

# 基于DEM的广东省赤红壤全磷与地形因子相关分析<sup>①</sup>

刘序<sup>1</sup>, 徐剑波<sup>2</sup>, 胡月明<sup>2</sup>, 席荣宾<sup>1</sup>, 李华兴<sup>1\*</sup>

(1 华南农业大学资源环境学院, 广州 510642; 2 华南农业大学信息学院, 广州 510642)

## Correlation Analysis on Soil Total Phosphorus Contents and Terrain Indices of Lateritic Red Soil in Guangdong Province Based on DEM

LIU Xu<sup>1</sup>, XU Jian-bo<sup>2</sup>, HU Yue-ming<sup>2</sup>, XI Rong-bin<sup>1</sup>, LI Hua-xing<sup>1</sup>

(1 College of Natural Resources & Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 College of Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**摘要:** 以土壤类型图、地形图、全磷含量图等为数据源, 利用 ArcGIS 建立广东省赤红壤 DEM, 提取海拔高度、坡度、坡向和地势起伏度, 探索大尺度下全磷分布与地形因子的关系。研究表明: 全磷与海拔高度、坡度和地势起伏度存在负相关, 并随这些地形因子的上升分布面积迅速下降, 变化呈现倒数形式; 在坡向上, 主要分布于平坦区域和东南坡。研究结果直接证明地形是土壤形成发育的重要因素, 影响土壤全磷的积累及转化。

**关键字:** DEM; 赤红壤; 广东省; 土壤全磷; 地形因子

**中图分类号:** S158; P208

数字高程模型 (Digital Elevation Model, 简称 DEM), 以高程来描述地面特性, 是进行地形分析和二维地形空间模拟的基础<sup>[1-2]</sup>。对于土壤而言, 地形特征对其形成及利用具有重要作用, 土壤理化性质、养分变化与地形位置十分相关<sup>[3-6]</sup>。Priyashantha 等人<sup>[7]</sup>利用 DEM 研究施用猪粪对土壤养分分布格局的影响, 发现有效 P 水平坡面 < 坡顶 < 坡脚, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 水平从坡顶到坡脚逐渐增加, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 水平在坡顶和坡面没有变化, 坡脚明显高于坡顶和坡面。程先富等<sup>[8]</sup>揭示地形变量中坡向对土壤全 N 含量影响最大, 全 N 含量和母岩、海拔、坡向存在着正相关关系。而崔卫国等<sup>[9]</sup>则研究发现随海拔高程增加, 土壤有机质和全 N 含量减少, 阳离子代换量降低, 土壤 pH 值升高、酸性减弱。但是在在大尺度下土壤全 P 与地形特征相关分析研

究较少。

赤红壤是广东省山地丘陵主要的土壤资源, 资源丰富, 生产潜力很大, 但其养分含量多属于中下水平<sup>[10]</sup>。因此, 研究广东省赤红壤的地形特征与土壤全 P 关系, 研究结果对于揭示地形对土壤养分空间分布以及赤红壤实际利用具有重要的理论和现实意义。

### 1 研究区概况

赤红壤是南亚热带的代表性土壤, 在广东省内主要分布于 21 个地市, 位于北纬 21°35' ~ 24°31' 之间, 海拔 300 ~ 450 m 以下的低丘台地, 占全省土壤总面积的 44.67%<sup>[11]</sup>。赤红壤是在强烈的脱硅富铝化作用和旺盛的生物循环作用下形成的, 在中国土壤系统分类中, 赤红壤属于铁铝土纲, 湿润铁铝土亚纲<sup>[10-15]</sup>。

①基金项目: 国家自然科学基金项目 (40671145)、广东省“十一五”攻关项目 (2004A20402001 0412-0712)、广东省攻关项目 (2002C20702 0209-0512)、广东省教育部产学研结合项目 (2007B090400014) 和广东省科技计划项目 (2007A020300010-6) 资助。

\* 通讯作者 (huaxli@scau.edu.cn)

作者简介: 刘序 (1979-), 男, 山西大同人, 博士研究生, 主要从事土壤信息及土壤资源管理研究。E-mail: liuxxu@163.com

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源与预处理

本文数据来源于 1:50 万广东省地形图、1:100 万广东省土壤类型图和 1:100 万广东省土壤全P含量图。土壤类型图、全P含量图均为广东省第二次土壤普查成果图，全P含量为土壤表层含量<sup>[11]</sup>。对以上图件进行扫描数字化，利用GPS和图件坐标进行配准。GPS 定位误差为 10 m，1:100 万图上误差仅为 0.01 mm。

