

# 环境因子对广西典型岩溶区土壤温度空间结构的影响

尹辉<sup>1</sup>, 李晖<sup>2,3</sup>, 蒋忠诚<sup>3</sup>

(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:** [目的] 探索空间异质性较大的岩溶区的土壤温度空间自相关尺度及其空间结构, 分析影响典型岩溶区土壤温度空间结构的主要环境因子。[方法] 应用经典统计学方法与“3S”技术。[结果] 不同深度土壤温度的空间分布均存在高度的正向全局空间自相关和明显的空间聚集区, 各深度土壤温度的空间孤立区分布较少; 影响不同深度土壤温度空间分异的环境因子排序为: 土壤厚度 > 坡度 > 植被覆盖度 > 高程。[结论] 土壤厚度对土壤温度的影响, 实质上是岩溶环境的综合反映。坡度、高程等地形因子是造成土壤逆温结构的主要影响因素。此外, 土壤温度的空间分异还会受到植被覆盖“遮蔽作用”或“保温效应”的影响。

**关键词:** 土壤; 温度; 空间结构; 环境因子; 果化岩溶区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)02-0116-05

中图分类号: S152.7

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2015.02.022

## Effects of Environmental Factors on Spatial Structures of Soil Temperature in Typical Karst Zone of Guangxi Area

YIN Hui<sup>1</sup>, LI Hui<sup>2,3</sup>, JIANG Zhongcheng<sup>3</sup>

(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:** [Objective] This paper aims to demonstrate the spatial autocorrelation and the pattern of soil temperature, and to find the main environmental factors. [Methods] Classical statistics and 3S technology were used. [Results] The spatial distribution of soil temperature in different soil depth showed a general highly positive spatial autocorrelation and had obvious spatial clusters, nearly no spatial isolated distribution was found. The impacting factors of spatial distribution of soil temperature in different soil depth ranked as: soil thickness, slope, vegetation coverage and altitude. [Conclusion] The influence of soil thickness on soil temperature, essentially, is the comprehensive reflection of karst environment. Terrain factors, like slope, elevation and so on, are the main factors influencing soil inversed temperatural structure. In addition, the spatial heterogeneity of soil temperature also been affected by “covering” or “heat preservation effect” of plants.

**Keywords:** soil; temperature; spatial structure; environmental factors; Guohua karst zone

土壤温度是与农业生产和生态环境紧密相关的重要土壤物理性质之一, 其区域特征和空间分异直接影响着土壤水分的运移<sup>[1]</sup>、浅层地表的热状况<sup>[2]</sup>、生态环境<sup>[3]</sup>、生物的空间分布和生长发育<sup>[4]</sup>。土壤温度的空间异质及其影响因素的相关研究, 近年来已得到诸多学者的高度重视<sup>[5-10]</sup>。纵观土壤温度空间结构及其影响因素的相关研究成果, 经典统计学与 3S 技术的应用, 对于土壤温度空间变异、空间分布及相关

格局方面的研究已有了突破性的进展, 但针对典型岩溶区的土壤温度空间变异及分布研究却较少。相关研究<sup>[11-12]</sup>表明, 相对于样方和区域尺度而言, 土壤理化属性在微尺度下存在更大程度的变异。对于土壤理化性质空间变异程度较大的典型岩溶区<sup>[13-15]</sup>, 若直接进行大尺度区域高密度取样, 势必会产生极大的人力、物力和财力消耗; 而低密度取样, 又难免因监测样点数量的不足而影响其研究精度<sup>[16-17]</sup>。可见, 探讨土

收稿日期: 2014-01-07

修回日期: 2014-03-24

资助项目: 广东省青年创新人才类项目“基于 3S 技术的粤北石漠化地区雨水资源化潜力研究”(2014KQNCX212); 广西自然科学基金项目(2013GXNSFBA019222); 岩溶地质研究所所控项目(121237128100212); 惠州学院博士科研启动项目(C513.0206)

第一作者: 尹辉(1983—), 男(汉族), 广西省桂林市人, 博士, 讲师, 主要研究方向为生态恢复、水文和水土保持。E-mail: yinhui741852963@163.com。

通信作者: 李晖(1981—), 男(汉族), 河南省南阳市人, 博士, 副教授, 主要从事岩溶生态、环境监测、3S 技术等方面的研究。E-mail: lh1029@126.com。

