

城市森林景观格局与过程研究进展

尹 锴, 赵千钧, 崔胜辉*, 吝 涛, 石龙宇

(中国科学院城市环境研究所, 厦门 361021)

摘要: 大规模的城市化进程, 改变了城市以及周边区域的景观格局, 显著影响着城市森林生态系统的结构、过程与功能。景观尺度上的城市森林景观格局与生态过程研究已经成为当前城市森林学的研究热点。在阐明城市森林及其景观格局与过程概念的基础上, 综述了国内外城市森林景观格局与过程的研究内容、研究方法的进展情况, 指出了以下几个方面有望成为今后城市森林景观研究的发展方向: 景观尺度上的城市森林系统能流、物质循环等生态学过程研究; 城市森林景观格局演变的社会驱动力研究; 基于生态服务功能的城市森林规划研究; 半都市化地区的森林景观格局与过程研究; 基于空间显式景观模型的城市森林景观格局与过程模块开发。

关键词: 城市森林; 景观格局; 生态过程

文章编号: 1000-0933(2009)01-0389-10 中图分类号: Q49 Q48 S18.5 文献标识码: A

Progresses in urban forest and landscape pattern

YIN Kai, ZHAO Qian-Jun, CUI Sheng-Hui*, LIN Tao, SHI Long-Yu

Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China

Acta Ecologica Sinica 2009 29(1): 0389 ~ 0398

Abstract: Large scale urbanization not only changes the landscape pattern of a city and its surrounding areas, but also has a significant impact on the structure and services of the urban forest ecosystem. The spatial distribution and ecological process of urban forest have already become hot spots of urban forestry research. This paper clarifies the concepts of landscape pattern and processes of urban forest. Our review of literature in this field reveals several areas of high likelihood to be the key research frontiers of urban forest landscape study in the near future. These prospective new frontiers are the ecological processes of urban forest system such as material cycling and energy flow, social driving force for landscape pattern evolution of urban forest, urban forest planning based on ecosystem services, forest landscape pattern and process in peri-urban areas, pattern and process module design of urban forest based on spatially explicit landscape models.

Key Words: urban forest, landscape pattern, ecological process

格局与过程一直是生态学研究的核心问题。随着城市化进程的不断推进, 城市景观格局特征越来越复杂, 受格局影响的生态过程、功能也不断发生变化^[1]。城市森林作为城市生态系统的重要组成部分, 其生态功能的发挥已经受到城市景观格局的制约。景观尺度上的城市森林空间格局与生态过程研究已经成为当前城市森林学的研究热点。开展城市森林景观格局与过程的研究, 将加深对于城市森林景观等级结构和功能特征的理解, 从而实现城市景观异质性的维持和管理, 为优化城市森林的服务功能提供有益探索。本文通过综述国内外城市森林景观格局的研究进展, 总结景观格局与过程研究在城市森林这一领域的研究成果, 以期发

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目 (KZCX2-YW-422); 厦门市科技计划资助项目 (3502Z20072002); 中国科学院知识创新工程青年人才领域前沿资助项目

收稿日期: 2008-03-24 修订日期: 2008-08-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shcu@ie.ac.cn

http://www.ecologica.cn

现城市森林和景观生态学存在的问题,寻找新的研究方向,并为今后我国城市森林的景观格局与过程研究提供借鉴。

1 城市森林的定义

20世纪60年代以来,由于世界上一些发达国家经济繁荣而城市环境相对恶化,许多科学家提出发展城市森林。北美是现代城市森林的发源地,加拿大多伦多大学的 Erik Jørgensen教授早在1965年就提出“城市森林并非仅指对城市树木的管理,而是指对受城市居民影响和利用的整个地区所有树木的管理”,美国学者 Miller则认为城市森林是人类密集居住区内及周围所有植被的总称,其范围涉及市区小社区直至大都市^[2]。关于城市森林范围的界定,目前学术界尚存争论。综合诸多学者对于城市森林所下的定义,不难发现城市森林是指城市内及城市周围的树木、林木和相关植被,包括城区、近郊、远郊的对城市环境产生显著效应的所有植被区域。

2 城市森林景观格局与过程的研究内容

城市森林景观格局与过程是指城市森林景观格局演变过程以及与城市森林相关的多种生态学过程。基于多种生态学过程,城市森林不仅具有释氧固碳、净化大气、吸收污染物、降低噪音、游憩休闲等功能,而且在城市气候调节、缓解热岛效应、水土保持、维持生物多样性和生态安全等方面发挥重要的作用^[3~5]。城市森林景观格局与过程之间联系的紧密性决定了其生态功能的发挥将受到城市森林景观格局的制约。

城市森林景观格局与过程的研究目的在于,通过对森林景观结构、功能、动态变化研究,阐明空间异质性对于能流、物流、信息流和生物多样性等生态学过程的影响,确定景观结构和利用的最优模式,为城市森林景观的保护、建设、管理以及可持续利用提供理论依据和技术途径。目前,城市森林景观格局与过程的研究内容主要集中在:城市森林的景观格局分布、植物多样性与景观格局、城市森林景观格局演变及驱动力机制、城市森林景观模型以及城市森林的景观规划研究等方面。

2.1 城市森林景观格局分布

任何景观格局往往是地貌、地形和气候条件、干扰体系以及生物过程相互作用的产物^[6]。就空间尺度而言,城市森林景观涵盖了从半自然栖息地、荒地、公园和其它受人类高度影响的生境在内的众多生境类型^[7]。城市森林景观格局分布与缀块形成机制有关,环境缀块(如气候、地形、地貌)为景观格局提供模版,在此基础上植被缀块(植物间相互作用)与消费者水平缀块(人类、动物活动)相互作用从而产生现在的城市森林景观格局。其中,消费者水平缀块性对于业已形成的城市森林景观格局影响最大。消费者水平缀块性不仅是景观的一种重要生态过程,也是景观异质性的重要来源。它可以改变资源环境的质量及其所占据空间位置与规模,从而改变景观格局。

