

区域土地利用变化的 低碳效应与低碳经济发展研究

张艳芳 等 著



科学出版社

区域土地利用变化的低碳效应 与低碳经济发展研究

张艳芳 等 著

教育部人文社会科学研究西部和边疆地区项目 (10XJA790011)

陕西师范大学中央高校基本科研业务费专项资金 (GK201302031)

(Supported by the Fundamental Research Funds for
the Central Universities)

资助

陕西师范大学优秀著作出版基金

科学出版社
北 京

内 容 简 介

温室气体引起的气候变化及其带来的影响已经成为国际关注的重大问题。土地是各种产业活动与碳排放的承载空间,土地利用变化是影响陆地生态系统碳循环过程,引起碳源/碳汇变化的重要原因。土地利用变化的碳排放效应与低碳经济的研究,成为近年来生态安全与低碳研究的热点问题。本书在教育部人文社会科学研究西部和边疆地区项目与陕西师范大学中央高校科研基本业务费一般项目研究取得的成果基础上总结撰写而成,主要内容包括土地利用变化的碳排放效应、区域碳源/碳汇平衡、产业结构调整的区域碳足迹与碳排放效应以及区域低碳经济发展水平评价研究。本书由陕西师范大学优秀学术著作出版基金资助出版。

本书可供地理学、资源环境学、土地生态学、生态经济学、土地管理学、农学、林学等领域的研究人员及高校教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

区域土地利用变化的低碳效应与低碳经济发展研究 / 张艳芳等著. —北京: 科学出版社, 2014

ISBN 978-7-03-041053-5

I. ①区… II. ①张… III. ①节能—关系—土地利用—研究—西安市 IV. ①F321.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 123053 号

责任编辑: 徐 倩 / 责任校对: 葛小双
责任印制: 阎 磊 / 封面设计: 无极书装

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>

北京市文林印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 6 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2014 年 6 月第一次印刷 印张: 16 1/4

字数: 327 000

定价: 65.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前言

目前,科学家认为二氧化碳(CO₂)排放量过快增长是导致全球变暖的主要原因。气候变化和碳减排已经成为重要的国际性议题,联合国环境发展大会先后通过《联合国气候变化框架公约》(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)、《京都议定书》、《巴厘岛路线图》、《哥本哈根协议》等文件,充分说明国际社会对全球变暖和碳减排的重视和努力。我国作为世界上最大的发展中国家,也是世界上最大的温室气体排放国,对气候变化问题给予了高度的重视。

土地不仅是陆地生态系统碳排放的自然载体,也是社会经济系统碳排放人为源的空间载体。土地利用变化是影响区域碳排放与碳循环的重要途径,由于其过程的复杂性,土地利用变化的碳排放效应作用机理还缺少统一的结论。能源消耗,尤其是产业能源消耗是一个国家或区域碳排放的主要来源。产业结构调整是我国发展低碳经济的主要路径之一,加强对区域土地利用变化与产业结构调整的碳排放效应的研究,探讨区域低碳化的土地利用与产业结构的模式,研究区域产业结构高级化对碳排放的影响及其低碳效应,将为制定区域节能减排政策与低碳经济发展提供重要的理论支撑。碳足迹是对人类活动引起的直接或间接的二氧化碳排放量的度量。研究区域与城市的产业空间活动与格局演变特征,及其碳排放强度和碳足迹效应,有利于明晰碳排放强度、碳足迹与区域发展过程的相互作用关系和生态效应机制,为实现低碳化的区域与城市发展提供理论准备。

近30年来,我国“高消耗、高排放、高污染”的发展方式,导致区域与城市的土地利用方式发生了巨大的变化,“碳源”增加、“碳汇”功能削弱,碳排放量急剧上升,生态环境恶化加剧。未来三四十年仍是我国城镇化与城市群的高速发展期,这与我国低碳城市与低碳经济发展的高潮期交互重叠,我国低碳化的转型发展任务艰巨。

基于此,笔者在教育部人文社会科学研究西部和边疆地区项目“区域土地利用的低碳效应与低碳经济发展模式研究”(10XJA790011)和陕西师范大学中央高校科研基本业务费一般项目“西安城市空间增长下的碳足迹时空变化与优化模拟研究”(GK201302031)的资助下,以陕西省和西安市为案例区,展开土地利用变

化的碳排放效应、产业结构调整的碳排放效应以及区域低碳经济发展的评价研究。本书在汇集以上研究成果资料的基础上总结而成，希望能对我国土地利用变化与区域低碳经济发展研究起到一定的促进作用。

