

广西桉树林表层土壤水分时间稳定性分析

兰 秀^{1,2,3}, 刘永贤⁴, 宋同清^{2,3}, 范稚莲¹,
杜 虎^{2,3}, 曾馥平^{2,3}, 彭晚霞^{2,3}, 张家涌^{2,3}

(1.广西大学农学院, 南宁 530005; 2.中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125; 3.中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站, 广西 环江 547100;
4.广西壮族自治区农业科学院农业资源与环境研究所, 南宁 530007)

摘要: 为分析桉树林土壤含水量时间稳定性特征, 选取桉树林典型坡面, 测量坡面 9 个样点 5 年土壤含水量, 基于所测数据采用相对差分法和 Spearman 秩相关系数法分析土壤含水率的时空变异性 and 时间稳定性。结果表明, 研究区坡面 5 年的表层平均土壤含水率为 21.81%, 在空间上表现为较弱的变异性, 在时间上具有中等程度变异性。各年平均土壤含水率相关系数偏低, 土壤含水率的空间模式在观测时间上的相似性较弱, 其平均相对差分变化范围为 -7.08% ~ 5.03% , 相对差分标准差和时间稳定性指数的平均值分别为 5.73% 和 6.58%, 说明不同坡度条件下土壤水分具有较好的时间稳定性。测点 2, 3, 6, 7, 8 水分含量较平均值高, 测点 1, 4, 9, 5 水分含量相对较低, 湿润点的标准差和时间稳定性指数都相对小且稳定, 即土壤湿润状态的水分稳定性比干燥状态的好。回归分析得到测点 5 的土壤含水量和整个坡面水分均值具有较高相关性, R^2 值为 0.879, MBE 值为 0.141, RMSE 值为 99.4%, 即测点 5 可作为代表性测点估计整个研究区浅层平均土壤含水率。

关键词: 土壤含水率; 时间稳定性; 桉树; 广西

中图分类号: S714

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)04-0263-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.04.037

Temporal Stability of Surface Soil Moisture in Eucalyptus Forests in Guangxi

LAN Xiu^{1,2,3}, LIU Yongxian⁴, SONG Tongqing^{2,3}, FAN Zhilian¹,
DU Hu^{2,3}, ZENG Fuping^{2,3}, PENG Wanxia^{2,3}, ZHANG Jiayong^{2,3}

(1. Agricultural College, Guangxi University, Nanning 530005; 2. Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125; 3. Huanjiang Observation and Research Station of Karst Ecosystem, Chinese Academy of Sciences, Huanjiang, Guangxi 547100;
4. Agricultural Resources and Environment Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007)

Abstract: In order to analyze the temporal stability characteristics of soil moisture content in Eucalyptus forests, nine sample points on a typical eucalyptus forest slope were selected to measure the soil moisture content for five years. Based on the measured data, the temporal and spatial variability and temporal stability of soil water content were analyzed by relative difference method and Spearman rank correlation coefficient method. The results illustrated that the average surface soil moisture content of five years of the study slope area was 21.81%, which showed weak variability in space and moderate variability in time. The correlation coefficient of average soil moisture content was low in each year, and the spatial pattern of soil water content had weak similarity in observation time, and the variation range of the average relative difference was -7.08% to 5.03% , and the average values of relative difference standard deviation and time stability index were 5.73% and 6.58%, respectively, indicating that the soil moisture had better time stability under different slope conditions. The moisture content of measuring points 2, 3, 6, 7 and 8 were higher than the average value, while the moisture content of measuring points 1, 4, 9, and 5 were relatively low. The

收稿日期: 2019-01-07

资助项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0502405); 国家自然科学基金项目(31770495, 31660141); 广西重点研发计划项目(桂科 AB16380255, 桂科 AB17129009); 广西科技惠民项目(桂科转 1599001-6); 广西特聘专家项目

第一作者: 兰秀(1993—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事植物生态研究。E-mail: 1335668244@qq.com

通信作者: 范稚莲(1970—), 女, 副教授, 硕士生导师, 主要从事生态环境规划研究。E-mail: 464259744@qq.com

刘永贤(1981—), 男, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事土壤生态研究。E-mail: 46636049@qq.com

standard deviation and time stability index of the wetting point were relatively small and stable, indicating that the moisture stability of soil in the wet state was better than that in the dry state. According to the regression analysis, there was a high correlation between the soil moisture content of point 5 and the mean water content of the whole slope, with the R^2 value of 0.879, the MBE value of 0.141 and the RMSE value of 99.4%. In other words, point 5 could be used as a representative measurement point to estimate the average soil moisture content in the shallow layer of the whole research area.

