

东亚地区碳循环研究新进展

冷方伟*

(中国科学院生物物理研究所, 北京 100101)

摘要 近百年来, 温室效应的日益加剧, 引发了全球温暖化、海平面上升等一系列重大环境问题, 碳循环研究因此而受到全球范围的普遍关注和重视. 东亚地区因其独特的气候特征, 多样化的物种和生态系统, 以及活跃的人类活动而成为世界碳循环研究中不可或缺的一部分. 在中、日、韩三国联合启动东亚碳循环前沿研究计划(A3 Foresight Program)三周年之际, 《中国科学 生命科学》(*Science China Life Sciences*) 2010 年第 7 期发表了东亚地区碳循环研究专题, 包括 14 篇述评和研究论文, 从区域碳储量及其变化特征, 不同地带森林生态系统的碳源汇变化, 草地和农田生态系统的碳储量和碳循环研究中的新方法等多个方面系统展示了东亚地区碳循环研究的最新进展.

关键词 碳循环, 东亚地区, 碳储量, 生态系统

学科分类号 P96

DOI: 10.3724/SP.J.1206.2011.00401

碳循环是地球上最大的生物地球化学循环, 在温室效应的产生过程中扮演着重要角色. 近百年来, 人类向大气中排入的二氧化碳等温室气体逐年增加, 打破了生物圈大气圈之间原有的碳平衡, 大气的温室效应随之增强, 气候变化开始出现异常, 并引发了全球温暖化、海平面上升等一系列重大环境问题^[1-4]. 深入认识造成以上情况的根源并寻求解决方法, 是一个关系着人类生活与生态的重要科学问题, 近年来引起科技界和社会的广泛关注^[5-7], 2009 年召开的哥本哈根大会集中反映了对这一问题的全球性关注. 为了准确和全面认识全球碳循环的强度、过程和机制, 科学家先后实施了北美碳计划(NACarbon)、欧洲碳计划(EuroCarbon)和非洲碳计划(CarbonAfrica), 并发表了相关评估结果(<http://www.globalcarbonproject.org/carbontrends>).

东亚地区地处欧亚大陆的东缘、太平洋的西海岸, 包括中国、日本、韩国、朝鲜和蒙古 5 个国家, 面积约 11 760 000 km², 人口超过 15 亿. 作为全球碳循环的重要组成部分, 东亚地区碳循环研究的重要性毋庸置疑. 然而, 东亚地区碳循环的研究水平在过去一段时间中, 整体上相当落后, 更缺乏统一性和综合性, 为此, 中日韩三国政府基金机构于 2007 年联合资助启动了一项前瞻合作项目(A3

Foresight Program), 旨在研究和揭示东亚地区碳源汇大小、分布及其机制^[8-9]. 经过三国科学家三年多来的共同努力, 已在东亚地区碳循环研究方面取得了重要进展. 近期, 《中国科学 生命科学》(*Science China Life Sciences*) 2010 年第 7 期刊载了一个有关东亚碳循环研究的专题“Carbon Budget in East Asian Ecosystem”^[10], 包含 14 篇论文, 从下列 4 个方面较系统地展示了他们在这—研究领域已经取得的研究成果, 值得高度关注.

1 区域碳储量及其变化特征

东亚地区处于季风气候下, 是全球气候变化最为显著的地区之一^[11], 气候变化对生态系统格局和过程的影响使东亚地区几乎涵盖了地球上所有的生态系统类型, 为验证生态系统碳循环对环境变化的响应以及与大气系统的相互作用提供了独特的区域. 专题第一部分以 4 篇论文评述了东亚地区的区域碳储量及其变化特征. Fang 等^[12]以“Ecosystem carbon stocks and their changes in China's grasslands”

* 通讯联系人.

