东莞林地土壤肥力空间异质性分析*

沈德才 陈跃洲 周永东 龙田养 朱剑云 叶永昌
(广东省东莞市林业科学研究所,广东 东莞 523106)

摘要 应用地统计学结合地理信息系统研究了广东省东莞市森林表层土壤(0~25 cm)有机质、全氮、全钾、全磷和pH值等5种土壤肥力指标的空间变异规律。研究表明:全磷、全钾、有机质、全氮为中等变异;pH值属于弱变异;全钾、pH值的变异函数曲线的理论模型符合球状模型,有机质、全氮、全磷适用模型为指数模型;全磷、全钾、有机质、pH值具有中等空间相关性,全氮的空间相关性较弱;5种肥力指标的空间自相关范围存在明显差异,变化范围为2 218~19 297 m。用普通克立格法进行最优内插,得各肥力指标含量分布图,并分析了各土壤肥力指标的分布状态。

关键词 地统计学;地理信息系统;土壤肥力;空间变异
中图分类号:S714.8 **文献标识码**:A **文章编号**:1006-4427(2014)05-0001-06

Spatial Variability of Forest Soil Fertility in Dongguan

SHEN Decai CHEN Yuezhou ZHOU Yongdong LONG Tianyang
ZHU Jianyun YE Yongchang
(Dongguan Research Institute of Forestry, Dongguan, Guangdong 523106, China)

Abstract Geostatistics combined with geographic information systems (GIS) was applied to analyze spatial variability of forest soil fertility in top layer (0—25 cm) soil in Dongguan, Guangdong. Soil fertility index in this study included soil organic matter (SOM), total N, total K, total P and pH value. The results showed that: the total P, total K, SOM, total N is in medium variation and pH is in weak variation; the semivariograms of SOM, total N, total P were best described by exponential model, while total K and pH value were best described spherical model. Soil fertility had moderate spatial correlation except total N, which had weak spatial correlation; their spatial heterogeneity degree was obvious different in the range of 2 218 to 19 297 m. The distributing map of soil fertility were drawn by using ordinary Kriging, and the distributing results of soil fertility were analyzed. The results can be applied in forest ecological construction of Dongguan.

Key words geostatistics; geographic information systems; soil fertility; spatial variability

森林土壤肥力指为林木生长发育供应水分、养分、空气和热量的综合能力,是维持林木健康生长的基础,其特征影响并控制着林木的健康状态。因此,森林土壤肥力也制约着林木生长量的大小、林地生产力以及森林生态效益的高低[1]。了解森林土壤肥力的性质及空间分布,不但对评价森林土壤肥力具有重要的意义,而且对了解植物与土壤的关系也具有重要的参考价值[2],对林业生态工程建设做到适地适树具有重要的指导意义。本研究以广东省东莞市森林土壤为研究对象,选取有机质、全氮、全钾、全磷和pH值这5种土壤肥力指标,结合GIS和地统计学,研究东莞市林地土壤肥力的空间异质性,揭示东莞市土壤肥力的空间格局,为东莞市林业生态工程建设提供依据。

* **基金项目**:广东省东莞市科学技术局项目"东莞森林生态系统碳储量及其碳汇技术研究"(2007108101112)。
第一作者:沈德才(1982-),男,硕士,工程师,主要从事3S技术在林业上应用的研究,E-mail:58167438@qq.com。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

东莞市位于广东省中南部，濒临南海，地处北回归线以南，东经 113°31′～114°15′，北纬 22°39′～23°09′。地势东南高、西北低。地貌以丘陵台地、冲积平原为主，丘陵台地占 44.5%，冲积平原占 43.3%，山地占 6.2%。东莞市属亚热带海洋性气候，土地肥沃，土壤类型包括赤红壤、山地红壤、山地黄壤，有丰富的土地、森林资源[3]。

1.2 土壤样品采集与分析

本研究区域为东莞市域全部，面积为 2 465 km^2。2007 年 8 月—2008 年 2 月，根据东莞森林分布情况，在研究区域内覆盖 2 km×2 km 的网格，选取森林覆盖率大于 30% 的网格为研究区。每个网格的中心点为土壤的采样点，共 190 个采样点。采样深度为 25 cm，将采集的土样混合均匀，用“四分法”弃去多余土壤，保留 1 kg 的混合土样，带回实验室分析。选取土壤有机质、全氮、全磷、全钾、pH 值作为土壤肥力空间异质性分析指标。土壤有机质、全氮、全磷和全钾分别采用重铬酸钾容量法、半微量凯氏法测定、氢氧化钠熔融—钼锑抗比色法和氢氧化钠熔融—火焰光度计法测定；pH 值以水与土按质量比 2.5∶1混合后用 pH 计测定[4]。用 ArcGIS 9.2 建立各采样点属性数据库，以便进行地统计分析，采样点分布见图 1。

