

五华县崩岗洪积扇土壤分形特征及空间变异性研究

马媛, 丁树文, 邓羽松, 王秋霞, 龙云, 郭世伟

(华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070)

摘要: 以广东省五华县典型崩岗洪积扇为研究对象, 通过 GPS RTK 获取从扇顶到扇缘 64 个采样点的坐标、高程信息, 并采集土壤样品进行理化性质的测定及分析, 通过分形理论、回归分析和地统计学相结合的方法研究洪积扇土壤分形特征和空间变异规律, 以及分形维数与土壤颗粒组成和养分含量的相关关系。结果表明: 土壤颗粒组成和养分含量具有明显的空间分异特征, 且与分形维数的空间分布呈现出一定的规律性。从扇顶到扇缘, 土壤粉粒、粘粒质量分数和养分含量逐渐增加, 与分形维数呈显著正相关线性关系, 砂粒质量分数则逐渐减少, 与分形维数呈显著负相关线性关系, 其中洪积扇土壤粘粒含量对土壤颗粒分形特征影响最大, 相关系数达到 0.969。研究结果表明, 土壤分形维数是能反映土壤质地差异以及土壤肥力状况的一项综合性定量指标。

关键词: 洪积扇; 分形维数; 土壤颗粒组成; 土壤养分; 空间变异性

中图分类号: S151.9

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2016)05-0279-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2016.05.046

Study of Soil Fractal Dimension Characteristic and Spatial Variability in Collapsing Alluvial Fan of Wuhua County

MA Yuan, DING Shuwen, DENG Yusong, WANG Qiuxia, LONG Yun, GUO Shiwei

(College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070)

Abstract: This paper focused on the typically collapsing alluvial fan in Wuhua county, Guangdong province, collected 64 soil samples and points location information by GPS RTK from the top to the edge of the alluvial fan to do the analysis of physical and chemical property. Through the combination of fractal theory, regression analysis and geo-statistics method, the paper aimed to expound the soil fractal characteristic and spatial variability, and the correlation with soil particle composition and nutrient content in collapsing alluvial fan. The result indicated that there were obvious differentiation characteristics in soil particle composition and nutrient content, and presented certain regularity with the spatial distribution characteristics of fractal dimension. From the top to the edge of the alluvial fan, the proportion content of soil silt and clay and nutrient content increased gradually, and fractal dimension was a positive correlation with them. But the proportion content of sand decreased gradually, and presented a negative correlation with fractal dimension. Among them, clay content was the most influential factor to fractal dimension, and the coefficient correlation was up to 0.969. The results proved that the fractal dimension could be used as an important index of soil texture and fertility.

Keywords: alluvial fan; fractal dimension; soil particles; soil nutrient; spatial variability

崩岗是以疏松、深厚的花岗岩风化壳为物质基础, 经降雨产生的地表径流冲刷和入渗使土体在重力作用下发生崩塌的现象^[1]。洪积扇是崩岗重要组成部分, 指在流水作用下, 崩岗产生的大量泥沙碎屑经冲刷、搬运而后可在山间梯地和农田处沉积形成的扇状堆积体, 其掩埋、毁坏水利设施且会导致农田丧失耕性。洪积扇的地形地貌和泥沙分布具有很强的规律性^[2-3]。

土壤是一种具有分形特征的分散多孔介质^[4], 近年来, 分形理论在研究土壤复杂性和不规则性方面得

到广泛应用^[5-6], 并为土壤形态与性质的定量化描述提供了可靠的方法^[7-8]。前人对于崩岗洪积扇土壤养分含量、颗粒组成及分形特征的研究较少, 尤其是利用土壤分形理论与地统计学相结合的崩岗洪积扇土壤分形维数的空间分异特征及建立与颗粒组成和土壤养分之间关系模型的研究未曾涉及。因此, 本文选取广东省五华县典型洪积扇为研究对象, 在野外实地调查采样的基础上, 通过对土壤样品进行理化性质分析, 采用质量分形模型计算出土壤粒径分布分形维

收稿日期: 2016-04-20

资助项目: 国家自然科学基金“花岗岩红壤优先流及其与崩岗侵蚀发育的关系”(41571258)

第一作者: 马媛(1991—), 女, 山东滨州人, 硕士研究生, 主要从事崩岗治理方面研究。E-mail: 15071325467@163.com

通信作者: 丁树文(1964—), 男, 湖北孝感人, 副教授, 主要从事水土保持与农业生态方面研究。E-mail: dingshuwen@mail.hzau.edu.cn

数,通过相关性分析以及线性回归建立分形维数与土壤理化性质之间的拟合模型,结合地统计学方法分析由扇顶到扇缘土壤理化性质分异特征及规律,揭示分形维数对土壤颗粒组成以及土壤肥力的影响,以期为洪积扇土壤质量恢复提供理论和实践依据^[9]。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

