

2017年度黑龙江省社会科学学术著作出版资助项目

# 区域碳收支及低碳 发展对策研究

周嘉 孙丽 孟杰 著



**HEUP** 哈尔滨工程大学出版社

2017 年度黑龙江省社会科学学术著作出版资助项目

# 区域碳收支及低碳 发展对策研究

QUYU TANSHOUSHI JI DITAN  
FAZHAN DUICE YANJIU

周 嘉 孙 丽 孟 杰 著

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

## 内 容 简 介

本书在提出区域碳收支的基本理论和内涵的基础上,对东北地区不同人类活动的碳收支核算进行了研究。本书的主要创新点如下:一方面,对区域碳源/碳汇进行了全面的核算,丰富了区域碳收支核算的范围和内容;另一方面,从研究的空间尺度上,从传统的县、市拓展到省域和地区范围,为差别化的区域低碳发展道路的选择提供了技术支撑和实践指导,为低碳发展的决策提供依据。

本书可作为地理学、环境科学及管理科学等专业研究生的参考书目,也可供从事气候变化和碳排放研究、碳排放清单核算以及环境规划与管理的专业研究人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

区域碳收支及低碳发展对策研究 / 周嘉, 孙丽, 孟杰著. — 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2017. 11  
ISBN 978 - 7 - 5661 - 1721 - 2

I. ①区… II. ①周… ②孙… ③孟… III. ①碳循环—研究—中国②中国经济—低碳经济—经济发展—研究  
IV. ①X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 268489 号

选题策划 龚 晨  
责任编辑 张忠远  
封面设计 佟 玉

---

出版发行 哈尔滨工程大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号  
邮政编码 150001  
发行电话 0451 - 82519328  
传 真 0451 - 82519699  
经 销 新华书店  
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司  
开 本 787 mm × 960 mm 1/16  
印 张 10.75  
字 数 251 千字  
版 次 2017 年 11 月第 1 版  
印 次 2017 年 11 月第 1 次印刷  
定 价 39.80 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

---

# 前 言

中国正处于快速城市化和工业化发展进程中,由于大量消耗各类化石能源,目前中国已经超过美国,而一跃成为二氧化碳排放的第一大国。碳排放增多不仅会引发包括全球变暖在内的一系列严重的全球环境问题,而且更为严重的是其威胁到全人类的可持续发展,因而控制并进一步减少二氧化碳的排放量、发展低碳经济是全人类共同的发展目标。作为中国老工业基地,东北地区不仅是我国重要的能源消费区域,而且也是二氧化碳排放相对集中的区域。从已有的分析数据可知,东北地区人均排放量和碳排放强度均明显高于全国人均水平。另外,东北地区正处于经济快速发展时期,存在着高度依赖煤炭和石油能源消费的问题,在短时间内很难有所改变,因此,化石能源消费产生的二氧化碳排放量,在未来一段历史时期内仍将不断增加。随着全球经济的不断发展,历史造成的东北老工业基地产业结构不合理、能源消耗量大、能源利用效率低的问题被充分显现,其中,产业结构不合理已经成为制约东北地区低碳经济发展的主要瓶颈因素。

基于以上背景,本书比较全面地对东北地区整体的碳收支情况、能源消费的碳排放以及土地利用的碳排放情况进行了核算,并进一步对能源消费和土地利用的碳排放的影响因素进行分析。作为我国重要的老工业基地,东北地区能源消费的碳排放量在总碳排放量中占有绝对高的比例,因此调整产业结构,淘汰高耗能行业,提高能源效率,逐步调整能源结构是实现低碳东北的重要举措。

本书在对国内外碳收支前期研究进行梳理的基础上,构建了区域碳收支核算的基本框架和方法,从不同空间尺度(包括地区、省和城市)和不同角度(包括能源活动、农业生产、土地利用和产业活动)开展了区域碳收支的核算研究。围绕“区域碳收支”和低碳发展的主题,按照“碳收支的理论框架和方法—区域碳收支核算—区域碳足迹分析—区域碳减排潜力预测和分析—区域低碳发展模式”的思路由浅入深地开展研究。在突出区域碳收支核算与评估体系构建的同时,体现碳收支理论与实践的结合,为区域低碳化发展提供重要的参考价值。

在前期研究和撰写的过程中,感谢我的博士后合作导师黑龙江省科学院自然

与生态研究所的倪红伟研究员,哈尔滨师范大学臧淑英副校长,哈尔滨师范大学地理科学学院万鲁河院长、吴相利副院长、张冬有副院长给我提出的建议、意见和启发,在此一并表示衷心感谢!

