

文章编号 :1007 - 2985(2003)03 - 0062 - 07

鼎湖山不同演替阶段的森林土壤水分动态^{*}

尹光彩,周国逸,唐旭利,张倩媚

(中国科学院华南植物研究所,广东 广州 510650)

摘 要:运用中子水分仪监测了鼎湖山土壤水分数据,分析了鼎湖山不同演替阶段林地的土壤水分动态及其特征,探讨了温室效应对自然群落演替下土壤水分的影响.研究表明,鼎湖山不同林型林地土壤水分变化具有明显的差异,但它们的总体变化规律基本一致,即季风林、混交林、针叶林同一土层土壤储水量具有相似的变化趋势,从地表往下,土壤各层储水量呈下降趋势.随着森林的演替,林地土壤持水能力增强,且逐渐集中分布在根系比较密集的土壤上层.从各土层间的相关性来看,季风林最强,其次为针叶林,混交林最小.根据各季节土壤储水量变化的特点,鼎湖山土壤水分变化的季节动态大致分为 3 个阶段:土壤水分亏损期(1—3 月)、补偿期(4—9 月)和相对稳定期(10—12 月).

关键词:鼎湖山;林型;土壤储水量;分布特征

中图分类号:S718.51

文献标识码:A

森林土壤水分蓄库不仅为植物生长提供必要的水分来源,而且是森林生态系统物质循环的载体,它对林木生长起重要的制约作用.森林土壤水分状况不仅与气候、植被、地形和土壤性质等自然要素有关^[1],而且受林分组成、林龄、郁闭度、枯枝落叶层厚度以及林分成熟度等林分特征的制约.由于林地土壤水分具有极大的时空异质性和复杂性,故很难对其长期的动态变化做出系统、准确的估计.我国相关的研究主要集中在秦淮以北的半干旱和干旱地区以及水土流失严重的黄土高原区^[2~4].

大气 CO₂ 浓度的增加对陆地生态系统结构和功能将会产生深刻影响^[5,6].研究表明,由于全球温室气体浓度的增加将会使全球大气降水和热量状况发生改变,从而影响生态系统一系列的响应机制,如群落组成结构、水分利用效率等^[7,8].CO₂ 浓度增加会通过气孔导度间接地改变植被对土壤水分的响应^[9,10],但全球变化对水分,尤其是对土壤水分状况的直接影响还未见报道.显然,在全球变暖的气候背景下,土壤水分是调节群落结构的关键因素^[11],不同适应性的物种沿着土壤水分梯度重新分布^[12].因此,研究温室效应对自然群落演替下土壤水分的影响,有助于进一步探讨群落演替过程中土壤水分驱动因子在森林演替中的地位和作用.

笔者试图选取水热资源都很充足的南亚热带地带性森林生态系统——季风常绿阔叶林及其前期演替系列^[13](马尾松针叶林和针叶阔叶混交林)作为研究对象.在大气温室气体浓度增加和全球变暖的大气候背景下,南亚热带森林生态系统在演替过程中,其局部小生境也发生相应的改变.张秉刚等^[14,15]曾于 20 世纪 80 年代对这 3 种林分的土壤水分状况进行了研究;笔者将研究其目前的土壤水分动态,与以往的研究作一对比.由于时间跨度比较大,空间上也囊括了 3 种林型,因此,这 2 项研究完全可以作为温室效应对土壤水分影响的一个有力的证据.同时,这也将为其它相关的研究,如群落演替过程中生物量和生产力变化与土壤水分的关系、植被对环境适应性等研究奠定基础,为区域森林经营和管理服务.

^{*} 收稿日期:2003 - 06 - 05

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KSCX2 - SW - 120);科技部 973 前期资助项目(2001CCB00600);广东省基金重点资助项目(010567);中国科学院知识创新基金资助项目(KZCX2 - 407)

作者简介:尹光彩(1973 -),女,湖南省常德市人,中国科学院华南植物研究所博士研究生,主要从事生态系统生态学的研究.

