

基于“3S”的广西典型岩溶区土壤厚度空间格局研究

尹辉¹, 李晖^{2,3}, 蒋忠诚³, 杨奇勇³

(1. 惠州学院 旅游系, 广东 惠州 516007; 2. 广西师范大学 环境与资源学院, 广西 桂林 541004; 3. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004)

摘 要:运用地统计学与 GIS 技术,将室内布点和实地监测相结合,对广西典型岩溶区果化示范区土壤厚度的空间格局进行了研究。结果表明:果化示范区土壤厚度的空间分布存在正向的全局空间自相关,其空间自相关尺度为 2 200 m。土壤厚度以“低—低”型空间集聚为主要分布类型,其空间结构在 1~2 200 m 区间内为空间集聚;而在 2 200~2 800 m 区间内为空间孤立。土壤厚度的半方差函数模型符合球状模型,最小空间变程为 500.0 m,该变程可作为区内土壤厚度样点间隔的布设依据。土壤厚度空间分布不均匀,主要呈条带状、弧状和少量斑状分布,分布梯度较为明显。本研究可为果化示范区及相似岩溶峰丛洼地的农业生产、石漠化治理和生态重建提供参考。

关键词:土壤;厚度;空间自相关;空间变异;典型岩溶区

中图分类号:S159

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)06-0025-05

Study on Spatial Pattern of Soil Thickness in Typical Karst Area in Guangxi Based on ‘3S’ Technology

YIN Hui¹, LI Hui^{2,3}, JIANG Zhong-cheng³, YANG Qi-yong³

(1. Tourism Department, Huizhou University, Huizhou, Guangdong 516007, China; 2. College of Environment & Resources, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541004, China; 3. Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: By using geo-statistics and GIS, combining indoor sampling point distribution and field monitoring of soil thickness in typical karst area of Guohua demonstration zone in Guangxi, the spatial pattern characteristics of soil thickness were studied. The results showed that the spatial distribution of soil thickness showed obviously positive global spatial autocorrelation. The spatial autocorrelation distance of soil thickness was 2 200 m. The ‘low-low’ spatial agglomeration was the main spatial distribution type, showing two types of spatial structures: the one was spatial agglomeration between 1 m to 2 200 m in spatial distances, the other was spatial isolation between 2 200 m to 2 800 m in spatial distances. Soil thickness of the semivariance function models was well in accord with spherical model. The minimum spatial variable scale of soil thickness was nearly 500.0 m, which could be served as the best interval of soil thickness for sampling point distribution in Guohua demonstration zone. The soil thickness showed uneven banded, arc-shaped and small amounts of porphyritic distribution, and the gradient distribution was obvious. This paper is of great theory and reference significance to guide agricultural production, to manage desertification, and to reconstruct the ecology in typical karst peak cluster-depressions of Guohua demonstration zone and other similar karst areas.

Key words: soil; thickness; spatial autocorrelation; spatial variability; typical karst area

岩溶区土壤具有成土慢、易流失、土层薄且分布不连续等特点^[1]。受自然环境和人类活动的影响,我

国西南岩溶区的石漠化现象较为严重^[2-4]。在脆弱的岩溶生态环境中,土层厚度是岩溶区石漠化的主要评

收稿日期:2013-12-02

修回日期:2014-02-04

资助项目:国家科技支撑计划(2010BAE00739-02);广西自然科学基金资助项目(2013GXNSFBA019222);岩溶所所控项目(121237128100212);桂林市科学研究与技术开发项目(20110120-6,20120122-2,20120125-1);广西师范大学教育发展基金会教师成长基金(JS2012009, JS2012012);广西教育厅科研项目(201106LX070、201203YB028,2013YB040);惠州学院博士科研启动项目(C513.0206)