位于城市中心的城市森林景观结构的单一化、景观缀块的破碎化以及缀块之间的连接度降低,已经成为不争的事实。然而,随着大规模的城市用地扩张,城市建成区逐渐蚕食周边的城市森林景观,催生了城乡交错带问题。城乡交错带由此成为人类与环境冲突的新热点研究区域,诸如野火对房屋的破坏、生境破碎化、外来物种入侵和生物多样性下降等等^[8]。MacDonald和Rude着重调查了1986到1995年间郊区房地产开发对新泽西州森林覆盖率的影响,结果发现在富人居住的环新泽西州的郊区地带,住宅开发的增加确实加速了森林覆盖率的下降。而在少林区和森林保护区,森林覆盖率基本保持不变或者略微增加^[9]。Radelof等人对美国城乡交错带住房增长对于环境的影响作了细致的评估,以期引起国家政策制定者和当地土地利用管理者对于城乡交错带及其相关问题的重视^[8]。由此可见,城市森林景观格局分布的研究重心已经由城市转向城市郊区,城乡交错带问题不仅仅是地理学的研究热点,也将成为森林生态学和城市生态学所共同关注的研究前沿。

2.2 植物多样性与景观格局

植物种群对城市环境的响应表明空间异质性在城市景观中尤为重要^[10]。城市森林分布情况受到城市景观格局影响,具体可以分为缀块内部水平、缀块类型水平以及包含若干缀块的整个景观镶嵌体水平3个层次。

整个景观镶嵌体水平的城市森林分布,尺度上最广,主要涉及乡村城市的梯度上的植物多样性变化、乡村

到城市的梯度上不同退化程度森林的指示物种、长时空尺度城市植物组成的改变等。Van der Veken等人调查了1880年到1999年间比利时城市Tumhou植物种的丧失情况,结果发现物种的繁荣与否与生境的营养程度休戚相关,城市化和生境退化是造成物种多样性和植被组成改变的主要诱因,其中又以农业集约化种植为甚^[11]。总结有关城市-乡村生物多样性分布格局研究,主要存在两种观点:一种是基于中度干扰假设呈不平衡的单峰型曲线分布方式,该观点市郊是生物多样性最丰富的区域,城市和乡村生态系统中物种丰富度均低于市郊^[11];第二种观点则认为物种丰富度由城市-乡村呈现单调增加的分布方式^[12]。

同种缀块类型水平上的分布研究,主要是运用缀块水平指数(单个缀块面积、形状、分维数、边界特征、周长与面积比、与其它缀块的距离等)对种与林地缀块面积关系、城市森林的边缘效应、周边土地利用方式对于城市森林多样性的影响、土地利用方式和城市化程度对入侵种影响进行研究。Guirado等人为了弄清邻接土地利用方式、距森林边缘距离、森林缀块大小以及由此产生的交互作用对于城市森林植物物种丰度和构成的影响,以西班牙的巴塞罗那为研究对象,选用多维尺度排序方法来探测物种聚类变化的模型,并研究这些模型与物种丰富度和人为因子的关系。结果发现森林缀块面积是影响伴人物种的主要因素,随着从林缘到林内距离的深入,伴人物种的数量呈现下降趋势,小缀块森林的伴人物种数低于大缀块;而在城市区小缀块罕见种的数量同样低于大缀块,说明林地缀块大小和邻接土地利用类型是影响物种丰度和组成的重要因素^[13]。

缀块内部的植物分布研究,集中于生境岛屿化、微环境气候变量差异、小范围的人为干扰等等。城市中的岛屿化生境不利于植物花粉和种子的扩散,致使很多物种产生遗传衰退,甚至灭绝。但城市中的某些景观也为植物和动物提供一个较好的避难所,如高尔夫球场^[14]。Godefroid等在研究比利时布鲁塞尔的城市未开垦荒地的植被分布时,同时考虑了包括人造基质和微环境气候变量在内的19种环境变量,结果显示城市荒地植物组成受土壤营养物质、土壤pH值、土壤湿度和光照等因子影响较大^[15]。事实上,一些人为了干扰因素也造成了植被覆盖率降低,如人为的踩踏^[16]。

2.3 城市森林景观格局演变及其驱动力机制

森林景观格局演变可以看作是林隙动态与涉及不同尺度上的生物、非生物地理格局演化过程。城市化进程造就了大量的均质化城市景观,城市化被许多学者认为是改变自然环境、引起大多数当地物种快速减少和灭绝的最主要的驱动力之一^[17]。纵观城市森林格局演变研究,多关注缀块和景观镶嵌体水平,利用长时空尺度的资料反映大规模的历史变迁过程^[18-19]。而这些过程无不与城市发展、木材需求、住宅用地和交通建设用地等土地利用方式有着莫大的关联。

城市发展过程中的复杂性和不确定性是城市景观格局变化的主要因素,多样性、复杂性和不确定性渗透于城市生态系统演化的整个发展过程中^[20],同时也影响着城市森林景观格局与过程。因此只有全面考虑驱动因子间的交互作用,才能在研究中取得较好的分析结果。归纳起来,景观变化的驱动因子可以简单地概括为两类:人为驱动因子和自然驱动因子^[20]。但是在较短的时间尺度上,自然驱动力相对较为稳定,具有累积性效应,而人为驱动力则相对较活跃。

人为驱动力包括人口变化、经济增长、贫富状况、科学技术进步、产业变迁、制度变革、政治经济结构以及价值观念等方面的内容。尽管社会结构、自然资源和社会权力的分配等是社会学科的研究课题,但是社会因子与城市系统的生态模型却具有良好的兼容性,有利于深入理解城市生态系统的内涵^[19]。通过多维社会家庭特征的调查,阐明社会结构分异情况,可以加深对于城市生态系统动力学机制的理解^[21]。Grove等人为了验证3个社会假说对植被分布影响的相对显著程度(即家庭结构与人口、生活方式和社会阶层对于植被分布的影响),选取美国马里兰州巴尔的摩的水滨区域、私人领地和公众通行区域的植被生态系统与以上的3个假说相对应。运用多模型推论法,结果发现水滨区域的植被变化不能为其中任何一种假说所解释,生活方式行为理论对私人领地植被变化做出了最好的预测^[21]。Martí等人研究发现周边社区的社会经济地位因素对植被丰富度均有一定的影响,随着社会经济地位的提高,植被多样性也在增加,这些变异很大程度上可以由户均收入来解释^[22]。此外,由于城市森林存在所带来的缓解热岛效应的能源节省,以及防洪、蓄水保土和大气

