

不同尺度下低山茶园土壤有机质含量的空间变异

冯娜娜¹, 李廷轩^{1,2}, 张锡洲¹, 王永东¹, 夏建国¹

(1. 四川农业大学资源与环境学院, 雅安 625014; 2. 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要: 南方低山丘陵区是我国茶园集中分布的区域, 研究其土壤特性的空间变异性, 尤其是有机质的空间分布特性, 可以为实施低山丘陵茶园土壤养分精准管理提供依据。以四川蒙顶山茶园为研究对象, 利用地统计学方法, 在两个尺度下对其土壤有机质含量的空间变异性进行了研究。结果表明: (1) 小尺度下, 蒙顶山茶园土壤有机质含量具有中等空间相关性 (C_0 与 $C_0 + C$ 的比值为 49.9%), 空间相关距离达到了 894m, 随机性和结构性因子对有机质含量空间变异的影响各占一半; 茶园土壤有机质含量在坡体垂直方向的变异性较强, 在坡体水平方向上的变异较弱; 普通 Kriging 插值分析说明有机质含量从东北至西南呈明显的带状分布, 垂直方向上随海拔升高而增加。(2) 微尺度下, 代表性茶园土壤有机质含量具有强烈的空间相关性 (C_0 与 $C_0 + C$ 的比值为 4.1%), 空间相关距离达到了 311m, 结构性因子是影响其空间变异的主要因素; 各向异性分析, 茶园土壤有机质含量也在坡面垂直方向变异较强, 且在坡面倾斜 45° 方向也存在一定变异; 普通 Kriging 分析, 坡面由上到下有机质含量逐渐增加。

关键词: 空间变异; 地统计学; 有机质; 茶园土壤**文章编号:** 1000-0933(2006)02-0349-08 **中图分类号:** Q143, S153.6 **文献标识码:** A

The spatial variability of the content of organic matter in hilly tea plantation soils with different sampling scales

FENG Na-Na¹, LI Ting-Xuan^{1,2}, ZHANG Xi-Zhou¹, WANG Yong-Dong¹, XIA Jian-Guo¹ (1. College of Environmental and Resource Science, Sichuan Agriculture University, Yaan 625014, China; 2. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 349 ~ 356.

Abstract: The hilly region of Southern China is the main area where the tea plantations are distributed in our country. Studies of the spatial variability of soil properties, especially of the organic matter (OM), is helpful for the precision agriculture. The Mengding tea plantation in Sichuan Province was used as the subject of this paper. Geostatistics were used for the analysis of the spatial variability of OM in this tea plantation with two sampling scales. In the tea plantation at the small scale, the result analyzed by semivariograms indicated that the OM content was moderately spatially dependent, the rate of nugget to sill was 49.9%, The range of spatially dependent OM was 894m, and both structural factors and the random factors equally affected the spatial variability of the OM content. The OM content had a stronger anisotropic structure in the aspect of the slope, and a weaker one at the aclinic aspect of the slope. According to the Ordinary Kriging method the equivalence of the OM content was distributed along the aclinic aspect of the slope from northeast to southwest, and the OM content was reduced as the elevation went down. In the representative tea plantation at the micro scale, the result analyzed by semivariograms indicated that the OM content was strongly spatially dependent, because the rate of nugget to sill was 4.1%. The range of spatially dependent for OM was 311m, and the spatial variability of the OM content was fundamentally affected by structural factors, It had a stronger anisotropic structure in the aspect of the slope and in the aspect of 45° with the aclinic aspect of the slope. The Ordinary Kriging method showed that the OM

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(32230250); 四川省科技厅应用基础资助项目(03JY029-0301); 四川省教育厅重点资助项目(2003A022)**收稿日期:** 2004-12-27; **修订日期:** 2005-06-13**作者简介:** 冯娜娜(1980~), 女, 四川双流人, 硕士生, 主要从事有机生态茶园土壤质量空间变异研究. E-mail: fnn333@126.com**Foundation item:** The project was supported by National Natural Science Foundation of China(No. 32230250), Applied groundwork item of Science and Technology Office in Sichuan Province(No. 03JY029-0301), and Keystone item of the office of Education in Sichuan Province(No. 2003A022)**Received date:** 2004-12-27; **Accepted date:** 2005-06-13**Biography:** FENG Na-Na, Master candidate, mainly engaged in spatial variability of soil quality in ecological Tea plantation soil. E-mail: fnn333@126.com

content increased from the top of the tea plantation to the bottom.

