

基于 Arc GIS 的彭水县烟区土壤有效态微量元素丰缺评价*

秦建成¹ 罗云云² 魏朝富¹ 高明¹

(1 西南大学资源环境学院, 重庆 400716)

(2 西南林学院环境科学与工程系, 昆明 650224)

摘要 研究基于 Arc GIS 技术, 应用地统计学方法对彭水县烟区土壤微量元素丰缺状况进行了评价。结果表明: 研究区域土壤微量元素中, 有效铜、有效铁及有效锰的样本呈正态分布, 其他微量元素为偏态分布, 其变异系数在 29.47% (有效铜) ~ 51.76% (有效铁) 之间变化; 土壤有效铜、有效硼、有效铁和有效锰的样本数据最佳拟合模型为球状模型, 有效钼和有效锌为指数模型; 土壤微量元素的随机变异均小于结构性变异, 有效铜、有效硼、有效钼及有效锌的空间自相关性相对较弱, 有效铁及有效锰则具有较强的空间自相关性; 有效铜、有效锰、有效硼含量偏低, 有效钼、有效铁及有效锌含量丰富。

关键词 地统计学; 空间异质性; 分布格局; 彭水县
中图分类号 S158.3 **文献标识码** A

土壤作为一个时空连续的变体, 具有高度的空间异质性^[1], 不论在大尺度上还是在小尺度上, 其基础环境信息的空间异质性均存在^[2,3]。目前, 多数研究者探讨了土壤养分流失的机理、影响养分流失的因子及如何控制养分流失^[4~6], 部分学者应用地统计学从小尺度分析单一或部分养分的空间变异特征^[7,8], 也有研究者从传统统计学角度对土壤基础环境信息变异特征进行了分析^[9]。由于受样本数量的要求, 目前关于空间变异的研究主要集中于相对小尺度上进行, 很少有学者从大尺度对区域性变量的分布和结构进行研究^[10]。

烟区土壤一般分布在海拔 800 ~ 1 100 m 的偏远山地及台源地区, 土壤侵蚀剧烈, 地形破碎, 养分流失比较严重, 其养分元素的空间异质性也较明显。本研究以重庆市彭水县烟区土壤为研究对象, 基于 Arc GIS 技术, 运用地统计学方法对土壤有效态微量元素丰缺状况进行评价, 旨在弄清该县烟区土壤微量元素的空间变异特征及其分布格局, 为烟草平衡施肥提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域与取样方法

研究区域在重庆市彭水县 (107°48' ~ 108°36' E,

28°57' ~ 29°51' N), 属三峡低山丘陵地区, 相对高差 1 600 m, 温暖多雨, 光热资源偏低, 气候立体差异大。烟区土壤主要以钙质常湿锥形土 (矿子黄泥) 为主, 占旱地的 81.8% 左右, 主要分布在海拔 600 ~ 2 000 m 的低山丘陵区, 土质疏松, 比较适宜烟草的生长。根据烟区土壤分布状况、土壤类型及种植面积, 并兼顾不同生态条件及不同肥力水平的地块, 采用 GPS 定位, 按每 20 hm² 采集 1 个耕层 (0 ~ 20 cm) 土壤样点, 最小样本间距为 400 m, 每个样点设置 4 次重复。将 4 个重复的样品充分混合后, 用四分法取大约 1 kg 的土样带回实验室进行室内系统分析, 共采集 235 个样品 (见图 1)。

