

基于 DEM 的广东省赤红壤全氮含量与 地形特征相关分析

刘 序^{1,2}, 胡月明³, 李华兴¹, 徐剑波³, 席荣宾¹, 缙武龙⁴

(1 华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642; 2 广东省农业科学院 科技情报研究所, 广东 广州 510640;
3 华南农业大学 信息学院, 广东 广州 510642; 4 广东友元国土信息工程有限公司, 广东 广州 510640)

摘要:以土壤类型图、地形图、全氮图等资料为数据源,利用 ArcGIS 9.2 建立广东省赤红壤数字高程模型(DEM),提取海拔高度、坡度、坡向和地势起伏度,探索大尺度下全氮分布与地形特征的关系.研究表明:全氮含量与海拔高度、坡度和地势起伏度呈负相关关系,并随着海拔高度、坡度和地势起伏度的上升分布面积迅速下降,在坡向上,则主要分布于平坦区域和东南坡.

关键词:DEM; 赤红壤; 土壤全氮; 地形特征; 广东省

中图分类号:S158;P208

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2010)01-0017-05

The Correlation Analysis on the Soil Total Nitrogen Content of Lateritic Red Soil and Terrain Characteristics in Guangdong Province Based on DEM

LIU Xu^{1,2}, HU Yue-ming³, LI Hua-xing¹, XU Jian-bo³, XI Rong-bin¹, GOU Wu-long⁴

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

2 Sci-Tech Information Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China;

3 College of Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

4 Guangdong Youyuan Land Information Technology Co., Ltd, Guangzhou 510640, China)

Abstract: DEM of lateritic red soil in Guangdong Province was set up by using ArcGIS 9.2 based on soil type map, topographic map, and total nitrogen map data. Altitude, slope, aspect and undulating terrain were extracted to explore the correlation in large-scale between topographic factors and total nitrogen content of lateritic red soil in Guangdong Province. The results show that total nitrogen content of lateritic red soil had high correlation with the distribution area of the indices of height, slope and relief amplitude. The distribution area of total nitrogen content in soil was decreased as those terrain indices increased. As for aspect, the distribution area of soil total nitrogen content was mainly in flat region and south-east slope.

Key words: DEM; lateritic red soil; soil nutrients; terrain characteristics; Guangdong Province

数字高程模型(Digital elevation model, 简称 DEM),以高程来描述地面特性,作为地理信息系统(GIS)空间数据库的核心数据库之一,是进行地形分

析和二维地形空间模拟的基础^[1-2].在地理信息系统中,DEM是建立数字地面模型(Digital terrain model, 简称 DTM)的基础数据,能派生出各种地形因子,如

收稿日期:2008-12-30

作者简介:刘 序(1979—),男,博士;通讯作者:李华兴(1949—),男,教授,硕士,E-mail:huaxli@scau.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金(40671145);广东省科技攻关项目(2004A20402001,2002C20702);广东省教育部产学研结合项目(2007B090400014);广东省科技计划项目(2007A020300010-6)

坡度、坡向、平面曲率、剖面曲率等. 对于土壤而言, 地形特征对其形成及利用具有重要作用^[3]. 而海拔高度、坡度、坡向则在一定程度上影响土壤的许多特性. 程先富等^[4]运用 DEM 分析土壤全氮和地形关系, 发现地形变量中坡向对全氮含量影响最大, 全氮含量和母岩、海拔、坡向存在着正相关关系. 陈楠等^[5]以西安市为样区, 研究发现不同海拔高度, 土类分布组合不同; 不同海拔高度土壤的 pH、阳离子代换量及有机质含量变化较大. 而崔卫国等^[6]研究发现土壤理化性质与海拔高程具有显著相关性, 随海拔高程增加, 土壤有机质和全氮含量减少, 阳离子代换量降低, 土壤 pH 升高、酸性减弱. 但是在尺度下土壤全氮与地形特征相关分析研究较少. 研究广东省赤红壤的地形特征与土壤全氮关系, 对于揭示地形对土壤全氮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, 同时也对 DEM 在土壤养分空间分布方面的应用进行初步尝试.

1 研究区概况

赤红壤是南亚热带的代表性土壤, 在广东省广泛分布于 21 个地市, 位于北纬 $21^{\circ}35' \sim 24^{\circ}31'$, 海拔 300 ~ 450 m 以下的低丘台地, 是广东省山地丘陵主要的土壤资源, 占全省土壤总面积的 44.67%^[7]. 由于其分布广泛、面积大、资源丰富、生产潜力很大, 赤红壤区域成为发展南亚热带经济与林木、果树的重要生产基地^[8]. 赤红壤是中国土壤发生学分类的命名, 又称砖红壤性红壤或砖红壤化红壤, 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^[9-12].

