

“十二五”国家科技支撑计划项目

重点领域气候变化影响与风险丛书

气候变化影响与风险

气候变化对森林影响 与风险研究

尹云鹤 邵雪梅 田晓瑞 等 著



科学出版社

重点领域气候变化影响与风险丛书

气候变化影响与风险

气候变化对森林影响与风险研究

尹云鹤 邵雪梅 田晓瑞 等 著

“十二五”国家科技支撑计划项目

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书针对森林领域的气候变化影响与风险问题,基于大量多源数据和野外调查资料,通过构建气候变化影响与分离技术体系,识别过去50年以来气候变化对中国森林结构、功能、林火及有害生物的影响,定量分离关键气候要素变化对森林的影响程度和区域差异。通过建立森林的气候变化风险评估技术,结合多气候模式和气候情景分析,评估未来30年气候变化对我国森林的影响,阐明气候变化的风险等级与空间格局,并提出中国森林适应气候变化技术重点,为保障国家生态安全,适应气候变化提供科技支撑。

本书可供地理科学、生态学、全球变化等领域的研究者、高等院校相关专业师生,以及从事风险管理和林业管理的相关人员等参考。

图书在版编目(CIP)数据

气候变化影响与风险:气候变化对森林影响与风险研究/尹云鹤等著.
—北京:科学出版社,2017.7

(重点领域气候变化影响与风险丛书)

ISBN 978-7-03-053879-6

I.①气… II.①尹… III.①气候变化—影响—森林生态系统—研究
IV.①S718.55

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第142354号

责任编辑:万峰 朱海燕 / 责任校对:王晓茜

责任印制:肖兴 / 封面设计:北京图阅盛世文化传媒有限公司

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年7月第一版 开本:787×1092 1/16

2017年7月第一次印刷 印张:19 1/4

字数:438 000

定价:139.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《重点领域气候变化影响与风险丛书》编委会

主 编 吴绍洪

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

丁文广 凌铁军 刘时银 吕宪国

马 欣 潘根兴 潘 韬 吴建国

吴绍洪 辛晓平 严登华 杨志勇

尹云鹤 张九天

总 序

气候变化是当今人类社会面临的最严重的环境问题之一。自工业革命以来，人类活动不断加剧，大量消耗化石燃料，过度开垦森林、草地和湿地土地资源等，导致全球大气中 CO₂ 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。政府间气候变化专门委员会（IPCC）第五次评估报告显示，1880~2012 年，全球海陆表面平均温度呈线性上升趋势，升高了 0.85℃；2003~2012 年平均温度比 1850~1900 年平均温度上升了 0.78℃。全球已有气候变化影响研究显示，气候变化对自然环境和生态系统的影响广泛而又深远，如冰冻圈的退缩及其相伴而生的冰川湖泊的扩张；冰雪补给河流径流增加、许多河湖由于水温增加而影响水系统改变；陆地生态系统中春季植物返青、树木发芽、鸟类迁徙和产卵提前，动植物物种向两极和高海拔地区推移等。研究还表明，如果未来气温升高 1.5~2.5℃，全球目前所评估的 20%~30% 的生物物种灭绝的风险将增大，生态系统结构、功能、物种的地理分布范围等可能出现重大变化。由于海平面上升，海岸带环境会有较大风险，盐沼和红树林等海岸湿地受海平面上升的不利影响，珊瑚受气温上升影响更加脆弱。

中国是受气候变化影响最严重的国家之一，生态环境与社会经济的各个方面，特别是农业生产、生态系统、生物多样性、水资源、冰川、海岸带、沙漠化等领域受到的影响显著，对国家粮食安全、水资源安全、生态安全保障构成重大威胁。因此，我国《国民经济和社会发展的第十二个五年规划纲要》中指出，在生产布局、基础设施、重大项目规划设计和建设中，需要充分考虑气候变化因素。自然环境和生态系统是整个国民经济持续、快速、健康发展的基础，在国家经济建设和可持续发展中具有不可替代的地位。伴随着气候变化对自然环境和生态系统重点领域产生的直接或间接不利影响，我国社会经济可持续发展面临着越来越紧迫的挑战。中国正处于经济快速发展的关键阶段，气候变化和极端气候事件增加，与气候变化相关的生态环境问题越来越突出，自然灾害发生频率和强度加剧，给中国社会经济发展带来诸多挑战，对人民生活质量乃至民族的生存构成严重威胁。

