

花岗岩红壤侵蚀区水土保持综合研究

——以福建省长汀朱溪小流域为例

陈志彪 陈志强 岳 辉 著



科学出版社

花岗岩红壤侵蚀区水土保持综合研究
——以福建省长汀朱溪小流域为例

陈志彪 陈志强 岳 辉 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以中国南方花岗岩红壤侵蚀区典型代表——长汀县的水土流失综合治理实践与科学研究为基础,选取朱溪小流域为研究区,利用大量的野外土壤调查、植物群落调查,水文、小气候观测及室内分析实验,把“3S”技术、人工神经网络、元胞自动机、景观生态学、SWAT模型等原理与方法综合应用于小流域的土壤侵蚀空间格局与演变、水土流失动态监测与模拟、水土流失的预测、生态恢复度的计算、生态恢复与重建的环境效应等研究之中。

本书可供从事水土保持学、恢复生态学、流域水文学、土壤学、地理学、环境科学等领域的科技与教育工作者和相关专业的研究生、本科生参考和使用,对水土保持部门、流域管理部门的规划者和决策者也具有参考价值和使用价值。

图书在版编目(CIP)数据

花岗岩红壤侵蚀区水土保持综合研究:以福建省长汀朱溪小流域为例/陈志彪,陈志强,岳辉著. —北京:科学出版社,2013

ISBN 978-7-03-038038-8

I. ①花… II. ①陈… ②陈… ③岳… III. ①花岗岩-红壤化-关系-水土保持-研究-福建省 IV. ①S157 ②S159.257

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第136042号

责任编辑:杨帅英 朱海燕 沈睿媛/责任校对:邹慧卿

责任印制:钱玉芬/封面设计:东方人华平面设计部

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>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年6月第一版 开本:787×1092 1/16

2013年6月第一次印刷 印张:17 1/4 插页:4

字数:400 000

定价:69.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前言

水土流失是造成区域生态系统退化、生态环境恶化和贫困化等问题的重要因素之一。流域是山地、丘陵区的一个闭合汇水区域。在水土保持学界,对小流域的概念有一个认识过程,20世纪50年代,我国黄土高原的水土流失治理,主要以沟道上修筑淤地坝等支毛沟治理为主,进行零散治理,尚未形成小流域概念;到1980年,逐渐明确了小流域的概念,以面积在 100 km^2 以下为限,其中小于 50 km^2 的占多数。目前我国的水土保持都以小流域为单元进行综合治理。

本书第1章从我国南方花岗岩风化壳特征、区域自然和人文等人类社会与生态环境特征的分析入手,阐明南方花岗岩区生态系统的特征,通过花岗岩区生态系统退化的特点、自然与人类活动等驱动因子的系统分析,阐明生态系统的退化过程,从而揭示该区域生态系统脆弱性的形成基础。第2章简要介绍长汀县水土保持工作与主要的水土流失治理模式,水土流失综合治理的“长汀经验”源起、形成与内涵。第3章主要介绍研究流域的典型性与代表性以及土壤、植被、地形、水文、土地利用、水土流失、热环境、遥感等基础研究数据的获取与处理方法。第4章通过朱溪小流域土壤侵蚀总体数量特征、土壤侵蚀类型的时间变化、土壤侵蚀类型的空间格局、土壤侵蚀及其变化的地形因子响应等研究,全面分析朱溪小流域土壤侵蚀数量结构;通过景观指数变化总体特征、类型水平上景观指数变化、景观水平上景观指数变化、景观指数变化的地形响应等研究,揭示朱溪小流域的土壤侵蚀景观时空格局。第5章应用元胞自动机和人工神经网络相结合的方法,对朱溪小流域土壤侵蚀进行模拟。第6章应用美国农业部农业研究所的分布式水文模型(SWAT模型),通过模型参数的率定,对朱溪小流域内游屋圳子流域的土壤侵蚀产流产沙进行模拟、校准与验证。第7章对朱溪小流域的土壤侵蚀敏感性评价研究,主要包括评价体系的构建、土壤侵蚀敏感性单因子评价和土壤侵蚀敏感性综合评价、土壤侵蚀敏感性空间格局、土壤侵蚀敏感性与侵蚀现状对比分析等内容。第8章提出了生态恢复度的概念,应用人工BP神经网络法构建生态恢复度模型,对朱溪小流域生态恢复度进行评价与分析。第9章研究朱溪小流域水土保持的环境效应,包括土壤肥力质量效应及其空间格局、小流域水土流失治理的土壤肥力效应、植物群落效应、热环境效应和减沙环境效益等内容。

