

## 遵义市土壤硒分布及其影响因素研究

邓 军<sup>1</sup>, 师华定<sup>2</sup>, 赵 建<sup>3</sup>, 韩小斌<sup>3</sup>, 彭玉龙<sup>3</sup>, 刘 京<sup>3</sup>, 马 瑾<sup>2\*</sup>

(1. 重庆工程职业技术学院, 重庆 402260; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012;  
3. 贵州省烟草公司遵义市公司, 贵州 遵义 563000)

**摘 要:** 进行土壤硒分布及其影响因素研究, 对掌握区域硒空间分布现状、区域农产品安全以及人体健康具有重要意义。在遵义市采集了 701 个表层土壤样本, 分析了样品中的硒含量。利用 GS+ 软件构建半变异函数模型, 采用克里格法预测了遵义市土壤硒含量空间分布特征, 并进一步探讨土壤 pH 值、全氮、有机质、海拔高度和成土母质等因素对硒含量及其空间分布的影响。结果表明: 遵义市土壤硒含量变幅为 0.10 ~ 2.90 mg · kg<sup>-1</sup>, 平均值为 0.56 mg · kg<sup>-1</sup>, 总体上处于足硒和富硒土壤范畴, 缺硒与少硒土壤较少, 西北部和南部边缘存在明显的土壤富硒带, 中部和东部地区土壤硒含量较低。土壤硒含量与 pH 值无相关关系, 与土壤全氮、有机质和海拔高度呈显著正相关关系。此外, 遵义市富硒岩层和广泛裸露含硒量高的煤矿层可能也是影响土壤含硒量的主要因素。

**关键词:** 遵义市; 土壤; 硒; 变异特征; 克里格法; 空间分布

硒是存在生物体内的一种微量元素, 对生物体的生长发育起着至关重要的作用<sup>[1]</sup>。但同时硒又具有两面性: 当植物和土壤中的硒超过一定浓度时, 被人和动物过多吸收就会导致硒中毒现象, 出现“碱性病”与“盲珊症”等疾病<sup>[2-3]</sup>。而硒含量不足时也会导致人和动物出现多种病症, 包括克山病、白肌病、大骨节病等<sup>[4]</sup>。我国 72% 的地区都属于硒资源匮乏地区, 除了陕西紫阳县和湖北恩施州, 其它地区皆位于世界低硒带<sup>[5-6]</sup>, 形成了硒含量由中部地区逐渐向东南和西北递增的大致分布趋势<sup>[7]</sup>。随着时间的推移, 硒元素会在土壤—植物—人体传播过程中累积, 土壤成了人和动物摄取硒的最终来源<sup>[8]</sup>。

遵义地区富硒土壤资源丰富, 近几年, 遵义市积极规划富硒土壤农作物种植区, 大力发展富硒农作物种植, 形成了一批质量安全达标、营养价值高的富硒农产品(烟叶、茶叶等)<sup>[9-10]</sup>。但随着工业污染、酸雨和富硒资源过度开发等环境问题不断凸现, 遵义地区土壤硒流失严重, 进行富硒区域硒资

源的保护已刻不容缓。目前, 国内外学者对土壤硒的空间分布及其影响因素已展开了深入的研究, 但有关遵义市土壤中硒含量的研究比较少。遵义市地形起伏明显, 土地利用状况复杂, 人为扰动大, 准确预测其土壤硒含量空间分布, 对当地硒资源合理开发利用、农产品质量安全、人体健康都有着重要的意义。

本研究利用遵义市不同地区土壤硒含量数据, 通过拟合硒的半方差函数模型, 分析其空间变异特征, 得出其空间分布规律, 并对影响其分布的主控因素进行研究, 从而为当地规划富硒农作物适宜种植区, 建立农产品质量安全体制, 合理开发利用富硒资源, 实施农业精准分区提供科学依据。

### 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°36' ~ 108°13'、北纬 27°8' ~ 29°12' 之间, 总面积 30 753 km<sup>2</sup>, 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、盆地及河谷坝子分别占总面积的 64.4%、29.3%、6.3%。研究区主要分布着紫色土、石灰土、水稻土和黄壤等土壤类型, 母质主要有砂岩、页

