

植烟土壤有效态微量元素空间变异特征^①

张春华¹, 张正杨¹, 刘国顺^{1*}, 王新中¹, 郝伟宏², 李延涛², 贾保顺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 河南省烟草公司郑县烟草分公司, 河南郑县 467100;

3 河南省烟草公司内乡县烟草分公司, 河南内乡 474350)

摘要: 基于 GIS 和 GPS 定位技术, 结合网格取样, 用地统计学方法研究了褐土烟区土壤有效态微量元素养分(速效 Fe、速效 Mn、速效 Cu、速效 Zn)的空间变异规律, 并绘制了微量元素空间分布图。结果表明: 土壤速效微量元素养分在整个研究区内均表现出中等变异水平, 其变异性大小表现为: 速效 Zn>速效 Mn>速效 Cu>速效 Fe。除速效 Mn 外, 其他微量元素都表现出很强的空间结构性, 速效 Cu、Zn 变程较短, 分别为 182 m 和 175 m, 速效 Mn 变程较长为 850 m。基于半方差函数模型, 用普通克里格法对研究区土壤速效微量元素养分进行了克里格插值, 结果表明: 速效 Fe 在研究区内普遍缺乏, 速效 Mn、速效 Cu 含量中等偏高, 而速效 Zn 含量在整个研究区表现出明显的差异性。

关键词: 植烟土壤; 有效态微量元素; 空间变异; 地统计学

中图分类号: S3

作物高产优质的目标要求人们在施肥时, 科学施入 N、P、K 等大量营养元素, 并兼顾微量元素的平衡^[1]。烟草生长所必需的 Cu、Zn、Fe、Mn 等微量元素, 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^[2], 对烟叶的产量、品质和抗病能力有很大影响。微量元素主要靠土壤和施肥供给^[3]。准确测定土壤中有效态微量元素含量, 科学划分其含量区域, 对科学配方施肥、保证烟叶摄入适量微量元素和保护土壤生态环境很有必要。土壤微量元素含量区划的基础是元素含量的空间变异性^[4]。近 30 年来, 随着信息技术的发展, GPS、GIS 和地统计学等已大量应用于土壤、施肥及生态环境等研究领域^[5-7], 特别是土壤养分的空间变异研究已成为土壤学科研究的热点之一^[8-11]。国内外一些学者对不同尺度土壤中大中微量元素空间变异性及分布做了大量研究^[12-15]。但是目前针对植烟土壤微量元素空间变异性的研究较少, 而对其空间分布的充分了解是管理好土壤微量元素和合理施肥的基础。为此, 本文采用 GPS 和 GIS 技术, 应用地统计学方法研究了褐土烟区土壤微量速效养分空间变异特征, 使其可视化, 旨在弄清烟区土壤微量元素的空间变异特征及其分布格局, 便于土壤养分的精准管理和施肥决策, 为烟草精准施肥, 充分发挥烟田土壤生产潜力,

减少环境污染, 提高烟叶品质, 实现烟叶生产的可持续发展提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区域基本情况

试验区位于河南平顶山市郑县茨芭乡上丁村, 村中心位于 113°2'52"E、33°7'54"N。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 天左右。年平均降雨量 678.6 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, 质地中壤。

1.2 样点布置与采样分析

2007 年 3 月中旬, 于整地起垄前, 在上丁村试验区进行土壤样品的采集工作, 利用 GPS 定位技术, 采用“网格法”取土壤样品, 网格间隔 100 m。方法是在以网格点为圆心、5 m 为半径的范围内采集 10 钻 0~20 cm 的耕层土壤组成代表该点的混合样本。研究区域总面积约 34.2 hm², 共采集样品 49 个(图 1)。室内土壤样品测试项目包括速效 Fe、速效 Mn、速效 Cu 和速效 Zn, 用联合浸提液(DTPA-CaCl₂-TEA)浸提^[16], 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。