张艳芳、苏雅丽、邢燕燕、贾君君、张谦、栗新巧、朱妮、位贺杰、张宏运、王姝参加项目研究，为项目提供重要的成果资料，并参与部分章节的撰写。本书由张艳芳制定撰写大纲，负责全书统稿、定稿，栗新巧、朱妮、位贺杰、张宏运、王姝负责部分文稿的编排和校核。本书由陕西师范大学优秀学术著作出版基金资助出版。

在此，向多年支持我们研究工作的各界人士与陕西师范大学科技处、社科处和旅游与环境学院的领导、同事表示衷心的感谢。

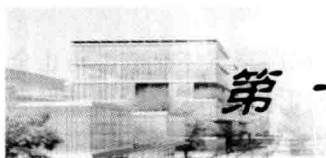
张艳芳

2014年3月

目 录

第一章 土地利用与碳排放	1
第一节 全球变化与碳减排	1
第二节 土地利用与碳排放研究进展	7
第三节 土地利用与碳排放研究方法 与模型	11
第四节 土地利用与碳排放研究区域概况	26
第二章 区域土地利用变化的碳排放效应	33
第一节 西安市土地利用现状及动态变化	33
第二节 西安市不同土地利用方式的碳排放	40
第三节 西安市各区县土地利用变化下的碳排放格局	46
第四节 西安市土地利用碳排放预测分析	53
第五节 陕西省土地利用变化的低碳排放效应	62
第三章 区域农业用地的碳源/碳汇效应	69
第一节 西安市农业用地变化与碳源/碳汇特征	69
第二节 西安市农业用地碳增汇效应	80
第三节 西安市碳增汇的路径与政策建议	85
第四节 陕西省农业用地变化及其碳汇效应	88
第四章 土地利用变化下的区域碳源/碳汇平衡	95
第一节 农田生态系统碳源/碳汇测算	95
第二节 区域碳源/碳汇平衡与生态盈余	100
第三节 区域碳通量时空演变与生态碳平衡	107
第五章 碳足迹与低碳经济	114
第一节 碳足迹与低碳经济研究进展	114
第二节 碳足迹与低碳经济研究方法 与模型	122
第六章 区域碳排放分解与碳足迹	131
第一节 陕西省能源消耗碳排放的空间差异与因素分解	131
第二节 陕西省能源消费碳排放足迹的动态变化	137

第三节	碳排放强度对能源消费和经济结构的动态性冲击响应·····	142
第四节	县域尺度下能源消费碳排放强度空间分异·····	149
第五节	省际尺度的区域碳排放与影响因素的空间差异·····	156
第七章	区域产业结构调整的低碳效应·····	164
第一节	产业结构调整与碳排放研究方法·····	164
第二节	西安市产业结构调整与碳排放变化特征·····	165
第三节	西安市产业结构高级化的碳减排效应·····	170
第四节	西安市工业内部各行业碳排放差异分析·····	176
第五节	西安市工业碳排放的空间分异特征与形成机制·····	186
第六节	西安市产业结构调整的低碳效应特征·····	193
第七节	基于产业结构调整的陕西省碳排放效应·····	195
第八章	陕西省低碳经济发展水平评价·····	209
第一节	陕西省碳排放弹性系数·····	209
第二节	经济增长与碳排放量的脱钩分析·····	211
第三节	陕西省碳排放的库兹涅茨曲线分析·····	214
第四节	陕西省低碳经济发展水平的空间差异和特征·····	217
参考文献	·····	235



第一章

土地利用与碳排放^①

第一节 全球变化与碳减排

一、全球变化

全球变化是指由自然和人为因素造成的地球系统及其支持生命的环境发生的全球尺度的变化,包括生物地球化学循环变化、洋流和水循环变化、大气组成变化、城市化和土地覆被变化等,其中全球变化的显著标志是全球变暖。2007年,联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)的评估报告中指出,在1906~2005年的100年间,全球平均地表温度已上升了 0.74°C ,在未来100年,全球地表温度还有可能上升 $1.6^{\circ}\text{C} \sim 6.4^{\circ}\text{C}$ 。全球地表温度升高的原因极其复杂,有各种自然的和人为的因素,目前科学家主要聚焦于温室气体的增加。二氧化碳是对全球气候变暖影响最大的温室气体,其温室效应占整个大气层温室效应来源的60%,是导致和加剧全球气候变暖的主要原因。

二氧化碳排放量过快增长导致的全球变暖,会给人类社会带来一系列灾难性影响,这些影响包括全球冰川消融、海平面抬升、生物分布向高纬度和高海拔移动、极端天气事件等。全球变暖还将导致全球越来越严重的缺水问题,导致动植物灭绝风险增加、生态系统越来越脆弱,并可能危及人类自身的健康问题。种种负面影响最终会导致人类经济社会难以可持续发展。大气中二氧化碳大量增加,主要是近百年以来的人类各种经济活动导致的,解决问题的关键还要回归到人类

