

陈伏生 ■ 主编

城乡

梯度森林生态过程研究

ECOLOGICAL PROCESSES IN FORESTS ALONG
AN URBAN-RURAL GRADIENT

中国林业出版社



城乡

梯度森林生态过程研究

ECOLOGICAL PROCESSES IN FORESTS ALONG
AN URBAN-RURAL GRADIENT

陈伏生 ■ 主编



中国林业出版社



图书在版编目(CIP)数据

城乡梯度森林生态过程研究/陈伏生主编. —北京:中国林业出版社, 2013. 8
ISBN 978-7-5038-7084-2

I. ①城… II. ①陈… III. ①森林生态系统—研究—中国 IV. ①S718.55

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 129275 号

中国林业出版社·自然保护图书出版中心

责任编辑:李敏

电 话:(010)83280498

出版 中国林业出版社(100009 北京西城区刘海胡同 7 号)
<http://lycb.forestry.gov.cn> E-mail:lmbj@163.com

发行 中国林业出版社

印刷 三河祥达印装厂

版次 2013 年 8 月第 1 版

印次 2013 年 8 月第 1 次

开本 787mm × 1092mm 1/16

印张 12.5

字数 304 千字

印数 1 ~ 1500 册

定价 45.00 元



内容简介

城乡梯度森林被认为是研究全球环境变化与森林生态系统相互影响和反馈的新兴有效模式。本书归纳了森林土壤氮转化、磷转化、碳稳定性、凋落物分解、植物养分内循环、生态化学计量学等生态学的热点及其研究方法。以南昌城乡梯度森林为对象，介绍了土壤氮素矿化、土壤磷素形态分级、土壤有机碳稳定性、土壤微生物特性、凋落物养分归还、叶片养分动态、养分再吸收等重要过程的研究成果。结合南昌城乡森林的现状，作者提出了城市森林的适应性管理模式。基于城乡梯度森林大气氮沉降、土壤磷积累、 CO_2 浓度升高等方面的研究进展，本书展望了城市森林氮、磷循环，土壤固碳学和城市生态的研究前景。本书以翔实的第一手资料和多年的试验数据，剖析森林生态系统养分内循环对城市化过程的响应机制，是一部描述森林生态过程和功能应对全球变化综合效应的参考书，有助于推动全球变化研究和城乡梯度森林生态学的发展和完善。

本书可供从事林学、生态学、环境科学、城市管理等方面的研究工作者，相关高校的师生，林业、园林、环保和市政部门的管理者和工作者参考。



资助项目

国家自然科学基金(31260199、31160107、30960311、30600473)

国家重点基础研究发展计划, 973 课题(2012CB416903)

江西省青年科学家培养对象计划(20122BCB23005)

编著委员会

主 编 陈伏生

副主编 胡小飞 杨清培 余明泉 裘利洪

编著者 (按姓氏笔画排序)

丁彰琦	弓晓静	甘 露	冯 雪	任 文	刘 煜
杜天真	李 茜	李 敬	杨光耀	杨清培	余明泉
余 焜	张 露	陈伏生	陈 希	胡小飞	施建敏
袁平成	郭恢财	裘利洪	詹书侠		



序 Preface

伏生邀我为其新书《城乡梯度森林生态过程研究》写序，我欣然接受。

2000年，伏生成为我招收的第一个硕士研究生，2年后转为提前攻博生，师从何兴元研究员；我作为副导师，继续指导其完成博士学位论文。当时的情形是：我1997年博士毕业，不久我的导师姜凤岐先生让我来担任学科组负责人，而且让我接手管理大青沟沙地生态实验站；中国科学院正在实施知识创新工程。因此，我们面临的一个问题是大青沟站如何定位。经过大家的思考，确定养分循环作为未来科研工作的重心之一，而这恰恰是我们以前工作中未能重视的一个薄弱环节。围绕养分循环问题，我们尝试布置了几个试验。另外，伏生想了解植物分布与土壤养分空间格局的关系，于是就到东北林业大学王政权教授那里学习地统计学。当年秋天，开展了相关取样分析工作。樟子松是我国北方生态脆弱地区的一个重要造林树种，其人工林在不少引种地区出现了早衰甚至死亡现象。水分被认为是沙地生态系统的一个关键限制因子，多数研究工作都围绕水分及其相关内容来展开。我们认为，养分可能是大青沟站周边地区沙地生态系统的一个关键限制因子。因此，伏生的学位论文确定为人工固沙林土壤氮素转化及其有效性。回想当时的情形，大青沟站的科研基础非常薄弱，软硬件环境都很差，生活条件也比较艰苦，但大家积极思考，劲头都很足，干得也很开心。伏生就是在这样一个环境下完成其博士论文的。他的开朗、勤奋、执着、善于思考给我留下了深深的印象。

