

文章编号: 1008-2786-(2007)2-229-07

马占相思人工林土壤有机碳的异质性

李跃林¹, 郎黎明², 张云^{1,3}, 林永标¹, 韦强¹

(1. 中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650; 2. 广东省广州市梳脑林场, 广东 增城 511390;

3. 湖北大学资源与环境学院, 湖北 武汉 430062)

摘 要: 以鹤山站马占相思林土壤为研究对象, 对相关土壤、生物指标进行了分析。对马占相思人工林土壤的地统计学研究结果表明: 马占相思人工林土壤有机碳和全氮在空间分布上存在着较为显著的空间自相关性, 即自相关部分的空间异质性占主导地位, 分别占总空间异质性程度的 81.3% 和 84.2%。土壤有机碳分布的空间特征与土壤全氮分布空间特征具有较一致的空间异质性; 林木根生物量的分布特征未表现出与土壤有机碳分布的一致空间异质性, 这说明根生物量的分布特征在表层土 0 ~ 15 cm 有机碳的空间分布差异上不是主导因子。林地碳、氮不但存在传统统计学上的线性相关, 它们也具有景观层次上的空间自相关, 指数模型的拟合表明, 在 7.62 m 小尺度范围内, 土壤有机碳的空间自相关性存在, 在 6.60 m 尺度范围内, 全氮的空间自相关性存在。

关键词: 马占相思; 土壤有机碳; 全氮; 空间异质性

中图分类号: S714

文献标识码: A

土壤有其自然异质性, 它们的性质在空间上是连续变化的, 其中许多性质也是随时间变化的^[1]。这种变异性源于其自然的形成过程, 包括环境的物理和化学特征、生物系统的相互作用, 以及土壤的经营措施。20 世纪 70 年代, 科学家们开始了土壤空间变异性的研究, 长期以来特别在农业和环境科学中受到重视^[2,3]。土壤性质的变异性可以部分地被其时间或空间的决定性过程来解释, 但是其中也有其随机的组分^[4]。然而这种随时机组分, 由于土壤性质的连续属性, 很可能在样品间的时空距离上表现出一定的独立性。地统计学提供了一个很好的工具, 它可以很好地来描述这种土壤性质的随机性, 并进一步深化了传统统计方法对土壤自然过程的描述。现代生态学研究表明, 生态系统中生物或非生物因子在空间分布上普遍存在一定尺度上的空间异质性^[5-7]。土壤性质结构空间异质性的知识, 可以用来帮助定义模型模拟的可靠性程度或范围, 同时它也是实验设计的宝贵工具、显著降低野外研究的

费用, 通过恰当取样策略的定义, 不用冒可靠性的风险^[8-10]。土壤有机碳和氮素作为土壤组成的重要成分, 是生态系统中极为重要的生态因子, 土壤碳库作为全球碳平衡研究中“丢失汇”(missing carbon)的候选者, 在陆地生态系统土壤碳的研究中备受重视^[11]。

马占相思(*Acacia mangium*) 是豆科(*Leguminosae*) 相思属(*Acacia*) 的木本植物, 原产于澳大利亚昆士兰沿海、巴布亚新几内亚的西南部和印度尼西亚东部。自 20 世纪 70 年代引入我国, 已在华南地区广泛种植。具有较高的固氮能力; 在土壤贫瘠的山丘上能迅速生长, 是良好的先锋造林树种。中国科学院鹤山丘陵综合试验站(以下简称鹤山站)于 1984 年引种了马占相思, 随之开展了生物量与能量分配、群落发育过程的生理生态、水文、系统养分平衡等多方面的系统研究^[12-14]。但是马占相思林地土壤, 特别是土壤与植被的相互作用下的土壤空间分布特征研究甚少^[15,16]。但是对于华南地区林分

收稿日期(Received date): 2006-10-13; 改回日期(Accepted): 2007-01-17。

基金项目(Foundation item): 广东省博士后项目 4300613、广东省科技厅项目 2004B70302006 及国家自然科学基金重大项目(39899370)。[Supported by the Postdoctoral Foundation of Guangdong Province (4300613), the Program of Department of Science and Technology of Guangdong Province (2004B70302006) and the National Natural Science Foundation of China (Projects 39899370)]

