

土地利用变化与生态系统 服务权衡

马彩虹 著

非外借



科学出版社

土地利用变化与生态系统 服务权衡

马彩虹 著

国家自然科学基金项目（41761034）资助出版

科学出版社

北京

内 容 简 介

生态系统服务之间的协同与权衡作用在全球具有普遍性和明显的差异性。近年来,生态系统服务权衡与协同研究已成为生态学、地理学、环境科学以及全球变化等众多领域的研究热点。本书以陕西省榆林市、渭南市和安康市为主要研究区域,定量评估不同土地利用转移流下初级生产力、固碳释氧、涵养水源以及水土保持等各项生态系统服务之间的相互依赖性、权衡和此消彼长关系,并对其生态服务的权衡与协同效应进行对比分析。本书可为土地利用规划、土地决策制定和生态环境保护提供科学的理论依据,对推动区域可持续发展、深化人地关系研究以及生态文明建设具有重要意义。

本书可供地理学、生态经济学、社会学、区域可持续发展与生态文明建设等领域的研究人员和高校师生阅读和参考。

审图号:陕S(2018)012号

图书在版编目(CIP)数据

土地利用变化与生态系统服务权衡/马彩虹著. —北京:科学出版社, 2018.8

ISBN 978-7-03-058495-3

I. ①土… II. ①马… III. ①土地利用-关系-生态系-研究-陕西
IV. ①F321.1 ②X321.241

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第181682号

责任编辑:祝洁 徐世钊/责任校对:郭瑞芝

责任印制:张克忠/封面设计:陈敬

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>

三河市荣展印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年8月第 一 版 开本:720×1000 B5

2018年8月第一次印刷 印张:13 1/4

字数:267 000

定价:90.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

由于生态系统服务的多样性、空间分布的不均衡性以及人类使用的选择性，在土地利用/覆被变化（land use and cover change, LUCC）作用下，生态系统服务之间的关系出现了此消彼长的权衡和相互增益的协同等变化。LUCC 引起的生态系统服务之间的协同与权衡作用在全球具有普遍性和明显的差异性。近年来，生态系统服务对 LUCC 的响应，尤其是生态系统服务权衡与协同研究已成为生态学、地理学、环境科学以及全球变化等众多领域的研究热点。通过生态服务对土地利用变化的响应研究，可以有效认识不同土地利用方式对生态服务的效应，对土地利用优化配置、有效保障区域主体功能以及促进区域生态与经济双赢有直接的指导意义。

权衡和协同关系与土地利用矛盾密不可分，相互影响，不仅土地利用变化会对生态系统服务的冲突和协同产生影响，权衡土地资源利用中各类冲突对土地资源的使用也有很大的意义。了解土地资源的权衡和协同关系，可以更加精准地解决土地资源使用矛盾，避免人类忽略生态系统服务的内部作用导致冲突的加深，从而使土地利用的整体效益达到最大化。本书主要研究内容如下。

第一，土地利用及其景观格局时空动态变化研究。根据遥感数据解译获得研究区土地利用数据，分析榆林市、渭南市和安康市 2000 年与 2010 年土地利用结构特征及其变化、土地利用转移流的动态变化、土地利用转移的空间特征和土地利用转移的区域差异性。

第二，生态系统服务价值时空变化定量评估。评估 2000 年和 2010 年研究区域植物净初级生产力（net primary production, NPP）价值、固碳释氧价值、涵养水源价值和水土保持价值四项生态系统服务价值的分项指标及其合成生态服务价值，并对榆林市、渭南市和安康市各生态服务价值的时空异质性和差异性进行比较。

第三，生态系统服务对土地利用变化的响应。分析多功能土地利用与生态系统服务形成与维持之间的关系，包括不同土地利用类型及格局与生态系统服务的空间关联和对应关系，进行生态系统服务流的空间路径与通量研究。

第四，生态系统服务权衡与协同定性识别与定量测评。进行生态系统服务权衡与协同关系定性识别；定量评估生态系统服务权衡与协同效应；对土地利用转移流所产生的区域生态系统服务权衡与协同效应进行评估，并对其区域差异性进

行对比分析。

本书研究内容获得国家自然科学基金项目（41261040，41661042）及教育部人文社科研究基地项目（14JJD840004）资助，国家自然科学基金项目（41761034）资助出版。陕西师范大学博士生导师任志远教授对本书的撰写提出了宝贵的指导意见，在此致以崇高的敬意和诚挚的感谢！