感谢我的学生董美娜、杨琳、赵郡、赵婧宇、刘学荣、李志学在数据搜集、整理方面提供的帮助。

本书由周嘉提出大纲和思路,由周嘉、孙丽和孟杰等统稿完成。各章节分工如下:第一章由周嘉、赵婧宇撰写;第二章由孙丽、李志学撰写;第三章由孙丽、刘学荣撰写;第四章由周嘉、董美娜、赵郡撰写;第五章由周嘉、刘学荣撰写;第六章由孙丽、杨琳撰写;第七章由孙丽撰写。

对于黑龙江省社会科学界联合会、黑龙江省社会科学学术著作出版资助办公室对本书的出版给予的大力支持;哈尔滨工程大学出版社龚晨老师对本书的编辑、校对和出版所做的大量工作,在此并表示衷心感谢!

由于作者水平有限,本书难免存在不足,敬请各位专家和读者批评指正!

周 嘉

2017年7月于哈尔滨

# 目 录

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 第一章 绪论 .....                     | 1  |
| 第一节 研究背景 .....                   | 1  |
| 第二节 研究意义 .....                   | 2  |
| 第三节 研究价值 .....                   | 6  |
| 第四节 相关内容的国内外研究进展 .....           | 6  |
| 第五节 研究内容和创新点 .....               | 11 |
| 参考文献 .....                       | 12 |
| 第二章 研究区概况及相关理论 .....             | 18 |
| 第一节 东北三省概况 .....                 | 18 |
| 第二节 相关理论综述 .....                 | 22 |
| 参考文献 .....                       | 26 |
| 第三章 东北三省碳收支核算及碳足迹分析 .....        | 27 |
| 第一节 省域中尺度碳收支核算方法 .....           | 27 |
| 第二节 东北三省碳收支核算及碳足迹特征分析 .....      | 35 |
| 参考文献 .....                       | 47 |
| 第四章 东北三省能源消费碳排放量特征及其减排压力分析 ..... | 49 |
| 第一节 东北三省能源消费状况分析 .....           | 49 |
| 第二节 能源消费碳排放核算方法 .....            | 56 |
| 第三节 东北三省能源消费碳排放核算 .....          | 56 |
| 第四节 东北地区能源消费的碳排放影响因素分析 .....     | 70 |
| 第五节 东北三省碳排放与经济增长的关系 .....        | 83 |
| 参考文献 .....                       | 91 |
| 第五章 东北三省土地利用碳收支核算及低碳发展路径研究 ..... | 93 |
| 第一节 东北三省土地利用碳收支核算研究 .....        | 93 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第二节 土地利用变化的碳排放效应分析 .....     | 109 |
| 第三节 区域土地利用低碳发展路径研究 .....     | 112 |
| 参考文献 .....                   | 115 |
| 第六章 黑龙江省工业碳排放核算及影响因素分析 ..... | 116 |
| 第一节 工业能源消费碳排放的研究现状 .....     | 117 |
| 第二节 研究方法 .....               | 118 |
| 第三节 研究思路 .....               | 120 |
| 第四节 黑龙江省工业能源消费碳排放的核算分析 ..... | 120 |
| 第五节 工业碳排放现状及影响因素分析 .....     | 130 |
| 参考文献 .....                   | 155 |
| 附录 A .....                   | 159 |
| 附录 B .....                   | 160 |
| 第七章 结论与不足 .....              | 162 |
| 第一节 结论 .....                 | 162 |
| 第二节 建议 .....                 | 164 |
| 第三节 不足之处 .....               | 165 |
| 参考文献 .....                   | 166 |

# 第一章 绪 论

## 第一节 研究背景

随着人类社会经济的迅速发展及各类化石能源的大量使用,温室气体的排放不断增加,导致全球平均气温不断攀升。根据联合国政府气候变化专门委员会(IPCC)公布的第五次评估报告显示,全球地表平均气温在1880—2012年期间已经上升了 $0.85^{\circ}\text{C}$ 。美国公布报告称,2014年成为气象记录以来最暖的一年,并且在15个最暖年份中有14个发生在21世纪,说明气候变暖趋势仍然继续。英国皇家学会采取“最坏情况”来假定到2100年,地球平均气温将上升 $2.6^{\circ}\text{C} \sim 2.8^{\circ}\text{C}$ 。

中国在2006年已经成为世界上碳排放量第一大国<sup>[1]</sup>。十二五期间,中国在应对气候变化各个领域均取得显著成效。截至2014年,全国单位国内生产总值二氧化碳的排放量同比下降6.1%,比2010年累计下降15.8%<sup>[2]</sup>。十二五期间,我国非化石能源占能源消费比重达到11.2%,比2005年提高了4.4%,基本上完成了十二五规划的要求。

中美双方于2014年11月12日发布的《中美应对气候变化联合声明》确定了重大战略安排,我国承诺到2030年左右实现国内碳排放峰值控制。这不仅是作为负责任大国应尽的义务,也是我国经济新常态的客观要求。

