

黄土区土壤水分与植物耗水研究

李孝广,余新晓,张振明,陈慧新

(北京林业大学 水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室,北京 100083)

摘 要:土壤水分是影响植物生长的重要因素,尤其是在降水少,蒸发量大的黄土地区,简要论述了黄土区土壤水分研究的历史与现状,分析了林木单株耗水量和应用水量平衡方法的研究,并重点概括了目前较新的几种林木蒸腾研究方法。

关键词:黄土区;土壤水分;水量平衡;林木蒸腾

中图分类号:S728.2;S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)05-0336-03

Study on Soil Water and the Plant Water Consumption in the Loess Area

LI Xiao-guang, YU Xin-xiao, ZHANG Zhen-ming, CHEN Hui-xin

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University; Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of the Ministry of Education, Beijing 100083, China)

Abstract: The soil water is the main factor of the plant's growth, particularly in the loess area where the rainfall is few and the evaporation is more. The history and the present condition of the soil water research in the Loess Plateau are described. At the same time, the water consumption properties of single-tree and the principle of hydrological balance are analyzed. In the end, some new methods of transpiration are generalized.

Key words: loess area; soil water; hydrological balance; transpiration

1 引 言

水分是影响植物生长的重要因素,特别是在黄土高原干旱、半干旱地区,降水是植物生存的惟一水分来源。植物与土壤水分之间存在着相互作用,一方面,枯枝落叶层可以截留和阻止土壤水分蒸发,减少水分散失。研究表明,林地蒸发量明显少于裸地。另一方面,在植物生长过程中由于蒸腾作用,不断地消耗水分,使土壤水分减少。由于黄土区降水时空不平衡,虽大部分地区的降水条件可以满足植物生长,但如果人工林和人工草地营造面积过大,林草植被就不能从天然降水中获取足够的水分。而林草植被为了维持其正常生长的需要,必然要吸收深层土壤的水分,在林草植被长期过度耗水的情况下,土壤含水量长时间处于极度亏缺状态,甚至达到或接近凋萎湿度,最终导致土壤干化形成土壤干层。持续而严重的土壤干化导致植物生长衰退,使天然植被发生逆向演替。这主要源于前期对区域生态水资源的合理利用和林分结构稳定性等的研究不够,使不同地域的生态林在造林初期或成林后期出现了不同程度退化,未能起到其应有的防治水土、涵养水源等生态功能,从而严重影响了防护林体系生态经济功能的发挥。

在黄土区,要实现林分结构的稳定,落实适地适树的造林原则,就必须研究林木耗水特性规律。通过水量平衡关系,探讨晋西黄土丘陵沟壑区主要造林树种耗水特性,以及

林分土壤水分动态变化规律,为黄土区基于水量平衡的稳定林分结构设计,及退耕还林和生态重建提供技术指导。

2 黄土区土壤水分的研究

土壤水是植物生长和发育最必要的环境因素之一。在干旱和半干旱地区,由于土壤水分供给的有限性,常使其成为植物生长和生存的限制性因素。因此,土壤水分的研究引起了国内外学者的高度重视。

在土壤水形态学研究方面,E. Buckingham于20世纪初首次提出毛管势的概念,并将其应用于土壤水的研究,开辟了利用能量观点进行土壤水研究的新途径;L. A. Richards发明了直接测定毛管势的张力计,使土壤水以能量观点为基础的研究又向前推进了一步^[1]。

在以土壤水能量为基础的动力学研究方面,L. A. Richards和其他一些学者将达西定律扩展到研究非饱和流问题,开辟了土壤水动力学这一相对独立的研究领域。余新晓系统地阐述了土壤水分运动的动力学机制,并推导出大量的理论模型^[2]。

在土壤水的利用研究方面,李玉山对黄土区土壤水分从水循环入手得出土壤水分亏缺的原因,并定量地研究了这一区域土壤干层现象^[3]。刘昌明论证了土壤水的资源概念、计算评价和调控等^[4]。

在土壤水分动态研究方面,韩仕峰将黄土区裸地土壤剖

收稿日期:2006-10-22

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(2002CB111502)

作者简介:李孝广(1981-),男,山东济南人,在读博士,主要从事山地灾害防治研究。

面划分为速变层、活跃层、次活跃层和相对稳定层4个层次^[5];李凯荣等则根据植物对水分的利用情况,将林地土壤水分的分布分为微弱利用层、利用层、补充调节层和微弱调节层^[6]。王孟本、刘康等对林地土壤水分季节动态变化进行了研究,认为土壤水分的季节变化动态在湿润年干、湿季明显,欠水年干、湿季不明显^[7]。马玉玺、魏天兴等则对林地土壤水分的年际变化进行了研究,得出以下结论:林地土壤水分年际变化主要取决于当年降雨量的多少,基本上与年降雨量的变化一致^[8]。20世纪60年代在陕西北部旱塬发现土壤干层,杨文治阐述了土壤干层形成的两种可能,并划分了蒸散型干层和蒸发型干层^[9]。

