

广州岑村农用地土壤养分空间变异性研究

梁中龙, 甘海华, 戴 军, 李永涛

(华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642)

摘要:应用地统计学,结合地理信息系统(GIS)研究了广州城郊岑村地区农用地土壤表层(0~20 cm)的有机质、碱解N、有效P、速效K等4种养分含量的空间分布特征。结果表明,有机质和碱解N为正态分布,有效P和速效K为对数正态分布;半方差分析的结果表明大部分土壤养分在一定间距内存在空间相关性,且为强烈的空间自相关,用普通克立格法进行最优内插,得养分含量分布图,并分析了各土壤养分的分布状态,此结果可进一步应用于城郊农业生产。

关键词:广州岑村;农用地;土壤养分;地统计学;空间变异;Kriging;地理信息系统(GIS)

中图分类号:S158.3

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2004)03-0022-04

Spatial variability analysis of soil nutrients in Guangzhou Cencun cropfield

LIANG Zhong-long, GAN Hai-hua, DAI Jun, LI Yong-tao

(College of Resources and Environment, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China)

Abstract: Geostatistical methods were used in combination of GIS information analyze the spatial distribution characteristics of organic matter, and available nitrogen, phosphorus and potassium in the 0-20 cm layer of Cencun cropfield in Guangzhou suburb. The results indicated that the organic matter, and available nitrogen showed a normal distribution, available phosphorus and potassium with a lognormal distribution; Semi-variance analysis showed that the 4 soil nutrient content were strong correlated in a given spatial range. The distributing maps of soil nutrients were drawn by using Ordinary Kriging, and the distributing results of soil nutrient were analyzed. These results showed further application in exurban agriculture production.

Key words: Guangzhou Cencun; cropfield; soil nutrient; geostatistics; spatial variability; Kriging; GIS

土壤并非一个匀质体,而是一个时空连续的变异性体,具有高度的空间异质性^[1]。20世纪70年代,地统计学方法被引入土壤科学研究领域,克服了应用经典的fisher统计理论在研究土壤性质空间变异性规律方面的不足^[2]。随着地理信息系统(GIS)的广泛应用,利用地统计学,并结合GIS技术来研究土壤性质空间变异已成为目前土壤学研究的热点之一^[3]。本文利用GIS软件中的Arcmap中的地统计学分析模块(Geostatistical Analysis),研究广州城郊岑村地区农用地的土壤养分空间变异规律。对于探讨该

区土地利用结构和土壤肥力变化趋势,为城郊土地合理利用与保护提供依据;也是进行精确施肥研究的基础工作。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区域位于广州市东郊岑村,面积4.2 km²,海拔13.1~79.3 m,属低丘陵地带。由于地处南亚热带,高温多雨,年均气温22.3℃,日均温≥11℃,积温为7680℃,无霜期长达350 d,平均日照时数为

收稿日期:2003-10-15

作者简介:梁中龙(1971-),男,讲师,硕士。

基金项目:华南农业大学校长基金资助项目(2005014)

1 948 h, 年均降雨量 1 800 mm, 4~9 月为雨季, 占年降雨量的 80% 以上, 10~3 月为旱季, 干湿交替较为明显, 雨热同季。

成土母岩主要为花岗岩、砂页岩, 土壤主要以赤红壤为主, 间有冲积型水稻土、菜园土和耕型赤红壤。土地利用现状为菜地、园地、林地和水田。

1.2 土样采集和理化性状分析

按照随机分布的原则结合研究区域内的地形地貌和土地利用方式来采集 0~20 cm 的表层土壤样本, 同时记录样点周围植被生长状况, 共采土样 60 个。室内分析的项目有碱解 N、有效 P、速效 K 及有机质含量。土样的测定方法: 有机质的测定为重铬酸钾氧化-外加加热法, 碱解 N 为扩散法, 有效 P 为 NaHCO₃ 浸提-钼兰比色法, 速效 K 为中性醋酸铵浸提-原

子分光光度计法。

土壤样品的地统计学^[1,4-7]分析为 3 个步骤: (1) 对土壤养分各项数据进行正态分布检验; (2) 变异函数的计算、定义和检验; (3) Kriging 插值分析。

2 结果与分析

2.1 土壤养分数据的统计特征值对比分析

对 60 个样本的养分数据进行常规统计分析, 结果见表 1。

从表 1 可以看出有效 P 的变异系数最高, 为 87.6%, 有机质的变异系数最低, 为 46.1%, 总体来看, 速效养分的变异程度较大, 这与影响速效养分的因子(如施肥水平、耕作制度等)较多, 而速效养分又较易流失和固定有关。