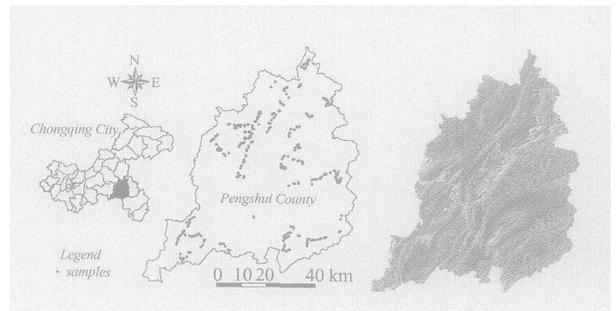


图 1 样本点分布及彭水县数字高程模型

Fig. 1 Distribution of sampling sites and DEM of Pengshui

* 国家重点基础研究发展规划项目 (01CB108905) 和重庆市科委项目 (03-7948) 资助

作者简介: 秦建成 (1976 ~), 男, 博士, 主要从事水土资源信息化管理研究。E-mail: qinjiancheng1976@126.com

收稿日期: 2005 - 09 - 29; 收到修改稿日期: 2006 - 03 - 24

1.2 测定方法

铁、锰、锌、铜采用原子吸收分光光度法;钼采用极谱法;硼采用姜黄素比色法^[11]。

1.3 土壤微量元素地统计分析方法

采用 Arc GIS 8.3 软件的地统计学模块完成相关参数的计算。

2 结果与分析

2.1 植烟土壤微量元素统计特征

烟区土壤微量元素统计分析是以统计学为基础,采用样点的均值、标准差、峰度、偏斜度、最大值、最小值和变异系数等统计特征来描述土壤微量元素的含量

和分布特征。均值和偏斜度反映样本的中心趋向及分布状况,变异系数和标准差反映取样样本的变异程度。

在研究区域表层土壤微量元素中,有效钼的变异系数最小为 29.47%,有效铁的变异系数最大为 51.76%,其它元素的变异系数在这两个数之间。如果变量的偏斜度为 0,那么这个变量呈现正态分布,否则为偏态分布。因此,从表 1 可以看出,有效铜、有效铁和有效锰初步被认为服从正态分布,其它元素服从偏态分布。应用正态 QQ 分布方法对样本原始数据进行检验,有效铜、有效铁、有效锰被确定服从正态分布;有效硼、有效钼及有效锌服从偏态分布。土壤有效铁和有效锰的标准差较大,表明彭水县烟区土壤中有效铁和有效锰含量差异较大。

表 1 土壤有效态微量元素统计分析

Table 1 Statistics of soil available microelements

项目 Item	均值 Average (mg kg ⁻¹)	最大值 Max (mg kg ⁻¹)	最小值 Min (mg kg ⁻¹)	峰度 Kurtosis	偏斜度 Skewness	变异系数 Variation coefficient	标准差 Standard deviation	分布状态 Distribution
有效铜 Available Cu	2.07	3.37	0.94	2.35	0.23	31.88	0.66	正态分布 Normal
有效硼 Available B	0.24	0.48	0.08	2.66	0.70	50.83	0.12	偏态分布 Asymmetric
有效钼 Available Mo	0.19	0.33	0.12	2.81	0.81	29.47	0.06	偏态分布 Asymmetric
有效铁 Available Fe	29.15	55.90	3.77	2.00	0.06	51.76	15.09	正态分布 Normal
有效锰 Available Mn	71.06	119.0	25.50	1.99	0.15	37.63	26.74	正态分布 Normal
有效锌 Available Zn	2.32	5.35	1.19	3.93	1.30	44.65	1.04	偏态分布 Asymmetric

由于用正态分布的数据进行克里格空间插值的效果要比用偏态分布的数据插值的好,所以对偏态分布的数据进行转换使其接近于正态分布。应用地统计模块中的对数转换模型对偏

态分布的数据进行转换(表 2)。经对数转换后,有效硼、有效钼及有效锌的偏斜度都非常接近于 0,说明转换数据接近正态分布,适宜进行空间插值处理。

表 2 土壤有效态微量元素数据对数转换

Table 2 Logarithm transformation of soil available microelement data

项目 Item	均值 Average (mg kg ⁻¹)	最大值 Max (mg kg ⁻¹)	最小值 Min (mg kg ⁻¹)	峰度 Kurtosis	偏斜度 Skewness	变异系数 Variation coefficient	标准差 Standard deviation
有效硼 Available B	- 1.53	- 0.62	- 2.52	2.01	- 0.07	33.52	0.51
有效钼 Available Mo	- 1.70	- 1.10	- 2.12	2.08	0.40	16.70	0.28
有效锌 Available Zn	0.76	1.68	0.17	2.54	0.70	51.58	0.39

2.2 烟区土壤微量元素的空间变异特征

地统计学中半变异/协方差建模是空间描述与空间预测的关键。应用半变异函数理论模型对烟区土壤微量元素数据进行最优化拟合,发现最佳拟合模型为球状模型和指数模型。从表 3 可以看出:彭水县烟区土壤中,抽样样品有效铜的随机变异最小,

