

坡度和坡向对低山茶园土壤有机质空间变异的影响

黄 平^{1,2}, 李廷轩^{1,2*}, 张佳宝², 廖桂堂¹

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

摘 要: 通过空间叠置分析, 探讨了坡度、坡向对低山茶园土壤有机质空间变异的影响。结果表明: ①蒙顶山茶园土壤有机质空间分布与坡度变化基本一致, 在 $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 的坡度区域, 土壤有机质含量较高; ②坡向对土壤有机质空间变异的影响不如坡度明显, 但在 $110^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 范围影响较大; ③坡度、坡向对土壤有机质空间变异的影响几乎相对独立, 但沟谷附近交互影响较显著。

关键词: 坡度、坡向; 土壤有机质 (SOM); 空间变异

中图分类号: S158

土壤有机质 (SOM) 作为土壤C库, 调节着土壤养分循环, 与土壤肥力密切相关, 被认为是衡量土壤质量和土壤生产力的重要指标之一^[1-3]。通过研究土壤有机质空间变异, 可为土壤肥力、土壤质量评价等提供依据, 并为精细农业服务^[4-5]。土壤有机质空间分布受多种因素的影响, 其中坡度、坡向是两大重要影响因素。研究表明: 坡度、坡向对土壤有机质的腐殖化和矿化过程都有重要影响, 从而影响其存在形态、含量及空间分布等^[4,6-8]。随着地理信息技术的不断发展, 通过数字高程模型 (DEM) 提取地形要素图的理论与技术日趋成熟^[9], 利用DEM模型提取的地形信息与相关图件叠合进行土地质量评价、土地适宜性评价、土地分等定级、土壤侵蚀风险评价等成为相关领域的研究热点^[10-18]。目前通过这种方法研究地形要素对土壤性质影响的报道较少。本文通过构建DEM模型提取坡度、坡向图, 与土壤有机质空间分布图进行空间叠置分析, 以探讨两大地形因子对土壤有机质空间变异的影响, 为精细农业管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

蒙顶山是全国两大茶叶源产地之一, 茶叶种植历史悠久, 位于四川省雅安市名山县与雅安市雨城区交界处, 距名山县城西北约 6 km; 山脉呈东北至西南走向, 海拔 700 ~ 1456 m, 属亚热带季风气候, 年降水量在 1800 mm 以上; 主要土壤类型为砂岩发育而成的

黄壤和酸性紫色土^[19]。蒙顶山茶园依山坡而建, 分布于山体的阳坡面, 坡度 $0^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 、坡向 $45^{\circ} \sim 180^{\circ}$, 面积约为 52 hm², 海拔 900 ~ 1450 m, 属典型低山茶园。

1.2 土壤样品采集

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 120 m × 120 m 网格内随机采样, 在地形相对复杂处 (如沟谷附近) 加大采样密度, 每个土样以一个取土点为中心, 10 m 半径内取 5 个点混合而成, 并用 GPS 记录采样中心点位置, 整个研究区共采集土样 142 个, 采样点分布如图 1。具体采样点设在茶树树缝滴水线下, 取土厚度 0 ~ 30 cm。

1.3 土壤样品分析

土壤有机质测定采用 K₂Cr₂O₇ 容量法^[22]。

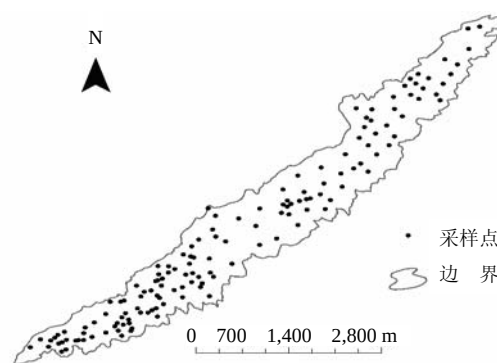


图 1 研究区样点分布

Fig. 1 The distribution of soil samples

* 通讯作者 (litinx@263.net)