Key words: spatial variability; geostatistics; organic matter; tea plantation soil

随着 3S 技术的不断发展,土壤特性空间变异性研究已成为土壤科学研究的热点之一。大尺度下土壤理化性质的空间变异性研究对提高土壤调查与制图的质量、实现土壤数字化管理具有十分重要的意义;小尺度下的研究可以为提高土壤养分管理效率、建立养分管理信息系统提供数据支持;微尺度下的研究是实现“精确施肥”的基础。长期以来,对中、小尺度及微尺度下农田土壤特性空间变异性研究报道较多^[1-4],近年来也有部分关于大尺度下土壤特性空间变异性研究的报道^[5-8]。但是,目前大部分空间变异性研究只分析了土壤特性在水平面的变异状况,坡面垂直方向的空间变异性报道相对较少,且多集中在土壤物理性质的空间变异性方面^[9,10]。

土壤特性空间变异是尺度的函数,不同尺度下,同一变量的自相关程度相差很大,且随样点间的距离加大,变异函数值的随机成分也在不断增加,更小尺度下的结构特征将被掩盖。单一尺度下的土壤特性空间变异性研究,不利于深入分析土壤特性的空间变异结构特征,若在多尺度下分析,则可以很好的解决此问题^[11,12]。为此,本研究利用地统计学方法在两个尺度下对低山茶园土壤有机质含量空间变异性进行了研究。其中,小尺度下的分析可以得到整个蒙顶山茶园土壤有机质的空间分布规律,微尺度下的研究则便于分析茶园土壤有机质在微域环境内的变化情况,弥补小尺度分析的不足。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

蒙顶山位于四川省雅安市境内,呈东北至西南走向,属于亚热带季风气候区,年降雨量在 1800mm 以上。蒙顶山是中国茶文化的发源地之一,也是历史上著名的贡茶产区。蒙顶山茶园主要分布在山体的阳坡面。茶园依坡而建,面积为 51.80hm²,坡度为 15~35°,坡向为 105~160°,海拔为 900~1450m,是典型的山区茶园。茶园土壤类型为砂岩发育而成的黄壤和紫色土(酸性)。

1.2 小尺度下土壤样品采集

以整个蒙顶山茶园作为小尺度下土壤样品的采集范围。根据茶行走向,在坡面的水平和垂直方向分别作网格横线和竖线,在 80m×120m 网格内随机采样^[13],并在地形相对复杂处加大采样密度(如图 1),共采集土壤样品 106 个。每个土样以一个取土点为中心,在 10m 半径内取 5 点混合而成,同时用 GPS(GARMIN 72)记录中心点位置。具体取样点设在茶树树蓬滴水线下,取 0~30cm 土层。

1.3 微尺度下土壤样品采集

在实地调查研究的基础上,综合考虑茶树的生长状况以及坡度和坡向等地形条件,选择了能代表蒙顶山

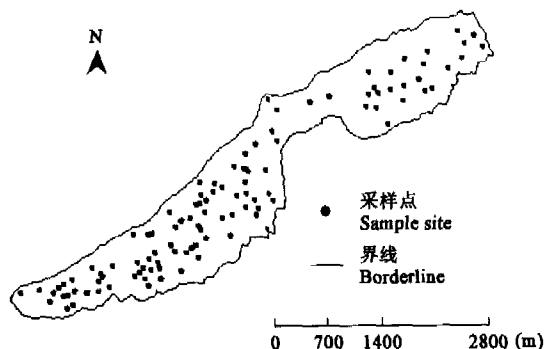


图 1 小尺度下土壤样点分布图

Fig.1 The distribution of soil sample sites at small scale

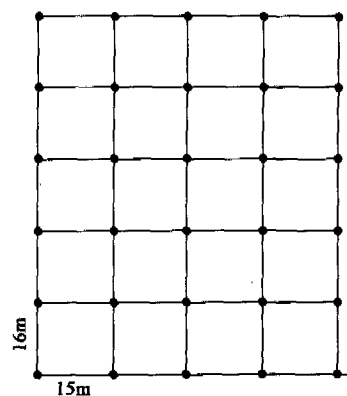


图 2 微尺度下土壤样点分布示意图

Fig.2 Sketch of the distribution of soil sample sites at micro scale

茶园整体生产水平的地块作为作为微尺度下的研究对象。该地块位于蒙顶山阳坡面的中部,海拔:1090~1120m,坡向为130°,坡度为24°,形状规则,上下长80m,左右宽60m。以坡面的水平和垂直方向分别作网格横线和竖线,用15m×16m网格规则取样(如图2),共采集土壤样品30个。每个土样是以网格节点处为中心,2m范围内取3点混合而成。用GPS(型号同上)确定网格4顶点的地理位置,并用皮尺确定网格内每个取土点的相对位置。具体取样点的设置和取样深度与小尺度下相同。