2005年，伏生从中国科学院沈阳应用生态研究所博士毕业，回到江西，从事中亚热带森林生态和土壤养分循环方面的研究。在国家自然科学基金等项目的资助下，先后布置了多个野外试验，如：城乡梯度森林地下生态过程，赣南脐橙果园土壤氮磷循环，退化红壤森林植被恢复与养分循环，酸雨与土壤铝含量对茶叶活性组分的影响等。这些研究体现了一个鲜明特点，围绕重要环境问题和实践需

求,以生态过程为主线探讨机制。2009~2010年,在王政权教授的鼓励和推荐下,伏生以高访身份,到美国 Cornell 大学著名森林生态学家 Tim Fahey 实验室从事地下生态学——根系生态和根际效应的博士后研究。在 Cornell 期间,他还与 Karl J. Niklas 和 Joseph Yavitt 等教授结下了深厚的友谊。正是这几位名师的指点和熏陶,伏生对地下生态学、生物地球化学、生态化学计量学、叶片性状等当代生态学前沿领域有了新的理解,对如何做科学研究也有了新的体会,弥补了在博士学习期间存在的不足,为其今后的发展奠定了坚实的基础。值得一提的是,通过频繁的电邮往来,我有幸及时分享了他在 Cornell 学习、研究过程中的体会与感悟,并在他的帮助下,与 Tim、Karl 等开展了一些合作研究。

生态学在促进人们对生态系统、环境健康以及生物包括人类自身如何依赖关键生态过程的了解中发挥了重要作用。在迫切要求解决由于人口不断增长导致对生态系统服务需求持续增加、环境不断恶化等问题的影响下,对自然—社会—经济复合系统的结构、功能及其调控的研究成为人类社会可持续发展的巨大需求,也是当代生态学研究者和实践者应该去面临的挑战。《城乡梯度森林生态过程研究》一书,以快速城市化背景下的森林生态系统为对象,系统阐述了南昌市城乡结合部森林生态系统氮磷养分供应、吸收、利用及其调控的过程和机制,土壤有机碳稳定性,森林植物叶片养分及其化学计量学,以及凋落叶分解特征,最后提出了生态系统的适应性管理对策。充分体现了环境问题与生态过程研究的有机结合,这是该书的一个显著特点,为其一;其二,主要内容均涉及当代生态学的研究热点和新方法的应用;其三,书中数据多数是作者自己及其团队调查收集的第一手资料,难能可贵。以上几个特点,相信读者可以去体会。

总之,这是一部内容丰富、反映生态学前沿研究成果的书。希望此书的出版,能够对我国生态学的发展有所助益。

是为序。

曾德慧

2013年3月



前言 Forewords

城市化是指人口向城市地区集聚的过程和农村转变为城市的过程，目前已成为地球上最为显著的变化特征之一。全球城市居住人口已从 50 年前的 30% 增加到目前的 50% 以上，预计到 2030 年，将有 50 亿人口居住到城市，城市人口将占到地球总人口的 60% 以上。中国大陆城市人口已由 1978 年的 18% 增至 2011 年末的 51%，预计 2030 年将达到 65%，超过世界平均水平。城市化是人类进步的表现形式，也是衡量一个国家和地区经济、文化、科技和社会的组织程度和管理水平的重要标志。但也给人类生存的生态环境和城市生态系统的健康可持续发展带来巨大的挑战。

城乡梯度是伴随着城市化进程出现的研究森林生态系统应对和反馈全球环境变化的新兴范式。20 世纪 90 年代以来，美国卡里生态系统研究所 (Cary Institute of Ecosystem Studies) Mark J. McDonnell 和 Steward T. A. Pickett 博士等启动了围绕纽约 130 km 城乡梯度森林生态系统结构、过程和功能的研究。此后，在大气氮沉降、生物地球化学循环、凋落物分解、植物生理生态响应等方面取得了一系列成果，并认识到城市环境是全球变化的“先兆”。开展城乡梯度森林生态的研究可帮助预测森林生态系统对全球环境变化的响应。本人 2005 年从沈阳博士毕业分至南昌工作，城乡梯度森林生态研究吸引了我。令人庆幸的是，南昌城乡梯度森林氮磷循环与生态化学计量的研究设想得到了国家自然科学基金青年基金的资助，成为我人生科学研究生涯的新起点。此后，沿城区—郊区—农村梯度长 35 km 宽 7 km 共计 39 块森林样地成为学生们、同事和本人工作的“乐园”。特别感谢参与过此项研

