

全球变化生态学:全球变化与陆地生态系统

田汉勤¹ 万师强² 马克平²

(1 美国奥本大学林业与野生生物学院,生态系统与区域研究实验室,奥本 AL36849,美国)

(2 中国科学院植物研究所植被与环境变化重点实验室,北京 100093)

工业革命以来,伴随着人类社会的飞速发展,地球系统的物质循环也在不断加速,与此同时,大量的工业污染物和有害废弃物累积于大气、水体、土壤和生物圈中,如氟里昂积存于大气中,有机化合物富集于水生生物体内,化石燃料燃烧释放的污染物和温室气体进入大气、水体、土壤和生物体等。所有这些变化正逐渐接近并有可能超出地球系统的正常承载阈值。同时,这些变化会伴随着全球化进程逐渐扩展到更大的空间范围,从而诱发全球变化的正反馈效应(Cox *et al.*, 2000),主要包括全球变暖、干旱化现象、大气CO₂浓度升高、空气污染、氮沉降增加、大气气溶胶增加、臭氧空洞、紫外线增加、自然和人为干扰(频率和强度)增强、土地利用/覆盖变化、土壤侵蚀和海平面上升等(IPCC, 2001)。

这些史无前例的全球环境变化不仅通过改变生态系统的结构和功能来直接影响到人类的生活质量,而且通过影响生态系统提供的生产资料和生态服务(Lmhoff *et al.*, 2004; Costanza *et al.*, 1997),改变生态系统生产力(Tian *et al.*, 1998; Schimel *et al.*, 2000),碳、氮、磷、硫循环(Melillo *et al.*, 2003),以及生物多样性(Chapin *et al.*, 2000)等多个过程,间接作用于人类社会。全球变化对人类社会的影响使得政府部门和科研机构都面临着巨大的挑战,大批相关研究组织相继成立(如IPCC, UNFCCC等),大量研究计划相继启动(如WCRP, IGBP, IHDP, DIVERSITAS等)。

然而在方法学角度,以生物有机体为主要研究对象、集中于小尺度研究的传统生态学已经不能应对这些大尺度多领域交叉的科学问题。在此背景下,全球变化生态学应运而生,它综合多学科的理论知识和研究方法来解决大尺度环境问题(Schlesinger, 2006)。全球变化生态学以长时间尺度和大空间尺度的研究方法为主要基础,主要包括大尺度生态实验(如LBA, BOREAS等)和大尺度生态系统模型(如TEM和DLEM等)。相对于人类社会而言,地球系统中以陆地生态系统最为复杂和重要,陆地生态系统生产力提供了人类社会生存、发展所

需的必要生产和生活资料。在过去10年间,在此方面开展的研究也最多,并取得了一部分共识。

基于此,我们组织了8篇文章,意在认识和理解近些年来各种全球变化现象对陆地生态系统碳循环影响的相关研究。我们选择了几种最重要的全球变化问题,综述了近些年来全球变化对陆地生态系统生产力和碳循环的影响,旨在总结近20年间全球变化研究领域所取得的主要成果,并展望未来数年间的研究重点。徐小锋等(《植物生态学报》31, 175~188)对过去数十年间气候变暖对陆地生态系统生产力影响的相关研究进行了评述,认为尽管气候变暖可以改变陆地生态系统生产力,增加陆地生态系统的碳固定,但是不同的生态系统表现不同,最终会造成陆地生态系统碳源/汇格局的重新分布;田汉勤等(《植物生态学报》31, 231~241)评述了干旱对陆地生态系统生产力的影响,认为干旱可以降低生态系统的活性,进而降低陆地生态系统生产力,并从生理生态学角度解释了陆地生态系统对干旱的适应机制;任巍等(《植物生态学报》31, 219~230)评述了对流层臭氧浓度增加对陆地生态系统生产力的影响,认为臭氧污染严重限制了植物的光合作用,降低了陆地生态系统生产力,进而减少了陆地生态系统的碳固定;吕超群等(《植物生态学报》31, 205~218)综述了人类活动引起的氮沉降增加对陆地生态系统生产力的影响,认为氮沉降增加改变了陆地生态系统的结构和功能,对陆地生态系统的碳固定具有一定的促进作用;吕爱锋等(《植物生态学报》31, 242~251)评述了火干扰、气候变化与陆地生态系统生产力之间的逻辑循环关系,认为三者之间存在相互促进、相互制约的关系;陈广生等(《植物生态学报》31, 189~204)评述了人类活动的主要表现——土地利用变化对陆地生态系统碳循环的影响,认为在全球水平上土地利用/覆盖变化破坏了全球碳平衡,减少了陆地生态系统的碳固定,而不同的土地利用类型转化产生的影响差异显著;牛书丽等(《植物生态学报》31, 262~271)对全球变化中气候变暖的实验研究方法及其仪器进行了对比和评价,认为各种

