

江西财经大学“鄱阳湖生态经济区发展研究”
跨学科创新团队学术研究成果

区域土地利用变化的 生态效应研究

谢花林 著

RESEARCH ON ECOLOGICAL EFFECTS OF
REGIONAL LAND USE CHANGE

中国环境科学出版社

国家自然科学基金项目（40801106）
教育部人文社会科学基金项目（08JC790050）
江西省自然科学基金项目（2008GQH0057）
江西财经大学鄱阳湖生态经济研究院资助出版

区域土地利用变化的生态效应研究

谢花林 著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

区域土地利用变化的生态效应研究/谢花林著. —北京: 中国环境科学出版社, 2011.1

ISBN 978-7-5111-0510-3

I. ①区… II. ①谢… III. ①区域—土地利用—生态效应—研究—中国 IV. ①F321.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 032456 号

责任编辑 张维平
封面设计 玄石至上

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803, 010-67213405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2011 年 1 月第 1 版
印 次 2011 年 1 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 10.75
字 数 240 千字
定 价 35.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

土地是人类生存与发展的根本,是衣食之源、生存之本,是人类进行各种生产、生活等活动的空间载体。土地利用是人类根据土地的自然特点,按一定的经济、社会目的,采取一系列生物、技术手段,对土地进行长期或周期性的经营管理和治理改造。人类所进行各种活动的结果最终还是反映在土地利用的变化上,包括变化的方向和强度等。随着全球变化研究的深入与发展,各国科学家越来越意识到人类活动对环境变化的影响,尤其是人类的生存和发展对土地的开发利用以及引起的土地覆被的变化被认为是全球环境变化的重要组成部分和重要原因。

20世纪90年代以来,全球环境变化研究逐渐加强了对土地利用/覆被变化的研究工作。1990年,美国国家研究委员会提出了全球性的土地利用/覆被变化研究框架。国际科学联合会和国际社会科学联合会于1992年成立LUCC研究委员会。国际地圈-生物圈计划(IGBP)与全球环境变化的人文领域计划(IHDP)于1993年2月委任了正式的核心计划委员会,并于1995年联合提出了“土地利用与土地覆被变化”的研究计划,进行土地利用/覆被变化研究。1999年,IGBP和IHDP又发表了《土地利用/土地覆被变化(LUCC)研究实施策略》,进一步提出将土地利用过程、土地利用/土地覆被变化的人类响应、综合的全球和区域模型作为研究的主题。区域土地利用/覆被变化(LUCC)及其生态效应的研究目前已成为全球变化研究的热点问题之一。我国著名地理学家李秀彬研究员在1996年提出LUCC的研究成为全球环境变化研究的核心领域。LUCC的研究目的在于揭示全球及区域土地利用与覆被变化发生及发展的动力学机制,建立模型,提高对土地利用/覆被变化的预测能力。具体的研究包括4个目标:①认识土地利用与覆被变化驱动力;②调查和描述土地利用和土地覆盖动力学中的时空可变性;③确定土地利用与可持续性间的关系;④认识LUCC与生物地球化学和气候之间的相互关系。

土地利用/土地覆被变化不仅带来了地表景观结构的巨大变化,同时会影响到区域内物质循环和能量流动,影响区域内的生态过程,对于区域内生物安全和生态平衡产生深刻影响。因而,研究区域土地利用/土地覆被变化对区域生态环境的影响过程、机制、结果等,掌握区域生态环境的变化对维持区域生态系统平衡的作用,这对于促进区域人类社会经济和生态环境的协调发展具有重大的理论意义和现实意义。

本书在全面研究土地利用变化对生态环境影响的理论和方法基础上,通过若干典型区域土地利用对生态环境的效应分析,为区域土地资源可持续利用和生态环境建设及土地与环境的协调发展等提供了理论依据,这对于协调人地矛盾,避免土地利用中的短期行为和

盲目性开发,实现区域可持续发展具有重要意义。

本书主要分为三部分,第一部分包括第1章和第2章,主要是阐述区域土地利用变化生态效应研究的有关理论;第二部分主要是第2章,主要是对区域土地利用变化的生态效应研究方法进行了探讨;第三部分是方法的应用研究,主要包括第3章、第4章、第5章、第6章、第7章、第8章、第9章和第10章。各章节的主要内容如下:

第1章探讨了区域土地利用变化生态效应研究的背景和意义、国内外研究进展,总结了区域土地利用变化的生态效应研究的主要内容、技术路线和研究方法。

第2章探讨了区域土地利用变化生态效应研究的基础理论,具体包括可持续发展理论、景观生态学理论、生态经济学理论、人地协调理论、自然资源价值理论。

第3章具体阐述区域土地利用变化的生态效应方法研究,包括景观结构法、生态安全法、生态价值核算法、生态足迹模型法、能值分析法、景观安全格局法、模型模拟法和情景分析法。

