

# 陆地生态系统碳循环及其机理研究 的地球信息科学方法初探

刘纪远, 于贵瑞, 王绍强, 岳天祥, 高志强

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 针对陆地生态系统碳汇/源的时空格局、碳循环过程的驱动机制及未来情景等前沿科学问题, 提出陆地碳循环研究的地球信息科学方法, 采用陆地生态系统碳通量/储量与碳循环过程的综合网络观测、生物过程的适应性实验研究以及河流碳输运过程研究为支撑系统的自下而上途径、与以土地利用/土地覆被变化和对地观测数据生态参量反演为基础的自上而下研究途径、经相互验证和尺度转换模型实现有机结合的研究方法, 开展综合观测、调查、比对分析、模拟和评价研究, 把握陆地生态系统碳循环的格局与过程规律, 辨析自然和人为因素对陆地生态系统碳循环过程的影响, 探讨全球气候变化条件下陆地生态系统碳循环过程的演变趋势。

**关键词:** 陆地生态系统; 碳循环; 地球信息科学; 全球变化

**中图分类号:** X171.1; P595; P208      **文章编号:** 1000-0585(2003)04-0397-09

## 1 前言

大气中温室气体浓度增加引起的全球环境变化, 严重地威胁着人类生存与社会经济的可持续发展, 成为全球强烈关注的重大环境问题, 因此研究全球碳循环过程及其驱动机制是定量评价全球碳收支和全球变化的科学基础。地球信息科学 (Geo-Information Science) 是 20 世纪 90 年代新兴的地球科学研究的前沿领域, 是在航空航天遥感、全球定位系统、地理信息系统、数字传输网络等一系列现代信息技术的高度集成以及信息科学与地球系统科学的交叉基础之上所形成的科学体系, 在全球变化与可持续发展研究方面得到了广泛的应用。长期以来, 地球科学、生态科学、资源与环境科学等各个学科的科学家用各自学科的理论和方法, 以不同来源的信息资料为基础, 积极探索陆地生态系统碳循环过程的动态变化及其调控机理。当前, 陆地生态系统碳循环研究走多学科、多部门信息综合集成研究的道路, 既面临信息来源多样性的发展机遇, 也面临诸多科学技术、方法和海量时空数据整合问题的挑战。

本文从综述全球碳循环科学研究的起源、重要科学问题、国内外研究状况入手, 考虑各学科的相互交叉、渗透和耦合等特点, 提出陆地生态系统碳循环及其机理研究的地球信

**收稿日期:** 2003-05-26; **修订日期:** 2003-06-18

**基金项目:** 国家 973 计划 (2002CB412500); 中科院地理科学与资源研究所知识创新工程主干科学计划 (IOGCX-E02-02)

**作者简介:** 刘纪远 (1947-), 男, 广东惠州人, 中国科学院地理科学与资源研究所所长, 研究员, 博士生导师, 国家 973 计划“中国陆地生态系统碳循环及其驱动机制研究”项目首席科学家。主要从事资源环境遥感与土地利用/覆被变化研究。

息科学方法, 并就陆地生态系统碳循环研究的信息化、时空定量化、模型化等重大科学问题, 以及地球信息科学方法在陆地碳循环研究中的应用进行了探讨。

## 2 陆地生态系统碳循环研究的兴起

自从工业革命以来, 由于人类活动和化石燃料燃烧使大气中  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  等温室气体浓度不断增加, 据预测如果温室气体以目前的排放速率持续下去, 地球表面的气温则有可能每 10 年上升  $0.2^\circ\text{C}$ , 100 年后的全球平均温度将大约增加  $2^\circ\text{C}$  (变异范围为  $1.4 - 5.8^\circ\text{C}$ )<sup>[1]</sup>。这种大气  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  浓度的升高和全球变暖无疑是人类活动影响的结果, 并引发了一系列严重的全球环境问题, 对人类自身的生存和可持续发展带来了巨大的威胁<sup>[2]</sup>。减少温室气体排放、抑制全球变暖进程是国际社会保护地球系统的重大行动, 是人类社会的共同责任和利益。气候变暖引起的冰川溶化、海平面上升以及干旱、洪涝、病虫害等自然灾害增加的问题, 也同样会对全球社会经济的可持续发展产生重要影响, 需要我们大力开展陆地碳循环研究, 采取应对措施, 改善地球的生态环境, 制定有利于稳定地球环境的生态系统管理政策和行动计划, 维持全球社会经济可持续发展。

