

三峡库区的 土地退化与生态重建

董 杰 杨达源◎著



科学出版社
www.sciencep.com

三峡库区的土地 退化与生态重建

董 杰 杨达源 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是国家自然科学基金资助项目“长江三峡库区地貌过程的研究”(批准号:40272126)和国土资源部重点项目“三峡库区岸坡第四纪堆积特征及沿江公路路基稳定性研究”的部分研究成果。本书以紫色土坡地为例,在实地调研和前人研究成果的基础上,首先阐明了三峡库区紫色土的形成与侵蚀特征,并通过对该区紫色土坡地典型剖面 and 坡面进行采样,运用 ^{137}Cs 示踪测试技术对库区土壤侵蚀速率进行定量分析;然后采用土地特性系列比较法,选择土壤质地、土壤养分和 pH 等 11 种退化指标进一步对土地退化特征进行定量分析,用模糊综合评判模型对不同土地利用方式和不同坡度段土地退化程度进行综合评判,并深入分析了三峡库区土地利用特征及土地退化的形成机制;最后运用恢复生态学及其相关理论对退化土地生态系统进行恢复与重建。

本书可供大专院校和科研院所从事土壤学、地理学、生态学、农学等领域的科研工作者参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

三峡库区的土地退化与生态重建/董杰,杨达源著. —北京:科学出版社, 2010.6

ISBN 978-7-03-027641-4

I. ①三… II. ①董… ②杨… III. ①三峡-土地退化-防治-研究 ②三峡-生态环境-环境保护-研究 IV. ①F323.211 ②X321.271.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 090803 号

责任编辑:吴凡洁 王向珍/责任校对:桂伟利

责任印制:赵 博/封面设计:耕者设计工作室

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>

铭浩彩色印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 5 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010 年 5 月第一次印刷 印张:8 1/2

印数:1—1 500 字数:138 000

定价:50.00 元

如有印装质量问题,我社负责调换

前 言

土地退化问题由来已久,在人类定居、农业出现之时就已存在。近年来,世界人口急剧增长,耕地日益减少,人类对土地资源的过分依赖导致森林锐减,再加上对草原的过度放牧和开垦等一系列人为活动,加快了土地的退化进程,致使土地生产力局部丧失或全部丧失。尤其是土地退化造成土壤肥力降低以至丧失的现状给农业的持续发展带来了严重的影响,其突出表现为土地退化的类型越来越多、分布越来越广、程度越来越重、退化速度越来越快。随着土地退化空间的不断扩大和强度的日益增加,原来局部的、次要的变化已转化为全球性的重大变化,威胁人类赖以生存的环境,土地退化成为当今世界人类面临的最大挑战之一。因此,关于土地退化,特别是人为因素导致的土地退化的发生机理与演变动态、时空分布规律及生态恢复与重建对策,已成为研究全球变化的最重要的组成部分,并将继续成为 21 世纪环境科学、土壤学、农学、地理科学等学科共同关注的课题。

土地退化是自然因素和人为因素综合作用的动态过程,特别是因各种不合理的人类活动所引起的土地和土壤退化问题,已严重威胁当今世界农业发展的可持续性。据统计,目前全球土地退化面积已达近 $2 \times 10^7 \text{ km}^2$ 。就地区分布来看,地处热带、亚热带地区的亚洲、非洲土地退化尤为突出,约 $3 \times 10^6 \text{ km}^2$ 的严重退化土地中有 $1.2 \times 10^6 \text{ km}^2$ 分布在非洲、 $1.1 \times 10^6 \text{ km}^2$ 分布在亚洲;就土地退化类型来看,侵蚀退化占总退化面积的 84%,是土地退化的最主要类型之一,其中水蚀影响占 56%,风蚀影响占 28%;就退化等级来看,以中度、严重和极严重退化为主,轻度退化面积仅占总退化面积的 38%。

