

苹果耗水特征及



水分胁迫诊断预报模型研究

孟 平 ◎ 著



气象出版社

苹果耗水特征及水分胁迫 诊断预报模型研究

孟 平◎著

气象出版社

内 容 简 介

该书以太行山低山丘陵区为例,采用由植物热扩散液流技术测算得到的、周期为2 a、监测时间步长10 min的苹果树蒸腾数据,结合同步观测得到的苹果树冠层微气象要素值以及定位不定期土壤含水量观测数据,分析了株行距3 m×4 m的10 a生苹果树蒸腾耗水规律及其影响机制;另采用分形理论,测算苹果树蒸腾及冠层小气候分形维数,定量比较蒸腾与冠层各主要小气候因子分形特征的差异性;并采用植物冠层-空气温度差法,建立了土壤水分预测模型。本书系国家“十五”攻关课题(2001BA510B04)、国家自然科学基金项目(30371186)部分研究内容,可供农业气象学、林学、生态学等相关专业的师生、科研人员及林业工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

苹果耗水特征及水分胁迫诊断预报模型研究 / 孟平著.
北京:气象出版社,2005.6
ISBN 7-5029-3967-9

I. 苹... II. 孟... III. ①丘陵地—苹果—植物散发—特征—研究②丘陵地—苹果—土壤水—预测—模型—研究 IV. S661.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 054107 号

气象出版社 出版

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮编:100081)

总编室:010-68407112 发行部:010-62175925

网址:<http://cmp.cma.gov.cn> E-mail: qxcbs@263.net

责任编辑:崔晓军 终 审:黄润恒

封面设计:陈振博 责任技编:刘祥玉 责任校对:彭玉霜

北京市北中印刷厂印刷

气象出版社 发行

*

开本:850×1168 1/32 印张:5.625 字数:151 千字

2005 年 6 月第一版 2005 年 6 月第一次印刷

印数:1~600 定价:20.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社
发行部联系调换

前 言

水资源短缺是全球性问题,将是未来长期限制干旱半干旱地区的林业、农牧业和社会经济发展的重要因子,如何合理地利用土地,如何在长期干旱条件下保持稳定的林分(含乔、灌、草)结构,如何在有限的水资源前提下建立节水、集水和蓄水的造营林配套管理技术等都成为管理者和研究者关注的焦点。

蒸腾是植物水分生态特征的主要因子,是植物耗水的主要特征及方式,既是水量平衡也是热量平衡的重要组成部分,在土壤-植物-大气连续体(SPAC)水热传输过程中占有极为重要的地位和环节。农业是社会产业的主要用水大户,揭示作物和林木的蒸腾耗水特征及其影响机制,对发展节水农(林)业具有重要的理论指导意义。

太行山位于华北大平原的西侧,横跨晋、冀、豫、京 3 省 1 市,涉及 110 个县(市),总面积约达 12.0 万 km^2 ,是黄河和海河部分支流的发源地。20 世纪 80 年代以来,以太行山绿化工程为契机,开展了太行山植被恢复与生态环境的建设工作,形成了特殊的农业景观格局;以“径流林业”为代表的集水、节水林业成果等为半干旱地区植被的恢复与生态环境建设提供了有力的技术支撑。在这些众多的成果或模式中,果草、果药等复合型经济林栽培模

式是太行山低山丘陵区生态建设中重要的林业经营模式之一,并成为当地农业收入的主要经济支柱,对当地林业的建设提供了巨大的后劲力。太行山低山丘陵区属于半干旱区域,土层薄瘠,土壤保水能力差,且降水集中。同时该地区包括苹果在内的果树栽培及水分管理一直采用粗放经营,致使水资源浪费十分严重。因此,水分紧缺就成为限制农业与林业发展的主要生态因子。如何利用有限的水资源达到解决工程区林种资源与水资源的合理配置就成为问题的关键,也使走节水林业、集水林业的道路成为必然。

当前太行山低山丘陵区经济林的水分管理技术比较粗放,突出表现在雨养条件下水资源的管理制度缺少科学性,特别是灌溉(集水灌溉)的科学管理还不完善,如普遍存在灌水时机不适宜、灌水次数偏多、灌水量过大等问题,致使农业水资源浪费严重。解决问题的关键之一是及时准确地诊断预报果树水分亏缺的程度,为适时、适量的灌溉决策提供必要的依据,这也是节水农业(林业)技术体系的核心内容之一。为此,需要在了解果树蒸腾耗水规律的基础上,进一步开展果树水分胁迫或亏缺诊断与预报的研究,为决策系统提供必要的理论依据和技术支撑,及时准确地诊断预报作物及果树水分亏缺的程度,建立水分胁迫或亏缺监测系统对于发展节水果园具有重要的指导作用。

