

Scientific Frontier on Human Activities and
Ecosystem Changes

人类活动与生态系统
变化的前沿科学问题

于贵瑞 等著



高等教育出版社
Higher Education Press

1



人类活动与生态系统变化的前沿科学问题

Scientific Frontier on Human Activities and Ecosystem Changes

于贵瑞 等著



高等教育出版社
Higher Education Press

内容简介

本书由中国科学院国际合作伙伴计划“人类活动与生态系统变化”创新团队集体撰著,全书包括绪论部分以及正文共4篇21章。作者在系统阐述20世纪生态学的发展历史和21世纪生态学发展趋势的基础上,重点介绍和论述了涡度相关技术、同位素技术和卫星遥感技术等生态系统变化和物质循环通量的多尺度综合观测中的应用,生态系统变化过程的模型模拟、尺度问题和模型数据融合方法,陆地生态系统格局和过程对全球变化的响应和适应,以及人类活动对生态系统的影响和调控等研究领域的前沿性科学问题。本书为从事全球变化、陆地生态系统水、碳、氮循环过程以及自然-经济-人文社会环境的相互关系研究领域的科技人员提供了野外观测、模型模拟和综合分析等方面的新理论、新技术和新思路,可作为生态、农林、环境等相关领域的科研工作者和研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

人类活动与生态系统变化的前沿科学问题/于贵瑞等著.
北京:高等教育出版社,2009.7
ISBN 978-7-04-026627-6
I. 人… II. 于… III. 人类活动影响-生态系统-研究
IV. X171

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 067815 号

策划编辑	李冰祥	责任编辑	张晓晶	封面设计	张楠	责任绘图	尹莉
版式设计	范晓红	责任校对	王效珍	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
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 中原出版传媒投资控股集团
北京汇林印务有限公司

开 本 787×1194 1/16
印 张 35.25
字 数 1 050 000
彩 插 5

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>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2009年7月第1版
印 次 2009年7月第1次印刷
定 价 88.00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 26627-00

《中国生态大讲堂系列丛书》总序

“中国生态大讲堂”(China Ecological Forum, CEF)是由中国国家生态系统观测研究网络(CNERN)综合研究中心、中国科学院生态系统研究网络(CERN)综合研究中心以及中国科学院生态系统网络观测与模拟重点实验室共同主办的综合性生态学问题的学术论坛,其宗旨是“传播新知识,交流新思想,展示新成果”,其具体内涵是指:中国的科学家和官员谈论中国生态问题,国外的科学家谈论中国生态问题,以及在中国举办的国际生态学科高级论坛。

自2005年“中国生态大讲堂”创办以来,已经组织了35次学术报告会,举办了5次综合性学术研讨会和1次高级研讨班,有110多位中外知名科学家做了主题演讲,邀请的报告人包括中国科学院和中国工程院的两院院士、国内外各科学研究机构和大学的知名专家、国家相关部委的政府官员、国际组织官员、CNERN和CERN的野外台站科技人员等。“中国生态大讲堂”面向政府职能部门、生态领域的科技人员和研究生、国际组织以及媒体开放,已经成为我国生态学研究领域的重要学术交流平台。

“中国生态大讲堂”在四年的发展过程中,为专家和官员搭建了学术讲演的舞台,为科研人员以及研究生提供了了解中国生态问题、生态系统研究科学前沿与热点领域的机会,特别是已经举办的“生态系统评估的科学问题与研究方法”、“生态系统长期观测与试验——应对可持续性的挑战”、“生态系统研究的新理念、新领域、新技术与新方法”、“气候变化与生态系统适应性——聚焦长江流域”、“人类活动与生态系统变化”等综合研讨会,涉及了广泛科学问题和技术领域,吸引了众多在国际学术前沿的科学家们的响应和参与。在2007年召开的国际长期生态学研讨会——“迎接不同尺度可持续生态系统管理的挑战”上,来自全球31个国家和地区的210名代表共聚大讲堂,深入探讨了全球的长期生态系统研究前沿问题,取得了广泛的国际影响。

“中国生态大讲堂”的健康发展,引领着我国生态学的发展,为年轻的科研人员提供了解中国、了解世界、学习知识、把握科学前沿的机会。因此,系统出版《中国生态大讲堂系列丛书》的要求也日益强烈,高等教育出版社主动提出资助《中国生态大讲堂系列丛书》出版工作的设想满足了广大科技人员的强烈需求,为推动“中国生态大讲堂”向更高层次的目标发展提供了机遇和条件。为此,在《中国生态大讲堂系列丛书》问世之际,谨向高等教育出版社致以真诚的感谢,也对高等教育出版社积极承担社会责任的精神致以崇高的敬意。

