

黄土丘陵区

土地利用与水土流失的尺度效应研究

陈利顶 吕昌河 等 著



科学出版社

黄土丘陵区土地利用与水土 流失的尺度效应研究

陈利顶 吕昌河 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以黄土丘陵沟壑区为研究对象,以土地利用变化与水土流失过程为研究核心,从不同尺度系统研究了黄土丘陵沟壑区土地利用变化的特征,以及土地利用变化影响因子、驱动机制的时空尺度效应,基于统计数据,探讨了土地利用尺度转换的方法及其不确定性;结合径流小区、小流域监测结果、长期水文监测数据和模型模拟结果,分析了水土流失随着空间尺度的变化特征,揭示了水土流失的尺度效应,并从不同尺度揭示了土地利用与水土流失的耦合作用的关系及其主导影响因子,为开展黄土丘陵沟壑区土地利用与水土流失的尺度转换研究提供了参考依据。

本书可供从事景观生态学、自然地理学、水土保持和区域可持续发展教学、科研和管理的科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄土丘陵区土地利用与水土流失的尺度效应研究 / 陈利顶等著. —北京:科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-035429-7

I. ①黄… II. ①陈… III. ①黄土高原-丘陵地-土地利用-尺度效应-研究
②黄土高原-丘陵地-水土流失-尺度效应-研究 IV. ①F321.1②S157

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 203701 号

责任编辑:马俊王静 / 责任校对:张怡君

责任印制:钱玉芬 / 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>

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

*

2012 年 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2012 年 9 月第一次印刷 印张:13 3/4 插页:4

字数:314 000

定价:70.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

长期以来,黄土高原地区土地利用与水土流失的耦合作用一直是地理学家和生态学家关注的重要课题。土地利用作为地球表层人类活动的集中体现,在为人类社会提供一系列生产服务的同时,也带来了一些负面的生态环境效应,如黄土高原地区水土流失、土地退化、生态系统服务功能下降等。能否正确认识土地利用变化特征及其尺度效应,已经成为制约土地利用系统分析和土地可持续利用规划的关键。在黄土丘陵沟壑区,长期高强度的土地利用已经造成严重的水土流失和生态系统退化,通过对土地利用变化与水土流失过程的尺度效应分析,制定科学合理的土地利用规划和土地利用结构调整方案,将成为黄土丘陵沟壑区控制水土流失和实现区域可持续发展的关键。不同尺度上土地利用的目的和用途不同,影响土地利用变化的因子差异较大,尤其在黄土丘陵沟壑区,土地利用变化的空间尺度效应十分明显,如何通过科学的方法揭示不同尺度上土地利用变化特征及其空间尺度效应,对正确认识土地利用变化规律和制定科学的土地利用规划具有重要意义。

水土流失与土地退化已经成为全球面临的重大环境问题之一。水土流失不仅会导致土壤物理结构、肥力和土地退化,同时还会给流域带来生态环境灾害,如河床淤积、洪涝灾害、土壤微生物和土壤碳库失衡等,也会影响区域生态系统的服务功能和区域可持续发展。尽管针对水土流失特点和定量模拟已经开展了大量研究工作,但如何从不同尺度上科学认识水土流失规律及其影响因子,找到适合水土资源合理开发的土地利用格局,仍然是目前研究的难点和热点。不同尺度上影响水土流失过程的主导因子差异较大,这已经成为共识,但由于环境背景的复杂性和未能从不同尺度上开展水土流失过程的定量监测,因此揭示水土流失的空间尺度效应目前还十分困难。

针对上述存在的问题,在中国科学院和国家自然科学基金委员会有关项目的资助下,选择黄土丘陵沟壑区作为研究对象,以土地利用变化与水土流失过程的多尺度、多维度耦合关系作为研究核心,系统探讨了黄土丘陵沟壑区土地利用变化的特征及其空间尺度效应;并结合水土流失的径流小区观测结果、小流域监测结果和区域模型模拟结果,系统研究了不同尺度上水土流失的特征及其空间尺度效应;结合多年来对黄土高原地区的研究成果,揭示区域土地利用/土地覆被格局与水土流失之间相互作用关系及其随时空尺度变异的规律和空间尺度效应,为黄土高原地区生态建设和区域可持续发展提供科学依据。

本书共分7章。第1章综合国内外有关文献,系统分析了土地利用、景观格局与水土流失的关系及其尺度效应的研究现状;第2章基于多尺度遥感影像数据和源-汇过程,分析了黄土丘陵沟壑区土地利用变化的多尺度特征;第3章基于农户调查数据、统计数据和遥感影像制图,分析了不同尺度土地利用变化的特点、主要驱动因子及其空间差异;第4章从小流域、县域和区域尺度,进一步分析土地利用变化的时空尺度效应;第5章基于统计数据,从县域和区域两个尺度上探讨了土地利用变化分析的尺度转换方法,以及土地利

