

文章编号: 1000- 5471(2007) 06- 0098- 06

丘陵地区植烟土壤有机质空间变异研究

——以重庆市彭水县为例^①

张 薇^{1,2}, 高 明¹, 王 辉³, 秦建成¹,
宋珍霞¹, 郑杰炳¹, 鲍金星¹

1 西南大学 资源环境学院, 重庆 400716; 2 中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部 昆明 650223;
3 中国科学院 南京土壤研究所, 南京 210008

摘要: 以重庆市彭水县为例, 采用传统统计学和地统计学方法研究了丘陵地区植烟土壤有机质的空间变异特征. 传统统计分析结果表明: 研究区域内土壤有机质含量平均为 26.99 g/kg, 变异系数为 0.33, 属于中等变异强度. 比较了不同趋势效应下普通 Kriging 法的插值误差, 结果表明应考虑有机质分布的各向异性和二阶趋势效应. 在此基础上采用普通 Kriging 插值法得到该区土壤有机质含量的变异特征, 其变异主要发生在西南到东北方向, 这与该地区的地形和人为活动有密切关系.

关 键 词: 土壤有机质; 植烟土壤; 趋势效应; Kriging 插值

中图分类号: S158

文献标识码: A

植烟土壤上, 有机质含量的高低直接影响到土壤肥力的状况, 并对烤烟的生长发育和经济性状有直接的影响. 揭示土壤有机质的空间变异特征和了解有机质的分布状况是实现植烟区土壤可持续利用以及烤烟生产可持续发展的前提和基础.

国内外已有许多学者应用地统计学的方法进行了土壤理化性质的空间变异性研究, 如 Chung 等^[1]应用地统计学的方法研究了粉质壤土中有机质含量、土壤 pH 值、交换性磷和钾以及土壤某些物理特性(容重、楔入阻力等)的空间变异性, 并得到了应用 Kriging 法可以提高采样效率. Davis J G 等^[2]研究了土壤 pH 值、可交换性酸、有效磷、交换性盐基和有机质的空间变异特征, 得到了土壤化学性质的空间变异模式. 张世熔、陈彦等^[3,4]从大区域尺度的范围分析了土壤养分的空间变异性. 胡顺军等^[5]在经典统计分析方法的基础上, 结合自相关和半方差分析方法讨论了河灌区土壤电导率和重量含水量的空间变异性, 得到了合理取样数目和最大相关域. 高峻、张世熔等^[6,7]在考虑了趋势效应和各向异性的条件下分别研究了农田土壤颗粒和冲积平原区土壤颗粒的组成及分布特性. 综上所述, 在考虑趋势效应和各向异性的情况下, 运用地统计学的方法研究大尺度范围内, 丘陵地区植烟土壤有机质空间变异特性在国内外还鲜见报道. 本文以重庆市彭水县植烟土壤为研究对象, 采用地统计学方法和 ArcGIS 8.3 软件, 在考虑各向异性及趋势效应的同时, 分析了丘陵地区植烟土壤有机质的空间变异特征, 并为植烟土壤培肥以及烟草可持续发展提供参考.

① 收稿日期: 2007- 05- 12

基金项目: 重庆市科委 (03- 7948) 和重庆市烟叶公司 (03582) 资助项目.

作者简介: 张 薇(1982-), 女, 云南玉溪, 硕士研究生, 主要从事土壤质量与环境方面的研究.

通讯作者: 高明, 博士, 副研究员.