1 一般资料

1.1 研究对象

鼎湖山(23°09'21"N,112°33'41"E)地处我国亚热带,位于欧亚大陆的东南缘,濒临太平洋和印度洋,属亚热带湿润季风型气候,水热资源丰富.年平均气温 20.9℃,最热月为 7 月平均气温 28.1℃,最冷月为 1 月平均气温 12.0℃,极端最高温度为 38℃,极端最低温度为 -0.2℃.林区多年平均降雨量为 1 900 mm,4—9 月为主要降雨季节,11 月至翌年 3 月为少雨季节,年平均蒸发量为 1 115 mm,年平均相对湿度为 81.5%.该区保存着亚热带地带性顶级森林生态系统——季风常绿阔叶林及其前期演替系列(马尾松针叶林和针叶阔叶混交林)(以下简称季风林、针叶林和混交林).土壤类型主要为赤红壤和黄壤,平均土层厚度约 50~80 cm.针叶林和混交林下为赤红壤,土层浅薄;季风林下为水化赤红壤,局部地区土层厚度在 100 cm 以上.

1.2 研究方法

在 3 种林型内设置标准样地,各标准地概况如表 1 所示.于 1999 年至 2002 年,每隔 10 d(即每月的 5、15、25 日)用中子水分仪分别测定 0~15、15~30、30~45、45~60、60~75、75 cm 以下这 6 个层次的土地层储水量.由于表层土壤腐殖质层厚度空间异质性很大,不同地方的中子水分仪标定不一致,导致用中子水分仪测定表层土壤不够精确.所以,0~15、15~30 cm 用土钻采样,每层 3 个重复,用烘干法测定质量含水率(%).计算土层储水量 S (mm) 的公式为

$$S = Vh/10, \tag{1}$$

$$S = 0.1hm\rho, \tag{2}$$

其中,(1)式用于中子水分仪法,(2)式用于烘干法, V 为土层体积含水量(cm^3/cm^3), h 为土层厚度(15 cm), m 为质量含水率(%), ρ 为该土层土壤容重(g/cm^3).

表 1 试验样地概况
Table 1 General Information of the Experimental Sites

林分类型 Forest types	坡度 / (°) Gradient	坡向 Slope direction	海拔高度/m Altitude	林龄/a Forest age
针叶林 Coniferous forest	25~30	SW	200~300	50~60
混交林 Mixed forest	28~35	SW	220~300	70~80
季风林 Monsoon evergreen forest	25~33	NE	220~300	400