为 25.92%,有效铁的随机变异最大,为 46.44%。烟区土壤微量元素由空间自相关引起的结构性变异均大于随机变异,且微量元素均方根标准误差都接近于 1,经交叉验证说明,预测值与实际测量值接近,土壤微量元素在此研究尺度上具有较强的空间自相关性。

表 3 土壤有效态微量元素地统计学参数及相关检验

Table 3 Geo-statistical parameters of soil available microelements and their related tests

土壤养分 Soil nutrient	理论模型 Theoretical model	块金值 Nugget	基台值 Sill	块金值/基台值 Nugget/Sill (%)	自相关阈值 Range (km)	均方根标准误差 Root-Mean-Square Standardized error
有效铜 Available Cu	球状模型 Spherical	0.15	0.57	25.92	0.10	0.96
有效硼 Available B	球状模型 Spherical	0.09	0.35	26.36	0.15	0.98
有效钼 Available Mo	指数模型 Exponential	0.08	0.28	26.69	0.23	0.98
有效铁 Available Fe	球状模型 Spherical	0.17	0.37	46.44	0.70	1.03
有效锰 Available Mn	球状模型 Spherical	0.63	1.85	33.96	0.70	0.97
有效锌 Available Zn	指数模型 Exponential	0.13	0.46	27.64	0.20	1.00

自相关阈值提供了研究某种属性相似范围的一种测度,表明属性因子空间自相关范围的大小,它与观测尺度以及取样尺度对土壤微量元素的各种生态过程的影响大小等有关。在研究区域内,烟区土壤微量元素的自相关阈值具有较为明显的差异性,变化范围从 0.10 ~ 0.70 km,土壤有效铜、有效硼、有效钼及有效锌的自相关阈值均小于最小样本尺度,说明各微量元素空间自相关性弱,相反,有效铁及有效锰则具有较强的空间自相关性。一方面,中、低山地形严重影响了土壤基础环境的生态演变,使得微量元素的空间随机变异增大,导致了整个微量元素的空间结构变异加大,说明在相似的土地利用方式和经营活动下,地形因素决定了基础环境的空间自相关范围,这与孙波等^[12]对丘陵地区肥力的研究相一致。另一方面,土壤自身部分营养元素具有易移

动特征,容易流失和淋溶损失,其随机变异大,自相关性减弱,自相关阈值就小;相反,对于相对稳定、不易被流失的营养元素,其随机变异小,自相关性较强,自相关阈值就大。

2.3 彭水县烟区土壤有效态微量元素丰缺评价

土壤养分的空间分布格局是土壤空间异质性的具体表现,是土壤在不同位置上的物理、化学和生物过程相互作用的结果。利用普通克里格法对彭水县植烟区土壤微量元素空间分布格局进行空间插值(图 2)。

应用 ArcGIS 中的 Spatial Analyst 模块对生成的土壤有效态微量元素格局的 Grid 图进行分析和计算,依据土壤有效态微量元素的评价标准(表 4)^[13],对彭水县烟区土壤有效态微量元素含量状况进行评价。

表 4 土壤有效态微量元素的评价指标

Table 4 Evaluation indexes of soil available microelements(mg kg⁻¹)

微量元素 Microelements	很低 Lower	低 Low	中等 Middle	高 High	很高 Higher	临界值 Critical value
有效铜 Available Cu	<1.00	1.00 ~ 2.00	2.10 ~ 4.00	4.10 ~ 6.00	>6.00	2.00
有效硼 Available B	<0.25	0.25 ~ 0.50	0.51 ~ 1.00	1.01 ~ 2.00	>2.00	0.50
有效钼 Available Mo	<0.10	0.10 ~ 0.15	0.16 ~ 0.20	0.21 ~ 0.30	>0.30	0.15
有效铁 Available Fe	<5.00	5.00 ~ 7.00	7.10 ~ 10.00	10.10 ~ 15.00	>15.00	7.00
有效锰 Available Mn	<50	50 ~ 100	101 ~ 200	201 ~ 300	>300	100
有效锌 Available Zn	<1.00	1.00 ~ 1.50	1.60 ~ 3.00	3.10 ~ 5.00	>5.00	1.50

土壤有效铜含量小于 1.0 mg kg⁻¹的面积占 0.03%,1.0 ~ 2.0 mg kg⁻¹的面积占 37.95%,大于 2.0 mg kg⁻¹的面积占 62.02%。彭水县烟区土壤有效铜含量处于中等偏低标准,北部中等,南部偏低。

