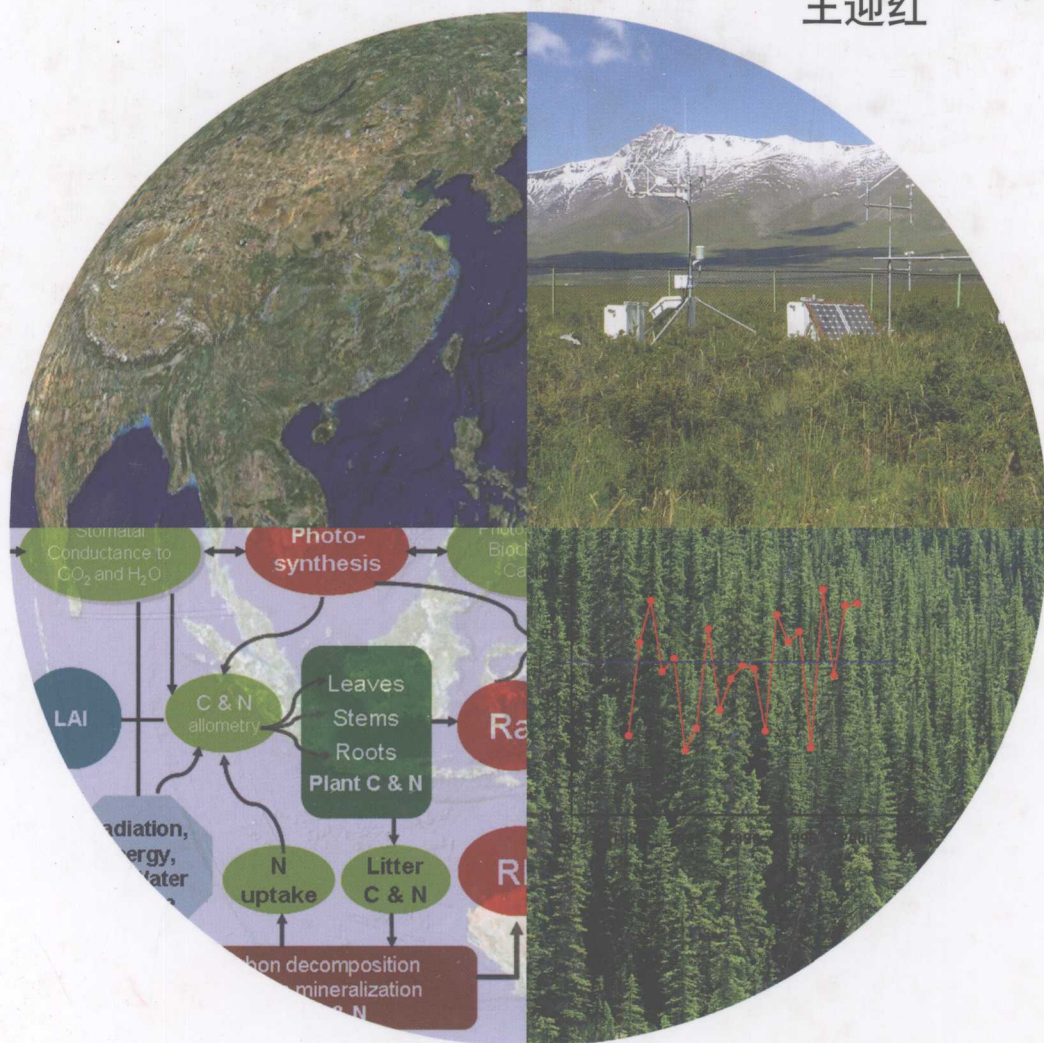


中国科学院知识创新工程重大项目
“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”系列专著

中国陆地和淡水湖泊与大气间 碳交换观测

王跃思
王迎红 等著



科学出版社
www.sciencep.com

中国科学院知识创新工程重大项目
“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”系列专著

中国陆地和淡水湖泊与大气间 碳交换观测

王跃思 王迎红 等著

江苏工业学院图书馆
藏书章

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系中国科学院知识创新工程重大项目“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”成果之一。本书对作者及其课题组从事温室气体研究二十余年的实验技术和理论研究成果进行了总结,系统阐述了陆地及淡水湖泊生态系统含碳温室气体(CO_2 和 CH_4)及含氮温室气体(N_2O)的排放观测方法和排放规律。主要内容包括:常用生态系统碳交换观测技术的基本原理、优缺点及可比性;静态箱-气相色谱法生态系统碳交换观测实验设计、仪器组装、样品采集和定量分析、数据质量控制及误差来源;不同生态系统温室气体的排放特征及影响因子。

本书可供从事全球变化、大气化学、生态学和化学仪器分析研究的科研人员及大专院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国陆地和淡水湖泊与大气间碳交换观测/王跃思等著. —北京:科学出版社, 2008

(中国科学院知识创新工程重大项目“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”系列专著)

ISBN 978-7-03-020188-1

I. 中… II. 王… III. ①陆地-生态系统-碳循环-研究-中国 ②淡水湖-生态系统-碳循环-研究-中国 IV. P9 X511

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第178614号

责任编辑:胡晓春 李久进/责任校对:赵燕珍

责任印制:钱玉芬/封面设计:黄华斌

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

* *

2008年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2008年3月第一次印刷 印张:18 1/4