1997 年通过的《京都议定书》不但规定了工业化国家的温室气体减排指标, 还引入了联合履约 (JI)、排放贸易 (ET) 和清洁发展机制 (CDM) (统称为京都机制), 允许各国造林、再造林、森林和农田管理等人为活动引起的碳增汇用于抵消本国承诺的温室气体减排指标。为此, 各发达国家政府为了最大限度地争取国家利益, 都在加大本国陆地生态系统碳汇/源特征与碳收支平衡的研究力度, 探讨灵活运用《京都议定书》相应条款的国家政策和策略, 寻求各自的  $\text{CO}_2$  减排与增汇对策技术。所以, 对陆地生态系统的碳汇/源作用与评价是多年来《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》谈判争论的焦点问题, 也是少数发达国家政府在谈判中保护本国利益的“科学武器”和推销“抵消排放或换取排放”的“科学基础”, 谈判过程不仅是各国或各利益集团之间政治力量的较量, 更是各自在陆地生态系统碳循环、碳汇/源格局与增汇/减排等方面科学知识储备和技术实力的抗争。

研究全球碳循环控制机制已经成为国际地圈生物圈计划 (IGBP)、世界气候研究计划 (WCRP)、全球环境变化国际人文因素计划 (IHDP) 和生物多样性计划 (DIVERSITAS) 等科学计划的主题, 中国、美国、加拿大、日本和欧盟等国家和国际组织近年来都启动了较大规模的大陆尺度和国家碳循环研究计划。其中陆地生态系统碳循环研究是全球变化科学中的一个重要组成部分, 陆地碳循环研究是预测未来大气  $\text{CO}_2$  和其它温室气体含量、认识大气圈与生物圈的相互作用等科学问题的关键, 也是认识地球生态系统的水循环、养分循环和生物多样性变化的基础, 因而成为 20 世纪 90 年代兴起的跨学科、综合性的、规模较大的国际合作研究的热点。

## 3 陆地碳循环研究现状和存在问题

当前各国对陆地碳循环研究的总目标是为制订地球生态系统管理政策和行动计划提供有关碳循环的新的科学认识, 为此, IGBP 和 WCRP 提出了全球碳循环研究中的三大科学问题:

- (1) 碳源/汇的时空格局;

(2) 碳循环过程的控制因素（人类和自然）与相互作用机理；

(3) 未来碳循环的动力学过程及趋势。

为解决这些重要的科学问题，陆地碳循环研究应以地球系统科学理论为指导，以区域和全球尺度为对象，开展多学科交叉、跨部门和跨国界的联合协作，采用多过程、多尺度、多学科交叉的研究方法，进行长期连续陆地碳通量/储量和循环过程的综合观测和实验观测，并综合运用具有高科技的地球信息科学手段。

据估计<sup>[3,4]</sup>，全球陆地生态系统中存在着一个大约 1.4~1.7GtC (1Gt=10<sup>15</sup>g) 的未知碳汇 (missing sink)，但仍然缺乏大量科学数据的支持。尽管各国科学家采用了大量的森林和土壤清查资料，对全球陆地生态系统碳通量/储量和碳汇/源已有很多的估计值<sup>[5~10]</sup>，但估计值之间存在较大的差异，这主要是由复杂的陆地碳循环过程中大量的不确定性和数据缺乏造成的。为此，各国纷纷开展大规模的对地观测计划 (EOS) 和碳通量/储量观测计划，然而大量的时空数据如何收集、存储、标准化和分析，需要借助于地球信息科学的发展和应用。