限于作者水平，书中难免有不妥之处，敬请读者不吝指教。

作 者

2018年1月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 国内外研究现状	4
第 2 章 研究区概况	14
2.1 研究区的选择	14
2.2 榆林市概况	16
2.3 渭南市概况	17
2.4 安康市概况	19
第 3 章 土地利用动态变化	21
3.1 数据来源与处理	21
3.2 土地利用数量结构	23
3.3 土地分类指数	27
3.4 土地利用程度指数	31
3.5 土地利用动态度	34
3.6 土地利用转移速率	39
3.7 土地利用转移流	41
第 4 章 土地利用空间变化	56
4.1 土地利用分布格局	56
4.2 植被覆盖的变化	60
4.3 土地利用相对变化率	63
4.4 土地利用空间转移特征分析	69
第 5 章 土地利用景观格局变化	74
5.1 景观格局指数	74
5.2 类型水平上景观格局指数对比	76
5.3 景观水平上景观格局指数对比	81
第 6 章 生态系统服务评价	88
6.1 数据来源	88
6.2 生态服务价值计量模型	88

6.3	NPP 价值变化	95
6.4	固碳释氧价值变化	102
6.5	涵养水源价值变化	111
6.6	水土保持价值变化	118
6.7	生态服务价值变化	125
第 7 章	生态系统服务响应	135
7.1	NPP 价值对土地转移流的响应	135
7.2	固碳释氧价值对土地转移流的响应	142
7.3	涵养水源价值对土地转移流的响应	150
7.4	水土保持价值对土地转移流的响应	158
7.5	生态服务价值对土地转移流的响应	167
第 8 章	生态系统服务权衡与协同分析	176
8.1	生态系统服务的权衡与协同关系识别	176
8.2	生态服务权衡与协同定量分析	181
8.3	区域生态服务权衡与协同效应评估	188
第 9 章	对策与建议	192
9.1	土地利用调控的原则	192
9.2	土地转移流调控思路	193
9.3	生态系统服务能力提升建议	194
9.4	生态文明建设路径	195
参考文献		199

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景与意义

1.1.1 研究背景

生态系统服务是人类直接或间接地从生态系统获得的各种收益 (Reid et al., 2006)。千年生态系统评估 (the Millennium Ecosystem Assessment, MA) 报告指出, 全球生态系统的服务功能正逐渐退化, 甚至出现了局部地区生态系统服务被耗竭的情况 (MA, 2005)。由于生态系统服务种类的多样性、空间分布的不均衡性以及人类使用的选择性, 生态系统服务之间表现为此消彼长的权衡、相互增益或相互减损的协同等形式 (李双成等, 2013)。全球范围内生态系统服务之间的权衡与协同作用普遍存在, 但又表现出明显的地域差异性与动态变化性。MA 之后, 生态系统服务权衡与协同研究成为该领域新的热点 (傅伯杰等, 2016; 李文华等, 2009)。土地利用/覆被格局和承载于其上的生态过程是生态系统服务保育和发挥的物质基础。土地覆被的空间格局是泥沙运移、面源污染物质输出和产水等过程的载体, 格局的变化会引起该随机面状生态过程的改变, 而过程中也包含众多塑造格局的动因和驱动力, 其改变也会使格局产生一系列的响应。因此, 土地利用直接影响生态系统提供服务的能力 (黄云凤等, 2012)。权衡与协同的产生往往是人类通过土地利用等方式对自然生态系统服务有选择使用的结果, 分析土地利用与生态系统服务形成与维持之间的关系是生态系统服务研究的优先主题 (李双成等, 2011)。

第一, 伴随着全球化进程的加快, 土地利用变化对生态系统的影响更为显著。人类通过改变土地的利用方式改变着整个地球陆地生态系统 (Liu et al., 2016)。从全球范围来看, 人类活动正在以惊人的速度改变着地球表面的植被覆盖状况、景观格局、水热状况及生态系统。这种土地利用、景观格局和生态环境的改变, 不仅影响自然环境自身的健康, 更主要的是影响人类的生存与发展, 引发了一系列诸如资源匮乏、环境污染加重和自然灾害群发等自然环境问题 (Blaen et al., 2015); 还对各种生态环境等造成危害, 进而影响社会、经济的可持续发展和生态文明建设。土地利用变化是全球变化的主要驱动力这一观点已经得到公认。这种驱动过程通过与气候、生态系统过程、生物地球循环过程以及生物多样性和人类