1 研究区域与方法

1.1 研究区域

彭水苗族土家族自治县位于重庆市东南部,东经 $107^{\circ}48' - 108^{\circ}36'$,北纬 $28^{\circ}57' - 29^{\circ}51'$,全县东西宽 78 00 km,南北长 96 40 km,总面积为 3 905 22 km². 该区地处武陵山区,居乌江下游,相对高差 1 600 m,全县地势西北高而东南低,为构造剥蚀的中、低山地形,地貌类型复杂,主要特征为“两山夹一槽”. 总的气候特点为雨量充沛、光照偏少,气候立体差异大,属于中亚热带湿润季风气候区,年均降雨量 1 104 20 mm,年均蒸发量 950 40 mm,年均气温 17. 50 ℃,无霜期 311 d. 植烟区土壤的主要类型为黄壤,占旱地的 81. 8% 左右,主要分布在海拔 600~ 2 000 m 的中低山丘陵区.

根据当地烟草种植情况,剔除非植烟区域后所剩余的地域作为本文的研究区域(见图 1).

1.2 土壤样品的采集和化学分析

根据植烟区土壤的分布状况和烤烟种植面积,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 个土壤样品,取样深度为 0 ~ 20 cm,最小样本间距为 400 m. 为增强取样的代表性,每一个样点附近按同一采样深度取多点混和,用四分法取约 1 kg 的土样带回室内风干,以备分析用. 全县共采集样品 297 个(见图 1),土壤类型为黄壤. 土壤有机质的含量采用重铬酸钾容量法测定^[8].

1.3 研究方法

Fisher 所创立的古典统计方法假设土壤特性是彼此独立且均匀分布的,这种方法可以在样本少、材料多样和环境多变的情况下获取最多的信息. 但实际上土壤性质是在某一特定的时空中彼此相关的. 地统计学把地学方法和统计学方法相结合,以区域化变量、随机函数和平稳性假设等概念为基础,以半方差函数为核心,以克立格插值法为手段,分析研究自然现象的空间变异问题^[9].

半方差函数能够较好地描述区域化变量的空间分布结构性和随机性,从而使针对区域化变量的空间变异性分析得以实现. 在假设区域化变量 $Z(x)$ 满足二阶平稳假设或本征假设条件下,试验半方差函数 $\gamma(h)$ 的基本公式如下^[10]:

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

式中: h 为样点的空间分隔距离, $N(h)$ 是分隔距离为 h 时的样本对总数. $Z(x_i)$ 与 $Z(x_i + h)$ 分别是区域化变量 $Z(x)$ 在空间位置 x_i 和 $x_i + h$ 处的实测值.

Kriging 法实质上是利用区域化变量的原始数据和半方差函数的结构特点,对未采样点的区域化变量的取值进行无偏最优估计的一种方法,它将未测定处 x_0 的估计值 $Z'(x_0)$ 假设为已知观测值的线性和,公式如下^[11]:

$$Z'(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i)$$

式中: λ 为与测点有关的权重系数.

1.4 数据处理

数据分析采用 Fisher 传统统计学和地统计学的方法. 主要以 ArcGIS8.3 软件中的地统计学模块



图 1 土壤样点分布图

(GeoStatistical Analyst) 进行半方差分析、趋势分析以及结合普通 Kriging 插值方法获得土壤有机质含量等直线图等.

2 结果与分析

2.1 植烟土壤有机质含量的 Fisher 统计特征

Nielsen 根据土壤参数的变异系数值的大小将土壤参数分成强变异, 中等变异和弱变异三类, 强变异参数的变异系数大于 100%, 中等变异参数的变异系数在 10% ~ 100% 之间, 而弱变异参数的变异系数小于 10%^[7]. 根据 Fisher 理论对实测样本数据进行传统统计分析, 得到了土壤有机质含量的统计特征值(表 1). 从表 1 可以看出: 研究区域内所有采样点中, 土壤有机质含量的最大值为 76.39 g/kg, 最小值 11.52 g/kg, 平均值 26.99 g/kg, 标准差 9.03 g/kg, 变异系数 0.33, 属于中等变异强度.