净化等环境改善带来的经济效益,进一步促进地价的增值。这些因素反过来决定着城市森林周边社区的社会结构、社会家庭特征和社会经济地位等。

综上可知,在多元化土地利用中究竟以何种导向为发展的主流,取决于当时的社会背景和人们的需要,带有明显的主观色彩。大规模的森林景观格局变化往往伴随诸如工业革命、社会制度转型和土地利用方式大规模改变(如毁林造田、高速公路建设)等重大历史事件,在时间维上具有广延性。研究同时发现,社会结构、社会家庭特征、社会经济地位、生活方式和住宅类型等社会因子在小尺度维上影响着城市森林景观格局的形成。虽然城市森林景观格局演变的驱动力各异,但究其本质无不是以土地利用方式驱动森林景观格局的演变。国内研究也多集中于土地利用方式对于景观格局演变的影响,对于城市森林景观格局的形成机制及驱动力研究则关注不足。

2.4 城市森林景观模型

随着森林景观模型的完善,在新兴的城市森林研究领域中也逐渐开始应用,空间直观景观模型目前是这一研究领域的主流。国外的应用研究是由基于胸径和冠幅对数回归模型开始,逐渐转向关注植被格局变化、干扰机制、土地覆被变化及定量分析城市森林的环境价值等^[23~28]。用于景观研究的空间直观景观模型是在80年代后期逐步发展起来,美国在该领域已经走在前列,其基于 ArcGIS9 开发的 CITYgreen系列模型^[2]和 LANDIS景观模型^[29]已经广泛应用于生长模拟、动态预测、森林生态效益评估等方面。LANDIS景观模型主要以考虑大规模干扰为主,用于模拟大尺度的森林景观干扰与演替,但是以 10^a为步长对于城市森林研究而言尺度过大。因此,针对城市森林规模较小,更为注重生态效益的研究特点,CITYgreen模型成为城市森林生态功能预测和效益计算的首选。

早期的国内森林景观模型研究多以某单一树种或者地带性森林为研究对象,侧重对于森林演替过程的预测及森林材积估算^[30]、生长与演替计算机模型的研建^[31]。现在逐渐转向城市森林领域,例如陈自新基于植物个体绿量回归模型的绿地综合生态效益定量研究^[32],冯益明等的城市林业资源地理信息系统研建及应用^[33],吕妙儿等结合遥感技术进行城市绿地监测应用的尝试^[34]。国内模型虽然可以提供城市森林功能的定量评价,但计算公式多以引用国外为主,且不能提供一体化的功能计算,不具备空间显示景观模型的特性。相较国内模型,CITYgreen模型可以直接提供有关城市森林结构(例如各生活型植物的面积)及其生态服务功能(例如空气净化、碳羁押、水土保持、能源节省等)的大量信息,并输出以经济价值衡量的分析报告。何兴元等在城市森林传统研究方法与 3S技术结合领域中做了很多开创性的工作,首次引入 CITYgreen模型对城市森林的生态服务功能和演替趋势进行了预测^[35]。

2.5 城市森林景观生态规划

城市森林景观规划的目的是提高景观中各元素之间的连通性,但是更为关键的是增强景观元素的连接度,强调的不仅仅是外在结构,而是格局与生态过程的统一。城市森林的发展应该与社会需求相适应,最重要的是与城市森林所服务的城市人口相协调,但遗憾的是有关城市森林发展的度的研究至今很少报道。这要求对于城市发展规模与城市森林的对应关系做出新的评估,因此定量分析两者的关系成为目前城市森林景观生态规划研究的方向。

Niemela^[6]提出自己有关城市规划的见解:首先,查明城市里的物种种类;其次,了解城市生态系统的生态学过程;第三,设计保持城市生物多样性的管理计划;最后,注重自然和社会学科长时间尺度上的交叉研究^[7]。尽管多数学者认为本土植物在形成自然群落结构和完整生态系统方面具有比人为引进植物更大的优势,能收到防止灾变和保护环境等双重效益。但是在哪个城市哪些是可以用作绿化的植物,都需要通过野外调查获得系统化的数据和基于自然植被的科学假设来验证。由于构建复合层次的城市森林时需要考虑植物的生物学生长时间,因此城市林业的战略规划框架的制定,能够推进城市森林规划的实施,有利于保持原始的田园风貌,取得环境、社会和经济三重效益^[36]。

由于城市森林生态系统占据着从城市核心区到远郊森林的广大范围,其斑块间连通度对保持自然景观、

保护动物的迁移、维持植物基因流和种子流的传播具有重要作用。天然残留的植物群落城市建设过程中也应尽量保留,建立绿色的水系和道路廊道网络,充分发挥其森林景观功能。总体而言,城市森林景观规划应该遵循生态功能优先原则、因地制宜原则、整体优化原则、可操作性原则、连续性原则及多样性原则等。基于景观格局与生态学过程的城市森林景观规划不仅仅只是传统意义上景观美学价值的体现,而是以考虑城市森林的生态服务功能(如生物多样性、植物光合作用等)为核心。这点本身也是我们强调城市森林景观格局与过程研究的意义与价值所在。

3 城市森林景观格局与过程的研究方法

景观生态学实验方法可分为:野外比较性观测实验、操作性实验、与模型相结合的计算机模拟实验^[37]。本文将能够有效地对城市森林景观格局与过程进行分析的方法归纳为以下4类:(1)环境梯度方法;(2)历史动态监测方法;(3)实验模型系统方法;(4)模型模拟方法。由于大尺度野外调查或实验设计面临困难,因此许多景观层面的问题只能通过诸如空间仿真模型这样的途径来解决^[38]。

3.1 环境梯度方法

环境梯度分析法是选取环境梯度上一系列的研究对象,进行不同实验对象间的对比观测,以检验环境梯度上景观格局特征差异的显著性。在选取研究对象范围的时候,要特别关注观测对象之间的可比性。确保随机重复的取样或测量对象的散布格局适合要检验的假设,是测量性实验中要求最严格的部分^[39]。环境梯度法常用来定量描述森林景观结构特征在城市——乡村梯度上的差异,用来分析和解释森林景观格局形成机制及其与自然干扰、人类活动方式与强度之间的相互关系。从本质上来说,环境梯度法是一种实验采样方法。