1.4 土壤有机质测定 $K_2Cr_2O_7 \sim H_2SO_4$ 稀释热法^[14]。

1.5 数据分析处理

1.5.1 地统计学方法 在地统计学中,半方差函数的一些重要参数如块金值、基台值和变程等可以用来表示区域化变量在一定尺度上的空间变异和相关程度,它是研究土壤特性空间变异性的关键,同时也是进行精确Kriging插值的基础^[15]。半方差函数表达式如下:

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

式中, $\gamma(h)$ 为半方差函数; h 为样点空间间隔距离,称为步长; $N(h)$ 为间隔距离为时的所有观测样点的成对数; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别是区域化变量 $Z(x)$ 在空间位置 x_i 和 $x_i + h$ 的实测值。

1.5.2 软件平台 在研究过程中,利用SPSS11.1对两种尺度下土壤有机质进行经典统计学分析,为进一步的地统计分析提供前提和基础;各向同性和各向异性半方差函数分析在GS+5.3中完成,以得到土壤有机质空间变异的结构性;采用MapInfo7.0数字化地图,并在ArcView3.0中将数据格式转换,最后利用ArcGIS8.3的地统计学模块的普通Kriging插值功能,分析土壤有机质在空间上的分布、形状、大小、地理位置。

2 结果与分析

2.1 土壤有机质统计特征分析

由表1可知,小尺度下土壤有机质含量在14.47~51.42g·kg⁻¹之间,平均值为27.22g·kg⁻¹。微尺度下土壤有机质含量在17.67~51.42g·kg⁻¹之间,平均值为34.91g·kg⁻¹,高于小尺度下蒙顶山茶园土壤有机质的平均水平。两个尺度下,有机质含量的变异系数分别为25.09%和25.49%,根据变异系数的划分等级标准^[16],均属于中等变异。

偏度检验和峰度检验表明,小尺度和微尺度下土壤有机质含量的测定数据均符合正态分布的要求(表1)。从图3和图4也可以看出,两个尺度下测定数据基本符合正态分布规律。因此,所测有机质含量数据满足地统计学分析要求。

表1 不同尺度土壤有机质描述性统计(g·kg⁻¹)

Table 1 Descriptive statistics of OM in soil of different scales

尺度 Scales	样本数 Sample size	平均值 Mean value	中值 Median value	最大值 Max. value	最小值 Min. value	标准差 S.D.	变异系数 C.V.(%)	偏度检验 Skew.	峰度检验 Kurt.
小尺度 Small scale	106	27.22	26.61	51.42	14.47	6.83	25.09	0.968	1.606
微尺度 Micro scale	30	34.91	35.42	51.42	17.67	8.90	25.49	-0.236	-0.542

2.2 土壤有机质含量半方差函数分析

2.2.1 各向同性下半方差函数特征

(1)小尺度下各向同性半方差函数 经典统计分析只能描述土壤有机质含量变化的总体状况,不能准确反映其变化的局部特征,以及随机性、结构性、独立性和相关性的具体情况。因此,要详细了解蒙顶山茶园土壤有机质的空间变异性,必须采用地统计学方法进一步分析。土壤特性空间变异结构分析的关键是拟合出精度较高的半方差函数模型。选择最优模型时,首先要考虑决定系数(R^2)和残差(RSS),其次综合考虑块金值和变程的大小。土壤性质的空间相关性可根据块金值与基台值之比($C_0/(C_0 + C)$)划分^[17]。影响土壤性质

空间变异的因素分为内因和外因,内因是结构性因子如母质、地形、气候、植被等,外因是随机性因子如施肥、耕作、作物布局等^[18]。结构性因子使土壤性质具有较强的空间相关性,而随机性因子会降低其空间相关性。