本书的前言、第1章、第3~9章、附表和彩图由陈志彪与陈志强共同完成,第2章内容由陈志彪和岳辉共同完成。

自从2000年以来,我们一直把长汀县生态恢复与重建的科学研究作为主攻方向,并持续至今。先后有多位中青年教师和7位博士生、13位硕士生参加长汀的科研项目。

本书的完成要特别感谢时任福建省长汀县水土保持事业局的钟炳林局长,他对我们来长汀进行科研工作提供了从学术思想启发到野外工作与后勤保障等全方位的关心与扶持;感谢同事魏守珍、方玉霖、肖海燕、谭炳华等教师在野外调查中的热心帮助;感谢

邹爱平、陈钟卫、陈丽慧、黄文娟、陈海滨、黄坤、郑丽丹、李荣丽、张晓云等研究生在野外调查、实验分析及数据处理所作的贡献；感谢长汀县水土保持事业局全体成员对我们在长汀的科研工作给予的帮助和支持。

本书在南方花岗岩侵蚀山地生态恢复与重建后的生态环境效应研究（40571096），基于尺度理论的典型红壤侵蚀区生态恢复与重建机理研究（40871141），南方红壤侵蚀区退化生态系统人工适时介入与安全退出（41001170）和南方红壤侵蚀区芒萁散布的地质分析及其时空模拟（41171232）四个国家自然科学基金的资助下完成的，在此也表示感谢。

作者

2013年1月

目 录

前言

第 1 章 南方花岗岩红壤侵蚀区生态系统脆弱性的形成基础	1
1.1 概述	1
1.2 南方花岗岩区生态系统的特征	1
1.2.1 花岗岩的特征	1
1.2.2 生态环境特征	4
1.3 花岗岩区生态系统的退化	5
1.3.1 生态系统退化的概述	6
1.3.2 花岗岩区生态系统退化的特点	7
1.3.3 花岗岩区生态系统退化的过程和驱动因子	9
参考文献	17
第 2 章 “长汀经验”及其主要的水土流失治理模式与技术	19
2.1 “长汀经验”源起、形成与内涵	19
2.1.1 长汀县的自然与社会经济概况	19
2.1.2 长汀县历史上水土流失之危害	19
2.1.3 长汀县水土流失治理历程	20
2.1.4 “长汀经验”的内涵	22
2.2 长汀主要水土流失治理模式与技术	25
2.2.1 水土流失自然生态修复模式	26
2.2.2 小穴播草治理模式	27
2.2.3 等高草灌带治理模式	27
2.2.4 草、灌、乔“复合型”植被重建模式	28
2.2.5 “老头松”综合改造模式	28
2.2.6 幼龄果园覆盖——秋大豆春种治理模式	29
2.2.7 生态-经济型崩岗治理模式	29
2.2.8 草-牧-沼-果循环种养模式	30
2.2.9 严重侵蚀区植被重建的测土施肥技术	30
参考文献	31
第 3 章 基础数据与获取方法	32
3.1 研究流域的典型性与代表性	32
3.1.1 流域概况	32

3.1.2 流域的典型性与代表性	32
3.2 主要的野外调查与试验历程	33
3.3 数据源	34
3.3.1 基础图件	34
3.3.2 遥感数据	34
3.3.3 统计资料	36
3.4 土壤和植物群落的调查方法	36
3.4.1 土壤的调查、取样与实验方法	36
3.4.2 植物群落的调查方法	42
3.5 地形数据采集与处理	43
3.5.1 DEM	43
3.5.2 地形因子提取	44
3.6 水系数据采集与处理	47
3.7 土地利用数据采集与处理	48
3.7.1 SPOT5 影像预处理	48
3.7.2 土地利用遥感识别	49
3.7.3 土地利用信息提取	50
3.8 崩岗数据采集与处理	51
3.9 土壤可蚀性及土壤类型数据采集与处理	51
3.9.1 土壤可蚀性数据提取	52
3.9.2 土壤类型提取	54
3.10 植被覆盖度提取	55
3.10.1 线性混合像元模型	55
3.10.2 基于 SPOT5 影像的植被盖度反演	56
3.11 地表温度数据采集与处理	58
3.11.1 地表温度反演算法	58
3.11.2 基于 ASTER 影像的地表温度反演	59
3.12 土壤侵蚀数据采集与处理	60
3.12.1 分类决策树模型的建立	60
3.12.2 野外验证及修改转绘、成图	61
3.13 水土保持治理措施数据采集与处理	63
3.13.1 小流域水土保持治理措施调查	63
3.13.2 小流域水土保持治理措施信息提取	63
3.14 数据精度评价	64
参考文献	65
第 4 章 土壤侵蚀景观时空格局	67

