

红壤坡地水土资源 保育与调控

左长清 等 著



科学出版社

红壤坡地水土资源保育与调控

左长清 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书通过在红壤中心区域进行长期的定位观测,系统研究了红壤坡地天然降雨、地表径流、壤中流、地下径流、土壤水分和土壤侵蚀等方面的时空分布规律。全面阐述了运用水土保持植物措施、工程措施和耕作措施的调控机制和保育效果。在弄清我国水蚀地区降雨侵蚀力的基础上,对红壤地区水土流失规律和测报模型进行了成功的探索,尤其在水量平衡、降雨侵蚀力和植生工程等方面取得了卓有成效的突破。同时为我国水土流失防治,山丘坡地的合理开发利用提供了技术支持。

本书可供水土保持、土壤侵蚀、生态环境、国土整治、自然地理和农林水利等领域的研究人员、高等院校师生和生产实践者参考。

图书在版编目(CIP)数据

红壤坡地水土资源保育与调控/左长清等著. —北京:科学出版社, 2014. 6

ISBN 978-7-03-039742-3

I. 红… II. 左… III. ①红壤-坡地-水资源管理 ②红壤-坡地-土地资源-资源管理 IV. S156. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 023295 号

责任编辑:李 敏 吕彩霞/责任校对:桂伟利

责任印制:肖 兴/封面设计:无极书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 1 月第一次印刷 印张:29 3/4

字数:700 000

定价:228.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

红壤是一种地带性土壤，广泛分布于我国亚热带地区的十几个省（市、自治区），总面积达 218 万 km^2 ，占全国土地面积的 22.7%。红壤是我国重要的土壤资源，其分布区域水热资源丰富，是我国经济作物和粮食作物重要的生产基地。红壤分布区以仅占全国 1/3 的耕地，提供了一半的全国农业产值，养活了近一半的人口，是我国农业主产区和经济迅速发展的地区。

红壤地区人口密度大，人类活动频繁，自然降雨量大，加之山丘坡地广布，一旦经济发展与生态环境保护的关系处理不当，就会导致严重的水土流失。其结果必然是土地资源遭到破坏，农业生产能力降低，生物多样性衰退，洪涝灾害加剧，严重制约社会经济的可持续发展。因此，搞好水土保持，防治水土流失，有效保护和合理利用水土资源，是促进人与自然和谐的基本保障，是确保生产发展、生活富裕、生态文明的必要途径。

左长清教授及其团队长期致力于红壤地区水土保持研究，以红壤中心区域的江西省德安县国家水土保持科技示范园为基地，在地表径流、土壤水分、土壤侵蚀和防洪减灾效益等方面进行了一系列试验研究，系统阐明该地区的水土流失规律、水土资源调控机制，并对红壤地区水土流失预报模型进行了探索。他们在此基础上开展的水土保持试验示范为我国水土流失防治、山丘坡地的合理开发利用积累了宝贵的经验。

我相信该书的出版发行，将为我国红壤区和相关地区水土保持试验研究与生产实践提供有力的科技支撑，也为有关科技人员和生产者提供了一部很有参考价值的专著。

中国科学院院士：



2014 年 6 月

前 言

人这一辈子，想干的事很多，能干的事很少，能干成的事少之又少。《红壤坡地水土资源保育与调控》这一成果虽不完美，却花费了十多年的光阴，仍可谓来之不易。

开展这项研究工作始于二十世纪末，作者当时的想法很简单，觉得一个自然科学研究单位需要一个真实的试验研究基地，于是便进行选点建设，先后选择了江西省的泰和、奉新和南昌等县市。受各种因素的制约，终因没有土地使用权，在付出多年的努力后仍未能如愿，于是便下定决心打造一个能基本自主掌控的试验研究基地。经多方努力，终于得到上级及当地政府的同意，在德安园艺场租用了 80hm² 水土流失荒地建立了该试验研究基地，开展了一系列的水土保持科学试验和研究工作。

建设之初，按照必须遵循自然科学规律，符合社会经济发展规律，适应指导红壤地区生产实践需要的原则出发，进行水土保持科学试验规划与设计。建设中，还得到了台湾中华水土保持学会廖绵浚、吴辉龙、张贤明、沈福成先生的指导与帮助，并借鉴台湾水土保持户外教室的经验，逐步形成了以科学试验为主要功能的水土保持科技示范园。以该科技园的实践经验制定的《水利部水土保持科技示范园区管理办法》，催生命了全国 5 批 102 个科技园区。该科技园得到了水利部陈雷部长的充分肯定，在视察此园时一连讲了“六个好”。