收稿日期: 2018-08-01; 录用日期: 2018-10-22

基金项目: 中国烟草总公司贵州省公司项目“遵义烤烟质量安全生产监控体系建立与应用”[中烟黔科(2015)1号, 合同号 201506]。

作者简介: 邓军(1978-), 男, 湖北荆州人, 副教授, 主要从事测绘专业教学与研究工作。E-mail: 357059173@163.com。

通讯作者: 马瑾, E-mail: majin@craes.org.cn。

岩、砂页岩、石灰岩和第四纪红色黏土。

### 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日~26日在遵义12个下属县(市、区)：道真县、务川县、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、仁怀市(由于项目实际需要和布点相关原则，个别县市未进行布点)通过GPS开展野外定点采样工作，在其表层共采集土壤样品701个，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，采集0~20 cm深的

土样，每份土样质量300~500 g，记录点位坐标、耕地类型、海拔高度等。采集的土壤样品经风干、研磨、过筛，供土壤硒和相关理化指标测试分析。

土壤硒测定参照中华人民共和国国家环境保护标准HJ 680-2103《土壤和沉积物汞、砷、硒、铋、锑的测定微波消解/原子荧光法》，采用氢化物发生原子荧光(HG-AFS)法测定<sup>[11-12]</sup>，土壤pH值在水土比为2.5:1的条件下采用电位法测定<sup>[13]</sup>，土壤全氮采用元素分析仪测定，土壤pH值和全氮相关测试方法参见《土壤和固体废弃物监测分析技术》，土壤有机质采用重铬酸钾容量法测定。

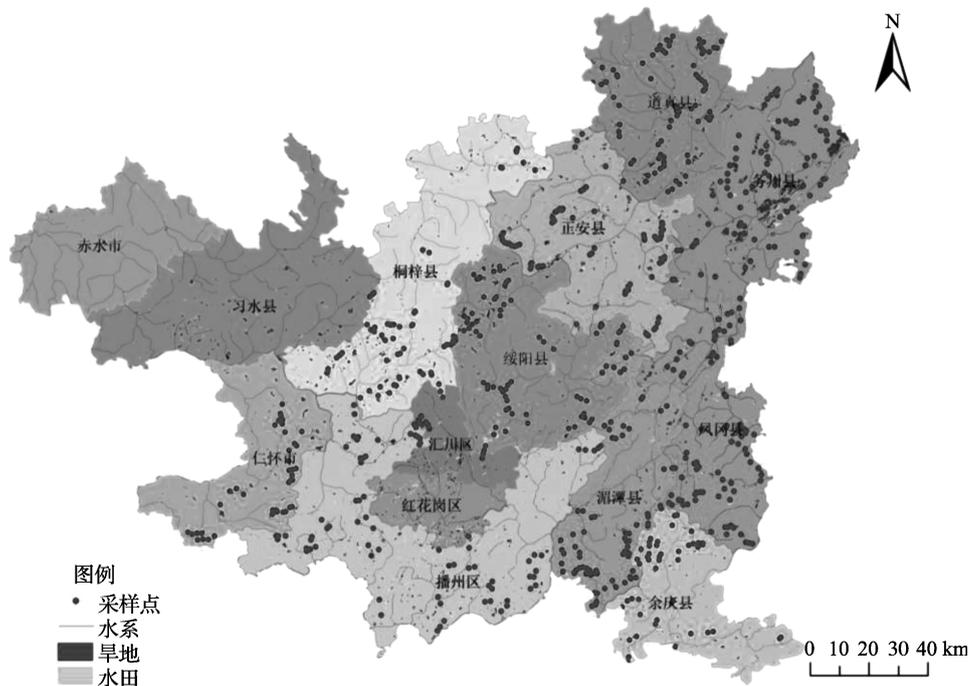


图1 样点分布图

### 1.3 数据处理与制图方法

本研究数据处理和制图均采用样点实测数据，原始样点土壤属性数据经典统计分析和Pearson相关分析均采用SPSS 20.0软件，半方差函数模型建立与分析采用GS+软件，确定合适的模型和参数后，在ArcGIS 10.0平台上采用普通克里格(OK)

