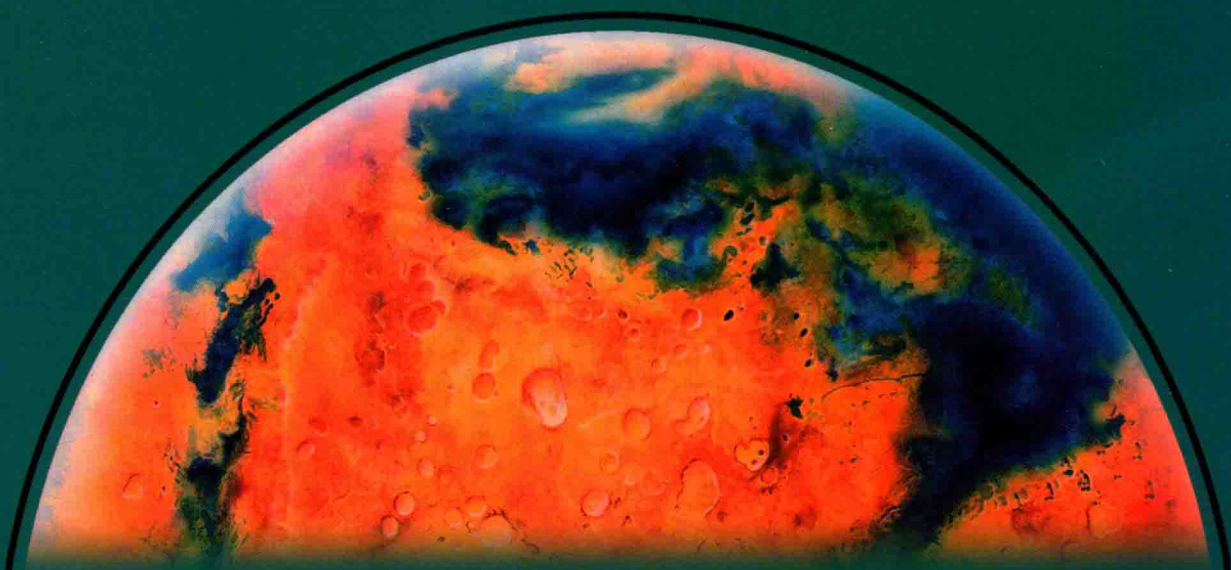
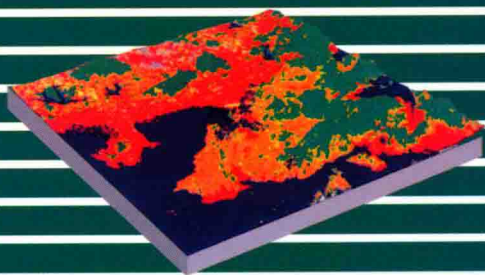
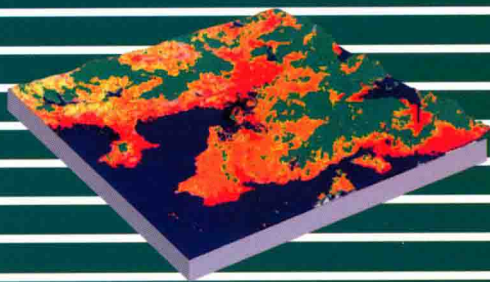
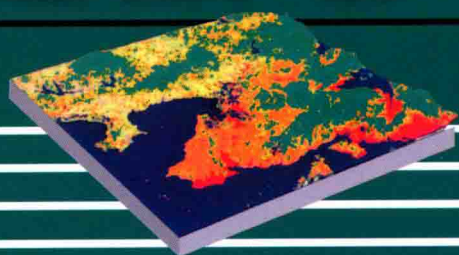




城市景观生态学 过程、影响和可持续性

何春阳 黄庆旭 刘志锋 马 群 邬建国 著



科学出版社

城市景观生态学： 过程、影响和可持续性

何春阳 黄庆旭 刘志锋 著
马 群 邬建国

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者在所承担的国家重大科学研究计划项目和创新研究群体科学基金项目的基础上,综合最新研究成果撰写而成的。

本书共 7 章。首先,基于景观可持续科学理念,提出了“过程-影响-可持续性”的城市景观可持续性研究框架,建立了基于夜间灯光数据的大尺度城市景观过程信息获取的方法体系,介绍了夜间灯光数据的系统订正方法、饱和订正方法和综合分类处理方法。其次,基于多尺度景观分析视角,详细揭示了近 30 年来中国城市化水平、城市扩展、城市规模-位序、城市蔓延和城市不透水层的基本格局和过程特征。进而综合利用遥感、地理信息系统和模型模拟手段,在不同时空尺度上揭示了中国城市景观过程对自然栖息地、耕地净初级生产力和地表温度的影响。最后,定量评估了中国近 30 年城市化进程中城市环境、居民福祉和人类-环境系统的基本状况。