实验研究方法各有优劣,应该依据不同的实验目的来选取相应的实验装置,并指出全球变暖实验研究中几个应关注的方法和科学问题;张乃莉等(《植物生态学报》31:252~261)评述了土壤微生物对气候变暖和大气氮沉降的响应的研究进展,指出气候变暖和大气氮沉降对土壤微生物群落结构的影响引起了广泛的关注,土壤微生物量、微生物活动和群落结构的变化又会通过改变凋落物分解、养分利用和碳、氮循环等重要的生态系统功能和过程反作用于气候变化,形成正向或负向反馈,从而加强或削弱气候变化给整个陆地生态系统带来的影响。考虑到国内外已经有多篇关于 CO₂ 浓度增加对陆地生态系统碳循环影响的综述文章(Saxe *et al.*, 1998; Pritchard *et al.*, 1999; Körner, 2006),因此本专辑没有讨论 CO₂ 施肥效应的研究进展。

各位作者在综述以往研究的基础上发现,当前的研究大量集中于单因子或少数因子间的相互作用及其对生态系统的影响(Wan *et al.*, 2005),缺少多因子之间的协同作用,由于生态系统本身的复杂性,各因子之间相互影响、相互制约,生态系统对各因子的变化表现出非线性响应,多因子间的相互影响及其对生态系统的协同作用将成为未来的研究热点(Dermody, 2006)和难点:1)由于实验手段的限制,目前难以实现多种环境胁迫同时作用的实验研究;2)即使两种或多种环境胁迫同时实现,由于自然界的复杂性,难于区分和量化单种胁迫的影响和多种胁迫的协同作用。基于此,模型成为未来研究的重要研究手段,它不但可以弥补实验方法的不足,同时还具有简单有效、快速实用的特点。因此,各种模型的开发与应用也将成为全球变化研究中的一个重要内容(Tian, 2006)。

由于全球变化生态学领域的多学科交叉特点以及陆地生态系统本身的高度复杂性,我们的评述仅仅是全球变化生态学的冰山一角,但是我们力求在各个主题做到广度和深度的有机结合,希望为读者提供该主题的主要研究结果及相关观点,相信能为中国的全球变化生态学研究提供一些借鉴。

参 考 文 献

Chapin FS III, Zavaleta ES, Eviner VT, Naylor RL, Vitousek PM,

- Reynolds HL, Hooper DU, Lavorel S, Sala OE, Hobbie SE, Mack MC, Diaz S (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405, 234–242.
- Costanza R, Arge R, Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill RV, Paruelo J, Raskin RG, Sutton P, van den Belt M (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253–260.
- Cox PM, Betts RA, Jones CD, Spall SA, Totterdell IJ (2000). Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 408, 184–187.
- Dermody O (2006). Mucking through multifactor experiments: design and analysis of multifactor studies in global change research, ESA, 91st annual meeting, Memphis, TN, USA, August 2006.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001). *Climate Change 2001: the Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Körner C (2006). Plant CO₂ responses: an issue of definition, time and resource supply. *New Phytologist*, 172, 393–411.
- Lmhoff ML, Bounoua L, Ricketts T, Loucks C, Harriss R, Lawrence WT (2004). Global patterns of human consumption of net primary production. *Nature*, 429, 870–873.
- Melillo JM, Field CB, Moldan B (2003). *Interactions of the Major Biogeochemical Cycles: Global Change and Human Impacts*. Island Press, Washington, D.C., USA. 320.
- Pritchard SG, Rogers HH, Prior SA, Peterson CM (1999). Elevated CO₂ and plant structure: a review. *Global Change Biology*, 5, 807–837.
- Saxe H, Ellsworth DS, Heath J (1998). Tree and forest functioning in an enriched CO₂ atmosphere. *New Phytologist*, 139, 395–436.
- Schimel D, Melillo JM, Tian HQ, McGuire D, Kicklighter D, Kitzel T, Rosenbloom N, Running S, Thornton P, Ojima D, Parton W, Kelly R, Sykes M, Neilson R, Rizzo B (2000). Contribution of increasing CO₂ and climate to carbon storage by ecosystems in the United States. *Science*, 287, 2004–2006.
- Schlesinger WH (2006). Review, global change ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 21, 348–351.
- Tian HQ, Melillo JM, Kicklighter DW, McGuire AD, Helfrich JVK, Moore B, Vörösmarty CJ (1998). Effect of interannual climate variability on carbon storage in Amazonian ecosystems. *Nature*, 396, 664–667.
- Tian HQ (2006). *Environmental Modeling and Simulation*. ACTA Press, Anaheim/Calgary/Zurich. 144.
- Wan SQ, Hui DF, Wallace L, Luo YQ (2005). Direct and indirect effects of experimental warming on ecosystem carbon processes in a tallgrass prairie. *Global Biogeochemical Cycles*, 19, GB2014, doi:10.1029/2004GB002315.