



气候变化

对中国生态和人体健康的影响与适应

许吟隆 吴绍洪
吴建国 周晓农 等著



CLIMATE CHANGE
IMPACTS AND
ADAPTATION
IN CHINA:
ECOLOGICAL &
HUMAN HEALTH

XU Yinlong, WU Shaohong,
WU Jianguo,
ZHOU Xiaonong *et al.*



科学出版社

气候变化

对中国生态和人体健康的影响与适应

CLIMATE CHANGE IMPACTS
AND ADAPTATION IN
CHINA: ECOLOGICAL &
HUMAN HEALTH



许吟隆 吴绍洪 等著
吴建国 周晓农

XU Yinlong, WU Shaohong,
WU Jianguo,
ZHOU Xiaonong *et al.*

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书基于 SRES 应用 PRECIS 构建中国高分辨率 (50km×50km) 的至 2100 年的 SRES A2、B2 和 A1B 气候情景, 模拟未来中国潜在植被及自然生态系统的净初级生产力的时空变化, 探讨未来中国媒介传播疾病在气候变化条件下发生、发展规律及时空分布的变化, 选择生物多样性、自然保护区及西南森林火险等进行案例分析, 总结典型适应气候变化技术措施的适应效果, 提出生态系统及人体健康领域适应气候变化的对策建议。本书研究内容可以为国家适应气候变化战略和规划制定提供科技支撑, 也有助于推动中国不同领域适应气候变化技术的研究和推广应用, 对中国适应气候变化、加强应对气候变化的能力建设等方面都具有科学参考意义。

本书可供相关行业和政府管理部门使用, 也可供气候学、生态学、公共卫生学专业及生态系统、人体健康、生物多样性、自然保护区、林业、草地畜牧业等行业、领域的科研与高校教学人员、研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

气候变化对中国生态和人体健康的影响与适应/许吟隆等著.
—北京: 科学出版社, 2013.6
ISBN 978-7-03-037391-5

I. ①气… II. ①许… III. ①气候变化—影响—生态环境—研究—中国②气候变化—影响—健康—研究 IV. ①X321.2②R161

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第089836号

责任编辑: 秦国英 胡晓春/ 责任校对: 朱光兰
责任印制: 钱玉芬/ 封面设计: 耕者设计

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年6月第一版 开本: 787×1092 1/16

2013年6月第一次印刷 印张: 9 1/2 插页: 2

字数: 225 000

定价: 79.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《气候变化对中国生态和人体健康的影响与适应》

撰写专家组

组 长 许吟隆

副 组 长 吴绍洪 吴建国 周晓农

主要作者 (按姓名拼音排序)

高新全 李 阔 李石柱 潘 婕 潘学标
吴建国 吴绍洪 许吟隆 郑大玮 周晓农
朱建华

贡献作者 (按姓名拼音排序)

戴尔阜 冯 强 何霄嘉 黎伟标 林一骅
吕 山 钱颖骏 邵雪梅 田晓瑞 魏玉荣
杨国静 杨 坤 尹云鹤 张九天 赵东升
赵沛义 周巧富

顾问专家 林而达 刘春蓁 居 辉 马世铭 殷永元
戎 兵

序

以变暖为主要特征的气候变化已经对地球自然生态系统的安全和人类经济社会的可持续发展产生了重大影响，使人类的生存和发展面临巨大挑战。研究表明，在未来气候变化背景下这些影响还将继续和加剧，甚至出现不可逆转的影响。鉴于此，除了着力开展气候变化减缓行动外，适应气候变化也已成为当前国际社会面临的重大抉择。

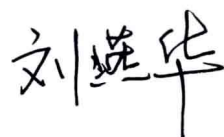
对气候变化影响的科学认识，是制定适应气候变化战略和政策、采取适应气候变化行动和措施的前提和基础。国际上，政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 已经发布了 4 次气候变化评估报告，评估气候变化的影响，支持国际社会和各国政府的适应行动。目前正在组织撰写的 IPCC 第 5 次评估报告，涵盖了气候变化对生态系统、人类生存与安全的影响评估，增加适应需求和选择，适应的规划和执行，适应的机遇、局限和限制，适应经济学等内容，评估范围覆盖整个地球系统。可以预见，随着对气候变化影响的科学认识不断深入，适应气候变化的工作会不断地深入开展。

中国地处东亚季风区，在全球气候变化的背景下，区域干旱洪涝、高温热浪、台风、寒潮等极端天气和气候事件的发生日趋频繁、强度不断增加，加之区域经济发展水平不均衡、经济快速发展和转型期风险防御体系的不完备与规划的不合理，中国的自然生态系统和社会经济发展面临巨大威胁，对气候变化极其敏感和脆弱，严重影响中国经济社会的可持续发展。