4.1	流域土壤侵蚀数量结构	67
4.1.1	土壤侵蚀总体数量特征	67
4.1.2	土壤侵蚀类型的时空格局	68
4.1.3	土壤侵蚀及其变化的地形因子响应	74
4.2	流域土壤侵蚀景观格局	82
4.2.1	景观指数选择与适宜粒度选取	82
4.2.2	景观指数的时空格局	89
4.2.3	景观指数变化的地形响应	93
	参考文献	97
第5章	流域土壤侵蚀的 ANN-CA 模型与模拟	99
5.1	土壤侵蚀预报模型和模拟研究概况	99
5.2	元胞自动机和人工神经网络概况	100
5.2.1	CA 原理与优点	100
5.2.2	ANN 的原理与优点	103
5.3	流域土壤侵蚀的 ANN-CA 模型与模拟	104
5.3.1	数据准备	105
5.3.2	基于 ANN-CA 的朱溪小流域土壤侵蚀模型构建	108
5.3.3	基于 ANN-CA 模型的流域土壤侵蚀模拟	113
5.3.4	ANN-CA 模型的流域土壤侵蚀分区模拟	117
	参考文献	120
第6章	流域土壤侵蚀产流产沙模拟	123
6.1	游屋圳子流域概况	123
6.2	数据源	123
6.2.1	DEM 数据	123
6.2.2	土地利用数据库	124
6.2.3	土壤数据库	125
6.2.4	气象数据库	126
6.3	模型运行	127
6.3.1	流域划分	127
6.3.2	水文响应单元生成	128
6.3.3	文件写入	128
6.3.4	模型模拟方法的选择	129
6.4	模型校准与验证	129
6.4.1	径流校准与验证	130
6.4.2	泥沙校准与验证	133
6.5	模拟结果	136

参考文献	137
第7章 流域土壤侵蚀敏感性评价	139
7.1 评价体系的构建	140
7.1.1 评价因子的选择	140
7.1.2 评价标准的确定	141
7.2 土壤侵蚀敏感性定量评价	142
7.2.1 单因子敏感性评价	142
7.2.2 多因子敏感性加权评价	145
7.3 土壤侵蚀敏感性评价结果分析	147
7.3.1 土壤侵蚀敏感性空间格局	147
7.3.2 土壤侵蚀敏感性景观格局	148
7.3.3 土壤侵蚀敏感性趋势	151
7.3.4 土壤侵蚀敏感性单因子分析	153
7.3.5 土壤侵蚀敏感性多因子分析	156
7.3.6 土壤侵蚀敏感性与侵蚀现状比较	157
参考文献	157
第8章 流域生态恢复度评价	159
8.1 生态恢复与重建概述	159
8.2 生态恢复度概念的提出	160
8.3 生态恢复度评价指标体系及数据处理	161
8.3.1 生态恢复度评价指标体系	161
8.3.2 数据处理	161
8.4 基于BP神经网络的生态恢复度模型构建	163
8.4.1 BP神经网络的训练样本和测试样本	164
8.4.2 BP神经网络的结构	167
8.4.3 BP神经网络的训练与仿真	167
8.4.4 BP神经网络的误差	168
8.5 生态恢复度计算及其主导影响因子	170
8.5.1 生态恢复度计算	170
8.5.2 生态恢复度主导影响因子	171
参考文献	175
第9章 流域水土保持的环境效应	177
9.1 土壤肥力质量效应评价	177
9.1.1 土壤取样点设计和实验方法	177
9.1.2 土壤养分的地统计分析	183
9.1.3 土壤养分的空间分布特征	190