Tel: 15210555422, E-mail: fangweihaha7@gmail.com

收稿日期: 2011-09-01, 接受日期: 2011-09-07

为题,对中国草地碳平衡进行了较为全面的评述,文章阐述了中国北方草地生态系统碳库及其动态变化,并分析了自然因素和人类活动对中国草地生态系统碳动态的影响,得出中国草地生态系统基本上属于中性碳汇的结论. Huang 等^[13]的文章“Changes in soil organic carbon of terrestrial ecosystems in China: A mini-review”综合分析了已有研究资料,对中国陆地生态系统土壤有机碳变化研究进行了评述,讨论了中国土壤碳储量及其变化,以及中国土壤的碳储量增加态势. Xu 等^[14]的述评“Biomass carbon stocks in China's forests between 2000 and 2050: A prediction based on forest biomass-age relationships”利用中国森林资源清查资料中各森林类型各林龄组的面积和蓄积量数据,分析了全国 36 种主要森林类型的生物量密度与林龄之间的关系,并以国家林业发展规划中的森林面积增长目标为依据,预测了 2000~2050 年中国森林生物量碳库大小及其变化,结果显示中国森林未来将是一个较大的碳汇. 在该部分最后一篇论文“Changes in the distribution of South Korean forest vegetation simulated using thermal gradient indices”^[15]中, Choi 等利用温暖指数和最冷月平均最低气温预测韩国森林覆盖和植被分布的变化,模拟了气候变化下韩国森林植被格局的变化.

2 不同地带森林生态系统的碳源汇变化

森林生物量和生产力是森林生态系统结构和功能的基础,对于森林生态系统生物量和生产力的规模研究,是从 20 世纪 60 年代中期国际生物学计划中关于不同类型森林生物量和生产力的调查和研究开始的^[16-19]. 专题第二部分主要报道了不同地带森林生态系统的碳源汇变化,包括山地热带雨林、亚热带常绿阔叶林及温带森林等. 热带雨林占据全球陆地面积的 7%~10%,植被面积的 13%,在全球碳循环中起着非常重要的作用^[20-21]. Chen 等^[22]的报道“Biomass and carbon dynamics of a tropical mountain rain forest in China”利用从 1983 年以来 2 块固定样地清查数据(P8302, P9201)对尖峰岭热带山地雨林生物量和碳源汇大小进行估算,并探讨了该森林碳源汇大小与环境因子的关系. Yang 等^[23]的研究论文“The biomass and aboveground net primary productivity of *Schima superba*-*Castanopsis carlesii* forests in east China”运用样方重叠和树干解析法测定了以木荷、米槠为优势种的群落生物量

和地上生产力,这对阐明该地区森林系统碳储量具有重要的基础意义. 同时,文章将该地区群落生物量与中国东部常绿阔叶林其他群落生物量进行了比较,以阐明该地区常绿阔叶林生产力水平及其发展潜力. Noh 等^[24]的研究报道“Carbon and nitrogen storage in an age-sequence of *Pinus densiflora* stands in Korea”调查了韩国 6 种不同林龄(10, 27, 30, 32, 44 和 71 年生)赤松林的生物量、碳含量和氮含量,发现生态系统总碳储量和树木碳储量都呈现出随着林龄 S 型增长的趋势,而凋落物、地被物和矿质土壤的氮含量则未显示出随林龄变化而显著变化的趋势,这对了解赤松林碳、氮储量的现状及预测未来的生长变化提供了有效依据. 量化森林碳储量及其分配格局是森林碳循环和陆地生态模型的重要研究内容, Zhang 和 Wang^[25]的研究论文“Carbon density and distribution of six Chinese temperate forests”采用样地清查和异速生长方程法测定了相同气候条件下林龄相近的 6 种典型温带森林类型的碳密度和碳分配格局. 研究指出,特定森林碳分配格局的分异主要受植被类型、经营历史、局域土壤的水分和养分有效性等因素的共同作用,同时也为温带森林碳循环模型提供了重要的构建和校准参数.