作者简介:尹辉(1983—),男,广西桂林人,讲师,博士,主要研究方向为土壤、生态和“3S技术”。E-mail:yinhui741852963@163.com

通信作者:李晖(1981—),男,河南南阳人,副教授,博士,主要从事水文水资源与生态环境等方面的研究。E-mail:lh1029@126.com

估指标之一^[5]。近年来,土壤厚度空间格局的相关研究已受到越来越多学者的高度重视。王绍强等^[6]基于地统计学和 GIS 技术,对我国土壤土层厚度的空间变异特征进行了分析;刘宪春^[7]以野外采样调查为依据,辅以统计学和 GIS 技术,从不同角度探讨了东北漫岗黑土层厚度、土体厚度等土壤指标的空间变化规律;谢运杰等^[8]运用 GIS 技术,对黑龙江典型土壤有效土壤厚度进行了实地调研;曾宪勤等^[9]运用插钎法,对北京市密云县山区坡面土壤厚度的空间分布规律进行了调查分析,并对土壤厚度与海拔、坡向等的关系进行了探索;尹亮^[10]运用经典统计学与地统计学相结合的方法,对贵州省金沙县乌箐河小流域土壤厚度的空间变异及其分布格局进行了研究。纵观土壤厚度空间格局的相关研究成果,在研究方法上已由传统的量化统计转向基于“3S”技术的地统计学与经典统计学相结合的空间研究,在技术手段与监测精度上有了质的飞跃。而较其它土壤理化指标的空间格局研究而言,土壤厚度空间格局的相关研究仍较为薄弱,特别是对于土壤浅薄、作物单产低、生态环境脆弱的岩溶区,缺乏从土壤厚度空间关联与空间异质到样点布设尺度的系统性研究。而作为岩溶区重要生态环境因子之一的土壤厚度,相关科学问题的提出与实地监测工作的开展,可为区域性农业生产、石漠化治理和生态重建提供科学依据。据此,本文以典型岩溶峰丛洼地——果化示范区为例,从岩溶区土层厚度的空间自相关和空间变异两个角度,系统性地探讨土壤厚度的空间格局,希冀为相似研究区的土壤厚度空间格局评估工作提供借鉴与参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

果化示范区是我国“十五”科技攻关课题“喀斯特峰丛洼地生态重建技术与示范”和“十一五”科技支撑计划课题“喀斯特峰丛洼地脆弱生态系统重建技术研究”的石漠化治理与生态重建,以及立体农业生态模式综合示范区。果化示范区始建于 2001 年,位于广西百色市平果县果化镇,主要为距果化镇 5 km 处的龙何屯、布尧屯和陇尧屯及其各自的耕作区,地理坐标为 23°22′28.7″—23°23′40.7″N,107°22′40.8″—107°23′56.9″E,总监测面积约为 2.71 km²。示范区属典型峰丛洼地,海拔为 176.4~535.0 m,地处区域构造龙味背斜北翼,北西向断裂发育,出露的地层主要为石炭系上统(C₃)和二叠系下统(P₁)。示范区属于亚热带季风性气候,年均气温约为 21℃,区内总体降水量丰富,年均降水量多达 1 322.3 mm,但时间分

配不均,降水年内变化较大。示范区土壤以岩溶石灰土为主,主要发育棕色石灰土和黄棕色石灰土。示范区几乎不存在园地、牧草地和地表水域,土地利用类型以种植玉米、黄豆的旱作坡耕地为主,植被类型主要为稀疏林地、灌丛和低矮灌草,绝大多数植物是阳生灌木和草本种类,如红背山麻杆(*Alchornea trewoides*)、黄荆条(*Vitex negundo* Linn)、灰毛浆果楝(*Cipadessa cinerascens*)、类芦(*Neyraudia reynaudiana*)、青香茅(*Gramineae*)、蔓生秀竹(*Microstenium vagans*)等。

1.2 图件来源与处理

平果果化示范区的主要图件有:果化自然屯区划图、1:1 万 5 m 等高距地形图、地质图、2009 年 9 月的 alos 高分辨率遥感影像(全色 2.5 m 分辨率,多光谱 10 m 分辨率)。以 ArcGIS 9.3 为操作平台,完成果化自然屯区划图和 1:1 万地形图的空间配准和矢量化,生成数字化高程图(DEM)、坡度图等图件;运用 Envi 4.8 遥感软件,对 alos 影像进行辐射定标、大气校正、正射校正、影像融合、影像裁剪等处理,为果化示范区土壤厚度的空间布点作准备。

