

用典型相关法分析桉树人工林干季 土壤水分影响因子^{*}

黄志宏 周国逸

(中国科学院华南植物研究所 广州 510650)

Jim Morris

(澳大利亚森林树木科技中心 海德堡 3084)

张宁南

(中国林业科学研究院热带林业研究所 广州 510520)

摘 要: 对雷州半岛纪家林场桉树人工林小集水区 1999 - 2000 年度干季土壤水分及林内小气候的定位观测结果进行典型相关分析,得出以下结论:(1)地下 0~4 m 深土壤层间(即 SM50, SM150, SM250, SM350)表示含水量差异极显著,下层土壤含水量高于上一层;(2)最高温度($T_{\max}$)和最低温度($T_{\min}$)对土壤含水量(SWC)变化的权重系数分别为 1.260 和 0.840;影响较深层次(即 SM150, SM250, SM350)土壤含水量变化的因素是水汽压差(VPD)、 $T_{\min}$ 、辐射(R_s)、 $T_{\max}$,其中 SM350 和降雨量(P_r)相关性显著($P = 0.001$);影响浅层(SM50)SWC 变化的主要因素是 P_r 和风力;(3)气象因子与 SWC 间典型相关系数分别为 0.841 和 0.548($P = 0.001$);气象因子与 SWC 变量间的复相关系数为 0.707;(4)气象因子通过第一典型相关变量(U_1, W_1)可解释 SWC 总变异量的 40.4%,2 个典型变量(U_1, W_1)和(U_2, W_2)共可解释 SWC 总变异量的 43.0%。 U_1 可解释 SWC 自身变异量的 57.2%;(5)气象因子中主要是 $T_{\max}$ 、 $T_{\min}$ 、 R_s 影响 SM350、SM250、SM150 三层的 SWC。

关键词: 桉树人工林, 干季, 土壤水分, 气象因子, 典型相关分析

CANONICAL CORRELATION ANALYSIS OF METEOROLOGICAL FACTORS ON DRY SEASONAL SOIL WATER CONTENT DYNAMICS IN EUCALYPTUS PLANTATION ON LEIZHOU PENINSULA OF CHINA

Huang Zhihong Zhou Guoyi

(South China Institute of Botany, CAS Guangzhou 510650)

Jim Morris

(Centre for Forest Tree Technology, Forest Science Centre Heidelberg 3084 Australia)

Zhang Ningnan

(Research Institute of Tropical Forest, CAF Guangzhou 510520)

Abstract: The use of *Eucalyptus* as plantation trees in the tropics has been criticized in the world wide on the grounds that they consume water in excessive amounts, but it is no general answer to the question of whether *Eucalyptus* consume water in excessive quantities because site conditions, climate and species all influence water use. In south China, however, there is little information on water use by *Eucalyptus* plantations. The purpose of this paper was to discuss effects of meteorological factors on dry seasonal dynamics of soil water content in *Eucalyptus* plantation on Leizhou peninsula of southern China. Based on the data obtained from locate-oriented observation throughout the dry season from Oct. 1999 to Mar. 2000, the method, canonical correlation analysis, which could puts emphasis upon holistic meteorological factors and soil water content (SWC), was employed to analyze the relationship between them. The main results indicated as followings:(1) Soil water content varied markedly in different layers and mean water content of layers increased with the depth of soil ($P = 0.001$);(2) The coefficient of weight for daily maximum temperature($T_{\max}$) and minimum temperature

收稿日期:2002 - 02 - 04。

基金项目:中国科学院创新工程项目 KZCX2-407、国家基金 39928007、FST97/77、中科院海外杰出青年项目支持。

* 黄志宏现在广东韶关学院英东生物工程学院农业工程系工作,周国逸为通讯作者。

($T_{\min}$) was 1.260 and 0.840, respectively. And the main meteorological factors that changed soil water content of deeper layers (SM150, SM250, SM350) were vapour pressure deficit (VPD), daily minimum temperature ($T_{\min}$), solar radiation (R_s), and maximum temperature ($T_{\max}$); SWC at SM350 had a significant relationship with precipitation (P_r) ($P = 0.001$), while the main factors influencing SWC at SM50 were P_r and wind speed. (3) The canonical correlation coefficients between canopy meteorological factors and SWC were 0.841 and 0.548 ($P = 0.001$), respectively. And the multiple correlation coefficients between the two canonical variables was 70.7%; (4) The total variance in soil water content explained by first canonical covariates (U_1, W_1) was 40.4%. The two canonical variables, (U_1, W_1) and (U_2, W_2), explained total variation in soil water content was 43.0%. The first canonical variables U_1 can account for total variation in dependent variables of soil water content up to 57.2%; (5) The soil water content at SM350, SM250, SM150 were mainly affected by daily maximum temperature, minimum temperature, and solar radiation among the canopy meteorological factors.