活动之间的相互作用来体现。土地利用/覆被变化触及和反映了自然及社会经济条件的变化以及人为影响的变化,既是自然科学与社会科学的交叉研究领域,也是从区域到全球变化的桥梁,故而土地利用/覆被变化的生态效应研究成为全球变化研究中的前沿和热点。目前,土地利用/覆被变化研究已经深入到对土地利用变化过程、机理及其效应的格局-过程和尺度效应的挖掘和分析,以及土地利用变化与自然、生态和社会经济系统的权衡与协同关系探究中。

第二,生态系统服务关乎人类福祉。生态系统提供给人类的价值是巨大的,是人类生存与现代文明的基础。伴随着密集的人类活动、快速的工业化和土地开发、高污染型产业的发展,农田、森林、草原和湿地的生态系统遭到严重破坏。生态系统服务功能及生态系统健康持续下降等问题给环境保护、社会经济可持续发展以及人民健康造成了严重影响。自 20 世纪中期以来,资源环境问题的日益严峻,尤其是 21 世纪以来全球生态系统的危机信号频出,人类逐渐认识到生态系统服务也是一种稀缺资源。我国近年来频频爆发沙尘暴、雾霾等重大灾害性天气,“蓝天白云”“清洁水源”和“干净的空气”成为民众的渴望。几乎所有生态系统服务的决策都涉及利益权衡,因而生态系统服务之间的相互竞争作用在全球具有普遍性,在不同区域内又表现出明显的差异性。生态系统服务功能理论可以比较清晰地描述人对自然的依赖性。人们通过运用其相关知识,对各种社会、经济和技术发展方式的长远影响进行评价,以防止或减少对生态系统的破坏。

第三,生态文明建设和绿色发展引领可持续发展。生态问题是人类在谋求发展的过程中产生的。生态文明建设的核心就是要在保证人与社会合理发展要求的基础之上,通过改变不合理的生产方式与消费方式,调整不合理的社会物质利益关系,以实现人与自然的和谐,从而建构生态文明,即物质生产与生态环境的协调统一。党的十六大报告中提出了“生态环境得到改善”“增强可持续发展能力”“资源利用效率显著提高”“促进人与自然的和谐”和“生态良好的文明发展”等与生态文明相关的观点;十七大报告进一步提出“建设生态文明,基本形成节约能源资源和保护生态环境的产业结构、增长方式、消费模式”;十八大报告中提出,要大力推进生态文明建设,要求全面促进资源节约,推动资源利用方式产生根本性的转变,大幅降低水资源、土地资源的消耗强度,提高资源的利用效率和利用效益,加大自然生态系统和环境保护力度;建立国土资源空间开发保护制度,执行最严格的耕地保护制度。可见,土地资源开发利用中,必须十分重视土地生态安全的问题。十八大报告指出,大力推进生态文明建设。建设生态文明,是关系人民福祉、关乎民族未来的长远大计。面对资源约束趋紧、环境污染严重、生态系统退化的严峻形势,必须树立尊重自然、顺应自然、保护自然的生态文明理念,把生态文明建设放在突出地位,融入经济建设、政治建设、文化

建设、社会建设各方面和全过程,在十三五期间主体功能区布局和生态安全屏障基本形成,让绿水青山变成金山银山,让绿色惠民富民。十九大报告进一步指出,加大生态系统保护力度,实施重要生态系统保护和修复重大工程,优化生态安全屏障体系,构建生态廊道和生物多样性保护网络,提升生态系统质量和稳定性。

1.1.2 研究意义

土地资源合理开发利用对提升生态系统服务功能起着重要作用。研究生态系统服务的权衡和协同关系,分析其表现类型、时空格局、影响因素和区域差异,找到生态保护和经济发展的平衡点,对于提升生态系统服务的总体效益,实现区域可持续发展和生态系统保护的双赢具有重要的价值。从土地利用/覆被变化视角切入,定量评估生态系统服务相互关系的时空特征,有利于研究生态系统服务之间相互关系在时间上的非线性变化以及空间上的分布异质性,对区域土地管理与生态系统服务优化具有重要的指导意义(王鹏涛等,2017)。