五华县地处北纬 23°23′—24°12′,东经 115°18′—116°02′,位于广东省东北部,梅州市西南部,韩江上游,属粤东丘陵山区的一部分,境内地形复杂,山地占 49.1%,丘陵占 41.3%。全县共有崩岗 19 719 处,占广东崩岗总数的 18.29%,是广东崩岗发育最严重的地区^[10]。该区属亚热带季风性湿润气候,气温较高,雨量充沛,降雨强度大且较集中,霜期极短。区内成土母质为燕山期花岗岩^[11],土壤为风化发育的红壤。山地植被主要为亚热带常绿阔叶林,地表植被受人为破坏严重,植被覆盖度仅在 10%~30%之间,主要植被类型有马尾松(*Pinus massoniana*)、桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)、铁芒萁(*Dicranopteris linearis*)等^[12]。强烈的雨水淋溶、冲刷,加上人为的破坏植被,使五华县水土流失严重,造成崩岗林立、沟谷纵横的烂山地貌,地质灾害发生频繁,对居民的生活、生产构成了极大的威胁。

1.2 土样采集与指标测定

采样点选在广东省五华县的典型洪积扇上,研究区布点情况如图 1 所示。利用 GPS RTK 沿整个洪积扇区域边界密集选点测量其位置及高程信息,从而获得洪积扇地理数据。在选定洪积扇区域内以扇顶 O 为起点,呈放射状布置 7 条直线延伸至扇缘,每条直线依次选取 9 个点测其坐标及高程,并根据该区进行农业生产的耕作层厚度取该层 10—20 cm 土样 1~2 kg,密封带回室内进行各指标测定。

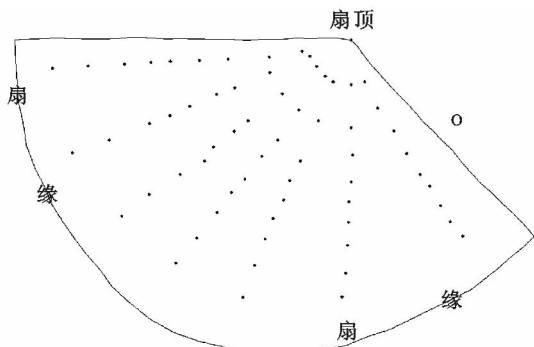


图 1 研究区采样点分布

土壤颗粒组成包括粘粒(<0.002 mm)、粉粒($0.002\sim0.05$ mm)、砂粒($0.05\sim2$ mm),其质量分数的测定采用吸管法;进一步对砂粒不同粒径采用机

械筛分法进行分级,包括极粗砂粒($1\sim2$ mm)、粗砂粒($0.5\sim1$ mm)、中砂粒($0.25\sim0.5$ mm)、细砂粒($0.1\sim0.25$ mm)以及极细砂粒($0.05\sim0.1$ mm)的质量分数;土壤有机质(SOM)测定采用重铬酸钾外加热法;土壤全氮(TN)测定采用半微量凯氏法;土壤全磷(TP)测定采用硫酸—高氯酸—钼锑抗比色法;土壤全钾(TK)测定用火焰光度法;土壤碱解氮(AN)测定采用碱解扩散法;土壤速效磷(AP)测定采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法;速效钾(AK)采用醋酸铵浸提—火焰光度法^[13-14]。

1.3 分析方法

法国数学家 Mandelbrot 在 1983 年首先建立了二维空间的颗粒大小分形特征模型,Tyler 和杨培岭^[9]等在此基础上对模型进行推广,提出用粒径的重量分布表征土壤分形模型^[15]:

$$(d_i/d_{\max})^{3-D} = W(\delta < d_i)/W_0 \quad (1)$$

式中: d_i 为两相邻粒级 d_i 与 d_{i+1} 间粒径平均值(mm); $d_{\max}$ 为最大粒级土粒平均直径(mm); $W(\delta < d_i)$ 为土壤粒径小于 d_i 的累积土粒质量(kg); W_0 为各粒径质量的总和(kg); D 为土壤颗粒分形维数。

具体应用时,先对上式两边取对数,并对 $\lg(d_i/d_{\max})$ 和 $\lg(W(\delta < d_i)/W_0)$ 进行线性拟合,分析求得斜率 K ,则土壤分形维数为 $D=3-K$ 。

地统计学方法以区域化变量理论为基础,以变异函数为主要工具,主要用于研究自然现象在空间分布上的随机性和结构性,成为理解和分析土壤特性的空间变异的有效方法^[5,16]。经验半方差函数的表达式如下:

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

式中: h 为样点空间间隔距离,即步长; $N(h)$ 为间距 h 时所有观测样点的成对数目; $Z(x_i+h)$ 和 $Z(x_i)$ 分别为区域化变量 $Z(x)$ 在空间位置 x_{i+h} 和 x_i 上的实测值; $\gamma(h)$ 为间距 h 的半方差值。

克立格法是在考虑样点形状、大小、空间相互位置关系和半方差函数结构特点的基础上,根据待估样点邻域若干已测定的样点数据对待估样点进行的线性无偏最优估计的一种空间有限区域内的插值方法^[17]。该方法在地质统计学中最为常用。

