



WWF® for a living planet®

生命之河 系列丛书

长江流域气候变化脆弱性 与适应性研究

徐明 马超德 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

生命之河系列丛书

长江流域气候变化脆弱性 与适应性研究

徐明 马超德 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是在 WWF (世界自然基金会) 的组织下由中国科学院、中国气象局、复旦大学等多个单位共同实施的一个关于长江流域气候变化脆弱性评估和适应性研究的一个重要项目成果, 共有 20 多位知名专家参与编写工作。本书从流域尺度对气候变化下各生态系统的脆弱性与适应性研究, 是一次富有创新的探索和尝试。这是我国第一本关于流域尺度的脆弱性与适应性研究成果。

本书在长江流域的气候变化事实和趋势预测的基础上, 分析了流域内各生态系统过去和现在所受到的影响以及未来的发展趋势, 分析了各生态系统过去和未来的脆弱性, 并提出了针对性的适应性对策。全书共七章, 可为国家制定长江流域的国民经济和社会长期发展战略提供科学决策依据, 为我国参与气候变化下流域内各生态系统脆弱性与适应性领域的国际行动提供科技支撑。

本书可供中央各部委和流域机构及地方政府决策部门, 以及气象气候、经济、湿地、水文、农林牧、河口城市规划、地质和地理等领域的科研与教学人员参考使用。此外, 本书也适用于资源、生态、环境等相关专业的大学生、研究生阅读使用。

图书在版编目 (C I P) 数据

长江流域气候变化脆弱性与适应性研究 / 徐明, 马超德著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2009. 10
(生命之河系列丛书)
ISBN 978-7-5084-6900-3

I. ①长… II. ①徐… ②马… III. ①长江流域—气候变化—研究 IV. ①P467

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第186719号

审图号: GS (2009) 1523 号

书 名	生命之河系列丛书 长江流域气候变化脆弱性与适应性研究
作 者	徐明 马超德 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京鑫丰华彩印有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 18.25 印张 433 千字
版 次	2009 年 10 月第 1 版 2009 年 10 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	88.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

WWF（世界自然基金会）《生命之河系列丛书》编委会

顾 问：孙鸿烈 陈宜瑜 印 红 Dermot O’Gorman
朱春全 李 琳 雷光春 王 毅 于秀波
李利锋

主 任：马超德

委 员：王利民 凌 林 张 琛 雷 刚 达 瓦
刘晓海 吴於松 娄 佳 任文伟 朱 江
沈兴兴 王 蕾 刘铁军

WWF（世界自然基金会）流域综合管理核心专家组成员

陈宜瑜 陈 进 雷光春 李原园 李云生 马超德
马 中 倪文进 王 丁 王凤春 王学军 王 毅
王亚华 夏 军 徐 明 杨桂山 于秀波

WWF（世界自然基金会）气候变化适应性研究专家工作组成员

徐 明 姜 彤 任国玉 汪思龙 王根绪 于 强
于秀波 王祥荣 樊正球

序 一

近百年来全球气候正经历一次以变暖为主要特征的显著变化，它对全球的生态系统、经济社会以及人类健康产生了重大的影响。全球气候变化的影响是全方位的、多尺度的和长时间的，既包括负面影响，同时也包括正面效应。目前，其负面影响更受关注，因为不利影响可能会危及人类社会未来的生存与发展，以及人类生活和健康。因此，气候变化已成为国际社会普遍关心的重大问题，气候变化领域的国际谈判已经成为继世界贸易组织后，各主要国家及利益集团在政治、经济、科技、环保领域综合较量的又一个主要平台。

