

中国陆地和近海生态系统碳收支研究^{*}

黄 耀

(大气物理研究所 北京 100029)

摘要 碳循环是全球变化研究的核心问题之一,全球碳源和碳汇之间的不平衡,使得研究生物圈碳循环日趋重要。阐述了全球生物圈碳循环的科学问题及我国进行陆地和近海生态系统碳收支研究的意义、目标和内容。

关键词 全球变化,生态系统,碳收支



自工业革命以来,人类活动对生物圈的影响已从区域扩展到全球^[1],特别是大气中 CO₂、CH₄ 和其它温室气体浓度在逐年增加。夏威夷 Mauna Loa 的观测结果表明,在过去的 40 年间,大气 CO₂ 浓度

已从 315ppmv 增加到

368ppmv^[2]。而大气中 CH₄ 的浓度在过去 300 年间大致以指数形式增加,近年来每年大约以 0.5% 的速率递增。政府间气候变化专门委员会(IPCC)指出,如果温室气体以目前排放速率持续下去,2100 年大气中 CO₂ 的浓度可能会增加到 540—970ppmv,全球平均温度则可能增加 1.3—5.5℃^[3]。全球气温升高将会导致海平面上升,降水分布变异,沙漠化加剧,自然灾害发生频繁等,对人类的生存环境和国民经济的可持续发展带来极为不利的影响。除工业、交通和能源消耗等人类活动向大气排放 CO₂ 外,生态系统碳循环过程产生的 CO₂ 在全球 CO₂ 排放总量中占有相当比重。全球碳循环过程不仅与气候变化有关,而且与其它自然过程(水循环、养分循环、生物多样性等)及人类的生存与社会的发展(能源、工农业等)息息相关。因此,全球碳循环是

当前气候变化和区域可持续发展研究的核心问题之一。

1 国际社会对遏制全球变暖的努力

为了提供国际公认的和具有权威性的有关全球气候变化、气候变化对环境的可能影响、气候与社会之间相互作用的科学信息,国际上于 1988 年成立了政府间气候变化专门委员会(IPCC)。IPCC 于 1990—1992 年、1995 年和 2001 年分别完成了三次综合评估报告。除对工业、交通和能源消耗等人类活动产生的 CO₂ 进行评估外,IPCC 还要求编制由农业活动所产生的 CH₄ 和 N₂O 排放量的国家清单^[4]。1992 年在巴西里约热内卢召开的联合国环境与发展大会上,包括中国在内的全球 166 个国家与地区签署了旨在“将大气 CO₂ 浓度稳定在某一水平以防止人类活动严重干扰气候系统”的《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)。该公约要求所有签约国或地区提交一份温室气体排放量和转化量的国家清单,提出为实施该公约的原则和目标所采取的步骤和行动。1997 年在日本京都发表的《京都议定书》,为发达国家规定了温室气体减排指标,在 2008—2012 年,发达国家的温室气体排放量要在 1990 年的基础上平均削减 5.2%,其中美国削减 7%,欧盟 8%,日本 6%。

2 科学问题

目前令科学家困惑的问题是碳汇(sink)与已知

* 收稿日期:2002 年 2 月 4 日

的碳源(source) 不能达到平衡, 存在很大的未探明的汇(missing sink)。以 20 世纪 80 年代平均计算, 这个未探明的汇大约为 $1.3 \pm 1.1 \text{ PgC}$ ($1 \text{ Pg} = 10^9 \text{ t}$)。虽然有些研究结果表明, 陆地生态系统可能是大气 CO_2 的一个汇, 但仍然缺乏大量直接观测数据的支持。D. S. Schimel 等指出, 影响陆地生物圈碳循环有许多因素, 包括被废弃农田再生长和生长季节延长而使其吸收碳的能力增强以及因自然灾害和昆虫泛滥使其吸收碳的能力减小等^[5]。最近的研究表明, 热带地区可能是一个重要的汇, 来自亚马逊热带雨林的观测结果支持了这一观点。然而, 由意大利 Tuscia 大学 R. Valentini 领导的国际研究组对 1996—1998 年间欧洲 15 处森林进行研究的结果指出, 一些北方森林并没有显示出碳汇作用, 与南方的一些森林相比它们释放的碳更多^[6]。农田和草原生态系统则是人类活动最活跃的生态系统类型, 农业管理方式的变化, 草地开垦和过度放牧等都使得研究该系统内的碳循环具有极大的挑战性。湿地在碳储存中起着重要作用。初步研究显示, 储藏在不同类型湿地中的碳约占地球陆地碳总量的 15%, 但对其源汇关系缺乏系统的研究。内陆湖泊多属浅水富营养性湖泊, 浮游植物生产力高, 水生高等植物丰富, 有可能是未被发现的重要碳汇。海洋是地球上最大的碳汇, 每年大洋可吸收 CO_2 约 16 亿吨, 很多学者提出高生产力的陆架边缘海很有可能是未探明的重要碳汇, 但也有一些学者怀疑这一推断。因此, 全球陆架边缘海是否是碳汇正引起科学家们的极大兴趣。

