

广东丘陵土壤 水热资源及其开发利用

张秉刚 卓慕宁 骆伯胜 邓邦权 编著



广东科技出版社



广东丘陵土壤水热资源及其开发利用

张秉刚 卓慕宁 编著
骆伯胜 邓邦权

（广东省土壤研究所）

广东科技出版社

粤新登字04号

图书在版编目 (CIP) 数据

广东丘陵土壤水热资源及其开
发利用 / 张秉刚等编著. —广州:
广东科技出版社. 1994, 8
ISBN7—5359—1318—0

I . 广…
II . 张…
III . 土壤资源—广东, 开发,
利用
IV . S157.2

广东丘陵土壤水热资源及其开发利用

编 著 者: 张秉刚 卓慕宁 骆伯胜 邓邦权
出版发行: 广东科技出版社
(广州市环市东路水荫路11号)
经 销: 广东省新华书店
印 刷: 广东新华印刷厂
规 格: 787×1092 1/32 印张10 字数220千
版 次: 1994年12月 第1版
1994年12月 第1次印刷
印 数: 1—1,000册
ISBN 7—5359—1318—0

S·156 定价: 8.00元

前 言

本书所述的丘陵土壤是指广泛分布于广东省范围内的南亚热带代表土壤——赤红壤，包括低山、丘陵、台地赤红壤。这种被当地农民称作“黄泥地”、“黄泥土”、“黄泥岗土”、“黄泥山土”等的土壤，据1993年资料，共有面积658万多公顷，占当时全省总土地面积的44.67%^{〔1〕}。

赤红壤地处北回归线两侧，成土母质主要是花岗岩、砂岩风化物。其风化壳深厚，土层疏松、透水性强。这种土壤处于年降雨量多、降雨量分配不均匀、降雨强度大、植被覆盖度低的生态条件下，有相当面积土壤遭受不同程度的侵蚀，存在表土层（耕作层）浅薄、养分含量低、酸性强、土壤不断沙化以及季节性缺水等问题。这些已成为制约自然生产力进一步提高的主要土壤因素。

改革开放推动了土壤科学向生产的广度和深度发展。近十多年来，为了扩大耕地面积和综合治理开发坡地土壤，不断提高土壤自然生产力，广东省土壤研究所土壤物理研究室水分研究组，在广东省科学院和本所领导的支持下，先后选择了四个不同生态条件的地方，开展了土壤水热资源的定位研究，其中两个定位研究点得到国家自然科学基金资助，一个属省科技重点攻关项目。这些定位研究点的科研工作大都已告一个段落，通过了上级单位组织的专家鉴定。为了便于科研成果服务于生产，作者将在本地区长期开展的应用基础研究和四个定位点的研究成果，加以系统整理写成小册子，旨在为综合整治、开发和提高赤红壤自然生产力方面提供参考资料。

本书有关土壤水热性质项目，按照中国科学院南京土壤所土壤物理室编的《土壤物理性质测定法》及刘孝义编著的《土壤物理及土壤改良研究方法》所述方法测定。

本书的初稿编写人员分工如下：前言、第一章、第二章、第三章的第一节、第三节、第五章的第二节、第六章等由张秉刚撰写；第三章第二节由卓慕宁撰写；第四章由骆伯胜撰写；第五章第一节由邓邦权撰写。绪论由邓邦权、张秉刚合写。初稿写成后作者轮流审阅，提出修改意见，最后由张秉刚理顺定稿。

本书是集体劳动成果，自始至终参加本书内容有关项目测定的还有黄湘兰同志，参加过小部分工作的还有苏媛、黄美艳、陈长雄、钟继洪和谭军同志。季风常绿林土壤水热变化研究得到陆发熹教授、何金海研究员的指导，中科院鼎湖山森林生态系统定位研究站的黄玉佳、莫江明协助观测。丘陵和耕地土壤水资源定位观测研究与刘腾辉教授合作。丘陵和新垦梯地土壤水热资源观测工作承本所原红壤站全体成员的大力支持与帮助。“土壤水热状况与土壤生物活动性态关系”一节的内容是本所土壤微生物室有关同志的工作成果。本书在撰写过程中得到广东省土壤研究所领导和业务办公室、图书资料情报部门领导的鼓励和支持，初稿写成后承蒙前所长邹国础研究员审阅，提出宝贵意见，

