

紫色土区

典型水土保持措施的适宜性评价与优化配置

代富强 刘刚才 陆传豪 著



科学出版社

紫色土区典型水土保持措施的 适宜性评价与优化配置

代富强 刘刚才 陆传豪 著

国家自然科学基金项目（41301351）、重庆市基础研究与前沿探索项目（cstc2018jcyjAX0497）和重庆市教育委员会科学技术研究项目（KJ1600611）联合资助

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要针对紫色土区的土壤侵蚀形成机制, 阐述紫色土区土壤理化性质的空间变异特征, 以及土壤侵蚀的空间分布规律和影响因素; 重点针对紫色土区的梯田、等高耕作、退耕还林、退耕还草 4 种典型水土保持措施, 从“求-供”和“产-望”两个角度建立水土保持措施适宜性评价指标体系与评价方法, 分别从“点”尺度进行不同水土保持措施适宜性的比较评价和从“面”尺度进行小流域水土保持措施适宜性的空间评价, 指出目前紫色土区比较适宜的水土保持措施及其适宜区域; 建立数量结构优化和空间优化配置相结合的小流域水土保持措施优化配置方法, 并在小流域进行实证研究, 提出该区域水土保持措施的最优空间配置模式。

本书可供土壤学、水土保持学、生态学、环境科学等领域的科技工作者和高校学生, 以及水土保持与生态建设、农业生产、环境保护等领域的管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

紫色土区典型水土保持措施的适宜性评价与优化配置/代富强, 刘刚才, 陆传豪著. —北京: 科学出版社, 2019.9

ISBN 978-7-03-062248-8

I. ①紫… II. ①代… ②刘… ③陆… III. ①紫色土-水土保持-研究 IV. ①S157.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 199106 号

责任编辑: 杨光华/责任校对: 刘 畅

责任印制: 彭 超/封面设计: 苏 波

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>

武汉市首壹印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 9 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2019 年 9 月第一次印刷 印张: 9 1/4

字数: 219 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

紫色土是由紫色岩类风化而形成的一种无发育或只具雏形发育的土壤，它的形成、发育、演变与分布主要受自然地理要素的控制，其中母岩物质起决定性作用。随着紫色土的农业开发和利用强度不断增强，人文地理要素对紫色土的影响逐渐增大。紫色土区水热条件丰富、植被类型多样，同时紫色土一般具有成土作用迅速、矿物组成复杂、矿质养分含量丰富、质地偏壤性、耕性和土壤生产性好、自然肥力高等特点，紫色土壤宜种农作物多、出产丰富。因此，紫色土是我国长江流域及其以南地区的重要土壤资源之一，关系该地区的农业经济增长、农民生活水平提高和农村可持续发展。

我国是世界上紫色土分布最广的国家，其范围北起秦岭，西至横断山系，东抵东海之滨，南达海南，南北跨纬度近 16° ，东西跨经度近 20° 。根据全国第二次土壤普查和《中国紫色土》的数据资料，我国紫色土面积共 $21.99 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，主要分布于四川、云南、贵州、广西、广东、湖南、湖北、江西、江苏、浙江、福建诸省区，在西部地区又以四川、重庆、云南最集中，中部地区以湖南分布较为广泛，东部地区分布均较少。紫色土区是我国水土流失最严重的区域之一，其侵蚀面积之广和侵蚀强度之大，仅次于我国西北黄土高原。

土壤侵蚀是制约紫色土区人类生存和区域可持续发展的重大环境问题，是该区各种生态问题的集中反映，对粮食和生态安全造成严重威胁。经过长期的研究和实践，形成了以梯田、等高耕作、退耕还林、退耕还草为主的水土保持措施。但是，在水土保持措施的实施过程中，存在措施实施限制条件多、配置不合理、措施的效益不能达到期望和标准等问题，也就是水土保持措施的适宜性问题。现有的研究成果主要是通过水土保持措施效益评价，分析水土保持措施的采纳程度及其保存率，以及小流域水土保持措施优化配置来间接地探讨水土保持措施的适宜性问题。但是，如何进行水土保持措施的适宜性评价，这方面的研究很少。国内水土保持措施适宜性评价主要还是单个因素（如坡度）的适宜性分析，以及措施间的水土保持效益比较，而国外的研究主要针对保护性耕作。因此，目前国内外都还缺乏系统的水土保持措施适宜性评价理论与方法研究。