《中国生态大讲堂系列丛书》将根据我国科技发展的需要,不断选择科技界和公众高度关注的科学主题,不定期地、系统性地编辑出版“主题科学论著”,以探讨我国生态建设和生态系统科学研究中的理论和实践问题,满足生态学领域的科技人员和社会公众的需求,为我国的科技发展和生态建设服务。

《中国生态大讲堂系列丛书》是“中国生态大讲堂”的组织者、演讲者以及参与者们共同智慧和劳动成果的载体,承担着“传播新知识、交流新思想、展示新成果”历史使命。这里,衷心地祝愿《中国生态大讲堂系列丛书》能够成为具有广泛影响的“主题科学论著”系列,成为我国生态学领域必读的科学出版物;衷心地感谢“中国生态大讲堂”的组织者、演讲者以及参与者所付出的努力和贡献;也衷心地感谢高等教育出版社编辑人员的合作与鼎力支持。

中国科学院地理科学与资源研究所

于贵瑞

2009年3月于北京

中国科学院创新团队国际合作伙伴计划
“人类活动与生态系统变化”项目(CXTD-Z 2005-1)资助

作者名单
(按姓氏笔画排序)

于贵瑞	于 强	王开存	王 平	王绍强
王秋凤	王 靖	方华军	邓祥征	田 静
朱阿兴	朱莉芬	伍卫星	伏玉玲	任书杰
邹定荣	刘 帅	刘 洋	刘荣高	齐家国
闫慧敏	孙来祥	孙晓敏	孙皖肖	许守华
李仞兰	李旭辉	李 俊	李胜功	李润奎
李常斌	杨建思	肖向明	肖 薇	宋 霞
张林秀	张 峰	张 峰	张 骏	张雷明
张 黎	陈腊娇	陈镜明	周晓路	周 蕾
官丽莉	赵风华	胡中民	骆亦其	秦 军
徐 明	郭 华	黄季焜	曹明奎	曹淑艳
常 杰	梁顺林	彭长辉	温学发	谢高地

Emi Uchida Guenther Fischer Harrij van Velthuisen

James E. Burt Jianjun Ge Nathan Moore Scott Rozelle

前 言

20 世纪后期以来大规模、高强度的人类活动及其所导致的全球环境变化已经并且正在深刻地改变着陆地生态系统的格局和过程,使得保持生态系统服务功能和社会经济增长的矛盾日益突出,严重地制约了社会经济的持续发展。21 世纪人口和经济的持续增长、全球环境快速变化将给生态系统形成前所未有的压力。因此,认识和管理高强度人类活动和全球环境快速变化双重驱动下的生态系统变化,实现生态-经济-社会系统的协调和持续发展,是 21 世纪人类社会面临的共同挑战。

2005 年,中国科学院地理科学与资源研究所组织了一批活跃在生态系统变化的过程观测、遥感观测、生态系统模型、土地利用变化、区域经济发展以及气候变化等领域的科研骨干与海外知名科学家,组成了中国科学院国际合作伙伴计划“人类活动与生态系统变化”创新团队,针对 21 世纪地球系统科学和生态科学的核心问题——认识人类高强度活动和全球环境快速变化驱动下的生态系统变化,开展国际协作攻关。该创新团队以地球系统科学理论为指导,把环境-生态系统-社会作为一个相互作用的整体开展系统研究,综合应用地学、生态学、环境科学和社会经济科学方法,阐述生态系统变化的过程机制,评估和预测人类活动直接干预和环境变化共同驱动的生态系统状态变化。

通过 3 年的密切配合和精诚合作,该创新团队如期完成了预定目标,取得了多项代表性科研成果,主要包括:(1) 基于中国陆地生态系统通量观测研究网络,开展了典型生态系统水、碳、氮通量的联网观测,阐述了典型生态系统水、碳、氮循环关键过程对环境变化的响应和适应机制,引进了稳定同位素原位连续观测系统,发展和验证了新一代遥感植被生产力模型(VPM);(2) 应用模型-数据融合方法开展陆地生态系统碳循环研究,提出了利用可变邻域技术解决生态模拟中参数尺度问题的方法,在全国尺度上模拟和分析了气候变化和人类活动对中国森林生态系统碳源汇时空格局的影响,以及土地利用变化对生态系统生产力及土壤碳吸收潜力的影响;(3) 运用计量经济学模型分析了城镇化对我国耕地资源的影响,完善和更新了农业生态区(AEZ)模型和中国农业可持续发展决策支持系统(CHINAGRO),定量估计了区域生态系统服务功能变化及其承载能力和可持续发展能力,评价了青藏铁路修建对高原区生态环境的影响。