壤温度样点布设的空间自相关尺度是亟待系统研究的科学问题。据此,本研究以典型岩溶区广西平果县果化示范区土壤温度为研究对象,将微尺度、高密度的室内布点和小区域实地监测相结合,应用经典统计学与 3S 技术,探索空间异质性较大的岩溶区的土壤温度空间自相关尺度及其空间结构,探寻影响典型岩溶区土壤温度空间结构的主要环境因子,为探讨典型岩溶区土壤温度的样点尺度研究、指导典型岩溶区的农业生产、保障区域土壤资源的可持续利用提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

果化示范区位于广西壮族自治区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  $23^{\circ}22'28.7''$ — $23^{\circ}23'40.7''$ N,  $107^{\circ}22'40.8''$ — $107^{\circ}23'56.9''$ E 之间,总监测面积约为  $2.71 \text{ km}^2$ 。

示范区属于亚热带季风性气候,年均气温约为  $21^{\circ}\text{C}$ ,区内总体降水量丰富,年均降水量多达  $1322.3 \text{ mm}$ ,但时间分配不均,降水年内变化较大。地形地貌属典型峰丛洼地,海拔为  $176.4 \text{ m}$ ~ $535.0 \text{ m}$  之间,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。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、灌丛和矮灌草。

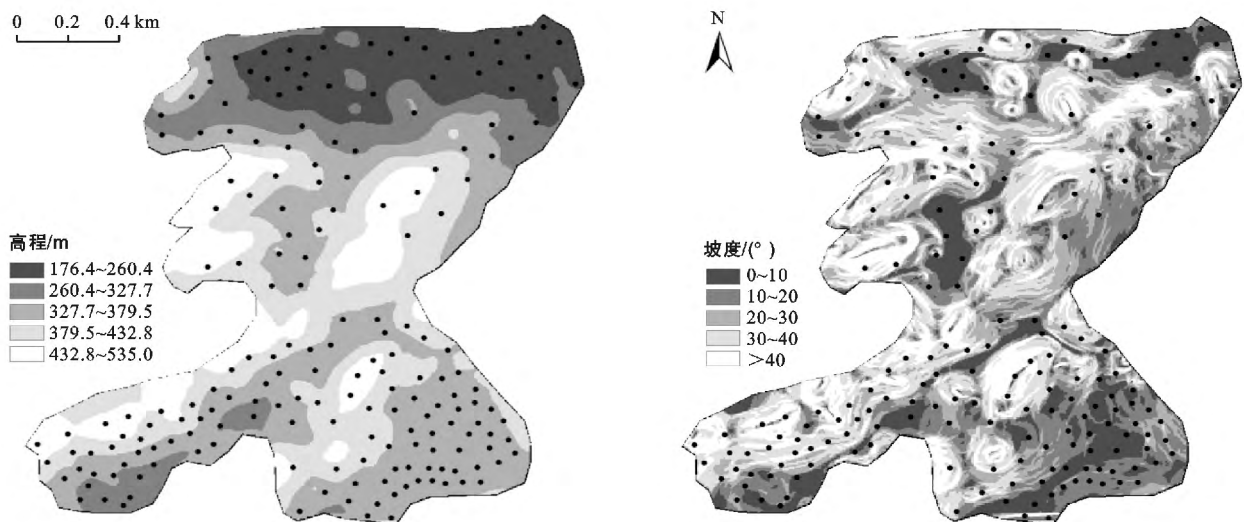


图 1 果化示范区土壤样点布设图

### 1.4 数据处理

1.4.1 空间自相关分析 空间自相关分析包括空间变量的位置及其属性,常用 Moran's  $I$  统计量中的全

### 1.2 图件来源与处理

果化示范区的主要图件包括:果化自然屯区划图、 $1:1 \text{ 万 } 5 \text{ m}$  等高距地形图、2009 年 9 月的 alos 高分辨率遥感影像(全色  $2.5 \text{ m}$  分辨率,多光谱  $10 \text{ m}$  分辨率)。以 ArcGIS 9.3 为操作平台,完成果化自然屯区划图和  $1:1 \text{ 万}$  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,并完成归一化植被指数(NDVI)的计算,为果化示范区土壤温度的空间布点作准备。