3.2 历史动态监测方法

景观格局与过程是一个动态的过程,适宜进行长期的定位观测研究。虽然城市诞生的历史悠久,但是植被生态学家往往关注不受人干扰的自然植被,认为城市中植被不具有研究价值。城市森林生态问题只是在近年来受到重视。历史动态监测除了可以利用定位观测、文献记载、历史数据资料作为数据源,还可以通过化石资料、花粉分析技术、年轮分析技术和放射性同位素技术等提取生态学过程的有效信息^[40]。3S技术的发展以及遥感成像技术的进步,为开展大尺度的生态学过程研究奠定了基础。目前,利用植被光谱特征提取遥感数据中的植被信息已经成为可能,并广泛应用于大规模的动态监测研究中。

3.3 实验模型系统方法

实验模型系统方法又称为微景观途径^[41]。微景观途径能够对小尺度上的空间格局和生态过程进行有效的分析,结合尺度推绎,就能够获知宏观尺度上的景观格局与过程的机制。事实上,宏观尺度上的景观生态实验研究是极为困难的^[6],而实验模型系统恰是对于宏观尺度上景观实验手段缺乏的重要补充。实验模型系统可以通过随机化区组实验和设计若干重复等手段来控制偏差和随机误差,因而相对于小尺度的观测性实验得到的结论更为可信。Wien和Milne在美国新墨西哥州草原群落中的甲虫实验是最早、最有影响力的微景观生态学实验研究之一^[42]。

3.4 模型模拟方法

以往的城市森林资源评估多采用传统林业调查数据,数据更新慢、成本高,不利于开展大区域的动态预测。而模型的建立,可以把复杂的城市系统转换成简单、可视化的定量表征,筛选影响系统行为的反馈回路与关键因子,进而有效地预测城市生态系统的动态变化过程^[43]。城市森林生态系统的非线性与复杂性,决定了不可能用单一的方法与模型精确模拟。森林景观模型的开发由于研究目的、重点考察对象以及建模原理和方法的不同,其特点以及应用范围也各有差异(表1)。

景观尺度上的植被演变模型可以大体上归为两类^[38,52](图1):一是解析模型,二是仿真模型。解析模型以数学模型为主(如线性方程)^[45],包括微分方程模型和马尔可夫模型^[52]。仿真模型融入了直观的非线性因素、物理参数和系统的典型细节特征^[53]。Baker将景观模型分为3类^[46]:(1)整体景观模型;(2)分布式景观模型;(3)空间景观模型。邬建国在Baker和Shugar等人的研究基础上作了总结和改动,将景观模型划分

表 1 空间显式景观模型在森林研究中的应用及其特征

Table 1 The feature and its application of spatially explicit landscape model on forest research field

模型名称 Model name	模型特征描述 Model feature description	作者 Author	年代 Year
ABWA模型 ^[44] ABWA Model	模拟森林演替, 关注植物个体的出生、建成、生长和死亡	Bokun et al	1972
火梯度模型 ^[26] Fire Gradient Model	基于栅格方法, 模拟火干扰机制下的植被动态	Kessell and Cattalino	1978
FORET模型 ^[45] FORET Model	侧重植物个体的出生、建成、生长和死亡, 同时考虑垂直空间异质性, 如光对植物的影响	Shugart	1984
CELSS模型 ^[27] CELSS Model	基于过程的空间模型, 用于海岸沼泽演替研究	Sklar et al	1985
Green模型 ^[24] Green Model	主要考虑火干扰效应和种子散布机制	Green	1989
DSPATCH模型 ^[46] DSPATCH Model	关注气候变化、干扰机制与景观格局的关系	Baker et al	1991
森林衰退模型 ^[47] Forest dieback Model	描述不同立地等级森林同时期的生理衰退	Jeltsch and Wissele	1993
细胞自动机模型 ^[48] Cellular Automaton Model	通过邻域转化规则将局部观测数据用来模拟大尺度的动态特征, 分析城市土地利用变化	White and Engelen	1993
土地覆盖变化模型 ^[25] LUCC Model	重点对于土地利用和覆盖变化历史及现状做出评价, 阐明土地利用和覆盖格局与相应社会和自然驱动力之间的因果联系	Riebsam et al	1994
EMBYR模型 ^[28] EMBYR Model	气候变迁对于森林火干扰机制的影响	Gardner et al	1996
LANDIS模型 ^[29] LANDIS Model	模拟大尺度的森林景观干扰、演替和管理, 关注火、风倒以及采伐强度对于森林的影响	Mladenoff et al	1996
CITYgreen模型 ^[2] CITYgreen Model	用于生长模拟、动态预测及森林生态效益评估	Miller	1996
SORTE模型 ^[49] SORTE Model	侧重统计学变量描述(如死亡率和生长率), 模拟生态过程如种子散布、对于光和营养物质的竞争以及物种的更新过程	Deuschmann et al	1997
FACET模型 ^[50] FACET Model	基于火发生频率的空间显式林隙模型	Miller and Urban	1999
城市森林效应模型 ^[51] UFORE Model	结合植被样地数据、当地气象数据以及大气污染物监测数据进行城市森林生态服务功能预测	Novak et al	2000

