

## 基于地统计学的罗平烟区土壤主要养分丰缺评价

李强<sup>1</sup>, 周冀衡<sup>1</sup>, 宋淑芳<sup>1,2\*</sup>, 柳立<sup>1</sup>, 陈丽鹃<sup>1</sup>, 李志伟<sup>3</sup>

(1. 湖南农业大学烟草研究院, 湖南 长沙 410128; 2. 广西百色国家农业科技园区管理委员会, 广西 百色 533612; 3. 川渝中烟工业有限责任公司, 四川 成都 610017)

**摘要:** 采用 GPS 定位技术, 在云南罗平烟区采集土壤样品 362 个, 运用地统计学和经典统计学方法, 研究了植烟土壤主要养分的空间变异特征和丰缺格局。结果表明: 罗平植烟土壤有机质和主要养分指标的块金效应为 25%~75%, 表现为中等的空间相关性, 空间变异受结构性因素和随机性因素共同影响; 土壤有机质均值为 42.23 g/kg, 有 52.27% 的植烟土壤有机质含量超过 40 g/kg; 土壤全氮和速效氮均值分别为 2.02 g/kg 和 161.96 mg/kg, 分别有 51.39% 和 79.84% 的植烟土壤全氮和速效氮超过 2 g/kg 和 150 mg/kg; 土壤全磷和速效磷含量均值分别为 1.63 g/kg 和 38.45 mg/kg, 分别有 11.00% 和 29.79% 的植烟土壤全磷和速效磷含量超过 2 g/kg 和 40 mg/kg; 植烟土壤全钾含量均值为 13.67 g/kg, 有 27.13% 的植烟土壤全钾含量在 12 g/kg 以下, 偏低; 土壤速效钾均值为 257.23 mg/kg, 有 95.87% 的植烟土壤速效钾含量在 150 mg/kg 以上。

**关键词:** 植烟土壤; 主要养分; 地统计学; 评价; 云南罗平

中图分类号: S572; S158

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2015)01-0042-05

## Evaluation of soil main nutrients in tobacco field of Luoping county based on geo-statistics

Li Qiang<sup>1</sup>, Zhou Jiheng<sup>1</sup>, Song Shufang<sup>1,2\*</sup>, Liu Li<sup>1</sup>, Chen Lijuan<sup>1</sup>, Li Zhiwei<sup>3</sup>

(1. Tobacco Research Institute, Hunan Agricultural University, Changsha, 410128, China; 2. Guangxi Baise National Agricultural Science and Technology Zone Administration Committee, Baise, Guangxi, 533612 China; 3. Chuanyu Tobacco Industrial Corporation, Chengdu 610017, China)

**Abstract:** Based on GPS technique, 362 tobacco soil samples were collected in Luoping, methods of geo-statistics and classical statistics were used to investigate the spatial variability and supplying availability of soil main nutrients in tobacco-growing field. The results indicate the nugget to sill ratio of soil organic and main nutrients in Luoping tobacco-growing field is 25%-75%, which is in the range of moderate spatial dependence. Spatial variability of those main nutrients was caused by structural and random factors. As the spatial distribution maps show, average content of soil organic matter is 42.23%, and the content of organic matter in 52.27% of the tobacco-growing soil was over 40 g/kg; average content of total N and available N were 2.02 g/kg and 161.96 mg/kg respectively, content of total N of 51.39% tobacco-growing soil was over 2 g/kg and available N content in 79.84% of tobacco-growing soil was above 150 mg/kg; average content of total P and available P were 1.63 g/kg and 38.45 mg/kg respectively, total P content in 11% of the tobacco-growing soil was above 2 g/kg and available P content in 29.79% of the tobacco-growing soil was above 40 mg/kg; content of total K was below 12 g/kg; average content of available K was 257.23 mg/kg, and available K content in 95.87% of the tobacco-growing soil was above 150 mg/kg.