出于对全球变暖的深深担忧以及应对全球气候变化的挑战,区域的碳收支核算研究已成为20世纪末以来国内外学术界研究的关键问题<sup>[3,4]</sup>。该研究是在全球变化和低碳发展背景下产生的对区域人类活动环境进行效应评估的方法,也是近年来地理学、环境科学、环境经济学等不同学科交叉研究的热门领域<sup>[5]</sup>。

通过碳收支的核算,有助于从整体上了解区域生态环境的碳吸收和碳排放的状况,并进一步了解区域生态系统的承载能力和区域的碳足迹状况,从而厘清区域的碳减排压力和碳汇资源空间。在核算区域碳排放的强度、格局和过程的同时,可以构建区域碳排放清单,进一步为中国区域温室气体核算提供有力的数据支撑。

因此,碳收支核算实质上就是通过对区域碳源/碳汇水平的计算和对比,了解区域的碳循环以及碳减排的压力和状态,进一步为区域实现低碳发展和环境公平



提供决策依据<sup>[5]</sup>。

## 第二节 研究意义

### 一、区域碳收支核算是建立区域温室气体排放核算体系的基础和必然要求

近年来,由人为活动碳排放导致的全球气候变暖成为国际学术界和各国政府关注的热点问题。中国政府近年来高度重视低碳发展和绿色发展。2009年11月哥本哈根会议前夕,中国政府宣布了到2020年,在2005年基础上单位国内生产总值(以下简称为GDP)碳强度下降40%~45%的目标<sup>[6]</sup>。2011年,《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》提出了单位国内生产总值二氧化碳排放量降低17%的目标,并明确提出建立完善温室气体排放统计核算制度。国家发展和改革委员会于2010年7月发布的《关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知》确定了第一批“五省八市”低碳试点,提出试点省和试点城市要将应对气候变化工作全面纳入本地区“十二五”规划<sup>[7]</sup>,并研究制定试点省和试点城市低碳发展规划。2012年4月,发布的《关于组织推荐申报第二批低碳试点省区和城市的通知》,将低碳试点扩大到6个省36个城市,并规定这些试点地区的重要目标之一是要测算并确定本地区温室气体排放总量控制目标,研究制订温室气体排放指标分配方案。2011年11月,《国务院关于印发“十二五”控制温室气体排放工作方案的通知》中特别指出要“加强温室气体排放核算工作,制定地方温室气体排放清单编制指南,规范清单编制方法和数据来源”“建立温室气体排放数据信息系统,定期编制国家和省级温室气体排放清单,加强温室气体计量工作,做好排放因子测算和数据质量监测,确保数据真实准确。构建国家、地方、企业三级温室气体排放基础统计和核算工作体系”。综上所述,反映了国家层面对温室气体统计与核算的关注。开展温室气体核算不仅是编制全国及各区域温室气体清单的重要依据,而且能够为中国应对国际碳排放谈判提供重要的数据支撑。中国政府把生态文明建设列为“十三五”规划重要内容,这些做法意味着,中国在促进温室气体减排、应对气候变化方面将再度迈出历史性关键的一步。

由此可见,通过向低耗能、低污染、低排放的低碳经济转型来解决气候变化的问题已经成为共识。然而,低碳的概念虽然被热炒,但实现手段却一直缺失,其中重要的原因就是碳源/碳汇数据难以被定量化,还没有形成比较系统的区域碳收支评估的方法体系,这也是当前气候变化背景下亟待解决的问题。因此,通过收集大量碳源/碳汇数据,并对其进行处理、加工和运用的区域碳收支结算的理论和方法就具有非常重要的意义。同时,亟须建立不同空间尺度的区域碳收支核算及其集

成化的研究方法,以期为中国区域温室气体核算和低碳发展战略的制定提供有力的数据支撑和基础信息库。

## 二、区域碳收支核算是科学评估人类活动碳效应强度和区域碳循环压力的前提

一方面,中国处于快速城市化的发展进程中,人类活动对区域环境影响日益加深,并由此带来了诸多环境问题。《国家中长期科技发展规划纲要(2006—2020年)》将“全球环境变化监测与对策”“人类活动对地球系统的影响机制”和“全球变化与区域响应”列为优先发展的主题。碳收支和碳足迹是对人类活动环境影响程度的度量,开展区域碳收支研究不仅为评估人类活动强度及其影响提供重要的方法手段,而且为加强全球变化背景下“自然-社会-人”耦合的碳循环压力评估提供理论基础。

另一方面,从区域发展的角度而言,中国近年来区域发展不均衡的情况日益突出,2015年10月《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》中明确指出“推动区域协调发展、塑造要素有序自由流动、主体功能约束有效、基本公共服务均等、资源环境可承载的区域协调发展新格局”“发挥主体功能区作为国土空间开发保护基础制度的作用,落实主体功能区规划、完善政策”。区域碳收支可以从不同的空间尺度上开展对人类活动效应的评估,为不同区域开发强度的定量评估提供了重要手段。

