

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.

典型岩溶区土壤水分的空间异质性研究

尹 辉¹, 李 晖^{2,3,4}, 蒋忠诚², 杨奇勇², 王 月^{3,4}

(1. 惠州学院旅游系, 广东惠州 516007; 2. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西桂林 541004;

3. 广西师范大学环境与资源学院, 广西桂林 541004; 4. 珍稀濒危动植物生态与环境保护省部共建教育部重点实验室, 广西桂林 541004)

摘要:针对典型岩溶区存在的土壤水分亏缺限制作物生产和植被恢复问题, 应用地统计学与 GIS 技术, 将土壤水分室内布点和实地监测相结合, 对果化示范区土壤水分空间变异特征进行研究。结果表明: 各层土壤体积含水量平均为 5.10% ~ 22.06%, 变异系数为 18.30% ~ 67.73%, 说明各层土壤体积分含水量的变异系数呈现出强变异特征 ($CV > 10\%$), 且随土壤深度增加, 土壤体积分含水量的变异系数减小; 各深度土壤体积分含水量空间分布不均, 主要呈弧状和斑状分布, 且随土壤深度的增加而增大; 不同深度土壤体积分含水量的最小空间变程为 2 400 m, 可作为果化示范区土壤体积分含水量样点布设的最佳取样间隔。

关键词: 土壤; 水分; 空间异质性; 典型岩溶区; 地统计学; 取样间隔

中图分类号: S152.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)07-0332-05

长期受强烈岩溶化作用, 典型岩溶区形成了地表、地下双层空间结构, 加上地形地貌复杂多变、小生境类型多, 岩溶区土壤水分呈现出岩石渗透性强、降水入渗系数大、储水能力低、地下水位深、水分运移复杂等特征^[1-2]。降水作为典型岩溶区土壤水分的最重要补给源, 对土壤含水量的高低和有效性具有重要影响, 土壤水分的丰缺已成为决定岩溶区生态系统结构和功能的主要因素^[3], 尤其在降雨稀少、气候干燥的季节, 土壤水分亏缺将成为作物生产和植被恢复的主要限制因子^[4]。开展典型岩溶区土壤水分的空间异质性研究, 对科学地指导典型岩溶区农业生产、保障区域土壤资源可持续合理利用具有重要的理论意义和参考价值。

相关文献表明, 土壤水分空间异质研究多集中在平原旱地或高原丘陵区, 而对于水文地质构造复杂、生态环境脆弱的岩溶区, 相关研究仍较少, 且缺乏从土壤取样尺度到土壤水分时空异质与空间分布的系统性研究。近年来, 关于岩溶区土壤水分的空间异质性的研究逐步得到了重视。刘海隆等探讨了喀斯特山区土地利用方式对土壤水分运移和时空分异的影响^[5]。张继光等以线形取样方式, 采用经典统计学与地统计

学相结合的方法, 对广西古周生态恢复示范区进行峰丛洼地坡面土壤水分空间变异研究^[6]。张继光等运用地统计学方法对桂西北典型岩溶洼地地表层土壤水分(0 ~ 15 cm)的时空变异特征及其分布格局进行了研究^[7]。由此可见, 岩溶地区土壤水分空间异质性的多数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相结合的空间研究, 对于土壤水分空间变异、空间分布及相关空间格局的研究方面有了质的飞跃, 区域的研究尺度和样点的采样密度也已得到了足够的重视。另据相关研究表明, 受特殊的地质发育和地形地貌特征的影响, 典型岩溶区土壤水分的空间分布存在较大的异质性^[8-9]。对于异质性较大的典型岩溶区土壤水分空间异质性研究, 若直接进行大尺度区域高密度取样, 势必会消耗大量的人力、物力和财力; 而若低密度取样, 又难免因监测样点数量的不够而影响其研究精度^[10]。如何将传统统计方法与地统计方法进行有机结合, 实现土壤空间异质性研究中取样尺度、取样间隔、取样密度的优化是急待深入研究的科学问题。因此, 本研究以典型岩溶区广西平果县果化示范区土壤水分为研究对象, 将微尺度、高密度的室内布点和小区域实地监测相结合, 应用地统计学与 GIS 技术, 探索空间异质性较大的岩溶区最适取样间隔, 为指导典型岩溶区土壤水分的样点布设提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于广西平果县果化镇的果化示范区内(图 1), 地理坐标为 23°22′28.7″ ~ 23°23′40.7″N、107°22′40.8″ ~ 107°23′56.9″E, 海拔 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(C_3)和二叠系下统(P_1), 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, 总监测面积约为 2.71 km²。研究区属于亚热带季风性气候, 年均气温约 21 ℃, 区内总体降水量丰富, 年均降水量 1 322.3 mm 左右, 但时间分配不均, 年内降水量变化较大。土壤以岩溶石灰土