Keywords: soil water content; temporal stability; eucalyptus; Guangxi

土壤水分是 SPAC(土壤—植物—大气连续体)系统中“四水转化”的关键因子^[1],而表层土壤水分是其中最活跃的部分,控制着地表径流、雨水入渗、土壤蒸发、植被蒸腾等一系列生态和水文过程^[2],但由于表层土壤直接暴露在空气中,受到区域土壤、气候、植被、地形等因素的空间变异性的影响,使其比深层土壤水分具有更强烈的时空变异性^[3]。这种变异性使获得一个区域水分信息变得困难,因为经典统计理论掌握土壤水分状况需要搜集大量的样品,实时测量水分又需要设置大量样点以及先进的测量技术,效率低、耗时多、成本高,于是研究者们便试图寻找快速准确的获取一个区域的土壤水分状况的方法,在大量土壤水分时空动态研究的基础上,时间稳定性的概念应运而生,时间稳定性概念是由 Vachaud 团队最先提出的,他们通过对区域土壤水分长期的试验研究发现,在不同测量时间下,有些样点在任何测次下都能很好地代表研究区的平均水分值,将所有测点的土壤水分含量按高低排序后,这些样点的顺序在其中基本没有变化或变化不大,于是把这种土壤水分的空间格局的时间不变性定义为时间稳定性^[3]。后来一些研究学者运用时间稳定性分析方法证实了时间稳定的测点位置确实可以很好地表征小流域的平均土壤含水率^[4],随后时间稳定性概念被广泛地用来检验土壤水分的空间模式在时间上的相似性,比如在不同的空间尺度^[5-6]、不同的植被类型^[7]、不同的测量周期^[8]、不同的深度土层^[9-10]等进行了广泛的发现和研究,得到的结论不尽相同。

广西引种桉树已有 128 年的历史,桉树作为广西主要造林树种之一,其快速发展带来了巨大的经济效益。但桉树作为外来树种,各界就其所带来的生态问题一直争论不断,其中,桉树的水生态问题为争论的焦点之一,有的研究者^[11]认为,桉树是“抽水机”,桉树耗水、耗肥、有毒等,桉树是速生树种,桉树生长必然对土壤水分有一定的要求与影响。目前针对广西桉树林方面的研究主要关于其生物多样性^[12-13]、生态效益评价^[14]、土壤退化和土壤肥力^[15]、生物量和生产力^[16]等方面,而针对广西桉树林土壤水分时间稳定性的研究还属空白。本文利用 Spearman 秩相关

系数法和相对偏差等方法研究广西桉树林一个轮伐期土壤水分的时空动态变化规律,了解其土壤水分的时间变化特征,探讨土壤水分状况及其时间稳定性之间的关系,实现对研究区土壤水分的预测,促进桉树的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本试验在广西环江毛南族自治县(24°44′—25°33′N, 107°51′—108°43′E)进行,该县位于广西西北部、河池市东北部,地处云贵高原东南缘,南临北部湾海面,县区内地形地貌多样,山势绵延,有丰富的山林资源,气候属亚热带向中亚热带过渡的季风气候区,研究区属中亚热带季风气候区,多年平均气温为 19.9℃,7 月平均气温为 27.9℃,1 月平均气温 10.1℃^[17],年均降水量为 1 835 mm,研究区桉树日平均耗水量达 1 437.39 g,年蒸散量达 515 mm。自然土壤有红壤、黄壤、黄红壤、棕色石灰土、黑色石灰土 5 个土壤亚类,研究区地质基础为白云岩,发育土壤为深色或棕色石灰土^[18]。

1.2 样点布置与数据获取

在试验区内,选取桉树人工林的半阳坡典型坡面,从坡下至坡上每隔 20 m 布置 1 个样点,共 9 个样点,依次记为样点 1,2,3,4,5,6,7,8,9,样点布置见图 1。从 2012 年 4 月至 2017 年 3 月,即从桉树的种植期到砍伐期,期间每降雨后 3 天调查 1 次各样点表层(0—10 cm)土壤重量含水率,共调查 362 次,其中 2012 年调查 58 次,2013 年调查 85 次,2014 年调查 79 次,2015 年调查 76 次,2016 年调查 58 次,2017 年调查 6 次。水分测定方法采用烘干法测定。由于取样时间较多,时间跨度长,将每个样点 1 个季度的土壤含水率求平均,该平均值代表该样点土壤含水率。同时在每个土壤水分监测点附近采集 0—10 cm 原状土(环刀法),测定土壤理化性质(表 1)。

1.3 时间稳定性分析方法

1.3.1 变异系数法 利用变异系数(CV)表征土壤含水量的时空变异性,计算公式为:

$$CV=\frac{\sigma}{\mu}\times 100\%$$

式中: σ 为标准差; μ 为均值; $CV < 10\%$ 为弱变异; $10\% \leq CV \leq 100\%$ 为中等变异; $CV \geq 100\%$ 为强变异^[19]。