研究工作的数以百计的本科生、研究生和研究团队的同事们。

南昌地处中亚热带,自然条件优越,植物资源丰富。2011年末,城市绿化覆盖率42.96%,森林覆盖率21.96%,人均公共绿地面积达到 9.18 m^2 ,城市森林建设成效显著。2000~2010年间,南昌人口增长13.72%,城镇人口比例增加16.83%,城区面积扩大2倍多,是发展中国家城市化进程的典型代表。本书以南昌城乡梯度森林为主要对象,基于承担国家自然科学基金“城乡梯度森林土壤氮磷转化、吸收和生态化学计量”的研究成果,结合研究团队近些年所拓展的研究内容,并综合分析国内外的相关文献编著而成。本书以第一手调查、试验数据及其所取得的研究成果为主体,同时也参考了大量的国内外文献,借此感谢所有引文作者;但由于疏忽和篇幅限制仍有部分引文未能列出,在此,对这些研究人员表示歉意。

本书共分为7章,主要包括城乡森林基本概况、城乡森林土壤氮转化、城乡森林土壤磷有效性、城乡森林土壤有机碳稳定性、森林凋落物分解对城市化的响应、城乡森林植物叶片性状与土壤养分供应的关联性、城乡森林生态研究展望等内容。同时,以附件的形式汇编了南昌种子植物名录。陈伏生负责总体框架设计,并执笔各章节的初稿;胡小飞和杨清培修改和审核了全书的所有章节;余明泉做了大量的研究工作,并修改和审核了部分章节;裘利洪承担南昌种子植物名录的编写。杜天真、杨光耀、张露、施建敏、袁平成等老师参与专著编写的讨论,提供了部分资料,并修改和审核若干章节。丁彰琦、甘露、冯雪、任文、刘煜、李茜、李敬、余焜、陈希、郭恢财、詹书侠等研究生参与研究工作,提供试验数据,并完成了初步分析。

本书的出版得到了江西农业大学、南昌大学、江西科技师范大学、中国科学院沈阳应用生态研究所、中国科学院千烟洲红壤丘陵综合开发试验站等单位领导和老师的支持和帮助。特别感谢中国科学院曾德慧、何兴元、朱教君、姜凤岐、王辉民、郭大立等老师多年来对本人学习和工作等各方面的教诲和指导。此外,还要感谢美国康奈尔大学 Timothy Fahey, Joseph Yavitt 和 Karl J. Niklas 教授,本人访美进修期间得到了他们很好的学术指导,开阔了研究视野。

由于作者水平有限,编写时间仓促,不当之处恳请读者批评指正。

陈伏生
2013年2月于南昌



目 录 Contents

序

前言

第 1 章	城乡森林基本概况	1
1.1	国内外城乡森林的发展	1
1.1.1	森林城市和城市森林的兴起与实践	1
1.1.2	城乡森林的内涵和特点	2
1.2	南昌的城市化进程	3
1.2.1	城市建设规模的变化	3
1.2.2	社会经济发展状况	4
1.2.3	人口动态和交通状况	5
1.2.4	生态环境质量状况	5
1.3	南昌的自然环境条件	5
1.3.1	地理位置	6
1.3.2	地质地貌	6
1.3.3	气候条件	6
1.3.4	水文状况	6
1.3.5	土壤类型	6
1.4	南昌城乡森林特征	7
1.4.1	城乡森林群落类型	7
1.4.2	植物种类及其多样性	11
1.4.3	南昌城乡森林发展与城市森林建设	13
第 2 章	城乡梯度森林土壤氮转化的时空动态	14
2.1	森林土壤氮转化研究进展	14

