

中国植被/陆地生态系统

对气候变化的适应性与脆弱性

周广胜 何奇瑾 殷晓洁 著



中国植被 / 陆地生态系统对气候 变化的适应性与脆弱性

周广胜 何奇瑾 殷晓洁 著

 气象出版社
China Meteorological Press

内 容 简 介

本书是作者 20 多年来从事陆地生态系统响应全球变化研究成果的集成,对气候变化背景下陆地生态系统的适应性与脆弱性认知以及未来演变趋势有着独到而精辟的分析。全书以当前全球变化研究领域普遍关注的生态系统适应性与脆弱性为核心,系统介绍了决定植被/陆地生态系统的气候因子、植被/陆地生态系统的气候适宜性划分方法与等级、植被/陆地生态系统对气候变化的适应性及脆弱性评价方法,并以 1961—1990 年为基准期评估了中国主要植被/陆地生态系统(森林、草原、湿地与农田)对气候变化的适应性及脆弱性时空格局以及未来变化趋势,探讨了未来中国主要植被/陆地生态系统适应气候变化的对策措施。本书内容涉及气候变化、中国植被/陆地生态系统、中国植物功能型与生物群区、气候—植被分类模型、植被/陆地生态系统生产力模型、植被/陆地生态系统的适应性及脆弱性评估方法、中国主要植被/陆地生态系统的适应性及脆弱性评价以及其适应气候变化的对策措施。

本书可作为生态学、大气科学、环境科学、地理学等相关专业的研究生教材,亦可供从事相关研究的专业研究人员参考,尤其对从事全球变化影响研究的科技人员以及相关政府部门的决策人员大有裨益。

图书在版编目(CIP)数据

中国植被/陆地生态系统对气候变化的适应性及脆弱性/周广胜,
何奇瑾,殷晓洁著. —北京:气象出版社, 2015. 6

ISBN 978-7-5029-6143-5

I. ①中… II. ①周… ②何… ③殷… III. ①气候变化-影响-植被-生态系-适应性-研究-中国②气候变化-影响-陆地-生态系-适应性-研究-中国 IV. ①Q948.52②P942

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 122833 号

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址: <http://www.qxcbs.com>

责任编辑:张 斌

封面设计:易普锐创意

印 刷:北京地大天成印务有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:836 千字

版 次:2015 年 6 月第 1 版

定 价:180.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:章澄昌

责任技编:赵相宁

印 张:33

印 次:2015 年 6 月第 1 次印刷

前 言

以全球变暖为主要特征的全球气候环境变化问题日益突出,已经成为人类可持续发展最严峻的挑战之一。伴随着气候变暖和降水变异的加剧,极端天气气候事件出现的频次在增加,强度也在加大。如此剧烈的气候变化单独或和社会经济因素结合在一起,已经并将继续影响植被/陆地生态系统特别是农业生产,甚至危及国家粮食安全。

中国地处地球环境变化速率最大的季风气候区,幅员辽阔,地形结构特别复杂,具有从寒温带到热带、湿润到干旱的不同气候带区。天气、气候条件年际变化很大,气象灾害频发,自然植被与农业生态系统受气候变化与气象灾害影响剧烈。特别是,我国还是世界人口大国,人多地少,并且还要保证人民生活水平的不断提高。因此,妥善应对全球变化问题,事关我国经济社会可持续发展目标的实现。中国政府对此高度重视,签署并批准了《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》,并采取系列措施积极应对。为贯彻落实《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》,为履约、国际谈判和应对气候变化自主行动提供科技支撑,2010年科技部启动了全球变化研究重大科学研究计划,部署一批项目,针对全球变化研究中的关键科学问题,开展基础性、战略性、前瞻性研究,全面提升我国全球变化研究的竞争力。

由周广胜研究员作为首席科学家主持的“全球变化影响下我国主要陆地生态系统的脆弱性与适应性研究”(2010CB951300)作为全球变化研究国家重大科学研究计划于2010年启动的第一批项目,以我国主要陆地生态系统(森林、草原、湿地与农田)为研究对象,深入开展了全球变化影响下我国主要陆地生态系统的脆弱性与适应性研究。本书是基于周广胜研究员主持的该项目第三课题“陆地生态系统的脆弱性与适应性及其对未来气候变化的响应”(2010CB951303)研究成果的系统总结。本书围绕植被/陆地生态系统适应性与脆弱性定量评价这一科学问题,系统介绍了决定植被/陆地生态系统的气候因子、植被/陆地生态系统的气候适宜性划分方法与等级、植被/陆地生态系统对气候变化的适应性与脆弱性评价方法,并以1961—1990年为基准期评估了中国主要植被/陆地生态系统(森林、草原、湿地与农田)对气候变化的适应性与脆弱性时空格局以及未来变化趋势,探讨了未来中国主要植被/陆地生态系统适应气候变化的对策措施,供相关部门和领域交流与相互借鉴。希望本专著的出版能为进一步深入开展气候变化对植被/陆地生

态系统的影响及应对措施研究提供理论基础。

全书由周广胜研究员主持编写并统稿,研究所用的气象资料由唐隽工程师处理。其中,第一章由周广胜执笔;第二章由周广胜、何奇瑾执笔;第三章至第七章由周广胜执笔;第八章至第十二章由殷晓洁执笔;第十三章由王慧、石耀辉、吕晓敏、宋希亮、侯彦会、王玉辉执笔;第十四章由殷晓洁、杨志香执笔;第十五章由吕晓敏执笔;第十六章由汲玉河执笔;第十七章至第十九章由何奇瑾执笔;第二十章由周广胜执笔。