用转换的不确定性识别;第6章基于不同尺度上水土流失实测数据和模型方法,分析了水土流失的主导影响因子及其空间尺度效应;第7章从径流小区、坡面和流域尺度上探讨了土地利用与水土流失的耦合关系及其时空特征。第1章由陈利顶、赵文武、王计平撰稿;第2章由冯晓明、刘洋、许申来、陈利顶撰稿;第3章由吕昌河、马俊飞、朱会义、张秋菊、王茜撰稿;第4章由张秋菊、陈利顶撰稿;第5章由冉圣宏撰稿;第6章由许明祥、李小利、赵牡丹撰稿;第7章由吕一河、刘宇、王计平、汪亚峰撰稿。全书由陈利顶、吕昌河统稿。

我们希望本书的出版可为从事自然地理学、景观生态学和水土保持学的教学、科研人员及科技管理工作提供参考,也希冀本书的出版能为我国黄土高原地区生态恢复、水土保持和区域可持续发展提供决策支持。但限于作者水平和时间,本书难免会挂一漏万,不足之处敬请读者批评赐教。

陈利顶

2011年12月20日

目 录

前言

第 1 章 土地利用、水土流失及其尺度效应	1
1.1 土地利用与景观格局	1
1.1.1 土地利用	1
1.1.2 景观格局	5
1.1.3 土地利用与景观格局的关系	6
1.2 土地利用与生态过程研究	7
1.2.1 土地利用与生态水文平衡	7
1.2.2 土地利用与养分迁移	8
1.2.3 土地利用与水土流失	9
1.3 土地利用与水土流失的尺度效应	11
1.3.1 土地利用变化的空间尺度特征	11
1.3.2 土地利用变化的时间尺度特征	14
1.3.3 水土流失的尺度效应	15
参考文献	16
第 2 章 土地利用变化及其格局多尺度分析	19
2.1 土地利用变化及其格局分析方法	19
2.1.1 土地利用分析方法	19
2.1.2 传统景观格局分析方法	22
2.1.3 基于过程的景观格局指数	23
2.2 基于遥感影像的多尺度土地利用格局分析	26
2.2.1 小流域土地利用制图分析	26
2.2.2 土地利用及其格局的尺度效应	32
2.3 基于“源-汇”过程的土地利用格局分析	34
2.3.1 景观空间负荷比指数(LWLI)与水土流失的关系	34
2.3.2 土地利用格局的水土流失效应评价	36
2.4 小结	38
参考文献	39
第 3 章 土地利用变化特征及其驱动机制	40
3.1 土地利用变化的影响因子及其尺度变化	40
3.1.1 土地利用变化的驱动因素	40
3.1.2 土地利用变化驱动力研究方法	40
3.1.3 土地利用变化驱动因素的尺度变化	41

3.2 农户尺度土地利用变化的驱动机制·····	42
3.2.1 退耕和劳动力转移·····	42
3.2.2 收入增加·····	43
3.2.3 农户认知和从业倾向·····	43
3.3 小流域尺度土地利用变化及其驱动机制·····	43
3.3.1 纸坊沟小流域土地利用变化特点·····	44
3.3.2 纸坊沟小流域土地利用变化的驱动因素·····	46
3.4 县域尺度土地利用变化及其驱动机制·····	47
3.4.1 安塞县自然和社会经济概况·····	47
3.4.2 安塞县土地利用分类与制图·····	48
3.4.3 安塞县土地利用变化的基本特征·····	52
3.4.4 安塞县土地利用变化驱动因素的空间分析·····	56
3.4.5 安塞县土地利用变化对植被恢复的影响·····	60
3.5 区域尺度土地利用变化及其驱动机制·····	64
3.5.1 延安市近30年耕地面积的变化特点·····	65
3.5.2 延安市耕地面积变化过程及其影响因素·····	66
3.5.3 延安市耕地变化驱动因子的作用机制·····	68
3.6 结论与启示·····	72
参考文献·····	73
第4章 土地利用变化的尺度效应·····	75
4.1 土地利用变化尺度效应研究·····	75
4.1.1 土地利用类型与尺度的关系·····	75
4.1.2 土地利用变化与空间尺度的关系·····	76
4.1.3 土地利用变化驱动力的尺度效应·····	77
4.2 土地利用变化的时空尺度特征·····	78
4.2.1 纸坊沟小流域土地利用变化特征·····	78
4.2.2 安塞县1980~2000年不同时段土地利用变化特征·····	82
4.2.3 延安市1980~2000年不同时段土地利用变化特征·····	86
4.3 土地利用变化的尺度效应·····	90
4.3.1 土地利用变化的时空尺度效应·····	90
4.3.2 土地利用变化驱动机制的尺度效应·····	94
4.4 小结·····	97
4.4.1 土地利用变化的尺度特征·····	97
4.4.2 土地利用变化的尺度效应·····	98
参考文献·····	98
第5章 土地利用变化模型与尺度转换·····	99
5.1 土地利用变化模型·····	99