应对气候变化行动，需要对气候变化影响、风险及其时空格局有全面、系统、综合的认识。2014 年 3 月政府间气候变化专门委员会正式发布的第五次评估第二工作组报告《气候变化 2014：影响、适应和脆弱性》基于大量的最新科学研究成果，以气候风险管理为切入点，系统评估了气候变化对全球和区域水资源、生态系统、粮食生产和人类健康等自然系统和人类社会的影响，分析了未来气候变化的可能影响和风险，进而从风险管理的角度出发，强调了通过适应和减缓气候变化，推动建立具有恢复力的可持续发展社会的重要性。需要特别指出的是，在此之前，由 IPCC 第一工作组和第二工作组联合发布的《管理极端事件和灾害风险推进气候变化适应》特别报告也重点强调了风险管理

对气候变化的重要性。然而，我国以往研究由于资料、模型方法、时空尺度缺乏可比性，导致目前尚未形成对气候变化对我国重点领域影响与风险的整体认识。《气候变化国家评估报告》、《气候变化国家科学报告》和《气候变化国家信息通报》的评估结果显示，目前我国气候变化影响与风险研究比较分散，对过去影响评估较少，未来风险评估薄弱，气候变化影响、脆弱性和风险的综合评估技术方法落后，更缺乏全国尺度多领域的系统综合评估。

气候变化影响和风险评估的另外一个重要难点是如何定量分离气候与非气候因素的影响，这个问题也是制约适应行动有效开展的重要瓶颈。由于气候变化影响的复杂性，同时受认识水平和分析工具的限制，目前的研究结果并未有效分离出气候变化的影响，导致我国对气候变化影响的评价存在较大的不确定性，难以形成对气候变化影响的统一认识，给适应气候变化技术研发与政策措施制定带来巨大的障碍，严重制约着应对气候变化行动的实施与效果，迫切需要开展气候与非气候影响因素的分离研究，客观认识气候变化的影响与风险。

鉴于此，科技部接受国内相关科研和高校单位的专家建议，酝酿确立了“十二五”应对气候变化主题的国家科技支撑计划项目。中国科学院作为全国气候变化研究的重要力量，组织了由地理科学与资源研究所作为牵头单位，中国环境科学研究院、中国林业科学研究院、中国农业科学院、国家海洋环境预报中心、兰州大学等 16 家全国高校、研究所参加的一支长期活跃在气候变化领域的专业科研队伍。经过严格的项目征集、建议、可行性论证、部长会议等环节，“十二五”国家科技支撑计划项目“重点领域气候变化影响与风险评估技术研发与应用”于 2012 年 1 月正式启动实施。

项目实施过程中，这支队伍兢兢业业、协同攻关，在重点领域气候变化影响评估与风险预估关键技术研发与集成方面开展了大量工作，从全国尺度，比较系统、定量地评估了过去 50 年气候变化对我国重点领域影响的程度和范围，包括农业生产、森林、草地与湿地生态系统、生物多样性、水资源、冰川、海岸带、沙漠化等对气候变化敏感，并关系到国家社会经济可持续发展的重点领域，初步定量分离了气候和非气候因素的影响，基本揭示了过去 50 年气候变化对各重点领域的影晌程度及其区域差异；初步发展了中国气候变化风险评估关键技术，预估了未来 30 年多模式多情景气候变化下，不同升温程度对中国重点领域的可能影响和风险。

基于上述研究成果，本项目形成了一系列科技专著。值此“十二五”收官、“十三五”即将开局之际，本系列专著的发表为进一步实施适应气候变化行动奠定了坚实的基础，可为国家应对气候变化宏观政策制定、环境外交与气候谈判、保障国家粮食、水资源及生态安全，以及促进社会经济可持续发展提供重要的科技支撑。



2016 年 5 月

前 言

气候变化影响与风险是世界各国政府和学者共同关心和探讨的热点问题，是人类社会面临的共同挑战。目前，中国正处于经济快速发展的关键阶段，气候变化和极端气候事件增加，与气候变化相关的生态环境问题愈来愈突出，自然灾害发生频率和强度加剧，给中国社会经济发展带来诸多挑战，甚至对人类生存构成严峻威胁。在人类活动和气候变化的直接或间接的影响下，森林生态系统空间分布格局、森林与大气的物质和能量交换等自然过程等发生了改变。森林生态系统发生变化而造成的严重后果，不仅危及当地人民的生存发展，而且对中国生态安全和社会经济可持续发展构成的潜在威胁也不容忽视。

鉴于此，在实现经济社会发展目标的同时，必须认识到中国正在并将不断受到气候变化的多方位的影响，森林作为陆地生态系统的重要组成部分，不利影响和面临的风险更为突出。选择森林作为研究领域之一开展气候变化影响与风险的关键技术研发与应用研究，对于保障国家生态安全，支撑社会经济可持续发展，实现人与自然和谐发展具有重要意义。科学实施国家应对气候变化行动方案，需要在已检测的变化趋势中分离气候与非气候影响，明确气候变化对森林生态系统的影响程度；评估未来气候变化影响下森林生态系统面临风险，是国家调整森林管理政策、建立相应适应机制与措施应对气候变化的迫切需求。