Key words: *Eucalyptus* plantation, Dry seasons, Soil water content, Meteorological factors, Canonical correlation method

桉树 (*Eucalyptus*) 人工林是我国最大的人工林林种之一,其面积在世界上仅次于巴西和印度居第3位。桉树以其适应性强、速生丰产、良好的经济效益和社会效益而深受欢迎(杨民胜等, 2001)。然而,有关桉树人工林的环境风险问题,即其旺盛的生长是否会造成地下水的过量消耗,从而导致对当地农业和生活用水安全带来一定的危险曾一度引起世人的关注(Calder, 1992; Davidson, 1995; Bruijnzeel, 1997; Landsberg, 1997)。因此,人工林林地土壤含水量变化动态近年来日益引起人们的重视。国内曾先后开展过河北杨、晋西黄土区人工林、毛乌素沙地油松及沙地柏等的水分生态研究(焦树仁, 1987; 王孟本等, 1991; 1995; 1996; 董学军等, 1999a; 1999b), 桉树人工林土壤及地下水动态的对比研究(周国逸等, 1995)。国外澳大利亚和印度分别对桉树人工林地下水动态进行了研究(Kallarackal, 1992; Akilan *et al.*, 1997; Meiresonne *et al.*, 1999)。由此可见,从桉树水分生理角度以及林分角度甚至集水区水文学角度来看,桉树人工林林地土壤水分方面的研究可作为中心问题之一。目前包括桉树人工林在内的林地土壤水分动态的研究多侧重于生长季(Silberstein *et al.*, 1999),而桉树人工林干季土壤水分动态方面的研究较少,这不利于全面认识桉树人工林土壤水分在全年内的动态变化。本文研究了部分环境因子主要是气象因子对桉树人工林干季土壤含水量变化的影响,以探讨环境因子和干季土壤水分动态之间的变化关系,为进一步客观认识与合理经营桉树人工林提供理论依据。

1 研究地概况及研究方法

1.1 研究地概况

研究地位于广东雷州林业局纪家林场(20°52'N, 109°25'E),属热带北缘海洋性季风气候。年平均气温 23.5℃,最热月 7 月,平均气温 28.9℃,极端最高温 37.2~38.8℃;最冷月 1 月,平均气温 15.2℃,极端最低温 1.4~3.6℃;年平均降雨量 1 885 mm,分配不均,干湿季明显,4~9 月为雨季,降雨量约占全年的 80%;年蒸发量 1 763 mm,年相对湿度 80.4%,平均海拔高 30 m 左右。研究地林分为桉树纯林,主要树种有尾叶桉 (*E. urophylla*)、刚果 12 号桉 (*E. ABL12*)、巨桉 (*E. grandis*)、赤桉 (*E. camaldulensis*) 和雷林 1 号桉 (*E. leizhouensis* No. 1)。林地平整,土壤为红色砖红壤,较瘠薄。林下植被稀少,主要有鹧鸪草 (*Eriachne pallascens*)、坡柳 (*Dodonaea viscosa*) 等。6~11 月时有台风侵袭,台风风力一般 9~10 级,最大可达 12 级,对林木生长影响很大。

1.2 研究方法

1.2.1 数据观测方法 采用小集水区定位研究方法,观测时段为 1999 年 10 月 1 日—2000 年 3 月 31 日。

土壤水分的测定 在小集水区桉树人工林内选择有代表性样地一个,将土壤水分感应探测器探头分别埋于 50、150、250 和 350 cm 4 个不同深度的土层内,感应器数据传输时间步长设为 30 min 一次,自动记录数据。土壤含水量由 Theta probes Delta-T devices(英国)测定。

林内冠层小气候的测定 测定地点与土壤水分测定点相同。林内小气候观测系统由微功率数据采集器(Micropower data-loggers)和环境传感器(environmental sensors)共同组成,仪器为澳大利台恩电子公司制造(Tain Electronics, Box Hill, Australia)。测定内容为辐射(R_s)、风速(W_s)、相对湿度(RH)、最高温度($T_{\max}$)、最低温度($T_{\min}$)。水汽压差(VPD)由相对湿度计算得到。降雨量(P_r)由林外 300 m 处 SL3 自记式雨量计记录。