1.3 地统计学基本理论

1.3.1 *变异函数* 地统计学是以区域化变量理论为基础，以半方差函数为基本工具的一种数学方法，反映了不同距离观测值的空间自相关程度，揭示了在整个尺度上的空间变异格局[5]。半方差计算公式为：

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

式中，$R(h)$ 为半方差函数；h 为样点的空间间隔距离，称为步长(lag)；$N(h)$ 为间隔距离为 h 的样点数；$Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 为区域化变量 $Z(x)$ 在空间位置 x_i 和 x_i+h 处的实测值[6]。

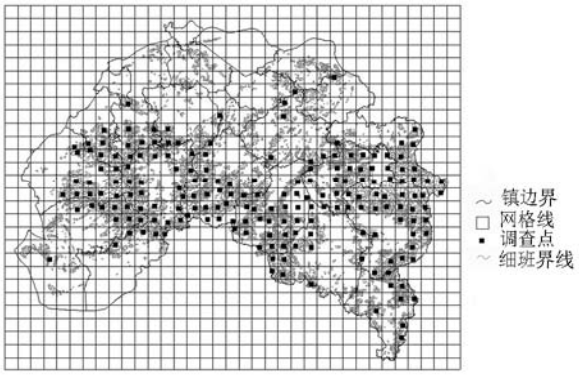


图 1 东莞市森林土壤采样点分布图

利用上式中间距 h 计算出一系列 $R(h)$ 可编制经验半变异函数曲线，亦称半变差图。块金值、基台值和变程是变异函数 3 个重要参数。块金值表示原点处变异函数的不连续性，代表了观测误差、矿化微观变化等导致的随机变化；基台值反映区域化变量变异性大小；变程表示空间自相关范围；块金值与基台值的比值表示系统变量的空间相关性程度，如果比值小于 25%，说明系统具有强烈的空间相关性；比值在 25% ～75% 之间，说明系统具有中等的空间相关性；比值大于 75%，说明系统空间相关性很弱[7]。

1.3.2 *克里格法* 克里格法(Kriging)最大限度地利用空间取样点的数据，在估测周围未知点数值时，不仅考虑该样点的数据，还考虑邻近点的数据、形状、大小和空间相互位置关系，对未知点进行线性无偏、最优估计[8]。可表示为：

$$Zx=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i Z(x_i) \qquad i=1,2\cdots,n$$

式中，λ_i 为赋予观测值 $Z(x_i)$ 的权重，表示各个观测值 $Z(x_i)$ 对 Zx 的贡献[8]。

1.4 数据处理

为保证半方差分析顺利拟合和克里格插值顺利完成，本研究采用域法识别特异值处理偏差较大的实验数据[9]，后续数据统计、地统计分析、半方差函数的拟合在地统计软件 GS + 中完成，数据的正态分布检验采用 SPSS，克里格(Kriging)插值在地理信息系统软件 ArcGIS 9.2 中完成。计算 5 种指标的变异系数(CV)，按照变异系数大小划分等级，$CV \leqslant 10\%$ 时为弱变异，$10\% < CV < 100\%$ 时为中等变异，$CV \geqslant 100\%$ 时为强变异[10]。

2 结果与分析

2.1 土壤肥力各指标的描述性分析

对研究区域190个样本的土壤有机质、全氮、全钾、全磷、pH值数据进行一般描述性统计,结果见表1。从表1可知,全磷、全钾、有机质和全氮的变异系数较高,分别为69.44%、65.70%、61.05%和42.67%,属于中等变异;pH值变异系数较低,仅为7.01%,属于弱变异。这是由于森林土壤肥力除了与不同基岩、地形地貌、坡度及人为活动情况有关外,与树种组成和森林凋落物也有密切的关系,不同森林类型(林种、林龄等)造成肥力的空间变异不同。数据符合正态分布是地统计学前提和基础,若不符合正态分布的假设,应经过适当的转换,土壤有机质、全氮、全钾、全磷、pH值的K-S P均大于0.05,符合正态分布或近似正态分布。