5.1.1 概念模型	100
5.1.2 系统动力学模型	100
5.1.3 马尔科夫链模型	102
5.1.4 元胞自动机模型	103
5.1.5 综合土地利用模型	103
5.2 土地利用变化尺度转换方法	105
5.2.1 图示法	108
5.2.2 数理统计模型	108
5.2.3 谱分析	108
5.2.4 分形分析	108
5.2.5 小波分析	109
5.2.6 遥感和地理信息系统技术	109
5.3 土地利用变化尺度转换的不确定性	110
5.4 典型地区土地利用变化的尺度转换	112
5.4.1 不同尺度的土地利用变化及其驱动力分析	112
5.4.2 土地利用变化模型的尺度转换	114
5.4.3 土地利用变化模型尺度转换的不确定性分析	119
参考文献	127
第6章 水土流失的尺度效应	129
6.1 不同尺度水土流失的基本特征	129
6.1.1 坡面尺度水土流失特征	129
6.1.2 小流域尺度水土流失特征	134
6.1.3 流域/区域尺度水土流失特征	135
6.2 流域水土流失影响因子定量分析	137
6.2.1 气候因子	137
6.2.2 地形因子	140
6.2.3 土壤因子	142
6.2.4 植被因子	142
6.2.5 人为因子	146
6.3 水土流失影响因子的尺度敏感性	147
6.3.1 区域水土流失与尺度敏感性计算方法	148
6.3.2 影响因子尺度敏感性	149
6.3.3 土壤侵蚀模数与影响因子的空间相关性分析	156
6.4 水土流失的尺度效应	160
6.4.1 流域水土流失的尺度特征	161
6.4.2 流域水土流失的尺度效应	164
6.4.3 尺度效应产生的机理	166
参考文献	168

第 7 章 土地利用与水土流失的耦合研究	171
7.1 土地利用与水土流失耦合研究	172
7.1.1 基于直接观测的耦合	172
7.1.2 基于系统分析与模拟的耦合	173
7.2 坡面尺度土地利用与水土流失	174
7.2.1 不同土地利用类型下土壤侵蚀分异	177
7.2.2 不同土地利用格局下的土壤侵蚀分异	178
7.2.3 坡面尺度土地利用与水土流失风险模拟	180
7.3 小流域尺度土地利用与水土流失	193
7.3.1 土地利用与水土流失耦合模型校验	194
7.3.2 碾庄沟流域土地利用变化	197
7.3.3 土壤侵蚀时空变化	199
7.4 中尺度流域/区域土地利用与水土流失	200
7.4.1 河口镇—龙门区间特征及分析方法	201
7.4.2 斑块类型水平水土流失变化的主导格局指标及影响机制	203
7.4.3 景观水平水土流失变化的主导格局指标及影响机制	204
7.4.4 景观格局对流域侵蚀产沙过程影响的综合分析	205
7.5 小结	208
参考文献	209

第1章 土地利用、水土流失及其尺度效应

土地利用是地球表层人类活动的集中体现，其在为人类提供一系列生产服务的同时，也带来了一些负面的生态环境效应。景观格局与土地利用/土地覆被具有密不可分的关系，是描述地球表层土地覆盖特征的两个方面。水土流失作为自然界普遍存在的现象，是自然生态系统演变中一种不可避免的过程，但由于人类活动的存在，水土流失常被看成是受人类活动影响的一种非正常的现象。土地利用/土地覆被、景观格局、水土流失与尺度效应一直是人们关注的重要课题，目前已经成为地理学研究的重点领域。

1.1 土地利用与景观格局

1.1.1 土地利用

土地利用是人类自古以来获取物质需求最基本的生产活动，也是人类改造自然、适应自然的直接结果。在人-地相互作用过程中，土地利用又是一个最本质和最核心的社会经济问题。土地利用不仅影响自然生态系统的演变过程，也影响人类社会的可持续发展。

1. 土地利用内涵

土地利用的内涵和定义存在着不同的学术观点。刘彦随和倪绍祥（1999）在综合许多人对土地利用认识的基础上，将对土地利用的代表性观点归结为6个方面：① 土地利用是由自然条件和人类干预所决定的土地单元的功能，是一种非决断性的结果；② 土地利用是人类为了社会经济目的而进行的长期的或周期性的经营活动；③ 土地利用是集劳动力、资本于土地上，以提高土地的生产能力；④ 土地利用是人们根据土地资源特性、功能和一定的经济目的，对土地单元的使用、保护和改造利用过程；⑤ 土地利用是一种社会经济现象，是人类在漫长的历史演变过程中对土地资源进行持续开发和改造治理的结果；⑥ 土地利用是人类通过一定的行动，以土地为劳动对象（或手段），利用土地的特性来满足自我发展需求的过程。