本书结构完整,数据翔实,附有大量的研究实例,可供从事地理学、生态学、土地科学和城市规划学等领域的科研人员和相关高等院校师生阅读参考。

审图号: GS(2018)4802 号

图书在版编目(CIP)数据

城市景观生态学:过程、影响和可持续性/何春阳等著. —北京:科学出版社, 2018.10

ISBN 978-7-03-059060-2

I. ①城… II. ①何… III. ①城市景观-生态学-研究 IV. ①TU-856

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 227476 号

责任编辑:彭胜潮 赵 晶/责任校对:张怡君

责任印制:肖 兴/封面设计:铭轩堂

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>

三河市春园印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

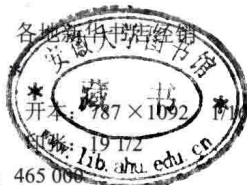
2018 年 10 月第 一 版

2018 年 10 月第一次印刷

字数:465 000

定价:168.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

土地利用(land use)、土地覆盖(land cover)和生态系统(ecosystem)三部分构成的土地系统(land system)是地球表层系统的基本组成部分。土地利用/覆被变化(land use/cover change, LUCC)不仅再现了地球表层景观的时空动态过程,而且客观记录了人类活动对地球表层的改造历程,是当前地学和全球变化研究中综合理解地球表层自然过程与人类活动相互作用机理的重要途径。如何有效模拟评估 LUCC 过程及其生态环境影响并维护和促进区域可持续发展,一直是当前地理科学,特别是综合自然地理学,进行地表综合集成研究的一个学科基础和前沿主题。

城市 LUCC 过程(城市景观过程或景观城市化)主要指土地利用方式的变化,导致城市内部改变和城市在区域中的扩展,发生不同时空尺度的土地系统变化的过程。当前中国伴随着人口的持续增长和经济的快速发展,正在经历一场快速的大规模城市化过程,其实质是人口、财富、技术和服务在空间上的集聚,以及生活、生产和组织方式的转变。从地域空间上看,复杂的生态、环境和灾害效应,已经使中国的城市 LUCC 过程成为了一种典型的人地系统动力过程。在认识和理解中国城市 LUCC 过程与影响的基础上,积极探求应对中国城市 LUCC 过程风险,实现中国城市可持续发展的科学途径,无疑具有重要的理论和现实意义。

1998 年,在李新老师的指导下,作者完成了本科毕业论文《地理信息系统与冰川体积变化可视化计算方法研究》,从兰州大学地理科学系自然地理专业毕业;同年,保送到北京师范大学资源科学研究所,跟随史培军教授攻读博士学位(硕博连读)。史老师长期从事综合自然地理学研究,认为以 LUCC 和自然灾害为抓手的人地系统动力学是综合自然地理学的主要研究内容和实践途径。依据作者的兴趣和基础,史老师鼓励和指导作者从格局、过程、机理和影响入手,综合利用遥感、地理信息系统和数学模型等技术手段,开展中国 LUCC 研究。于是,作者便以城市 LUCC 过程的监测和模型模拟为突破口,开始了自己的学术研究生涯。2003 年,作者完成了博士学位论文《北京地区城市化过程中土地利用/覆盖变化动力学研究》并顺利获得了博士学位。2004 年,参与完成了专著《土地利用/覆盖变化与生态安全响应机制》。2009 年,出版了专著《景观城市化与土地系统模拟》。

2012 年,美国亚利桑那州立大学邬建国教授来到北京师范大学,受聘为北京师范大学国家“千人计划”特聘教授,正式组建了北京师范大学人与环境系统可持续研究中心[Center for Human-Environment System Sustainability (CHESS) at Beijing Normal University],并大力推动中国的景观可持续科学研究。经史老师推荐,作者有幸成为该中心的一员,在邬老师的指导下继续开展 LUCC 研究工作。邬老师鼓励和支持作者在可持续科学框架下,从景观格局、生态系统服务和人类福祉关系入手,着眼于区域可持续发展,多尺度、多方法和多视角地认识和理解中国的城市 LUCC 过程。与此同时,黄庆旭博士、刘志锋

博士和马群博士等一批年轻学者也加入进来，与作者一起开展相关研究工作。岁月匆匆催人老，转眼间 5 年已经过去了。在这 5 年合作开展中国城市 LUCC 研究实践的基础上，我们对相关研究进展进行了系统总结、思考和提炼，终于完成了本书。