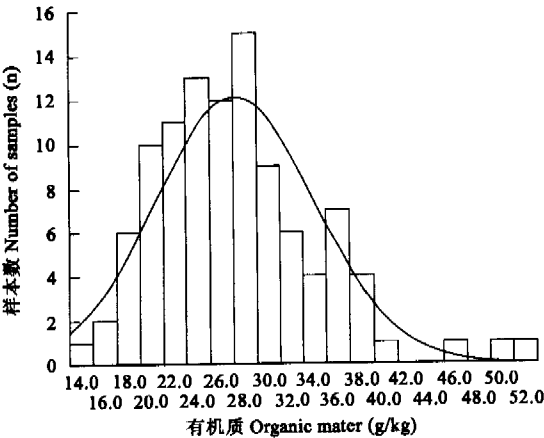


图3 小尺度下土壤有机质含量的分布频率
Fig.3 Distribution frequency of OM in soil at small scale

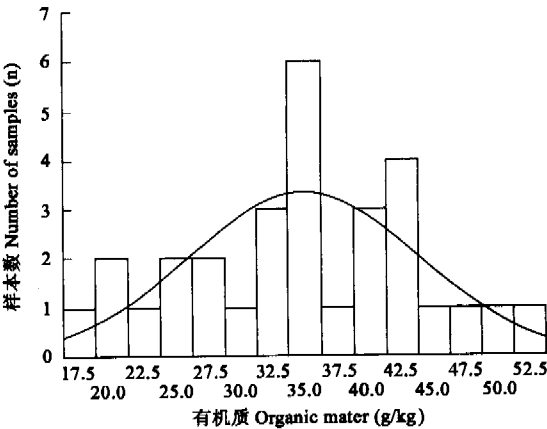


图4 微尺度下土壤有机质含量的分布频率
Fig.4 Distribuion frequency of OM in soil at micro scale

由图5可知,小尺度下蒙顶山茶园土壤有机质含量在全步长变化域(5900m)内的各向同性半方差理论模型为指数模型。在3000m步长变化域内,土壤有机质实验半方差函数的变化相对平稳,半方差由大约 $0.001\text{ g}^2\cdot\text{kg}^{-2}$ 增加到 $0.040\text{ g}^2\cdot\text{kg}^{-2}$ 。步长变化域大于3000m时,实验半方差函数变化不稳定,其散点图先下降后分散,这是土壤有机质空间变异的各向异性导致的^[19,20]。因为随距离的增加,导致土壤有机质空间变异的各种因素如坡度、海拔、耕作管理措施等在不同方向上的差异会越来越明显。在3000m步长变化域内,对同步长间距下半方差函数模型进行拟合,可以得到较好的半方差函数理论模型。由表2分析可知,170m步长下指数模型的确定系数($R^2 = 0.758$)最大,残差($RSS = 9.49 \times 10^{-5}$)较小,变程为894m,与其它步长间距下的模型参数相比,该模型最佳。由图6可以看出,实验半方差函数变化稳定且与该模型的理论半方差函数变化情况十分接近,表明该模型具有较高的实用价值。170m步长间距下指数模型的块金值为 $0.0239\text{ g}^2\cdot\text{kg}^{-2}$,说明小尺度下最小取样间隔内土壤有机质含量仍具有空间变异,在微尺度下分析土壤有机质含量的空间变异性十分必要。 $C_0/(C_0 + C)$ 值为49.9%,表明在小尺度范围内蒙顶山茶园土壤有机质含量具有中等空间相关性,随机性和结构性影响因素对其空间变异性的影响各占一半。本研究区域内,气候条件和土地利用方式一致,且土壤母质均为砂岩。因此,小尺度下茶园土壤有机质含量的结构性变异主要是受坡度、坡向和海拔高度等地形

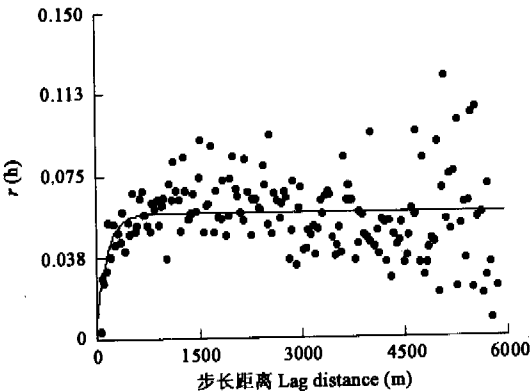


图5 小尺度下全域土壤有机质各向同性实验与理论半方差
Fig.5 Global experimental and model-fitted semivariograms of OM at the full extent of data at small scale

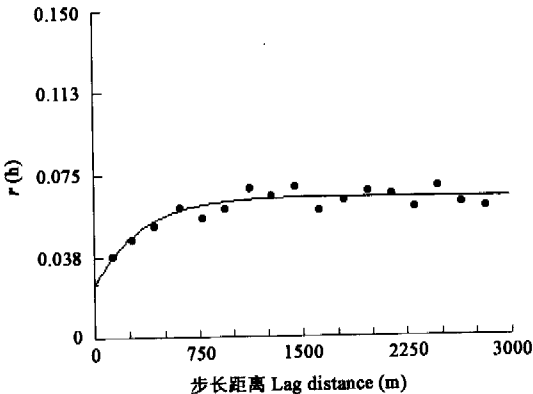


图6 小尺度下3000m步长域土壤有机质各向同性实验与理论半方差
Fig.6 Global experimental and model-fitted semivariograms of OM at a lag distance of 3000 meter at samll scale