法绘制土壤硒含量分布图。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤硒的统计特征分析

对研究区701个土壤样本中硒含量进行描述性统计分析见表1。

表1 土壤硒含量描述性统计特征值

采样数	极小值 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	极大值 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	平均值 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	标准差	偏度	峰度	变异系数 (%)
701	0.10	2.90	0.56	0.29	3.15	15.15	51.79

从表1得出，遵义市土壤硒含量变幅为0.10~2.90  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，平均含量为0.56  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，高出全国(0.29  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[14]</sup>和贵州省(0.369  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[15]</sup>

土壤硒含量的均值。说明在一定的区域范围内，土壤中的硒含量有着明显的累积效应。其中，正安县土壤硒平均含量最高(0.75  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )，湄潭县和

仁怀市最低 ( $0.47 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), 不同地区土壤硒平均含量差异明显 (图 2), 按照谭见安教授<sup>[16]</sup>的划分标准 (表 2), 遵义市土壤硒含量数据有 33% 属于足硒水平, 有 62% 属于富硒水平。研究区硒变异系数为 (CV) 51.79%, 结合一般的 CV 评估标准

( $\text{CV} < 0.1$  为弱变异程度,  $0.1 < \text{CV} < 1$  为中等变异程度,  $\text{CV} > 1$  为强变异程度<sup>[17-18]</sup>), 研究区硒空间变异程度为中等变异程度, 变异性较强, 据此推断研究区土壤硒来源丰富, 人类的生产生活活动都对土壤硒含量和分布产生了较大的影响。

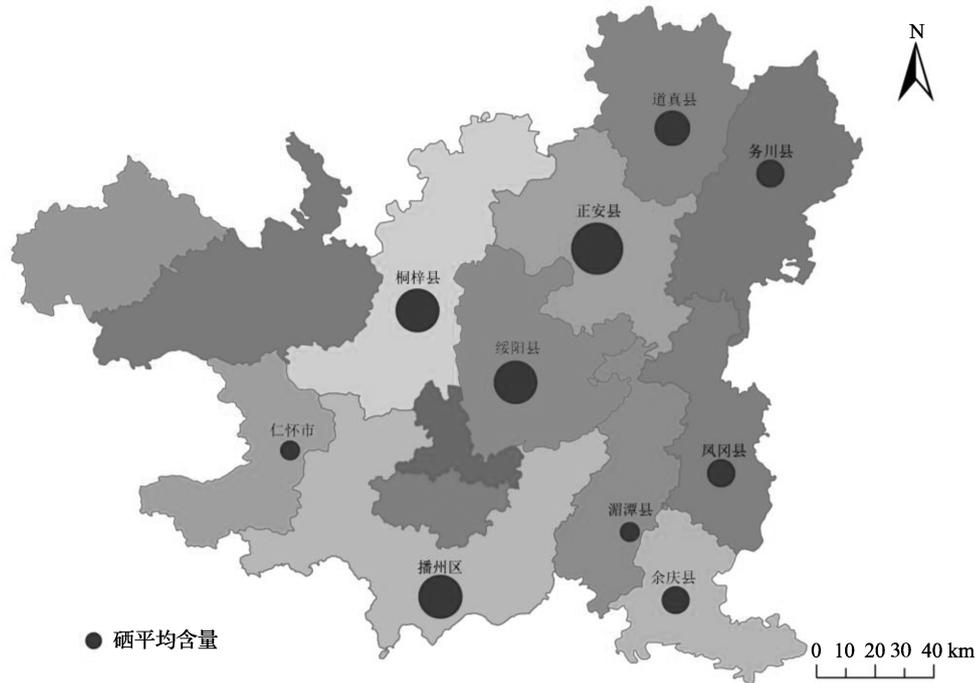


图 2 遵义市硒平均含量分布图

表 2 我国硒元素生态景观的界限值

土壤硒含量 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	<0.125	0.125 ~ 0.175	0.175 ~ 0.450	0.450 ~ 2.000	2.000 ~ 3.000
划分等级	缺硒	少硒	足硒	富硒	高硒