第一,为国土资源空间优化开发提供一定参考依据。生态环境是人类生产生活基础物质和能源的来源,离开生态系统提供的物质和能量,人类便无法生存,更谈不上社会和经济的发展。人类活动强烈影响着生态系统提供服务的形式与能力,生态系统服务的变化反过来影响土地利用数量结构和空间开发的优化配置相关决策的制定。在科学发展观的指导下,要使社会可持续发展就要保证优良生态环境。国家在十二五规划中提出了主体功能区的划分方案,同时要求深入研究不同区域的自然和社会经济特征,选择科学的国土资源开发计划。十三五规划要求进一步做好国土资源空间优化开发。陕西省南北狭长,自然资源和环境差异较大,生态服务功能空间分异明显,经济区位也有很大差异,在国家主体功能区建设中的地位和要求也存在明显不同。随着人口增长、城镇化和能源基地建设等,生态环境问题日益突出,区域生态系统的承载压力显著。研究陕西省三大区域土地利用变化及生态服务响应的时空变异性,可以为土地利用变化调控、生态服务功能整合与提高及国土资源优化开发提供科学依据。

第二,有利于揭示生态系统服务之间的作用与反馈机制,从而为优化生态系统服务管理、制定与实施人类福祉的生态文件建设政策提供科学依据。生态系统能够为人类提供多种生态服务,并且数量极其庞大。人类对资源的开发和环境的关系中,通过改变土地利用形式从而着改变生态系统服务的类型、量级和其他相关服务。然而,由于人类对生态系统服务之间的内在关系缺乏深入的认识或者受自身知识限制判断错误,某些冲突无形之中就发生了。不同生态系统服务之间存在着不同程度此消彼长的关系,不同生态系统服务之间也可能形成相互促进或抑

制的协同作用。不同生态系统服务的供给与需求在空间上也不一致,生态系统服务的空间转移也会造成不同行政尺度利益相关方之间对服务的竞争与权衡。为了避免以牺牲多种生态系统服务的代价来换取某一种特定服务,迫切需要对作为区域生态系统中最重要不确定性因素的土地覆被变化及其所带来的相关生态系统服务能力的改变进行综合、理性的管理和调节。

第三,促进区域生态文明建设服务。十八大将生态文明建设提升到前所未有的高度,强调生态文明的理念是顺应、尊重、保护自然,指出生态文明建设是关系民族未来和人民福祉的长远大计。“生态兴则文明兴,生态衰则文明衰。”生态系统是生态文明建设的物质基础和空间载体。以生态系统服务为切入点,加强生态文明建设关系到自然资源开发与保护的全局。生态系统服务为生态文明建设提供供给服务、调节服务、文化服务和支持服务。本书为优化生态系统服务管理、生态服务功能整合与提高、制定与实施人类福祉的生态建设政策提供科学依据,对促进区域生态文明建设和绿色发展具有重要作用。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 生态系统服务的含义及分类

“生态系统服务”的概念首次提出是在 20 世纪 60 年代。广义的生态系统服务包含生态系统产品及生态系统服务(Costanza et al., 1997)。Daily (1997) 提出,“生态系统服务是指生态系统与生态过程所形成的,维持人类生存的自然环境条件及其效用”。Constanza 等(1999)将生态系统服务分为 17 类,包括气体调节、气候调节、干扰调节、水调节、水供给、基因资源、休闲娱乐和文化等。满足和支持人类生存和发展的自然生态系统状况和过程是多种多样的。千年生态系统评估认为,生态系统服务是人类从生态系统获取的惠益,包括供给服务、调节服务、文化服务和支持服务。供给服务指由生态系统生产的或提供的服务,如食物、纤维和淡水等。调节服务指从生态系统过程的调节功能所得到的益惠,如调节大气质量和净化水质等。文化服务指从生态系统获取的非物质惠益,如休闲和生态旅游等。支持服务为提供其他服务而必需的一种服务,如生产生物量、养分循环、水循环以及提供栖息地。Hein 等(2006)分析了生态系统服务的空间衡量并发现生态系统服务在不同的空间存在不同的价值。Daily 等(2008)将生态系统服务功能分为 13 类,包括缓解干旱和洪水,废物的分解和解毒,产生、更新土壤和土壤肥力,植物授粉,农业害虫的控制,稳定局部气候,支持不同的人类文化传统,提供美学、文化和娱乐等(不包括产品)。欧洲环境署(European Environment

Agency) 的报告介绍了生态系统服务的共同国际分类 (common international classification of ecosystem services, CICES), 生态系统服务是生态系统对人类福祉的贡献 (Haines et al., 2013)。CICES 将生态系统服务分为三大类, 一是供应服务, 涵盖所有营养、材料和生活系统的能量输出; 二是管理和维护生物可以调解或缓和影响人类活动的环境的所有方式; 三是覆盖所有非物质的、通常非消耗性的、影响人类身心状态的生态系统的产出。