^① 张艳芳、朱妮、贾新巧、位贺杰主笔。

自身。

气候变化和碳减排已经成为重要的国际性议题，控制温室气体排放，防止全球气候变暖是全人类的责任，需要各个国家的共同参与和努力。联合国环境发展大会于1992年6月4日通过UNFCCC，它是世界上第一个全面控制二氧化碳等温室气体排放，遏制全球变暖给人类带来不利影响的国际公约，也是国际合作的一个基本框架。随后，《京都议定书》、《巴厘岛路线图》、《哥本哈根协议》等文件的制定，充分说明了国际社会对于全球变暖和碳减排的重视和努力。

我国是世界上最大的发展中国家，也是世界上最大的温室气体排放国。作为一个负责任的大国，我国对气候变化问题给予了高度的重视。1997年，我国制定了《中国应对气候变化国家方案》，明确了到2010年我国应对气候变化的具体目标、重点领域及其政策措施，成为第一个制定应对气候变化国家方案的发展中国家。1998年5月，我国签订《京都议定书》，承诺减少二氧化碳排放，为防止气候的剧烈变化承担应有的责任。2006年，我国提出“十一五”期间单位GDP(国内生产总值)能耗降低20%的目标。在2009年的哥本哈根气候大会上，我国提出至2020年我国碳排放强度比2005年降低40%~50%的减排目标。我国要实现21世纪中叶达到中等发达国家水平的目标，二氧化碳排放量仍将继续增长，节能减排压力依然很大，碳减排仍将是我国未来面临的重要课题。

二、低碳经济

气候变暖已由环境问题衍生为更深层次的经济发展问题，传统“高碳经济”模式已经不再适用而被人们诟病。2003年，英国政府在能源白皮书《我们能源的未来：创建低碳经济》中提出低碳经济的概念，随后，低碳经济一词逐渐受到人们广泛青睐。

低碳经济，既是一种经济形态，也是一种发展模式。英国环境专家鲁宾斯德(中国环境与发展国际合作委员会，2009)认为，低碳经济是一种正逐渐兴起的经济模式，其核心是依托市场机制，通过制定政策措施、创新制度框架，推动高能效技术、减排技术以及新能源利用技术的开发和提高，进而促进整个经济社会向低污染、低能耗和低排放的模式转型。我国环境保护部部长周生贤认为，低碳经济是以低耗能、低排放、低污染为基础的经济模式，是人类社会继原始文明、农业文明、工业文明之后的又一大进步，其实质是提高能源利用效率和创建清洁能源结构，核心是技术创新、制度创新和发展观的转变，发展低碳经济，是一场涉及生产模式、生活方式、价值观念和国家权益的全球性革命。付加峰等(2010)认为低碳经济是指碳生产力和人文发展均达到一定水平的一种经济形态，具有低能耗、低污染、低排放和高能效、高效率、高效益以及环境友好的突出特点，旨在实现控制温室气体排放和发展社会经济的全球共同愿景。总而言之，“低碳”不是

零碳或无碳状态,不是回归到自然状态,不是摒弃原有的“高碳”产业,而是通过一系列科技创新和政策措施来达到“低碳”状态。

低碳经济发展模式有别于传统的高碳经济发展模式,它从生产模式和消费模式两个方面与传统高碳经济发展方式区别开来。低碳生产体系是以低排放、低能耗为基础的生产体系,由低碳能源生产、低碳产业、低碳技术三部分构成。

(1)低碳能源是与传统能源相区别的能源形式,包括太阳能、风能、地热能、海洋能、生物质能和核能等,而传统能源为煤炭、石油等化石能源。低碳能源是一种清洁能源,相比传统能源高碳排放的特点,它具有“零排”特点。

(2)低碳产业有两种形式,一是传统高碳产业低碳化,由于现有产业结构中,以高能耗、高排放为特征的高碳产业占主导地位,加之产业结构演进的规律性,短期内高碳产业占主导地位的格局难以改变,故创新技术使高碳产业低碳化,是发展低碳经济的一种重要模式;二是创造新型低碳产业,如新能源汽车产业、建筑节能产业、环保设备产业、节能材料产业等。

