



农牧交错区

土地利用安全格局 与农业产业结构优化

谢花林 著

NONGMU JIAOCUO QU

TUDI LIYONG ANQUAN GEJU

YU NONGYE CHANYE JIEGOU YOUHUA

中国环境科学出版社

国家自然科学基金项目（40801106）

农牧交错区土地利用安全格局 与农业产业结构优化

谢花林 著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

农牧交错区土地利用安全格局与农业产业结构优化/
谢花林著. —北京: 中国环境科学出版社, 2008
ISBN 978-7-80209-800-8

I. 农… II. 谢… III. ①土地利用—研究—翁牛特旗②农业经济—产业结构—研究—翁牛特旗
IV. F321.1 F327.264

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 131961 号

4

责任编辑 张维平
责任校对 刘凤霞
封面设计 龙文视觉

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

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2008 年 11 月第 1 版
印 次 2008 年 11 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 9.75
字 数 215 千字
定 价 28.00 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

我国北方农牧交错区处在东部季风区与青藏高原高寒区之间的过渡地带，在空间上它从东北向西南延伸，在环境上它从东南向西北更替，由于其特殊的自然环境条件和地带界面作用的生态特征，所以，它是我国陆地环境最敏感、生态环境最脆弱的地区。它既不同于西部牧区，也不同于东部农区，在地理、气候、农林牧产业结构、生态、经济、文化、社会等方面具有特殊地位，因此，也被称为经济发展的第二条黄金带、农林牧系统最佳耦合带、国家生态安全带等。

近几十年来，由于人口的增加以及不合理的土地利用（如“滥垦、滥牧、滥伐”现象），使得农牧交错带草地退化严重，生产力急剧下降，进而导致沙尘暴频发，水土流失严重及荒漠化面积扩大等一系列生态问题，已严重制约了当地农牧业的可持续发展。因此，进行生态安全条件下的土地利用格局和农业产业结构优化研究，探索农牧交错带典型生态脆弱区土地利用和农业产业结构的优化模式，对于地处这一生态脆弱带的相同类型区生态环境建设和农业产业结构调整具有重要的理论和实践意义。

本书选择我国北方农牧交错带的一个典型区域——内蒙古翁牛特旗作为研究对象，通过野外实地考察和调查，利用遥感和地理信息系统手段与空间统计学等方法，从分析区域现状的生态经济背景入手，研究了区域土地利用格局变化的多尺度空间特征，基于景观结构探讨了区域的生态风险状况。在此基础上，运用 RS 和 GIS 手段，并结合层次分析法和专家咨询法等系统工程方法，从土地沙化安全方面和土壤侵蚀安全方面选取了若干指标，构建了生态安全综合指数，综合评价了区域的生态安全状况。借助景观生态学理论，运用多目标规划和 GIS 手段，对土地利用安全格局进行了优化配置。然后，从土地利用安全格局、水资源安全、粮食需求安全和农田土壤养分平衡等方面构造约束条件，建立农业产业结构优化模型，借助多目标优化方法，进行农业产业结构的优化研究。最后，运用归纳总结法，探讨了研究区的优化生态—生产范式，提出了范式实施的相关战略举措，为优化结果的顺利实施提供保障。

本书是在作者的博士学位论文基础上整理而成的，首先要感谢我的导师张新时院士，虽然不能时常在先生的身边聆听教诲，但每一次谈话都让我受益匪浅。先生亲自领队考

察论文的研究区，分析论文的选题背景和意义。最让我感动的是先生抱病审阅博士论文的初稿，在此向他致以最崇高的敬意和谢意。先生治学严谨、知识渊博、勇于探索、平易近人、言谈举止大家风范，是我终身学习的榜样。李波副教授亦师亦友，学业上耐心指点，生活上更是无微不至地关怀。三年来，从论文选题、野外考察、论文撰写、修改到定稿的每一步，无不倾注着两位老师的心血和汗水。

中国农业大学土地资源管理系刘黎明教授（我的硕士导师）始终鼎力支持和关心我，每当我遇到什么重大事情，总会想到刘老师。刘老师的支持和鼓励使我顺利地克服了一个又一个困难。刘老师在我来京求学和成长的六年道路上，给予了太多太多的教诲和帮助，在此向他表示最诚挚的感谢，我将加倍努力来回报三位老师多年来的培养和关心。