作者简介(Biography): 李跃林(1970-), 男, 湖南邵阳人, 博士, 已发表论文 20 余篇, 参编专著 3 部, 主要从事全球变化生物学研究。[Li Yue-lin, male, born in 1970, Ph. D., research interest is global change biology. E-mail: yuelin@scbg.ac.cn, yuelin.li@uni-bayreuth.de]

改造结合其生态公益林的碳“源”“汇”功能的评价来说,土壤有机碳的空间分布格局的研究有着重要的环境科学意义。

在此背景下,以鹤山站马占相思人工林林地为研究对象,应用地统计学(Geostatistics)的原理与基本方法,探讨了林地土壤有机碳、全氮的空间分布特征,马占相思林地根生物量分布特征与碳、氮分布特征的相关性。

1 研究地概况与研究方法

1.1 研究地概况

试验地位于广东省南亚热带粤中丘陵地区(行政区属鹤山市),112°54'E,22°41'N。试验区为低丘地势,山脊平圆,坡面平缓,最高峰 98 m。气候温暖、多雨,年平均气温 21.7℃,最热月均温 29.2℃,最冷月均 12.6℃,年平均日照时数 1 797.8 h,年均太阳辐射量为 4 354.7 MJ/(m²·a)。年平均降雨量为 1 801.1 mm,其分布有明显的干湿季^[12]。试验区近年(2003~2004 年)月降雨量和月平均气温如图 1 所示。该区年蒸发量为 1 638.8 mm,每年还有数次台风或热带风暴。土壤酸性较强,质地较粘,有机质含量大都为 0.56%~1.64%^[12]。

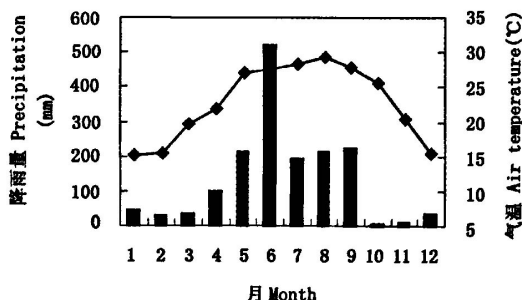


图 1 鹤山站月降雨量和月平均气温

Fig. 1 Monthly precipitation and average air temperature of Heshan station

该地区历史上为森林地带,顶极群落是亚热带季风常绿阔叶林。但由于不断增长的人类活动的影响,造成植被退化、水土流失、土壤瘠瘦和水源枯竭。人为活动的干扰,许多地方退化为亚热带草坡^[13]。自 1984 年起,鹤山站营造成了多种类型的人工林,进行植被恢复研究。林地土壤类型为砂页岩发育而成的赤红壤,林下植物种类主要有豺皮樟(*Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia*)、九节(*Psychotria rubra*)、

白背叶(*Mallotus apelta*)、木姜子(*Litsea cubeba*)、春花(*Raphiolepis indica*)、木荷(*Schima superba*)等。林地 1984 年造林,造林树种为马占相思,株行距 3 m×3 m。现时平均树高 14.5±2.0 m,平均胸径 20.9±6.5 cm。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤样品的采集

在面积为 24 m×42 m 的马占相思固定样地内,大致按南北方向建立 3 m×3 m 的取样小区,采用均匀取样和随机取样相对结合,用内径约为 3 cm 的管状土钻,打孔取样,取样深度 0~15 cm,考虑到取样的代表性,在每个 1 m×1 m 的亚小区钻取 3 管,取混合样。尔后,风干样品,去除杂质,过 100 目(孔径 0.192 mm)铜筛,用于土壤分析。

1.2.2 土壤样品分析方法

土壤有机碳的测定采用高温外热重铬酸钾氧化-容量法,土壤全氮的测定采用硒粉-硫酸铜-硫酸钾-硫酸消煮法。

1.2.3 单位面积根生物量的测定

实测所研究样地马占相思每木树高、胸径和地径,采用参考文献回归模型^[17],获取马占相思每木根生物量,同时在样地附近随机取样木三株,获取根生物量(鲜重),用于回归数据的校正。结合地径数据,对林地根生物量进行加权处理获得林地单位面积的根生物量。

