001, 21(3): 349-353.
ZHANG Nai-ming, LI Bao-guo, HU Ke-lin. Spatial variabilities of heavy metals and salt contents in soils of Taiyuan sewage irrigation region[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2001, 21(3): 349-353.
- [18] 刘铮. 中国土壤微量元素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996: 177-201.
LIU Zheng. Chinese soil trace elements[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1996: 177-201.
- [19] 王晓杰, 孟凡乔, 吴文良. 内蒙古武川县土壤锌分布特性研究[J]. 土壤通报, 2016, 47(3): 624-629.
WANG Xiao-jie, MENG Fan-qiao, WU Wen-liang. Distribution patterns of soil Zn in Wuchuan County, Inner Mongolia, China[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2016, 47(3): 624-629.
- [20] 张黎明, 郑福维, 米红波, 等. 龙山县植烟土壤有效锌空间分布及其影响因素分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2018, 33(1): 140-146.
ZHANG Li-ming, ZHENG Fu-wei, MI Hong-bo, et al. Distribution of available zinc in Longshan tobacco growing soil and its influencing factors[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2018, 33(1): 140-146.
- [21] 谭军, 刘晓颖, 李强, 等. 文山植烟土壤有效锌含量及其影响因素研究[J]. 土壤, 2017, 49(4): 719-724.
TAN Jun, LIU Xiao-ying, LI Qiang, et al. Distribution of available zinc in tobacco-planting soils in Wenshan and its influential factors [J]. *Soils*, 2017, 49(4): 719-724.
- [22] 张艳玲, 张仕祥, 杨杰, 等. 施肥对植烟土壤重金属输入的影响[J]. 烟草科技, 2010(11): 51-54, 60.
ZHANG Yan-ling, ZHANG Shi-xiang, YANG Jie, et al. Influence of fertilization on introduction of heavy metals into tobacco growing soils [J]. *Tobacco Science & Technology*, 2010(11): 51-54, 60.