### 1.3 样点选取与实地监测

以果化示范区 2009 年 9 月高分辨率遥感影像为依托,完成土壤温度的室内网格布点。考虑到耕作区农作物类型、生长状况和植被覆盖等因素会随季节的变化而变化,将野外实地监测时间定于与示范区高分辨率影像同一季节的 2011 年 9 月。

野外实地监测以室内网格布点为依据,当遇到裸岩或土层浅薄的样点,则在附近  $5\sim 50 \text{ m}$  内进行调整;若不能调整,则剔除该监测样点,最终得到实际监测样点 191 个(图 1),各样点的平均间距约为  $120 \text{ m}$ ,样点密度约为  $70 \text{ 个}/\text{km}^2$ 。每个土壤样点均挖取土壤剖面( $0\sim 5 \text{ cm}$ ,  $5\sim 10 \text{ cm}$ ,  $10\sim 20 \text{ cm}$  和  $20\sim 30 \text{ cm}$ ),用校正后的土壤三参数仪监测各土层的土壤温度(各土层均测量 3 次),以土壤温度均值作为空间结构分析的基础数据源。

局空间自相关和局部空间自相关来表示。其中,全局 Moran's  $I$  系数可定量描述研究变量在空间上的自相关程度,判断区域化变量在研究区内是否存在空间

聚集区和空间孤立区,其计算公式为:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式中: $n$ ——参与分析的土壤样品数目; $x_i, x_j$ ——样品  $i$  和样品  $j$  的观测值; $\bar{x}$ ——所有样品观测值的平均值; $w_{ij}$ ——空间权重矩阵值,当  $i=j$  时表示为自权重,自权重定义为 0。

局部 Moran's  $I$  系数  $I_i$  的计算公式为:

$$I_i = \frac{n(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

1.4.2 基于区间统计的方差分析 首先,将不同深度土壤样点图层与示范区高程图层、坡度图层、土壤

厚度图层和植被覆盖度图层导入 ArcGIS 9.3,基于上述图层的空间属性叠加功能,提取不同深度土壤样点的高程值、坡度值、土壤厚度值和植被覆盖度等环境信息,完成各环境背景下不同深度土壤温度的分区统计;然后,运用 SPSS 18.0 单因素方差分析模块,比较不同环境背景下各深度土壤温度均值的差异并进行显著性检验,以此来判别各环境因子对影响土壤温度空间分异的贡献率排序,从而找出影响各深度土壤温度的主要环境因子。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤温度的空间结构