表 1 植烟土壤有机质含量的统计特征值

土壤类型	样本数	最大值/ (g·kg ⁻¹)	最小值/ (g·kg ⁻¹)	均值/ (g·kg ⁻¹)	标准差/ (g·kg ⁻¹)	变异系数
黄壤	297	76.39	11.52	26.99	9.03	0.33

2.2 趋势分析

由于受成土因素以及种植制度的影响, 区域土壤性质的空间分布常呈明显的趋势特征和异向性分布. 运用 ArcGIS8.3 软件中的地统计学模块(GeoStatistic Analyst), 可以获得土壤有机质异向性分布特征以及趋势效应特征. 趋势效应一般分为 0 阶(没有趋势效应)、常量(区域化变量沿一定方向呈常量增加或者减少)、一阶(区域化变量沿一定方向呈直线变化)、二阶或多阶(区域化变量沿一定方向呈多项式变化). 图 2 是研究区域内土壤有机质含量的趋势效应分析示意图. 图中, X 轴表示正东方向, Y 轴表示正北方向, Z 轴表示各样点土壤有机质测定值的大小; 左后投影面上的曲线表示东—西向的全局性趋势效应变化, 右后投影面上的曲线表示的是南—北向全局性的趋势效应变化.

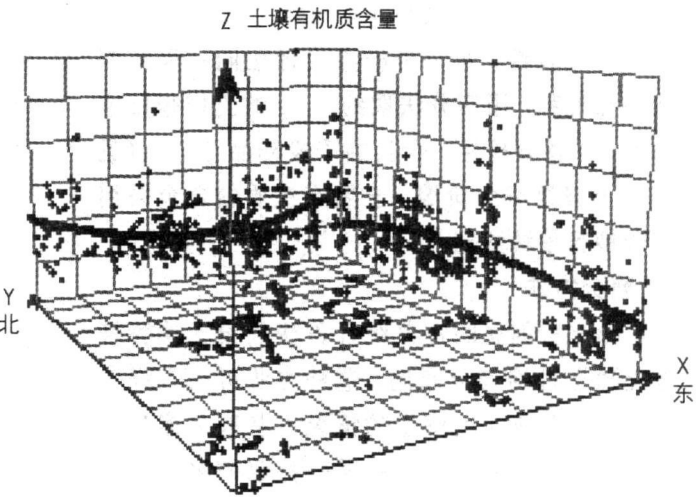


图 2 土壤有机质含量趋势分析

图 2 表明, 彭水县植烟土壤有机质含量在东西和南北方向上的分布趋势均呈抛物线变化. 具体表现为: 在东西方向上, 有机质含量呈先减少后增加的趋势; 在南北方向上, 则相反.

在考虑各向异性的情况下, 选择 0 阶、一阶和二阶趋势效应参数, 并结合普通 Kriging 法所造成的插值误差进行比较(表 2). Kriging 模型及其参数的合适程度需要进行综合评价. 评价标准包括^[12,13]: ①平均误差 ME 的绝对值最接近于 0; ②标准化平均误差 MSE 的绝对值最接近于 0; ③平均标准误差 ASE 与均方根误差 RMSE 最接近; ④标准化均方根误差 RMSSE 最接近于 1.

从表 2 可以看出, 选择二阶趋势效应参数条件下, ME 和 MSE 的绝对值最接近于 0, ASE 与 RMSE 最接近, 且 RMSSE 最接近于 1. 所以, 在进行普通 Kriging 插值时, 趋势参数宜选择二阶.

表 2 不同趋势阶数插值误差的比较

趋势效应	变程/km		预测误差				
	长轴	短轴	ME	RMSE	ASE	MSE	RMSSE
无	75.16	31.94	-0.02880	7.421	6.620	-0.005471	1.121
一阶	75.16	31.91	-0.02955	7.415	6.623	-0.005602	1.120
二阶	64.09	27.15	-0.00431	7.613	7.158	-0.001615	1.062

* ME: 平均误差; RMSE: 均方根误差; ASE: 平均标准误差; MSE: 标准化平均误差; RM SSE: 标准化均方根误差.