国家从“八五”科技攻关计划开始专列项目和课题，进行气候变化影响评估与适应方面的研究工作。许吟隆研究员自国家“九五”计划开始参加气候变化影响评估的课题研究，主持“十五”国家科技攻关计划“气候变化对主要脆弱领域的影响阈值及综合评估”课题和“十一五”国家科技支撑计划“气候变化影响与适应的关键技术研究”课题，本书是在“十一五”课题研究成果的基础上，凝练总结的气候变化影响评估与适应方面的最新研究进展。

本书首先介绍应用英国 Hadley 气候中心的区域气候模式系统 PRECIS 构建的中国区域高分辨率的气候情景，在气候情景的基础上评估未来气候变化对自然生态系统、媒传疾病、物种多样性与自然保护区、西南林火风险的潜在影响；同时，针对气候变化影响的关键问题，对关键适应技术和效果进行了总结；最后，本书在综合各个领域研究成果的基础上，从适

应气候变化的角度提出了“边缘适应”的概念，指出了研究中存在的不足，并对未来研究工作进行了展望。应该说，“边缘适应”概念的提出，是本项研究成果的一个创新点，也是适应气候变化领域新的、进行更深入研究工作的起点。希望许吟隆研究员与研究团队一起，继续开展适应气候变化领域相关的理论探讨、关键技术与适应实践，为推进我国适应气候变化工作提供更多支撑、做出更大贡献。



国务院参事

2012年9月2日

前 言

自工业革命以来,不断加剧的人类活动大量消耗化石燃料,以及对森林、草地和湿地等过度的不合理的开发,导致全球大气中 CO_2 等温室气体浓度持续增加,全球正经历着以变暖为主要特征的气候变化。中国地处东亚季风区,气候波动剧烈,气候变暖的同时各种极端天气气候事件频繁发生、危害日益加剧。气候变化对生态系统的强烈影响正在改变着生态系统固有的自然过程,改变植被群落的结构、组成及生物量,导致生态系统空间格局的变化,造成生物多样性的减少;气候暖干化导致林火发生风险增大,气候变暖引起虫媒传染病传播媒介地理分布范围扩大,极端天气气候事件危害人体健康。气候变化严重威胁人类的生存环境及社会经济的可持续发展。

国际社会为应对气候变化做出了巨大努力,政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 已经发布了 4 次气候变化的影响评估报告,持续不断地促进应对气候变化工作的开展。作为世界上最大的发展中国家,中国高度重视气候变化的影响评估与适应工作,已经分别于 2007 年发布《气候变化国家评估报告》、2011 年发布《第二次气候变化国家评估报告》,并于 2011 年出版了《适应气候变化国家战略研究》报告,为中国适应气候变化提供了有力的科技支撑。但由于适应气候变化工作的艰巨性、复杂性,就目前的科研水平来讲,还不能完全满足适应气候变化的需求,科研水平亟须加强。

国家科技计划从“八五”开始列专项资助气候变化影响评估与适应方面的研究工作。在“十一五”国家科技支撑计划“全球环境变化应对技术与示范”重点项目中,专列“气候变化影响与适应的关键技术研究”课题,针对气候变化影响与适应的关键技术问题,进行未来气候变化情景下对中国农业、草地畜牧业、林业、自然生态系统、人体媒传疾病等领域的影响评估,开发适应未来气候变化影响的关键技术与对策。本书在“气候变化影响与适应的关键技术研究”课题研究工作的基础上进行凝练总结,评估未来气候变化对中国自然生态系统、物种多样性与自然保护区、媒传疾病等领域的影响,同时选择西南森林生态系统林火风险作为典型案例研究,凝练适应技术,提出适应气候变化的对策,尝试为适应气候变化提供科学上的参考依据。

本书第 1 章首先介绍应用 PRECIS 系统构建的中国高分辨率(水平网格距 $50\text{km} \times 50\text{km}$)的 SRES 气候情景及其订正方法,为第 2~5 章的影响评估奠定基础;第 2~5 章应用第 1 章介绍的 SRES 气候情景,评估未来气候变化对自然生态系统、虫媒传染病、物种多样性与保护区、西南林火风险的潜在影响;第 6 章针对气候变化影响的关键问题,