我国是世界上土地退化比较严重的国家之一。目前沙漠化土地的总面积已达 $1.61 \times 10^6 \text{ km}^2$,约占国土陆地总面积的 16.7%。研究显示,20 世纪 50~70 年代,我国沙漠化土地平均每年扩大 1560 km^2 ,进入 80 年代,平均每年增加 2100 km^2 ,而目前沙漠化土地则以每年 2460 km^2 的速度增长,这说明我国沙漠化的发展速度正在进一步加快;另外我国由沙漠化所造成的干旱、半干旱区的草地和耕地退化现象也十分严重,其退化面积分别占该区草地和耕地面积的 59.5%和 46.9%,这进一步增加了我国沙漠化土地恢复重建的难度。我国水土流失状况相当严重,总面积已达 $3.67 \times 10^6 \text{ km}^2$,占我国陆地总面积的

38.2%，而且每年还在以 10000km^2 的速度递增。其中，长江流域 13 个重点流失县水土流失面积调查结果表明，在过去的 30 年中，其土壤侵蚀面积以平均每年 1.2%~2.5% 的速度增加，不合理的利用，特别是对坡地的随意开垦，进一步加重了水土流失的程度。此外，其他形式的土地退化也相当严重。例如，我国约有 1/5 的耕地已受到不同程度的化学污染，非农业占地也十分严重，并有逐年增加的趋势。

三峡库区是长江上游重点水土流失区之一，土地退化的主要表现形式是土壤侵蚀。库区地貌类型以山地为主，面积约占 74.0%，丘陵占 21.7%，平地仅占 4.3%。紫色砂页岩约占总面积的 45%，其特性是成土过程快，质地松软，易于风化；花岗岩经长期风化，形成 20~30m 的风化层，疏松深厚，极易流失和崩塌。库区山高坡陡、土层疏松，加上降雨集中、强度大，水力冲蚀作用强烈，极易形成水土流失。随着库区人口的逐年增多，土地开发强度逐渐加大，森林覆盖率锐减，水土流失日益严重。同时库区移民和大量公路、桥梁、城镇等基础设施的建设将改变很多原有的坡地形态，人类活动的加剧将加快坡地土壤侵蚀过程。目前库区各县森林覆盖率仅为 3.0%~15.7%，低于长江流域 21.98% 的平均水平。有关资料显示，目前三峡库区水土流失面积占库区土地总面积的 66.1%，其中中度流失占 40.4%，强度以上流失面积占 29.0%，无明显流失的面积仅占 6.3%，土壤侵蚀模数为 $4858\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。水土流失造成土壤薄层化，质地发生沙化和石质化，肥力降低。

三峡库区是我国人地矛盾非常尖锐的地区之一。人口密度 $260 \text{人} \cdot \text{km}^{-2}$ ，超过全国平均人口密度的一倍多，人均耕地仅 0.06hm^2 。随着工程的建设、移民的迁建和库区的蓄水，大量土地被占用和淹没，本已十分尖锐的人地矛盾变得更加突出。但在目前有限的耕地中，65.5% 的耕地为坡耕旱地，其中 43.5% 的耕地坡度大于 25° ，库区坡地的垦殖指数已达 44.5%。紫色土是库区主要的坡地土壤资源，其面积占该区土地总面积的 19% (109°E 以东)~40% (109°E 以西)，占耕地面积的 78.7%。紫色土具有成土作用迅速、矿物组成复杂、矿质养分含量丰富、耕性和土壤生产性好、自然肥力高等特点，适宜种植多种作物，生产潜力较大。但该土壤还存在抗旱性较差、侵蚀强烈、土地退化严重等问题。可见，对于紫色土坡地的保护和合理开发利用，事关库区的粮食安全和生态安全。因此，进行坡地生态环境建设，防止水土流失和土地退化，提高坡地生产力等成为库区建设的重点。

举世瞩目的三峡工程关系到国计民生，三峡水库的使用寿命、库区生态环境状况、土地质量状况等都是非常受关注的课题。三峡库区紫色土坡地土地退

化的研究对库区生态环境建设、紫色土坡地土地的合理开发利用、防止坡耕地的水土流失和土地退化、土壤环境质量监测等都具有指导作用，并对保护三峡库区水质以及延长水库使用寿命等具有重要的现实意义。