因此,区域碳收支核算是开展人类活动碳效应强度和区域碳循环压力评估、推动区域公平发展的前提。

## 三、区域碳收支核算是在区域层面制定应对气候变化的碳减排策略的基础<sup>[5]</sup>

减排已成为全球共识,作为负责任的大国,2009年,在哥本哈根会议前夕,中国提出了2020年单位GDP碳排放量比2005年减少40%~45%的目标。在2015年11月,中国气候变化事务特别代表解振华在国务院新闻办公室的发布会上表示,十八大确定的我国的五个理念创新中就包括绿色发展<sup>[8]</sup>。在中央国务院发布的加强生态文明建设的意见当中明确了要搞绿色、低碳、循环发展,在这方面“十二五”确定的一些目标现在已实现。2015年6月30日,巴黎气候大会前夕,中国政府向联合国提交了《强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献》,确定了2030年的行动目标<sup>[9]</sup>:二氧化碳排放2030年左右达到峰值并争取尽早达峰,单位GDP二氧化碳排放量比2005年下降60%~65%,非化石能源占一次能源消费比重达到

20%<sup>[9]</sup>。同时文件中还提到:中国将在已采取行动的基础上,在国家战略、区域战略、能源体系、产业体系、建筑交通、森林碳汇、生活方式、适应能力、低碳发展模式、科技支撑、资金政策支持、碳交易市场、统计核算体系、社会参与、国际合作等 15 个方面持续不断地做出努力<sup>[9]</sup>。这是中国政府就应对气候变化又一次向世界做出的郑重承诺。2015 年 9 月,习总书记也曾经提到“中国一直本着负责任的态度积极应对气候变化,将应对气候变化作为实现发展方式转变的重大机遇,积极探索符合中国国情的低碳发展道路。中国政府已经将应对气候变化全面融入国家经济社会发展的总战略”。由此可见,开展区域碳收支核算研究,不仅是当前气候变化背景下区域碳减排的必然要求,而且也完全符合国家中长期科技发展的重大需求。因此,如何在应对气候变化的背景下,探索符合中国国情的低碳发展道路,走中国特色的生态文明之路,是摆在中国当前和今后一段时期内亟待解决的问题。

要制定行之有效的低碳发展策略,需要对社会生产各领域及人类各种活动的碳排放进行精确的统计和核算。因此,区域碳收支核算是在区域层面制定应对气候变化的碳减排策略的基础,也是地方政府开展应对气候变化的减缓和适应能力建设的关键。

#### 四、区域碳收支核算是开展区域横向碳交易补偿的重要依据

2008 年我国政府发布《中国应对气候变化的政策与行动》白皮书,作为未来中国应对气候变化行动的具体指导。2010 年国家发改委正式启动 5 省 8 市的国家低碳省区和低碳城市试点工作<sup>[7]</sup>。2011 年制定了《“十二五”控制温室气体排放工作方案》,国务院明确提出开展低碳发展的试验试点,探索建立碳排放交易市场,并明确了中国应对气候变化的总体部署和基本立场。在《关于开展碳排放权交易试点工作的通知》中明确在北京、天津、上海、重庆、广东、湖北、深圳等 7 省市开展碳排放权交易试点工作,逐步建立国内碳排放交易市场,从而以低成本实现 2020 年中国控制温室气体排放行动的目标<sup>[10]</sup>。至此,通过市场方式解决部分环境问题被确定为和谐包容发展的一种方式<sup>[9]</sup>。

为了实现中国节能减排的目标,需要广泛应用各种相关手段,其中相关的经济手段尤为为重要。有研究指出,目前中国存在的最大问题,是未能建立起市场化的节能减排长效机制<sup>[11]</sup>。因此,为应对全球温室效应,如何通过市场手段建立节能减排的市场机制,便成为政府与科学界共同关注的问题。

政府可以通过多种行政手段推动低碳经济,而碳市场是推动低碳经济的高级形式,它是通过行政手段人为地创造一个市场,其具备价格发现和资源配置功能,能够促使经济体以最低的成本完成碳减排的任务。开展碳排放权交易是优化资源配置、降低管理成本、减少权力寻租、低成本控制碳排放的有效手段,其也因此成为推动绿色发展的重要措施,调整产业结构、推动经济转型升级的重要依据。

碳交易本质上是生态补偿的一种方式,虽然是当前国内外研究的热点,但是目前国内的碳交易大多数是依靠企业的参与来完成的,而建立于公平原则基础上的区域角度的碳交易补偿问题却很少涉及。碳补偿是从低碳层面推动区域低碳协调发展的重要举措。

