

陆地生态系统及生物多样性 对气候变化的适应与减缓^{*}

牛书丽 万师强 马克平

(中国科学院植物研究所 北京 100093)

摘要 全球气候变化已成为当今生物有机体面临的最严峻的生态胁迫。气温升高和降雨格局的改变使得生物有机体的性状、种间关系、分布格局与生物多样性发生改变,进而影响以生物有机体为主体的生态系统功能和稳定性,最终影响人类的生存和社会经济的可持续发展。本文介绍了国内外生物多样性和生态系统功能对气候变化响应研究的进展,结合我国在该领域存在的问题,提出了我国利用现有基础研究气候变化-生物多样性-生态系统稳定性及反馈调节的主导学术思路、研究方法和研究重点,以期全面阐明陆地生态系统和生物多样性与全球变化的相互作用机制,为我国陆地生态系统自然资源的合理利用及适应性管理提供科学依据,同时推动我国生物多样性及全球变化生态学研究的全面发展和理论突破。

关键词 气候变化,生物多样性,生态系统,反馈,适应

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2009.04.006



牛书丽副研究员

生物多样性是人类赖以生存和发展的基础,直接影响着生态系统的功能和稳定性。全球范围内的生物多样性空间分布格局与气候密切相关。工业化革命以来,人类活动所引发的以全球平均气温上升和降水

格局改变为标志的气候变化给经过长期进化的生物物种施加了前所未有的选择压力,引起生物物种的物候、生长和种间关系及分布区发生改变,进而导致群落结构和多样性发生变化。据估计,目前生物多样性丧失的速率是有人类活动之前的1 000倍,而未来将是现在的10倍。由于各个生物种或类群间通过食物链和食物网的密切联系,一个生物种或类群的消失将导致与其相关联的生物种或类群的消失或爆发,并导致生物灾害的发生。全球气候变化背景下生物多样性的丧失不仅影响生态系统的结构、功能和稳定性,而且也将影响到生态系统为人类社会提供生态产品和服务的功能以及生态系统对

^{*} 修改稿收到日期:2009年6月30日

气候变化的反馈调节功能。因此,研究气候变化对生物多样性的影响以及生物多样性对气候变化的响应、适应和减缓机制,是保护生物多样性、维持自然生态系统结构、功能和稳定性,实现其为人类社会提供生态产品和服务功能可持续的关键。

1 国内外研究进展

1.1 气候变化与生物多样性

地球上丰富多样的植物、动物和微生物是陆地圈的主要组成部分,是目前全球气候变化研究的核心对象。气候变化是威胁生物多样性的一个主要因素,预计到本世纪中期,变化的温度和降雨格局将成为生物多样性丧失的主要驱动力^[1]。气候变化可以引起物种种群数量下降,某些关键种有可能因此丧失而引起次生灭绝,由于物种在迁移速度方面的差异,气候变化会中断物种间的相互作用。此外,种群更新的不同步性也会影响昆虫和寄主植物、植物与土壤生物的相互作用以及物种多样性的丧失。气候变暖造成物种灭绝的研究报道已有很多,比如西双版纳的傣族“龙山”在过去的30年中有55种物种灭绝。中国北部的森林也同样有逐渐斑块化的趋势,特别是红松林破碎化最为严重。在长白山自然保护区,过去的43年间,优势种在逐渐减少,阔叶林在逐渐增加,演替阶段的物种交替向更高纬度转移^[2]。气候变暖还通过改变凋落物的质量影响分解食物网的结构和功能,进而间接地影响土壤生物。土壤生物和过程是生态系统碳循环与平衡的核心部分,它们对气候变暖所做出的响应是生态系统反馈过程中非常重要的环节。

最新的研究越来越表明,生物有机体一方面被动受气候变化的影响,另一方面又通过物种的进化、自身的可塑性和改变分布区域等途径不断提高对逆境的适应性^[3]。受气候变化威胁的物种和群落面临着适应自身生活环境变化的重要选择,以最大程度地避