模拟森林演替, 关注植物个体的出生、建成、生长和死亡 Simulate forest succession and represent the birth, establishment, growth and mortality processes of plant individual; 基于栅格方法, 模拟在火干扰机制下的植被动态 It considers vegetation and fire dynamics in a model spatially explicit manner using a grid-based approach; 侧重植物个体的出生、建成、生长和死亡, 同时考虑垂直空间异质性, 如光对植物的影响 Focused on individual establishment processes and vertical heterogeneity, particular in the differences in the light; 基于过程的空间模拟模型, 用于研究海岸沼泽演替 Process-based spatial landscape model of coastal marsh succession; 主要考虑火干扰效应和种子散布机制 Considering effects of disturbance (fire spread) and seed dispersal on landscape pattern; 关注气候变化、干扰机制与景观格局的相互关系 Explore the interactions between climatic change, disturbance regime and landscape pattern; 描述不同立地等级森林同时期的生理衰退 Explore synchronous stand-level forest dieback; 通过邻域转化规则将局部观测数据用来模拟大尺度的动态特征, 分析城市土地利用变化 Through neighborhood rules to evaluate of Urban Land Use Patterns, scale local data to simulate dynamic characteristics on large-scale; 重点对于土地利用和覆盖变化历史及现状做出评价, 阐明土地利用和覆盖格局与相应社会和自然驱动力之间的因果联系 Focused on evaluation of land use and cover change and the relationship between land use and cover pattern and social and natural driving force; 气候变迁对于森林火干扰机制的影响 Considering effects of climate change on the fire regime; 模拟大尺度的森林景观干扰、演替和管理, 关注火、风倒以及采伐强度对于森林的影响 To explore vegetation change and natural (eg fire and windthrow) and anthropic (eg timber harvesting) disturbance dynamics over large spatiotemporal extent; 用于生长模拟、动态预测及森林生态效益评估 For growth simulation, dynamic forecasting and assessment of forest ecological services; 侧重统计学变量描述(如死亡率和生长率), 模拟生态过程如种子散布、对于光和营养物质的竞争以及物种的更新过程 Attention is given to interspecific variation in demographics (mortality and growth) and ecological processes such as seed dispersal and competition for light and nutrients; 基于火发生频率的空间显式林隙模型 A spatially explicit forest gap model which integrates climate, fire and forest patterns; 结合植被样地数据、当地气象数据以及大气污染物监测数据进行城市森林生态服务功能预测 Quantify urban forest structure and functions based on standard inputs of field meteorological and pollution data.

为 3 类^[9]: (1) 非空间景观模型; (2) 准空间模型 (考虑空间异质性的统计特征, 如偏微分方程干扰模型); (3) 空间显式景观模型。事实上, 分布式景观模型与准空间模型属于一种类型, 而空间景观模型与空间显式

景观模型在概念上也基本一致。Horn的植被景观演变模型分类观点反映了景观模型的历史发展过程,对于初学者来说也较为容易接受。对于城市森林景观研究而言,强调植被景观演替过程的分类显然比单纯的景观模型分类更为实用。

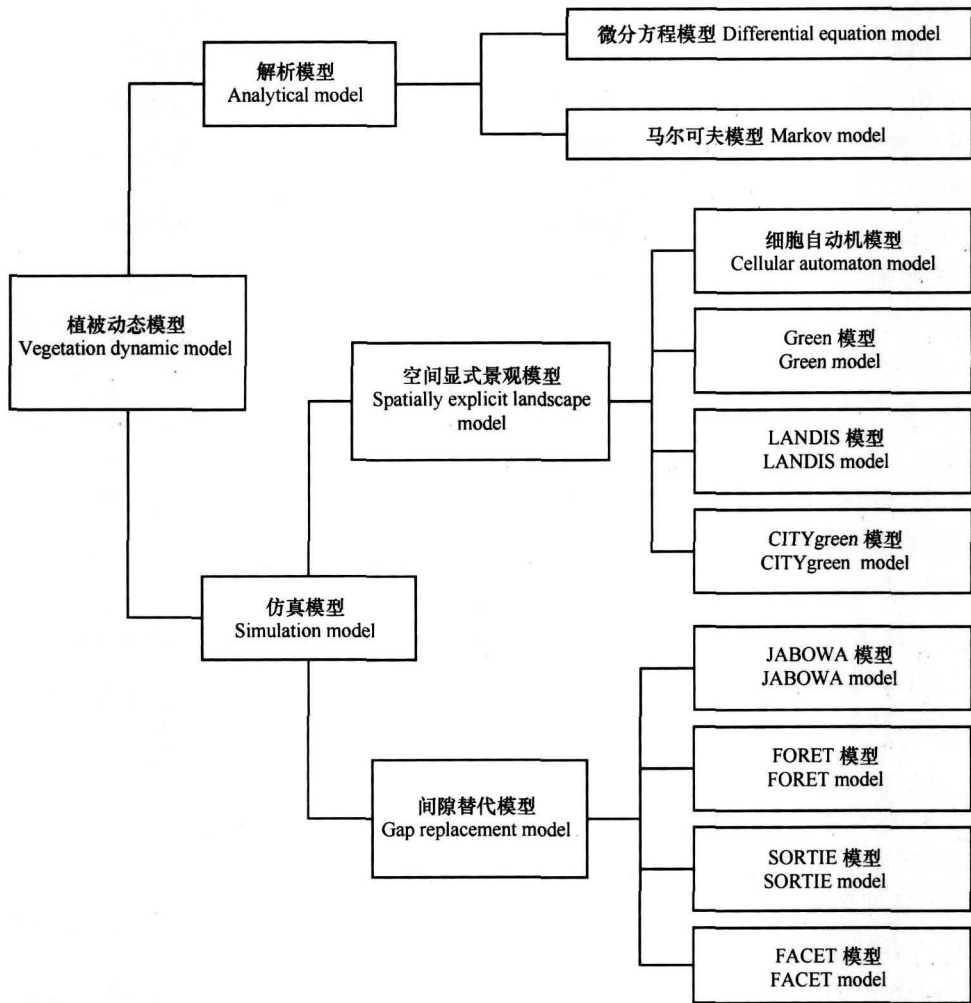


图 1 景观层次的植被动态模型演化示意图

Figure 1 Evolution of vegetation dynamic model on landscape level

* 在 Horn分类基础上, 总结补充并作改动, 示阶段性代表模型 Summarize and supplement on the basis of Horn's classification showing representative models in main phases