(3)低碳技术几乎遍及所有行业部门,包括交通、化工、建筑、电力、冶金、石化等。在这些领域,低碳技术的应用可以节能和提高能效,而在可再生能源及新能源、二氧化碳捕获与埋存等领域,开发一些新技术,则可以有效控制碳排放。低碳消费活动是一种对后代和社会负责的消费方式,具体有五个层次:一是“恒温消费”,消费过程中温室气体排放量最低;二是“经济消费”,即对资源和能源的消耗量最小;三是“安全消费”,即消费结果对消费主体和人类生存环境的健康危害最小;四是“可持续消费”,对人类的可持续发展危害最小;五是“新领域消费”,转向消费新能源,鼓励开发新的低碳技术,研发低碳产品,拓展新的消费领域。

已有的研究表明,碳排放与经济增长之间呈倒“U”型关系,随着人均 GDP 的增长,碳排放会呈现先升高后下降的现象,即典型的“环境库兹涅茨曲线”。如果投入全球每年 GDP 中的 1%用于碳减排,就可以避免全球每年 GDP 中 5%~20%的损失。发展低碳经济的过程中挑战与机遇并存,低碳只是手段,发展才是目的。

目前,许多国家已经展开了低碳经济方面的实践工作。作为低碳战略先驱者的英国,在 2002 年年初实施《可再生能源强制条件》,要求电力供应商必须购买一定的可再生能源用以出售,随后实施的《气候变化法案》、《英国低碳转型发展计划》标志着英国低碳经济的全面推行和实施。欧盟在成立之初就一直关注气候和能源问题,在成立能源委员会和环保总司的同时还制定了稳步推进节能、减排的一系列的政策和措施,以自己的切实行动来减少温室气体排放,推动低碳经济发展。美国对低碳的态度摇摆不定,但是随着其政府对长远利益的考虑,其在低碳方面依旧做了大量工作,其主要重视利用技术途径解决高碳问题。低碳经济发

展方式已经成为印度可持续发展的手段,《京都议定书》生效后,印度成为出售碳排放权数最大的国家之一,这一方面使印度的各个行业采取更加环保的措施,另一方面让印度从此机制中获取了巨大的经济效益。我国政府也积极实践低碳经济,并从地区层面开始了低碳经济的探索。2010年8月,国家发展和改革委员会(以下简称国家发改委)确定首先在陕西、广东、辽宁、湖北、云南五省和天津、重庆、深圳、厦门、杭州、南昌、贵阳、保定八市开展低碳试点工作,要求其编制低碳发展规划,制定支持低碳绿色经济发展的配套政策,加快建立以低碳排放为特征的产业体系,建立温室气体排放数据统计和管理体系,积极倡导低碳绿色生活方式和消费模式。2011年3月,国家“十二五”发展计划纲要明确提出“单位GDP能耗和二氧化碳排放分别降低16%和17%”的目标,并开始逐步建立碳排放权交易市场,这显示出我国政府坚持发展低碳经济的决心。

三、碳减排与碳交易

在国际社会协调行动的大背景下,碳减排成为与经济发展并重的头等大事。从《京都议定书》签署到《巴厘岛路线图》的确定,再到哥本哈根会议的召开和坎昆会议的务实谈判,各国尽管在利益诉求上存在差异,但在低碳发展问题上求同存异、达成共识。无论后京都时代是否有新的机制替代原有体系,碳减排始终是应对全球气候变化的关键所在(谭志雄和陈德敏,2012)。

历史经验表明,如果没有引入市场机制,单纯依靠强制性减排要求及经济主体的自愿性减排无法达到减排目标,并且经济系统本身也不会自发地进行有效减排。因此,迫切需要依靠市场创新激励与约束机制,促进碳减排,推动低碳发展。碳排放权交易市场被认为是一种行之有效的工具,是利用市场经济获得低成本碳减排的有效手段和减少温室气体排放量、提高资源能源利用效率及应对全球气候变化的有力途径。

碳排放权交易也称“碳交易”,是指在各国政府实现对《京都议定书》的减排承诺的前提下,对本国企业实行二氧化碳排放额度控制的同时,允许其进行交易:一个公司如果排放了少于预期的二氧化碳,那么就可以出售剩余的额度,并得到回报;而那些排放量超出限额的公司,须购买额外的许可额度以避免政府的罚款和制裁,从而实现国家对二氧化碳排放总量的控制。碳排放权交易机制的实质是通过政策法规界定大气容量资源的使用权并允许其交易:创建一种新的稀缺资源市场——碳排放权市场,并以市场机制为基础,通过合约激励机制鼓励企业或个人控制温室气体排放,实现在市场供求因素支配下有效地配置容量资源的一种政策工具,经过明晰产权后,非产权人想要使用大气环境容量资源,就必须通过特定的方式,如市场购买、有偿的拍卖或者无偿的分配等,获得大气环境容量的使用权(韩良,2009;贾茹,2012)。