本书主要试验研究是在该园区完成的，它以中华人民共和国科技部农业科技成果转化资金项目“花岗岩侵蚀区水土保持植物优化组合技术试验与示范”和中华人民共和国水利部公益性科研专项经费项目“水蚀地区坡面水土流失阻控技术研究”为依托，从红壤坡地水土保持技术措施入手，系统开展了从天然降雨到地表径流、地下径流和土壤含水量时空变化规律的研究。运用植物、工程和耕作措施调控水土资源，探索其土壤改良效果。在弄清我国水蚀地区降雨侵蚀力的基础上，建立了红壤地区水土流失测报模型。在水量平衡研究和建立测报模型等方面有突破，在防洪减灾、降雨侵蚀力和植生工程技术等方面有创新，为我国南方红壤丘陵区的水土保持生态建设和水土资源调控提供了技术支撑和示范样板，为完善我国水土保持技术体系和生态建设标准规范提供了科学依据。

本书是作者本人在系统总结上述研究成果的基础上，依托作者的博士论文撰写了提纲和初稿，再由相关同仁负责资料整理和补充完善，继而由作者反复修改而成。也可以说是江西水土保持科技园科学研究的阶段性总结。全书共分十四章：第 1 章绪论由左长清、张国华和詹红丽执笔；第 2 章研究区概况及设计布局由左长清和王昭艳执笔；第 3 章研究区降雨特征研究由左长清和马良执笔；第 4 章降雨侵蚀力时空变化研究由左长清、秦伟和马良执笔；第 5 章红壤坡地地表径流特征研究由左长清和程冬兵执笔；第 6 章红壤坡地土壤水分特征研究由左长清、尹忠东和刘士余执笔；第 7 章红壤坡地壤中流特征研究由左长清

和张国华执笔；第8章红壤坡地水量平衡研究由左长清和张国华执笔；第9章水土保持措施防洪减灾效应研究由左长清和张国华执笔；第10章红壤坡地土壤侵蚀特性研究由左长清和单志杰执笔；第11章红壤坡地水土流失预报模型研究由左长清、秦伟和李蓉执笔；第12章水土保持措施对土壤改良效益的影响由左长清和单志杰执笔；第13章红壤坡地梯田工程技术研究由左长清、郑海金和马良执笔；第14章红壤坡地植生工程技术研究由左长清、程冬兵和张雁执笔；全书最后由左长清统稿审定。

参加的主要研究人员还有方少文、胡建民、奚同行、杨洁、谢颂华、喻荣岗、张靖宇、汪邦稳、秦俊桃、李小军、章俊霞等。在研究期间得到了江西省水土保持科学研究院和德安科技园同仁们的大力支持，以及课题组全体研究人员的密切配合，圆满的完成了研究任务。在此对他们的辛勤劳动表示诚挚的谢忱。

由于本书涉及的行业跨度较大，涉及的学科较多，遇到的问题较为复杂，加上作者水平和时间所限，书中的错误和不当之处在所难免，恳请读者不吝赐教，批评指正！

作 者
2014 年 5 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 问题的提出	1
1.2 开展红壤坡地研究的背景	6
1.3 研究动态	9
1.4 研究主要内容	16
1.5 研究技术路线	19
参考文献	20
第2章 研究区概况及设计布局	24
2.1 研究区概况	24
2.2 研究布局与设计	33
2.3 供试材料与处理方法	37
参考文献	41
第3章 研究区降雨特征研究	42
3.1 概述	42
3.2 试验区降雨特征分析	52
3.3 侵蚀性降雨分析	59
3.4 试验区降雨动能分析	63
3.5 试验区降雨侵蚀力分析	67
3.6 小结	72
参考文献	72
第4章 降雨侵蚀力时空变化研究	77
4.1 概述	77
4.2 全国降雨侵蚀力时空变化	90
4.3 南方红壤丘陵区降雨侵蚀力时空变化——以江西为例	107
4.4 北方土石山区降雨侵蚀力时空变化——以山东为例	117
4.5 结论与建议	124
参考文献	125
第5章 红壤坡地地表径流特征研究	126
5.1 概述	126
5.2 地表径流特征	134
5.3 地表径流与降雨的相关关系分析	148

5.4	不同区组地表径流对比分析	150
5.5	小结与评价	161
	参考文献	162
第6章	红壤坡地土壤水分特征研究	163
6.1	土壤水分研究概述	163
6.2	土壤水分状态、影响因子与特征	166
6.3	土壤水分变化规律分析	177
6.4	结论与建议	188
	参考文献	189
第7章	红壤坡地壤中流特征研究	191
7.1	概述	191
7.2	壤中流及影响因子分析	192
7.3	土壤入渗特征分析	208
7.4	入渗过程模拟	213
7.5	小结	224
	参考文献	225
第8章	红壤坡地水量平衡研究	227
8.1	概述	227
8.2	水量平衡理论	228
8.3	土壤蒸散发分析	229
8.4	径流分布特征	238
8.5	水量平衡结果分析	243
8.6	小结	249
	参考文献	250
第9章	水土保持措施防洪减灾效应研究	254
9.1	概述	254
9.2	滞洪减流效应分析	255
9.3	削峰效应分析	265
9.4	调蓄功能分析	267
9.5	滞洪削峰过程模拟	271
9.6	小结	278
	参考文献	279
第10章	红壤坡地土壤侵蚀特性研究	282
10.1	概述	282
10.2	土壤侵蚀特征分析	289
10.3	土壤侵蚀量与降雨、地表径流的关系	304
10.4	不同措施土壤侵蚀对比分析	308