特别要感谢翁牛特旗政府办田春雨大哥、翁牛特旗农牧局徐永生局长和土肥站陆天祥站长，他们在野外考察和资料收集给予了极大的帮助，使论文得以顺利完成。此外，在野外考察、资料收集过程中，还得到赤峰市邹德华副秘书长、翁牛特旗政府办刘增银秘书、孙宝才秘书，农牧业局沈国强主任、乌双图，桥头镇毕明道副镇长，林业局的副主任、水务局王富林副主任，杜家地乡水管站刘振岭，国土局李云涛副局长等的大力支持，在此表示衷心的感谢。

唐海萍教授在学业和生活上也给予了许多的帮助和指导，在此向她表示最诚挚的谢意。感谢北京师范大学资源学院的李晓兵院长、高琼教授、康慕谊教授、江源教授、赵文武老师。

此外，还要特别感谢我爱人王鹏及其亲人，由于宝贝儿子谢烨东的出生，你们付出了太多的心血和汗水，在此对你们表示深深的谢意和爱意；同时还要谢谢你们的理解和支持。你们的关心、理解和支持是我顺利完成学业和继续努力工作的前提和动力源泉。

在此特别要感谢江西财经大学资源与环境管理学院的孔凡斌院长及其他各位领导和老师，由于学院经费的大力支持，此书才得以正式出版。

对中国环境科学出版社张维平编审和有关校稿人员在出版期间所付出的辛勤劳动，作者深表谢意。

由于土地利用安全格局和农业产业结构优化研究还处在探索阶段，其理论和方法还不成熟，再加上作者能力有限，书中不免会有欠妥之处，我诚请读者不吝斧正。

谢花林

2008年5月28日于江西财经大学蛟桥园

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 研究的背景	1
1.2 相关研究进展	2
1.2.1 生态安全研究进展	2
1.2.2 优化生态—生产范式研究进展	3
1.2.3 土地利用格局优化研究进展	5
1.2.4 小结	9
1.3 研究目的及意义	10
1.3.1 研究目的	10
1.3.2 研究意义	10
1.4 研究内容	11
1.4.1 土地利用格局和农业产业结构优化的生态经济背景分析	11
1.4.2 土地利用格局变化特征及其生态风险分析	11
1.4.3 土地利用安全格局的构建	11
1.4.4 生态安全条件下的农业产业结构优化	11
1.4.5 优化生态—生产范式说明	11
1.5 技术路线和研究方法	12
1.5.1 技术路线	12
1.5.2 研究方法	13
主要参考文献	13
第2章 研究区域概况	17
2.1 研究区位置	17
2.2 自然概况	18
2.2.1 地质地貌	18
2.2.2 气候概况	18
2.2.3 植被概况	18
2.2.4 水文概况	19
2.2.5 土壤概况	19
2.3 社会经济概况	19
2.3.1 经济发展水平概况	19
2.3.2 交通概况	19

2.3.3 农业企业概况	20
2.4 主要的生态问题	20
2.5 研究区生态环境研究现状	21
2.6 小结	22
主要参考文献	23
第3章 土地利用格局和产业结构优化的生态经济背景分析	24
3.1 自然环境特征分析	24
3.1.1 气候变化特征分析	24
3.1.2 土壤理化性质分析	30
3.1.3 水资源供需状况分析	37
3.2 土地利用结构变化特征分析	37
3.2.1 研究方法	37
3.2.2 结果与分析	39
3.2.3 结论	42
3.3 社会经济特征分析	42
3.3.1 社会经济时间变化特征分析	42
3.3.2 社会经济空间差异分析	44
主要参考文献	49
第4章 土地利用格局变化特征及其生态风险分析	51
4.1 土地利用格局变化的多尺度空间自相关分析	51
4.1.1 引言	51
4.1.2 数据来源和研究方法	52
4.1.3 结果分析	56
4.1.4 结论与讨论	63
4.2 土地利用格局变化驱动力分析	63
4.2.1 引言	63
4.2.2 数据获取和研究方法	64
4.2.3 结果分析	68
4.2.4 结论与讨论	73
4.3 基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析	74
4.3.1 研究方法	74
4.3.2 结果与分析	76
4.3.3 结论	80
主要参考文献	81
第5章 土地利用安全格局的构建	83
5.1 土地利用格局的生态安全评价	84