**Keywords:** tobacco soil; main nutrients; geo-statistics; evaluation; Luoping, Yunnan

植烟土壤养分状况直接影响烤烟生长发育和营养状况,进而影响烟叶产量、品质和风格<sup>[1-2]</sup>。有关烟区植烟土壤养分状况及综合评价、养分分区管理和烤烟测土配方施肥等,已有大量报道<sup>[3-8]</sup>。由于土壤养分具有高度的空间异质性,其空间变异十分复杂,目前由当地烟草公司统一制定以乡镇甚至以县区为单位的养分管理决策,显然不能满足优质烟叶生产的需要,开展植烟土壤养分的空间变异和丰缺评价研究,对制定烤烟养分管理方案和改善烟叶质量有重要意义。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,可以很好地描述变量的空间变异结构,借助 GIS 技术可以实现变量的空间分布可视化,近年来被大量用于土壤学的研究<sup>[9-11]</sup>。罗平烟区作为云南优质烟区之一,烟叶品质纯正,配伍性好,多个重点卷烟工业企业在该县建有基地单元,研究该区植烟土壤养分空间变异和丰缺状况,对稳定烟叶质量具有重要意义。笔者采用 GPS 技术,在罗平烟区开展土壤定位取样,运用地统计学和 GIS 技术相结合的方法,借助 ArcGIS 软件对罗平县植烟土壤主要养分状况进行了研究,旨在探明罗平烟区植烟土壤养分的空间变异特征和丰缺格局,为烟区土壤养分精准分区管理与施肥决策和植烟土壤生态保护提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 区域自然概况

罗平县位于云南省、广西壮族自治区、贵州省 3 省的结合部,地处东经 103°57'~104°43'、北纬 24°31'~25°25'。县境东西宽 75 km,南北长 99 km,总面积 3 025.35 km<sup>2</sup>,山区面积占土地总面积的 78%。年平均降水量 1 743.9 mm,是全省的多雨区之一,年平均相对湿度 85%,年平均日照时数 1 685 h,年平均气温 15.1 °C,年均无霜期为 280 d。

### 1.2 样品采集和分析

2010 年 3 月,采用 GPS 技术,对罗平县基本烟田 667 m<sup>2</sup> 以上的田块进行定点取样,共取样 362 个,样点分布见图 1。取样时记录每个田块中心的经纬度和高程,根据田块形状,采用五点取样法或“W”形取样法,取样深度 0~20 cm,每个田块 5 个以上样点,将 5 个点的土壤混匀后,用四分法取 1 kg 土样。土

样登记编码后,经风干、研磨及过筛,测定土壤养分含量。有机质采用重铬酸钾氧化法测定;全氮采用开氏定氮法测定;速效氮采用碱解扩散法测定;速效磷采用钼锑抗比色法测定;速效钾采用火焰光度法测定<sup>[12]</sup>。



图1 样点分布

Fig.1 Distribution of soil samples

### 1.3 土壤养分丰缺的判定

在借鉴文献<sup>[13]</sup>和曲靖烤烟综合标准<sup>[14]</sup>植烟土壤养分丰缺指标的基础上,将罗平县植烟土壤主要养分分为 5 个等级(表 1)。

表1 罗平植烟土壤养分的分级

养分指标	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	<10	10~20	20~30	30~40	40
全氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	<0.7	0.7~1	1~1.5	1.5~2	2
碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	<30	30~60	60~120	120~150	150
全磷/(g·kg <sup>-1</sup> )	<0.8	0.8~1.2	1.2~1.6	1.6~2.0	2.0
速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	<10	10~20	20~30	30~40	40
全钾/(g·kg <sup>-1</sup> )	<12	12~18	18~24	24~30	30
速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )	<50	50~100	100~150	150~200	200

### 1.4 数据分析

描述性统计和 K-S 检验采用 SPSS17.0 软件<sup>[15]</sup>完成。实验半方差函数的计算和理论模型拟合在 GS+9.0<sup>[16]</sup>中完成。Kriging 插值和绘图采用 ArcGIS 9.3 软件<sup>[17]</sup>实现。