揭示中国森林结构与功能的动态变化，评估气候变化对森林的影响与风险，是全球变化领域的重要研究内容。气候变化影响着森林生态系统的物候、类型分布、树种组成、结构功能、生产力和碳库等，这些影响既有负面消极的也有正面积极的，是较为复杂的过程。然而，由于气候变化的不确定性，森林生态系统的复杂性，不同地区和类型的森林对气候变化表现出不同的反馈作用和适应能力，再加上气候变化、人类活动和植被演替生长等过程之间复杂的非线性相互作用，以及人们认识上的局限性，目前气候变化影响与风险评估仍然处在探索研究之中，尚存在着不确定性大、难以量化等不足之处。迫切需要进一步完善和提高气候变化对森林的影响与风险评估的理论、技术和方法，定量分析气候变化对森林的影响，揭示气候变化所致的风险。

作为“十二五”国家科技支撑计划项目“综合气候变化影响与风险时空格局评估技术”之第二课题的研究成果总结，我们撰写了《气候变化影响与风险气候变化对森林影响与风险研究》一书。本书根据过去 50 年以来大量资料和实测数据，系统评估了中国森林空间分布、结构、功能、林火和有害生物的变化特征和区域差异，构建了气候变化影响评估与定量分离技术体系，全面深入地阐明了过去气候变化对森林的影响程度和范围；根据未来多气候模式多情景数据，预估了未来 30 年气候变化下我国森林的动态变化，以及不同升温程度对森林的影响特征；建立了气候变化风险评估指标、标准和等级，评

估了未来气候变化影响下森林生态系统面临风险。本书的出版可为气候变化背景下的森林管理和未来风险防范，以及科学实施国家应对气候变化行动方案提供部分决策参考依据。

全书共分8章，各章节按照拟订的撰写大纲分别起草、撰写，经过修改后再予定稿。各章的主要执笔人如下：第1章为尹云鹤、田晓瑞、邵雪梅；第2章为尹云鹤、马丹阳；第3章为邵雪梅、方欧娅；第4章为尹云鹤、马丹阳、邓浩宇；第5章为田晓瑞；第6章为王鸿斌；第7章为尹云鹤、田晓瑞、马丹阳；第8章为尹云鹤、田晓瑞。参加本书撰写的主要人员还包括刘斌、苗庆林、袁玉娟等。本次出版过程得到了“十二五”国家科技支撑计划资助，使这项成果能够顺利与读者见面。科学出版社在书稿的编写和修订过程中提出了宝贵意见。在此表示衷心感谢。限于水平，本书难免有疏漏和不足之处，我们殷切期望学术界的同行和广大读者不吝给予批评指正，以促进气候变化对森林影响与风险研究领域理论和实践的发展与应用。

尹云鹤

2016年5月

目 录

总序
前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究气候变化对森林的影响与风险的意义	1
1.2 气候变化对森林影响评估研究进展	6
1.3 森林的气候变化风险评估研究进展	16
1.4 小结	18
参考文献	19
第 2 章 气候变化对森林叶面积指数的影响	28
2.1 过去 30 年中国森林 LAI 变化特征	28
2.2 气候与非气候因素对中国森林的影响分离	44
2.3 过去 30 年气候变化对森林 LAI 的影响	55
2.4 小结	79
参考文献	80
第 3 章 气候变化对典型森林群落及主要树种生物量和生产力的影响	84
3.1 利用树轮宽度提取森林群落生物量和生产力的方法	84
3.2 气候变化对森林生产力影响评估技术	92
3.3 气候变化对长白山阔叶红松林生物量和生产力的影响	95
3.4 气候变化对小兴安岭红松林生物量和生产力的影响	117
3.5 气候变化对大兴安岭森林生物量和生产力的影响	136
3.6 气候变化对秦岭森林生物量和生产力的影响	155
3.7 气候变化对典型树种 NPP 影响的区域差异	161
3.8 小结	164
参考文献	165
第 4 章 气候变化对中国森林净初级生产力的影响	167
4.1 中国森林净初级生产力及其时空格局	167
4.2 气候变化对森林影响评估模型	174
4.3 未来气候变化对中国森林净初级生产力的影响	177
4.4 小结	189
参考文献	189