由于研究的阶段性及水平限制,关于中国植被/陆地生态系统对气候变化的适应性与脆弱性的认识尚有待于不断深入。本书疏漏之处和缺点错误难免,敬请广大读者批评指正。

著者

2014年10月

目 录

前言

第一章 绪 论	(1)
第一节 研究意义	(1)
第二节 研究进展	(3)
第二章 气候变化	(7)
第一节 全球气候变化	(7)
第二节 中国气候变化	(10)
第三节 中国主要气候因子的空间格局及其气候倾向率	(23)
第三章 中国植被/陆地生态系统	(35)
第一节 基本概念	(35)
第二节 中国气候与植被分布格局	(38)
第三节 中国植被区划	(54)
第四节 中国陆地生态系统	(63)
第四章 中国植物功能型与生物群区	(68)
第一节 基本概念	(68)
第二节 中国植物功能型	(76)
第三节 中国生物群区	(97)
第五章 气候—植被分类模型	(104)
第一节 研究意义	(104)
第二节 气候—植被简单分类	(105)
第三节 生物地理模型	(111)
第四节 气候—植被综合分类	(113)
第六章 植被/陆地生态系统生产力模型	(124)
第一节 基本概念	(124)
第二节 生产力模型	(126)
第三节 模型模拟的不确定性分析	(134)
第七章 植被/陆地生态系统的适应性与脆弱性评价方法	(151)
第一节 基本概念	(151)
第二节 植被/陆地生态系统适应性与脆弱性评价的气候因子	(159)
第三节 植被/陆地生态系统的适应性与脆弱性评价方法	(172)
第八章 中国乔木植物功能型的气候适宜性与脆弱性	(177)
第一节 热带常绿树种的气候适宜性与脆弱性	(177)

第二节	热带雨绿树种的气候适宜性与脆弱性	(187)
第三节	亚热带常绿树种的气候适宜性与脆弱性	(194)
第四节	温带落叶阔叶树种的气候适宜性与脆弱性	(203)
第五节	温带常绿针叶树种的气候适宜性与脆弱性	(211)
第六节	北方落叶针叶树种的气候适宜性与脆弱性	(218)
第七节	山地寒温性针叶树种的气候适宜性与脆弱性	(225)
第九章	中国灌木植物功能型的气候适宜性与脆弱性	(233)
第一节	温带落叶阔叶灌木的气候适宜性与脆弱性	(233)
第二节	温带荒漠灌木的气候适宜性与脆弱性	(241)
第三节	热带/亚热带灌木的气候适宜性与脆弱性	(250)
第四节	高山常绿灌木的气候适宜性与脆弱性	(258)
第五节	高寒落叶阔叶灌木的气候适宜性与脆弱性	(265)
第六节	高寒荒漠灌木的气候适宜性与脆弱性	(272)
第十章	中国草本植物功能型的气候适宜性与脆弱性	(279)
第一节	温带草甸草的气候适宜性与脆弱性	(279)
第二节	温带草原草的气候适宜性与脆弱性	(287)
第三节	稀树草原草的气候适宜性与脆弱性	(294)
第四节	高寒草甸草的气候适宜性与脆弱性	(301)
第五节	高寒草原草的气候适宜性与脆弱性	(309)
第十一章	中国裸地植物功能型的气候适宜性与脆弱性	(316)
第一节	干旱裸地的气候适宜性与脆弱性	(316)
第二节	高寒裸地的气候适宜性与脆弱性	(322)
第十二章	中国生物群区的气候适宜性与脆弱性	(330)
第一节	中国生物群区的地理分布动态	(330)
第二节	中国生物群区对气候变化的适应性与脆弱性	(332)
第十三章	中国东北样带典型草原植物的气候适宜性与脆弱性	(341)
第一节	温带草甸草原贝加尔针茅的气候适宜性与脆弱性	(342)
第二节	温带草原大针茅的气候适宜性与脆弱性	(349)
第三节	温带荒漠草原短花针茅的气候适宜性与脆弱性	(356)
第四节	温带荒漠草原本氏针茅的气候适宜性与脆弱性	(363)
第五节	温带荒漠草原小针茅的气候适宜性与脆弱性	(370)
第六节	温带草原羊草的气候适宜性与脆弱性	(376)
第十四章	中国东部南北样带优势树种的气候适宜性与脆弱性	(384)
第一节	寒温带兴安落叶松的气候适宜性与脆弱性	(384)
第二节	温带红松的气候适宜性与脆弱性	(391)
第三节	温带蒙古栎的气候适宜性与脆弱性	(397)
第四节	暖温带辽东栎的气候适宜性与脆弱性	(403)
第五节	亚热带水青冈的气候适宜性与脆弱性	(410)
第六节	亚热带曼青冈的气候适宜性与脆弱性	(416)