印数:1—1 500 字数:405 000

定价:68.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

中国科学院知识创新工程重大项目

“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”(KZCX1-SW-01)

资助

序 一

众所周知，在人类社会日益关注全球环境问题的今天，大气中二氧化碳和甲烷等温室气体浓度升高诱发的全球气候变化已成为世界经济可持续发展和国际社会所面临的最为严峻的挑战。为了应对这个挑战，国际社会采取了一系列重大行动。1992年在巴西里约热内卢召开了联合国环境与发展大会，签署了《联合国气候变化框架公约》，1997年12月在日本东京通过了著名的《京都议定书》等，试图通过人类社会的共同努力，将大气二氧化碳稳定在某一个水平上，规避其可能给人类社会带来的重大负面影响。

从科学的角度看，二氧化碳和甲烷等温室气体浓度升高诱发的全球气候变化尚存在诸多不确定性。全球碳循环是其中的重要方面，它控制着大气二氧化碳浓度的变化。为此，国际地圈生物圈计划（IGBP）、国际全球环境变化人文因素计划（IHDP）、世界气候研究计划（WCRP）以及国际生物多样性计划（DIVERSITAS）联合发起了以全球碳循环为主要研究内容的全球碳计划（GCP），该计划的实施极大地推动了全球碳循环与气候变化科学的发展。

中国地域广阔，陆地和近海生态系统复杂多样，拥有自寒温带至热带的气候带和特殊的植物地理区域，为研究全球碳循环提供了良好的实验平台。同时，我国的社会经济正处在高速发展阶段，这为研究世界经济发展对全球碳循环和气候变化的影响提供了难得的社会经济背景。

我国的碳循环研究起步较晚，但起点较高、发展迅速。2001年中国科学院启动了知识创新工程重大项目“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”，共有18个研究所（中心、植物园）和中国生态系统研究网络（CERN）的400余名科研人员参与了该项研究。通过为期5年的研究，该项目取得了一系列研究成果，主要包括：构建了ChinaFLUX研究平台、中国碳循环数据信息系统、中国陆地和近海生态系统碳循环模型和模型集成系统；初步明确了驱动生态系统碳循环过程的关键气候因子、生物学因子和人类活动的影响；初步明确了中国陆地和近海生态系统碳源汇时空格局及其对气候变化的响应，并评价了不同技术措施下中国陆地生态系统碳增汇潜力等。这些研究成果是迄今为止对中国陆地和近海生态系统碳收支较为全面的认识，对我国制定碳管理策略和参与气候公约谈判具有重要的参考价值。本系列专著是对