总结关键适应技术和适应效果；第 7 章对各个领域研究成果进行综合凝练总结，指出研究中存在的不足，提出对未来研究工作的建议。

本书成果是课题组研究成果集体智慧的结晶，各章主要撰写者分工如下：

第 1 章，许吟隆、潘婕、冯强、林一骅、黎伟标等

第 2 章，吴绍洪、赵东升、尹云鹤、邵雪梅、戴尔阜等

第 3 章，周晓农、李石柱、杨坤、钱颖骏、吕山、杨国静、黎伟标等

第 4 章，吴建国、周巧富等

第 5 章，田晓瑞、朱建华等

第 6 章，吴建国、周巧富、周晓农、李石柱、杨坤、钱颖骏、吕山、杨国静、潘学标、魏玉荣、赵沛义、许吟隆、郑大玮、李阔等

第 7 章，许吟隆、郑大玮、高新全、张九天、何霄嘉、李阔等

本书的最终稿由许吟隆、郑大玮、李阔统稿完成；第 2~5 章所应用的气候情景数据由潘婕整理提供；李阔整理了名词解释和英文缩略语，马建勇、胡亚南为第 6 章的适应技术总结做了大量的文字编辑工作。参加课题研究的其他成员还有马世铭、熊伟、田展、张吉生、窦自喜、王涛明、谭瑶、李剑萍、黄玫、张仪、龙步菊、潘志华、谭英、冯利平、张真、彭斯震、贾莉等，以及安西和太白山自然保护区的工作人员；参加课题研究的工作人员有骆春菊、程磊、贺晓锋、蒋思玉等；参加课题研究工作的研究生有张勇、莫伟强、徐宾、胡亚南、袁静、张颖娴、杨红龙、吴美双、王芳栋、刘珂、陶生才、邓婧娟、马建勇、姜江、苟诗薇、梁驹、周林、王雅琼、马珊珊、刘昌波、纪潇潇等。他们都为课题研究以及保障课题研究工作的顺利进行做出了贡献。

本书成果的课题研究工作得到各级领导部门和各位专家学者的大力帮助。感谢科学技术部社会发展科技司对本课题研究的资助，感谢中国 21 世纪议程管理中心对项目研究卓有成效的管理和协调工作，感谢居辉研究员、吕学都博士、李玉娥研究员、刘春蓁高工、李克让研究员、殷永元教授、贾根锁研究员、赵成义研究员、马柱国研究员、张小全研究员、高庆先研究员、左军成教授、戎兵博士、杨修博士、林万涛研究员、沈彦俊研究员、谢立勇博士、仲平博士、谢国清高工等对本课题研究的支持和提出的宝贵建议，感谢“全球环境变化应对技术与示范”项目总体专家组的各位成员对本课题研究的支持和提出的宝贵意见！

本书所用气候情景数据的区域气候模式系统 PRECIS 由英国气象局 Hadley 气候中心提供，在生成气候情景数据的过程中，一直得到 Richard Jones 博士及其研究团队的技术支持，在此表示衷心的感谢！

在承担“气候变化影响与适应的关键技术研究”课题的同时，课题组部分成员还参加了中-英-瑞(士)政府间的 ACCC (Adapting Climate Change in China) 合作研究项目，ACCC 项目的研究方法对本课题研究也有很大的启示和促进作用，在此，对 ACCC 项目的全体研究人员和项目办的 Rebecca Nadin 女士、霍莉女士及各位成员表示衷心的感谢！

特别值得一提的是，在“气候变化影响与适应的关键技术研究”课题结束后的近两年

时间里，由于本书稿的撰写工作，我一直和课题组的成员保持联系，课题组成员以饱满的热情参与了本书的撰写工作，所表现的团队协作精神令我感动！

我 1995 年从中国科学院大气物理研究所获得博士学位后，参加了林而达研究员领导的气候变化影响评估研究团队，17 年来，林而达研究员对我本人给予了学术研究上的指导，本书成果也凝聚着他的智慧和心血，我特别向林而达研究员对我本人及本课题研究的大力支持表示衷心的感谢和敬意！

从事气候变化影响评估与适应方面的研究 17 年来，我一直苦苦思索怎样在适应气候变化的理论上有所突破，提出一个易于使公众理解接受的、又能综合统领各学科领域适应气候变化工作的科学概念。本书“边缘适应”概念的提出，是这方面的一个尝试。2000 年我在日本东京大学气候系统研究中心 (CCSR) 工作，当时林而达研究员在设计中—英气候变化合作项目，我在给林而达研究员的邮件中提出农牧交错带是气候变化的高度敏感脆弱区域，由于这个带的空间宽度较窄，需要构建高分辨率的气候情景才能评估分析未来气候变化对农牧交错带的影响。这应该是对“边缘适应”最初的思考。在 2010~2011 年和郑大玮教授一起进行《适应气候变化国家战略研究》报告统稿时，尝试理出适应气候变化的优先区域，经过一系列的讨论我们认为海岸带、青藏高原和农牧交错带是气候变化的敏感脆弱区域，并分析脆弱的原因分别是：海岸带的脆弱性源于其对气候变化的高暴露度，农牧交错带的脆弱性是由于其对气候变化极其敏感，而青藏高原的脆弱性除了因为其对气候变化敏感外，适应能力弱是脆弱的主要原因。由于《适应气候变化国家战略研究》报告的成稿先于本书，那时还没有对本课题研究结果进行系统地总结，因此对海岸带、青藏高原和农牧交错带之于气候变化脆弱性的认识还是局限于定性的思考。在撰写本书第 7 章总结各个领域的影响评估结果时，我意外地发现随着气候变暖血吸虫及广州管圆线虫分布范围北界线的北扩、农牧交错带在气候变化条件下边界的变动、植被和珍稀濒危物种分布格局的改变等，这些现象的一个共同点都是处于系统的边缘地带，以科学的事实证明了撰写《适应气候变化国家战略研究》报告时定性推断的海岸带和农牧交错带等系统边缘地带对气候变化最为敏感和脆弱，因而需要优先采取适应措施。经过与郑大玮教授、李阔博士、高新全博士反复地讨论，并查阅各种资料直接和间接地验证，最终确定使用“边缘适应”这个概念。希望能够抛砖引玉，促进适应气候变化理论上的创新与突破，为适应气候变化工作提供切实的科学依据。