由于陆地生态系统生物过程对温室气体浓度升高和气候变暖具有一定的适应性<sup>[11]</sup>，因而近年来科学家们设计了各种人工控制实验方案，以便模拟和预测陆地生物过程对气候变化的响应，揭示陆地生态系统碳循环过程对环境变化的适应机制<sup>[12]</sup>。为了分析观测和实验研究数据、揭示碳循环过程机理、获得陆地碳汇/源强度与空间分布、模拟和预测未来情景，科学家们相继开发了大量的陆地碳循环动力学模型。目前，国际上比较著名的 TEM、CENTURY、FOREST-BGC、MAPSS、Biome、CASA 和 SiB2 等模型，从陆地生态系统碳循环的不同侧面描述了碳循环过程和机制。尽管我国科学家开发的大气-陆面模型 (AVIM) 在国际模型比对中受到好评<sup>[13]</sup>，但是还需要利用大量的观测数据进行验证、改进及发展。

陆地生态系统的碳循环与海洋相比较，其循环过程更复杂，估计的不确定性更大，且更易受人类活动的影响，也最有可能进行人为调控。陆地生态系统的碳循环是一个开放系统，这不仅体现在通过陆地与大气间的交换，进而与海洋的碳循环相联系，还包括通过河流作用向海洋的直接碳输运。人类活动不仅加大了 CO<sub>2</sub> 在大气圈、海洋和陆地生态系统之间的交换量，也加剧了河流的直接碳输运，加速了陆地的碳流失。因此，要深入系统地理解陆地生态系统的碳循环过程，总体把握陆地的碳收支状况，有必要了解通过河流作用的陆地-海洋间碳输运量和输运规律，认识陆地河口-近海生态系统的碳迁移和沉积过程特征。陆地生态系统碳量通过水土流失、土壤侵蚀与河流从陆地传送到海洋主要有三种形式：(1) 微粒有机碳 (POC)，包括植物凋落物、木质碎片和土壤有机质；(2) 土壤碳和凋落物分解中产生的溶解态有机碳 (DOC)；(3) 溶解态的无机碳 (DIC)。全球陆地生态系统通过水土流失迁移的土壤有机碳有 5.7Gt/yr，其中 3.99Gt/yr 依然存储在陆地生态系统<sup>[14]</sup>。Walling 研究发现全球通过河流输运到海洋中的物质达到 19Gt/yr，假设平均有机碳含量为 3%，因而传送到海洋的沉积物中的有机碳将达到 0.57Gt/yr<sup>[15]</sup>。研究还表明，南美洲亚马孙地区河流和湿地成为大气 CO<sub>2</sub> 的一个源<sup>[16]</sup>，同时森林地区溶解态的有机物质损失也受到了关注<sup>[17]</sup>，因此开展河流碳通量和河口-近海碳输运研究成为分析陆地生态系统碳迁移和评价碳收支的一个重要方面。

人们在微观层次上对陆地生态系统碳循环过程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,所面临的一个难题和挑战就是时空尺度的转换问题。基于大面积覆盖的连续遥感观测数据和土地利用/土地覆被变化(LUCC)或植被现状动态信息<sup>[18]</sup>,建立遥感反演模型,解决陆地碳循环研究中的尺度转换问题,可为分析潜在的植被碳库与实际碳库变化、碳通量变化、人类活动和气候变化对碳循环的影响提供有效的方法<sup>[19, 20]</sup>。最近 20 年来,从遥感数据提取陆地表面生物物理信息的模型构建工作获得了很大的进展<sup>[21]</sup>,通过遥感反演获取碳循环模型所需的地面物理参数,如地面反照率、叶面积指数、土壤湿度等,可直接作为陆地生态系统碳循环模型的驱动变量或参量<sup>[22]</sup>,也可以直接用于评估陆地生态系统植被碳库、植被与大气 CO<sub>2</sub> 交换、陆地生物圈碳通量的季节性变化等特征<sup>[23]</sup>。