水土保持措施适宜性评价是水土保持基础理论研究的重要内容之一，也是小流域水土保持措施优化配置的基础，为水土保持规划和土地利用规划提供科学依据，对确保区域生态安全和促进社会经济发展具有重要的现实意义。与水土流失治理成就相比，水土保持措施适宜性理论研究明显滞后，一些重要科学问题尚未解决：针对不同地区、不同类型的水土保持措施，应该从哪些方面进行评价，即评价指标该有哪些？不同水土保持措施在同一区域的适宜性如何进行比较评价，同一措施的适宜性在空间上的差异如何进行评价，即评价方法有哪些？什么样的小流域水土保持措施综合治理模式才是优化配置模式，应该怎么进行优化配置，即优化配置方法有哪些？因此，本书从三方面展开研究：一是从“求-供”和“产-望”两个角度探讨水土保持措施适宜性评价指标体系与评价方法，提

出一种全新的思想和方法,既考虑评价对象的时间与空间因素(“求-供”),同时也考虑措施实施者的主观因素与措施产出的客观因素(“产-望”);二是探讨结合水土保持措施数量结构优化和空间优化配置的小流域水土保持措施优化配置方法,实现线性规划、多目标决策与地理信息系统的有效耦合;三是从“点”和“面”两个空间尺度评价紫色土丘陵区典型水土保持措施的适宜性,实现评价指标体系与评价方法从小尺度应用向更大空间尺度应用的扩展,具有一定的系统性,更有利于本书研究成果在水土保持实际工作中的应用。

本书采用理论和实证相结合的研究框架:第1章对国内外水土保持措施、水土保持措施适宜性与优化配置的相关理论进行梳理和评述,提出本书的主要内容和研究框架;第2章分析紫色土区土壤性质的空间变异及其影响因素,总结常用的土壤性质空间插值方法,基于小流域尺度,进行紫色土区土壤性质的空间分布预测;第3章分析紫色土区土壤侵蚀类型、土壤侵蚀强度及其影响因素,选择典型小流域进行土壤侵蚀空间预测和土壤保持服务功能评价;第4章阐述水土保持措施适宜性评价的基本内涵,提出水土保持措施适宜性评价指标体系和评价方法;第5章在“点”尺度对紫色土区典型水土保持措施适宜性进行比较评价,并进行结果验证;第6章在“面”尺度对紫色土区典型水土保持措施适宜性进行空间评价,分析其空间分布特征;第7章结合水土保持措施数量结构优化和空间优化配置开展紫色土区小流域水土保持措施优化配置。

本书主要是笔者已有研究工作的总结,相关的科学问题并没有完全解决,还存在评价指标体系与评价方法的验证和推广不够、水土保持措施适宜性缺少动态评价等不足之处,相关的研究仍在深度和广度上继续开展。同时,由于成书时间仓促,难免有疏漏之处,敬请读者批评指正。

代富强

2019年4月8日于重庆学府苑

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 紫色土的分布及特征	1
1.1.1 紫色土的区域分布	1
1.1.2 紫色土的主要特征	2
1.1.3 我国紫色土的利用现状	3
1.1.4 本书的切入点	4
1.2 国内外水土保持措施研究进展	5
1.2.1 我国水土流失与水土保持概况	5
1.2.2 我国水土保持措施研究进展与发展趋势	7
1.2.3 国外水土保持措施研究进展	8
1.3 水土保持措施适宜性与优化配置研究进展	10
1.3.1 水土保持措施采纳程度	11
1.3.2 世界水土保持方法与技术纵览	12
1.3.3 水土保持措施保存率	14
1.3.4 水土保持措施效益评价	14
1.3.5 水土保持措施优化配置	15
1.3.6 紫色土区水土保持措施适宜性评价	16
1.3.7 GIS 在适宜性评价中的应用	17
1.3.8 存在的不足	19
1.4 本书的主要内容和研究框架	19
1.4.1 本书的研究目标	19
1.4.2 本书的主要内容	20
1.4.3 本书的研究方法和技术路线	21
1.4.4 本书的特色	22
1.5 小结	23
第 2 章 紫色土区土壤性质的空间分布规律	25
2.1 土壤性质的空间变异及其影响因素	25
2.1.1 母质的影响	25
2.1.2 气候的影响	25
2.1.3 植被的影响	26
2.1.4 地形的影响	26
2.1.5 农业土地利用的影响	27