尽管人们在微观层次上对陆地和近海生态系统的碳循环有了比较深入的了解, 但是将微观研究成果外推到不同类型的生态系统时, 便会产生极大的不确定性, 这是研究陆地和近海生态系统碳收支及其对全球变化影响所面临的难题和挑战。自 20 世纪 80 年代初开始, 国际科学界组织了一系列大型全球变化研究计划。其中包括世界气候研究计划(WCRP)、国际地圈生物圈计划(IGBP)、全球环境变化的人类因素计划(IHDP) 和生物多样性计划(DIVERSITAS)。最近, 三大国际组织(IGBP-IHDP-WCRP) 提出了一个碳集成研究计划, 其重点是要回答目前全球碳源/碳汇的时空格局如何? 何种因素

导致? 决定未来碳循环动态的控制与反馈机制(人为的和自然的) 是什么? 未来全球碳循环的可能动态为何等科学问题。

20 世纪 80 年代以来, 我国科学家对典型生态系统的生物量、生产力、养分循环和温室气体排放等方面做了大量卓有成效的观测和研究^[7-10]。由于集成研究不足, 对于中国大陆和近海生态系统碳源/碳汇强度的时空分布特征、驱动不同生态系统碳循环过程的关键因子以及生态系统对全球变化的响应及反馈作用等方面缺乏系统的认识, 因而难以阐明中国生态系统碳循环在全球变化中的作用。

3 研究意义和目标

我国地域广阔, 生态系统富有多样性, 拥有自寒温带至热带的气候地带和特殊的地理区域, 生态系统碳收支的变化无疑对全球碳循环过程及气候变化具有重要的影响。我国典型的生态系统包括森林、农田、草原、湿地、内陆水体和近海生态系统等, 在这些生态系统开展碳收支的综合研究, 对于阐明中国生态系统碳循环在全球变化中的作用以及促进社会经济的可持续发展具有极其重要的意义。

中国大陆和近海生态系统碳收支研究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。近 5 年的目标是, 通过对中国大陆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和反馈以及碳增汇/减排技术的系统研究, 阐明中国大陆和近海生态系统碳收支的系列科学问题, 实现学术理论的重大创新, 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。

作为中国科学院知识创新工程重大项目“中国大陆和近海生态系统碳收支研究”的长远目标, 将瞄准国际碳循环的热点科学问题和国际前沿, 实现重点突破和知识创新。通过长期研究实现如下目标: 揭示气候、土壤和人类活动对生态系统碳循环过程的综合影响规律; 阐明自然扰动和人为活动对生态系统碳源/汇格局的作用和调控机理; 阐明中国

生态系统碳源/汇强度的时空分布特征及其在全球碳循环中的作用;预测中国生态系统碳收支对全球变化的响应和生态系统的适应性;提出增加中国生态系统碳固定/减少碳排放的对策和技术,制定有利于稳定气候的替代性生态建设方案。

4 研究内容

根据研究目标,中国陆地和近海生态系统碳收支研究主要包括 5 个相互关联的主题。

4.1 中国典型陆地和近海生态系统碳通量与碳储量研究

主要研究内容包括:参照国际标准构建中国陆地生态系统碳收支观测网络,以中国生态系统研究网络(CERN)的 15 个生态站及若尔盖高原湿地为研究平台,采用微气象法和静态箱/气相色谱法等系统观测土壤(水体)-植被-大气系统 CO_2 、 CH_4 和水热通量;植被群落的微气象和光合作用;植被生物量和凋落物量;土壤有机质动态以及相关的生态环境要素等。研究利用多种遥感数据高精度反演与碳储量相关的地表生物物理化学参数的理论与方法,获取区域碳储量等。

4.2 中国陆地和近海生态系统碳循环的主要生物地球化学过程研究

主要研究内容包括:森林植被光合和土壤呼吸过程与土壤及气候变量的关系;草地生物圈和土壤圈碳输入/输出机理;典型草地不同碳库的构成和特征的对比分析;农田生态系统土壤有机碳平衡的主要控制因素;农田生态系统固碳潜力和土壤 CO_2 排放过程实验研究;典型湿地水-土系统碳素的生物积累与分解过程;典型湿地生态系统碳排放/碳固定的主控因素;典型湖泊碳输入/输出的界面过程;典型湖泊水体碳的循环转化动力学过程;典型湖泊水体生态系统内部碳循环过程;湖泊及水库总碳贮量及碳汇强度;黄东海碳垂直通量过程;河流入海的碳源作用过程等。

4.3 中国陆地生态系统碳循环历史过程研究

主要研究内容包括:历史时期中国 LUCC(土地利用/土地覆被)的动态过程重建与主要驱动力分析和对碳蓄积的可能影响;中国历史时期不同流域系统内部 LUCC 与陆地碳过程的自然记录;中国社会

经济结构、土地利用/土地覆被方式与陆地碳循环的相互作用;中国大陆冰川记录的温室气体变化与气候环境和陆地生态系统之间的相互关系等。

4.4 中国陆地和近海生态系统碳循环模型研究

主要研究内容包括:受气候、土壤和人类活动综合影响的土壤原有有机碳和外源有机碳(植被凋落物、植株根茬、有机肥施用等)分解、转化和排放过程模型;受气候、土壤和人类活动综合影响的植被光合作用和呼吸作用过程模型;受水文、气候和土壤条件等驱动的湿地生态系统碳转化、排放和固定模型;内陆水体生态系统水-气、水-土界面通量模型;近海生态系统碳循环模型等。