上述研究成果的全面总结，是国内首部关于中国陆地和近海生态系统碳收支研究的系统性学术著作。本系列专著的出版不仅展示了中国学者在该领域的最新研究成果，而且对推动我国全球变化科学、生态学、气候学、土壤学、地理科学、海洋科学和遥感科学等学科的发展具有重要意义。

本系列专著的作者们是活跃在我国碳循环与全球变化研究领域的中青年学者。我十分欣慰地看到他们正在成长，也赞赏他们那种刻苦钻研、勇于探索的科学精神。一分耕耘，一分收获。希望他们继续努力，将我国生态系统碳循环与全球变化研究推向新的高度，取得更多、更大的进展。

国家自然科学基金委员会主任
中国科学院院士



2007年6月于北京

序 二

近百年来,以全球变暖为主要标志的气候变化对世界经济、社会和生态环境等产生了重大影响,严重威胁着各国经济的可持续发展和国家安全。地球系统碳循环是连接诸如温室气体、全球变暖和土地利用等重大全球变化问题的纽带,是在更高层次上推进学科交叉和综合集成的切入点。对全球和区域碳循环的深入研究不仅可为认识和控制全球气候变化提供理论基础,而且有助于制定生态系统管理策略以适应和减缓气候变化的影响。

为了在区域和国家尺度上回答与中国陆地和近海生态系统碳循环相关的科学问题,中国科学院于2001年启动了知识创新工程重大项目“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”,共有18个研究所(中心、植物园)(地理科学与资源研究所、大气物理研究所、海洋研究所、遥感应用研究所、沈阳应用生态研究所、植物研究所、南京土壤研究所、东北地理与农业生态研究所、南京地理与湖泊研究所、水生生物研究所、寒区旱区环境与工程研究所、亚热带农业生态研究所、生态环境研究中心、成都山地灾害与环境研究所、新疆生态与地理研究所、西北高原生物研究所、华南植物园、西双版纳热带植物园)和中国生态系统研究网络(CERN)的400余名科研人员(包括研究生和博士后)参与了该项研究。该项目的总体目标是以回答科学问题为中心,着眼于为我国社会经济的可持续发展和履行有关国际公约服务。试图通过对中国陆地和近海生态系统碳收支时空格局、碳循环过程和模型、生态系统碳收支对全球变化的响应以及碳增汇、减排技术的系统研究,阐明中国陆地和近海生态系统碳收支的系列科学问题,提高我国在国际全球变化研究领域中的学术地位,为全球变化背景下的中国社会经济的可持续发展以及生态系统的管理提供科学依据,为履行有关国际公约提供基础数据。

经过为期5年的研究工作,该项目在以下4个方面取得了重要进展:

- 1) 构建了ChinaFLUX研究平台、中国碳循环数据信息系统、中国陆地和近海生态系统碳循环模型和模型集成系统。ChinaFLUX的建成,有力地推动了我国生态系统碳通量观测和碳循环的研究,为我国深入开展陆地生态系统物质循环和区域气候响应等研究提供了平台。中国陆地和近海生态系统碳循环模型和模型集成系统实现了多个点尺度模型在同一平台上的模拟,为估算国家尺度的碳收支状况提供了研究基础。

2) 研究了驱动我国陆地和近海生态系统碳循环过程的关键气候因子、生物学因子和人类活动影响,其成果是迄今为止对不同生态系统碳循环过程较为全面的认识。通过对详尽的历史资料的收集、整理和分析,重新估算了过去 300 年间中国土地利用变化导致的陆地生态系统向大气释放的碳总量,对正确评价我国历史时期土地利用、土地覆被变化对陆地碳收支的影响具有积极意义。