区域碳收支核算通过对数据进行处理、加工和运用,可以为碳效益补偿确定合理的补偿依据、为区域碳市场和碳交换机制的形成提供定期的数据支持,具有广阔的应用前景<sup>[7]</sup>。本书通过区域碳收支核算揭示区域碳收支及碳平衡状况,厘清区域碳收支机理,为其进行横向的区域碳交易提供重要的数据支撑,最终落实面向低碳的碳补偿方案,建立区域低碳发展模式,同时也有助于推动 2017 年全国统一的碳交易市场的建立。碳市场的生态补偿机制探索与创新,已成为“两型社会”建设和体制机制改革的亮点,为国家建立生态补偿机制和生态文明建设提供了重要参考。

从以上背景可以看出,在当前应对气候变化和低碳发展的背景下,区域碳收支不仅具有多学科集成的优势,而且被赋予了一定的政治内涵。因此,建立区域碳收支核算的理论和方法体系对于建立科学的温室气体清单、区域低碳发展战略、区域公平发展和国家碳管理及应对气候变化的碳减排都具有广泛而深远的意义。区域碳收支研究也将成为今后跨越自然和社会学科的区域发展评估的重要工具。

东北地区作为我国重要的老工业生产基地,其经济发展一直高度依赖资源、能源,经济发展主要凭借能源工业推动,对煤炭和石油的依赖程度远高于我国其他省份和地区。十三五规划纲要中再一次明确提到要“全面振兴东北地区”。

东北老工业基地虽然起步较早,曾经为中国经济快速发展做出过贡献,但目前作为以重工业为主的工业基地,能源结构不合理、能源利用效率低下等因素已经成为东北地区经济快速发展的严重制约因素,因此制订出适合东北三省实际情况的碳减排计划,对实现东北三省低碳经济发展,为中国 2030 年减排目标的实现提供重要的区域性的示范作用。

基于上述想法,本书通过东北三省碳收支的核算以及低碳经济与产业结构的实证研究,分析与评价东北三省产业低碳化的现状和发展态势,并进一步对比黑、吉、辽三省的能源消费和土地利用的碳排放差异,最终识别影响东北三省产业低碳化水平的制约因素,提出产业低碳化的建议,为东北地区进行产业转型和产业升级从低碳角度给予科学的数据支持。

### 第三节 研究价值

本书从区域碳收支的理论基础和方法体系入手,通过不同人类活动的角度开展碳收支和碳足迹的评估,力求突出理论和社会两方面的价值。

#### 一、理论价值

本书对于构建科学合理的区域碳收支研究的核算框架和理论体系具有一定的参考价值。在分析区域碳收支的内涵和理论基础上,参考大量文献对碳收支核算的方法进行总结,并进一步从实证研究的层面,从整体上了解区域碳源/碳汇的格局、强度和过程以及影响机制,为开展针对不同人类活动的中尺度空间的碳收支核算提供了一定的理论和方法参考<sup>[5]</sup>。

#### 二、社会价值

本书在拓展碳收支核算的研究领域,在传统方法核算碳源/碳汇的基础上,将区域碳收支、碳排放压力放大到中尺度空间研究,为区域低碳化发展提供重要的参考价值:一方面,通过对区域碳源和碳汇的核算和对比分析,探索出区域的碳平衡整体状况,评估人类活动的强度和碳排放空间,为区域走低碳化发展道路提供重要的科学依据;另一方面,通过碳收支核算的空间差异分析,为差别化的区域低碳发展政策的制定以及发展方向的选择提供数据支撑和实践指导<sup>[5]</sup>。

### 第四节 相关内容的国内外研究进展

#### 一、不同空间尺度的碳收支核算的研究进展

目前,碳收支核算主要包括自然生态系统的碳收支、土地利用的碳收支、产业的碳收支等情况,其中,对自然生态系统的研究最多,陆地生态系统碳收支研究所占比例比较大。例如,杨延征利用集成生物圈模型(IBIS)对中国陆地生态系统历史时期(1960—2006年)气候及CO<sub>2</sub>浓度变化条件下碳收支时空变异特征和发展趋势进行了模拟分析<sup>[12]</sup>。于贵瑞在区域尺度上研究了陆地生态系统碳收支的观测技术体系,重点分析了其评估方法及不确定性,提出亟须采用“多尺度观测、多方法印证、多过程融合、跨尺度认知和跨尺度模拟”的研究思路<sup>[13]</sup>,并且在区域尺度上研究了陆地生态系统碳收支的循环过程<sup>[14]</sup>。在研究陆地生态系统中主要涉及森林生态系统<sup>[15-18]</sup>、湿地生态系统<sup>[19]</sup>、草地生态系统<sup>[20]</sup>、内陆水体生态系统<sup>[21-23]</sup>、农田生态系统<sup>[24,25]</sup>等领域。在土地利用方面,付超分别利用卫星遥感方

