

城市森林生态服务价值评估研究进展

赵 煜¹, 赵千钧^{1,2,*}, 崔胜辉¹, 吝 涛¹, 尹 锴¹

(1. 中国科学院城市环境研究所, 城市环境与健康重点实验室, 厦门 361021; 2. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要:随着城市化进程的加快, 城市环境问题日益突出, 作为城市生态系统的重要子系统之一, 城市森林为城市居民提供诸多生态服务。而城市森林生态服务价值评估能够有效指导城市森林建设, 为管理部门提供决策依据, 从而最大限度地发挥城市森林的生态服务功能。在阐明城市森林及其生态服务价值内涵的基础上, 重点对比分析了各类城市森林生态服务价值的评估方法, 并根据其发展历程将其归纳为 3 类: 单株树木经济价值评估法; 城市森林生态服务综合价值评估法; 空间显式景观模型评估法。最后指出现有城市森林生态服务价值评估方法中的不足及今后发展方向, 以期丰富城市森林生态服务价值评估理论, 并为城市森林的合理规划提供借鉴。

关键词:城市森林; 生态服务; 价值评估

文章编号: 1000-0933(2009)12-6723-10 中图分类号: Q149, S718.5 文献标识码: A

Progress in ecological services evaluation of urban forest

ZHAO Yu¹, ZHAO Qian-Jun^{1,2,*}, CUI Sheng-Hui¹, LIN Tao¹, YIN Kai¹

1 Key Lab of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China

2 Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(12): 6723 ~ 6732.

Abstract: With the acceleration of urbanization, environmental problems are becoming more and more critical. As an important subsystem of urban environment, urban forest offers many kinds of ecological services which benefit the city dwellers. The assessment of urban forest ecological services can improve the construction of urban forest effectively and guide strategic decisions, so that urban forest's ecological services can be maximized. This paper clarified the concepts of urban forest and the connotation of urban forest ecological service values, and compared and analysed different methods. Based on the development of urban forest ecological services, this paper concluded the approaches of urban forest ecological services into three categories: economic valuation of single trees, comprehensive valuation of ecological services, and spatially explicit landscape model valuation. Finally, the shortness of current urban forest ecological services evaluation methods and its prospects were concluded to enrich the theory of urban forest ecological services valuation, and to direct the planning of urban forest.

Key Words: urban forest; ecological services; value assessment

城市森林是城市生态建设的重要内容, 而城市森林生态服务功能研究是当前城市生态学关注的热点之一。作为一个特殊的自养生态系统, 城市森林与人类朝夕相伴, 其生态过程所提供的服务构成了人类赖以生存的基本前提^[1-5]。城市森林生态服务价值评估方法作为当今生态服务价值评估中的一项重要内容, 对于量化城市森林生态服务功能, 更好地指导城市规划建设都具有重要意义。

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); 国家自然科学基金资助项目(40701059); 中国科学院知识创新工程青年人才领域前沿项目; 福建自然科学基金资助项目(09F2201d10)

收稿日期: 2009-05-24; 修订日期: 2009-09-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qjzhao@iue.ac.cn

生态服务价值评估作为生态学、环境学与经济学评估手段的融合由来已久。早在 20 世纪 60 年代,自然资源价值评估的经济学手段和方法就开始兴起^[6]。最近几十年来,生态经济领域中关于生态系统功能、产品和服务的价值计算研究也逐渐达到鼎盛^[7-9]。随着城市森林理论和实践的发展,城市森林生态服务价值评估方面的研究成果也不断涌现。但是,由于生态服务价值评估以及城市森林生态服务价值的概念、内涵及外延在学术界尚存争议,因此城市森林生态服务价值评估方法仍存在许多不足之处^[10,11]。本文总结了国内外有关城市森林生态服务价值评估的最新研究成果,概述了城市森林生态服务的基本内涵和分类情况,并对比分析了各种城市森林生态服务价值评估方法,以期为进一步发展城市森林生态服务价值评估方法提供借鉴。