表1 东莞森林土壤肥力指标的描述性统计

肥力指标	样本数	最小值/($g\cdot kg^{-1}$)	最大值/($g\cdot kg^{-1}$)	平均值/($g\cdot kg^{-1}$)	标准差/($g\cdot kg^{-1}$)	中值/($g\cdot kg^{-1}$)	变异系数/%	偏态	峰度	K-S P(对数转换后)
有机质	190	3.20	106.70	24.03	14.67	21.50	61.05	2.05	10.22	0.091
全氮	190	0.18	3.88	1.50	0.64	1.01	42.67	1.27	5.19	0.768
全钾	190	1.01	56.39	16.21	10.65	14.11	65.70	1.14	4.13	0.409
全磷	190	0.02	2.76	0.36	0.25	0.33	69.44	5.01	45.06	0.164
pH值	190	3.46	5.56	4.42	0.31	4.40	7.01	0.16	3.98	0.937

2.2 空间变异半方差分析

用地统计学软件对森林土壤肥力指标不断拟合和交叉验证,得半方差图及其特征参数,见图2和表2。全钾和pH值变异函数曲线的理论模型符合球状模型,决定系数分别为0.940和0.743;而有机质、全氮和全磷符合指数模型,决定系数分别为0.433,0.700和0.674。从图2可知,各变异函数曲线变化较平稳,表明在整个尺度上各种生态过程同等重要。

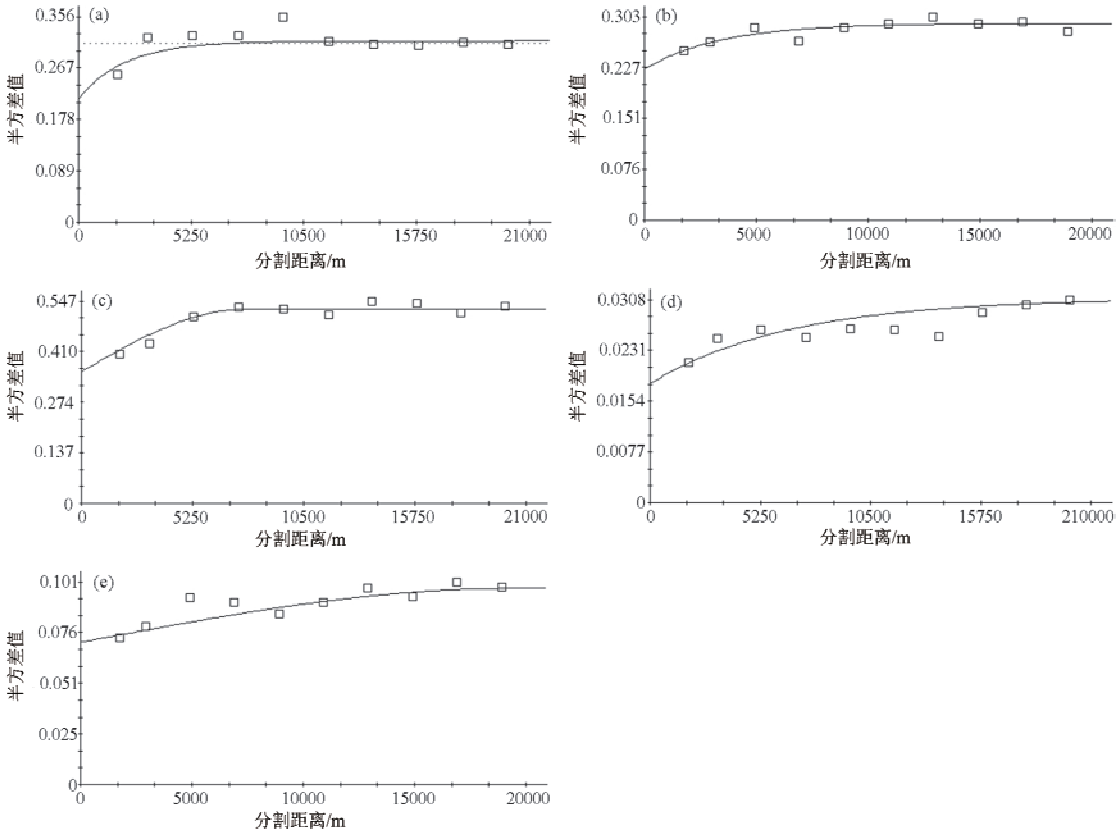
表2 东莞森林土壤肥力指标变异函数理论模型及相关参数

土壤肥力指标	理论模型	块金值	基台值	块金值:基台值/%	变程/m	决定系数 R^2	残差
有机质	指数模型	0.214	0.314	68.15	2218	0.433	3.58×10^{-3}
全氮	指数模型	0.224	0.293	76.45	3420	0.700	6.80×10^{-4}
全钾	球状模型	0.356	0.525	67.81	7720	0.940	1.83×10^{-3}
全磷	指数模型	0.018	0.031	58.06	6610	0.674	3.58×10^{-5}
pH值	球状模型	0.071	0.098	72.45	19297	0.743	2.41×10^{-4}