因素的影响,这与孙波等研究报道一致^[21]。随机性变异主要受茶农经营管理措施的影响。表 2 中,170m 步长下拟合模型所得变程为 894m,大大超出取样设计的样点距离,所以与本研究区域内条件类似的研究,可以根据一定精度要求适当减少取样数量。

(2)微尺度下各向同性半方差函数 如表 3 所示,与小尺度下蒙顶山茶园土壤有机质含量半方差函数理论模型不同,微尺度下茶园土壤有机质半方差函数的最佳模型为球状模型。 $C_0/(C_0 + C)$ 值为 4.1%,表明茶园土壤有机质在该尺度范围内具有强烈的空间相关性,结构性因子是影响其空间变异的主要因素,而随机性因子的影响则不大。因此,坡面不同位置和海拔高度对有机质含量变化的影响较大。随机因素中管理、施肥等在小范围内变化不大,故不构成土壤有机质空间变异的主要因素。其变程为 311m,远远大于设定采样的间距 16m。

表 2 小尺度不同步长间距下土壤有机质各向同性半方差函数理论模型及有关参数

Table 2 Theoretical semivariogram model and corresponding parameters of OM at various lag intervals at small scale							
步长间距 Lag intervals(m)	模型 Model	块金值 C_0 ($g^2 \cdot kg^{-2}$)	基台值 $C_0 + C_1$ ($g^2 \cdot kg^{-2}$)	变程 Range (m)	块金值/基台值 $C_0/(C_0 + C)$ (%)	决定系数 R^2	残差 RSS
140	E	0.0082	0.0470	519	17.4	0.674	2.51×10^{-4}
150	E	0.0234	0.0470	819	49.8	0.705	3.11×10^{-4}
160	E	0.0235	0.0475	912	49.5	0.725	2.15×10^{-4}
170	E	0.0239	0.0478	894	49.9	0.758	9.49×10^{-5}
180	E	0.0238	0.0477	861	49.9	0.691	1.13×10^{-4}
190	E	0.0103	0.0468	489	22.0	0.608	1.33×10^{-4}
200	E	0.0107	0.0467	492	22.9	0.686	8.86×10^{-5}

E 表示指数模型 E refers to exponential model;下同 the same below

表 3 微尺度土壤有机质各向同性半方差函数理论模型及有关参数

Table 3 Theoretical semivariogram model and corresponding parameters of OM at various lag intervals at micro scale							
步长间距 Lag intervals(m)	模型 model	块金值 C_0 ($g^2 \cdot kg^{-2}$)	基台值 $C_0 + C_1$ ($g^2 \cdot kg^{-2}$)	变程 Range (m)	块金值/基台值 $C_0/(C_0 + C)$ (%)	决定系数 R^2	残差 RSS
20	S*	0.0127	0.3114	311	4.1	0.613	3.88×10^{-3}

* 球形模型 Spherical model,下同 the same below

2.2.2 各向异性下半方差函数特征 对于区域化变量,半方差函数不仅与步长(h)有关,而且与方向有关,若在各个方向上区域化变量的变异性不同则称为各向异性。各向同性是相对的,而各向异性是绝对的^[15]。

(1)小尺度下各向异性半方差函数特征 若某一方向的主轴变程和亚轴变程之间的差距越大,即各向异性比越大,则区域化变量在该方向的变异越明显。由表 4 可知,蒙顶山茶园土壤有机质在 111°和 156°方向上的各向异性比分别为 14.23 和 13.84,说明土壤有机质含量在这两个方向上的变异最大。21°和 66°方向上的

表 4 小尺度下土壤有机质各向异性半方差函数理论模型及有关参数

Table 4 Theoretical models and corresponding parameters for anisotropic semivariogram of OM in soil at small scale								
主轴方向 Major axis direction(°)	模型 Model	块金值 C_0 ($g^2 \cdot kg^{-2}$)	基台值 $C_0 + C_1$ ($g^2 \cdot kg^{-2}$)	主轴变程参数 Major axis range parameter A_1 (m)	亚轴变程参数 Minor axis range parameter A_2 (m)	块金值/基台值 $C_0/(C_0 + C)$ (%)	决定系数 R^2	残差 RSS
21	E	0.034	0.3501	10320	10320	9.7	0.744	0.1964
66	E	0.029	0.345	8863	8863	8.4	0.743	0.2023
111	E	0.040	0.433	33430	2350	9.2	0.733	0.1351
156	E	0.032	0.544	33500	2420	5.9	0.739	0.1083