本书是“气候变化影响与适应的关键技术研究”课题成果的集成，部分内容已经发表，但为了本书整体结构的完整性，也汇总在一起，有几张图根据全书一致的绘图格式重新绘制。由于作者水平有限，加之成稿仓促，错误和疏漏之处在所难免，恳请批评指正！

许吟皓 谨识

2012 年 8 月 17 日

目 录

序

前言

第 1 章 中国高分辨率气候情景的构建与应用	1
1.1 构建气候情景的进程	1
1.2 PRECIS 模拟的 SRES 情景下未来温度和降水的变化	3
1.2.1 SRES A2 情景	6
1.2.2 SRES B2 情景	6
1.2.3 SRES A1B 情景	7
1.2.4 小结	7
1.3 PRECIS 输出结果的订正	12
1.4 气候情景数据在影响评估研究中的应用	14
参考文献	14
第 2 章 气候变化对自然生态系统的影响与适应对策	18
2.1 模型简介	19
2.1.1 对 BIOME4 模型的改进	19
2.1.2 对 LPJ-DGVM 模型的改进	20
2.1.3 模型输入数据	21
2.2 气候变化对自然植被格局的影响	22
2.3 气候变化对 NPP 的影响	26
2.4 自然生态系统适应气候变化的区域对策	35
参考文献	37
第 3 章 气候变化对人体健康的影响与适应对策	39
3.1 媒传疾病的评估方法	40
3.1.1 气候变化对日本血吸虫病影响的评估方法	40
3.1.2 气候变化对广州管圆线虫病影响的评估方法	43
3.2 未来气候变化对中国媒传疾病的影响评估	45

3.2.1 血吸虫病	46
3.2.2 广州管圆线虫病	50
3.3 人体健康和公共卫生适应气候变化的对策	57
参考文献	60
第4章 气候变化对生物多样性和自然保护区的影响与适应对策	64
4.1 气候变化对物种多样性影响评估方法简介	65
4.2 气候变化对珍稀濒危植物分布范围的影响	67
4.3 气候变化对物种多样性的影响	68
4.4 气候变化对自然保护区的影响	69
4.5 生物多样性保护适应对策	74
参考文献	76
第5章 气候变化条件下西南森林火灾潜在风险与适应对策	79
5.1 火险天气指数介绍	79
5.2 西南林区卫星监测热点及森林火险天气指数分析	80
5.2.1 数据来源与研究方法	80
5.2.2 结果分析	80
5.3 1958~2007年云南省森林火险变化分析	82
5.3.1 研究区概况与研究方法	82
5.3.2 结果分析	83
5.4 极端气候事件对可燃物的影响——以2008年川南雨雪冰冻灾害为例	83
5.4.1 研究区概况与研究方法	83
5.4.2 森林受害程度	84
5.4.3 各类可燃物变化	84
5.4.4 可燃物空间分布变化	85
5.5 未来气候变化条件下西南林区森林火险分析	85
5.5.1 数据来源与处理方法	86
5.5.2 气候变化对西南地区森林火险的影响	86
5.6 西南林区适应气候变化的森林防火对策建议	94
参考文献	96
第6章 适应技术措施与效果分析	99
6.1 草地畜牧业	99
6.1.1 综合适应技术总结	99
6.1.2 农牧结合提高载畜能力适应气候变化	102
6.1.3 适应技术的效果分析	104
6.2 生物多样性保护	106

6.2.1 生物多样性保护适应气候变化的技术对策	106
6.2.2 已经采取的适应技术总结	109
6.2.3 未来适应技术选择	111
6.2.4 典型自然保护区适应技术措施与效果分析	113
6.3 人体健康	115
参考文献	118
第 7 章 成果总结与展望	119
7.1 主要成果	119
7.1.1 高分辨率气候情景的构建与应用	119
7.1.2 未来气候变化的影响评估	119
7.1.3 适应对策与技术	121
7.2 综合研究发现：气候变化“边缘适应”概念的提出	123
7.3 研究不足与存在问题	127
7.4 对未来研究工作的建议	129
参考文献	131
名词解释.....	133
英文缩略语.....	136