长江流域因其丰富的自然资源而成为世界上可开发规模最大、影响范围最广的经济带，在国民经济中占有重要的主体地位，经济社会在过去 30 年来发展迅速，为我国的经济腾飞做出了重大贡献。但这种发展能否持续取决于多种因素，如社会经济结构、环境保护和资源的可持续供应能力，其中也包括气候和生态资源。近年来，随着经济的高速发展和全球气候的持续变暖，长江流域的生态环境问题日益突出，例如环境污染加剧、水土流失严重、生物多样性下降、旱涝等灾害性事件频发以及长江源区的冰川退缩、冻土消融和土地沙漠化加剧等。发生在长江流域的“蓝藻暴发”事件不仅影响到当地的经济发展和社会稳定，同时也受到国内外的广泛关注。蓝藻暴发与人类活动向水体排放的污染物有关，但也与气候变暖的直接驱动有关。长江流域的气候变化可能代表了巨型河流域对全球气候变化的区域响应，所以长江流域未来要发展，就要促进其经济结构的调整和生态环境的保护，以积极主动的态度来应对气候变化，而不能再走“先发展、后治理”的道路。因此，在全球变暖的背景下，开展长江流域气候变化的脆弱性与适应性研究具有重要的意义，这关系到长江流域未来的可持续发展问题。

从地球系统本身的发展来看，它一直在影响和适应着其气候系统的变化，

从人类出现之前的纯自然因素影响的气候变化，到近百年来，尤其是人类活动的增加而向大气排放了大量温室气体引起的以气候变暖为主要特征的全球气候变化。即使目前世界各国为抑制全球气候变暖所采取的各项努力取得预期的结果，全球气候在未来相当长的时间内仍将持续变暖，这主要是因为大部分温室气体在大气中可以滞留相当长的时间。如何适应未来持续变暖的气候是人类经济社会系统和自然生态系统面临的严峻挑战，同时也对我们的知识、科学技术、合作精神以及伦理道德提出了新的课题。为此，WWF（世界自然基金会）于2008年初在流域综合管理核心专家组中成立了“气候变化适应性研究”专家工作组。在WWF的支持下，由专家工作组协同中国科学院、国家气象局和复旦大学的20多位研究人员组成的研究团队在国内率先对长江流域气候变化的脆弱性和适应性进行系统的分析研究，探讨了时空分布格局的变化及其相关产业的脆弱特征，并根据其脆弱特征和存在的问题提出针对性的适应对策。这包括改进农业生产布局和作物种植制度、推迟播种期和引进及培育生育期长的品种；提高水资源的利用效率和重大水利工程的优化管理；加强对自然生态系统的保护，减轻草地过度放牧的压力，对树种单一的人工林进行合理改造；增加江湖连通性，改善中、下游湿地的生态水文状况等。和全球一样，长江流域的气候在过去几十年中已经发生了显著变化，流域内的各种生态系统和产业结构是如何适应或不适应过去的气候变化？借鉴过去适应气候变化的经验和教训，尤其是来自生产第一线的“本土”经验，同时也要汲取发达国家在其发展过程中积累的教训，以采取有效的适应对策、减少对未来气候变化的“误适应”，不仅能够降低气候变化的负面影响，甚至还能够合理利用气候变化所带来的机遇。

长江流域气候变化脆弱性与适应性的研究可为国家制定流域经济和社会发展战略提供科学决策依据，为我国参与气候变化谈判的国际行动提供科技支撑。适应和减缓是应对气候变化的最重要的两种手段，近些年，国家通过制定《中华人民共和国可再生资源法》、《中华人民共和国节约能源法》、《中华人民共和国森林法》、《中华人民共和国草原法》等从法律和政府的具体管理上为减缓气候变化已经做了大量工作，而本研究可为国家适应气候变化的行动和立法服务。

气候变化过程很复杂，是人类活动和自然因素共同作用的结果，未来的气候变化仍将会受这两大因素的驱动，但自然因素与人类活动的贡献在不同阶

段会有差异。气候变化与地球其他圈层的相互作用机制更复杂，尤其是与生物圈的关系可能存在许多反馈机制和响应阈值，对未来的预测还存在很大的不确定性。今后国家应该加强气候变化方面的研究，尤其是基础研究，同时更要重视对气候变化脆弱性和适应性的研究，为把应对气候变化纳入国民经济和社会发展规划提供科学支撑。今后，国家自然科学基金委员会将会继续支持气候变化领域的研究，提升我国在这方面的实力，缩小与发达国家的差距。