研究的试验区地处太行山南段南麓的河南省济源市裴村($35^{\circ}11'N$, $112^{\circ}03'E$)。属温带大陆性季风气候区。历年平均降水量641.7 mm,受季风气候的影响,年内季节性

分布不均匀。6~9 月份多年平均降水量为 438.0 mm, 占全年的 68.3%, 尤其集中在 7~8 月份, 占全年的 44.3%。

本书以该区主要栽植的几种经济林之一的苹果林为例, 利用植物热扩散液流技术、微气象自动观测系统等观测得到的时间步长为 10 min、观测周期为 2 个周年的蒸腾速率及冠层微气象参数, 结合定位不定期观测得到的土壤水分数据, 开展苹果树蒸腾耗水特征及水分胁迫诊断预报的研究, 为该地区林种资源合理配置、果园(林地)适时适量灌溉制度的制定、节水林(果)业的发展提供必要的水分生态理论依据。并通过苹果林这一非均匀下垫面条件下冠层-空气温度差与土壤水分关系的研究, 建立水分管理模型, 进一步丰富节水林业技术体系的核心内容, 对于发展节水经济林具有重要的指导作用。

本书研究内容由国家自然科学基金项目(30371186)、国家“十五”攻关课题(2001BA510B04)资助。

本书涉及内容多, 综合性较强。由于作者水平有限, 加之时间仓促, 错漏之处在所难免, 敬请读者批评指正。

编著者
2005 年 6 月

目 录

前 言

第一章 研究的目的是与意义	1
第二章 国内外研究述评	9
第一节 植物蒸腾耗水相关研究进展	11
一、植物蒸腾测算方法概述	13
二、苹果蒸腾耗水特征研究进展	24
第二节 植物水分胁迫诊断监测与预报研究方法及其进展	26
一、土壤水分指标法	28
二、植物生理生化指标法	29
三、气象指标法	32
四、冠层温度指标法	32
第三节 分形理论及其在林业科学中的应用	40
一、分形理论概述	41
二、分形理论在林业科学领域应用研究进展	43
三、研究展望	49
第三章 研究方案	51
第一节 研究目标与研究内容	53
一、主要研究目标	53
二、主要研究内容	53
第二节 拟解决的关键技术问题	55
一、苹果树蒸腾速率的测定	55

苹果耗水特征及水分胁迫诊断预报模型研究

二、蒸腾速率分形维数的计算	55
三、苹果树水分胁迫土壤水分下限值的确定	55
第三节 研究特色	56
第四节 总体研究思路与技术路线	56
第五节 试验区概况及研究方法	58
一、试验区概况	58
二、试验材料及观测方法	59
三、分形维数主要计算方法	63
第四章 苹果树蒸腾耗水特征	73
第一节 苹果树蒸腾耗水规律及其影响机制	75
一、苹果树蒸腾速率日变化规律	75
二、苹果树蒸腾速率日际及季节变化规律	82
第二节 苹果树蒸腾与环境因子的关系	85
一、苹果树日内蒸腾与冠层微气象因子的关系	85
二、苹果树日际蒸腾与冠层微气象因子、土壤水分的关系	86
第三节 苹果树水分供求关系分析	87
第五章 苹果树蒸腾速率分形特征分析	93
第一节 苹果树蒸腾分形特征及混沌性质	96
第二节 苹果树蒸腾与冠层微气象要素分形特征的 比较	104
第六章 苹果树水分胁迫诊断与预测	109
第一节 冠层叶温和气温与环境因子的关系	111
一、苹果冠层叶温时间变化规律及其与微气象因子的 关系	111
二、苹果冠层叶气温差时间变化规律及其与环境因子的 关系	120
第二节 果树水分胁迫诊断及苹果林地土壤水分 预报模型的研究	129
一、土壤水分预测模型的建立	130

目 录

二、土壤水分预测模型的验证	135
三、苹果树水分胁迫系数及与土壤水分的关系	136
四、观测指标的可操作性	138
第七章 全文结论与研究展望	143
第一节 全文主要结论	145
一、苹果树蒸腾耗水特征及水分供求关系	145
二、苹果树蒸腾耗水分形特征	147
三、苹果树水分胁迫诊断及土壤水分预测模型	148
第二节 主要创新点	150
一、研究内容创新性	150
二、试验手段的改进及观测内容的全面性	151
第三节 研究展望	151
参考文献	153

第一章

研究的目的与意义

蒸腾是植物水分生态特征的主要因子、是植物耗水的主要特征及方式,既是水量平衡也是热量平衡的重要组成部分,在土壤-植物-大气连续体(SPAC)水热传输过程中占有极为重要的地位和环节。农业是社会产业的主要用水大户,揭示作物和林木的蒸腾耗水规律及其影响机制,对发展节水农(林)业具有重要的理论指导意义。