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 1:1 000 000 广东省行政区划图、1:500 000 广东省地形图、1:1 000 000 广东省土壤图和 1:1 000 000 广东省土壤全氮含量图. 土壤图、全氮含量图均为广东省第 2 次土壤普查成果图^[7].

为准确分析, 对广东省土壤图、全氮含量图等进行高分辨率扫描 (300 Dpi), 利用 GPS 和图件坐标进行配准, 单位为 m, 投影为正轴等角割圆锥投影. 利用等高线回放来检查地形图错误并修正.

2.2 研究方法

2.2.1 广东省赤红壤 DEM 的生成 生成 DEM 模

型的方法很多, 本文采用地形图构建不规则三角网 (Triangle irregular network, 简称 TIN) 生成 DEM 方式^[13]. 具体是利用 ArcGIS 9.2 的空间分析功能, 将 1:50 万广东省地形图生成 TIN 模型, 并在原纸质地形图上查找高程标注点, 用这些标注点核对与验证等高线和 DEM 的准确度, 利用中误差 (RMSE) 描述栅格精度以及确定适宜的栅格分辨率^[14]. 通过验证, 发现 DEM 栅格适宜分辨率为 100 m $\times$ 100 m, 此时 RMSE 为 9.73 m, 可以满足 DEM 分析需要. 从土壤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.