①基金项目: 国家烟草专卖局重点项目(110200401021)资助。

*通讯作者(liugsh1851@163.com)

作者简介: 张春华(1983—), 男, 河南鹿邑人, 硕士研究生, 主要从事烟草栽培生理生化研究。E-mail: zhangchunhua83@sina.com

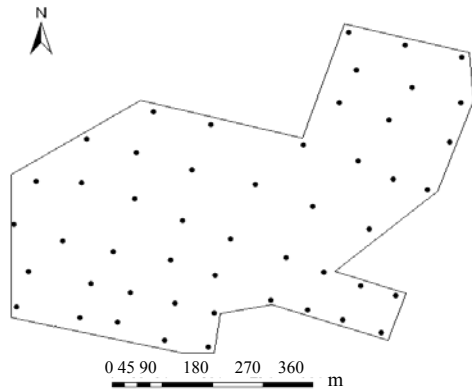


图 1 上丁村采样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling sites of Shangding

1.3 研究方法和数据处理

本文应用普通克里格法对土壤速效 Fe、Mn、Cu、Zn 的空间变异特征进行了研究。在半方差函数计算和模型拟合时采用地统计学软件GS⁺ for windows3.0, 克立格插值 (Kriging) 以及最终成果图的编辑、输出是在 ArcGIS软件支持下完成的。从对实验半方差函数的拟合结果来看, 土壤速效 Fe、Cu、Zn 理论模型为球状模型, 速效Mn 为指数模型。

半方差函数是描述土壤性质空间变异的一个函数, 反映了不同距离的观测值之间的变化, 所谓半方差函数就是两点间差值的方差的一半, 即:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{r=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

式中 $\gamma(h)$ 为间距为 h 的半方差, 在一定范围内随 h 的增加而增大, 当测点间距大于最大相关距离时, 该值趋于稳定。半方差函数模型有球状 (Spherical)、高斯 (Gaussian)、指数 (Exponential) 和线性无基台和有基台值 (linear, linear to sill) 等模型。本研究用到的主要是球状和指数模型。

球状模型:

$$\gamma(h) = C_0 + C[1.5(h/a) - 0.5(h/a)^3] \quad 0 \leq h \leq a \quad (2)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad h > a \quad (3)$$

指数模型:

$$\gamma(h) = C_0 + C[1 - \exp(-h/a)] \quad h > 0 \quad (4)$$

$$\gamma(h) = 0 \quad h = 0 \quad (5)$$

式中, C_0 表示基底方差 (间距为 0 时的半方差), C 为结构方差, C_0+C 为基台值 (半方差函数随间距递增到一定程度后出现的平稳值), a 为变程 (半方差达到基台值的样本间距)。对于球状模型, a 表示观测点之间的最大相关距离, 指数模型的最大相关距离为 $3a$ 。

2 结果与分析

2.1 土壤速效微量养分含量的统计特征描述

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。表 1 统计结果表明: 研究区内土壤速效Fe的平均含量为 2.62 mg/kg, 速效Mn为 9.49 mg/kg, 速效Cu为 0.67 mg/kg, 速效Zn为 0.44 mg/kg。依据土壤有效态微量元素的评价标准 (表 2) [17], 研究区内速效Fe含量普遍较低, 含量变化于 1.50 ~ 3.58 mg/kg之间, 均明显低于土壤缺Fe临界值 4.5 mg/kg, 故该区存在普遍缺Fe的可能。速效Mn含量变化于 5.07 ~ 14.59 mg/kg之间, 均大于土壤缺Mn临界值 5.0 mg/kg, 速效Mn在研究区内含量较为丰富。速效Cu含量变化于 0.32 ~ 1.02 mg/kg之间, 平均含量为 0.67 mg/kg, 而土壤缺Cu临界值为 0.20 mg/kg, 研究区内Cu含量比较丰富。速效Zn在研究区内变化于 0.11 ~ 0.68 mg/kg之间, 平均含量为 0.44 mg/kg, 小于土壤缺Zn临界值 0.50 mg/kg, 故部分区域存在缺Zn的可能。变异系数可以用来比较样本间的变异程度, 研究区域内各指标变异范围在 16.41 ~ 31.82% (表 1), 变异性表现为: 速效 Zn > 速效 Mn > 速效 Cu > 速效 Fe, 速效Zn的