2.3 半方差模型分析

根据间距 h 和计算出的半方差 $\gamma(h)$, 采用球状模型进行拟合, 在考虑各向异性和二阶趋势效应条件下, 得到了研究区域内土壤有机质含量的半方差函数模型, 其参数见表 3. 表 3 中, a 表示变程(长轴、短轴变程分别表示半方差在该轴方向上达到基台值的样本间距), 它给出了随机变量在空间上自相关性的尺度, 同时表示了空间内插的极限距离, 在此范围内的内插是有意义的. k 表示各向异性比, 即长轴与短轴的比值, 它表示在长轴方向上距离为 h 的两点间的平均变异程度与在短轴方向上距离为 $k \cdot h$ 的两点间的平均变异程度相同. 半方差函数在零点处的数值称为块金值(C_0), 它由测定误差和小于最小采样尺度的非连续性变异引起, 属于随机变异; 基台值($C_0 + C_1$)通常表示系统内的总变异, 它是结构性变异和随机性变异之和. 块金值 C_0 与基台值($C_0 + C_1$)之比是反映区域化变量空间异质性程度的重要指标, 又称为块金效应. 该比值用以反映空间变异影响因素中区域因素(自然因素)和非区域因素(人为因素)的作用^[14]. 区域因素, 如气候、母质、地形、土壤类型自然因素等可导致土壤养分强的相关性, 而非区域因素如施肥, 耕作措施, 种植制度等各种人为活动使得土壤养分的空间相关性减弱, 朝均一化方向发展. 当 $C_0 / (C_0 + C_1) < 25\%$ 时, 表明变量的空间变异以结构性变异为主, 变量具有强烈的空间相关性; 当上述比值 $> 25\%$ 而 $< 75\%$ 时, 变量为中等程度空间相关; $> 75\%$ 时, 以随机变量为主, 变量的空间相关性很弱^[15]. 变程反应的是空间自相关范围, 它与观测以及取样尺度上影响土壤性状的各种过程的相互作用有关^[16], 在变程范围内, 变量有空间自相关性, 反之则不存在.

表 3 半方差函数模型类型及其参数值

模型	趋势阶数	变程 a/km		各向异性比 k	块金 C_0	基台值 $C_0 + C_1$	$C_0 / (C_0 + C_1)$
		长轴	短轴				
球状	二阶	64.09	27.15	2.3605	45.675	73.21	0.62

从表 3 可以看出, 研究区域内土壤有机质的含量空间变异具有各向异性特征, 长轴和短轴变程分别为 64.09 km 和 27.15 km. 块金值为 45.675, 说明存在着采样误差、短距离的变异、随机和固有变异引起的各种正基底效应^[17]. $C_0 / (C_0 + C_1)$ 值为 62%, 说明有机质的含量具有中等的空间相关性, 研究区域内的有机质含量除受土壤自身性质的影响外, 人为活动的影响也不可忽视.

综合考虑上述的各种区域化因素, 认为造成该区域土壤有机质含量的空间变异的主要自然因素是地形. 研究区域的土壤主要分布在海拔 600~ 2 000 m 的低山丘陵地带, 海拔高度和地形部位同时决定了土壤理化性质的变化, 沿不同坡面的不同土壤成土过程造成了在同一种土地利用方式下土壤有机质含量的不同. 同时, 人为因素的影响也不可忽视. 在烤烟的生产种植过程中, 农户的管理和耕作措施使得土壤有机质的空间相关性减弱. 因此, 在两种因素的相互作用和共同影响下, 该区域土壤有机质的空间变异呈现出中等程度的空间相关性. 该结果与许多资料中报道的有机质中等空间相关是一致的^[18, 19].