第4章为了增进对土地利用空间行为变化的理解,以分形理论为指导,在遥感和地理信息技术的支持下,通过分析景观斑块破碎度、稳定性和分形维数等指数的变化,对东江源流域土地利用变化的空间行为特征进行了实证研究。

第5章基于景观结构中的景观干扰度指数和景观脆弱度指数,构建土地利用生态风险指数,并借助空间统计学中的空间自相关和半方差分析方法,进行了江西兴国县土地利用生态风险的空间分布和梯度变化特征实证研究。

第6章在提出基于生态足迹的可持续性指数测度区域可持续发展程度方法的基础上,对江西兴国县的生态足迹变化进行了纵向分析。在此基础上,选取了4个社会经济发展指标进行了相关性和敏感性分析,以揭示人类活动对可持续性指数的驱动因素。

第7章运用生态系统服务价值变差贡献率和灰色综合关联度方法,就江西兴国县土地利用变化对生态系统服务价值变化的影响,以及总人口数、城镇化水平、第一产业比重和社会固定资产投资额等社会经济发展因素对生态系统服务价值变化的驱动作用进行了分析。

第8章基于GIS技术,从区域土壤侵蚀和土地沙化等生态不安全因素出发,通过构建区域土地利用的生态安全综合指数,对农牧交错带的典型区域——内蒙古自治区翁牛特旗土地利用生态安全变化进行了评价研究。

第9章针对我国加速新农村建设阶段如何协调好村镇建设与地域生态系统的关系,基于GIS技术,从水资源安全、生物保护、灾害防护和人类干扰4个方面,构建了空间尺度上的生态重要性综合指数,对兴国县长冈乡生态重要性空间进行了评价,以便从宏观上预防乡村建设可能带来的生态安全问题。

第10章提出了区域水土保持安全格局、生物多样性保护安全格局和综合土地利用安全格局的构建方法,并基于蚁群算法,对兴国县长冈乡土地利用安全格局进行了情景模拟

研究，并提出了分区管制的措施。

鉴于区域土地利用变化生态效应研究理论本身的复杂性，涉及众多学科的理论和方法，本书所涉及的研究内容也仅仅是区域土地利用变化生态效应评价的粗浅层面。在土地利用变化与生态环境影响相互作用机理、土地利用变化的生态安全评价指标体系、土地利用景观格局变化与生态过程评价、情景分析和模型模拟方法在区域土地利用变化生态效应研究的应用等方面还有待进一步研究。

总之，本书比较系统地介绍了区域土地利用变化生态效应研究的理论、评价的最新方法，并结合部分案例区进行了实践研究。本书可供土地资源管理、地理学、生态学等专业的科研人员阅读，也可作为大学生和研究生的参考书。

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究的背景与意义	1
1.2 国内外相关研究进展	2
1.3 研究目的和研究内容	9
1.4 技术路线与研究方法	10
参考文献	11
第 2 章 区域土地利用变化生态效应研究的基础理论	16
2.1 景观生态学理论	16
2.2 可持续发展理论	19
2.3 生态经济学理论	22
2.4 人地关系协调理论	25
2.5 自然资源价值理论	26
参考文献	29
第 3 章 区域土地利用变化的生态效应研究方法	31
3.1 景观结构分析法	31
3.2 生态足迹分析法	37
3.3 生态经济价值核算法	44
3.4 生态安全评价法	46
3.5 能值分析法	49
3.6 景观安全格局研究方法	55
3.7 模型模拟法	59
3.8 情景分析法	67
参考文献	70
第 4 章 基于分形理论的土地利用空间变化行为特征实例研究	74
4.1 引言	74
4.2 研究区概况	74
4.3 数据来源与研究方法	75
4.4 结果与分析	77
4.5 结论	82
参考文献	83

第 5 章 基于景观结构的土地利用生态风险变化实例研究 84

5.1 引言 84

5.2 研究区概况 85

5.3 数据来源与研究方法 86

5.4 结果与分析 89

5.5 结论 96

参考文献 96

第 6 章 基于生态足迹模型的可持续性水平测度及其敏感性实例研究 98

6.1 引言 98

6.2 研究方法 99

6.3 应用 101

6.4 结论 108

参考文献 109

第 7 章 基于土地利用变化的区域生态系统服务价值响应及其驱动因素实例研究 111

7.1 引言 111

7.2 生态系统服务的内涵及其价值构成 112

7.3 研究方法 113

7.4 结果与分析 114

7.5 结论与讨论 119

参考文献 119

第 8 章 区域土地利用变化的生态安全评价实例研究 121

8.1 引言 121

8.2 研究地区与研究方法 122

8.3 结果与分析 125

8.4 生态安全对策 128

8.5 结论 130

参考文献 130

第 9 章 基于 GIS 的区域生态重要性空间评价实例研究 132

9.1 引言 132

9.2 评价方法 133

9.3 实例分析 137

9.4 结论与讨论 139

参考文献 141

第 10 章 区域土地利用安全格局情景模拟实例研究	143
10.1 引言	143
10.2 区域土地利用安全格局构建流程	144
10.3 区域土地利用安全格局构建方法	144
10.4 生态安全约束下的居民点扩张优化情景格局	147
10.5 实例分析	150
10.6 空间分区管制	157
参考文献	157
后 记	161