在 Microsoft Excel 2010 软件中整理实验数据并进行线性回归拟合以及绘制图形,采用 SPSS21.0 软件进行经典统计分析及相关性分析,利用 ArcGIS 中地统计模块中 Kriging 插值功能分析土壤颗粒组成、分形维数和土壤养分在空间上的分布等。

2 结果与分析

2.1 洪积扇土壤颗粒组成、分形维数和养分含量统计特征

洪积扇土壤实测数据基本统计特征值如表 1 所示。其中 64 个土壤样品的分形维数 D 值根据粒径重量分形维数计算公式计算得到,分布在 2.496~2.822 之间,平均值为 2.670。按美国农部制划分粒级,洪积扇土壤颗粒组成中以砂粒(2~0.05 mm)的平均含量最高,占到 52.15%,粉粒(0.05~0.002 mm)其次,粘粒(<0.002 mm)含量最少,分别占 35.87%和 11.97%。这一土壤颗粒的组成特点是因为崩岗发生时,降雨径流携带大量主要成分为石英、长石等矿物的固体颗粒从崩口流入洪积扇,逐渐沉积于农田耕作层表面,因此土壤沙化极其严重,表层细颗粒物质含量相对较少。变异系数反映区域化随机变量的离散

程度,洪积扇表层土壤颗粒在降雨径流的冲刷作用下侵蚀、搬运、堆积,导致土壤颗粒组成以及养分含量存在一定分异规律。经统计分析,除分形维数以及全磷含量外,其他变量变异系数都大于 35%,为高度变异,其中土壤颗粒组成中,粘粒变异系数最大为 45.24%,土壤养分含量中碱解氮和有机质含量的变异系数分别高达 77.02%和 70.18%;分形维数的变异系数最小为 2.92%,属于弱异性;土壤全磷含量的变异系数为 26.53%,为中度变异。

在 SPSS 中采用单样本柯尔莫哥洛夫-斯米洛夫(K-S)法对 64 个采样点土壤各粒径含量、分形维数和养分含量正态检验表明,有机质和速效磷经对数转换后符合正态分布,碱解氮经平方根转换后符合正态分布,其他土壤性状及养分含量显著性水平均大于 0.05,分布类型呈正态或近似正态。因此所有数据均满足平稳假设,可以进行地统计分析。

表 1 土壤颗粒组成、分形维数及养分统计特征

土壤性状及养分	极小值	极大值	均值	标准差	变异系数/%	偏度	峰度	分布类型	转换
粘粒/%	1.980	23.040	11.97	5.417	45.24	0.064	-0.785	正态	
粉粒/%	6.320	67.160	35.87	15.891	44.30	0.060	-0.965	正态	
砂粒/%	10.050	91.700	52.15	21.193	40.64	-0.058	-0.937	正态	
分形维数 D	2.496	2.822	2.67	0.078	2.92	0.076	-0.620	正态	
有机质/(g·kg ⁻¹)	1.203	21.720	8.50	5.968	70.18	0.432	-0.813	非正态	对数
全氮/(g·kg ⁻¹)	0.076	0.756	0.40	0.190	47.45	-0.151	-0.934	正态	
全磷/(g·kg ⁻¹)	0.030	0.117	0.07	0.017	26.53	0.580	0.419	正态	
全钾/(g·kg ⁻¹)	1.046	8.056	4.27	1.950	45.65	0.077	-1.046	正态	
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	0.350	67.900	28.50	21.952	77.02	0.352	-1.442	非正态	平方根
速效磷/(mg·kg ⁻¹)	0.126	2.202	0.95	0.613	64.46	0.462	-0.973	非正态	对数
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	0.925	74.109	28.57	19.831	69.42	0.692	-0.685	正态	

2.2 分形维数与土壤颗粒组成的关系

不同粒径土壤颗粒含量的变化造成了分形维数的不同,对分形维数分别与粘粒、粉粒、砂粒质量分数进行皮尔逊(Pearson)相关性分析以及线性回归拟合,得到分形维数与各粒径颗粒含量相关系数及拟合方程,如表 2 所示。

由线性回归方程可知,洪积扇土壤分形维数与粘粒、粉粒含量呈正相关关系,与砂粒含量呈显著负相关关系。当粘粒和粉粒含量增加 1%,分形维数值分别增加 0.013 9 和 0.004 3;当砂粒含量增加 1%时,分形维数值减小 0.003 4,即随着土壤粒径增大,分形维数减小,说明洪积扇土壤分形维数受土壤颗粒组成影响较大,能够反映土壤颗粒物质的搬运与沉积状况。由相关性分析可知,洪积扇土壤分形维数与粘粒、粉粒、砂粒含量均在 0.01 水平上显著相关,其中粘粒含量对土壤颗粒分形特征影响最大,Pearson 相关系数达到 0.969,且分形维数与粘粒回归方程拟合系数 R^2 达到 0.939 7,高于粉粒和砂粒,据此可知洪积扇土壤