### 2.2 研究方法

生成 DEM 的方法很多，本文采用地形图构建不规则三角网生成 DEM 方式<sup>[16]</sup>。利用 ArcGIS 将 1:50 万广东省地形图生成 TIN 模型，用高程标注点核对与验证等高线和 DEM 准确度，利用中误差描述 DEM 精度及确定适宜的栅格分辨率<sup>[17]</sup>。通过验证，发现适宜分辨率为 100 m × 100 m，此时 DEM 中误差为 9.73 m，可以满足分析需要。从土壤类型图中提取赤红壤土类，叠加到 DEM 上提取广东省赤红壤 DEM，如图 1 所示。

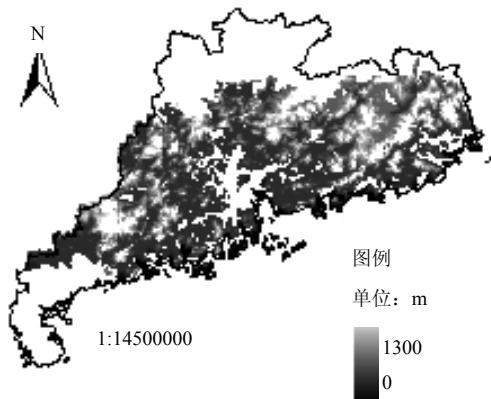


图 1 广东省赤红壤 DEM

赤红壤全 P 含量图以第二次广东省土壤普查分级标准为基础，按照 >2.2、1.8~2.2、1.4~1.8、0.9~1.4、0.4~0.9、<0.4 g/kg 划分 6 个级别。

地形因子根据前人研究成果，在广东省赤红壤

DEM 基础上提取海拔高度、坡度、坡向、地势起伏度作为分析指标。海拔高度对 DEM 以高差 100 m 重新分为 13 级，范围 0~1300 m。坡度是在 DEM 上提取，考虑小比例尺地形图对于坡度的衰减作用以及土壤侵蚀的相关坡度分级标准<sup>[16]</sup>，划分为间距为 5 度的 11 个级别，范围 0°~55°。坡向是在 DEM 上提取，以正北方为 0°，顺时针转动角度，分成 9 种坡向<sup>[17]</sup>：平缓坡 (-1)、北坡 (0°~22.5°，337.5°~360°)、东北坡 (22.5°~67.5°)、东坡 (67.5°~112.5°)、东南坡 (112.5°~157.5°)、南坡 (157.5°~202.5°)、西南坡 (202.5°~247.5°)、西坡 (247.5°~292.5°)、西北坡 (292.5°~337.5°)。地势起伏度反映地貌的相对高差，本文利用文献<sup>[18]</sup>的方法，从 3×3 计算到 50×50，以 24 m × 24 m (576 hm<sup>2</sup>) 作为起伏度的最佳统计单元，以 100 m 为间距，划分为 10 个级别。

利用 ArcGIS 的空间分析工具分别将全 P 分级图与海拔高度、坡度、坡向、地势起伏度分级图叠加，提取相应的面积定量分析它们之间的相关关系。

## 3 结果分析

### 3.1 土壤全磷分级统计与分布

赤红壤全P含量的 6 个级别中，多数分布在 5~6 级，即为 0.9 g/kg 以下，属于缺少、极缺少水平，分布面积占到全部赤红壤的 86% 以上，而 >2.2 g/kg 和 1.8~2.2 g/kg 的 1 级、2 级仅占 1% 多一些，3 级和 4 级分布面积不到 13%。赤红壤的成土母质为花岗岩、砂页岩、红色砂页岩和第四纪红土等，由于受不同程度的侵蚀，表层土壤全P含量很低<sup>[11,19]</sup>。因此，大多数赤红壤全P含量较低。

### 3.2 土壤全磷分布与海拔高度关系

通过分析发现赤红壤全 P 含量 6 个级别所分布的面积都是随着海拔高度级别的上升而不断减少。相关分析表明，赤红壤全 P 含量分级与海拔高度分级之间存在很强的负相关关系 (表 1)，而全 P 含量 6 个级别之间存在很强的正相关关系。

表1 全 P 含量分级与海拔高度分级之间的相关分析

	全 P 含量分级					
	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级
海拔高度分级	-0.75**	-0.80**	-0.79**	-0.77**	-0.79**	-0.75**

注： \*\* 表示在 p<0.01 水平显著相关。

对赤红壤全 P 含量的 6 个级别进行主成分分析,在累计载荷达到 90.87% 的情况下,提取第一主成分作为全 P 含量 1 级到 6 级的总变量,与海拔高度分级进行主成分回归,结果如下:  $TP\_H1 = -0.90 + 3.69/h$ , 其中,  $TP\_H1$  为赤红壤全 P 分级第一主成分,  $h$  为海拔高度分级 ( $h = 1, 2, \dots, 13$ )。回归方程  $R^2$  为 0.90,  $F$  值为 300.70, 显著水平 0.01。主成分回归方程说明, 随海拔高度上升, 赤红壤全 P 含量逐渐降低, 变化曲线呈倒数形式。