收稿日期: 2013-04-07

基金项目: 国家科技支撑计划(编号: 2010BAE00739-02); 惠州学院博士科研启动项目(编号: 201315001); 国家自然科学基金(编号: 41261005); 广西自然科学基金(编号: 2013GXNSFBA019222); 广西桂林市科学研究与技术开发项目(编号: 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(编号: JS2012009、JS2012012); 中国地质科学院岩溶生态系统与石漠化治理重点开放实验室项目(编号: KERDC201201、KERDC201202); 中国地质科学院岩溶地质研究所所控项目(编号: 121237128100212); 广西教育厅科研项目(编号: 201106LX070、201203YB028、2013YB040)。

作者简介: 尹 辉(1983—), 男, 广西桂林人, 博士, 讲师, 主要从事土壤、生态和“3S”技术研究。E-mail: yinhui741852963@163.com。

通信作者: 李 晖, 博士, 副教授, 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。

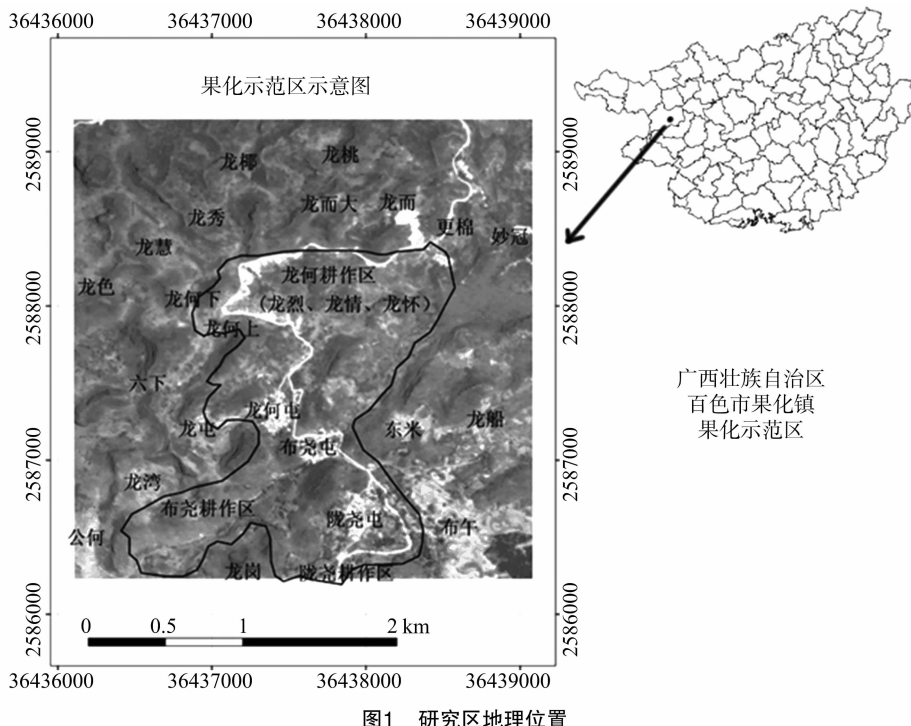


图1 研究区地理位置

为主,主要发育棕色石灰土和黄棕色石灰土,稀疏林地、灌丛和低矮灌草为主要植被类型。

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、槐前 1:10 000 地形图(等高距为 5 m,涵盖龙何屯、布尧屯和陇尧屯等 3 个屯)、地质图、2009 年 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槐前 1:10 000 地形图的空间配准和矢量化,生成数字化高程图(DEM)、坡度图、坡向图等图件;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,为果化示范区土壤理化指标的空间布点作准备。

