

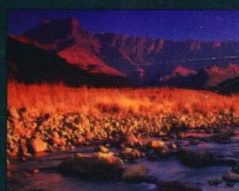
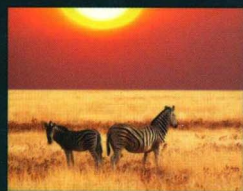


现代生态学讲座 (VI)

全球气候变化与生态格局和过程

Lectures in Modern Ecology (VI)
Global Climate Change and Ecological Patterns and Processes

■ 主 编 邬建国 安树青 冷 欣



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

Q 14-53
20082
6



现代生态学讲座 (VI)

全球气候变化与生态格局和过程

Lectures in Modern Ecology (VI)
Global Climate Change and Ecological Patterns and Processes

■ 主 编 鄂建国 安树青 冷 欣



XIANDAI SHENGTAI XUE JIANGZUO (VI)
QUANQIU QIHOU BIANHUA YU SHENGTAI GEJU HE GUOCHENG

 高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书根据“第六届现代生态学讲座”的主题报告,经过评审和筛选著而成。各章作者多为在气候变化与生态格局和过程方面成果卓越的学者。本书对气候变化和生态系统响应有关的一系列热点论题展开广泛而深入的论述。这些论题包括全球气候变化的原因、格局及区域特征,气候变化对森林、草地等生态系统的分布、结构和功能的影响,气候变化对植被恢复和生物入侵的影响,以及生态系统的风险评价和管理决策。本书主题明确,内容翔实,题材新颖,图文并茂,可供生物学、生态学、环境科学以及相关学科的研究和教学人员阅读,也可作为研究生的教科书或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代生态学讲座.6,全球气候变化与生态格局和过程/邬建国,安树青,冷欣主编.—北京:高等教育出版社,2013.5
ISBN 978-7-04-037386-8

I. ①现… II. ①邬…②安…③冷… III. ①生态学-讲座
IV. ①Q14

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第097404号

策划编辑 柳丽丽 责任编辑 柳丽丽 关焱 封面设计 李小璐
版式设计 王艳红 责任校对 王雨 责任印制 韩刚

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 河北新华第一印刷有限责任公司
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 20.5
字 数 390千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2013年5月第1版
印 次 2013年5月第1次印刷
定 价 59.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 37386-00

《现代生态学讲座系列》简介

Brief Introduction to International Symposium on Modern Ecology Series (ISOMES)

生态学包罗万象、博大精深、发展迅速、使命重大。生态学是研究生物和环境相互关系的科学,其迅速发展是今天和明天保护环境和强国富民的需要,对于实现区域及全球可持续发展也具有举足轻重的意义。为了促进中国生态学与世界生态学同步发展,频繁而广泛的国际学术交流显然是必需的。由于没有语言障碍,国内外华人生态学者之间的直接交流是一种形式特殊、效果极佳的途径。学术交流必须持之以恒,方能推陈出新,终集大成。《现代生态学讲座系列》正是在这些理念上建立的。

“第一届现代生态学讲座”是由我国著名生态学家李博院士创导并主持的。在国家自然科学基金委员会、内蒙古大学和内蒙古自治区教育厅的支持下,“第一届现代生态学讲座”于1994年9月4日至12日在呼和浩特市召开。海内外华人学者通过20个专题报告讨论了现代生态学的新理论、新观点、新方法。这也许是第一个完全由华人学者主讲,但又名副其实的“国际”生态学研讨会。这次盛会取得了极大成功。

1998年5月,李博院士在一次国际生态学会议期间不幸罹难。为了纪念这位为中国生态学做出重大贡献的著名学者,在国家自然科学基金委的资助下,中国环境科学院和中国科学院植物研究所于1999年6月15日至19日在北京召开了“第二届现代生态学讲座”。2004年,邬建国、于振良、葛剑平、韩兴国等在北京议定,将该讲座办成一个长期系列讲座(即《现代生态学讲座系列》,ISOMES),每两年举办一次,以作为对李博先生的永久纪念,同时也为国内外华人生态学者相互交流和研究生培养提供一个长期的高层次平台。