第 5 章 气候变化对林火的影响	191
5.1 中国林火动态特征.....	191
5.2 过去气候变化对林火的影响.....	203
5.3 气候变化对森林火险的影响.....	219
5.4 森林燃烧概率模型.....	225
5.5 基于燃烧概率模型的未来气候变化影响评估.....	229
5.6 小结.....	245
参考文献.....	246
第 6 章 气候变化对森林有害生物的影响	251
6.1 中国森林有害生物灾害的动态变化特征.....	251
6.2 气候变化对马尾松毛虫的影响.....	255
6.3 气候变化对美国白蛾的影响.....	263
6.4 小结.....	269
参考文献.....	269
第 7 章 中国森林的未来气候变化风险评估	272
7.1 风险评估技术框架.....	272
7.2 森林生产力的气候变化风险评估.....	278
7.3 森林火灾风险评估.....	286
7.4 中国森林的气候变化风险评估.....	289
7.5 小结.....	290
参考文献.....	291
第 8 章 研究展望	293
8.1 气候变化影响与风险评估.....	293
8.2 气候变化适应技术.....	294

第1章 绪论

森林是陆地生态系统的关键组成部分，全球森林覆盖大约 31% 的地球陆地表面 (FAO, 2010)。作为人类赖以生存和发展的重要物质基础，森林具有较高物质生产力，并具有涵养水源、防风固沙、保持水土等生态防护功能及净化空气等社会公益功能 (孙鸿烈, 2000)。同时，森林具有丰富的物种多样性，也是许多特有物种栖息地的典型生态系统 (Persha et al., 2011)。森林储存了陆地生态系统中 50%~60% 的碳，年碳吸收总量大致相当于化石燃料碳排放的 1/2 (Pan et al., 2011)。中国森林覆盖率达 21.63%，森林植被总碳储量 84.27 亿 t，人工林面积继续保持世界首位 (国家林业局, 2014)。森林丰富的碳储量和强大的碳汇作用将对全球碳循环产生重要的影响，为降低温室气体浓度、应对气候变化提供了可能。

气候变化影响与风险是全球变化研究领域的中心议题，是人类社会面临的共同挑战。气候变化以其无处不在的影响和潜在的灾难性损失，对生态系统与社会经济的各个方面构成了巨大威胁和严峻挑战，气候变化的不利影响日益凸显 (Barnett, 2003; 刘燕华等, 2006; IPCC, 2014; 第三次气候变化国家评估报告编写委员会, 2015)。对于森林生态系统而言，气候变化的影响尤为复杂多样。在人类活动和气候变化的直接或间接的影响下，中国森林生态系统空间分布格局、森林与大气的物质和能量交换等自然过程等发生了改变。明晰森林结构与功能的动态变化，评价森林对气候变化的响应及适应，是全球变化领域的重要研究内容。研究生态系统变化状况并揭示生态系统变化规律等是生态文明建设的科学基础 (李文华, 2013)。鉴于此，阐明气候变化对中国区域森林的影响与风险具有重要意义，应给予高度重视。但是由于森林生态系统的复杂性、气候变化的不确定性以及认识水平上的局限性，有关气候变化对森林影响的过程及程度仍然存在着较大的分歧与不确定性，迫切需要准确描述森林植被的生长动态和生物物理过程及其响应机制，定量分析气候变化对森林的影响，揭示气候变化的潜在风险。

本章主要概述气候变化对中国森林的影响与风险研究的目的与重要意义，简要介绍国内外气候变化对森林的影响与风险的研究进展。

1.1 研究气候变化对森林的影响与风险的意义

1.1.1 保障国家生态安全，支撑社会经济可持续发展

森林是国家的重要资源，林业是国民经济的一个重要组成部分。中国地域幅员辽阔，

自然条件复杂，植物种类繁多，森林资源丰富，林业发展较快。根据第八次全国森林资源清查结果（2009~2013年），全国森林面积 2.08 亿 hm^2 ，森林覆盖率 21.63%；林地总面积 3.10 亿 hm^2 ，其中有林地 1.91 亿 hm^2 ，疏林地 401 万 hm^2 ，灌木林地 5590 万 hm^2 ；活立木总蓄积 164.33 亿 m^3 ，其中森林蓄积 151.37 亿 m^3 ；森林面积和森林蓄积分别居世界第 5 位和第 6 位，人工林面积仍居世界首位。随着森林总量增加和质量提高，森林生态功能进一步增强。全国森林植被总生物量 170.02 亿 t，总碳储量 84.27 亿 t。森林年涵养水源量 58.07 百亿 m^3 ，年固土量 81.91 亿 t，年保肥量 4.30 亿 t，年吸收污染物量 0.38 亿 t，年滞尘量 58.45 亿 t。总体上，中国森林资源呈现出数量持续增加、质量稳步提升、效能不断增强的良好发展趋势。