## 2 结果与分析

### 2.1 罗平植烟土壤主要养分状况

罗平烟区土壤主要养分指标的统计特征列于表 2。K-S 检验表明,7 种养分指标服从正态分布

或对数正态分布;变异系数 10%~100%,表现为中等变异性,其中以全氮变异最小,速效磷变异最大。依据罗平烟区土壤养分评价标准(表 1),土壤有机

质、全氮、速效氮和速效钾均属 5 级,速效磷含量属于 4 级,全磷属 3 级,全钾属于 2 级。

表2 罗平植烟土壤主要养分指标的描述性统计

养分	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数	偏度系数	峰度系数	分布类型
有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	4.20	102.47	42.23	13.21	31.27	0.65	1.32	正态
全氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.60	4.33	2.02	0.50	24.80	0.67	1.83	对数正态
全磷/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.35	4.29	1.63	0.70	42.59	0.94	0.96	正态
全钾/(g·kg <sup>-1</sup> )	3.38	51.26	13.67	7.28	53.26	1.67	3.94	对数正态
速效氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	51.74	372.95	161.96	41.01	25.32	0.80	2.81	正态
速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	1.20	217.54	38.45	28.58	74.31	2.08	7.23	对数正态
速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )	62.00	882.89	257.23	124.20	48.28	0.87	1.38	正态

## 2.2 罗平植烟土壤主要养分指标半方差函数结构

分别用不同半方差函数模型对烟区土壤主要养分指标进行拟合,参照文献[18-19]的方法,对不同模型的决定系数和残差平方和进行比较,获得了各指标的最优半方差函数模型及其相关参数(表 3),并绘制了半方差拟合图(图略)。由表 3 和半方差拟合图可知,各指标在变程范围内的点与理论模型曲线十分接近,且决定系数( $R^2$ )在 0.390~0.868,表明选取的模型具有很高的拟合精度,能够较好地反映

土壤养分的空间结构特征。有机质、全磷、速效氮和速效钾符合指数模型,全氮、全钾和速效磷符合球状模型。土壤有机质,全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷和速效钾的块金效应( $C_0/(C_0+C)$ )均在 25%~75%,按照文献[20]的标准评判,罗平植烟土壤养分具有中等的空间相关性,其空间变异是结构性因素和随机性因素共同作用的结果。罗平植烟土壤有机质和主要养分的变程仅为 0.01~0.17 km,表明其空间自相关范围较小。

表3 土壤主要养分含量半方差函数模型及其插值精度

指标	模型	块金值 $C_0$	基台值 $C_0+C$	块金效应/ %	变程/km	$R^2$	RSS	插值精度	
								RMSSE	MSE
有机质	指数模型	75.44	264.08	28.57	0.01	0.474	1.39E+3	0.887 3	0.008 9
全氮	球状模型	0.08	0.31	26.11	0.03	0.502	2.76E-3	0.970 7	0.003 5
全磷	指数模型	0.24	0.49	48.82	0.13	0.868	6.99E-3	0.943 2	0.001 1
全钾	球状模型	19.92	60.40	32.98	0.17	0.816	4.88E+2	1.037 0	-0.001 3
速效氮	指数模型	523.88	1 963.28	26.68	0.01	0.390	1.64E+5	0.979 6	-0.000 7
速效磷	球状模型	286.92	803.86	35.69	0.12	0.580	6.97E+4	0.942 4	0.007 1
速效钾	指数模型	3 954.90	15 702.90	25.19	0.01	0.779	3.96E+6	0.977 8	-0.004 3

块金效应为 $C_0/(C_0+C)$ ;RMSSE为标准化均方根误差;MSE为标准化平均误差。

## 2.3 罗平植烟土壤主要养分指标空间丰缺格局

根据计算得到的半方差函数模型,利用普通Kriging 最优内插法,绘制了罗平植烟土壤有机质含量和主要养分空间分布图(图 2 和图 3)。利用 ArcGIS 软件的统计模块对空间分布图进行面积统计,得到植烟土壤养分等级面积比例。