果化岩溶示范区不同深度土壤温度的全局空间自相关主要表现为 Moran 指数为正向的空间关联(图 2)。

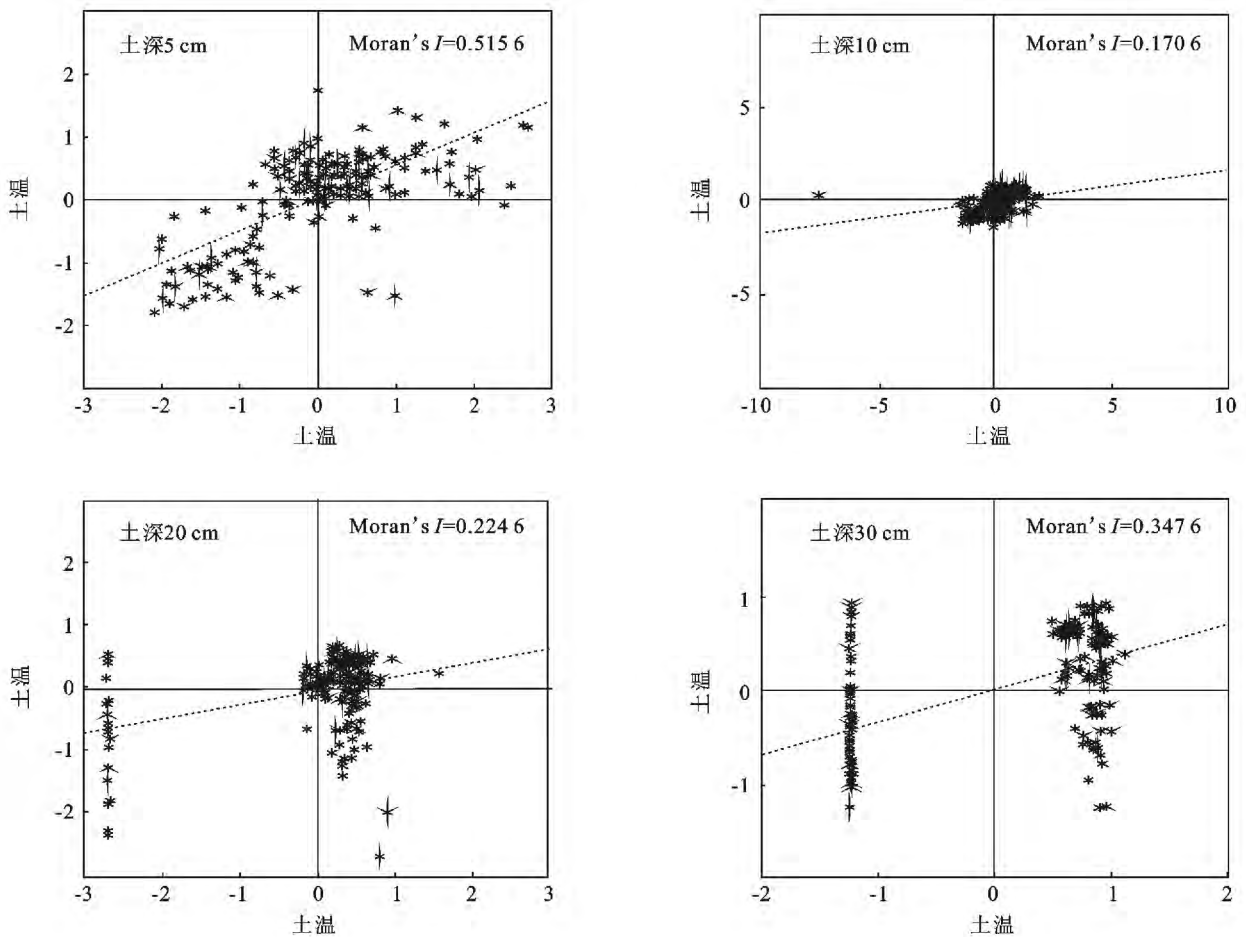


图 2 不同深度土壤温度的 Moran 散点图

表明不同深度土壤温度的空间分布均表现出空间相似值之间的空间聚集,且随土壤深度的变化而呈现出明显的垂直分异。其中,不同深度土壤温度样点多数位于“高一高”集聚和“低—低”集聚类型的第 1 象限和第 3 象限内;少数土壤温度样点位于第 2 象限和第 4 象限内,属于“低—高”集聚和“高一低”集聚类型。不同深度土壤温度的空间孤立分布相对较少,

“高一低”空间孤立区主要分布在“低—低”空间聚集区附近,而“低—高”空间孤立区则伴随“高一高”空间聚集区出现。

由 Moran's  $I$  指数为正值时的最大间隔距离,即为土壤温度指标的空间自相关尺度,得到 5,10,20 和 30 cm 深度的土壤温度空间自相关尺度分别为 1 800, 1 400,600 和 2 000 m(图 3)。

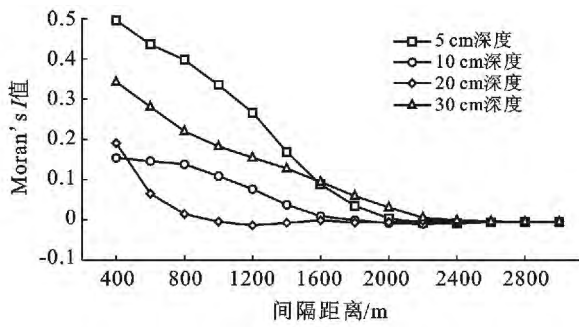


图 3 不同深度土壤温度间隔距离与 Moran's I 指数

## 2.2 土壤温度空间变异的影响因素

2.2.1 不同环境背景对土壤温度的影响 从表1—4可以看出,不同深度土壤温度在总体上随土壤厚度的增加而减小,却随高程的增加而增加;不同深度土壤温度随土壤坡度的影响较为明显,但未呈现出明显的变化规律;不同深度土壤温度随植被覆盖度的影响较为复杂,相对于植被覆盖度偏低或偏高的区域而言,40%~60%植被覆盖条件下的土壤温度偏低。