第十五章 青藏高原优势树种及其林线的气候适宜性与脆弱性	(423)
第一节 青藏高原急尖长苞冷杉及其林线的气候适宜性与脆弱性	(423)
第二节 青藏高原方枝柏的气候适宜性与脆弱性	(432)
第三节 青藏高原大果红杉的气候适宜性与脆弱性	(439)
第十六章 东北湿地生态系统的气候适宜性与脆弱性	(446)
第一节 研究区域与数据资料	(447)
第二节 湿地生态系统的气候适宜性	(449)
第三节 湿地生态系统对气候变化的适应性与脆弱性	(457)
第十七章 玉米种植的气候适宜性与脆弱性	(458)
第一节 研究方法	(458)
第二节 春玉米种植的气候适宜性与脆弱性	(459)
第三节 夏玉米种植的气候适宜性与脆弱性	(466)
第十八章 水稻种植的气候适宜性与脆弱性	(473)
第一节 研究方法	(473)
第二节 单季稻种植的气候适宜性与脆弱性	(473)
第三节 双季稻种植的气候适宜性与脆弱性	(481)
第十九章 小麦种植的气候适宜性与脆弱性	(488)
第一节 研究方法	(488)
第二节 冬小麦种植的气候适宜性与脆弱性	(488)
第三节 春小麦种植的气候适宜性与脆弱性	(495)
第二十章 植被/陆地生态系统适应气候变化的对策措施	(502)
第一节 自然植被/生态系统适应气候变化的对策措施	(502)
第二节 主要粮食作物适应气候变化的对策措施	(507)
参考文献	(511)

第一章 绪 论

中国地处地球环境变化速率最大的季风气候区,幅员辽阔,地形结构特别复杂,具有从寒温带到热带、湿润到干旱的不同气候带区。天气、气候条件年际变化很大,气象灾害频发,自然与农业生态系统受气候变化与气象灾害影响剧烈。气候变化已经对中国农业、水资源、自然生态系统与海岸带、重大工程、人体健康和环境等产生了严重影响(符淙斌等 1996,丁一汇 1997,方精云 2000,周广胜 2002,林而达等 2004,秦大河等 2005,《气候变化国家评估报告》编写委员会 2007,于贵瑞 2009)。据统计,中国每年因气象灾害造成的损失约占全部自然灾害损失的 70%,直接经济损失占国民生产总值的 3%~6%(《气候变化国家评估报告》编写委员会 2007,翟盘茂等 2009),使得中国成为世界上受气象灾害影响最为严重的国家之一。随着全球气候持续变暖及极端天气、气候事件的频繁发生,以气候变暖为突出标志的全球气候变化及由此而引起的生态安全问题,如生物多样性丧失、土地退化与荒漠化、水土流失、生态系统退化、植被带迁移等,已经严重威胁到中国生存环境及社会经济的可持续发展,引起了政府、科学界及公众的强烈关注(陈宜瑜 2005)。

第一节 研究意义

全球气候变化已经发生,并将持续到可预见的将来。为此,迫切需要针对中国植被/陆地生态系统,深入开展气候变化影响下中国植被/陆地生态系统的适应性与脆弱性评价,为科学地应对气候变化、实现趋利避害提供科技支撑。

一、深入开展气候变化影响下中国植被/陆地生态系统的适应性与脆弱性评价是气候变化影响下中国经济社会可持续发展的需求

气候变化既是环境问题,也是发展问题。政府间气候变化专门委员会(IPCC)第四次评估报告总结了全球 2001—2006 年关于气候变化影响、适应和脆弱性的研究成果,指出世界气候系统变暖已毋庸置疑,许多自然系统正在受到区域气候变化,特别是温度升高的影响;人为变暖可能已对许多自然和农田生态系统产生了可辨识的影响;区域气候变化对人类生存环境的其他影响正在出现。伴随着贫困、不公平、粮食安全、经济全球化、区域冲突等方面的压力,气候变化导致的生态系统脆弱性正在不断加剧(IPCC 2007a, b)。

中国作为一个负责任的发展中国家,对气候变化问题给予了高度重视。2007 年成立了由温家宝总理任组长的“国家应对气候变化领导小组”,发布实施了《中国应对气候变化国家方案》;2008 年发布实施了《中国应对气候变化的政策与行动》白皮书,并将“减缓与适应并重”作为中国应对气候变化的重要原则之一。2007 年发布的《气候变化国家评估报告》指出,中国在农业、森林与其他自然生态系统、水资源等领域,以及海岸带和沿海地区等脆弱区,积极实施适

应气候变化的政策和行动,取得了积极成效。但是,目前关于适应的科学支撑与政策制定者需求之间还存在较大的差距,其中的关键之一就是生态系统脆弱性的认识不足与评估能力有限(《气候变化国家评估报告》编写委员会 2007)。因此,深入开展气候变化影响下中国植被/陆地生态系统的适应性及脆弱性评价有利于中国积极实施适应气候变化的自主行动,可为促进中国生态环境的保护及社会经济的可持续发展提供科技支撑。

二、深入开展气候变化影响下中国植被/陆地生态系统的适应性及脆弱性评价还是国家履行有关气候变化公约和国际环境谈判的需求

《联合国气候变化框架公约(UNFCCC)》、《京都议定书》和《联合国生物多样性保护公约(UNCBD)》等的签订不仅反映了人类共同减缓气候变化、维护人类生存环境的决心,亦使环境问题与国家外交密切相关,直接影响到国家社会经济的可持续发展。这些国际公约均强调了气候变化影响下生物圈的脆弱性及生物圈适应气候变化的重要性与紧迫性(IPCC 2001, Brooker et al. 2007)。