## 2.2 硒的空间变异特征分析

对研究区硒的空间结构特征进行分析, 是空间预测的基础性工作, 决定了 OK 法空间的插值精度。本研究通过对硒含量进行半变异函数模型拟合得出其相关拟合参数 (表 3) 和半变异函数拟合图 (图 3)。从表 3、图 3 可以看出, 研究区土壤中的硒半方差函数拟合模型符合指数 (Exponential) 模型, 其表达式为:

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

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, 硒的含量是空间自相关的, 观测点之间存在着一定的相关性。

图 3 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, 表明遵义市土壤硒空间分布的结构特征比较突出, 研究区块金效应值为 0.153, 表明研究区土地资源受人类开发利用时间较短, 硒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。研究表明<sup>[19]</sup>, 地质背景和成土母质是制约土壤中硒含量和分布的主要因素, 而对于冲积母质层, 其表层的土壤硒含量较低<sup>[20]</sup>。变程是衡量土壤属性特征空间自相关性范围的定量指标, 研究区硒的变程为 5 700 m, 说明半方差函数在间隔距离为 5 700 m 时达到平稳阶段, 硒在该尺度内存在较强的连续性。

表 3 硒半方差函数模型及参数

理论模型	块金值 ( $C_0$ )	基台值 ( $C_0+C$ )	块金效应值 [ $C_0/(C_0+C)$ ]	变程 (m)	决定系数 ( $R^2$ )	残差 (RSS)
指数模型	0.014	0.091	0.153	5 700	0.662	$5.194 \times 10^{-4}$

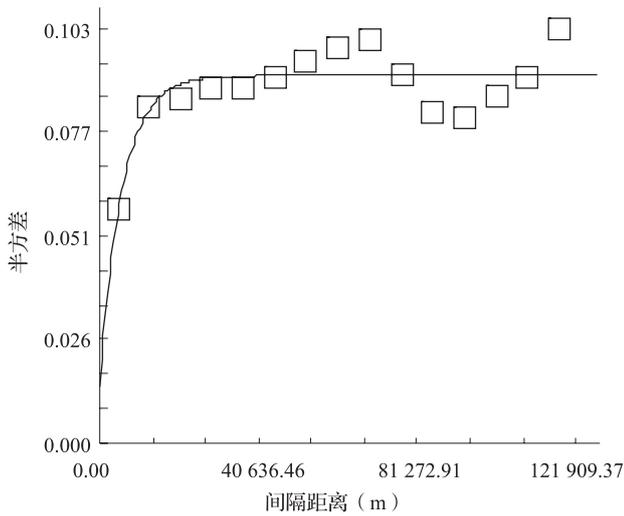


图 3 指数模型变异函数

### 2.3 土壤硒含量分布特征

根据所得的半方差函数模型和参数,在 ArcGIS 10.0 软件中用 OK 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,绘制遵义市土壤硒含量空间分布图(图 4),由于赤水市、习水县缺乏样点数据,未作插值分析。按照表 2 的分类标准,研究区西北部和南部边缘呈现出明显的连续分布的土壤富硒带,中部和东部地区有明显的土壤硒含量低值区,少数地区出现硒富集现象。遵义市 95% 的土壤硒含量达到足硒及以上水平,其中有 18 996 km<sup>2</sup> 的土壤分布属于富硒水平,占遵义市总面积的 61.77%;硒中毒区域主要分布在桐梓县和正安县中部地区、播州区南部地区,占遵义市总面积的 0.57%。