本专著围绕人类活动与生态系统变化研究的前沿科学问题,重点阐述了创新团队成员在生态系统变化的多尺度综合观测、模型模拟和分析、生态系统对人类活动和全球变化的响应和适应等方面所取得的重要成果。绪论部分综述了 20 世纪生态学的发展历程、现代人类活动与生态系统关系的主要特征、21 世纪生态学研究的发展趋势、热点领域及其科学问题;第一篇(第 1 章至第 5 章)论述了生态系统物质通量观测技术、同位素观测技术和遥感技术在生态系统过程和格局研究中的应用;第二篇(第 6 至第 10 章)重点介绍了生态系统水、碳循环模拟的过程机理模型、遥感模型,以及模型数据融合技术在碳循环研究中的应用;第三篇(第 11 章至第 15 章)阐述了生态系统的格局和水、碳、氮等过程对全球变化的响应和适应及其不确定性;第四篇(第 16 章至第 21 章)着重论述了人类活动对生态系统的影响,气候变化、陆地生态系统格局与人类活动相互作用关系,以及生态系统服务功能与人类活动承载能力的变化。

在中国科学院人事局和资环局、地理科学与资源研究所的领导、关怀和支持下,本团队组建了一支由 15 名项目专家、24 名青年学者和大量博士、硕士研究生参加的研究梯队,通过互派访问学者,联合培养硕士生、博士生等方式,培养了一批具有跨学科背景的后备人才队伍,并通过举办不同规模的学术交流会为国内相关领域的青年科技人员提供了良好的国际交流平台。在本专著出版之际,谨对创新团队全体成员的精诚团结和努力工作表示衷心感谢,也对关心和支持创新团队的所有领导、专家、学者和研究生表示衷心感谢,也对在该书的编辑和组织过程中付出心血的闫慧敏和张黎博士表示衷心感谢,对高等教育出版社的资助和编辑工

作表示衷心感谢。

本创新团队的组建者曹明奎博士在团队组建不久就不幸辞世,团队全体同仁万分悲痛。在此后的2年多时间里,团队全体成员化悲痛为力量,继续团结合作,顺利地完成了各项预定的研究工作。本书既是创新团队集体智慧和成果的结晶,也是告慰曹明奎博士亡灵的一种表达方式,谨将此书献给尊敬的曹明奎博士,以表达团队全体成员对他的深切怀念!

本书涉及的内容前沿、问题复杂,部分研究内容还仅仅是基于有限资料和阶段性研究结果的总结,还存在许多不确定性和局限性。因此,本书中的错误和缺点也在所难免,欢迎各位读者提出宝贵意见。

中国科学院地理科学与资源研究所 于贵瑞
2009年元月

目 录

绪论 21 世纪生态学面临的挑战及其使命	1
摘要	1
Abstract	2
0.1 引言	3
0.2 20 世纪生态学的发展历程	3
0.3 现代人类活动与生态系统关系的主要特征	9
0.4 21 世纪生态学研究的发展趋势	12
0.5 现代生态学研究的热点领域及其科学问题	20
0.6 我国生态系统研究的主要科技任务	23
0.7 结论与展望	25
参考文献	26

第一篇 生态系统变化的多尺度观测与分析

第 1 章 陆地生态系统水、碳、氮通量及其循环过程的综合观测	31
摘要	31
Abstract	32
1.1 引言	33
1.2 生态系统水、碳、氮的耦合循环及其通量	33
1.3 生态系统水、碳通量观测的技术沿革	35
1.4 生态系统氮通量观测的技术进步	37
1.5 生态系统通量观测与模型模拟的结合	41
1.6 生态系统通量观测与遥感反演的结合	44
1.7 结论与展望	46
参考文献	46
第 2 章 生态系统稳定同位素平衡原理及其在生物地球化学循环研究中的应用	55
摘要	55
Abstract	56
2.1 引言	57
2.2 生态系统的稳定同位素分馏原理	57
2.3 生态系统中碳的同位素效应	59
2.4 生态系统中水的同位素效应	68
2.5 生态系统中氮的同位素效应	74
2.6 结论与展望	78
参考文献	79