1.3.2 Spearman 秩相关系数法 采用 Spearman 秩相关系数法分析不同测点的秩随时间变化的一致性和稳定性,其值越接近于 1,说明土壤水分的空间模式在时间上越相似,即土壤水分的时间稳定性越好^[20],其计算公式为:

$$r_s = 1 - 6 \sum_{i=1}^n (R_{ij} - R_{ij'})^2 / n(n^2 - 1)$$

式中: R_{ij} 为位置 i 和时间 j 观测值的秩; $R_{ij'}$ 为观测值在同一个测量点 i 不同时间 j' 的秩; n 为样点总数,取 9。

表 1 各点土壤理化性状统计

样点	pH	SOC/ (g · kg ⁻¹)	TN/ (g · kg ⁻¹)	TP/ (g · kg ⁻¹)	TK/ (g · kg ⁻¹)	AN/ (mg · kg ⁻¹)	AP/ (mg · kg ⁻¹)	AK/ (mg · kg ⁻¹)
1	4.09	22.88	0.61	0.12	3.37	87.74	6.22	49.77
2	4.24	20.39	0.52	0.16	3.72	91.75	6.79	61.77
3	4.21	18.62	0.54	0.16	3.59	93.34	6.85	72.98
4	4.13	19.04	0.53	0.11	3.82	113.37	6.82	58.17
5	4.03	22.56	0.56	0.19	3.88	90.45	9.55	68.64
6	4.09	19.57	0.55	0.20	4.12	101.06	8.80	67.57
7	4.07	23.87	0.56	0.17	5.55	106.45	8.43	69.66
8	4.20	22.28	0.55	0	4.62	96.66	9.02	71.76
9	4.10	20.06	0.54	0.01	4.42	94.94	8.91	73.99

1.3.3 相对差分法 计算所有测点平均相对差分(MRD)值,其值越接近于 0,其土壤含水率越能代表样地平均土壤含水率,平均相对差分值为正,说明相应的测点位置水分含量比实测平均值高,即较湿润;负值则相反。标准差 σ 越小,说明样点的时间稳定性越强^[20]。相对差分的计算公式为:

$$\delta_{ij} = \frac{\theta_{ij} - \bar{\theta}_j}{\bar{\theta}_j} \quad \bar{\theta}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_{ij}$$

$$\bar{\delta}_j = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \delta_{ij} \quad \sigma(\delta_i) = \sqrt{\left(\frac{1}{m-1}\right) \sum_{j=1}^m (\delta_{ij} - \bar{\delta}_i)^2}$$

式中: δ_{ij} 为观测点 i 在观测时间 j 的土壤含水率相对差分值; θ_{ij} 为点 i 在时间 j 下的土壤含水率观测值; $\bar{\theta}_j$ 为时间 j 下所有测点土壤含水率的平均值; $\bar{\delta}_i$ 为测点 i 处的相对差分平均值; $\sigma(\delta_i)$ 为相对差分标准差; m 为观测次数,取 21。

1.3.4 代表性测点判定及检验 用时间稳定性指数(ITS)来判定最佳时间稳定性测点,时间稳定性指数越小的点,时间稳定性越强,其土壤含水率越能代表研究区土壤含水率的平均水平^[20]。其计算公式为:

$$ITS = \sqrt{\bar{\delta}_i^2 + \sigma(\delta_i)^2}$$

对代表性 i 点的土壤含水量与桉树林坡面土壤水分均值进行回归分析,通过平均偏差(MBE)、均方

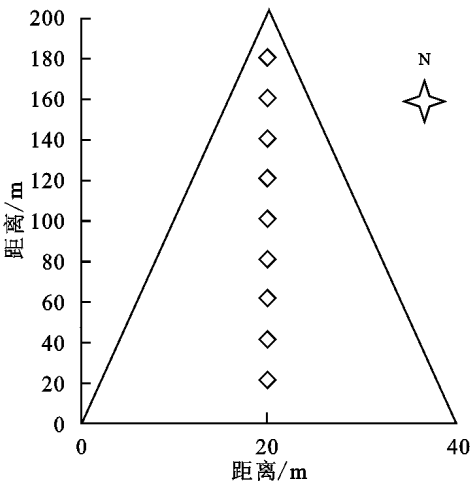


图 1 土壤水分监测点

根误差(RMSE)和决定系数 R^2 分析差异性及相关性, RMSE 越小, R^2 值越大, 可认为该测点确为时间稳定性最佳代表测点^[21]。计算公式为:

$$MBE_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\theta_{ij} - \bar{\theta}_i) / m}$$

$$RMSE_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\theta_{ij} - \bar{\theta}_i) / m}$$