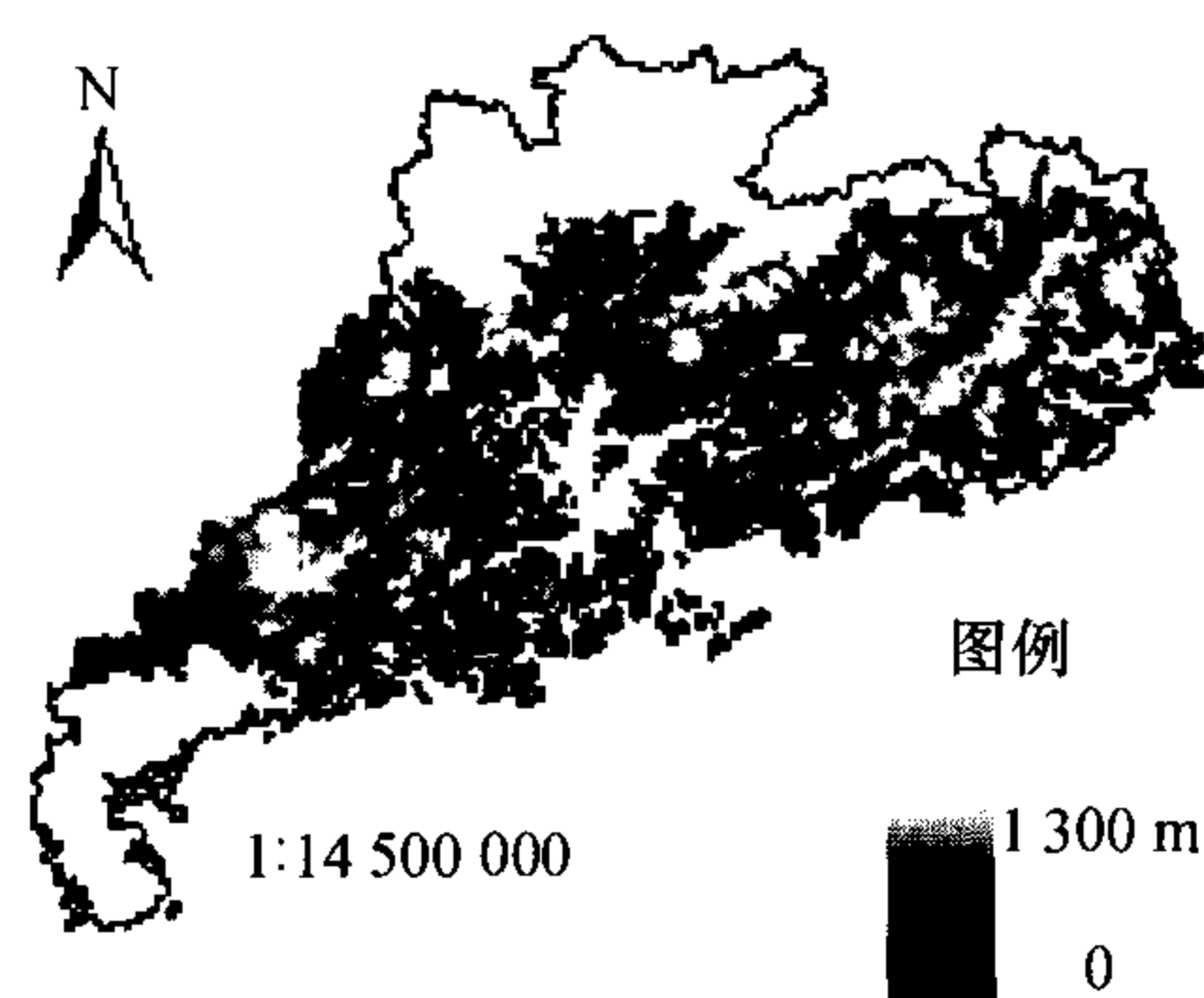


图1 广东省赤红壤 DEM

Fig. 1 DEM of lateritic red soil of Guangdong Province

2.2.2 广东省赤红壤全氮含量分级图划分 赤红壤全氮含量图以第 2 次广东省土壤普查的分级标准为基础, 按照 >2.0 、 $1.5 \sim 2.0$ 、 $1.0 \sim 1.5$ 、 $0.75 \sim 1.0$ 、 $0.5 \sim 0.75$ 、 <0.5 g/kg 6 个级别划分.

2.2.3 广东省赤红壤地形因子提取 根据前人研究成果^[2-6], 在 DEM 基础上提取海拔高度、坡度、坡向、地势起伏度作为地形因子分析指标. 海拔高度是 DEM 对海拔高度信息按高差 100 m 进行重新分级, 共 13 级. 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^[13], 划分为间距为 5° 的 11 个级别, 范围 $0^{\circ} \sim 55^{\circ}$. 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^[14]: 平缓坡 (-1)、北坡 ($0^{\circ} \sim 22.5^{\circ}$, $337.5^{\circ} \sim 360.0^{\circ}$)、东北坡 ($22.5^{\circ} \sim 67.5^{\circ}$)、东坡 ($67.5^{\circ} \sim 112.5^{\circ}$)、东南坡 ($112.5^{\circ} \sim 157.5^{\circ}$)、南坡 ($157.5^{\circ} \sim 202.5^{\circ}$)、西南坡 ($202.5^{\circ} \sim 247.5^{\circ}$)、西坡 ($247.5^{\circ} \sim 292.5^{\circ}$)、西北坡 ($292.5^{\circ} \sim 337.5^{\circ}$). 地势起伏度反映地貌的相对高差, 本文利用文献^[15]所介绍的方法, 以 $n \times n$ 像元的矩形作为模板算子从 3×3 计算到 50×50 , 以 $24 \text{ m} \times 24 \text{ m}$ (576 hm^2) 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.

2.2.4 土壤全氮含量分级与地形因子分级相关分析 利用 ArcGIS 的空间分析工具分别将广东省赤红壤全氮含量分级图与海拔高度、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 结果与分析

3.1 土壤全氮分布与海拔高度的关系

通过分析发现赤红壤全氮含量 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(图 2). 而通过相关分析(表 1)可以看出,赤红壤全氮含量分级与海拔高度分级之间存在很强的负相关关系,而全氮的 6 个级别之间同样存在很强的正相关关系.