区分人类活动和自然因素所导致的陆地碳循环变化是认识陆地碳循环时空格局演变中必然面对的问题。因此,IGBP 提出了目前全球变化研究中的两个关键问题是:1) 是否可以区分出自然和人类活动影响的生物地球化学循环过程和气候的变化;2) 全球气候对 CO<sub>2</sub> 浓度的敏感性如何。LUCC 是影响陆地碳汇/源强度的最为重要的人为活动,它对陆地碳交换的影响成为碳循环科学研究中的焦点。国外科学家研究结果表明,从 1850 年到 1990 年 LUCC 导致全球陆地总共净释放了 124GtC 到大气中<sup>[8]</sup>,其中中国陆地净释放 9.4GtC,约占全球释放总量的 7.58%,但是该研究对中国陆地碳交换的评价还十分粗糙,更不能正确反映我国陆地生态系统碳交换的历史演变。目前开展的 LUCC 对陆地碳循环的影响研究,还局限于区域尺度和较短的时间尺度,尤其是缺乏对多样化海量数据的综合集成,尚不能很好地揭示过去和预测未来 LUCC 对陆地碳循环的时空影响。

分析碳循环过程的调控和驱动机制,构建遥感反演模型和碳循环动力学模型,评价土地利用/土地覆被变化的影响,都离不开陆地生态系统碳通量/储量观测数据的支持。世界上已经建立了国际 CO<sub>2</sub> 和水热通量观测网络(FLUXNet),目前欧洲 EuroFLUX 有 41 个观测点,美国 AmeriFLUX 有 69 个观测点,亚洲网络(AsiaFLUX) 26 个观测点(其中日本国内 15 观测点)。近来在中国科学院重大项目的支持下,中国陆地生态系统碳通量观测网络(ChinaFLUX) 有 6 个观测点,仍不能完全覆盖我国所有典型的陆地生态系统。所以,如何有效地综合集成地面实测数据和卫星遥感数据,将成为陆地碳循环机理模型和遥感反演模型耦合的关键。

目前的研究工作主要集中在陆地生态系统碳循环的某个环节或某个部分,没有强调大区域和国家尺度的综合集成,以及国家尺度陆地生态系统碳循环和驱动机制的整体研究,缺乏一个系统的科学研究方法,无法实时动态地分析和模拟陆地生态系统碳循环过程。因而,我们还不足以对陆地生态系统碳源/碳汇的时空分布格局、碳循环过程的关键驱动因子以及碳循环对全球变化的响应等问题作出系统性的科学回答,还难以为提出增加陆地生态系统碳固定、减少碳排放的对策及相应技术提供科学依据。

陆地生态系统碳循环研究涉及学科面广、时空尺度复杂、数据量庞大,要求有多种新技术手段、非常强大的地球信息技术和地学知识作为支撑,强调跨学科的相互交叉、渗透和耦合。同时,还存在与陆地碳循环数据有关的一些理论问题,如碳循环数据的不确定性、陆地碳循环过程的时空信息认知和时空数据模型、多源资源环境信息集成耦合、陆地碳汇/源时空分布格局以及碳循环的过程和调控机制,以及陆地碳循环的定量研究方法,都是当前值得关注的重要科学问题。