土壤有效硼含量均小于临界值含量 0.50 mg kg⁻¹,硼含量小于 0.25 mg kg⁻¹的面积占 37.30%,0.25 ~ 0.50 mg kg⁻¹的面积占 62.70%,彭水县烟区土壤有效硼含量严重偏低。

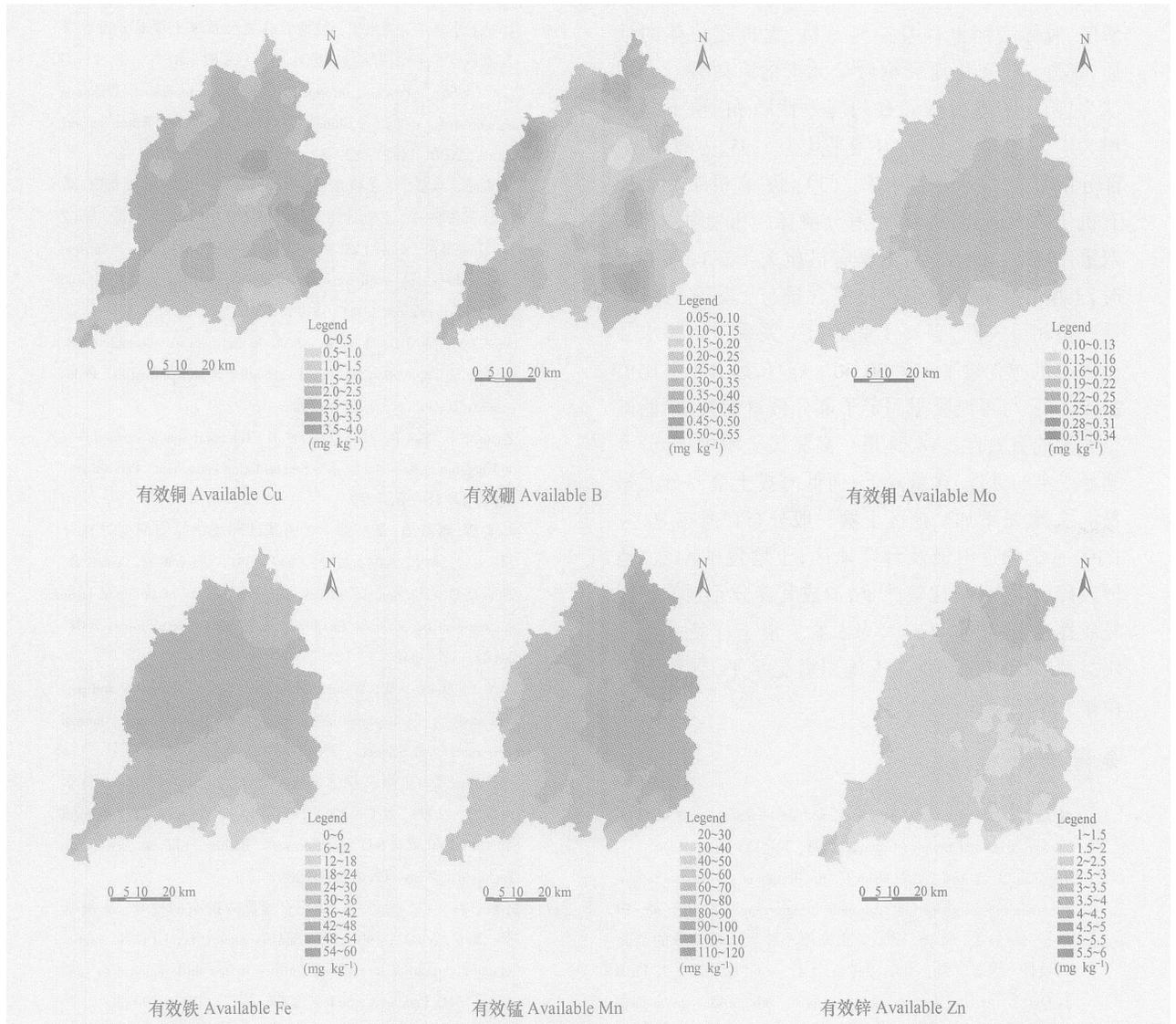


图2 土壤有效态微量元素的空间分布格局

Fig. 2 Spatial distribution patterns of soil available microelements

土壤有效钼含量在 $0.10 \sim 0.15 \text{ mg kg}^{-1}$ 的面积占 2.57% , $0.16 \sim 0.20 \text{ mg kg}^{-1}$ 的面积占 78.76% , $0.21 \sim 0.30 \text{ mg kg}^{-1}$ 的面积占 18.67% , 土壤有效钼含量中等偏高。