粘粒含量决定着分形维数的大小,这与前人研究结果“粘粒含量越高,分形维数越大^[18]”是相一致的。

表 2 分形维数与各粒径颗粒含量相关系数及拟合方程

土壤颗粒组成	线性回归拟合	R^2	Pearson 相关性
粘粒/%	$y=0.0139x+2.5018$	0.9397	0.969**
粉粒/%	$y=0.0043x+2.5084$	0.8542	0.924**
砂粒/%	$y=-0.0034x+2.8412$	0.9017	-0.950**

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。下同。

2.3 养分含量与分形维数的关系

土壤有机质是土壤的重要组成部分,是土壤中各种营养元素的重要来源,土壤氮、磷、钾是作物生长发育所必需的三大基本元素,是表征土壤肥力的重要指标^[6]。表 3 为分形维数与洪积扇土壤养分含量相关系数及拟合方程。由表 3 可知,洪积扇土壤养分含量与分形维数均呈线性正相关关系,拟合系数 R^2 在 0.612 8~0.855 5 之间,拟合度较好。当分形维数增大时,土壤颗粒变细,由于土壤粘粒、粉粒越多,粘结性越强,对土壤养分元素的吸附固定能力也就越强,养分更易积累和保持,故土壤中有机质、全氮、碱解

氮、全磷、速效磷、全钾、速效钾含量增加。反之,当分形维数减小,土壤砂粒含量增多时,土壤养分随粉粒、粘粒含量减小而流失。由相关性分析可知,土壤养分含量在 0.01 水平上与分形维数均具有显著相关性,除速效磷以外,分形维数与其它养分含量的 Pearson 相关系数高于 0.850,其中与有机质、全钾的相关系数分别达到 0.901 和 0.910,因此分形维数可在一定程度上说明土壤养分状况。

表 3 分形维数与各养分含量相关系数及拟合方程

土壤养分	Pearson 相关性	线性回归拟合	R^2
有机质/(g·kg ⁻¹)	0.901**	y=67.771x-172.44	0.8149
全氮/(g·kg ⁻¹)	0.898**	y=2.1884x-5.4401	0.8063
全磷/(g·kg ⁻¹)	0.888**	y=0.1954x-0.4569	0.7881
全钾/(g·kg ⁻¹)	0.910**	y=22.445x-55.658	0.8274
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	0.850**	y=239.73x-611.24	0.7230
速效磷/(mg·kg ⁻¹)	0.789**	y=6.207x-15.613	0.6218
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	0.925**	y=235.58x-600.09	0.8555

2.4 土壤颗粒组成、分形维数及养分含量空间分异规律

洪积扇是随径流冲刷下来的崩岗土体、砾石等的沉积区,形成速度很快,植被稀少,受降雨影响大,使得洪积扇土壤长期受到降雨形成的径流的侵蚀、搬运和沉积的情况下其颗粒组成及养分含量存在较大的

空间异质性。

地统计学中的半方差函数通过块金值(C_0)、基台值(C_0+C)、变程(a)等参数描述土壤颗粒组成、分形维数及养分含量的空间结构性、随机性变化。空间距离为非常接近时半方差函数值为块金值,代表由采样误差、短距离变异、随机和固有变异引起的各种正基底效应。在一定范围内,半方差值 $\gamma(h)$ 随距离的加大而增加,这是因为距离相近的样点性质较为相似,当观测点间距大于最大相关距离时,则半方差值从初始的块金值达到一个最大的稳定值即为基台值。当变异函数达到基台值时的空间距离即最大相关距离称为变程,在变程之内,空间自相关存在,在变程之外,空间自相关消失,因此,变程的大小表示空间异质性的尺度。块金系数(C_0/C_0+C)表示空间变异的程度,即随机性因素引起的空间变异占变异的百分比,该值越高,说明由随机性因素引起的空间变异程度较大。常用的半方差模型有球状(Spherical)、高斯(Gaussian)、指数(Exponential)和线性(Linear)等模型^[19]。表 4 是在 ArcGIS 软件中根据决定系数越大越好、残差越小越好的原则,再考虑块金值、基台值和变程大小,所选取的土壤颗粒组成、分形维数和养分含量变异函数的最佳理论拟合模型及相关参数。