2.2 土壤性质空间插值方法	27
2.2.1 样条函数法	28
2.2.2 反距离加权法	28
2.2.3 趋势面法	28
2.2.4 克里格法	29
2.2.5 人工神经网络法	29
2.3 紫色土区土壤性质的空间分布预测	30
2.3.1 小流域概况与数据来源	31
2.3.2 回归克里格法	32
2.3.3 土壤性质空间预测精度评价	33
2.3.4 基于回归克里格法和遥感的土壤性质空间预测	33
2.3.5 土壤性质的空间分布特征	37
2.3.6 土壤性质不同空间预测方法的精度比较	42
2.4 小结	48
第3章 紫色土区土壤侵蚀与水土保持服务功能	49
3.1 紫色土区土壤侵蚀特征	49
3.1.1 土壤侵蚀类型	49
3.1.2 土壤侵蚀强度	50
3.1.3 土壤侵蚀影响因素	52
3.2 紫色土区典型小流域土壤侵蚀空间预测	53
3.2.1 研究区域与数据来源	53
3.2.2 修正通用土壤流失方程模型	57
3.2.3 土壤侵蚀评价因子的确定	58
3.2.4 曲水河小流域土壤侵蚀空间分布	61
3.3 紫色土区典型小流域土壤保持服务功能	62
3.3.1 土壤保持服务功能评价模型	63
3.3.2 曲水河小流域土壤保持服务功能评价	63
3.4 小结	66
第4章 水土保持措施适宜性评价理论与方法	69
4.1 水土保持措施适宜性评价的基本内涵	69
4.2 构建评价指标体系的原则	70
4.2.1 主观与客观相结合原则	70
4.2.2 定性与定量相结合原则	70
4.2.3 自然和社会相结合原则	71
4.3 评价指标体系的建立	71
4.3.1 “求-供”评价指标体系	73
4.3.2 “产-望”评价指标体系	73

4.4 评价方法	74
4.4.1 指标权重的确定	74
4.4.2 单项指标评价	77
4.4.3 综合评价	78
4.5 小结	79
第 5 章 紫色土区典型水土保持措施适宜性的比较评价	81
5.1 研究区概况	81
5.1.1 基本情况	82
5.1.2 水土保持概况	83
5.2 评价指标体系及其指标权重的确定	83
5.2.1 评价指标的选取	83
5.2.2 指标权重的确定	84
5.3 数据获取与评价标准的确定	85
5.3.1 评价指标的“要求值”和“提供值”	85
5.3.2 评价指标的“产出值”和“期望值”	87
5.4 结果与分析	88
5.4.1 评价指标权重的差异性分析	88
5.4.2 单项指标适宜性评价结果	90
5.4.3 综合适宜性评价结果	90
5.4.4 评价结果验证	91
5.5 小结	91
第 6 章 紫色土区典型水土保持措施适宜性的空间评价	93
6.1 评价指标选取及其权重的确定	93
6.1.1 评价指标体系及评价标准	93
6.1.2 指标权重的确定	94
6.2 数据来源及关键指标的确定	95
6.2.1 数据来源	95
6.2.2 关键指标的确定	96
6.3 典型水土保持措施适宜性的空间分布特征	100
6.3.1 梯田	101
6.3.2 等高耕作	104
6.3.3 退耕还林	106
6.3.4 退耕还草	109
6.4 小结	111
第 7 章 紫色土区小流域水土保持措施优化配置	113
7.1 基本流程	113
7.2 水土保持措施数量结构优化	114

7.2.1	优化目标	115
7.2.2	水土保持措施生态服务功能价值估算	115
7.2.3	线性规划模型构建	119
7.2.4	数量结构优化结果	123
7.3	水土保持措施空间优化配置	124
7.3.1	优化目标	125
7.3.2	GIS 支持下的多目标决策	125
7.3.3	空间优化配置结果	127
7.3.4	水土保持措施空间优化配置模式	128
7.4	小结	130
	参考文献	131

第 1 章 绪 论

1.1 紫色土的分布及特征

1.1.1 紫色土的区域分布

紫色土是由紫色岩类风化而形成的一种无发育或只具雏形发育的土壤（唐时嘉 等，1996），于 1941 年命名，属于 A-C 型初育土，是我国长江流域及其以南地区的一类特殊而重要的土壤资源。在热带和亚热带湿热同步的气候条件下，结构疏松、钙质丰富的紫色母岩经过快速的物理崩解，盐基物质轻度淋失和快速补充同步，起伏易侵蚀的地形和集约耕作相结合，延缓了黄壤的发育，而促进了初育土的形成（李仲明 等，1991）。

我国是世界上紫色土分布最广的国家（全国土壤普查办公室，1998）。根据全国第二次土壤普查和《中国紫色土》的数据资料，我国紫色土面积共 $21.99 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，统计面积主要为耕地，其中旱地 $18.89 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，水田 $3.10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。下面从地质、地形地貌、地区、类型等方面说明我国紫色土的分布情况。

（1）地质分布。我国紫色土主要分布在南方的大小盆地及其边缘山地，这些盆地沉积有大面积的侏罗系、白垩系、古近系和新近系的紫色砂泥（页）岩，其中四川盆地呈大规模的集中分布。紫色土的性质与紫色岩有密切关系，紫色土的颜色、理化性状、矿物组成都不同程度地继承了紫色岩的特性。

（2）地形地貌分布。我国紫色土主要分布在丘陵和低山地区。垂直分布从海拔几十米至 3 000 m。云贵高原和四川西南山地的紫色土分布的海拔上限为 2 800 m，向东南逐渐降低；四川盆地及其边缘山地的紫色土分布的海拔上限为 1 500 m；我国东南大小盆地的紫色土分布的海拔多在 300 m 以下。