总而言之，土地利用是土地在人类活动的持续或周期性干预下，进行自然再生产和经济再生产的复杂社会经济过程。从系统论的观点来看，土地利用实质上是一个由自然、经济、社会和生态等多种类型的子系统有机复合而成的生态经济系统的持续运动过程。

2. 土地利用系统

一个土地单元和一个土地利用类型（包括一系列土地利用需求）相结合构成了土地

利用系统（宇振荣等，1998）。复合土地利用系统（即在一块土地上同一时间生长一种以上的作物）和综合土地利用系统（单一或复合土地利用系统轮作）的划分可以通过对单一土地利用系统的综合分析评价来进行。

刘彦随和倪绍祥（1999）认为，土地利用系统是典型的自然-经济-社会复合系统。土地利用的系统性集中体现在4个方面，即土地基质的自然生态系统性、土地利用目的的社会经济系统性、土地利用方式的人类技术系统性和土地利用类型的人口消费系统性。同时土地利用系统又是外部环境巨系统的一个组成部分，因此，土地利用系统性不仅反映在对土地利用、系统内各子系统之间关系的处理上，而且还反映在协调土地利用系统与其外部各环境系统之间的关系上。

傅伯杰和陈利顶（1997）认为，土地利用系统是人与自然环境相互作用的集中体现，是典型的多层次的自然-经济-社会复合生态系统。其核心是自然-生物子系统和社会-经济子系统的相互联系和相互作用。从自然-生态和社会-经济方面，土地利用系统可以分出不同的层次。在较低层次上，自然-生态因子（植物个体-农作物层次）起决定性作用，而在较高层次上，社会-经济因素（区域-国家层次）起重要作用。虽然自然-生态因子和社会-经济因素在不同层次上有着不同的作用，但它们相互联系、相互作用，共同组成一个有机整体。土地利用系统是由一定的土地单元和一定的土地利用方式构成。所以，土地可持续利用评价应针对不同的土地利用方式，从自然（生态）、社会、经济三个方面对土地单元进行评价，并考虑这些因子在可预见的较长时间内的变化和稳定性。

3. 土地利用服务价值

在考虑土地利用时，人类首先想到的是农业、林业及城市居民用地，虽然农业生产是首要的土地服务功能，但是土地资源还可以为人类社会提供各种各样的服务功能，包括以下方面（Sombroek and Sims, 1995）。①与农业生产和植物生长直接相关的服务功能：粮食生产、饲料生产、纤维生产、木材生产、燃料等，所有这些活动均可以通过农业、林业和淡水养殖等人类活动开展。②与调节有关的服务功能：通过合理的土地利用和规划，可以实现对大气、水循环的调节作用，实现区域生态系统的良性发展；但由于不合理的土地利用，也可能对区域生态系统带来负面影响。③与生物多样性和栖息地保护有关的服务功能：主要涉及生态系统、动植物和基因资源的保护，涉及不同的保护层面。④与非再生资源储存和持续供应有关的服务功能：土地资源作为有效人类活动场所，可以成为燃料、矿物资源和非生物的原材料来源地。⑤与人类居住、休闲直接相关的服务功能：土地可以提供房屋、工业生产、交通运输、休闲娱乐等方面的功能，满足人类的需求。⑥其他有关服务功能：在废物处理方面，土地可以储存、过滤、转变与生活有关的废弃物，净化生态环境，改善生态系统质量；在继承与保护方面，土地可以保护或保存自然风景的美丽与特色，成为历史文化景观的有效载体；在投资作用方面，土地可以作为一种不动产进行投资。

尽管上述提及的各种土地服务功能和作用，有些相互之间似乎是排斥的，但对一些表面看似单一功能的土地利用方式，其中包含着多方面的服务价值。例如，在谷物生产的同时，农业土地利用也对大气温室气体和生态水文过程起到了调节作用；城市土地利

用也包括城市森林、草坪、农作物和湿地景观及自然保护地,这些地区不仅可以为人类活动提供休闲娱乐场所,也可以为动植物提供栖息环境。在许多情况下,土地利用表现出更多重叠作用的功能。目前已经普遍认识到农业用地在生物保护方面起着重要作用,以前仅作为木材生产的森林经营与管理,现在也已经转变为多用途的森林生态系统管理,充分发挥森林生态系统的多重服务功能。

