

中国城市森林群落结构研究

童丽丽, 汤夷国*, 许晓岗 (南京林业大学风景园林学院, 江苏南京210037)

摘要 从城市森林群落的多样性研究、群落的动态研究、群落树种的选择与人工群落配置模式研究3个方面论述了中国城市森林植物群落结构研究进展, 并提出了中国城市森林群落结构研究未来的发展趋势。

关键词 中国城市森林; 群落结构; 研究进展

中图分类号 S718.54 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2006)18-4586-04

Research Advance in Community Structure of Urban Forest in China

TONG Li-li et al (College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037)

Abstract in the paper, the overview of the past and current research on community structure of urban forest was provided from such three aspects as the diversity research, dynamics research and species selection. And the models of plantation arrangement and the prediction of its development tendency in the future were put forward.

Key Words Urban forest in China; Community structure; Research advance

“城市森林”这一概念最早出现在美国和加拿大, 是一门正在形成和发展的新兴学科^[1]。关于它的范围、层次划分及定义, 目前尚无统一、公认的标准^[2-7], 但可概括为“人为与自然过程相互作用产生的复杂的生态系统”^[8]。随着中国城市化脚步的不断加快, 城市的范围也在不断扩大, 城市森林的范围也在不断延伸。其组成部分可概括为郊县绿化和城市园林绿地系统。郊县绿化主要包括近郊、远郊(县)的自然保护区、森林公园、防护林、经济林、水源涵养林、用材林、环城林带等天然林、次生林与人工林; 城市园林绿地系统包括市区内的公园、小游园、植物园、城市道路绿地、水域绿化、水体绿化、公共场所绿化、居民区绿化等次生林及人工群落。

植物群落是在一定生物环境条件下由某些植物构成的总体, 具有一定的种类组成和种间的数量比例、一定的结构和外貌及一定的生物环境条件, 并执行着一定的功能^[9-11]。由于城市森林群落包括城市辐射区域内呈自然状态的天然林和次生林, 所以城市森林群落的结构与森林生态学中的群落结构类似^[12]。它是由植物种类及其在空间分布的不同决定的, 物种间的不同空间关系导致了群落结构的不同, 决定了物种的竞争势态及其空间生态位, 也决定了植物群落发展的动态, 预示着植被演替的趋势^[11]。城市森林群落结构特征包括林冠面积、树龄分布等级、多样性等^[13-17], 其性质不但取决于其区系组成, 还取决于组成群落的物种数量和各个种的个体数量。

城市森林群落结构是城市森林研究的基础, 是城市森林的重要组成部分, 决定着城市森林的效益与规划管理, 为优化城市森林的空间格局、改善景观的异质性格局具有重要的理论和现实意义。

1 城市森林群落的多样性研究

物种的多样性是群落物种丰富度和个体分布均匀度的一个结构指标, 体现了森林的组成结构、演替过程、生境差异和稳定性程度^[9,11]。多样性研究是植物群落结构研究的基本内容, 主要包括群落植物区系、特征、组成与结构、Simpson 指数、Shannon-Wener 指数、种间相遇几率和均匀度、群落的

聚类和排序以及植物间的种间联结性等研究, 基本研究方法为样方法。

1952、1955年, 曲仲湘从植物群落学的角度出发, 对南京市城市森林的重要组成部分——灵谷寺与栖霞山森林植物群落的外貌、种类组成和结构等进行了调查与分析^[18-19]。