上述所有数据均为自动记录,每月将数据用专用电脑从数据存贮器内取出。

1.2.2 数据处理方法 将所收集到数据分成两类,即土壤含水量变量和林冠层气象因子变量。土壤水分分 50、150、250、350 cm 4 个层次的子变量,在本文中分别以 SM50、SM150、SM250、SM350 表示(下同);环境影响因子分 R_s 、 P_r 、 W_s 、 VPD 、 $T_{\max}$ 、 $T_{\min}$ 等 6 个子变量。数据分析采用典型相关分析,由统计软件 SPSS10.0 及 EXCEL2000 完成相关计算。

2 结果与分析

2.1 土壤含水量垂直分层分布

关于土壤水分垂直分布特征的定量研究分析,采用标准差判别法(王孟本等,1995)。首先,将各层土壤含水量作异质性方差分析,探讨各层含水量总体差异显著性并作为分层的依据。然后,对各层间含水量作平均值多重比较显著性检验,以此差异显著性作为细分层次的依据。总体差异方差分析以及层间平均值差异显著性结果分别如表 1、2 所示。

表 1 土壤含水量层间差异方差分析
Tab. 1 Test of homogeneity of variances in layers

差异源 Source of variation	方差和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方差 Mean square	F 统计值 Statistic F value	F 检验值 Critical F value
组间 Between groups	0.669	3	0.223	500.856	5.478 **
组内 Within groups	0.331	744	0.000 4		

土壤含水量总体方差分析及层间差异检验均达到极其显著的水平($P=0.001$)(表 1、2)。桉树人工林林地内各土壤层含水量差异明显,是分层次的。各层含水量平均值分别为 0.418, 0.446, 0.467, 0.500 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,对应的标准差分别是 0.025, 0.023, 0.013, 0.022。另外,从各层深度的含水量值动态图(图 1)可以看出是分层的,明显地可以分成 4 个层次,即:活跃层(0~50 cm)、次活跃层(50~150 cm)、相对稳定层(150~250 cm)和稳定层(250~350 cm)。

2.2 土壤含水量与林冠层气象因子变量间的典型相关分析

将数据分为两类,即土壤含

表 2 土壤含水量层间差异多重比较
Tab. 2 Multiple comparisons between water content of layers in different depths

组别 I Group I	组别 J Group J	组间平均差 (I-J) Mean difference between groups (I-J)	标准差 Std. error
1	2	- 2.791E-02 *	2.182E-03
	3	- 4.841E-02 *	2.182E-03
	4	- 8.197E-02 *	2.182E-03
2	1	2.791E-02 *	2.182E-03
	3	- 2.049E-02 *	2.182E-03
	4	- 5.405E-02 *	2.182E-03
3	1	4.841E-02 *	2.182E-03
	2	2.049E-02 *	2.182E-03
	4	- 3.356E-02 *	2.182E-03
4	1	8.197E-02 *	2.182E-03
	2	5.405E-02 *	2.182E-03
	3	3.356E-02 *	2.182E-03

表中 1、2、3、4 分别代表 SM50、SM150、SM250、SM350 4 个层次。Number 1, 2, 3 and 4 represent SM 50, SM 150, SM 250 and SM 350, respectively.

水量和林冠层气象因子变量。土壤水分分 SM50、SM150、SM250 和 SM350 4 个层次,用子变量 y_1, y_2, y_3 和 y_4 代表,由此构成因变量 U ;林冠层气象因子分 $R_s, P_r, W_s, VPD, T_{\max}$ 和 $T_{\min}$ 6 个子变量,以 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 和 x_6 表示,构成气象因子变量(控制变量) W 。采用典型相关分析研究两类变量(U, W)间的相关性。

表 3(U_1, W_1)为第 1 典型相关变量,SM50、SM150、SM250 和 SM350 的载荷量分别为 0.177, 0.381, 1.833, 2.486。各因子前的符号表明变化的方向性,正号代表趋向于增加,负号趋向于减少。 W_1 中各因子的系数即为其负荷量,其绝对值反映了其对典型变量的贡献率大小;其中正负号表明作用的方向性。

从第 1 典型相关变量表达式中,可归纳为如下几个特点:

第一,在 U_1 中 SM250 和 SM350 的水分负荷量值较高,以 SM350 为最大;而 SM50 和 SM150 的负荷量较小。这意味着在较长时间的干季里,近地表层蒸发较多的水分,降雨量不足以补充其蒸发量,因而逐渐呈现出低含水量状态;而地下较深处,如 SM250 和 SM350 处,由于地下水位较高,而且可能还在不断向这两个层次补充水分,所以维持着较高的含水量;而地表较长时间的水分收支失衡,使水分积累为负,因此地下较深土层的含水量逐渐在林地土壤贮水总量中占据主导地位。

表 3 典型相关分析结果
Tab. 3 Results of canonical correlation analysis

典型相关与变量 Canonical correlation and canonical variables	第 1 变量组与第 2 变量组 The first and the second canonical variables
第 1 典型相关系数 r_1 The first canonical correlated coefficient r_1	$r_1 = 0.841 (P = 0.001)$
第 1 典型变量(U_1, W_1) The first canonical variables (U_1, W_1)	$U_1 = -0.177y_1 + 0.381y_2 - 1.833y_3 + 2.486y_4$ $W_1 = 0.571x_1 + 0.131x_2 - 0.214x_3 + 0.381x_4 - 0.842x_5 + 1.260x_6$
第 2 典型相关系数 r_2 The second canonical correlated coefficient r_2	$r_2 = 0.548$
第 2 典型变量(U_2, W_2) The second canonical variables (U_2, W_2)	$U_2 = -0.146y_1 + 1.616y_2 + 0.086y_3 - 1.436y_4$ $W_2 = 0.473x_1 + 0.000x_2 - 1.070x_3 - 0.117x_4 - 0.873x_5 + 0.272x_6$

第二,在干季,风力和高温均不利于土壤水分的维持,尤其是 $T_{\max}$ 。这与常识相符,即二者都有利于蒸发而有利于提高土壤水分含量。表达式 W_1 中,二者的符号为负,也说明了这一点。

第三,从表达式 W_1 的系数来看, P_r 在干季所起的作用甚至低于 VPD ; $T_{\min}$ 对 W_1 的贡献率最大,其负荷系数为 1.457。这表明,干季降雨量太少,以至于不能成为影响土壤水分含量的主要因子;而低温尤其是 $T_{\min}$ 通过增加土壤中水分的粘滞性和降低根系的生理活性从而影响根部水势及降低空气中饱和水汽压差,可能降低了土壤蒸发与树木蒸腾强度,从而有利于维持各层次土壤水分。

从第 2 典型相关变量表达式(U_2, W_2)可看出如下几个趋势:

第一,在干季气象因子中,风力是影响林地土壤水分重要的因素之一,其次是最高温度。二者均降低土壤含水量。

第二,在干季的降雨量太少不足以显著提高 SWC 的情况下,随着时间的推进,林地土壤贮水量是倾向于减少的。然而,这并不意味着各层 SWC 均在减少,因为其中变化较大的只是第 2 层和第 4 层。第 2 层 SWC 的减少是因为蒸发和蒸腾引起,而第 2、3 层含水量的增加可能是第 4 层水分向上传输的结果。

2.3 土壤水分动态影响因子显著性检验

SWC 与林冠层气象因子的典型相关表达式给出了土壤含水量与各种气象因子相互关系的一个总体轮廓,但不能确定各影响因子的显著性程度。所以,有必要进一步作典型变量中各因子间相关性检验。如表 4 所示,在干季,SM50 处的 SWC 与 P_r 和 W_s 相关性显著,尤其与 P_r 相关性极其显著,表明

SM50 处的 SWC 明显受 P_r 、 W_s 的影响;而与 R_s 、 VPD 、 T_{max} 和 T_{min} 相关性不显著。SM50 处含水量变化受 P_r 影响而波动较大(图 1)。干季期间降雨量的分布和降雨强度见图 2。

表 4 典型变量(U, w) 中各因子间相关性检验
Tab. 4 Test of significance between special variables in U & W

控制变量 Independent variables	SM50 显著性值 Significance of SM50	SM150 显著性值 Significance of SM150	SM250 显著性值 Significance of SM250	SM350 显著性值 Significance of SM350
R_s	0.419	0.001 ***	0.008 *	0.002 *
P_r	0.000 ***	0.031 *	0.110	0.025 *
W_s	0.016 *	0.000 ***	0.597	0.400
VPD	0.130	0.024 *	0.000 ***	0.000 ***
T_{max}	0.461	0.000 ***	0.007 *	0.002 *
T_{min}	0.878	0.000 ***	0.000 ***	0.000 ***