法和 IPCC 清单法对土地利用/覆被变化(LUCC)对中国区域陆地碳源/碳汇影响进行了评估<sup>[26]</sup>。张善峰分别用物料衡算法和植被生物量法,测算了杭州市人类活动的释碳量和遗留自然生态系统的固碳量,并分析了杭州市三年土地利用变化数据,得到杭州市的碳收支一直处于赤字状态<sup>[27]</sup>。周军辉将土地利用结构与碳收支进行协整分析及因果关系检验,认为碳吸收量较大的是林地和耕地,农用地面积的变化与碳吸收量之间不存在协整关系,建设用地面积的变化与碳排放总量和净碳排放量之间存在长期动态均衡关系<sup>[28]</sup>。在对产业的碳收支研究中,大多数研究的是农业碳收支情况,几乎没有涉及第二产业和第三产业的情况。郑福云通过系数法对哈尔滨市农业碳收支进行估算,并且提出了农业低碳发展的措施<sup>[29]</sup>。刘英运用碳源/碳汇估算模型对我国农业生产碳收支进行初步的核算和分析,认为我国农业的碳吸收明显大于碳排放,认定我国农业是“碳汇”区<sup>[30]</sup>。

从研究的空间尺度来看,在大空间尺度上刘英通过对 1978—2009 年的农业统计数据,运用碳源/碳汇估算模型对我国农业生产碳收支进行了初步的核算和分析<sup>[30]</sup>。朴世龙利用地面清查结合遥感数据、生物地球化学模型和大气反演模型三种独立的方法,定量描述了中国的碳收支及其变化机理<sup>[31]</sup>。方精云从中国、东亚区域及全球尺度研究了森林生态系统碳源/碳汇及其影响机制<sup>[15]</sup>。Pan 等对全球森林碳收支的研究是迄今为止对全球森林碳收支最为全面系统的一次评估<sup>[32]</sup>。

在中尺度上叶飞等对淮河流域农田湍流特征进行了 4 年连续监测,并对淮河流域农田  $\text{CO}_2$  通量、潜热通量、显热通量等原始数据分析得到淮河流域农田碳收支特征,并运用主成分分析法分析了其影响因素<sup>[24]</sup>。黄潮清借助遥感数据和相关统计数据,对区域碳收支进行了核算,运用 CBM - CFS3 森林碳收支模型对广东省 2005—2020 年陆域碳收支进行了模拟和预测,并探讨了广东省陆域碳收支时空格局的演变规律<sup>[33]</sup>。孙伟分别采用物料衡算法和植被生物量法计算了人类呼吸和化石能源消耗的释碳量和陆地生态系统的固碳量,据此综合测度了区域自身碳收支平衡能力,并以长江三角洲核心区为例,进一步研究了区域内部碳收支平衡能力的空间分异问题<sup>[34]</sup>。赵荣钦等对江苏省碳收支清单进行了核算,并分析预计了 2020 年江苏省的碳减排潜力<sup>[35]</sup>。李蓓蓓等基于历史文献建立的较高空间分辨率的历史土地覆盖数据,利用簿记模型对东北地区过去 300 年来耕地开垦导致的碳排放量进行了核算,并对黑龙江省、吉林省和辽宁省三省耕地开垦的碳排放量进行对比,结果显示黑龙江省碳排放量最大,其次是吉林省,辽宁省碳排放量最小等结论<sup>[25]</sup>。王军邦等在对青藏高原草地生态系统碳收支的研究中发现研究方法不同使得对青藏高原草地生态系统的碳收支的核算结果存在差异,并得到由于气候变暖使得青藏高原草地生态系统仍然发挥着碳汇的功能<sup>[36]</sup>。Wang 等采用水热优化 NPP 气候模型和土壤呼吸 Q10 模型对辽宁省近五十年森林碳收支进行定量估算,认为近五十年辽宁省森林固碳总体处于中等偏下水平且辽宁省森林总体仍然为碳

汇区<sup>[37]</sup>。

在小尺度上肖慧娟以广州市为研究对象,分析了1990—2003年每年的净固碳量和释碳量的变化趋势,并分析了广州市碳收支的严重失衡主要是由逐年递增的人口和以化石燃料为主的能源消费造成的<sup>[38]</sup>。杨宏玉以重庆市为实证,运用对比分析和相关分析等方法分析了土地利用结构变化与碳收支之间的关系,以及如何通过优化土地利用结构来实现碳收支的平衡问题<sup>[39]</sup>。李芬估算了上海市南桥新城的净固碳量和碳排放量,分析了能源消费结构和城市绿地生态系统状况,并对城市的绿地碳汇能力运用GIS工具进行了空间分析,针对其提出了建议与措施<sup>[40]</sup>。

综上所述,碳收支核算在大的层面上包括全球的森林碳汇碳源的研究;全国层面上的研究包括对全国森林、湿地、草地等碳收支的研究;在中等层面上包括省际的土地利用研究,地区的森林生态系统、草地生态系统等区域碳收支的核算研究;在小的尺度上对城市的土地利用变化,能源消费结构和城市绿地生态系统状况,城市生态系统的碳循环及碳平衡等的研究。