随着对生态系统服务价值研究的不断深入,土地利用变化引起的生态服务价值变化越来越受到人们的重视。但是如何定量刻画土地利用的生态服务功能仍然存在许多不确定性。生态服务功能评价正是体现了土地利用的多功能属性。

4. 土地可持续利用

尽管土地资源的可持续性是最 近 20 多年来才提出的,但是它很早就应用在土地资源的系统管理中。自古以来,中国农民总是在思考一个很重要的问题,如何将一个高质量的土地留给他的子孙后代,满足子孙后代的生存和发展需求,这在一定程度上就是土地可持续利用的反映。土地的可持续性,或者说土地可持续利用,联合国粮食及农业组织(简称粮农组织)已给出了定义并得到了广泛的承认,但仍有其他各种各样的解释。土地可持续利用的一个基本特征就是在实现生产需求的同时,保护生产它的自然资源,用一个简单的方程表示为

$$\text{土地的可持续性} = \text{生产} + \text{保护}$$

对于一个土地利用系统来说,要实现可持续利用,需要考虑两个方面的因素:

① 这种土地利用方式必须满足农民和其他土地利用者的需求;② 达到保护依附土地单元的所有自然资源的目的,包括气候生态资源、水资源、土壤资源、景观资源、森林资源、草场资源和文化景观资源。

目前所说的土地可持续利用与 20 世纪 60 年代的环境保护运动是有区别的,后者过分强调保护,忽视了人类社会发展的正常需求。如果一种人类活动会导致负的生态环境效应,它将是不可持续的,也将是不能接受的。土地利用规划首先要满足农民或土地使用者的需求,其次是如何将资源保护融于土地利用规划中。如果农民是从一些环境脆弱的地区(如陡坡地、半干旱地区)获得他们所需要的物品,而没有考虑土地利用对生态环境的影响,那么这种土地利用方式将是不可持续的,必须重新找到一种新的与区域生态环境相适宜的土地利用方式。

最早土地可持续利用的思想是在 1990 年 2 月的新德里,由印度农业研究会、美国农业部和美国 Rodale 研究中心共同组织的首次国际土地可持续利用系统研讨会上正式提出的。它是随着全球人口压力变大、土地资源短缺、生态环境破坏而提出的一种土地资源保护与管理的方略。在 1993 年粮农组织发表的《持续土地利用管理评价大纲》中指出,土地资源的可持续利用管理需要同时考虑:① 保持和提高土地资源的生产力;② 降低土地生产的风险;③ 保护自然资源的潜力和防止土壤与水质的退化;④ 经济上可行性;⑤ 社会的可接受性。土地可持续利用涉及空间和时间两种尺度,它的实现需要决策管理者、土地使用者和土地规划专家的共同努力。对于土地可持续利用的内涵不同学者有不同的看法。

傅伯杰和陈利顶(1997)认为土地可持续利用就是实现土地生产力的持续增长与稳定性,保证土地资源潜力和防止土地退化,并产生良好的经济效益和社会效益,即达到在生态上具有合理性、在经济上具有可行性、在社会上具有可接受性。因此,他们提出土地可持续利用应该从生态、经济、社会三方面进行评价。

刘黎明和林培(2004)认为,土地可持续利用就是通过技术与行政手段使一个区域的土地利用类型的结构、比例、空间分布与区域的自然特征和经济发展相适应,使土地资源充分发挥其生产与环境保护功能,既能满足人类经济生活与环境的需求,又能不断改善资源本身的质量特征。所以,土地可持续利用是一个由行政管理与科学技术相结合的区域综合生态系统工程。需要同时考虑以下几点:保持和提高生产力(生产性)、降低生产风险(安全性)、保护自然资源的潜力和防止土壤的退化(保持性)、经济上的可行性和社会的可接受性。

谢经荣和林培(1996)针对我国的特点,认为土地可持续利用可定义为:能满足当前和未来人们粮食需求和社会协调、平衡发展的土地利用结构和措施。将土地可持续利用系统定义为:利用自然和社会经济资源生产现今社会经济和环境发展等所必须投入的产品的同时,能够维持将来的土地生产力及自然资源环境。

谢俊奇(1998)认为土地可持续利用就是使土地资源得到科学合理的利用、开发、整治与保护,实现土地资源的永续利用与社会、经济、资源、环境的协调发展,不断满足社会经济长期发展的需要,达到最佳的社会、资源环境与经济效益。

魏杰从经济学角度对土地资源可持续利用进行了定义:所谓的土地可持续利用,是指土地不断被高效益地使用。它包括两个方面:从外延讲,要从总量一定的土地上生产出尽可能多的工业效益和农业效益;从内涵讲,尽量延长土地资源持续利用周期,延长土地使用寿命。土地资源可持续利用实际上是从新的视角使土地资源得到更好、更有效地利用。

