

小尺度下烟田土壤有效态微量元素空间分布格局研究

王新中^{1,2}, 刘国顺^{1*}, 杨程², 张春华¹, 刘清华³, 张耀旭³

(1.河南农业大学, 国家烟草栽培生理生化研究基地, 郑州 450002; 2.云南省烟草公司大理州公司, 云南 大理 671000; 3.平顶山市烟草公司, 河南 平顶山 467100)

摘要: 为探讨微肥的精准施用, 采用地统计和 GIS 技术相结合的方法, 研究了植烟土壤有效态微量元素 (有效铁、锰、铜、锌) 的空间变异规律。结果表明, 土壤有效态微量元素变异幅度在 22.0%~48.4% 之间, 表现出中等强度的空间变异性。4 种微量元素的空间结构模型均符合球状模型, 利用克里格法生成 4 种元素的空间分布图显示, 研究区域有效铜和有效锰整体为中等偏高水平, 有效铁和有效锌含量缺乏的区域分别占 78% 和 43%。

关键词: 烟田土壤; 微量元素; 空间变异; 地统计学

中图分类号: S572.062

文章编号: 1007-5119 (2011) 01-0012-05

DOI: 10.3969/j.issn.1007-5119.2011.01.003

Spatial Distribution of Available Microelements in Tobacco Planting Soils with Small Scale

WANG Xinzong^{1,2}, LIU Guoshun^{1*}, YANG Cheng², ZHANG Chunhua¹, LIU Qinghua³, ZHANG Yaoxu³

(1. National Tobacco Cultivation, Physiology and Biochemistry Research Center, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. Dali Tobacco Company of Yunnan Province, Dali, Yunnan 671000, China; 3. Pingdingshan Tobacco Company, Pingdingshan, Henan 467100, China)

Abstract: Spatial distribution of soil available micro-elements in tobacco planting fields was studied to provide theoretical basis for precision application of micro-fertilizers using geostatistics and GIS technique on small scale. Results showed that soil available microelements (Fe, Mn, Cu, and Zn) had medium variability with coefficient of variation from 22.0% to 48.4%. The semivariograms of available microelements could be fitted well with the spherical models. Kriging method was used to generate spatial distribution maps of soil available microelements, which indicated the content of soil available Cu and Mn had medium to high levels, while the 78% and 43% area of the whole study region were lack of soil available Fe and Zn, respectively.

Keywords: tobacco plantation soil; microelement; spatial variability; geostatistics

烟草生长发育过程中对铁、锰、铜、锌等微量元素的需求量尽管相对较少, 但其参与烟株的呼吸、氧化及叶绿素的合成等重要生理生化过程^[1-2], 对烟叶的产量、品质和抗病能力有很大影响^[3-4]。随着土壤中氮、磷、钾的大量积累, 部分微量元素成为限制烤烟品质的重要因素。因此, 准确掌握土壤微量元素的空间分布状况, 是科学施用微肥、保证烟株摄入适量微量元素的基础。地统计学方法和 GIS 技术已经被证明是分析土壤特性变异规律及其

空间分布特征的最有效方法之一^[5]。国内外一些学者对不同尺度土壤中大、中量元素空间变异性及分布做了大量研究^[6-8], 针对小尺度烟田土壤微量元素空间变异性的研究较少^[9]。本试验应用地统计学和地理信息 (Geographical Information System, GIS) 技术相结合的方法研究褐土烟区土壤微量元素的空间变异格局, 为烤烟微肥的施用提供理论依据和决策参考。

基金项目: 国家烟草专卖局项目“典型省份烟草种植区划技术平台构建”(110200401021)

作者简介: 王新中, 男, 博士, 主要从事烤烟精准栽培研究。E-mail: xzwangl@163.com。*通信作者

收稿日期: 2009-09-16

修回日期: 2010-01-14

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

试验区位于平顶山市郟县堂街镇岔河村,面积约 87 hm² (图 1)。村中心位于东经 113°17'08"、北纬 33°53'05"。该区属暖温带大陆性季风气候,光照充足,四季分明。年平均气温 14.6℃,无霜期 220 d 左右。年平均降雨量 680 mm,7~9 月份降雨量占全年的 70% 左右,属“豫西丘陵干热少雨区”。土壤类型为褐土。

1.2 土壤样品采集与分析

2007 年 3 月在试验区利用 GPS 定位技术,采用 100 m 间隔采集 0~20 cm 耕作层土样 81 个,取样点分布如图 1 所示。样品经过风干碾磨,过筛后进行室内分析。有效铁、锰、铜、锌的测定用 EDTA 浸提后,由美国瓦里安的 VISTA-MPX CCD Simultaneous ICP-OES (全谱直读等离子体发射光谱)测定。每个样品测定 3 次。