第3章 大气水汽的稳定同位素平衡及其在生态系统水循环研究中的应用	105
摘要	105
Abstract	106
3.1 引言	107
3.2 水汽同位素在生态学和水文学研究中的应用	107
3.3 大气水汽理想化系统理论	108
3.4 蒸发和蒸腾水的同位素理论	109
3.5 空气水汽同位素含量的时间和空间分布	111
3.6 测量技术	115
3.7 结论与展望	118
参考文献	118
第4章 支持生态模型模拟的地面要素遥感观测与反演	121
摘要	121
Abstract	122
4.1 引言	123
4.2 用于生态系统变化监测的传感器及卫星发展计划	123
4.3 陆地表层遥感参数反演的主要方法	129
4.4 陆地表层遥感参数反演的主要产品	133
4.5 遥感产品与生态模拟	144
4.6 结论	146
参考文献	146
第5章 GIS支持下高分辨率空间数据在流域生态模拟应用中的尺度问题	157
摘要	157
Abstract	158
5.1 引言	159
5.2 基本概念	159
5.3 GIS的计算邻域与生态要素空间作用范围:计算邻域问题	161
5.4 高空间分辨率数据下生态要素在空间上的协同变化:空间尺度不兼容问题	167
5.5 实例分析	169
5.6 本章小结	173
参考文献	173

第二篇 生态系统变化过程的模型模拟与信息融合

第6章 生态系统水循环过程的动态模拟与流域水资源管理	179
摘要	179
Abstract	180
6.1 生态模型概论	181
6.2 土壤-植物-大气系统水分过程的模拟	184
6.3 农田生态系统作物生长与水、热、CO ₂ 传输综合模型	189
6.4 流域水循环模型及其与生态模型的耦合	202

参考文献	213
第 7 章 生态系统碳循环的时空动态模拟及计量方法	223
摘要	223
Abstract	224
7.1 前言	225
7.2 生态系统碳循环分量	225
7.3 光合作用模拟方法	226
7.4 呼吸作用模拟方法	233
7.5 林分年龄是森林碳循环中的重要驱动因子	234
7.6 干扰对碳循环的影响	235
7.7 碳循环的时间尺度及其在碳模拟中的应用	236
7.8 减少碳收支计量不确定性的几个策略	236
7.9 中国和加拿大个例分析	237
参考文献	241
第 8 章 森林生长和碳动态变化的混合模拟方法	247
摘要	247
Abstract	248
8.1 前言	249
8.2 模型结构	249
8.3 子模型描述	250
8.4 一个面向对象 (object-oriented) 模型的建立策略	254
8.5 模型检验和应用	254
8.6 讨论	261
参考文献	262
第 9 章 陆地生态系统初级生产力遥感模型估算	267
摘要	267
Abstract	268
9.1 前言	269
9.2 主要 GPP 遥感估计模型回顾	271
9.3 VPM 模型详细描述	274
9.4 典型生态系统 GPP 遥感模型估算	276
9.5 模型精度评价和不确定性分析	279
9.6 小结	280
参考文献	280
第 10 章 多尺度、多源生态观测数据的同化技术及其在碳循环研究中的应用	285
摘要	285
Abstract	286
10.1 引言	287
10.2 陆地生态系统碳循环模拟模型	287