郝晋民(1996)认为,土地可持续利用就是作为生态系统的功能(生物产品的生产、环境保护与保护生物和基因资源)和人类直接联系的非农利用功能(人类生产、生活的空间、提供生产资料、人类文化遗产、名胜古迹)在生态系统、生态经济系统和区域空间中的协调。

虽然各位学者对土地可持续利用的定义不同,但我国学者提出的土地可持续利用的概念基本上是以粮农组织给出的土地可持续利用概念为基础的,在含义上大同小异。而且可以明确的是,土地可持续利用是从时、空两种尺度上探讨土地利用系统中各因素之间的协调关系。

土地可持续利用不仅涉及时间因素,还涉及空间尺度。比较土地利用的持续性和适宜性,可以认为持续性是适宜性在时间上的扩展。土地适宜性是指对一定的土地单元,评价其是否适合于某种土地利用方式以及可能适宜的程度。常规意义上的土地评价是一种现状评价,针对土地单元的自然特征提出土地利用的适宜方向。而土地利用的持续性是评价一块土地在更长时期内是否适合于某种土地利用方式以及适宜的程度。

影响土地适宜性评价和持续性评价的环境因子基本相同,但土地利用的可持续性评价要求在某种土地利用方式下,对各种环境因子和生态过程的变化趋势作出预测,而土

地适宜性评价仅仅是对各种环境因子的特征进行现状调查和评价。一种土地利用方式,在未来可预见的较长时期内未引起明显的或永久性的土地退化,通常认为这种土地利用方式是可持续的。

在空间上,尽管土地可持续利用都需从生态、经济和社会三方面综合考虑,但不同的尺度上其侧重点有所不同(傅伯杰和陈利顶,1997;周小萍等,2006),从田块-农场-流域或景观-区域或国家-全球的尺度,土地可持续利用的主要约束因素分别是农业技术-微观经济-生态因子-宏观经济和社会因子-宏观生态因子,由此形成了一个复杂的多层次的土地利用约束体系。

1.1.2 景观格局

1. 景观格局概念与内涵

景观格局是指大小和形状不同的景观要素在空间上的排列方式,景观要素的组成和空间构型是其最基本特点。景观要素组成是指景观格局的要素类型以及各类型在景观中所占的比例,而景观要素空间构型则是指不同景观要素的空间排列方式。景观异质性是景观格局的一个重要表现形式,是指景观格局在空间和时间上的复杂性和变异性,即景观要素的组成和构型在时空尺度上的变化特征。景观格局与景观异质性有时会被作为同义词而相互替代。景观格局既是不同类型斑块空间异质性的体现,又是不同生态过程在不同尺度上作用的结果。因此,景观格局的研究目的是从看似无序的斑块镶嵌的景观中发现潜在的具有生态学意义的秩序或规律。景观格局决定着资源斑块和物理环境的分布形式和组合特征,并制约着各种景观生态过程。

2. 景观格局类型与特征

景观格局一般包括静态格局描述和动态格局分析。静态格局描述是指采取一些景观格局指数和空间统计学方法,对景观中斑块数量、大小、形状、空间位置、空间相关特征等进行定量分析,侧重于景观镶嵌体的空间格局特征;景观格局的动态分析则主要关注景观格局在不同时期的变化特征及其相应的驱动机制。景观格局在不同时期的变化特征可以通过景观格局指数比较、马尔科夫转移矩阵、细胞自动机模型等来实现。然而,由于多年来景观格局分析一直停留在对景观格局特征的静态描述方面,未能深入反映研究的生态过程,目前受到了较大质疑。通常所说的景观格局是静态的,无论是利用现有的土地利用现状图、植被类型图,还是利用遥感影像解译的景观类型图,所获得的结果往往是某一瞬间地表覆被信息特征的集总,由此计算出来的各种景观格局指数只是反映了这一瞬间的格局信息。

动态格局是自然界客观存在的,如何通过一定的方法把它刻画出来是景观格局与生态过程研究的目的之一。一般认为,将静态格局动态化可以从三个方面考虑。① 静态格局的序列组合:可以将不同时期土地利用/土地覆被类型图组成一个序列,由此可以看出土地利用/土地覆被的动态变化过程,在此基础上分析景观格局指数的时间动态。② 静态格局与生态过程关键影响因子的组合:不同景观要素(土地利用类型)的空间

组合在一定程度上形成了一个基本平台,这种格局仅反映了生态过程发生的初始状态。如果在研究时段内,将一些关键因子的时间动态变化信息附加在初始的静态格局上,将会对格局赋予动态的属性。③ 建立生态过程关键影响因子动态变化信息图谱,构建新的格局:这是一种新的格局分析方法,可以借用图谱识别方法,如植被指数季节变化、气温(积温)季节变化、降水季节变化等组成一个系列图谱,从而构成一个新的图谱格局。在此基础上,再利用模式识别的方法找到不同格局的范式或数学表达方式,由此来研究格局与过程的相互作用关系。