表 1 不同高程下的土壤温度

土层深度/ cm	不同高程下的土壤温度/℃				
	176.4~260.5 m	260.5~327.7 m	327.7~379.5 m	379.5~432.8 m	432.8~535.0 m
5	26.19	26.89	27.44	27.82	27.10
10	26.40	26.41	26.88	26.56	27.00
20	25.84	26.53	27.18	26.81	27.53
30	26.78	26.67	26.80	26.50	27.14

表 2 不同坡度下的土壤温度

土层 深度/cm	不同坡度下的土壤温度/℃				
	0°~10°	10°~20°	20°~30°	30°~40°	>40°
5	27.81	26.88	27.55	26.76	27.49
10	27.67	26.64	26.10	25.94	27.36
20	26.19	23.22	24.16	22.50	23.50
30	26.22	26.43	26.78	26.51	26.89

表 3 不同土壤厚度下的土壤温度

土层 深度/cm	不同土壤厚度下的土壤温度/℃			
	0~15 cm	15~30 cm	30~45 cm	>45 cm
5	28.26	28.28	26.57	26.59
10	28.04	27.96	26.41	26.28
20		29.90	26.60	26.40
30			26.47	26.64

表 4 不同植被覆盖下的土壤温度

土层 深度/cm	不同植被覆盖度下的土壤温度/℃				
	0%~ 20%	20%~ 40%	40%~ 60%	60%~ 80%	80%~ 100%
5	27.40	27.66	26.91	27.51	28.53
10	27.80	27.51	26.66	27.21	28.63
20	28.10	27.81	26.60	27.22	29.50
30		26.55	26.45	27.18	28.20

2.2.2 影响土壤温度的主要环境因子 从表 5 可见,影响不同深度土壤温度空间分异的环境因子排序为:土壤厚度>坡度>植被覆盖度>高程,土壤厚度能在一定程度上反映其区域微地形和植被覆盖状况。一般而言,坡度较缓、地势较为低洼、有一定植被覆盖的区域,土壤厚度相对较大。受典型岩溶峰丛洼地逆

温结构的影响,山顶和高坡部位,最先得到太阳的照射,而坡度较缓、地势较低的坡底或洼地,受制于山体对日照遮挡的影响,得到的日照时数和热量会相对较低;植被覆盖度对土壤温度的影响较为复杂,植被覆盖度较低时,土层主要分布在土壤浅薄或基岩裸露的山体高坡部位,受逆温结构和植被遮挡作用较小的因素,该土层的土壤增温作用会得到一定程度的增强。然而,对于土壤浅薄、基岩裸露的地段,受前者土层薄、保温效应差,后者基岩比热较小,升温快但降温也快的因素,其土壤温度也难以保持在一个较高的数值;随着植被覆盖度的增加,土壤温度主要受植被遮挡,形成了“遮蔽效应”,导致植被覆盖度适中的区域,土壤温度的递增受到了抑制;据实地调查,植被覆盖度大于 80% 的区域主要分布在坡位较低的坡麓部位,土壤温度虽仍然受到明显的“遮蔽效应”影响,但当植被覆盖度大于 80% 时,空气不流通,难以散热,加上动物和微生物活动较为频繁,生物产热量较大,导致该区域的空气和土体在相对密闭的环境下,形成了一定的“保温效应”,从而增加了该区域不同深度土壤温度的积温。

表 5 不同影响因素下的各深度土壤温度方差统计

土层深度/cm	高程	坡度	厚度	植被
5	0.378	0.207	0.952	0.348
10	0.076	0.577	0.917	0.534
20	0.417	1.973	3.767	1.186
30	0.055	0.073	0.014	0.647
均值	0.232	0.708	1.413	0.679
排序	4	2	1	3