1.2.4 数据分析

运用 Microsoft Excel 2000 作常规统计分析,运用 SPSS10.0 进行数据的正态分布检验,运用地统计学软件包 GS+5.0(Gama design software, 2001)进行地统计学分析^[18]。

设 $Z(x)$ 为区域化随机变量,并满足二阶平稳和本征假设, h 为两样本点空间分隔距离, $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 分别是区域化变量 $Z(x)$ 在空间位置 x_i 和 x_i+h 上的观测值($i=1,2,3,4,\dots,N(h)$),根据变差函数的定义

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}E[Z(x) - Z(x+h)]^2 \quad (1)$$

得到半方差函数的计算公式

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

式中 $\gamma(h)$ 为所有空间相距为 h 的点对的平均方差, $N(h)$ 为在空间上具有相同间隔距离 h 的点对数目, $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 分别为点 x_i 和与点 x_i 相距 h 的点的某一属性或因子的观测值。以 $\gamma(h)$ 值为纵

坐标, h 为横坐标, 绘制曲线, 即为半方差图, 它是空间变异分析和结构分析的有效工具。

2 结果与分析

2.1 土壤有机碳经典统计分析

对土壤样品分析结果进行经典统计分析, 运用 SPSS 的探索性分析, 对土壤有机碳数据进行了正态分布检验, 数据符合正态分布, 其分布的 Q-Q 图如图 2, 统计数据如表 1。

从表 1 可知, 土壤有机碳和全氮的变化范围分别为: 0.093 4 ~ 0.266 8 g/kg、0.008 0 ~ 0.019 9 g/kg, 变异系数分别为 24.59%、21.69%。再者, 对土壤有机碳与全氮的回归分析表明, 它们两者之间存在极显著的线性相关关系, 其回归方程如下

$$SOC = 0.0695 * TN + 0.0017$$

$$R = 0.98 (n = 50 P < 0.01)$$

表明了土壤有机碳与全氮含量关系密切, 土壤有机质含量高有利于土壤养分氮素的增加。但不能从这些计算结果中获得它们之间在空间位置上的联系, 即不能定量描述它们各自在空间尺度上变异特征。

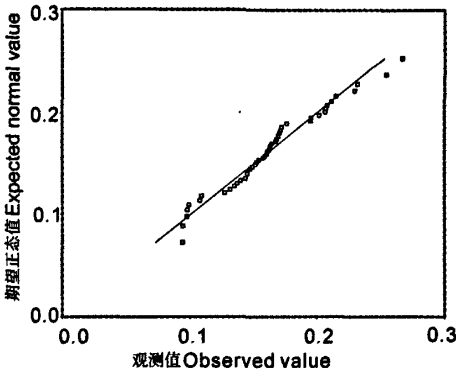


图 2 土壤有机碳正态 Q-Q 图
Fig.2 Normal Q-Q Plot of SOC

表 1 土壤有机碳、全氮测定结果统计分析

Table 1 Summary of classical statistical analysis of soil organic carbon and total nitrogen

项目 Items	平均 Mean(g/kg)	标准误差 Standard error	标准偏差 Standard deviation	测定值范围 Range(g/kg)	变异系数 Coefficient of variation
有机碳 SOC	0.162 8	0.005 7	0.040 0	0.093 4 ~ 0.266 8	24.59%
全氮 TN	0.013 0	0.000 4	0.002 8	0.008 0 ~ 0.019 9	21.69%

Note: SOC stands for content of soil organic carbon; TN stands for content of total nitrogen

2.2 空间统计分析

2.2.1 土壤有机碳空间分布特征及与土壤全氮的关系

数据验证的结果, 有机碳、全氮分布满足地统计学的要求, 运用地统计学方法, 对土壤有机碳、全氮数据进行半方差分析, 并利用克立金(Krige)局部空间插值, 得到土壤有机碳、全氮变异函数理论模型及有关参数(表 2)。