5.1.1 生态安全评价研究现状	84
5.1.2 土地利用生态安全评价指标体系的构建	84
5.1.3 生态安全评价结果	88
5.1.4 小结	93
5.2 农业生态经济分区	94
5.2.1 引言	94
5.2.2 生态经济分区原则、指标和方法	94
5.2.3 农业生态经济分区概述	96
5.3 生态安全条件下的土地利用格局优化配置	101
5.3.1 土地利用格局优化原则	102
5.3.2 决策变量	102
5.3.3 各农业生态经济区耕地、草地、林地最大可能分布面积	103
5.3.4 土地利用格局多目标优化的目标函数	104
5.3.5 土地利用格局多目标优化的约束条件	104
5.3.6 土地利用格局多目标规划模型求解	106
5.3.7 土地利用结构优化的空间配置	107
5.3.8 土地利用安全格局的评价	108
5.3.9 小结	109
主要参考文献	110
第 6 章 生态安全条件下的农业产业结构优化	112
6.1 农业产业结构现状评价	112
6.1.1 评价体系	112
6.1.2 结果与分析	113
6.1.3 小结	116
6.2 生态安全条件下的农业产业结构优化	116
6.2.1 优化的原则	117
6.2.2 农业产业结构调整优化模型	117
6.2.3 农业产业结构调整优化的多目标函数	124
6.2.4 农业产业结构多目标优化的约束条件	125
6.2.5 农业产业结构优化的运算和结果分析	128
6.2.6 结论	131
主要参考文献	131
第 7 章 优化生态—生产范式说明	133
7.1 翁牛特旗生态—生产范式功能带配置	133
7.1.1 翁牛特旗东部平原沙地生态保育和高效产业带	134
7.1.2 翁牛特旗低山丘陵舍饲养畜和林灌草带	136
7.1.3 翁牛特旗西部中山台地林灌草生态保育带	137

7.2 翁牛特旗生态—生产范式实施的相关战略举措	138
7.2.1 以畜牧业为主导产业，转变经营方式，大力发展水浇地种草	138
7.2.2 以草业为龙头，优化整合农业产业链	139
7.2.3 农牧耦合，突出资源优势，全面推进有机农业生产	140
7.2.4 生态建设产业化，产业发展生态化	140
7.3 小结	142
主要参考文献	142
 第8章 主要结论与研究展望	143
8.1 主要结论	143
8.1.1 生态经济背景	143
8.1.2 土地利用格局变化空间特征及其生态风险	144
8.1.3 土地利用安全格局的构建	145
8.1.4 生态安全条件下的农业产业结构优化	145
8.1.5 优化生态—生产范式说明	146
8.2 研究展望	146
8.2.1 土地利用格局变化特征及其生态风险方面	146
8.2.2 土地利用安全格局方面	147
8.2.3 农业产业结构优化方面	147

1.1 研究的背景

自赵松乔 1953 年在《察北、察盟及锡盟一个农牧过渡地区经济地理调查》一文中提出农牧交错带以来,由于其有着不容忽视的科学和政治意义,已引起了众多学者的关注,被认为是研究群落界面作用、物种多样性和对全球变化响应的理想地带^[1-4]。北方农牧交错带处在东部季风区与青藏高原高寒区之间的过渡地带,在空间上它从东北向西南延伸,在环境上它从东南向西北更替,由于其特殊的自然环境条件和地带界面作用的生态特征,所以,它是我国陆地环境最敏感、生态环境最脆弱的地区。它既不同于西部牧区,也不同于东部农区,在地理、气候、农林牧产业结构、生态、经济、文化、社会等方面具有特殊地位,因此,也被称为经济发展的第二条黄金带、农林牧系统最佳耦合带、国家生态安全带等^[5]。