10.5 小结与评价	319
参考文献	320
第 11 章 红壤坡地水土流失预报模型研究	322
11.1 概述	322
11.2 红壤坡地土壤侵蚀统计关系模型	325
11.3 红壤坡地土壤流失方程构建	331
11.4 红壤坡地 WEPP 模型应用评价	342
11.5 结论与建议	351
参考文献	352
第 12 章 水土保持措施对土壤改良效益的影响	356
12.1 概述	356
12.2 水土保持措施对土壤物理性状的影响	361
12.3 水土保持措施对土壤化学性状的影响	369
12.4 水土保持措施对土壤抗蚀性的影响	376
12.5 水土保持措施对土壤改良效益综合分析与评价	380
12.6 小结	395
参考文献	396
第 13 章 红壤坡地梯田工程技术研究	398
13.1 概述	398
13.2 梯田的水土保持效益评价	405
13.3 不同梯田类型的水土保持效益比较分析	413
13.4 梯田水土保持效益的时间响应分析	418
13.5 各类梯田对经济因素的影响	420
13.6 现代梯田建设方略	423
参考文献	427
第 14 章 红壤坡地植生工程技术研究	428
14.1 概述	428
14.2 农路植草	431
14.3 沟道植草	435
14.4 边坡植草	450
14.5 植生工程评价	454
参考文献	455

附图

第 1 章 | 绪 论

1.1 问题的提出

1.1.1 水问题

水是生命之源、生产之要、生态之基，是生态系统中不可或缺的因素，也是生物体内物质输送和流域物质输移的载体，同时还是人类对其依存度最高的重要资源之一。尽管地球表面 70% 被水覆盖，但地球上的水体 97.5% 是咸水，只有 2.5% 是淡水（孙鸿烈，2011）。仅有的少量淡水绝大部分以冰川、地下水和土壤水形态存在，很少一部分或存蓄于湖泊沼泽，或游离于空中，或奔腾于江河溪流，能供人类和生物利用的淡水资源更少。当然，地球上的水，总是处于动态的变化之中，海洋和陆地上的水被蒸发到大气中，形成雨雪冰雹降落回归大地，补充河流、湖泊或注入大海，抑或通过土壤渗入地下，汇入地下蓄水层。水资源通过这种循环反复的形式滋养万物，维系陆地表面生态环境欣欣向荣的景象。

我国是一个水资源相对缺乏的国家，尤其是西部地区更为突出。存在着由“水多、水少、水脏、水浑”等引起洪涝干旱灾害频发、水体污染和水土流失等多种突出问题，进一步加剧了水资源的供需矛盾。随着现代社会和经济的快速发展，人口的不断增长，人类对水资源需求量的不断增加，已引起水资源严重不足，水环境不断恶化，水土流失不断加剧等问题。水问题已成为制约现代经济社会可持续发展的主要“瓶颈”（夏军，2011）。在全球气候变暖的背景下，极端天气加剧，旱涝灾害频发和极端降雨变化等已成为世人共同关注的焦点，解决水问题成为人类面临的一项重要任务。

随着人类活动的日趋频繁，越来越多地改变了土地的利用方式，也改变了地表的景观格局，即改变了土壤、植被等下垫面条件。由于这些条件的改变，因降雨而产生的地被物拦截、土壤入渗、地表径流和流域汇流规律都发生了变化，从而影响了水文变化，也影响了水资源的再分配。

正确认识气候变化对水文因素的影响是解决水问题的基础，这种影响可分为直接影响与间接影响两种。直接影响主要来自大气环流变化，它引起了降雨时空分布、降雨强度和降雨总量的变化，同时也造成诸如气温、空气湿度、风速等气象因素的变化。间接影响主要来自陆地表面，诸如地表对热能的吸收率、反射率，下垫面粗糙度，陆地与大气界面的水热交换情况，下垫面特性等的变化影响了陆地水文过程。人类的生产活动也可以影响水量循环，如人类的生活、生产和生态用水耗损量，还有人类砍伐森林、开垦种植、扩大灌