土壤有效铁含量呈现由北向南逐渐减少的趋势。有效铁含量高于临界值含量 15 mg kg^{-1} 的面积占 99.43% , $10 \sim 15 \text{ mg kg}^{-1}$ 的面积占 0.54% , 表明土壤有效铁比较丰富。

土壤有效锰含量呈现由东北向西南逐渐减少的趋势。有效锰含量为 $50 \sim 100 \text{ mg kg}^{-1}$ 的面积最大, 占 98.78% , 说明土壤有效锰含量总体偏低。

土壤有效锌含量呈东北向西南逐渐减少的趋势。有效锌含量为 $1.60 \sim 3.00 \text{ mg kg}^{-1}$ 的面积最大,

占 89.27% , 大于 3.00 mg kg^{-1} 的面积占 10.55% , 小于 1.6 mg kg^{-1} 的面积仅占 0.18% , 土壤中有有效锌含量中等偏高。

3 讨论

土壤有效态微量元素含量呈以上分布格局, 可能主要受以下几种因素的影响: (1) 成土母质。不同母质发育的土壤, 养分分布具有差异性, 同一母质在不同分化阶段养分含量分布也有所差异。彭水县土壤成土母质多为泥质灰岩, 在高温高湿条件下, 脱硅富铝化明显, 从而影响了发育形成的土壤中微量元素的缺乏或富集。(2) 土壤 pH 值。土壤矿物的溶

解度,胶体表面电性及一些有机、无机配位体的性质,都随 pH 变化而影响微量元素的有效性。一般认为,阳离子型微量元素的有效性随 pH 值下降而增大^[14]。彭水县土壤 pH 值平均为 5.95,为酸性土,部分微量元素有效性较高。(3)土壤有机质。土壤有机质对土壤养分元素具有分解释放和吸附固定的双重作用。一般认为,土壤有机质大于 2.65 g kg^{-1} 时,土壤有效硼、钼、铜、锰、锌含量与土壤有机质含量呈负相关关系,有效铁呈正相关关系^[14]。彭水县土壤有机质含量平均为 30.50 g kg^{-1} ,远大于参比值 2.65 g kg^{-1} ,可能吸附固定了部分微量元素,降低微量元素的有效性。(4)地形。高海拔土壤中,养分元素易受水的淋洗,含量降低;而低海拔土壤养分元素易沉积,含量增加。烟区土壤一般分布在海拔 $800 \sim 1100 \text{ m}$ 的偏远山地及台塬地区,土壤侵蚀剧烈,地形破碎,养分流失比较严重,造成其养分元素的空间异质性也较明显。(5)人为因素。由于样品采集地块类型的单一性以及人工施用微肥水平,导致土壤微量元素的空间变异。