中国幅员辽阔，自然地理、气候条件和社会发展历程决定了我国森林分布的基本格局（图 1.1）。我国天然林主要分布在东北部和西南高山林区，人工林主要分布在华南和华东地区。东北、内蒙古林区天然林面积占全国天然林总面积的 29.78%，西南高山林区占 23.84%，蓄积分别占 28.32%和 45.56%。人工林主要集中在东南低山丘陵林区，其面积占全国的 41.33%，蓄积占 44.87%（张煜星，2008）。



图 1.1 中国森林分布图（国家林业局，2014）

我国有 40% 的林地质量好，主要分布在南方和东北东部；质量中等（占 38%）的林地主要分布在中部和东北西部；质量差（占 22%）的林地主要分布在西北、华北干旱地区和青藏高原（第八次全国森林资源清查主要结果）。

森林的分布与温度、降水、地形、土壤等条件的变化相适应。不同的自然条件和多样的森林植物形成森林类型丰富多样。中国拥有多种森林类型，包括针叶林、针阔叶混

交林、落叶阔叶林、常绿阔叶林和热带雨林等类型。据《中国植被》(中国植被编辑委员会, 1980)对天然乔灌木的分类,我国共有森林 210 个群系、竹林 36 个群系、灌木与灌丛(不含半灌丛及草丛) 94 个群系。我国森林大概可以分成大兴安岭北部寒温带落叶针叶林,东北、华北温带落叶阔叶林,华中、西南常绿阔叶林,华南、西南热带雨林、季雨林四个区域(吴征镒, 1980)。森林生态系统功能是森林生态系统与生态过程所形成及维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用,主要包括森林在涵养水源、保育土壤、固碳释氧、积累营养物质、净化大气环境、森林防护、生物多样性保护和森林游憩等方面提供的生态功能(王兵等, 2008)。

IPCC 第五次评估报告指出:1880~2012 年全球平均地表温度升高了 0.85 (0.65~1.06) °C,过去 3 个 10 年的地表已连续偏暖于 1850 年以来的任何时期,1982~2012 年可能是北半球过去 1400 年中最暖的 30 年,极端天气气候事件的频率和强度可能在增加;大气中 CO₂ 等温室气体的浓度上升到前所未有的水平(IPCC, 2013)。

根据《第三次气候变化国家评估报告》(第三次气候变化国家评估报告编写委员会, 2015),最近 60 年中国区域年平均气温上升速率约为 0.21~0.25 °C/10a,增温率高于全球水平,除四川盆地和云贵高原北部有较小的气温下降趋势外,中国大部分地区的地面气温呈现上升趋势。20 世纪 50 年代以来,气候变暖在北方和青藏高原的冬季、春季和秋季更明显,江淮地区的夏季和西南地区的春季变暖趋势较弱。近 60 年全国平均年降水量均未见显著的趋势性变化,但具有明显的年际变化与区域分布差异。20 世纪 90 年代以来我国年降水量年际变异性增大。近 50 年降水的变化存在明显的地域差异,总体上东部季风区自 20 世纪 70 年代末表现为南涝北旱降水型,而西部干旱和半干旱地区近 30 年变湿,降水呈持续增加趋势。

气候变化可通过水热因子胁迫、物候变化等途径,影响森林生态系统的组成和结构、功能及森林火灾和有害生物发生与发展。《第三次气候变化国家评估报告》(第三次气候变化国家评估报告编写委员会, 2015)指出,中国森林生态系统因气候变化而产生树种分布向北向高转移、物候期提前、生产力和碳吸收增加、林火和森林病虫害加剧等结果。

火灾是影响森林生态系统的最重要的灾害,随着全球气候变化,许多区域都观测到森林火灾呈现明显的上升趋势。近年来,世界各地森林大火不断,如 2006 年澳大利亚森林发生了 70 年来最严重的森林火灾,过火面积超过 84.7 万 hm²。2010 年 6 月俄罗斯森林大火过火面积超过 90 万 hm²,造成 61 人死亡、500 多人受伤,超过 4000 间房屋被毁,近 10 万人转移,直接扑火费用超过 4 亿美元,经济损失超过 300 亿美元,潜在损失 3000 亿美元。过去 60 多年中,中国的森林火灾比较严重,特别是 1987 年大兴安岭特大森林火灾造成的损失巨大。虽然自 1987 年以来中国在森林防火上资金投入不断增加,林火管理队伍也不断扩大,但中国的森林火灾还比较严重。1988~2006 年,全国年均发生森林火灾 7537 次,年均受害森林面积 9.7 万 hm²,年均伤亡 200 余人。过去十年来,中国北方森林火灾出现增加趋势,大兴安岭林区的森林火险期明显延长,夏季火增加。西南林区也常常由于干旱发生森林大火,如 2006 年云南安宁“3·29”森林大火、2009 年 2 月腾冲森林火灾。