各向异性比为 1,表明土壤有机质含量在这两个方向上的变异不明显,这两个方向是该茶园主要的横坡方向,也是茶树呈带状分布的方向。111°和 156°方向都属东南至西北走向,与蒙顶山坡向即海拔垂直方向大致相同,变异较小的方向与山坡水平方向较一致,说明土壤有机质含量受坡向和海拔高度影响较大,这与各向同性下小尺度的茶园土壤有机质半方差函数结构性分析的结果相同。在坡向上,不同海拔高度茶园土壤有机质的积累有所不同,因而其变异较大;由于茶树横坡种植,土壤有机质积累差异较小,故在横坡方向上其空间变异不明显。

(2)微尺度下各向异性半方差函数特征 由表 5 可看出,小尺度下土壤有机质在 0°方向上各向异性比为 3.80,空间变异相对较大;在 45°方向上的各向异性比为 1.61,也具有一定的空间变异。而 90°和 135°方向上的各向异性比为 1,表明这两个方向的空间变异较小。总体上,微尺度下土壤有机质含量在各个方向上的变异均比小尺度下弱。0°方向是坡面垂直方向,在茶园生产管理中,施肥、采茶等人为活动总是沿水平方向进行,所以土壤有机质含量在水平方向上相对变化较小,在垂直方向上变化较大,这与小尺度下的各向异性变化相似。

表 5 微尺度下土壤有机质各向异性半方差函数理论模型及有关参数

Table 5 Theoretical models and corresponding parameters for anisotropic semivariogram of OM in soil at micro scale								
主轴方向 Major axis direction	模型 Model	块金值 C_0 ($\text{g}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$)	基台值 $C_0 + C_1$ ($\text{g}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$)	主轴变程参数 Major axis range parameter A_1 (m)	亚轴变程参数 Minor axis range parameter A_2 (m)	块金值/基台值 $C_0/(C_0 + C_1)$ (%)	决定系数 R^2	残差 RSS
0°	S	0.037	0.304	1093.0	288.0	87.8	0.612	1.14×10^{-2}
45°	S	0.035	0.254	542.3	337.3	86.2	0.614	1.75×10^{-2}
90°	S	0.034	0.229	373.5	373.5	85.2	0.613	1.89×10^{-2}
135°	S	0.034	0.229	373.5	373.5	85.2	0.613	1.89×10^{-2}

2.3 土壤有机质的 Kriging 插值

2.3.1 小尺度下土壤有机质的 Kriging 插值 由图 7 可看出,蒙顶山土壤有机质含量在 $21.54 \sim 51.42 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的茶园面积较大, $14.47 \sim 21.54 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的茶园面积较小。其含量变化呈明显的东北至西南方向的带状分布,该方向与蒙顶山等高线走向基本一致,并由西北至东南有逐渐减少的趋势。土壤有机质含量与海拔高度呈极显著正相关($R^2 = 0.554^{**}$)。

据调查分析,影响蒙顶山茶园土壤有机质含量分布呈上述特征的主要原因是:(1)蒙顶山坡体中上部的茶树比坡体下部生长状况好,其枯枝落叶量比坡体下部

多,因而有机质的积累比下部丰富。(2)在坡体上部温度低于坡体下部,其有机质的分解比坡体下部慢,因而有机质的积累坡体上部高于下部。(3)研究区域内降雨充沛,雨水对土壤冲刷侵蚀比较严重,土壤表层有机质易于损失,但植被覆盖以及地表凋落物可以有效控制土壤侵蚀^[22],因此茶树覆盖较好的中上部茶园土壤有机质损失量比茶树覆盖程度相对较差的下部低。

2.3.2 微尺度下土壤有机质的 Kriging 插值 由图 8 可知,微尺度下土壤有机质含量在 $29.52 \sim 42.08 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间的茶园面积较大。土壤有机质含量沿坡面水平方向呈带状分布,且由上到下有逐渐增加的趋势,有机质含量的高值区主要分布在茶园中部和下部,这与小尺度下土壤有机质含量分布状况相反。可见,微尺度下观测到了小尺度下不能观测到的细微变化。土壤有机质在微域内变化与整个茶园土壤有机质变化不同的原因在于:在小尺度下,茶园枯枝落叶量对土壤有机质含量积累的影响比土壤侵蚀大,但微尺度下的研究范围较