1.3.5 数据处理 本文应用的统计学分析主要通过 Excel 2013 和 SPSS 18.0 软件实现。

2 结果与分析

2.1 土壤含水率的时空动态

图 2 为 2012 年 4 月至 2017 年 3 月间每个季度 9 个测点土壤含水率平均值及其对应的标准差(SD)和变异系数(CV),以及降水量在观测期间的变化。由图 2 可看出,土壤含水率平均值和变异系数均具有较大的变幅,而标准差保持相对稳定。每年各季节的变异系数为 3.53%~11.12%,变异系数的平均值为 6.81%,说明在桉树的整个生长时期中,其土壤含水率具有较弱的空间变异性。除 2016 年秋冬季和 2017 年春季土壤含水率具有中等变异性($CV > 10\%$),其余的季节变异程度均属于弱变异性($CV < 10\%$),同时也可以说明在桉树生长后期土壤水分变异性较强。土壤含水率的平均值为 21.81%,变化范围为 16.10%~26.64%,对比降水量

可知,表层土壤含水率均值与降水量变化不够一致,可能与植被盖度有关。标准差为 0.75%~2.40%,平

均值为 1.49%,远小于 5%,说明在不同的测量季节,土壤含水率的空间变化量很小。

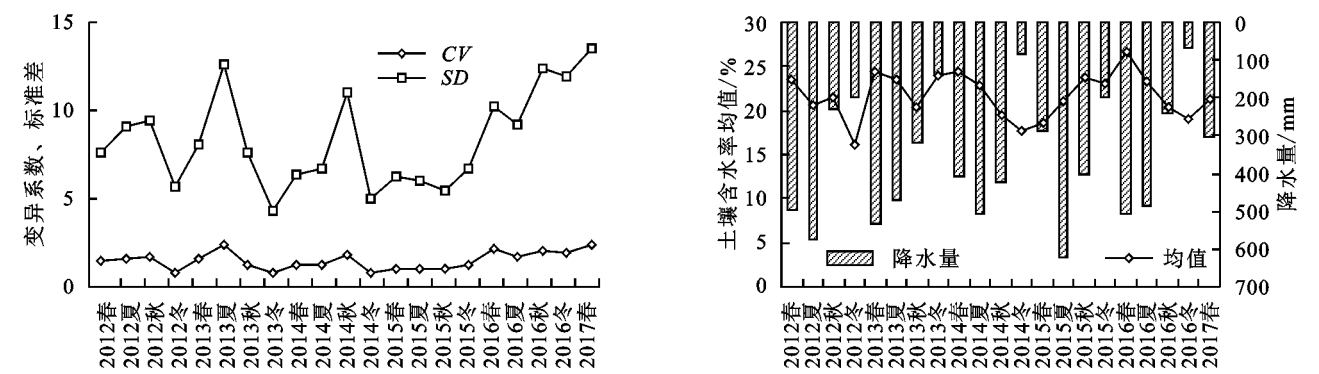


图 2 土壤含水率的平均值、标准差和变异系数及对应日期的降水量

表 2 为土壤含水率在 9 个测次上平均值、标准差和变异系数的空间统计特征,由表 2 可知,时间平均土壤含水率的变异系数均>10%,属于中等程度变异性。时间上土壤含水率的标准差和变异系数在空间上的标准差和变异系数分别为 0.40%,1.51%和 13.86%,11.39%,虽然标准差不高,但变异系数均>10%,说明土壤含水率在时间上的变异性在空间上有较显著变化。

2.2 土壤含水率的秩相关系数

采用 Spearman 秩相关系数法对 9 个测点 5 年的土壤含水率进行比较(表 3)。各年各季节间约 1/2

的相关系数>0.5,但绝大多数日期对间不具有显著性,只有个别季节间相关系数较高且在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 显著。总体上相关系数不高,说明整个研究区域的土壤水分在时间上的稳定性不高,土壤含水率的空间模式在观测时间上的相似性较弱。

表 2 土壤含水率时间上平均值、标准差和变异系数的空间统计特征

变量	极小值/%	极大值/%	均值/%	标准差	变异系数
均值/%	20.22	22.97	21.81	0.78	3.60
标准差	2.27	3.43	2.90	0.40	13.86
变异系数	11.20	15.03	13.27	1.51	11.39