表 4 土壤分形维数、颗粒组成及养分含量变异函数理论模型及相关参数

项目	理论模型	块金值	基台值	块金系数	变程	决定系数	预测误差			
		C_0	C_0+C	$(C_0/C_0+C)/\%$	a/m	R^2	平均值	均方根	平均标准误差	标准均方根
粘粒/%	球状	0.70	62.40	1.122	35.4378	0.976	0.064	1.267	1.49	0.867
粉粒/%	球状	40.00	590.90	6.769	37.1352	0.951	0.257	6.119	6.288	1.008
砂粒/%	球状	36.00	982.90	3.663	35.2992	0.963	-0.283	6.442	6.632	1.004
分形维数	高斯	0.00	0.02	0.000	44.4444	0.978	0.0002	0.016	0.013	1.182
有机质/(g·kg ⁻¹)	高斯	0.074	1.876	3.945	44.3232	0.984	0.0826	1.908	1.9403	1.006
全氮/(g·kg ⁻¹)	高斯	0.005	0.084	5.952	39.9931	0.985	0.002	0.076	0.069	1.165
全磷/(g·kg ⁻¹)	高斯	0.00005	0.00074	6.640	42.5392	0.982	0.000018	0.0074	0.006	1.190
全钾/(g·kg ⁻¹)	高斯	0.042	0.567	7.407	32.9436	0.953	0.044	0.874	0.680	1.291
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	高斯	0.72	10.333	6.968	36.8061	0.953	0.293	9.258	8.5827	1.095
速效磷/(mg·kg ⁻¹)	高斯	0.091	1.236	7.362	34.6064	0.934	0.0034	0.258	0.217	1.202
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	高斯	3.00	716.90	0.418	33.2554	0.963	0.3495	4.017	4.341	0.950

由表 4 分析可知,洪积扇土壤颗粒组成选择球状模型拟合,土壤养分选择高斯模型拟合,采用交叉验证法得到的预测误差的平均值、均方根最接近于 0,平均标准误差最接近于均方根,标准均方根最接近 1,因此本研究所选取的模型为最优拟合模型。模型块金系数均小于 10%,空间自相关性极强,说明洪积扇土壤颗粒组成、分形维数和养分含量空间变异性主要是由成土母质、地形、气候等非人为的区域因素导致的,基本不受人为因素的影响,这是由于该洪积扇农田撂荒已久,植被稀少,没有人类耕作等活动。变程越小,表明变量空间分布的均一性减弱;反之,表明变量空间分布的均一性增大;分形维数的空间变异范

围为 44.444 m,较大于颗粒组成及养分含量变程,土壤各粒径颗粒受径流搬运的效果以及植被等其他自然因素的差异,都是导致空间自相关距离不同的主要原因,这一差异证明分形维数是对土壤颗粒组成及养分含量变化的表征,可以作为判定土壤质地及肥力的综合指标^[20]。

为了更直观地了解并分析分形维数、土壤颗粒组成及养分含量的空间分布和变异性,采用 ArcGIS 软件地统计模块中的普通克立格插值绘制土壤颗粒分形维数及不同粒径土壤颗粒含量及养分含量的空间变异图,从而更深刻和全面地了解洪积扇土壤性质的分布和变化规律。图 2 为克里格插值得到的分形维

数及各粒径土壤颗粒含量的空间变异规律图。

由图2可知,粉粒、粘粒的空间变化规律与分形维数大致相同,砂粒的空间变化规律与分形维数相反。扇顶附近分形维数在2.496~2.641之间,粘粒质量分数小于10%,粉粒质量分数小于30%,砂粒质量分数大于60%,而扇缘附近分形维数达到2.750~2.825,粘粒质量分数达到18%~23%,粉粒质量分数达到52%~67%,砂粒质量分数小于30%,可见分形维数、粉粒和粘粒含量均在扇顶附近最小,在扇缘附近最大,自扇顶至扇缘呈条带状递增;相反,扇顶附

近砂粒含量明显高于扇缘附近,随与扇顶距离的增加大体呈凸向扇缘弧形递减。洪积扇不同粒径颗粒含量与降雨径流密切相关,当携带大量泥沙碎屑的水流出崩岗口后,洪流失去了侧壁的约束,水流瞬间散开,搬运能力向边缘减弱,粗颗粒洪积物在扇顶附近堆积,较轻较细的土壤颗粒随径流向四周呈扇状运移并