本书共 7 章。第 1 章绪论，介绍本书的主要结构和主要内容。第 2 章城市景观生态学概述，主要辨析全球城市 LUCC 的概念和特征，提出“过程-影响-可持续性”的城市景观可持续性研究框架，阐述中国城市生态的相关研究进展。第 3 章城市景观测量，在分析利用夜间灯光数据获取大尺度城市 LUCC 过程信息时面临的关键问题的基础上，建立基于夜间灯光数据的大尺度城市 LUCC 过程信息获取方法体系，介绍夜间灯光数据的系统订正方法、饱和订正方法和综合分类处理方法。第 4 章城市景观过程，主要利用以夜间灯光数据为主的多源遥感信息，基于多尺度景观分析视角，分析近 30 年来中国城市化水平、城市扩展、城市规模-位序、城市蔓延和城市不透水层的基本格局和过程特征。第 5 章城市景观过程的影响，综合利用遥感、地理信息系统和模型模拟手段，在不同时空尺度上揭示中国城市景观过程对自然栖息地、耕地净初级生产力和地表温度的影响。第 6 章城市景观可持续性，主要分析和评估中国近 30 年城市 LUCC 过程中城市环境、居民福祉(主要是空气污染暴露性和地震灾害暴露性)和人类-环境系统的基本状况。第 7 章结语，回顾本书的主要工作和主要发现，并且对未来城市景观生态学的研究进行展望和思考。

本书是集体智慧和心血的结晶。撰稿人员主要来自于北京师范大学人与环境系统可持续研究中心。各章主要作者分别是：第 1 章，何春阳；第 2 章，邬建国和何春阳；第 3 章，刘志锋和何春阳；第 4 章：黄庆旭和马群；第 5 章：刘志锋和马群；第 6 章：何春阳和黄庆旭；第 7 章：何春阳和黄庆旭。何春阳、邬建国和黄庆旭对全书进行了统稿和最后审定。

北京师范大学人与环境系统可持续研究中心的于德永教授、黄甘霖副教授、徐霞副教授、田玉强高级工程师和张化高级工程师在工作中给予大量的支持。我们近年来指导的研究生以他们的努力和创造性工作直接参与完成了本书的相关研究工作。他们是：2011 级博士研究生高宾(第 4 章第 1 节、第 3 节、第 4 节和第 6 章第 1 节)、2013 级硕士研究生许敏(第 4 章第 2 节和第 5 章第 2 节)、2014 级博士研究生窦银银(第 6 章第 3 节)、2004 级硕士研究生韩立建(第 6 章第 2 节)和 2013 级直博生李经纬(第 6 章第 4 节)。2017 级硕士研究生涂梦昭 and 孟士婷，以及 2018 级研究生尹丹、赵瑞和刘紫玟协助进行了本书的编辑和排版。在此，谨对他们表示深深的谢意。

本书中部分阶段性成果已在国内外相关刊物上先行发表，还有部分成果没有公开发表。这些研究成果主要是在我们承担的国家重大科学研究计划项目“全球变化与区域可持续发展耦合模型及调控对策”(编号：2014CB954300)、国家自然科学基金委员会创新研究群体科学基金资助项目“地表过程模型与模拟”(编号：41621061)和国家自然科学基金优秀青年基金项目“土地利用与土地覆被变化”(编号：41222003)的支持下完成的。由于中国城市 LUCC 问题的复杂性，加之作者水平有限，书中不足之处难免，诚请各位同行和读者批评指正。

最后，我们谨以本书对已故的周廷儒学部委员(院士)和李博院士表示深深的敬仰和

怀念；并对刘纪远研究员、傅伯杰研究员、陈发虎教授、宋长青教授、王静爱教授、成升魁研究员、李秀彬研究员、冷疏影研究员、董晓峰教授、冯学智教授、邓祥征研究员、牛建明教授、陈晋教授、李晓兵教授、潘耀忠教授、江源教授、李小雁教授和效存德教授等所有长期支持和关怀北京师范大学土地利用/覆盖变化研究的各位专家致以衷心的感谢。

何春阳

2017年12月于北京师范大学

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
参考文献	4
第 2 章 城市景观生态学概述	5
2.1 城市土地的基本概念和特征	5
2.1.1 问题的提出	5
2.1.2 城市土地的基本概念	5
2.1.3 基于等级理论的城市土地定义	6
2.1.4 全球城市土地基本特征	7
2.1.5 讨论与结论	10
2.2 城市生态学	11
2.2.1 城市生态学逐渐演变的定义和视角	11
2.2.2 城市生态学的主要研究进展	18
2.3 中国城市生态学进展	24
2.3.1 中国的城市发展	24
2.3.2 中国城市生态学的发展	28
2.3.3 中国的城市生态学特征	35
2.4 城市景观可持续性	36
2.4.1 景观生态学和日益凸显的城市主题	37
2.4.2 从城市生态学到城市景观生态学	40
2.4.3 城市景观生态学框架	42
2.4.4 城市居民的人类福祉评价	46
2.4.5 城市可持续性评价	48
参考文献	51
第 3 章 城市景观测量	64
3.1 夜间灯光数据的应用进展	64
3.1.1 问题的提出	64
3.1.2 DMSP/OLS 夜间灯光数据的特点	65
3.1.3 常用 DMSP/OLS 夜间灯光数据集	66
3.1.4 DMSP/OLS 夜间灯光应用趋势	68
3.1.5 应用领域和方法	72
3.1.6 讨论和结论	75
3.2 夜间灯光数据预处理	77