2.4 等直线图分析

从表 3 中可以看出, 有机质的变程值(长轴、短轴)均大于取样距离, 故在趋势分析和半方差模型分析的基础上, 考虑土壤有机质含量的各向异性, 选择二阶趋势效应, 采用普通 Kriging 插值法对研究区域土壤的有机质含量进行估值, 得到了土壤有机质含量的等值线图(图 3).

从图 3 可以明显看出有机质在该区域的

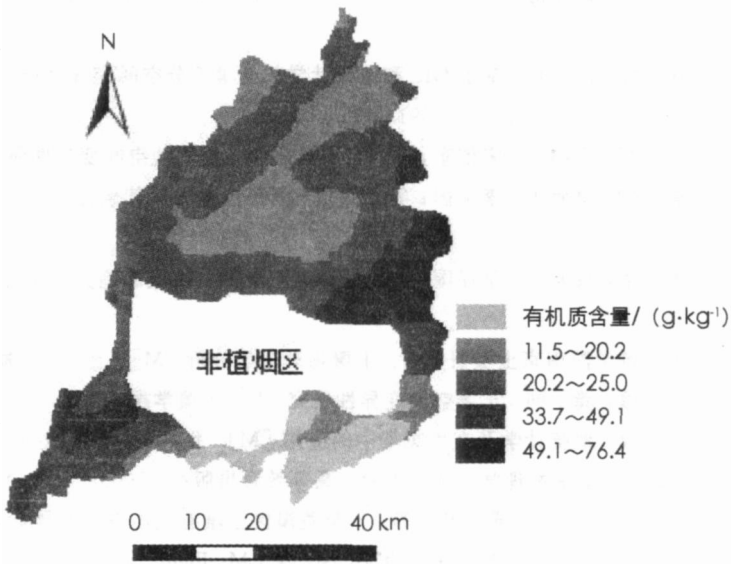


图 3 土壤有机质含量空间分布图

变化情况: 在植烟土壤上, 有机质含量最高的地方出现在东部和西南部, 含量最低的地方则是在该区域的南部及东南部. 这种分布特点与该地的地形地貌和气候的立体差异性有一定的联系. 该地区气候的立体差异大, 海拔每升高 100 m, 平均气温便递减 $0.46 \sim 0.55$ $^{\circ}\text{C}$. 同时, 全县地势西北高而东南低, 地形地貌受到北东向构造控制, 主要的山脉呈北东向延伸. 因此, 在海拔较高的北部及东北部, 平均气温低于海拔相对较低的南部及东南部, 这种温度的差别在一定程度上影响了土壤中有机的分解速率, 温度越低, 越不利于土壤中有机的分解. 此外, 人为活动也是产生这种空间分异特征的原因之一. 耕作和管理使得有机质含量呈现均一化的发展趋势, 但是各烟农的施肥习惯, 如施用和未施用有机肥等, 则使得有机质含量呈现差别.

3 结 论

本文以重庆市彭水县为例, 结合传统统计学和地统计学的方法, 在考虑各向异性和趋势效应的情况下, 对丘陵地区植烟土壤有机质含量的空间变异特性进行了分析, 得到以下结论:

1) 在该区域内土壤有机质含量平均为 26.99 g/kg, 变异系数为 0.33, 属于中等变异强度.

2) 在考虑了土壤特性的趋势特征和各向异性情况下, 对土壤有机质含量进行趋势分析, 并结合普通 Kriging 法, 对不同趋势效应下插值所造成的预测误差做了比较, 表明在进行普通 Kriging 法时选择二阶趋势效应为宜.

3) 采用球状模型进行拟合得到了土壤有机质含量的半方差模型. 研究区域内有机质含量表现为中等程度的相关性, 这是地形条件与人为活动共同作用的结果.

4) 运用普通 Kriging 法对土壤有机质含量进行估值. 从整体上看, 研究区域的东部和西南部有机质的含量最高, 而在南部和东南部最低. 造成这种差异的主要原因同当地复杂的地形地貌特点、气候的立体差异性以及人类活动有直接的联系.