## 二、碳排放与产业结构的研究进展

随着气候的变暖和能源的日益枯竭,研究者开始逐渐增加对碳排放的关注,随着对碳排放的不断深入,碳排放的主要研究对象开始从发达国家转向发展中国家。本书对近几年碳排放的研究成果进行回顾,包括碳排放和经济增长之间的关系研究,产业碳排放的研究以及碳排放的影响因素研究。

一些研究者针对我国碳排放与经济的关系进行研究,结果显示经济的增长对碳排放起到正向推动作用<sup>[41,42]</sup>,还有学者针对国际或其他国家进行碳排放的研究<sup>[43-47]</sup>结果也相同。同时部分学者还得出人均碳排放和人均GDP之间存在环境库茨涅茨曲线关系<sup>[48,49]</sup>。孙立成等人测算了中国省际区域碳排放转入总量及碳排放转出总量,结果表明包括黑龙江省、吉林省等地每单位碳排放转入的经济溢出效应高,不仅能抵消其单位碳排放转出的负经济效应,并且还能带来区域经济增长,这些地区碳排放转入量越大,反而其经济增长效应就越高<sup>[50]</sup>。盖美、曹桂艳等人对辽宁省沿海经济带能源碳排放与经济增长的脱钩关系及演变趋势的研究表明:辽宁省沿海经济带整体的脱钩关系从扩张性负脱钩转变为弱脱钩,碳排放总量分阶段性呈上升趋势,而GDP呈现稳步上升趋势<sup>[51]</sup>。

还有一些学者研究产业能源消耗的碳排放,学者们关于三次产业的研究,最终都基本认为第二产业是三次产业中碳排放量大户<sup>[52-54]</sup>,而第二产业中,工业又是主要的碳排放源<sup>[55]</sup>。邵帅等人估算了1994—2008年上海市工业分行业能源终端消费的二氧化碳排放量,结果显示黑色金属行业的排放走势对工业部门整体排放趋势具有关键性的影响<sup>[56]</sup>。吴立军、田启波基于全球工业化进程中碳排放演进的一般规律,研究了中国碳排放的时间趋势和地区差异<sup>[57]</sup>。张传平等人对中国工业



分行业二氧化碳排放影响因素进行实证研究,其中以能源强度为代表的能源技术、产业结构、能源消费是影响工业碳减排的主要因素<sup>[58]</sup>。查冬兰对中国 30 个省区市的工业碳排放绩效进行测度,并进一步运用面板数据对其影响因素进行实证分析<sup>[59]</sup>。刘红光基于投入产出表研究了中国产业能源消费碳排放根源以及由贸易产生的碳排放转移问题<sup>[60]</sup>。东北属于老工业地区,基于投入产出的研究<sup>[61]</sup>,产业转移对东北地区的碳排放影响较大,东北地区属于能源基地型,能源强度属于中等水平<sup>[62]</sup>,吉林省产业结构变动与能源消费强度的关系为煤炭消费强度对工业结构变化最为敏感,煤炭消费强度、天然气消费强度的影响作用最强的产业是工业,石油消费强度与批发零售、交通运输和工业结构变化有关<sup>[63]</sup>。

针对碳排放的影响分析也是热点问题,大部分人基于 STIRPAT 模型分析人口、经济和技术等因素对二氧化碳排放的影响<sup>[64-67]</sup>,其中人口对黑龙江省的碳排放起负向作用<sup>[68]</sup>。还有一些学者利用迪氏指数分解(LMDI)将碳排放强度影响因素分解为能源强度效应、能源结构效应、人口规模效应、经济发展效应<sup>[69,70]</sup>,或技术、能源消费结构、能源强度、产业结构<sup>[71]</sup>,其中能源强度效应、能源消费结构效应和技术效应是促使东北地区碳排放强度下降的主要因素,产业结构效应是导致东北地区碳排放强度增加的主要因素。也有学者将中国能源消费的 CO<sub>2</sub> 排放增长率分解为 11 种驱动因素,其中人均 GDP、交通工具数量、人口总量、经济结构、家庭平均年收入为正向驱动因素<sup>[72]</sup>,生产部门能源强度、交通工具平均运输线路长度、居民生活能源强度为负向驱动因素。彭觅、吕斌采用 1998—2007 年 30 个省份的能源消耗、工业产业、交通和生活数据,从省域层面上分析了碳排放总量和单位 GDP 碳排放量的空间差异和变动情况<sup>[73]</sup>。程叶青等人估算了全国 30 个省区 1997—2010 年碳排放强度,研究结果表明:能源强度、能源结构、产业结构和城市化率对中国能源消费碳排放强度时空格局演变具有重要影响<sup>[74]</sup>。