（3）地区分布。我国紫色土主要分布在 16 个省（直辖市、自治区），由西至东紫色土分布面积逐渐减少。其中，西部地区分布最广，占全国紫色土总面积的 84.00%；其次为中部地区，面积占比为 12.10%；东部地区最少，仅为 3.90%。如图 1.1 所示，在西部地区以四川、重庆、云南最集中，中部地区以湖南分布最为广泛，东部地区各地分布均较少。

（4）类型分布。参考紫色土在土壤发生分类和土壤系统分类中的类型划分，何毓蓉等（2003）将紫色土划分为旱耕紫色土、水耕紫色土和非耕紫色土，其中旱耕紫色土分为酸性紫色土、中性紫色土和石灰性紫色土。如图 1.2 所示，酸性紫色土分布最多，面积占比达 42.33%，其他三类相差较小，中性紫色土和石灰性紫色土的面积占比达 20%左右，水耕紫色土的面积占比近 14%。

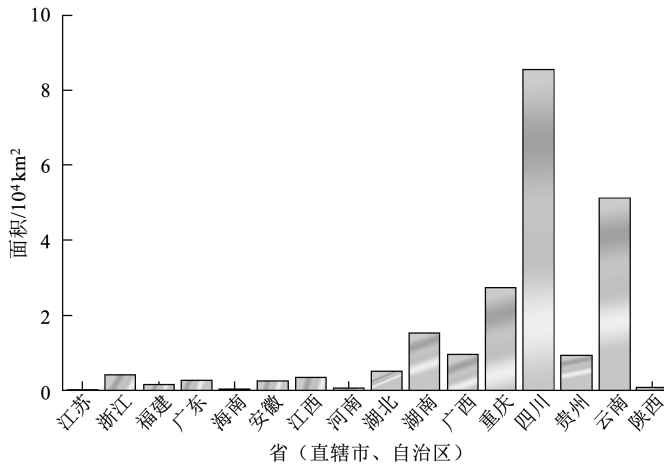


图 1.1 我国 16 省（直辖市、自治区）紫色土面积分布比较

注：数据来自全国第二次土壤普查关于各省（直辖市、自治区）的紫色土统计数据，统计面积主要为耕地；江苏、浙江、福建、广东、海南属于东部地区，安徽、江西、河南、湖北、湖南属于中部地区，广西、重庆、四川、贵州、云南、陕西属于西部地区

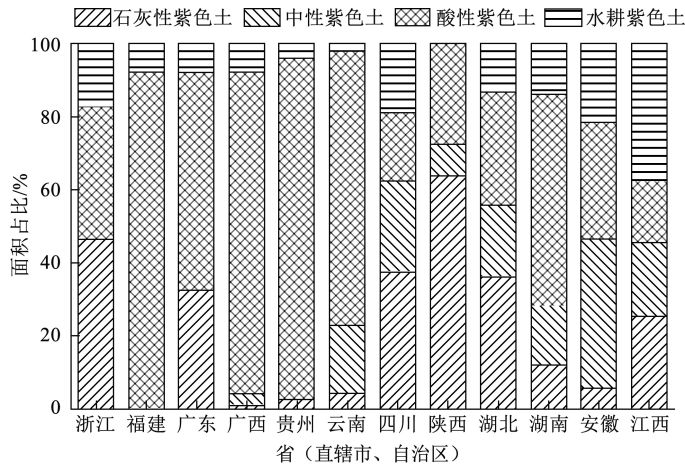


图 1.2 我国 16 省（直辖市、自治区）紫色土类型面积构成比较

注：数据来自全国第二次土壤普查 1（1978~1984 年），四川省的紫色土类型面积包括重庆市的紫色土类型面积。全国第二次土壤普查中紫色土统计面积主要为耕地，因此没有非耕紫色土的相关数据

1.1.2 紫色土的主要特征

1. 土壤物理性质

土壤的物理性质主要是指土壤的固相物质组成、固液气三相比例、土壤孔隙特征和土壤持水性能等，其物理性能决定了土壤的通气状况和热性质，对水和化学物质的迁移过程起着主导作用。

我国各地区的紫色土颗粒组成十分复杂，但总体上以砂粒和粉粒为主，黏粒含量一般较低，土壤质地主要为砂质黏壤土。紫色土砂粒的平均含量为 44.75%，粉砂粒的平均含

量为 31.38%，黏粒的含量大部分介于 10%~30%，极个别剖面或层次的黏粒含量超过 40%。紫色土的结构特征以粗颗粒形成的团聚体 (>0.01 mm) 为主，含量介于 38.85%~83.87%，而小于 0.01 mm 的微团聚体含量较少。