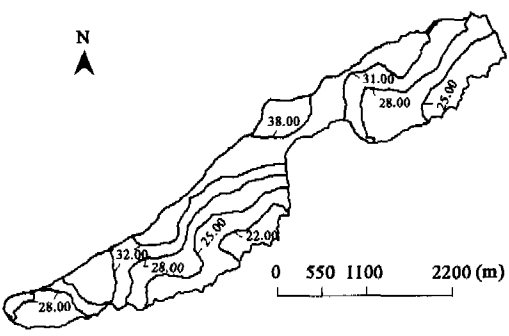


图 7 小尺度下土壤有机质含量变化等值线图($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Fig. 7 Map of Kriged estimates for OM in soil at small scale

小,茶园的枯枝落叶量变化不大,而土壤侵蚀对有机质含量在坡面的变化影响较大,并会引起土壤表层有机质向坡面下方移动。

3 结论

3.1 两个尺度下土壤有机质含量的空间相关程度有明显差异

小尺度下土壤有机质含量具有中等空间相关性,空间相关距为 894m;微尺度下土壤有机质含量具有强烈的空间相关性,空间相关距为 311m。小尺度下土壤有机质含量的空间变异由随机性因素和结构性因素引起,且这两种因素具有同等的重要性;微尺度下土壤有机质含量空间变异主要由结构性因素引起。

3.2 两个尺度下土壤有机质的空间变异方向不一致

小尺度下土壤有机质含量在垂直方向的变异较大,但在水平方向上的变异较小;而微尺度下土壤有机质变异方向除了水平方向外,在倾斜于坡面 45°方向也有一定的变异。

3.3 两个尺度下,土壤有机质含量分布在水平和垂直方向变化明显

小尺度下土壤有机质含量在东北至西南方向呈明显的带状分布,即沿蒙顶山阳坡面水平方向呈带状分布,在垂直方向上与海拔高度呈极显著正相关。微尺度下土壤有机质含量也沿坡面水平方向呈带状分布,且有由上到下有逐渐增加的趋势,这与小尺度下整个蒙顶山茶园土壤有机质含量分布状况相反。

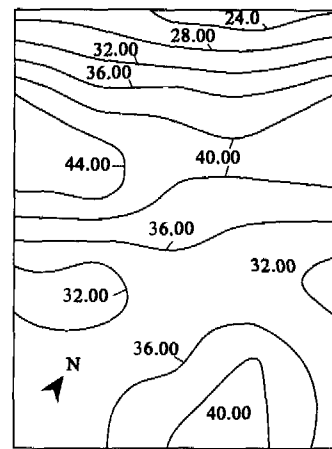


图 8 微尺度下土壤有机质含量变化等值线示意图($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Fig. 8 Sketch of Kriged estimates for OM in soil at micro scale

References:

- [1] Li J M, Li S X. Spacial Variations of Some Nutrient Elements in Soil. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1998, 16(2): 58 ~ 64.
- [2] Hu K L, Li B G, Lin Q M. Spatial Variability of Soil Nutrient in Wheat Field. *Transactions of the CSAE*, 1999, 15(3): 33 ~ 38.
- [3] Li Y, Men Q, Luo Y. Effects of spatial variability of soil water on irrigation schedule. *Research in the Arid Areas*, 2000, 18(2): 80 ~ 85, 90.
- [4] Castrignano A, Giugliarini L, Risaliti R, *et al.* Study of spatial relationships among some soil Physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. *Geoderma*, 2000, 97: 39 ~ 60.
- [5] Navas A, Machin J. Spatial distribution of heavy metals and arsenic in soils of Aragon(northeast Spain): controlling factors and environmental implications. *Applied Geochemistry*, 2002, 17: 961 ~ 973.
- [6] Wang J K, Zhao Y C, Zhang X D, *et al.* Studies on the Spacial Variability of Heavy Metal Contents in Black Soils in Central Areas of Hailun. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34(5): 398 ~ 403.
- [7] Liu F C, Shi X Z, Yu D S, *et al.* Characteristics of Spatial Variability of total soil Nitrogen in the typical area of Taihu Lake basin. *Geographical Research*, 2004, 23(1): 63 ~ 70.
- [8] Cheng X F, Shi X Z, Yu D S, *et al.* Spatial variance and distribution of Total Nitrogen and Organic matter of soil in Xingguo county of Jiangxi, China. *Chin J Appl Environ Biol*, 2004, 10(1): 064 ~ 067.
- [9] Qiu Y, Fu B J, Wang J, *et al.* Variability of the Soil Physical Properties on the Loess Plateau. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(5): 587 ~ 594.
- [10] Pan C Z, Shanguan Z P. Spatial Variability of soil moisture on steep slopeland in loess hill region. *Transactions of the CSAE*, 2003, 19(6): 5 ~ 9.
- [11] Wang X F, Zhang H. The Spatial Variability of Organic Mater in Soil. *Soils*, 1995, 27(2): 85 ~ 89.
- [12] Lei Y W, Wei C Z, Li J H. Characters of Soil Nutrent Spatial Variability in different scale. *Soils*, 2004, 36(4): 376 ~ 381.
- [13] Meng Z J, Zhao C J, Wang X, *et al.* Field multi-source information collection system based on GPS for precision agriculture. *Transactions of CSAE*, 2003, 19(4): 13 ~ 18.
- [14] Nanjing Agriculture University. *Soil Agrochemical Analysis*. Beijing: Agriculture Press, 1986. 36 ~ 37.
- [15] Wang Z Q. *Geostatistics and Its Application in Ecology*. Beijing: Science Press, 1999.
- [16] Lei Z D, Yang S X, Xu Z R, *et al.* Study on spatial Variability of Soil Properties. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1985, (9): 10 ~ 21.
- [17] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc.*, 1994, 58: 1501 ~ 1511.
- [18] Chien Y J, Lee D Y, Guo H Y, *et al.* Geostatistics analysis of soil properties of min-west Taiwan soils. *Soil Sci. Soc.*, 1997, 162: 291 ~ 298.