第 1 章 中国高分辨率气候情景的构建与应用

自工业革命以来，全球气候持续变暖，气候变化的影响日益显著。与全球变暖的整体趋势相对应，中国的气候亦发生了明显的变化。1951~2009 年观测到的中国陆地表面平均温度上升了 1.38℃，增温速率约为 0.23℃/10a。20 世纪 50 年代以来，全国降水量时空变化特征明显，其中华北、东北地区降水减少，干旱加剧，而南方和西部地区降水量则呈总体增加趋势（《第二次气候变化国家评估报告》编写委员会，2011）。气候变化影响人类赖以生存的自然生态系统，威胁生物多样性与人体健康。

对于已经发生的气候变化的影响，可以利用气候的观测记录资料进行检测和归因分析，但要分析未来气候变化的影响，则需对未来气候可能的变化趋势做出合理的预测估计。全球气候模式 (GCM) 是构建未来气候情景并进行气候变化分析的有效工具，但由于计算机资源的限制，目前 GCM 产生的气候情景数据的水平分辨率还比较低（一般为几百公里），因此，当应用 GCM 生成的气候情景进行区域水平的气候变化影响评估时，需要通过降尺度分析方法添加局地的信息。本章介绍利用区域气候模式 (RCM) 系统 PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies) (Jones *et al.*, 2004) 构建中国高分辨率 (50km) 的基于 SRES (Special Report on Emissions Scenarios) (Nakićenović *et al.*, 2000) 社会经济发展假设的 A2、B2 和 A1B 温室气体排放情景下的至 2100 年的气候情景，给出未来 2080s 时段 (2071~2100) 相对于气候基准时段 (1961~1990) 的地面气温和降水的变化结果，探讨运用 PRECIS 进行动力降尺度模拟的气候情景直接输出结果的订正方法及效果，为本书的气候变化影响评估奠定气候情景数据与方法论的基础。

1.1 构建气候情景的进程

国际上，由世界气象组织 (WMO) 和联合国环境规划署 (UNEP) 联合成立的“政府间气候变化专门委员会” (IPCC)，已经发布了 4 次有关气候变化的科学及其影响评估的报告 (IPCC, 1990, 1992, 1996, 2001, 2007)，其中对于未来气候变化的影响评估，首先构建温室气体的排放情景，基于温室气体排放情景构建未来气候情景，然后应用构建的气候情景评估未来气候变化的影响和适应措施。温室气体排放情景的构建经历了 1990 年最初设计的 A、B、C、D 情景 (IPCC, 1990)，1992 年的 IS92 情景 (IPCC, 1992)，2000 年基于社会经济发展假设的 SRES 情景和当前构建的有代表性的排放路径 (RCPs) 情景 (Moss *et al.*, 2008)。气候情景的构建从最初采用 CO₂ 浓度倍增情景，到采用温室气体浓度渐进递增的 IS92 情景，再到 SRES 情景和当前的 RCPs 情景。IPCC 构建温室气体排放情景与气候情景的工作情况概要介绍如表 1.1 所示。可以看出，构建气候情景的模型从最初的大气环流模