国内, 1998 年刘晓荻首次引入“生态系统服务”一词。欧阳志云等 (1999) 参考了 Daily 的定义, 认为生态系统服务不仅为人类提供了食材、药材及其他生产生活原料, 还创造与维持了地球生态支持系统, 形成了人类生存所必需的环境条件。谢高地等 (2001) 认为, 生态系统服务是通过生态系统的功能直接或间接得到的产品和服务, 是由自然资本的能流、物流和信息流构成的生态系统服务和非自然资本结合在一起所产生的人类福利。

迄今为止, 学界对生态系统服务的基本定义和分类方案仍存在争论, 不同的服务分类方案侧重于生态系统服务的不同特征 (李琰等, 2013)。对生态系统服务的概念, 不同学者虽有不同表述, 但在基本含义和内涵上已达成共识。从内涵来说, 生态系统服务涵盖三方面内容, 即生态系统服务对人类生存的支持作用, 生态系统服务主体是自然生态系统, 生态系统服务通过生态系统状况和过程体现。

1.2.2 生态系统服务价值评估

生态系统服务价值随时空动态变化, 受生态系统过程、尺度和完整度的影响。国外关于生态系统服务的表述有 ecosystem services 和 ecological services, 目前国内使用较为广泛的是“生态系统服务”和“生态系统服务功能”, 和国际上广泛使用的“ecosystem services”相一致。生态系统功能是生境、生物学性质或生态系统过程, 是生态系统本身所具备的性质, 不因人类的存在而存在, 却会在受到人类干扰后做出一定的反应。生态系统服务是生态系统功能的表现, 生态系统功能是生态系统服务的基础。生态系统功能和服务并不是一一对应, 在有些情况下, 一种生态系统服务是由两种和两种以上的生态系统功能共同产生, 在另外一些情况下, 一种生态系统功能可提供两种或多种服务, 如生态系统的水分循环功能提供供水供给、水调节、控制土壤侵蚀和减缓旱涝灾害等服务, 土壤肥力维持和更新的服务则是由生态系统中 C、N 和 P 的循环及营养过程等所提供。生态系统功能之间的相互依存性, 使得生态系统服务之间也存在相互依存性, 生态系统的初级生产常常与 C 和 N 等的固定相互耦合, 生态系统服务中的产品生产和土壤肥力更新之间也相互耦合。生态系统服务的各种形式之间形成了多种相互关联的模式, 气体成分的调节伴随着气候的调节, 水分的调节与土壤的保持相依存, 水分的调

节与土壤肥力的保持和食品生产功能相关联。将生态系统服务从生态系统功能中分离出来的第一份报告是 *Study of Critical Environmental Problem*, 其列举了害虫控制、昆虫传粉、自然渔业、气候调节、土壤保持、洪水减缓、土壤形成、物质分解和空气成分稳定等生态系统服务。不同时空尺度上生态系统服务的类型和价值评估已得到普遍的认识和研究。Boumans 等 (2002) 利用“全球生物圈统一元模型”(global unified metamodel of the biosphere, GUMBO), 在校正 1900~2000 年相关数据基础上, 模拟 2000 年全球生态系统服务的价值达到 180 万亿美元, 是当年全球经济总量的 4.5 倍 (1997 年 Costanza 等评估的全球生态系统服务价值为当年经济总量的 1.8 倍)。Queiroz 等 (2015) 选择多达 16 个生态系统服务指标评估瑞典 Norrstrom 流域 62 个城市的生态系统服务价值, 并且将地理信息系统 (geographic information system, GIS) 数据与公开可用的信息结合起来, 以量化和映射服务的分布。