本书针对上述情况进行了研究，并在此基础上提出了一系列土地退化的调控措施，希望能以此促进国内相关领域的研究。

在本书完成过程中，南京大学的彭补拙教授、张捷教授、周生路教授给予很多有益的指导和建议。本书也得到聊城大学学术著作出版资助。还有很多方方面面的关心和支持，在此深表谢意。书中不妥之处，敬请各位同行和读者批评指正。

董 杰

2009 年 7 月于聊城大学

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 土地退化的概念和内涵	1
1.2 国内外土地退化研究进展	3
1.2.1 土地退化的驱动因素	3
1.2.2 土地退化的分类	4
1.2.3 土地退化评价的理论、指标体系与方法	5
1.2.4 土地退化的恢复与重建	9
1.2.5 紫色土地区土地退化研究	12
1.2.6 国内外土地退化研究评述及展望	12
参考文献	13
第 2 章 研究区概况和研究方法	17
2.1 研究区概况	17
2.1.1 三峡库区概况	17
2.1.2 采样区概况	20
2.2 研究方法 with 材料	22
2.2.1 土地退化理化特征实测样品采集与实验方法	22
2.2.2 ^{137}Cs 实测样品采集与实验方法	26
参考文献	31
第 3 章 三峡库区紫色土的形成与侵蚀特征	33
3.1 紫色土的形成特征	33
3.2 紫色土的侵蚀特征	34
3.3 三峡库区土壤侵蚀的严重性及其后果	36
参考文献	37
第 4 章 三峡库区土壤侵蚀速率研究	38
4.1 土壤侵蚀量研究进展及研究方法的选取	38
4.2 土壤侵蚀的剥蚀速率研究方法—— ^{137}Cs 分析法	40
4.2.1 ^{137}Cs 法基本原理	40

4.2.2	研究步骤	42
4.2.3	确定研究区 ¹³⁷ Cs背景值的方法	43
4.2.4	估算土壤侵蚀的基本方法	44
4.2.5	土壤侵蚀模型分析	45
4.2.6	研究区土壤侵蚀模型的建立	50
4.2.7	研究区 ¹³⁷ Cs背景值的确定	52
4.2.8	结果分析与讨论	53
	参考文献	64
第5章	三峡库区土地退化特征	67
5.1	土地退化研究方法	67
5.2	土地退化特征分析	68
5.2.1	土壤粗骨沙化	69
5.2.2	土壤养分流失	72
5.2.3	土壤酸化	85
5.2.4	紫色土退化指标的相关性分析	86
	参考文献	91
第6章	三峡库区土地退化程度评价	92
6.1	土地退化评价模型的选用	92
6.2	土地退化评价指标体系的建立	92
6.2.1	土地退化评价指标选取的原则	92
6.2.2	土地退化评价指标的选取	93
6.2.3	土地退化评价的基本原理和方法	94
6.3	土地退化模糊综合评判结果分析	99
6.3.1	不同利用类型土地退化程度	99
6.3.2	不同坡度段土地退化程度	100
	参考文献	100
第7章	三峡库区土地利用特征与土地退化驱动因子	102
7.1	土地利用特征	102
7.2	土地退化主要驱动因子	103
7.2.1	自然因子	103
7.2.2	人为因子	107
	参考文献	110

第 8 章 三峡库区退化土地生态系统恢复与重建对策	111
8.1 恢复生态学的概念及理论基础	111
8.1.1 恢复生态学的概念	111
8.1.2 恢复生态学的理论基础	111
8.2 生态系统修复的机理和意义	112
8.2.1 生态系统修复的机理	112
8.2.2 生态系统修复的意义	113
8.3 退化生态系统恢复与重建的基本原则	113
8.4 退化土地生态系统恢复与重建的步骤和技术体系	114
8.4.1 退化土地生态系统恢复与重建的一般步骤	114
8.4.2 退化土地生态系统恢复与重建的技术体系	114
8.5 三峡库区退化土地生态系统恢复与重建对策	115
8.5.1 不同侵蚀退化程度土壤肥力恢复与重建措施	115
8.5.2 退化土地生态系统功能恢复与重建的综合技术措施	116
参考文献	123