2. 土壤化学性质

在土壤化学性质中，土壤 pH 和土壤交换性能与作物生长密切相关。

(1) 土壤 pH。紫色土的 pH 在 4.0~8.5，超过该范围的紫色土极少出现。从区域分布来看，酸性紫色土主要分布在我国沿海一带的广西、海南、福建等地区。紫色土的 pH 从东南向北往西逐渐增高。

(2) 土壤交换性能。阳离子交换量 (cation exchange capacity, CEC) 是土壤所能吸附的可交换性阳离子的总量，它直接反映了土壤的保肥、供肥性能和缓冲能力的大小。由于土壤 CEC 受土壤胶体、质地和 pH 影响较大，紫色土 CEC 在不同类型、不同区域之间差异较大，CEC 低的仅有 5.1×10^{-2} mol/kg，高的可达 43.7×10^{-2} mol/kg。

3. 土壤有机质

土壤有机质是土壤质量的重要指标。虽然有机质只占土壤总重量的很小部分，但它在土壤肥力上起着重要作用，关系土壤肥力水平的高低。紫色土的有机质含量一般在 15 g/kg 以下，明显低于其他地带性土壤的含量。紫色土的有机质含量与土地利用密切相关，一般在林地、草地、水田等利用方式下的表层土壤的有机质含量较高，可达 51.72 g/kg。

4. 土壤养分

土壤养分是由土壤提供的植物生长所必需的营养元素，通常包括氮、磷、钾等元素。这些元素参与农作物的代谢过程，土壤养分供应是否充足关系农作物生长的数量和质量。全国第二次土壤普查得到以下结果 (全国土壤普查办公室, 1998)。

(1) 氮。由于紫色土是紫色岩风化形成的岩性土，加之土地利用强度大，水力侵蚀严重，紫色土的全氮含量和速效氮含量普遍较低且不足。紫色土的全氮含量为 0.75~0.97 g/kg，其平均含量为 0.78 g/kg。紫色土的速效氮平均含量为 62 mg/kg，仍属较低水平。

(2) 磷。紫色土的全磷含量和速效磷含量均较低，为缺磷土壤。其中，紫色土的全磷含量为 0.33~0.81 g/kg，平均含量为 0.63 g/kg。紫色土的速效磷含量为 5.0~5.8 mg/kg，平均含量为 5.4 mg/kg。

(3) 钾。紫色土的全钾含量和速效钾含量较为丰富，均能满足农作物对钾的需求。其中，紫色土的全钾含量为 16.1~22.1 g/kg，平均含量为 19.5 g/kg。紫色土的速效钾含量为 82~108 mg/kg，平均含量为 88 mg/kg。

1.1.3 我国紫色土の利用现状

紫色土的形成、发育、演变与分布主要受自然地理要素的控制，其中母岩物质起决定

性作用。随着紫色土的农业开发和利用强度的不断增强,人文地理要素对紫色土的影响逐渐扩大。

1. 紫色土区的自然环境特征

(1) 地貌类型以丘陵和低山为主,其次为高原。丘陵以四川盆地的盆中丘陵和江南丘陵最著名,在东南沿海和川西南地区亦有丘陵分布。低山主要分布在四川盆地边缘、湘鄂西地区、南岭、浙闽之间及皖南地区。高原以云贵高原面积最大。

(2) 水热资源丰富,季节分布不均。紫色土区属于亚热带和热带气候,1月、7月和年均温分别为 $5\sim 15^{\circ}\text{C}$ 、 $25\sim 28^{\circ}\text{C}$ 与 $15\sim 23^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温为 $4\ 500\sim 8\ 500^{\circ}\text{C}$,大部分地区的年降水量达 $1\ 000\ \text{mm}$ 以上,云雾多,日照少。但水热条件的时空分布不均,夏季气温高、降雨多、雨热同期。

(3) 地表蓄水能力较差,地下水资源贫乏。由于紫色土分布在盆地底部,年降水相对较少且集中,地表蓄水和保水能力较差。紫色砂泥岩属于不透水层,打井灌溉条件差,土壤易受干旱,旱地比例高。

(4) 植被类型多样,以次生林木和农业植被为主。紫色土区是我国重要的农业生产基地,大部分地区进行了农业开发。原始林木为各种地带性植被类型,而且地域分布不平衡。

2. 紫色土区的土地利用现状

(1) 以农业用地为主,土地利用强度大。紫色土区水热资源丰富,土壤肥沃,宜种农作物种类多,是我国南方的重要农业生产基地。但是,紫色土区农业人口多,垦殖率和复种指数高,土地利用强度大,导致土壤肥力质量下降,土壤退化问题日益严重(何毓蓉等,2002)。