当前,尽管国际社会在气候变暖的幅度、原因和区域分布以及未来气候变化的预估和气候变化的影响评估等方面仍意见不一,但针对全球变暖采取稳健的适应政策已成为共识。特别是,2009年12月7—18日在丹麦首都哥本哈根召开了《联合国气候变化框架公约》缔约方第15次会议,超过85个国家元首或政府首脑、192个国家的环境部长出席了会议。会议达成了不具法律约束力的《哥本哈根协议》,认可有关控制全球升温不超过 2°C 的科学结论作为全球合作行动的长期目标。这一协议使得气候变化影响下生物圈的脆弱性评价与适应技术研究显得尤为紧迫。深入开展气候变化影响下中国植被/陆地生态系统的适应性及脆弱性评价不仅有助于科学地认识气候变化影响下中国陆地生态系统的脆弱性,提供适应气候变化的技术,更显示出中国参与国际环境合作、促进世界可持续发展的积极姿态。

三、深入开展气候变化影响下中国植被/陆地生态系统的适应性及脆弱性评价更是科学发展的需求

1. 可持续性科学发展的需求

全球变化与可持续发展是当今世界面临的两大挑战。如何在全球变化背景下维持生态系统生产力、生物多样性和生态系统服务功能是当前人类面临的巨大挑战。2004年美国生态学会生态远景委员会完成的战略研究报告首次提出了“可持续性科学”(sustainability science)的概念(Palmer et al. 2004),其核心观点是生态、经济和社会的协调一致、统筹兼顾。但是,目前可持续性科学的理论基础和框架还很不完善,研究实例十分缺乏。深入开展气候变化影响下中国植被/陆地生态系统的适应性及脆弱性评价,不仅可以完善多因子控制实验与长期定位观测的研究平台,还可以带动典型脆弱生态系统适应气候变化的技术示范研究,从而将克服同类实验持续时间较短所带来的缺陷,可为可持续性科学发展提供具体的研究实例,丰富其理论基础、完善其理论框架。

2. 全球变化生态学发展的需求

当今科学社会所面临的重大问题是探索地球系统的动态变化过程及其对全球变化的适应与响应机制(GAIM Task Force 2002)。植物在长期进化过程中形成了有效利用异质性生境的植物适应特征组合,即植物适应对策。但是,当前发生的在地质历史上前所未有的全球气候

变化(CO_2 、温度、降水等)和人为干扰(如放牧、樵采、施肥、农耕等)已经严重地影响到重要物种、生态系统和植被的适应对策,进而将深刻影响人类赖以生存的环境及其可持续发展。然而,目前科学界对这方面的认识还十分有限。因此,深入开展气候变化影响下中国植被/陆地生态系统的适应性与脆弱性评价,将对变化环境条件下物种、生态系统和植被适应对策的理解更加深入,并丰富全球变化生态学的理论基础。

第二节 研究进展

生态系统脆弱性与适应性的分析和评价是适应和减缓气候变化的关键和基础,可为生态系统可持续发展提供科学依据。正因为如此,国际社会对气候变化的脆弱性与适应性给予了高度重视,但有关生态系统脆弱性评价与适应性管理的科学基础仍很薄弱。

一、全球变化影响下生态系统的脆弱性研究

全球变化导致的生态系统脆弱性指生态系统受到气候变化不利影响的程度(IPCC 2001),与生态系统所面临的气候变化特征、幅度和变化速率密切相关,并受生态系统的敏感性和适应能力的制约。生态系统脆弱性的分析和评价是适应和减缓气候变化的关键和基础,可为生态保护、脆弱生态环境整治和资源的合理利用提供科学依据,对促进区域可持续发展和防灾减灾有着重要意义,已成为近年来气候变化领域和生态学领域的研究热点。

现有的全球变化对陆地生态系统影响研究大多集中在对目前已观测到的气候变化影响事实的分析及基于未来气候情景的气候变化影响评估方面(IPCC 2001, 2007a, 2007b,《气候变化国家评估报告》编写委员会 2007),关于全球变化影响下生态系统脆弱性的定量评价研究较少。国际上关于脆弱性的研究始于 20 世纪 60—70 年代,但进展缓慢。Timmerman(1981)首次提出了脆弱性概念,但直到 1988 年在布达佩斯召开的第 7 届国际环境问题科学委员会(SCOPE)大会上才明确认定了 Ecotone(生态过渡区)概念,指出 Ecotone 将生态系统界面理论与非稳定的脆弱特征结合了起来,可作为辨识全球变化的基本指标,并呼吁国际生态学界开展 Ecotone 的研究(周永娟等 2009)。

目前,关于生态系统脆弱性的研究多是针对不同部门进行的,以不同的社会经济发展情景进行量化分析,从而得出气候变化对社会经济及生态环境等的综合影响,研究结果通常以经济指标表示或定性地加以说明(Huq et al. 1999, Hansen et al. 2001, Llody et al. 2001, 冉圣宏等 2001)。关于生态系统脆弱性评估的研究主要集中在生态系统脆弱性评价模型的概念框架方面,还没有建立起基于机理和过程的评估方法。如,Smith 等(1993)详细评述了 11 种生态系统脆弱性评价方法的步骤及优缺点;Deressa 等(2008)提出了基于宏观考虑的生态系统脆弱性评价方法,即考虑从哪个角度去评价生态系统的脆弱性。