第1章 绪 论

1.1 土地退化的概念和内涵

关于土地退化的概念国内外已有很多表述,目前尚无统一界定。Chartres等(1994)认为,土地退化是所有成因因子或其组合的产物,它们降低了土地的物理、化学或生物状态,并限制了土地的生产力。Blaikie和Brookfield(1987)认为,土地退化是土地经受内在质量的损失或其容量的衰减,因此最好的表述不应是单要素的,而是多种力共同作用的产物,其中人和自然力都有各自的位置或作用,可以表述为:土地净退化=|自然退化过程+人为干扰|-|自然再生产过程+恢复管理|。《现代地理学辞典》对土地退化的解释为:自然力或人类利用中的不当措施或二者共同作用而导致土地质量变劣的过程和结果(左大康等,1990)。赵其国(1995)认为,土地退化是指人类对土地不合理利用而导致土地质量下降乃至荒芜的过程。土地退化的概念包含以下几点:①人类活动是土地退化的基本动力之一;②土地退化是相对的,受一定时间与空间限制,并处于动态平衡之中;③土地退化过程研究必须以土壤肥力(养分)的退化与恢复重建为核心;④土地退化过程与土地恢复重建过程是两个普遍存在的相反过程,人类的任务在于调节它们的强度,趋利避害。张桃林等(2000)认为,土地退化(land degradation)是指在各种因素,特别是人为因素影响下所发生的、导致土壤的农业生产能力或土地利用和环境调控潜力,即土地质量及其可持续性下降(包括暂时的和永久性的)甚至完全丧失其物理的、化学的和生物学特征的过程,其核心是土壤退化。其中,土地质量(land quality)是指土地的生产力状态或健康(health)状况,特别是维持土地生态系统的生产力和持续土地利用及环境管理、促进动植物健康的能力。土地质量的核心是土地生产力,其基础是土壤肥力。王秋兵等(2004)根据前人的研究认为,土地退化是指在人类活动或某些不利自然因素的长期作用和影响下,土地生态平衡遭到破坏、土壤和环境质量变劣、调节再生能力衰退、承载力逐渐降低的过程,其核心是土壤退化。

可见,“土地退化”与“土壤退化”的概念有所不同,但从实质上讲,土

地退化的基本内涵与变化过程是通过土壤退化反映的,它包括土壤的物理退化、化学退化和生物退化(赵其国等,2002)(具体可分为土壤的侵蚀化、沙化、盐渍化、肥力贫瘠化、酸化、沼泽化及污染化等)。因此,近年来国际上常用“土壤退化”一词来代替“土地退化”(赵其国等,1990)。

可以看出,不同学者由于认识角度的差异及对土地退化成因、过程和结果的侧重,对其概念的表述也不尽一致。不过,这些概念都强调了两个关键的方面:一是土地系统的生产力必须有显著下降;二是这种下降是人类活动或不利的自然事件导致的结果。土地退化过程包括人类活动和居住方式所引起的风蚀、水蚀等作用,导致土壤物理、化学、生物和经济特性的恶化,自然植被的长期丧失等(UNEP, 1992a)。它主要表现为土地生产系统生物生产量的下降、土地生产能力的衰退、土地资源的丧失和土地地表出现不利于生产活动的状况(朱震达, 1994)。

从生态学的观点看,土地退化就是植物生产条件的恶化,土地生产力的下降。从系统论的观点看,土地退化是人为因素和自然因素共同作用的结果。从土地退化的后果来看,土地退化主要是一种对社会经济的危害,包括对农业和人体健康的危害,对水利、交通和城镇设施的危害,造成地区贫困化。从土地退化防治角度看,是人们在接受了土地可持续利用思想的基础上,发挥社会的组织和管理职能,通过人类活动影响并进而改变土地质量的变化方向,重建或恢复土地的生态环境(Hans, 1992)。

以上述对土地退化概念的理解为基础,笔者给出土地退化的定义如下所述。

土地退化是指在不利的自然因素和人类对土地不合理利用的影响下,土地生态系统遭到破坏,土地质量和环境劣化,最终导致土壤的物理、化学和生物学特征及土地生产能力持续下降甚至完全消失的过程。基于以上认识,我们认为,这一概念包含以下几方面的含义:

(1) 人类不合理的利用方式导致土地生态系统的破坏,使土壤发生物理、化学、生物特性的退化,从而导致土地生产力减退,因此人类活动是影响土地退化的主动力。

(2) 土地退化过程实质上是一个长期的、复杂的和综合的动态平衡过程,其变化是通过时间与空间、数量与质量具体表现的。在一定的时间与空间条件下,土地退化与恢复重建过程是对立统一的。因此,土地退化是受一定时间与空间限制的,并且处于动态平衡之中。

(3) 土地质量的核心是土地生产力,其基础是土壤肥力(土壤养分),亦

即土地退化的核心是土壤退化,主要表现为土壤肥力退化。可见土壤肥力的退化与恢复重建过程是土地退化与恢复重建过程的核心。这是因为,土壤肥力(土壤养分)是建立持久农业的根本物质基础。因此,土地退化过程的研究必须以土壤肥力的退化与恢复重建为重点。

(4) 土地退化与退化土地生态系统恢复重建过程是普遍存在的。只是这种过程在一定时间和不同的土地类型其表现程度不同而已。因此,人类的任务在于调节土地的退化与退化土地生态系统恢复重建的强度,使其向有利于防治土地退化和提高土壤肥力的方向发展。

1.2 国内外土地退化研究进展

1.2.1 土地退化的驱动因素

土地退化过程是一个长期的、综合动态平衡过程,其原因往往是错综复杂的,加之退化区的自然和社会经济状况及研究人员的背景等的差异,常常得出不同的解释,但概括起来,大致可分为:自然因素、人为因素和社会经济因素。

自然因素为土地退化提供了外在条件。就我国北方而言,地表为疏松的沙质沉积物,干旱季节与多风季节具有同步性;在南方则表现为降雨多而集中,地表组成物质松散,这些都成为土地退化的潜在因子。

人为因素,特别是人类不合理的活动是土地退化的主要原因。从北方沙漠化形成来看,过度放牧导致的沙漠化占 30.1%,过度农垦占 26.9%,过度樵采占 33.7%,水资源利用不当占 9.6%,工矿交通破坏占 0.7% (杨朝飞, 1997)。但人类对土地退化的影响又是复杂的。首先,人口的急剧增加是人类不合理活动的根源,人口增长加剧了人地矛盾,导致资源短缺甚至破坏;其次,粗放型经济活动也是造成土地退化的一个重要原因,因为落后的生产方式导致土地生产力衰竭,单位面积产量下降;最后,工矿建设导致的土地退化虽然面积小,但其发展速度快,影响大,危害严重。

社会经济因素主要包括人口变化、贫困、发展水平的不平衡、农业扩张政策、市场利益驱动、土地所有权问题、土地使用者对土地退化的态度和其他经济因素等 (李颖, 1998; Barrow, 1991; Blaikie et al., 1987), 但社会经济因素的考虑可能导致经济结构和制度体系的调整,因此提出了从制度体系方面