(2) 坡耕地分布广,水土流失严重。据统计(张平仓等,2017;中华人民共和国水利部,2012),我国现有耕地 $1.2\times 10^8\ \text{hm}^2$,其中坡耕地 $0.24\times 10^8\ \text{hm}^2$,约占全国耕地总量的 $1/5$ 。西南土石山区有坡耕地 $1\ 178\times 10^4\ \text{hm}^2$,占西南土石山区耕地面积的 53.8% ,远高于全国平均水平,加之土层较薄,人口密度大,人地矛盾非常突出,经济相对落后,粗放耕作普遍,坡耕地土壤年侵蚀量达 $4.26\times 10^8\ \text{t}$,占长江上游总侵蚀量($16\times 10^8\ \text{t}$)的 26.6% (张信宝等,2010)。

(3) 农作物宜种性广,轮作制度多样化。紫色土区水热条件适宜,自然肥力较高,土壤质地黏砂适中,具有较好的供水供肥能力,适宜多种农作物的生长。同时,由于受到自然地理环境、生产力发展水平和农业技术条件的影响和制约,逐渐形成以轮作制为主的耕作制度。

1.1.4 本书的切入点

我国紫色土分布于四川、云南、贵州、广西、广东、湖南、湖北、江西、江苏、浙江、福

建诸省区,以四川盆地最为集中,面积最大,最具代表性(李仲明等,1991)。四川紫色土面积约 $16 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全省总土地面积的28%,紫色土耕地约 $4.67 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 占全省耕地面积的68%,集中分布在四川盆地丘陵区 and 海拔800 m以下的低山区。本书选择紫色土区作为研究区域主要基于以下几点原因:①紫色土是我国水土流失最严重的土壤之一,其侵蚀面积之广和侵蚀强度之大,仅次于我国西北的黄土高原(李仲明等,1991);②紫色土区分布大量坡耕地,如川中丘陵区坡耕地面积占川中丘陵区耕地面积的70%以上,成为水土流失的主要发源地,急需采取适宜的水土保持措施进行治理;③四川紫色土区开展水土流失方面的研究较早,水土保持措施类型多样,但是也存在治理速度慢、水土保持措施配置不当等问题。

1.2 国内外水土保持措施研究进展

自20世纪以来,土壤侵蚀和水土流失及其防治措施引起了国内外学术界的广泛关注。国内外学者尤其是土壤学、地理学、林学对土壤侵蚀和水土保持的概念和理论、土壤侵蚀机理和水土保持作用机理、水土保持效益评价等方面进行了研究。严重的水土流失是我国生态恶化的集中反映,威胁国家生态安全、饮水安全、防洪安全和粮食安全,制约山丘区的经济社会发展,影响全面小康社会的建设进程。国内学者陆续开展了土壤侵蚀和水土保持的基础研究和实践工作。

1.2.1 我国水土流失与水土保持概况

水土流失(soil erosion and water loss)是制约人类生存和社会可持续发展的重大环境问题,是我国各种生态问题的集中反映,对粮食安全和生态安全造成严重威胁。水土流失造成土壤退化、土地生产力降低、江河淤积、水体污染、洪涝灾害加剧、生态恶化、阻碍社会经济发展。由于我国特殊的自然地理环境和社会经济条件,加之对土地资源的不合理利用,我国成为世界上水土流失最为严重的国家之一。据《第一次全国水利普查公报》(中华人民共和国水利部等,2013),全国土壤侵蚀面积 $294.91 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占我国陆地总面积的30.72%。由水土流失引起的退化耕地占我国总耕地面积的1/3。水土流失也是导致生态恶化和贫困的根源,全国449个贫困县中严重水土流失的县占75.8%。

水土保持(soil and water conservation)是防治水土流失,保护、改良与合理利用水土资源,维护和提高土地生产力,以利于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的事业(王礼先等,2005)。水土保持措施(soil and water conservation measures)是为实现水土保持目的而采用的农业技术措施、林草措施、工程措施的总称(王礼先等,2004)。它的主要作用包括:①蓄水保土,保护水资源和土地资源不受破坏;②对已遭到破坏的土地进行整治和改良,提高其利用率和生产率;③使水土资源得到充分、合理的开发和利用,为发展农村生产、提高群众生活水平服务。

近年来,我国加大了水土保持的生态建设投入,在防治水土流失方面取得了显著的成绩。根据《第一次全国水利普查公报》(中华人民共和国水利部等,2013),全国水土保持措施面积为 $99.16 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中工程措施 $20.03 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、植物措施 $77.85 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、其他措施 $1.28 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。全国共有淤地坝 58 446 座,淤地面积 927.57 km^2 。根据《中国水土保持公报(2017年)》,2017年全国共完成水土流失治理面积 $5.90 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中新修基本农田(包括坡改梯) $42.66 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、营造水土保持林 $152.07 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、经济果木林 $62.82 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、种草 $42.62 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、封禁治理 $192.22 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、保土耕作等治理面积 $97.48 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中国家水土保持重点工程完成 7 894 km^2 ,安排投资 61.61 亿元,包括中央投资 46.42 亿元、地方配套 15.19 亿元。水土流失综合治理竣工小流域 1 329 条。