表 1 土壤养分的统计特征值

Tab. 1 The statistical feature values of soil nutrients

土壤养分 soil nutrients	平均值 mean	极差 range	最小值 min.	最大值 max.	标准差 SD	变异系数 CV/%	样点数 sample size
有机质 organic matter/(g·kg ⁻¹)	17.45	35.86	1.98	37.84	8.04	46.1	60
碱解 N available N/(mg·kg ⁻¹)	41.23	116.47	0.78	117.25	28.40	68.9	60
有效 P available P/(mg·kg ⁻¹)	44.22	248.82	0.29	249.11	38.75	87.6	60
速效 K available K/(mg·kg ⁻¹)	90.38	319.60	28.13	347.73	77.67	85.9	60

2.2 土壤养分的分布类型判断

土壤养分分布类型影响对土壤养分的正确评价。这里, 对数据用 Kolmogorov-Smirnov(K-S) 正态分布检验概率(P_{K-S}) 进行检验^[4], 检验时取显著水平 $\alpha = 0.05$, 若 $P_{K-S} > 0.05$, 则认为数据服从正态分布。

分析结果表明, 有机质和碱解 N 的 K-S 值分别为 0.841 和 0.536, 达到显著水平, 呈正态分布; 有效 P 和速效 K 的 K-S 值分别为 0.035 和 0.005, 为偏态分布, 经对数转化后, 为正态分布。

2.3 半方差分析

利用半方差公式计算半变异函数的值, 分别用不同类型的模型来进行拟合, 得到模型的参数值及离差平方和、标准误和决定系数, 选取离差平方和最小、标准误最接近零、决定系数最接近于 1 的模型类型, 最后用交叉验证法(cross-validation)来修正模型的参数^[8], 结果见图 1 和表 2。

有机质的理论模型为指数模型, 决定系数为 0.611; 有效 P 和速效 K 都为球状模型, 决定系数分别为 0.662 和 0.573(图 1A、图 1C、图 1D 和表 2), 决定系数的 F 检验都为显著水平。它们的变异函数曲线变化较为平稳, 表明在整个尺度上各种生态过程

同等重要; 而碱解 N 的变异函数为线性模型, 决定系数为 0.008, F 检验没达到显著水平(图 1B 和表 2), 说明引起碱解 N 变化的各因素都是随机作用的, 不具有空间相关性。

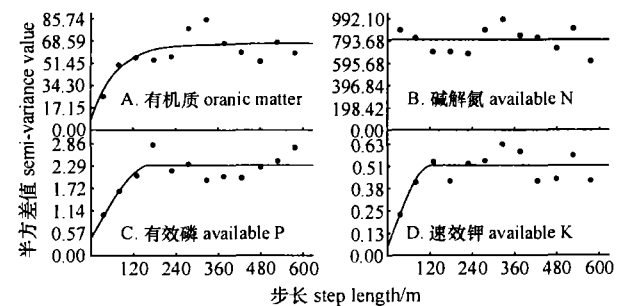


图 1 土壤养分要素的变异函数理论模型

Fig. 1 Experimental and model-fitted semivariograms of soil nutrients

块金值(Nugget)表示由实验误差和小于最小取样尺度引起的随机变异, 基台值(Sill)通常表示系统内的总变异包括结构性变异和随机性变异。块金值和基台值之比可表明系统变量的空间相关性的程度, 因为土壤养分分布是由结构性因素和随机性因素共同作用的结果。结构性因素, 如气候、母质、地形、土壤类型等可以导致土壤养分强的空间相关性, 而随机性因素如施肥、耕作措施、种植制度等各种人

表2 土壤养分变异函数理论模型及相关参数

Tab. 2 Best fitted semivariogram models of soil nutrients and corresponding parameters

土壤养分 soil nutrients	理论模型 theory model	块金值 Nugget	基台值 Sill	块金值/基台值 Nugget/Sill (%)	变程 Range/m	残差 RSS	决定系 数 R^2	F 值 F value
有机质 organic matter	指数模型	6.600	66.400	9.90	207	951.20	0.611	6.85**
碱解 N available N	线性模型	803.990	803.990	100.00	547	138 238	0.008	0.04
有效 P available P	球状模型	0.397	2.319	17.10	169	0.880	0.662	8.55**
速效 K available K	球状模型	0.044	0.510	8.60	124	0.054 6	0.573	5.86**