本书内的插图由谭丕显清绘。在此，对上述所有领导及同志们表示衷心感谢！

由于作者水平有限，时间仓促，本书难免有错误之处，请读者批评指出。

编著者

1994年4月

内 容 简 介

本书是作者10多年来对广东省丘陵土壤水热资源及其保护开发所进行的调查及定点定位研究的工作总结。书中以丰富的系统资料，探讨了赤红壤的水热资源及其变化规律，提出了有利于保护和调节土壤水的措施。同时，围绕低山丘陵土壤的综合治理和合理开发中的土壤水问题，提供了有价值的参考资料。

本书可供从事农、林、牧、水利、水保专业人员和农林院校师生参考。

序 言

广东范围内的南亚热带占有很大面积，北倚南岭山地，南濒南海，多低山丘陵和台地。由于气候高温多雨，雨热同期，干湿分明，不但年可三熟，物产丰饶，而且可发展荔枝、龙眼、香蕉等岭南佳果，是我省、我国以至全球的一块得天独厚宝地。但因气温和降雨的年振幅较大，而且有台风暴雨的影响，易发生冬春干旱，夏秋洪涝的自然灾害，加以雨季降雨强度大，往往形成地表径流，造成地面冲刷，导致水资源的丧失和土壤侵蚀的发生。而部分入渗土壤的雨水，既通过水平扩散和垂直导水而被土壤吸持和贮存，又因蒸散作用而减失，参与土壤水分的循环。

土壤水分是土壤的重要组成部分，它积极参与土壤物质转化过程，在土壤形成中起着重要作用，而且它与农业生产存在着密切关系，农谚“有收无收在于水，多收少收在于肥”是生产实践的科学总结。科研实践说明，土壤水分不但是一个载体，而且是一个肥力因素，其作用就更加重要。所以控制调节与改善土壤水分状况是提高农业生产的重要措施，也是防治水土流失的重要途径，而土壤水文状况和水资源状况研究的重要意义也就十分明显了。

我国土壤工作者对土壤水分的研究，在干旱和半干旱地区较多，而在亚热带热带湿润地区较少。作者长期从事土壤水分研究工作，近十年来对南亚热带赤红壤的水热资源的研究较为系统。他们通过调查研究和定位观测对不同植被、不同地形、不同利用现状的赤红壤剖面分层进行了年际、周年、季节和月份的动态观测，以研究不同深度土壤水资源总量和有效水资源量，分析不同年份、不同季节土壤水分的丰缺与降雨及蒸散的关系，同时也观测研究了土壤温度的变化规律。以探讨水热资源的开发和保护。在完成各阶段课题总结报告及论文的基础上，全面整理资料，写成《广东丘陵土壤水热资源及其开发利用》一书。

本书以丰富的资料和大量数据为基础，论述了低山季风常绿林土壤水资源、丘陵和耕地土壤水资源、丘陵和新垦梯地土壤水资源的特征，探讨了土壤水资源的保护与开发利用问题；论述了土壤热资源和土壤温度的特征及其利用与调控；此外，还探讨了土壤水热资源对土壤生物、化学性质的影响。论据充分，分析正确，观点明确，具有一定理论水平和实用价值，对科研、教学和生产都很有参考价值。

邹国础

1994年5月

目 录

绪论	(1)
第一章 低山季风常绿林土壤水资源	(3)
第一节 影响低山季风常绿林土壤水的土壤因素	(3)
第二节 低山季风常绿林土壤水资源	(14)
第二章 丘陵荒坡和耕作土壤水资源	(27)
第一节 不同利用方式的土壤物理条件及其对土壤水的影响	(28)
第二节 不同利用方式的土壤水资源	(36)
第三章 花岗岩丘陵新垦耕地的土壤水资源	(52)
第一节 新垦梯地土壤物理性质的演变及其对土壤水资源的影响	(52)
第二节 丘陵荒坡地和新垦梯地土壤的水资源	(61)
第三节 不同轮作对新垦梯地土壤水资源的影响	(76)
第四章 土壤热资源与土壤温度	(83)
第一节 土壤热流与土温变化综述	(83)
第二节 土壤温度变化动态特征	(87)
第三节 土壤温度的周期波动变化特征	(97)
第四节 影响土温的主要因子分析	(103)
第五节 南亚热带土壤热资源的调控	(107)
第六节 南亚热带土壤热资源的评价	(109)
第五章 土壤水热状况对其它土壤性质的影响	(111)
第一节 土壤水热状况与土壤生物活动性态的关系	(111)
第二节 土壤水热条件对活性铁铝的影响	(124)
第六章 山坡土壤水资源的保护与合理开发	(127)
第一节 土壤有效水资源的划分	(127)
第二节 土壤水资源的保护和合理开发	(129)
第三节 土壤水资源的调控	(134)
第四节 丘陵台地土壤水资源保护和开发模式探讨	(141)
参考文献	(147)