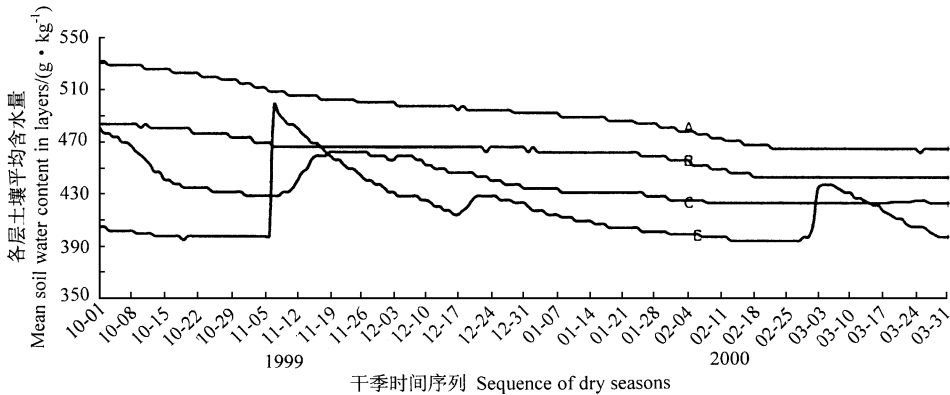


图 1 干季各层土壤含水量分布曲线图(Oct. 1999—Mar. 2000)

Fig. 1 Distribution of soil water content in layers in dry seasons(Oct. 1999 to Mar. 2000)
A-SM350 B-SM250 C-SM150 D-SM50

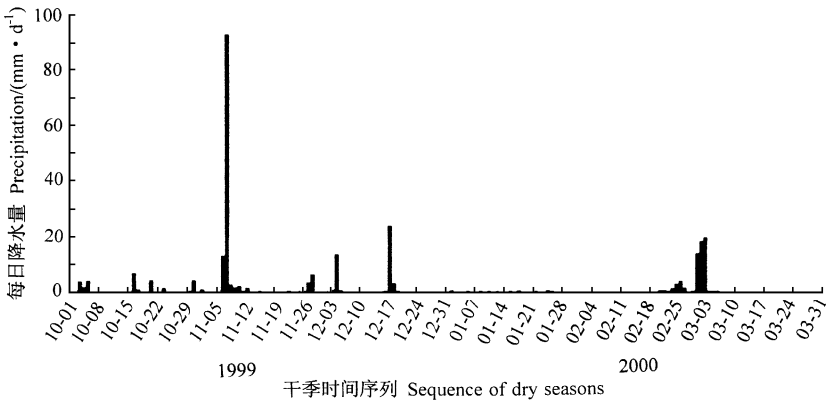


图 2 1999—2000 年干季降雨量分布

Fig. 2 Distribution of precipitation during dry seasons of 1999 to 2000

SM150 处的 SWC 与 R_s 、 W_s 、 T_{max} 和 T_{min} 相关性极其显著 ($P = 0.001$), 与 P_r 、 VPD 相关性显著 ($P = 0.05$)。SM250 和 SM350 同时与 VPD 、 T_{min} 相关性极其显著 ($P = 0.001$), 其次与 R_s 、 T_{max} 达到显著相关性 ($P = 0.05$); 其中 SM350 除了具有上述相关外, 还与 P_r 相关性显著 ($P = 0.05$)。这种现象中有两点值得注意, 一是较深层次土壤含水量变化的影响因素具有一致性; 二是较深层次(即 SM150, SM250 和 SM350) SWC 变化的主要因素与影响浅层(SM50) SWC 变化的主要因素不一样, 因而其变化趋势也不一样(见图 1)。这是由土壤层次不同深度所决定的特征; 同时还与气象因子(如降雨)作用强度与方式有关(王孟本等, 1995)。一些研究结果(Phillips *et al.*, 1999; Pataki *et al.*, 2000; Oren *et al.*, 2001) 也支持这一观点。

2.4 土壤水分动态影响因素综合分析

在 2.2 和 2.3 中,分别给出了土壤水分含量变化与各种环境因子相互关系的总体轮廓,及气象因子中各变量对 SWC 间相互关系的显著性程度。在此,进一步分析气象因子各变量及土壤层含水量变量与两个典型因素 (U_1, W_1) 和 (U_2, W_2) 间的相关性以及这些因素与典型因素间复杂的关系,以得出一个综合的评价。结果如表 5 所示。

表 5 气象因子与土壤水分含量间的典型相关分析
Tab. 5 Canonical correlation between meteorological factors and soil water content