近几十年来,由于人口的增加以及不合理的土地利用(如“滥垦、滥牧、滥伐”现象),使得农牧交错带草地退化严重,生产力急剧下降,进而导致沙尘暴频发,水土流失严重及荒漠化面积扩大等一系列生态问题,已严重制约了当地农牧业的可持续发展。据新华社报道^[6]:因过度开垦和过度放牧,农牧交错带 57.47 万 km² 的草地中,八成以上出现不同程度的退化;该地区荒漠化土地面积已占全国荒漠化土地总量的 45%,已成为我国自然植被破坏最严重的区域;由于土地沙化、盐碱化和草地退化现象严重,农牧交错带的生产、生活条件十分恶劣,农牧业生产水平低而不稳;据不完全统计,农牧交错带中段的 75 个旗、县中有 61 个为贫困县,其中国家重点扶持的贫困县为 16 个。

随着人民生活水平的提高,对肉、奶等食品的需求将进一步扩大。如果农牧交错带仍保持现状,不进行产业结构的调整和土地利用格局的合理优化配置,以提高农牧业生产的管理水平和科技含量,农牧交错带草畜不平衡的矛盾将进一步加剧,不仅会使农牧交错带内农民的生活水平得不到提高,而且生态环境也将进一步恶化。就农牧交错带而言,要取得资源的永续利用,首要的就是调整畜牧业和种植业两大系统的框架结构,使其互补、耦合,协调处理好两大系统的关系。因此,如何进行土地利用格局的优化配置和产业结构的调整优化,尽快恢复受损的生态环境,真正营造一个人与自然协调发展、健康持续的生态环境,实现生态与经济协调发展,是摆在我们面前的重任。

由于人工草地种植一方面可以提高草地生产力,解决冬季家畜的饲草紧缺问题,减轻天然草地的承载压力,使天然草地植被得以恢复;另一方面土壤可以积累有机质,改

善土地肥力,使土壤有机质提高 50%以上。因此,将牧草引入农田,农田系统转换为草地系统,既能稳产高产,又可保持水土,减轻风蚀沙化危害,同时作为畜牧业的基础会成为系统耦合的机遇。因此,需要建立产业结构调整优化模型来论证在农牧交错带大力发展人工草地和饲料地生态和经济上的优越性,在生态安全的条件下,进行土地利用格局和农业产业结构的优化,来保障区域的生态安全。

本书以处于科尔沁沙地西缘农牧交错带的典型区域——翁牛特旗为研究对象,该区沙化、水土流失严重,生态环境恶劣,已成为发展经济、改善人民生存环境的严重制约因素。本书以生态系统管理的理念为出发点,在区域生态风险分析和土地利用生态安全评价的基础上,来优化区域的土地利用格局,构建土地利用生态安全格局;然后在土地利用安全格局和保障区域水资源安全、粮食需求安全、农田土壤养分安全的基础上,构建农业产业结构优化模型,来优化调整研究区农业产业结构,从而论证通过产业结构的调整,大力发展人工草地和饲料地,人工草地替代天然草原的生产功能,使农牧交错带天然草原的生态功能得以恢复的生态经济效益,解决长期以来农牧交错带草畜不平衡的矛盾,从而使农牧交错带植物生产系统和动物生产系统耦合,生态与经济协调发展。

1.2 相关研究进展

1.2.1 生态安全研究进展

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,使得生态环境问题已逐步成为生态安全问题,并且越来越受到人类的高度重视。生态安全研究已经成为当前地学、资源与环境科学以及生态学研究的前沿任务和重要领域。生态安全研究的主要内容包括生态系统健康诊断、区域生态风险分析、景观安全格局、生态安全监测与预警以及生态安全管理、保障等方面。目前国内外对生态安全的研究主要表现在以下几个方面。

(1) 生态安全的内涵

早在 1989 年,国际应用系统分析研究所就提出要建立优化的全球生态安全监测系统,并指出生态安全的含义是指在人的生活健康安乐基本权利、生活保障来源、必要的资源、社会秩序和人类适应环境变化的能力等方面不受威胁。郭中伟^[7]则从生态系统的角度定义生态安全,认为生态安全是指一个生态系统的结构是否受到破坏,其生态功能是否受到损害。肖笃宁等^[8]认为生态安全是人类在生产、生活与健康等方面不受生态破坏与环境污染等影响的保障程度,包括饮用水与食物安全、空气质量与绿色环境等基本要素。