3.2.1	问题的提出	77
3.2.2	使用的数据	78
3.2.3	夜间灯光数据在城市景观测量中存在的问题	78
3.2.4	系统订正	80
3.2.5	饱和像元订正	84
3.3	城市建成区提取	89
3.3.1	问题的提出	89
3.3.2	数据	90
3.3.3	方法	91
3.3.4	结果	95
3.3.5	讨论和结论	97
3.4	城市不透水层提取	101
3.4.1	问题的提出	101
3.4.2	数据	102
3.4.3	方法	104
3.4.4	结果	109
3.4.5	讨论和结论	111
	参考文献	114
第4章	城市景观过程	122
4.1	中国城市化水平动态	122
4.1.1	问题的提出	122
4.1.2	数据	123
4.1.3	方法	124
4.1.4	结果	125
4.1.5	讨论	127
4.1.6	结论	131
4.2	中国城市扩展过程	131
4.2.1	问题的提出	131
4.2.2	数据	132
4.2.3	方法	133
4.2.4	结果	133
4.2.5	讨论	139
4.2.6	结论	140
4.3	中国城市蔓延过程	142
4.3.1	问题的提出	142
4.3.2	数据	143
4.3.3	方法	144
4.3.4	结果	146

4.3.5	讨论	150
4.3.6	结论	153
4.4	中国城市规模-位序分析	154
4.4.1	问题的提出	154
4.4.2	数据	155
4.4.3	方法	155
4.4.4	结果	158
4.4.5	讨论	162
4.4.6	结论	164
4.5	中国城市不透水层过程与机制	165
4.5.1	问题的提出	165
4.5.2	数据	165
4.5.3	方法	166
4.5.4	结果	169
4.5.5	讨论	177
4.5.6	结论	183
	参考文献	184
第 5 章	城市景观过程的影响	194
5.1	城市景观过程对自然栖息地的影响	194
5.1.1	问题的提出	194
5.1.2	数据	195
5.1.3	方法	195
5.1.4	结果	198
5.1.5	讨论	202
5.1.6	结论	203
5.2	城市景观过程对耕地净初级生产力的影响	203
5.2.1	问题的提出	203
5.2.2	数据	205
5.2.3	方法	206
5.2.4	结果	207
5.2.5	讨论	211
5.2.6	结论	216
5.3	城市景观过程对热环境的影响	217
5.3.1	问题的提出	217
5.3.2	数据	218
5.3.3	方法	218
5.3.4	结果	220
5.3.5	讨论	228

5.3.6 结论	233
参考文献	233
第6章 城市景观可持续性	239
6.1 中国城市景观过程的综合环境效应	239
6.1.1 问题的提出	239
6.1.2 数据	240
6.1.3 方法	242
6.1.4 结果	246
6.1.5 讨论	252
6.1.6 结论	255
6.2 中国城市居民的空气污染暴露性	255
6.2.1 问题的提出	255
6.2.2 数据	256
6.2.3 方法	257
6.2.4 结果	257
6.2.5 讨论	262
6.2.6 结论	265
6.3 中国城市居民的地震灾害暴露性	265
6.3.1 问题的提出	265
6.3.2 数据	267
6.3.3 方法	267
6.3.4 结果	269
6.3.5 讨论	274
6.3.6 结论	278
6.4 中国人类-环境系统可持续性评价	278
6.4.1 问题的提出	278
6.4.2 数据	279
6.4.3 方法	280
6.4.4 结果	281
6.4.5 讨论	284
6.4.6 结论	287
参考文献	288
第7章 结语	295
7.1 本书精要	295
7.2 展望	297
参考文献	299
作者简介	

第1章 绪 论

自 1750 年至 1850 年工业革命以来,城市化已成为全球环境变化和社会经济转型的主要驱动力(Grimm et al., 2008; Wu, 2008, 2010)。近几十年中,伴随着发达国家和发展中国家新兴城市的迅速发展及旧城的扩张,这种现象尤其突出。截至 2008 年,全球超过 50%的人口生活在城市区域,同时,城市人口的数量正在以每周 100 万人的速度迅速增长(Anonymous, 2010)。据联合国预测,2050 年全球人口的 80%将会生活在城市地区。即使世界人口在 2050 年已趋于稳定,但城市人口仍将继续增长,未来人口的增加都将集中在城市地区(大多集中于亚洲和非洲等)。因此,可以肯定的是,我们的未来将会变得更加“城市”。

城市化既是福也是祸(Wu, 2008, 2010)。城市是经济增长的引擎,是创新和社会文化发展的中心。城市通常对能源和原材料有更高的使用效率。同时,城市比农村更易获得教育、就业、医疗保健和社会服务。除此之外,通过人口的聚集,城市至少在原则上能够为其他物种节省更多的土地。但是,城市也是环境问题严重、社会经济不公平性不断增长、政治和社会动荡存在的地方。尽管物理上城市化的土地面积仅占地球陆地表层总面积的 3%,但城市“生态足迹”是不容小觑的——通常是城市占地面积的数百倍(Luck et al., 2001; Jenerette and Potere, 2010)。城市区域的碳排放量约占碳排放总量的 78%,城市用水约占居民用水总量的 60%,城市用于工业用途的木材使用量占木材使用总量的 76%(Grimm et al., 2008; Wu, 2008, 2010)。结果就是,城市化已经从局地到全球尺度严重影响了生物多样性、生态系统过程、生态系统服务、气候和环境质量。