政府间气候变化专门委员会(IPCC)第三次评估报告(IPCC 2001)在明确气候变化研究中生态系统脆弱性概念的同时,强调指出:当前缺乏大范围、长时间的野外观测研究是制约有关气候变化影响下生态系统脆弱性认识的关键(IPCC 2007b),影响着对不同时空尺度生态系统脆弱性的气候因子检测及生态系统临界点/阈值的确认。这些知识是生态系统脆弱性评价与适应性管理的科学基础。

二、全球变化影响下生态系统的适应性研究

生态系统的适应性是指系统在其运行、过程或结构中对预计或实际气候变化的可能调节程度(IPCC 2001, 周广胜等 2003)。《联合国气候变化框架公约(UNFCCC)》从 1990 年的第 1 次缔约方会议(COP1)开始就涉及了气候变化的影响与适应问题。2001 年 IPCC 正式发布的第三次评估报告对适应的必要性进行了深入的阐述(IPCC 2001)。随着对气候变化认识的提高,适应气候变化问题越来越引起国际社会的高度关注。2003 年 UNFCCC 第 9 次缔约方会议(COP9)同意在科学、技术和社会发展等诸多领域开展针对适应的研究和行动;2004 年 UNFCCC/COP10 组织制定了关于气候变化影响、脆弱性和适应性的五年工作计划,并在 2005 年 UNFCCC/COP11 上获得通过;2006 年 UNFCCC/COP12 进一步细化了该工作计划,并命名为“内罗毕工作计划”(NWP)(UNFCCC 2007)。内罗毕工作计划旨在协助缔约方提高对影响、脆弱性和适应性的理解和评估水平,并根据科学、技术和社会经济水平,考虑当前和未来的气候变化和变率,确定适应的措施和实际适应行动。2007 年 12 月 3—15 日在印度尼西亚巴厘岛召开的 UNFCCC/COP13 会议明确指出,适应问题是气候变化的重要组成部分,适应和减缓并重,并非是减排的补充,在“后京都”时代要给予足够的重视。2009 年 12 月 7—18 日在丹麦首都哥本哈根召开的 UNFCCC/COP15 会议达成了不具法律约束力的《哥本哈根协议》,认可有关控制全球升温不超过 2℃ 的科学结论作为全球合作行动的长期目标。这一协议反映出国际社会对气候变化影响下生物圈脆弱性评价与适应性技术的迫切需求。

尽管国际社会对气候变化的适应性给予了高度重视,但进展缓慢,因为有关生态系统脆弱性评价与适应性管理的科学基础仍很薄弱。现有的适应气候变化研究主要集中在站点尺度的适应技术和措施方面,缺少科学理论支撑,使得这些适应技术和措施难以在更大区域甚至全球推广。例如,联合国开发计划署在不丹实施的全球环境基金项目,通过加强灾难管理能力、人工降低索托米湖的水位和安装预警系统等措施来强化普纳卡—旺地和查姆卡流域的适应能力;在安第斯山脉中部的拉斯何莫萨马斯夫推行包括实施用水管制以保证水力发电在内的各种适应措施,适应当地山区生态系统的恶化;厄瓜多尔的农民通过建造传统的“U”形滞留地,以在湿润年份收集水,用于干旱年份(Warren et al. 2006)。20 世纪 80 年代,欧洲中部地区根据气候条件对土地利用进行了优化,冬小麦、玉米、蔬菜种植面积增加,春小麦、大麦和马铃薯面积减少(Parry et al. 1988)。最近,Herrero 等(2010)提出发展作物—畜牧混合系统,以确保发展中国家在面对水资源匮乏、土地退化等环境压力下粮食生产的可持续性。

当前,尽管国际社会,特别是发展中国家拥有适应气候变化的迫切需求,但在如何采取适应气候变化的措施和开展相应的行动方面,仍然缺乏相关知识的支持。因此,迫切需要加强适应气候变化的理论与技术研究。

三、全球变化影响下中国生态系统的脆弱性与适应性研究

中国关于生态系统脆弱性的研究起步较晚。牛文元(1989)首先将 Ecotone 概念引入中国,并将其称为生态环境脆弱带,开启了中国生态系统脆弱性评价研究的新领域。随后,中国学者围绕土地退化、环境治理和资源承载力等开展了大量的脆弱性研究,初步明确了中国脆弱生态环境类型及其分布情况(刘燕华 1995,赵跃龙等 1998,李克让等 2009)。这类研究除考虑气候因素外,还考虑了土地利用、资源承载力及经济发展等因素,但没有涉及未来气候变化的