2000 年 11 月 26 日国务院发布的《全国生态环境保护纲要》指出“生态安全是国家安全和社会稳定的一个重要组成部分”。所谓国家生态安全,是指一个国家生存和发展所需的生态环境处于不受或少受破坏与威胁的状态。曲格平先生认为生态安全:一是防止生态环境的退化对经济基础构成威胁,主要指环境质量状况和自然资源的减少、退化,

削弱了经济可持续发展的支撑能力；二是防止环境问题引发公众的不满，特别是导致环境难民的大量产生，影响社会稳定。崔胜辉等认为生态安全是指人与自然这一整体免受不利因素危害的存在状态及其保障条件，并使得系统的脆弱性不断得到改善。生态安全的本质有两个方面，一个是生态风险，另一个是生态脆弱性。生态安全的科学本质是通过脆弱性分析与评价，利用各种手段不断改善脆弱性，降低风险。

（2）生态系统健康诊断

生态系统健康是指一个生态系统所具有的稳定性 and 可持续性，即在时间上具有维持组织结构、自我调节和对胁迫的恢复能力^[9]。Costanza^[9]从系统可持续性能力的角度，提出了描述系统状态的三个指标：活力、组织和恢复力及其综合评价。其中，活力指系统的活性、代谢及初级生产力，组织结构指生态系统组成及途径的多样性，恢复力指生态系统维持结构与格局的能力。这是目前被普遍接受的生态系统健康指标，同时也较为全面，并与生态系统健康的概念和原则较为相符^[10-11]。目前对生态系统健康研究主要集中在水生生态系统、湿地生态系统方面^[12-13]，在一些陆地生态系统（森林、农业生态系统等）也进行过生态系统健康研究^[14-15]。

（3）生态风险分析

生态安全研究是从生态风险分析发展而来，安全与风险互为反函数，生态风险是指特定生态系统中所发生的非期望事件的概率和后果，如干扰或灾害对生态系统结构和功能造成的损害，其特点是具有不确定性、危害性与客观性^[8]。生态风险的研究内容主要包括危害评价（Hazard），暴露分析，受体分析和风险表征^[16]。此外，有些学者基于景观结构进行了区域生态风险分析^[17]。

（4）生态安全格局

区域生态安全格局（the Regional Pattern for Ecological Security, RPES）是针对区域生态环境问题，在排除干扰的基础上，能够保护和恢复生物多样性，维持生态系统结构和过程的完整性，实现对区域生态环境问题有效控制和持续改善的区域性空间格局^[18]。Forman^[19]提出区域生态安全格局设计的5个步骤：背景分析；总体布局；关键地段识别；生态属性规划；空间属性规划。景观中存在着某种潜在的空间格局，它们由一些关键性的局部、点及位置关系所构成。这种格局对维护和控制某种生态过程有着关键性的作用，这种格局被称为安全格局（Security Patterns, 简称 SP）^[20]。俞孔坚^[20]通过对生态过程潜在表面的空间分析，可以判别和设计景观生态安全格局，从而实现对生态过程的有效控制，并以广东丹霞山风景区内的生物保护规划为例，探讨生态安全格局的理论与方法。

此外，方创琳^[21]分析了西北干旱区生态安全系统监控机理，提出了干旱区生态安全系统结构监控与功能监控的思路与方向。

1.2.2 优化生态—生产范式研究进展

张新时^[22]在《草地的生态经济功能及其范式》一文中最早提出了优化生态—生产范式的概念，他指出：根据草地景观（地形、气候、植被、土壤、基质、水文等因子的结合）的有规律重复出现的复合体及其能流与物流的运转途径，合理地配置土地利用类型与管理方式，以发挥其最大或最佳的生态功能、生产潜力与经济效益，亦即可持续农业的优化生态—生产范式（optimized eco-productive paradigm）。这里所谓“优化”是指农林草（牧）

系统配置的科学合理、高效优质、持续稳定、协调有序；“生态”是指生态系统的结构、食物链关系、生物地球化学循环与生物地球物理过程；“生产”是指生产力与产业的形成；“范式”是指生态管理系统、区域性景观格局与功能带组合配置的范例。范式是因地因时而异的。目前国内提出的优化生态—生产范式有：蒙古高原草原范式，鄂尔多斯高原沙地“三圈”范式，荒漠山地—盆地范式，黄土高原范式，农牧过渡带范式和城郊区范式。