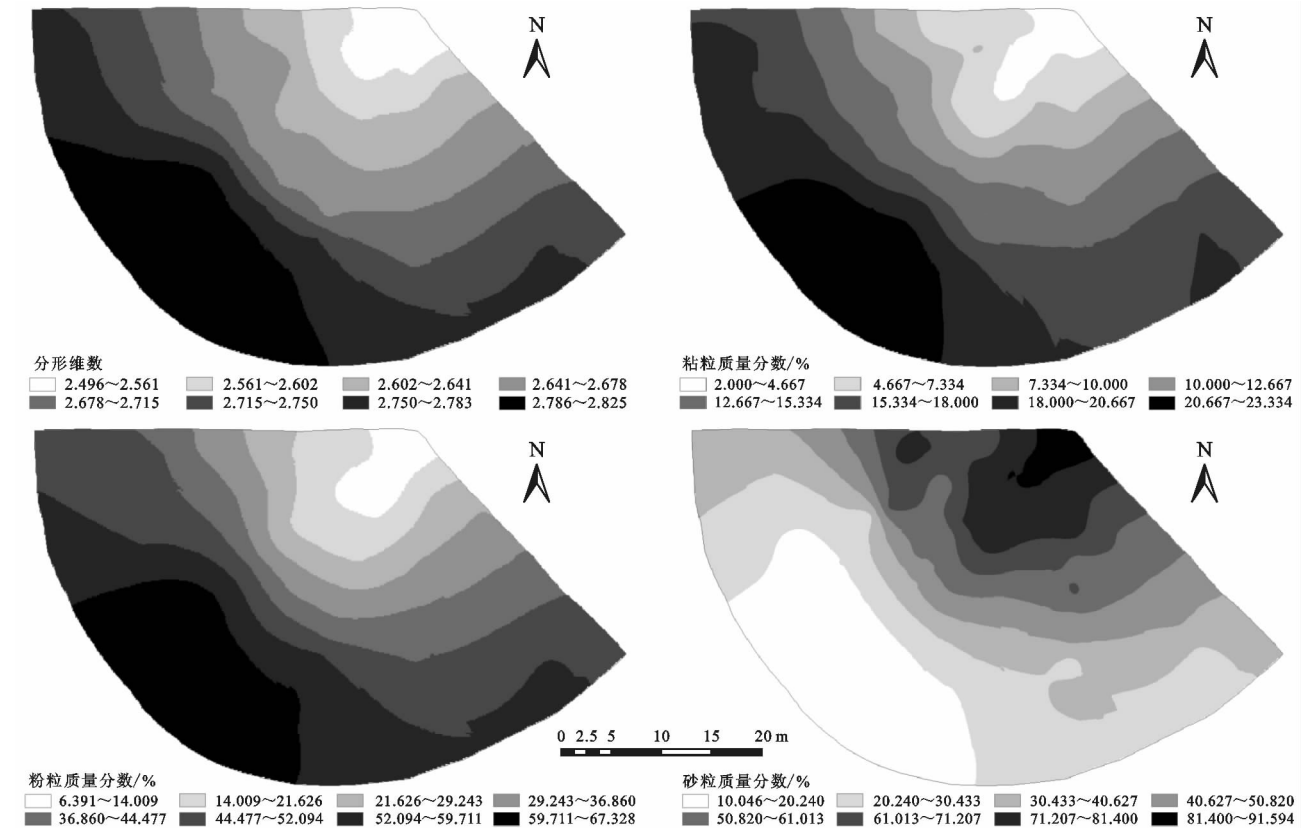


图2 分形维数及各粒径土壤颗粒含量空间分布

图3为克里格插值得到的洪积扇土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷和速效钾含量的空间分异规律图。由图3可知,该洪积扇土壤侵蚀严重,造成土壤有机质含量极低,因此土壤总体供氮、磷、钾能力也极低;洪积扇土壤养分含量在空间上分布规律比较明显,且具有相似变异趋势。总体来说,各养分含量在扇顶相对较低,扇缘相对较高,随与扇顶距离的增加,养分含量呈上升趋势。自扇顶至扇缘,有机质含量增加了21.605 g/kg,全钾含量增加了6.966 g/kg,全磷及速效磷扇缘附近含量高于扇顶但增加并不明显,这与磷元素难以迁移以及风化土体中磷元素本身含量极低有关。碱解氮含量在扇顶附近最低,仅有0.370 mg/kg,速效钾含量仅有0.973 mg/kg,至扇缘附近最大分别达到68.647 mg/kg和80.029 mg/kg,增长显著。这是由于扇顶受崩岗崩塌以及径流冲刷影响较

大,大量的砾石和砂粒在扇顶区域堆积掩埋农田和植被,细颗粒被冲走,因此有机质等养分含量最低;随着离扇顶的距离增大,水动力减小使得粘粒、粉粒等细颗粒在扇缘附近逐渐沉积,大颗粒洪积物减少,土壤质地向壤质化方向发展,因此洪积扇各养分含量则慢慢增加。其中,洪积扇土壤全磷、速效钾含量与有机质含量相关性明显,呈凸向扇缘条带状空间分布规律,而土壤全氮、全钾、碱解氮、速效磷含量在成土条件、地形、原始植被以及运移状况等因素的影响下,空间分布较不规则,在不规则条带状分布趋势下有斑块状零散分布其中,但养分含量最高值总在扇缘附近,说明该处是洪积扇养分条件最好的位置,也解释了扇顶附近基本没有植被覆盖,而越靠近扇缘植被越多的原因。