参考文献

- [1] Huggett R J. Soil chronosequences, soil development, and soil evolution: A critical review. *Catena*, 1998, 32: 155 ~ 172
- [2] Tangmar B B, Yost R S, Uehara G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, 1985, 38: 45 ~ 94
- [3] 王军,傅伯杰,邱扬,等.黄土高原小流域土壤养分的空间异质性. *生态学报*, 2002, 22(8): 1173 ~ 1178. Wang J, Fu B J, Qiu Y, *et al.* Spatial heterogeneity of soil nutrients in a small catchment of loess plateau (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1173 ~ 1178
- [4] 王百群,刘国彬.黄土丘陵地区地形对坡地土壤养分流失的影响. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1999, 5(2): 18 ~ 22. Wang B Q, Liu G B. Effects of relief on soil nutrient losses in sloping fields in hilly region of loess plateau (In Chinese). *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1999, 5(2): 18 ~ 22
- [5] 许峰,蔡强国,吴淑安.坡地农林复合系统土壤养分过程研究进展. *水土保持学报*, 2000, 14(1): 82 ~ 87. Xu F, Cai Q G, Wu S A. Progress in research on nutrient processes of sloping agroforestry systems (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, 14(1): 82 ~ 87
- [6] 吴志峰,卓慕宁,王继增,等.珠海正坑小流域土壤与氮、磷养分流失估算. *水土保持学报*, 2004, 18(1): 100 ~ 102. Wu Z F, Zhuo M N, Wang J Z, *et al.* Estimation of soil and N, P nutrient loss in zhengkeng small watershed (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(1): 100 ~ 102
- [7] Shen Z Q, Shi J B, Wang K, *et al.* Neural network ensemble residual kriging application for spatial variability of soil properties. *Pedosphere*, 2004, 14(3): 289 ~ 296
- [8] Zhang S R, Sun B, Zhao Q G, *et al.* Temporal-spatial variability of soil organic carbon stocks in a rehabilitating ecosystem. *Pedosphere*, 2004, 14(4): 501 ~ 508
- [9] 陈文辉,谢高地,卓庆卿.农田基础环境信息空间变异性分析. *生态学报*, 2004, 24(2): 347 ~ 351. Chen W H, Xie G D, Zhuo Q Q. The analysis of the spatial variability of farmland basic environment information (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2): 347 ~ 351
- [10] Li X Y, Zhang S W, Wang Z M, *et al.* Spatial variability and pattern analysis of soil properties in Dehui City, Jilin Province. *Journal of Geographical Sciences*, 2004, 14(4): 503 ~ 511
- [11] 鲁如坤主编.土壤农业化学分析方法.北京:中国农业科学出版社,1999. 205 ~ 206. Lu R K. ed. *Agriculture Chemical Analysis Method of Soil* (In Chinese). Beijing: Chinese Agriculture Technology Press, 1999. 205 ~ 206
- [12] 孙波,赵其国,闫国年.低丘土壤肥力的空间变异. *土壤学报*, 2002, 39(2): 190 ~ 198. Sun B, Zhao Q G, Lu G N. Spatiotemporal variability of red soil fertility in low hill region (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(2): 190 ~ 198
- [13] 刘铮主编.中国土壤微量元素.南京:江苏科学技术出版社,1996. 47 ~ 232. Liu Z. ed. *Microelements in Soils of China* (In Chinese). Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1996. 47 ~ 232
- [14] 谢德体主编.土壤肥科学.北京:中国林业出版社,2004. 305 ~ 307. Xie D T. ed. *Soil Fertilizer Science* (In Chinese). Beijing: China Forestry Publishing House, 2004. 305 ~ 307

ARC GIS- BASED ABUNDANCE EVALUATION OF AVAILABLE MICROELEMENTS IN TOBACCO SOIL IN PENGSHUI COUNTY

Qin Jiancheng¹ Luo Yunyun² Wei Chaofu¹ Gao Ming¹

(1 College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China)

(2 Department of Environmental Science and Engineering, Southwest Forestry College, Kunming 650224, China)

Abstract A study on distribution of soil available nutrients on the field scale is important for improving agricultural management, and for assessing effects of agriculture on environmental quality and degrees of the influence of some random factors, such as human disturbance of soil properties. However, soil nutrients are highly heterogeneous whether on a large scale or a small scale, and their heterogeneity results from many processes acting and interacting across a continuum of spatial and temporal scales. Due to nutrient loss along with serious soil erosion in hilly area of Three Gorges Reservoir Area, some researchers have studied mechanism of soil nutrient loss and how to control soil nutrient loss, and others have explored variability of soil nutrients described with classical statistical methods. However, there is little information available on spatial variability and scales of soil nutrients in this area. Hence, spatial patterns of soil available microelements in tobacco soil were studied in Pengshui, using geo-statistics of ArcGIS. Results show available Cu, available Fe and available Mn took on normal distribution while the others were subjected to Asymmetric distribution; the coefficients of variation of soil available microelements ranged from available Mo of 29.47% to available Fe of 51.76%; global model and exponential model were applied to simulating them respectively; the random variance indexes of soil available microelements were all lower than their structural variance indexes and the available Fe and available Mn were characterized by relatively strong spatial correlation, while the others by weak one; available Cu, available Mn and available B tended to be lower, but available Mo, available Fe and available Zn were higher in content.

Key words Geo-statistics; Spatial heterogeneity; Patterns; Pengshui County