2.1.1	土壤氮循环的基本过程	16
2.1.2	土壤氮转化的影响因素	20
2.1.3	土壤氮矿化研究方法	21
2.2	南昌城乡梯度森林土壤有效氮的时空动态	25
2.2.1	土壤矿质氮的月份动态	25
2.2.2	土壤氨基酸和微生物量氮的季节动态	27
2.2.3	相对硝化强度与氮流失	28
2.3	南昌城乡梯度森林土壤氮矿化的时空格局	29
2.3.1	土壤氨化速率的时空变异	29
2.3.2	土壤硝化速率的时空变异	30
2.3.3	土壤矿化速率的时空变异	31
2.3.4	土壤氮矿化估测方法的对比	32
2.4	森林土壤氮转化的城市化效应	33
2.4.1	温度和水分对土壤氮矿化的影响	33
2.4.2	城市环境条件对土壤氮转化的影响	36
2.4.3	城市森林结构与氮饱和特征	39
2.4.4	城市森林氮循环与生态管理	39
第3章	城乡梯度森林土壤磷功能分级与有效性格局	44
3.1	城乡梯度森林土壤磷循环研究进展	44
3.1.1	土壤磷转化与有效性	45
3.1.2	土壤磷有效性的影响因素	45
3.1.3	土壤磷的研究方法	46
3.1.4	Hedley 磷功能组分改进分级法	47
3.1.5	城市化、氮磷耦合与研究展望	48
3.2	南昌城乡梯度湿地松林土壤磷转化的时空格局	49
3.2.1	土壤全磷贮量的空间变异	49
3.2.2	不同功能磷组分的时空动态	50
3.2.3	磷功能组分组成的基本格局	52
3.2.4	土壤氮磷化学计量比及其启示	52
3.3	南昌城乡梯度主要森林类型土壤磷功能组分的变异性	53
3.3.1	不同森林类型土壤磷功能组分及其构成的异同	54
3.3.2	城市化对土壤磷功能组分及其构成的影响	55
3.3.3	不同土壤磷功能组分的关联性	56

3.3.4	土壤磷组分的空间变异机制	56
3.4	城区土壤磷素特征与潜在风险	56
3.4.1	城市化对土壤系统磷平衡的影响	58
3.4.2	土壤磷积累的潜在风险	58
3.4.3	城市土壤污染与生态防治	58
3.4.4	城市森林与磷循环特点	59
第4章	城乡梯度森林土壤有机碳和生物学特征	61
4.1	有机碳稳定性与土壤生物学研究进展	61
4.1.1	森林土壤碳稳定性的影响因素	62
4.1.2	城市森林土壤呼吸及碳通量	62
4.1.3	城市土壤生物学特征	63
4.1.4	气候变暖与有机碳储量	64
4.2	南昌城乡梯度森林土壤有机碳矿化及其影响因素	64
4.2.1	土壤有机碳的空间分布格局	65
4.2.2	土壤有机碳矿化的空间变异特征	65
4.2.3	土壤微生物类群多样性	67
4.2.4	土壤重要酶的活性	69
4.2.5	影响土壤有机碳矿化的因素	70
4.3	城市化效应与土壤碳通量	72
4.3.1	模拟气候变暖对树木根系呼吸/分解的影响	72
4.3.2	森林土壤有机碳矿化的温度敏感性	74
4.3.3	CO ₂ 通量根际效应对温度升高的响应	76
4.3.4	城市森林土壤的固碳潜能	77
第5章	森林凋落物分解过程对城市化效应的响应	78
5.1	森林凋落物分解研究进展	78
5.1.1	凋落物分解过程及其基本模式	78
5.1.2	凋落物分解的调控因素	79
5.1.3	凋落物分解研究方法	80
5.1.4	凋落物碳水化合物组成	81
5.1.5	城市化对凋落物分解的潜在影响	81
5.2	碳氮磷化学计量特征对凋落物分解的调控	82
5.2.1	凋落物分解的养分和有机碳释放格局	83
5.2.2	凋落物质量变化及其驱动因素	85