绪 论

地球陆地表面的土壤层，是构成陆地生态系统的重要基础，也是人类经济活动中农、林、牧业生产的主要资源。土壤是岩石风化后的碎屑颗粒，经过移运堆积并经生物作用而形成具有利于植物生长、繁殖的各种肥力因子的历史自然体。从土壤物理学观点看，土壤并不像岩石那样坚实致密，而是存在着大量孔隙、裂隙多孔体。在这个疏松多孔体中，有着多种流体物质和能量的存在和运动。这些物质和能量的存在，为各种生物的繁衍和栖息提供了有利条件，它们反映了土壤成为生态系统基础或农、林、牧生产资源的基本属性。

本书所讨论的土壤水热资源，是土壤资源的一个重要组成部分。土壤中的水和热都是植物、微生物及其它低等生物活体生命活动中必不可少的基本条件。土壤水是土壤中许多物质及能量的溶剂或载体。它在土壤中的贮存和运动，在很大程度上决定着土壤中物质能量的存在状况和物质流、能量流的趋向。土壤热量的存在和热流的产生，同样对物质流、能量流有着重大影响。而土壤中物质流和能量流的存在与平衡的动向又决定着生态环境的优劣与资源的质量。因此，分析研究并阐明土壤水热资源情况，指出其保护与合理开发利用途径，也就具有特定的现实意义。

美国著名土壤水热学者R.J.汉克斯曾指出：“土壤就像一个水库”^[2]。他通过有关观测数据说明，占据土壤容积含水量1/4左右的水量，足供常见粮食作物近两个月高速率蒸腾和正常生长的用水。他还计算过100厘米厚土层含水26%时，每一万平方米所贮存的水量可达2 600吨，这个水量可供每人每天用水50加仑（折合189.25千克）达37年之久。可见土壤的贮水能力是相当大的。用压力膜仪测定坡地赤红壤持水量的结果表明，一万平方米的0—100厘米土体吸持水量可达4 550立方米至3 900立方米。但其有效水量仅为1 370立方米至1 200立方米，这是因为土壤所能吸持的水量并不是全部可以提供植物利用的。例如，低于植物萎蔫含水量的液态水，不为土壤孔隙吸持而易于因重力作用而释放的水，都难以被植物所利用。一般来说，高度熟化的耕作赤红壤，其有效水范围是土壤吸力 0.1×10^5 帕至 15×10^5 帕所吸持的水量，绝大部分赤红壤及耕作赤红壤在土壤吸力 0.3×10^5 帕至 15×10^5 帕所吸持的水量属有效水。因此，从土壤能提供植物利用的有效水量看，赤红壤也只是像一个小水库而已。

本书所讨论的土壤水热资源，正是上述所指的贮存于土体中的水资源总量及能够提供植物吸收的有效水资源量和相应空间范围内的土壤热源总量及能为植物吸收的有效热资源量。不难看出，我们所说的土壤水资源既不同于农田水利学所指的地表直接与大气降水径流相联系的地面水资源，也不同于地下深处的地下水资源；我们所说的土壤热资源也只是土体内的热资源而已。

前苏联著名土壤水分学家A.A.罗戴指出：“水以某种形态落于土表或土壤上层之中，随后就受到不同性质和不同来源的力作用，这些力的作用结果引起土壤水的运动”^[8]。在自然条件下，降水入渗土壤的速率大于地表自由水流速率时，水即入渗土壤，当土壤为水饱和后发生垂直导水和水平扩散。水在土壤中之所以能被吸持、贮存，主要是由于颗粒分子吸引力和毛细管分子吸引力的作用结果。当外来水源不断入渗土壤，或当土壤水在植物根系的吸力和大气压力的作用下，发生蒸散作用，土壤贮水量发生动态变化，其中耕作层或表土层贮水量的变化尤为突出。因此，采取措施保持土壤水分，是土壤耕作和改良土壤的任务之一。

赤红壤属非饱和土壤，非饱和水流受到土壤对水的吸力作用，不同深度间的吸力梯度便是非饱和水流的推动力。推动土壤水运动的主要力梯度是吸力势梯度（基模势梯度）和重力势梯度。在吸力很高时，吸力作用是主要推动力，而重力作用很小。赤红壤非饱和运动中土壤水总是由土壤水吸力小处向土壤水吸力大处运动。非饱和土壤导水率可以在田间原位测定，也可以在室内以稳定流法测定。“在非饱和流中，粗大孔隙为空气占据，不但导水面积减少，而且充气孔隙都是导水速度慢的细小孔隙，再加上它们常被充气的粗毛隙阻隔，水或者是不连续的，或者只能曲折前进”^[11]，导水率可降到饱和导水率的1/50 000至1/100 000。