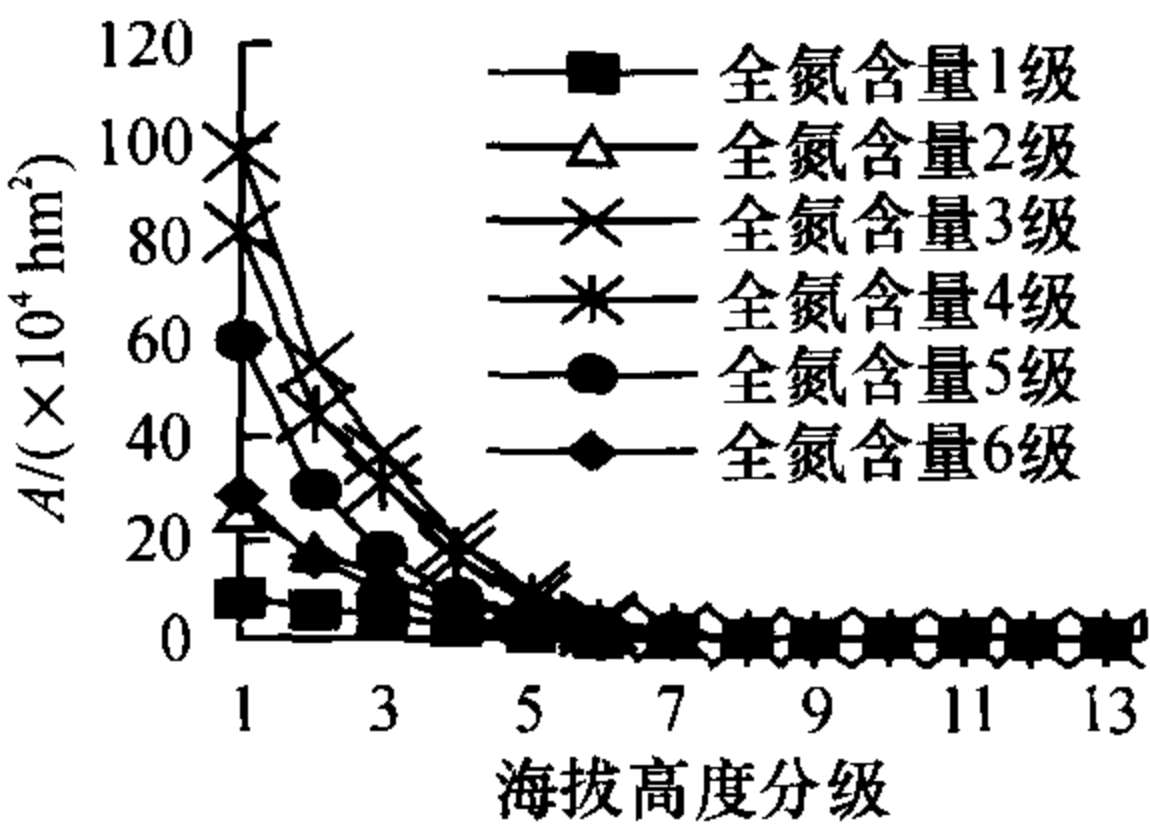


图 2 赤红壤全氮含量分级的面积随海拔高度级别变化曲线
Fig.2 The grading curve of classification area of total nitrogen content in lateritic red soil with altitude classification changes

表 1 全氮含量分级与海拔高度分级之间的相关分析¹⁾
Tab.1 The correlation between of altitude and soil total nitrogen content in classification

项目	海拔高度分级	全氮含量分级					
		1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级
海拔高度分级	1.00						
全氮含量 1 级	-0.83 **	1.00					
全氮含量 2 级	-0.82 **	1.00 **	1.00				
全氮含量 3 级	-0.78 **	0.99 **	0.99 **	1.00			
全氮含量 4 级	-0.78 **	0.98 **	0.99 **	1.00 **	1.00		
全氮含量 5 级	-0.76 **	0.96 **	0.98 **	1.00 **	1.00 **	1.00	
全氮含量 6 级	-0.75 **	0.97 **	0.98 **	1.00 **	1.00 **	1.00 **	1.00

1) ** 为显著水平在 0.01 时双侧相关性检验, * 为显著水平在 0.05 时双侧相关性检验,部分相关系数 1.00 为四舍五入造成的

对赤红壤全氮含量的 6 个级别作为变量进行主成分分析,在累计载荷达到 98.91% 的情况下,提取第 1 主成分作为全氮含量 1 ~ 6 级的总变量,与海拔高度分级进行主成分回归,结果如下:

$$TN_H1 = -0.94 + 3.82/h,$$

其中,TN_H1 为赤红壤全氮含量分级第 1 主成分, h 为海拔高度分级($h = 1, 2, \cdots, 13$). 回归方程 R^2 为 0.98, F 为 300.70,显著水平 0.01. 通过主成分回归,发现赤红壤全氮含量随海拔高度上升,含量逐渐降低,呈倒数 $y = b_0 + b_1/x$ 的曲线迅速递减.

3.2 土壤全氮分布与坡度的关系

由图 3 可见,赤红壤全氮含量 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.