1 城市森林生态服务价值概述

1.1 城市森林的概念

城市森林的概念源于 20 世纪 60 年代的北美,但迄今为止城市森林仍没有一个统一的定义。早在 1962 年,美国肯尼迪政府在户外娱乐资源调查报告中,首次使用了“城市森林”这一名词。1964 年加拿大多伦多大学的 Erik Jorgensen 教授提出的“城市林业(urban forestry)”概念,被认为是关于城市森林概念的最早论述;此后众多学者从不同角度出发提出了各自对城市森林概念的理解,如 Rowantree 从森林产生的效应出发,Miller 则以人类的聚居地为中心论述,而台湾的高清教授从城市建设的角度给出定义,等等。出于对城市森林定义理解的差异城市森林的范围也不尽相同,许多国家从游览时间或与市中心的距离来界定城市森林的范围。一般而言,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^[12]。

1.2 城市森林生态服务价值

生态系统服务的概念最早于 1970 年由联合国大学在《人类对全球环境的影响报告》中提出^[13]。此后,众多的学者和组织从不同角度纷纷提出了各自的界定^[14-17]。这些定义的差异源自对供给和服务方面的侧重、对市场和非市场价值的认知以及时空尺度的考虑、评估单元的选择等的不同,如生态学上和经济学上的“价值”就存在较大差异^[18]。在生态学与经济学融合的生态经济学中,生态服务价值一般是指生态系统及其生态过程对特定目标和情景的贡献大小,并有内在价值和工具性价值之分。

由于受到人类活动的强烈影响,城市森林不同于一般的自然生态系统,但是其生态服务功能的属性却并未因此发生根本性的改变,反而,因其与人类生产生活更加密切,其生态服务属性及重要性也愈加明显。基于城市森林与生态服务价值理论,借鉴前人对城市森林生态服务的理解,笔者认为城市森林生态服务价值是指城市森林生态系统及其生态过程所形成的有利于城市居民生存与发展的条件与效用,及其所提供的各种物质产品、环境资源、生态公益、社会服务和美学价值,包括生态价值、经济价值和社会价值。

2 城市森林生态服务价值评估方法

生态系统服务价值的研究经过 40a 的发展日趋成熟,其评估方法也由于经济学与生态学的结合而逐渐丰富。其中,具有代表性的是,Carson 提出的环境价值评估方法^[19],赵景柱的物质质量评价法和价值量评价法^[20],欧阳志云的替代市场技术和模拟市场技术评估方法^[17],李文华基于支付意愿的揭示偏好法、陈述偏好法、推断支付意愿法^[21]。发展至今,生态系统服务价值评估的具体方法包括:市场定价法、生产率法、人力资本法和疾病成本法、机会成本法、享乐定价法、旅行费用法、防护成本法、重置成本法、替代成本法及意愿调查法等。但关于生态系统服务价值的分类、评估方法及各种评估方法的适用性等方面仍存在较大争议。

早期的城市森林生态服务价值评估开始于 20 世纪 40 年代的单株树木经济价值评估,这一时期的研究以城市树木的补偿价值为重点,对其生态价值和社会价值关注较少,但该阶段为后来真正意义上的城市森林生态服务价值评估奠定了基础。60 年代初到 80 年代末,对城市森林生态服务价值研究是以生态效益的实物量分析和测定为重点^[22-24];80 年代后,各国学者尝试将城市森林生态服务评估从实物量计算统归到价值量计算^[25],多借助于一些环境经济学手段对城市森林的生态服务价值进行评估^[26-29];90 年代后期,随着计算机技术的发展,涌现出了一些空间显式景观模型^[30,31],这些评估结果多用来进行成本效益分析或成本有效性分