目前,碳排放权交易可以分成两大类:一类是基于配额的交易,基本方式是特定年份的二氧化碳排放的总额度由国家权威部门设定,而这一额度继而被分解为核定单位的排放权,通过某种方式实现初始分配,如拍卖、免费分配或免费分配与拍卖相结合,排放权被下放到有二氧化碳排放需求的厂商或个人等经济主体。分配完成之后这些排放权可以自由支配,因此获得排放权的经济主体可以在市场上将其出售。通常如果经济主体实际的排放数量小于初始分配额度,出现的剩余差额就可以用来出售,而如果排放量大于初始分配额度,就需要在市场上进一步购买排放额度,或者通过自身的力量实现减排。超出排放额度的排放行为是非法而必然受到惩罚的。另一类是基于项目的交易,即买主向可证实降低碳排放的项目购买减排额,此类交易主要发生在国与国之间。例如,《京都议定书》提出的两个减排交易机制——清洁发展机制(clean development mechanism, CDM)和联合履行机制(joint implementation, JI), CDM 和 JI 这两个交易机制交易的不是排放许可配额,而是以项目为基础产生的减排单位。JI 项目是 UNFCCC 附件一国家(包含发达国家和经济转型国家)之间进行的,通过项目产生的减排指标单位(emission reduction units, ERUs)进行交易和转让,以用于超额排放国家践行履约减排义务。CDM 项目则在附件一国家(发达国家)与非附件一国家(发展中国家)之间展开,通过对碳减排项目的合作与开发,取得相应的减排额。这个减排额被第三方核证后成为核证减排量(certified emission reductions, CERs),用于 UNFCCC 附件一国家超额排放的许可部分。

目前,第一类碳排放权交易即基于配额的碳排放权交易相对比较活跃,已建立的碳排放权交易体系有 20 多个,遍布欧洲、北美、南美和亚洲市场,其中欧盟排放贸易市场始终占据全球碳市场的主力地位。2010 年欧盟排放许可(European union allowances, EUAs)的交易占据了全球 84% 的碳市场价值,加上二级 CDM 市场交易,欧盟占据了全球碳市场 97% 的份额。欧盟于 2005 年 1 月 1 日正式启动欧盟温室气体排放交易体系(EU emissions trading scheme, EU ETS),该体系是世界上第一个且最大的碳排放交易市场,参与国家有 30 个,包括 27 个欧盟成员国家以及冰岛、列支敦士登、挪威,共覆盖了 11 000 个主要能源消费和排放行业的电站及企业(如电力、钢铁和水泥行业),是世界上第一个国际性的碳排放权交易体系。直到目前,EU ETS 市场仍然是世界上最具影响力的碳排放交易市场(于天飞,2007;韩璐,2012)。

欧盟温室气体排放权交易机制主要内容包含以下几方面。

(1)交易机制实施的时间和产业规划。实施时间和产业安排可以循序渐进地分为三个阶段:第一阶段为 2005~2007 年,属于实践摸索阶段。这阶段涉及的产业是只对碳排放有重大影响的经济部门,如能源产业,有色金属的生产和加工产业,水泥、玻璃、陶瓷等建材产业以及纸装造纸产业等。第二阶段为 2008~

2012年,欧盟根据相应的义务限定排放数额,各成员国以国家分配方案确定本国参加 ETS 的所有设施的碳排放总量和分配给各个设施的排放权,确保排放数额在 2005 年的基础上下降 6.5%。第三阶段为 2013~2020 年,设定较长的时间是为了降低碳减排长期投资的政策风险,实现欧盟的气候和能源目标。

(2)配额初始分配及转让机制。ETS 机制属于“限额与交易”(cap-and-trade)机制,以“总量控制、负担均分”为基础。在前两个阶段,欧盟并不预先确定排放总量,而是由各成员国详细制定本国的国家间碳排放权分配方案,落实减排目标,但需要通过欧盟委员会的审批。国家间碳排放权分配方案最重要的是要列出涵盖的排放实体的清单,确定分配给各个部门或各个企业在每个承诺期的排放配额数量,同时还应当包括新加入者如何参与欧盟排放交易计划的安排,包括三种方式,即免费方式、在市场购买配额方式和通过定期拍卖获取配额方式。

(3)交易管制机制及惩罚机制。首先,排放实体需要向主管机关提交温室气体排放许可证的申请书,经主管机构审查合格后向其颁发排放许可证,授权其部分或者全部装置排放温室气体。其次,由欧盟委员会设置的中央管理机构对碳排放权的交易和行使进行规制。最后,ETS 体系要求各成员国政府拟定处罚措施以保障指令及其他法律文件的实施(林云华,2006;韩璐,2012)。