从 2017 年紫色土区各省(直辖市、自治区)水土流失综合治理情况看(表 1.1),2017 年共完成水土流失治理面积 18 477.9 km^2 。其中国家水土保持重点工程完成 2 081.09 km^2 ,安排投资 178 525 万元,包括中央投资 140 880 万元、地方配套 37 645 万元。

表 1.1 2017 年紫色土区主要省(直辖市、自治区)水土流失综合治理情况

省(直辖市、自治区)	治理面积/ km^2	其中国家水土保持重点工程				竣工小流域条数
		治理面积/ km^2	投资/万元			
			小计	中央投资	地方配套	
湖北	1 329.10	359.33	19 726	17 000	2 726	42
湖南	1 584.60	134.21	11 913	9 184	2 729	8
广西	1 788.70	294.96	23 978	17 589	6 389	20
重庆	1 651.30	221.46	19 205	15 262	3 943	45
四川	4 766.30	531.12	39 970	29 940	10 030	105
贵州	2 582.00	252.56	31 858	24 405	7 453	35
云南	4 775.90	287.45	31 875	27 500	4 375	57

质料来源:《中国水土保持公告(2017年)》

2005~2008 年近四年的时间里,中华人民共和国水利部、中国科学院和中国工程院联合开展了“中国水土流失与生态安全综合科学考察”工作,指出我国水土流失防治工作虽然取得了很大成绩,但还存在许多比较突出的问题(鄂竟平,2008):①经济建设中重开发、轻保护的现象仍普遍存在;②坡耕地和侵蚀沟治理滞后,成为水土流失的主要源地;③部分地区防治水土流失的措施配置不当;④贫困地区水土保持投入严重不足,防治速度缓慢;⑤统筹协调不够,采取的治理措施难以形成合力。科学考察的结果表明,迫切需要加强我国水土保持的基础研究,为生态建设规划和制订中国水土保持宏观战略对策提供科学依据。在这种背景下,国家于 2007 年启动了国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目“中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究”。本书的水土保持措施适宜性评价是该项目的课题“水土保持措施作用机理和适宜性评价”的部分研究成果。

1.2.2 我国水土保持措施研究进展与发展趋势

我国历史文化悠长,自古以农立国,水土保持自古有之,《尚书》《吕刑》《诗经》《国语》等文献中都有相关记载。明代徐贞明提出“治水先治源”,至今仍然可以借鉴。随着“治水与治源”“治河与治田”思想和实践的发展,尤其是近一个世纪以来以小流域为单元的水土流失综合治理与试验示范等取得了较大的进展(李锐等,2003),逐步形成以小流域为单元,根据水土流失规律和当地实际,实行山水田林路综合治理,对工程措施、生物措施和农业技术措施进行优化配置的水土流失综合防治体系(陈雷,2002)。为了适应生产发展的需要,以保水保土为主要目标的三大措施,逐渐注入了资源合理利用及寓开发于治理之中的新思路,水土保持措施的内涵有了新的发展,形成了由水土保持农业技术措施、水土保持工程措施和水土保持林草措施组合的水土保持三大措施系统工程(唐克丽等,2004)。

水土保持农业技术措施是指在水蚀和风蚀的农田中,采用改变小地形、增加植被盖度、地面覆被和增强土壤抗蚀力等方法,达到保水、保土、保肥、改良土壤、提高产量的目的(王礼先等,2004)。现代水土保持农业技术措施是由水土保持耕作措施演化而来(唐克丽等,2004)。20世纪50年代主要针对坡耕地水土流失而采取保水保土耕作栽培措施,如等高耕作、沟垄种植、垄作区田、草粮带状间作、轮作等。坡耕地水土流失不仅增加入河泥沙,而且导致土壤退化、干旱缺水、土地生产力下降及生态环境恶化等系列后果;另外随着坡改梯田和建设高效基本农田的需要,新修梯田生土熟化及改土培肥措施提到重要位置,水土保持耕作措施有了新的发展。到20世纪90年代,我国水土保持耕作措施已形成发展为融水土保持耕作与提高水土资源生产力和建设可持续发展农业为一体的系统工程。原来定义的水土保持耕作措施已不能涵盖其内容和实质,故确定为水土保持农业技术措施(朱祖祥等,1996)。水土保持农业技术主要分为四种类型:①改变小地形为主的耕作技术,包括沟垄耕作、坑田和新式圳田等;②增加植物被覆为主的耕作技术,包括间作、套种、混种、等高带状间作和草田轮作等;③增加地面覆盖物为主的耕作技术,包括残茬覆盖等;④增强土壤抗蚀力为主的耕作技术,包括免耕、少耕等。各种水土保持农业技术措施都有拦蓄径流、减少冲刷、防风挡沙、改良土壤、增加产量的作用。