20世纪90年代, 国内对城市森林群落多样性的研究层出不穷。依据研究地的不同, 可将对城市森林的研究大体划为两大类。一类是对各地自然保护区、森林公园等天然林、次生林以及人工林群落研究, 研究的内容包括群落植物区系、群落组成及特征、群落演替等。对南岳森林、广东英德石门台、河南宝天曼、湖南八大公山、粤北八宝山等各自然保护区以及南京老山森林公园、株洲市城郊天然植物群落、广东增城市主要林区等的研究表明, 远郊及郊县地区的植被在人为干扰因子少的条件下保护较好, 天然林、次生林含有较丰富树木种类, 人工林的林下多样性较低^[20-27]。刘健、朱锦懋、郑元润、陈劲松、陈世品通过 Simpson 指数、Shannon-Wener 指数、重要值、种间相遇几率和均匀度等多样性测定指标研究了南平、万木林自然保护区、大青沟、南充金城山、武夷山风景区的近自然状态森林群落生物多样性和植被的类型^[28-32]。王德艺、马克平、郑元润、胥晓、刘小阳等人的研究中均采用模糊数学的方法分析了城市森林中近自然状态群落的聚类与排序以及植物间的种间联结性等, 寻找各群落之间的关系, 并且探讨了群落的稳定性与物种多样性之间的关系^[33-37]。

另一类研究以各大城市的城市绿地系统的植物群落为主要研究对象。粟娟采用实地踏查和档案资料整理的形式, 对广州市的城市森林的总体布局 and 不同绿地类型的植物组成进行了调查, 指出该市在城市森林结构、密度、质量、配置、美学价值上依然存在问题^[38]。吴泽民等对合肥市区范围的树木从种类组成、径阶分布、健康状况、叶面积指数等反映城市森林结构特征的各类指标进行了调查与分析, 并采用遥感技术分析合肥土地利用及树木分布的格局, 结果表明合肥市的森林总体水平不高, 乡土树种运用不够, 成片的林地总量偏低且分布不均匀等^[39]。何兴元、朱文泉等从分别采用植物群落生态学方法、遥感图像判读和野外调查相结合的方法, 定量研究了沈阳树木园的森林树种组成、植物区系特

基金项目 南京市科技局软科学项目(200602050)。

作者简介 童丽丽(1970-), 女, 江苏南京人, 博士, 副教授, 从事园林植物应用与城市森林的教学与研究工作。* 通讯作者。

收稿日期 2006-06-30

征、群落的生活型、水平与垂直结构、森林天然更新与发展、野生动植物的种群定居与保护以及植物群落的物种结构与空间格局^[40-41]。徐文铎、陆庆轩、刘常富等的研究表明沈阳市市辖九区城市森林植被覆盖率已达35%，建成区各类型用地树种和树木株数的分布有较大变幅，森林植物种类丰富度较高，但生物多样性指数较低^[42-44]。陈爽等对南京城市绿地进行了抽样调查，结果表明城市树木树种构成积聚性明显而多样性较差、植株体量偏小、长势一般，城市扰动因子明显影响了树木的自然生长过程^[45]。杨学军、傅徽楠分别对上海城市园林植物群落以及整个城市森林的物种丰富度、植物群落生态结构进行了分析，认为城市园林植物群落虽受人为因素影响较大，但在结构组成与林相上仍表现出地带性植被的特征^[46-47]。韩轶依据植物群落的植物物种数、丰富度、多样性指数、重要值等指标调查了包头市城市绿地植物群落，并用层次分析法对各城区中物种丰富度、多样性指数、地被植物比例、季相数、绿地率和自然度等指标进行评价，结果表明城市绿地采用的树种较单一^[48]。

2 城市森林群落的动态研究

森林群落的演替是一种动态的变化，以群落结构、群落系数、群落的生态位的变化为表现特征，其研究的基本方法有样方法和永久样地法等。

熊文愈、彭少麟、苏志尧、刘茂松、喻理飞、马文良、徐驰、欧祖兰等人均较为系统地研究了不同森林的代表性群落在群落演替过程中的物种组成、多度、频度、重要值、种群结构、物种多样性以及演替动态变化趋势等方面^[49-57]。其中熊文愈、徐驰使用了树木图解的变化对南京紫金山灵谷寺一带的森林演变进行了研究和预测，效果良好。

群落系数是用来定性测定不同群落间植物种类组成上相似程度的。黄成林等通过对黄山山顶面区主要植物群落进行群落系数的计算和分析，揭示了黄山松群落不同的演替规律：在裸岩等特殊生境中，黄山松种群可形成稳定的群落；在立地较优越的地段，黄山松种群最终将被落叶阔叶林群落所取代^[58]。