从 2002 年起,CDM 项目进入中国。如今国内已经有 135 个 CDM 项目获得国家批准,预计这些项目将有助于中国在 2012 年以前减少 6.3 亿吨 CO₂ 排放量。根据世界银行的报告估计,CDM 项目能给中国带来 100 多亿元人民币的收益。根据 UNFCCC 和《京都议定书》的有关规定,中国作为发展中国家,可以参加以项目为基础的碳排放交易。世界银行报告预计,2008~2012 年,除澳大利亚和美国外,平均每年全球减排需求为 6 亿~11.5 亿吨 CO₂。作为经济充满活力的发展中大国,中国有很多有利条件来实施 CDM 项目,如技术能力强、国家风险低、比较容易获取项目投资等。世界银行曾预测,中国未来将占据全球 CERs 市场 50% 的份额,中国碳交易未来的发展趋势比较乐观。

未来碳交易市场的发展趋势可以概括为以下几方面(吉宗玉,2011)。

(1)规模扩大化。未来会有越来越多的国家和地区加入碳交易市场的阵营,其中既有各运行中市场的扩容,又有目前处于暂停、立法审议状态的碳交易市场正式启动运作。在这些基础之上,各国和各地区的碳交易市场逐步相互连接,最终成为全球统一的国际碳交易市场。

(2)领域拓宽化。从气候变化问题内部来看,碳交易机制领域将得到拓宽,并建立与技术转让机制、资金转移机制之间的联系。从外部来看,碳交易市场将建立与能源市场、环保市场、金融市场的联系,特别是在和金融市场的联系方面,国际碳交易市场呈现商品化和金融化的趋势。

(3)竞争与合作共存。围绕着碳排放权这一新的生产要素和资源,以全球统

一的碳交易市场为中心,各国各地区之间将展开激烈的竞争。“竞争”来自于对碳排放权的分配和争夺,来自于碳排放权交易中所涉及的利益和财富转移。“合作”主要归因于人类在潜在的气候变化问题上面临着共同的挑战,各国各地区成为“命运共同体”;归因于在全球化趋势下,各国各地区经济越来越深入的融合;归因于各国各地区之间在减排成本上的巨大差异,各国各地区结成了“利益共同体”。

■ 第二节 土地利用与碳排放研究进展

一、土地利用变化与碳排放

土地不仅是陆地生态系统碳排放的自然载体,更是人为源社会经济碳排放的空间载体。土地利用与覆被变化是引起陆地生态系统碳循环过程改变的重要因素,在全球陆地与大气碳交换中起着重要作用。土地利用变化是人类活动的结果,也是影响全球碳循环的重要因素。由于化石燃料的大量使用以及森林、草原转换成农业生态系统的人类活动,全球 CO_2 浓度从工业革命前的 280 微升/升上升到了 2005 年的 379 微升/升。预计到 2100 年,大气 CO_2 浓度将会超过 450 微升/升。大气中大量的温室气体使得全球气温持续升高,并进而引起一系列的环境问题。

土地利用变化既可以发挥碳源作用,又可以发挥碳汇作用。在土地利用变化过程中,凡能从大气圈中吸收 CO_2 使植被碳库贮量积累的过程、活动或机制称为碳固定,即碳汇;而向大气中释放 CO_2 使植被碳库贮量减少的过程、活动、机制称为碳排放,即碳源。大多数的土地利用变化增加了向大气中排放 CO_2 的总量,是影响陆地生态系统碳循环、引起碳源/碳汇变化十分重要的原因。研究表明 1850~1990 年,土地利用变化导致 124 Pg(10 亿吨, $1\text{Pg}=10^{15}\text{g}$) 碳释放到大气中,约相当于同期化石燃料燃烧释放量的一半。

土地利用碳排放包括直接碳排放和间接碳排放。土地利用直接碳排放可以细分为土地利用类型转变的碳排放和土地利用类型保持的碳排放。土地利用类型转变碳排放是指生态系统类型更替造成的碳排放,如林地转换为耕地、农业用地转换为建设用地等。土地利用类型保持碳排放是指土地利用类型内部条件变化造成的碳排放,如农田管理方式转变等。土地所承载的人类活动引起的碳排放就属于土地利用间接碳排放。由于能源消耗、产业布局、农业生产等一系列活动都与土地利用密切相关,因此土地利用所导致的人类生产生活方式改变会带来难以估量的间接碳排放。土地利用变化不仅是影响陆地生态系统碳循环的重要因素之一,也已成为仅次于石油、煤炭等化石燃料燃烧而使大气 CO_2 浓度急剧增加的最主要的人为活动。土地利用变化及其生态环境效应,特别是由此引发的碳源/碳汇、