第1章

绪论

1.1 研究的背景与意义

土地利用是人类为获取所需的产品或服务而进行的对土地自然属性的利用目的、方式和意图。近半个世纪以来,由于经济的发展和工业化进程的加速,环境污染与生态破坏日益严重,温室效应、臭氧层破坏、酸雨区扩展、自然资源短缺、水土流失、土壤沙化、森林减少、草场退化、洪涝灾害、水污染、大气污染等生态环境问题严重威胁着人类的生存和发展,生态环境问题已逐步成为生态安全问题;生态安全研究已经成为当前生态学、地学以及资源与环境科学研究的前沿任务和重要领域。诸多生态安全问题的出现,从根本上看是不合理的土地开发利用活动的结果。由于自然因素与人文社会因素的影响,土地利用结构以及土地资源的质量不断发生变化,从而影响区域生态环境和全球环境的变化。

国际科学联合会和国际社会科学联合会于1992年成立LUCC研究委员会。“国际地圈与生物圈计划(IGBP)”和“全球环境变化中的人文领域计划(IHDP)”两大组织联合于1995年提出《土地利用/土地覆被变化科学研究计划》。区域土地利用/覆被变化(LUCC)及其生态效应的研究目前已成为全球变化研究的热点问题之一。我国著名地理学家李秀彬研究员在1996年提出LUCC的研究成为全球环境变化研究的核心领域。LUCC的研究目的在于揭示全球及区域土地利用与覆被变化发生及发展的动力学机制,建立模型,提高对土地利用/覆被变化的预测能力。具体的研究包括4个目标:①认识土地利用与覆被变化驱动力;②调查和描述土地利用和土地覆盖动力学中的时空可变性;③确定土地利用与可持续性间的关系;④认识LUCC与生物地球化学和气候之间的相互关系(李秀彬,1996)。

土地利用的变化能够直接改变地表的覆盖状况,它一方面改变地球表面物理特征(如粗糙度、反照率、土壤含水量等),影响与气候直接有关的地表与大气之间的能量和水分的交换过程;另一方面又能够改变地球表面的生物地球化学的循环过程,影响地表与大气之间的微量气体交换。而且土地利用变化还通过土地覆盖的改变而直接影响到生物多样性,影响区域的水分循环特征,改变生态系统的组成和结构,从而对生态系统的功能产生影响。因而,研究区域土地利用/土地覆被变化对区域生态环境的影响过程、机制、结果等,掌握区域生态环境的变化对维持区域生态系统平衡的作用,促进区域人类社会经济和生态

环境的协调发展,具有重大的理论意义和现实意义。因此,区域土地利用变化过程、规律及其生态效应的分析研究,是生态环境变化研究的重要基础,也是调控人类行为的科学决策依据。

1.2 国内外相关研究进展

1.2.1 土地利用变化的生态环境效应研究进展

1.2.1.1 LUCC 的大气、土壤、水和生物多样性效应

在 LUCC 的大气环境效应方面, Virtuosic (1997) 估算在过去 150 年间,土地利用变化和矿物燃料的燃烧已向大气层排放了大量的 CO_2 , 导致大气中 CO_2 的含量大约增加了 30%。据 Crutzen (1990) 估计, 大气中 60% 的 CO 和 80% 的 N_2O 来源于土地利用类型和覆被格局的改变。Kalnay (2003) 研究得出土地利用变化导致气温升高。

在 LUCC 的水文环境效应方面, Pereira (1973) 对美国 Tennessee 山区的调查报告显示, 由于林地面积的扩展减少了这个区域径流量的 50%。Murray K. S. 等人在对密歇根州西南部河流流域的研究中发现, 土地利用形式的改变, 特别是由于工业化的发展, 大量的重金属和有机化学物质排入地下, 不仅造成浅含水层的污染, 而且对整个 Rouge 河流的水质产生了非常恶劣的影响。熊兴 (2010) 以东莞市为研究区域, 采用土地利用变化速率、土地利用转移矩阵及景观指标, 分析了近 20 年东莞市土地利用变化过程及其对水体的生态效应。