从景观模型的发展来看, 20世纪 70年代末到 80年代初多以强调景观组成而非构型的分布式景观模型为主^[54], 系统线性方程^[55]和马尔可夫模型^[52]是其中的典型代表。此外, 出现了最早的间隙替代模型——JABOWA模型^[44], 以及基于 JABOWA模型的改进模型 FORET^[43]。间隙替代模型主要用于模拟小样地上个体植物的建成、生长和死亡过程, 范围在 $0.1 \sim 1.0 \text{ hm}^2$ 之间; 相对于间隙替代模型, 空间显式景观模型的应用尺度更大, 范围更广, 在 $1.0 \times 10^7 \sim 1.0 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 之间^[38]。直到 80年代后期, 出现了从物理学吸收转化而来的细胞自动机模型^[48]。之后涌现了大量基于栅格的景观模型, 其中以 Green模型和森林衰退模型^[47]为代表。同时, 间隙替代模型也得到了进一步地发展, 例如基于个体的 SORTIE模型^[49]以及整合了气候、火等因素的 FACET模型^[50], 其中 FACET模型是最近开发的景观直观林隙模型。而基于栅格的 LANDIS模型是当今空间显式景观模型的一个很好例证^[29]。

4 城市森林景观格局与过程研究展望

城市森林学作为 20世纪 60年代发展起来的新兴学科, 仍处于形成、发展和完善的阶段, 不断有新的理论

和研究方法充实和融入到城市森林研究过程中。随着景观生态学理论与 3S 技术的日臻完善, 耗费大量人力、物力资源的传统林业调查方法将被取代, 植被信息的快速、高效提取使得定量描述景观结构、功能与过程成为可能。

我国城市森林方面的景观生态研究始于 20 世纪 80 年代初, 目前国内许多城市已经开展城市森林景观格局方面的研究。相对于国外研究而言, 国内大多仅涉及到城市森林景观格局空间特征描述^[56]、城市森林景观格局城乡梯度分析^[57, 58]、城乡交错带景观格局分析^[59]、绿地空间格局及其环境效应^[60]、绿量回归模型研究^[32]、城市林业资源信息系统开发^[61]、城市绿地监测^[34]、城市热岛效应与植被覆盖的关系研究^[62]等, 对于格局与生态学过程的耦合研究(如物质能量循环、植物多样性等)以及城市森林景观演变的驱动力机制关注较少。因此, 集合社会学因子探讨城市森林景观格局深层次的系统动力学机制是今后关注的研究方向。

综观近 30 多年来国外城市森林景观格局与过程研究, 多数集中在城市森林景观格局及其空间特征、城市森林景观特性随土地利用类型分布的规律、城市森林景观格局演变及驱动力分析、城市森林景观格局模型研究、城市森林景观生态效益分析以及城市森林景观规划模式研究等。而以景观格局与生态过程为核心的城市森林景观稳定性、城市森林演替规律、景观与能量流动、景观与养分循环关系以及景观层次上的自更新机制研究则较少有人涉及。大尺度与中尺度的城市森林景观研究多以官方数据为基础^[63], 基于实地调查的城市森林物种多样性与景观结构的关系研究并不多见。虽然生境破碎化、复合种群动态一些重要的生态学过程在研究中受到关注, 但是由于研究对象的尺度和空间异质性所造成的实验设计与操作困难, 仅仅从缀块局部尚无法认识生态过程与景观特征的相互影响与机理。因此, 基于实验基础的景观研究亟需加强^[64]。

总结前人的研究成果, 在今后的城市森林景观研究过程中, 应重点考虑以下几个方面:

(1) 开展区域性典型城市森林景观研究, 模拟城市森林系统能流、物质循环等重要的生态学过程(尤其是植物光合生理过程、枯落物分解、种子散布机制和外来植物的定居), 解释景观格局与生态学过程之间的相互关系。

(2) 结合社会、人文等因素进行城市森林景观格局演变的驱动力分析, 筛选具有代表性的社会因子组建兼容性生态模型, 探讨城市森林景观格局演变深层次的系统动力学机制。

(3) 根据城市森林景观预测结果及其所提供的生态服务功能, 结合城市发展和人口增长速度, 探讨基于格局与过程的城市森林景观生态规划模式。

(4) 关注城乡交错带这一热点区域的城市森林景观与人工景观之间的相互作用, 如边缘效应对于种群动态、群落组成、群落结构、群落演替、生物生产力、生物多样性等方面的影响等, 深入理解城市森林景观单元内部及单元之间的物质能量交换过程, 揭示城乡交错面上城市森林的格局特征与生态学过程的关系。

(5) 进行城市森林景观生态学实验方法的有关探索, 结合实验模型系统, 研究尺度推绎方法的优化。在空间显式景观模型的基础上, 开发应用性强的城市森林景观格局与过程模块。

可以预见在不久的将来, 城市森林景观格局与过程研究将会成为自然学科和社会学科共同关注的新的研究热点, 其发展将有力促进城市居民人居环境的改善和城市生态系统的可持续发展。

References

- [1] Forman R, Godron M. Landscape ecology. New York: John Wiley and Sons, 1986.
- [2] Miller R W. Urban Forestry. New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- [3] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. Research on the Chinese terrestrial ecosystem services and its ecological value. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(5): 607-613.
- [4] Zhu W Q, He X Y, Chen W, et al. Quantitative analysis of urban forest structure: A case study on Shenyang arboretum. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(12): 2090-2094.
- [5] Zhao T Q, Ouyang Z Y, Zeng H, et al. Forest ecosystem services and their valuation in China. Journal of Nature Resources, 2004, 19(4): 480-491.
- [6] Wu J G. Landscape ecology—Pattern, process, scale and hierarchy. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [7] Niemela J. Ecology and urban planning: Biodiversity and Conservation, 1999, 8: 119-131.
- [8] Radeloff V C, Hammer R B, Stewart S J, et al. The wildland-urban interface in the United States. Ecological Applications, 2005, 15: 799-805.