如何应对极端天气条件下发生的灾难性的森林大火是当前世界各国共同面临的难题。2004 年 4 月国务院办公厅印发了《关于进一步加强森林防火工作的通知》(国办发

[2004]33号), 2006年1月颁布了《国家处置重、特大森林火灾应急预案》, 要求以科学发展观为指导, 全面提高对森林火灾的综合防控能力。《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020年)》对农业重点领域的“农林生态安全与现代林业”优先主题明确提出要重点研究开发“森林与草原火灾、农林有害生物特别是外来生物入侵等生态灾害及气象灾害的监测与防治技术”的核心任务。气候变化对中国森林火灾的影响已经显现。但当前的森林火灾是气候、天气、可燃物和人类活动共同作用的结果, 特别是随着中国经济的迅速发展, 重点林区的火源、可燃物和管理能力发生了很大变化, 定量评估气候变化对中国森林火灾的影响, 预测未来中长期森林火灾发展趋势, 是制定应对气候变化策略、调整林火管理政策、保障国家生态安全的需求。

中国森林有害生物的发生面积一直在持续扩大, 而发生程度也日趋严重。过去发生严重的森林有害生物未得到根本性控制, 不少种类仍在许多地区扩大蔓延, 呈上升趋势, 典型如松毛虫、光肩星天牛、松材线虫病、切梢小蠹、美国白蛾等; 某些常见性、多发性或危害已趋于缓和的森林有害生物也频频暴发成灾, 典型如春尺蛾、杨扇舟蛾、杨小舟蛾等; 某些次要的森林有害生物逐渐演替为新的主要威胁对象, 典型如红脂大小蠹、双条杉天牛、萧氏松茎象、紫茎泽兰; 一些新的外来种森林有害生物不断传入与暴发, 椰心叶甲、红棕象甲等。2010年, 全国林业有害生物发生面积为1.8亿亩^①, 林业有害生物发生率为6%, 成灾率为4.7%。由于受全球气候变暖、贸易增多、物流活动频繁等不利因素的影响, 林业有害生物对森林资源安全构成严重威胁, 特别是一些重大林业有害生物灾害还未得到彻底遏制, 防治形势越来越严峻、任务越来越艰巨。

森林有害生物的发生与气候变化的影响作用有着必然的关联性, 但影响作用大多为定性的概念说明与描述, 缺乏定量的原理分析与阐述, 而且其作用也一直在被高估或者低估。中国已经建立了1000多个国家级森林有害生物监测中心站点, 需要在分析建立过去气候数据与各类有害生物发生的关联模型基础上, 构建气候变化对森林有害生物影响作用的评价模型与体系, 对目前与未来森林有害生物发生与发展进行评估和预测, 为森林有害生物管理提供决策支持参考。

气候变化对森林的负面影响和风险可能对中国生态安全和社会经济可持续发展构成严重威胁。森林作为陆地生态系统的主体, 面临的潜在风险将更为突出。开展气候变化影响与风险的关键技术研发与应用研究, 对于保障国家生态安全, 促进社会经济可持续发展, 实现人与自然和谐发展具有重要意义。

1.1.2 有助于科学实施国家应对气候变化行动方案

中国政府高度重视应对气候变化工作。2007年, 科技部发布的《中国应对气候变化国家方案》中, 将气候变化的影响评估作为重点任务。2011年发布的《中国应对气候变化的政策与行动 2010 年度报告》指出, 适应气候变化应坚持在可持续发展的框架下加以推进, 从长远战略的高度, 使适应与社会经济发展进程结合起来: 坚持重在预防的原则, 加强对气候变化影响规律的研究, 做出科学预测。《国家中长期科学和技术发展规

^① 1亩≈666.667m²

划纲要(2006~2020年)》对“面向国家重大战略需求的基础研究”特别提出“全球变化与区域响应”研究主题,指出要重点研究全球气候变化对中国的影响。2011年发布的《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》,将积极应对气候变化放到了更加重要的位置,成为中国未来发展的重要导向。2014年发布的《国家应对气候变化规划(2014~2020年)》以及《林业适应气候变化行动方案(2015~2020年)》,提出了中国2020年前应对气候变化的主要目标和重点任务,明确了林业领域适应气候变化的措施。2013年发布的《国家适应气候变化战略》,首次将适应气候变化提高到国家战略的高度,对提高国家适应气候变化综合能力意义重大,同时指出中国适应气候变化工作中敏感脆弱领域的适应能力有待提升,生态系统保护措施亟待加强等。2015年发布的《中国应对气候变化的政策与行动2015年度报告》指出,在农业、水资源、林业和其它生态系统等多个领域,中国开展了大量气候变化适应工作。