土壤水分的测定技术也发生了巨大的变化。在测定土壤含水量方面,最常用也是最实用的测定方法是烘干法;中子仪测定法应用比较广泛;TOPP和Davis提出了TDR的测定土壤含水量方法。在测定土壤水势方面,Gardner用多孔陶土测量土壤含水量与土壤水能态间的关系;Richard发明了张力计。此外,一些新的测试方法也陆续出现,如用计算机控层状X-光照技术(Computer Assisted topography,简称CAT)来研究多孔介质中水分;用激光散射法测定土壤质地和有效含水量;遥感技术也引入土壤水分的研究;应用卫星监测土壤表层的水分变化已在美国进入实用阶段。

3 黄土区单株耗水及林地水量平衡研究

3.1 单株水量平衡研究

在干旱半干旱的黄土区,降水量少且时空分布不均,黄土深厚疏松,造成对植物的有效水分供应不足,水分成为制约植物生长的关键因子。因此研究林木的单株耗水有着十分重要的意义。国外主要进行盆栽实验研究;国内孙长忠在这方面做了大量的研究。他根据水量平衡原理建立了单株平衡法,并与快速称重法、林地水分平衡法在测定单株耗水方面进行了对比研究,得出单株平衡法在测定林地蒸腾耗水和林地蒸发量的测定上更为准确可靠。此外,单株平衡法测定深度大,且多定位长期观测,既适用于树木年际耗水量的长期研究,又可用于短期试验测定。

3.2 林地水量平衡研究

林地水量平衡是植树造林设计与环境水分研究的核心。林地水分收支平衡的实现是现代造林学所必需解决的问题。林地水分不仅受气候、地形、土壤物理性质等影响,还受林分年龄、枯枝落叶层厚度、郁闭度及生育期等林分特征制约,使林地水分既表现出共性,也体现出个性。为此,国内学者对树木耗水量、林木生长的水环境调控机理、植物的耐旱性、林地水分动态等方面进行了较多基础研究。李吉跃研究了2 a生油松苗和侧柏苗抗旱特性及其机理。认为油松苗木以抗脱水为抗旱特征,而侧柏苗木以耐脱水为抗旱特征^[10]。

林地水量平衡模式就是建立水量平衡方程,对参数进行获取和确定。由于林木的蒸腾量还不能直接测定,只能进行间接估算,其中以能量平衡法和土壤水分平衡法为主。孙长忠从系统水分收支平衡原理出发,提出了黄土高原林分“自创性”有效水供给体系假说,建立了“自创”潜力表达方程^[11]。杨新民研究刺槐林地的水量平衡后,得出该区的林

冠截流量、径流量和蒸散量之和已经等于大气降水量,大气降水没有多余的水量补充给林下土壤水分储存,土壤水分经常处于亏缺状态^[12]。

4 林木蒸腾研究方法综述

林木蒸腾是林木耗水的重要组成部分,因为林木耗水相当一部分直接通过林木蒸腾而消耗掉,没有被植物吸收利用。因此研究林木蒸腾对研究林木耗水至关重要,同时林木蒸腾研究和计算对分析一定地区的水量平衡、热量平衡以及水资源估算等都具有重要的意义。国际上对蒸腾的研究已有近300多年的历史,至今已取得了一系列成果。从20世纪50~60年代开始,国内外陆续提出了许多有关林木蒸腾量测算方面的方法。目前国内外计算方法主要有经验公式法、植物生理学方法、微气象学法、水量平衡法和遥感法。

4.1 经验公式法

经验公式法是从影响林木蒸腾量的诸因素中选取几个主要因素(气温、湿度、坡向、枯枝落叶层厚度、气孔阻力等),再根据实验观测资料分析这些主要因素与林木蒸腾量之间存在的数量关系,最后归纳成某种形式的经验公式。20世纪60年代中期Monteith将影响蒸发的物理和生物学因素结合起来,将植物气孔阻力等生理因素引入到Penman公式中,建立了更为精确的Penman-Monteith冠层阻力模式计算蒸腾量。70年代以后,随着不同形式的气孔计问世,使气孔阻力的测定得以实现,该模式得到了广泛的应用和发展,开始成为当前国内外测定蒸腾量的一个通用公式。

4.2 植物生理学方法

植物生理学方法,主要通过测定典型日蒸腾速率、蒸腾时间、林分叶量,推算各时段的蒸腾量,由典型日推算各生育期总蒸腾量。包括:快速称重法、整株容器法、热脉冲速率和茎热平衡法、示踪同位素法、风调室法。如西北农林科技大学用热脉冲速率法较系统地研究了野外桃树的液流规律。满荣洲用氚水示踪法分别测定了华北油松林和柞树林的蒸腾^[13]。这些方法适宜于树木个体蒸腾量的测定,能比较不同林种和树种个体蒸腾量的差异,从微观个体角度分析蒸腾与树木自身、环境因子及水分供应条件的关系。但是这些方法都存在如何从一棵或少数典型树木的蒸腾量外推到整个林分的总体蒸腾量的问题,从生物统计学角度来说,该问题存在一定难度。