参考文献:

- [1] Chung C K, Shek Chong, Varsa E C. Sampling strategies for fertility on a Stoy silt loam soil [J]. Communication in soil science and plant analysis, 1995, 26(5& 6): 741– 763.
- [2] Davis J G, Hossner L R. , Wilding L P, et al. Variability of soil chemical properties in two sandy, dunal soils of Niger [J]. Soil Science, 1995, 159: 55, 321– 330.
- [3] 张世熔, 黄元仿, 李保国, 等. 黄淮海冲积平原区土壤有机质时空变异特征 [J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2041– 2047.
- [4] 陈彦, 吕新. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究——以新疆农七师 125 团为例 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(7): 389– 391, 405.
- [5] 胡顺军, 康绍忠, 宋郁东, 等. 渭干河灌区土壤水盐空间变异性研究 [J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 10– 12, 20.
- [6] 高峻, 黄元仿, 李保国, 等. 农田土壤颗粒组成及其剖面分层的空间变异分析 [J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(2): 151– 157.
- [7] 张世熔, 黄元仿, 李保国. 冲积平原区土壤颗粒组成的趋势效应与异向性特征 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 56– 60.
- [8] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤物理化学分析 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983: 132– 136.
- [9] 周慧珍, 龚子同. 土壤空间变异性研究 [J]. 土壤学报, 1996, 33(3): 232– 240.
- [10] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [11] 秦耀东. 土壤物理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 192– 194.
- [12] 黄元仿, 周志宇, 苑小勇, 等. 干旱荒漠区土壤有机质空间变异特征 [J]. 生态学报, 2004, 24(12): 2777– 2781.
- [13] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M. Field– scale variability of soil properties in central Iowa soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58: 1501– 1511.
- [14] 姜勇, 梁文举, 闻大中. 沈阳郊区农业土壤中微量元素 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2003: 105– 113.
- [15] Trangmar B B, Yost R S, Uehara G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties [J]. Advanced Ag-

ronomy, 1985, 38: 44– 49.

[16] 孙 波, 赵其国, 阎国年. 低丘红壤肥力的时空变异 [J]. 土壤学报, 2002, 39(2): 190– 198.

[17] 程先富, 史学正, 于东升, 等. 江西省兴国县土壤全氮和有机质的空间变异及其分布格局 [J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(1): 64– 67.

[18] 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——以河北省遵化市为例 [J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 557– 563.

[19] 毛任钊. 海河低平原盐渍区土壤养分空间变异性研究 [J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(4): 63– 66.

Spatial Variability of Soil Organic Matter Content in Tobacco Planting Regions of Hilly Area ——A Case Study in Pengshui County of Chongqing

ZHANG Wei^{1,2}, GAO Ming¹, WANG Hui³, QIN Jian-cheng¹,
SONG Zhen-xia¹, ZHENG Jie-bing¹, BAO Jin-xing¹

1. School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. Kunming Division, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China;

3. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

Abstract: Traditional statistics combined with Geostatistics was applied to analyze the spatial variability of soil organic matter content in tobacco planting regions of three gorges reservoir. Traditional statistical analyses showed the mean and coefficient of variation of SOM content were 26.99 g kg^{-1} and 0.33, respectively. The results indicated that its distribution was moderately variable in this region. By ordinary Kriging spatial interpolation, the integrative comparison of the prediction errors from the trend effects of 0, 1 and 2 order indicated that the 2-order trend effect was preferable and the spatial variation of SOM content was anisotropic. The Kriging spatial interpolation showed that SOM increased gradually from the southwest to northeast and also from the northeast to southwest and the highest level band of SOM content was in the middle part of Pengshui county. The spatial distribution of SOM content was related to variation in topography and anthropogenic activities.

Key words: soil organic matter; tobacco planting soil; trend effect; Kriging interpolation

责任编辑 陈绍兰