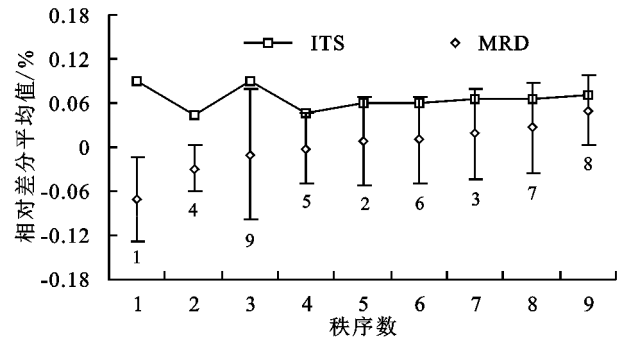
表 3 土壤含水量的 Spearman 秩相关系数矩阵

项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1.00	0.32	0.53	0.60	0.23	0.10	0.27	0.03	0.60	0.73 *	0.30	-0.15	0.12	0.45	0.80 * *	0.52	0.28	-0.03	0.28	-0.02	0.33
2		1.00	0.90 * *	0.42	-0.07	0.03	-0.17	-0.55	-0.28	0.60	0.58	0.27	-0.03	0.40	0.25	0.05	0.03	-0.48	-0.53	-0.85 * *	-0.38
3			1.00	0.45	-0.05	-0.02	0.03	-0.58	-0.03	0.75 *	0.53	0.07	0.03	0.52	0.28	0.27	-0.10	-0.48	-0.32	-0.80 * *	-0.22
4				1.00	0.40	0.02	-0.13	0.20	0.17	0.80 * *	0.50	-0.17	0.28	0.45	0.77 *	0.30	0.45	-0.03	0.25	0.03	0.13
5					1.00	0.82 * *	0.60	0.07	0.43	0.27	0.67 *	0.58	0.70 *	0.03	0.53	0.38	0.83 * *	0.83 * *	0.17	0.32	-0.43
6						1.00	0.78 *	-0.17	0.42	0.12	0.70 *	0.78 *	0.58	0.13	0.30	0.52	0.75 *	0.82 * *	-0.08	0.07	0.78 *
7							1.00	-0.28	0.68 *	0.10	0.50	0.43	0.52	0.33	0.22	0.72 *	0.43	0.72 *	0.13	0.12	-0.27
8								1.00	0.33	-0.03	-0.43	-0.37	0.22	-0.17	0.13	-0.05	0.10	0.18	0.78 *	0.80 * *	0.62
9									1.00	0.30	0.20	0.02	0.62	0.43	0.47	0.67 *	0.33	0.52	0.72 *	0.48	0.28
10										1.00	0.52	-0.15	0.27	0.58	0.57	0.58	0.18	-0.18	0.20	-0.30	0.17
11											1.00	0.62	0.55	0.55	0.53	0.48	0.68 *	0.38	-0.25	-0.33	-0.62
12												1.00	0.43	-0.15	0.10	-0.05	0.57	0.53	-0.45	-0.22	-0.87 * *
13													1.00	0.32	0.25	0.37	0.45	0.60	0.50	0.28	-0.33
14														1.00	0.40	0.72 *	0.17	-0.05	0.20	-0.20	0.13
15															1.00	0.38	0.73 *	0.28	0.18	0.20	0.08
16																1.00	0.33	0.37	0.33	0.05	0.76 *
17																	1.00	0.75 *	0.00	0.32	-0.33
18																		1.00	0.25	0.58	-0.30
19																			1.00	0.73 *	0.62
20																				1.00	0.43
21																					1.00

注: * 表示 $P<0.05$; * * 表示 $P<0.01$; 1 为 2012 年春季; 2 为 2012 年夏季; 3 为 2012 年秋季; 4 为 2012 年冬季; 5 为 2013 年春季; 6 为 2013 年夏季; 7 为 2013 年秋季; 8 为 2013 年冬季; 9 为 2014 年春季; 10 为 2014 年夏季; 11 为 2014 年秋季; 12 为 2014 年冬季; 13 为 2015 年春季; 14 为 2015 年夏季; 15 为 2015 年秋季; 16 为 2015 年冬季; 17 为 2016 年春季; 18 为 2016 年夏季; 19 为 2016 年秋季; 20 为 2016 年冬季; 21 为 2017 年春季。

2.3 土壤含水率的相对差分分析

利用相对差分方法分析各测点土壤含水率的时间稳定性特征。图 3 为土壤含水率相对差分平均值从小到大的排列情况,以及对应的相对差分标准差和时间稳定性指数曲线,误差线为平均相对偏差的标准差。从图 3 可以看出,9 个点的平均相对差分介于 $-7.08\% \sim 5.03\%$,极差为 12.11% ,所有测点的平均相对差分都较低,其中测点 2,3,6,7,8 的平均相对差分 >0 ,说明这几个测点与实测平均值相比较为湿润,而测点 1,4,9,5 的平均相对差分 <0 ,说明这几个点土壤含水率相对较低。湿润点的标准差和时间稳定性指数都相对小且稳定,说明土壤湿润状态的水分稳定性比干燥状态的好。



注:MRD 上直线为标准差,图中数字为观测点位置。
图 3 9 个测点的相对差分平均值及其对应的标准差和时间稳定性指数排序

从表 4 可知,相对差分标准差的平均值为 5.73% ,标准差仅为 1.54% ,可知 9 个测点的相对差分标准差较小且差异不大,时间稳定性指数平均值为 6.58% ,标准差仅为 1.64% ,这说明不同坡度条件下土壤水分具有较小的时间稳定性指数和较好的时间稳定性。根据平均相对差分接近于 0 且标准差较小的原则可判断不同坡度最佳土壤水分观测点位置,即此点可以代表整个区域的平均土壤水分值。从图 3 可知,测点 5 的平均相对差分最接近 0,且标准差较低,即其能够较好地估算整个坡面的土壤水分平均值。测点 5 可初步确认为代表性测点。