9.1.4 土壤肥力分级及与立地条件的关系 197

9.1.5 小流域水土流失治理的土壤肥力效应 203

9.2 植物群落效应评价 208

9.2.1 植物群落调查样地的选定 208

9.2.2 植物群落特征 209

9.2.3 小老头松改造 214

9.3 热环境效应评价 234

9.4 减沙环境效益评价 236

参考文献..... 238

附表 长汀水土流失区内各调查固定样地的植物科、属、种汇总表..... 240

彩图

第1章 南方花岗岩红壤侵蚀区生态系统脆弱性的形成基础

1.1 概 述

生态系统是指在一定空间中共同栖息着的所有生物（即生物群落）与其环境之间由于不断地进行物质循环和能量流动过程而形成的统一整体（李博，2000）。地球上的森林、草地及农田等生命系统与其周围环境的不同的、有机的组合，就构成了世界上具有各自结构与功能的丰富多彩的生态系统。随着人口迅速增长和社会经济的加速发展，人们对环境资源的不合理地、过度地使用和破坏，使生态系统的退化已成为普遍现象。

我国南方花岗岩区（尤其是出露广泛的粗晶花岗岩区），由于岩性的特点，加之本区多属亚热带季风性湿润气候，热量丰富、降水量多且集中（大多介于1500~2000mm之间），因而其上发育着深厚疏松的风化层。加之，花岗岩分布区的地貌多为丘陵、低山及部分中山或高山等地形，为该区域生态系统活跃的物质和能量运动提供了前提条件。该区域又是我国人口最为稠密的地区，历史上乃至当今的人类对山地的不合理利用，尤其是对植被的大面积破坏，使该区域生态系统表现出极其不稳定性和脆弱性。

花岗岩地区在我国南方分布总面积达23.9万 km^2 ，主要分布在广东、福建及广西东南部，长江流域的湖南、江西南部，安徽、湖北东部与西南部以及四川的局部地区（尹丽洁和尹远志，2003）。该区也是我国南方主要土壤侵蚀区，其侵蚀面积达 $19.72 \times 10^4 \text{km}^2$ ，占红黄壤区侵蚀总面积的28.58%。福建的侵入岩分布广泛，侵入岩出露面积40316.4 km^2 ，约占全省陆地面积的33%，且全省侵入岩中，以花岗岩占绝对优势，约占侵入岩面积的90.9%（阮伏水和朱鹤健，1997）。福建最严重的土壤侵蚀区，如长汀河田、安溪官桥、诏安官陂等均为花岗岩区。

1.2 南方花岗岩区生态系统的特征

我国南方自晚古生代末至中生代以来境内岩浆活动较为活跃，尤以华力西-印支及燕山早期鼎盛。由于酸性岩浆大规模、多次活动侵入，形成分布广泛的花岗岩岩体。

1.2.1 花岗岩的特征

1. 花岗岩风化壳垂直剖面结构

出露的花岗岩在太阳辐射及大气降水等外营力的作用下不断风化，但风化强度自地

表向基岩逐渐减弱，从上到下的物理和化学性质也随之变化。赵昭晒（1989）把风化壳从上到下分为：①全风化层：岩矿全部变色，黑云母不仅变色，并变为蛭石。结构全被破坏，矿物晶体间失去胶结，大部分矿物发生变异，如长石变为高岭土、叶蜡石、绢云母；角闪石绿泥化；石英散成砂粒。②强风化层：岩石及大部分矿物变色，如黑云母成棕色。结构大多被破坏，矿物变质成次生矿物，如斜长石风化成为高岭土；石英散成砂粒。③弱风化层：部分易风化矿物如长石、黄铁矿、橄榄石变色、黑云母成黄褐色，无弹性；结构部分被破坏，沿裂隙部分矿物变质，常形成风化夹层。风化裂隙发育，完整性较差。④微风化层：比新鲜岩石稍为暗淡，只沿节理面稍有风化现象，有少量的风化裂隙，岩石强度比新鲜岩石略低。曾昭旋（1992）、阮伏水和朱鹤健（1997）根据风化程度和物理化学性质，把风化壳从上到下分为：①红土层：因含铁质量多，呈砖红色，略带网纹， $<0.001\text{mm}$ 的黏粒含量一般在 30% 以上，具有可塑性，板状结构，结持致密，透水性差，稳定入渗率小于 $1\text{mm}/\text{min}$ 。长石类矿物和黑云母完全分解，形成铁铝氧化物、氢氧化物，氧化作用强烈，厚度一般为 $1\sim 2\text{m}$ 。②砂土层：也被称为网纹红土层（因土体中带有黄白色或黄红相间斑纹而得名）。长石、云母已完全分解，黏土中主要以高岭土为主，脱硅作用不明显，石英砂大量存在， $>1\text{mm}$ 的砾石含量在 35% 以上， $<0.001\text{mm}$ 的黏粒含量少，一般在 10%~15% 之间或以下，土层结构疏松，土块略搓即散，透水性较红土层强，一般在 $1.5\text{mm}/\text{min}$ 以上，此层在发育完全的风化壳中厚度最大，一般可达 $5\sim 20\text{m}$ 。③碎屑层：也被称作砂砾层或石卵层（因土中存有多呈卵状的原生石块称之）。岩石已风化呈棱角状或角砾状岩核、碎屑，砾石（ $>1\text{mm}$ ）含量在 40% 以上，长石矿物部分风化成了白色粉末，黏粒（ $<0.001\text{mm}$ ）含量在 5% 以下，结构疏松，节理明显，土层的透水性较好，一般在 $3.5\text{mm}/\text{min}$ 以上，厚度为 $2\sim 10\text{m}$ 。④风化基岩层：也被称为裂隙风化层，以部分大节理风化为主，岩石四周常有环形剥落，岩体呈圆形，原岩构造尚完整，但部分云母已分解，厚度一般为 $0.5\sim 2.0\text{m}$ 。吴志峰和王继增（2000）总结的花岗岩各层特性见表 1-1。