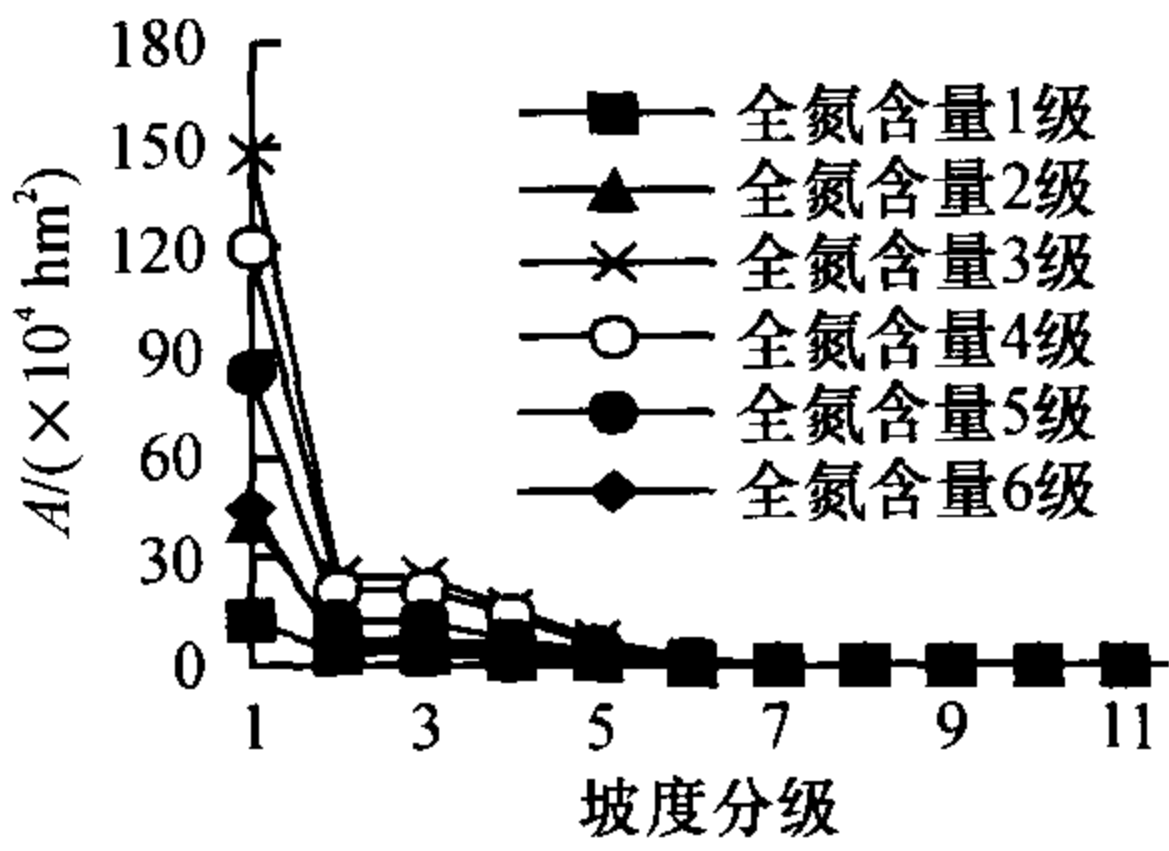


图 3 赤红壤全氮含量分级的面积随坡度级别变化曲线
Fig.3 The grading curve of classification area of total nitrogen content in lateritic red soil with slope classification changes

通过相关分析(表 2)可见,赤红壤全氮含量分级与坡度分级之间存在很强的负相关关系,而全氮含量的 6 个级别之间同样存在很强的正相关关系.

表 2 全氮含量分级与坡度分级之间的相关分析¹⁾
Tab.2 The correlation between classification slope and classification area of total nitrogen content in lateritic red soil

项目	坡度分级	全氮含量分级					
		1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级
坡度分级	1.00						
全氮含量 1 级	-0.70 *	1.00					
全氮含量 2 级	-0.68 *	1.00 **	1.00				
全氮含量 3 级	-0.66 *	1.00 **	1.00 **	1.00			
全氮含量 4 级	-0.67 *	1.00 **	1.00 **	1.00 **	1.00		
全氮含量 5 级	-0.64 *	1.00 **	1.00 **	1.00 **	1.00 **	1.00	
全氮含量 6 级	-0.61 *	0.99 **	1.00 **	1.00 **	1.00 **	1.00 **	1.00

1) ** 为显著水平在 0.01 时双侧相关性检验, * 为显著水平在 0.05 时双侧相关性检验,部分相关系数 1.00 为四舍五入造成的

同样进行主成分分析,在累计载荷达到 99.81% 情况下,提取第 1 主成分作为全氮含量 1 ~ 6 级的总变量,与坡度分级进行主成分回归,结果如下:

$$TN_S1 = -0.98 + 3.57/s,$$

其中,TN_S1 为赤红壤全氮含量分级第 1 主成分, s 为坡度分级($s = 1, 2, \cdots, 11$). 回归方程 R^2 为 0.93,

F 为 121.15, 显著水平 0.01. 通过主成分回归, 发现随坡度上升, 赤红壤全氮含量逐渐降低, 呈倒数 $y = b_0 + b_1/x$ 的曲线迅速递减.

3.3 土壤全氮分布与坡向的关系

赤红壤全氮含量分级面积随坡向变化曲线如图 4 所示. 从图中可以看出, 全氮含量各个级别在平缓坡面积分布最多, 分布顺序依次是 3 级、4 级、5 级、2 级、6 级和 1 级. 在北、东北、东、东南、南、西南、西、西北 8 个方向上全氮含量面积分布呈现波浪起伏状, 在东南方向上面积分布最多, 在西北和西南方向上面积分布次之, 最少是北坡和西坡.