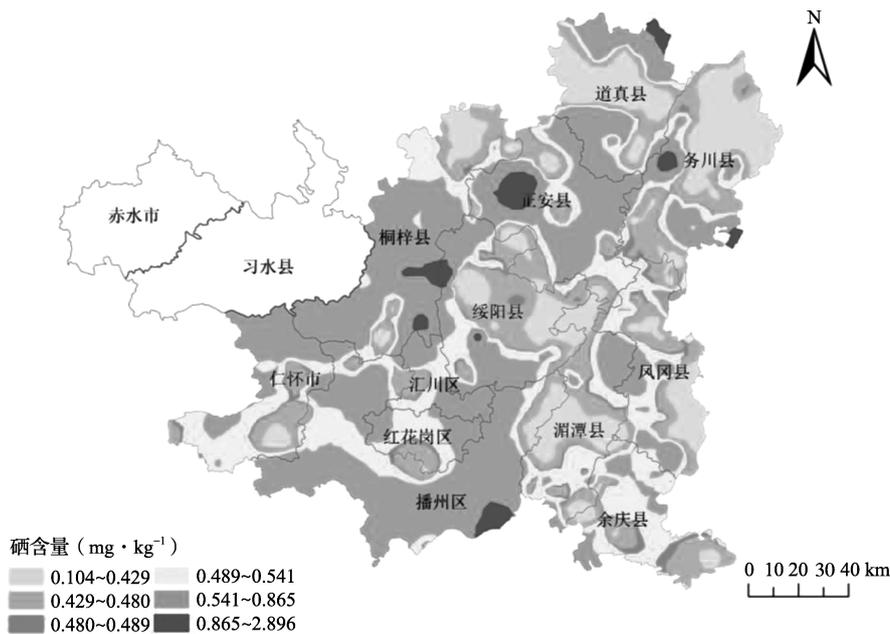


图 4 遵义市土壤硒含量分布

## 2.4 影响土壤硒含量及分布的主要因素

### 2.4.1 土壤 pH 值、全氮和有机质对土壤硒含量的影响

土壤是在生物、气候、地形、母质、时间 5 大成土因素共同作用下形成的自然历史综合体<sup>[21]</sup>,不同区域的土壤其理化性质差异明显,这种差异直接或间接影响了土壤中的硒含量水平。为探讨遵义市表层土壤理化性质对硒含量和分布产生的影响,本研究对表层土壤硒含量与 pH 值、全氮和土壤有机质进行 Pearson 相关性分析(表 4)。

表 4 土壤硒含量与 pH 值、全氮和有机质的相关性

土壤属性	Se	pH 值	全氮	有机质
Se	1	0.083	0.242**	0.479**
pH 值	0.083	1	0.026	0.037
全氮	0.242**	0.026	1	0.515**
有机质	0.479**	0.037	0.515**	1

注:\*\*表示在 0.01 水平上显著相关。

从表4可以看出,土壤硒含量与pH值相关性不明显,与土壤全氮和有机质呈极显著正相关性。前人研究发现<sup>[8]</sup>,土壤pH值越高,土壤中的硒含量越低。一方面,随着土壤碱性增强,硒在土壤中的形态从不易溶解和转移的亚硒酸盐( $\text{SeO}_3^{2-}$ )向着易溶解和转移的硒酸态( $\text{SeO}_4^{2-}$ )转化<sup>[21-22]</sup>,土壤中的硒容易遭地下水或地表水淋失导致含量下降<sup>[23]</sup>。另一方面,土壤pH值可以通过影响硒的甲基化的强度从而改变其在土壤中的迁移能力,土壤pH值越高,硒的甲基化能力越强,其在土壤中的迁移能力就越强,硒元素流失就越严重,土壤中硒的含量就越低<sup>[24]</sup>。但本研究中土壤硒含量与土壤pH值相关系数为0.083(表4),相关性并不显著。可能与研究区所布点位均位于农田,土地利用状况复杂,人类活动干扰较大有关,这与王晓杰等<sup>[21]</sup>的研究结果一致。

土壤硒含量与土壤全氮相关系数为0.242,两者之间呈极显著正相关关系,推断土壤全氮含量高的地区其土壤硒浓度相对较高,这与李杰等<sup>[25]</sup>的研究结果一致。由表4可知土壤有机质与全氮的相关系数为0.515,两者之间存在极显著正相关性,土壤全氮可能通过影响土壤有机质含量从而间接影响土壤中的硒含量,这与肖春艳等<sup>[26]</sup>的研究结果相同。

除成土母质外,有机质可能是影响土壤硒含量及其分布的另一主要因素,有机质可能通过以下两方面影响着土壤硒含量及其分布:(1)当有机质作为有机-无机复合态的黏粒时,其对阴离子的吸附固定作用变强,使硒在土壤中的循环过程加强,从而增加了硒的有效性。(2)当有机质作为阴离子的环境物质时,可能成为硒在土壤传输过程中的屏障<sup>[24]</sup>,使硒在土壤中富集,且有机质能吸附和固定大部分硒,一般来说,有机质含量高的地区其土壤硒浓度相对较高。本研究中土壤硒与有机质的相关系数为0.479,呈极显著正相关性,即土壤中硒的含量随着有机质含量的增加而增加。