进一步解决土地退化问题。

1.2.2 土地退化的分类

目前,国内外对土地退化类型的划分尚无统一方案,但多数研究者都是主要从土地退化的成因和后果进行划分。1971年联合国粮农组织在《土地退化》一书中将土地退化粗分为侵蚀、盐碱、有机废料、传染性生物、工业无机废料、农药、放射性、重金属、肥料和洗涤剂引起的10大类,这实际上也是国际上最初对土地退化的分类;1980年Allen对于土地退化的分类问题又补充了旱涝障碍、土壤养分亏缺和耕地的非农业占用。20世纪80年代,国内学者也纷纷撰文对土地退化进行分类。龚子同(1982)根据成因将土地退化划分为:水土流失引起的、耕作施肥不当引起的、污染引起的3大类;1990年,他又撰文将土地退化细分为土壤侵蚀、土壤沙化、土壤盐渍化、土壤污染以及土壤性质恶化、耕地的非农业占用等(龚子同等,1990)。其中土壤侵蚀包括水蚀、冰融侵蚀、重力侵蚀;土壤沙化包括悬移风蚀、推移风蚀;土壤盐渍化包括盐渍化和次生盐渍化、碱化等;土壤污染包括无机物污染,农药污染,有机废物污染,化学肥料污染,污泥、矿渣和粉煤灰污染,放射性物质污染,寄生虫、病原菌和病毒污染;土壤性质恶化包括土壤板结、潜育化和次生潜育化、土壤酸化、土壤养分亏缺等。有的学者还将土地的非农业占用作为土地退化的3大类之一(赵其国等,1990)。事实上,耕地的非农业占用虽被认为是土地退化的一种形式,可使土地农业生产力消失,但在经济价值上难与其他土地退化相比拟。因此,土地的非农业占用(主要是建设占用)是土地的另外一种占用形式,不可与土地退化问题相提并论。对侵蚀退化,可细分为水蚀、风蚀、沙化、重力侵蚀和冰融滑坡侵蚀等。在某些自然因素的背景下,由于人类的长期耕作、管理和频繁活动,土壤化学和物理性质恶化而引起退化。其中,土壤化学性质的恶化而引起的退化指土壤的次生盐渍化、土壤养分丧失以及土壤污染等,土壤物理性质的恶化而引起的退化包括非水田的地表滞水、土壤压实和结构破坏等。90年代中期,刘良梧等(1995)又将土地退化划分为土壤物质位移产生的和土壤性质恶化引起的2大类;刘慧(1995)则根据土地退化的成因和特点,将我国土地退化分为水土流失、土地沙化、土壤盐碱化、土地贫瘠化、土地污染和土地损毁6大类。

近年来,何毓蓉等(1996)结合紫色土的退化,按土壤退化特征,将土壤退化划分为土壤物理性退化、构造性退化、化学性退化和营养性退化4大类;

再按退化程度将土壤退化划分为未退化、轻度退化、中度退化、强度退化和极强度退化 5 类。其中土壤物理性退化是指土壤物理特性,如结构、质地、水热等诸多方面的劣化,主要形式有土壤侵蚀、黏重化、沙化或粗骨化、紧实化等;构造性退化指土壤表层减薄或缺失、土壤障碍层出现及其高位化、土体构型不合理等;化学性退化在此仅包括土壤酸化、石灰化、土壤污染毒化等;营养性退化指土壤养分流失或过度消耗以及与养分水平保持密切相关的某些性质恶化,表现在有机质贫瘠化,氮、磷、钾等下降以及阳离子交换性能减弱等方面。

鉴于土地退化分类方法多种多样,需要一个较为完整和统一的分类体系。目前从全世界范围看,最为广泛的土地退化分类方法是根据土壤特性,从退化性质上将土地退化划分为 3 大类,即物理退化、化学退化和生物退化(赵其国, 1991);另外也可从退化程度上将土地退化分为轻度、中度、强度和极度 4 类(UNEP, 1992b; Oldeman et al., 1991; GLASOD, 1990)。

1.2.3 土地退化评价的理论、指标体系与方法

1. 土地退化评价的理论

20 世纪 90 年代后期,国内外土地退化的评价与监测在理论与方法上有了一定的进展,但相比而言,理论方面更多一些。进展主要反映在 1997 年出版的《世界荒漠化地图集》和对其他地区土地退化的评价中(Nicholas et al., 1997)。评价理论包括退化程度评价、总体退化状态评价、危险度评价以及相对应的指标体系等多方面,而理论的核心体现在退化程度和总体退化状态的评价上。虽然 1984 年联合国制定过具有详细量化指标的危险度的评价条例(Nicholas et al., 1992),但经实践发现可操作性差,且多是从速度、趋势、多样性等间接指标来反映荒漠化发展的危险性,因而其推广受到了限制。

目前的评价理论有 3 种,分别是全球人为作用下的土壤退化(GLASOD)、南亚及东南亚人为作用下土壤退化(ASSOD)和俄罗斯科学院提出的评价方法(RUSSIA)。上述理论都是联合国有关机构所提出的评价,并在不同的地区进行过土地退化监测实践。GLASOD 的评价结果为土地的绝对退化,它通过一整套指标体系直接反映气候与人为因素共同作用下土地退化的现实状态。联合国 1984 年提出的评价方法与 1992 年和 1997 年出版的《世界荒漠化