在 LUCC 的土壤环境效应方面, Likens 等 (1970) 对美国 Hubbard 地区的研究表明, 森林砍伐导致该流域土壤氮流失由 4 kg 增加到 142 kg, 森林全部砍伐流域氮的损失是未受干扰地区氮损失的 35 倍。Solomon 等 (2000) 研究了土地利用/覆被变化对土壤有机质的影响。傅伯杰等 (1999) 以黄土丘陵沟壑区羊圈沟流域为研究对象, 从小流域、坡面和单一土地利用类型三个尺度层次上研究了土地利用变化对流域土壤侵蚀、土壤养分和土壤水分的影响。陈松林 (2000) 利用 GIS 分析了福建省延平区土地利用与土壤侵蚀程度关系, 得出它们之间存在显著关系。朱连奇等 (2003) 以福建省山区为例, 通过对定位观测等资料的对比分析表明, 土地利用/土地覆被变化对径流的产生和土壤侵蚀有重要影响, 植被的覆盖度与径流系数呈负线性关系, 与土壤侵蚀模数呈负指数关系。

在 LUCC 的生物环境效应方面, Houghton (1994) 研究认为, 农业垦殖区向森林区的延伸改变了边缘区的生态环境, 导致微气候条件变化和外来生物入侵, 最终导致生态边缘区动植物物种的大量减少。Matson 等 (1997) 得出土地转化和利用强度增加会改变生态系统生物相互作用和资源可得性的格局。Jenkins 等 (2000) 分别将土地利用作为一个因子来对未来生物多样性的影响作预测。周启星等 (2005) 对浙江省绍兴县某镇土地利用变化导致的生态效应进行了定量分析, 结果表明, 反映在该小城镇发展过程中出现生物多样性降低, 局部气候恶化等不良生态效应。

1.2.1.2 LUCC 对区域生态系统服务价值影响及综合评估

土地利用/覆被变化通过改变生态系统的结构和功能, 进而影响生态系统服务的价值。同时, 土地利用/覆被变化驱动下的生态系统服务价值 (ESV) 变化, 也是 LUCC 环境效应

的一个重要量化指标。刘纪远等(2009)基于联合国新千年全球生态系统评估(MA)概念框架,提出了系统完整的三江源区草地生态系统评估指标体系,提出了退化草地态势遥感分类系统,以实现大型生态工程实施后年际时间尺度草地生态系统退化态势的分析和评估。王佳丽等(2010)引入了生态系统服务对土地利用变化脆弱性评估方法,分析了生态系统服务对土地利用类型转变、土地利用类型渐变、土地管理方式变化的脆弱性响应机理,以江苏省环太湖地区碳储量为例进行实证研究。石龙宇等(2010)以厦门市为例,通过引入土地利用强度指数,分析当地LUCC过程;参考已有的研究成果,构建生态系统服务价值评估模型,探讨区域整体服务价值的演变过程;并通过土地系统和生态系统二者的耦合变化关系探讨LUCC对生态系统服务的影响过程,以期为城市土地利用规划及生态环境保护工作提供科学支撑。

1.2.1.3 LUCC 的景观生态效应

张银辉等(2005)对内蒙古河套灌区的研究表明,该灌区土地利用变化产生了生境质量下降、边缘效应显著、土地退化和湿地生态环境恶化等景观生态效应。王娟等(2008)在土地利用变化的基础上,以景观干扰指数和土地利用类型的敏感度指数为评价指标,分析了不同研究时段内不同空间范围的景观生态风险变化情况。陈莹等(2009)以太湖上游西苕溪流域为研究区,运用马尔科夫模型和CLUE-S模型,模拟了研究区2020年土地利用的空间格局;在此基础上,通过对斑块类型和景观水平上格局指数的变化分析,揭示研究区未来土地利用/覆被变化及其景观生态效应。高永年(2010)以太湖流域及其一级水生态功能区为研究对象,从景观尺度计算得到了太湖流域及其不同一级水生态功能区景观生态风险值,并在此基础上对太湖流域及其不同一级水生态功能区景观生态风险差异特征进行了比较分析,进而分析了各区景观生态风险与土地利用变化之间的效应关系。

1.2.2 土地利用生态安全研究进展

1.2.2.1 生态安全研究进展

在生态安全内涵方面,最早将环境变化含义明确引入安全概念的学者是莱斯特·布朗。他早在1977年就提出要对国家安全加以重新界定,并在其著作《建立一个持续发展的社会》中指出“目前对安全的威胁,来自国与国之间关系的较少,而来自人与自然之间关系的可能较多”,“土壤侵蚀,地球基本生物系统的退化和石油储量的枯竭,目前正在威胁着每个国家的安全”。Pirages(1997)认为,人类社会与其他物种和微生物在自然环境中协同进化,生态安全是建立在维持人类社会与自然环境四类平衡之上,即人类需求与自然环境系统可持续的承载力的平衡、不同国家和地区间人口数量和增长率的平衡、人类需求与其他物种需求的平衡以及人类与病原微生物的平衡,只有当这四类平衡得以维持时,人类社会的生态安全才可以最大化。Rogers(1997)认为生态安全就是要创造一种状态,使得社会的自然环境在不损害其天然特性的前提下能够满足人类生存与发展的需求。国内有些学者认为“生态安全”是与人类生存、生活相关的环境及自然资源基础(特别是可更新资源)处于良好的状况或不遭受不可恢复的破坏,能够满足人类生存与可持续发展的需求(曲格平,2002;杨京平,2002)。王如松和欧阳志云(2007)进一步丰富了自然—经济—社会复合生态系统生态安全的内涵,认为生态安全首先是自然子系统为人类活动提供的承载、缓冲、孕育、支持、供给能力的安全,主要是人与水(包括水资源、水环境等要