本研究引入球面、指数、线性及高斯 4 种模型对原始数据进行模拟, 根据表 2 列出的各种模型的拟合参数, 可以进一步确定变异函数的最优模型。在表 2 的 5 个参数块金方差值、阈值(基台值)、变程、决定系数及残差中, 最重要的是考虑决定系数 r^2 , 其次是考虑残差 RSS 的大小, 然后再考虑变程和块金方差值的大小^[18]。根据这个原则, 选择指数模型作为土壤有机碳、全氮的含量的变异函数理论模型并基于该模型, 制作相关空间分布图。考虑到分析空

间异质性的需要, 同时也选择指数模型作异质性分析, 根据指数模型参数, 土壤有机碳、全氮空间相关度分别为 81.3% 和 84.2%, 空间异质性尺度分别为 7.62 m 和 6.60 m, 即自相关部分的空间异质性占总空间异质性程度均在 80% 以上, 而随机部分占总空间异质性的程度 < 20%。

根据各向同性条件下的变异函数曲线图(方差图)可知, 马占相思林土壤有机碳和全氮之间的空间分布格局具有相似性(图 3、4), 即从空间分析角度表明了它们两者之间的极显著的线性关系。

基于半方差图的建立, 运用克立格空间内插法, 对土壤有机碳和全氮两个因子在空间上已抽样的分析获取的数据, 推测任一未抽样点的数值, 进而绘制出它们与位置有关的空间三维分布图(图 5、6)。土壤有机碳、全氮分布的空间分布图直观地反映了林地土壤有机碳和全氮在空间上的分布特征, 表现了它们趋向于同步的变化趋势。

表2 马占相思人工林土壤(0~15 cm)有机碳及全氮的变异函数理论模型有关参数
Table 2 Semivariogram model and parameters of soil organic carbon, soil total nitrogen on Acacia mangium forest

模型 Model	指数 Exponential		线性 Linear		球面 Spherical		高斯 Gaussian	
	SOC	TN	SOC	TN	SOC	TN	SOC	TN
块金方差 Nugget Variance	3.32×10^{-4}	1.00×10^{-6}	1.34×10^{-3}	7.00×10^{-6}	1.51×10^{-4}	1.00×10^{-6}	3.10×10^{-4}	1.00×10^{-6}
阈值 Sill	1.77×10^{-3}	9.00×10^{-6}	1.92×10^{-3}	9.00×10^{-6}	1.73×10^{-3}	8.00×10^{-6}	1.73×10^{-3}	8.00×10^{-6}
有效变程 Effective range	7.62	6.60	20.62	20.62	5.10	4.85	4.26	4.07
空间相关度 (%)	81.3	84.2	29.8	24.4	91.3	92.8	82.1	83.1
决定系数 r^2	0.63	0.61	0.57	0.42	0.53	0.56	0.53	0.56
残差平方和 RSS	1.65×10^{-7}	3.59×10^{-12}	1.88×10^{-7}	5.36×10^{-12}	2.07×10^{-7}	4.05×10^{-12}	2.10×10^{-7}	4.06×10^{-12}