表 1 土壤速效微量养分的统计描述

Table 1 Statistical description of soil rapidly available micronutrients

项目	均值 (mg/kg)	最大值 (mg/kg)	最小值 (mg/kg)	峰度	偏斜度	变异系数	标准差	K-S 值
有效 Fe	2.62	3.58	1.5	0.16	0.14	16.41	0.43	0.138
有效 Mn	9.49	14.59	5.07	-0.32	0.38	23.81	2.26	0.074
有效 Cu	0.67	1.02	0.32	0.35	0.3	20.9	0.14	0.089
有效 Zn	0.44	0.68	0.11	-0.44	-0.15	31.82	0.14	0.253

表 2 土壤有效态微量元素的评价指标 (mg/kg)

Table 2 Evaluation indexes of soil available microelements

微量元素	很低	低	中等	高	很高	临界值
速效 Fe	<2.50	2.50~4.50	4.50~10.0	10.0~20.0	>20.0	4.50
速效 Mn	<1.00	1.00~5.00	5.00~15.0	15.0~30.0	>30.0	5.00
速效 Cu	<0.10	0.10~0.20	0.20~1.00	1.00~1.80	>1.80	0.20
速效 Zn	<0.30	0.30~0.50	0.50~1.00	1.00~3.00	>3.00	0.50

空间变异性较大,变化幅度从最低值的 0.11 mg/kg 到最高值的 0.68 mg/kg,极差之间相差达 6.18 倍。速效 Fe、速效 Mn、速效 Cu 的空间变异性则相对较小。

2.2 土壤养分的空间变异结构

在对数据进行地统计学分析之前,必须对数据进行正态分布检验。因为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。本试验依据 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 正态分布检验概率 (P_{k-s}) 进行检验,结果表明:土壤养分指标均服从正态分布,因此可用 Kriging 法进行地

统计学分析。

对所测土壤速效 Fe、速效 Mn、速效 Cu、速效 Zn 进行半方差函数分析,根据各要素变异函数理论模型得出相应参数(表 3),并绘制半方差函数图(图 2)。从表 3 可看出:理论变异函数对于实验变异函数拟合都比较好,除了速效 Zn 的决定系数为 0.84 外,其余元素的决定系数都在 0.90 以上,且残差都很小。土壤速效 Mn 的理论模型符合指数模型,速效 Fe、速效 Cu、速效 Zn 的理论模型较好地符合球状模型。

表 3 土壤养分变异函数理论模型及相关参数

Table 3 Best-fitted semivariogram models of soil micronutrients and corresponding parameters

土壤养分	理论模型	块金值	基台值	基底效应 (%)	变程 (m)	决定系数 R^2	残差
速效 Fe	球状模型	0.011	0.201	5.5	231	0.93	3.85E-04
速效 Mn	指数模型	2.450	6.298	38.9	850	0.99	5.26E-02
速效 Cu	球状模型	0.004	0.018	22.2	182	0.95	1.37E-06
速效 Zn	球状模型	0.003	0.019	15.7	175	0.84	5.46E-06

块金值由实验误差和小于实验取样尺度引起的变异,较大的块金值表明较小尺度上的某种过程不容忽视。基台值(半方差函数随间距递增到一定程度后出现的平稳值)表示系统内总的变异。基底效应即块金值与基台值之比表示随机部分引起的空间异质性占总变异的比,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^[18]。按照区域化变量空间相关性程度的分级标准,当基底效应<25%,变量具有强烈的空间相关性;在 25%~75% 之间,变量具有中等的空间相关性;而在>75% 时,变量空间相关性很弱。从表 3 可以看出,速效 Fe、速效 Cu 和速效 Zn 的基底效应较低,分别为 5.5%、22.2% 和 15.7%,该研究区域中速效 Fe、速效 Cu、速效 Zn 均表现出强烈的空间自相关性,表明其空间异质性主要是由于结构性因素引起的,研究区域的土壤质地为中壤,地形为丘陵,土壤类型为褐土可以导致土壤养分强的空间相关性。速效 Mn 的基底效应稍高,为 38.9%,表现出中