控制变量 Independent variables- W	典型变量 W_1 Canonical variables W_1	典型变量 W_2 Canonical variables W_2	效标变量- U Dependent variables- U	典型变量 U_1 Canonical variables U_1	典型变量 U_2 Canonical variables U_2
R_s	0.658	0.141	SM50	0.200	0.202
P_f	0.031	- 0.181	SM150	0.799	0.513
W_s	- 0.238	- 0.922	SM250	0.863	- 0.111
VPD	0.574	0.202	SM350	0.930	- 0.146
$T_{\max}$	0.831	- 0.061			
$T_{\min}$	0.833	- 0.304			
抽出变异数百分比 Pct Var DE	25.9	5.2	抽出变异数百分比 Pct Var DE	57.2	8.5
重叠 Pct Var CO	36.8	17.3	重叠 Pct Var CO	40.4	2.5
			r^2	0.707	0.300
			r	0.841 *	0.548 *

由表 5 可以看出:

第一,两个典型相关系数均达 0.05 以上的显著水平,分别为 $r_1 = 0.841$ 和 $r_2 = 0.548$,6 个气象因子变量(即控制变量)主要通过两个典型因素影响到各层 SWC。

第二,气象因子变量与土壤含水量变量的第 1 个典型变量 (U_1, W_1) 间的复相关系数为 0.707,而土壤含水量变量的第 1 个典型因素 (U_1) 可解释土壤含水量自身变异量的 57.2%。气象因子变量与土壤含水量变量重叠部份为 40.4%,因而,气象因子变量通过第 1 典型因素 (U_1, W_1) 可解释土壤含水量变异量的 40.4%。

第三,土壤含水量变量的第 2 个典型变量 (U_2) 可解释土壤含水量自身变异量的 8.5%,气象因子变量与土壤含水量变量重叠部份为 2.5%,表明气象因子变量通过第 2 典型变量 (U_2, W_2) 可解释土壤含水量变异量的 2.5%。

第四,气象因子变量和土壤含水量变量在第 1 个至第 2 个典型因素的重叠部份,共计 43.0%。即气象因子中 6 个气象因子变量经由第 1 (U_1, W_1)、第 2 典型变量 (U_2, W_2) 共可解释 SM50、SM150、SM250 和 SM350 4 个土壤层含水量总变异量 43.0%。

第五,两组典型相关及重叠量以第 1 个典型相关较大,第 2 组的重叠量甚小,可见 6 个气象因子变量主要是由第 1 典型因素影响 4 个土壤层含水量的。6 个气象因子变量中与第 1 个典型因素 (W_1) 相关性较高者为 $T_{\min}$ 、 $T_{\max}$ 和 R_s ,其相关系数依次为 0.883、0.831、0.658;在土壤含水量变量中,与第 1 个典型因素 (U_1) 的关系较密切者为 SM350、SM250、SM150,其相关系数几乎均在 0.800 以上。可见,第 1 个典型因素中主要是 $T_{\min}$ 、 $T_{\max}$ 和 R_s 影响 SM350、SM250、SM150 3 层的 SWC。

3 结论与讨论

在以往研究中,由于样本数量有限,因而随机误差影响可能会较大,这已引起一些研究者的注意(王

孟本等,1995)。本试验中土壤水分监测是整个干季里每日自动观测记录,并且其它观测项目也是同步记录,这使样本数据精度、可比性和样本数量的局限性在一定程度上得到了提高。

本文从干季土壤不同深度 SWC 分布入手,研究了桉树人工林林冠层气象因子对 SWC 的影响,将上述变量分为气象因子变量和土壤含水量变量两组变量,利用典型相关分析方法,得如下结论:

在干季 SWC 随着深度而变化,层间含水量差异极其显著,较深层土壤含水量高于较浅层的。各层土壤含水量因子中以 SM350 与 SM250 占林地 SWC 比重较大,权重系数依次为 2.486 和 1.833。这个结果与雨季研究结果相仿(王孟本等,1995),但不同之处在于,王孟本等(1995)的研究结果表明在晋西黄土区上层土壤 SWC 较下层的为高,这可能与两地土壤质地、降水格局以及地下水位不同有关。同时,通过比较干季、雨季各层土壤 SWC 变化曲线,发现干季的 SWC 变化曲线较为平缓,总体趋势是下降的,而雨季的 SWC 变化起伏较大。这可能与雨季的降水格局、降水强度及植物生长等因素同干季相比均有较大的区别有关。