然而,直到最近,生态学家还主要致力于“自然”生态系统,并将城市视为不具有研究价值的“破坏性的生态系统”(Collins et al., 2000)。但这并不意味着城市生态学是“全新的”。事实上,“城市生态学”在“生态学”和“景观生态学”产生之前就已经存在了。在过去的 20 多年中,城市生态学已经发展成为一个高度交叉的研究领域,越来越被生态学家、地理学家和社会科学家所接受。城市生态学的这种发展是史无前例的,其与整体上景观生态学的兴起,特别是城市景观生态学的兴起有很大关系。其使得一个充满活力并且令人兴奋的研究领域——城市景观生态学得以诞生。

本书主要关注城市景观过程中生态环境影响和区域可持续发展问题,共 7 章(图 1.1)。首先,基于景观可持续科学理念,提出“过程-影响-可持续性”的城市景观可持续性研究框架,建立基于夜间灯光数据的大尺度城市景观过程信息获取方法体系,介绍夜间灯光数据的系统订正方法、饱和订正方法和综合分类处理方法。其次,基于多尺度景观分析视角,详细揭示近 30 年来中国城市化水平、城市扩展、城市规模-位序、城市蔓延和城市不透水层的基本格局和过程特征,进而综合利用遥感、地理信息系统和模型模拟手段,在不同时空尺度上揭示中国城市景观过程对自然栖息地、耕地净初级生产力和地表温度的影响。最后,定量评估中国近 30 年城市化过程中城市环境、居民福祉和人类-环境系统的基本状况。