有关《现代生态学讲座系列》的历史、现状及将来的学术活动,请访问ISOMES的网站:<http://www.moderneco.net/index.htm>,或其镜像站点:<http://leml.asu.edu/ISOMES/>。

《现代生态学讲座系列》学术委员会

International Symposium on Modern Ecology Series (ISOMES)

Academic Committee

- 主任: 邬建国 美国亚利桑那州立大学
副主任: 于振良 国家自然科学基金委员会
秘书长: 黄建辉 中国科学院植物研究所
- 委员
- 安树青 南京大学
方精云 北京大学、中国科学院植物研究所
傅伯杰 中国科学院生态环境研究中心
高玉葆 南开大学
葛剑平 北京师范大学
韩兴国 中国科学院沈阳应用生态研究所
康乐 中国科学院动物研究所
刘世荣 中国林业科学研究院
马克平 中国科学院植物研究所
杨 劼 内蒙古大学生命科学学院
于贵瑞 中国科学院地理科学与资源研究所
张大勇 北京师范大学生命科学学院
张知彬 中国科学院动物研究所

第六届现代生态学讲座 * 南京大学 *

2011年8月1日—8月6日

大会主席: 邬建国

大会组织委员会

主任

吕建 南京大学副校长

副主任

安树青 南京大学教授, 江苏生态学会副理事长

杨修群 南京大学气候与全球变化研究院副院长, 大气科学学院院长

朱东强 南京大学污染控制与资源化利用国家重点实验室副主任

委员(以汉语拼音为序)

胡峰 南京农业大学副校长, 江苏生态学会副理事长

华子春 南京大学生命科学学院副院长

黄力 南京大学财务处副处长

李建龙 南京大学生态学教授

卢山 南京大学生命科学学院党委书记

钦佩 南京大学教授

徐强 南京大学生命科学学院副院长

薛建辉 南京林业大学副校长, 中国生态学会副理事长

张辰宇 南京大学生命科学学院院长

张利伟 南京大学外事处副处长

周元 南京大学科技处副处长

左怀超 南京大学校长办公室副主任

“第六届现代生态学讲座”大会邀请学术报告人
(以汉语拼音为序)

- | | |
|-----|--|
| 安黎哲 | 兰州大学 |
| 安树青 | 南京大学 |
| 程维信 | University of California-Santa Cruz, USA |
| 傅声雷 | 中国科学院华南植物园 |
| 高玉葆 | 南开大学 |
| 古滨河 | South Florida Water Management District, USA |
| 韩国栋 | 内蒙古农业大学 |
| 李博 | 复旦大学 |
| 李超 | Canadian Forest Service, Canada |
| 刘世荣 | 中国林业科学研究院 |
| 骆亦其 | University of Oklahoma, USA |
| 马克平 | 中国科学院植物研究所 |
| 彭少麟 | 中山大学生态研究所 |
| 齐家国 | Michigan State University, USA |
| 孙阁 | US Forest Service, USA |
| 孙建新 | 北京林业大学 |
| 唐剑武 | Woods Hole Marine Biological Laboratory, USA |
| 万师强 | 河南大学 |
| 魏晓华 | University of Great Columbia, Canada |
| 邬建国 | Arizona State University, USA |
| 张称意 | 中国气象局国家气候中心 |
| 周广胜 | 中国气象科学研究院 |
| 周国逸 | 中国科学院华南植物园 |

前 言

“第六届现代生态学讲座暨第二届国际青年生态学者论坛”于2011年8月1日—6日在南京大学举办。我国著名生态学家李博院士于1994年在内蒙古大学创办了第一届“现代生态学讲座”。此后,在其学生邬建国教授创导下,中国环境科学研究院、北京师范大学、内蒙古大学和兰州大学先后举办了第二、第三、第四与第五届“现代生态学系列讲座”。这一讲座系列为推动中国生态学发展,促进国内外华人生态学者之间的交流与合作做出了积极贡献,并为中国培养生态学研究生和年轻学者提供了一个长期的高层次平台。