我国关于生态系统服务的研究相对较晚, 在 20 世纪 90 年代后才有学者将其内涵和价值评价方法引入。欧阳志云在 1999 年将生态系统服务价值评估的思想和方法引入我国, 并对我国陆地生态系统服务价值作了初步估算。在 Costanza 工作的基础上, 谢高地等 (2003) 对我国 200 位生态学者进行问卷调查, 并据此制定出我国生态系统生态服务价值当量因子表, 并分别于 2008 年和 2015 年对其进行修订 (谢高地等, 2015, 2008), 极大地促进了我国生态服务评估工作。除此之外, 一些学者在谢高地确定的生态服务价值当因子的基础上, 根据研究区域的差异, 尝试对其进行修订, 以适应不同研究区域的需要 (赵小汎, 2016; 彭文甫等, 2014; 胡喜生等, 2013)。近十余年来, 从国家尺度到省市县 (郭荣中等, 2014; 吴海珍等, 2011; 盛莉等, 2010)、从大的地理单元到自然保护区 (王忠诚等, 2014)、从流域尺度到养殖池塘等不同的空间尺度对其生态服务功能进行测算 (赖敏等, 2013; 李屹峰等, 2013; 王友生等, 2012), 为生态服务价值评估提供了丰富的研究案例。但在生态系统服务价值的选择上, 依据研究区域的生态服务价值重要性和研究的侧重点而有所差异。王雅等 (2017) 对黑河中游的生态系统服务价值评估中, 选择生境质量、土壤保持量、水源涵养和气体调节四种生态系统服务的价值; Felipe-Lucia 等 (2014) 的研究则包括气候调节、气体调节、土壤稳定性、营养调节、生境质量、原料生产、粮食生产、渔业、体育、娱乐、教育和社会关系等诸多服务价值; Dobbs 等 (2014) 在城市化对生态系统服务的影响中, 选择对城市植被生态系统的碳储存、娱乐潜力和生境潜力进行量化评估。

总之, 近年来有关生态系统服务的研究呈指数级增长, 但这些服务的评估和测量仍然具有挑战性。由于不同学者采用的指标和计量方法仍然有较大差异, 给不同时空的生态系统服务价值测算结果的可比性带来了困难。

1.2.3 生态系统服务对土地利用变化的响应研究

人类活动能够在一定程度上重塑生态系统的结构和功能,进而影响生态服务功能的供给。土地利用/覆被变化是人与自然交叉最为密切的环节,土地利用变化必然影响生态系统的结构和功能,土地利用结构变化导致各类生态系统类型、面积以及空间分布格局的改变,对维持生态系统服务功能起着决定性作用。土地利用/覆被变化被认为是生态系统服务的重要影响因素之一。土地利用变化中,在某些生态服务功能增大的同时,生态系统调节服务功能受到限制甚至损害。从生态系统服务的相互作用来看,某些情况下生态系统服务之间的影响是单向性的,某些情况下服务功能之间能够相互影响,在供给服务上升的同时可能导致调节服务下降。由于尺度的差异、区域的差异和生态系统的差异,这种复杂关系存在很大的差异。

在实现途径上大多是通过比较不同土地利用/覆盖情景获得各类生态系统类型的面积,应用 Costanza 等于 1997 年提出的生态服务价值计算方法,参照我国陆地生态系统单位服务价值系数来计算土地利用/覆被变化的生态服务价值的差异量。

土地利用变化是生态服务变化的主要驱动因素。土地利用变化引起的各类生态系统面积、空间格局的改变及由此产生的对生态服务功能的影响受到广泛关注(王燕等, 2014; 冯伟林等, 2013; 王科明等, 2011; 孙慧兰等, 2010)。从研究方法上,基于遥感的数据支持与 GIS 的方法,是开展土地利用变化与生态系统服务效应研究的重要途径与手段(马彩虹等, 2015; 彭文甫, 2014; 吴海珍等, 2011)。有学者提出通过不同时期土地利用变化图谱的分析进行地图对比(杨越等, 2014)。从研究的思路看,一是从生态服务价值的变化直接分析影响结果,二是通过对景观的影响间接分析土地利用变化对生态系统服务的影响。

着眼于土地利用变化的生态系统服务价值变化核算方面,又可分为分析不同生态系统服务价值数量的变化和空间格局变化两个方面(胡和兵等, 2013)。近年来以土地利用变化数据为数据源,对诸如食物生产、调节气候、净化空气、水源涵养、控制侵蚀、废弃物降解和营养物质循环等生态服务价值的评估研究较多(马彩虹, 2013; 陈春阳等, 2012)。蒋晶等(2010)通过生态系统敏感度分析研究 1988~2005 年北京生态服务价值对土地利用变化的响应,发现在其他土地类型生态服务价值均减少的情况下,水体的生态服务价值增加导致总体生态服务价值增加,水体的生态服务价值对整个生态系统有重要的作用。同时发现由于林地的面积和单位面积的生态服务价值较大,林地的敏感性指数最大。相对于水域和林地,耕地和草地的生态价值系数都较低,但是耕地的灵敏度大于草地,这是由于耕地