土壤水热资源量的变化，受土壤水性能制约，而水性能又受土壤基本物理条件制约，为此，本书在讨论水资源的章节前，有针对地具体分析不同条件下制约土壤水资源的因素。土壤水热资源量的变化规律受土壤内外因素的影响。因此，有赖于累积不同生态条件下土壤水热资源量多年的月、季、年动态资料。这本书对低山季风常绿林土壤、丘陵荒坡和耕作土壤、新垦耕作土壤的水热资源量及其动态的阐述，仅是开始，有待对这项研究有兴趣的同仁进一步探索。为了解、改造南亚热带坡地土壤、提高南亚热带坡地土壤的自然生产力，让我们继续努力探索吧！

第一章 低山季风常绿林土壤水资源

广东省南亚热带范围内低山季风常绿林分布面积很广，自粤东到粤西、粤中到沿海一带均有分布，其中粤西封开的黑石顶、粤东的南昆山、粤中的鼎湖山都是典型的季风常绿林。

为利用自然、改造自然和保护环境与资源提供科学依据，中国科学院鼎湖山森林生态系统定位研究站，在1979年起先后组织了大批专业人员，在鼎湖山范围内进行了动物、植物、土壤、地理地质、气候等五大组分的本底调查，以了解这五大组分之间的相互作用关系，物质循环与能量转化的途径和规律，探讨自然生态系统发展的客观规律。在这个基础上，我们围绕探讨亚热带森林人工更新的途径、方法与土壤水分关系内容。1983年开始从土壤物理性能与常绿林关系进行研究，1985年获国家自然科学基金委员会资助，转入研究鼎湖山季风常绿林土壤水热状况及其变化规律的定位研究。从几年的定位观测结果看，土壤水资源的丰缺程度及其消长规律，反映了土壤生态条件及其变化。

土壤是陆地生态系统的重要组成部分，它的形成、发生、发育、演变是自然因素综合作用的结果。土壤及其性能随生态系统的发展而演变，土壤演变又为生态系统的演变打下基础。鼎湖山季风常绿林中的针叶林、阔叶林和针叶阔叶混交林及其林下土壤，是常绿林的主要组分，其中土壤物质迁移和土壤水资源量的变化，对森林生态系统的平衡起着重要作用。大气降水到林下被土壤吸收，经过林冠和凋落物对水量的两次平衡和分配，林下土壤水的入渗率高于林外，将大量地表水转变为土壤水和地下水，极大地丰富了土壤水资源，林内封闭度大的阔叶林、混交林，能凝聚林木蒸腾作用所消耗并已变为气态的水重新归还土壤，补充土壤水资源；林内封闭度小的针叶林，植物蒸腾作用所消耗的水变为气态水扩散到大气中，土壤水资源的补充只能靠下次降雨。因此，不同常绿林的水资源量及其变化均有不同，本章就影响土壤水的主要土壤因素和土壤水资源量及其变化进行讨论。

第一节 影响低山季风常绿林土壤水的土壤因素

土壤颗粒组成是土壤的“骨架”，土壤颗粒是“骨架”中的“骨骼”，由粗细不等、含量也不同的颗粒与胶结物粘结而成的土壤结构，是土壤水热资源的“仓库”。“仓库”并不完全封闭，它存在的大小孔隙和空隙，构成土壤水、热的通道。土壤有机质既是生活在土壤中的植物根系和其它生物的后备营养，也是胶结颗粒的原料。土壤中的水，不仅是根

系和生物的必需品，它更是贮存、输送植物养料的“动脉”；水是土壤的重要性质，也是一种资源。这里所说的资源，仅是指能为土壤吸持、贮存和供应植物的土壤水，它不包括土壤气态水、低于萎蔫湿度的水，也不包括多余水（过饱和水），更不包括地下水和降水、人工浇水。土壤对水的吸持、贮存、供应植物，受土壤水性能的制约。因此，土壤水资源的丰缺，是受土壤水的多种性质影响的。