## 4 陆地碳循环研究的地球信息科学方法

### 4.1 地球信息科学的作用

碳元素的循环是地球系统内部物质流和能量流的一种运动状态和方式，它包括两部分，一部分是有关碳元素在地球空间上所表现出来的区位特征，包括位置、形状和属性特征的描述；另一部分是有关碳元素循环的运动方式，即对于它们的区位特征在时间上所呈现的运动过程和变化规律的解释。因此，碳元素的地球信息实质上反映了人类对于陆地生态系统碳循环过程及调控机理的认识。正是碳元素信息的空间定位和空间关联性起到了连接生物圈、水圈、大气圈和岩石圈信息的作用，使得碳元素在四大圈层的循环得以通过空间信息而组合成为完整和立体的地球碳循环过程。碳循环科学问题强调对于不同时空尺度下的大气圈、水圈、岩石圈和生物圈系统碳循环过程及相互作用机制的理解与模拟，以揭示全球变化规律和人类活动与资源、环境相互作用的关系。陆地生态系统碳循环是一个复杂的巨系统，为了解决上述问题，要求以整体的观点认识地球，而地球信息科学的数据获取、存储、空间分析和信息查询则为地球碳循环过程的模拟、分析和预测奠定了基础。美国国家航空和宇航管理局（NASA）在《地球系统科学》报告<sup>[24]</sup>中指出：认识地球系统和全球变化战略的重要组成部分是要在最广泛的意义上致力于数据和信息的管理，发展地理信息系统是其中心问题。随着人类社会步入信息时代，有关陆地生态系统碳循环科学问题的研究更需要以地球信息科学为基础，并以现代信息技术为手段，建立地球碳循环的科学体系。

地球信息科学在陆地碳循环研究中的应用和作用是：研究陆地碳循环时间—空间信息的结构与性质、碳循环过程数据的获取、分类与标准化以及存贮、处理、描绘和传播，包括碳循环数据的获取和集成、分布式计算、空间信息的认知和表达、空间分析、数值模拟、数据的不确定性及其对陆地碳循环研究的影响等。地球信息技术包括地球数据获取技术、地球信息模拟分析技术与地球信息尺度转换技术，因而地球信息科学将为陆地碳循环科学问题的研究提供数学基础、空间信息框架和信息处理的技术方法，可以使用多信息智能耦合、知识挖掘与伪信息剔除技术等先进技术方法，对陆地碳循环的复杂过程和调控因素进行数值模拟，甚至可以运用虚拟环境分析微观和宏观时空尺度条件下碳循环过程的演变，探讨陆地碳循环过程的时空不确定性。

地球信息科学是地球科学与信息科学之间的交叉和渗透，其全息化、定量化和可视化方向发展将有利于陆地碳循环过程的模拟，是把碳循环科学研究提高到一个全新水平的关键基础。地球信息科学的应用大大提高了人类处理和分析大量气象、资源、环境、碳通量/储量、社会与经济数据的能力，随着遥感、全球定位系统、因特网（Internet）和地理信息系统等现代信息技术的发展及其相互间的渗透，为解决区域范围更广、复杂性更高的陆地碳循环问题提供了新的分析方法和技术保证；同时，地球信息科学在陆地碳循环研究中的综合发展及其应用的日益深广，最终会促进地球信息科学的发展。

### 4.2 地球信息科学的研究方法

地球信息科学的应用设计应适应陆地生态系统碳循环过程的多系统、多变性和复杂性，针对当前碳循环科学问题和地球信息科学的特点，陆地碳循环研究的地球信息科学方法应是：采用陆地生态系统碳通量/储量与碳循环过程的综合网络观测、生物过程的适应

性实验研究以及河流碳输运过程研究为支撑系统的自下而上 (Bottom-up) 途径, 与以土地利用/土地覆被变化和对地观测数据生态参量反演为基础的自上而下 (Top-down) 研究途径, 经相互验证和尺度转换模型实现有机结合的研究方法, 开展综合观测、调查、比对分析、模拟和评价研究, 把握陆地生态系统碳循环的格局与过程规律, 辨析自然和人为因素对陆地生态系统碳循环过程的影响机制, 探讨全球气候变化条件下陆地生态系统碳循环过程的演变趋势。

在碳通量/储量和循环过程的系统观测以及 LUCC 和碳汇/源的时空格局遥感信息系统的支持下, 以长期大量定位站点观测和空间对地观测技术、历史文献资料的收集和典型样带数据的调查为手段, 以综合研究陆地生态系统碳格局、碳循环过程机理、碳循环动力模型和遥感反演模型及时空尺度转换为核心问题, 进而综合评价陆地生态系统的碳汇/源时空格局和增汇潜力, 其总体思路和技术途径如图 1。