素)、土地、能源、生物、地球化学循环 5 类生态因子耦合形成的生态过程的安全。其次是作为人类生存发展基础的经济子系统为人类提供的生产、流通、消费、还原和调控 5 类生态功能的安全。最后是社会生态关系的安全,涉及个体和群体的生理、心理、生殖、发育以及社会关系健康的人口生态安全。

在研究尺度方面,生态安全研究涉及种群、生态系统、流域、区域、国家等多种尺度。其中区域生态安全是区域和国家可持续发展的基础,是生态安全研究的核心。由于不可分割的自然地理单元属性,流域尺度是生态安全研究的重点。种群的生态安全是生态系统、流域、区域乃至国家生态安全的基石,因此种群生态安全研究是其他尺度生态安全研究的基础。从系统理论的角度考虑,各类生态系统因为具有完整的系统属性,对其结构和功能的生态安全进行研究,辨析系统中存在的生态风险因素,将有利于生态安全预警与设计体系的建设,因此其重要性不容忽视,上述尺度的生态安全研究成果可最终服务于国家尺度的生态安全建设。

在生态安全的测度与评价方面,生态风险和生态系统健康曾被认为是生态安全的基本构成要素,生态安全与生态风险互为反函数,与生态健康互为正比关系(王根绪,2003;关文彬,2003)。生态安全评价的研究视角主要基于两个方面:一是以安全状态为出发点,根据模型选取自然、社会、经济中的有关指标构建评价指标体系对生态安全状况进行评价,这是现阶段学者普遍接受的观点,现有的评价研究也是以此为基础;二是以风险因素为出发点,评价自然因素和人类活动或二者共同作用而产生的随时间变化的生态安全隐患因素对生态安全的影响程度,进而再判断生态安全状况。区域生态安全评价是目前生态安全评价的主要方面,常用的方法有:比较法、部门产出法、最优综合评价法、千年生态系统评价等(王如松,2007;王朝科,2003)。“压力—状态—响应(PSR)”概念框架,以及扩展的“驱动力—状态—响应(DSR)”框架、“驱动力—压力—状态—暴露—影响—响应(DPSEIA)”的概念模型、“驱动力—压力—状态—影响—响应(DPSIR)”指标体系,是目前区域生态安全评价的重要工具(王耕,2007)。

在生态安全预警方面,傅伯杰(1993)提出的区域生态环境预警是对区域资源开发利用的生态后果、区域生态环境质量的变化以及生态环境与社会经济协调发展的评价、预测和警报。他提出了以区域发展的能力作为区域生态环境预警的综合指标,进一步用承载力、稳定性、缓冲力、生产力和调控力作为衡量区域持续发展的能力,选取自然资源、生态破坏、环境污染和社会经济指标建立区域生态环境预警的指标体系,并对我国各省区的生态环境质量进行了预警。王耕等(2008)以辽河流域为例提出预警指数测算方法:确立生态安全状态——隐患综合评价指标体系;采用数学方法计算安全状态指数;采用安全评价方法计算隐患指数;根据多目标决策准则,采用状态指数和隐患指数的并合方法计算预警评价的结果指数。张强等(2010)根据生态安全预警多层次、多维度和动态性的要求,利用可拓综合分析方法,建立了区域生态安全的“状态—胁迫—免疫”(state-danger-immunity, SDI)动态预警模型。运用该模型对陕西省历史年份(1990—2007年)生态安全进行定量评估,并对规划年份(2010年)生态环境进行动态预警。刘欣等(2010)采用模糊优选模型和情景分析模型,选取河北省太行山区为研究区域,对其进行土地资源生态安全预警分析,并定量测度了各敏感因子对生态安全警情的影响程度。

1.2.2.2 土地利用生态安全评价研究进展

生态安全是一个区域的可持续发展不致因生存空间和生态环境遭受破坏而受到威胁的状态。在诸多影响区域生态安全的因素与过程中,土地利用/覆盖及其格局的变化是影响区域生态安全最重要的方面(高清竹, 2006; 谢花林, 2008)。