作者简介: 黄平 (1984—), 男, 四川雅安人, 硕士研究生, 主要从事土壤生态过程研究。E-mail: phuang@issas.ac.cn

1.4 软件平台

MapInfo7.0: 数字化地形图; ArcGIS 8.3: DEM模型构建与坡度坡向图提取, 以及Kriging插值; SPSS 11.5: 经典统计分析; GS⁺ 5.3: 半方差函数分析。

1.5 DEM模型构建与图形提取

地形图整理、扫描, 并进行数字化栅格底图修正和配准; 对离散高程点进行屏幕矢量化, 并赋对应高程值; 对等高线(等高距 1 m) 进行屏幕跟踪矢量化, 并赋对应高程值; 矢量地形图检查完毕后, 利用不规则三角网(TIN)进行内插生成DEM模型, 并提取坡度坡向图。

2 结果与分析

2.1 土壤有机质统计特征分析

由表 1 可知, 蒙顶山茶园土壤有机质空间分布不均匀, 变异系数超过 25%, 属中等变异。从有机质含量的总体水平来看比较丰富, 这与蒙顶山景观生态格局和茶农施肥习惯密切相关。样本偏态系数和峰度检验值均偏大, 含量高的样本数影响其正态分布, 对其进行对数变换后呈正态分布, 可以进行Kriging插值等空间分析^[20]。

表 1 土壤有机质描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of soil organic matter

样本数	平均值 (g/kg)	中值 (g/kg)	最大值 (g/kg)	最小值 (g/kg)	标准差	变异系数 C.V. (%)	偏度	峰度	分布类型
142	26.79	26.43	58.77	13.36	6.776	25.29	1.159	3.414	L

注: L 表示对数正态分布。

2.2 土壤有机质空间结构分析

2.2.1 各向同性下半方差函数分析 蒙顶山茶园土壤有机质在全步长变化域(6053.28 m)范围内拟合为球状模型, 步长间距为 120 m时, 变程达到 330 m, 远大于采样间距, 表明采样设计符合要求(图 2)。但拟合模型的相关参数并未达到最优, 而在 3400 m步长变化域内土壤有机质半方差函数变化相对稳定, 并且在步长间距 221 m时拟合出最优模型, 其中 C_0/C_0+C 为 14.31%, 表明蒙顶山土壤有机质含量在小尺度下具有强烈的空间相关性^[20], 反映了结构性因子, 如母质、地形、气候、植被等的影响较强^[21]。

2.2.2 各向异性下半方差函数分析 根据最优拟合模型, 选取 NE18°、NE63°、NE108° 和 NE153° 计算土壤有机质半方差函数(表 2)。土壤有机质在 NE18° 和 NE63° 方向上半方差函数基本一致, 各向异性比约为 1, 表现出各向同性的空间分布特征; 而在

NE108° 和 NE153° 各向异性比为 3.71, 表现出明显的各向异性。NE108° 和 NE153° 坡度坡向变化明显, 从而使土壤有机质表现出明显的各向异性结构特征。

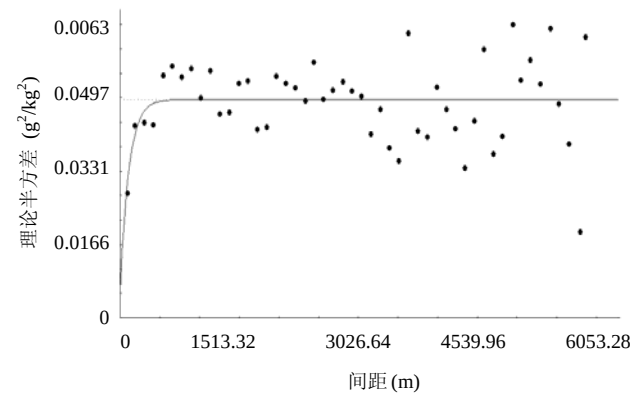


图 2 全步长变化域内土壤有机质各向同性实验与理论半方差
Fig. 2 Global experimental and model-fitted semivariograms
of soil organic matter within all step-size