表 1.1 IPCC 构建温室气体排放情景与气候情景概要

温室气体排放情景	报告	构建气候情景所采用的温室气体排放情景	全球升温水平	气候情景预估模式进展
IPCC 1990 排放情景 (IPCC, 1990), 包括 A、B、C、D 四种情景, 其中 A 情景 (Business-as-Usual, 又称 SA90) 为不采取减排措施的照常排放情景, B、C、D 三种情景只考虑对温室气体的排放分别采取不同的控制措施	FAR ³ (IPCC, 1990)	CO ₂ 浓度倍增情景	1.9~5.2℃ ¹ (CO ₂ 浓度倍增时)	利用大气环流模式与海气耦合模式对未来气候进行情景预估
		IPCC 1990 Scenario A~D	0.8~3.8℃ ² (至 2100 年)	
		CO ₂ 浓度递增情景 (1%/a, 包括线性递增与累积递增两种方式)	~3.3℃ [CO ₂ 浓度倍增时 (线性递增)]	
IS92 排放情景 (IPCC, 1992) 包括 a~f 六种情景, 分别假设“高”、“中”、“低”的人口和经济增长并考虑温室气体和气溶胶的不同排放预测; 其中 IS92a 作为参照情景最为常用	FAR Suppl. ⁴ (IPCC, 1992)	IS92 a~f	1.5~3.5℃ (至 2100 年)	利用统计降尺度法构建区域气候情景
	SAR ⁵ (IPCC, 1996)	IS92 a~f CO ₂ 浓度递增情景 (0.25%/a, 0.5%/a, 1%/a, 2%/a, 4%/a)	IS92 a~f: 0.9~3.5℃ (至 2100 年) CO ₂ 浓度递增情景: 1.5~2.6℃ (CO ₂ 浓度倍增时)	首次利用大气、海洋、陆地与海冰的多耦合模式进行预估; 在模拟的过程中不仅考虑 CO ₂ 浓度上升, 还考虑了气溶胶的影响; 利用统计降尺度与区域气候模式 (RCM) 进行预估
SRES 排放情景 (Nakićenović <i>et al.</i> , 2000), 包括四个情景族: A1 情景族又分为化石燃料密集型 (A1FI)、非化石燃料能源 (A1T), 以及各种能源平衡 (A1B) 三种情景; A2 情景强调区域性的经济与社会发展; B1 情景强调全球趋同的经济、社会与环境可持续发展; B2 情景强调区域性经济、社会和环境的可持续发展	TAR ⁶ (IPCC, 2001)	SRES A1B, A1FI, A1T, A2, B1, B2 与 IS92a、c、e	IS92 与 SRES: 1.4~5.8℃ (至 2100 年)	首次利用多个 GCM 进行集合预估; RCM 对温度与降水的模拟偏差得到减小; RCM 嵌套技术得到明显改进; 更多的 RCM 被应用于构建区域气候情景
	AR4 ⁷ (IPCC, 2007)	SRES A1B, A1FI, A1T, A2, B1, B2 与稳定在 2000 年 CO ₂ 浓度水平	稳定在 2000 年 CO ₂ 浓度水平: 0.3~0.9℃ (至 2100 年) SRES: 1.1~6.4℃ (至 2100 年)	参与集合预估的全球气候模式达到 23 个; 模式具有更高的分辨率, 模拟能力得到进一步改善; 基于 RCM 预估结果对各大洲的未来气候变化进行了分析; 降尺度技术日趋成熟, 应用领域越来越广泛
RCPs 路径 (有代表性的浓度路径) (Moss <i>et al.</i> , 2008), 包括四种情景, RCP8.5、RCP6、RCP4.5 三种情景分别假设到 2100 年其辐射强迫达到 8.5W/m ² 、6W/m ² 和 4.5W/m ² , RCP3-PD 假设其辐射强迫在 2100 年之前达到约 3W/m ² 峰值后下降	AR5 ⁸	RCP8.5、RCP6、RCP4.5、RCP2.6 (Taylor <i>et al.</i> , 2011) 等		耦合模式比较计划第五阶段 (CMIP5) 基于 RCPs 情景进行气候情景预估, 参与的 GCM 达到 60 多个