表 4 相对差分平均值、标准差和时间稳定性指数统计

单位: %

参数	极小值	极大值	均值	标准差	极差
相对差分平均	-7.08	5.03	0.00	3.48	12.11
相对差分标准差	3.13	8.84	5.73	1.54	5.71
时间稳定性指数	4.28	9.12	6.58	1.64	4.84

2.4 土壤含水率的代表性检验

图 4 描述了代表性测点(测点 5)的土壤含水量和桉树林坡面水分均值的回归特征。从图 4 可知,测点 5 的土壤含水量和整个坡面水分均值具有较高的相关性, R^2 值为 0.879 ,MBE 值为 0.141 ,RMSE 值分

别为 99.4% ,因此,可以利用位于坡面中上的测点 5 估计整个研究区浅层平均土壤含水率。

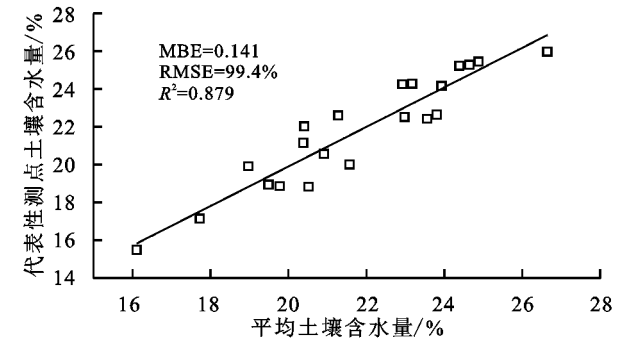


图 4 代表性测点含水量和研究区土壤平均含水量的相关分析

3 讨论

虽然桉树被某些学者^[11]认为是“抽水机”,但其整个生长期土壤含水率平均值为 21.81% ,比黄土高原小流域表层土壤水分含量高(16.8%)^[3],与广西喀斯特地区洼地旱季湿润条件下表层土壤含水量的平均值 24.3% 相近^[22],这可能是因为样地内有较高的植被盖度,使阳光直射地面减少,群落内湿度增高、温度降低,从而降低地面蒸发和植物蒸腾^[23]。本研究的土壤含水率与降雨量在某些季度变化不一致,可能与植被盖度不一样有关,据调查,桉树林下在研究时间内林下灌木层出现过断肠草、肉桂、五节芒、铁芒箕、野菊花、野牡丹、白背桐、三叉苦、桃金娘、三营兰等,草本层出现过牛白藤、小花露籽草、白茅、鹿茅草、通泉草等,这些植物都在不同程度的死亡和新生,使不同时期土壤受到的降雨不同。标准差变化幅度较小,平均值为 3.01% ,小于其他研究^[20],这可能是由于研究区的面积较小,各样点之间具有较紧密的水文联系所致。从同一年不同季节的变异系数来看,冬季在当年的变异性表现为最弱,可能因为降雨和蒸发量都较小。整体来看变异系数变化幅度大且规律不明显,这主要是因为表层土壤动植物的活动剧烈,其分泌物、枯落物以及动植物残体的分解、土壤侵蚀以及人类活动等引起表层土壤性质改变,再加之表层有适宜的水热条件,这些因素一起导致表层土壤在结构和持水特性方面的不稳定性。另外,人类活动对土壤水分的影响大部分发生在较浅的土壤层,这些因素往往会引进一些随机性的变异^[3]。

Spearman 秩相关系数被广泛用于描述土壤水分空间模式在时间上的相似性^[20]。本研究得到土壤含水率的空间模式在观测时间上的相似性较弱,即在时间上具有较弱的时间稳定性,而对含水率进行相对差分分析得到土壤含水率在空间上具有较强的时间稳定性,两者并不矛盾,统计分析时得到土壤含水率在时间上的变异性较空间上强,加上研究时间跨度长,干

湿交替明显且多,土壤水分变异性受到气候、土壤属性、植被分布以及诸多因素的联合影响较大^[24]。有研究学者^[25]发现,在不同的水分条件下,土壤水分表现出不同的时间稳定性。强的变异性通常会带来一些不确定性,这种不确定性会进一步导致土壤水分空间模式在时间尺度上的变化。本研究所有测点的相对差分值远比朱绪超等^[20]、Jia 等^[26]和 Li 等^[27]的研究小,这主要与研究区域、试验布设、采样方式等有关^[20]。含水量高的点比含水量低的点水分稳定性好,这一结论与 Jia 等^[28]的研究结果相反,可能与研究区地形、气象、植被、土壤等环境条件及研究尺度不同有关^[21]。