通过回归分析并结合洪积扇土壤性质空间变异图可以看出,土壤颗粒组成、土壤养分与分形维数的

空间分异规律具有基本一致性,鉴于分形维数能在一定程度上反映土壤颗粒分布以及土壤养分状况,因此

可以作为表征土壤质地和评价土壤肥力的重要定量指标之一。

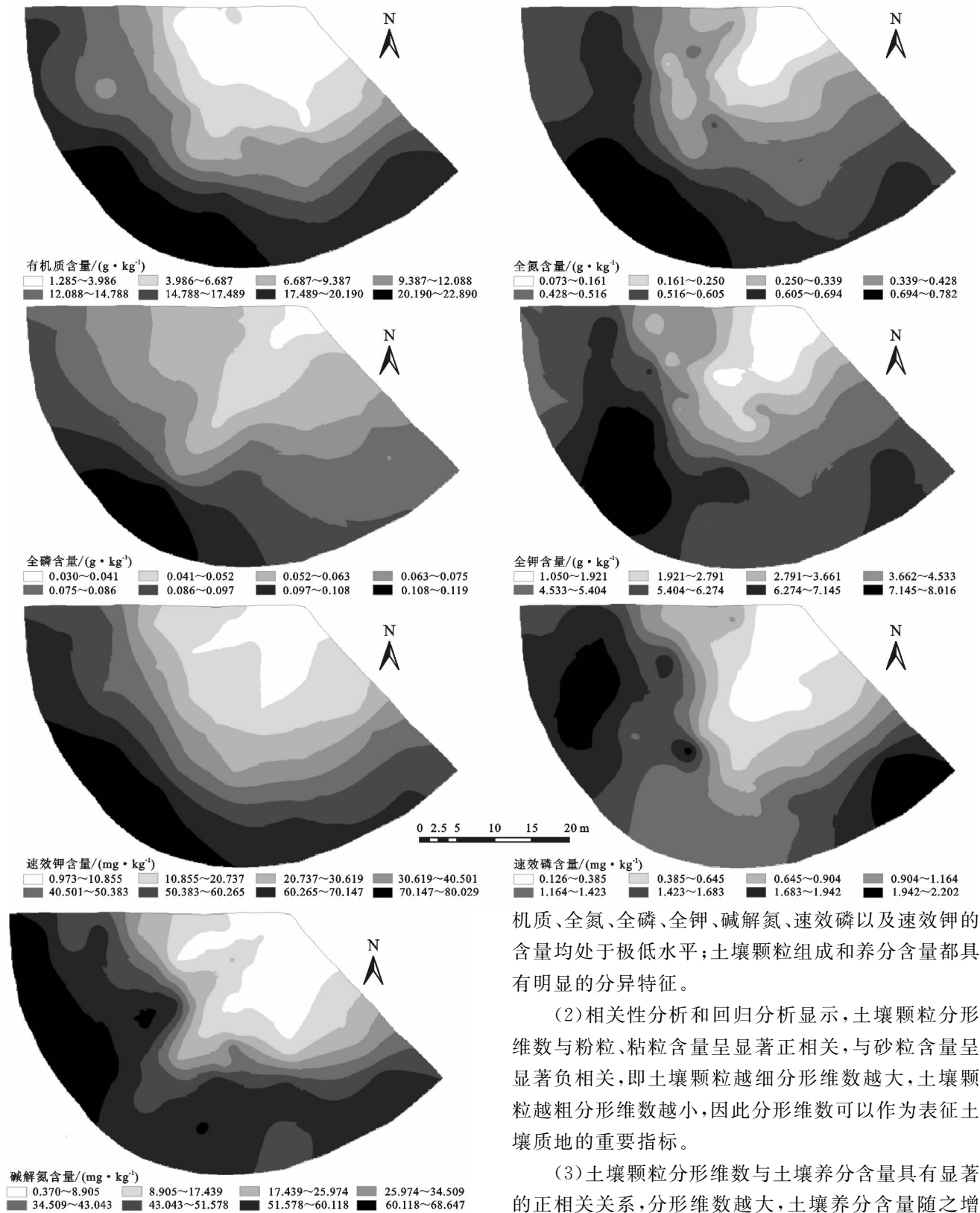


图 3 土壤养分含量空间分布

3 结论

(1)研究区洪积扇 64 个土壤样品的分形维数介于 2.496~2.822 之间,平均值为 2.670;洪积扇土壤砂粒平均含量最高,粉粒其次,粘粒含量最少;土壤有

机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷以及速效钾的含量均处于极低水平;土壤颗粒组成和养分含量都具有明显的分异特征。

(2)相关性分析和回归分析显示,土壤颗粒分形维数与粉粒、粘粒含量呈显著正相关,与砂粒含量呈显著负相关,即土壤颗粒越细分形维数越大,土壤颗粒越粗分形维数越小,因此分形维数可以作为表征土壤质地的重要指标。

(3)土壤颗粒分形维数与土壤养分含量具有显著的正相关关系,分形维数越大,土壤养分含量随之增加。因此,土壤颗粒分形维数作为土壤属性之一也能很好地反映出土壤肥力属性的变化特征。

(4)从空间变异性分析看,五华县崩岗洪积扇土壤颗粒组成及养分含量在空间上具有明显变异特征,且与分形维数的空间分布特征呈现出一定的规律性。

分形维数以及粉粒、粘粒含量自扇顶至扇缘呈条带状递增;反之,砂粒含量则呈递减趋势。土壤养分含量在扇顶相对较低,随着与自扇顶距离的增大,呈现出比较规则的条带状上升趋势。

参考文献:

[1] 林敬兰,黄炎和. 崩岗侵蚀的成因机理研究与问题[J]. 水土保持研究,2010,17(2):41-44.

[2] 杜贇. 杨垄小流域崩岗分布特征及洪积扇土壤性质空间变异研究[D]. 武汉:华中农业大学,2014.

[3] 张勇,丁树文,魏玉杰,等. 崩岗洪积扇养分输移规律研究[J]. 农业机械学报,2015,46(10):216-222.