溉和地下水过度开采等引起的土壤植被蒸散发的变化和降雨入渗变化对径流的影响,从而进一步加剧极端天气变化,引起更多的旱涝灾害。

洪涝灾害始终是历代施政者的一大心腹之患。直到现在,防治洪涝灾害仍然是各级政府不敢懈怠的一项工作。尤其是1998年全国性大洪水发生之后,引起人们深刻的反思,这场洪水浩劫究竟是天灾,还是人祸,引发了诸多争论。有的说是我国的地理气候特征所致,是厄尔尼诺引起的(刘运河等,1998),有的学者认为这既是天灾也是人祸,还有学者认为这虽是天灾却更是人祸(史德明,1998)。黄河自1972年出现断流以来,断流出现的频率越来越大,河段越来越长,时间越来越久。有人提出这是上中游地区水土保持惹的祸(王健等,2002),但也有反对的观点,认为水土保持有助于缓解黄河断流(李玉山,1997;陈霁巍和穆兴民,1997),各种争议,不一而足。这些争论,站在各自的立场上虽有一定道理,却终因缺乏长期的、系统的科学试验数据支撑,难以服众。要处理好水资源与重大洪涝灾害问题必须进行综合治理,必须建立一套完善的防洪减灾屏障。在流域上游防治水土流失,从根本上解决雨水的“截留”与“入渗”的问题,在流域中游采用水利工程解决径流的“集蓄”与“调节”的问题,在流域下游运用工程措施解决洪水的“围堵”与“疏导”的问题(左长清,1998)。

因其在自然地理环境中的特殊位置,水文要素对区域环境变化有较强的敏感性。水作为与降雨和生态环境联系最紧密的因子,在生态系统中起到核心与纽带作用,同时也敏感地影响着降雨变化,并对环境的变化具有指标和预示作用,通过水循环、水资源系统与生态环境诸要素紧密联系。水文特征主要是由一定的区域地形和气候条件决定的,就短时间尺度而言,降雨和人为因素影响更为明显(孙占东等,2005)。降雨变化直接影响着水热条件的时空格局和动态变化,影响着森林对水旱灾害减灾功能和效益的发挥(刘昌明等,1993)。植被变化对陆面过程和大气边界层,特别是对地表蒸发和植被蒸腾的影响极其敏感,也会对降雨变化产生累积效应(刘树华等,2002)。因此,降雨、植被与水,无论从科学层面上,还是从经济社会发展的层面上看,都是处于相互依存与制约之中的。降雨因素与植被因素也不是孤立的,它们之间的相互作用既可能是正反馈也可能是负反馈。近年来,在气候变暖、人口增长及经济社会发展的共同影响下,我国一些地区或流域的陆地水循环发生了明显的变化,不仅使短期暴雨—径流关系发生变化,也引起了年际和年代际降雨—径流关系的变化(刘春蓁等,2004)。

我国水资源可持续利用中存在着旱涝灾害、水资源不足和水环境恶化三大问题,究其产生的自然原因,无一不与降雨变化密切相关。如20世纪90年代频繁发生的厄尔尼诺(EL NINO)现象及其后的拉尼娜(LA NINA)现象,引发了1998年长江流域、松花江和嫩江流域的特大洪水,北方连续三年的干旱,并由于干旱缺水导致水污染加剧(刘春蓁,2003)。植被变化是水文水资源情势变化的重要影响因素,其实质是人类为满足经济社会发展需要,不断调整土地利用方式的过程,反映了人类利用土地进行生产、生活活动的发展趋势,代表了一种人为的“系统干扰”,是直接或间接影响水文过程的主要边界条件。在一定的条件下,植被变化和全球变化的其他要素一样,会对水量与水质起到相当大的影响,会产生一系列的水资源、水环境和水生态问题,表现为下游洪水灾害加剧、地下水补

给减少和水位下降、水资源短缺等，从而影响到社会经济发展和生态环境质量（李恒鹏等，2005）。

20 世纪以来，全球洪涝灾害的频率远远高于以往任何时期，由人类活动引起的植被变化是重要的原因之一。因为植被状况变化影响雨水的截留、下渗、蒸发等水文要素及其产汇流过程，进而影响流域出口断面的流量过程，加大流域洪涝灾害发生的频率和强度（万荣荣等，2004；汪权方等，2006）。因此，面对未来水资源压力的增大以及水文极端事件可能发生频率的加大，迫切需要进一步加强降雨与植被变化对水文水资源的影响研究，定量评价降雨与植被变化对水文特征影响的贡献率，探讨降雨与植被变化对洪水、干旱的频次及强度的影响以及对水量和水质的可能影响。因此，本研究在红壤坡地建造了大型土壤渗漏装置，进行天然降雨，土壤侵蚀，入渗和径流等系统的观测研究，以此来掌握坡地水沙运动规律和水量分配规律，剖析其影响因素和形成机理，运用水量平衡的原理，利用观测数据分析水量去向，为预防和治理洪涝灾害提供技术支持。