¹ CO₂ 浓度倍增情景: 在 GCM 中把 CO₂ 浓度增加到工业化之前的 2 倍, 然后积分到模式平衡态。

² CO₂ 浓度递增情景: CO₂ 以每年一定的速率渐进递增。

³ FAR: IPCC 第一次科学评估报告。

⁴ FAR Suppl.: IPCC 第一次科学评估报告的补充报告。

⁵ SAR: IPCC 第二次评估报告。

⁶ TAR: IPCC 第三次评估报告。

⁷ AR4: IPCC 第四次评估报告。

⁸ AR5: IPCC 第五次评估报告。

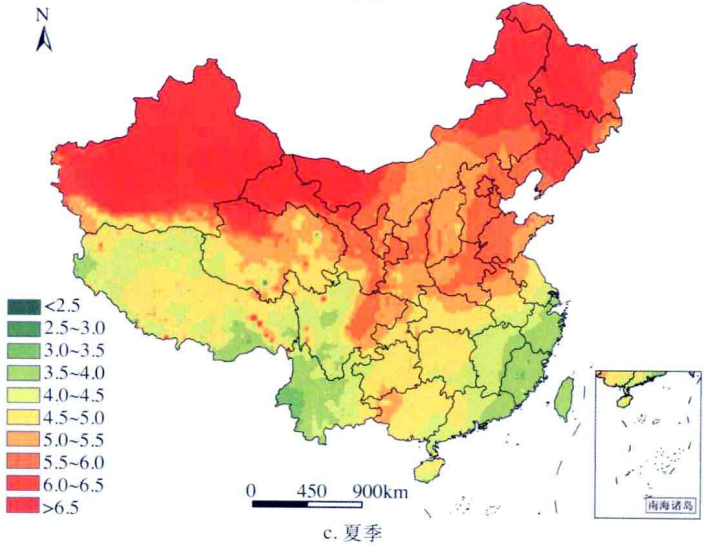
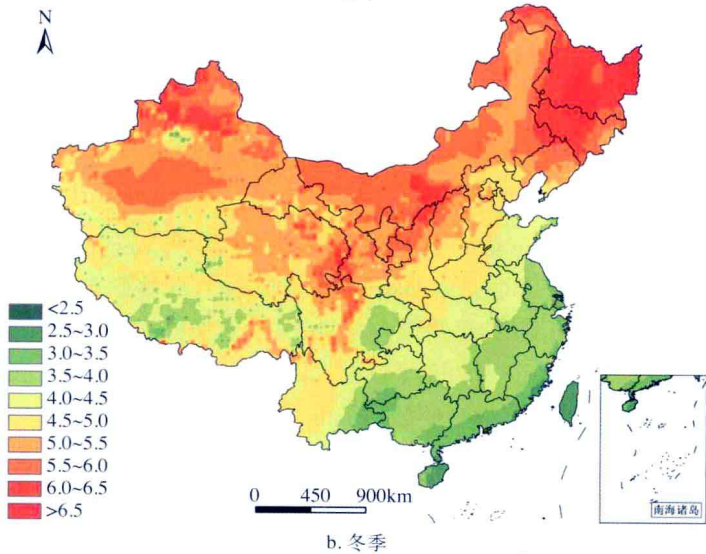
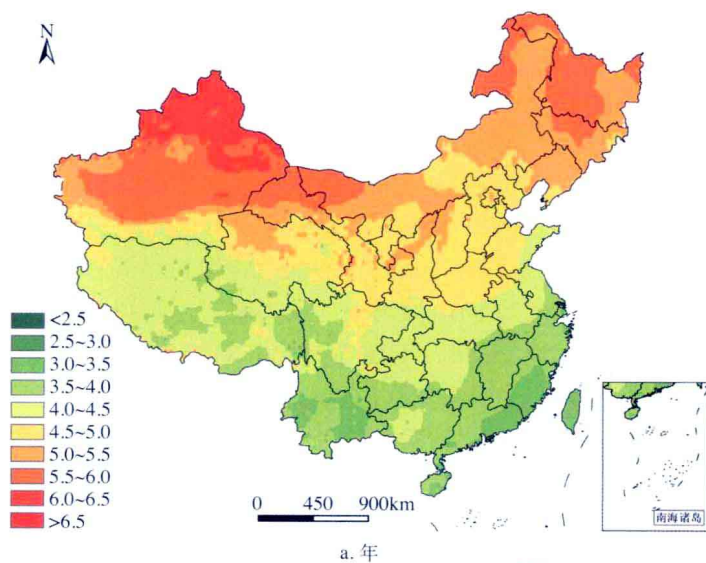
式和少数几个海气耦合模式 GCM, 到更多 (AR4 参与集合预估的全球气候模式达到 23 个)、更高分辨率、包含复杂的物理与生物地球化学过程的 GCM 的应用, 模拟能力不断改善, RCM 降尺度分析技术日趋成熟并广泛应用。由于现阶段计算机资源与技术的制约, 大部分 GCM 的空间分辨率还比较低, 尚不能很好地表达复杂地形的区域气候特征。因此, 基于 GCM 模拟的气候情景预估结果评估区域气候变化的影响, 需要进行降尺度分析。IPCC 从第二次评估报告 (IPCC, 1996) 开始应用动力学的降尺度分析技术, 目前比较通行的动力学降尺度分析方法是以较低分辨率的 GCM 模拟结果作为初始场和边界条件, 单向嵌套运行 RCM 获得高分辨率的模拟结果。动力降尺度可以捕捉到较小尺度的非线性作用, 得到相对可靠的区域模拟结果, 能够有效弥补 GCM 分辨率不足的缺陷, 从而改善 GCM 对区域气候的模拟效果。中国学者高学杰等应用 RegCM 系列区域气候模式, 进行了大量的中国地区高分辨率气候变化情景预估及分析工作 (Gao *et al.*, 2001, 2002; 高学杰等, 2003a, 2003b, 2010, 2012; 石英等, 2010)。本章主要介绍应用 PRECIS 构建中国高分辨率气候情景的工作。

1.2 PRECIS 模拟的 SRES 情景下未来温度和降水的变化

PRECIS 是英国气象局 Hadley 气候中心发展的区域气候模式系统 (Jones *et al.*, 2004), 其主要目的—是发展区域水平的、高分辨率的气候情景, 二是为影响评估工作提供高分辨率的气候情景数据。本章的情景数据由全球气候模式 HadCM3 或其大气部分 HadAM3P 的模拟结果驱动 PRECIS 生成。HadCM3 模拟能力直接影响到 PRECIS 的模拟效果。已有不少学者对多个 GCM 在东亚的模拟能力进行了验证和比较 (姜大膀等, 2004; 许崇海等, 2007, 2010a, 2010b; 刘敏和江志红, 2009)。结果表明, 在众多的 GCM 中, HadCM3 能够较好地模拟东亚地区的季风气候特征。