利用数学模型可以较为精确地判断自然状态或近自然状态以及人工林群落的演替动态。王伯荪用马尔可夫链预测了鼎湖山针叶林未来25~200年的可能变化^[59-60]；阳含熙等应用马尔可夫链对长白山阔叶红松林进行动态预测，同时提出了2种新的转移概率测定方法^[61]；陈同英以实例证明马尔可夫模型应用在福建南平市茫荡山自然保护区的植被演替研究中的有效性与方便性^[62]；郑元润在对大青沟森林群落演替预测研究中，依据样地的演替资料，采用母树树冠下各物种幼苗、幼树及小径木的胸高断面积比例作为转移概率，用马尔可夫链描述了群落的演替过程，预测了达到平衡状态时各群落的组成状况^[63]。马尔可夫模型同时也存在一些不足之处，如模型假定演替过程并非线性的，但森林的演替过程并非如此简单，而是波动的、非线性的^[64]。模型假定演替过程是一个个体取代另一个个体，无意中将不同种的个体作用一致化，而且这种现象仅在郁闭林中存在，转移概率的确定缺乏生态生物学的支持，因此，目前马氏模型的应用日见减少^[65]。森林群落林窗的大小决定着群落的演替趋

势。邵国凡在长白山红松人工林单木生长模型的研究中，提出了红松的生长竞争模型以及林窗模型^[66-67]；郑元润在群落演替预测研究的基础上，结合比较分析，提出群落稳定性的测度方法，并对Godron法进行改进^[68]；江明喜、安树青对林窗形成、分布、更新特征、大小和作用进行了研究^[69-71]；邵国凡提出了以地理信息系统(GIS)为支撑的计算机模型和实例^[72]；李兴东提出了森林演替的系统动力学模型^[73]。这些森林动态模型特别适用于城市森林中天然林、次生林和部分人工林演替趋势的预测。

3 群落树种的选择与人工群落配置模式研究

树种选择的正确与否关系到城市森林建设的成败。市区由于污染严重，受人为干扰因素大，要提高树木的成活率，对树种的选择是一个关键。通常的做法是开发利用地带性物种，尤其是乡土植物，并且有节制地引进外域特色植物，以扩大多样性物种的种群^[74]。关于植物群落树种选择与人工配置模式研究的个案分析较多。粟娟等调查了珠海市的城市森林的总体布局 and 不同绿地类型的植物组成，从行道树植物、海岸绿地植物、岛屿观赏植物、黄土石坡裸露地、残次林5个方面介绍了植物的配置模式^[75]。许东新等调查和分析了上海市外环林带的森林结构，提出了该市城市森林结构设计的基本原则、程序以及该市外环林带优化森林结构模式，即观赏型林带、环保型林带、生产型林带、文化环境(休闲)型林带结构模式^[76]。彭镇华在分析上海市城市森林的群落现状的基础上，从宏观上对上海市城市森林群落的树种选择、典型模式的设计提出了可行性设想^[77]。刘常富等通过对沈阳市建成区公园树木的调查分析，获得各树种的综合表现排序，并利用Jaccard定量修正系数进行树种间关联性分析，对沈阳城市森林的树种进行选择分析，提出沈阳市森林应以糠椴、槐、复叶栎树、华山松、元宝槭、紫椴、小叶朴、银杏为参考骨干树种和基调树种^[78]。吴际友等通过对岳阳市城市绿化树种的调查，探讨了植物配置的若干模式，对同纬度的城市具有一定的指导作用^[79]。史久西等以城市森林三维绿量和平均健康度为核心构建城市森林群落评价指标体系，对浙江省绍兴市现有城市森林栽培群落进行质量和效益评价，提出河湖水际、道路、块状绿地、山体4类城市森林的人工群落配置模式^[80]。

王瑞辉、杨铁东等从宏观的高度分析了目前人们对城市森林的认识上误区，提出了城市森林植物配置以植物生物学特性为基础，以景观生态学为体、以景观形态学为用的观点，正确认识城市森林，促进城市森林的发展。同时，阐述了城市森林建设中树种选择必须坚持的适地适树、生态优先、多目标兼顾、生物多样性、以乔木为主和重视乡土树种6项原则^[81-82]。