地图集》里对世界和许多地区土地退化的评价都遵循了这一理论。ASSOD 将土地退化的现状与人为影响的强弱两方面结合起来,间接反映土地退化的相对大小,评价的结果代表了土地的相对退化。在绝对退化程度相同的条件下,经营与投入水平的高低同相对退化的程度成正比,因此 ASSOD 更能揭示退化的实质。RUSSIA 与前两种主要用土壤退化代表土地退化的单因素评价方法不同,它用多样性的概念将土壤、植被和地形综合起来进行多因素评价,属于真正综合的土地退化评价方法。该方法在分别确定植被、土壤和地形退化程度的基础上,依植被、土壤和地形程度间变异幅度的大小,即多样性的多少,综合进行退化状态的评价,体现了各因子差异退化的思想。差异大,多样性大,总体退化状态就低;差异小,多样性小即景观一致性强,恢复和治理难度大,总体退化程度就高。此外,还有将土地退化的损失进行货币化换算,用经济价值量的大小反映退化程度的探讨,但未形成系统的方法体系。

2. 土地退化评价指标体系

在土地退化评价指标体系方面,至今尚无统一而实用的标准。1977 年联合国环境规划署 (UNEP)、联合国粮农组织 (FAO) 和世界气象组织 (WMO) 以人口和牲畜压力作为评价指标,编制了第一幅世界荒漠化地图。FAO 等 (1984) 提出了较全面系统的流水侵蚀评价指标体系。但由于其指标过于繁杂,相互之间有重叠性,加之可操作性较差,最终未被世界各国采用。UNEP (1992b) 编制的全球流水侵蚀程度图中的部分指标也存在与前者类似的问题。

在国内,20 世纪 80 年代中期,水利电力部 (1984) 颁布了土壤侵蚀类型区划分和强度分级标准,并据此编制了全国和分省土壤侵蚀图。但是其更多地注意水土流失本身,而从土地退化及其整治利用角度考虑不够。土壤学家对土地退化一直给予较多关注,尤其在南方红黄壤地区、长江三峡地区、黄土高原和北方农牧交错带,然而,研究工作多侧重土壤本身的退化,因而所建立的指标多为土壤学的。

杨艳生 (1998) 从环境退化、形态退化、肥力退化、污染退化 4 个方面评价土壤退化;用植物类别、覆盖度、地被物厚度 3 个因子表征环境退化状况,用残留剖面构型、母质类型、地表形态 3 个因子表征形态退化状况,用化学退化、物理退化、微生物退化 3 个因子表征肥力退化状况,用有害元素含量和酸度提高表征污染退化状况;而化学退化再用土壤 pH、有机质、氮素、磷素、钾素、微量元素等具体指标量化,物理退化用团粒结构、紧实程度来描述。同

时,在评价过程中,可根据实际情况对相关指标进行强度划分,若某些评价因子的强度值只能用定性描述的,可根据李景保(1990)所介绍的方法进行数值化处理。

卢金发(1999)对中国东部亚热带丘陵山地的退化进行了一系列研究,并提出了用植被类型、植被覆盖度、地面组成物质、成土母质出露比例、沟谷类型和沟谷面积比例作为土壤退化评价指标。

冷疏影等(1999)从土地质量方面对不同退化问题,建立了压力、状态、响应等相应的指标体系。

史德明等(2000)对中国南方花岗岩区土壤退化进行评价,建立了物理退化、化学退化和生物退化指标体系。物理退化包括土体构型、有效土层厚度、有机质层厚度、质地、容重、孔隙度、田间持水量、储水库容等指标;化学退化包括有机质含量和总储量、全氮含量和总储量、全磷含量和总储量、全钾含量和总储量、阳离子交换量等指标;生物退化指标包括凋落物含量、有机质含量损失率、有机质总储量损失率、生产力降低率、产投比和效益比值。储燕宁等(2003)从土壤水分有效性、养分有效性和生物土壤结皮的生态功能3个方面评价了农牧交错带土壤退化等。

上述评价指标体系的建立,有利于土地退化研究由定性评价阶段走向量化阶段,也为土地退化评估提供可靠依据。需要指出的是,不同地区自然环境和人类活动影响不同,土地退化评价指标体系的建立应根据不同地区土地退化特征选择相应的评价指标。