1.3 样点选取与实地监测

将上述专题数据提取到 ArcGIS 9.3 空间处理平台,运用投影转换工具,将各图层的空间参考转换为高斯—克吕格投影坐标系下的“Beijing_1954_3_Degree_GK_Zone_36”北京 54 投影坐标系,按照标准格网进行均匀布点,并将准采样点的坐标输入 GPS,于 2011 年 9—10 月进行样点定位和监测。实际监测过程中,对于待测样点落在难以到达的险峰、深谷、陡密树林深处等区域,在待测样点 5~50 m 内进行调整,并用 GPS 记下实际监测样点的坐标,如不能调整,则该监测样点剔除。遵照这个原则共得到图 1 所示的有效监测样点 191 个(各样点的平均间距约为 120 m,样点密度约为 70 个/km²)。

野外实地监测应用 GPS 的精确定位技术,依据土壤样点的地理坐标,采取野外实地定位方法进行土壤剖面的调查。由于岩溶区土壤较为浅薄,每个土壤剖面均挖取至基岩可见为止。对于土壤厚度不足 0.5 m 的土壤样点,用卷尺量取土层厚度,对于土壤厚度大于 0.5 m 的土壤样点,在已挖取土壤剖面的基础上,将铁钎插入与基岩接触的土层底部,用皮尺零刻度按压在与土壤表层接触的铁钎部位,抽出铁钎,将皮尺的另一端拉直,量测插入土壤的铁钎长度值,作为该样点的土壤厚度。同一土壤样点,重复 3 次测量,将 3 次测量所得的土壤厚度均值填入土壤样点剖面调查表,作为土壤厚度空间分析的基础数据源。

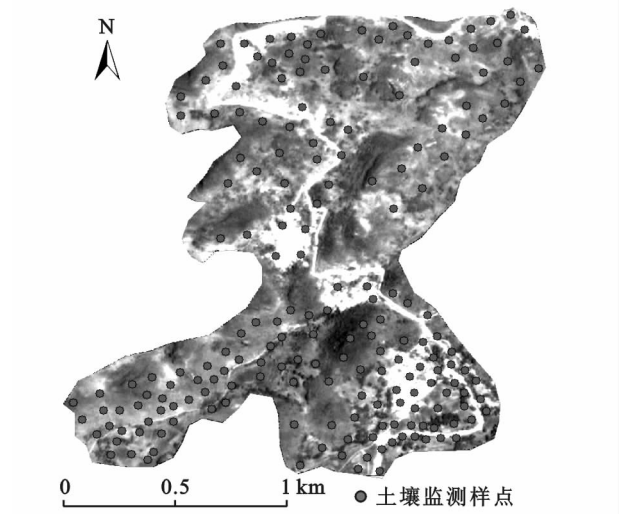


图 1 果化示范区土壤样点布设图

1.4 数据处理与分析

首先,将野外实地监测的每一个土壤样点的地理坐标、土壤厚度值和空间环境信息输入 Excel 中,导入 ArcGIS 9.3 并定义为 WGS 1984 投影坐标系,生成 shp 格式的土壤厚度样点布设图(图 1),并运用 ArcGIS 9.3 的投影转换工具,将 shp 文件的 WGS 1984 坐标系转为“Beijing_1954_3_Degree_GK_Zone_36”北京 54 投影坐标系。然后,将投影转换后的 shp 文件,导入空间自相关软件 Geoda 9.2 完成土壤厚度空间权重矩阵、Moran's I 指数和空间自相关性的计算,得到土壤厚度 Moran 散点图、土壤厚度 Moran's I 指数图、土壤厚度空间自相关和 Lisa 显著性水平分布图;再将 shp 文件的属性信息导入地统计学软件 GS⁺ 7.0,得到土壤厚度半方差函数图,并拟合出最优变异函数模型,得到相应的块金值(C_0)、基台值(Sill)、变程(m)等主要参数;最后,打开 ArcGIS 9.3 的地统计模块,参照 GS⁺ 7.0 已模拟的模型参数,完成 shp 格式土壤厚度的空间插值,并根据示范区边界,在 ArcGIS 9.3 出图界面输出土壤厚空间分布图。

2 结果与分析

2.1 土壤厚度的空间自相关格局

2.1.1 土壤厚度的全局空间自相关性 由图 2 可知,示范区土壤厚度的 Moran 指数为正向的空间关联,表明土壤厚度的空间分布存在正向的全局空间自相关。土壤厚度样点多数位于第三象限,属于“低—低”型空间集聚类型,表明多数土壤厚度的低值区为附近的低值区所包围。从土壤厚度的高、低值空间集聚结构来看,“低—低”型空间集聚较为集中,而“高—高”型空间集聚则较为分散。

