

文章编号: 1001-8166(2005)05-0556-05

全球变化与陆地生态系统研究: 回顾与展望*

傅伯杰^{1,2}, 牛 栋^{1,2}, 赵士洞³

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 中国科学院资源环境科学与技术局, 北京 100864;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 全球变化与陆地生态系统相互关系的研究是国际地圈生物圈计划 (IGBP) 的核心研究计划之一, 也是整个全球变化的研究核心领域之一。该计划自 20 世纪 80 年代启动以来, 已经取得了一系列重要的研究成果, 对于推动全球变化研究发挥了重要作用。中国学者在全球变化与陆地生态系统研究领域也开展了许多工作并取得了重要成绩。按照我国科学技术和社会经济发展的需求, 提出了未来我国在该领域的研究重点, 包括 中国陆地生态系统重要生命元素的代谢及其耦合机制研究; 全球变化敏感区域或重要样带上陆地生态系统对全球变化的影响研究; 我国的 C、N、P、S 生物地球化学循环与全球变化的关系研究; 发展中国特色的区域植被动态模型。

关 键 词: 全球变化; 陆地生态系统

中图分类号: Q14 **文献标识码:** A

0 前 言

全球变化对陆地生态系统的强烈影响正在改变着陆地生态系统固有的自然过程, 其后果已经、并将愈来愈严重地威胁人类的生存环境及社会经济的可持续发展。因此, 这一问题不仅仅引起了全世界各国科学家的关注, 成为当前生态学研究的一个重点领域, 同时也已经成为政治家和广大民众高度关注的一个社会和经济问题。为了最大限度地减少全球变化可能引起的不良后果, 人类必需科学地认知在全球自然变化和人为活动双重影响下的陆地生态系统变化的过程与机制, 预测其变化趋势, 进而实施对生态系统的有效管理, 以维持对人类生存和持续发展适宜的环境。研究全球变化与陆地生态系统的相互作用关系的目的是要揭示全球变化对生态系统的影响与反馈机理, 探明陆地生态系统对全球变化胁迫的响应与适应机制。自以国际地圈生物圈计划 (IGBP) 等一系列全球变化研究计划从 20 世纪 80 年代中期开始实施以来, 在全球变化与陆地生态系

统的研究这一领域开展了许多工作, 已经取得了许多重要的研究进展^[1,2]。在此基础上, 各国学者又提出了新的目标, 制定了一系列新的研究计划。

1 全球变化与陆地生态系统研究的主要科学问题

全球变化与陆地生态系统的研究就是要从生态系统的物质循环与能量平衡的角度, 研究地圈—生物圈—大气圈的相互作用, 探讨全球变化的成因与控制机制、空间格局变化规律、未来趋势的预测, 以及生态系统变化对全球变化的响应与反馈, 研究全球、大陆和流域尺度复杂生态系统的动态过程、系统内部各亚系统间的耦合关系, 以及各种生态环境问题的相互作用等科学问题, 其中以生态系统碳循环与全球变化、生态系统水循环与水资源、全球变化与生物多样性为其三大优先研究领域。其主要科学问题包括:

⑧ 全球大气化学成分是如何在生态系统中发生作用的? 在痕量气体的产生与消失过程中, 生物过

* 收稿日期: 2005-03-15; 修回日期: 2005-05-20

* 基金项目: 国家自然科学基金项目“土地利用与生态过程”(编号: 40321101)资助。

作者简介: 傅伯杰 (1958-), 男, 陕西咸阳人, 研究员, 主要从事自然地理和景观生态学研究。E-mail: bifu@cashq.ac.cn

程起着什么作用?

® 全球变化是怎样影响陆地生态系统的?陆地生态系统是怎样产生响应和反馈的?自然和人为活动导致的环境变化是如何影响一定时空尺度范围的生态系统的结构、功能和服务,以及它们反过来是怎样影响区域和全球气候的功能的?

® 土地利用、海面升高和气候变化如何改变海岸生态系统,其后果是什么?

® 海洋生物地球化学过程是如何响应和影响气候变化的?

® 过去发生过什么重大的气候和环境变化?其原因何在?

® 全球变化如何影响生物多样性?生物多样性的生态环境功能、经济与生态价值如何评价?以及生物多样性丧失、生物遗传资源流失和有害生物的迁移。

® 如何通过观测水平的提高,依靠气候、土地利用和经济活动未来的变化情景来预测生态系统和生态系统服务的状态,并提供与决策有关的信息?