表 1-1 华南花岗岩红色风化壳综合剖面

剖面 分层	厚度 /m	主要作 用特征	有机质 /%	抗冲 指数	水稳 指数	胀缩率 /%	其他特征
表土层	1~2	氧化	2~5	0.5~0.7	0.6~0.7	22~28	有完整的土壤 A、B 层
红土层	2~5	氧化、水解	<1	0.7~1.0	0.5~0.8	22~28	红棕色块状结构，透水性差
砂土层	3~35	水解	0.25~0.4	0.22	0.05	20~26	灰白散粒结构，透水性好
碎屑层	10~20	淋滤	<0.3	0.22	0.05	20~26	含花岗岩原生结构，角砾状碎屑占优，透水性好
球状风化层	3~5	水合					与花岗岩颜色相似，矿物保持原来结晶与结构，以物理风化为，抗冲力较强

2. 风化壳粒度和土体微结构

与其他岩性的风化壳相比,南方花岗岩风化壳在粒度构成上常具有粗细混杂,砂粒、砾石含量高,黏粒含量低等特点。表土层的粒度组成以细颗粒占优,而红土层、砂土层、碎屑层机械组成逐渐变粗,说明随风化强度的逐渐增强而粒度不断变细,粗粒结构的土体其内聚力比细粒的小;通过扫描电子显微镜对红土层、砂土层的土样进行观察,石英颗粒由黏土、云母等细小矿物碎屑组成的泥质所分隔,而砂土层因石英、长石等矿物风化破碎不十分彻底,颗粒很粗,常见节理面和风化裂隙,大颗粒之间缺乏胶结物质,砂土层的土体较为松散(吴志峰和王继增,2000)。因此,花岗岩风化壳从上到下,其抗冲性和抗蚀性不断减弱。当抗冲性和抗蚀性相对较强的红土层一旦遭受破坏,砂土层出露时,地表土层的抗侵蚀能力就急剧下降。

3. 风化壳内部软弱结构面

花岗岩风化壳内存在许多软弱结构面,主要有:①构造裂隙或原生节理,由原生基岩风化后残留下来的;②风化节理和卸荷节理,是在风化过程中产生的各种大小裂隙。红色风化壳土体中的主要黏土矿物为高岭石和埃洛石,它们吸水能力低,这些细颗粒物质大量存在时,在太阳辐射和降水的交互作用下,土体收缩和膨胀导致裂隙的产生(Büdel, 1982);在成土过程中还因受植物根系和动物活动的影响而产生大小不同的裂隙。在碎屑层以下存在较大的风化裂隙。卸荷节理是由沟谷下切后,产生临空面,在重力的作用下,斜坡的应力发生改变而形成。诸多节理和裂隙相互交叉穿透,为地表水和地下水的活动提供便捷的通道,从而有利于风化作用的加强。花岗岩节理和裂隙的发育也使土壤侵蚀加剧,是崩岗发生的重要物理基础。

4. 花岗岩成岩矿物的热力学特性

花岗岩内的石英和钾长石等矿物热膨胀系数差异较大,可达50%左右,因而在高温多雨的气候条件下,物理和化学风化作用都十分强烈,结果往往形成厚10~20m,甚至50m的风化壳。