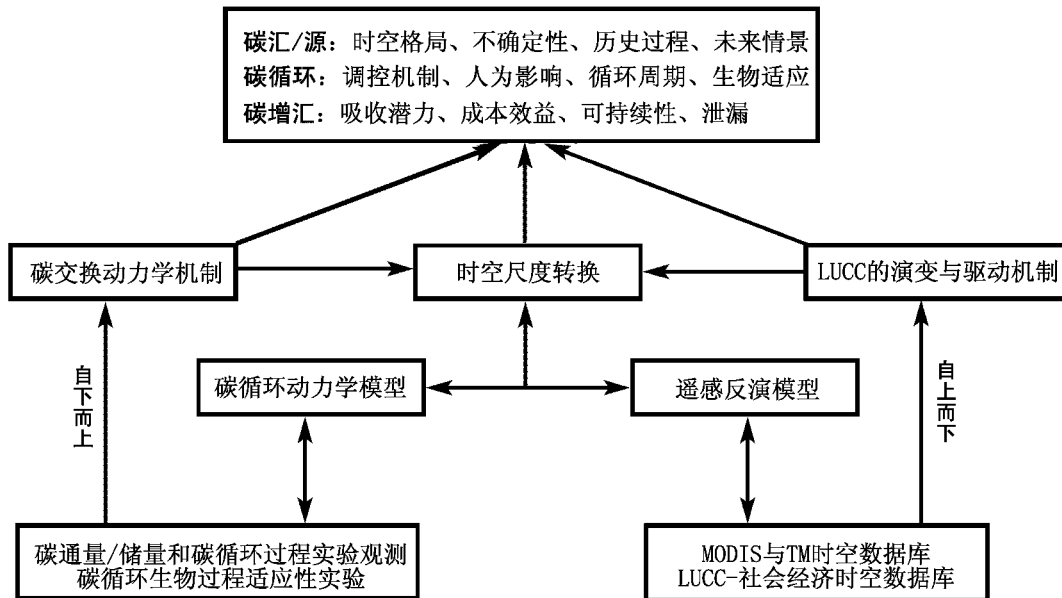


图 1 陆地生态系统碳循环及其机理研究的总体思路

Fig. 1 Framework of a study on carbon cycle and its mechanism of terrestrial ecosystems

我们建立的陆地生态系统碳循环及其机理研究的地球信息科学方法, 在开展陆地生态系统碳循环过程及驱动机制等基础理论研究的同时, 重视地球信息科学技术在碳循环研究中的紧密结合, 并以碳循环为突破点, 发展基于地学空间信息的现代地球系统科学方法论。该方法强调观测数据与模型验证、动态与静态分析、尺度转换、模型耦合, 其特点概述如下:

1) 以基本覆盖多个气候带的典型陆地生态系统类型的碳通量观测网络 (FLUXnet) 为核心, 结合样带调查和开放大气二氧化碳富集系统 (FACE), 进行联网式对比观测研究, 获取完整的陆地碳循环典型过程的数据, 建立陆地生态系统碳循环动力学模型, 揭示陆地生态系统碳循环机理及对  $\text{CO}_2$  增加和温度升高等环境变化的响应和适应性, 回答典型

区碳汇/源问题；

2) 利用遥感的多光谱(高光谱)、多时像、多空间分辨率和二维空间数据的能力和特点,从遥感信息中反演碳收支的模型参数,建立基于遥感信息反演的碳收支模型。在利用高光谱遥感对我国典型生态系统碳模型相关信息研究的基础上,结合生态系统碳通量观测值来修正遥感碳收支模型,完成区域和全国分布的碳收支时空格局规律,并以此作为实现从微观到宏观尺度扩展的主要方法,结合尺度转换模型,实现自上而下和自下而上两种途径的综合集成；

3) 以收集和整编中国生态系统研究网络(CERN)和中国森林生态系统研究网络(CFERN)各实验站以及ChinaFLUX各观测站点有关碳储量测定的点源数据为基础,结合遥感提供的高时空分辨率地理过程和生态过程信息,运用曲面论、格点生成方法和网格计算技术建立高精度陆地生态系统碳循环数值模拟模型；