水土保持工程措施是指应用工程原理,为防治水土流失,保护、改良与合理利用山区、丘陵区 and 风沙区水土资源而修筑的各项设施。水土保持工程措施在我国具有悠久的历史,在防治水土流失、治理江河、保护水土资源、改善生态环境、发展农业生产方面发挥了非常重要的作用(胡广录,2002)。现代水土保持工程措施系由历史上的坡田、坡塘、谷坊、引洪漫地等演化而来,由坡面治理工程、沟谷治理工程和小型蓄排水工程组成水土保持工程体系(唐克丽等,2004)。根据修建目的及其应用条件,水土保持工程措施分为四种类型:①山坡水土保持工程,包括梯田、拦水沟埂、水平沟、水平阶、鱼鳞坑、山坡截流沟、水窖、挡土墙等;②沟道治理工程,包括沟头防护工程、谷坊、拦沙坝、沟道防护工程、引洪漫地等;③山洪及泥石流排导工程;④小型蓄水供水工程,包括小水库、蓄水池、蓄水塘坝、引水工程等。

水土保持林草措施是指为保护、改良与合理利用水土资源,在水土流失地区采用的人工或飞播造林种草、封山育林育草等措施。该措施习惯上常称为生物措施,主要是针对林草植被遭破坏的水土流失区或土地荒漠化地区,通过封禁自然恢复或人工造林种草的措施,以增加地面植被覆盖、防止水蚀风蚀和改善生态环境为主要目标,并与改善农业生产条件结合,兼顾林草资源合理开发利用的生态工程(唐克丽等,2004)。水土保持林草措施分为两种类型:①水土保持造林,包括天然林、水土保持林、农田防护林、固沙造林、经济林等;②水土保持种草,包括封山育草、人工或飞播种草、天然草地改良与合理放牧等。水土保持林草措施主要具有保持水土、改良土壤、护岸固坡、改善小气候、增加经济效益的作用。

但是,我国的水土保持措施往往重工程、轻林草,重造林、轻封育,重保水措施、轻排水措施,治理措施单一,不能发挥水土保持综合治理的整体效益(张兴昌等,2008)。近年来,随着国民经济建设的飞速发展,要求水土保持科学技术再上新台阶,就必须重视水土保持的学科发展,以能适应水土流失治理和农业可持续发展的需要(唐克丽,1999):①发展水土保持生态学,促进生态农业建设;②发展水土保持系统工程学,推动大面积生产治理;③发展水土保持社会经济学,推进社会发展和进步。关君蔚(2002)设想未来中国的水土保持应该是因地制宜、因害设防,因势利导、趁时求成,谦诚则灵、机不再来,经济效益、生态效益、社会效益同步实现,社会效益是根本。通过水土保持措施效益评价与综合配置研究,分析不同类型区的典型小流域水土保持综合治理模式、关键技术及生态经济效益,为不同地区配置水土保持综合措施提供依据(李锐等,2003)。

1.2.3 国外水土保持措施研究进展

土壤侵蚀和水土流失危害是一个世界性的问题。自20世纪以来,随着农业生产的发展和科学技术的进步,人类对于土壤侵蚀的认识日益深刻和系统,许多国家陆续开展了有明确目标的水土保持研究和实践工作,有的已经取得了较显著的成效。总体来看,国外水土保持措施研究主要集中在以下几方面。

(1) 水土保持生物措施(biological measures of erosion control)。主要包括免耕、少耕、轮作、作物覆盖、残茬覆盖、植被过渡带、农林复合体、合成改良剂等。作物覆盖是一种创新的保护性措施,具有防止土壤侵蚀、改善土壤性质、提高土壤肥力、固氮等作用(Liu et al., 2005; Sainju et al., 2002)。作物残茬对于农业土壤是重要的资源,并且能够提供多种生态系统服务功能,如减少土壤侵蚀,改善土壤物理、化学和生物性质,增加作物产量,改善环境等(Blanco-Canqui et al., 2007; Lal, 2006)。施肥是一种古老的水土保持措施,它能够增加农作物产量,提高土壤肥力,减少土壤侵蚀(Shukla et al., 2003)。Grande等(2005)认为施肥通过增加土壤有机质含量,可以减少70%~90%的径流流失量及80%~95%的产沙量。自从20世纪50年代早期引入聚合物作为土壤改良剂以来,这种措施引起了大量学者的广泛关注,特别是到70年代后期和80年代早期,在道路的边坡稳定中得到普遍应用(Wallace et al., 1986)。聚丙烯酰胺(Polyacrylamide, PAM)广泛应用于灌溉