5. 富含稀土元素

花岗岩岩体多褶皱和断裂带,为钨、锡、铜、铅、锌等金属元素和稀土元素富集成矿创造了条件。赣南和闽西的稀土矿蕴藏量丰富,如闽西长汀县的稀土矿多分布于河田、濯田、三州、四都、南山、宣成、童坊、红山等地的花岗岩风化壳中,且矿点多,储量大,品位高,稀土资源与开发利用居全国前列。由于不合理的开采与利用,地面破坏严重,进而造成强烈的水土流失。

6. 花岗岩所形成的地貌特征

花岗岩岩性及我国南方湿热的气候条件对其区域地形的塑造影响很大。花岗岩分布区多为丘陵、低山地形,部分为中山或高山地形,如福建境内丘陵、山地面积占土地总面积的85%以上。这就为这些区域的土壤侵蚀提供有利的地形条件。不同岩性的风化

壳厚度差异很大，砂页岩的风化壳一般仅几米；石灰岩风化壳的厚度一般小于 10m，细粒花岗岩为 20~30m（广东德庆），而粗粒或斑状花岗岩风化壳的厚度可达 70~80m（广东陆丰）（丘世钧，1994），福建长汀、安溪等地的红色风化层可达 10~60m（阮伏水和周伏健，1994），这也为土壤侵蚀提供物质基础。

1.2.2 生态环境特征

1. 气候特征

我国南方花岗岩区主要地处亚热带，是东、西风带交替影响的过渡区，温带和热带的各种的天气系统活动频繁。以福建省为例，气候特征主要表现为：①冬无严寒，夏少酷暑，气候暖热，雨量充沛；②丘陵起伏，地形复杂，气象要素的垂直梯度明显；③雨季分为梅雨（5~6 月）和台风雨（7~9 月）。

福建省各地年平均太阳年总辐射量介于 3800~5400MJ/m² 之间（鹿世瑾和王岩，2012），年日照时数多在 1491.8~2174.6 小时，年平均气温介于 15.0~21.7℃ 之间。气温分布在水平方向上随纬度自北向南而递增；各地年平均降水量 1132.4~2059.0mm，降水的季节变化受季风活动的支配，全年降水主要集中于春、夏两季，春季的降水又分为春雨（3~4 月）和梅雨（5~6 月）。

以福建省花岗岩区侵蚀最为严重的西南部长汀县及东南部的安溪县为例，其气温和降水的年变化见表 1-2 和表 1-3。两县多年月平均气温的最低值和最高值都出现在 1 月份和 7 月份，安溪县年平均气温超过 20℃，属南亚热带地区，长汀县年平均气温小于 20℃，属中亚热带地区。两县的降水类型都属于双峰型，都是 7 月份出现次低值。两县 3~9 月的平均降水量分别为 1413.9mm 和 1330.9mm，占全年总降水量的 81.7% 和 84.4%。集中的降水为土壤侵蚀提供了强大的动力。

表 1-2 长汀县气温与降水的年变化

要素	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	多年平均
T/℃	7.9	9.5	13.6	18.9	22.6	25.1	27.1	26.8	24.2	19.8	14.6	9.6	18.3
P/mm	61.1	108.9	203.1	240.2	274.8	300.5	127.3	172.4	95.6	59.7	41.1	45.7	1730.4

表 1-3 安溪县气温与降水的年变化

要素	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	多年平均
T/℃	12.5	12.9	15.5	19.9	23.6	26.3	28.8	28.3	26.4	22.8	18.7	14.3	20.9
P/mm	43.4	73.5	124.3	154.0	206.6	244.7	178.6	230.1	192.6	56.6	44.6	28.3	1577.2

2. 植被特征

以福建为例，由于受南亚热带和中亚热带海洋性季风气候的影响，植物种类丰富，植物群落类型复杂多样，最基本的是与福建两个气候带相适应的两种地带性群落——南亚热带季风常绿阔叶林和中亚热带常绿阔叶林。在福建的两个地带性气候条件下，除那

些非地带性的特殊生态环境外,植物群落一般能够演替到亚热带季风常绿阔叶林和亚热带常绿阔叶林这两个地带性的相对稳定的“顶极群落”。历史上,福建的森林资源极为丰富,但由于人类社会活动的干扰和破坏,导致这两种相对稳定的地带性群落面积日益缩小。目前,亚热带季风常绿阔叶林仅有少量残存,取而代之的是各种次生林和人工林。从历史上看,福建的森林大体经历了下述逆向演替过程:①原始森林变为天然次生林;②大部分天然次生林又被以杉、松为主的人工林或亚热带经济植物所代替;③林地不断被开辟为农田、旱地或其他用地,森林面积不断减少;④人为活动频繁、植被反复遭受破坏、水土流失严重的地区已成为不毛之地。