为活动使土壤养分的空间相关性减弱,朝均一化发展^[8]. 如果比值小于 25%,说明系统具有强烈的空间相关性;如果比值在 25%~75%之间,表明系统具有中等的空间相关性;大于 75%则说明系统空间相关性很弱^[4]. 分析结果表明(表 2),有机质、有效 P 和速效 K 具有强烈的空间相关性. 在 50 m 以下的小尺度上,有机质的随机变异为 9.9%,而在 50~120 m 的中尺度上,其结构性变异占 90.1%. 碱解 N 由于理论模型拟合没能达到 F 检验的显著性差异,表现的模型为线性模型,变化平稳,在所有的尺度上都表现为随机变异,空间自相关性较差. 有效 P 和速效 K 在 50 m 以下的小尺度上的随机变异分别为 17.1% 和 8.6%. 而在 50~169 m 和 50~124 m 的中尺度上,其结构性变异分别为 82.9% 和 91.2%. 变程表明土壤养分空间自相关范围的大小,它与观测尺度以及在取样尺度上影响土壤养分各种生态过程相互作用有关. 在变程之内,变量具有空间自相关特性,反

之则不存在. 从表 2 可以看出,在研究区域内,4 种土壤养分的空间自相关范围具有明显的差异,变程在 124~547 m 范围内变化,说明影响这 4 种土壤养分的生态过程在不同的尺度上起作用,有效 P 和速效 K 变程小,分别是 169 和 124 m;有机质次之,变程是 207 m;而土壤碱解 N 的变程最大,为 547 m. 这主要是由于一方面研究区域的土壤主要为花岗岩母质发育而成的赤红壤,极易发生 K、P 等土壤速效养分的流失,特别是地形变化较大的区域,这种速效养分的流失更加普遍,因此引起该地区土壤养分空间结构变异的因素与速效养分的流失有关;另一方面,研究区域不同植被的空间分布格局都将影响土壤养分分布,也会造成土壤养分的空间分布差异.

2.4 Kriging 插值分析

根据所得到的半方差函数模型,应用普通克立格法(Ordinary Kriging)进行最优内插,绘制了各种土壤养分含量的分级图(图 2).

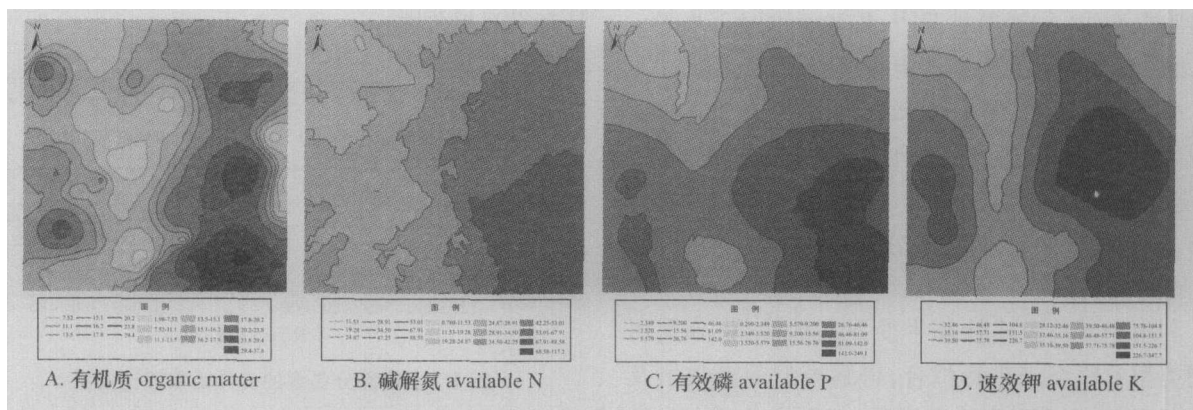


图2 土壤养分的 Kriging 分级图

Fig. 2 The group map of soil nutrients by Kriging

从图 2A 中可以看出,土壤有机质的分布情况不太规则,在东部区域有机质含量相对较高,含量在 $16.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上,其他局部区域也有含量较高的地方. 有机质含量最低的区域在研究区域的中部,其含量低于 $13.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. 有机质这种分布状况与整个研究区域内的种植方式和土地利用方式有着密切的关

系,在以林地为主的地区,由于常年枯枝落叶的影响,使该部分区域的有机质含量较高;而在以蔬菜种植为主的区域,由于农民施用有机肥,造成局部区域有机质含量较高.