5.2.3	胞外分解酶对外源化学计量改变的响应	88
5.2.4	内外化学计量改变对凋落物分解过程的相对贡献	88
5.3	氮磷添加对城郊湿地松针叶分解养分动态的影响	88
5.3.1	针叶分解重量衰减规律	89
5.3.2	针叶分解养分动态	89
5.3.3	针叶分解碳氮磷生态化学计量比的动态	92
5.3.4	城市化效应对针叶分解的潜在影响	93
5.4	混合凋落物分解对模拟城区氮沉降和磷积累的响应	93
5.4.1	混合凋落物分解养分动态	94
5.4.2	凋落物分解过程碳水化合物的变化	96
5.4.3	土壤生化特性及其与凋落物特征的关联性	97
5.5	城市森林凋落物的生态功能和适应性管理	101
5.5.1	森林凋落物的生态功能	101
5.5.2	凋落物移除与城区森林碳氮磷平衡	101
5.5.3	城市森林凋落物的适应性管理	103
第6章	城乡森林植物叶片性状与地下生态过程的关联性	105
6.1	叶片性状与生态化学计量研究进展	105
6.1.1	描述叶片性状的主要指标	106
6.1.2	叶片养分含量与利用效率	106
6.1.3	生态化学计量学理论与应用	107
6.1.4	地上一地下生态过程关联性	107
6.2	南昌城乡梯度湿地松针叶养分动态和再吸收特征	108
6.2.1	针叶养分含量时空格局	108
6.2.2	针叶碳氮磷化学计量比时空格局	109
6.2.3	养分再吸收及其影响因素	110
6.2.4	城市化与树木养分内循环	112
6.3	不同植物功能群叶片性状及其与土壤养分供应的关联性	112
6.3.1	叶片寿命与比叶面积	113
6.3.2	叶片氮磷含量及其化学计量比的季节动态	114
6.3.3	城市植物养分再吸收的分异规律	116
6.3.4	叶片性状的内在关联性	117
6.3.5	土壤养分供应与叶片性状的相关性	118
6.4	叶片碳氮磷化学计量格局与养分限制性评价	121

6.4.1	生态化学计量在养分限制性评价中的应用	121
6.4.2	全球植物氮磷化学计量与养分再吸收格局	121
6.4.3	中国植物叶片氮磷比格局及其启示	122
6.4.4	南昌城市森林植物存在的问题与管理对策	123
第7章	城市生态系统与城乡梯度森林生态研究	124
7.1	城市生态系统的特征	124
7.1.1	气候条件	125
7.1.2	土壤特性	125
7.1.3	动植物多样性及其分布	126
7.1.4	城市生态系统的基本框架	126
7.1.5	城市生态系统的研究体系	126
7.2	城乡梯度森林生态研究进展	128
7.2.1	城乡梯度大气氮沉降格局	129
7.2.2	城乡梯度土壤污染物的分布格局	129
7.2.3	城乡梯度 CO ₂ 浓度的时空变异	129
7.2.4	城市热岛效应与全球变暖	130
7.2.5	城乡梯度臭氧格局与植物的响应	130
7.2.6	城乡梯度生态因子的复合效应与启示	130
7.3	城市森林生态研究展望	131
7.3.1	城市森林生态学的任务	131
7.3.2	城市森林生态学的学科特点	132
7.3.3	城市森林生态研究的发展态势	132
参考文献		135
附件：南昌种子植物名录		152

第 1 章

城乡森林基本概况

城乡森林是城市化发展过程所形成的独特生态界面。本章以中国南方快速城市化代表南昌——为例，介绍了城市化进程的主要特征、城乡森林生长的自然环境条件和城乡森林的植物群落类型和物种多样性等。优越的自然环境和丰富的植物资源为南昌城乡森林的建设和发展提供了有利的条件。基于此，结合城市森林建设的必要性和重要性，提出南昌城乡森林未来的发展思路 and 对策。

城市森林建设是城市文明的重要标志(何兴元, 2004)。城市森林植物通过光合作用, 转化和利用太阳能、实现城市自然物流、能流的良性循环, 为城市提供固碳供氧、调节温湿度、滞尘吸污、减噪杀菌、回充地下水等生态功能, 促进城市生态系统的良性循环。因此, 城市森林是城市生态系统的主要组成部分。随着社会经济的发展, 城市森林不断延伸至远郊和农村, 城乡森林融为一体, 共同支持城市的可持续发展(王效科等, 2009)。南昌是发展中国家快速城市化的典型代表, 优越的自然环境和丰富的植物资源为南昌创建国家森林城市提供了有利的条件。高质量的城乡森林为南昌建设人居环境优美、生态系统服务功能良好的生态城市提供了支撑。