尽管蒸腾问题的研究,已达近 200 年的历史,但由于蒸腾(蒸散)耗水受大气、土壤以及植物本身因素的综合影响,是一个复杂的物理过程和生物过程,并由于近些年来农业水资源的日益紧缺,故有关植物蒸腾(蒸散)耗水问题一直是农学、林学、气象学、水文学、植物生态学及自然地理学等众多相关学科共同关注的重要课题。并已成为国际水文计划(IHP)、国际地圈-生物圈计划(IGBP)、世界气候研究计划(WCRP)、联合国环境计划(UNEP)、全球水量与能量平衡计划(GEWEX)等国际性项目的重要研究内容之一(孟平等 2003,2004;张劲松 2004)。

揭示蒸腾耗水特征及水分供求关系,对水资源紧缺地区林业建设战略规划、林种布局、树种选择、林分结构配置及林地水分管理等具有重要的理论指导意义,可为我国正在实施的退耕还林工程建设提供必要的水分生态理论依据。

太行山位于华北大平原的西侧,横跨晋、冀、豫、京 3 省 1 市,涉及 110 个县(市),总面积约达 12.0 万 km^2 ,是黄河和海河部分支流的发源地。历史上曾是森林繁茂的富饶之地,但由于自然环境的变迁和长期的战乱,加上人类经济活动过度频繁,乱砍滥伐,致使森林植被遭受严重

破坏,水土大量流失,山区生态环境十分脆弱。太行山区的植被恢复与建设,对于改善生态环境和振兴山区经济,根治黄河、海河,减免华北平原和京津地区旱涝灾害,保障人们生活和生产的安全,都具有重要的战略性意义。为此,太行山绿化工程曾被列入我国十大林业生态建设工程,也是当前正在实施的退耕还林工程建设重点区域之一。

20 世纪 80 年代以来,以太行山绿化工程为契机,开展了太行山植被恢复与生态环境的建设工作,通过 20 多年来的努力总结出了许多有代表性的、实用性的成果,如以“洋槐戴帽、果树缠腰、山脚农田”为代表的小流域综合治理模式,形成了特殊的农业景观格局;以“径流林业”为代表的集水、节水林业成果等为半干旱地区植被的恢复与生态环境建设提供了有力的技术支撑。在这些众多的成果或模式中,果草、果药等复合型经济林栽培模式是太行山低山丘陵区生态建设中重要的林业经营模式之一,并成为当地农业收入的主要经济支柱,对当地林业的建设提供了巨大的后劲力。进入 21 世纪以后,为适应国家生态建设和林业发展的新形势和新需要,在该区普遍开展了退耕还林工程建设,为使工程“退得下、稳得住、不反弹”,在建设中经济林发展的比例有所增加,特别是在个别有灌溉条件或可采用雨水聚集技术的地貌区,在不影响或降低生态效益的前提下,因地制宜栽植经济林,使经济林在农业产业结构调整中占有重要的地位。

苹果是太行山低山丘陵区重要的经济林栽培模式之一。我国有关苹果蒸腾问题虽有研究报道(夏阳 1996;曲

桂敏,王鸿霞等 1999,2000;曲桂敏,沈向等 2000;曲桂敏,束怀瑞等 2000;姚允聪等 1999;冉辛拓等 2001;张劲松等 2001;Li 等 2002;刘艳等 2002;王克勤等 2002;杨洪强等 2002;李凯荣等 2003;张光灿等 2004),但因蒸腾速率测定技术条件的限制或研究目的的不同,使得研究结果不能深入揭示蒸腾耗水规律而影响成果的应用价值。

同时,因测定技术的局限性或研究目的及研究内容有所侧重,至今还未深入研究苹果蒸腾耗水规律及其影响机制等问题。如:部分研究目的在于探讨果树蒸腾的计算或测定方法,有些研究仅从叶片尺度解释蒸腾率变化规律,或以物候期或生育时段为时间尺度,比较研究若干时段内蒸散量及水分供求关系,而不能深入揭示日内及日际变化规律。为能全面、系统地揭示苹果树蒸腾耗水特征,以更好地指导田间生产实践,则必须开展长时期、逐时段(时、日)内果树蒸腾规律及其影响机制和不同时段水分供求关系等方面的研究。