全球变化对生态系统和社会经济系统的影响日益加剧,已成为科学家、决策者和广大公众所关注的重要议题。为了减少全球变化可能引起的不良后果,我们必须更好地理解全球变化对生态系统影响的过程与机制,预测其变化趋势,进而实施对生态系统的管理,以维持适宜人类生存的环境。因此,第六届现代生态学讲座暨第二届国际青年生态学者论坛确定以“全球变化背景下现代生态学热点问题及其研究进展”为主题。

传承“现代生态学讲座系列”的精神,本次会议邀请了海外学者9人、国内学者14人做主题报告,吸引了来自国内外近百个高等院校与科研院所的约400名学者和研究生参与。此次会议紧密围绕拟定的主题——全球变化背景下现代生态学热点问题研究,内容涉及植物群落学、植物生理生态学、地下生态学、水生生态系统、生物入侵、生物多样性、区域生态安全等热点领域的研究,既包含基础理论研究,也强调生态学理论的实践应用。会议共交流学术论文摘要117篇,其中专家报告摘要22篇,青年学者摘要95篇,墙报32份。经认真评选,5名青年学者获得了“李博院士研究生论文奖”。第二届国际青年生态学者论坛从95位海内外青年学者提交的学术摘要中严格筛选出27位青年学者做了专题报告。其中5名优秀报告人获得了“阳含熙青年生态学奖”。

本届“现代生态学讲座”由现代生态学讲座系列组织与学术委员会、国际青年生态学者论坛组织委员会主办,南京大学、中国生态学会、江苏生态学会承办,中美生态、能源和可持续性科学内蒙古研究中心、中华海外生态学者协会、国家自然科学基金委员会和江苏海洋湖沼学会协办。南京大学相关职能部门和生命科学学院为本次会议的成功举办给予了大力支持,以南京大学生态学科师生为

主组成的会议会务组为本次会议的召开做了大量认真细致的准备工作,为与会者提供了良好的服务,在此我们特表谢意。

本书根据“第六届现代生态学讲座”主题报告,经由专家评审后编著而成。在此,我们感谢所有作者对本书的贡献。此外,我们特别感谢诸位审稿人对各个章节所提出的修改意见:代力民、邓慧平、韩博平、郝占庆、李宽意、刘效东、贾志斌、牛建明、申卫军、孙书存、王天明、卫伟、欧维新、刘会玉和张庆。最后,感谢黄建辉和李昂在校稿过程中给予的大力帮助,以及高等教育出版社柳丽丽编辑及其同仁对本书出版所付出的辛勤劳动和大力支持。

邬建国 安树青 冷欣

2013年1月

目 录

- 第 1 章 气候变化对森林影响与适应性管理 刘世荣(1)
- 第 2 章 气候变化-森林-水资源相互作用 孙阁(25)
- 第 3 章 气候变化下的草地生态与管理 张新杰 韩国栋 王忠武
李治国 王静 王成杰 赵萌莉 David Kemp Kris Havstad(47)
- 第 4 章 全球变化与植物入侵 ... 李博 邵钧炯 卫书娟 马丁 李慧(66)
- 第 5 章 全球变化背景下中国东北样带陆地生态系统的过程与机制
研究 周广胜(95)
- 第 6 章 陆地生态系统土壤固碳:途径与制约
因素 尤业明 周志勇 孙建新(110)
- 第 7 章 森林植物多样性与生态系统固碳:减缓和适应气候
变化 苏宏新 马克平(133)
- 第 8 章 全球变化下的陆地碳循环动态非平衡理论
..... 骆亦其 翁恩生 著 严燕儿 翁恩生 译(155)
- 第 9 章 森林小流域水文过程对全球气候变化响应的定量化
研究 周国逸 刘效东(174)
- 第 10 章 定量评价气候和土地利用变化对大流域水文的相对影响:
研究进展 魏晓华 刘文飞 周培聪(193)
- 第 11 章 植物群落的演替驱动力与入侵抵抗力 彭少麟(214)
- 第 12 章 内蒙古中东部草原内生真菌分布及其与宿主植物的共生
关系研究 高玉葆 任安芝(226)
- 第 13 章 高山冰缘植物(高山离子芥)的抗冻机制研究
进展 安黎哲 岳修乐(247)
- 第 14 章 陆源有机物对水生态系统的贡献:理论、方法和研究
进展 古滨河(267)
- 第 15 章 生态系统过程的测量、野外控制实验和数学模型 唐剑武(281)
- 第 16 章 森林资源可持续经营管理中的模型与建模 李超 刘世荣(294)