1.1.2 水土流失问题

水土资源是人类赖以生存和发展的重要物质基础，水土流失是全球最大的环境问题之一。据调查显示，全世界水土流失面积为 1650 万 km^2 ，占土地总面积的 12.6%。其中水力侵蚀面积 1100 万 km^2 ，风力侵蚀面积 550 万 km^2 （中华人民共和国水利部等，2010）。据联合国环境规划署（United Nations Environment Programme, UNEP）和粮食及农业组织（Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO）调查表明，全球有 65% 的土地存在不同程度的土地退化。世界各大陆地每年损失表土约 250 亿 t，许多国家水土流失的形势还在不断恶化（唐克丽，2000）。20 世纪 70 年代末至 90 年代末，全世界流失的表土面积相当于美国耕地面积的总和（史立人，1999；Zuo et al., 2002）。

水土流失分为水力侵蚀、风力侵蚀和冻融侵蚀三大类别，其中全球水力侵蚀面积 1094 万 km^2 ，占陆地侵蚀总面积的近 70%，是危害最大、影响最广的世界性环境问题。水土流失也是中国当今头号环境问题（曲格平，1997）。截至 2008 年，我国水土流失面积共 356.92 万 km^2 ，占国土总面积的 37.1%，其中水力侵蚀面积 165 万 km^2 ，风力侵蚀面积 191 万 km^2 。我国亟待治理的水土流失面积仍有 210 万 km^2 左右，人为因素造成水蚀地区的水土流失面积每年以 100 万 hm^2 的速度在扩展，风蚀沙化面积每年以 24.6 万 hm^2 的速度在加剧（刘震，2001）。水土流失每年造成土壤流失量多达 50 亿 t 以上，给中国带来的经济损失相当于 GDP 的 2.25% 左右，带来的生态环境损失更是难以估算。

由此可见，以水土流失为主要特征的一系列环境问题已成为直接影响人与自然和谐相处，影响社会经济可持续发展，影响国家生态安全的重要障碍。随着世界范围内对可持续发展和生态环境保护的日益重视，搞好水土保持，防治水土流失已成为各国政府的一项重要任务，并得到社会公众的广泛关注，有关土壤侵蚀防治的相关研究越来越成为各界关注的焦点和热点。

有学者认为，水土流失是一种自然现象，是地质大循环的自然规律，如果没有水土流

失就没有河流中下游的冲积平原。事实上,自然界中确实存在土壤的自然侵蚀现象,除滑坡泥石流等自然灾害外,不会对生态环境造成太大的破坏。但不可否认,大部分的水土流失是因人类活动造成的加速侵蚀,这种水土流失必须加以防治。此外,土壤的形成过程需要一个漫长的时间过程,平原的形成需要更加漫长的时间。为了人类生存和发展的需要,不应该让活的土壤变成死的泥巴,不应该让肥沃的表土变成淤积于江河湖泊的泥沙来形成平原,所以说搞好水土保持关系到人类当前生存、生活和生产,是我们必须长期坚持的一项基本国策。

在人口持续增长和气候加剧变化的背景下,造成水土流失或加速侵蚀的原因很多。主要是人类不合理的土地利用和经营方式,尤其是在极端降水与径流作用下,不仅使水土资源流失、土地生产力下降,还造成河湖塘库的泥沙淤积,诱发洪涝、干旱等多种自然灾害,由此导致生态环境失衡和生物物种减少,进而加剧气候变化。保护水土资源已成为当前的一项重大研究任务。

1.1.3 坡地水土流失问题

我国是一个多山国家,山地丘陵面积约占国土总面积的 2/3,坡地是我国重要的土地资源。山地丘陵既是我国目前农林牧业生产的主要场所,也是我国农林牧业生产发展的潜力所在和希望所在。近年来,随着城镇化速度的不断加快,人口的不断增加,平原土地资源日益减少,合理利用丘陵山地资源,发展坡地农林牧业已成为必然趋势。

由于山地丘陵地区山高、坡陡、土层薄,是水土流失多发地区。许多地方因水土流失而形成了光山秃岭,出现了难以逆转的生态环境问题。因此,防治水土流失是山区建设的生命线,是水土保持的主要阵地。我国劳动人民为防治水土流失作出了不懈的努力,涌现了许多不朽的奇迹,如湖南新化县紫鹊界梯田距今已有 3000 多年的历史,为山坡地的合理利用树立了样板。但是,随着近代人口的不断膨胀,人们为了满足衣食住行的需要,肆意开垦山坡地,造成了严重的水土流失。