选择合适的测算技术及方法是上述研究的工作基础。热扩散植物液流(TDP)技术是当前测算林木蒸腾速率的最为稳定的技术,虽然近些年来,在国外发达国家,已逐渐采用热扩散植物液流测定技术等先进仪器设备及技术来测定林木蒸腾,并表明具有很好的可行性,但在我国此方面研究刚刚起步,未见有人采用植物液流测定仪连续地、长时期地试验观测林木蒸腾速率,故不能进一步深入揭示林木蒸腾耗水特征。

分形理论是一种用以定量表达自然界中传统欧氏几何学不能描述的复杂而有规则的几何现象的数学工具,

揭示了非线性系统中有序和无序的统一、确定性和随机性的统一问题,为人们认识和分析复杂性问题提供了有力的武器。自 Mandelbrot(1982)提出该理论以来,经过几十年的发展,现已被广泛应用于自然科学和社会科学研究中,成为当今国际上许多学科的前沿研究领域之一。目前,有关气象及气候要素分形特征的研究已取得一定的进展。蒸腾作为生态学、农业气象学、自然地理学、水文学、林学、农学等相关学科的交叉性物理因子,受土壤、大气、植物的综合影响,其发生变化过程比较复杂,至今未见有关植物蒸腾耗水分形特征的研究。即:鉴于蒸腾耗水规律的复杂性,采用分形理论定量揭示植物蒸腾规律的内在复杂性,具有一定的可行性,不仅可为进一步开展苹果蒸腾随机模拟的研究提供基础,并可丰富分形理论在林业科学及微气象科学领域内的应用研究内容。

另一方面,太行山低山丘陵区属于半干旱区域,土层瘠薄,土壤保水能力差,且降水集中。同时该地区包括苹果在内的果树栽培及水分管理一直采用粗放经营,致使水资源浪费十分严重。因此,水分紧缺就成为限制农业与林业发展的主要生态因子。如何利用有限的水资源达到解决工程区林种资源与水资源的合理配置就成为问题的关键,也使走节水林业、集水林业的道路成为必然。

目前太行山低山丘陵区现有的经济林经营管理未根据水分供求关系规律而采取合理密度配置,使其产量与质量受到限制。为促进经济林产业的可持续发展,以及退耕还林工程能“退得下、稳得住、不反弹”,则需开展现有经济林特别是成熟期经济林耗水规律及其影响机制、

土壤水分变化规律及其影响机制、水分供求关系、天然降水利用率等水分生态特征问题动态而定量研究。为果树栽培与管理、退耕还林模式的配置及选择提供必要的水分生态理论依据。

当前太行山低山丘陵区经济林的水分管理技术比较粗放,突出表现在雨养条件下水资源的管理制度缺少科学性,特别是灌溉(集水灌溉)的科学管理还不完善,如普遍存在灌水时机不适宜、灌水次数偏多、灌水量过大等问题,致使农业水资源浪费严重。解决问题的关键之一是及时准确地诊断预报果树水分亏缺的程度,为适时、适量的灌溉决策提供必要的依据,这也是节水农业(林业)技术体系的核心内容之一。所以,长期以来众多的农学家、植物生理学家和农业气象学家就一直致力于这一课题的探索。为此,需要在了解果树蒸腾耗水规律的基础上,进一步开展果树水分胁迫或亏缺诊断与预报的研究,为决策系统提供必要的理论依据和技术支撑,及时准确地诊断预报作物及果树水分亏缺的程度,建立水分胁迫或亏缺监测系统对于发展节水果园具有重要的指导作用。

基于以上实践上和理论上的认识,本文以在太行山低山丘陵区主要栽植的几种经济林之一的苹果林为例,利用植物热扩散液流技术、微气象自动观测系统等观测得到的时间步长为 10min、观测周期为 2 个周年的蒸腾速率及冠层微气象参数,结合定位不定期观测得到的土壤水分数据,开展苹果树蒸腾耗水特征及水分胁迫诊断预报的研究,旨在为该地区林种资源合理配置、果园适时适量灌溉制度的制定、节水林(果)业的发展提供必要的水

分生态理论依据。为进一步深入揭示苹果林蒸腾耗水规律的内在复杂性,本研究将采用分形理论测算、分析其分形维数,定量比较蒸腾以及冠层各主要小气候分形特征的差异性,建立水分胁迫或亏缺监测系统,为该地区退耕还林工程林种资源合理配置、经济林适时适量灌溉制度的制定、节水林(果)业的发展提供必要的水分生态理论依据。同时,探索苹果树蒸腾耗水计算修正模式,为半干旱地区苹果树蒸腾的计算提供一定的借鉴思路和方法,力图进一步地完善林木蒸腾耗水规律的理论内容。并通过苹果林这一非均匀下垫面条件下冠层-空气温度差与土壤水分关系的研究,建立水分管理模型,进一步丰富节水林业技术体系的核心内容,对于发展节水经济林具有重要的指导作用。