全国人大常委会
国家自然科学基金委员会主任
中国科学院院士

陈宜瑜

2009年9月



序 二

气候变化已经成为当今国际社会关注的热点。在最近公布的联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）第四次报告中，特别提到了要加强气候变化的适应性研究，不能因为气候变化的不确定性而不采取任何行动。中国政府在气候变化领域充分展示了一个大国的责任感，2006年发布了第一次《气候变化国家评估报告》，2007年公布了应对气候变化的国家方案。2009年8月27日，第十一届全国人民代表大会常务委员会第十次会议通过了积极应对气候变化决议草案。目前中国政府正在组织编写第二次《气候变化国家评估报告》，较之前增加了气候变化的适应性战略研究。WWF（世界自然基金会）认为在气候变化领域，“适应”对于发展中国家更具有现实意义，因此非常赞赏中国政府目前在应对气候变化方面所提出的“适应与减缓并重”的战略决策。

近几十年来，国际上利用各种方法在国家、区域等不同尺度上开展了大量气候变化下生态系统、环境和人类健康、经济社会等的脆弱性、敏感性和适应性的研究，并取得大量有价值的研究成果，但从流域的尺度上开展气候变化的影响和脆弱性研究相对较少。WWF总结世界有关国家流域管理的经验，从2003年开始与中国政府各级机构之间密切合作，积极推动我国的流域综合管理。在气候变化的条件下，如何从流域尺度来研究气候变化的威胁、存在的问题以及提出适应对策是摆在流域管理者、政府决策者和研究人员面前的重大课题。

长江和黄河并称为中华民族的母亲河，保护长江的生态环境事关千秋万代的经济社会可持续发展。长江因其丰富的生物多样性及生态系统目前所面临的威胁，已成为WWF全球的优先保护区域之一。近年来，WWF围绕长江的保护与可持续发展，开展了湿地保护和恢复、江湖连通、生物多样性保护、保护区网络建设、流域规划、饮水安全、绿色水电、环境流等流域综合管理方面的大量工作。全球气候变化条件下，对长江的保护和发展又赋予了一层新的、更高的要求，那就是不同生态系统对气候变化的适应性。

基于 WWF 与中国科学院对长江流域的共同关注和对流域尺度气候变化适应性的共识，双方共同组织国内相关行业知名专家，利用 WWF 全球的网络优势，引入国际上先进的理念方法，组织了“长江流域气候变化脆弱性与适应性研究”，根据研究成果编写完成了该研究报告。该研究报告基于长江流域气候变化的事实与未来趋势、对流域内水资源、草地、森林、农田、湿地、河口等不同生态系统的影响及脆弱性等进行了系统而全面的评估，并提出了适应现在和未来气候变化的战略和政策建议，通过了国内相关领域专家的评审，根据评审意见形成了初步研究成果。针对这些已有研究成果，于 2009 年 8 月 10 日在北京组织召开了“长江流域气候变化脆弱性与适应性评估报告”专家评审会，听取了来自国家发展和改革委员会、水利部、环境保护部、国家气象局、国家林业局、水利部长江水利委员会等国内主管部门的宝贵意见。各章作者又针对这些意见进一步修改和完善了报告，希望本研究报告能为中国政府决策部门和管理者提供相关技术支持和理论依据。