（1）蒙古高原草原范式

张新时^[22]简要概括了内蒙古高原的优化生态—生产范式：由于内蒙古高原是一片平缓起伏的辽阔高原，其上存在着几层夷平面，海拔高度在 960~1 000 m 的低夷平面是主要的放牧草地；1 200~1 400 m 的较高夷平面的高台地或丘陵顶部用作刈草地；在高原面上下切的河谷阶地、滩地与丘间洼地，因受水流浸润而生长着草甸植被，适于建立人工草地。由此，内蒙古草原范式的基本框架就是：放牧场—刈草地—人工草地。

（2）鄂尔多斯高原沙地“三圈”范式

张新时^[22]根据鄂尔多斯高原的三级地形和一级地貌，构建了鄂尔多斯高原沙地的优化生态—生产范式，称为“三圈”模式。第一圈为滩地绿洲高效复合农业圈，第二圈为软梁台地径流（集雨）林灌草圈，第三圈为硬梁/流沙地灌草防护圈。

（3）荒漠山地—盆地范式

新疆天山北部的山盆系统是由山地植被垂直带系统和荒漠盆地的同心环形（地质—地貌）植被地带所构成，该系统包括 3 个“圈”和 9 个“带”^[23]。在此基础上，提出的“山地—绿洲—过渡带—荒漠生态—生产范式”，以山地和荒漠盆地的植被地带为框架、以贯穿和联系着这一系列环带的生物地球化学循环、生物地球物理过程和生物地球社会经济关系为驱动因素，建立起以可持续农业与生态保育为目的的、优化的土地覆盖与土地利用结构和格局^[23]。

（4）黄土高原范式

孔正红^[24]在全面分析黄土丘陵沟壑区生态—经济敏感带的自然环境、社会经济环境的基础上，强调小流域景观单元的空间异质性和等级特点，主要包括以村庄为中心的高效农业生产圈层结构模式、坡面梯状生态经济带建设模式、流域生态—经济水平生产模式、流域之间高效能物流点—轴发展模式以及流域与外界环境的核心—边缘发展模式。

赵海霞^[25]在区域、小流域、立地三个尺度上对黄土高原北缘的黄甫川流域景观进行了分析，得出黄甫川流域的生态—生产范式：黄土丘陵区为人工林、灌、草饲料饲草生产基地；沙化黄土丘陵区为防风固沙与人工灌草生态—生产结合带；砒砂岩丘陵区为封育恢复水土保持生态建设基地。

（5）农牧过渡带范式

娄安如^[26]以处于北方农牧交错带山盆系统的怀来县为例，将怀来县以官厅水库为中心，划分为了三个生态功能带（具体划分指标有地形、海拔高度与山体坡度），即山地生态保育带、丘陵农牧生态过渡带和河川高效经济产业带。

赵云龙^[27]对怀来山盆系统“山间盆地—低山丘陵—中山山地”生态—生产范式进行了说明，即怀来山盆系统包括山间盆地、低山丘陵和中山山地 3 个“圈”和其下的官厅水库、环库水源保护带、河谷平原高效农业经济带、低山丘陵舍饲养畜和人工林（果园）灌草带及中山山地林灌草生态保育带 5 个“带”。

(6) 城郊区范式

张峰^[28]以北京郊区昌平为例,探讨了大城市郊区的优化生态—生产范式:在北京生态建设与保育的“三圈”格局背景下,基于研究区的产业与经济结构现状,土壤养分状况和自然地理分异规律,进行了景观分区;提出了城郊区发展的功能定位(生态功能、教育创新功能、生活功能)。