® 在区域和全球环境变化背景下,为了确保有价值的生态系统提供产品和服务的可持续性应采取哪些政策?

当前研究工作的重点集中在:

® 生物圈代谢与水循环过程及其耦合机制和生态系统要素间的相互作用关系与作用机制。

® 区域尺度的地圈—生物圈—大气圈之间的相互作用与全球变化的关系。

® 陆地生态系统对全球变化的响应与反馈作用的机制,以及关键生态学过程对环境变化的适应机制。

® 全球、大陆和流域尺度复杂生态系统的动态过程、系统内部亚系统间的耦合关系以及生态与环境问题间的相互作用。

2 全球变化与陆地生态系统研究的主要科学计划及成就

2.1 IGBP 第一阶段中全球变化与陆地生态系统研究

20 世纪 80 年代启动的国际地圈生物圈计划 (IGBP) 是最早启动,对于推动全球变化研究发挥了重要作用的一项国际合作研究计划。“全球变化与陆地生态系统 (GCTE) 是 IGBP 中的一个核心研究计划,其宗旨是分析大气成分、气候、人类活动和其它环境变化对陆地生态系统结构和功能的影响,预测未来全球变化可能对农业、林业、土壤和生态系统

复杂性的影响,评价陆地生态系统变化对全球变化的反馈作用,提出应对全球变化的生态学途径与技术^[3]。GCTE 所确定的科学研究目标是:

® 围绕全球变化与生态系统之间的相互作用,量化在自然和人类活动的强烈作用下生态系统发展与变化的规律,揭示全球变化对陆地生态系统功能的影响及其在不同层次的反应与适应机理。

® 从全球变化的角度出发,研究陆地生态系统对于气候变化、大气组成变化以及土地利用/覆盖变化的响应及其反馈作用,强调研究在全球变化背景下生态系统的生物地球化学循环、生物地球物理过程、生物地球社会驱动力及其相互作用。

® 建立全球变化的生态信息系统,建立有效的预测模型,以预测全球变化背景下未来陆地生态系统的变化趋势,并对陆地生态系统的生态安全进行评估,探讨陆地生态系统对全球变化的适应性,寻求适应全球变化的对策与生态安全模式,为陆地生态系统的可持续发展提供科学依据。

针对上述的科学目标,GCTE 所选定的研究重点是生态系统的生理学、生态系统结构的结构与组成、陆地生产性生态系统、全球生物地球化学循环和生态复杂性;建议建立的综合研究设施是长期生态系统模拟活动 (LEMA) 的模拟中心网络、沿环境梯度设置的样带、集约农业试验站网络和利用开放式大气 CO₂ 富集 (FACE) 技术研究 CO₂ 含量升高对生态系统功能影响的系列实验站。经过来自各国学者数年的努力,GCTE 在上述研究领域取得了一系列重要研究成果。同时,GCTE 通过与由其他项目或国际组织、国家或地区所建立的各种陆地和遥感观测网络的合作,极大地促进了这些网络的发展。GCTE 第一阶段的研究成果已经较系统地由 Walker 等^[5,6]进行了总结。

2.2 IGBP 第二阶段中的全球变化与陆地生态系统研究

IGBP 于 2001 年开始了其第二个阶段 (IGBP Phase II) 发展规划的起草工作,GCTE 也随之进入了一个转型时期。在新的发展阶段,全球变化与陆地生态系统研究将围绕陆地人类—陆地环境系统 (Terrestrial Human-Environment, T-H-E Systems) 开展工作。在现阶段,GCTE 将“全球碳循环”作为其今后研究工作的中心,启动了全球碳计划 (The Global Carbon Project, GCP),开展了与 IGBP 土地利用 (LAND) 和食物系统 (Food System) 等核心研究计划的合作。IGBP 第二阶段的 GCTE 研究将与地球

系统科学计划 (Earth System s Science Programs) 紧密合作,对其研究方向进行了新的调整,开展新的全球和区域性全球变化研究^[7-9]。具体内容包括:

⑧各种来源的温室气体和大气污染物的释放机理及其影响,主要是服务于准确预测和评价生态系统的固碳潜力和措施的影响。

⑨生态系统水分循环,包括与土壤—植被系统有关的过程研究。

⑩探索海洋和陆地生物多样性、海洋生态系统的功能及遗传资源的保护,陆地和海洋生态系统可持续管理,以及海洋生态系统与人类活动的相互关系。

⑪荒漠化和自然灾害发生的机理,可行的预测和模拟方案,包括全球气候变化观测系统。

⑫土地可持续利用的管理对策,包括海岸带的综合管理,农林资源综合利用的整体思路,以及整个森林木材工业链。

2.3 全球变化与陆地生态系统的长期观测与实验研究

随着 GCTE 各项研究工作的开展,极大地推动了生态观测和研究网络的建立和发展,这是 GCTE 对全球变化研究做出的一项重要贡献。

为了在更大尺度上揭示全球变化对陆地生态系统的影响与反馈机制、陆地生态系统的演变规律,减少生态系统管理的不确定性,开展长期的生态系统联网研究和观测是一种有效的途径。全球气候观测系统 (GCOS)、全球陆地观测系统 (GLIOS)、全球海洋观测系统 (GOOS)、全球环境监测系统 (GEMS) 和国际长期生态研究网络 (LTER),以及其他一些由国家、地区和国际合作项目所建立的生态观测和研究网络,以及在此基础上建立的开放式 CO₂ 浓度增高试验系统 (FACE) 和通量观测网络系统 (FLUX-NET) 等,组成了全球生态系统观测、实验和研究平台^[10,11]。

生态系统的长期网络观测、实验和研究是全球变化研究的重要手段。同时,长期的网络动态观测与遥感、地理信息系统和数学模型相结合,可以在景观、区域和全球尺度上分析生态系统格局与过程的变化。生态系统的复杂性决定了生态系统长期定位观测和多台站联网研究的重要性,长期定位观测研究网络有助于了解生态过程的变化,为全球变化研究作出贡献。

长期生态学观测和研究经历了单站研究—网络研究—综合研究的发展历程,其所研究的领域也由

经典的生态学领域向自然科学与人文科学相结合的方向发展,采用了以长期生态研究计划带动网络发展的推进模式。这一工作已经进入了一个新的重要发展阶段。

3 中国的全球变化与陆地生态系统研究

3.1 中国全球变化与陆地生态系统研究的概况

在全球变化领域,作为全球变化研究的积极倡导者和重要参加者,中国科学家早在 20 世纪 80 年代初就参与了全球变化科学重大国际计划的研究,并且实施了一批全球变化重大研究项目,为国际全球变化研究做出了重要贡献,也为我国在生态与环境问题上的宏观决策和参与 UNFCCC 谈判等国际合作提供了科学依据和技术支持。

近 10 年来,我国陆续建成了一批可供全球变化研究的国家重点实验室和部门开放研究实验室。在技术条件方面,通过国家的支持,对实验观测、实验、分析测试和计算模拟等方面的仪器设备进行了更新和添置,并引进了一些新技术。依托这些实验室的技术保障,许多全球变化研究的重大项目出色地完成了研究工作。在这一过程中,中国科学院、中国气象局、国家海洋局、国家林业局和国家环保总局等部门所属的生态观测和研究网络,发挥了观测和研究基地的作用。特别是中国科学院的中国生态系统研究网络 (CERN),其规模、结构、功能均引起了国外专家的瞩目,达到了国际先进水平,已在全球变化研究中发挥了重要的、不可替代的作用。另外,以 CERN 为基础的中国陆地生态系统通量观测研究网络 (ChinaFLUX)^[11] 和全球变化的中国东北样带 (NECT)^[12]、中国东部南北样带 (NSTEC)^[11] 和中国草地样带 (China Grassland Transect, CGT)^[13],以及中国 FACE 的建设、观测和实验研究工作,也已经成为中国全球变化和陆地生态系统研究的重要基地,为中国的全球变化研究作出了重要的贡献。

我国在全球变化与陆地生态系统研究领域,虽然与国际先进水平相比较尚有一定差距,但也开展了大量研究工作,取得了许多重要的研究进展。近年来,国家自然科学基金委员会在全球变化和陆地生态系统研究方面设立了“中国东北样带与全球变化研究”、“全球变化的中国东部样带研究”、“全球变化的中国植被—气候关系研究”、“变化环境下的水循环与水资源研究”和“全球变化的生态系统及区域响应 (FACE) 研究”等重点研究项目,都取得了重要进展。中国科学院于 2001 年启动了“中国陆地

和近海生态系统碳收支”重大研究项目,科技部“973”计划于2002年设立了“中国陆地生态系统碳循环以及驱动机制”研究项目,极大地推动了我国在全球变化与生态系统领域的研究工作。