PRECIS 已经成功地在欧洲 (Bartholy *et al.*, 2009), 南美洲 (Alves and Marengo, 2010), 中美洲 (Karmalkar *et al.*, 2011), 北美洲 (Duliere *et al.*, 2011), 地中海地区 (Kotroni *et al.*, 2008), 南亚的印度 (Bhaskaran *et al.*, 2012)、孟加拉 (Islam *et al.*, 2008)、巴基斯坦 (Ul Islam *et al.*, 2009) 等, 中东地区 (Black *et al.*, 2010), 非洲南部 (Tadross *et al.*, 2005) 和西部 (Moufouma-Okia and Rowell, 2010), 以及俄罗斯 (Shahgedanova *et al.*, 2010) 等进行了区域气候情景的模拟试验。PRECIS 系统自 2003 年引入中国, 用来构建中国区域高分辨率的气候情景。在以往发表的文献中, 已对 PRECIS 对中国区域气候的模拟能力进行了验证 (许吟隆和 Richard Jones, 2004; 许吟隆等, 2006; 王芳栋等, 2010), 其产生的部分情景数据并应用于农业 (陶福祿等, 2000; 熊伟等, 2005a, 2005b; 居輝等, 2005; 张建平, 2007)、林业 (朱建华等, 2009; 李剑泉等, 2010; 田晓瑞等, 2012)、水文与水资源 (袁飞等, 2005; 刘浏等, 2010; 陈豫英等, 2011)、生态系统 (吴建国和吕佳佳, 2009; 吴建国, 2010, 2011a, 2011b; 赵东升等, 2011; 石晓丽等, 2011)、人体健康 (杨坤等, 2010) 等领域的影响评估。

本节主要分析在 SRES A2、B2 以及 A1B 情景下 PRECIS 模拟的中国区域 21 世纪 2080s 时段年、冬季和夏季平均气温和降水相对于 1961~1990 年时段的变化。PRECIS 在



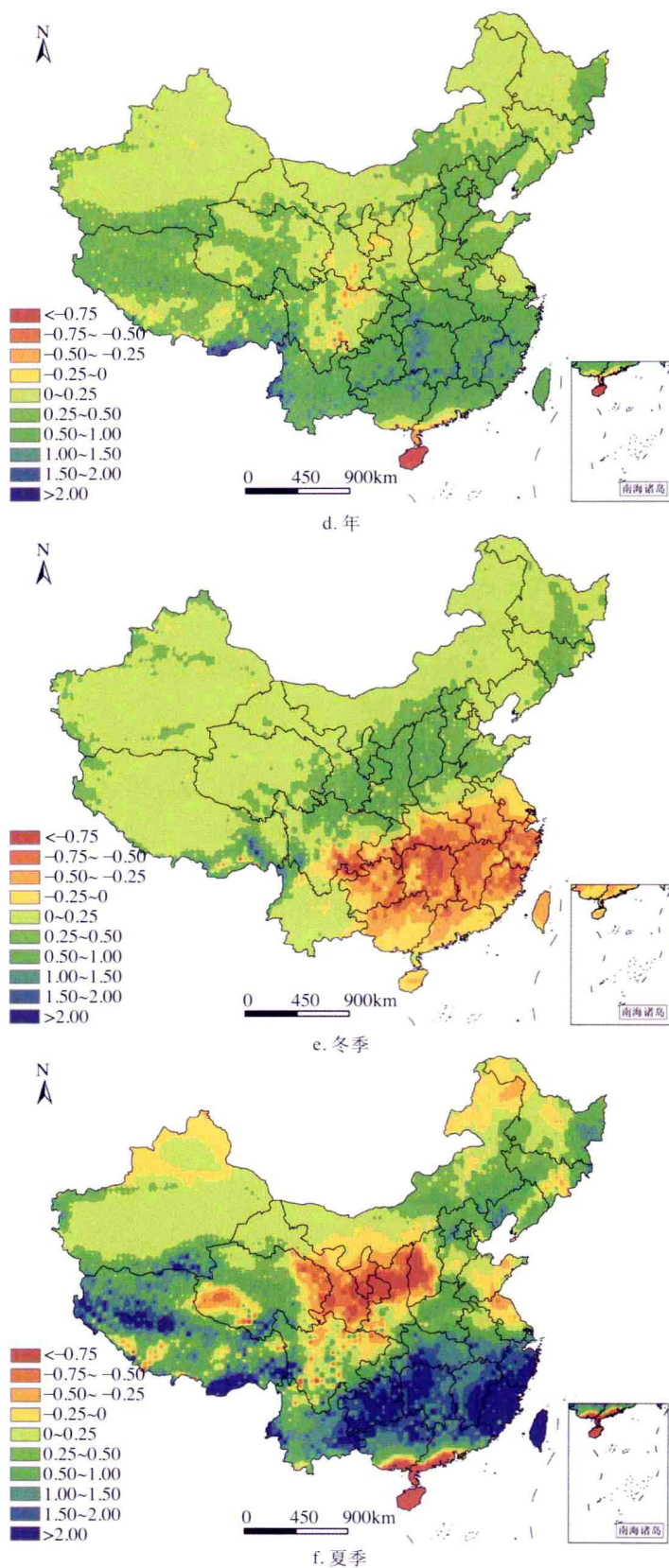


图 1.1 SRES A2 情景下中国区域 2080s 平均气温 (a, b, c) 和平均降水量 (d, e, f) 相对于 1961~1990 年基准时段的变化 (温度单位: $^{\circ}\text{C}$; 降水单位: mm/d)