气象因子中, $T_{\min}$ 和 $T_{\max}$ 在气象因子中所起的作用较大。干季 P_r 和 W_s 极其显著地影响土壤浅层(SM50)的 SWC, R_s 、 VPD 、 $T_{\max}$ 和 $T_{\min}$ 也能显著地影响浅层的 SWC,因而 SM50 处含水量变化曲线波动较大。影响较深层土壤含水量变化的因素具有一定程度的一致性,这是由于土壤所处深度层次不同及气象因子作用强度与方式有别,因而引起较深层(即 SM150、SM250 和 SM350) SWC 变化的主要因素与较浅层(SM50)的不一样,其变化程度也不同。

两个典型因素相关性较强(r_1 、 r_2 依次是 0.841 和 0.548),气象因子变量通过两个典型因素(U_1 , W_1), (U_2 , W_2), 可以解释土壤含水量变量总变异量的 43.0%。第 1 典型因素主要是气象因素变量中的 $T_{\min}$ 、 $T_{\max}$ 和 R_s 影响了 SM350、SM250 和 SM150 3 层次中的 SWC。

土壤水分具有明显的时空尺度特征(Davidson,1995),并有研究发现了桉树人工林土壤水分的年内变化近似于单峰曲线(周国逸等,1995)。桉林—砖红壤水分也具有明显的季节性,在雨季的短期内其土壤水分会出现较大幅度变化(钟继洪等,2001)。因此,如果在年际时间尺度里比较干、湿季 SWC 动态可能会提供更多的 SWC 动态信息。

在本研究中,SM150 中的 SWC 与 R_s 、 W_s 、 $T_{\max}$ 和 $T_{\min}$ 均达到极其显著相关水平,与 P_r 及 VPD 也达显著相关水平。SM250 和 SM350 与 VPD 、 $T_{\min}$ 均达到极其显著相关水平,与 R_s 、 $T_{\max}$ 也达到显著程度;但此二层中只有 SM350 与 P_r 相关性达显著水平。研究表明,王桉(*E. grandis*) 气孔对高的 VPD 反应明显,可以看作是桉树夏季耗水下降的主要原因(Myers *et al.*, 1998)。在本研究中, R_s 、 W_s 、 $T_{\max}$ 、 $T_{\min}$ 等因素同 SM150、SM250、SM350 中的 SWC 相关性达到显著性水平,有的甚至于达到极其显著水平。考虑到两个典型因素解释了 4 个层次 SWC 总变异量的 43.0%,因此推断可能还有其它因素(如土壤、蒸腾等)在起作用。桉树作为一个热带、亚热带的常绿速生树种,在外界温度、湿度条件合适时没有明显的休眠期,2 年生的柠檬桉主根可深入地下 3.2 m(祁述雄,1989),地表下较深层次土壤水分正是通过桉树的蒸腾拉力才得以向上输送的。因此,桉树蒸腾的耗水作用可视为一个在量上有变化的消耗土壤水分的恒常因子。在干季,桉树并未停止生长,本研究只考虑了气象因子,而没有将桉树的蒸腾特性考虑进来,尽管环境因子的作用在一定程度上通过影响桉树蒸腾而制约着土壤水分损失,如桉树叶面积指数受水分胁迫和温度限制(Battaglia *et al.*, 1998),但这毕竟是一种间接作用。因而,桉树蒸腾作用引起的水分消耗可能只是林地干季系统贮水量下降的原因之一(Greenwood *et al.*, 1985)。但钟继洪等(2001)认为即使在雨季,SWC 受气候条件和桉树蒸腾蒸发的影响,在短期内就可能出现大幅度的变化。因此,气象因子与桉树耗水量对干季土壤水分动态的影响作用有待进一步研究。

参 考 文 献

- 董学军,陈仲新,阿拉腾宝等. 毛乌素沙地沙地柏的水分生态初步研究. 植物生态学报, 1999, 23(4): 311 - 319
 董学军,陈仲新,陈锦正等. 毛乌素沙地油松的水分关系参数随不同土壤基质的变化. 植物生态学报, 1999, 23(5): 385 - 392
 焦树仁. 辽宁章古台樟子松人工林水分动态的研究. 植物生态学与地植物学报, 1987, 11(4): 296 - 307