碳循环过程目前已成为土地科学及全球变化研究的热点问题。

土地利用碳排放作用机理目前还无统一的认识。Houghton 等(1999)认为陆地与碳素循环之间的关系可以分为两大类。第一类是影响光合作用、呼吸作用、生长以及腐烂分解速率的生理代谢机制,包括营养物质增加、大气 CO_2 浓度增加、气温升降、降雨变化,以及能够提高森林生长速率的任何生态机制,而这些机制往往受到人类活动的间接影响。第二类是干扰、恢复机制,包括自然干扰、土地利用变化和管理的影响。Campbell 等(2000)认为陆地与大气之间碳的净通量主要取决于两个过程:一是土地利用和其他人类活动引起的地表覆被的变化,包括森林砍伐、退耕还林、农田管理等活动;二是自然干扰过程,包括大气 CO_2 浓度的升高、氮沉降和气候变化等过程。赖力(2010)将土地利用碳排放机制分为三类:一是自然干扰机制;二是土地利用类型转变机制;三是土地管理方式转变机制。自然干扰机制包括全球 CO_2 浓度升高、氮沉降作用、全球污染以及全球变暖对土壤中碳的积累和循环过程的影响。土地利用类型转变机制有变换和渐变之分,前者指土地利用类型向另一种土地利用类型的改变,改变之后生态系统的物理环境、植被功能也发生变化,如森林向农田或草地的转换。后者则指土地利用类型转变对生态系统过程、群落结构、种群动态产生明显影响,但不发生物理环境或植被功能型的极端变化,如对森林进行采伐,农田施肥等农田管理措施的变化,天然林向人工管理林的转变,草场过度放牧引起的生态系统退化等。不同土地类型的管理方式不一样,如对森林的管理措施包括森林收获、森林砍伐、森林恢复等;对农田的管理措施则包括耕作、施肥、灌溉、农膜运用等。不同管理措施对土壤碳储量以及利用农田产生的间接碳排放量都有很大影响。

Glaser 和 Kahn(2008)对不同区域新兴建筑 CO_2 排放量的研究发现,碳排放和土地利用规划之间存在极大的负相关。Schaldach 和 Alcamo(2006)利用 HILLS(Hesse intergrated land use simulator)模型系统计算德国 1990~2000 年和 2000~2020 年的土地利用变化和碳汇变化,并模拟城市化、造林和限制农田对区域碳平衡的影响,认为城市化部分消除了由其他土地利用变化产生的碳汇。李颖等(2008)采用 1995~2007 年江苏省能源消费和土地利用等数据,通过构建能源消费的碳排放模型,对江苏省能源消费碳排放进行核算,并对不同土地利用方式的碳排放及其强度、碳排放效应进行分析。赖力(2010)通过构建基于 1km 栅格碳排放评估模型,研究我国 20 世纪 80 年代以来陆地生态系统碳收支的时空格局,并将陆地生态系统碳收支和人为源碳排放进行统筹考虑,提出基于土地利用方式的综合碳排放清单。杜官印(2010)通过 STIRPAT(stochastic impacts by regression on population, affluence, and technology)模型研究建设用地对碳排放的影响,结论表明人口、人均 GDP 和建设用地扩张是碳排放的主要因素。苏雅丽和张艳芳(2011)从不同土地利用方式所具有的碳源或碳汇作用入手,研究陕

西省土地利用变化下碳排放效应的时空特征。

二、自然生态系统碳排放

对自然系统碳排放的研究集中于森林、土壤与农田三个方面。

(1)森林: Kaul 等(2009)利用三期遥感影像测算印度森林不同土地利用变化的净碳汇能力。Kumar 等(2010)研究印度西部拉贾斯坦邦森林不同土地利用方式的碳储量和土地利用方式对森林碳汇的影响,结果表明碳汇能力的减少是森林转变成了农业用地的结果。Malhi(2010)分析 1990~2005 年热带雨林地区的碳平衡,认为热带雨林碳源和碳汇的不同是由热带雨林所处的地理位置的不同造成的。例如,亚洲的热带雨林是一个碳源,而非洲的热带雨林却是一个碳汇。刘国华等(2000)依据建立的不同森林类型生物量和蓄积量之间的回归方程,对我国近 20 年来森林的碳储量进行推算,结果表明我国森林的碳汇总体呈增加趋势。