本研究分析并检验得到测点 5 土壤含水量值可估算区域水分均值,若代表性测点的土壤水分测定值能较好地代表研究区域的平均土壤水分含量,则可将它们作为研究区土壤水分含量的长期监测点,从而掌握该区域的墒情并合理规划^[9]。很多学者也借助了时间稳定性分析方法获得某一研究区域土壤水分的代表性测点,如高磊^[3]、刘继龙等^[19]、白一茹等^[21]、Jia 等^[28]的研究得到了一致的结论。本研究及以上研究说明,即使研究区域、土壤质地、植被类型和气候等条件不同,但只要当外界环境因素趋于稳定时,区域土壤含水量会在空间上表现出较明显的时间稳定性特征,这一结论可以帮助研究者快速准确获得某一区域的水分状况,可为当地土壤水分监测、田间水分灌溉提供方便快捷的途径,对于区域水分管理具有重要意义^[21]。本研究的水分测定方法采用经典烘干法测定,此法虽然简单易行,但需要长期观测、定期测定土壤含水量时,不能反复的在同一个位置取样,因为第 1 次取样已经对土壤造成一定的破坏,尽管每一次取样已经尽量保证测量位置的一致性,但天然土壤具有空间变异性,这给测定结果带来了一定的误差,也会对土壤水分空间模式的相似性带来一定的影响^[29]。

4 结论

(1)在桉树的整个生长时期中,其土壤含水率具有较弱的空间变异性,在时间上具有中等程度变异性。含水率的平均值为 21.81%。

(2)Spearman 秩相关系数法结果表明,各年平均土壤含水率相关系数不高,绝大多数日期时间不具有显著性,整个研究区域的土壤水分含量无论在什么时间都具有较弱的时间稳定性,土壤含水率的空间模式在观测时间上的相似性较弱。

(3)相对差分标准差的平均值为 5.73%,极差为 12.11%,标准差仅为 1.54%,时间稳定性指数平均值为 6.58%,标准差仅为 1.64%,不同坡度条件下土壤具有水分较好的时间稳定性。测点 2,3,6,7,8 实测

平均值相比较为湿润,而测点 1,4,9,5 的土壤含水率相对较低,湿润点的标准差和时间稳定性指数都相对小且稳定。

(4)回归分析得到,测点 5 的土壤含水率与整个研究区坡面土壤水分均值具有较高相关性, R^2 值为 0.879,MBE 值为 0.141,RMSE 值为 99.4%,可以利用位于坡面中上的测点 5 估计整个研究区浅层平均土壤含水率。

参考文献:

- [1] 王敏政,周广胜.基于地面遥感信息与气温的夏玉米土壤水分估算方法[J].应用生态学报,2016,27(6):1804-1810.
- [2] Vereecken H, Huisman J A, Franssen H J H, et al. Soil hydrology: Recent methodological advances, challenges, and perspectives[J].Water Resources Research, 2015,51(4):2616-2633.
- [3] 高磊.黄土高原小流域土壤水分时间稳定性及空间尺度性研究[D].北京:中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心),2012.
- [4] Gómez PA, Alvarez R J, Albaladejo J, et al. Spatial patterns and temporal stability of soil moisture across a range of scales in a semi-arid environment[J]. Hydrological Processes,2015,14(7):1261-1277.
- [5] Jia X, Shao M A, Wei X, et al. Hillslope scale temporal stability of soil water storage in diverse soil layers [J].Journal of Hydrology,2013,498:254-264.
- [6] Gómez P A, Alvarez R J, Albaladejo J, et al. Spatial patterns and temporal stability of soil moisture across a range of scales in a semi-arid environment[J].Hydrological Processes,2015,14(7):1261-1277.
- [7] 刘泽彬,王彦辉,徐丽宏,等.六盘山华北落叶松林坡面的土壤水分时间稳定性[J].水土保持学报,2017,31(1):153-159.
- [8] 韩晓阳,刘文兆,程立平.黄土塬区深剖面土壤水分垂直分布特征及其时间稳定性[J].应用生态学报,2017,28(2):430-438.
- [9] 赵文举,李晓萍,范严伟,等.压砂地土壤水分的时间稳定性研究[J].应用基础与工程科学学报,2015,23(6):1245-1253.
- [10] Biswas A, Cresswell H P, Chau H W, et al. Separating scale-specific soil spatial variability: A comparison of multi-resolution analysis and empirical mode decomposition[J].Geoderma,2013,209/210:57-64.
- [11] 赵其国,黄国勤.广西红壤肥力与生态功能协同演变机制与调控综合报告[M].北京:科学出版社,2015.
- [12] 庞海恩.广西钦廉林场巨尾桉和红椎人工林对林下植物物种多样性影响的比较研究[D].南宁:广西大学,2018.
- [13] 朱育锋,肖智华,彭晚霞,等.广西不同龄级桉树人工林

植物多样性和群落结构动态变化特征[J].中南林业科技大学学报,2018,38(12):38-44.