### 2.3 基于土壤温度空间分异的农作物布局

果化示范区主要种植春秋两季的玉米和黄豆两种旱地作物,耕作方式以传统的缓坡地、坡耕地、坡改梯地等旱地耕作为主。实地调查表明,示范区农作物的种植带有显著的“广种薄收”特征,这与当地耕作方式缺乏科学性论证,农业管理不善等人为因素有关。在农作物种植方面,没有考虑农作物对光照条件的需求,整个峰丛洼地农耕地每年都定点耕种高密度的玉米和黄豆,不仅坡地大面积种植,连常年阴坡或受高大乔木遮档的石窝和石穴都种有黄豆;农业管理方面,当地群众缺乏现代化的农机和管理手段,仅对距离住所较近的田间管理较为重视,而对于距离较远的旱地,呈现出“只种不管”,“靠天吃饭”的现象。由于示范区群众对不同类型农作物的环境需求考虑不够,仅靠大面积的“见缝插针”种植方式,不仅难以提高单位面积的当地农作物产量,还会造成生态环境的失衡、石漠化更趋严重。果化示范区的农业生产应紧密结合当地的日照强度、日积温、月积温等气象条件,考虑到不同土壤厚度、不同地形条件、不同植被覆盖度等造成的土壤温度空间分异,对于当地农作物的耕作,要根据不同作物对长/短日照,喜阴/喜阳,适宜积温等的不同需求,因地制宜、因时制宜地配置适宜的农作物和种植布局。

## 3 结论

(1) 不同深度土壤温度的空间分布存在高度的正向全局空间自相关;各深度土壤温度的空间分布均存在明显的空间聚集区,其空间孤立区的分布却相对较少。5,10,20 和 30 cm 深度的土壤温度空间自相关尺度分别为 1 800,1 400,600 和 2 000 m。

(2) 影响不同深度土壤温度空间分异的环境因子排序为:土壤厚度>坡度>植被覆盖度>高程。岩溶区成土速率慢、土壤浅薄且不连续,在坡度较陡、植被覆盖较低的山峰部位,岩溶土壤流失严重;而在坡度较低平、植被覆盖较高的洼地部位,岩溶土壤较易于堆积。土壤厚度对土壤温度的影响,实质上是岩溶环境的综合反映。坡度、高程等地形因子是造成土壤逆温结构的主要影响因素。此外,土壤温度的空间分异还会受到植被覆盖“遮蔽作用”或“保温效应”的影响。(3) 果化示范区的农业生产应紧密结合当地的日照强度、日积温、月积温等气象条件,考虑到不同土壤厚度、不同地形条件、不同植被覆盖度等造成的土

壤温度空间分异,对于当地农作物的耕作,应根据不同作物对长/短日照,喜阴/喜阳,适宜积温等不同需求,因地制宜、因时制宜地配置适宜的农作物和种植布局。

### [参 考 文 献]

- [1] 高红贝,邵明安. 温度对土壤水分运动基本参数的影响[J]. 水科学进展,2011,22(4):484-494.
- [2] 张文纲,李述训,庞强强. 近 45 年青藏高原土壤温度的变化特征分析[J]. 地理学报,2008,63(11):1151-1159.
- [3] 刘吉平,杨青,吕宪国. 三江平原环型湿地土壤温度梯度的研究[J]. 湿地科学,2005,3(1):42-47.
- [4] 杨霞,赵逸舟,罗继,等. 阿克苏地区土壤温度特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(12):97-101.
- [5] 谷加存,王政权,韩有志,等. 采伐干扰对帽儿山地区天然次生林土壤表层温又空间异质性的影响[J]. 应用生态学报,2006,17(12):2248-2254.
- [6] 吕雄杰,陆文龙,宋治文,等. 农田土壤温度和水分空间变异研究[J]. 灌溉排水学报,2007,25(6):79-81.
- [7] 张慧智,史学正,于东升,等. 中国土壤温度的空间插值方法比较[J]. 地理研究,2008,27(6):1299-1307.
- [8] 李兴,程满金,勾芒芒,等. 黄土高原半干旱区覆膜玉米土壤温度的变异特征[J]. 生态环境学报,2010,19(1):218-222.
- [9] 李猛,刘洋,段文标. 红松阔叶混交林林隙浅层土壤温度的异质性[J]. 生态学杂志,2013,32(2):319-324.
- [10] 秦红灵,高旺盛,李春阳. 北方农牧交错带免耕对农田耕层土壤温度的影响[J]. 农业工程学报,2007,23(1):40-47.
- [11] 尹辉,李晖,蒋忠诚,等. 基于空间技术的果化示范区土壤电导率空间自相关研究[J]. 浙江农业学报,2014,26(5):1290-1296.
- [12] 尹辉,李晖,蒋忠诚,等. 基于 3S 的广西典型岩溶区土壤厚度空间格局研究[J]. 水土保持研究,2014,21(6):25-29.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 刘艳,尹辉,刘炀,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.
- [17] 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.