(2)土壤: Nishimura 等(2008)通过研究农田由水稻种植到旱地作物种植的变化对土壤碳收支的影响,结果表明土地利用方式从水稻种植到旱地作物种植的改变引起农田土壤中碳的大量流失。Yan 等(2007)利用以耦合遥感和过程为基础的生态系统模型估算我国农用地土壤的固碳潜力,并评估土壤在不同土地利用下固碳的持续性。研究表明,相比单纯增加秸秆返田,实行免耕更能提高土壤固碳的能力和持续性。Iqbal 等(2009)通过研究我国亚热带地区不同土地利用方式下老成土的碳源,指出植被类型和管理方式都会影响到土壤中碳的收支。Xia 等(2010)通过对 20 年黑龙江松嫩平原南部地区土壤碳源进行动态分析,指出全球气温变暖和土地利用变化是造成土壤碳排放的主要原因。Batlle-Bayer 等(2010)通过分析巴西塞拉多土地利用变化下的土壤碳汇变化,认为土地利用方式的变化很大程度上影响到土壤中碳含量的变化。何淑勤和郑子成(2010)指出在不同土地利用方式下,不同团聚体中土壤有机碳含量差异明显,且随着团聚体粒径的增加,它们之间的差异逐渐减小。陈国潮和何振立(1998)发现,我国浙江兰溪不同利用方式下红壤的土壤有机质含量以荒地最低,其次为林地和旱地,最高为菜地和水田。

(3)农田: Jouquet 等(2007)通过对 4 种不同的农业生态系统的分析,研究土地利用方式的变化和蚯蚓活动对越南北部山地生态系统碳氮动力的影响,研究表明碳氮的缺失可以靠农业生态系统和蚯蚓活动调节。Gitz 和 Ciais(2004)认为农田与牧场增加、化石燃料和土地利用变化是大气中 CO_2 增加的原因,土地利用变化对增加 CO_2 具有惯性作用。到 2100 年,土地利用变化产生的碳排放将占到碳排放总量的 30%。方精云等(2007)利用农业统计资料、地面观测资料和卫星遥感数据,对 1981~2000 年我国森林、草地、灌草丛以及农作物等陆地植被的碳汇进行估算。鲁春霞等(2005)根据区域内农作物经济产量与生物产量之间的关

系模型,结合不同区域生物量和含碳量参数,估算出我国不同区域农田生态系统总生物量和总碳蓄积量。赵荣钦和秦明周(2007)运用1981~2001年我国沿海10个省市自治区作物产量、种植面积、农业机械等农业投入数据,对农田生态系统的碳源、碳汇进行估算,结果表明碳排放量呈现出增加的变化趋势,各个省区由于土地利用方式的不同使得碳排放、碳吸收存在着明显的差异。

三、土地利用与碳源/碳汇

土地利用的动态变化对于碳储量变化的模型十分重要。Schulp等(2008)分析未来欧盟土地利用变化对土壤和植被中固碳效应的影响,认为如果不改变土地利用方式,相比2000年,2030年固碳率将下降4%。Woomer等(2004)通过卫星影像和实地测量测算塞内加尔地区的土地利用变化和陆地碳储量变化之间的关系。Cantarello等(2011)基于英国本土和区域政策规划的三种情况(假设每种情况都能执行到2020年),分析土地利用变化对碳固定的影响,认为合理的土地利用变化有助于区域的碳固定和实现全国碳排放的目标。Sharma和Rai(2007)认为土地利用和碳密度有很大的关系,林地转向其他用地后,土壤碳含量下降而碳排放增加,强烈的土地利用变化使此流域成为碳源。Gitz和Ciais(2004)研究6种土地利用方式转变(forest↔crop, forest↔pasture, grassland↔crop)后认为,林地和草地转变为耕地是导致CO₂增加的主要原因。Kumar等(2010)的研究结果也表明碳的大部分损失是由于森林转变成了农用耕地。Martens等(2005)在评估美国西南部炎热干燥的地区影响土壤中CO₂固定和排放的农业因素后,认为转变密集的耕作方式可以增加土壤有机碳。Lal(2002)认为通过采取合理的土地利用和管理方式,可以重新固定60%~70%已损耗的碳。

李颖等(2008)对土地利用变化的边际碳源/碳汇效应的研究认为,建设用地具有最显著的碳源效应,林地具有最显著的碳汇效应。汤洁等(2008)研究大规模土地整治与生态修复对土壤有机碳的增汇潜力和固碳效应。赵荣钦等(2010b)从低碳土地利用的原则、模式和对策、目标等方面构建了低碳土地利用模式研究的理论框架,并从土地利用结构、规模、方式和布局等方面提出低碳土地利用的模式和对策。

城市作为人类生产生活最集中的区域,是土地利用变化强烈、CO₂排放最为集中的地区,城市碳源/碳汇变化的研究备受关注。于德永等(2006)利用MODIS^①-based计算归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)值和光能利用率模型(carnegie-ames-stanford approach model, CASA)得

① moderate-resolution imaging spectroradiometer, 即中分辨率成像光谱仪。