坡耕地广泛分布于我国 30 个省区。据统计,我国现有坡耕地 2393 万 hm^2 , 约占全国耕地总面积的 20%。坡耕地是指在坡度 $6^\circ \sim 25^\circ$ 坡地上,没有采取水土保持措施而进行耕作的旱地。坡耕地是水土流失的重要区域。在我国,尽管坡耕地面积仅占水土流失面积的 6.7%,水土流失量却约占全国总量的 1/3,年均水土流失量多达 15 亿 t,成为我国水土流失的主要地类和侵蚀泥沙的重要来源。其中在长江中上游山丘地区坡耕地多达 1066.7 万 hm^2 ,占流域耕地总面积的 52.53% (史立人,1999)。在红壤地区,坡耕地平均每年流失的土壤达 $2307\text{t}/\text{km}^2$,甚至更高 (左长清,1988)。

坡地还是径流汇集、侵蚀动能传递的主要场所。坡面是产流、汇流及产沙、输沙的策源地,是水力侵蚀发生、发展的主要地表单元。地表覆盖被破坏、土地利用不合理的坡面不仅自身水土流失严重,由其汇集、输出的径流和泥沙更成为沟谷侵蚀的主要动力源和河道淤积的基本物质源。除此以外,坡地还是我国重要的农、林、牧业生产用地。坡面水蚀导致水土资源流失的过程中养分大量流失,致使土地退化、生产力下降,并形成大面积非

点源污染，引发一系列次生环境问题。

合理开发利用山地丘陵的土地资源，充分利用每一寸土地，提高坡地劳动效率和土地利用效率，减少坡地水土流失是当前学术界面临的一项重大课题。水土流失极其复杂，许多问题尚不清楚，开展有关研究极为必要。

1.1.4 红壤坡地问题

红壤是热带、亚热带地区的一种地带性土壤，总面积约 6400 万 km^2 ，占全球总土地面积的 45.2%，地区人口 25 亿，占全球总人口的 48%。红壤广布于我国热带、亚热带地区，包括福建、江西、湖南、广西、贵州、台湾和海南等省（自治区）全部，浙江、云南、四川大部，以及皖南、鄂南、藏东南和苏西南小部，涉及 15 个省（自治区），面积达 218 万 km^2 ，约占全国土地面积的 22.7%（赵其国，2002）。

红壤地区山地丘陵面积达 106 万 km^2 （谢开云，1993），是我国南方水土流失的主要发生地，也是我国南方发展生产潜在的土地资源。红壤区域地处热带、亚热带季风气候区，与世界同纬度地区相比，具有丰富的水热条件和优越的生物气候条件，脱硅富铝化的成土作用较强烈，生物积累过程快，生产潜力大等特点，其生产条件具有得天独厚的优势，是我国经济及粮食作物的重要生产基地。江西、广东等东南红壤丘陵地区以光、温、水为指标的气候生产潜力是三江平原的 2.63 倍，黄土高原的 2.66 倍，黄淮海平原的 1.28 倍（孙波，2011）。而且这里社会及区位条件也十分优越，经济发展较快，是我国热带和亚热带经济林果、经济作物及粮食作物重要生产基地。红壤区在全国 1/3 的耕地上提供了全国一半的农业产值，负担了近一半的人口。

长期以来，由于红壤坡地区域人口密度大，人类活动频繁，自然降雨量大，受土地资源的不合理利用等因素的影响，区域生态环境破坏严重，生态系统退化现象突出，水土流失成为该区域不容忽视的重大环境问题。具体表现为以下四个方面。

（1）土壤侵蚀严重，水土流失面积增大

土壤侵蚀是导致红壤退化的重要原因。长期以来，受各种自然因素和人为因素的影响，南方红壤区的植被出现逆向演替现象，原生植被遭到破坏，水土流失十分严重。根据中华人民共和国水利部第三次遥感普查统计，我国红壤区水土流失面积 42.32 万 km^2 ，占红壤区面积的 19.41%。另据中国水土流失与生态安全综合科学考察分析，在水土流失分区中的南方红壤丘陵区 8 个省（自治区）水土流失面积达 19.6 万 km^2 （梁音等，2009）。尤其值得注意的是，自 20 世纪 50 年代至 2002 年的 50 年间，区域水土流失面积显著增加，从 10.5 万 km^2 增加到 19.6 万 km^2 ，净增加 9.1 万 km^2 ，年均净增加 1820 km^2 ，增幅高达 86.7%。

（2）土壤养分流失，肥力下降，加剧土地贫瘠化

由于红壤长期得不到合理开发与有效保护，造成区域农业生态系统养分循环与平衡严重失调，尤其是旱地土壤养分流失、肥力下降，加剧了土地的贫瘠化。据中国水土流失与生态安全科学考察成果分析，红壤地区每年因水土流失而损失的氮、磷、钾的总量约为