#### 2.4.2 海拔高度对土壤硒含量的影响

海拔高度对土壤硒含量也具有二重性影响,一方面随着海拔高度的增加,气温降低,有机质分解速率变低,土壤表层中大部分硒被有机质吸附和固定,进而使得植物吸收的硒含量以及土壤中被淋溶的硒含量减少,使得表层土壤硒富集<sup>[20, 27]</sup>。另一方面,温新平等<sup>[28]</sup>研究表明,土壤硒含量随着海

拔的升高而降低,可能是由于在地形地貌变化复杂的区域,局部小气候现象明显,降雨比较充沛,加之硒元素在地质环境中易迁移特性,容易发生淋溶而导致海拔高的地区硒元素匮乏。

对遵义市土壤硒含量与海拔高度做相关分析(图5)发现,遵义市土壤硒含量与海拔高度相关系数为0.305,呈显著正相关关系,即土壤硒含量随着海拔的增高有增加趋势。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461~1658m之间。随着海拔的升高温度降低,有机质分解缓慢使得有机复合态与硒结合减弱,进一步使得植物获取的硒减少,硒在土壤中富集,表现出表层土壤硒含量随着海拔的升高有增加的趋势。从遵义市土壤硒含量分布图(图4)可知,西部高海拔地区土壤硒含量普遍较高,东部低海拔地区土壤硒含量普遍较低,这与上述分析基本一致。

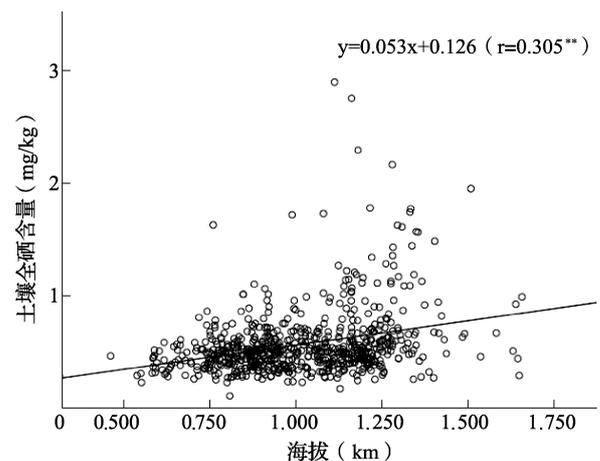


图5 表层土壤硒含量与海拔的相关关系

#### 2.4.3 成土母质对土壤硒含量的影响

土壤是母质层岩石经风化形成,成土母质直接制约着土壤硒含量及其分布<sup>[29]</sup>,一般来说,母质岩影响着其上覆表层土壤硒含量,土壤中硒的含量与基岩的含硒量成正比,李娟等<sup>[30]</sup>研究表明,贵州省开阳地区成土母质硒含量控制着土壤硒含量,两者呈显著正相关性。基岩的硒含量成为土壤硒含量的最终来源,其含硒量与其所处地质背景、气候环境及岩石性质密不可分。除在盆地、谷地等地势较低地区发育的冲积土壤外,贵州省内的土壤多在原地基岩基础上风化形成。王甘露等<sup>[31]</sup>对贵州省内的砂页岩、碳酸盐岩、煤矿层等不同基岩含硒量进行比较分析,结果表明煤矿层广泛出露的地区其

土壤硒含量最高,其顺序为煤矿层>碳酸盐岩>砂页岩。

遵义地区大部分成土母岩发育成寒武系地层的沉积岩,成土物质主要为寒武系高台组、清虚洞组、金顶山组中的风化堆积物<sup>[32]</sup>。遵义地区二叠系、寒武纪黑色页岩系硒含量较高,一些富硒岩石和矿石在风化作用下形成含硒量较高的土壤,导致土壤硒在一定区域富集。同时,遵义市煤矿层广泛出露地表,受地表径流侵蚀和风化作用影响,矿物中的硒元素被大量释放到土壤中,造成硒在煤矿层分布较广地区富集。因此,遵义市富硒岩层和广泛出露含硒量高的煤矿层也是影响土壤含硒量的主要因素。