析^[1,32],为政府决策提供参考,并为城市管理服务。

根据城市森林生态服务价值评估方法的发展历程(图 1),可以将城市森林生态服务价值的评估方法归纳为 3 种类型:(1)单株树木经济价值评估法;(2)城市森林生态服务综合价值评估法;(3)空间显式景观模型评估法。

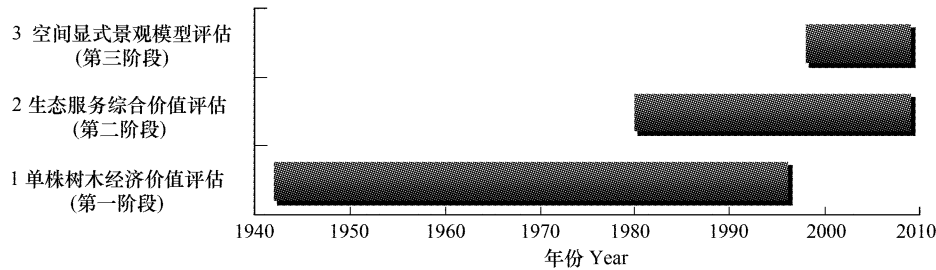


图 1 城市森林生态服务价值评估方法演替阶段

Fig. 1 The development of urban forest ecological services valuation

1. Phase 1: Economic valuation of single trees; 2. Phase 2: Comprehensive valuation of ecological services; 3. Phase 3: Spatially explicit landscape model valuation

2.1 单株树木经济价值评估法

城市森林生态服务价值的量化,最初是通过单株树木经济价值的计算来实现的。Nowak 等认为城市森林所具有的价值可分为结构价值和功能价值,结构价值又称为补偿价值,补偿价值是用来衡量因树木的损伤或死亡对法律、保险、税收等的影响,可以用货币表示其价值,补偿价值越大其功能价值也越大^[33]。单株树木经济价值评估主要是用来计算树木的补偿价值。

表 1 单株树木经济价值评估方法
Table 1 Urban forest ecological services evaluation——based on a single tree

方法 Method	提出时间 Year	提出人(机构) Author	公式 Formula	方法特点 Features
CTLA ^[34,35] (USA)	1942	E. P. Felt	树木价值 = 树干断面积 × 树木基价 × 树种系数 × 生长位置系数 × 生长情况系数	适于大株景观树木的公共效益并可估测树木的未来价值 ^[36] ;评估结果受树种、树木生长状况和生长地环境的影响
AVTW ^[37] (Great Britain)	1967	Helliwell	树木价值 = 树木尺度 × 树木预期寿命 × 景观中的重要度 × 与其他树木的关系 × 与周围环境的关系 × 树型 × 特殊因素 × 14 英镑	除树木外,还适用于灌木和绿篱的经济价值评估,并可评估森林生物多样性的价值 ^[38] ;考虑了树木之间的相互影响及周围环境的影响。
Burnley ^[39] (Australia)	1988	Burnley Campus (McGary and Moore)	树木价值 = 树木体积 × 树木基价 × 预期寿命系数 × 树型和生长情况系数 × 生长位置系数	评估结果主要受树木的尺寸和基准价格影响;对寿命较短、个体较小的树种容易造成评估价值过低。
Norma Granada ^[39] (Spain)	1990	Asociacion Española de Parquesy Jardines Publicos	树木价值 = (价值指数 × 批发价 × 生长情况系数) × (1 + 预期寿命 + 美学价值 + 树种稀缺性系数 + 生长立地的适应性系数 + 特别系数)	适用于观赏树木和珍稀树种的经济价值评估;设置了特殊系数,提高了公式的灵活性。
STEM ^[39,40] (New Zealand)	1996	Royal New Zealand Institute of Hotriaulture	树木价值 = (总分 × 批发价 + 种植费用 + 养护费用) × 零售转换因素	具有 3 个基本的影响因素:生长状况、适宜性和名贵程度,更适用于大株、名贵树木经济价值的评估。该方法考虑因素较多,计算结果较为保守。