128 万 t, 其中氮约流失了 80 万 t (梁音等, 2008)。

(3) 加剧土壤酸化和水稻土潜育化

红壤的脱硅富铝化过程, 本身就是一个较缓慢的酸化过程。近年来, 受酸雨等因素的影响, 红壤的酸化现象愈发严重。据调查, 目前, 红壤区内酸化土壤已达 150 万 hm^2 (何园球等, 2008)。1935 ~ 1995 年的 60 年间, 该区域酸沉降的频率和强度都有所增强。同时, 土壤盐基饱和度也有逐渐降低的趋势, 比 pH 值的变化趋势更明显 (赵其国, 2002)。与此同时, 区内水稻土因长期排灌不当, 已引起较严重的次生潜育化, 氧化还原电位低, 还原性有毒物质含量较高, 降低了养分的有效性。

(4) 土壤污染日趋严重, 污染类型多

随着经济社会的发展, 工业污染排放量越来越多, 农业面源污染面积不断扩大, 红壤区土壤污染也日趋严重, 污染类型多样化。目前区内受污染的土地面积达到了 320 万 hm^2 (何园球等, 2008)。此外, 我国南方已探明有 100 多种矿产, 而且大部分是金属矿种, 受矿区技术经济条件与不合理的开采方式等因素的影响, 红壤区 68% 的重金属采矿点发生污染, 尤其是江西和福建两省的一些地区镉污染十分严重。严重的土壤污染, 不仅破坏土地资源, 降低土壤生产力, 而且降低农林产品质量, 减少人民群众的经济收入。

1.2 开展红壤坡地研究的背景

1.2.1 研究目的

从上述列举的重大问题中可以看出, 开展红壤坡地研究十分重要和非常必要。土地利用与土地覆被变化 (land-use and land-cover Change, LUCC) 是全球环境变化的重要组成部分和主要原因。土地利用方式不仅改变了自然环境面貌, 而且影响到自然环境中的物质循环和能量分配。同时也客观地记录了人类改变地球表面特征空间格局的活动, 再现了地球表面景观的时空动态变化过程, 深刻地影响着区域或全球的气候系统、水文和生物地球化学循环, 影响着陆地生态系统的生物多样性, 改变着动植物和微生物的种群及其初级生产力等。土地覆被变化同样影响着这些变化, 而这些变化与全球气候变化、流域水循环和土壤水含量等密切相关。

水循环是地球上各种形态的水通过降水、径流、蒸发等环节在大气系统、陆地系统和海洋系统之间不断发生相态转换和周而复始的运动过程。水文领域所关注的陆地系统水分循环发生于地表系统、地下系统和含水层系统之间。蒸散、截留、填洼、下渗和地表径流是地表系统的重要水文过程, 也是流域主要的水量平衡要素, 它们主要受到气候因素、地表特征 (如地形、海拔、坡度、坡向、植被、土壤等) 因素的影响。植被变化一方面影响流域的蒸散发性能, 另一方面通过植被类型及覆盖程度的改变显著影响地表径流的产生, 影响土壤的入渗特征和流域地下水形成, 从而使流域产汇流量与过程发生改变。本研究的重点就是围绕土地利用和水循环展开。为了使研究更具针对性, 设定的目的和任务如下。

1.2.1.1 为南方红壤地区的生态环境建设提供决策依据

防治水土流失,保护、改良与合理利用水土资源是水土保持工作的核心。维护和提高土地生产力,充分发挥水土资源的生态效益、经济效益和社会效益,建立良好的生态环境是水土保持工作的目的。针对红壤坡地水土保持研究薄弱,水土保持技术集成不足的状况,根据当地的自然条件和社会经济条件,在掌握红壤地区水土流失和传统生产方式的基础上,按照水土保持生物措施、工程措施和耕作措施布设了具有典型代表性的植物、梯田和耕作三个区组,并布设了裸露对照区组,比较分析这三个区组的水土流失规律和水土保持效果。建立相应的产流、产沙预报模型,选择出适用当地推广的水土保持技术措施,为南方红壤地区生态环境建设提供坚实的理论基础和决策依据。

1.2.1.2 为制定防洪减灾规划提供理论依据

针对当前围绕水土保持措施的防洪减灾效应的争议,深入研究水土保持对旱涝灾害的影响,弥补对防洪减灾定量研究的不足。研究中首次采用大型土壤水分渗漏装置,开展对百喜草覆盖、百喜草敷盖与裸露对照三种处理进行防洪减灾研究。从土壤—植物—大气循环(soil-plant-atmosphere continuum, SPAC)出发,通过对天然降雨、地表径流、地下径流、壤中流和土壤含水量等进行长期的定位观测,运用水量平衡原理,计算各自的分配比例,揭示它们的时空运行规律,包括三种处理措施下的自然降雨入渗、径流、贮蓄和蒸散发规律,得到各处理措施下的减流减蚀效应和滞洪削峰效应,探索水土保持措施的土壤贮水能力和调蓄洪水功能,定量测报它们的土壤侵蚀量、径流量和洪峰流量,掌握它们的水土流失动态变化状况和洪水产生过程,为制定防洪减灾规划提供理论依据。