1.1.3 土地利用与景观格局的关系

1. 土地利用与景观格局的区别

在土地科学、地理学及景观生态学研究,最常见的两个术语就是土地利用格局与景观格局,常常为人们所混淆使用。景观格局是指景观组分的空间分布和组合特征,而土地利用格局虽没有明确定义,但它是人类对土地利用的方式和状态的一种空间反映。土地利用格局和景观格局都代表着地域综合体的一种空间状态,但在含义和外延上仍存在一定的区别。景观格局是不同类型斑块空间异质性的体现,在内涵上更加强调不同空间尺度上景观组分排列组合所产生的一种长期的美学价值和生态效益,而土地利用格局则以均质性的地块单元为基础,在内涵上更侧重于空间上不同地块单元的社会经济属性。从外延上看,景观作为土地的具体体现,其格局也可以代表一定空间尺度上人类利用土地资源的方式和状态。由于景观类型数据的获取通常都来源于土地利用类型图,在许多研究中,常用景观格局变化来反映土地利用/土地覆被格局的变化。然而,从驱动关系看,在以人类活动为主导的异质景观中,土地利用活动是景观格局演变的主要因素。景观格局指数为定量刻画景观格局空间镶嵌性提供了有力的方法,因此,利用土地利用格局信息,借助景观格局指数法研究土地利用空间格局对生态过程的影响已经成为景观生态学研究的主要内容。

2. 土地利用与景观格局分析

景观格局与土地利用具有密不可分的关系,甚至在一定程度上可以将两者看做是一个客体的两个方面。土地利用更强调它所被赋予的人文属性,注重土地利用的类型、方式和空间格局与人类活动之间的相互作用关系,同时强调土地利用变化可能带来的生态环境影响。它所强调的是土地利用的人为因素,即人类活动所带来的变化以及土地利用变化给人类活动带来的影响。景观格局强调不同土地利用/土地覆被类型的空间构型以及土地利用类型空间镶嵌体所表现出来的功能特征、资源环境效应,更多考虑土地利用/土地覆被的空间格局特征所表现出来的各种生态环境效应,它所强调的是客观存在。土地利用制图和土地利用变化分析已经成为一个非常成熟的学科,也得到了土地科学工作者的高度关注。目前的景观格局分析往往基于土地利用/土地覆被类型图,通过利用景观格局分析的方法来进行,在这里所指的景观类型与土地利用/土地覆被类型属于同一个概念。

尽管景观类型图与土地利用/土地覆被类型图常常是同一个图件,但是土地利用分析与景观格局分析仍然存在一定的差异。土地利用分析强调土地利用的面积及其百分比、土地利用时空变化速率、土地利用变化强度以及不同土地利用类型之间的转换过程,并进一步分析土地利用变化给人类带来的正面影响、负面影响,以及土地利用变化对区域生态系统的影响。景观格局分析常常基于土地利用/土地覆被类型图,利用景观格局分析软件,选取一系列的景观格局指数来分析土地利用空间格局的特征,如景观多样性、景观优势度、景观分离度、景观破碎度、斑块密度、斑块分维数、斑块形状指数、斑块聚集度指数等。土地利用分析是从人类活动的角度,分析土地利用变化的数量和强度特征,以及土地利用类型之间的转换关系;景观格局分析是从客观存在的角度,分析不同土地利用类型的空间异质性和多样性特征,以及其由此所表现出来的生态服务功能。

1.2 土地利用与生态过程研究

生态过程是指生态系统的组成、结构与功能在时间上的变化。生态过程按要素可分为自然过程和人文过程。其中自然过程主要包括生态系统中的元素循环、种群动态、种子或生物体的传播、捕食者和猎物的相互作用、群落演替和干扰等(邬建国,2000;傅伯杰,2003);人文过程主要是指人类社会在长期进化与发展过程中出现的人类活动与文化过程。进入21世纪,人类活动及其所导致的全球环境变化成为全球生态系统格局、结构和过程变化的主要驱动力(Franoise and Jacques,2003)。同时,人口和经济持续增长以及全球环境快速变化将给全球生态系统带来前所未有的压力。因此,在人类活动深刻影响和全球环境变化背景下,生态过程的研究方向发生了巨大变化,即由传统的自然、无机、单一要素、单一尺度的研究方向开始转向自然与人文相结合、无机与有机相结合、多要素耦合、宏观与微观相结合的方向,其研究内容也开始面向当前世界性的人口、资源、环境与可持续发展问题(傅伯杰等,2006)。