3) 初步明确了中国陆地和近海生态系统碳源汇时空格局及其对气候变化的响应,并得到如下重要结果:过去 20 年中国陆地生态系统碳汇区主要分布在华北、华东、华中、东北及西南大部分地区,碳源区主要分布在西北大部分地区、内蒙古西部等地区,国家尺度上总体为碳汇;中国农田土壤具有明显的碳汇功能;林业工程实施将在未来 50 年内显著增加林木碳储量等。这些研究结果对客观认识我国生态系统的碳汇功能、制定碳管理策略和气候公约谈判策略具有重要价值。

4) 初步评价了不同技术措施下中国陆地生态系统碳增汇潜力,相关研究结果可为我国参与气候变化谈判提供参考依据。

本系列专著是研究项目组成员对上述研究成果的系统总结,包括了 8 本各自独立,但又相互呼应的学术著作。分别为:《中国陆地生态系统碳通量观测技术及时空变化特征》(于贵瑞、孙晓敏)、《中国陆地和淡水湖泊与大气间碳交换观测》(王跃思、王迎红等)、《碳循环遥感基础与应用》(牛铮、王长耀等)、《过去三百年中国土地利用变化与陆地碳收支》(葛全胜、戴君虎、何凡能等)、《中国陆地生态系统碳循环的生物地球化学过程》(韩士杰、董云社、蔡祖聪、宋长春等)、《中国近海与湖泊碳的生物地球化学》(宋金明、徐永福、胡维平、倪乐意等)、《中国陆地生态系统碳收支模型》(黄耀、周广胜、吴金水、延晓冬等)和《中国陆地生态系统碳收支与增汇对策》(陈泮勤、王效科、王礼茂等)。

出版本系列专著的主要目的是向读者系统地展示该项目所获得的最新研究成果,并对未来的发展方向和研究重点进行评述,为读者提供系统性的科学资料和理论知识,以推动我国地球系统碳循环及相关学科的发展。我们衷心感谢项目组全体成员在这 5 年中的良好协作和辛勤努力,并期望在未来的科研活动中能取得更大的突破。

“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”项目首席科技专家

黄 耀 于贵瑞

2007 年 6 月于北京

前 言

本书是作者课题组和中国生态系统研究网络 (CERN) 的 16 个观测站研究人员共同完成的中国科学院知识创新工程重大项目“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”第一课题“陆地生态系统碳通量静态箱-气相色谱法观测研究”(编号: KZCX1-SW-01-01B) 的成果总结。

2001 年 9 月, 中国科学院批准了中国科学院知识创新工程重大项目“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”。项目分为五大部分。第一部分为“典型陆地和近海生态系统碳通量与碳储量观测研究”, 分别使用微气象法、静态箱-气相色谱法和遥感技术对中国陆地、内陆水体和近海的典型生态系统碳收支的时空格局和变化特征进行实验观测研究, 重点是在观测技术方面实现创新性突破, 获取碳通量和碳储量的第一手实验观测资料, 为建立过程机理模型提供技术手段和验证数据; 第二部分为“碳循环的主要生物地球化学过程研究”, 分别对森林、草地、农田、湿地、内陆水体和近海生态系统碳循环过程进行研究, 重点是碳收支的水热条件、土壤特性及人类活动对典型生态系统碳循环过程的影响; 第三部分为“碳循环历史过程研究”, 对土地利用或土地覆被变化与碳循环和冰川记录与碳循环的关系进行研究, 重点是从历史的长河中寻找碳收支的变化信息, 寻求减源增汇可借鉴的方法; 第四部分为“碳循环模型研究”, 对森林、草地、农田、湿地、内陆水体和近海生态系统碳循环过程、机理模型进行研究, 重点在于构建具有自主知识产权的各生态系统碳循环模型, 确定模型参数; 第五部分为“中国生态系统碳源、碳汇格局与增汇对策研究”, 分别就中国生态系统对全球变化的响应与反馈、增汇潜力与增汇对策等方面进行研究, 并对整个课题研究结果做集成研究。本书作者课题组承担的是第一部分研究, 课题题目为“陆地生态系统碳通量静态箱-气相色谱法观测研究”, 编号为“KZCX1-SW-01-01B”。目标为: 建立以 5 个农田、5 个森林(林地)、2 个草地、2 个湖泊和 2 个湿地生态系统碳排放观测实验站为主的中国陆地生态系统碳排放地面观测网; 建立符合中国国情、可与国际接轨的以静态箱-气相色谱法为主体的标准碳收支观测方法; 建立多种生态类型、多种气候带、高时间分辨率、持续 3 年以上的碳排放动态数据信息库; 获得静态箱-气相色谱法和涡度相关法测定中国陆地生态系统碳通量偏差的定量分析结果; 获取与中国典型陆地生态系统有关的土壤、植被和气象动态变化数据, 给出中国典型陆地生态系统碳通量的时空变化特征和初步的碳排放格局。