- [9] MacDonald K, TK R, UdeI, SpawI and forest cover: what is the relationship? *Applied Geography* 2005, 25: 67—79
- [10] Pickett S, TA, M L, Cadenasso, JM, Grove, et al. Urban ecological systems: Linking terrestrial ecological, Physical, and socioeconomic components of metropolitan areas. *Annual Review of Ecology and Systematics* 2001, 32: 127—157
- [11] Van der Veken S, K, V, HeyeN, M, HemY. Plant species loss in an urban area (Tunhout, Belgium) from 1880 to 1999 and its environmental determinants. *Floa* 2004, 199: 516—523
- [12] Blair R. The effects of urban sprawl on birds at multiple levels of biological organization. *Ecology and Society* 2004, 9—21
- [13] Guindon M, P, ino J, Roda F. Understorey plant species richness and composition in metropolitan forest archipelagos: effects of forest size, adjacent land use and distance to the edge. *Global Ecology and Biogeography* 2006, 15: 50—62
- [14] Yasuda M, Koike F. Do golf courses provide a refuge for flora and fauna in Japanese urban landscapes? *Landscape and Urban Planning* 2006, 75: 58—68
- [15] Godefroid S, Monbaliu D, Koedam N. The role of soil and microclimatic variables in the distribution patterns of urban wasteland flora in Brussels, Belgium. *Landscape and Urban Planning* 2007, 80: 45—55
- [16] Bhui D, R, Ohsawa M. Effects of nature trails on ground vegetation and understory colonization of a patchy remnant forest in an urban domain. *Biological Conservation* 1998, 85: 123—135
- [17] Huste A, Boulinier T. Determinants of local extinction and turnover rates in urban bird communities. *Ecological Applications* 2007, 17: 168—180
- [18] Mañera S, Fairbairn J, Needle C, L. The course and drivers of the forest transition: the case of France. *Journal of Rural Studies* 1999, 15: 65—90
- [19] Matlack G, R. Four centuries of forest clearance and regeneration in the hinterland of a large city. *Journal of Biogeography* 1997, 24: 281—295
- [20] Fu B, J, Chen L, D, Ma K, P, et al. Landscape ecology principles and applications. Beijing: Science Press, 2001
- [21] Grove J, M, T, oya R, Burch W, R, et al. Characterization of households and its implications for the vegetation of urban ecosystems. *Ecosystems* 2006, 9: 578—597
- [22] Martin C, A, Warren P, S, King A, P. Neighborhood socioeconomic status is a useful predictor of perennial landscape vegetation in residential neighborhoods and embedded small parks of Phoenix, AZ. *Landscape and Urban Planning* 2004, 69: 355—368
- [23] Kong F, H, Y, in H, W, Nakagoshi N, Using GIS and landscape metrics in the hedonic price modeling of the amenity value of urban green space: A case study in Jinan City, China. *Landscape and Urban Planning* 2007, 79: 240—252
- [24] Green D, G. Simulated effects of fire dispersal and spatial pattern on competition within vegetation mosaics. *Vegetation* 1989, 82: 139—153
- [25] Rietsman E, W, E, Parton W, J, Galvin K, A, et al. Integrated modeling of land use and cover change. *Bioscience* 1994, 44(51), 350—356
- [26] Kessell S, R, Cattelino P, J. Evaluation of a fire behaviour integration system for Southern California chaparral wildlands. *Environmental Management* 1978, 2: 135—159
- [27] Sklar F, H, Costanza R, Day J, W. Dynamic spatial simulation modeling of coastal wetland habitat succession. *Ecological Modelling* 1985, 29: 261—281
- [28] Gardner R, H, Hagrove W, W, Turner M, G, et al. Climate change, disturbances and landscape dynamics. In Walker B, H and Steffer W, L, editors. *Global change and terrestrial ecosystems*. Cambridge University Press, 1996: 149—172
- [29] Mladenoff D, J, Host G, E, Boeder J, et al. LANDIS: a spatial model of forest landscape disturbance, succession and management. In Goodchild M, R, Steyaert L, T, Parks B, O, eds. *GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues*. Fort Collins: GIS World Books, 1996: 175—180
- [30] Wang B, S, Ma M, J. Nature Reserve forest evolution in Dinghu Mountain. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem Research* 1982, 1: 142—156
- [31] Shao G, F. GIS applications on forest landscape dynamic simulation. *Journal of Applied Ecology* 1991, 2(2): 103—107
- [32] Chen Z, X, Su X, H, Liu S, Z, et al. The ecological benefits study of urban green space in Beijing. *Chinese Landscape Architecture* 1998, 14(1): 57—60
- [33] Feng Y, M, Li Z, L. Setting up UFGS and its application. *Forest Research* 1999, 12(3): 310—314
- [34] Lu M, E, Pu Y, X. Application of remote sensing on urban green. *Chinese Landscape Architecture* 2000, 16(5): 41—44
- [35] Hu Z, B, He X, Y, CHEN W, et al. Development and application of urban forest management information system based on CITYgreen model. *Chinese Journal of Ecology* 2003, 22(6): 181—185
- [36] van Wassenae P, J, E, L, Schaeffer W, A, Kenney. Strategic planning in urban forestry: A 21st century paradigm shift for small town Canada. *Forestry Chronicle* 2000, 76: 241—245
- [37] Shen Z, H. Experimental method research development of landscape ecology. *Acta Ecologica Sinica* 2004, 24(4): 770—774
- [38] Perry G, L, W, Enright N, J. Spatial modeling of vegetation change in dynamic landscapes: a review of methods and applications. *Progress in Physical Geography* 2006, 30: 47—72
- [39] Hurlbert S, H. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs* 1984, 54(2): 187—211
- [40] Song Y, C. *Vegetation Ecology*. Shanghai: East China Normal University Press, 2001
- [41] In s, R, A, Stenseth N, C. Divided the fruitless fall. *Nature* 1989, 342: 21—22
- [42] Wiens J, A, Mihne B, T. Scaling of landscape in landscape ecology or: landscape ecology from a bee's perspective. *Landscape Ecology* 1989, 3: 87—96
- [43] Yu Y, J, Guo H, C, Liu Y, et al. On the progress in urban ecosystem dynamic modeling. *Acta Ecologica Sinica* 2007, 27(6): 2603—2614
- [44] Botkin D, B, Janak J, E, Wallis J, R. Some ecological consequences of a computer model of forest growth. *Journal of Ecology* 1972, 60: 849—872
- [45] Shugart H, H. A theory of forest dynamics: The ecological implications of forest succession models. Springer-Verlag, 1984
- [46] Baker W, L, Elbert S, L, Frazer G, F. A spatial model for studying the effects of climatic change on the structure of landscapes subject to large