### 3.3 土壤全磷分布与坡度关系

通过分析发现, 赤红壤全 P 含量 6 个级别所分布的

面积都是随着坡度级别的上升而不断减少。相关分析表明, 赤红壤全 P 含量分级与坡度分级之间存在很强的负相关关系 (表 2), 而全 P 含量 6 个级别之间存在很强的正相关关系。

同样进行主成分分析, 在累计载荷达到 99.59% 情况下, 提取第一主成分作为全 P 含量 1 级到 6 级的总变量, 与坡度分级进行主成分回归, 结果如下:  $TP\_S1 = -0.99 + 3.59/s$ , 其中,  $TP\_S1$  为赤红壤全 P 分级第一主成分,  $s$  为坡度分级 ( $s = 1, 2, \dots, 11$ )。回归方程  $R^2$  为 0.94,  $F$  值为 138.54, 显著水平 0.01。通过主成分回归, 发现随坡度上升, 赤红壤全 P 含量逐渐降

表 2 全磷含量分级与坡度分级之间的相关分析

	全 P 含量分级					
	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级
坡度分级	-0.74**	-0.69 *	-0.63*	-0.65*	-0.66*	-0.66*

注: \*\*表示在  $p < 0.01$  水平显著相关, \*表示在  $p < 0.05$  水平显著相关, 下同。

低, 变化曲线呈倒数形式。

### 3.4 土壤全磷分布与坡向关系

赤红壤全 P 含量分级面积随坡向变化曲线如图 2 所示。从图 2 中可以看出, 全 P 含量各个级别在平缓坡分布面积最多, 分布顺序依次是 5 级、6 级、4 级、3 级、2 级和 1 级。在北、东北、东、东南、南、西南、西、西北 8 个方向上分布呈现波浪起伏状, 除 2 级外都在东南方向上分布面积最多。

### 3.5 土壤全磷分布与地势起伏度关系

通过分析发现, 赤红壤全 P 含量 6 个级别所分布的面积都是随着地势起伏度级别的上升而不断减少。相关分析表明, 赤红壤全 P 含量分级与地势起伏度分级之间存在很强的负相关 (表 3), 而全 P 含量 6 个级别之间存在很强的正相关。

对赤红壤全 P 含量的 6 个级别进行主成分分析, 在累计载荷达到 96.24% 情况下, 提取第一主成分并与地势起伏度分级进行主成分回归, 结果如下:  $TP\_Q1 =$

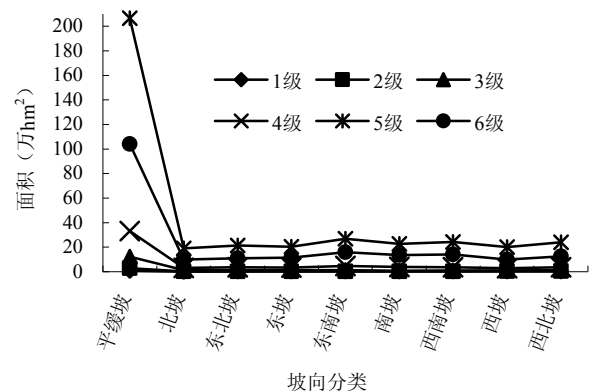


图 2 赤红壤全 P 含量分级面积随坡向变化曲线

$-1.04 + 3.56/q$ , 其中,  $TP\_Q1$  为赤红壤全 P 分级第一主成分,  $q$  为地势起伏度分级 ( $q = 1, 2, \dots, 10$ )。回归方程  $R^2$  为 0.97,  $F$  值为 242.00, 显著水平 0.01。通过主成分回归, 发现随地势起伏度上升, 赤红壤全 P 含量逐渐降低, 变化曲线呈倒数形式。

表 3 全 P 含量分级与地势起伏度分级之间的相关分析

	全 P 含量分级					
	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级
地势起伏度分级	-0.92**	-0.87**	-0.77**	-0.81**	-0.84**	-0.83*

## 4 小结

地形是土壤形成与发育的重要因素之一, 影响土壤养分的流动与积累。本文在分析广东省赤红壤全 P

与地形特征关系之后, 得出以下结论:

(1) 土壤母质岩石类型不同影响地貌形态及岩石的化学成分, 进而对土壤全 P 产生影响。而在本研究

中, 赤红壤的成土母质为花岗岩、砂页岩、红色砂页岩和第四纪红土等, 由于受不同程度的侵蚀, 表层土壤全P含量在5~6级之间的分布面积最大, 土壤母质对全P的影响没有海拔高度、坡度和地势起伏度的影响大。