10.3 数据同化技术	289
10.4 基于通量网的应用	291
10.5 基于控制试验的应用	293
10.6 小结	295
参考文献	296

第三篇 全球变化驱动下的生态系统变化过程及其适应性

第 11 章 气候变化对陆地生态系统格局的影响	301
摘要	301
Abstract	302
11.1 中国陆地生态系统空间格局	303
11.2 中国陆地生态系统时空格局变化趋势	306
11.3 气候变化对中国陆地生态系统格局的影响机制	312
11.4 展望	314
参考文献	315
第 12 章 生态系统的生物种群和植被动态对全球气候变化的响应与适应	317
摘要	317
Abstract	318
12.1 引言	319
12.2 全球气候变化对植物的影响	319
12.3 植物种群结构与动态对全球变化的响应	321
12.4 当前及未来气候情景下的植被动态	323
12.5 展望	325
参考文献	326
第 13 章 生态系统的碳、氮、水过程对全球变化的响应与适应	331
摘要	331
Abstract	332
13.1 生态系统碳、氮、水过程对温度升高的响应与适应	333
13.2 生态系统碳、水过程对降水格局变化的响应与适应	338
13.3 生态系统碳、氮、水过程对大气 CO ₂ 浓度升高的响应与适应	342
13.4 生态系统碳、氮、水过程对大气氮沉降增加的响应与适应	348
13.5 小结和展望	354
参考文献	354
第 14 章 陆地生态系统碳、氮、水过程间耦合关系及其对全球变化的响应与适应	367
摘要	367
Abstract	368
14.1 陆地生态系统的水、碳耦合循环	369
14.2 陆地生态系统的碳、氮耦合循环	379

14.3 结论与展望	383
参考文献	384
第 15 章 生态系统结构与功能的复杂性及其环境响应的不确定性	395
摘要	395
Abstract	396
15.1 生态系统复杂性理论概述	397
15.2 生态系统结构与功能的复杂性	399
15.3 生态系统环境响应的不确定性	400
15.4 生态系统复杂性研究方法概述	403
参考文献	405
 第四篇 人类活动对生态系统的影响及其评价和调控 	
第 16 章 中国建设用地扩张的区域差异及其影响因素	409
摘要	409
Abstract	410
16.1 引言	411
16.2 数据与样本	411
16.3 建设用地扩张	412
16.4 人均建设用地区域差异	412
16.5 建设用地变化分析计量经济模型	414
16.6 计量经济模型估计结果与分析	415
16.7 结论与展望	416
参考文献	416
第 17 章 耕地用途转移对我国耕地生产潜力的影响	419
摘要	419
Abstract	420
17.1 引言	421
17.2 土地利用数据	421
17.3 耕地生产潜力估算模型	422
17.4 耕地用途转移特征	422
17.5 耕地生产潜力变化	424
17.6 2000—2003 年耕地变化	425
17.7 政策建议	426
参考文献	427
第 18 章 农业生态区(AEZ)模型方法与农业生产潜力评估	429
摘要	429
Abstract	430
18.1 引言	431
18.2 AEZ 模型框架	432

18.3	土地资源的构成	435
18.4	土地利用类型与作物复种轮种区划	439
18.5	中国农业生产潜力评估	445
18.6	结论与展望	449
	参考文献	449
第 19 章	气候变化、陆地生态系统格局与人类活动相互作用机制	453
	摘要	453
	Abstract	454
19.1	引言	455
19.2	全球气候变化与国际因素	455
19.3	陆地生态系统及其对全球气候变化的响应	463
19.4	气候、陆地生态系统和人类之间的相互作用机制	468
19.5	中国区域气候变化、土地利用与生态功能案例研究	473
19.6	结论与展望	488
	参考文献	489
第 20 章	生态系统服务功能变化与人类活动承载能力	491
	摘要	491
	Abstract	492
20.1	重要生态服务的总体变化趋势	493
20.2	用生态足迹度量生态服务消费	510
20.3	中国生态服务的人口承载能力	520
	参考文献	523
第 21 章	生态系统服务的供给、贸易与市场机制	525
	摘要	525
	Abstract	526
21.1	引言	527
21.2	生态系统服务的供给与消费	527
21.3	生态系统服务的价值化	537
21.4	生态系统服务贸易与市场机制	539
21.5	结论与展望	542
	参考文献	542

Contents

Introduction	Challenges and missions facing ecology in the 21st century	2
0.1	Introduction	3
0.2	History of ecology in the 20th century	3
0.3	Characteristics of relationship between modern human activities and ecosystem	9
0.4	The orientation of ecological research in the 21st century	12
0.5	Hot fields and scientific issues in modern ecology	20
0.6	The main scientific missions of ecosystem research in China	23
0.7	Conclusions and outlook	25
	References	26

Part One Multi-scale measurements and analysis of ecosystem changes

Chapter 1	Synthetic observation of water, carbon, and nitrogen cycles in the terrestrial ecosystem	32
1.1	Introduction	33
1.2	Coupling of ecosystem carbon, water, and nitrogen cycles and their fluxes	33
1.3	History of the technology for ecosystem carbon and water flux measurements	35
1.4	Advance in the technology of ecosystem nitrogen flux measurements	37
1.5	Integrative application of ecosystem flux measurement and model simulation	41
1.6	Integrative application of ecosystem flux measurement and remote sensing inversion	44
1.7	Conclusions and outlook	46
	References	46