1.2.1.3 为制定水土保持技术规范 and 标准提供科学依据

我国幅员广大,地域辽阔,南北气候土壤千差万别。而我国水土保持的科学研究一直是北强南弱,编制的水土保持技术规范 and 标准多以北方试验成果为依据,使用这样的技术规范 and 标准来指导南方水土保持工作作用受限。因此,应用南方研究成果来修订水土保持技术规范 and 标准,对南方的指导作用和针对性更强。试验地设在集科研试验、推广应用、示范教学和生态建设于一体的江西水土保持生态科技园区,本研究的加入,使该科技园真正成为水土保持科学试验和研究基地、先进技术推广和示范样板、科技培训和科普教育基地、水土保持生态建设窗口。为该科技园成为水土保持优良植物基因库、高新技术孵化器、实用技术辐射源创造了条件。为我国南方红壤丘陵区 and 长江流域的水土保持生态建设提供技术支撑,为进一步完善我国水土保持技术体系 and 修订水土保持技术规范提供科学依据。

1.2.2 研究意义

从国家层面来看,南方的水土保持工作始终是国家水土保持发展战略中的薄弱环节,

加快以红壤区小流域综合治理为重点的水土保持工程建设具有重要的现实意义。如前所述,红壤广泛分布于我国南方地区,红壤地区水热资源丰富,脱硅富铝化的成土作用较强烈,生物积累过程快,具有巨大的生产潜力,是我国热带和亚热带经济及粮食作物的重要生产基地。但由于长期不合理利用与人口的迅速增长,南方红壤地区森林植被遭到严重破坏,水土流失严重,一度被称为“红色沙漠”。因此,加快南方红壤区的生态环境综合治理,已成为国家水土保持工作的重点。

从行业层面来看,有关南方红壤水蚀区的研究成果和研究进展相对滞后,主要表现为:不同水蚀类型区的坡面水蚀过程与机制不清晰;坡面水蚀预测预报模型参数区域限制性强,难以推广应用;不同水蚀类型区的坡面水土保持措施较为零散、高效集成不足,无法满足生态文明建设对坡面水土流失治理的要求。因此,针对南方红壤坡面水力侵蚀防治中的共性理论、技术问题,开展专项研究,力求全面掌握南方红壤坡面水力侵蚀特征、准确预报其侵蚀强度与空间分布、并建立高效阻控技术体系,对减少我国水土流失、促进农、林、牧业生产、维护江河湖库的生态安全、加速南方红壤地区生态环境改善都具有十分迫切的社会需求和重要的现实意义。

从红壤地区水土保持工作需求来看,加强南方红壤区水土保持措施的防洪减灾效应研究十分重要。南方红壤区是受洪水威胁最严重,发生洪涝灾害最频繁的地区。由于长期对土地资源的不合理利用,整个地区生态与环境遭到严重破坏,土壤退化问题极其严重。大量泥沙淤积,使河湖的通水和滞洪能力明显下降,从而降低了对洪灾的抵抗力。因此,借助先进的土壤水分渗漏装置,针对不同水土保持措施,通过野外试验和室内模拟,系统开展南方红壤坡地不同植被措施下的防洪减灾效应研究,定量分析不同措施的滞洪削峰效应,揭示水土保持措施的防洪减灾机理,为南方红壤区开展水土保持防洪减灾工作提供了理论依据。

1.2.3 研究的重要性

从研究对象来看,选择具有代表性的江西红壤地区为研究区域,以野外小区试验为重点,研究提出的适合南方红壤地区推广应用的水土保持措施,在能够解决水土流失生态环境问题的同时,还能促进农业增产增收,达到改善生态环境、保证生态和粮食安全、提高农民收入和促进地区经济发展等多重目的,也即实现生态效益、社会效益和经济效益的统一,这对南方地区水土保持工作具有重要的参考价值。

红壤是江西地带性土壤的主要类型,面积约占全省土地总面积的55.8%。该区地处亚热带季风区,雨量丰沛,加上复杂的地形、气候及母质等特性,孕育出亚热带特征的森林植被,早期植物种类繁多,植被类型复杂多样。然而,红壤土质脆弱,具有高冲蚀性,且区域降雨不均。同时随着人口压力增大和工业化、城市化进程加快,多元化利用逐渐成为红壤山坡地应用的主要方式,值得注意的是在山区道路开辟、坡地农业开发、矿产开采及森林砍伐等一系列不合理开发活动中,发生了大面积景观破坏及水土资源的流失。

红壤地区主要集中于长江流域南岸,在全国土壤侵蚀分类区划中,属于南方红壤丘陵