土地利用生态安全评价是土地生态安全格局构建的基础。目前土地利用生态安全评价研究主要体现在评价指标体系和评价方法两个方面。

建立科学的指标体系与评价标准是土地利用生态安全评价的关键环节,现阶段国内外尚无统一标准的土地资源生态安全评价指标体系,但与此相关的土地质量评价指标体系研究已取得了一些成果,土地资源生态安全评价指标体系的构建提供了基础和借鉴。FAO于1993年发表了《可持续土地管理评价大纲》(FAO, 1993),其中的生态可持续性(ecological sustainability)也就意味着生态安全性(ecological security)的要求。为了更好地掌握土地质量变化及其驱动力,提供土地退化的早期预警和及时发现出现土地质量问题的地区,1995年6月,世界银行(WB)与联合国粮农组织(FAO)、联合国开发计划署(UNDP)及联合国环境规划署(UNEP)共同发起,建立了土地质量指标体系项目研究的全球联盟基础,并发布了《土地质量指标》(World Bank, 1995)。在此基础上,近年来,国内知名学者(如傅伯杰、蔡运龙、陈百明等)从不同角度,选择不同研究区域进行了土地质量指标体系及土地可持续评价指标体系的研究(傅伯杰, 1997; 陈百明, 2002; 蔡运龙, 2003)。

目前土地生态安全评价指标体系研究尚属起步阶段,Zhao等基于P-S-R框架模型,从土地生态压力、土地生态环境状态和土地生态环境响应三个方面进行指标筛选,构建了土地资源生态安全评价指标体系(Zhao, 2006)。李玉平和蔡运龙(2007)则是从土地自然生态安全系统、土地经济生态安全系统和土地社会生态安全系统三个角度选取指标,构建了区域土地资源生态安全评价指标体系。这些研究为区域土地资源生态安全评价指标体系的建立提供了一些思路和尝试。喻锋和李晓兵(2006)在像元水平上对皇甫川流域生态安全进行了综合评价,并重点分析了流域土地利用变化与生态安全的关系,从而为科学地组织人类有序活动、调整和优化土地利用格局,以确保流域生态安全提供理论基础。

目前土地利用生态安全评价方法研究还处在实践和探索阶段,比较常用的方法有以下2种:①综合指数评价法(Zhao, 2006; 李玉平, 2007; Zuo, 2005)。由于土地资源生态安全的评价标准具有相对性和发展性,不同时期或者不同国家和地区,其评价标准也会不同,这给土地资源生态安全评价指标安全阈值的确定带来困难。②土地承载力分析法。目前常用的是传统的土地资源承载力分析方法和近年来兴起的生态足迹法(Huang, 2007)。生态足迹的方法从一个新的角度阐释了人类及其发展与资源环境的关系,其定量化程度高,可用较少的因素定量测算生态承载力状况,但因无法考虑生态承载力复杂因素间的作用,同时单纯以人类对自然资源的占有与利用角度分析系统的承载力水平,因而难免有些缺憾(王根绪, 2003)。

综上所述,目前土地利用生态安全评价研究还不够完善,提出的评价指标体系是面向整个区域,有些指标不能在体现像元水平上,评价结果不能较好地为土地生态安全格局服务。此外,针对某些区域(如南方红壤丘陵区、喀斯特地区)的土地利用生态安全评价指标体系和评价标准研究还较少,有待于进一步补充完善。

1.2.2.3 面向生态的土地利用格局研究进展

以土地资源可持续利用为导向的区域土地利用结构优化研究中,生态因素已成为重要的约束条件和优化目标,生态安全的理念也开始在土地利用结构优化中得以体现。

在面向生态的土地利用结构优化方面, Makowski (2000) 以欧共体农用土地资源面临的最主要的污染问题为导向,以氮流失量最小为规划目标,建立了欧共体农业土地利用结构优化模型。Herrmann (1999) 应用系统工程方法,以土壤肥力、地下水质量、地表水、群落生境和景观五个方面选取指标作为生态约束条件,进行乡村土地利用结构优化设计。结合土地资源可持续利用研究,我国学者也开始了面向生态的土地利用结构优化方法的探讨。徐学选 (2001) 应用线性规划模型,以土壤侵蚀量作为生态约束条件,探讨了黄土丘陵区生态建设中农林牧土地结构优化模式。林彰平 (2002) 针对生态脆弱的东北农牧交错带的主要生态问题,提出了生态安全条件下土地利用模式优化研究的概念框架,并采用灰色线性规划模型,以生态效益最佳为目标,探讨了以生安全为目标的农牧交错带土地利用结构优化方法。岳耀杰 (2006) 基于遥感影像解译和 GIS 技术,制定并实施了土地利用结构优化技术规程、沙区分步优化判定层次标准、对沙区土地利用分类和生态安全评价等,可以对沙区土地高效利用提供技术支持和优化范例。