从表2可知,全氮的块金值与基台值的比值为76.45%,其空间相关性较弱;有机质、全钾、全磷和pH值的块金值与基台值的比值分别为68.15%、67.81%、58.06%和72.45%,具有中等空间相关性。这说明东莞森林土壤肥力随机因素所引起的变异大于结构性因素引起的变异,这是由于上世纪80年代以来,东莞林业实施荒山绿化、经济林建设、林分改造和生态公益林建设等各种林业工程,人为因素干扰程度严重。此外,有机质、全钾、全磷、pH值空间相关性相差不大,这主要是因为森林枯落物、残体等含有大量的有机质、氮和矿物质,可显著提高土壤肥力含量,致使5种肥力指标基台值较大,空间相关性减弱。

由表2可知,5种肥力指标的空间自相关范围明显存在差异,变化范围为2 218~19 297 m,说明影响5种土壤肥力指标的生态过程在不同的尺度上起作用。有机质和全氮的变程较小,分别为2 218和3 420 m,

空间自相关性距离较小;全磷和全钾次之,变程分别为 6 610 和 7 720 m;pH 值最大,变程为 19 297 m,空间自相关性范围较大。造成这种差异的原因主要与东莞森林分布的区域差异性有关。



a:土壤有机质;b:全氮;c:全钾;d:全磷;e:pH 值。

图 2 东莞林地土壤肥力各指标半方差图

2.3 空间分布格局

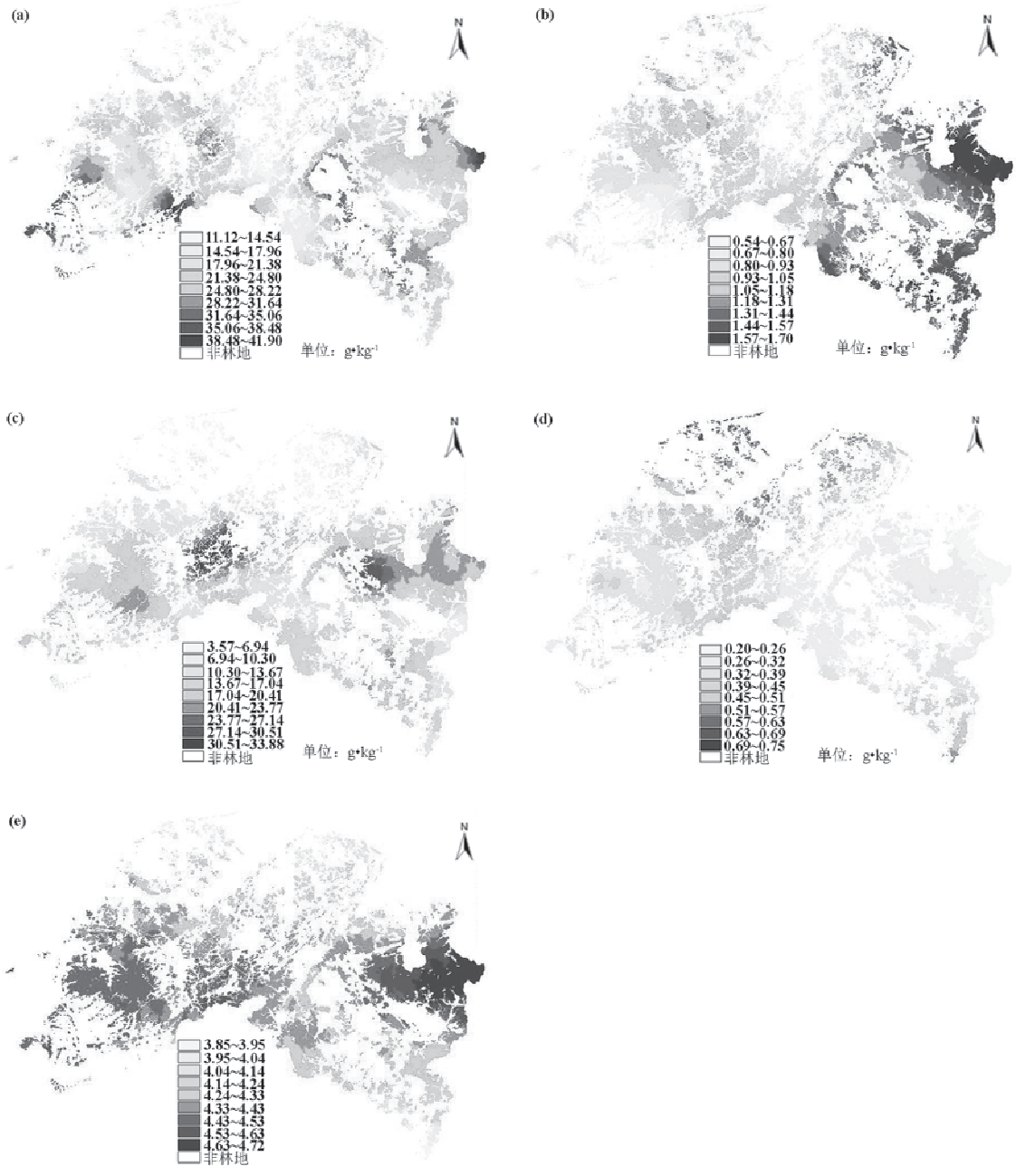
根据表 2 中变异函数的理论模型,通过克里格法(Kringing)得出研究区的土壤表层有机质、全氮、全钾、全磷和 pH 值的空间分布格局图,并与东莞森林分布图进行叠加,得到东莞森林土壤各肥力指标空间分布图(图 3)。由图 3a、b、c 可知,东莞森林土壤有机质、全氮、全钾具有相似的空间分布特征,总体上呈东西高、中部和北部低的分布趋势;由图 3d 可知,全磷的变化趋势是中北部高,东南部、西南部整体偏低,局部也有偏高的地方;而土壤 pH 值分布整体上均匀(图 3e)。结合东莞市森林分布来看,森林分布越多的地区,有机质、全氮、全钾、pH 值含量越高;全磷受森林分布影响较小。