Table of Contents

Chapter 1	Impacts of Climate Change on Forests and Adaptive Forest Management	Shirong Liu(1)
Chapter 2	Climate Change–Forest–Water Resource Interactions	Ge Sun(25)
Chapter 3	Grassland Ecology and Management with Climate Change	Xinjie Zhang Guodong Han Zhongwu Wang Zhiguo Li Jing Wang Chengjie Wang Mengli Zhao David Kemp Kris Havstad(47)
Chapter 4	Global Change and Plant Invasion	Bo Li Junjiong Shao Shujuan Wei Ding Ma Hui Li(66)
Chapter 5	Processes and Mechanisms of Terrestrial Ecosystems along Northeast China Transect under Global Change	Guangsheng Zhou(95)
Chapter 6	Soil Carbon Sequestration in Terrestrial Ecosystems: Pathway and Controls	Yeming You Zhiyong Zhou Jianxin Sun(110)
Chapter 7	Forest Plant Diversity and Ecosystem Carbon Sequestration: Mitigation and Adaptation to Climate Change	Hongxin Su Keping Ma(133)
Chapter 8	Dynamic Disequilibrium of the Terrestrial Carbon Cycle under Global Change	Yiqi Luo Ensheng Weng Translated by Yan'er Yan Ensheng Weng(155)
Chapter 9	Quantifying the Hydrological Responses to Climate Change in An Intact Forested Small Watershed in Southern China	Guoyi Zhou Xiaodong Liu(174)
Chapter 10	Quantifying the Relative Contribution of Climatic Variability and Land Use Change to Watershed Hydrology: Recent Research Advances	Xiaohua Wei Wenfei Liu

Peicong Zhou (193)

- Chapter 11 Driving Forces of Plant Community Succession and Its Resilience against Bio-Invasion Shaolin Peng (214)
- Chapter 12 Endophytic Fungus Distribution in the Middle and Eastern Parts of the Inner Mongolia Steppe and Its Symbiosis with Host Grasses Yubao Gao Anzhi Ren (226)
- Chapter 13 Research Advances in the Cold-tolerance Mechanisms of An Alpine Subnival Plant (*Chorispora bungeana*)
..... Lizhe An XiuleYue (247)
- Chapter 14 Contribution of Terrestrial Organic Matter to Aquatic Ecosystem: Theory, Methods and Current Status Binhe Gu (267)
- Chapter 15 Ecosystem Measurement, Manipulation, and Modeling Jianwu Tang (281)
- Chapter 16 Modeling in Sustainable Forest Resources Management Chao Li Shirong Liu (294)

气候变化对森林影响与适应性管理

第 1 章

刘世荣^①

摘 要

森林作为陆地生态系统的主体,对调节全球碳循环和减缓气候变化具有无法替代的作用。大量的研究表明,气候变化已经对全球各类森林生态系统产生了不同程度的影响,这种影响伴随着未来不断加剧的全球变暖进程与频繁出现的极端气候事件将更加明显,并直接影响森林生态系统碳汇功能,已成为全球广泛关注的焦点。为应对全球气候变化,森林经营管理必须做出适当的调整借以适应并减缓气候变化对森林产生的消极影响。本文系统总结了全球气候变化对森林分布、物候、生产力、碳循环和森林灾害等产生的现实和潜在的影响,并针对气候变化下的可能影响,提出了森林生态系统适应性管理的对策,以提高森林生态系统对气候变化的适应能力和碳汇功能,实现森林多目标可持续经营。