2002年国家自然科学基金委员会又组织实施了“全球变化及其区域响应科学研究计划”,其宗旨是通过组织和支持对围绕全球变化及其区域响应的基础性、战略性和前瞻性科学问题的研究,为我国典型区域在全球变化背景下的合理发展提供对策和决策依据。该计划将以东亚大陆及近海海域若干全球变化的敏感区域为对象,以碳氮循环、水循环和季风环境演化为核心,研究亚洲季风区海—陆—气相互作用及人类活动对区域环境变化影响的机理,获取该区域环境对全球变化的响应方式、响应途径、作用过程、动力机制及未来变化趋势,从而为我国在水安全、食品安全及国际公约中的国家立场等方面提供科学依据。本计划的中长期的实施框架将围绕“海洋环境的变异及其对全球变化的响应”、“东亚季风环境的演化及其与全球变化的关系”、“海—陆—气相互作用与水分循环和全球变化的关系”、“关键区域生态过程与生态安全及其对全球变化的响应与反馈”和“全球变化及区域响应中的若干物理、数学问题”五大研究主题展开。

3.2 中国全球变化与陆地生态系统研究的优先领域

上述研究平台的建立和研究工作的展开,推动了我国全球变化对生态系统重要生命元素的生物地球化学循环和生物多样性影响以及生态系统对全球变化的响应与适应等领域的研究。今后的研究工作应在充分利用已有的研究平台,发挥已有的研究优势的基础上,优先在以下研究领域开展工作:

① 基于长期定位观测与实验,综合研究中国陆地生态系统重要生命元素的代谢及其耦合机制,发展动力学模型,完善生态系统过程管理的方法论体系。

② 综合研究全球变化敏感区域或重要样带上陆地生态系统对全球变化的响应与环境适应机制与调控管理的基础理论与关键技术。

③ 碳、氮、硫、磷生物地球化学循环及其生态、环境效应,重点研究氮、磷污染与水体的富营养化,硫的污染、输送、分布与酸雨的形成和危害,碳、氮污染的生物地球化学循环与大气增温的机理,我国的碳、氮、硫、磷生物地球化学循环与全球变化的关系和我国碳、氮、硫、磷污染及其主要控制对策以及对海洋和大陆之间的碳交换的评估。

④ 发展中国特色的区域植被动态模型,模拟全

国及关键地区的生态系统结构和功能,以及自然和人为干扰(如火和土地利用等)对生态系统的影响,反演中国陆地生态系统过去百年间的变化,并预测未来百年间发展趋势。

3.3 中国全球变化与生态系统近期的研究重点

全球变化与陆地生态系统研究是一个非常广泛的领域。按照该领域的科学内涵和我国科学和社会经济发展的需求,我们认为在近期应当主要研究以下内容:

(1) 全球变化背景下陆地生态系统碳、氮代谢与水循环的变化及它们之间的耦合机制与过程管理。这一研究可以在中国生态系统研究网络和中国通量观测网络的主要野外站及其周边地区,以这些站所代表的农田、森林、草地等生态系统类型为研究对象开展碳、氮代谢与水循环的变化及它们之间的耦合机制与过程管理方面的研究工作。在此基础上,通过地理信息系统、遥感和数学模型等手段的帮助,在景观、区域和国家尺度上开展相应的研究工作。

(2) 生态系统对全球变化的适应机制。建议沿我国已经建立的和正在建立的几个陆地生态系统研究样带,按照温度、湿度以及其他全球变化的重要因子的变化梯度,开展生态系统的组成、结构和生产力等重要功能对这些因子变化响应的研究,阐明生态系统对全球变化的适应机制。

(3) 全球变化与生物多样性研究。生物多样性是生态系统的重要属性,生物多样性的动态应当是全球变化与陆地生物多样性研究的重要内容。在这方面建议选定若干生物多样性热点地区,开展生物多样性的动态监测与生态功能评价,确定受威胁生物物种和生态系统的清单、受害等级及其地理分布格局,以及全球变化对生物多样性的可能影响。同时,开发重要物种和基因保护方面的高新技术。

(4) 外来物种的生态效应与扩散过程的控制。研究全球经济一体化和国际贸易市场全球化背景下的外来物种对中国生态系统的影响、环境效应与扩散过程的控制途径。

(5) 我国典型区域生态系统恢复与管理。以中国西部的生态环境建设、东部城市密集区的协调发展和中部高效可持续农业发展基地建设为目标,开展退化生态系统的恢复与重建模式、效应和评价,典型区域生态系统管理的理论基础与模式的综合研究,改善生态系统提供产品和服务的能力,建立适应于全球变化,并可满足社会经济发展需求的可持续的生态系统。