景观格局与生态过程研究成为地理学的永恒话题,但是景观格局与生态过程之间到底包括哪些研究内容?能够解决哪些问题?在地理学研究中一直是大家争议的焦点。从土地利用与水土流失角度,我们认为景观格局与生态过程研究内容主要体现在以下方面。

1.2.1 土地利用与生态水文平衡

土地利用格局与生态水文平衡具有密不可分的关系。Baird和Wilby(2002)指出,生态水文学是研究植物如何影响水文过程及水文过程如何影响植物分布和生长的水文学和生态学之间的交叉学科。地表覆被格局与生态水文过程的相互作用关系复杂多样,在系统的各部分之间存在着不同种类的物种、能量传输交换和相互作用,涉及水文过程、水动力过程、污染物迁移转化过程、泥沙运移过程以及其他生态学响应过程。

生态水文过程研究的核心是生物与水文过程之间的联系。目前关于土地利用格局与生态水文过程的研究重点集中在以下几个方面。①湿地景观格局变化及其对湿地产流过

程、径流特点、调蓄功能过程、水流运动规律的影响(李胜男等, 2008)。肖笃宁等(2003)以辽河三角洲为研究对象论述了湿地景观的水文功能, 重点研究了湿地蓄水量与苇田蒸发散、湿地水更新率、稻田水量平衡等湿地的水文调节功能及人类活动对其的影响, 探讨了湿地水文调节功能的价值、三角洲地下含水层的调洪功能。孙贤斌和刘红玉(2010)探讨了土地利用变化对湿地景观连通性的影响, 从景观格局的角度分析了连通性的优化效应。但是现有研究更多考虑单一景观要素变化对生态水文过程的影响, 从景观格局角度研究土地利用空间分布的动态变化与生态水文过程之间的耦合关系仍然比较薄弱。②森林景观格局变化与生态水文过程研究。Swank 等(1988)、Brut 和 Swank(1992)研究表明, 流域地表径流的变化是森林植被恢复速度或叶面积指数的函数; 英国 Plynlimon 流域、Coalburn 流域和 Balquhidder 流域的试验结果也证明, 森林植被可减少产水量(Maidment, 1993); 刘昌明和于静洁(1989)通过径流分析得出, 黄河中游黄土高原森林增加减少了年径流总量, 林区径流系数比非林区小 34.0%~68.5%; 而扈祥来(2000)在研究黄土丘陵地带森林植被对水资源的影响时却得出相反的结论, 即林区径流大于非林区径流。杨国靖等(2004)也分析了祁连山区森林景观格局的水文生态效应。在中、小型流域尺度上, 水分的运动与土地利用格局具有密切的关系, 格局的改变可能对水分在空间上的重新分布起着调节作用, 合理的景观格局将有利于水分的循环, 从而改善区域生态环境; 不合理的景观格局将导致水循环失调, 造成生态环境的恶化。③绿洲景观格局与生态水文平衡。绿洲是一种特殊的景观类型, 其本身就受到了自然和人为的双重作用。尤其是绿洲景观格局演变对区域生态环境的影响以及生态水文过程的影响一直是研究的热点。在我国西北干旱地区, 绿洲景观成为支撑我国广大西北地区国民经济和生态系统稳定的关键, 但由于受水资源供给的限制, 直接制约了绿洲生态系统的持续发展。绿洲景观与上游的水源地形成了一个独特的完整的生态系统, 土地利用格局的演变将涉及一系列的生态水文过程的变化, 由此将导致水资源的不均匀分配, 从而进一步影响区域的生态水文过程和平衡。研究土地利用/土地覆被格局演变及其对生态水文过程的影响将为绿洲的可持续发展提供科学依据, 但是对不同土地利用类型组合与生态水文平衡之间的定量关系还缺乏有力的证据。

基于过程模拟手段揭示森林植被的生态水文功能和变化机制, 已经成为生态水文学研究的重要手段。但陆地生态水文过程的非线性和尺度问题的广泛性, 基于过程的坡面或小流域尺度的分布式水文模型不适合对大流域的水文过程进行分析和预测。孙鹏森和刘世荣(2003)依据大流域的水文过程特点, 从 5 个方面阐述了大尺度生态水文模型构建过程中的主要问题。这些问题的解决有赖于对土地利用格局与生态水文过程的定量关系的研究。

1.2.2 土地利用与养分迁移

养分流失是重要的生态过程之一, 也是目前水体污染和农业非点源污染加剧的主要原因。非点源污染作为营养盐流失的直接结果, 归根结底是由养分在时空过程上的“盈”“亏”不平衡造成的。降低非点源污染形成最直接可靠的方法是控制污染物(养分物质)来源, 将非点源污染物的排放控制在最低限度, 从而控制进入地表和地下水体的