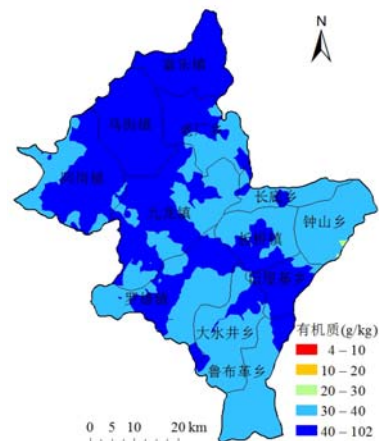


图2 罗平植烟土壤有机质含量的空间分布

Fig.2 Spatial distribution of soil organic matter content in Luoping tobacco-growing area

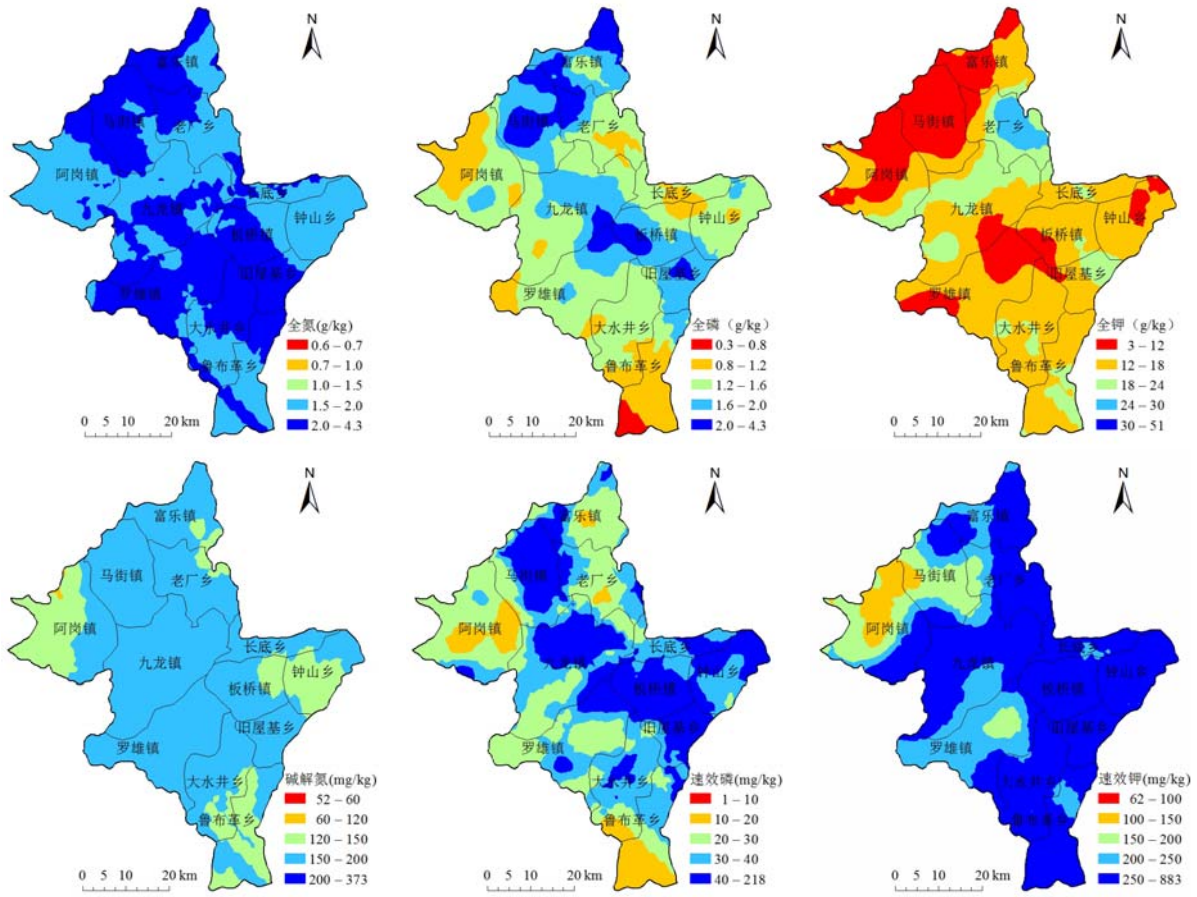


图3 罗平植烟土壤主要养分的空间分布

Fig.3 Spatial distribution of soil main nutrients in Luoping tobacco-growing area