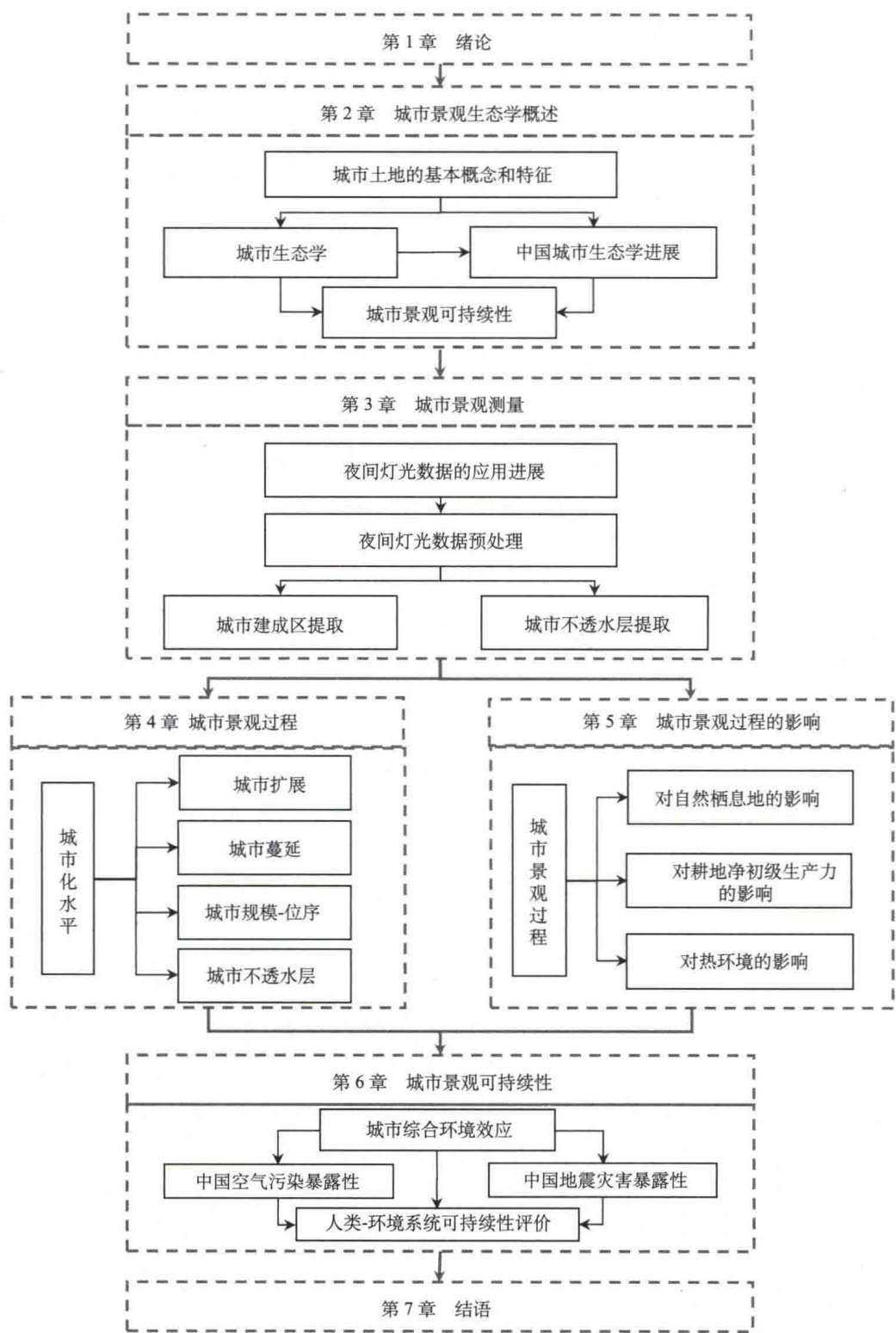


图 1.1 本书结构

具体地,第2章城市景观生态学概述。首先,在综述目前城市土地多种定义基础上,基于等级理论提出城市土地定义等级系统,分析全球城市土地的基本特征。随后,回顾城市生态学的沿革和演变,提出城市景观生态学的研究框架,总结城市生态学的主要进展。在此基础上,结合中国的城市发展历史,归纳中国城市生态学的发展阶段和研究特征,并探讨了未来研究的方向。最后,在解析城市生态学发展趋势的基础上,提出城市景观生态学的研究框架,并进一步介绍城市景观中人类福祉和城市可持续性评价的方法。

第3章城市景观测量。首先,概述近年来夜间灯光数据的应用进展,总结夜间灯光数据的特点,对比了常用的夜间灯光数据集,依托文献分析方法综述了夜间灯光数据应用领域和方法,并对未来研究提出了展望。在此基础上,针对夜间灯光在城市景观测量中稳定性和连续性差的问题,提出了长时间序列夜间灯光数据系统订正方法。该方法包括相对辐射订正、年内合成订正和年际序列订正3个步骤。同时,针对灯光饱和的问题,也提出了利用植被指数数据订正饱和像元的方法。最后,利用订正后的数据,分别发展了城市建成区和城市不透水层提取的方法,提取中国城市建成区和城市不透水层的信息,验证提取结果的精度。

第4章城市景观过程。首先,介绍利用灯光数据衡量城市化水平的方法,并从国家、省级和县级尺度分析中国近20年来城市化水平的动态。然后,基于夜间灯光提取的城市建成区数据和城市扩展指数,在国家、经济区和城市群尺度分析中国20多年来城市扩展的过程。随后,结合城市建成区数据、人口普查数据和城市蔓延指数,在国家、区域和不同规模城市的尺度分析中国城市蔓延的特征。同时,结合城市建成区数据、帕累托回归和位序钟方法,在全国和城市群尺度分析中国城市规模-位序特征。最后,结合城市不透水层数据、统计分析方法和景观生态学多尺度分析原理,在省级、地级和县级尺度探讨城市不透水层的驱动机制。

第5章城市景观过程的影响。首先,结合提取的城市土地数据和世界自然保护联盟发布的栖息地分类标准,在国家、生态区和热点地区3个尺度量化城市扩展对自然栖息地的占用。随后,结合植被净初级生产力模型和土地利用数据,在国家、农业区和热点地区3个尺度量化城市扩展对耕地净初级生产力的影响。最后,结合遥感获取的地表温度数据和气象站点数据,在生态区、城市群和城市核心区3个尺度分别分析城市景观过程对地表温度和城市热岛效应的影响。

第6章城市景观可持续性。首先,综合利用多源遥感数据,从国家、城市群和快速城市化地区3个尺度评估中国城市的环境变化。随后,将人口普查数据分别与空气污染数据产品和地震灾害图结合,从人类福祉角度即居民健康和安全的角度,分析中国城市居民对空气污染和地震灾害的暴露性。最后,利用人类可持续发展指数,从国家、区域和省级尺度分别评估中国过去20年的人类-环境系统可持续性。

第7章结语。总结本书的主要工作和主要发现,并对未来城市景观生态学的发展和城市景观生态学的研究进行讨论和展望。

参 考 文 献

- Anonymous. 2010. The century of the city. *Nature*, 467 (7318): 900-901.
- Collins J, Kinzig A, Grimm N, et al. 2000. A new urban ecology. *American Scientist*, 88 (5): 416-425.
- Grimm N, Faeth S, Golubiewski N E, et al. 2008. Global change and the ecology of cities. *Science*, 319 (5864): 756-760.
- Jenerette G, Potere D. 2010. Global analysis and simulation of land-use change associated with urbanization. *Landscape Ecology*, 25 (5): 657-670.
- Luck M, Jenerette G, Wu J, et al. 2001. The urban funnel model and the spatially heterogeneous ecological footprint. *Ecosystems*, 4: 782-796.
- Wu J. 2008. Making the case for landscape ecology: An effective approach to urban sustainability. *Landscape Journal*, 27: 41-50.
- Wu J. 2010. Landscape of culture and culture of landscape: Does landscape ecology need culture? *Landscape Ecology*, 25 (8): 1147-1150.