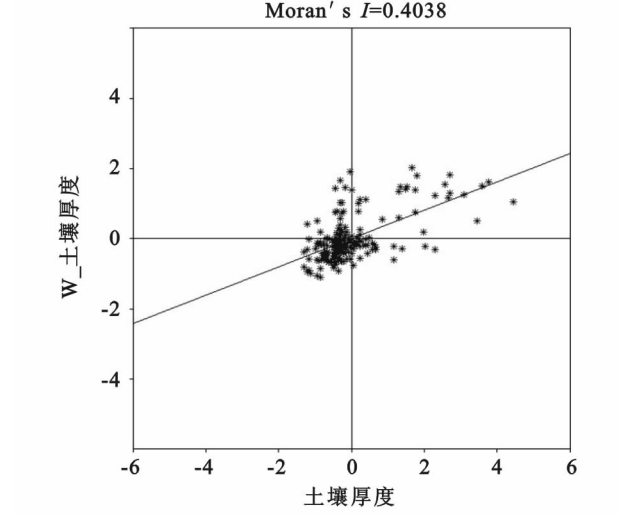


图 2 土壤厚度 Moran 散点图

图 3 表明,示范区土壤厚度的 Moran's I 标准化指数在 1~2 200 m 区间内为正值,表明土壤厚度的空间结构在 1~2 200 m 区间内为空间集聚;而土壤厚度的 Moran's I 标准化指数在 2 200~2 800 m 区间内为负值,表明土壤厚度的空间结构在 2 200~2 800 m 区间内为空间孤立,从而得到示范区土壤厚度的空间自相关尺度为 2 200 m。

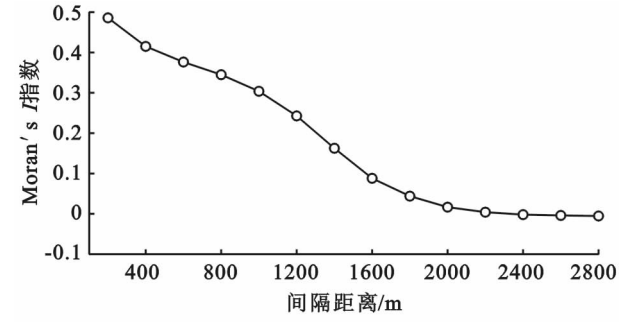


图 3 土壤厚度间隔距离与 Moran's I 指数

2.1.2 土壤厚度的局部空间自相关性 图 4 可见,示范区土壤厚度的空间分布存在明显的空间集聚区:龙何耕作区北部的土壤厚度呈现出“高一高”型空间集聚区;陇尧西部的土壤厚度呈现出“低—低”型的空间集聚区;土壤厚度空间分布的“高一低”型和“低—高”型空间孤立区较少,其中,土壤厚度的“高一低”型空间孤立区主要分布在“低—低”型空间集聚区附近,而“低—高”型空间孤立区则主要伴随“高一高”型空间集聚区出现。

2.2 土壤厚度的空间分布格局

表 1 可见,示范区土壤厚度的半方差函数模型符合球状模型,其决定系数 R^2 为 0.641,拟合残差仅为 0.009,说明土壤厚度半方差函数模型的拟合效果较好,能够反映示范区土壤厚度的空间结构特征。示范区土壤厚度的 C_0 /Sill 值为 26.84 之间(表 1),表明