免灭绝。一定程度上,为适应变化了的气候条件,它们可以通过向新的气候适宜的栖息地迁移或者适应本地的气候条件,得以生存和繁殖,比如气候变暖后物种分布范围向高纬度或高海拔方向迁移。植物体对气候变暖的适应主要表现为物候期的改变、耐温范围的增加以及种间竞争关系的变化,还有一些植物也可以通过释放挥发性有机物降低周围环境温度,提高其耐热性。共存物种因为对气候变暖的响应及适应程度不同,从而造成原有种间关系的变化以及生物多样性的丧失。另外不同气候区的生物对气候变化的敏感性和耐受性是不同的,使得原有的物种分布格局发生改变。生物的这种趋利避害机制大大增加了模型预测生物多样性变化的难度,因此,我们亟需弄清全球变化背景下生物的适应性和生物多样性对生态系统响应气候变化的反馈调节能力,这可能是制定全球变化对策的关键,也是模型准确预测全球变化效应的新一次革命。物种响应气候变化的能力取决于其随气候变迁、定居新领地及调节其生理特性以适应气候变化的能力。

1.2 生物多样性与生态系统功能

近10余年来,生物多样性与生态系统功能的关系已成为生态学研究的一个焦点,生物多样性丧失可能导致的生态后果已引起人们的广泛关注。欧洲和北美开展的生物多样性与生态系统功能关系的实验研究比较出色。如第一个在受控条件下研究生物多样性对生态系统功能影响的实验是Naeem等人在1994年进行的生态箱(Ecotron)实验。该实验得出物种多样性的变化将影响生态系统的生产力;Tilman等人在Cedar Creek草地上进行的实验表明,物种多样性对群落的抵抗力和恢复力有显著的影响。他们在1996年进行的草地多样性-生产力、可持续性实验的研究结果也支持有关物种多样性与系统生产力和可持续性间存在正效

应的假说;Naem 运用微宇宙实验来研究物种多样性与生态系统功能关系,结果表明,功能群内物种数较高时,具有相同功能群数的系统间,生物量具有更高的一致性,支持“保险假说”;在欧洲的草地上,用播种方法人为构建具有不同植物物种丰富度的草地微宇宙实验,结果也显示总物种数相同的群落,功能群数少的,其生产力更低。因此,功能群数的多少与物种丰富度都对系统功能产生影响。最近,我国学者在生物多样性与生态系统功能关系研究上,也取得了重要的进展。通过对内蒙古草原生态系统 24 年的生物多样性与生物量关系的数据分析,得出生态系统的稳定性随着种类、功能群和群落多样性的增加而增加,群落水平的稳定性是由于物种和功能群的补偿效应产生的^[4]。

尽管生物多样性影响生态系统功能已成定论,但是目前我们还不清楚已知的生物多样性与生态系统功能之间的关系在全球变化背景下是否能够维持;如果这种现存的关系不能维持,它将向何方发展。另外,目前关于生物多样性与生态系统碳循环之间的关系以及生物多样性调控的生态系统对气候变化的反馈等方面的研究都有很大的空间。我们不清楚在全球变化背景下生态系统功能的变化在多大程度上与生物多样性的变化相关,这种关联性在不同的时间和空间尺度上是否一致,在气候变化背景下研究生物多样性及其与陆地生态系统功能之间的关系是全球变化生态学未来要加强的研究领域。

1.3 陆地生态系统对气候变化的反馈

陆地生态系统对气候变化响应的同时,可对气候变化产生一系列的适应和正、负反馈效应^[5],如果气候变化能够增加生态系统的净碳储量,那么生态系统将产生负反馈(减缓作用),相反,如果生态系统的净碳储量在气候变化背景下降低,那么生态系统对

气候变化将产生正反馈(加剧作用)。气候变暖和降雨格局改变不仅可以直接影响植物光合作用来改变陆地生态系统的 GPP,还可以通过改变土壤氮素矿化速率、土壤水分含量、凋落分解速率间接影响陆地生态系统的 GPP。气候变暖尽管可以在短时间内刺激土壤呼吸产生大量的 CO_2 ,但并不能从根本上增加土壤呼吸,因为土壤呼吸对温度变化表现出一定适应性^[6],这种适应性会降低土地利用变化和全球变暖对陆地 C 循环的影响。关于土壤呼吸对气候变暖适应性的机制,目前尚未达成共识,有以下几种假说:(1)底物不足理论;(2)水分限制理论;(3)氮素过量理论;(4)生物适应性理论。