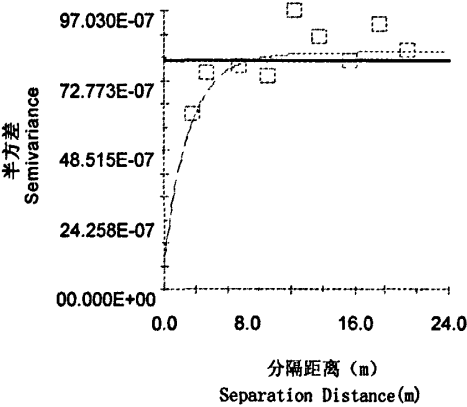


图3 土壤有机碳各向同性半方差图
Fig. 3 Isotropic variogram of SOC

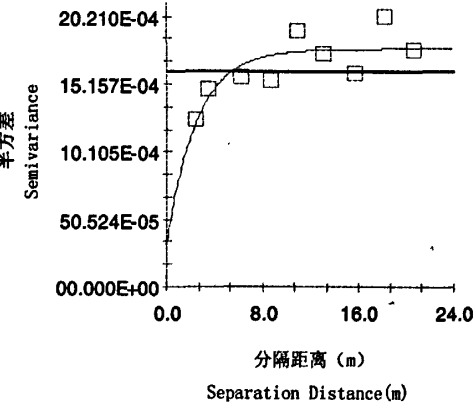


图4 土壤全氮各向同性半方差图
Fig. 4 Isotropic variogram of TN

2.2.2 土壤有机碳空间分布特征及与根生物量的关系
土壤有机碳来源为根系分泌、根生物量、地下微

生物、动物和植物凋落物,它包括所有分解阶段的植物、动物和微生物的残留物。可见根生物量也是影响土壤有机碳分布的一个因素,随着林木定植后,经过近 20 a 的生长,其根在土壤中的生长是随机的,因此根在土壤中的分布及其单位面积生物量(kg/m²)的大小可以看成是一个随机变量,同时经检验符合正态分布。基于半方差函数及空间内插法,同样绘制出根生物量的分布图(图7)。

比较图5和图7,根生物量的空间分布与土壤有机碳的空间分布不一致。为了验证该结论,运用根生物量空间分布模型获取相应点的根生物量值,然后作相关分析(图8)。从分析结果可知根生物量与土壤有机碳的相关系数为0.06,可见在本研究中0~15 cm表土层土壤有机碳的分布与林木根生物量具有不一致的空间分布格局。已有的研究表明深层土壤植物根系对有机碳的分布格局占主导作用^[19]。本研究中,土壤样品局限于0~15 cm表层土,显然,对于表层土来说,从生物方面的因素来说,人工林地优势种表层根的生物量与林下的灌丛、蕨类、草本的根系是共同决定因素,再者非生物因素,如林地的凋落物也是重要因子。结合鹤山站的具体情况,因为该研究样地是鹤山站的长期样地,凋落物较少人为干扰,常常累积2~3 cm厚度。正因为这些原因,可能导致林木根生物量并不是表层土壤有机碳空间分布格局的主导因子。