3 草地和农田生态系统的碳储量

草地是全球分布最广的生态系统类型之一,在全球碳循环和气候调节中起重要作用^[26]. 专题第三部分主要讨论了草地和农田生态系统的碳储量及其变化. Ma 等^[27]的论文“Biomass carbon stocks and their changes in northern China's grasslands during 1982-2006”基于 341 个样地调查的地上、地下生物量资料和 1982~2006 年的卫星遥感数据,利用地上生物量与遥感数据之间及地上生物量与地下生物量之间的关系,估算了中国北方草地生物量碳库及其空间分布,分析了过去 25 年生物量碳密度和碳库的时间动态及其与气候变化的关系. 研究表明,不同草地生态系统对未来气候变化的响应可能存在差异. Wang 等^[28]的论文“Patterns of above-and belowground biomass allocation in China's grasslands: Evidence from individual-level observations”详细研究了温带草地地上-地下生物量的分配格局. 研究人员于 2006~2007 年分别对内蒙温带草地 19 个样地中的 42 个优势物种,以及青藏高寒草地 16 个样地中 53 个优势物种的地上生物量与地下生物量进行了调查,填补了从个体水平上揭示中国草地生物

量分配的大尺度分配格局的研究空白。为评价不同施肥对中国农田土壤有机碳动态的总体影响,探讨促进农田固碳和提高作物生产力的最佳施肥途径,研究人员收集整理 1979~2008 年中国长期施肥试验文献,提取和整合了这些长期施肥试验中农田表土有机碳的资料,十分可贵。土壤有机碳库是生态系统碳平衡的重要方面^[9],土壤固碳潜力及其计量已然成为当前面向全球气候变化的地学和生态学研究的前沿。Wang 等^[29]的报道“Changes in cropland topsoil organic carbon with different fertilizations under long-term agro-ecosystem experiments across mainland China”基于长期施肥资料,分析了中国农田表土有机碳的动态变化。为农田固碳减排和粮食生产可持续发展提供施肥管理依据。良好施肥管理的推广可以作为促进中国农田生产力和土壤长期固碳潜力的重要技术途径。Qin 和 Huang^[30]的研究论文“Quantification of soil organic carbon sequestration potential in cropland: A model approach”通过分析全球不同气候区的农田长期定位试验数据,建立了一个旱作农田土壤固碳潜力的统计模型,并用于估算中国河南省农田土壤固碳潜力,为定量估计农田土壤固碳潜力提供了一个切实可行、易于操作的方法。

4 碳循环研究中的新方法

随着碳循环研究的兴起和逐步深入,越来越多的新技术与研究手段被科学家引入。专题第四部分主要报道了一些新方法在碳循环研究等方面的应用。Kim 等^[31]撰写了题为“Estimation of carbon storage based on individual tree detection in *Pinus densiflora* stands using a fusion of aerial photography and LiDAR data”的论文,他们利用航空影像和激光雷达数据,对韩国赤松林的碳储量进行了估算,结果显示,用此方法估算的平均单株树木碳储量与实际测量值较为接近,说明基于航空摄影和雷达的方法可以有效估算大面积森林树木的生物量和碳储量。雷达系统能够同时探测森林的水平结构和垂直结构,结合地面控制点还可以高精度地描绘森林中的树干、树冠及林下植被。Kwak 等^[32]的报道“Estimation of effective plant area index for South Korean forests using LiDAR system”,基于上述理念,运用激光雷达数据估算韩国森林有效植被面积指数,建立了一个很有实用价值的森林碳储量估算方法。

由于温室效应日益加剧,导致了气温升高,病虫害增加,海平面上升,气候反常,海洋风暴增多,土地干旱,沙漠化面积增大等一系列重大环境问题,使有效地控制二氧化碳含量增加已成为重大的科学、技术和社会问题。只有控制人口增长,科学使用燃料,加强植树造林,绿化大地,才能防止温室效应给全球带来更大的灾难。值得庆幸的是,人们已经开始意识到问题的严重性,2009 年 12 月 7 日开幕的哥本哈根气候变化峰会被称为是“有史以来最重要的会议”、“改变地球命运的会议”,会议建立了温室气体排放的全球框架,让很多人对人类当前的生产和生活方式开始了深刻的反思,低碳的概念得到了广泛的认同,“低碳生活方式”、“低碳社会”等一系列新概念和新政策也应运而生。相信随着全世界低碳革命的兴起和影响,人类社会将进入“低能耗、低污染、低排放”的全新时代,通过改变传统增长模式,应用创新机制和创新科技,发展低碳经济模式与生活方式,进而逐步实现社会的可持续发展。