气候变化不仅直接作用于地下生物及过程,还可以通过改变植物群落组成、初级生产力、地下部分碳输入、土壤水分和养分有效性,间接地影响土壤微生物^[7]。土壤生物和过程是生态系统碳循环的核心部分,生态系统可能通过改变分解速率和 CO_2 呼吸释放等微生物活动来直接对气候变化做出响应,也可能通过改变养分有效性、转移等生态过程间接地做出响应,形成正向或负向反馈,加强或削弱气候变化给整个陆地生态系统带来的影响。关于陆地生态系统碳循环对气候变化的反馈作用已经争论了很长时间,到现在为止还没有形成定论。模型预测一般认为,生态系统碳储量在全球变暖背景下将降低,因为温度升高对碳释放的促进效应大于对碳吸收的促进效应,从而生态系统对气候变暖将产生正反馈作用^[8]。但实验观测结果表明,生态系统净碳交换量在气候变暖背景下或增加、或降低、或不变化^[9-10]。因此生态系统对气候变暖的正负反馈作用都有可能发生。这些结果的不确定性是因为生态系统类型的独特性和实验时间的长短不同,因此有必要在不同的陆地生态系统类型内进行长期的实验研究。另外以往的研究很少考

虑生物多样性对生态系统反馈调节能力的影响,今后应加强这方面的研究。

2 研究中的不足

(1)尽管国内外学者针对气候变化与生物多样性、生物多样性与生态系统功能以及生态系统对气候变化的反馈等关系分别做了大量的研究,但缺乏这3种关系的有机结合。我们还不清楚由气候变化引起的群落结构或生物多样性的改变在多大程度上影响着生态系统的功能和稳定性,更不知道生物多样性怎样调控或减缓生态系统对气候变化的反馈;

(2)以往的研究多集中在室内控制实验以及在零星站点上进行的、周期较短的野外观测研究,而沿着环境梯度样带、较长时间的生物多样性调查和野外控制实验相结合的研究比较缺乏,这不利于在大尺度上研究生物多样性和陆地生态系统对全球变化的适应与反馈机制;

(3)以往研究通常关注生态系统和生物多样性对气候变化的响应,而对生态系统和生物多样性对气候变化的适应性及反馈调节的研究十分缺乏;

(4)以往的研究通常是仅仅关注生态系统食物网中某个营养级对气候变化的响应,而忽视了不同营养级(生产者、分解者和消费者)以及它们之间的相互作用关系如何适应气候变化的研究;

(5)对地上生态系统关注较多,对地下生态系统以及地上-地下生物的相互作用关系关注较少。

3 对我国生物多样性和生态系统适应和减缓气候变化研究的建议

我国国土辽阔,气候和生态系统多样,蕴育着丰富的生物多样性资源。然而由于历史上长期的人类干扰,特别是20世纪后半叶人口激增所带来的压力,生物多样性急剧

丧失,导致自然生态系统功能和稳定性下降,并威胁到国家的生态安全和社会经济的可持续发展。例如,青藏高原的气温升高导致物种丰富度降低了26%—36%^[11],气候变暖可能使得内蒙古地区的大多数蝗虫种类分布区北移^[12]。然而,由于历史原因,我国在气候变化与生物多样性关系以及生态系统与气候变化的反馈关系方面的研究远远落后于欧洲和北美,使得我国在相关的国际合作和谈判中科学证据不足,时时遇到困难。我国丰富的草原和森林生态系统类型和生物多样性,为研究陆地生态系统及生物多样性对全球变化的适应和反馈调节提供了很好的机会,针对目前的研究现状,建议在我国建立陆地生态系统及生物多样性适应与减缓气候变化的实验研究网络。

草原生态系统气候变化研究网络:根据已有的建立在不同草原生态系统类型上的气候变化控制实验(草甸草原、典型草原、荒漠草原、高寒草甸),建立草原生态系统气候变化研究网络。