1.3 样点选取与实地监测

将平果果化示范区高分辨率遥感影像与各类地形图件相结合,在网格均匀布点的基础上,充分考虑区内的地质条件、海拔高度、坡度坡向、植被覆盖、地块大小等因素,使得室内的空间布点不仅具有一般性,还具有一定的代表性。完成室内网格布点后,将准采样点的坐标输入 GPS,于 2011 年 9—10 月进行样点导航和监测。实际监测过程中,若有待测样点落在裸岩、险峰、村庄、道路等地,则在附近 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,则该监测样点删除,遵照这个原则共得到有效监测样点 191 个(图 2)。每个样点均监测 0~5、5~10、10~20、20~30 cm 不同土层的土壤,用校正后的 TDR 水分仪完成土壤体积分含水量的监测。

1.4 数据处理与分析

运用 SPSS 18.0 统计分析软件对不同深度土壤体积分含水量进行平均值、标准差、变异系数、最小值、最大值、偏度系数、峰度系数的计算和正态分布的验证;运用地统计学软件 GS + 7.0 完成不同深度土壤体积分含水量半方差函数模拟,得到块

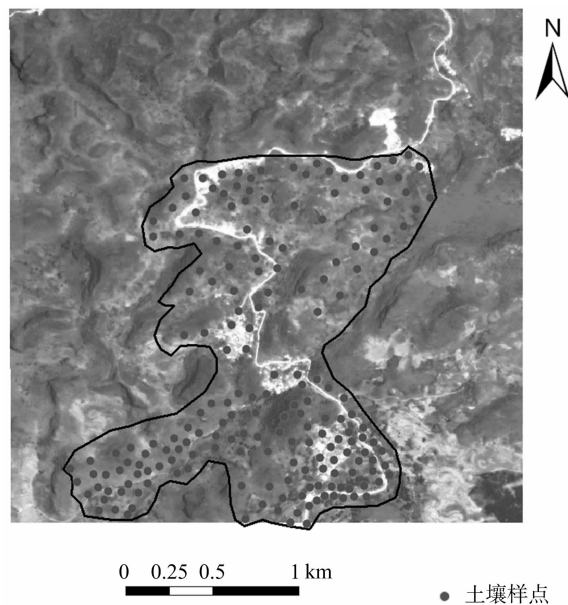


图2 果化示范区土壤样点布设图示

金值(C_0)、基台值($C_0 + C$)、变程等模型参数,并将各参数导入 ArcGIS 9.3 的地统计学模块,得到不同深度土壤体积分含水量的空间分布格局。

2 结果与分析

2.1 土壤体积分含水量的描述统计特征

从土壤体积分含水量的描述统计特征(表 1)可以看出,各土层含水量均值分布在 5.10%~22.06%之间,变异系数在 18.30%~67.73%之间,说明各层土壤体积分含水量的变异系数均值呈现出强变异特征($CV > 10\%$)。在不同深度土壤体积分含水量的变异系数中,土壤深度越大,土壤体积分含水量的变

异系数越小,说明表层土壤体积含水量较深层土壤体积含水量来说更易受外界条件的影响,其中,0~20 cm 深度的土壤体积含水量呈强度变异($CV>30\%$),20~30 cm 深度的土壤体积含水量呈中强度变异($10\%<CV<30\%$);从土壤体积分含水量的偏度和峰度情况看,土壤体积分含水量的偏度在 5~10 cm 土层呈正偏态,在 20~30 cm 土层呈负偏态分布;土壤体积分含水量的峰度仅在 0~5 cm 深度呈高峡峰(峰度 >3),20~30 cm 深度近似呈现高峡峰特征,其余深度土壤体积分含水量呈低阔峰。利用 K-S 法对各层土壤体积分含水量的统计分布进行非参数检验,结果表明:在 0.05 检验水平下,10~20 cm 深度土壤体积分含水量呈正态分布,其余各层均呈近似的正态分布,可不必进行数据转化。

表 1 土壤体积分含水量特征值							
土壤深度 (cm)	土壤体积分含水量(%)				变异系数 (%)	偏度	峰度
	均值	标准差	最小值	最大值			
0~5	5.098	3.453	0.10	23.40	67.73	1.52	4.17
5~10	9.623	6.328	0.60	29.10	65.76	1.47	1.35
0~20	16.872	6.031	2.70	31.10	35.75	-0.06	-0.60
20~30	22.059	4.037	6.90	30.00	18.30	-1.39	2.69