相信发表在《中国科学 生命科学》上的有关东亚地区碳循环研究的专题论文将使我们深入了解东亚地区的生态系统现状和碳循环研究现状,提高对解决因碳循环失衡而出现的一系列环境问题的正确分析与决策。

参 考 文 献

- [1] Reiners W A. A summary of the world carbon cycle and recommendations for critical research//Woodwell G M, Pecan E V. Carbon and the Biosphere. AEC Symposium Series. Virginia: NTIS U.S. Department of Commerce, 1973(30): 368-382
- [2] Canadell J G, Le Quéré C, Raupach M R, *et al.* Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2007, **104**(47): 18866-18870
- [3] Le Quéré C, Raupach M R, Canadell J G, *et al.* Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature Geosciences*, 2009, **2**: 831-836
- [4] World Meteorological Organization. The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Using Global Observations Through 2008. Switzerland: WMO Greenhouse Gas Bulletin, 2009
- [5] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 241-253
- [6] 方精云. 探索 CO₂ 失汇之谜. *植物生态学报*, 2002, **26**(2): 255-256
Fang J Y. *Acta Phytocologica Sin*, 2002, **26**(2): 255-256
- [7] 方精云, 朴世龙, 赵淑清. CO₂ 失汇与北半球中高纬度陆地生态

- 系统的碳汇. 植物生态学报, 2001, **25**(5): 414-419
- Fang J Y, Piao S L, Zhao S Q. *Acta Phytocologica Sin*, 2001, **25**(5): 414-419
- [8] Fang J Y, Guo Z D, Piao S L, *et al*. Terrestrial vegetation carbon sinks in China, 1981~2000. *Sci China D: Earth Sci*, 2007, **50**(9): 1341-1350
- [9] Piao S L, Fang J L, Ciais P, *et al*. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China. *Nature*, 2009, **458**: 1009-1013
- [10] Fang J Y, Tang Y H, Son Y. Why are East Asian ecosystems important for carbon cycle research. *Sci China Life Sci*, 2010, **53**(7): 753-756(doi: 10.1007/s11427-010-4032-2)
- [11] Fu C, Penning de Vries F W T, Ailiku, *et al*. The Initial Science Plan of the Monsoon Asia Integrated Regional Study. Beijing: MAIRS-IPO, IAP-CAS, 2006
- [12] Fang J Y, Yang Y H, Ma W H, *et al*. Ecosystem carbon stocks and their changes in China's grasslands. *Sci China Life Sci*, 2010, **53**(7): 757-765(doi: 10.1007/s11427-010-4029-x)
- [13] Huang Y, Sun W J, Zhang W, *et al*. Changes in soil organic carbon of terrestrial ecosystems in China: A mini-review. *Sci China Life Sci*, 2010, **53**(7): 766-775(doi: 10.1007/s11427-010-4022-4)
- [14] Xu B, Guo Z D, Piao S L, *et al*. Biomass carbon stocks in China's forests between 2000 and 2050: A prediction based on forest biomass-age relationships. *Sci China Life Sci*, 2010, **53**(7): 776-783(doi: 10.1007/s11427-010-4030-4)
- [15] Choi S, Lee W K, Son Y, *et al*. Changes in the distribution of South Korean forest vegetation simulated using thermal gradient indices. *Sci China Life Sci*, 2010, **53**(7): 784-797(doi: 10.1007/s11427-010-4025-1)
- [16] Ogawa H, Yoda K, Ogino K, *et al*. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand: II. Plant biomass. *Nat Life Southeast Asia (Kyoto)*, 1965, **1**: 49-80
- [17] Whittaker R H. Forest dimension and production in the Great Smoky Mountains. *Ecology*, 1966, **47**(1): 103-121
- [18] Leith H, Whittaker (eds.) R H. Primary productivity of biosphere. Berlin: Springer-Verlag, 1975
- [19] Cannell M G R. World forest biomass and primary production data. London: Academic Press, 1982
- [20] Malhi Y, Grace J. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends Ecol Evol*, 2000, **15**(8): 332-337
- [21] Lewis S L. Tropical forests and the changing earth system. *Phil Trans R Soc B*, 2006, **361**: 195-210
- [22] Chen D X, Li Y D, Liu H P, *et al*. Biomass and carbon dynamics of a tropical mountain rain forest in China. *Sci China Life Sci*, 2010, **53**(7): 798-810(doi: 10.1007/s11427-010-4024-2)
- [23] Yang T H, Song K, Da L J, *et al*. The biomass and aboveground net primary productivity of Schima superba-Castanopsis carlesii forests in east China. *Sci China Life Sci*, 2010, **53**(7): 811-821(doi: 10.1007/s11427-010-4021-5)
- [24] Noh N J, Son Y, Lee S K, *et al*. Carbon and nitrogen storage in an age-sequence of Pinus densiflora stands in Korea. *Sci China Life Sci*, 2010, **53**(7): 822-830(doi: 10.1007/s11427-010-4018-0)
- [25] Zhang Q Z, Wang C K. Carbon density and distribution of six Chinese temperate forests. *Sci China Life Sci*, 2010, **53**(7): 831-840(doi: 10.1007/s11427-010-4026-0)
- [26] Hall D O, Scurlock J M O. Climate change and productivity of natural grasslands. *Ann Bot-London*, 1991, **67**(Suppl): 49-55
- [27] Ma W H, Fang J Y, Yang Y H, *et al*. Biomass carbon stocks and their changes in northern China's grasslands during 1982-2006. *Sci China Life Sci*, 2010, **53**(7): 841-850(doi: 10.1007/s11427-010-4020-6)
- [28] Wang L, Niu K C, Yang Y H, *et al*. Patterns of above- and belowground biomass allocation in China's grasslands: Evidence from individual-level observations. *Sci China Life Sci*, 2010, **53**(7): 851-857(doi: 10.1007/s11427-010-4027-z)
- [29] Wang C J, Pan G X, Tian Y G, *et al*. Changes in cropland topsoil organic carbon with different fertilizations under long-term agro-ecosystem experiments across mainland China. *Sci China Life Sci*, 2010, **53**(7): 858-867(doi: 10.1007/s11427-010-4028-y)
- [30] Qin Z C, Huang Y. Quantification of soil organic carbon sequestration potential in cropland: A model approach. *Sci China Life Sci*, 2010, **53**(7): 868-884(doi: 10.1007/s11427-010-4023-3)
- [31] Kim S R, Kwak D A, Lee W K, *et al*. Estimation of carbon storage based on individual tree detection in Pinus densiflora stands using a fusion of aerial photography and LiDAR data. *Sci China Life Sci*, 2010, **53**(7): 885-897(doi: 10.1007/s11427-010-4017-1)
- [32] Kwak D A, Lee W K, Kafatos M, *et al*. Estimation of effective plant area index for South Korean forests using LiDAR system. *Sci China Life Sci*, 2010, **53**(7): 898-908(doi: 10.1007/s11427-010-4019-z)