- 祁述雄. 中国桉树. 第一版, 北京: 中国林业出版社, 1989: 143
- 王孟本, 李洪建. 晋西北河北杨林水分生态的研究. 生态学报, 1991, 11(4): 313 - 317
- 王孟本, 李洪建. 晋西北黄土区人工林土壤水分动态的定量研究. 生态学报, 1995, 15(2): 178 - 184
- 王孟本, 李洪建. 晋西北小叶杨林水分生态的研究. 生态学报, 1996, 16(3): 232 - 237
- 杨民胜, 彭彦. 中国桉树人工林发展现状和实木加工利用前景. 桉树科技, 2001, 58(1): 1 - 6
- 钟继洪, 廖观荣, 李淑仪等. 雷州半岛桉林一砖红壤水分状况用及其意义. 水土保持通报, 2001, 21(6): 43 - 45
- 周国逸, 余作岳, 彭少麟. 小良试验站3种生态系统中土壤及地下水动态的对比研究. 生态学报, 1995, 15 Supp. (A): 217 - 221
- Akilan K, Farrell R C C, Bell D T *et al.* Responses of clonal river red gum trees (*Eucalyptus camaldulensis*) to waterlogging by fresh and salt water, Australian Journal of Experimental Agriculture, 1997, 37: 243 - 248
- Battaglia M, Cherry M L, Beadle C L *et al.* Prediction of leaf area index in Eucalyptus plantations: effects of water stress and temperature. Tree physiology, 1998, 18: 521 - 528
- Bruijnzeel L A. Hydrology of forest plantations in the tropics. In: Nambiar E K S, Brown A G (eds) Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests. ACIAR Monograph No. 43. 1997, 125 - 168
- Calder I R. Water use of eucalyptus-a review. In: Calder I R, Hall R L and Adlard P G (eds) Growth and water use of forest plantations. Chichester: John Wiley and Sons, 1992, 167 - 179
- Davidson J. Ecological aspects of Eucalyptus plantations. In White K, Ball J and Kashio M (eds) Proceedings of the Regional Expert Consultation on Eucalyptus, October 1993. Publication No. 1995/6, Vol. 1. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, 1995, 35 - 72
- Greenwood E A N, Klein L, Beresford J D *et al.* Differences in annual evaporation between grazed pasture and Eucalyptus species in plantations on a saline farm catchment. Journal of Hydrology, 1985, 78(3 - 4): 261 - 278
- Kallarackal J. Water use of Eucalyptus in Kerala. In: Calder I R, Hall R L and Adlard P G (eds) Growth and water use of forest plantations. John Wiley and Sons, Chichester. 1992, 290 - 297
- Landsberg J J. The biophysical environment. In: Nambiar E K S and Brown A G (eds) Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests. ACIAR Monograph No. 43. 1997, 65 - 96
- Meiresonne L, Nadezhdin N, Cermak J *et al.* Measured sap flow and simulated transpiration from a poplar stand in Flanders (Belgium). Agricultural and Forest Meteorology, 1999, 96: 165 - 179
- Myers B J, Benyon R G, Theiveyanathan S *et al.* Response of effluent-irrigated *Eucalyptus grandis* and *Pinus radiata* to salinity and vapor pressure deficits. Tree physiology, 1998, 18: 565 - 573
- Oren R, Pataki D. Transpiration in response to variation in microclimate and soil moisture in southeastern deciduous forests. Oecologia, 2001, 127: 549 - 559
- Pataki D E, Oren R & Smith W K. Sap flux of co-occurring species in a western subalpine forest during seasonal soil drought. Ecology, 2000, 81(9): 2557 - 2566
- Phillips N, Oren R, Zimmermann R *et al.* Temporal patterns of water flux in trees and lianas in a Panamanian moist forest. Trees: Structure and Function, 1999, 14: 116 - 123
- Silberstein R P, Sivapalan M, and Wylie A. On the validation of a coupled water and energy balance model at small catchment scales. Journal of Hydrology, 1999, 220: 149 - 168

《中国长白山野生花卉》

中国林业出版社出版

长白山森林茂密,生物物种丰富,是欧亚大陆北半部生物物种的天然贮存库,也是一座地处温带山地系统的天然神奇的自然博物馆。长白山野生花卉资源十分丰富,遍布于有规律垂直分布的五个自然景观带。

《中国长白山野生花卉》一书共收录 110 科 704 种野生花卉植物:每种花卉植物均配有精美彩色照片,并系统阐述其学名、别名、形态特征、生境、分布、用途等内容。该书图文并茂,资料翔实,且印装精美,不仅为保护和合理开发利用长白山野生植物资源提供依据,而且也为广大从事花卉医疗食疗和园林科研教学等方面的读者提供参考。

《中国长白山野生花卉》定价 350 元,欲邮购者,请在定价上加 20 % 的邮购费,将款汇至《林业科学》编辑部。电话:010 - 62889820, 010 - 62888579。