参考文献 (References):

- [1] Chen Yiyu. Direction in the future of IGBP[J]. *Advances in Earth Science*, 2001, 16(1): 15-17. [陈宜瑜. IGBP 未来发展方向[J]. *地球科学进展*, 2001, 16(1): 15-17.]
- [2] Wang Quan. Advance in terrestrial sample strip of global change [J]. *Advances in Earth Science*, 1997, 12(1): 43-50. [王权. 全球变化陆地样带研究及进展[J]. *地球科学进展*, 1997, 12(1): 43-50.]
- [3] Watson R T, Rodhe H, Oeschger H, et al. Greenhouse gases and aerosols[A]. In: Houghton J T, Jenkins G J, Ephraums J, eds. *Climate Change (IPCC) Scientific Assessment*[C]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 1-40.
- [4] Prentice IC, Farquar GD, Fasham M J R, et al. *Climate Change 2001: The scientific basis*[A]. In: *The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Third Assessment Report* [C]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 183-237.
- [5] Brian Walker, Steffen W. *Global Change and Terrestrial Ecosystems*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [6] Brian Walker, Steffen W, Canadell J, et al. *The Terrestrial Biosphere and Global Change—Implication for Natural and Managed Ecosystems*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- [7] Guy Brasseur. 3rd IGBP congress overview [J]. *Global Change Newsletter*, 2003, (55): 1-3.
- [8] IGBP. IGBP II-Special edition[J]. *IGBP Newsletter*, 2002, 50: 1-52.
- [9] Ojima D, Laworel S, Graumich L, et al. Terrestrial human-environment system: The future of land research in IGBP II [J]. *Global Change Newsletter*, 2002, (50): 31-34.
- [10] Zhao Shidong. Background, present and future—LTER [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(4): 510-512. [赵士洞. 国际长期生态研究网络 (LTER)——背景、现状和前景[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(4): 510-512.]
- [11] Yu Guirui, Xie Gaodi, Yu Zhenliang, et al. Important ecological topic on regional scale ecosystem management in China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(7): 885-891. [于贵瑞, 谢高地, 于振良, 等. 我国区域尺度生态系统管理中的几个重要生态学命题[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(7): 885-891.]
- [12] Yu Guirui, Li Haitao, Wang Shaoqiang, et al. *Global Change, Carbon Cycle and Storage in Terrestrial Ecosystem* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2003. 17-39. [于贵瑞, 李海涛, 王绍强, 等. 全球变化与陆地生态系统碳循环和碳蓄积[M]. 北京: 气象出版社, 2003. 17-39.]
- [13] 彭少麟. 中国东部陆地农业生态系统与全球变化相互作用机理研究取得重要进展 [J]. *中国基础科学*, 2001, (7): 18-20.
- [14] Zhang Xinshi, Zhou Guangsheng, Gao Qiong, et al. Northeast China transect for global change studies [J]. *Earth Sciences Frontiers*, 1997, 4(2): 145-151. [张新时, 周广胜, 高琼, 等. 全球变化研究中的中国东北森林—草原陆地样带 (NECT) [J]. *地学前缘*, 1997, 4(2): 145-151.]

STUDY ON GLOBAL CHANGE AND TERRESTRIAL ECOSYSTEMS: HISTORY AND PROSPECT

FU Bo-jie^{1,2}, NU Dong^{1,2}, ZHAO Shi-dong³

(1. *Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China; 2. Bureau of Science and Technology for Resources and Environment, CAS, Beijing 100864, China;*

3. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)*

Abstract: As one of the core projects of IGBP and the global change study, GCTE-Global Change and Terrestrial Ecosystems is a hot research topic for the global ecological community. Since its inception in 1980s, a series of important results have been achieved by the scientists, including Chinese scientists in this area, which significantly advances the study on global change in the world. To meet the needs for scientific, technological and socio-economic development in China, we proposed four areas on which the Chinese scientists should focus their study of global change and terrestrial ecosystems in future, including: (1) Metabolism and coupling mechanism of key life elements in terrestrial ecosystems in China; (2) Implications of terrestrial ecosystems in areas sensitive to global change and in important transects on global change; (3) Interactions between biogeochemical cycle of C, N, P, S in China and global change; and (4) Development of regional dynamic vegetation model which meets the actual needs of China.

Key words: Global change; Terrestrial ecosystem; GCTE