[14] 李飞宇,梁燕英,石茂鑫.广西桉树人工林生态效益分析与评价[J].安徽农业科学,2017,45(29):161-165.

[15] 马倩.不同经营措施对桉树林地植物多样性和土壤肥力的影响[D].南宁:广西大学,2018.

[16] 卢婵江.广西东门不同林龄巨尾桉人工林的生物生产力及经济效益分析[D].南宁:广西大学,2017.

[17] 俞月凤,彭晚霞,宋同清,等.喀斯特峰丛洼地不同森林类型植物和土壤 C、N、P 化学计量特征[J].应用生态学报,2014,25(4):947-954.

[18] 于婧睿. 桉树幼树蒸腾和林地土壤蒸发及入渗研究[D].南宁:广西大学,2016.

[19] 刘继龙,马孝义,张振华,等.果园土壤水分时间稳定性研究[J].应用基础与工程科学学报,2014,22(4):698-704.

[20] 朱绪超,邵明安,朱军涛,等.高寒草甸生态系统表层土壤水分时间稳定性研究[J].农业机械学报,2017,48(8):212-218.

[21] 白一茹,王幼奇,王建宇.黄土丘陵区枣林土壤水分时间稳定性特征[J].应用基础与工程科学学报,2018,26(1):23-34.

[22] 李春茂,陈洪松,徐勤学,等.典型岩溶峰丛洼地坡面土壤水分空间变异性[J].中国岩溶,2018,37(2):159-167.

[23] 魏全帅.红松阔叶混交林林隙丘坑复合体微气候及其分布格局[D].哈尔滨:东北林业大学,2014.

[24] 程辉.小尺度石漠化坡耕地土壤属性空间变异研究[D].重庆:西南大学,2013.

[25] Yang L, Wei W, Chen L D, et al. Response of temporal variation of soil moisture to vegetation restoration in semi-arid Loess Plateau, China [J]. Catena, 2014, 115:123-133.

[26] Jia X, Shao M A, Wei X , et al. Hillslope scale temporal stability of soil water storage in diverse soil layers[J].Journal of Hydrology,2013,498:254-264.

[27] Li X Z, Shao M A, Jia X, et al. Landscape-scale temporal stability of soil water storage within profiles on the semiarid Loess Plateau of China[J].Journal of Soils and Sediments,2015,15(4):949-961.

[28] Jia Y H, Shao M A. Temporal stability of soil water storage under four types of revegetation on the northern Loess Plateau of China [J]. Agricultural Water Management,2013,117(1):33-42.

[29] 李旺霞,陈彦云.土壤水分及其测量方法的研究进展[J].江苏农业科学,2014,42(10):335-339.

(上接第 166 页)

[21] 杜威,王紫泉,和文祥,等.豆科绿肥对渭北旱塬土壤养分及生态化学计量学特征影响[J].土壤学报,2017,54(4):999-1008.

[22] Pypers P, Bimponda W, Lodi-Lama J P, et al. Combining mineral fertilizer and green manure for increased, profitable cassava production[J]. Agronomy Journal, 2012,104(1):178.

[23] Bayala J, Sileshi G W, Coe R, et al. Cereal yield response to conservation agriculture practices in drylands of West Africa: A quantitative synthesis[J]. Journal of Arid Environments,2012,78:1-25.

[24] 颜志雷,方宇,陈济琛,等.连年翻压紫云英对稻田土壤养分和微生物学特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(5):1151-1160.

[25] Liu M, Hu F, Chen X, et al. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: The influence of quantity, type and application time of organic amendments[J]. Applied Soil Ecology,2009,42(2):1-175.

[26] 李正,刘国顺,敬海霞,等.绿肥与化肥配施对植烟土壤微生物量及供氮能力的影响[J].草业学报,2011,20(6):126-134.

[27] 刘国顺,李正,敬海霞,等.连年翻压绿肥对植烟土壤微生物量及酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(6):1472-1478.

[28] 张成兰,艾绍英,杨少海,等.双季稻—绿肥种植系统下长期施肥对赤红壤性状的影响[J].水土保持学报,2016,30(5):184-189.

[29] 李萍,荀咪,岳松青,等.果园土壤有机碳及呼吸速率对豆科和禾本科草类的差异反应[J].水土保持学报,2018,32(6):327-332.

[30] 杨曾平,徐明岗,聂军,等.长期冬种绿肥对双季稻种植下红壤性水稻土质量的影响及其评价[J].水土保持学报,2011,25(3):92-97,102.

[31] 倡国涵,赵书军,王瑞,等.连年翻压绿肥对植烟土壤物理及生物性状的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(4):905-912.