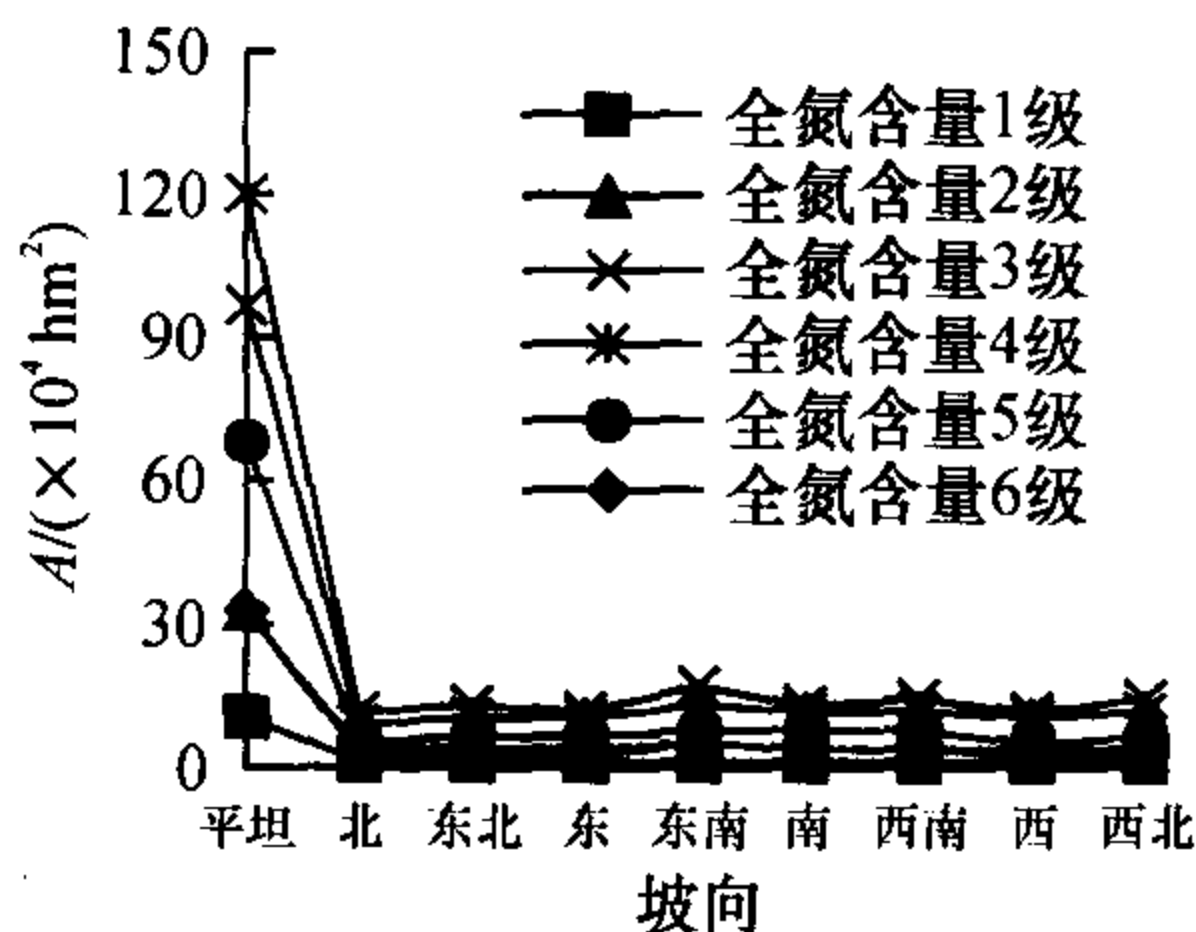


图 4 赤红壤全氮含量分级的面积随坡向变化曲线
Fig.4 The grading curve of classification area of total nitrogen content in lateritic red soil with aspect changes

全氮在平缓坡和东南坡分布较为广泛, 说明平缓、平坦区域对于全氮的积累具有促进作用. 而全氮在东南坡的突出分布, 与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、降水等气候的影响有关, 说明其大区域地理位置的重要性较为突出.

3.4 土壤全氮分布与地势起伏度的关系

通过分析发现, 赤红壤全氮含量 6 个级别所分布的面积都是随着地势起伏度的上升而不断减少(图 5).