[4] Xia D,Deng Y S,Wang S L,et al. Fractal features of soil particlesize distribution of different weathering profiles of the collapsinggullies in the hilly granitic region, south China[J]. Natural Hazards,2015,79(1):455 - 478.

[5] 林正雨,高雪松,邓良基,等. 微地形土壤颗粒分形维数的空间变异特征研究[J]. 土壤通报,2009,40(3):471-475.

[6] 曹樱子,王小丹. 藏北高寒草原土壤粒径分布分形维数特征[J]. 山地学报,2014,32(4):438-443.

[7] 方萍,吕成文,朱艾莉. 分形方法在土壤特性空间变异研究中的应用[J]. 土壤,2011,43(5):710-706.

[8] 樊立娟,胡广录,廖亚鑫,等. 河西走廊斑块植被区表层土壤粒径及其分形维数的空间变异特征[J]. 干旱区研究,2015,32(6):1068-1075.

[9] 邓羽松,李双喜,丁树文,等. 鄂东南崩岗不同层次土壤分形特征及抗蚀性研究[J]. 长江流域资源与环境,2016,25(1):63-70.

[10] 刘希林,张大林,贾瑶瑶. 崩岗地貌发育的土体物理性质及其土壤侵蚀意义:以广东五华县莲塘岗崩岗为例[J]. 地球科学进展,2013,28(7):802-811.

(上接第 278 页)

[11] Tyler S W,Wheatcraft S W. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation [J]. Soil Science Society of America Journal,1989,53(4):987-996.

[12] 王国梁,周生路,赵其国. 土壤颗粒的体积分形维数及其在土地利用中的应用[J]. 土壤学报,2005,42(4):545-550.

[13] Folk R L,Ward W C. Brazos River bar [Texas]: a study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Research,1957,27(1):3-26.

[14] 郭冬梅,白英,郭炜. 表层风蚀土壤粒径分布的分形特征研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2005,26(1):82-86.

[15] 董治宝,李振山. 风成沙粒度特征对其风蚀可蚀性的影响[J]. 水土保持学报,1998,12(4):1-5,12.

[16] 张继义,赵哈林. 退化沙质草地恢复过程土壤颗粒组成

[11] 谢小康,范国雄. 广东五华乌陂河流域崩岗发育规律及其治理:以迎龙山为例[J]. 山地学报,2010,28(3):294-300.

[12] 罗迎新. 广东省五华县地质灾害形成特征及防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报,2008,19(3):96-101.

[13] 邓羽松,丁树文,邱欣珍,等. 赣县崩岗洪积扇土壤肥力的空间分异规律[J]. 中国水土保持科学,2015,13(1):47-53.

[14] 邓羽松,丁树文,施悦忠,等. 安溪崩岗洪积扇不同土地利用方式土壤性质差异及肥力评价研究[J]. 中国农学通报,2014,30(34):165-170.

[15] 夏江宝,顾祝军,周峰,等. 红壤丘陵区不同植被类型土壤颗粒分形与水分物理特征[J]. 中国水土保持科学,2012,10(5):9-15.

[16] 苏里坦,宋郁东,张展羽. 天山北麓地下水与自然植被的空间变异及其分形特征[J]. 山地学报,2005,23(1):14-20.

[17] Rivera-Monroy V H,Twilley R R,MedinaE,et al. Spatial variability of soil nutrients in disturbed riverine mangrove forests at different stages of regeneration in the San Juan River estuary,Venezuela[J]. Estuaries & Coasts,2004,27(1):44-57.

[18] Ahmadi A,Neyshabouri M R,RouhipourH,et al. Fractal dimension of soil aggregates as an index of soil erodibility[J]. Journal of Hydrology,2011,400(3):305-311.

[19] 贾晓红,李新荣,张景光,等. 沙冬青灌丛地的土壤颗粒大小分形维数空间变异性分析[J]. 生态学报,2006,26(9):2827-2833.

[20] 伏耀龙,张兴昌,王金贵. 岷江上游干旱河谷土壤粒径分布分形维数特征[J]. 农业工程学报,2012,28(5):120-125.

变化对土壤—植被系统稳定性的影响[J]. 生态环境,2009,18(4):1395-1401.

[17] 胡海华,吉祖稳,曹文洪,等. 风蚀水蚀交错区小流域的风沙输移特性及其影响因素[J]. 水土保持学报,2006,20(5):20-23,47.

[18] Ta W Q,Wang H B,Jia X P. Aeolian process-induced hyper-concentrated flow in a desert watershed [J]. Journal of Hydrology,2014,511(7):220-228.

[19] 李秋艳,蔡强国,方海燕. 黄土高原风水蚀交错带风力作用对流域产沙贡献的空间特征研究[J]. 水资源与水工程学报,2011,22(4):39-45,49.

[20] Zhang X,Li Z B,Li P,et al. A model to study the grain size components of the sediment deposited in aeolian-fluvial interplay erosion watershed [J]. Sedimentary Geology,2015,330:132-140.