第2章 城市景观生态学概述

2.1 城市土地的基本概念和特征^{*}

2.1.1 问题的提出

全球正在经历快速城市化进程已经对生态环境造成了严重影响 (Irwin and Bockstael, 2007; Grimm et al., 2008; Fragkias and Seto, 2012; Wu, 2013c, 2014)。为了评价城市化对生物多样性、生态系统过程和环境状况的影响,我们必须掌握全球城市土地的总量和空间分布特征。近年来,已有学者借助遥感和地理信息系统技术获取了全球城市土地信息,但对全球城市土地的基本特征却莫衷一是。例如,目前对全球城市土地总面积的估测值最小不及全球陆地总面积的1%,最大已接近全球陆地总面积的3%,估测结果存在明显差异 (Elvidge et al., 2010; Ciesin et al., 2011)。除提取城市土地信息的数据源和方法不同之外,不一致的城市土地定义是造成全球城市土地基本特征仍存在争议的主要原因 (McIntyre et al., 2000; McIntyre, 2011; Raciti et al., 2012; Wu, 2014)。

本节的目的在于厘清城市土地的基本概念和特征。为此,首先在分析城市土地主要数据及其定义的基础上,提出了一个基于“巢式”等级理论的城市土地概念框架;然后,基于此概念框架对现有全球城市土地数据进行了归纳,明确了全球城市土地的总量和空间分布特征。

2.1.2 城市土地的基本概念

“城市”一词在文献中有着大量不同的含义 (McIntyre et al., 2000; McIntyre, 2011)。一般情况下,总人口规模、人口密度和不透水层 3 个要素被用作定义城市的标准 (Wu, 2014)。在这里,仅分析了全球城市土地数据涉及的城市土地定义。

本书共搜集了 1993~2013 年公开发布的 12 项全球城市土地数据,这些数据涉及 6 个不同的城市土地定义 (表 2.1)。这些数据包括 9 项全球城市土地空间分布数据 (Angel et al., 2005; Bartholome and Belward, 2005; Schneider et al., 2009, 2010; Elvidge et al., 2010; Klein Goldwijk et al., 2010; Angel et al., 2011; CIESIN et al., 2011; ESA, 2011; Demographia, 2012)、1 项世界观察研究所发布的全球城市土地面积估测数据 (O'Meara, 1999) 和 2 项来源于全球城市研究专著 (Worldwatch Institute) 的全球城市土地面积估测数

^{*} 本节内容主要基于 Liu Z, He C, Zhou Y, et al. 2014. How much of the world's land has been urbanized, really? A hierarchical framework for avoiding confusion. *Landscape Ecology*, 29(5): 763-771. 本节中的插图和表格是根据上述文献中对应的图表修改、重绘而成。

据 (Douglas, 1994; Gamba and Herold, 2009)。这些数据涉及的 6 个城市土地定义包括“城市范围”“城市行政范围”“以建筑环境占主导的区域”“建成区”“人造地表和相关区域”和“不透水层”。

本书发现，不同定义下，全球城市土地面积的估测结果存在差异 (表 2.1)。“城市范围”和“城市行政范围”下的全球城市土地面积估测值接近全球陆地面积的 2%，其他 4 个定义下的全球城市土地面积估测值不超过全球陆地面积的 0.6%。另外，两个无明确的城市土地定义的全球城市土地面积估测值接近全球陆地面积的 3% (Gamba and Herold, 2009; CIESIN et al., 2011)。这一比较表明，这些估测结果存在差异的首要原因是城市土地定义的不一致。

2.1.3 基于等级理论的城市土地定义

为了避免由不同的城市土地定义造成的混淆，本书基于等级理论中的“巢式”等级 (Wu, 2013a)，提出了一个包含 3 个层次的城市土地定义等级系统 (图 2.1)。该系统包括的 3 个等级层次分别对应于“城市区域”“建成区”和“不透水层”3 个空间范围递减的关键城市土地定义 (图 2.1)。