- [19] Yost R S, Uehara G, Fox R L. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas II. Kriging. *Soil Sci. Soc.*, 1982, 46: 1033 ~ 1037.
- [20] Gotway C A, Hergert G W. Incorporating spatial trends and anisotropy in geostatistical mapping of soil properties. *Soil Sci. Soc.*, 1997, 61: 298 ~ 309.
- [21] Sun B, Zhao Q G. Spatio-Temporal Variability of Red Soil Fertility in low hill region. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(2): 190 ~ 198.
- [22] Jia S W, He X B, Chen Y M. Effect of Soil Erosion on Soil Organic Carbon Loss on the Loess Hilly Areas. *Research of Soil and Water Conservation*, 2004, 11(4): 88 ~ 90.

参考文献:

- [1] 李菊梅, 李生秀. 几种营养元素在土壤中的空间变异. *干旱地区农业研究*, 1998, 16(2): 58 ~ 64.
- [2] 胡克林, 李保国, 林启美, 等. 农田土壤养分的空间变异性特征. *农业工程学报*, 1999, 15(3): 33 ~ 38.
- [3] 李毅, 门旗, 罗英. 土壤水分空间变异性对灌溉决策的影响研究. *干旱地区农业研究*, 2000, 18(2): 80 ~ 85, 90.
- [6] 汪景宽, 赵永存, 张旭东, 等. 海伦县土壤重金属含量的空间变异性研究. *土壤通报*, 2003, 34(5): 398 ~ 403.
- [7] 刘付程, 史学正, 于东升, 等. 太湖流域典型地区土壤全氮的空间变异特征. *地理研究*, 2004, 23(1): 63 ~ 70.
- [8] 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. *应用与环境学报*, 2004, 10(1): 064 ~ 067.
- [9] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土壤物理性质的空间变异. *地理学报*, 2002, 57(5): 587 ~ 594.
- [10] 潘成忠, 上官周平. 黄土半干旱丘陵区陡坡地土壤水分空间变异性研究. *农业工程学报*, 2003, 19(6): 5 ~ 9.
- [11] 王学锋, 章衡. 土壤有机质的空间变异性. *土壤*, 1995, 27(2): 85 ~ 89.
- [12] 雷咏雯, 危常州, 李俊华等. 不同尺度下土壤养分空间变异特征的研究. *土壤*, 2004, 36(4): 376 ~ 381.
- [13] 孟志军, 赵春江, 王秀等. 基于 GPS 的农田多源信息采集系统的研究与开发. *农业工程学报*, 2003, 19(4): 13 ~ 18.
- [14] 南京农业大学. 土壤农化分析. 北京: 农业出版社, 1986. 36 ~ 37.
- [15] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999.
- [16] 雷志栋, 杨诗秀, 许志荣, 等. 土壤特性空间变异性初步研究. *水利学报*, 1985, (9): 10 ~ 21.
- [21] 孙波, 赵其国. 低丘红壤肥力的时空变异. *土壤学报*, 2002, 39(2): 190 ~ 198.
- [22] 贾松伟, 贺秀斌, 陈云明. 黄土丘陵区土壤侵蚀对土壤有机碳流失的影响研究. *水土保持研究*, 2004, 11(4): 88 ~ 90.