影响(冉圣宏等 2001)。由于生态系统脆弱性是很难预见的现象,加之脆弱系统的复杂性,生态系统脆弱性评价的研究进展较为缓慢。从 20 世纪 90 年代初开始脆弱性研究以来,相当长的一段时间内均采用综合指数法,所不同的就是选择的评价指标、指标权重及在求综合指数时采用的统计方法略有差别。直到 2003 年前后,地理信息系统(GIS)、遥感技术及生态系统过程模型等高新技术应用,有效地促进了生态系统脆弱性评价准确性的提高(周永娟等 2009),生态系统脆弱性研究的领域也逐渐拓展到了农田(Lin 1996, Cai 1997, 刘金萍等 2007)、森林(李克让等 1996, 吐热尼古丽·阿木提等 2008)、草原(罗承平等 1995)、湿地(周亮进 2008, 周丙娟等 2009)以及水资源(唐国平等 2000)等,并开展了未来气候变化的影响评价研究(许振柱等 2003),如 Wu 等(2007)采用 AVIM2 模式、於琰等(2008)采用 CEVSA 模型评价了中国未来陆地生态系统的脆弱性变化。尽管於琰等(2008)对中国陆地生态系统的脆弱性评价考虑了植被分布和生态系统功能的变化,但模型仅考虑了森林、灌丛、草原和荒漠植被四种类型,没有考虑对气候变化敏感的湿地与农田生态系统;特别是,模型所用植被类型的气候参数来源于 BIOME 1.1 模型,而翁恩生等(2005)及 Weng 等(2006)研究指出,这些气候参数并不适用于中国独特的季风气候与青藏高原背景下形成的植被类型及其地理分布。而且,模型关于生态系统脆弱性指标的选取及其变化阈值的确定也缺乏观测数据的支持。总体而言,由于数据获取、研究手段及基础研究水平等因素的制约,现有的生态系统脆弱性研究对脆弱性机理、结构与功能的综合考虑及未来气候变化对生态系统脆弱性的影响方面尚显不足(IPCC 2001, 於琰等 2008, 李克让等 2009),还没有建立起科学的生态系统脆弱性评价指标体系与评价方法。

当前,中国关于全球变化影响下生态系统的适应性研究在本质上大多属于气候变化对生态系统的影响研究范畴(周广胜等 2004,《气候变化国家评估报告》编写委员会 2007),并没有着重于生态系统对气候变化的可能调节程度研究;关于适应技术研究大多集中在农田生态系统,且停留在农民基于传统经验的自发试验阶段,缺乏系统的理论研究与应用示范。例如,地跨湖南和湖北的两湖平原由于洪涝灾害的影响,当地农民发展了错开洪涝高峰期的早熟早稻品种与迟熟晚稻组合搭配的种植格局,部分实现了农业避洪减灾(王德仁等 2000, 陶建平等 2002);甘肃省农民针对旱灾频发和小麦产量低而不稳的特点,自觉调整作物种植比例,减少了小麦播种面积,扩大了耐旱作物玉米、糜、谷、马铃薯、胡麻、豆类等的种植面积(邓振镛等 2006, 姚小英等 2004),实现了粮食增产和农民增收(杨小利等 2009);河南南阳农民选择生育期较长的小麦品种减,少了气候变暖的限制作用(Liu et al. 2010);玉米高产中心的东北松嫩平原南部农民通过种植晚熟高产品种充分利用热量资源,大幅度提高了玉米单产(王宗明等 2006)。一些地区还根据温度变化特点调整传统的耕作方式,使农业生产更适于气候变化。例如,为避免冬前积温增加导致小麦生长过旺而遭受冻害,华北和黄淮海平原采取了小麦播期推迟的耕作方式。为此,鲁西北桓台县将 1986 年“冬前 80% 的保证积温选择”的适宜播期 9 月 23 日—10 月 3 日调整为目前的 10 月 2—10 日,较传统播期推迟了 7~9 天(荣云鹏等 2007);山西省晋城地区将以往的最佳播期 9 月 24 日—10 月 2 日延至目前的 9 月 28 日—10 月 6 日,即推迟了 4 天,并获得最佳产量(程海霞等 2009)。

气候变化已经极大地改变了中国气候资源的时空分布特点,出现了新情况新问题,对中国陆地生态系统,特别是农业种植制度提出了变化的要求。面对气候变化,生态系统如何趋其利避其害,切实保障中国的生态安全与中长期粮食安全,是中国面临的紧迫任务之一。然而,目前还没有建立起国家水平的中国陆地生态系统脆弱性与适应性评价指标体系,更没有形成可

应用示范的生态系统适应气候变化的技术体系,大多仍停留在概念和框架构建阶段。因此,迫切需要基于可持续性科学理论开展气候变化影响下中国主要陆地生态系统的脆弱性评价与适应技术的深入研究。

第二章 气候变化

自工业革命以来,人口剧增、现代工业的迅速发展以及矿物燃料利用、森林过伐、草原开垦与过牧等人类活动引起了地球大气中“温室气体”特别是 CO_2 浓度以前所未有的速度增加,由此引起的全球气候变暖、生态系统退化、植被带迁移、生物多样性丧失、荒漠化扩展、海平面上升等变化造成了 20 世纪 70 年代末期以来,人类社会面临的资源、环境和发展问题的严峻挑战。

天气与气候是人们日常生活中经常谈论的话题。通常,天气是指短时间(几分钟到几天)发生的气象现象,如雷雨、冰雹、台风、寒潮、大风等。气候是指长时期内(月、季、年、数年、数十年和数百年以上)天气的平均或统计状况,通常由某一时段内的平均值以及距平均值的离差(距平值)表征,主要反映一个地区的冷、暖、干、湿等基本特征。气候变化则是指气候平均值和离差值两者中的一个或两者同时随时间出现了统计意义上的显著变化。平均值的升降表明气候平均状态的变化;离差值增大表明气候状态不稳定性增加,气候异常愈明显,如平均气温、平均降水量、最高气温、最低气温、极端天气事件等变化。

地球气候变化由来已久,根据气候变化的时间尺度将气候变化分成长期气候变化、短期气候变化和当代气候变化。一般将由于地球轨道强迫造成的,发生在 $10^4 \sim 10^6$ 年时间尺度上的气候变化称为长期气候变化。发生在 $10^2 \sim 10^4$ 年时间尺度上的气候变化称为短期气候变化,亦称冰后期气候变化,即指最后一次冰期结束以后大约 1 万年以来的气候变化。这个时期在地质上称为第四纪的全新世,地球气候目前仍处于全新世中。而将发生在 10^2 年即百年以内的气候变化称为当代气候变化。