示范区土壤厚度约 25% 的变异性是由空间随机部分引起的,而约 75% 的变异性是由土壤厚度的结构性

变异引起的,其空间结构具有中等强度的空间自相关。

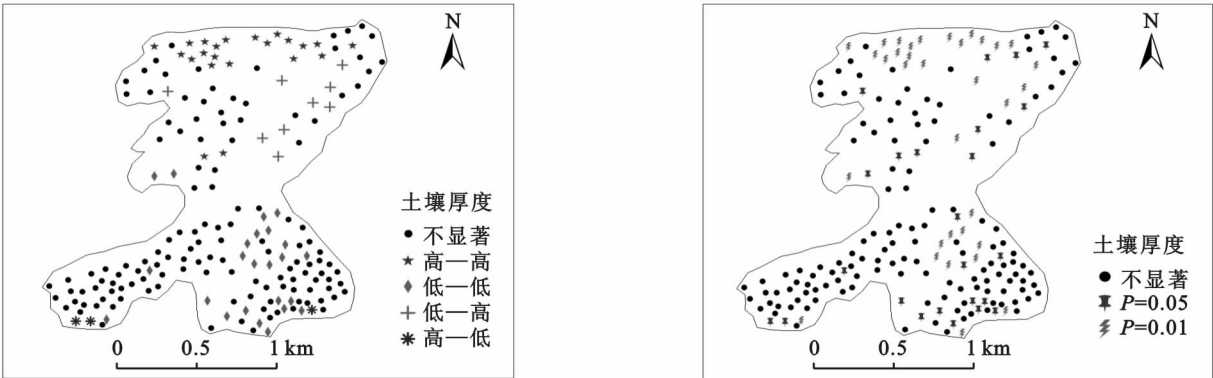


图 4 土壤厚度区域空间关联和 Lisa 显著性水平分布

表 1 土壤厚度的半方差变异函数

土壤指标	模型	块金值 C_0	基台值 Sill	C_0/Sill	变程/m	R^2	残差 RSS
土壤厚度	球状	0.051	0.190	26.84	490.0	0.641	0.009

从图 5 所示的土壤厚度空间插值结果可知,示范区土壤厚度的空间分布不均,主要呈条带状、弧状和少量斑状分布,梯度分布较为明显。土壤厚度的空间集聚结构主要表现为:龙何耕作区的北部呈现出高值区空间集聚;陇尧屯的中、西部地区则呈现出低值区空间集聚。从屯落尺度的土壤厚度集聚中心来看,龙何耕作区北部高值区的空间集聚较为明显,但因龙何屯以北的区域被道路和峰丛隔断,难以形成完整的闭合型集聚中心;龙何屯北部、布尧屯南部和陇尧屯东南部呈现出次一级的高值集聚中心,而陇尧中偏北的山峰区域则呈现出低值集聚中心。

尧屯的实地调查来看,布尧屯和陇尧屯的土壤厚度主要与地形条件直接相关:地势较为低平的屯落附近,以及各屯落耕作区的平整区域和低洼地段,土壤厚度相对较大;而山体高度、坡度较大的地段和岩石裸露率较高的区块,土壤厚度相对较薄。

2.3 土壤厚度的合理取样间隔

与经典统计学方法相比,地统计学方法在样点的空间布局、取样形状、布局方式和取样设计的有效性等方面更具优势。因而,在确保土壤厚度研究精度的前提下,确定示范区土壤厚度的合理取样间隔,除考虑土壤厚度的统计学特征以外还要考虑其空间结构特性。一般而言,空间变程决定了取样间隔的大小,其变程越大,取样间隔可相应加大,其取样密度可渐趋稀疏,取样数目可相应减少,从而降低了土壤取样所需的人力、物力和财力损耗。由半方差函数模拟的变异参数可知,若进行较大尺度的土壤厚度空间监测,土壤厚度的最小空间变程即为土壤空间监测样点的最适取样间隔。由表 1 可见,示范区土壤厚度的最小空间变程 490.0 m(约 500.0 m),可作为区内土壤样点间隔的布设依据。

3 结论与讨论

空间自相关分析表明,果化示范区土壤厚度的空间分布存在正向的全局空间自相关,其空间自相关尺度为 2 200 m;半方差函数分析表明:果化示范区土壤厚度变异性为 26.84% 的结构性变异,属于中等强度的空间自相关。空间插值分析表明,果化示范区土壤厚度空间分布不均,主要呈条带状、弧状和少量斑状分布,分布梯度较为明显。其中,龙何耕作区的北部