^① 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所,国家林业局森林生态环境重点实验室,中国北京市海淀区香颐路东小府1号,邮编100091,电子邮箱:Liusr@caf.ac.cn。

Impacts of Climate Change on Forests and Adaptive Forest Management

Shirong Liu^①

Abstract

Forests, as a principal component of terrestrial ecosystems, play an important role in regulating global carbon cycle and mitigating climate change. There is increasing evidence that global climate change is influencing global forest ecosystems, which vary with forest types and geographical regions. Impacts of climate change on forest ecosystems would directly affect their carbon sink capacity through the increasing global warming amplitude and frequent extreme climate events. In order to reduce negative impacts of climate change on forests, forest management aiming at enhancing forest resilience to climate change should be accordingly adjusted and improved in order to maintain forest carbon sink capacity. Adaptive forest management strategies and countermeasures must be sought in a broad context of sustainable forest management. This paper reviews the impacts of the global climate change on forests, including forest distribution, forest growth and productivity, phenology, carbon sequestration, forest pest and disease and forest fire. Adaptive silvicultural practices are recommended and should be incorporated into the current forest management regime in order to enhance forest resilience of forest ecosystems to climate change, and to maintain forest carbon sink capacity and other ecosystem services.

引言

政府间气候变化专门委员会(IPCC)第四次评估报告指出,近百年来地球气候正经历一次以全球变暖为主要特征的显著变化,同时,全球降水格局和降水频率也发生了改变,进而导致极端气候事件(如极端干旱、极端降雨等)发生的频率、强度和持续时间有所增加,而且气候变化在未来相当长时间内仍然会存在并可能加剧(IPCC, 2007)。森林作为陆地生态系统的主体,是地球生物圈的重要

^① Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, China's State Forestry Administration, Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing, 100091, China, E-mail: Liusr@caf.ac.cn.

组成部分,联合国粮食和农业组织(FAO)对全球森林资源的评估表明,全球森林面积约40亿 hm^2 ,约占全球陆地面积的30%。森林以其丰富的物种多样性、复杂的群落结构、多样化的分布格局、巨大的生产力等特征成为陆地生态系统中结构最为复杂、功能最为强大的植被类型。占全球土地面积30%左右的森林,其森林植被的碳储量约为全球植被的77%,森林土壤的碳储量约占全球土壤的39%(Ciais et al., 2001)。森林作为巨大的碳库及其具有的重要碳汇功能,在调节全球碳循环和减缓全球气候变化方面发挥着不可或缺的作用。

全球气候变化引起区域气候的温度、湿度、降水、蒸发和生长季长度的变化,其中也包括极端气候事件,所有这些变化都将影响植物的生理、生长和物候,生态系统的结构与功能,以及相关的生物资源经营管理对策。全球气候变化对地球上许多地区的自然生态系统已经产生了影响。森林也不可避免地受到气候变化的影响和冲击,并已在全球不同地区森林生态系统中有所体现(Allen et al., 2010)。一方面,气候变暖和大气 CO_2 浓度上升引起的“施肥效应”至少在短期内会对林木生长产生积极影响;另一方面,极端气候事件对林木生长则产生消极影响(Lindner et al., 2010)。气候变化对森林的影响方式和作用程度是错综复杂的,导致当前及未来森林可持续发展面临新的挑战。因此,适应并减缓气候变化的森林经营管理理念和措施正成为当今世界林业发展的新趋势。