2 结果分析

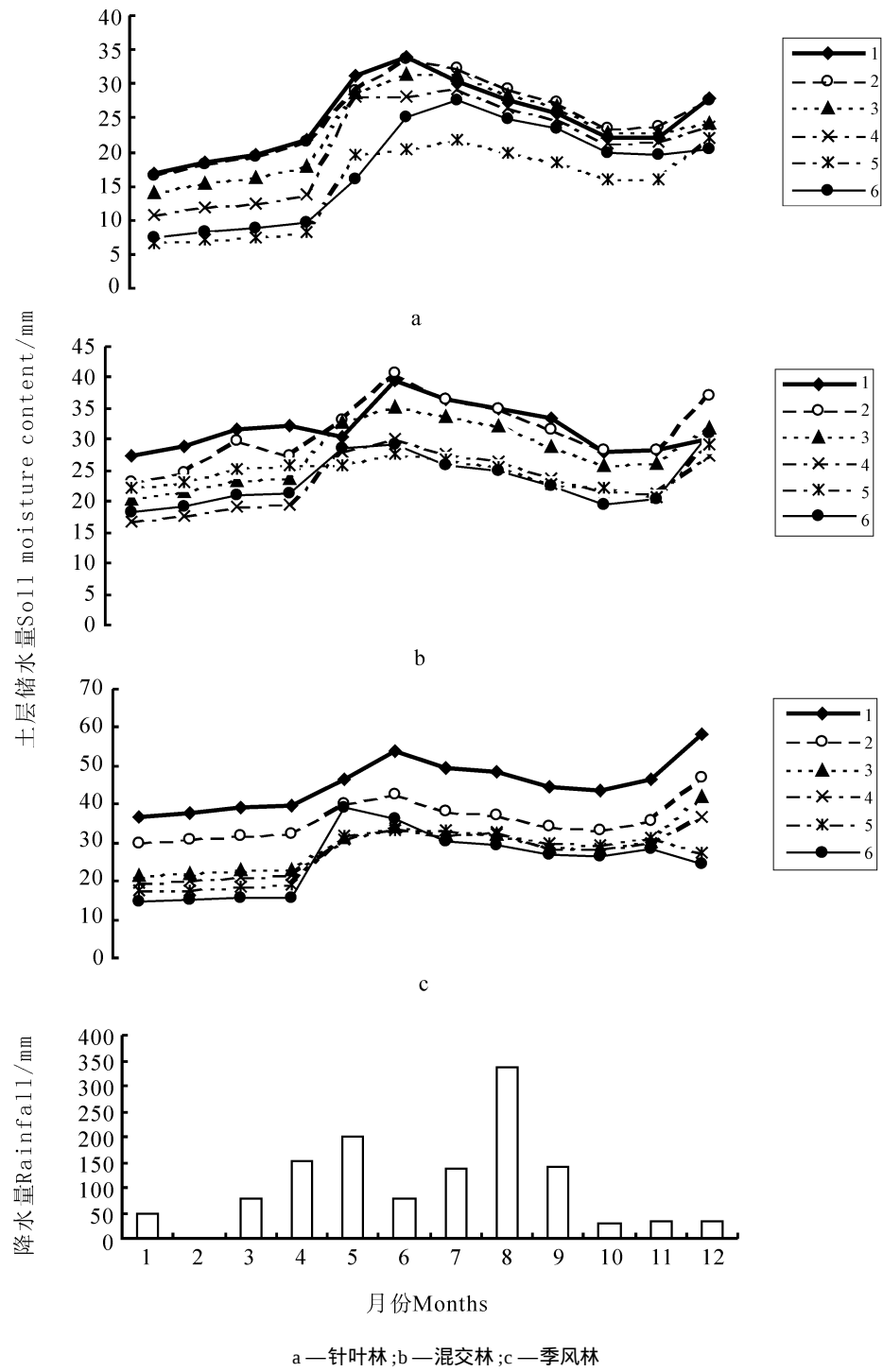
2.1 不同林地土壤储水量及其动态特征

林地土层储水量是指在自然状况下,林地某一特定土壤层次土壤的含水量(mm),包括重力水、毛管水和吸着水.土壤中水分含量和能量状况极大地影响土壤物理性质,并对整个生态系统的水热问题起决定作用^[16].

鼎湖山不同林地土壤持水量与大气降水、林分蒸散量以及土壤的持水能力紧密相关(见图 1).由图 1 可看出,不同演替阶段林地的土壤水分动态具有明显的差异,但它们的总体变化规律基本一致,即 3 种林型同一土层土壤储水量具有相似的变化趋势,而且与大气降水紧密相关.

同一林地,1—3 月由于大气降水较少,土层储水量比较低.4 月份进入雨季,随着大气降水的增加,土层储水量开始增加.5 月底至 6 月初达到最高值.但由于 6 月份出现异常的干旱天气,所以土层持水量又随之减少.7—8 月份尽管降水量很大,但多暴雨,降雨强度大,不利于水分入渗,加之气温高,植物蒸腾和林地表面蒸发量大,同时植物生长也需要消耗大量的水分,所以土壤储水量继续降低.10 月过后,降水量减少,但此时林分蒸散量减弱,降水量和蒸散量基本保持相对平衡状态,故土壤持水量保持比较稳定的状态.11—12 月,又有所升高,主要是由于观测前后有降水发生.