4) 通过遥感反演模型、碳循环动力学模型、经济模型、气候变化模型与数值模拟模型的有机耦合,综合评价陆地生态系统碳汇/源的时空演变,评价重大生态环境建设项目的固碳效应；

5) 在综合数据库的基础上,利用覆盖全国的长时间序列的光合有效辐射数据、多期土地利用和相关气象数据,以中国区域分异规律为基础,以地理信息系统技术为时空数据分析平台,采用空间因子分析及偏相关分析等方法,分析中国多年碳贮量及碳通量的时空变化规律及空间格局特征,对他们的“变化过程的格局”和“格局的变化过程”进行定量的界定<sup>[25]</sup>,进而根据这些特征有区域针对性地定量区分自然和人为因素对陆地生态系统碳循环过程的影响。

6) 通过尺度转换模型,实现自上而下和自下而上两种途径的综合集成,建立和发展较完善的现代地球信息科学方法论。

## 5 结论

在纷繁复杂的自然和人为影响因素下,针对碳循环科学问题的深化和研究领域的拓宽,陆地生态系统碳循环研究应发展地球信息科学为基础的方法论,以解决国家尺度的碳源/汇格局为核心,强调通量、储量和过程的综合观测比对,利用地面观测、遥感反演的有机结合解决尺度转换问题,强调土地利用变化以及土地利用方式转换对陆地碳循环过程的影响,注重对国际气候公约谈判和履约过程中所涉及的科学问题的研究,提高全球变化科学的研究水平,建立完整的陆地碳过程资料和数据库,为相关环境决策提供重要的科学依据。为实现上述研究目标,必须在开展陆地生态系统碳循环过程及驱动机制等基础理论研究的同时,重视地球信息科学技术在碳循环研究中的紧密结合,并以碳循环为突破点,发展基于地学空间信息的现代地球科学研究方法论,推动地球信息科学的发展。

### 参考文献：

- [1] Houghton J T, Ding Y, Griggs DJ, *et al.* (Eds). IPCC Report; Climate Change 2001; The Scientific Basis. Cambridge University Press, 2001, Cambridge, UK.
- [2] O'Neill B C, Oppenheimer M. Climate change; dangerous climate impacts and the Kyoto Protocol. *Science*, 2002,