等程度的空间相关性,表明其变异是由结构性因素和随机性因素(人为因素与土壤微变异等)共同作用的结果。

最大相关距离(变程)反映出属性因子空间自相关范围的大小,它与观测尺度以及在取样尺度上影响土壤养分的各种生态过程、人为因素、自然条件等作用都有关。表 3 结果显示,研究区内不同观测指标的最大相关距离差异较大,介于 175~850 m 之间,其中速效 Mn 的相关距离大,达到 850 m,表现出较大尺度范围的空间自相关性。速效 Zn 的变程最小为 175 m。

2.3 土壤速效微量养分含量的空间分布图

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研究区土壤微量元素空间分布格局进行空间插值,结果见图 3。对生成的土壤有效态微量元素格局图进行分析和计算,

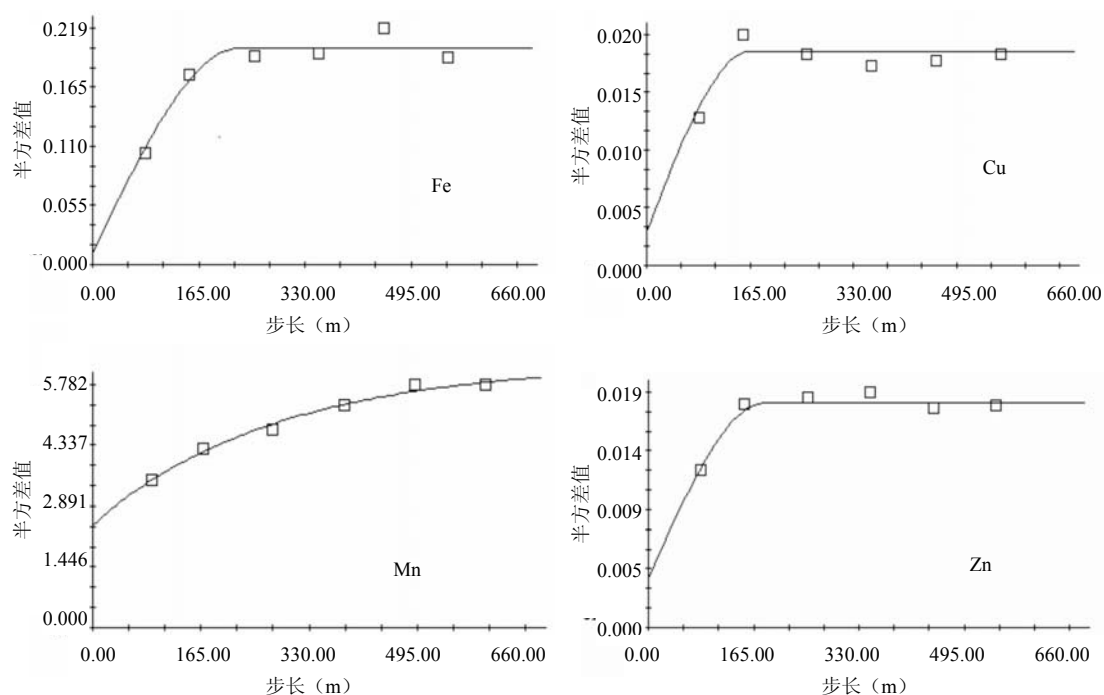


图 2 土壤速效微量养分的半方差函数图

Fig. 2 Semi-variograms of soil rapidly available micronutrients

依据土壤有效态微量元素的评价标准(表 2),可对研究区土壤有效态微量元素含量状况进行评价。

土壤有效 Fe 含量 $< 2.5 \text{ mg/kg}$ 的面积约占 37.44%,主要集中在西部中间, $2.5 \sim 3 \text{ mg/kg}$ 的面积最大,占到了 45.19%,有效 Fe 含量均低于临界值含量 4.5 mg/kg ,总体看来整个研究区内速效 Fe 处于严重偏低水平。土壤有效 Mn 含量呈现由东北向西南逐渐减少的趋势,有效 Mn 含量为 $9.0 \sim 10.5 \text{ mg/kg}$ 的面积最大,占 46.37%, $10.5 \sim 15 \text{ mg/kg}$ 的面积约占 16.23%,主要分布于东北角,土壤有效 Mn 含量处于中等偏高水平。