另外,刘艳芳等 (2002) 对基于绿当量的最佳森林覆盖率标准的生态优化方法进行了探讨。对生态标准的量化引入了“绿当量”的概念,在考虑耕地与草地的生态服务价值的基础上,引入森林与耕地、草地之间基于“绿量相当”的面积换算关系,定量测算出该类用地的生态绿当量。针对不同的区域,根据区域降水量、土壤饱和蓄水能力以及土壤自然含水量来计算区域最佳森林覆盖率,并以此作为该地区生态优化的目标,这对于土地利用优化中关于生态标准的量化探讨有着重要的启发意义,但对土地利用结构生态标准的衡量指标只取了森林覆盖率,这种选取还不尽全面,有待进一步完善。

综上所述,我国的土地利用结构优化研究多关注土地利用数量结构的生态优化(如林地覆盖率、坡耕地比例等),却忽视了土地利用空间格局对诸多生态过程的影响,如地表水的径流、侵蚀,物种的多样性,以及干扰的传播或边缘效应等。结构和功能、格局与过程之间的联系与反馈是景观生态学的基本命题 (Liu, 2002; Turner, 1999; Lenz, 1995; Vuilleumier, 2002)。景观生态学的一个最基本假设是空间格局对过程(物流、能流和信息流)具有重要影响,而过程也会创造、改变和维持空间格局 (Wu, 2002, 2004)。景观生态学中的最优景观格局原理和生态安全格局原理为土地利用结构优化提供了重要的途径 (Forman, 1995; Yu, 1996; Opdam, 2002; 张虹波, 2006; 马克明, 2004)。

近年来有些学者提出了土地利用安全格局的新概念,它是指能够满足和保障区域土地资源生态安全的土地利用格局 (张虹波, 2006; 马克明, 2004)。不同的地区面临的主要生态问题不同,生态安全条件也不同,应该从区域实际生态问题角度出发,探讨土地生态安全格局的构建方法。目前,国际上较多关注的是由化肥所造成的土地污染问题,并多以小流域为研究尺度, Seppelt (2002, 2003) 以美国南部 Hunting Creek 小流域为试验区,以控制化肥引起的污染问题为目标,应用 GIS 以及景观空间分异模型设计了土地利用空间配置方案和化肥施用量最大标准分布。Allan (2002) 以保护区域水质为目标,应用 GIS 和缓冲区设计方法,建立了小流域土地利用格局优化模型。杨子生 (2003) 在针对山区土地资源面临水土流失严重的生态问题,设计了基于允许土壤流失量条件下的土地生态安全格

局。牛振国(2002)应用GIS在对主要生态水文过程模拟的基础上,建立了土地利用最小耗费表面模型,为荒漠化地区土地生态安全格局设计提供新的思路。张红旗(2003)针对红壤地区土壤侵蚀严重的问题,将GIS技术与线性规划模型有效结合,通过限制某些可能加剧土壤侵蚀的农作物的空间配置来实现土地利用安全目标。刘彦随等(2001)从要素控制、地段设计到系统模式优化的不同层次,提出了三峡库区土地生态设计模式与措施。高清竹等(2006)针对黄河中游砒砂岩地区水土流失、干旱缺水 and 生物多样性降低等生态问题,运用多目标规划方法和GIS手段,进行了丘陵沟壑区土地生态安全格局设计。此外,陈利顶(2007)、马克明(2006)和俞孔坚等(1996)探讨了区域生态安全格局构建的原理和方法,这对于土地利用生态安全格局研究具有重要的借鉴作用。

1.2.2.4 土地生态安全格局构建方法研究进展

由于土地生态安全格局的问题从本质上说是利用景观生态学原理解决土地合理利用的问题,随着景观生态学原理日益渗透到土地合理利用的问题中,格局优化成了土地利用规划的核心内容(Guan, 2003)。

传统的直接来自于景观格局优化的土地生态安全格局构建方法,如线性规划、灰色系统规划、层次分析法、系统动力学模型等,缺乏定量的空间处理功能,难以刻画景观要素空间上水平方向的相互作用(张惠远, 2000; 秦向东, 2007)。为了体现景观生态学对格局优化的要求,人们越来越求助于空间直观模型。国外比较成功的案例有Seppelt等(2002, 2003)对农业土地利用格局优化的研究,其中的优化模型建立了不同管理措施下的养分平衡,构建的优化判别标准考虑到了经济和生态两方面的因素,如农民的农业收入,流域的氮流失。这个优化模型通过计算优化不同土地利用方式和施肥措施下的最大产出值作为判别标准,建立了一个空间直观的动态生态系统模拟模型进行数量模拟,利用基于随机过程的蒙特-卡罗方法来模拟检测优化结果的可信度。

土地生态安全格局的构建方法经历了由定性分析评估到定量计算、由静态优化到动态模拟、由固定条件下的孤立寻优到可变条件下的趋势分析、由数量配置为主到预测空间变化的过程,定量、可变、动态的空间模拟将是土地生态安全格局设计研究的主要方式。