森林样带的梯度实验网络:在热带雨林、暖温带落叶阔叶林、寒温带针叶林的温度梯度样带上,建立多样性适应和减缓气候变化的网络研究平台。

中国物种分布网格化平台:在“生物多样性研究与信息管理”等项目的基础上,借助于中国生物多样性信息系统建立气候变化背景下中国物种分布网络化平台。

在上述实验平台建立的基础上建议加强以下几方面的研究:

(1)中国重要生物种和生物类群对全球变化的综合适应策略研究:包括重要生物种和生物类群的生活史适应对策;生物节律对全球变化的适应对策;重要生物种和生物类群的繁殖策略和繁殖行为对气候变化的生态适应性;经过全球变化复合因子处理的

生物体后代所表现出的快速进化和演化,及在新的全球变化背景下的遗传适应性。食物网的复杂性、规模及大小对气候变化的适应。

(2)物种分布格局对气候变化的响应及适应机制研究:气候因素决定我国物种分布格局的机制;气候变化对我国生物多样性可能产生的潜在影响;气候变化下弱扩散能力物种扩散机制及应对气候变化的反应机制;气候变化对生物多样性热点地区关键物种种群动态的影响。

(3)中国生物多样性和生态系统在全球变化背景下的稳定性维持机理研究:包括群落生物多样性与稳定性的关系对全球气候变化的适应;生物多样性的生态系统功能对资源水平和人类干扰的适应;不同营养级间关系对生物多样性-生态系统功能适应性的影响;养分元素生物地球化学循环对全球变化的适应性。

(4)典型生态系统对气候变化的反馈或减缓研究:包括中国典型草原和森林碳储量的变化规律和调控因子;生物多样性调控的生态系统对气候变化的减缓作用;土壤生物类群和生物过程在应对和反馈全球变化过程中所发挥的作用。

4 研究基础

4.1 草原生态系统的气候控制实验

我国已在草甸草原(长岭草原站, 42°42' N, 123°45' E);典型草原(多伦草原站 42°02' N, 116°17' E),荒漠化草原(四子王草原站, 41°47' N, 111°53' E),高寒草甸(海北站 37°37' N, 101°20' E)等草原生态系统内建立了生态系统水平上的增温控制实验,其中内蒙古多伦全球变化多因子实验(GCME)平台是国内迄今为止规模最大的生态学多因子控制实验研究平台,包括增温、增雨、割草、施肥4种处理。上述这些实

验平台维护良好,已开展了多项物种组成、群落结构和生态系统功能等指标的测定。前期的研究表明,植物的物种组成及多样性指数在增温和增雨条件下都发生了改变,如果能在原有的实验基础上,增加气候变化背景下生物多样性与生态系统稳定性之间关系的研究,将有助于更全面揭示草地生物多样性及生态系统对全球变化适应的内在过程与机理,准确理解生态系统初级生产力及碳储量的调控过程。

4.2 中国森林生物多样性监测网络(CForBio)

中国森林生物多样性监测网络(<http://www.cfbiodiv.org/>)于2003年组建成立,该网络是我国森林生态系统物种多样性变化的监测基地,在我国共建立了7个生物多样性监测大样地,其中20—25公顷的大样地分别设置在吉林长白山、浙江古田山、广东鼎湖山和云南的西双版纳,此外还建立了6个5公顷的大型监测样地,为我国生物多样性研究奠定了很好的基础,在这些大样地的基础上加强生态系统碳循环研究将有助于揭示生物多样性调控的生态系统对气候变化的反馈。

另外国家自然科学基金委资助的重大项目“我国主要陆地生态系统对全球变化的响应与适应样带研究”于2006年在中国东部的南北森林样带上(吉林长白山、北京东灵山、浙江古田山、广东鼎湖山)建立了控制降水和氮添加的全球变化实验处理,尽管部分实验是在盆栽条件下进行的,已有的一些实验结果对于研究不同类型森林生态系统及不同气候区主要植物种对气候变化的响应和适应提供了很好的基础,在这些实验基础上开展不同气候区生物对气候变化的敏感性和耐受性研究将有助于揭示生物体对气候变化的适应以及森林生态系统结构、功能过程对全球变化的响应和反馈。