土壤有效 Cu 含量西北偏低,呈现自西北向东逐渐升高的趋势,含量 $0.5 \sim 0.7 \text{ mg/kg}$ 的面积占 62.19%,含量 $0.7 \sim 0.8 \text{ mg/kg}$ 的面积占 29.85%,整体来看,研究区土壤有效 Cu 含量处于中等偏高标准,东北偏高,西北偏低。土壤有效 Zn 含量分布较为复杂,空间结构性比较差,呈零星块状分布,有效 Zn 含量为 $0.3 \sim 0.5 \text{ mg/kg}$ 的面积最大,占 64.06%, $< 0.3 \text{ mg/kg}$ 的面积为 5.34%,土壤中有有效 Zn 含量处于偏低水平。总之,研究区内有效 Fe 的含量严重偏低,有效 Mn 和有效 Cu 的含量处于中等偏高水平,有效 Zn 70% 的地区都低于临界值。因此,全区应该补施 Fe 肥,西北和东南补施 Zn 肥。

3 结论

在整个研究区内,土壤速效 Zn 含量普遍较低,低于临界值,速效 Mn 含量较为丰富,速效 Fe 含量偏低,仅稍大于土壤速效 Fe 极低值,远低于临界值 4.5 mg/kg ;速效 Cu 含量中等偏高,远大于临界值。研究区土壤微量元素的变异性表现为速效 $\text{Zn} > \text{速效 Mn} > \text{速效 Cu} > \text{速效 Fe}$,基本都处于中等变异水平。半方差函数计算结果表明速效 Zn、Cu、Fe 在研究区内表现出很强的空间结构性,其基底效应都在 25% 以下,速效 Mn 基底效应为 38.9%,说明速效 Mn 在小尺度范围内的随机因素引起的变异比较大,表现出中等程度的空间相关性。各微量元素变程差异性很大,速效 Fe、Cu、Zn 变程较短,分别为 231 m、182 m 和 175 m,速效 Mn 变程较长,为 850 m。土壤微量养分含量空间分布图表明速效 Fe 在研究区普遍严重缺乏,速效 Mn 在研究区内含量较丰富,均处于中等含量偏高水平,速效 Zn 含量在研究区内差异性较大,呈现零星分布,70% 的地区含量处于偏低水平,速效 Cu 在整个研究区内含量都处于中等偏上水平。故建议依据微量养分空间分布图,全区补施 Fe 肥,西北和东南补施 Zn 肥,以确保烟叶正常生长。