一、土壤颗粒组成

表1-1

低山季风常绿林下土壤颗粒组成（1985年测定）

林型	土 壤	分 析 度 (厘米)	>3毫米 石 块 (%)	颗粒组成（粒径毫米，含量%）				
				3—1.0	1—0.05	0.05—0.001	<0.001	<0.01
针叶林	赤红壤	0—15	0.74	0.74	23.92	49.93	25.41	56.38
		15—30	0.96	0.92	20.30	44.10	34.68	61.24
		30—50	11.42	1.87	19.62	43.18	35.33	62.81
混交林	赤红壤	0—15	8.80	0.87	29.73	46.10	23.30	51.53
		15—30	8.30	1.18	29.45	43.58	25.79	54.35
		30—50	27.60	0.80	29.56	48.31	21.33	50.82
阔叶林	水 化 赤红壤	0—15	8.90	1.87	19.60	58.21	20.32	42.87
		15—30	9.70	6.81	34.50	34.41	24.28	47.18
		30—50	32.50	1.31	36.20	33.23	29.26	50.82

土壤由固相、液相、气相组成，其中固相中的不同粒径颗粒及其含量，是土壤物理性质的基础，土层中的石块含量和土壤颗粒组成中砂粒、粉粒、粘粒的组成比例，对土壤的水热资源有直接影响。鼎湖山季风常绿林下的土壤，发育于砂岩风化物，由于植被覆盖度和凋落物厚度不等，遭受冲刷程度不同，土壤各颗粒含量有差异。针叶林覆盖度小，凋落物层1—3厘米，<0.001毫米细颗粒易受冲刷，残留表层石块较多。混交林覆盖度大，凋落物层3—5厘米，林木根深，根系密集，土壤不易遭受冲刷，<0.001毫米细颗粒淋移较少。阔叶林覆盖度大，树冠6—7层，截留降水作用明显，同时，根系粗壮、深展，特别是地表枯枝落叶厚达5—8厘米，分解和半分解枯枝落叶像海绵一样吸收大气降水，能明显地降低地面水流速度，当特大暴雨形成的水流速度大于渗透速度而发生地表径流时，土壤的冲刷也受到了深厚凋落物层的阻滞，从而极大地减轻了水土流失。阔叶林下水化赤红壤<0.01毫米及<0.001毫米颗粒含量较其它林下土壤高，颗粒表面面积大，颗粒分子吸引力强，吸持水量多。枯枝落叶层厚且又易分解，导致土壤含有机质超过5%，有机质腐殖化后产生的胶结物质与粘粒胶结所形成水稳性团聚体数量多、质量高，结构稳定性强，良好的土壤结构有利于协调水、气共存矛盾，有利于水分的移动。由此可见，土壤颗粒组成及其含量的差异，导致土壤水分性能的差异，水分性能的差异又导致土壤水热资源库容的差异。

二、土壤结构和孔隙性能

土壤结构及其稳定性,是影响土壤水移动和保持的重要因素。由胶结物等物质胶结而成的土壤结构,是土壤水热的“仓库”。土壤颗粒组成中的 <0.001 毫米粘粒含量在形成土壤结构中起着重要作用。大量试验结果表明,在有机质和 <0.001 毫米粘粒含量都较高的土壤中, >0.25 毫米粒级团聚体含量最高,结构稳定性也最强,其吸水速度和吸持水量以及在同一吸力下的释水量也最多。

土壤颗粒组成及其排列,反映了土壤孔隙直径大小和数量多少,大于2毫米孔隙对水分的移动有利; 0.2 毫米— <0.005 毫米孔隙则有利于吸持水分。季风常绿阔叶林下水化赤红壤和混交林下赤红壤表土层 >0.2 毫米通气孔隙度比针叶林下赤红壤多10%, 0.2 毫米— <0.005 毫米的持水孔隙度,则阔叶林下水化赤红壤比针叶林、混交林下赤红壤多20%左右,表明低山季风常绿林下三种不同林型土壤的孔隙度及其性能有较大差异,这是导致不同林下土壤水分移动、吸持、释放及提供植物利用的有效范围不等的基础,是影响土壤水资源量丰缺程度不同的基础。

表1-2 季风常绿林下土壤团聚体组成及含量

林型—土壤	各级团聚体 (毫米 %)							结构
	>5	5—2	2—1	1—0.5	0.5—0.25	>0.25	<0.25	破坏率
阔叶林—水化赤红壤	37.58	14.75	11.14	12.17	5.76	81.40	18.60	13.25
混交林—赤红壤	18.41	8.67	7.58	11.21	9.78	55.65	44.35	41.64
针叶林—赤红壤	34.11	7.36	5.59	8.55	7.37	62.98	37.02	34.62