经过大约半年紧张有序的准备, 从 2002 年 6 月开始, 由中国科学院大气物理研究所 CERN 大气科学分中心刘广仁高工带队对各个参与站进行了仪器设备安装和现场实验培训, 并同时开始实验研究工作。中国科学院大气物理研究所参加这一工程建设的主要有研究员黄耀、郑循华、张文、王明星; 博士后王长科; 博士研究生王迎红、孙

扬、徐仲均、江长胜、宋涛、郝庆菊、刘春岩等；16个观测站研究人员共60~70人。整个研究方法设计、仪器系统构建、工程建设和科学研究工作的开展，均由课题组组长王跃思研究员负责。大多数实验站在2005年12月圆满完成并结束了课题的观测实验工作，而数据分析和研究工作仍在继续。

为了实验任务的顺利进行，结合博士研究生学位论文工作，课题组选派具有一定研究基础的博士研究生徐仲均（刁一伟、宋涛、安俊琳等参加）、江长胜、郝庆菊（后期宋涛、王莉莉等参加）分别值守常熟农业生态实验站（地点在无锡，与FACE站点观测合并）、盐亭农业生态实验站、三江湿地生态实验站三个典型生态系统实验站，负责指导观测站实验人员的技术工作并参与采样分析和数据分析研究；课题后期的组织管理和数据收集及质量控制工作均由王迎红协助课题组组长完成。本书的部分研究内容便是取材于他们博士学位论文的研究结果。本书技术研究成果除来源于王跃思研究员十多年的研究工作积累外，还取材于课题组博士研究生王迎红、孙扬、徐仲均、江长胜、郝庆菊、宋涛等的学位论文研究工作，特别是综合了课题组成员刘广仁高工多年来的技术研发经验及黄耀、郑循华研究员的一些技术方法和过程机理研究成果。

本书第一章论述了碳循环研究的重要意义和国外研究进展，特别介绍了我国在这一领域的研究现状及发展趋势。第二章简明扼要地论述了生态系统碳交换观测方法。分别介绍了常见微气象法的基本原理和适用范围；土壤浓度廓线法测定碳排放的原理和操作方法；重点介绍了多种箱法为基础测定碳排放的原理及优缺点；并以三江平原水稻田实验为研究个例，阐述了如何使用涡度相关技术测定碳交换。第三章全面细致地阐述了静态箱-气相色谱法测定碳交换的技术方法，是全书的重点，也是技术创新最突出的章节。参照此章内容，希望读者能够构建自己所需的陆地生态系统碳收支观测技术方法，并对观测结果误差范围作出科学评价。第四章详细介绍了利用静态箱、暗箱结合及暗箱法估算NEE的基本原理和观测方法，并讨论了箱法估算NEE的不确定性，为读者使用箱法观测生态系统NEE提供计算方法和动态参数观测思路。第五章以三江平原水稻田和旱地作为观测平台，比较涡度相关法和静态暗箱法这两种观测技术对夜间生态系统 CO_2 呼吸排放的观测结果，探讨两种方法的可比性和某种程度上的相互替代性，以便更好地估算夜间生态系统呼吸和解释净生态系统碳通量以及解决点观测数据的尺度扩展。第六章详细介绍了“陆地生态系统碳通量静态箱-气相色谱法观测研究”所涉及的各观测站点概况、详细的实验方案以及数据质量控制过程，有助读者了解研究样点背景状况和数据质量。第七章以三江平原湿地多种土地利用方式为观测平台，研究了三江平原不同湿地类型及开垦后水田和旱田温室气体的排放特征及其影响因素，并讨论了土地利用变化对土壤有机碳含量变化的影响。第八章以四川盐亭农田生态系统为观测平台，研究该地区不同耕作制度下农田温室气体的排放特征及其影响因素，特别是中国西南特有的冬水田 CH_4 、 N_2O 和 CO_2 三种温室气体的综合收支，并对不同耕作制度下农田生态系统NEE进行了初步估算。第九章则阐述了利用箱法观测自由大气 CO_2 浓度升高条件下稻麦轮作农田温室气体排放的行为变化，并讨论了不同有机质还田量及氮肥施用量的变化对农田 CH_4 和 N_2O 排放的影响。第十章根据课题研究所取得的观测数据，结合CERN常规自动气象站同步观测的气象资料和相关的土壤理化性质数据，对森林、草地、淡水