表 2 土壤体积分含水量的半方差变异函数模型							
土壤深度 (cm)	模型	C_0	C_0+C	$C_0/(C_0+C)$ (%)	变程 (m)	R^2	残差
0~5	高斯	0.457	1.949	23.45	4 006.23	0.916	0.025
5~10	指数	0.113	0.637	17.74	5 994.00	0.901	0.009
10~20	高斯	3.340	10.689	31.25	3 334.20	0.764	3.790
20~30	高斯	0.580	5.169	11.22	2 419.68	0.654	7.090

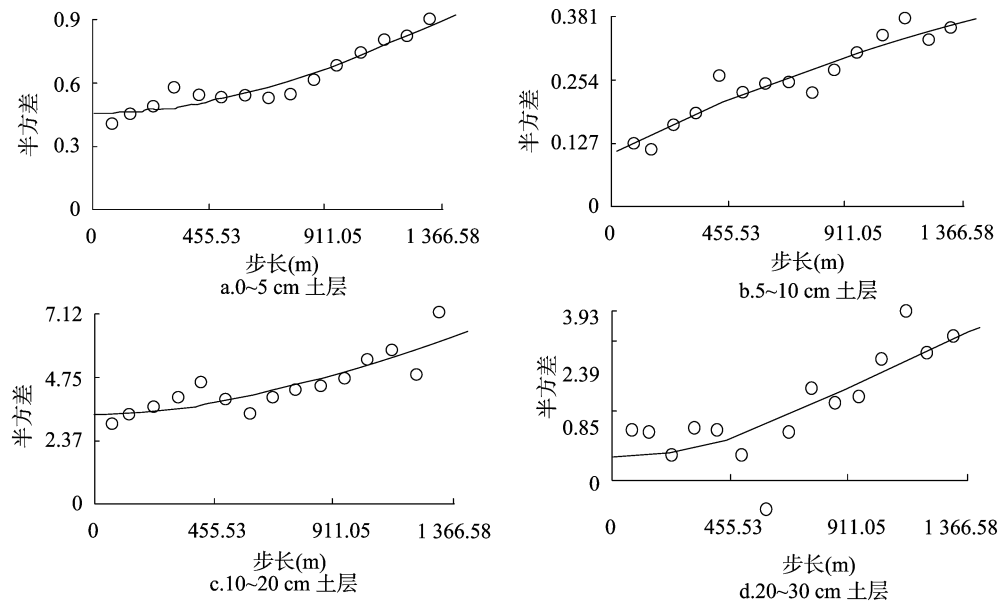


图3 各深度土壤体积分含水量半方差函数

2.3 土壤体积分含水量的空间格局

以表 2 中不同深度土壤体积分含水量的半方差变异函数模型拟合结果为依据,运用 ArcGIS 9.3 的地统计模块对不同深度土壤体积分含水量进行空间插值(图 4)。从图 4 可见,示范区各深度土壤体积分含水量空间分布不均,主要呈弧状和斑状分布;各深度土壤体积分含水量的总体空间集聚特征为:龙何耕

2.2 土壤体积分含水量的空间结构

表 2 为示范区不同深度土壤体积分含水量的半方差函数模型,0~5、10~20、20~30 cm 深度土壤体积分含水量的理论模型均符合高斯模型,5~10 cm 深度土壤体积分含水量的理论模型符合指数模型,不同深度土壤体积分含水量理论模型的 R^2 为 0.654~0.916,模型的拟合效果较好(图 3),能较好地反映示范区不同深度土壤体积分含水量的空间结构特征。

从表 2 可见,示范区 10~20 cm 深度土壤体积分含水量的 $C_0/(C_0+C)$ 值在 25%~75% 之间,说明 10~20 cm 深度土壤体积分含水量具有中等的空间自相关性,而示范区 0~5、5~10、20~30 cm 深度土壤体积分含水量的 $C_0/(C_0+C)$ 值均小于 25%,说明 0~5、5~10、20~30 cm 深度土壤体积分含水量具有很强的空间自相关性,其中,20~30 cm 深度土壤体积分含水量的空间自相关性最强。从示范区各深度土壤体积分含水量的变程来看,5~10 cm 深度土壤体积分含水量的空间变程最大,20~30 cm 深度土壤体积分含水量的空间变程最小,说明 5~10 cm 深度土壤体积分含水量的空间相关距离较大,20~30 cm 深度土壤体积分含水量的空间相关距离较小。