表1-3 季风常绿林下土壤孔隙度

林型—土壤	总孔隙度 (%)	通气孔隙度 (>2 毫米 %)	持水孔隙度 (<2 毫米 %)	备注
阔叶林—水化赤红壤	54.2	5.7	48.5	当量孔隙度 测定仪测定
混交林—赤红壤	45.0	5.8	39.2	
针叶林—赤红壤	43.7	5.2	38.5	

三、土壤有机质

土壤有机质既是土壤团聚体的胶结物原料之一,也是吸水物质。据陈志雄等研究,以土壤物理性粘粒含量相近的黑土和红壤作比较,表明有机质含量高的黑土,其持水量明显高于有机质含量低的红壤^[4]。低山季风常绿阔叶林、混交林、针叶林下土壤表层有机质含量分别为5.78%、5.31%、2.28%。枯枝落叶层仅1—3厘米的针叶林下土壤比上述两种林下土壤分别低60.5%及57.6%。 <0.001 毫米粘粒和有机质含量的差异,是形成不同粒径团聚体和结构破坏率高低不同的基础,是影响土壤水性能和土壤水资源库容积多少的基础。

四、土壤的透水性

进入土壤中的水，在土壤吸着力、弯月面力和压力梯度的作用下，土壤从非饱和到饱和，在这个过程中，水从水平入渗到垂直入渗土壤。在起始含水量时，呈水平方向扩散，当土壤含水量增大时，扩散度也增大。随着水在土壤中的继续入渗，垂直入渗量大大超过水平入渗量，发生饱和入渗，水从上而下运行，随着压力差的增加，下行速度也增加。土壤的渗透速度与压力大小呈正相关。我们根据美国泰勒方法与计算公式得出常绿林下土壤水力扩散度⁽⁵⁾和根据Darcy定律测得常绿林土壤渗透系数，分别列于表1-4、表1-5。

表1-4 低山季风常绿林下土壤水渗透状况

林型—土壤	渗透系数 $K_{10\%}$ (厘米/时)	林冠降水量 (毫米)	降水入渗量(毫米)			0—50厘米 渗入率 (%)	地表及50厘米 土深下径 流率(%)
			0—15 厘米	15—30 厘米	30—50 厘米		
针叶林—赤红壤	3.85	51.7	7.04	15.20	5.12	52.92	47.08
混交林—赤红壤	5.01	49.0	11.65	20.71	2.78	71.71	28.29
阔叶林—水化赤红壤	5.82	47.0	21.40	20.44	6.97	91.08	8.92

根据达西定律，土壤渗透系数是指饱和土壤中自由水在单位水压梯度下在单位时间内透过土壤单位面积的水量，它是土壤多孔体几何结构及水的粘滞系数的函数。土壤的渗透系数是决定土壤的贮水、排水、供水能力的重要因素。土壤的渗透系数和水力扩散度与土壤中 <0.001 毫米粘粒及有机质含量有关。从表1-1至表1-3与表1-4、表1-5的关

表1-5 常绿林下土壤水力扩散度

θ_v 厘米 ³ /厘米 ³	D(扩散度 厘米 ² /分)		
	针叶林下赤红壤	混交林下赤红壤	阔叶林下水化赤红壤
0.05	9.81×10^{-3}	7.46×10^{-2}	3.71×10^{-3}
0.10	2.67×10^{-2}	1.65×10^{-1}	3.04×10^{-2}
0.15	4.51×10^{-2}	2.58×10^{-1}	5.53×10^{-2}
0.20	4.68×10^{-2}	3.48×10^{-1}	8.10×10^{-2}
0.25	9.23×10^{-2}	5.36×10^{-1}	1.07×10^{-1}
0.30	1.21×10^{-1}	6.96×10^{-1}	1.32×10^{-1}
0.35	1.66×10^{-1}	9.52×10^{-1}	1.79×10^{-1}
0.40	2.45×10^{-1}	1.21	2.30×10^{-1}
0.45	3.19×10^{-1}	1.61	2.84×10^{-1}
0.50	1.42	2.74	4.41×10^{-1}
0.55	6.53	12.44	1.68

系看，有机质含量高， >0.25 毫米团聚体含量也高，通气孔隙占比例也大，土壤的渗透系数也愈大。在林冠降水量比较接近的条件下，不同林下的枯枝落叶层厚薄不等，分解程度也不同，对降水入渗土壤的影响很大。例如，针叶林下枯枝落叶层仅1—3厘米，