的面积大于草地。城市化对生态用地的大量占用是导致区域生态系统服务能力降低的重要因素之一。快速城市化进程严重影响了土地的生态服务功能(阳文锐等, 2013)。快速城市化导致增加的生态服务价值并不能弥补损失的价值, 致使城市生态系统服务价值有所下降(张珏等, 2014)。刘永强等(2015)对湖南省土地利用变化对生态系统服务的影响研究, 进一步验证了城市化对生态系统服务的不利影响。土地利用优化配置则有利于生态系统服务能力的提高, 这对于生态脆弱区尤其重要(马彩虹, 2014)。例如, 四川洪雅县在实行退耕还林工程后, 生态系统服务价值比以前有了明显增加(赖元长等, 2011); 宁夏干旱区红寺堡生态移民开发区从灌区开发前到灌区建设初见成效后, 生态系统服务价值也表现为增加(胡馨月等, 2017); 岳耀杰等(2014)对宁夏盐池县的研究也得出了相似的结论。

土地利用变化及生态服务研究发展迅速, 对不同空间尺度上土地利用变化对生态服务价值的影响进行探讨, 内容涉及土地面积变化、不同土地利用类型之间的比较、土地利用强度以及土地利用方式转变对生态服务功能的影响等方面。

土地利用格局的变化带来生态系统过程的改变, 生态系统过程的改变影响着生态系统服务的供给(王书明等, 2017)。例如, 对黄土高原 1990~2000 年的景观格局演变及生态系统服务功能分析表明, 研究时段内黄土高原的景观连通性指数增大且破碎度指数下降, 景观类型趋于集中, 在分布上有利于生态建设, 需在土地开发利用中注重生态环境保护, 合理进行区域景观开发和治理以提高区域生态系统服务功能, 从而实现生态和经济的双赢(刘琳等, 2011)。王云等(2014)以西安市为例, 探讨了都市农业景观破碎化过程对生态系统服务价值的影响。结果表明, 都市农业景观分离度与都市农业生态系统服务总价值及各项价值均呈较强的负相关关系, 耕地、林地和水域呈景观破碎化趋势, 而园地聚集度上升, 同时耕地、林地和水域的生态系统服务价值下降, 园地生态系统服务价值增加。王航等(2017)对淮河上游土地利用时空演变特征分析和生态系统服务之间的响应作了分析, 发现生态系统服务价值与土地利用时空变化和土地景观格局丰度和聚集度变化存在明显相关, 说明合理的土地利用开发方式及适当的开发速度将有助于改善生态系统服务, 开发过程要兼顾土地利用类型优势, 避免土地利用类型斑块过度破碎化。还有学者研究发现, 土地利用中种植面积的快速扩张, 是导致栖息地的破碎化和影响景观连通性的重要原因。因此, 在土地利用优化中, 在分散的斑块之间构建具有高度连接级别的栖息地配置对于维持关键的生态系统服务非常重要(Liu et al., 2016)。

总体而言, 我国学者对不同空间尺度上土地利用变化对生态服务价值的影响进行探讨, 内容涉及土地面积变化、不同土地利用类型之间的比较、土地利用强

度以及土地利用方式转变对生态服务功能的影响等方面。从时段的侧重点来看, 20 世纪 90 年代的生态系统服务价值对土地利用/覆被变化响应方面的研究更多的是关注土地利用对生态系统服务总价值的影响, 2000 年以来开始关注特定区域内土地利用对生态服务功能影响的多尺度综合集成, 并涉及具体生态功能对土地利用方式响应的直观表达和空间差异研究(张立伟等, 2014)。

1.2.4 生态系统服务的权衡与协同问题

生态系统对人类社会福祉提供的服务功能是多重的, 人们常常试图最大化一种生态系统服务的产出, 主要是供给功能, 如粮食、木材等, 而导致其他生态系统服务供给的实质性下降。几乎所有已知的生态系统服务, 尤其是供给服务, 人类的利用程度都在增加。由于对服务需求的增加, 人们常常通过改造生态系统来增加其提供能力, 如转换生态系统类型、减少自然生态系统面积或向生态系统投入更多的人为辅助能量等, 结果往往以牺牲一些服务来换取其他服务。对于不同行政尺度上的利益相关方来说, 不同生态尺度内生态系统提供的服务不同。充分全面分析不同尺度及其利益相关方之间的相互关系, 将有助于解决不同利益群体间的利益冲突。