不同林地由于生境不同,形成了不同的小气候环境,相应的土壤保水能力也有明显差异.测定结果表明,不同林地相同土层储水量基本上表现为季风林>混交林>针叶林.同一林型不同土层的年平均储水量以针叶林最低为 254.36 mm,其次是混交林为 324.98 mm,季风林最高为 381.03 mm.由此可见,随着森林的演替,林地土壤持水能力逐渐增强.这也可能与季风林林冠郁闭度大、透光性差、蒸腾作用强有关,由于蒸散增加了空气湿度,容易形成滴水、泌水,增加了林内微雨,补给了土壤水分,有力地调节了土壤水分循环,所以土壤水分贮存量较其它林型土壤高.



1—0~15 cm 土层;2—15~30 cm 土层;3—30~45 cm 土层;4—45~60 cm 土层;5—60~75 cm 土层;6—75 cm 以下土层

图 1 不同林地土层储水量动态与大气降水的关系

Fig. 1 Relationship Between Fluctuation of Soil Water Storage and Precipitation

2.2 林地土壤水分垂直分布特征

同一林地土壤中,土壤剖面的不同层次接收降雨量的能力不同,以及植物根系分布的差异,导致了它们储水能力的差异.表层土壤首先接收穿透雨和枯落物截留后的剩余雨水,但又容易受地表蒸发和植物根系耗水的影响,所以储水量变化幅度较大;深层土壤虽只能接收少量的由上层土壤下渗的部分雨水,但由于受林地蒸散的影响较小,所以土壤水分相对稳定.从 3 种不同林地土壤月平均储水量来看(见图 2),从地表往下,土壤各层储水量呈下降趋势.除 0~15 cm 土层储水量不同外,混交林地的其它各层储水量已经非常接近季风林,从这个角度来看,混交林已经达到了后期演替阶段.

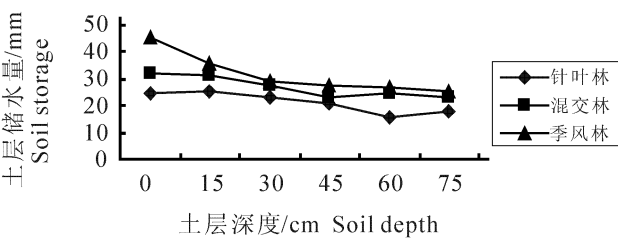


图 2 3 种林地土壤月平均储水量的垂直分布

Fig. 2 Average Monthly Soil Water Storage

质不断改造的结果.据研究^[17],鼎湖山 0~30 cm 土壤有效储水量的高低顺序为季风林>针叶林>混交林,而 0~50 cm 土壤有效水资源表现为季风林>混交林>针叶林.

从相关系数来看(见表 2),随土层深度的增加,表层土壤(0~15 cm)储水量与相应土层的相关性依次减弱.这表明,越接近底层,其土壤水分受表层土壤水分的影响越小.针叶林地 0~15 cm 土层与其它土层相关性最强,其次为季风林,混交林最小;除 15~30 cm 土层外,其它土层相关情况也大致如此.但季风林和混交林地表层土壤(0~15 cm)储水量仅仅与 60 cm 和 45 cm 以上土层相关性极显著,且混交林地表层土壤储水量对 75 cm 以下土层储水量相关性不显著,相关系数为 0.565.除混交林地 45~60 cm 与 60~75 cm 这 2 个相邻土层外,任何相邻的两土层之间储水量相关系数都很高,且在 0.01 水平上极显著相关.这说明,处于演替初级阶段的针叶林地各土层储水量之间相互作用、相互影响的程度远大于季风林和混交林土壤,而且其表层土壤水分可以渗透到整个土壤剖面,这也是造成针叶林土壤水分均匀分布的重要原因之一.这一方面可能与根系吸水有关,因为 0~50 cm 土层是根系的主要分布层;另一方面可能与土壤的透水性有关.