作区大部分区域和布尧屯以东延伸至陇尧屯附近一带呈现高值区,布尧屯和陇尧屯的各自耕作区呈现低值分布,迁移趋势不明显。从不同深度土壤体积分含水量的集聚中心来看,不同深度土壤体积分含水量的集聚离散度较大,随机因素较大,高低值集聚中心结构性较差,且无完整的闭合集聚中心。其中,0~5 cm 深度土壤体积分含水量的高值集聚主要分布在龙何耕

作区东部,随着土壤深度的增加,5~10 cm 深度土壤体积含水量的龙何耕作高值区呈现分化、扩散的趋势,陇尧西部土壤体积含水量形成新的高值集聚区,随着土壤深度的进一步增

加,龙何耕作区的土壤体积含水量高值区发生了进一步东西向分化,陇尧西部的土壤体积含水量高值区呈现出随机性弱化和西移趋势。

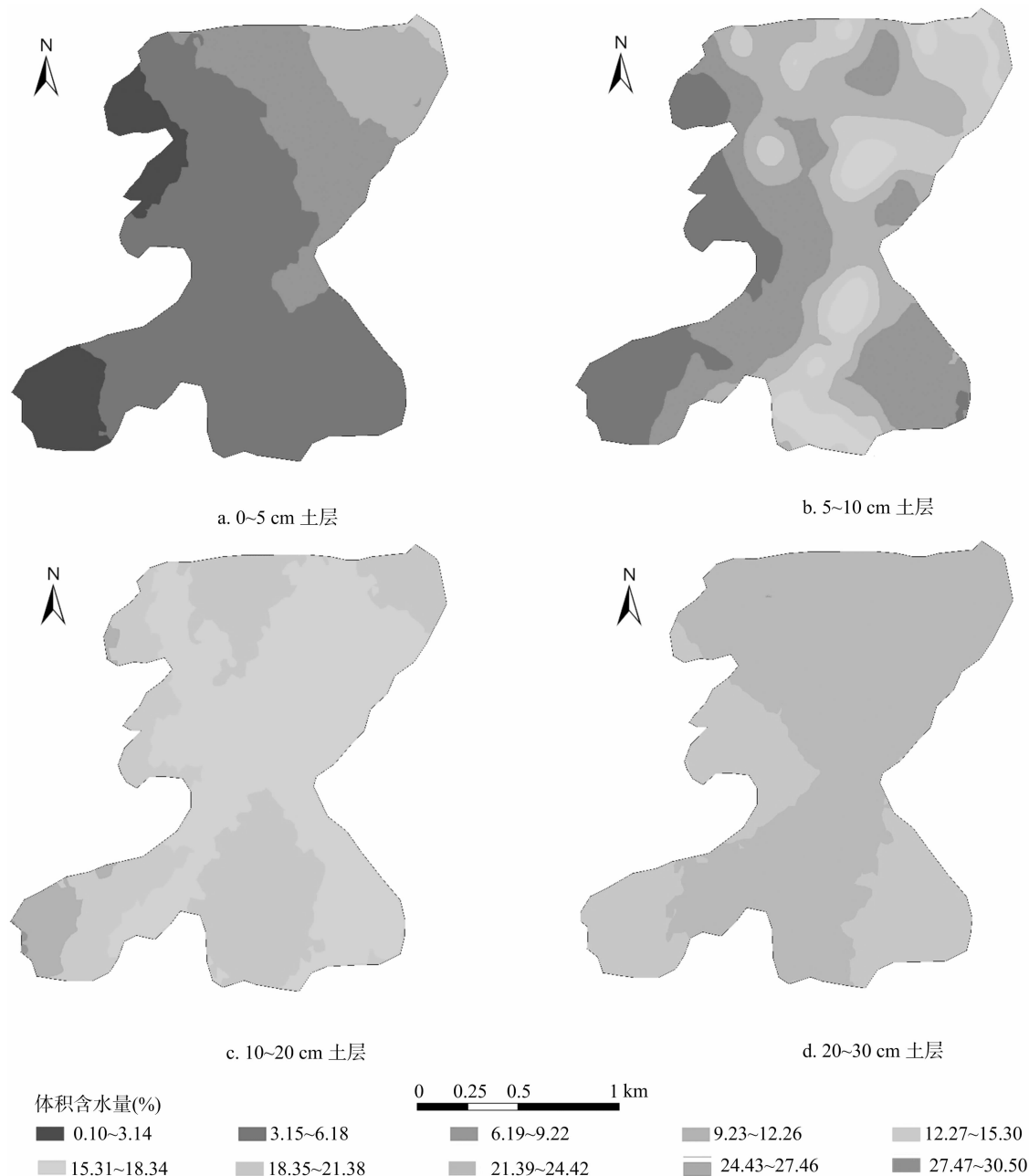


图4 不同深度土壤体积含水量空间插值

龙何屯东部、北部和东北部土壤体积含水量较高,主要是因龙何示范区的东部小型山体发育有出露的布洋一号和布洋二号表层岩溶泉,并建立了高位水柜和蓄水池,同时铺设了1 030 m的引水主管道,将泉水引流至龙何耕作区所致;龙何屯西部边缘地带地势较高,土壤储水能力较弱,土壤体积含水量相对较低,而龙何屯西部山体坡脚附近的土壤体积含水量相对较高,这主要与该处建有小型水土流失径流监测站,并有岩溶泉出露地表,当地群众可就近取水灌溉等因素有关。布尧屯的总体土壤体积含水量较低,主要是因为该屯未建立起一套完备的引、蓄水系统所致,布尧屯仅在与布午屯交界处的

公路旁建立了1个小型水柜,却因坡面汇集的雨水仅少量流经蓄水段面而未能达到预期的蓄水效果,布尧耕作区基本上只能依赖大气降水来维持农作物的生长,导致布尧耕作区较为干旱。陇尧屯地处地势低洼的谷地地区,丰水期雨水随坡麓流向陇尧屯,因而陇尧屯及其附近地区的土壤体积含水量相比布尧屯更丰富,此外,陇尧屯在农业耕作区西部的低洼地区修建了集雨水柜,农耕缺水问题在一定程度上得到了缓解;而陇尧屯耕作区的东南部因储水、灌溉设施较为缺乏,农业用水仍十分紧缺。