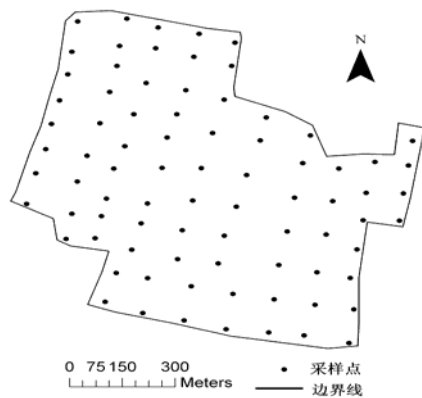


图 1 试验区边界及土壤采样点分布图

Fig.1 The boundary of study site and soil sampling points

1.3 数据处理方法

土壤养分的基本统计特征通过 SPSS11.0 完成,

实验半方差的计算、理论模型的拟合及 Kriging 插值在 GS+3.0 中完成,分布图的制作采用 ArcGIS 8.3 完成。

2 结果

2.1 土壤微量元素的描述性统计

在大量土壤样品的采集和分析过程中,异常值的出现将影响数据的正态分布性,造成 Kriging 插值的连续表面中断,使得实验半方差发生畸变,甚至掩盖变量固有的空间结构性。因此,需要对数据进行异常值的剔除。为保证变异函数的平稳性,又不损失样本信息,用剩余样本的最大值或最小值代替该异常值^[10]。本研究对有效铁数据中的 3 个异常值进行了剔除。

从表 1 可以看出,研究区域土壤有效铁的平均含量为 3.88 mg/kg,有效锰为 11.68 mg/kg,有效铜为 0.77 mg/kg,有效锌为 0.56 mg/kg。如果仅由土壤养分的平均含量进行分级(表 2)^[11],土壤微量元素中,铁元素含量相对缺乏,有效锰、铜、锌 3 种元素含量适中。研究区域 4 种微量元素均表现出较大的变间变异性,变异幅度在 22.04%~48.4%之间(表 1)。有效锌的变异性最大,变化幅度从最低值的 0.08 到最高值的 1.36,极差相差 17 倍。有效铁、有效锰的变异性次之,有效铜的变异性相对较小,为 22.0%。

2.2 土壤微量元素的半方差分析

数据的非正态分布会使方差函数产生比例效应,从而使实验方差函数产生畸变^[12],因此,必须对数据进行正态分布检验。本试验依据 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 正态分布检验概率 (P_{k-s}) 检验数据的正态性。结果表明,除有效铁含

表 1 土壤有效态微量元素的描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of soil microelements

土壤养分	平均值	标准差	最小值	中值	最大值	变异系数	偏度	K-S 检验*
有效铁/(mg·kg ⁻¹)	3.88	1.64	1.28	3.29	8.04	42.3	1.06	0.014
对数转换有效铁	0.55	0.17	0.11	0.52	0.91	0.31	0.29	0.389
有效锰/(mg·kg ⁻¹)	11.68	4.90	3.72	11.0	23.2	41.9	0.77	0.258
有效铜/(mg·kg ⁻¹)	0.77	0.17	0.50	0.75	1.27	22.0	0.95	0.215
有效锌/(mg·kg ⁻¹)	0.56	0.27	0.08	0.52	1.36	48.4	0.90	0.241

注: * Kolmogorov-Smirnov (K-S) 正态分布检验概率, $P_{k-s} > 0.05$, 表明服从正态分布。

量外，其余均符合正态分布。对有效铁含量数据进行了自然对数转换后呈正态分布(表1)，数据满足平稳假设。

对研究区域土壤微量元素进行半方差函数分析，利用半方差函数对同步长间距下的各种模型进行比较分析，计算得到5个模型的参数、决定系数和残差，选择决定系数最大和残差最小的为最优模型。根据各元素变异函数理论模型计算的相应参数(表3)，同时绘制土壤养分变异函数图(图2)。从表3看出，各指标理论模型均以球状模型最佳。有效锌模型拟合的决定系数为0.50，其他各指标模型决定系数均大于0.87，表明模型的拟合度高。

表2 土壤微量元素分级表 mg/kg
Table 2 Classification criterion for soil microelements from the second national soil survey

分级	铁	锰	铜	锌
极丰	>20	>30	>1.8	>3.0
丰	11~20	16~30	1.1~1.8	1.1~3.0
适中	4.6~10	5.1~15	0.21~1.0	0.51~1.0
缺	2.6~4.5	1.1~5.0	0.11~0.2	0.31~0.5
极缺	<2.5	<1.0	<0.1	<0.3