### 3 结论

本研究通过对遵义市土壤硒含量空间分布及其影响因素进行分析,得出以下结论:

(1) 遵义市土壤硒含量平均值为  $0.56 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 高出全国 ( $0.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 和贵州省 ( $0.369 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 土壤硒含量的均值。遵义市 95% 的土壤硒含量达到足硒及以上水平,其中有  $18\,996 \text{ km}^2$  的土壤属于富硒水平。

(2) 研究区西北部和南部边缘呈现出明显的连续分布的土壤富硒带,中部和东部地区有明显的土壤硒含量低值区,少数地区出现硒富集现象,其空间变异主要是由一些结构性因素引起的。

(3) 土壤全氮、有机质、海拔高度和成土母质对土壤硒含量及分布有显著影响,遵义市富硒岩层和广泛出露含硒量高的煤矿层也是影响土壤含硒量的主要因素。

(4) 由于遵义市复杂的地形条件,以及不同植被和土壤性状差异,使得土壤硒的空间分布呈现较强的复杂性和变异性,今后需要结合更多土壤性状指标和植物吸收等过程,才能对该地区土壤硒的分布得出全面、准确的认识。

### 参考文献:

- [1] Ben Amara I, Troudi A, Garoui E, et al. Protective effects of selenium on methimazole nephrotoxicity in adult rats and their offspring [J]. *Exp Toxicol Pathol*, 2011, 63 (6): 553-561.
- [2] Ohlendorf H M. Bioaccumulation and effects of selenium in wildlife [M] //Selenium in agriculture and environment. SSSA Special Publication No. 23. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1989. 133-177.
- [3] 崔剑波. 生态环境中的生命元素硒 (Se) 与健康的研究 [J]. *生态学进展*, 1989, 6 (4): 243-251.
- [4] Wang J, Li H R, Li Y H, et al. Speciation, distribution, and bioavailability of soil selenium in the Tibetan Plateau Kashin-Beck Disease area-A case study in Songpan County, Sichuan Province, China [J]. *Biological Trace Element Research*, 2013, 156: 367-375.
- [5] 胡艳华, 王加恩, 蔡子华, 等. 浙北嘉善地区土壤硒的含量、分布及其影响因素初探 [J]. *地质科技情报*, 2010, 6 (29): 84-88.
- [6] 郑达贤, 李口郑. 初论世界低硒带 [J]. *环境科学学报*, 1982, 2 (3): 241-249.
- [7] 宁婵娟, 吴国良. 微量元素硒与人体健康及我国富硒食品的开发状况 [J]. *山西农业科学*, 2009, 37 (5): 88-90.
- [8] 迟凤琴, 徐强, 匡恩俊, 等. 黑龙江省土壤硒分布及其影响因素研究 [J]. *土壤学报*, 2016, 53 (5): 1262-1274.
- [9] 周启清, 李坤梁. 遵义地区富锌富硒茶发展现状分析 [J]. *中国经贸*, 2014, (13): 57-59.
- [10] 全双梅, 连国奇, 秦趣. 贵州富硒资源开发利用对策研究 [J]. *湖北农业科学*, 2013, 52 (24): 6023-6025.
- [11] 瞿建国, 徐伯兴, 龚书椿. 氢化物发生-无色散原子荧光光度法测定土壤中有效态硒和总硒 [J]. *土壤通报*, 1998, 29 (1): 47-50.
- [12] 唐玉霞, 王慧敏, 刘巧玲, 等. 原子荧光法测定小麦中硒含量的研究 [J]. *华北农学报*, 2009, 24 (S1): 218-220.
- [13] Fujii R, Deverel S J, Hatfield D B. Distribution of selenium in soils of agricultural fields, western San Joaquin Valley, California [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1988, 52 (5): 1274-1283.
- [14] 张朝生, 章申, 何建邦. 长江水系沉积物重金属含量空间分布特征研究-地统计学方法 [J]. *地理学报*, 1997, 52 (2): 184-192.
- [15] 何亚琳. 贵州省土壤含硒量及其分布 [J]. *土壤学报*, 1996, 33 (4): 391-397.
- [16] 谭见安. 中华人民共和国地方病与环境图集 [M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 唐将, 李勇, 邓富银, 等. 三峡库区土壤中硒、碳、氟分布特征与规律研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2005, 14 (4): 491-495.
- [20] 章海波, 骆永明, 吴龙华, 等. 香港土壤研究 II. 土壤硒的含量、分布及其影响因素 [J]. *土壤学报*, 2005, 42 (3): 404-410.
- [21] 王晓杰, 孟凡乔, 吴文良. 内蒙古武川县土壤硒分布特性研究 [J]. *土壤通报*, 2016, 47 (3): 624-629.
- [22] 朱建明, 梁小兵, 凌宏文, 等. 环境中硒存在形式的研究现