第一节 全球气候变化

为了为决策者定期提供针对气候变化的科学基础、气候变化影响和未来风险的评估以及适应和减缓的可选方案,1988 年由世界气象组织(WMO)和联合国环境规划署(UNEP)建立了政府间气候变化专门委员会(IPCC),是评估与气候变化相关科学的国际机构。IPCC 评估报告为各级政府制定与气候相关的政策提供了科学依据,是联合国气候大会《联合国气候变化框架公约(UNFCCC)》谈判的基础。评估报告具有政策相关性,但不具政策指示性;或许评估报告根据不同情景和气候变化的风险做出了未来气候变化的预测,讨论了可选响应方案的意义,但不是要告诉决策者该采取什么行动。由于 IPCC 评估报告的科学性质和政府间性质,使得 IPCC 拥有独特的机遇,可为决策者提供严格和均衡的科学信息。IPCC 向 WMO 和联合国的所有成员国开放。目前 IPCC 有 195 名成员,委员会由成员国的代表组成,他们在全体会议上做主要决定。IPCC 主席团由成员国政府选举产生,就委员会工作的科技方面问题向委员会提供指导,并就相关管理和战略问题提供建议。IPCC 评估报告由数百名首席科学家撰写,

他们志愿献出自己的时间和专长,成为报告的主要作者协调人和主要作者。同时,他们征集了数百名专家作为撰作者,补充提供具体领域的专门知识。IPCC 评估报告要经过数轮起草和评审,旨在确保全面、客观,编写方式开放、透明。同时,还有数以万计的专家作为评审者参与报告的编写,确保报告反映科学界全方面的观点。各编审团队所提供的是一个完整的监测机制,以确保评审意见得到体现。IPCC 的运作方式是评估已发表的文献,并不自行开展科学研究。针对所有研究结果,作者团队在评估结论中使用明确界定的语言,描述它们的不确定性。IPCC 评估报告所指向的是知识完备、推陈出新、文献中观点众多的领域。目前,编写评估报告的作者分为三个工作组,即第一工作组为自然科学基础,第二工作组为影响、适应和脆弱性,第三工作组为减缓气候变化以及一个特设工作组即国家温室气体清单专题组(TFI)。作为 IPCC 的组成部分,支持影响和气候分析的资料与情景任务组(TGICA)协助气候变化相关数据和情景的分发和应用。IPCC 评估报告是全面的气候变化相关科学、技术和社会经济的评估,通常分为四个部分,即每个工作组的内容为一部分,另加综合报告。特别报告是对某个具体问题的评估。方法学报告为编写 UNFCCC 下的温室气体清单提供切实指导。

IPCC 于 1990 年发布的第一次评估报告(FAR)和 1995 年发布的第二次评估报告(SAR)分别对 1992 年通过的《联合国气候变化框架公约(UNFCCC)》和 1997 年《京都议定书》的签订产生了直接推动作用,IPCC 第四次评估报告(AR4)则成为“巴厘路线图”谈判进程的重要科学依据,其中很多结论直接被相关谈判决议案文引用,在很大程度上影响并决定着气候变化国际谈判的走向。IPCC(2007)报告指出,全球气候变化以全球平均气温波动式变化、呈升温趋势为特征,但北半球明显暖于南半球、冬半年明显暖于夏半年、陆地地区明显暖于海洋地区,表现出明显的时间区域不均匀性。近百年(1906—2005 年)全球地表平均温度上升 0.74°C , 1956—2005 年升温 0.65°C 。1995—2006 年中有 11 年位列有仪器观测以来最暖的 12 年中。20 世纪全球海平面上升约为 0.17 m ; 其间 1961—2003 年平均上升速率约为 1.8 mm/a , 1993—2003 年的平均上升速率约为 3.1 mm/a 。全球大部分地区积雪退缩,特别是在春季和夏季;近 40 年北半球积雪逐月退缩(除 11 月和 12 月外),在 20 世纪 80 年代尤为明显。

IPCC 第五次评估报告(AR5)各工作组报告和综合报告于 2014 年 10 月前陆续发布,其结论必将影响新一轮国际气候变化谈判进程。IPCC 第五次评估报告指出,与 2007 年 IPCC 第四次评估报(AR4)相比,大气圈和冰冻圈变暖的观测资料更加充分。1880—2012 年全球平均地表温度升高了 $0.85(0.65\sim 1.06)^{\circ}\text{C}$, 1951—2012 年全球平均地表温度的升温速率($0.12(0.08\sim 0.14)^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)几乎是 1880 年以来升温速率的两倍。过去的 3 个连续 10 年比自 1850 年以来的任何一个 10 年都暖。观测结果进一步证实,气候系统的变暖毋庸置疑(秦大河等, 2014)。2003—2012 年全球平均地表温度较 1850—1990 年升高了 $0.78(0.72\sim 0.85)^{\circ}\text{C}$ (基于唯一可用的独立数据集)(张晓华等 2014)。