感谢以国家自然科学基金委主任陈宜瑜院士为主席的 WWF 中国流域综合管理研究核心专家组多年来对中国流域综合管理作出的杰出贡献，2008 年至 2009 年 WWF 在以往工作的基础上分别成立了环境流、饮水安全、流域规划技术和气候变化适应性四个专家工作组，并开展了卓有成效的工作。感谢以徐明教授为核心的气候变化适应性专家工作组的卓越工作，感谢中国科学院、国家气象局等单位的大力支持，特别感谢水利部水资源司孙雪涛司长和齐兵强处长、国家发展和改革委员会气候司蒋兆理处长、国家林业局造林绿化管理司李怒云副司长、国家气象局气候司高云处长、国家林业局湿地保护与管理中心严承高副主任、环境保护部生态司张晔女士、水利部长江水利委员会国科局杨正波副局长等部委领导对本项目的大力支持并提出了大量宝贵的意见，感谢国家林业局李怒云副司长、中国科学院政策与管理所王毅副所长、长江水利委员会水文局王俊局长、中国林业科学研究院张小泉教授、华东师范大学陈中原教授、中国科学院地理与资源所的王金霞教授、中国农业科学院许吟隆教授、中国科学院大气物理所的黄耀教授、中国科学院西北高原生物研究所的赵新全教授、北京大学贺金生教授、北京林业大学自然保护区学院院长雷光春教授等专家对本书的认真评审。

本报告在国内气候变化研究领域是一次有益的探索和尝试。受到资料和数据限制以及模型不确定性等因素影响，本报告还存在一些不尽完善之处，有待进一步研究和改进，恳请国内外专家批评指正，为今后的工作提供有益指导。WWF 承诺将一如既往地从事宏观政策、试点示范、科学研究等不同

方面支持中国气候变化的适应性研究工作。

感谢中国政府相关部门对 WWF 工作的重视、关心和支持，再次代表 WWF 北京代表处对中国相关单位和专家对本研究的贡献表示深深谢意！

欧达梦 (Dermot O' Gorman)

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long vertical stroke extending downwards.

WWF 北京代表处首席代表

2009 年 10 月 9 日



前言

地球气候系统是其生命系统所赖以生存的基础，气候的自然波动是地球气候系统的基本特征，但随着人类活动的增加尤其是工业革命以来人类在工业化过程中向大气排放了大量的温室气体，导致全球大气中的温室气体浓度和温度都急剧增加，这对全球自然生态系统和人类经济社会系统都产生了深远的影响，对人类社会未来的生存和发展也构成了严峻挑战，所以气候变化已成为当今国际社会普遍关注的全球性问题。最新研究成果表明，近年来全球变暖的趋势正逐步加快，南北两极和格陵兰的冰川正在加速融化，北冰洋的海冰面积退缩速度和海平面上升的速度都大大超出了以前的预期，海平面上升已经使一些太平洋岛屿消失、大量原著岛民被迫搬离家园，甚至成为生态难民；同时，近年来全球极端气候事件的频率和强度及其造成的损失都呈显著上升趋势。但未来变暖的变幅取决于人类采取什么样的生产和生活方式。

面对气候变化的挑战，减排和适应是人类所能采取的应对气候变化影响的两条有效途径，虽然减少温室气体的排放是目前国际气候变化研究和气候变化谈判的热点，但减排所耗费的巨大人力、物力和财力对经济的发展带来一定的负担；尤其是对处于工业化进程中的发展中国家来说，减排的代价是沉重的；同时，即使当前通过全球谈判的努力把大气中的温室气体排放量稳定在目前的水平，但由于温室气体在大气中的滞留时间较长，其浓度和大气的温度在未来相当长的一段时间内仍将持续增加，这就决定了人类及其他生命有机体将不可避免的生活在日趋变暖的气候条件下。面对气候变暖这一事实，适应将成为不可回避的选择，尤其对发展中国家更加具有现实意义。

长江作为我国第一大河，世界第三大河，其在航运、水力发电、渔业资源等方面发挥着巨大的作用，为我国的经济发展做出了巨大的贡献，在我国国土开发、生产力布局和经济社会方面均具有极为重要的战略地位。因此，在全球气候变化的背景下，长江流域对气候变化的脆弱性和适应性引起了国内外的广泛关注。近年来，国际上开展了大量有关气候变化的影响、脆弱性和适应性研究，以联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）为代表的各种评