表 2 土壤有机质各向异性半方差函数理论模型及有关参数

Table 2 Theoretical models and corresponding parameters for anisotropic semivariogram of soil organic matter

主轴方向	模型	块金值 C_0	基台值 C_0+C_1	主轴变程参数 (m)	亚轴变程参数 (m)	块金值/基台值 $C_0/(C_0+C)$ (%)	决定系数 R^2	残差
NE18°	L	0.058	0.392	52090	52090	14.80	0.391	0.1169
NE63°	L	0.034	0.368	14220	14220	9.24	0.390	0.1385
NE108°	E	0.051	0.385	42590	11490	13.25	0.392	0.1162
NE153°	E	0.051	0.385	42590	11490	13.25	0.392	0.1162

注: L 表示线状模型, E 表示指数模型。

2.3 坡度和坡向对土壤有机质空间分布的影响

由图 3 可看出, 蒙顶山茶园坡度变化较大, 变幅超过 50° , 但 $10^\circ \sim 30^\circ$ 范围茶园约占整个研究区的 80%, 并且从东南至西北逐渐增大。蒙顶山茶园分布在山体阳坡面, 坡向集中分布于 $30^\circ \sim 110^\circ$ (图 4)。由图 5 可知, 研究区土壤有机质空间分布既呈条带状, 又有零星斑块, 表明其空间变异受多种因素影响, 其中条带状分布与坡度变化趋势基本一致, 斑块状分布又与坡向变化具有一定相关性。

2.3.1 坡度对土壤有机质空间分布的影响

由图

6 可看出, 坡度与土壤有机质空间变异密切相关, 土壤有机质带状分布与坡度变化基本一致。通过套和图可以看出: 坡度越小, 土壤有机质空间分布与坡度变化一致性愈强, 反之, 二者相关性减弱。主要由于随坡度的增大, 植茶密度有所降低, 而植被覆盖度相对增加, 有机质空间变异性增强; 而且坡度增大后, 坡向变化率也随之增大。总之, 随着坡度的增大, 影响土壤有机质含量的因素增多, 并且复杂化, 致使坡度对土壤有机质空间分布影响权重减小。