1.1 气候变化对森林的影响

由于气候变化引起的温度和降水的时空异质性变化,以及森林类型的多样性、复杂性和时空动态变化,导致不同地区、不同森林生态系统所受影响及其响应方式存在差异。同时,由于森林对气候变化的适应过程比较迟缓(周广胜和王玉辉, 2003),并且具有一定的反馈机制(Kuparinen et al., 2010),因而其受气候变化的负面影响可能高于其他生态系统类型。从森林生态系统经营角度考虑,气候变化对森林的影响主要反映在森林及树种分布、物候、生产力、碳循环、森林灾害等诸多方面。

1.1.1 森林及树种分布对气候变化的响应

森林生态系统中物种丰富,由于其生态位不同而使其对环境资源的利用方式存在较大差异,从而维系众多物种在同一生态系统中长期共存和繁衍。但是,不同生活型的物种对气候变化的适应能力却不同。某些物种可能在剧烈的气候变化条件下难以维持生存甚至被淘汰或消亡,或者通过繁殖体的迁移扩散途径在新的适宜环境中繁衍起来,而表现出地理分布区的迁移;而另一些物种由于自身遗传及生理适应机制则仍然可以在变化的环境中成功地生存下来。

1.1.1.1 森林分布

气候变化将改变森林植被的分布格局。对于森林经营者和物种保护工作者

而言,掌握气候变化下植被与物种的分布变化趋势十分重要(Coops and Waring, 2011)。Peñuelas 和 Boada (2003)通过对比当前和1945年的西班牙 Montseny 山区植被分布,发现寒温带生态系统正逐步被地中海生态系统所代替。山毛榉(*Fagus sylvatica*)森林最高海拔高度(1 600 ~ 1 700 m)上升了70 m;中海拔(800 ~ 1 400 m)山毛榉森林和石楠(*Calluna vulgaris*)正在被圣栎(*Quercus ilex*)林所替代。类似的森林垂直分布带的位移变化同样在中国西南高山林区得到证实(徐德应等,1997)。基于大量物种区系和物候变化数据分析,表明物种分布平均向两极地区移动速率是每10年6.1 km(Parmesan and Yohe, 2003),80%以上物种表现出迁移变化与温度变暖高度相关,在高海拔地区尤为明显(Root et al., 2003)。集中分布于中国大兴安岭的兴安落叶松(*Larix gmelini*)林是环北极北方森林的组成部分,研究表明,气候变暖导致我国兴安落叶松林北移,甚至可能全部北移出境(徐德应等,1997;张新时,1993)。当温度增加1℃时,寒温带大兴安岭落叶松林面积将缩小,南部边缘北移1个纬度,到达了北纬50.5°。温度升高2℃,兴安落叶松林继续北移,南部边缘到达北纬51°。当温度升高3℃时,兴安落叶松林将消失(钟秀丽和林而达,2000)。徐德应等(1997)分析总结认为在未来气候变化情景下,我国长白山地区将有50%左右的兴安落叶松流失,小兴安岭地区也将流失10%左右。

气候变化对中国森林植被分布影响的预测表明:在大气CO₂浓度倍增情景下,中国的各植被类型将向北移动,主要表现是:①寒温带针叶林将明显减少,可能变为温带针叶阔叶混交林;②温带针叶阔叶混交林可能向北移动,其中1/2将被暖温带落叶阔叶林所取代,净分布面积减少;③暖温带的绝大部分将变为亚热带;④北亚热带几乎全部被中亚热带所替代;⑤中亚热带全部变为南亚热带;⑥南亚热带全部变为边沿热带;⑦边沿热带将变为中热带;⑧中热带的海南岛南端将变为赤道带(李克让等,2005)。

1.1.1.2 树种分布

森林植被分布对气候变化的响应需要相对较长的反应时间,因为森林中不同物种之间的相互作用及其对气候变化的适应结果是一个复杂而缓慢的过程。即植物群组不会作为一个完整的整体进行移动,每个物种的迁移变化是独立发生的,群落内的各个树种在未来气候变化条件下,会以不同的组合方式聚集在一起(Webb III and Bartlein, 1992)。对某一树种而言,它对气候变化的响应快于森林植被,而且可能有较高的响应敏感性,所以其分布变化的信息会相对更易于捕捉和获得。目前大量实证观测表明,气候变暖将导致树种向高纬度和高海拔地区迁移。例如,在欧洲,Lenoir等(2008)通过比较1905—1985年与1986—2005年间171个森林树种的海拔分布发现,气候变化导致的物种最适宜海拔分布平均上升速率为每10年29 m。近期有关整合分析(meta-analysis)的三篇报道进一步加深了我们对气候变化影响树种分布的认识。Parmesan 和 Yohe