### 三、区域不同空间尺度的土地利用的碳排放效应研究进展

曲福田结合土地利用碳排放机制,将土地利用碳排放分为直接碳排放、间接碳排放,土地利用直接碳排放分为土地利用类型转变碳排放和土地利用类型保持碳排放。土地利用间接碳排放主要是指土地所承载的人类活动所引起的碳排放<sup>[75]</sup>。赵荣钦认为土地利用的碳效应是指土地利用活动对区域碳过程的影响,包括直接和间接碳效应两方面。前者是指土地利用对区域自然碳过程的影响,后者是指土地利用活动通过改变人类经济活动的方式和强度来改变区域碳过程<sup>[76]</sup>。赖力系统分析了中国 1980—2005 年土地利用变化碳排放的时空格局,结合碳排放清单核算,提出了中国土地利用碳排放清单和标准<sup>[77]</sup>。国内学者也围绕不同地区的土地利用方式碳排放效应和碳排放问题展开了深入且系统的研究,主要以省市层面的研究为主。而在此方面,大部分研究者对不同用地碳收支进行测算时,都采用如下



方法:建设用地碳排放量利用能源消耗碳排放量来核算,农用地碳排放仅考虑包括农田化肥生产、农业机械使用和灌溉过程带来的碳排放三种主要的间接碳排放途径;土地利用碳汇仅考虑林地和草地的碳吸收,并结合土地利用变化情况,核算碳排放量和碳汇量,进而分析碳排放效应<sup>[78]</sup>。

从国家层面来看,周婷婷采用碳排放系数法对全国主要用地类型的碳排放量进行了计算,并分析了碳排放总量等指标的区域性差异,结果表明:碳排放量较大的地区集中在包括环渤海地区、长江三角洲和珠江三角洲在内的周边省份,而东北地区土地利用的碳排放量明显低于华东、华北和中南地区<sup>[79]</sup>。卞晓峰通过计算归纳出2002—2011年中国碳汇总量呈现波动上升的趋势,黑龙江省碳汇资源居于第二位<sup>[80]</sup>。孙赫估算了中国31个省区的土地利用碳排放强度,探讨了中国省级尺度土地利用碳排放强度的空间关联特征,结果表明:建设用地是主要的碳排放来源,林地是主要的碳汇。碳排放强度空间差异显著,辽宁省属于持续重度碳排放区,东北地区的黑、吉属于土地利用碳排放减少区域<sup>[81]</sup>。针对省域范围的土地利用的碳排放研究成果较多。例如,苏雅丽研究的是陕西省土地利用变化的碳排放效益<sup>[82]</sup>;赵先超分析了湖南省不同土地利用方式的碳排放效应<sup>[83]</sup>;俞超通过计算湖北省的土地利用碳排放量,分析不同土地利用方式的碳排放效应<sup>[84]</sup>;关伟采用多元回归方法对辽宁省不同土地利用类型碳排放量变化与碳排放总量变化的关系进行分析<sup>[85]</sup>;蓝家程运用重庆市不同土地利用面积数据和能源消费量数据分析不同土地利用方式的碳排放效益<sup>[86]</sup>。

上述学者基本上都是将土地利用类型划分为耕地、林地、草地和建设用地等四大类,得出结论为建设用地是主要碳源,林地是主要碳汇,在陕西、湖南和湖北等省份耕地也是主要碳源之一。许多学者近几年展开了城市层面的土地利用碳排放效应研究。路昌研究了哈尔滨市主要土地利用类型碳排放/吸收情况,分析不同土地利用类型的碳排放效应<sup>[87]</sup>;张艳芳计算了西安市不同土地利用方式的碳排放量<sup>[88]</sup>;石洪昕估算了四川省广元市主要土地利用类型的碳排放效应<sup>[89]</sup>;侯艳萍测算了武汉各种土地利用的碳排放量<sup>[90]</sup>。他们大多将土地利用类型划分为六种,主要包括耕地、建设用地、林地、草地、水域和未利用地等,其中武汉地区的研究是将未利用地换成了园地,结果表明:建设用地是主要碳源,林地是主要碳汇。针对哈尔滨地区,耕地和林地对碳吸收贡献率最大,因此耕地也作为主要碳汇之一。相比较而言,研究县域层面的土地利用碳排放效应较少。宋洪磊对铜陵县土地利用碳排放效应进行了估算<sup>[91]</sup>;刘建以洪洞县为例研究县域尺度上土地利用变化的碳排放效应<sup>[92]</sup>。他们得出结论是:研究区域内的土地利用碳排放量总体上呈现增加的趋势,建设用地是主要的碳源,林地是主要的碳汇。

总体来看,对于省市层面的土地利用碳排放效应研究成果丰富,对于区域层面土地利用碳排放效应的研究较少;对省级层面的土地分类多数分为建设用地、林