3. 土地退化的监测与评价方法

遥感(RS)、地理信息系统(GIS)、全球定位系统(GPS),即3S的发展,为土地退化的动态监测提供了强有力的技术支持。土地退化的监测与评价也是随着RS、GIS和GPS的发展而不断发展的。20世纪80年代,国内外利用RS对土地退化的监测与评价主要处于目视解释阶段,即通过室内判读航片、卫片编绘荒漠化草图,再结合野外关键地带路线的考察最终成图。

前面阐述的GLASOD、ASSOD和RUSSIA 3种理论在实践上均以目视解释为主,依靠常规技术支持的经验性指标体系来完成,只是GLASOD代表了国际上在土地退化评价中普遍遵循的方法,简明扼要,操作方便。20世纪90年代的土地退化评价中,TM、MSS、SPOT、NOAA等多种时空分辨率RS数据开始融合,RS图像处理软件ERMAPPER、ERDAS、ENVI同一些GIS

软件,如 ARC/INFO、PCI、MGE 也逐步集成使用。相应的,基于 3S 的评价和监测的技术路线也应运而生。

目前,主要的评价方法有两种:一种是运用图像处理软件,通过监督与非监督分类,直接划分类型和程度;另一种是选择几个基于 RS、GIS 的指标,给出不同的权重,通过综合来得出结果。例如,阿根廷利用 AVHRR、LAC (large area coverage) 资料,建立了一个与草原生态系统物候相适应的主影像系列,作为镶嵌不同时代影像资料的标准;然后结合野外调查与精度较高的影像 (MSS),直接通过监督与非监督分类,确定土地退化的状态类型 (Valle et al., 1998)。Tripathy 在对印度 Gulabarga 沙漠化的监控研究中,利用 MSS 和印度资源卫星 (IRS) 数据,通过 GIS 融合地面信息,完成对土地退化的评价。选取的指标有反射率 (ALB)、归一化植被指数 (NDVI)、土壤侵蚀速率和土壤水分,其中前两个来源于 RS,后两个由常规资料获得。ALB 和 NDVI 综合反映了荒漠化土壤水分、植被、土壤侵蚀几方面的状态,具有极高的信息量,利于宏观监控。土壤侵蚀速率和土壤水分分别根据土壤通用侵蚀方程 ($\dot{U}SLE$) 和气象参数来计算。这样根据源于 RS 和 GIS 的指标将荒漠化程度确定为轻、中和重三级 (Tripathy et al., 1996)。高尚武等 (1998) 在 1995~1997 年,按干旱、半干旱和受干旱影响的亚湿润区域分类,分别选取甘肃、宁夏和内蒙古部分县 (旗) 作为研究地点,通过随机抽样设置样地,采用 GPS 确定样地的中心位置,利用 TM 遥感资料初步建立了一个由植被盖度、裸沙占地百分比和土壤质量 3 个指标组成的沙质荒漠化监测评价指标体系。利用 RS 手段对土地退化的监测,虽然成本低、宏观、及时且有广阔的应用前景,但是目前仍有许多技术问题需要解决,其中最突出的是植被的高波动。

基于 3S 的评价和监测的技术路线,是目前先进、完善且实用的技术方法,即利用研究区域的 RS 信息、GIS 数据源等资料进行分类分级,在专家意见的帮助下,进一步修正评价结果,经过多次 GPS 的野外实地校验,不断提高评价精度,并在此基础上构建基于 3S 普遍适用的土地退化评判模型 (任维春等, 2000)。

另外,还有一些学者对其他的方法进行了尝试。例如,在干旱、半干旱区,结合使用 TM 影像数据与线性光谱混合模型 (LMSS) (张熙川等, 1999), 分离差异较大的组分,快速有效地评价土地退化状况;在土壤侵蚀退化研究中,濮励杰等 (1998) 综合运用 ^{137}Cs 土壤磁测等新技术手段,结合土壤结构水稳性、CEC 等土壤理化指标,对坡地土壤侵蚀退化进行了定量研究,取得了初步成果。陈志军等 (2000) 用特征变异增强法对融合前的数据进行特征增