由于生态系统服务种类的多样性、空间分布的不均衡性以及人类使用的选择性, 生态系统服务之间的关系出现了动态变化, 表现为此消彼长的权衡和相互增益的协同等形式。生态系统服务间的关系存在权衡(tradeoffs)、协同(synergies 或 co-benefits)以及无关(no-relationship)等不同表现类型(Willemsen et al, 2010)。所谓权衡是指某些类型生态系统服务的供给, 由于其他类型生态系统服务使用的增加而减少的状况; 协同是指两种或多种生态系统服务同时增强的情形(MA, 2005)。生态系统服务权衡, 作为一种平衡和抉择, 可以理解为对生态系统服务间关系的一种综合把握(彭建等, 2017)。当生态系统服务的各种服务之间存在冲突时, 就需要对其进行权衡分析, 目的是减少冲突而增加协同作用(傅伯杰等, 2016)。几乎所有生态系统服务的决策都涉及利益权衡, 因而生态系统服务之间的相互竞争作用在全球具有普遍性, 在不同区域内又表现出明显的差异性。越来越多的研究对多个生态系统服务及其相互作用进行了实证评估(Plieninger et al., 2013; Maes et al., 2012; Raudsepp-Hearne et al., 2010)。阐释不同时空尺度下生态系统演变及不同受益者因此获益或损失的变化量, 能更有针对性地权衡利弊并制定可行的保护利用方案(陈能汪等, 2009)。在管理生态系统服务时, 最大的挑战在于它们之间相互交织在一起, 并且相互作用的关系是高度非线性的。Balbi 等(2015)提出了一个依据不同生态系统服务之间驱动力和相互作用的类型体系, 目的在于理解多重生态系统服务之间的联系以及隐匿在这些联系之后的机制。

土地利用变化中,在某些生态服务功能增大的同时,生态系统调节服务功能受到限制甚至损害。不同土地利用类型比例的争议是土地资源使用的主要矛盾。土地利用变化的生态服务响应的区域差异性研究已成为全球变化领域的热点问题。国内外大量学者对生态系统服务权衡/协同关系辨识、表现形式、时空尺度特征、驱动机制和情景变化等内容进行了模拟分析,分别对不同生态系统中存在的生态系统服务的冲突进行探讨,如对森林草地和湿地保留与开发程度进行分析,最终都归结为土地利用方式的冲突(饶胜等,2015)。而两个服务之间的权衡可以归结为一个公共驱动程序的影响或者是这些服务之间的真实交互。例如,使用化肥和杀虫剂来提高作物产量是导致作物生产和水质之间的权衡的驱动因素;相比之下,碳封存与供水供应之间的平衡是服务之间真正相互作用的结果,因为树木增长导致蒸散发的增加降低了水资源的可用性(Bennett et al., 2009)。根据权衡的类型,将需要采取不同的措施来减轻负面结果。Butler等(2013)评估了澳大利亚大堡礁地区4种土地利用情景下水质调节服务与其他10种服务之间的权衡与协同关系。有形产品可以直接提高人类福祉,并且坚信经济增长可以提供资源,弥补生态系统功能的损失,因此在千年生态系统服务评估中,供给服务是最重视的生态服务(张舟等,2013)。这种做法可能导致生态灾难已经得到学界的共识。

空间权衡、时间权衡以及可逆权衡是生态系统服务权衡的三种类型。生态系统服务的尺度关联使得生态系统服务的权衡关系在不同时空尺度的表现不尽相同,即使同一对生态系统服务在不同区域、不同研究尺度上的权衡关系也存在很大差异(彭建等,2017)。Meehan等(2013)对美国中西部的河岸地带从一年生到多年生能源作物的转换对生态系统服务的影响做了权衡分析,认为在中西部水道上使用常年能源作物的替代,将会增加广泛的生态系统服务,这对社会很重要,但会对生产者和土地所有者的收入供应产生重大的负面影响,但在目前的状态下,保护计划和环境市场可能无法提供足够的补偿来补偿生产者的损失。然而,从一年生到多年生能源作物的转换对增强生态系统服务的社会价值的估计远远高于转向多年生能源作物的机会成本。该研究是一个由从权衡的机理机制研究逐渐走向应用研究的很好的探索。Kragt等(2014)引入农业生产系统模型(agricultural production system simulator, APSIM),分析西澳大利亚农产品供应和生态系统服务的权衡关系。Tian等(2016)耦合水文评价模型(soil and water assessment tool, SWAT)和CASA(Carnegie-Ames-Stanford approach)模型探索NPP、产水量和沉积量之间的权衡和协同关系。Felipe-Lucia等(2014)测量了12个生态系统服务(ecosystem service, ES),包括气候调节、气体调节、土壤稳定性、营养调节、生境质量、原料生产、粮食生产、渔业、体育、娱乐、教育和社会关系在三个空