示范区土壤体积含水量总体上随土壤深度的增加而增

大,这主要与表层土壤较为浅薄、土壤保水性能相对较弱、水分易于蒸发、向下漏失,而深层土壤的蓄水和持水能力相对较强有关。此外,土壤体积分含水量的垂直变化还与土壤质地、地形地貌、植被覆盖等众多因素相关。

2.4 土壤体积分含水量的合理取样间隔

要确定合理的取样数目,除考虑土壤水分的统计特征外,还要考虑其空间结构性。在确保土壤体积分含水量研究精度的前提下,相比经典统计学方法而言,地统计学方法可以决定取样点的空间布局、取样形状和布局方式,对取样设计的有效性具有一定的指导作用。一般来说,变程决定了取样间隔的大小,取样点的设置就要尽量避免变程内的重复,变程越大,取样间隔应加大,相应取样数目就减少。由半方差函数模拟的变异参数可知,不同深度土壤体积分含水量的最小空间变程是土壤空间监测样点的最适样点监测间隔。由表 2 可见,研究区不同深度土壤体积分含水量的最小空间变程分别约为 4 000、6 000、3 300、2 400 m,各最小空间变程 2 400 m 可作为区内土壤体积分含水量样点间隔的布设依据。

3 结论

各层土壤体积分含水量均值分布在 5.10% ~ 22.06% 之间,变异系数在 18.30% ~ 67.73% 之间,说明各层土壤体积分含水量的变异系数均值呈现出强变异特征 ($CV > 10\%$),且随土壤深度增加,土壤体积分含水量的变异系数减小。其中,0 ~ 20 cm 深度的土壤体积分含水量呈强度变异 ($CV > 30\%$),20 ~ 30 cm 深度的土壤体积分含水量呈中强度变异 ($10\% < CV < 30\%$)。从不同深度土壤体积分含水量的分布类型来看,10 ~ 20 cm 深度土壤体积分含水量呈正态分布,其余各层均呈近似的正态分布。

半变异函数模型可进一步研究土壤水分的空间差异,除 5 ~ 10 cm 用指数模型拟合外,其他各层均符合高斯模型,且拟合效果较好。从土壤体积分含水量的空间分布插值结果来

(上接第 230 页)