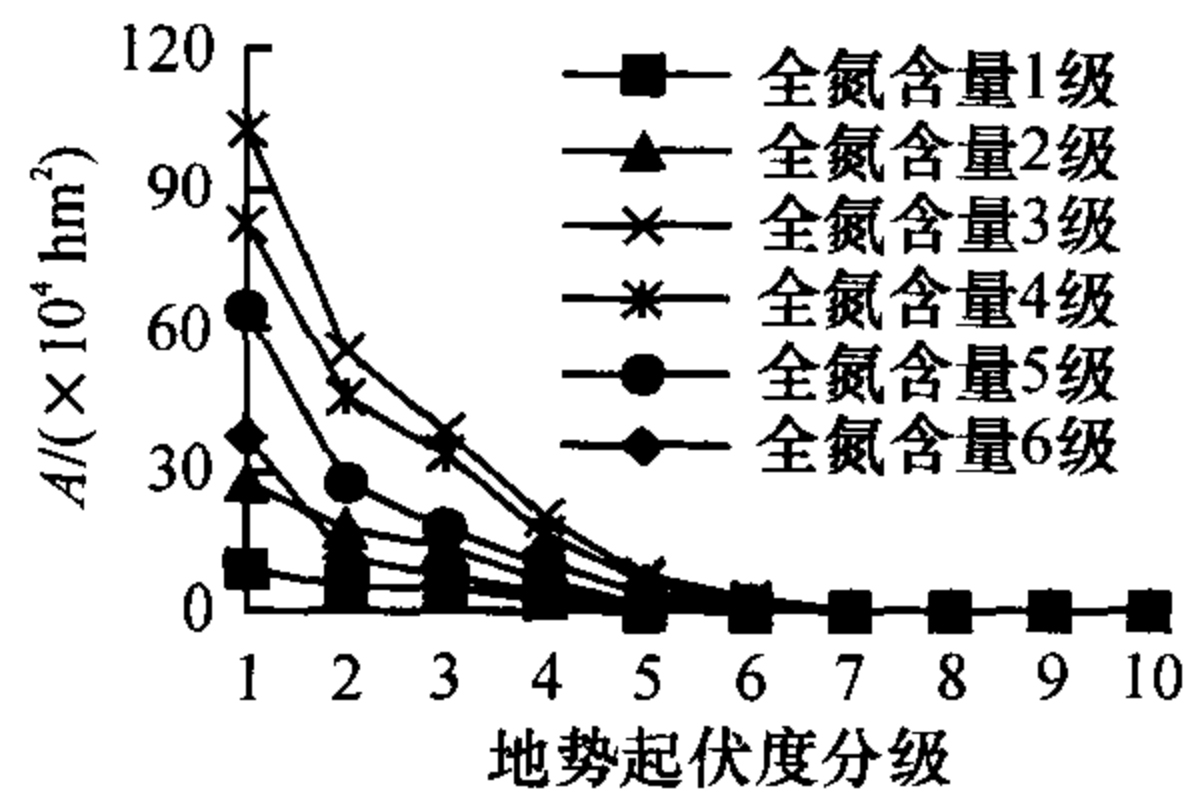


图 5 赤红壤全氮含量分级的面积随地势起伏度级别变化曲线
Fig.5 The grading curve of classification area of total nitrogen content in lateritic red soil with relief amplitude classification changes

通过相关分析(表 3)可以看出, 赤红壤全氮含量分级与地势起伏度分级之间存在很强的负相关关

系, 而全氮含量的 6 个级别之间同样存在很强的正相关关系.

表 3 全氮含量分级与地势起伏度分级之间的相关分析¹⁾
Tab.3 The correlation between relief amplitude and total nitrogen content of lateritic red soil in classification

项目	地势起伏度分级		全氮含量分级					
	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级		
地势起伏度分级	1.00							
全氮含量 1 级	-0.90 **	1.00						
全氮含量 2 级	-0.87 **	0.99 **	1.00					
全氮含量 3 级	-0.84 **	0.97 **	0.99 **	1.00				
全氮含量 4 级	-0.85 **	0.98 **	1.00 **	1.00 **	1.00			
全氮含量 5 级	-0.80 **	0.94 **	0.97 **	0.99 **	0.99 **	1.00		
全氮含量 6 级	-0.72 *	0.88 **	0.93 **	0.96 **	0.95 **	0.99 **	1.00	

1) ** 为显著水平在 0.01 时双侧相关性检验, * 为显著水平在 0.05 时双侧相关性检验, 部分相关系数 1.00 为四舍五入造成的

对赤红壤全氮含量的 6 个级别作为变量进行主成分分析, 在累计载荷达到 97.35% 情况下, 提取第 1 主成分作为全氮含量 1~6 级的总变量, 与地势起伏度分级进行主成分回归, 结果如下:

$TN_Q1 = -1.04 + 3.56/q,$

其中, TN_Q1 为赤红壤全氮含量分级第 1 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 为 299.10, 显著水平为 0.01. 通过主成分回归, 发现赤红壤全氮含量随地势起伏度上升而逐渐降低, 呈倒数 $y = b_0 + b_1/x$ 的曲线迅速递减.

4 讨论与结论

在分析广东省赤红壤全氮与地形特征关系之后, 得出以下几点结论:

(1) 通过对赤红壤全氮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, 发现全氮含量各个级别与海拔高度、坡度和地势起伏度等 3 个地形因子分级之间存在很强的负相关关系, 并随这些地形因子的上升, 分布面积不断减少, 变化曲线呈倒数形式. 这说明赤红壤全氮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, 适合赤红壤全氮积累与转化的气候及生物等条件越差.