块金值表示随机取样的误差和小于取样间隔情况下的空间变异。由图2看出，所有土壤属性的半方差图中均存在一定的块金方差，说明存在由采样误差、微尺度空间变异等因素带来的块金效应。基台值反映某观测变量在研究范围内总的空间变异强度，表示系统总变异。块金值与基台值的比例可以表明系统变量的空间相关性的程度，如果该值高说明随机部分引起的空间异质性程度起主要作用^[13]。按照区域化变量空间相关性程度的分级标准，如果某变量块金值/基台值<25%，变量具有强烈的空间相关性；块金值/基台值在25%~75%之间，变量具有中等程度的空间相关性；块金值/基台值>75%时，变量空间相关性弱^[14]。该研究区域土壤有效铁、铜、锌等指标的块金值/基台值在17%~24%之间，均表现出强烈的空间相关性，有效锰的块金值/基台值为26%，表现出中等强度的空间相关性。从各元素的模型拟合程度和空间自相关程度的分析可以看出，尽管受施肥、灌溉等人为因素的影响，本研究区域各指标仍存在一定的空间相关性，且结构因素引起的空间变异起主导作用。最大相关距离(变程)反映出变量观测值空间自相关范围的

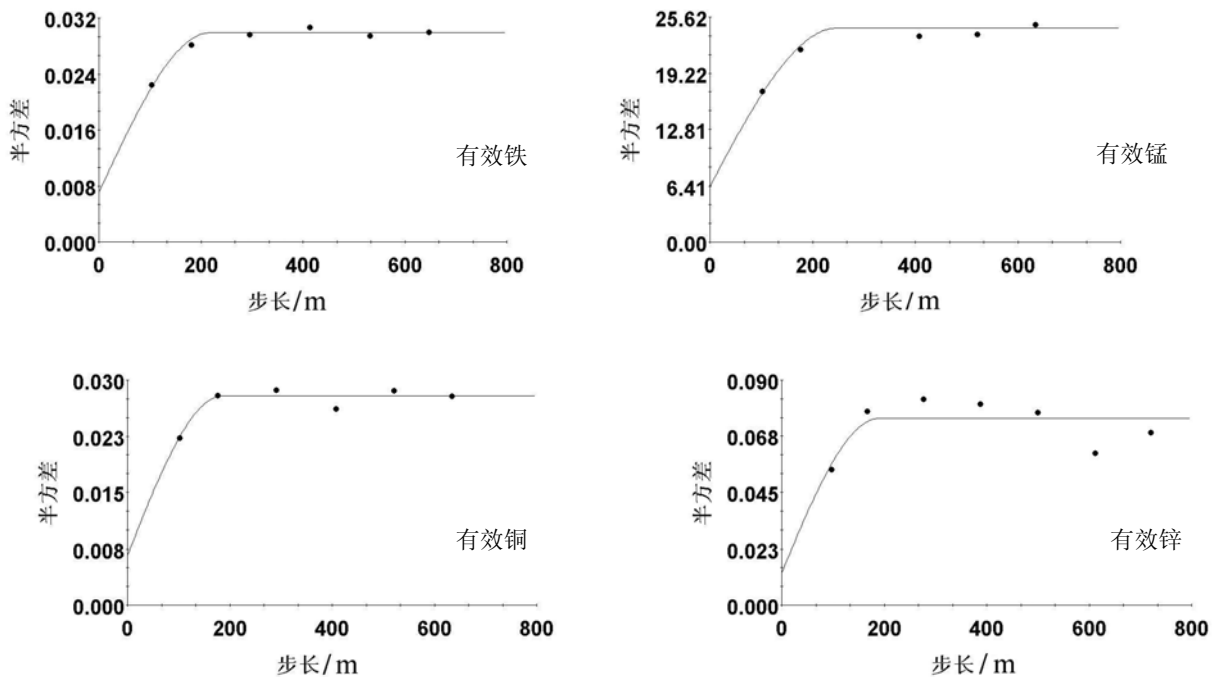


图2 土壤属性的半方差函数
Fig.2 Semivariograms of soil available microelements in this area

表 3 有效态微量元素半方差函数理论模型及有关参数
Table 3 Theoretical models and corresponding parameters of semivariogram of available microelements