Chapter 2	Application of stable isotope techniques in biogeochemical cyclings of terrestrial ecosystems	56
2.1	Introduction	57
2.2	Theory of stable isotope fractionation in ecosystems	57
2.3	Carbon isotope effects in ecosystems	59
2.4	Water isotope effects in ecosystems	68
2.5	Nitrogen isotope effects in ecosystems	74
2.6	Conclusions and outlook	78
	References	79

Chapter 3	Stable isotopic equilibrium of atmospheric water vapor and its application in the hydrological research	106
3.1	Introduction	107

3.2	Use of water vapor isotopes in ecological and hydrological research	107
3.3	Theory of idealized systems for atmospheric water vapor	108
3.4	Theory for the isotopic content of evaporation and transpiration	109
3.5	Temporal and spatial patterns in the isotopic content of atmospheric vapor	111
3.6	Measurement techniques	115
3.7	Conclusions and outlook	118
	References	118

Chapter 4 Remote sensing observation and retrieval of land surface parameters for ecological model simulation

4.1	Introduction	123
4.2	The satellites missions for ecosystem monitoring	123
4.3	The main methods for retrieval of land surface parameters from remote sensing data	129
4.4	The main remote sensing land surface products	133
4.5	Assimilation of Remote sensing products to ecological modeling	144
4.6	Conclusion	146
	References	146

Chapter 5 Scale issues of using high resolution spatial data in ecological modeling at the meso-scale watershed level under GIS environment

5.1	Introduction	159
5.2	Basic concepts	159
5.3	Neighborhood size and ecological factor issues in Ecological modeling	161
5.4	Scale incompatibility and spatial joint distribution of ecological factors	167
5.5	Case analysis	169
5.6	Conclusion	173
	References	173

Part Two Process-based ecosystem modeling and information fusion

Chapter 6 The dynamic simulation of ecosystem water cycle process and river basin water resources management

6.1	Overview of ecological models	181
6.2	Simulation of hydrological processes within Soil-Plant-Atmosphere Continuum	184
6.3	The integrated model of crop growth and the transfer of heat, water vapor and carbon dioxide in agricultural ecosystems	189
6.4	Watershed hydrologic models and their coupling with ecological models	202
	References	213

Chapter 7 Methods for simulating the spatiotemporal dynamics of the terrestrial ecosystem carbon cycle

7.1	Introduction	225
7.2	Components of the terrestrial carbon cycle	225

7.3	Photosynthesis modeling methodology	226
7.4	Respiration modeling methodology	233
7.5	Stand age as an important driver of the forest carbon cycle	234
7.6	The influence of disturbance on the carbon cycle	235
7.7	Time scale of the carbon cycle and its implications on carbon modeling	236
7.8	Strategies to reduce uncertainties in carbon cycle estimation	236
7.9	Examples from Canada and China	237
	References	241
Chapter 8	Approaches to modeling forest growth and carbon dynamics	248
8.1	Introduction	249
8.2	Model structure	249
8.3	Descriptions of sub-models	250
8.4	The construction strategy of an object-oriented model	254
8.5	The test and application of model	254
8.6	Discussion	261
	References	262
Chapter 9	Satellite-based modeling of gross primary production of terrestrial ecosystems	268
9.1	Introduction	269
9.2	A review of major satellite-based models of gross primary production	271
9.3	Detailed description of Vegetation Photosynthesis Model	274
9.4	Gross primary production of major terrestrial ecosystem types - case studies	276
9.5	Accuracy assessment and uncertainty analysis of models	279
9.6	Summary	280
	References	280
Chapter 10	Assimilation of multi-scale and multi-source ecological data: Techniques and application to carbon cycle research	286
10.1	Introduction	287
10.2	Simulation models of ecosystem carbon cycles	287
10.3	Data assimilation techniques	289
10.4	Applications to fluxnet	291
10.5	Applications to manipulative experiments	293
10.6	Summary	295
	References	296
 Part Three Ecosystem changes under and their adaptation to global change		
Chapter 11	Impacts of climate change on terrestrial ecosystems	302
11.1	Spatial patterns of Chinese terrestrial ecosystems	303
11.2	Trend of the temporal and spatial patterns of Chinese terrestrial ecosystems	306
11.3	Mechanisms of the effects of climate change on the pattern of Chinese terrestrial ecosystems	312