- disturbances *Ecological Modelling* 1991, 56: 109–125
- [47] Jeltsch F, Wisse L C. Modelling factors which may cause stand level dieback in forests. In Huettl R F and Mueller-Dombois D, editors. *Forest decline in the Atlantic and Pacific regions*. Springer, Verlag, 1993: 229–236
- [48] White R, Engelen G. Cellular automata and fractal urban form: A Cellular Modelling Approach to the Evaluation of Urban Land Use Patterns. *Environment and Planning A* 1993, (25): 1175–1199
- [49] Deuschmann D H, Levin S A, Devine C, et al. Scaling from trees to forests: analysis of a complex simulation model. *Science (Online)*. Retrieved 2 December 2005 from <http://www.sciencemag.org/feature/data/deuschman/index.htm> 1997.
- [50] Miller C, Urban D L. A model of surface fire climate and forest pattern in the Sierra Nevada. *California Ecological Modelling* 1999, 114: 113–135
- [51] Nowak D J, Cervone K L, Rao S T, et al. A modeling study of the impact of urban trees on ozone. *Atmospheric Environment* 2000, 34: 1601–1613
- [52] Horn H S. Forest succession. *Scientific American* 1975, 232: 90–98
- [53] Horn H S, Shugart H H, Urban D L. Similarism models of forest dynamics. In Roughgarden J, May R M, and Levin S A, editors. *Perspectives in ecological theory*. Princeton University Press, 1989: 256–267.
- [54] Weinstein D A, Shugart H H. Ecological modeling of landscape dynamics. In Mooney H A, Gordon M, editors. *Disturbance and ecosystems: components of response*. Springer, Verlag, 1983: 29–45
- [55] Shugart H H, Crow T R, Hett J M. Forest succession models: a rationale and methodology for modeling forest succession over large regions. *Forest Science* 1973, 19: 203–212
- [56] Wu Z M, Huang C L, Bai L B, et al. Urban forest structure of Hefei city. *Scientia Silvae Sinicae* 2002, 38(4): 8–13
- [57] Zhang L Q, Wu J P, Zhen Y, et al. A GIS based gradient analysis of the urban landscape pattern of Shanghai metropolitan region. *Acta Phytogeographica Sinica* 2004, 28(1): 78–85.
- [58] Wang Y, Wu Z M, Zhang L, et al. Urban Forest Mosaic and Its Gradient Analysis: A Case Study from Maanshan, Anhui, China. *Scientia Silvae Sinicae* 2007, 43(3): 51–58.
- [59] Chen C H, Hu F, Zhang L C. Landscape pattern of Nanjing urban-rural ecotone. *Chinese Journal of Applied Ecology* 2003, 14(8): 1363–1368
- [60] Song Z Q, Wang Y L. Progress in research on ecological impact of urban landscape structure. *Progress in Geography* 2004, 23(2): 97–106.
- [61] Zhou J H. Theory and practice on database of three-dimensional vegetation quantity. *Acta Geographica Sinica* 2001, 56(1): 14–23
- [62] Zhou H M, Ding J C, Xu Y M, et al. Theme monitoring and evaluation of relation between heat island effect and greenbelt distribution in Shanghai urban area. *Acta Agricuturae Shanghai* 2002, 18(2): 83–88
- [63] Wanja A, Kuhn, I, Klotz S. Plant richness patterns in agricultural and urban landscapes in Central Germany—spatial gradients of species richness. *Landscape and Urban Planning* 2006, 75: 97–110.
- [64] Fu B, J, Lu Y H. The progress and perspectives of landscape ecology in China. *Progress in Physical Geography* 2006, 30: 232–244.

参考文献:

- [3] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. *生态学报*, 1999, 19(5): 607–613.
- [4] 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. *应用生态学报*, 2003, 14(12): 2090–2094
- [5] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. *自然资源学报*, 2004, 19(4): 480–491.
- [6] 邬建国. *景观生态学——格局、过程、尺度与等级*. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [20] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. *景观生态学原理及应用*. 北京: 科学出版社, 2001.
- [30] 王伯荪, 马曼杰. 鼎湖山自然保护区森林群落的演变. *热带亚热带森林生态系统研究*, 1982, 1: 142–156.
- [31] 邵国凡. 应用地理信息系统模拟森林景观动态的研究. *应用生态学报*, 1991, 2(2): 103–107
- [32] 陈自新, 苏雪痕, 刘少宗, 等. 北京城市园林绿化生态效益研究. *中国园林*, 1998, 14(1): 57–60
- [33] 冯益明, 李增禄. 城市林业资源地理信息系统的研建及应用. *林业科学研究*, 1999, 12(3): 310–314.
- [34] 吕妙儿, 蒲英霞. 城市绿地监测遥感应用. *中国园林*, 2000, 16(5): 41–44
- [35] 胡志斌, 何兴元, 陈玮, 等. 基于 CIIY GIS 模型的城市森林管理信息系统的构建与应用. *生态学杂志*, 2003, 22(6): 181–185
- [37] 沈泽昊. 景观生态学的实验研究方法综述. *生态学报*, 2004, 24(4): 770–774
- [40] 宋永昌. *植被生态学*. 上海: 华东师范大学出版社, 2001
- [43] 郁亚娟, 郭怀成, 刘永, 等. 城市生态系统的动力学演化模型研究进展. *生态学报*, 2007, 27(6): 2603–2614.
- [56] 吴泽民, 黄成林, 白林波, 等. 合肥城市森林结构分析研究. *林业科学*, 2002, 38(4): 8–13.
- [57] 张利权, 吴健平, 甄或, 等. 基于 GIS 的上海市景观格局梯度分析. *植物生态学报*, 2004, 28(1): 78–85.
- [58] 王原, 吴泽民, 张磊, 等. 马鞍山城市森林景观镶嵌与其城郊分布梯度格局研究. *林业科学*, 2007, 43(3): 51–58
- [59] 陈彩虹, 胡锋, 张落成. 南京市城乡交错带景观格局研究. *应用生态学报*, 2003, 14(8): 1363–1368.
- [60] 宋治清, 王仰麟. 城市景观及其格局的生态效应研究进展. *地理科学进展*, 2004, 23(2): 97–106
- [61] 周坚华. 城市绿量测算模式及信息系统. *地理学报*, 2001, 56(1): 14–23.
- [62] 周红妹, 丁金才, 徐一敏, 等. 城市热岛效应与绿地分布的关系监测和评估. *上海农业学报*, 2002, 18(2): 83–88