生物多样性是一个地区内基因、物种、生态系统及景观多样性的总和。福建的地带性植被具有树种多、结构稳定、恢复容易等特点。在自然状态下它们生存、繁衍、演替和发展成为生物成分复杂、结构稳定的森林生态系统,其水平结构、垂直结构和营养结构复杂,藤本、攀缘、寄生等植物较丰富,能量转换和物质循环旺盛。福建省常绿阔叶林群落类型较多,一般多为优势种群落,主要有甜槠群落、栲树群落、米槠群落和苦槠群落等 20 多种基本类型。长期以来,常绿阔叶林被大面积采伐和破坏导致多样性的森林生态系统退化,甚至消亡,如毁林造田形成的农田生态系统,森林采伐后形成的残次林、灌木林,最后甚至砂砾化等。

以长汀县为例,该县植被属中亚热带常绿阔叶林区。根据 1980 年山地植被调查,全县共分 6 个植被型、21 个群系、29 个群丛。全县植物品种共计 2 539 种,其中蕨类植物 42 科 85 属 217 种,裸子植物 9 科 23 属 42 种,被子植物 179 科 758 属 2 280 种。花岗岩区红壤严重侵蚀区——以河田为中心的地区,由于长期严重土壤侵蚀和人为破坏,原生地带性植被已不存在,植被多已退化成疏林地、亚热带灌丛或无林地,有些甚至退化成荒草坡或光板地,在有乔木的地方,也只有极单一的、生长极差的马尾松老头树,林下灌木多为中旱生种类,如轮叶蒲桃 (*Syzygium grijsii*)、黄瑞木 (*Adinandra millettii*)、石斑木 (*Raphiolepis indica*)、黄栀子 (*Gardenia sootepensis*)、乌饭 (*Vaccinium bracteatum*) 及喜热耐旱性桃金娘科 (*Myrtaceae*) 等物种,草本植被也主要是芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*)、岗松 (*Baeckea frutescens*)、鹧鸪草 (*Eriachne pallescens*) 等。主要群落类型包括:裸地、鹧鸪草丛、鸭嘴草丛、灌草丛、马尾松疏林、马尾松混交林等。

3. 人文特征

花岗岩区多为河谷盆地旁的丘陵地带,且又有适合人们居住的气候条件,与低、中山地区相比,其居民点相对集中、人口也相对稠密。人们的许多生产、生活活动会对坡地造成强烈的影响,尤其是历史上对丘陵和台地的不合理利用,使地表土层的侵蚀远远超出自然侵蚀的进程。

1.3 花岗岩区生态系统的退化

生态系统退化研究是当今资源与环境学、地理学、生态学、土壤学等领域的研究热点问题之一。退化生态系统恢复和重建时,必须先清楚其退化过程、退化程度及其特点,才可能合理选择应采取的途径和具体技术方法。

“八五”期间，中国科学院组织了有关科研单位对我国退化和脆弱生态环境进行了大量的研究，研究区域涉及农牧交错区、风蚀水蚀交错带、沙漠向绿洲的过渡带、红壤丘陵、岩溶地区、干热河谷、大型工程影响区（如三峡库区、矿区等），在理论、应用和研究手段方面已取得了初步的成果。但生态系统退化的研究只能算是起步阶段，对生态系统退化的概念、内涵、退化机理等都存在不同的认识。

章家恩和徐琪（1997）对生态系统退化研究的内容概括如下：①生态退化的基本理论和方法论研究；②生态退化的发生、演化机制研究；③生态退化的分类、诊断、分析；④生态退化的综合评价，包括退化指标体系与标准的建立、定量评价、风险评价、效益分析以及生态退化分区研究；⑤生态退化的系统监测、预测研究；⑥退化生态系统恢复与重建的方法与技术、生态规划与管理研究；⑦典型退化生态系统定位试验、综合整治及恢复与重建优化模式试验示范。