估报告对自然生态系统、农业、水资源、人类健康及社会经济系统等的脆弱性、敏感性和适应性进行了研究分析，并取得初步的研究成果。但国内对气候变化及其影响和适应性的研究仍比较分散，对长江流域各生态系统的影响和适应性研究也缺乏系统的集成和总结。过去几十年来的气候变化对长江流域的各种生态系统和经济社会系统究竟产生了哪些影响？哪些系统、哪些区域对气候变化更脆弱？这些系统又是如何适应已经发生的气候变化的？未来的气候变化又将如何影响这些系统的结构、功能及其脆弱性和适应性？有鉴于此，在 WWF（世界自然基金会）的支持下，由中国科学院、中国气象局和复旦大学的共同参与，于 2007 年 7 月在“WWF 流域综合管理核心专家组”框架下组建了“气候变化适应性研究专家工作组”，正式启动了“长江流域气候变化脆弱性与适应性研究项目组”，其研究目的在于系统阐述长江流域主要生态系统对气候变化脆弱性的时空格局及其对未来气候变化的动态响应，有针对性地提出适应性管理对策及措施，为全球气候变化背景下，长江流域经济社会可持续发展提供科学的理论支撑。本项目在分析总结已有的研究成果基础上，结合项目组研究人员自己的专业优势，借鉴国内外定量与半定量的研究方法，通过过程模型与经验模型相结合、并配合地面调查和卫星遥感数据，对长江流域气候变化的事实与未来趋势及其对流域内农业、水资源、森林、草地、湿地生态系统和河口城市（上海市）的影响及脆弱性等进行了全面的分析研究，并在此基础上提出适应未来气候变化的对策和政策建议。

本项目由中国科学院地理科学与资源研究所徐明研究员任首席科学家、由中国科学院地理科学与资源研究所、成都山地灾害与环境研究所、沈阳应用生态研究所、中国气象局和复旦大学 20 余位研究人员共同参与，在 WWF 北京代表处淡水项目主任马超德博士和项目官员沈兴兴女士的全面协调下历经项目组全体成员两年多的共同努力，完成了项目规划书中的各项内容，取得了阶段性研究成果，并由此形成了该研究报告。

本报告共分 7 章，各章编写人员如下：

前 言 徐明

概 述 徐明 刘丽香

第一章 任国玉 苏布达

第二章 姜彤 曾小凡 刘波

第三章 于强 李俊 彭乃志 许守华 郝菁 申双和 马晓群
张爱民

第四章 汪思龙 王辉民 黄玫 杨风亭 张文江 关欣 苗茜

第五章 王根绪 李娜 张春敏

第六章 于秀波 夏少霞

第七章 王祥荣 樊正球 王原 胡欢 顾玉娇

本报告的出版，要感谢 WWF 在资金和项目组全体研究人员技术上的大力支持，尤其是马超德主任总体领导，沈兴兴女士和王蕾女士在项目协调、规划和组织会议等方面做了大量工作。此外，还要感谢黄铁青、王毅、于贵瑞、吴绍洪、李利锋、黄艳等专家在项目早期的规划设计和确定研究内容方面所给予的悉心指导；感谢以下专家及领导在本项目终期评审会议中给予的建议，他们是：国家林业局造林绿化管理司李怒云副司长、国家发展和改革委员会气候司蒋兆理处长、中国气象局气候司高云处长、水利部水资源司齐兵强处长、水利部长江水利委员会国科局杨正波副局长、国家环保部生态司张晔女士、中国科学院政策与管理所王毅副所长、华东师范大学河口所陈中原教授、北京林业大学自然保护区学院雷光春院长、国家林业局湿地保护管理中心严承高副主任、中国科学院西北高原生物研究所赵新全教授；此外还要感谢以下专家对该报告初稿的书面评审工作的支持，他们是：北京师范大学的龚道溢教授、国家气候中心的赵宗慈教授、水利部水资源司孙雪涛司长、水利部长江水利委员会水文局王俊局长、国家林业局造林绿化管理司李怒云副司长、大自然保护协会（TNC）中国部高级科学家张小泉博士、华东师范大学陈中原教授、中国科学院地理科学与资源研究所王金霞研究员、中国农业科学院许吟隆教授、中国科学院大气物理研究所黄耀教授、中国科学院西北高原生物研究所赵新全教授和北京大学贺金生教授。