根据世界气象组织最新发布数据,2013 年全球平均表面温度比 1961—1990 年的平均值(14.0°C)高出 0.50°C ,比 2001—2010 年的平均值高出 0.03°C ,与 2007 年并列为 1850 年以来的第六最暖年(图 2.1),处于持续偏暖阶段。在有现代气象记录以来的 14 个最暖年份中,除 1998 年外,其他 13 个最暖年份均出现在 21 世纪。分析显示:全球变暖趋势在持续,但近 15 年升温速率趋于平缓。

气候变化的根本原因在于自然和人为强迫改变了地球的能量收支,通常采用辐射强迫来定量描述自然和人为因素对地球能量收支的影响。1750—2011 年地球表面的人为总辐射强

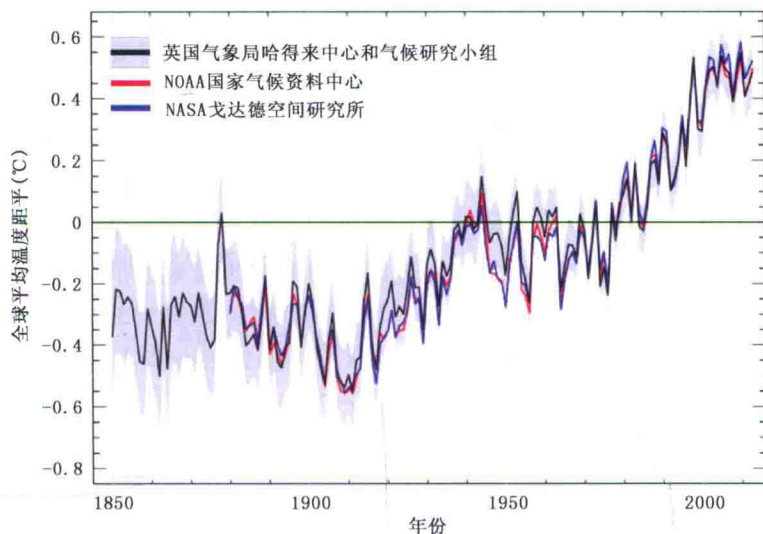


图 2.1 1850—2013 年全球年均温度距平变化(相对于 1961—1990 年平均值)

(引自世界气象组织新闻发布 No. 983; www.wmo.int)

迫为 $2.29(1.13 \sim 3.33) \text{ W/m}^2$, 较 2007 年 IPCC 第四次评估报告(AR4)给出的 2005 年人为辐射强迫 1.6 W/m^2 高出 43%, 较自然因素太阳辐照度变化产生的辐射强迫 $0.05(0.00 \sim 0.10) \text{ W/m}^2$ (AR4 为 $0.12(0.06 \sim 0.30) \text{ W/m}^2$) 高出 40 多倍。工业化以来的大气 CO_2 浓度增加对总辐射强迫的贡献最大, CO_2 排放产生的辐射强迫达 $1.68(1.33 \sim 2.03) \text{ W/m}^2$ (AR4 为 $1.66(1.49 \sim 1.83) \text{ W/m}^2$), 如果将其他含碳气体的排放效应也包括在内, CO_2 的辐射强迫将达 $1.82(1.46 \sim 2.18) \text{ W/m}^2$, 证实了人为排放温室气体导致的气候变暖结论。AR5 基于气候系统模式对 1951—2010 年期间的气温变化进行了定量化归因, 指出, 1951—2010 年期间温室气体排放造成的全球平均地表增温在 $0.50 \sim 1.30 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间, 包括气溶胶降温效应在内的其他人为强迫的贡献在 $-0.6 \sim 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间。自然强迫的贡献在 $-0.1 \sim 0.1 \text{ W/m}^2$, 气候系统内部变率的贡献在 $-0.1 \sim 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间。综合所评估的这些贡献与 1951—2010 年期间所观测到的 $0.6 \sim 0.7 \text{ }^\circ\text{C}$ 的变暖相一致, 表明人类活动(主要指能源利用等过程中的温室气体排放)导致了 20 世纪 50 年代以来一半以上的全球气候变暖(概率大于 95%)。同时, 现有研究在海洋变暖、水循环变化、冰冻圈退缩、海平面上升和极端事件变化等方面也检测到了人类活动影响的信号。因此, IPCC 更加确信, 近百年来人类活动对气候变暖发挥着主导作用。

在 IPCC 第五次评估报告中, 采用 CMIP5 模式和新排放情景(典型浓度路径, RCP)预估了未来气候系统变化。CMIP5 模式耦合了大气、海洋、陆面、海冰、气溶胶、碳循环等多个模块, 考虑了植被动态和大气化学过程的影响, 被称为地球系统模式。典型浓度路径 RCP 包括 RCP 2.6、RCP 4.5、RCP 6.0 和 RCP 8.5 等 4 种情景, 每种情景都提供了一种受社会经济条件和气候影响等的排放路径, 并给出了到 2100 年相应的辐射强迫值(Moss et al. 2010, Taylor et al. 2012)。通过采用地球系统模式与新的排放情景, 气候变化的情景预估准确性有所提高(秦大河等 2014)。与 1986—2005 年相比, 预估 2016—2035 年全球平均地表温度将升高 $0.3 \sim 0.7 \text{ }^\circ\text{C}$, 2081—2100 年将升高 $0.3 \sim 4.8 \text{ }^\circ\text{C}$, 反映出继续排放温室气体将进一步导致全球温度升高, 人为温室气体排放越多, 增温幅度就越大(秦大河等 2014)。根据地球系统模式预估,