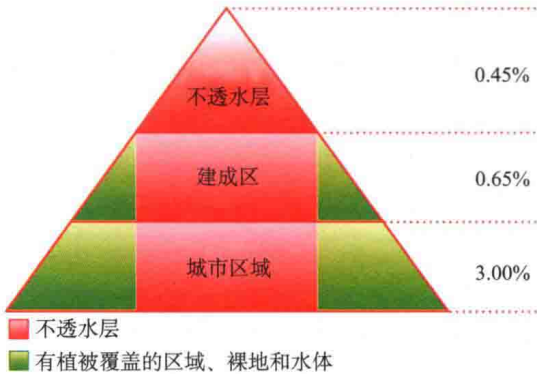


图 2.1 城市土地定义的等级

图右侧比例表示不同定义下全球 2010 年城市土地面积占陆地总面积 (不包括南极洲和格陵兰岛) 的比例的最佳估测结果，详见表 2.2

作为底层的“城市区域”是指最广义的城市土地空间范围，与上述的“城市行政范围”和“城市范围”相对应。换言之，“城市区域”是一个城市的行政边界内所有区域的总和，包括全部的不透水层、有植被覆盖的区域、裸地和水体。对于一个更大的、包含多个城市的地理区域，它的“城市区域”即为各市的“城市区域”之和。这一基于城市行政边界的定义已被用于相关文献中 (Douglas, 1994; McIntyre et al., 2000; McIntyre, 2011)。

在中层，本书建议采用“建成区”一词来代替“以建筑环境占主导的区域”及“人造地表和相关区域”等相似的定义。在一个地理区域中，“建成区”只是“城市区域”的一部分，仅指以公路、建筑物、飞机跑道和工业设施等无植被覆盖的人造地物为主 (即占区域总面积的 50% 以上) 的区域。因此，根据该定义，城市行政边界内主要被植被覆盖的区域 (如

高尔夫球场和公园)不属于城市建成区的范畴(Potere and Schneider, 2007)。

“不透水层”位于顶层，它是指水流不能透过的人造土地覆盖，包括屋顶、公路、人行道和停车场(Ridd, 1995; Weng, 2012)。对于一个给定的地理区域，“不透水层”的空间范围必然小于“建成区”，而“建成区”则小于“城市区域”(图 2.1)。例如，Sutton 等(2010)发现，在东南亚，即使在大城市的中心，不透水层面积也常常不及建成区面积的一半。

2.1.4 全球城市土地基本特征

基于等级理论的城市土地定义有助于厘清全球城市土地的总量和空间分布特征(图 2.1)。根据 Douglas (1994) 和 O’Meara (1999) 的研究，全球城市区域的总面积占全球陆地总面积的 1.86%~2.00%。基于最近的估测结果，全球城市区域约占全球陆地总面积的 3.00%(Gamba and Herold, 2009; CIESIN et al., 2011)。根据 2000 年空间分辨率为 500m 的 MOD500 数据和通过更新 MOD500 数据得到的 2010 年 GULC2010 数据，全球建成区的总面积为 70 万~90 万 km²，占全球陆地总面积的比例为 0.49%~0.65%(Potere et al., 2009; Schneider et al., 2009, 2010; Angel et al., 2011)。根据 Elvidge 等(2010)和 Sutton 等(2010)的估测结果，全球不透水层的总面积约为 60 万 km²，占全球陆地总面积的 0.45%。

不同定义下的城市土地面积在各大洲和地区间存在明显差异(图 2.2)。1995 年，北美洲城市区域面积占区域土地总面积的比例最大，为 4.74%。亚洲和欧洲城市区域面积

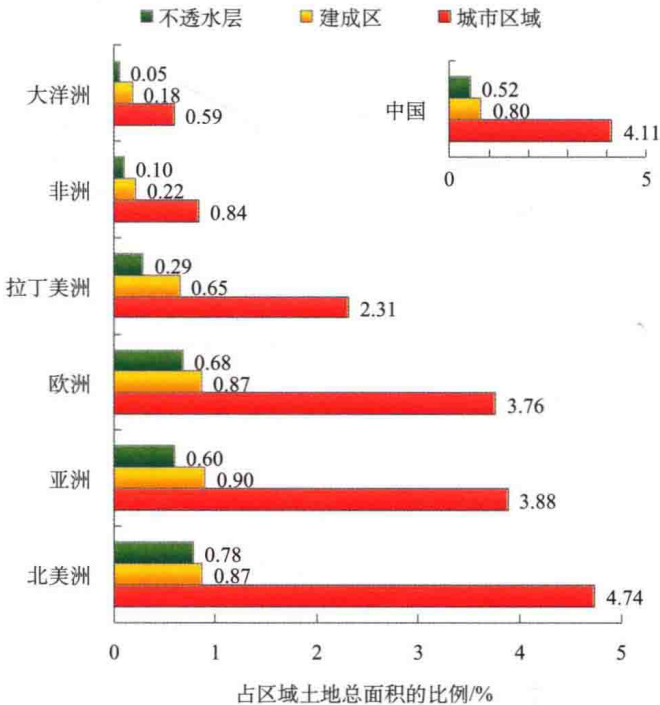


图 2.2 各大洲和中国城市区域、建成区和不透水层的估测结果

城市区域估测结果来源于 1995 年的 GRUMP 数据 (CIESIN et al., 2011)，建成区估测结果来源于 2010 年的 GULC2010 数据 (Angel et al., 2011)，不透水层估测结果来源于 2010 年的 IMPSA2010 数据 (Elvidge et al., 2010; Sutton et al., 2010)。
北美洲的陆地总面积不包括格陵兰岛