配方相比,差异均达到极显著水平;配方 2 生物学效率与对照相比,在 0.01 水平上差异不显著。因此,从节约资源、降低成本考虑,使用配方 2 更经济实惠。

表 3 霉变废料栽培白灵菇不同配方产量比较

配方编号	生物学效率 (%)				差异显著性	
	I	II	III	平均值	0.05	0.01
1	52.38	54.95	38.67	48.66	a	A
2	30.04	35.90	39.07	35.00	b	B
6	23.81	26.01	23.35	24.99	c	BC
4	25.28	17.95	23.63	22.28	c	C
5	18.32	23.08	16.03	19.14	c	C
3	18.87	15.75	20.15	18.25	c	C

3 小结与讨论

霉变废料是菌袋在菌丝培养生长阶段陆续被杂菌污染所产生的,在高温处理及堆置后,培养料中的 pH 值有所下降,特别是杂菌污染后,酸败现象更为严重。在废料中添加适量的石灰可有效杀灭杂菌,降低污染率,同时又可适当调节培养料的酸碱度,创造适于食用菌菌丝生长的环境,使菌丝迅速占

看,各深度土壤体积分含水量空间分布不均,主要呈弧状和斑状分布,且随土壤深度的增加而增大。

土壤水分的合理取样,在考虑土壤水分的统计特征时还要考虑其空间结构性,特别应结合统计学中的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。本研究表明,果化示范区不同深度土壤体积分含水量的最小空间变程为 2 400 m,可作为区内土壤体积分含水量样点间隔的布设依据。

参考文献:

[1] 蔡运龙. 中国西南岩溶石山贫困地区的生态重建[J]. 地球科学进展,1996,11(6):84-88.
[2] 李阳兵,王世杰,熊康宁. 浅议西南岩溶山地的水文生态效应研究[J]. 中国岩溶,2003,22(1):24-27.
[3] 李阳兵,高明,魏朝富,等. 岩溶山地不同土地利用土壤的水分特性差异[J]. 水土保持学报,2003,17(5):63-66.
[4] 苏以荣,黄宇,王克林,等. 桂西北环境移民安置区新垦蔗地土壤水分动态研究[J]. 水土保持通报,2001,21(1):49-52.
[5] 刘海隆,蒋天明,刘洪斌,等. 不同土地利用方式对岩溶山区旱坡地土壤水分时空分异的影响[J]. 土壤学报,2005,42(3):428-433.
[6] 张继光,陈洪松,苏以荣,等. 喀斯特峰丛洼地坡面土壤水分空间变异研究[J]. 农业工程学报,2006,22(8):54-58.
[7] 张继光,陈洪松,苏以荣,等. 喀斯特山区洼地表层土壤水分的时空变异[J]. 生态学报,2008,28(12):6334-6343.
[8] 张继光,陈洪松,苏以荣,等. 喀斯特地区典型峰丛洼地表层土壤水分空间变异及合理取样数研究[J]. 水土保持学报,2006,20(2):114-117,134.
[9] 陈洪松,傅伟,王克林,等. 桂西北岩溶山区峰丛洼地土壤水分动态变化初探[J]. 水土保持学报,2006,20(4):136-139.
[10] Kirwan N, Oliver M A, Moffat A J, et al. Sampling the soil in long-term forest plots: the implications of spatial variation[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2005, 111(1/2/3):149-172.

领料面,阻止杂菌入侵。

在发菌阶段,配方 5(废料 95%,石灰 5%)效果较好,这是由于废料有过一次高温灭菌和发菌阶段,放置了一段时间后,材料质地比较松散,增大了孔隙度,腐熟后的菌料,其营养物质更容易被吸收利用,更利于菌丝的生长,可促进子实体快速生长,积累更多的营养物质,能明显提高白灵菇菌丝的发菌速度和产菇量。

充分利用生产过程中废弃的霉变菌料,经过处理后进行再生产利用,可避免霉变菌袋随处乱堆乱弃,减少对环境造成污染和原材料浪费,不但能节省原料、降低成本,还可净化食用菌生产周边环境,消灭杂菌污染源,使食用菌栽培生产得以良性循环发展。

参考文献:

[1] 储莉慧,陈生良,俞田华,等. 食用菌废料栽培鸡腿菇[J]. 浙江食用菌,2009,17(2):52-53.
[2] 刘淑爱. 陈棉子壳料袋栽平菇[J]. 菇农之友,2009(2):51.
[3] 周延斌,刘海英,孟祥元,等. 食用菌培养料不同处理方法效果的研究[J]. 北京农学院学报,2003,18(2):89-91.