4.3 中国生物多样性信息资源

我国目前有国家标本资源共享平台 (<http://beta.cvh.org.cn>)、中国数字植物标本馆 (<http://www.cvh.org.cn>)、中国生物多样性信息系统、物种植被资源信息共享,可在这些信息平台的基础上,结合卫星遥感、地面生态网络和历史资料等方面的信息综合研究分析全国尺度上生物多样性在全球气候变化驱动下的响应和适应,阐明气候因素如何决定我国物种分布格局的机制,以及气候变化对我国生物多样性可能产生的潜在影响,为进一步阐明气候变化对我国生物多样性的影响提供支持。

主要参考文献

- 1 Sala OE, Chapin FS, Armesto JJ, et al. Biodiversity-Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 2000, 287:1 770-1 774.
- 2 Sang W, Bai F. Vascular diversity patterns of forest ecosystem before and after a 43-year interval under changing climate conditions in the Changbaishan Nature Reserve, northeastern China. *Plant Ecology*, 2009, 201:115-130.
- 3 Franks SJ, Sim S, Weis AE. Rapid evolution of flowering time by an annual plant in response to a climate fluctuation. *PNAS*, 2007, 104:1 278-128.
- 4 Bai Y, Han X, Wu J. et al. Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland. *Nature*, 2004, 431:181-184.
- 5 Heimann M, Reichstein M. Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedbacks. *Nature*, 2008.451:289-292.
- 6 Luo Y, Wan S, Hui D, et al. Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie. *Nature*, 2001, 413:622-625
- 7 Liu W, Zhang Z, Wan S. Predominant role of water in regulating soil and microbial respiration and their responses to climate change in a semiarid grassland. *Global Change Biology*, 2009, 15:184-195.
- 8 Cox PM, Betts RA, Jones CD, et al. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 2000, 408:184-187.
- 9 Niu S, Wu M, Han Y, et al. Water-mediated responses of ecosystem C fluxes to climatic change in a temperate steppe. *New Phytologist*, 2008, 177: 209-219.
- 10 Wan S, Xia J, Liu W, et al. Photosynthetic over-compensation under nocturnal warming enhances grassland carbon sequestration. *Ecology*, 2009.
- 11 Klein JA, Harte J, Zhao X. Experimental warming causes large and rapid species loss, dampened by simulated grazing, on the Tibetan Plateau. *Ecology Letters*, 2004, 7:1 170-1 179.
- 12 Guo K, Hao S, Sun O, et al. Differential responses to warming and increased precipitation among three contrasting grasshopper species. *Global Change Biology* doi: 10.1111/j.2009.

Acclimation and mitigation of terrestrial ecosystem and biodiversity to climate change

Niu Shuli Wan Shiqiang Ma Keping

(Institute of Botany, CAS 100093 Beijing)

Climate change has become a severe ecological threat faced by the present biological organism. Climate warming and the changing of precipitation regimes have led to the change of biological organism's traits, inter-species relationship, species distribution, and biodiversity, thus affecting the ecosystem function and stability, with the biological organism as the main body, and consequently affecting human's survival and society's sustainable development. This paper describes the progress of research in the response of biodiversity and ecosystem function abroad and at home to the climate change. In combination with the problem existing in this field, this paper proposes that China should use the leading academic thinking of the existing basic research on climate change-biodiversity-ecosystem stability and feedback regulation, research method and research priority, so as to entirely expound the mechanisms of interactions between biodiversity, terrestrial ecosystems and climate change, which will provide scientific basis for reasonably using natural resources and adaptable management, and pushing forward the overall development and breakthrough of the Chinese researches on biodiversity and on global change ecology.

Keywords climate change, biodiversity, ecosystem, feedback, acclimation

牛书丽 中科院植物研究所副研究员, 1975 年出生。主要从事全球变化生态学和植物生理生态学研究, 目前主持国家自然科学基金面上项目 1 项、国家自然科学基金重点项目子课题 1 项, 共发表学术论文 30 余篇。E-mail: niushuli@ibcas.ac.cn.