表 2 不同土层深度土壤储水量之间的 Pearson 相关系数

Table 2 Pearson Coefficient of Soil Water Storage in Different Soil Layers							
林型	土层/cm	相关系数 Coefficient					
Forest type	Soil layer	0~15	15~30	30~45	45~60	60~75	75 以下
针叶林 Coniferous forest	0~15	1.000	0.976 **	0.945 **	0.921 **	0.882 **	0.787 **
	15~30		1.000	0.985 **	0.962 **	0.929 **	0.898 **
	30~45			1.000	0.988 **	0.938 **	0.920 **
	45~60				1.000	0.971 **	0.921 **
	60~75					1.000	0.926 **
	75 以下						1.000
混交林 Mixed forest	0~15	1.000	0.785 **	0.721 **	0.682 *	0.608 *	0.565
	15~30		1.000	0.951 **	0.949 **	0.774 **	0.902 **
	30~45			1.000	0.995 **	0.658 *	0.889 **
	45~60				1.000	0.680 *	0.918 **
	60~75					1.000	0.858 **
	75 以下						1.000
季风林 Monsoon evergreen forest	0~15	1.000	0.961 **	0.984 **	0.959 **	0.738 **	0.677 *
	15~30		1.000	0.957 **	0.905 **	0.644 *	0.674 *
	30~45			1.000	0.969 **	0.738 **	0.669 *
	45~60				1.000	0.878 **	0.802 **
	60~75					1.000	0.928 **
	75 以下						1.000

注 ** 和 * 分别表示在 0.01 和 0.05 水平上显著(双尾)

不同林地同一土壤层次月平均储水量从高到低排序为季风林>混交林>针叶林.但混交林和季风林 45 cm 以下土层储水量差异不显著.就水分在土壤剖面分布的均匀状况而言,3 种林型中,处于演替初级阶段的针叶林,土壤水分在土壤垂直剖面上分布很均匀;其次为演替中级阶段的针阔混交林,而处于演替顶级阶段的季风林,45 cm 以上土层土壤储水量明显高于下层土壤储水量.这说明,随着森林的演替,土壤水分逐渐集中分布在根系比较密集的土壤上层.这一方面更加有利于植物根系对水分和土壤营养元素的吸收;另一方面,也是由于森林的演替,植物根系对土壤持水性等物理性

2.3 土壤水分季节变化特征

不同时期 3 个不同林型的土壤储水量平均值如表 3 所示.

表 3 不同时期土壤储水量平均值

Table 3 Average Soil Water Storage at Different Stages

林型 Forest type	土层/cm Soil layer	亏损期(1—3 月)/mm Negative balance	补偿期(4—9 月)/mm Positive balance	相对稳定期(10—12 月)/mm Stable phase
针叶林 Coniferous forest	0~15	18.3	28.35	23.95
	15~30	18.05	28.85	24.90
	30~45	15.20	27.48	23.30
	45~60	11.60	25.10	22.25
	60~75	7.10	18.08	18.00
	75 以下	8.15	21.11	20.00
	平均	13.07	24.83	22.07
混交林 Mixed forest	0~15	29.30	34.55	28.80
	15~30	25.85	34.03	31.25
	30~45	21.75	31.10	27.90
	45~60	17.75	25.90	23.45
	60~75	23.45	25.80	23.95
	75 以下	19.40	25.40	23.55
	平均	22.92	29.46	26.48
季风林 Monsoon evergreen forest	0~15	37.90	47.03	49.45
	15~30	30.80	37.38	38.70
	30~45	22.20	30.45	33.70
	45~60	17.95	29.90	29.35
	60~75	17.95	29.90	29.35
	75 以下	15.15	29.73	26.30
	平均	24.06	34.05	34.86

运用单因子方差分析(One - Way ANOVA)进行差异显著性检验(t 检验)(见表 4).