土壤属性	块金值	基台值	(块金值/基台值)/%	变程/m	决定系数	残差
有效铁	0.0071	0.0299	24	218	0.97	1.56E-06
有效锰	6.38	24.36	26	247	0.93	3.264
有效铜	0.0066	0.0279	24	185	0.87	4.06E-08
有效锌	0.013	0.0746	17	189	0.50	3.46E-04

大小,在该范围之内观测值存在空间自相关,超出这个变程,则认为它们之间是相互独立的。土壤有效铁、有效锰、有效铜、有效锌的空间自相关距离介于 185 ~ 247 m 之间。其中,有效锰的相关距离大,达到 247 m,表现出较大尺度范围的空间自相关性,有效铜的变程最小为 185 m。

2.3 土壤微量元素的空间分布格局

在建立半方差模型的基础上,利用 Kriging 法对未采样点进行插值,将点状数据转换为面状数

据,生成土壤微量元素的空间分布图(图 3)。依据土壤有效态微量元素的评价标准(表 2),对研究区域有效态微量元素丰缺状况进行评价。

研究区域有效铁含量在 4.6 ~ 10 mg/kg 的土壤主要分布在东南部,占总面积的 22%,有效铁含量缺乏的土壤(2.6 ~ 4.5 mg/kg)面积最大,约占 65%,处于极缺范围的(<2.5 mg/kg)土壤零星分布,约占 13%。土壤有效锰的含量绝大部分处于 5.1 ~ 15 mg/kg 的范围,占 85%,16 ~ 30 mg/kg 范围的土壤主要分布在东部,面积约占 15%,土壤有效锰含量总体处于中等偏高水平。土壤有效铜的含量整体上西北低,东南高,均处于 0.5 ~ 1.0 mg/kg 之间,整体含量适中。土壤有效锌的含量在极缺到丰的等级中均有分布,主要集中在 0.51 ~ 1.0 mg/kg 的范围,面积约占 56%。含量小于 0.5 mg/kg 的土壤主要分布在中部,由北向南延伸,面积约占 43%,含量大于 1.0 mg/kg 的土壤零星分布,仅占 1%。可以看出,研究