1.2.3 土地利用格局优化研究进展

土地是一种自然—经济综合体,具有自然和经济的双重属性;作为一种特殊资源,本身具有价值和使用价值,而且是环境的组成部分,具有生产性、区域性、动态性、可更新性、多功能性、有限性和不可替代性等特性;作为一种资产,具有商品、产权、增值和不动产等特性。由于人类不当的土地利用,导致水土流失、土地沙漠化、次生盐碱化、土地污染等土地退化问题越来越严重,威胁着人类的生存。因此,实现土地资源的合理利用是促进社会经济与环境协调发展,建立人与环境和谐关系的重要举措。土地可持续利用的表现形式之一,即对土地资源进行合理的开发、使用、治理、保护,并通过一系列的手段组织协调人地关系及人与资源、环境的关系,从某种意义上讲,土地资源可持续利用即是土地利用的优化配置。农业生产实际上是土地资源的分配过程,土地的配置结构反映了农业的分配结构。因此,土地资源的优化配置是农业可持续发展的核心问题之一。它对于保护生态环境和指导农业生产具有极其重要的意义。所谓土地利用结构优化配置,就是为了达到一定的生态经济最优目标,在分析区域经济社会发展水平和土地利用管理方式对土地利用的影响后,依据土地资源的自身特性和土地适宜性评价,对区域内土地资源的各种利用类型进行更加合理的数量安排和空间布局,以提高土地利用效率和产出率,维持土地生态系统的相对平衡,实现土地资源的可持续利用。国内外对土地利用格局优化的研究主要集中在以下几个方面。

1.2.3.1 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。

土地利用生态安全评价是土地利用安全格局构建和土地利用模式优化的基础^[29]。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资源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》,其中的生态可持续性(Ecological Sustainability)也就相当于生态安全性(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》。在此基础上,近年来,许多学者从不同角度、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^[30]。

目前土地资源生态安全评价指标体系研究尚属起步阶段,李茜和任志远^[31]基于 P-S-R 框架模型,从土地资源生态压力、土地资源生态环境状态和土地资源生态环境响应 3 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;李玉平^[32]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 3 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^[33]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。

目前土地资源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几种:①综合指数评价法^[31-32]。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。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。

综上所述,目前土地利用生态安全评价研究还不够完善,提出来的评价指标体系是面向整个区域,有些指标不能体现在像元水平上,不能较好地为土地利用格局优化服务。

1.2.3.2 面向生态的土地利用优化研究进展

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^[34]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^[35]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 5 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。朱连奇^[36]应用线性规划模型,将林地面积达到 70%,农田绿化率面积达到 80%作为生态约束条件,建立了德化县农业用地结构优化模型。姜炳三^[37]应用多目标规划模型,并以林地和草地不减少,植被覆盖率达到最大来作为生态约束条件,建立了浙南山区土地利用结构优化模式。徐学选^[38]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^[39]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^[40]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^[41]等应用系统思想和生态学原理,探讨了土地利用结构优化的生态标

准,并将其作为衡量生态合理与否的指标,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^[42-43]。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^[44]。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^[19-20, 45]。

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^[44]。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,探讨土地利用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^[46-47]以美国南部 Hunting Creek 小流域为试区,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 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。我国学者杨子生^[48]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利用安全格局。牛振国^[49]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,为荒漠化地区土地利用安全格局设计提供新的思路。张红旗^[50]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^[51]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,并从产业协调发展的角度,提出了库区土地利用优化配置的方案。高清竹等^[52]针对黄河中游砒砂岩地区水土流失、干旱缺水和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利用安全格局设计。

1.2.3.3 土地利用格局优化方法研究进展

由于土地利用格局优化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。

传统的直接来自于景观格局优化的土地利用格局优化方法,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。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^[53]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经济和生态两方面因素,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。

土地利用格局优化的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利用格局优化方法研究的主要方式。

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,还不能满足对土地利用格局优化的理论指导要求。

将上述两方面结合起来看,一方面土地利用格局优化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(CA)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。

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^[54]发展了一种基于元胞自动机(CA)的进化优化算法,它能有效解决造林规划的空间决策问题。Mathey 等^[55]通过设计一种基于 CA 的进化算法除反映森林规划的空间方面外,还体现森林规划的时间方面。Mathey 等^[56]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^[57]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。苏伟^[58]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。黎夏等^[59]基于环境约束性 CA、城市形态约束性 CA 和发展密度约束性 CA 分别建立了三种约束性 CA 模型,进行了东莞市的土地可持续发展规划研究,为城市规划提供了决策依据。刘小平等^[60]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力的决策支持。杨小雄等^[61]探讨了元胞自动机模型在政策