而且难分解，分解产物粗糙，吸水量低，降水着地后大部分沿低地势方向流失，入渗至土壤50厘米处水仅占降雨量的52.92%。阔叶林下枯枝落叶层达5—8厘米，而且容易分解，松软的分解物吸水量多，降水滞留枯枝落叶层时间长，降水入渗率比针叶林、混交林下土壤分别高41.89%及21.26%，地表及50厘米土深下的径流率比针叶林、混交林下土壤分别低4.2倍及2.1倍。

低山季风常绿林下土壤所处地势倾斜，坡度陡，降水着地后，在径流速率低于渗透速率时发生水渗透，其导水方向有水平流、斜流、垂直流。在当前测试方法中难以准确反映渗透性能，我们所测定的垂直渗透系数和水力扩散度均是表土层，不仅与剖面没有联系，而且是室内土柱测定法，测得数据只有相对意义。为综合反映土壤的实际渗透性能，几年来，我们多次以降雨后的入渗率与径流率作比较，认为一定土层入渗率比较客观地反映土壤的渗透性。表1-4的资料显示了垂直渗透系数大的阔叶林下水化赤红壤，其土深0—15—30—50厘米吸入水量及0—50厘米渗入率均大于针叶林下土壤，地表及土深50厘米下径流率则小于针叶林下土壤，混交林下土壤介乎两者中间，降水的入渗率与渗透系数的大小趋势基本上相吻合。根据不同林下土壤渗透性的快慢程度，可以认为，在水源保证条件下，在单位时间内土壤水资源量的增加多少顺序为阔叶林>混交林>针叶林下土壤。

五、土壤水的蒸散

土壤内贮存的水，在大气压力、植物根系吸力大于土壤吸力时，一部分蒸发到大气中，另外一部分为根系吸收，这两方面所消耗的水称土壤蒸散量。土壤水的蒸发速度与土壤物理性质和大气压有关，当大气压力、温度一致时，土壤物理性质起主要作用。我们以不同林型土壤样本在室内等温（50℃）烘干法测定，结果表明，土壤粘粒及有机质含量高的阔叶林下水化赤红壤，在0.5—1.5小时和7.5—13.5小时内蒸发量比针叶林、混交林下土壤低，而1.5小时后至5.5小时内蒸发量明显地高于上述两种土壤，反之，在0.5—13.5小时内针叶林、混交林下土壤的蒸发量呈直线上升，13.5小时内累计总蒸发量则是混交林下土壤比针叶林、阔叶林下土壤分别多8.62%及23.00%，据此不难理解，阔叶林下土壤由于吸持水的能力强，其土壤的保水性能>针叶林>混交林下土壤。

根据吴兴宏^[6]对鼎湖山季风常绿林水蒸发量的观测资料，自然林（阔叶林）下年蒸发量为159.0毫米，疏松林（针叶林为主）下为517.9毫米，后者比前者多359.0毫米。在干季（10月至2月）自然林下蒸发量50.32毫米，疏松林下为181.4毫米，后者比前者多131.08毫米；在湿季（3—9月）自然林下蒸发量为83.0毫米，疏松林下为358.5毫米，后者比前者多270.5毫米。对于不同林型土壤水分的消耗量，可从土壤水量平衡公式求得。根据 $Et = P_0 + I - R_0 - \Delta Dc - Dr$ ^[2]，在干季，当 R_0 、 P_0 、 I 、 D_r 均为0时，后一次的土壤贮水量减去前一次土壤贮水量即等于土壤蒸发量加植物蒸腾量。

在干季，三种林型土壤的蒸散量多少趋势是混交林>针叶林>阔叶林（表1-6），说明0—50厘米土层内，阔叶林下水化赤红壤蒸散量低于针叶林、混交林下赤红壤，也就是说，即使在干旱季节，阔叶林下土壤水资源的消耗量低，库容水资源量仍高于其它林型土壤。

表1-6

土壤干季蒸散量(毫米)

林 型	深度 (厘米)	贮 水 量		蒸 散 量	贮 水 量		蒸 散 量	贮 水 量		蒸 散 量
		1983年			1984年			1985年		
		10月16日	11月14日		10月18日	11月12日		10月 3 日	10月18日	
针叶林	0—30	92.70	62.57	30.13	62.63	49.83	13.00	125.40	71.60	53.80
	0—50	159.90	96.23	63.67	105.80	83.66	22.14	197.03	126.70	70.33
混交林	0—30	88.73	67.49	21.24	86.70	56.50	30.20	125.30	78.90	46.40
	0—50	163.38	116.99	46.39	157.02	114.00	43.02	225.20	143.30	82.90
阔叶林	0—30	99.64	88.31	11.33	96.45	76.50	19.95	123.10	102.37	20.73
	0—50	172.42	150.95	21.47	156.80	131.50	25.30	197.84	170.57	26.97