进行气候变化影响的系统定量评估,降低影响评估的不确定性,是制定适应气候变化措施,开展适应行动实践,更好地应对气候变化的迫切需求。应对气候变化是中国经济社会发展面临的重要机遇和挑战,需要以全国范围内的气候变化影响和风险评估为基础。这就迫切需要贯彻落实科学发展观,加强发展中的气候变化对森林影响和风险评估技术开发,增强应对气候变化政策的科学性和针对性,将森林生态系统结构、功能、林火和有害生物等多方面的影响与风险评估有机地结合起来。

1.1.3 支撑气候变化适应机制与措施的制定

评估未来气候变化下森林生态系统面临的一系列风险,是国家调整森林管理政策、建立相应的适应机制与措施应对气候变化的迫切需求。适应是应对气候变化的主要途径之一。在气候变化影响下,中国森林生态系统存在一定风险,目前各地正积极研究制定适应气候变化的措施,以提高适应气候变化的能力,但这需要解决未来气候变化对森林生态系统的影响与风险的科学评估问题。该研究也为实现中国在哥本哈根联合国气候变化峰会上提出的2020年森林面积比2005年增加4000万 hm^2 、森林蓄积量比2005年增加13亿 m^3 提供相关科学基础。

生态建设是应对气候变化的根本举措,中国将进一步加强在气候变化监测、预测、评估等方面的工作,继续致力于为各行业、各领域提高适应气候变化能力提供科学的支撑,为经济社会发展,人民的安全福祉、生态建设保护提供科技支撑。

国际社会目前正在采取行动,限制或减少温室气体的排放,以减缓气候变化的影响,避免和延迟“人为危险气候”的出现。过高估计“人为危险气候”出现会加重气候变化影响的危害、阻碍社会经济的发展,而过低估计则会导致温室气体排放权分配不公,影响经济发展对能源的正常需求,而无法实现发展中国家可持续发展的目标,我们必须对气候变化影响下森林生态系统风险有一个较为客观的科学认识。只有我们掌握足够的科学证据,系统、综合地评估气候变化对中国森林生态系统结构功能等方面的影响,才能科学地制定气候变化适应机制。

1.2 气候变化对森林影响评估研究进展

气候变化对森林的影响评估是国际关注的热点问题。作为全球环境变化的重要标志,气候变化会影响森林的生长、结构和功能。气候变化对森林生态系统的影响是极为复杂的过程,并且未来气候变化风险存在较大的不确定性。目前关于气候变化对森林的影响和风险研究已经取得一定进展和成果。

随着气候系统观测、气候模式模拟和古气候重建等技术手段的进步以及气候理论研究的深化,全球气候变暖的事实和证据逐步显现。以增温为主要特征的气候变化可以促进森林植物生理生态过程,提高碳交换的速度;但若超过一定的阈值也可能对森林产生负面影响。气候变化可能会提高林火、风灾和虫害等干扰的频率或强度,或者由于升温 and 降水模式变化进一步引发干旱和高温等极端事件,造成森林生境逐渐脆弱和景观破碎化加剧(Dale et al., 2001; Pan et al., 2013),进而导致森林生态系统功能和服务价值损失。在高纬或高寒地区,气温的上升通常对植被生长有利(Euskirchen et al., 2009; Andreu-Hayles et al., 2011)。由于森林与大气之间存在着能量、水、二氧化碳和其它化学物质的交换,这种复杂的非线性的相互作用使得森林在受到气候变化胁迫的同时,可以通过各种物理、化学和生物过程影响全球能量、水循环和大气组成,对气候变化产生反馈作用(Bonan, 2008)。

1.2.1 对森林结构和功能的影响

系统结构是系统稳定性的基础。森林生态系统的结构越复杂、组成越丰富,则生态系统的稳定性越好,抗干扰能力越强。长期以来,不同的树种为了适应不同的环境条件而形成了其各自独特的生理和生态特征,从而形成现有不同森林生态系统的结构。系统中不同的树木物种对CO₂浓度上升引起的气候变化的影响存在着很大的差别。气候变化通过温度胁迫、水分胁迫、物候变化、日照和光强变化等途径,使一些树种退出原有的森林生态系统,而一些新的物种侵入到原有的系统中,因此气候变化将改变森林生态系统的结构,进而影响其功能。

已有研究表明,气候变化已经影响了植被的地理分布。从全球变化来看,极地和高山植被群落的减少、针叶林分布面积的下降、灌丛对苔原地区的入侵、林线的北移、草地的扩张、森林和草地的组成结构变化及山地植被向高海拔的迁移等植被变化和迁移现象,与气温上升、降水模式变更和干旱以及随之产生的永久冻土融化、厄尔尼诺振荡加强、海平面上升、积雪下降等全球性的气候环境变化密切相关(Hufnagel et al., 2014)。其中,物种的迁移与气候变暖高度相关,尤其是在升温较明显的高海拔地区(Root et al., 2003)。根据对全球99个物种区系的研究表明,全球物种分布正以6.1km/10a的速率向两极地区移动(Parmesan et al., 2003)。在近百年来植物的最适宜海拔分布也以29m/10a的速率快速升高(Lenoir et al., 2008)。气候变化对中国植被分布影响的研究大多在模型模拟的基础上展开(吕佳佳等, 2009)。模拟研究表明,1961~1990年,气候变化使