4 城市森林群落研究的发展趋势

4.1 多学科性将进一步增强

城市森林与其他学科交叉是未来城市森林及城市林业研究的一大发展趋势^[83]。虽然城市森林群落结构属于植被生态学范畴，但涉及了城市林业、森林美学、生物学、土壤学、植物造景、经济以及人文科学等众多学科。多学科性的增强赋予了城市森林群落更多的研究内涵，使植物群落研究的内容更加广泛和复杂^[84]。未

来城市森林群落结构的研究将更多地融入经济学和人文学科的因子。例如精确地计算各种城市森林群落结构所产生的经济价值、赋予不同类型的群落不同的文化主题并按照主题来配置植物、科学管理不同主题的群落结构等将成为未来城市森林群落研究的发展趋势。

4.2 引进 UFORE 模型,使城市森林群落结构的研究进一步量化 UFORE(城市森林效益模型)是美国对城市森林结构和功能进行量化的模型,采用 SAS 软件,综合了植被数据、每日气象、污染测定等指标,对城市中特定区域的植被结构和功能进行量化研究^[84]。目前共有 4 种模式,其中 UFORE-A 是对城市森林的剖析,即量化城市森林的结构,如物种组成、密度、健康状况、叶面积、叶片生物量等,还可计算物种的丰富度、Shannon-Wener 指数、地区的种群丰富度以及地被层的分布等^[85-88]。引进与运用 UFORE 模型将是未来 10 年内中国城市森林群落结构进一步量化研究的趋势。

如何科学构建城市森林人工群落结构将是研究的一大热点,即如何配置植物才能让植物群落中的生态效益、景观效果、美学价值等方面达到最大值的量化研究。对城市森林中天然林、次生林以及部分人工林的改造将成为未来研究的另一大热点。例如,风景林的改造中,如何在保留其重要的生态效益的同时,兼顾到不同群落的美学价值与景观效果,并且赋予不同群落不同的功能与文化内涵,创造人与自然和谐统一。结构树种的选择与配置会更多地考虑到森林群落的综合生态效益,而不再单纯从景观的角度出发^[83];对群落的动态模拟将会更多地考虑到树种的生物学和生态学特性、生态因子,未来研究的重点将是多树种在人工干扰的状况下的生长状况^[89]。所有有关群落的定量化研究将为城市森林的综合评价以及园林城市、生态城市建设提供一定的理论依据。