湖泊和农田等中国典型陆地生态系统土壤或水体 CO₂ 排放规律和影响因素进行了初步分析探讨。

本书主要著者王跃思研究员负责全书内容、结构总体设计, 每个章节内容科学性的审核、修改和全文定稿。王迎红博士负责全书的统稿, 图、表及文字编辑工作。具体各章节撰写工作: 王跃思研究员, 第一、三章; 王迎红博士, 第二、六、十章初稿; 刘春岩博士, 第四章初稿; 宋涛博士, 第五章初稿; 郝庆菊博士, 第七章初稿; 江长胜博士, 第八章初稿; 徐仲均博士, 第九章初稿。

特别感谢三江站、盐亭站和南京土壤研究所无锡站、江都 FACE 实验站作为本研究典型实验站所做出的多方面贡献; 感谢刘广仁高工、孙扬博士和胡波博士提供了研究需要的所有气象观测资料和大量的技术路线图及研究成果; 感谢王明星、黄耀、郑循华、刘辉志研究员对本书的部分章节进行了修改或提出了建设性修改意见。本书是对课题组研究工作的一个阶段性总结, 撰写工作的完成是集体劳动的成果。感谢王莉莉、姚利、于文鹏等同学对本书文字和图表的辅助编辑工作; 感谢每一位参加课题研究及书稿撰写工作的课题组成员, 并对 CERN 16 个观测站参加实验和研究工作的研究人员、观测人员和研究生表示衷心的感谢!

最后需要说明的是, 本书的重点是对实验方法的全面阐述, 第七章至第十章所举的研究实例, 其中的研究结论并不是本书讨论的重点, 而研究方法和技术应用更加重要。

著者

2006 年 12 月

目 录

序一

序二

前言

第一章 绪论	1
第一节 研究背景	1
第二节 国内外碳通量研究进展	6
主要参考文献	10
第二章 生态系统碳交换观测方法	14
第一节 微气象法	14
一、涡度相关法	15
二、松弛涡度累积法	16
三、空气动力学廓线法	17
四、能量平衡法	18
第二节 箱法	19
一、密闭式静态箱	19
二、开放式动态箱	22
三、密闭式动态箱	25
第三节 土壤浓度廓线法	27
第四节 微气象法碳交换观测应用实例——涡度相关测定三江平原水稻田 碳交换	31
主要参考文献	35
第三章 静态箱-气相色谱法测定碳交换	39
第一节 分析系统	39
一、分析仪器的原理、构造和分析流程	40
二、基本性能与测试结果	46
第二节 采样箱系统	50
一、箱体结构	51
二、采样箱附件	53
第三节 色谱工作站	54
第四节 仪器常见故障和解决办法	55
第五节 误差分析	58
一、仪器差异与系统误差	59
二、标气使用与误差	60