全国约 7% 的植被覆盖类型产生变化, 其中 72% 的植被产生了退化性变化, 主要表现为森林-灌丛交界处的森林退化为灌丛, 以及草地-荒漠过渡带的草地退化为荒漠 (于璃等, 2010)。对气候变化敏感的青藏高原, 在气候变化情景下, 其高山草甸、草原、高山稀疏植被和荒漠的分布面积将逐渐缩减, 同时针叶林、阔叶林、针阔混交林以及灌丛的分布面积逐渐扩张 (Zhao et al., 2011)。

叶面积指数 (leaf area index, LAI) 是表征森林生态系统结构的重要参数。森林 LAI 既与林种、林龄、林分密度等自身结构特征有关, 也受到光照、水热条件、土壤营养等环境因子及各种人为因素的影响 (Dantec et al., 2000; Oliphant et al., 2006)。LAI 所表征的叶片密集程度可以通过改变地表反射率, 或者改变感热与潜热通量比例 (Chase et al., 2000) 等方式来影响区域乃至全球气候。叶片作为树木进行光合作用与外界进行水汽交换的主要载体, 其面积大小和疏密程度一方面影响太阳辐射在林冠层中的分布 (张小全等, 1999), 另一方面直接影响植被叶片的光能利用率和碳获取能力 (王希群等, 2005), 从而关系到森林生产力的提高, 合理的森林 LAI 是保证林分高质优产的重要条件。同时, 叶片表面对于碳、水通量的调节和平衡具有重要作用 (Sellers et al., 1997), 叶面积的变化模式和幅度与植被和大气之间的相互作用密切相关 (Kikuzawa, 1995)。LAI 控制着森林冠层的众多生物和物理过程, 如光合、呼吸、蒸腾作用, 碳和养分循环, 以及降水截留等 (Chen et al., 1996), 影响着森林与大气之间的能量、物质 (水和 CO_2) 和动量交换等 (Monteith et al., 1990)。LAI 已经成为大部分生态系统生产力模型和全球气候、水文、生物地球化学及生态模型的关键状态变量或输入数据 (Myneni et al., 2001b)。

从观测数据发现, 1982~2002 年, 受气候变暖的影响、大气 CO_2 浓度上升和氮沉降增加的肥效作用, 除非洲南部外, 全球各地的 LAI 逐渐上升 (Guenet et al., 2013)。其中, 气温变化产生的生物地球化学响应, 是植被 LAI 变化的主要影响因子 (Lucht et al., 2002; Guenet et al., 2013)。在此背景下, 1982~2009 年, 中国大部分地区的植被 LAI 呈上升趋势, LAI 下降的植被生态系统集中在内蒙古东北部 (Piao et al., 2015)。此外, 温度和降水的变化及其组合对 LAI 产生的影响, 在不同的环境条件下有明显差异。在植被生长受气温限制的地区, 如中国东北地区, LAI 随气温升高而增加; 在气温较高的山区, 如云贵高原, 尽管降水较多, 但高温下蒸散较强, 且山区土壤保水能力较差, 因而 LAI 会随气温升高而降低, 同时随降水增加而增加; 在降水相对充足、基本满足植被水分需求的地区, 如华南和东南沿海, 降水的增加意味着太阳辐射的减小, 不利于植被光合作用, 会使 LAI 下降 (柳艺博等, 2012)。热带地区 LAI 直接受到光合有效辐射的控制, 因此热带地区的多云和降雨天气往往会导致光合有效辐射和 LAI 的降低 (张佳华和符淙斌, 2002)。将大范围的植被 LAI 与气象因子进行相关分析, 东部省区植被 LAI 的年际和季节变化受东亚季风气候影响较大, 呈现出季风驱动生态系统的明显特征 (张佳华和符淙斌, 2002; 吴国训等, 2013); 西南高原喀斯特地区由于土壤层较薄, 显著影响植被 LAI 变化特征的气象条件里还出现了水汽压因素 (罗宇翔等, 2011); 在对气候变化极其敏感的青藏高原地区, LAI 表征的植被覆盖水平随着气候变暖总体呈现增加趋势, 但空间上却表现为南北反相位变化 (徐兴奎等, 2008)。

森林生物量和生产力是衡量树木生长状况的主要指标之一。净初级生产力 (Net