4.3 微气象学法

随着森林小气候方面探测技术的不断发展,以及近地层大气特性研究的长足进步,有力地促进了植物蒸腾微气象学方法的发展。微气象学法包括:波比文—能量平衡法、空气动力学法、涡旋相关法、综合法、植物—土壤—大气(SPAC)连续体模拟方法。森林蒸散的研究最早是从研究森林能量平衡的角度开始的。能量平衡法是以林分能量平衡方程为基础的,最常见的是波比文—能量平衡法。它可以分析蒸散与太阳净辐射的关系,揭示不同地带蒸散的特点及主要影响因素变化对蒸散的作用。空气动力学法是根据近地边界层相似理论提出的,它是通过测定植物冠层上方的水汽运动速率以测定蒸发蒸腾量。涡旋相关法是用特制的涡动通量仪

直接测定显热和潜热的垂直湍流瞬间脉动值。但该法和技術可作为一项基础理论研究方法,距离实际应用还很远,目前尚未成功运用于森林研究。综合法是以下垫面能量平衡原理和边界层输送理论为基础的方法,较有代表性的是能量平衡—空气动力学阻抗综合法和布德科法。SPAC 连续体模拟方法指人们通过模拟 SPAC 中能量物质交换过程来精确计算植物蒸散。

4.4 水量平衡法

林木蒸腾过程消耗的水量绝大部分来自土壤储水。根据质量守恒法则,林木蒸散过程损失的量应等于土壤中由蒸散引起的水分变化量。测定这一变化的数量即可确定林木的需水量。孙长忠将水量平衡法进行改进,设计出单株平衡法计算林木蒸腾量,结果较为满意^[11]。随着测定土壤水分和蒸发蒸腾的各种仪器(如 γ 射线仪、中子水分控制仪和电阻式土壤湿度仪等)相继问世,使估算短期林木蒸散总量的精度大大提高。蒸渗仪是根据水量平衡原理设计的蒸腾和蒸发均可测定的仪器。自从1937年美国俄亥俄州的肖克顿安装了带有自动记录设备的著名整体水文循环测渗仪以后,该仪器的发展非常快,实现了林木蒸发蒸腾量的精确测量。

4.5 遥感法

蒸发蒸腾计算的传统方法和模拟方法都是以点观测值为基础的。由于下垫面几何结构及物理性质的水平是非均匀性,一般很难在大面积区域上推广应用。遥感技术的出现和发展为这个问题的解决带来了新的希望。多时相、多光谱及多倾斜角度的遥感资料能够综合反映出下垫面的几何结构和热、湿状况,特别是表面热红外温度能够客观地反映出近地层湍流热通量大小和下垫面的干湿差异。使得遥感法比常规的微气象学方法精度高,尤其在区域蒸发计算方面具有无法比拟的优越性。此方法用于估算区域森林蒸散量。

5 展 望

虽然黄土区土壤水分的研究已经有不少年的历史,但是目前较多的还是停留在理论方面,而且多以经验公式为主,没有形成统一的模型或公式,因此还有很长的路要走。具体到林木蒸腾研究,方法虽然有很多种,但目前较为流行的还是水量平衡的方法,因为水量平衡方法具有宏观性和容易可

操作性,而且结果业也较准确,但往往需要很多人力、物力的配合才能完成。而植物生理学方法,由于需要精密的仪器,在很多地方不适用,现在正在兴起的遥感方法看上去比较实用,但是遥感资料获得的及时性,及如何精确分辨遥感资料求算蒸腾量又是难点。

参考文献:

- [1] Rockstroem J. Biomass production in dry tropical zones: how to increase water productivity[A]. Proceedings of an FAO informal workshop [C]. Rome (Italy), FAO, 1995. 31—51.
- [2] 余新晓, 张建军, 朱金兆. 黄土地区防护林生态系统土壤水分条件的分析与评价[J]. 林业科学, 1996, 32(4): 289—297.
- [3] 李玉山. 黄土区水分循环特征及其对陆地水分循环的影响[J]. 生态学报, 1983, 3(2): 91—101.
- [4] 刘昌明. 土壤水资源评价[A]. 水量转换实验与计算分析[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [5] 韩仕峰, 李玉山, 石玉杰, 等. 黄土高原土壤水分资源特征[J]. 水土保持通报, 1990, 10(1): 36—42.
- [6] 李凯荣, 王佑民. 黄土地区刺槐林地水分条件与生产力研究[J]. 水土保持通报, 1990, (6): 58—65.
- [7] 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[J]. 生态学报, 1995, 32(2): 178—184.
- [8] 魏天兴, 余新晓, 朱金兆, 等. 黄土区防护林主要造林树种水分供需关系研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2): 185—189.
- [9] 杨文治, 余存祖. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [10] 李吉跃. 油松侧柏苗木抗旱特性初探[J]. 北京林业大学学报, 1988, 10(2): 23—29.
- [11] 孙长忠, 黄宝龙. 黄土高原“林分自创性”有效水分供给体系的研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 614—621.
- [12] 杨新民, 等. 黄土丘陵区人工林地水分平衡初探[J]. 林业科学, 1989, 25(6): 549—553.
- [13] 满荣洲. 华北油松人工林蒸腾的研究[J]. 北京林业大学学报, 1986, (2): 20—27.