三、采样箱容积变化引起的误差	61
四、空间差异	61
主要参考文献	62
第四章 箱法估算陆地生态系统-大气 CO₂ 净交换通量	63
第一节 静态明、暗箱法相结合估算 NEE	63
一、基本原理	63
二、观测方法	64
三、NEE 估算	65
四、静态明、暗箱法结合估算 NEE 的不确定性	66
第二节 静态暗箱法估算 NEE	67
一、基本原理	67
二、各分量的测定	67
三、NEE 估算	70
四、暗箱法估算 NEE 的不确定性	70
主要参考文献	70
第五章 微气象法与箱法观测结果比较	72
第一节 涡度相关观测系统	72
一、研究区域概述	72
二、涡度相关和环境观测设备	73
三、数据处理与质量控制	74
四、通量贡献区的评价	75
五、能量平衡闭合	77
第二节 箱法观测	78
第三节 涡度相关法与箱法比对	79
一、箱法和涡度相关即时数据比较	81
二、箱法经验模型和涡度相关数据比较	83
主要参考文献	87
第六章 中国典型陆地生态系统碳交换联网观测	90
第一节 项目简介	90
一、建设目标	90
二、实施方案	91
三、仪器设备	92
第二节 研究地点概况及观测方案	92
一、农田生态系统	93
二、森林生态系统	98
三、淡水湖泊生态系统	101
四、湿地生态系统	102
五、草地生态系统	103

第三节 采样方法	104
一、底座埋设	104
二、气体样品的采集	105
第四节 数据处理及数据库文件	106
第五节 数据质量保证措施	110
一、排放通量数据质量保证措施	110
二、其他相关数据质量保证措施	113
主要参考文献	114
第七章 湿地农垦与温室气体收支	115
第一节 湿地研究现状	115
一、湿地知识介绍	115
二、国内外研究现状	116
三、研究区域概况	124
四、实验方案	126
第二节 沼泽湿地温室气体排放	127
一、沼泽湿地 CH_4 排放	127
二、沼泽湿地 CO_2 呼吸排放	135
三、沼泽湿地 N_2O 排放	139
四、沼泽湿地温室气体排放速率之间的关系	145
第三节 垦殖农田温室气体排放	146
一、土壤和小气候的变化	146
二、旱田 CH_4 和 N_2O 排放	150
三、水田 CH_4 和 N_2O 排放	152
四、垦殖对 CH_4 和 N_2O 排放的影响	152
五、沼泽湿地退化、开垦和恢复对土壤呼吸的影响	154
第四节 垦殖土壤碳氮含量	157
一、垦殖土壤碳含量	157
二、垦殖土壤氮素变化	159
三、NEE 估算	161
主要参考文献	164
第八章 农田温室气体收支	171
第一节 研究背景	171
第二节 研究区域概况与研究方法	172
一、研究区域概况	172
二、实验观测区概况	173
三、实验方案	174
第三节 川中丘陵区农田 CH_4 排放	177
一、冬水田 CH_4 排放特征及其影响因素	177