The Recent Progress of Carbon Cycle Research in East Asian

LENG Fang-Wei*

(Institute of Biophysics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract Alongside the increasing of CO₂ released, greenhouse effect on earth became more and more serious over the past century, finally resulted in global warming and sea level rise. To solve the environment problems came from greenhouse effect, scientists around the world carried out many research projects on the global carbon cycle. Compared with other continents such as Europe and America, East Asia may have more ecological importance in the study of global carbon cycle. In 2007, an international joint research project (the A3 Foresight Program), aiming to investigate the carbon sources and sinks in East Asia, was launched, which is founded by the national foundations of China, Japan and South Korea. To reflect the main outcomes in the past three years from this program, the journal *Science China Life Science* published a special issue "Carbon Budget in East Asian Ecosystem" in 2010 (Vol. 53, No. 7, 2010). This issue contains 14 contributions categorized into 4 parts, including carbon stocks and their regional variations, changes in carbon sources and sinks for different forest ecosystems, carbon stocks and changes in grassland and farmland ecosystems, and new approaches to carbon cycle research. The main points and significations of these articles are comprehensively commented.

Key words carbon cycle, East Asian, carbon stock, ecosystem

DOI: 10.3724/SP.J.1206.2011.00401

*Corresponding author.

Tel: 86-15210555422, E-mail: fangweihaha7@gmail.com

Received: September 1, 2011 Accepted: September 7, 2011