1.1 国内外城乡森林的发展

随着城市化进程的加快, 城市固有的社会服务功能不能满足人类的需求, 城市生态环境问题日益严重, 居民生活质量受到较大的影响。因此, 维持城市生态环境的良性循环, 促进城市与自然共存的可持续发展已成为当前城市建设研究的重要课题(何兴元等, 2002)。建设城市森林、增加城市绿量是改善城市环境、实现可持续发展的重要措施。城市森林正是在这样的背景应运而生, 作为城市“绿肺”的森林是促进城市自然—社会—经济生态系统可持续发展, 改善城市环境, 提高居民生活质量的重要保障。发展城市森林, 形成城乡森林一体化是改善城市生态环境, 充分利用森林净化空气、保持水土、调节气候、减少噪音、美化环境等生态功能的重要途径(彭镇华, 2012)。

1.1.1 森林城市和城市森林的兴起与实践

早在 1912 年, 美国林学家 Mell 就指出, 林学家的阵地可能在城市。1962 年, 美国肯尼迪政府在资源调查中首先使用“森林城市”这一名词, 成为“森林城市”提法最早的国家。1965 年加拿大 Erik Jorgensen 教授将“城市”和“森林”组合起来, 首次较完整提出“城市林业”的概念, 并讲授“城市森林”课程(何兴元等, 2002)。自城市森林概念提出以后, 美国、加拿大以及德国、芬兰等欧洲国家开始重视和研究城市森林, 并将城市森林的建设范

围扩大到市郊。自 1968 年以来,美国有 30 多所大学开设了“城市森林”课程。1973 年,国际树木栽培协会召开了“城市森林”大会。1987 年英国实施伦敦森林发展计划,1988 年厄瓜多尔实施城市森林的强制性计划,1999 年美国林业署建立了城市森林编目的数据库。经过 40 多年的发展,城市森林作为城市生态环境建设重要内容,已得到各国政府普遍接受,森林城市的理念也深入人心(何兴元,2004)。

我国“城市森林”和“森林城市”的研究和建设均起步较晚。20 世纪 80 年代中期,台湾大学高清教授出版《都市森林》一书,与此同时,沈国舫等人将城市森林的有关概念引入到国内。1992 年举行了第一次城市林业研讨会,1994 年中国林学会成立了城市林业专业委员会,将“城市林业”、“城市森林”、“城郊型森林”、“城乡绿化”、“都市林业”、“城市国土绿化”、“城市园林”和“生态园林”等概念统一为城市森林。此后,一大批学者开始投入到城市森林的理论和应用研究中(祝宁等,2003)。

自 2004 年起,全国绿化委员会、国家林业局启动了“国家森林城市”评定程序,制定了《“国家森林城市”评价指标》和《“国家森林城市”申报办法》。同年,中共中央政治局常委、全国政协主席贾庆林为首届中国城市森林论坛作出“让森林走进城市,让城市拥抱森林”的重要批示,成为中国城市森林论坛的宗旨。通过近 10 年的快速发展,我国城市森林发展理念日渐清晰,符合中国特色的城市森林建设指导思想“森林环城、林水相依”理念得到广泛认同。北京、上海、辽宁、福建、广东等地相继实施了城市森林规划,大连、深圳、珠海、中山等城市的森林绿化美化水平也已接近中等发达国家水平。但总体来看,中国城市生态环境质量不容乐观,森林城市的建设仍任重而道远(何兴元,2004)。

1.1.2 城乡森林的内涵和特点

城市化过程是人类活动的综合表现形式,城乡森林是城市化过程形成的一类特殊生态界面(McDonnell & Pickett, 1990)。城市化发展已给人类带来了生理、心理、社会、环境等一系列严重的城市问题,城乡森林具有减缓城市化负面效应的重要作用(李茜,2010),成为城市生态系统可持续发展的关键环节。

城乡森林研究关注的三要素包括城市的关键组分(城区的结构特征、生物区系和社会经济要素)、城市化的生物和环境效应(物理和化学环境、种群和群落效应、资源分配和行政干预)、森林生态系统的响应(土壤质量、群落组成、生态过程和服务功能)(McDonnell & Pickett, 1990)。

从气候因子来看,与农村地区相比,城区日照时间较短,年平均风速较小,相对湿度较低,紫外线辐射较低,而年平均温度较高,年均降水量增加,云层覆盖增多,雾日数增加(Grimm et al., 2008a, b)。从外来物质和能量的输入来看,工业排污、城市排污、城市化各类夹杂物、大气沉降等进入城郊森林,从而影响土壤理化特性及其相关的生态过程(Groffman et al., 2006)。从生物群落来看,城市化对物种的数量和组成产生影响,外来种入侵的概率增加,本土物种的丢失增加,大量本地原生植被逐渐被外来种替代,形成新的森林群落结构,从而改变城市森林的生态过程。De Candido et al. (2004)研究发现,近 100 年来纽约城区丢失了 578 个本土物种,却增加了 411 个外来物种。从景观特征来看,由于人口高度集中,以及工业与交通的集聚发展,表现为污染物排放总量增加,环境质量下降;森林、农田、水面被侵占,地表覆盖的组成和空间结构被显著改变(Pickett et al., 2011)。