表 4 不同时期各土层储水量平均值的 t 检验

Table 4 Mean Difference of Mean Soil Water Storage in Different Stage (t Test)

林型 Forest type		2	3
针叶林 Coniferous forest	1	11.716 4 *	9.000 *
	2		2.761 4
	3		
混交林 Mixed forest	1	6.545 7 *	3.565 7
	2		2.980 0
	3		
季风林 Monsoon evergreen forest	1	9.99 *	10.800 0 *
	2		0.810 0
	3		

注 1,2,3 分别代表土壤水分亏损期、补偿期和稳定期; * 表示在 0.05 水平上差异性显著

从表 4 可看出,3 个林型 1—3 月各土层储水量平均值与 4—9 月和 10—12 月平均值在 $\alpha=0.05$ 可信度上差异性显著,而 4—9 月和 10—12 月各土层储水量平均值之间差异性不显著.因此,根据各时段土壤储水量变化的特点,鼎湖山土壤水分变化的季节动态大致可分为 3 个阶段(见表 3):

(1) 土壤水分亏损期(1—3月)。这一时期处于旱季,降水很少。尽管气温很低,蒸发微弱,但由于水分补给量小,林地水分入不敷出,因此土壤储水量达到全年最低值。由表3可看出,3种林型土壤各层储水量从高到低排序为季风林>混交林>针叶林。这说明季风林林冠及下层植被、枯枝落叶层有效地降低了土壤表层蒸发,起到蓄水保墒的作用。(2) 土壤水分补偿期(4—9月)。这一时期受雨季大气降水的影响,土壤水分得到充分的补给和蓄积。3个林型各土层平均储水量以季风林最高为34.05 mm,其次是混交林为29.46 mm,针叶林最低为24.83 mm。这主要是因为该时段气温高,针叶林地由于植被相对稀疏,林地蒸发旺盛,且土壤结构不利于土壤入渗,大部分降水以地表径流的形式流走,所以针叶林地土壤储水量最低。(3) 土壤水分相对稳定期(10—12月)。由于气温较低,蒸散量小,加之这一时期经常有强度不大的大气降水,有利于水分的入渗,因此这一时期土壤储水量保持相对稳定,但针叶林和混交林的各层土壤储水量平均值远远低于季风林。

3 讨论

鼎湖山处于不同演替阶段的3种森林类型相同土层土壤储水量均表现出随着演替的发展而不断增加的趋势,即针叶林<混交林<季风林,这与张秉刚等^[14]的研究结果一致。而且土壤水分由演替初级阶段的在整个土壤剖面均匀分布,到演替顶级阶段的主要集中在上层土壤的不均匀分布,说明群落演替后,随着下垫面能量收支、水热状况、小气候等的改变,土壤的物理性质也发生了相应的改变,使群落更加适应地理环境^[18]。另外,3种林型土壤有机质含量高低排序也是季风林>混交林>针叶林^[19],土壤有机质含量的差异有可能是导致土壤含水量差异的原因之一。

针叶林地0~15 cm土层与其它土层相关性都很强,而季风林和混交林土壤,其表层土壤(0~15 cm)仅对60 cm和45 cm以上土层影响很大,混交林地表层土壤水分对75 cm以下土层储水量基本上没有影响。这一方面可能与根系吸水有关,因为0~50 cm土层是根系的主要分布层,由于混交林和季风林植被覆盖率高于针叶林,所以植被的整体耗水量可能要高于针叶林,只有在充分满足植被水分吸收后,多余的上层土壤(45 cm以上)水分才能渗透到下层,说明随着森林的演替,植被争夺土壤水分的能力可能增强;另一方面可能与土壤的透水性有关,季风林地60 cm土层和混交林地45 cm土层可能是2个弱透水层,表层土壤水分很难继续渗透到下层,混交林地45~60 cm和60~75 cm的相邻土层储水量之间相关系数较低(0.68),表明混交林地60 cm土层可能存在一个相对不透水层阻隔了上层水的下渗。