3 结论

东莞森林土壤肥力指标存在 2 种变异强度,其中全磷、全钾、有机质、全氮的变异系数较高,分别为 69.44%、65.70%、61.05%、42.67%,为中等变异强度;pH 值变异系数较低,为 7.01%,属于弱变异。

东莞森林土壤的全钾和 pH 值变异函数曲线的理论模型符合球状模型,有机质、全氮和全磷符合指数模型;有机质、全钾、全磷、pH 值具有中等的空间相关性,全氮的空间相关性较弱,这可能与东莞开展的各种林业工程所引起的人为干扰有关。5 种肥力指标的空间自相关范围明显存在差异,变化范围为 2 218 ~ 19 297 m。

东莞森林土壤有机质、全氮、全钾具有相似的空间分布特征,总体上呈东西高、中部和北部低的分布趋势。全磷的变化趋势是中北部高;东南部、西南部整体偏低;土壤 pH 值分布整体上均匀。



a:土壤有机质;b:全氮;c:全钾;d:全磷;e:pH值。

图3 东莞森林土壤肥力指标分布图

参考文献

[1] 徐柏林,孟好军,张永称,等. 祁连山森林土壤肥力的研究[J]. 甘肃科技,2011,27(16):167-171.

[2] 冯益明,唐守正,李增元. 空间统计分析在林业中的应用[J]. 林业科学,2004,40(3):149-155.

[3] 沈德才,周永东,龙田养,等. 东莞市森林土壤有机质空间变异性研究[J]. 广东林业科技,2013,29(3):1-6.

[4] 中华人民共和国国家标准局. GB7830—7892—87 森林土壤分析方法[S]. 北京:中国标准出版社,1987.

[5] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京:科学出版社,1999:35-149.

[6] 赵军,张久明,孟凯,等. 地统计学及GIS在黑土区域土壤肥力空间异质性分析中的应用——以海伦市为例[J]. 水土保

持通报,2004,24(6):53-56.

[7] 郭旭东,傅伯杰,马克明,等. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究——以河北省遵化市为例[J]. 应用生态学报,2000,11(4):557-563.

[8] 赵建华,盖艾鸿,陈芳,等. 基于 GIS 和地统计学的区域土壤有机质空间变异性研究[J]. 甘肃农业大学学报,2008,3(4):103-106.

[9] 刘付程,史学正,于东升,等. 基于地统计和 GIS 的太湖典型地区土壤属性制图研究——以土壤全氮制图为例[J]. 土壤学报,2004,41(1):20-27.

[10] 胡克林,李保国,林启美,等. 农田土壤养分的空间变异性特征[J]. 农业工程学报,1999,15(3):33-36.