二、耕作制度对稻田 CH_4 排放的影响	185
三、不同耕作制度农田 CH_4 年际排放	190
第四节 川中丘陵区农田生态系统 NEE	192
一、冬水田 NEE 的估算	193
二、稻-麦轮作农田 NEE 估算	195
三、稻-油轮作农田 NEE 估算	198
四、四季旱地 NEE 估算	200
五、川中丘陵区不同耕作制农田 NEE 的比对	203
主要参考文献	205
第九章 FACE 状态下农田温室气体收支	212
第一节 研究背景	212
一、FACE 简介	212
二、国内外研究进展	214
三、FACE 状态下稻-麦轮作农田温室气体排放的观测方法	219
第二节 FACE 状态下农田 CH_4 的排放	220
一、小麦秸秆还田对稻田 CH_4 排放的影响	220
二、氮肥施用对稻田 CH_4 排放的影响	223
三、FACE 对旱田土壤 CH_4 吸收的影响	229
四、FACE 的累积效应对稻-麦轮作农田 CH_4 排放的影响	230
第三节 FACE 状态下农田 N_2O 的排放	232
一、小麦秸秆还田对稻田 N_2O 排放的影响	232
二、氮肥施用对农田 N_2O 排放的影响	234
三、FACE 累积效应对稻-麦轮作农田 N_2O 排放的影响	238
第四节 FACE 状态下农田生态系统碳交换	240
一、稻-麦轮作农田生态系统呼吸	240
二、水稻地上部分植株呼吸	241
三、稻田生态系统碳交换	243
主要参考文献	244
第十章 中国典型陆地生态系统土壤呼吸速率及变化研究初探	251
第一节 森林土壤呼吸	251
一、森林土壤呼吸季节变化	252
二、水热因子对森林土壤呼吸速率的影响	255
第二节 农田土壤呼吸	260
一、农田土壤呼吸速率季节变化	261
二、部分农田 NEE 估算	265
第三节 草地土壤呼吸	265
第四节 淡水湖泊水面碳排放	266
第五节 典型生态系统土壤呼吸的空间分布特征	270

主要参考文献	271
后记	273

第一章 绪 论

第一节 研究背景

碳,是构成生命有机体的最重要元素之一,广泛分布于大气、海洋、地壳沉积岩和生物体中。碳有着巨大不活动的地质储存库(如岩石圈等)和较小的、但在生态学上活动积极的大气圈库、海洋库和生物库。碳的化学形态常随所在库的不同而变化。在岩石圈中以有机碳(化石燃料等)和无机碳酸盐的形态存在;在大气圈中以 CO_2 、 CH_4 、 CO 和烃类气体的形态存在;在海洋中也以有机碳、无机碳的多种形态存在;而在生物库中则存在着几百种被生物合成的有机物质。这些物质的存在形态受到各种因素的调节。大气中的 CO_2 是参与碳循环的主要形态,植物通过光合作用从大气中摄取 CO_2 并合成有机物质,再通过呼吸作用将固定的有机碳分解成 CO_2 释放到大气中。碳循环的基本路线是从大气储存库到植物和动物,再从动、植物通向分解者,最后又回到大气(图 1.1)。自然界自发进行的碳循环,是借助物质和能量的流动在大气、海洋、生物库和岩石圈之间周而复始地迁移,在很长时间内始终处于一种准平衡状态,对地球环境变化的影响基本保持恒定。

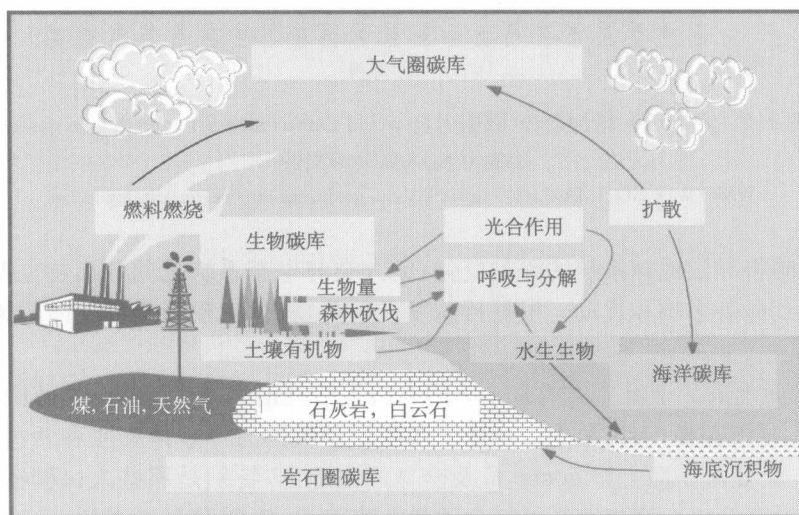


图 1.1 地球碳库和碳循环(Pidwirny, 2006)

然而近代人类的行为却在很短时间内打破了这种平衡。尤其是近二百年来,人类对