影响森林土壤储水量的主要因素是降水量、蒸散量和气温。这些因素在不同时期对不同林型土壤储水量的影响程度差异很大。张秉刚等^[14,15]曾根据鼎湖山1983至1986年土壤水分状况划分了3个土壤水分季节:干季(10月至翌年1月)、过渡季(2—3月)和湿季(4—9月);根据1985至1988年土壤水分状况划分了4个季:干季(12月至翌年2月)、湿季(4—9月)、2个过渡季(3月及10—11月)。这是根据当时的降水量及其分配状况而划分的。从其测定结果来看,20世纪80年代鼎湖山同一林型相同土层月平均储水量要远高于笔者在本文中得到的结果。这可能是由于近20 a以来全球气候变暖导致土壤蒸发量增加所致,也可能是1999至2002年的各月大气降水量要小于当时的月平均降水量的结果。笔者根据土层储水量均值差异性的显著程度来划分土壤水分的季节变化,而且考虑了整个土壤剖面,包括深层土壤水分的动态变化;从更宏观的角度来考虑影响土壤水分季节分配的因素,即大气降水、土层储水量和土壤蒸发等3个方面。而张秉刚等^[14,15]所用的指标都受到以上3个因素的影响。由于土壤水分的季节动态在不同的时期表现出很大的差异性,同时,土壤储水量的时空分布还受小地形因素(如坡度、坡向、坡位等)以及植物根系分布状况的影响^[2,4],因此,造成季节动态表现差异的主要原因是降水量和土壤水分在2个不同的时间序列中的分配不一致;当然,不同取样点的微地形因素也可能是导致鼎湖山3种不同林型土壤水分时空分布差异的原因。由此可见,在研究土壤水分季节动态时必须考虑当时的大气降水和土壤水分季节分布状况,否则可能会得出与实际情况不一致的结论。

参考文献:

- [1] CRAVE A, GASCUEL - ODUX C. The Influence of Topography on the Time and Space Distribution of Soil Surface Water Content [J]. *Hydrological Processes*, 1997, 11: 203 - 210.
- [2] 党坤良. 秦岭山地塘林区不同林地土壤水分动态特征的研究 [J]. *西北林学院学报*, 1995, 10(1): 1 - 8.
- [3] 曾杰, 郭景唐, 于占成. 太岳山油松人工林土壤水分动态特征的研究 [J]. *北京林业大学学报*, 1996, 18(2): 31 - 36.
- [4] 何福红, 黄明斌, 党廷辉. 黄土高原沟壑区小流域土壤水分空间分布特征 [J]. *水土保持通报*, 2002, 22(4): 6 - 9.
- [5] KOCH G W, MOONEY H A. *Carbon Dioxide and Terrestrial Ecosystems* [M]. San Diego: Academic Press, 1996.
- [6] KORNER C H, BAZZAZ F A. *Carbon Dioxide, Populations, and Communities* [M]. San Diego: Academic Press, 1996.
- [7] CATOVSKY S, BAZZAZ F A. Elevated CO₂ Influences the Responses of Two Birch Species to Soil Moisture: Implications for Forest Community Structure [J]. *Global Change Biology*, 1999, 5: 507 - 518.
- [8] EAMUS D. The Interaction of Rising CO₂ and Temperatures With Water Use Efficiency [J]. *Plant, Cell and Environment*, 1991, 14: 843 - 852.
- [9] MOTT K A. Sensing of Atmospheric CO₂ by Plants [J]. *Plant, Cell and Environment*, 1990, 13: 731 - 737.
- [10] FIELD C B, JACKSON R B, MOONEY H A. Stomatal Response to Increased CO₂: Implications From the Plant to the Global Scale