参考文献

- GENE W G, FREDERICK J DENEKE. Urban Forestry[M]. New York: Wiley, 1986:15-20.
- GODOON A B. Urban Forestry landscapes: Integrating Multidisciplinary Perspectives[M]. Seattle: University of Washington Press, 1995:22-28.
- LAWRENCE H W. The neoclassical origins of modern urban forests[J]. For Conser Hstry, 1993, 37(1):26-36.
- KONIGNENDIJK C C A. Short history of urban forestry in Europe[J]. Journal of Arboriculture, 1997, 23(1):31-39.
- 李锋, 刘旭升, 王如松. 城市森林研究进展与发展战略[J]. 生态学杂志, 2003, 22(4):55-59.
- 刘常富, 李海梅. 城市森林概念探析[J]. 生态学杂志, 2003, 22(5):146-149.
- 王木林, 缪荣兴. 城市森林的成分及其类型[J]. 林业科学研究, 1997, 10(5):531-536.
- NOVAK D J. Understanding the structure of urban forests[J]. Journal of Forestry, 1994, 92(10):42-46.
- 王伯荪. 植物群落学[M]. 北京:高等教育出版社, 1987.
- 朱忠保. 森林生态学[M]. 北京:中国林业出版社, 1990.
- 惠刚盈, 克劳斯·冯佳多. 森林结构分析量化分析方法[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2003.
- SANDERS R A. Some determinants of urban forest structure[J]. Urban Ecology, 1984(8):13-27.
- SANDERS R A. Some determinants of urban forest structure[J]. Urban Ecology, 1984(8):13-27.
- ROWNIREE R A. Forest canopy cover and land use in four eastern United States cities[J]. Urban Ecology, 1984, 8:55-67.
- NOVAK D J. Urban forest structure: The state of Chicago's urban forest. Northeastern Forest Experiment Station, General Technical Report NE-18[M]. DC: USDA, 1994:3-18.
- NOVAK D J. Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. Northeastern Forest Experiment Station, General Technical Report NE-18[M]. DC: USDA, 1994:95-114.
- DORNEY J R, GARTENSPEGEN J R, STEARNS F. Composition and structure of an urban woody plant community[J]. Urban Ecology, 1984(8):69-90.
- 曲仲湘, 文振旺. 南京栖霞山林木现状的观察[J]. 复旦学报, 1955(1):123-144.
- 曲仲湘, 文振旺, 朱克贵. 南京灵谷寺森林现状的分析[J]. 植物学报, 1952, 1(1):18-49.
- 左家哺, 田伟政, 彭代文, 等. 湖南省南岳原生性森林群落的研究 II[J]. 广西植物, 2002, 22(3):193-202.
- 苏志尧, 陈北光, 吴大荣. 广东英德石门台自然保护区的植被类型和群落结构[J]. 华南农业大学学报, 2002, 23(1):58-62.
- 张忠义, 闫东锋, 段绍光, 等. 宝天曼自然保护区栎类天然次生林群落结构分析[J]. 河南科学, 2005, 23(3):367-370.
- 曹铁如, 祁承经, 喻勋林. 湖南八大公山亮叶水青冈群落物种多样性的研究[J]. 生物多样性, 1997, 5(2):112-120.