综上所述,沿城市化所形成的城乡森林,许多环境要素,如人口密度、道路密度、机动车辆、空气和土壤污染程度、平均气温、平均降水量、土壤紧实度、土壤盐碱度以及其他人类干扰指标均呈现明显的梯度变化(Kaye et al., 2006)。城乡森林在组成、结构和功能均表现明为显著的梯度效应,完全不同于一般的森林类型(McPherson et al., 1995)。

1.2 南昌的城市化进程

南昌又名豫章、洪城,是一座具有 2200 多年历史的著名古城。改革开放 30 多年来,南昌城镇化进程快速推进,以统筹城乡协调发展、加强城乡基础设施建设、改善城乡人居环境为目标,城市空间进一步拓展,城市布局不断优化,城市管理不断提升,至 2011 年城镇化率已达 67.24%,是发展中国家快速城市化进程的典型代表(许卫群, 2011)。

1.2.1 城市建设规模的变化

早在 5000 多年前,就有人在南昌生产生活。至 3000 年前,北至艾溪湖,南至青云谱弧形地带是古代南昌居民的聚集区。公元前 202 年,汉将灌婴奉命驻军南昌,修筑“灌城”,次年修筑城池,城周长十里八十四步,称为“灌婴城”,开创了南昌建城史,并取得“昌大南疆”和“南方昌盛”之意,定名“南昌”。南昌地处江南,先后有豫章(汉)、洪都(隋唐)等称谓,是历代县治、郡府、州治所在地。

1949 年初期,南昌城区面积仅为 8.28 km²。改革开放以来至 1999 年,南昌一直停留在“内四湖开发”时代,至 2000 年南昌建成区面积为 86 km²(陈金梅, 2000)。21 世纪之初,南昌遵循城市历史发展沿革,科学编制了城市发展总体规划,规划总体空间为“一江两岸、南北两城、双核拥江、组团开发”。在 2000~2009 年间,南昌以红谷滩新区的开发为标志,进入了“跨江开发”时代,并紧紧围绕做好现代经济区域中心城市和现代花园英雄城市“两篇文章”及实现“六个走在省前列”的目标,掀起了新一轮城市建设和发展浪潮(熊慧平, 2009)。2009 年,南昌建成区面积迅速扩展到了 240 km²,与 2000 年相比扩大了 2 倍多(图 1-1),预计 2020 年城区面积将达到 350 km²。

“十二五”期间,南昌将实施推动大昌北、开发大外湖、建设大组团、构建大城区、做强大县城、发展大都市,打造“双核三圈五组团”的城市发展新格局。双核是指“一江两岸、南北两城”,建设以服务业为主的城市核心区域。三圈是指城市中心圈、城市拓展圈和 1h 经济与生活圈。城市中心圈由城市核心区域和若干城市副中心组成;城市拓展圈主要布局城市发展 5 个新的组团;1h 经济与生活圈是指以南昌中心城区为核心,快速交通网为依托,推动南昌省会都市合作示范区的建设。五组团是指高起点开发,有序推进瑶湖生态科技新城、昌南现代综合新城、九龙湖现代综合新城、乐化空港新城、梅岭休闲度假新城 5 个功能组团的建设。

到 2020 年,在南昌市域范围逐步形成与大都市目标相匹配,融梅岭、赣江、鄱阳湖为城市元素,以主要交通线为纽带,以临湖发展为主要指向,点轴推进、梯度有序、分工明确、协调发展的“一市两核、四城九镇、山水相融、组团共生、网络发展”的现代城镇空间新格局,构建集群式、多层级、网络化、生态型的现代化大都市框架,建设清水森林中的生活品质宜居城市。“一市两核”是指以赣江为主轴的南北双城及五大组团构成的特大城市;“四城九镇”是指新祺周、龙津、向塘、民和为次级城市,文港、温圳、李渡、西山、石岗、万埠、象山、塘南、梅庄为 9 个特色城镇。