(2) 以赤红壤全氮含量分级在不同坡向上分布面积为指标, 分析坡向对其积累的影响, 结果表明, 平坦区域利于土壤全氮积累. 此外, 赤红壤全氮在东

南坡分布面积较大,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。

地形是土壤成土过程的一个重要因素,它不但支配着水热资源的重新分配,而且通过对光、热、水资源的再分配影响土壤的空间分布以及土壤生态系统的物质循环过程和强度,对土壤性质有着深远影响^[6,16]。从本文分析结果看,广东省赤红壤土壤养分大多分布在海拔高度低、坡度小的平坦、平缓区域,也说明了这一点。赤红壤全氮与海拔高度存在很强的负相关这一结果与前人研究^[17-18]一致。地形海拔越高,大多数土壤类型的土壤养分受到侵蚀作用越大,土壤养分含量也越低^[19-20]。地形影响土壤养分分布,并通过土壤侵蚀、水土流失等方式造成土壤养分流失,将高处的养分带到低处,从而对土壤养分的移动与积累产生深刻影响。

参考文献:

- [1] 陈述彭,鲁学军,周成虎. 地理信息系统导论[M]. 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[J]. 山地学报,2004,22(3):272-277.
- [3] LIN Yu-shih, LIN Yi-wen, WANG Yu, et al. Relationships between topography and spatial variations in groundwater and soil morphology within the Taoyuan-Hukou Tableland, Northwestern Taiwan[J]. *Geomorphology*, 2007, 90(1/2): 36-54.
- [4] 程先富,史学正,于东升,等. 基于GIS的土壤全氮空间分布估算——以江西省兴国县为例[J]. 地理研究, 2007, 26(1): 110-116.
- [5] 陈楠,林宗坚,李成名,等. 基于GIS的土壤分布及理化性质与地形因子相互关系研究——以西安市为例[J]. 测绘科学, 2004, 29(6): 72-75.
- [6] 崔卫国,文倩,吴大放,等. 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[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(3): 78-82.
- [7] 广东省土壤普查办公室. 广东土壤[M]. 北京:科学出版社,1993:129.
- [8] 骆世明,李华兴,胡月明. 广东赤红壤区现代农业实验研究[M]. 北京:中国农业出版社,2002:4-7.
- [9] SHI Xue-zheng, YU Dong-sheng, WARNER E D, et al. Cross-reference system for translating between genetic soil classification of China and soil taxonomy[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 2006, 70(1): 78-83.
- [10] SHI Xue-zheng, YU Dong-sheng, YANG Guo-xiang, et al. Cross-reference benchmarks for correlating the genetic soil classification of China and Chinese soil taxonomy[J]. *Pedosphere*, 2006, 16(2): 147-153.
- [11] SHI Xue-zheng, YU Dong-sheng, SUN Wei-xia, et al. Reference benchmarks relating to great groups of genetic soil classification of China with soil taxonomy[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(14): 1507-1511.
- [12] SHI Xue-zheng, YU Dong-sheng, WARNER E D, et al. Soil database of 1:1 000 000 digital soil survey and reference system of the Chinese genetic soil classification system[J]. *Soil Survey Horizons*, 2004, 45(4): 129-136.
- [13] 杨勤科,贾大韦,李锐,等. 基于DEM的坡度研究:现状与展望[J]. 水土保持通报, 2007, 27(1): 146-150.
- [14] 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[M]. 北京:科学出版社, 2005: 188-189, 216.
- [15] 唐飞,陈曦,程维明,等. 基于DEM的准格尔盆地及其西北山区地势起伏度研究[J]. 干旱区地理, 2006, 29(3): 388-39.
- [16] SEIBERT J, STENDAHL J, SØRENSEN R. Topographical influences on soil properties in boreal forests[J]. *Geoderma*, 2007, 141: 139-148.
- [17] WU Wei, FAN Yan, WANG Zheng-yin, et al. Assessing effects of digital elevation model resolutions on soil-landscape correlations in a hilly area[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2008, 126: 209-216.
- [18] SUMFLETH K, DUTTMANN R. Prediction of soil property distribution in paddy soil landscapes using terrain data and satellite information as indicators[J]. *Ecological Indicators*, 2008(8): 485-501.
- [19] KORKALAINEN T, LAUREN A, KOIVUSALO H, et al. Impacts of peatland drainage on the properties of typical water flow paths determined from a digital elevation model[J]. *Hydrology Research*, 2008, 39(5/6): 359-368.
- [20] PAPIERNIK S K, SCHUMACHER T E, LOBB D A, et al. Soil properties and productivity as affected by topsoil movement within an eroded landform[J]. *Soil & Tillage Research*, 2009, 102: 67-77.

【责任编辑 李晓卉】