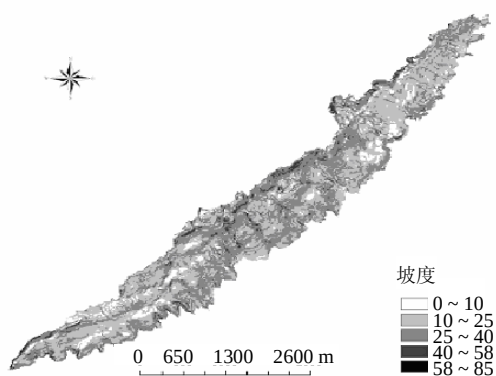


图 3 研究区坡度图

Fig. 3 Slope's gradient distribution in study region

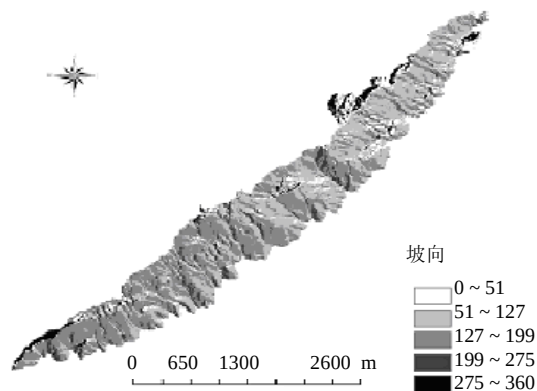


图 4 研究区坡向图

Fig. 4 Slope's aspect distribution in study region

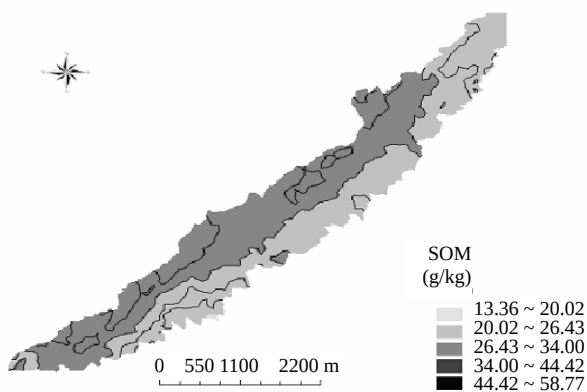


图 5 土壤有机质克里格插值图

Fig. 5 Kriging interpolation for soil organic matter

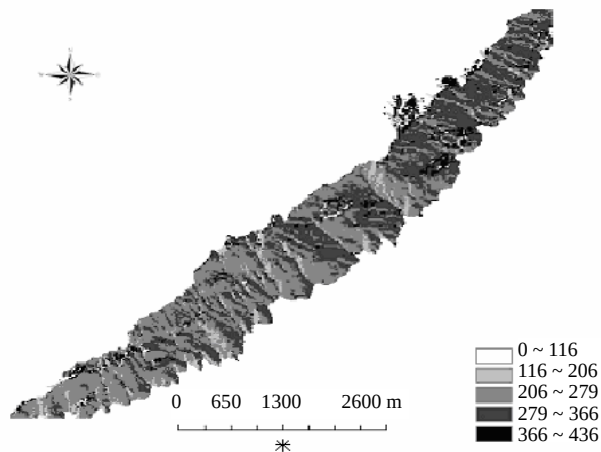


图 6 坡度与有机质空间分布套合图

Fig. 6 Overlapping map of slope's gradient and soil organic matter

土壤有机质含量高于 20 mg/kg 茶园多分布在坡度 $15^\circ \sim 35^\circ$ 范围, 其中坡度 $25^\circ \sim 35^\circ$ 的茶园土壤有机质含量最高, $>35^\circ$ 次之, 而 $<10^\circ$ 相对较低。主要原因在于: ①蒙顶山阴湿多雨, 常年云雾缭绕, 为腐殖质

形成营造了良好环境, 而且随着海拔高度的增加, 坡度呈增大趋势, 云雾更频繁, 有机质富积明显; ②蒙顶山年降雨量高达 2125.4 mm , 虽然土壤表层有机质易于流失, 但由于地表植被可以减弱雨水对地面的机

械扰动,有助于土壤有机质形成与积累,而且研究区内随着海拔高度的不断增加,植被越茂盛,越有利于土壤有机质累积;③研究区茶树种植密度随着坡度的增大呈降低趋势,坡度较小区域茶树生长对养分消耗较大,而有机养分供给源又相对不足,造成低坡度下土壤有机质含量较低;然而随着坡度的增大,茶树相对稀疏,对有机质的耗竭速度变缓,并且大量杂草残体,以及灌丛枯枝落叶等为土壤补给大量有机质;④随着坡度增大,茶农的施肥习惯也有所差异,坡度较大的茶园以施用农家肥为主,而地势较缓的地区,则多施用化肥;⑤地势较平缓的区域,使用年限较长,因而茶园管理过程中对土壤扰动也比较大,土壤有机质耗竭较明显,而坡度较大的茶园则相反,使用年限相对较短,土壤有机质含量接近原景观生态格局下的水平。

2.3.2 坡向对土壤有机质空间分布的影响 由图7可以看出,坡向对研究区土壤有机质空间分布的影响不同于坡度,坡向的影响不如坡度明显,这与半方差函数分析结果也基本一致。坡向对集水线和分水岭附近土壤的有机质含量影响较其他区域大; $110^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 坡向范围内,土壤有机质空间变异明显,而在 $30^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 的范围内,坡向影响较小,在某些区域甚至可以忽略不计。主要归因于:①研究区年降雨量大,从而在冲刷较严重的集水线和入渗率小的分水岭附近,植被覆盖较小,地表有机质易于流失,土壤有机质空间变异较明显,并且沟谷土壤有机质含量较分水岭附近高,坡度较小的部位更显著;②坡向影响光热资源再分配过程,研究区在 $110^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 范围内属于西南朝向,而 $30^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 属正北或西北朝向,前者较后者可接受更多的太阳辐射,加快土壤有机质循环速度,而后者处于微地形条件下的寡日照部位,有机质循环周期相对较长,致使土壤有机质空间分布差异较大。