(2003)探讨了1700多个物种在过去20~140年间分布区的变化,发现了一个一致性的结论,物种分布区的迁移与气候变暖有关,对其中99个物种的定量分析发现气候变化导致物种分布区北界平均北向移动速率为每10年6.1 km,最高海拔分布高度平均上升速率为每10年6.1 m。Root等(2003)对143个研究中的1473个物种进行了整合分析,发现有80%的物种表现出的迁移变化与温度变化高度相关。Chen等(2011)又对全球气候变暖影响物种分布的实证观测进行了整合分析,发现物种向高海拔地区迁移的平均速率是每10年11.0 m,向高纬度地区迁移的平均速率是每10年16.9 km。当前也有一些研究发现植物分布区向低海拔迁移的现象(Lenoir et al., 2008, 2009; Crimmins et al., 2011)。Crimmins等(2011)通过比较美国加利福尼亚州1930—1935年和2000—2005年间64个植物的最适宜海拔分布高度的变化,发现气候变化导致植物向低海拔地区平均迁移88.2 m,并且他们指出这个现象与20世纪的温度变暖无关,而是由区域水分可获得性增加导致的。由于当前对树种分布区迁移的驱动因子及相应机理的理解还十分有限,因此造成这些实证观测现象生态解释之间存在差异。

为有效评估气候变化对树种分布的影响,学者们开展了大量的基于模型模拟预测的研究。这些生态预测研究对于管理决策,保护重要的生态资源和相关过程,预防或逆转下降的趋势,减少气候变化的风险等具有重要的意义。当前国内开展的生态预测研究主要集中在评估气候变化对中国主要造林树种及珍稀濒危树种影响的研究。气候变化下红松(*Pinus koraiensis*)分布区的南界和北界均向北迁移(Xu and Yan, 2001; 郭泉水等, 1998)。到2030年我国红松树种分布的南界北移幅度为0.1~0.6个纬度,吉林省南部的局部地区有一些红松将消失,在黑龙江省红松分布区域内,局部地段有所增加。到2030年,油松(*Pinus tabulaeformis*)极限分布区将出现不十分明显的北移,北界东部向北迁移约1.4个纬度,南界向北迁移约0.2个纬度,东西界向中心有所收缩,而油松中心分布区的位置基本没有变化,但在中国境内分布的南部由较连续的块状分布变为零散的点状分布(徐德应等, 1997)。杉木(*Cunninghamia lanceolata*)生态最适分布区南界北移0.2~1.3个纬度,北界南移0.2~1.5个纬度,西界东移0.1~0.7个经度,东界变化不明显;当前气候条件下杉木极限分布的面积约减少1.8%,其最适分布的面积约减少8%(徐德应等, 1997)。未来气候变化将导致毛竹(*Phyllostachys pubescens*)向北迁移33~266 km,分布面积增加7.4%~13.9%,但是分布区呈现逐步破碎化趋势(张雷等, 2011a)。气候变化将导致珙桐(*Davidia involucrata* Bail)目前适宜分布范围的东部、南部、北部、东北部和东南部地区缩小,而新适宜分布范围将主要向我国西部及西南部地区扩展,因此,目前适宜分布范围将被破碎化,未来总适宜分布范围将扩大(吴建国和吕佳佳, 2009)。

为增加模型模拟预测气候变化对树种分布影响的可靠性,降低单一物种分布模型和未来气候变化情景(GCM)预测导致的不确定性,张雷等(2011b, c)最