2.2.3 模型的检验

以指数模型获得的预测值与实际的观测值进行成对样本显著性检验(表3)。由表3可知,土壤有机碳及全氮含量的观测值与预测值无显著性差异,证明了模型的可靠性。

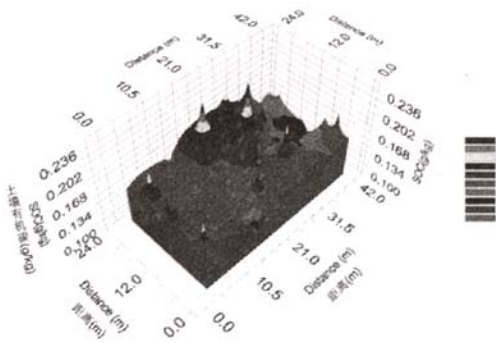


图5 土壤有机碳空间分布模拟图

Fig. 5 Spatial distribution simulation of soil organic carbon

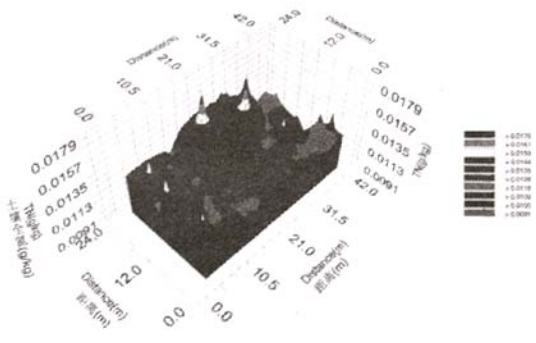


图6 土壤全氮空间分布模拟图

Fig. 6 Spatial distribution simulation of soil total nitrogen

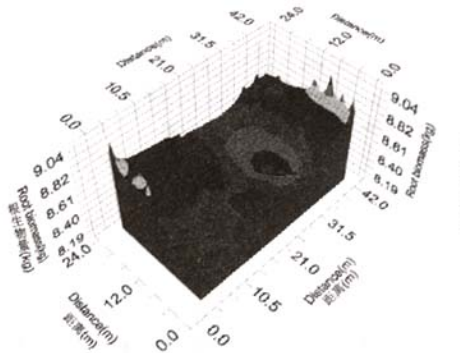


图7 根生物量空间分布模拟图

Fig. 7 Spatial distribution simulation of root biomass

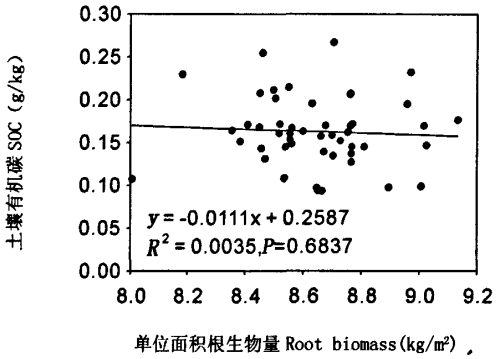


图8 土壤有机碳与根生物量的相关性

Fig. 8 Correlation between soil organic carbon and root biomass

表3 成对样本T检验

Table 3 Paired samples test

对 Pair	成对差值 Paired Differences					t 值	自由度 df	Sig. (2 - tailed)
	差值平均 Mean	标准偏差 Std. deviation	平均标准误差 Std. Error Mean	95% 置信区间 Confidence Interval of the Difference				
				下限 Lower	上限 Upper			
第 1 对 SOC - PREDICT	2. 29 × 10 ⁻³	4. 05 × 10 ⁻²	5. 73 × 10 ⁻³	-9. 22 × 10 ⁻³	1. 38 × 10 ⁻²	0. 400	49	0. 691
第 2 对 TN - PREDICT	1. 53 × 10 ⁻⁴	2. 84 × 10 ⁻³	4. 02 × 10 ⁻⁴	-6. 54 × 10 ⁻⁴	9. 61 × 10 ⁻⁴	0. 382	49	0. 704

3 讨论

通过对马占相思林地土壤的有机碳、全氮的地理统计学分析,土壤有机碳及全氮的空间分布格局表现出一致性。从它们的空间位置上表明了土壤有机碳含量与全氮含量关系密切,这也与已有的研究结果土壤有机质含量高有利于土壤养分氮素的增加的

结论具有一致性^[16]。
鹤山马占相思林土壤有机碳的在分布格局上,存在相当强的空间自相关性,其空间相关度为81.3%,而随机部分只占总空间异质性的18.7%,SOC和TN空间相关尺度分别为7.62 m和6.60 m。据已有的研究报道,在草原土壤有机碳空间自相关的异质性所占的百分比可达80%左右^[20];在东北红松林土壤中,空间自相关的异质性所占的百分比

可达 58.3% ~ 83.6%^[21]。这表明南亚热带林地原生植被遭破坏,重新垦荒造林后,在马占相思林地,其土壤的有机碳分布格局的空间异质性已与其他类型的稳定土壤具有较相似的性质。再者是相对于东北红松林(树龄 200 ~ 300 a)来说,尽管本研究地马占相思林龄约 20 a,马占相思已表现出对土壤有机碳强烈的生物作用。如果认为土壤结构的恢复中,有机碳的空间相关度是衡量指标之一,结合生态系统健康所要求的一定异质性来考虑,那么当马占相思近 20 a 树龄时,完全可以对林地进行植被改造。此外,据鹤山站的研究成果^[22,23],马占相思林地在林龄为 10 a 时,表现出净生产力高峰,17 a 后,即表现出生产力衰退现象。因此可以说,对马占相思林地土壤有机碳空间异质性的研究,可以应用于指导植被改造,从而使马占相思树种作为先锋树种更能发挥其生态功能和经济功能。