4.5 中国生态系统碳源汇格局与增汇对策综合研究

主要研究内容包括:森林、草地和农业生态系统碳增汇潜力与技术;土地利用变化对生态系统碳增汇潜力影响;增加国家森林覆盖率和湿地面积、调整种植业结构等对生态系统碳增汇潜力的影响;典型海域碳增汇潜力与技术;国际主要碳减排方案的比较。综合集成中国生态系统碳循环模型,研究碳循环综合模型与 GIS 和 RS 的耦合技术。基于碳循环模型-GIS-RS 集成系统,分析中国生态系统碳源/碳汇强度的现实时空分布格局,编制区域性陆地生态系统碳排放通量的清单,模拟预测中国生态系统碳收支对全球变化响应和反馈。研究社会、经济、环境及人类活动对中国生态系统碳收支的综合影响,提出区域性碳增汇对策方案等。

5 展望

中国陆地和近海生态系统碳收支研究不局限于以往单个学科或几个学科的独立运作方式,不同学科的不同(或重复)命题以新的方式被重新整合,旨在实时、敏感地捕获各种尺度的(尤其是区域尺度的)中国碳收支问题。“集成”是将不同的或相反思想和观点、群体的或个体的行为、不同类型的要素和力量,整合成统一的或协调一致的整体(理论或认识),以达到一个明确的目标。本项研究在运作体制和机制上贯彻“集成”思维,在统一研究命题下,充分发挥研究者在不同研究学科和不同研究团体中的创造性思维,通过对不同研究结果或不同

研究手段所获得结论的整合、升华,实现预定目标。

通过本项研究,将在国家目标、科学研究和能力建设 3 个层面取得重要成果。在国家目标层面,将为我国生态环境建设和履行有关国际公约提供:中国典型陆地和近海生态系统碳收支、碳储量基本测定数据;中国生态系统碳源/碳汇时空分布格局;增加中国生态系统碳固定/减少碳排放的对策和技术报告。在科学研究层面,将阐明如下科学问题:中国哪些陆地和近海生态系统是碳源?哪些是碳汇?驱动中国陆地和近海生态系统碳循环过程的关键因子是什么?中国陆地和近海生态系统对全球变化的响应及反馈作用如何?增加中国陆地和近海生态系统碳固定、减少碳排放的对策及相应技术是什么?在能力建设层面,将建成中国生态系统碳收支观测网络及数据信息系统,培养造就一批在国内外全球变化研究领域中具有较大影响的科技骨干。

本项研究可能面临的问题是观测网络的仪器设备不能及时到位,继而延误生态系统碳收支和碳储量的系统观测以及相关研究。

致谢 本研究由中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-01)资助,得到陈泮勤研究员、于贵瑞研究员及项目组其他成员的指导和帮助。

主要参考文献

1 Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J et al. Human domir

nation of Earth's ecosystems. *Science*, 1997, 277: 494– 499.

- 2 Keeling C D, Whorf T P. Atmospheric CO₂ concentrations — Mauna Loa Observatory, Hawaii, 1958 —1997. 1998 (revised August 2000). NDP- 001. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee (<http://www.co2science.org>).
- 3 IPCC. *Climate Change 2001*. Cambridge University Press, 2001, 12– 14.
- 4 IPCC. *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. IGES, Tokyo, 2000, 4. 77– 4. 94.
- 5 Schimel D S, House J I, Hibbard K A et al. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems, *Nature*, 2001, 414: 169– 172.
- 6 Valentini R, Matteucci G, Dolman A J et al. Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests. *Nature*, 2000, 404: 861– 864.
- 7 徐德应, 郭泉水, 阎洪. 气候变化对中国森林影响的研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1997.
- 8 陈佐忠. 中国典型草原生态系统. 北京: 科学出版社, 2000.
- 9 王明星. 中国稻田甲烷排放. 北京: 科学出版社, 2001.
- 10 胡敦欣, 杨作升. 东海海洋通量关键过程. 北京: 海洋出版社, 2001.

Study on Carbon Budget in Terrestrial and Marginal Sea Ecosystems of China

Huang Yao

(Institute of Atmospheric Physics, CAS, 100029 Beijing)

Carbon cycling is one of the key processes that need to be assessed in global change. It has been becoming great important due to the "missing sink" issue in global carbon budget. The author presented current uncertainties in global carbon cycling. The scientific importance, objectives and research aspects of the study on carbon budget in terrestrial and marginal sea ecosystems of China were addressed in this paper.

黄 耀 中国科学院大气物理研究所研究员, 博士生导师, 大气边界层物理和大气化学国家重点实验室副主任。1997 年获美国莱斯大学生态与进化生物学系博士学位。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)首席科学家。在国内外发表相关论文 50 余篇, 其中 *SCI* 收录 10 余篇。