尽管碱解 N 半方差函数没达到显著水平,但还是可以利用线性模型对其进行 Kriging 插值预测. 结

果表明(图 2B),土壤碱解 N 的变化比较有规律性,整体变化趋势是由西北向东南呈阶梯状递增。西北部土壤碱解 N 含量最低,在 $19.28 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下,东南部最高,含量在 $88.58 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右。造成这种现象的原因可能是,从地形上看,西北部是小范围的河流冲积平原,土壤耕作频繁,而且,现在当地的农民不愿自己耕种,而是租给外地人种植,因而对土壤的培育管理不连续,为了追求效益,承租户不愿在土壤肥力的培育上做太多的投资,造成了一种掠夺式的经营方式,致使西北部平原地区土壤碱解 N 含量较低。而东南部为林地覆盖的丘陵地区,长年累月的枯枝落叶经腐烂转化,又回到表层土壤,能够维持一定水平的土壤肥力,所以东南部碱解 N 含量较高。

土壤有效 P 的变化在整个研究区域内的分布状况是东南部高,西北部低的趋势(图 2C),在东南角,土壤有效 P 的含量达到最高,为 $142.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上,而西北部较低,在 $2.349 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右;且土壤有效 P 含量在 $26.76 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上的占整个研究区域约 80% 以上,这说明整个研究区域土壤有效 P 的整体含量较高,土壤有效 P 不缺乏,土壤的肥力状况较好,这与研究区域内的农民耕作普遍习惯使用磷肥及磷的固定有一定的关系。

土壤速效 K 的变化趋势是东半部较高(图 2D),含量在 $75.78 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上,西半部整体较低,局部区域也有较高的,这主要是因为东半部地区主要是以蔬菜种植为主的农业利用方式,农民长期大量施用钾肥而导致土壤速效 K 的含量较高。

各土壤养分的 Kriging 插值结果对该区域的土地合理利用和农业生产有重要的指导意义,在含量较低的区域,可增加该种肥料的施用量;而在含量较高的区域,可调整施肥结构,改施其他种类的肥料,以提高肥料的利用率和效益,达到平衡施肥的目的,为发展城郊精细农业服务。

3 结论

(1)土壤养分的变异系数范围为 46.1% ~ 87.6%

之间,有效 P 的变异系数最高为 87.6%,其他养分的变异系数属中等变异强度。有机质和碱解 N 为正态分布;有效 P 和速效 K 为对数正态分布。各种土壤养分要素的变程在 124 ~ 547 m 之间;块金值与基台值之比小于 25% (除碱解 N 外),说明都具有强烈的空间相关性。

(2)由于土壤养分存在空间变异结构,可用普通克立格法绘制等级图。从 Kriging 插值结果可知,有机质含量在东部较高,碱解 N 由东南向西北递减,有效 P 在东南部含量较高,速效 K 在东部和西部小范围含量较高。

(3)利用 Kriging 最优内插法绘制了土壤养分的插值预测图,可更加准确和直观地了解整个研究区域的土壤养分与地形地貌和土地利用类型的相关关系,从而为城郊农业精确施肥提供科学依据,避免不考虑土壤养分的差异性进行平均施用肥料所带来的不良影响。

参考文献:

- [1] 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. 177-179
- [2] 沈思渊. 土壤空间变异研究中地统计学的应用及其展望[J]. 土壤学年进展,1989,17(3):11-24.
- [3] 周慧珍,龚子同. 土壤空间变异性研究[J]. 土壤学报,1996, 33(3):232-241.
- [4] 郭旭东,傅伯杰,陈利顶,等. 河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征[J]. 地理学报,2000, 55(5):555-566.
- [5] 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):33-38.
- [6] WEBSTER R. Quantitative spatial analysis of soil in the field [J]. Advance in Soil Science, 1985,(3):1-70.
- [7] MATHERON G. Principles of geostatistics[J]. Economic Geology,1963, (58):1 246-1 266.
- [8] CHIEN Y J, LEE D Y, GUO ETAL H Y. Geostatistical analysis of soilproperties of mid-west Taiwan Soil[J]. Soil Science, 1997, 162(4):151-162.

【责任编辑 周志红】