植烟土壤养分空间差异性显著，不同含量等级区域差异明显，不同养分的空间分布规律不一。罗平植烟土壤有机质含量空间分布呈西高东低、北高南低的趋势，大部分区域有机质含量在 30 g/kg 以上，其中有机质含量大于 40 g/kg 的植烟土壤面积比例高达 52.27%，主要集中分布在西北部，在其他区域也有分散分布，覆盖了马街镇和富乐镇的全部，以及阿岗镇、九龙镇和旧屋基乡的大部；有机质含量为 30~40 g/kg 的植烟面积比例达 47.71%，主要分布在东北部和南部，覆盖了老厂乡、长底乡、钟山乡罗雄镇和大水井乡的大部。土壤全氮空间分布规律不明显，所有区域全氮含量均在 1.5 g/kg 以上，其中 >2 g/kg 的植烟面积比例高达 51.39%，主要分布在西北部和中南部地区，覆盖了马街镇、板富乐镇、罗雄镇、板桥镇和旧屋基乡的大部；全氮含量为 1.5~2.0 g/kg 的植烟面积比例为 48.61%，与 >2 g/kg 的斑块交错分布，覆盖了阿岗镇、老厂乡和钟山乡的大部。土壤全磷空间分布无明显规律性，大部分区域全磷含量在 1.2 g/kg 以上，其中 >2 g/kg

的植烟面积比例为 11.00%，主要分布在马街镇、富乐镇和老厂乡，全磷含量为 1.6~2.0 g/kg 的植烟面积比例为 25.64%，在多个乡镇均有分散分布，1.2~1.6 g/kg 的植烟面积比例为 46.59%，广泛分布在各个乡镇，0.8~1.2 g/kg 和 <0.8 g/kg 的植烟面积比例分别为 15.73% 和 1.04%，零星分布在多个乡镇。土壤全钾含量空间分布规律不明显，大部分区域全钾含量低于 18 g/kg，其中 12~18 g/kg 的植烟耕地面积比例为 54.26%，主要分布在富乐镇、马街镇、阿岗镇和罗雄镇，<12 g/kg 的植烟面积比例为 27.13%，主要分布在九龙镇以南的各个乡镇；18~24 g/kg 和 24~30 g/kg 的植烟面积比例分别为 15.83% 和 2.78%，主要分布在老厂乡和九龙镇。土壤速效氮空间分布格局较为简单，大部分区域速效氮含量在 120 mg/kg 以上，其中 >150 mg/kg 的植烟面积比例高达 79.84%，几乎覆盖除阿岗镇和钟山乡以外的所有区域；120~150 mg/kg 的植烟面积比例为 20.07%，覆盖了阿岗镇、钟山乡的大部。土壤速效磷空间分布无明显规律，呈斑块状穿插分布，含量 20~30 mg/kg

的植烟面积比例达 30.39%，主要分布在阿岗镇、罗雄镇、九龙镇、富乐镇和老厂乡；速效磷含量 30~40 mg/kg 的植烟面积比例达 31.94%，零落分布在各个乡镇；>40 mg/kg 的植烟面积比例达 29.79%，主要分布在马街镇、九龙镇、板桥镇和旧屋基乡；<20 mg/kg 的植烟耕地仅零星分布在几个乡镇。罗平植烟土壤速效钾含量空间分布规律不明显，速效钾含量>200 mg/kg 的植烟面积比例最大，达 85.70%，覆盖了除马街镇和阿岗镇以外的绝大部分区域；150~200 mg/kg 和 100~150 mg/kg 的植烟面积比例分别为 10.17%和 4.13%，主要分布在阿岗镇、马街镇和罗雄镇。

### 3 结论与讨论

罗平植烟土壤有机质、全氮、碱解氮和速效钾丰富，全磷含量中等，速效磷较丰富，各指标均表现为中等程度的变异。罗平植烟土壤主要养分块金效应均在 25%~75%，说明其具有中等的空间相关性，空间变异是结构性因素和随机因素共同作用的结果。