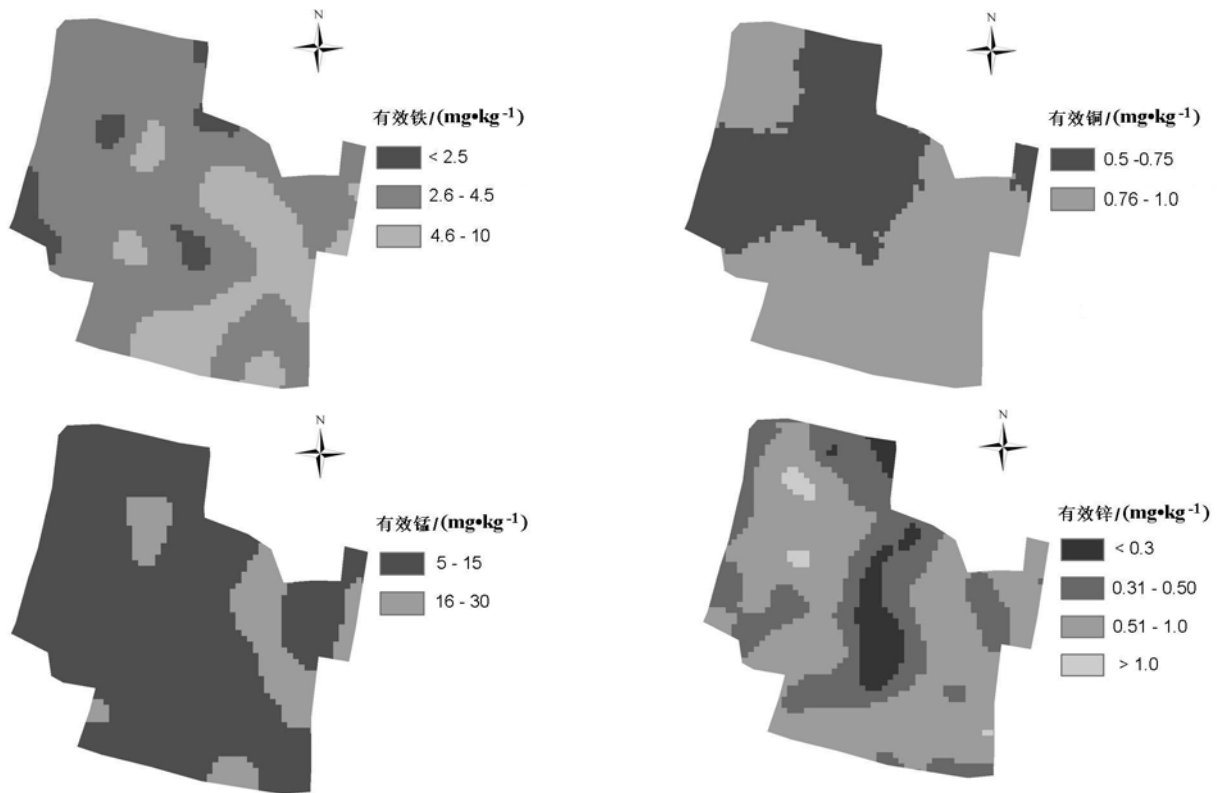


图 3 土壤微量元素的空间分布格局

Fig. 3 Spatial distribution maps of soil microelements in study area

区域有效铜和有效锰均处在中等偏高水平,有效铁含量低于临界值(4.5 mg/kg)的面积占到78%,有效锌含量低于临界值(0.5 mg/kg)的面积占43%。

3 讨论

研究区域4种微量元素均表现出较大的变间变异性,其变异性表现为有效锌>有效铁>有效锰>有效铜。因此,有必要利用地统计学研究其空间变异规律。

半方差函数计算结果表明,研究区域土壤有效铁、铜、锌的块金值/基台值在17%~24%之间,均表现出强烈的空间相关性,有效锰的块金值/基台值为26%,表现出中等强度的空间相关性。表明结构因素引起的变异占主导作用。娄翼来等^[15]的研究表明,土壤有效铜、锌表现出中等的空间相关性,而有效铁、锰的空间相关性微弱。研究结果的不同,表明在特定的区域需要有针对性的开展土壤微量元素空间变异性的相关研究。

土壤微量元素空间分布图表明,研究区域有效铜和有效锰整体中等偏高,有效铁和有效锌含量缺乏区域分别占到78%和43%。而铁是叶绿体结构形成时所必须的元素,缺铁时叶绿素基粒数减少,甚至消失,影响烤烟光合作用和干物质的积累^[16];锌是很多酶的组成成分和活化剂,当烟株缺锌时,生长缓慢,植株矮小,节间短,叶片小,顶叶簇生,下部叶有大量坏死斑^[2];当锌含量适宜时,能够调节和促进烤烟光合产物的合成、代谢和运转,烟株长势健壮,分层落黄好,烟叶易烘烤,能够明显改善烟叶的香气质、香气量、杂气和余味^[4]。因此,要依据微量元素分布图,在研究区域施铁肥,中部由北向南补施锌肥,以满足烟叶生长需求。

参考文献

- [1] 刘勤,张新,赵言文,等. 土壤植物营养与农产品品质及人畜健康关系[J]. 应用生态学报, 2001, 12(4): 623-626.
- [2] 胡国松,郑伟,王震东,等. 烤烟营养原理[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 198-209.
- [3] 聂新柏,靳志丽. 烤烟中微量元素对烤烟生长及产质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2003, 24(4): 30-34.
- [4] 周毓华. 微肥施用对烟叶产质量的影响研究[J]. 中国烟草科学, 2000, 21(4): 29-31.
- [5] Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in field [J]. *Advance in Soil Science*. 1985, 3: 1-70.
- [6] Liu G S, Wang X Z, Zhang Z Y, et al. Spatial variability of soil properties in a tobacco field of central China [J]. *Soil Science*, 2008, 173(9): 59-667.
- [7] 秦鱼生,涂仕华,冯文强,等. 成都平原水旱轮作种植下土壤养分特性空间变异研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(2): 355-359.
- [8] 冯娜娜,李延轩,张锡洲,等. 不同尺度下低山茶园土壤颗粒组成空间变异性特征[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 123-128.
- [9] 王勇,李廷轩,邢小军,等. 不同尺度下中低山区植烟土壤氮素空间变异性研究[J]. 中国烟草科学, 2008, 29(4): 18-24.
- [10] 黄绍文. 土壤养分空间变异与分区管理技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2001.
- [11] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术[M]. 北京: 农业出版社, 1990.
- [12] 沈思源. 土壤空间变异研究中地统计学的应用及其展望[J]. 土壤学进展, 1989, 17(3): 11-25.
- [13] 郭旭东,傅伯杰,马克明,等. 基于GIS和地统计学的土壤养分空间变异特征研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 557-563.
- [14] Kravchenko A N. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2003, 67: 1564-1571.
- [15] 娄翼来,颜丽,郝长红,等. 植烟土壤有效态微量元素的空间变异及分布特征[J]. 烟草科技, 2009(3): 49-52.
- [16] 韩锦锋. 烟草栽培生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 120-124.