六、土壤水分运动方向和强度

低山季风常绿林下土壤水流属非饱和水流,其水流推动力是吸力势梯度(基模势)和重力势梯度。在干旱季节,土壤吸力由低而高,吸力作用是主要推动力,重力作用很小。土壤非饱和水流运动中,土壤水由水膜厚处向薄处(吸力小处向大处)移动。因此,在田间不同土壤深处安装张力计,可以了解土壤水的运动方向和强度,我们从1985年起至1989年,在定位点的观测得出下面结果。

(一) 干湿季节土壤水分的运动方向和强度

从表1-7可知,不论在干旱月、干旱季或湿月、湿季,阔叶林下水化赤红壤不同深度的土壤吸力,均低于针叶林下的赤红壤,混交林下赤红壤的吸力则介于上述两者之间。在干季,针叶林、混交林下赤红壤的土壤吸力动态,表明了水分自下而上移动,阔叶林下水化赤红壤则自上而下运动;在湿季,针叶林、混交林下赤红壤不同深度的土壤吸力的动态表明,土壤水分自5厘米及30厘米处分别向15厘米处移动,阔叶林下水化赤红壤水分自上而下运行;在10月至11月,阔叶林、混交林、针叶林下土壤水分自上而下运行。

对于土壤吸力的季节性指标,大致上可分为:干季土壤吸力 $>0.65 \times 10^5$ 帕,其时土壤速效水分含量不能满足植物生长所需。但在季风气候条件下,土壤吸力连续半个月维持 $>0.65 \times 10^5$ 帕的情况也只是间断出现而已。在干季,阔叶林下水化赤红壤吸力 $<$ 混交林 $<$ 针叶林。在3月和4—9月的湿季,土壤吸力 $<0.4 \times 10^5$ 帕,有效水分含量高,有利于植物生长。

(二) 不同季节中土壤水分的旬运动方向

不同水分季节中土壤吸力的旬动态(见表1-8),受降雨量、降水天数、降水强度和蒸散作用制约。在干季,持续15天左右不降水,不同林型下土壤吸力表现不同,针叶林下土壤自12月5日起连续干旱4天,吸力由 0.4×10^5 帕左右急剧升到 0.86×10^5 帕,但阔叶林下土壤的吸力在连续干旱10天后即12月15日才急剧由 0.24×10^5 帕上升至 0.93×10^5 帕,反映了阔叶林下土壤水分的蒸散作用弱,土壤失水慢。在3月2日降水后,土壤水分的运行方

表1-7 季风常绿林下土壤水分的月、季移动方向和强度

林 型	土 深 (厘米)	土 壤 吸 力 ($\times 10^5$ 帕)												年 平 均	10—2月	3—9月
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
针 叶 林	5	0.85	0.66	0.29	0.11	0.18	0.23	0.20	0.26	0.54	0.81	0.73	0.79	0.47	0.76	0.25
	15	0.83	0.68	0.30	0.20	0.25	0.28	0.26	0.40	0.53	0.76	0.67	0.83	0.57	0.78	0.32
	30	0.85	0.62	0.37	0.36	0.19	0.26	0.22	0.33	0.50	0.79	0.70	0.82	0.50	0.76	0.31
混 交 林	5	0.75	0.55	0.21	0.10	0.08	0.24	0.31	0.18	0.47	0.80	0.67	0.71	0.42	0.67	0.23
	15	0.67	0.57	0.26	0.26	0.08	0.28	0.17	0.32	0.49	0.75	0.73	0.77	0.44	0.67	0.27
	30	0.77	0.55	0.26	0.26	0.10	0.23	0.19	0.20	0.47	0.74	0.68	0.67	0.43	0.66	0.24
阔 叶 林	5	0.65	0.49	0.17	0.09	0.10	0.13	0.09	0.16	0.38	0.65	0.65	0.69	0.35	0.61	0.16
	15	0.67	0.57	0.17	0.11	0.13	0.14	0.08	0.14	0.42	0.60	0.64	0.70	0.39	0.65	0.17
	30	0.70	0.67	0.26	0.11	0.14	0.10	0.13	0.20	0.51	0.71	0.63	0.73	0.41	0.70	0.20