罗平烟区 52.27%面积的土壤有机质含量过高(>40 g/kg)，这可能与烟区长期种植养地作物油菜有关，针对这部分植烟区域应适当减少油菜秸秆还田量，同时控制氮肥投入；罗平烟区分别有 51.39% 和 79.84%的土壤全氮和速效氮含量高于适宜水平，可能与当地油菜秸秆还田量大及氮肥投入过量有关，针对这部分区域应因地制宜控制氮肥用量；罗平烟区土壤全磷含量中等，速效磷丰富，土壤基本可以满足烤烟生产需求，但 29.79%的土壤速效磷含量超过 40 mg/kg，针对这部分区域应适当控制磷肥用量，减少土壤磷风险；罗平烟区 27.13%的土壤全钾含量在 12 g/kg 以下，偏低 85.70%的土壤速效钾含量在 200 mg/kg 以上，土壤钾素水平基本可以满足优质烟叶生产需求，这部分区域维持目前的钾素投入水平即可，对少量土壤速效钾含量低于 150 mg/kg 区域，可以适当增施钾肥。综上，罗平烟区养分管理应遵循“控氮、稳磷、增钾”的原则。

#### 参考文献:

- [1] 曹志洪. 优质烤烟生产的土壤与施肥[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1991.
- [2] 李强, 周冀衡, 杨荣生, 等. 曲靖植烟土壤养分空间变异及土壤肥力适宜性评价[J]. 应用生态学报, 2011,

22(4): 950-956.

- [3] 陈建军, 邹勇, 李福君, 等. 粤北始兴烟区植烟土壤养分状况分析[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(6): 60-64.
- [4] 匡传富, 周国生, 邓正平, 等. 湖南郴州烟区土壤养分状况分析[J]. 中国烟草科学, 2010, 31(3): 33-37.
- [5] 谭智勇, 周冀衡, 王超, 等. 云南保山市植烟土壤养分含量及肥力适应性评价[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2013, 39(3): 429-433.
- [6] 化党领, 魏修彬, 郑文冉, 等. 坡耕地植烟土壤养分资源特征及适宜性综合评价[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6): 81-86.
- [7] 武德传, 罗红香, 宋泽民, 等. 黔南山地植烟土壤主要养分空间变异和管理分区[J]. 应用生态学报, 2014, 25(6): 1701-1707.
- [8] 刘国顺, 江厚龙, 杨永锋, 等. 基于烤烟品质确定烟田的养分管理分区[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 996-1004.
- [9] 张春华, 张正杨, 刘国顺, 等. 植烟土壤有效态微量元素空间变异特征[J]. 土壤, 2010, 42(1): 20-25.
- [10] 秦建成, 罗云云, 魏朝富, 等. 基于 ArcGIS 的彭水县烟区土壤有效态微量元素丰缺评价[J]. 土壤学报, 2006, 43(6): 892-897.
- [11] 庞凤, 李廷轩, 王永东, 等. 县域农田土壤铜、锌、铬含量空间变异特征及其影响因子分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(4): 737-743.
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [13] 陈江华, 刘建利, 李志宏, 等. 中国植烟土壤及烟草养分综合管理[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 151-237.
- [14] 云南省烟草公司曲靖市公司, 曲靖烤烟综合标准[S].
- [15] 郝黎仁, 攀元, 郝哲欧. SPSS实用统计分析[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002: 110-135.
- [16] 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.
- [17] 吴秀芹, 张洪岩, 李瑞改, 等. ArcGIS9地理信息系统应用与实践: 下册[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 463-517.
- [18] Baxter S J, Oliver M A, Gaunt J. A geostatistical analysis of the spatial variation of soil mineral nitrogen and potentially available nitrogen within an arable field[J]. Precision Agriculture, 2003(4): 213-226.
- [19] 苑小勇, 黄元仿, 高如泰, 等. 北京市平谷区农用地土壤有机质空间变异特征[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 70-76.
- [20] 郑海龙, 陈杰, 邓文靖, 等. 城市边缘带土壤重金属空间变异及其污染评价[J]. 土壤学报, 2006, 43(1): 39-45.

责任编辑: 罗慧敏  
英文编辑: 罗维