(2) 通过对赤红壤全P含量分级在不同海拔高度、坡度和地势起伏度下分布面积的统计分析, 发现全P含量的各个级别与海拔高度、坡度和地势起伏度等分级之间存在很强的负相关, 变化曲线呈倒数 $y = b_0 + b_1/x$ 形式。这说明赤红壤全P的积累受到海拔高度、坡度和地势起伏度的制约, 海拔高度越高, 坡度越大, 地势起伏度越大, 适合赤红壤全P积累与转化的气候及生物等条件越差。

(3) 赤红壤全P含量各个级别在平缓区域分布面积最多。这说明平坦区域对于全P的积累具有促进作用。另外, 在东南坡的较多分布, 这说明广东省赤红壤所处位置为中国大陆东南, 濒临南海, 受到太阳辐射、东南海风、降水等气候的影响, 大尺度下区域地理位置的重要性较为突出。

#### 参考文献:

- [1] 陈述彭, 鲁学军, 周成虎. 地理信息系统导论. 北京: 科学出版社, 2003: 117
- [2] 李天文, 刘学军, 汤国安. 地形复杂度对坡度坡向的影响. 山地学报, 2004, 22(3): 272-277
- [3] Lin YS, Lin YW, Wang Y, Chen YG, Hsu ML, Chiang SH, Chen ZS. Relationships between topography and spatial variations in groundwater and soil morphology within the Taoyuan-Hukou Tableland, Northwestern Taiwan. *Geomorphology*, 2007, 90(1/2): 36-54
- [4] Yimer F, Ledin S., Abdelkadir A. Soil property variations in relation to topographic aspect and vegetation community in the southeastern highlands of Ethiopia. *For. Ecol. Manage.*, 2006, 232: 90-99
- [5] Wu W, Fan Y, Wang ZG, Liu HB. Assessing effects of digital elevation model resolutions on soil-landscape correlations in a hilly area. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2008, 126: 209-216
- [6] 赵玉国, 张甘霖, 周生路, 张华, 骆永明, 赵其国. 利用DEM建立香港土壤地体数据库. *土壤*, 2003, 35(2): 160-164
- [7] Priyashantha K RS, Maule CP, Elliott JA. Influence of slope position and hog manure injection on fall soil P and N distribution in an undulating landscape. *Transactions of the Asabe*, 2007, 50(1): 45-52
- [8] 程先富, 史学正. 亚热带典型地区土壤全氮和地形、母岩的关系研究——以江西省兴国县为例. *水土保持学报*, 2004, 18(2): 137-139
- [9] 崔卫国, 文倩, 吴大放, 杨君, 刘艳艳. 基于DEM的土壤理化性质空间统计与三维表达——以湖南醴陵市为例. *地理与地理信息科学*, 2007, 23(3): 78-82
- [10] 骆世明, 李华兴, 胡月明. 广东赤红壤区现代农业实验研究. 北京: 中国农业出版社, 2002: 4-6, 7
- [11] 广东省土壤普查办公室. 广东土壤. 北京: 科学出版社, 1993: 129
- [12] Shi XZ, Yu DS, Warner ED, Sun WX, Petersen GW, Gong ZT, Lin H. Cross-Reference system for translating between genetic soil classification of china and soil taxonomy. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2006, 70(1): 78-83
- [13] Shi XZ, Yu DS, Yang GX, Wang HJ, Sun WX, Du GH. Cross-Reference Benchmarks for Translating the Genetic Soil Classification of China into the Chinese Soil Taxonomy. *Pedosphere*, 2006, 16(2): 147-153
- [14] Shi XZ, Yu DS, Sun WX, Wang HJ, Zhao QG, Gong ZT. Reference benchmarks relating to great groups of genetic soil classification of China with soil taxonomy. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(14): 1507-1511
- [15] Shi XZ, Yu DS, Warner ED, Pan XZ, Petersen GW, Gong ZG, Weindorf DC. Soil Database of 1:1,000,000 Digital Soil Survey and Reference System of the Chinese Genetic Soil Classification System. *Soil Survey Horizons*, 2004, 45(4): 129-136
- [16] 杨勤科, 贾大韦, 李锐, 梁伟, 师维娟. 基于DEM的坡度研究——现状与展望. *水土保持通报*, 2007, 27(1): 146-150
- [17] 汤国安, 刘学军, 闫国年. 数字高程模型及地学分析的原理与方法. 北京: 科学出版社, 2005: 188-189, 216
- [18] 唐飞, 陈曦, 程维明, 周可法. 基于DEM的准格尔盆地及其西北山区地势起伏度研究. *干旱区地理*, 2006, 29(3): 388-389
- [19] 万洪富, 郭治兴, 邓南荣, 文雅. 广东省土壤资源及作物适宜性图谱. 广州: 广东科技出版社, 2005: 225