2.3.3 坡度和坡向对土壤有机质空间分布的交互影响 通过探讨坡度、坡向对土壤有机质空间分布的影响,可以看出其影响不尽一致,影响程度和范围也有所差异,因此有必要将坡度、坡向和有机质空间分布特征图叠加以探讨两大地形要素对其空间变异的交互影响。由图8可以看出,坡度和坡向对土壤有机质空间变异的影响几乎相互独立;沟谷附近,坡度和坡向对土壤有机质空间分布的交互影响更明显。主要由于:坡度、坡向对土壤有机质空间变异的影响机制不同,前者主要影响水分及溶质运移,进而影响地表物质的流失与累积,而后者主要影响光热资源的再分配过程;沟谷附近,坡度、坡向变化率均较大,并对土

壤有机质空间分布的影响呈同向性,以致该地形条件下土壤有机质空间变异性强。

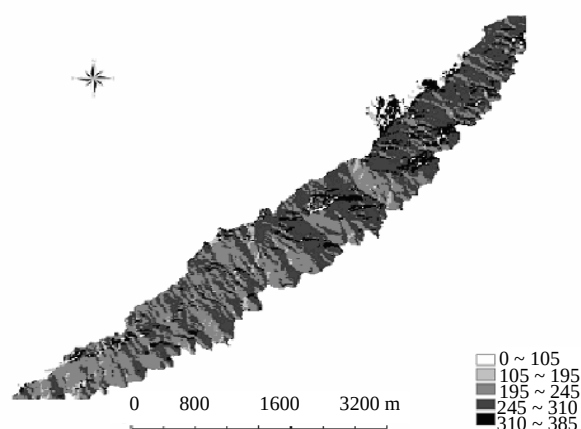


图7 坡向与有机质空间分布套合图

Fig. 7 Overlapping map of slope's aspect and soil organic matter

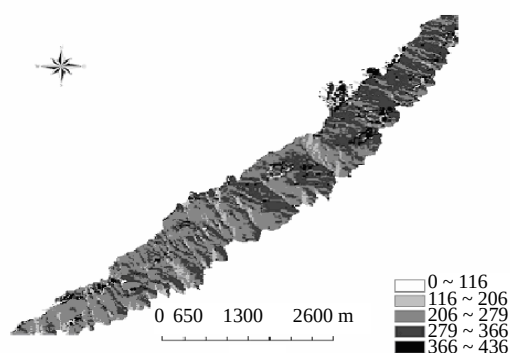


图8 坡度和坡向与有机质空间分布套合图

Fig. 8 Overlapping map of slope's gradient, aspect and soil organic matter

3 结论

(1) 土壤有机质空间分布呈明显的东北至西南的条带状,又伴有零星斑块,并由西北至东南呈递减趋势。

(2) 土壤有机质空间分布主要受坡度影响,其分布特征与坡度变化基本一致,并且土壤有机质含量高的区域大多分布于 $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 范围,而坡向对低山茶园土壤有机质空间分布的影响不如坡度明显,在 $110^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 范围内土壤有机质空间变异受坡向影响较大,但尚未探讨不同坡度和坡向级对土壤有机质空间变异的影响程度。

(3) 坡度和坡向对茶园土壤有机质空间变异的影响相对独立,而在沟谷附近则交互影响较显著。因此,可以通过 DEM 模型提取沟谷特征图与土壤有机质空

间分布图进行叠置,以进一步探讨微地形条件下土壤有机质空间变异及其影响因素。

参考文献:

- [1] 张兴昌,邵明安. 水蚀条件下不同土壤氮素和有机质的流失规律. 应用生态学报, 2000, 11(2): 231-234
- [2] 沈善敏. 中国土壤肥力. 北京: 中国农业出版社, 1998
- [3] 张俊华, 常庆瑞, 贾科利, 陈涛, 岳庆玲, 李云驹. 黄土高原植被恢复对土壤质量的影响研究. 水土保持学报, 2003, 17(4): 38-41
- [4] 薛晓辉, 卢芳, 张兴昌. 陕北黄土高原土壤有机质分布研究. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2005, 33(6): 69-74
- [5] 高鲁鹏, 梁文举, 姜勇, 闻大中. 土壤有机质模型的分析. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1804-1808
- [6] Mulla DJ. Mapping and managing spatial patterns in soil fertility and crop yield // Ronert PC, Rust RH, Larson WE. Soil Specific Crop Management. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, 1993: 15-26
- [7] 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
- [8] Miller PM, Singer MJ, Nielsen DR. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. Soil Sci. Soc. AM., 1988, 52: 1133-1141
- [9] 毕华兴, 谭秀英, 李笑吟. 基于 DEM 的数字地形分析. 北京林业大学学报, 2005, 27(2): 49-53
- [10] Wu PL. Modeling soil erosion with the aid of GIS. Journal of Northeast Agricultural University, 2005, 12(1): 42-47
- [11] Tang GA, Ge SS, Li FY, Zhou JY. Review of digital elevation model (DEM) based research on China Loess Plateau. Journal of Mountain Science, 2005, 2(3): 265-270
- [12] 张勇, 陈良富, 柳钦火, 李小文. 日照时间的地形影响与空间尺度效应. 遥感学报, 2005, 9(5): 522-530
- [13] Mushtak TJ. Application of GIS to estimate soil erosion using RUSLE. Geo-Spatial Information Science, 2003, 6(1): 34-38
- [14] Cochrane TA, Flanagan DC. Effect of DEM resolutions in the runoff and soil loss predictions of the WEPP watershed model. Transactions of the CSAE, 2005, 48(1): 109-116
- [15] Jiang P, Thelen KD. Effects of soil and topographic properties on crop yield in a north-central corn-soybean cropping system. Agronomy Journal, 2004, 96(1): 252-259
- [16] Feras MZ. Analyzing digital terrain attributes to predict soil attributes for a relatively large area. Soil Science Society of America Journal, 2005, 69(5): 1590-1600
- [17] Kang SY, Kim SW, Lee DW. Spatial and temporal patterns of solar radiation based on topography and air temperature. Canadian Journal of Forest Research, 2002, 32(3): 487-498
- [18] Guretzky JA, Moore KJ, Burras CL, Brummer EC. Distribution of legumes along gradients of slope and soil electrical conductivity in pastures. Agronomy Journal, 2004, 96(2): 547-556
- [19] 张锡洲, 李廷轩, 张仁绥, 王宪章. 蒙山土壤的宜茶性调查研究. 西南农业学报, 2000, 13(4): 122-125
- [20] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999
- [21] 冯娜娜, 李廷轩, 张锡洲, 王永东, 夏建国. 不同尺度下山区茶园土壤有机质含量的空间变异. 生态学报, 2006, 26(3): 349-356
- [22] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999

Effects of Slope's Gradient and Aspect on Spatial Heterogeneity of Soil Organic Matter in Low Mountainous Region

HUANG Ping^{1, 2}, LI Ting-xuan^{1, 2}, ZHANG Jia-bao², LIAO Gui-tang¹

(1 School of Environmental and Resources Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China;

2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: Through spatial overlapping analysis, this paper discussed the effects of the two topographic features derived from Digital Elevation Model (DEM) on spatial heterogeneity of soil organic matter (SOM) in a low mountainous region. The results showed that: ①SOM spatial variability was basically consistent with the change of slope's gradient in Mengding Mountain, and SOM content was highest at the gradient range from 15° to 35°; ②the effect of slope's aspect on SOM spatial heterogeneity was not as intensive as slope's gradient, but it was obvious at the gradient range from 110° to 180°; ③the effects of slope and aspect on SOM spatial distribution were nearly independent, but in some special areas, for instance, in gullies, the interactive influence of the two attributes on SOM heterogeneity was also obvious.

Key words: Slope's gradient and aspect, Soil organic matter (SOM), Heterogeneity