本项目虽然有国内相关领域的主要专家参与，但由于时间紧迫、问题复杂，尤其是未来气候变化对流域内各种生态系统的影响、脆弱性和适应性存在相当大的不确定因素；加之目前这个领域在流域尺度上国内外的研究还处于起步阶段、研究水平有限，某些领域如湿地生态系统在国内外的研究都比较薄弱，以前的研究积累较少，不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正，以便在今后的相关研究与管理领域提供更好的借鉴。



概述

长江是我国的第一大河，全长 6300 多 km，流域面积约 180 万 km²，占国土面积的 1/5，包括 18 个省（自治区、直辖市）；长江流域现有人口约 4.5 亿，占全国的 1/3；该流域覆盖了我国人口较密集、水土资源较丰富的亚热带湿润地区，流域内有江汉平原、洞庭湖平原、鄱阳湖平原及长江三角洲平原四大平原、耕地集中，土地肥沃，是我国重要的农产品基地。耕地面积约占全国的 1/4，2007 年长江流域粮食产量 17768.1 万 t，占全国的 35.4%，森林面积为 5495.1 万 hm²，占全国的 31.4%；2007 年长江流域经济总量为 10.26 万亿元，占全国的 41.1%。多年平均水资源年径流量 9800 多亿 m³，约占全国的 37%，人均水资源量约 2400m³，高于全国人均水资源量 2100m³。通过以上的数据可以看出长江流域在我国国民经济中的重要地位。

总的来说，长江流域大部分地区水热条件较好、气候条件优越、对气候波动的抵抗能力较强，与黄河流域和西北干旱区及东北地区相比，长江流域大部分生态系统对气候变化的脆弱性比较低。但是长江流域的季风特点决定了该区域受极端气候事件的影响较大，尤其是洪涝灾害的影响，在过去几十年气候变暖的过程中，尤其是 20 世纪 90 年代以来，长江流域洪涝灾害发生的频率呈增加趋势，未来的气候变化可能使其进一步加剧。值得注意的是，在气候变暖的过程中，极端严重的冰雪灾害事件及干旱事件并没随着气候变暖和部分地区降雨量的增加而减少，反而有增加的趋势，这对气候变化的适应性管理提出了更高的要求，需要考虑更多的因素，采取双向适应的策略。长江中下游地区气候变化的相对幅度较小，农田、森林等生态系统的管理水平较高，对气候变化的适应性较强；但长江源区各种生态系统和下游的湿地生态系统对气候变化较敏感，脆弱度比较高；长江河口区受海平面上升引起的海水倒灌及风暴潮的影响较大，加之该区域人口密度大，是我国重要的工业基地，气候变化造成的影响和经济损失远比其他地区大，具有放大效应；但该地区经济比较发达，基础设施比较完善。因此与全国其他地区相比，长江流域对气候变化的适应能力相对较强。

一、长江流域的特征及其脆弱性

1. 长江流域未来气候有持续变暖变干的趋势，而降水的变化趋势不明显，且存在较大的空间异质性，这与未来温室气体排放情景有关；极端气候事件发生的频率呈增加趋势，但未来的不确定性较大。

与全球或全国的气候变暖趋势相似，长江流域近 50 年来气温呈明显的增加趋势，尤其是 20 世纪 90 年代以来，增温明显加速。根据长江流域内 147 个气象站点资料显示，仅