通过对马占相思人工林地土壤表层有机碳的分布格局与根生物量的分布格局的比较,有机碳与根生物量的分布不一定具有一致性的空间分布格局,至少在 0 ~ 15 cm 表土层的表现是这样。表土层的有机碳对土壤-水-植物系统与大气间气体交换作用表现最活跃,已有研究认为最优化的植物类型有利于碳储存^[19]。因此在鹤山站继续进行林分改造和不同林分模式下的土壤有机碳空间分布格局研究,对于华南地区的林业发展模式具体科学指导意义,特别表现在探讨不同功能类型的植物组合、寻找适合于土壤碳储存的植物模式方面,将为缓解全球 CO₂ 浓度上升提供林业对策。

参考文献 (References)

- [1] Heuvelink, GBM., Webster, R. Modelling soil variation: past, present, and future [J]. *Geoderma*, 2001, 100 (3-4): 269 ~ 301
- [2] Webster R. Optimally partitioning soil transects [J]. *Journal of Soil Science*, 1978, 15: 191 ~ 204
- [3] Kyriakidis PC, Journel AG. Geostatistical space-time models: a review [J]. *Mathematical Geology*, 1999, 31 (6): 651 ~ 684
- [4] Wilson DJ, Western AW, Grayson RB. Identifying and quantifying sources of variability in temporal and spatial soil moisture observations [J]. *Water Resources Research*, 2004, 40 (2), W02507 doi: 10.1029/2003WR002306.
- [5] Hammer RD, O'Brien RG, Lewis RJ. Temporal and spatial soil variability on three forested land types on the mid cumber land plateau [J]. *Soil Science Society America Journal*, 1992, 51: 1320 ~ 1326
- [6] Qian H, Klika K. Spatial variability of humus forms in some coastal forest ecosystems of British Columbia [J]. *Annual Science Forestry*, 1995, 52: 653 ~ 666
- [7] Wang Zhengquan, Wang Qingcheng. The spatial heterogeneity of soil physical properties in forests [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20 (6): 945 ~ 950 [王政权, 王庆成. 森林土壤物理性质的空间异质研究 [J]. *生态学报*, 2000, 20 (6): 945 ~ 950]
- [8] Hupet F, Vanclooster M. Sampling strategies to estimate field areal evapotranspiration fluxes with a soil water balance approach [J]. *Journal of Hydrology*, 2004, 292 (1-4): 262 ~ 280
- [9] Lin HS, Wheeler D, Bell J, et al. Assessment of soil spatial variability at multiple scales [J]. *Ecological Modelling*, 2005, 182 (3-4): 271 ~ 290
- [10] Yoo C. Sampling of soil moisture fields and related errors: implications to the optimal sampling design [J]. *Advances in Water Resources*, 2001, 24 (5): 521 ~ 530
- [11] Post W M, K. C. Kwon. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology* [J]. 2000, 6 (3): 317 ~ 327
- [12] Yu Zuoyue, Peng Shaolin. Ecological Study of Vegetation Restoration of Degraded Ecosystem in Tropical and Subtropical Area [M]. Guangzhou: Guangdong Science Press, 1996. 12 ~ 33 [余作岳, 彭少麟. 热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究 [M]. 广州: 广东科技出版社, 1996. 12 ~ 33]
- [13] Peng, Shaolin, Yu zuoyue, Zhang Wenqi, et al. Coenological analysis of five man-made forests on downland in Heshan, Guangdong Province [J]. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1992, 16 (1): 1 ~ 10 [彭少麟, 余作岳, 张文其, 等. 鹤山亚热带丘陵人工林群落分析 [J]. *植物生态学与地植物学报*, 1992, 16 (1): 1 ~ 10]
- [14] Zhao Ping, Zeng Xiaoping, Yu Zuoyue. The annual photosynthetic trend of trees on hilly land in Heshan, Guangdong [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15 (suppl. A): 64 ~ 67 [赵平, 曾小平, 余作岳. 广东鹤山丘陵人工林几种乔木的光合年变化 [J]. *生态学报*, 1995, 15 (增刊): 64 ~ 67]
- [15] Li Zhi'an, Ding mingmao, Fang Wei, et al. The nutrient storage and distribution in artificial *Acacia mangium* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15 (Suppl. A), 103 ~ 114 [李志安, 丁明懋, 方炜, 等. 马占相思人工林生态系统养分物质的储存与分布 [J]. *生态学报*, 1995, 15 (增刊): 103 ~ 114]
- [16] Li Yuelin, Peng Shaolin, Zhao Ping, et al. A study on the soil carbon dynamics of some land use types in Heshan, Guangdong, China [J]. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20 (5): 521 ~ 525 [李跃林, 彭少麟, 赵平. 鹤山几种不同土地利用方式下土壤碳动态研究 [J]. *山地学报*, 2002, 20 (5): 548 ~ 552]
- [17] Zeng Xiaoping, Peng Shaolin, Zhao Ping. Measurement of respiration amount in artificial *Acacia mangium* forest in a low subtropical hill forest region of Guangdong [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24 (4): 420 ~ 424 [曾小平, 彭少麟, 赵平. 广东南亚热带马占相思林呼吸量的测定 [J]. *植物生态学报*, 2000, 24 (4): 420 ~ 424]
- [18] Gamma Design Software. GS + : Geostatistics for the Environmental Sciences [M]. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA, 2001.
- [19] Esteban GJ, Robert BJ. The vertical distribution of soil organic