- 296; 1971~1972.
- [3] Houghton R A. The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850-1990. *Tellus*, 1999, **51B**: 298~313.
- [4] Schindler D W. The mysterious missing sink. *Nature*, 1999, **398**:105~107.
- [5] 张新时,高琼,王莫安,等. 中国东北样带的梯度分析及其预测. *植物学报*, 1997, **39**(9): 785~799.
- [6] 方精云,刘国华,徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量. *生态学报*, 1996, **16**(5):497~508.
- [7] 王绍强,周成虎,李克让,等. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析. *地理学报*, 2000, **55**(5):533~543.
- [8] Fang J, Chen A, Peng C, *et al.* Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 2001, **292**: 2320~2322.
- [9] Wang X, Feng Z, Ouyang Z. The impact of human disturbance on vegetative carbon density in forest ecosystems in China. *For. Ecol. Manag.*, 2001, **148**: 117~123.
- [10] Kaiser J. Panel estimates possible carbon sinks. *Science*, 2000, **288**:942~943.
- [11] Luo Y Q, Wan S Q, Hui D F, *et al.* Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie. *Nature*, 2001, **413**: 622~625.
- [12] 汪杏芬,李世仪,白克智,等. CO<sub>2</sub>倍增对植物生长和土壤微生物量碳、氮的影响. *植物学报*, 1998, **40**(12): 1169~1172.
- [13] 季劲钧,余莉. 地表面物理过程与生物地球化学过程耦合反馈机理的模拟研究. *大气科学*, 1999, **23**(4): 439~448.
- [14] Lal R. Global soil erosion by water and carbon dynamics. In: Lal R, Kimble J, Lavine E, Stewart B A (eds.). *Advances in Soil Science: Soils and Global Change*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, CRC Press, 1995. 131~142.
- [15] Walling D E. Rainfall, runoff, and erosion of the land: a global view. In: Gregory K J (ed.). *Energetics of Physical Environment*. London: J. Wiley & Sons, 1987. 89~117.
- [16] Richey J E, Melack J M, Aufdenkampe A K, *et al.* Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature*, 2002, **416**: 617~620.
- [17] Perakis S, Hedin L O. Nitrogen loss from unpolluted South American forests mainly via dissolved organic compounds. *Nature*, 2002, **415**: 416~419.
- [18] 刘纪远,布和敖斯尔. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究——基于卫星遥感数据. *第四纪研究*, 2000, **20**(3): 229~239.
- [19] DeFries R S. Combining satellite data and biogeochemical models to estimate global effects of human-induced land cover change on carbon emissions and primary productivity. *Global Biogeochemical Cycles*, 1999, **13**(3): 803~815.
- [20] Soegaard H. Trace gas exchange in a high-arctic valley. *Global Biogeochem. Cycles*, 2000, **14**(3): 725~744.
- [21] Myneni R B, Keeling C D, Tucker C J, *et al.* Increased plant growth in the northern high latitudes from 1988—1991. *Nature*, 1997, **386**: 698~702.
- [22] Chen W, Chen J, Liu J, *et al.* Approaches for reducing uncertainties in regional forest carbon balance. *Global Biogeochem. Cycles*, 2000, **14**(3): 827~838.
- [23] Caselles V, Artigao M M, Hurtado E, *et al.* Mapping actual evapotranspiration by combining Landsat TM and NOAA-AVHRR images; application to the Barrax Area, Albacete, Spain. *Remote Sens. Environ.*, 1998, **63**: 1~10.
- [24] Earth System Sciences Committee NASA Advisory Council. *Earth system science: a closer view*. National Aeronautics and Space Administration, 1992. 106~107.
- [25] Liu J Y, Liu M L, Zhuang D F, *et al.* Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995-2000. *Science in China (D)*, 2003, **46**(4): 373~384.



## A method of geo-information science for studying carbon cycle and its mechanism of terrestrial ecosystems

LIU Ji-yuan, YU Gui-rui, WANG Shao-qiang, YUE Tian-xiang, GAO Zhi-qiang  
(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** There exists about 1.4~1.7GtC missing sink in the global carbon budgets. The missing sink might happen in terrestrial biosphere and coastal continental shelf. However, this guess is lack of support from scientific observation data and research methods. Progress in geo-information science is paving way for studying carbon cycle and its mechanisms of terrestrial ecosystems. To address the scientific issues such as temporal and spatial pattern of terrestrial ecosystem carbon sink, and driving mechanism and scenarios of carbon cycle, this paper proposes a method of geo-information science for studying carbon cycle of terrestrial ecosystems. Bottom-up approach and top-down approach are combined by means of scaling models. The bottom-up approach is based on observations of comprehensive network of carbon storage and carbon cycle process of terrestrial ecosystems, adaptive experiments of biological processes, and researches on carbon transportation processes of rivers. the top-down approach is based on detecting land cover change and retrieving ecological parameters by using satellite data. Retrieval models of carbon budgets are developed by means of the capacity of satellite remote sensing that can frequently supply surface information of geographical processes and ecological processes. On the basis of analyzing data-at-points collected by stations of Chinese Ecosystem Research Network, stations of Chinese Forest Ecosystem Research Network, and observation stations of HIN-AFLUX, combined with the retrieval models, a numerical simulation model of terrestrial ecosystem carbon cycle is constructed by means of surface theorem, grid generation method and grid computing technique. Pattern and process of carbon cycle are to be simulated; natural and human impacts on carbon cycle of terrestrial ecosystems are to be analyzed; and evolution trends of carbon cycle process of terrestrial ecosystems are to be discussed under the condition of global climate change.

**Key words:** terrestrial ecosystem; carbon cycle; geo-information science; global climate change