土地利用格局变化与生态过程改变互为因果,了解局部演变时空规律及其演变驱动机制是结合生态过程进行土地利用格局分析和优化的前提与基础。但现阶段对土地利用格局、过程和功能相互作用的研究还不够成熟,还不能满足对土地生态安全格局设计的理论指导要求。

将上述两方面结合起来看:一方面土地生态安全格局对动态的空间模拟提出越来越高的要求;另一方面空间模拟迟迟得不到景观尺度上定量化规律的有力支持,使得传统“自上而下”的优化思路难以依靠模型实现自动化;要在目前景观生态学的基础研究水平上解决这个矛盾,似乎只有采纳复杂性科学所倡导的复杂性研究方法——“自下而上”的构模方法,针对特定的生态过程,将生态过程结合到格局分析中。

在这方面,元胞自动机具有天然优势。基于元胞自动机的空间直观模型不关心景观尺度上定量化的规律,而是直接在较低的一个尺度上,从景观组成单元入手,模拟它们的状态和局部相互作用,即能在总体上表现土地利用格局的演变过程。这也是基于元胞自动机的空间直观模型在模拟土地利用空间格局与过程相互作用的研究中被广泛应用的主要原因(邬建国, 2000)。

目前国外已有一些学者基于 CA 进行土地利用规划的研究。例如, Strange 等(2002)发展了一种基于元胞自动机(CA)的进化优化算法,它能够有效解决造林规划的空间决策问题。Mathey 等(2005, 2007)通过设计一种基于 CA 的进化算法整合了时间和空间目标,探索了一种协同演化的元胞自动机模型,用于空间显现自然动态过程的森林规划。Mathey 等(2005, 2007)整合了时间和空间目标探索了一种协同演化的元胞自动机模型用于空间显现自然动态过程的森林规划。Stevens 等(2007)探讨了基于 GIS 和 CA 的城市规划决策模型。

近年来国内也有部分学者开始尝试运用 CA 探讨土地利用格局的优化问题。Chen(2008)在综合使用“自上而下”的灰色线性规划(GLP)方法和“自下而上”的元胞自动机(CA)方法的基础上,建立了土地利用格局优化模拟模型,进行了中国北方农牧交错带生态安全条件下的土地利用格局优化模拟研究。刘小平等(2007)提出了基于“生态位”的元胞自动机(CA)的新模型,并探讨了如何通过“生态位”元胞自动机和 GIS 的结合进行城市土地可持续利用的规划。该模型可方便地探索不同土地利用政策下城市土地利用发展情景,能够为城市规划提供有用的决策支持。杨小雄等(2007)探讨了元胞自动机模型在政策及相关规划约束、邻域耦合、适宜性约束、继承性约束及土地利用规划指标约束下的土地利用规划布局的元胞自动机模型,并以广西东兴市为例进行了模型的仿真研究。

综上所述,传统的土地生态安全格局设计方法大多停留在指标相互作用关系的静态设计上,且难以定量地考虑格局的空间优化。以空间显式模型为核心的格局模式,真正触及了土地利用格局的形成机制,并体现了景观生态学强调水平方向生态学过程的特征。因此,通过模拟格局演化来进行设计的客观性和自动化程度较高,而且模拟演化过程本身就验证了生态安全方案的效果和可实现性。

1.2.2.5 区域土地安全格局研究展望

(1) 面向生态安全格局设计的生态安全评价方法与模型研究

近年来提出土地利用系统的生态安全评价指标体系构建问题,但是相应的以此为基础的基于生态安全评价的土地利用安全格局设计并不多见。根据土地利用和生态安全之间的关系,在像元水平上选取体现空间特征的评定指标,量化生态安全指标标准,建立面向生态安全格局设计的土地利用生态安全评价方法和模型,为土地生态安全格局构建提供服务。

(2) 不同类型生态脆弱地区的土地生态安全格局研究

根据黄土高原区、南方红壤丘陵区、西北干旱区、沙区和喀斯特地区等不同类型生态脆弱地区的特点,对区域生态安全问题进行诊断和分析,找出区域生态安全所面临的关键问题和影响因素,探求维护区域生态安全的关键性要素和过程,进行不同类型生态脆弱地区的土地生态安全格局研究。

(3) 土地生态安全格局的空间显式模型研究

土地利用安全格局的设计方法经历了由定性分析评估到定量计算、由静态设计到动态模拟、由固定条件下的孤立寻优到可变条件下的趋势分析、由数量配置为主到预测空间变化的过程,定量、可变、动态的空间模拟将是土地利用安全格局设计研究的主要方式。通过模拟格局演化可验证生态安全方案的效果和可实现性。基于元胞自动机的空间直观模型