- carbon and its relation to climate and vegetation [J]. *Ecological Applications*, 2000, 10(2): 423 ~ 436
- [20] Wang Qibing, Li Linghao, Liu Xianhua, et al. Spatial heterogeneity of soil organic carbon and total nitrogen in an Xilin river basin grassland, Inner Mongolia [J]. *Acta Phytocologica sinica*, 1998, 22(5): 409 ~ 414 [王其兵, 李凌浩, 刘先华, 等. 内蒙古锡林河流域草原土壤有机碳及氮素的空间异质性分析 [J]. 植物生态学报, 1998, 22(5): 409 ~ 414]
- [21] Wang Zhengquan, Wang Qingcheng, Li Ha-bin. Characteristics and comparison of spatial heterogeneity of the main species of Korean pine in old growth forests [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24 (6): 718 ~ 723 [王政权, 王庆成, 李哈滨. 红松老龄林主要树种的空间异质性特征与比较的定量研究 [J]. 植物生态学报, 2000, 24(6): 718 ~ 723]
- [22] Peng Shaolin. Study and Application of Restoration Ecology in Tropical and Subtropical China [M]. Beijing: Science Press, 2003. 1 ~ 25 [彭少麟. 热带亚热带恢复生态学研究与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2003. 1 ~ 25]
- [23] Zhao Ping. Advances in plant ecophysiological studies on revegetation of degraded ecosystems [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11): 2031 ~ 2036 [赵平. 退化生态系统植被恢复的生理生态学研究进展 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 2031 ~ 2036]

Spatial Heterogeneity of Soil Organic Carbon of *Acacia mangium* Plantation in Heshan, Guangdong, China

LI Yuelin¹, LANG Liming², ZHANG Yun^{1,3}, LIN Yongbiao¹, WEI Qiang¹

(1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China;

2. Shunao Forestry Centre Affiliated to Guangzhou of Guangdong Province, Zengcheng 511390, China;

3. School of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan 430062, China)

Abstract: Geostatistical techniques were used to quantify the scale and degree of soil heterogeneity of *Acacia mangium* plantation forest land in south China. Samples for analysis of soil organic carbon and total nitrogen content were taken on an aligned grid. The contents of soil organic carbon and total nitrogen were measured, and root biomass was estimated. Kriged maps of C and N content showed a strong spatial autocorrelation. This observation agreed with traditional statistics analysis showing a significant linear correlation between C and N. The best fitting from exponential model showed that soil organic carbon and total nitrogen have high degree of spatial heterogeneity at the scales of 7.62 m and 6.60 m, respectively, such that 81.3% and 84.2% of the total spatial heterogeneity originated from the spatial autocorrelation. The correlation between soil organic carbon and root biomass was not shown that root biomass performed as the dominated factor in accordance with its role of source of soil organic carbon.

Key words: *Acacia mangium*; soil organic carbon; total nitrogen; spatial heterogeneity