- 苏志尧, 陈北光, 古炎坤, 等. 粤北八宝山森林群落的组成和结构特征[J]. 广西植物, 1995, 15(2):124-130.
- 强蓉蓉, 王国祥. 老山森林生物多样性及其保护对策[J]. 资源开发与市场, 2005, 21(1):49-52.
- 侯碧清, 刘克旺, 周光辉. 株洲市郊天然植物群落的调查与分析[J]. 中南林学院学报, 2004, 24(4):96-103.
- 庄雪影, 王通, 甄荣东, 等. 增城市主要森林群落植物多样性研究[J]. 林业科学研究, 2002, 15(2):182-189.
- 刘健. 南平部分森林群落物种多样性分析[J]. 福建林学院学报, 1996, 16(4):324-328.
- 朱锦懋, 姜志林, 郑群瑞, 等. 福建万木林自然保护区森林群落物种多样性研究[J]. 南京林业大学学报, 1997, 21(4):11-17.
- 郑元润. 大青沟森林植物群落物种多样性研究[J]. 生物多样性, 1998, 6(3):191-196.
- 陈劲松, 宋会兴, 彭远英, 等. 嘉陵江流域南充金城山森林群落生物多样性研究[J]. 四川师范学院学报:自然科学版, 1999, 20(2):190-198.
- 陈世品, 马祥庆, 林开敏. 武夷山风景区主要植被类型群落结构特征的研究[J]. 江西农业大学学报, 2004, 26(1):37-41.
- 王德艺, 郭文增, 周秀珍, 等. 雾灵山自然保护区森林群落的聚类与排序[J]. 河北林果研究, 1997, 12(4):311-316.
- 马克平, 刘灿然, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究[J]. 生态学报, 1997, 17(6):573-583.
- 郑元润. 大青沟残遗森林植物群落特点及种间联结性研究[J]. 植物学通报, 1998, 15(5):44-49.
- 胥晓, 苏智先, 黎云祥, 等. 嘉陵江流域南充金城山森林群落的模糊数学分析[J]. 四川师范学院学报:自然科学版, 1999, 20(2):182-188.
- 刘小阳, 吴开亚. 天童森林植被的群落稳定性与物种多样性关系的研究[J]. 生物学杂志, 1999, 16(5):17-18.
- 粟娟, 孙冰, 黄家平, 等. 广州市绿地应用树种结构分析[J]. 林业科学研究, 1998, 11(5):502-507.
- 吴泽民, 黄成林, 白林波, 等. 合肥城市森林结构分析研究[J]. 林业科学, 2002, 38(4):7-13.
- 何兴元, 陈玮, 徐文铎, 等. 城市近自然林的群落生态学剖析——以沈阳树木园为例[J]. 生态学杂志, 2003, 22(6):162-168.
- 朱文泉, 何兴元, 陈玮, 等. 城市森林结构的量化研究——以沈阳树木园森林群落为例[J]. 应用生态学报, 2003, 14(12):2090-2094.
- 徐文铎, 何兴元, 陈玮, 等. 沈阳市植物区系与植被类型的研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(12):2096-2101.
- 陆庆轩, 何兴元. 沈阳城市森林植被结构和植物多样性研究[J]. 中国城市林业, 2005, 3(4):15-18.
- 刘常富, 何兴元, 陈玮, 等. 沈阳市建成区树种结构分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2004, 35(2):116-121.
- 陈爽, 詹志勇. 南京城市森林结构特征与管理对策[J]. 林业科学, 2004, 40(6):158-164.
- 杨学军, 林源祥, 胡文辉, 等. 上海城市园林植物群落的物种丰富度调查[J]. 中国园林, 2000, 16(30):67-69.
- 傅徽楠, 严玲璋, 张连全, 等. 上海城市园林植物群落生态结构的研究[J]. 中国园林, 2000, 16(48):22-25.
- 韩轶, 李吉跃, 高润宏, 等. 包头市城市绿地现状评价[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(1):64-69.
- 熊文愈, 韩福庆, 姚琢. 南京灵谷寺森林的变化分析[J]. 南京林产工业学院学报, 1983(2):1-23.
- 彭少麟, 方炜. 鼎湖山植被演替过程中锥栗和木荷种群的动态[J]. 植物生态学报, 1995, 19(4):311-318.
- 彭少麟, 方炜, 任海, 等. 鼎湖山厚壳桂群落演替过程的组成和结构动态[J]. 植物生态学报, 1998, 22(3):245-249.
- 苏志尧, 陈北光, 古炎坤, 等. 广东八宝山森林群落优势种群的生态位研究[J]. 华南农业大学学报, 1996, 17(1):47-52.