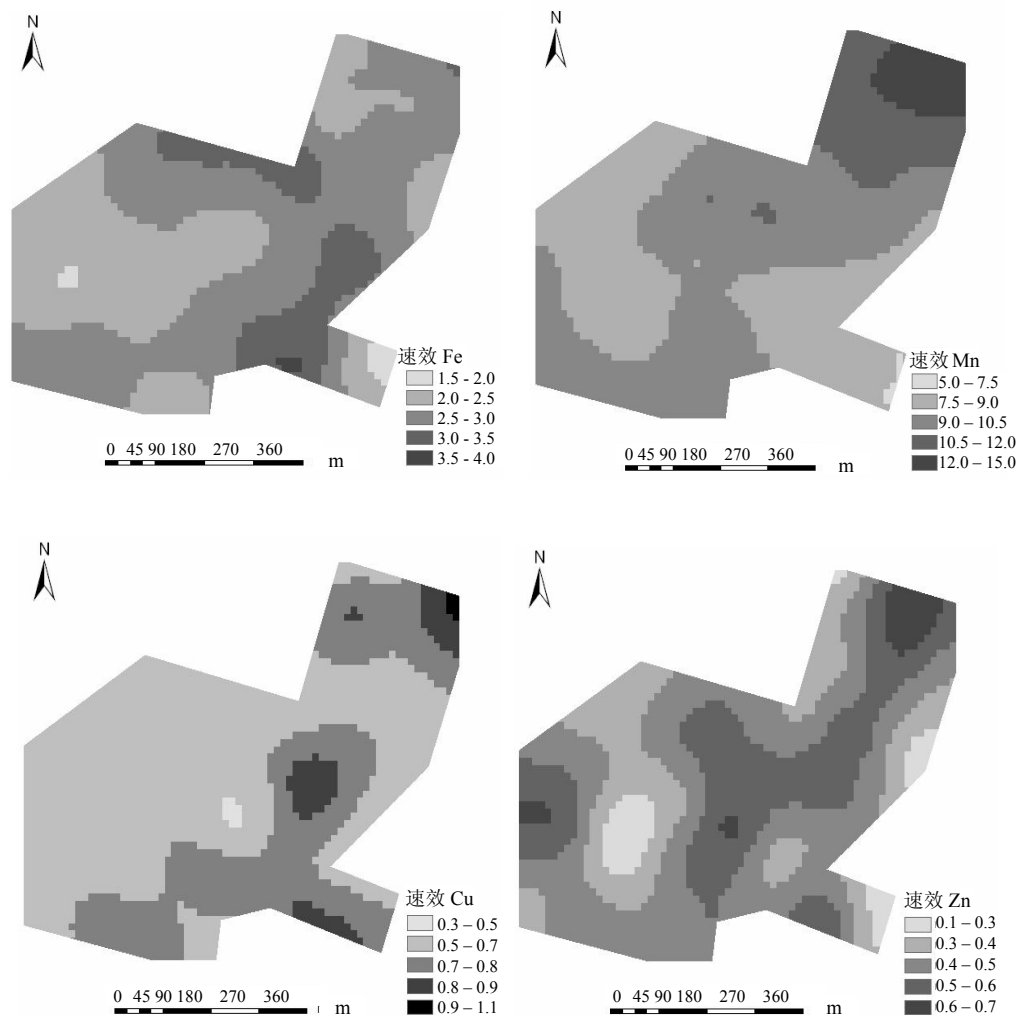


图 3 土壤有效态微量元素 (mg/kg) 的空间分布格局

Fig. 3 Spatial distribution patterns of soil available microelements

参考文献:

- [1] 刘勤, 张新, 赵言文, 胡正义, 王校常, 曹志洪. 土壤植物营养与农产品品质及人畜健康关系. 应用生态学报, 2001, 12(4): 623-626
- [2] 高明, 慈恩. 重庆市植烟土壤有效态微量元素含量评价. 中国农业生态学报, 2007, 15(3): 25-28
- [3] 陶晓秋. 四川西南烟区土壤有效态微量元素含量评价. 土壤, 2004, 36(4): 438-441
- [4] 苏伟, 聂宜民, 胡晓洁, 李强, 张建国. 农田土壤微量元素的空间变异及 Kriging 估值. 华中农业大学学报, 2004, 23(2): 222-226
- [5] 罗林, 周应书, 何兴辉, 谢永贵, 王敏, 吴明艳. 岩溶山地生态退化的海拔空间变异. 生态与农村环境学报, 2009, 25(1): 23-26
- [6] 危常州, 侯振安, 朱和明, 鲍柏杨, 张福锁. 基于 GIS 的棉田精准施肥和土壤养分管理系统的研究. 中国农业科学, 2002, 35(6): 678-685
- [7] Liu GS, Wang XZ, Zhang ZY, Zhang CH. Spatial variability of soil properties in a tobacco field of central China. Soil Science. 2008, 173(9): 659-667
- [8] 张淑娟, 何勇, 方慧. 基于 GPS 和 GIS 的田间土壤养分空间变异性的研究. 农业工程学报, 2003, 19(2): 39-44
- [9] Wang XZ, Liu GS, Hu HC, Wang ZH, Liu QH, Liu XF, Hao WH, Li YT. Determination of management zones for a tobacco field based on soil fertility. Computers and Electronics in Agriculture. 2009, 65(2): 168-175
- [10] Ruffo ML, Bollero GA, Hoelt RG. Spatial variability of the Illinois soil nitrogen test: implications for soil sampling. Agron. J., 2005, 97:1485-1492
- [11] Bekele A, Hudnall WH. Spatial variability of soil chemical

- properties of a prairie forest transition in Louisiana. *Plant Soil*, 2006, 280:7-21
- [12] Trangmar BB, Yost RS, Uehara G. Application of geostatistics to spatial studies of soil. *Advances in Agronomy*, 1985, 38: 45-94.
- [13] White JG, Welch RM, Norvell WA. Soil zinc map of the USA using geostatistics and geographic information systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1997, 61:185-194
- [14] 冯娜娜, 李廷轩, 张锡洲, 王永东, 夏建国. 不同尺度下低山茶园土壤有机质含量的空间变异. *生态学报*, 2006, 26(2): 349-356
- [15] 廖桂堂, 李廷轩, 王永东, 张锡洲, 黄平. 不同尺度下低山茶园土壤主要微量元素的空间变异性. *土壤*, 2008, 40(2): 257-263
- [16] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国科技出版社, 1999: 226-227
- [17] 河南省土壤普查办公室. 河南土壤. 北京: 中国农业出版社, 2004: 511-545
- [18] 郭旭东, 傅伯杰, 马克明, 陈利顶, 杨福林. 基于 GIS 和统计学的土壤养分空间变异特征研究. *应用生态学报*, 2000, 11(4): 557-564

Spatial Variability Characteristics of Soil Available Microelements in Tobacco Field

ZHANG Chun-hua¹, ZHANG Zheng-yang¹, LIU Guo-shun¹, WANG Xin-zhong¹, HAO Wei-hong², LI Yan-tao², JIA Bao-shun³

(1 *National Tobacco Cultivation and Physiology and Biochemistry Research Centre, Henan Agriculture University, Zhengzhou 450002, China;*

2 Jiaxian Tobacco Leaf Company of Henan Province, Jiaxian, Henan 467100, China;

3 Neixiang Tobacco Leaf Company of Henan Province, Neixiang, Henan 474350, China)

Abstract: Based on GIS and GPS technology, the geostatistics method was applied to study the spatial variability characteristics of soil available microelements (Cu, Fe, Mn and Zn) in tobacco field. The results showed that spatial variability of soil available microelements were all at moderate levels in the whole research region, and the sequence was in an order of $Zn > Mn > Cu > Fe$. Except Mn, other microelements all showed very strong spatial structures, Cu and Zn had shorter auto-correlation distances, which were 182 m and 175 m respectively; Mn had relatively longer auto-correlation distance, which was 850 m. Based on semi-variogram, ordinary Kriging method was applied to interpolate soil available microelements in the research region, the results showed that Fe was widely deficient in the research region, the contents of both Mn and Cu were at moderate levels, while the content of Zn showed an apparent discrepancy in the research region.

Key words: Tobacco soil, Available microelements, Spatial variability, Geostatistics