- [J]. Plant, Cell and Environment, 1995, 18: 1 214 - 1 225.
- [11] WHITTAKER R H. Communities and Ecosystems [M]. New York: Mac Millan, 1975.
- [12] WALKER B H. Vegetation - Site Relationships in the Harvard Forest [J]. Vegetatio, 1975, 29: 169 - 178.
- [13] PENG S L, WANG B S. Forest Succession at Dinghushan, Guangdong, China [J]. Chinese J. Bot., 1995, 7(1): 75 - 80.
- [14] 张秉刚, 卓慕宁. 鼎湖山自然保护区不同林型下土壤的贮水量 [J]. 热带亚热带森林生态系统研究, 1989, 5: 1 - 6.
- [15] 张秉刚, 卓慕宁, 骆伯胜, 等. 鼎湖山亚热带季风常绿林不同林型下土壤水分状况的研究 [J]. 热带亚热带森林生态系统研究, 1990, 6: 75 - 82.
- [16] 周国逸. 生态系统水热原理及其应用 [M]. 北京: 气象出版社, 1997.
- [17] 张秉刚, 卓慕宁, 骆伯胜, 等. 广东丘陵土壤水热资源及其开发利用 [M]. 广州: 广东科技出版社, 1994.
- [18] 吴厚水, 邓汉增, 陈华堂, 等. 鼎湖山自然地理特征及其动态分析 [J]. 热带亚热带森林生态系统研究, 1982, 1: 1 - 10.
- [19] 黄忠良. 运用 Century 模型模拟管理对鼎湖山森林生产力的影响 [J]. 植物生态学报, 2000, 24(2): 175 - 179.

Soil Water Storage of Three Forest Types in Different Succession Stage in Dinghushan

YIN Guang-cai, ZHOU Guo-yi, TANG Xu-li, ZHANG Qian-mei

(South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract: Based on soil moisture data measured by hydroprobe moisture (CPN503DR), the dynamics and characteristics of soil water storage of three forest types were analysed in different succession stage in Dinghushan. Soil water storage differed greatly for different forest types, but having similar changing tendencies, i. e., decreasing with the soil depth. The soil water storage in monsoon evergreen broad-leaved forest was much higher than that in coniferous and broad-leaved mixed forest, and the storage in mixed forest was higher than that in coniferous forest. With the forests' succession, the soil water storage capability increased, and distributed randomly in the upper layers, where the root density was more intense. This indicated that the forest ecosystems had their own adaptable mechanisms to the environment. The maximum coefficients between forest soil layers were found in monsoon evergreen forest, and the minimum values in coniferous forest. The seasonal dynamics of soil water storage in Dinghushan can be divided into three stages: soil water consumption stage (from Jan. to Mar.), compensating stage (from Apr. to Sept.) and stable stage (from Oct. to Nov.).

Key words: Dinghushan; forest types; soil water storage; distribution characteristics

(上接第 54 页)

参考文献:

- [1] 容永泰. 提高回转窑的运转率(一) [J]. 中国建材装备, 1996, (1): 11 - 14.
- [2] 张云, 李智详, 袁汝钧, 等. 回转窑轴线参数检测技术在水泥厂的应用 [J]. 水泥, 1997, (6): 27 - 30.
- [3] 刘少平, 王立志. 回转窑轴线的影响及动态测量 [J]. 机械工业自动化, 1999, (3): 55 - 56.

Monitoring and Adjustment of Running Condition of Large - Scale Rotary Kiln With Multi - Supports

XIAO You-gang, LIU Yi-lun, LI Xue-jun, ZHAO Xian-qiong

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: On the basis of studying the factors to affect the running condition of rotary kiln, the linear relation is set up between kiln load distribution and axis deviation; the stress and deformation of the main kiln parts is obtained; the principle of axis movement is made clear, the adjusting and controlling model of axis movement is established; the optimization method of running condition adjustment of rotary kiln is given out, the fuzzy optimization model of kiln adjustment parameters is set up; a new axis deviation survey method - zero displacement keyway - phase measure method is studied. Applying the theoretical harvest, the analysis and monitoring system of running condition of rotary kiln is developed. The system's performance is stable, the monitoring accuracy is high and the analytic result is right.

Key words: rotary kiln; running condition; monitoring system