- [53] 刘茂松,冯霞,姜志林,等.万木林主要森林群落特征及演替动态分析[J].南京林业大学学报,1998,22(2):5-10.
- [54] 喻理飞,朱守谦,叶镜中,等.退化喀斯特森林自然恢复过程中群落动态研究[J].林业科学,2002,38(1):2002:1-7.
- [55] 马文良,王海洪.乐都下北山林区森林群落分类和演替规律探讨[J].青海农林科技,1999,(2):83-85.
- [56] 徐驰,刘茂松,张明娟,等.南京灵谷寺森林50年来的动态变化研究[J].植物生态学报,2004,28(5):601-608.
- [57] 欧祖兰,李先琨,苏宗明,等.桂林漓江流域马尾松林演替动态[J].福建林学院学报,2005,25(4):373-378.
- [58] 黄成林,吴泽民,陈晓红.黄山山顶面区主要植物群落类型及黄山松群落演替规律的探讨[J].安徽农业大学学报:自然科学版,1999,26(4):388-393.
- [59] 王伯荪,马曼杰.鼎湖山自然保护区森林群落的演变[J].热带亚热带森林生态系统研究,1982,1:142-156.
- [60] 王伯荪,彭少麟.鼎湖山森林群落分析V:群落演替的线性系统[J].中山大学学报,1985,4:75-80.
- [61] 阳含熙,潘愉德,伍业钢,等.长白山阔叶红松林马氏链模型[J].生态学报,1988,8(3):211-219.
- [62] 陈同英.森林群落同期发生演替的预测模型及其应用[J].福建林学院学报,2002,22(1):1-3.
- [63] 郑元润.大青沟森林群落演替预测研究[J].林业科学,1999,35(12):21-25.
- [64] 彭少麟.森林群落波动的探讨[J].应用生态学报,1990,1(2):120-125.
- [65] 安树青,张久海,谈健康,等.森林植被动态研究述评[J].生态学杂志,1998,17(5):50-58.
- [66] 邵国凡.红松人工林单木生长模型的研究[J].东北林业大学学报,1985,13(3):38-46.
- [67] 邵国凡.KOHDE:长白山北坡阔叶红松林生长与演替的计算机模型[J].沈阳:中国科学院沈阳应用生态研究所,1989.
- [68] 郑元润.森林群落稳定性研究方法初探[J].林业科学,2000,36(5):28-32.
- [69] 江明喜.太阳坪米心水青冈林林窗更新动力学的初步研究[J].武汉植物学研究,1995,13(3):225-230.
- [70] 安树青.宝华山主要植被类型土壤种子库初探[J].植物生态学报,1996,20(1):41-50.
- [71] 安树青.紫金山次生森林林窗的植被和环境特征[J].应用生态学报,1997,8(3):245-249.
- [72] 邵国凡.应用地理信息系统模拟森林景观动态的研究[J].应用生态学报,1991,2(2):103-107.
- [73] 李兴东.天童常绿阔叶林的演替[M]//宋永昌.浙江天童国家森林公园的植被和区系.上海:上海科学技术文献出版社,1995:114-142.
- [74] 林源祥.模拟地带性植被类型,建设高质量城市绿地[J].中国城市林业,2003(2):10-12.
- [75] 粟娟,廖绍波,梁家强,等.珠海市城市森林的总体布局与植物组成[J].林业科学研究,2002,15(3):310-316.
- [76] 许东新,杨学军,唐东芹,等.上海外环线森林结构的优化模式[J].东北林业大学,2002,30(3):118-122.
- [77] 彭镇华.上海现代城市森林发展[M].北京:中国林业出版社,2003:71-113.
- [78] 刘常富,何兴元.沈阳城市森林群落的树种组合选择[J].应用生态学报,2003,14(12):2103-2107.
- [79] 吴际友.岳阳市城市绿化树种的选择及配置模式研究[J].湖南环境生物职业技术学院学报,2004,10(3):200-208.
- [80] 史久西,王小明,阙国宁,等.绍兴市城市森林人工群落配置模式研究[J].林业科学研究,2005,18(4):398-405.
- [81] 杨铁东,王洪波.浅谈我国城市森林植物配置存在问题与应遵循原则[J].华东森林经理,2005,19(3):67-70.
- [82] 王瑞辉,马履一,奚如春.论城市森林建设树种选择的原则[J].中南林学院学报,2005,25(3):58-64.
- [83] NOWAK DJ, CRANE DE, SIEVENJ C, et al. Brooklyn's urban forest. Gen. Tech. Rep. NE-290. Newtown Square [M]. PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, 2002:6-26.
- [84] DWYER J F, NOWAK DJ, G W WILSON. Future directions for urban forestry research in the United States [J]. Journal of Arboriculture, 2002, 28(6):221-225.
- [85] NOWAK DJ, CRANE DE. The urban forest effects (UFCE) Model: quantifying urban forest structure and functions [C]// Hansen, Mark, Thomas Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century: proceedings of the IUFRO conference. Gen. Tech. Rep. NC-212. St. Paul MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, 2000:714-720.
- [86] NOWAK DJ, NOBLE, M H, SISINNI S M, et al. Assessing the US urban forest resource [J]. Journal of Forestry, 2001, 99(3):37-42.
- [87] DWYER J F, MCPHERSON E G, SCHROEDER S M, et al. Assessing the benefits and costs of the urban forest [J]. Journal of Arboriculture, 1992, 18(5):227-234.
- [88] DWYER J F, NOWAK DJ, NOBLE M H, et al. Connecting people with ecosystems in the 21st century. an assessment of our nation's urban forests. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-490. Portland [M]. OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 2000:483.
- [89] CANHAM C D, HINI A C, PACALA S W, et al. Causes and consequences of resource heterogeneity in forests: Interspecific variation in light transmission by canopy trees [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1994, 24:337-349.