1.3.1 生态系统退化的概述

1. 生态系统退化的概念

退化是指某一系统的功能减退，甚至完全消失的现象。前期的生态系统退化研究主要是以土地退化，特别是以土壤退化的研究为主线。土地退化是指由自然力或人类在土地利用中的不当措施，或二者共同作用而导致土地质量劣化的过程和结果。土壤退化是指土壤中所进行的一种或多种能使土壤目前或潜在的生产能力（质量上或数量上）降低的过程。土地退化研究开始于20世纪70年代。生态系统退化研究是近些年来才逐渐发展起来的。退化生态系统是指生态系统在自然或人为干扰下形成的偏离自然状态的系统（任海和彭少麟，2001）。该定义一方面指出了造成生态系统退化的自然和人为两大驱动因素，另一方面表明了退化生态系统是以自然生态系统作为参照系。与自然生态系统相比，退化生态系统种类组成、群落或系统结构发生了改变，生物多样性减少，生物生产力降低，土壤和微环境恶化，生物间相互关系改变。生态系统有其自身的演替规律，退化的生态系统也是生态系统演替的一种类型，只不过它是生态系统的一种逆向演替过程的结果。生态退化是生态系统运动的一种形式，它是由生态基质、内在的动能因素和外在干扰共同作用的结果，是生态系统内在的物质与能量匹配结构的脆弱性或不稳定性以及外在干扰因素共同作用的产物（章家恩和徐琪，1999；2003）。

2. 生态系统退化的类型

生态系统退化不仅使自然资源日益枯竭、生物多样性不断减少，而且还威胁人类的生存和发展。土地退化是生态系统退化的重要特征之一，因而前期生态系统退化的研究多集中于土地的退化和土壤的退化。赵其国（1995）将土地退化划分为三大类型：①土壤侵蚀；②土壤性质的恶化；③非农业占地。刘国华等（2000）对中国生态退化的主要类型、特征及分布做了较全面的分析，认为森林生态系统的退化、土地沙漠化和水土流失是我国最重要的三大生态系统退化类型。土壤侵蚀是我国南方花岗岩山地生态系统退化的重要表现形式。包维楷和陈庆恒（1999）把退化生态系统分为人为退化生态系统、自然干扰导致的退化生态系统和人为与自然干扰耦合

导致的退化生态系统。彭少麟（2000）把退化生态系统划分为裸地、森林采伐迹地、弃耕地、沙漠和采矿废弃地 5 种。

1.3.2 花岗岩区生态系统退化的特点

花岗岩区生态系统退化的特点与其他生态系统退化的特点存在着共性，但也有其特有的方面。

1. 系统结构与功能的变化

1) 植被群落特征的变化

具体表现在：①物种的变化。优势种首先消失，与之共生的种类也逐渐消失，接着依赖其提供环境和食物的从属性依赖种因相继出现不适应而消失，而伴生种的种类增加，如喜光种类、耐旱种类或对生境尚能忍受的先锋种类借机侵入。随着退化的进程，其生物多样性明显下降。②层次结构的简单化。乔灌木草藤等多层次、多种群杂合的结构发生变异，植被群落不断矮小化。

2) 系统物质循环的变化

伴随群落特征的简单化，其生物循环过程随之减弱，进入生物循环内的物质质量大大减少；而地球化学大循环却不断加快，系统内的物质不断向系统外输送（如水土流失），进而不断地改变着系统的结构。

3) 系统能量流动的变化

主要表现在：①系统的太阳能转化为化学能的能力和数量大大减少，能量流动的密度降低；②能流过程发生变化；③能流损失增多；④食物链或食物网结构的简单化，如食物链缩短，部分链断裂和解环，单链营养关系增多，种间共生、附生关系减弱，乃至绝迹。随着森林的消失，某些类群的生物，如鸟类、动物、微生物也因失去了良好的栖居条件和隐蔽点及足够的食源而随之消失。

4) 系统的生产力下降

随着绿色植被数量减少和质量下降，系统生产力的下降就成为必然趋势，具体表现在：①系统的固定太阳能减少；②系统因生态环境要素之间的不协调导致植被生长受到胁迫；③净初级生产力下降；④因食物链或食物网的残缺导致次级生产力降低（彭少麟和方炜，1995），如长汀县河田镇的李屋山侵蚀地，16 年树龄的马尾松只有 1.9m 高，平均每年只长 0.12m 左右。

2. 系统的抗逆性和稳定性的变化

有限的干扰所引起的偏离将被系统固有的生物相互作用（反馈）所抗衡，使系统很快回到原来的状态，系统是稳定的。但在退化系统中，由于结构成分不正常，系