- 状 [J]. 矿物岩石地区化学通报, 2003, 22 (1): 75-81.
- [23] 刘铮. 中国土壤微量元素 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996.
- [24] 李永华, 王五一. 硒的土壤环境化学研究进展 [J]. 土壤通报, 2002, 33 (3): 230-233.
- [25] 李杰, 杨志强, 刘枝刚, 等. 南宁市土壤硒分布特征及其影响因素探讨 [J]. 土壤学报, 2012, 49 (5): 1012-1020.
- [26] 肖春艳, 武俐, 赵同谦, 等. 南水北调中线源头区蓄水前土壤氮磷分布特征 [J]. 中国环境科学, 2013, 33 (10): 1814-1820.
- [27] 张晓平, 张玉霞. 西藏土壤中硒的含量及分布 [J]. 土壤学报, 2000, 37 (4): 558-562.
- [28] 温新平, 陈永祥, 王三祥, 等. 山西省水土含硒量及大骨节病区的海拔分布 [J]. 广东微量元素科学, 1996, 3 (2): 61-64.
- [29] Luo K, Xu L, Tan J, et al. Selenium source in the selenosis area of the daba region, South Qinling Mountain, China [J]. Environmental Geology, 2004, 45: 426-432.
- [30] 李娟, 龙健, 汪境仁. 贵州开阳地区土壤中硒的地球化学特征 [J]. 土壤通报, 2004, 35 (5): 579-582.
- [31] 王甘露, 朱笑青. 贵州省土壤硒的背景值研究 [J]. 环境科学研究, 2003, 16 (1): 23-26.
- [32] 刘义, 徐一帆, 邵树勋. 贵州凤冈县田坝村茶园土壤硒的含量及评价 [J]. 贵州地质, 2012, 29 (1): 72-76.

### Soil selenium distribution and its influencing factors in Zunyi city

DENG Jun<sup>1</sup>, SHI Hua-ding<sup>2</sup>, ZHAO Jian<sup>3</sup>, HAN Xiao-bin<sup>3</sup>, PENG Yu-long<sup>3</sup>, LIU Jing<sup>3</sup>, MA Jin<sup>2\*</sup> (1. Chongqing Vocational Institute of Engineering, Chongqing 402260; 2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012; 3. Zunyi Branch Company of Guizhou Tobacco Company, Zunyi Guizhou 563000)

**Abstract:** The study of soil selenium distribution and its influencing factors is of great significance for understanding the spatial distribution of selenium in certain regions, regional agricultural product safety and human health. The study collected 701 representative surface soil samples in Zunyi, and analyzed their selenium 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 selenium in the surface soil of Zunyi. In addition, the potential effects of soil pH, soil TN, soil organic matter, altitude and soil parent material on the concentration and distribution of soil selenium were also discussed. The results show that the total soil selenium content in Zunyi is ranged from 0.10 to 2.90 mg · kg<sup>-1</sup> with the mean value of 0.56 mg · kg<sup>-1</sup>, which belongs to the category of enough selenium soil and rich selenium soil. There is a soil selenium rich zone in the northwestern and southern region of Zunyi. The content of soil total selenium has no correlation with pH, but has a significant positive correlation with soil TN, soil organic matter and altitude. In addition, the selenium rich strata and the widely exposed coal seam with high selenium content in Zunyi are also suspected to be the main factors which affect the the selenium concentrations in the soil.

**Key words:** Zunyi; soil; selenium; variation characteristics; ordinary kriging method; space distribution