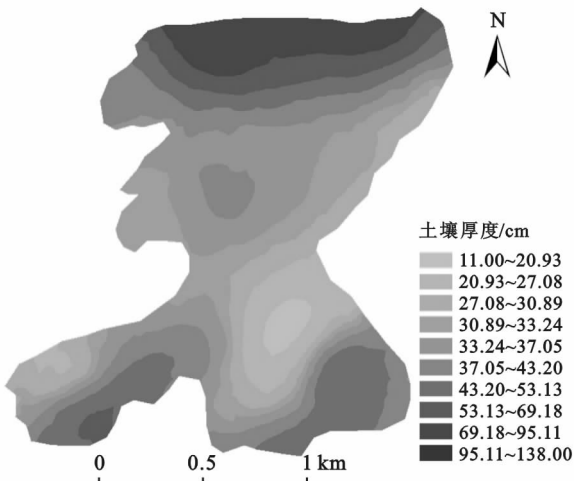


图 5 土壤厚度空间插值

从土壤厚度分布来看,龙何屯及其耕作区的土壤厚度略高于布尧屯和陇尧屯,主要与龙何屯开展过较大规模的土地整理有关,龙何屯的土地整理工作从坡改梯、平整土地、土壤改造以及相应的农业措施着手,实现了龙何屯保土增厚的预期效果。从布尧屯和陇

呈现出高值区空间集聚;陇尧屯的中、西部地区则呈现出低值区空间集聚。

相关研究表明,典型岩溶区的土壤理化指标空间变异较大^[11-13],若直接进行大尺度的区域高密度取样,势必会产生极大的人力、物力和财力消耗;而大尺度的低密度取样,又难免会因监测样点数量的不够而影响其研究精度^[14]。可见,探讨土壤样点的布设尺度是急待系统研究的科学问题。针对土壤理化指标的合理取样,在考虑土壤指标统计特征的同时,还应考虑其空间结构性,特别应结合地统计学中的空间变程来决定土壤样点的取样间隔,以明确取样形状和布局方式,制定出合理高效的取样方案。本文在土壤厚度空间尺度的研究方面,将微尺度、高密度的室内布点和小区域实地监测相结合,应用地统计学与 GIS 技术,探索空间异质性较大的岩溶区土壤厚度最适取样间隔:本研究表明,示范区土壤厚度的最小空间变程约为 500.0 m,该变程可作为区内土壤厚度样点间隔的布设依据,相关研究方法可为相似研究区土壤理化指标样点的空间布设、空间自相关和空间变异研究提供科学借鉴。

参考文献:

[1] 黄金国,魏兴琥,王兮之.粤北岩溶山区土地石漠化成因及其生态经济治理模式[J].水土保持研究,2013,20(4):105-109.

[2] 赖长鸿,覃家作,张文,等.四川省石漠化敏感性评价及其空间分布特征[J].水土保持研究,2013,20(4):99-

104.

[3] 于晨曦,陈浒,熊康宁.喀斯特峡谷区干旱灾害下的水资源工程性保障研究:以花江石漠化综合示范区顶坛小流域为例[J].水土保持研究,2013,20(3):305-309.

[4] 张凤太,张军以,苏维词.喀斯特峰丛洼地农业生产活动的景观效应初探[J].水土保持研究,2012,19(4):191-195.

[5] 尹辉.我国西南典型喀斯特峰丛洼地土壤理化特征研究[D].北京:中国地质科学院,2012.

[6] 王绍强,朱松丽,周成虎.中国土壤土层厚度的空间变异性特征[J].地理研究,2001,20(2):161-167.

[7] 刘宪春.东北漫岗黑土壤厚度空间分布规律研究[D].北京:北京师范大学,2005.

[8] 解运杰,刘凤飞,白建宏,等.基于 GIS 技术的黑龙江省典型土壤有效土层厚度调查研究[J].水土保持研究,2005,12(6):251-253.

[9] 曾宪勤,刘宝元,刘瑛娜,等.北方石质山区坡面土壤厚度分布特征:以北京市密云县为例[J].地理研究,2008,27(6):1281-1289.

[10] 尹亮.西南岩溶高原石漠化地区小流域土壤厚度空间分异规律研究[D].长沙:湖南大学,2012.

[11] 尹辉,李晖,蒋忠诚,等.典型岩溶区土壤水分的空间异质性研究[J].江苏农业科学,2013,41(7):332-336.

[12] 刘艳,尹辉,刘炆,等.典型岩溶坡面土壤水分的空间变异研究[J].广东农业科学,2013,40(13):156-160.

[13] 尹辉,李晖,蒋忠诚,等.广西果化岩溶区土壤电导率的空间异质性[J].中国沙漠,2014,34(3):786-794.

[14] 尹辉,蒋忠诚,杨奇勇,等.典型岩溶区土壤 pH 值的空间异质性研究[J].广东农业科学,2013,40(11):48-51.