许多国家都在为建立一种能公正客观的评估城市树木经济价值的方法而不懈努力,其中具有代表性的方法主要有 5 种,分别是:美国的 CTLA (council of tree and landscape appraisers method) 方法,英国的 AVTW (amenity valuation of trees and woodlands) 方法,澳大利亚的 Burnley 方法,西班牙的 Norma Granada 方法和新西

兰的 STEM(standard tree evaluation Method)方法(表 1)。

除 AVTW 方法外,其他评估方法均仅针对个体树木而不考虑周围树木的影响,忽略了城市森林的整体联系性;同时,AVTW、Noma Granada、STEM 方法均采用打分法来确定公式中各参数的权重,主观性较强,评估结果较依赖于评估人员的经验;另外,单株树木经济价值评估方法地域适用性较差,计算过程复杂,可评估的价值单一,未考虑树木的生态价值,仅涉及其经济和社会价值部分,不能反映城市树木的真实价值。

2.2 城市森林生态服务综合价值评估法

城市森林生态服务价值评估的方法大多借鉴生态系统服务价值的评估方法,其评估方法可分为三大类:直接市场评估法,替代市场评估法和模拟市场评估法,同样也是目前城市森林生态服务价值评估最常用的基础方法。城市森林生态服务综合价值可以分为生态价值、经济价值和社会价值(表 2)。

表 2 城市森林生态服务综合价值评估方法归纳
Table 2 Conclusion of comprehensive valuation of urban forest ecological services

	功能类别 Services	评估指标 Indicator	现有评估方法 Value assessment	代表性计算方法 Representative calculation method
生态价值 Ecological value	涵养水源	蓄水、调节径流量、净化水质	水量平衡法 ^[41] 土壤蓄水估算法 ^[42] 综合蓄水能力法 ^[43]	水量平衡法: $E_w = \theta R \times A \times (C + K)$ θ 截留系数; A 林分面积; R 年均降雨量; C 水库蓄水成本; K 水的净化费用
			造林成本法 ^[28] 碳税法 ^[41] 避免损害费用法 ^[10]	造林成本法: $E_C = AC_{\text{碳}} (1.63R_{\text{碳}} B_{\text{年}} + F_{\text{土壤碳}})$ ^[44] A 林分面积; $C_{\text{碳}}$ 固碳价格; $R_{\text{碳}}$ CO_2 中 C 的含量; $B_{\text{年}}$ 林分净生产力; $F_{\text{土壤碳}}$ 单位面积林分土壤固碳量
	固碳释氧	CO_2 固定	造林成本法 ^[45] 工业制氧法 ^[28]	工业制氧法: $E_O = 1.19C_{\text{氧}} AB_{\text{年}}$ ^[44] A 林分面积; $C_{\text{氧}}$ 制氧价格; $B_{\text{年}}$ 林分净生产力
		O_2 释放	造林成本法 ^[45] 工业制氧法 ^[28]	工业制氧法: $E_O = 1.19C_{\text{氧}} AB_{\text{年}}$ ^[44] A 林分面积; $C_{\text{氧}}$ 制氧价格; $B_{\text{年}}$ 林分净生产力
	净化环境	大气污染物吸收	市场价值法 ^[41]	市场价值法: $E_p = \sum AC_i F_i$ A 林分面积; C_i 第 i 种污染物的治理费用; F_i 单位面积林分年吸收第 i 种污染物的量; i 代表二氧化硫、氮氧化物、氟化物、重金属及粉尘等
				市场价值法: $E_p = \sum AC_i F_i$ A 林分面积; C_i 第 i 种污染物的治理费用; F_i 单位面积林分年吸收第 i 种污染物的量; i 代表二氧化硫、氮氧化物、氟化物、重金属及粉尘等
		滞尘能力	总价值分离法 ^[45] 支付意愿法 ^[46]	总价值分离法: $E_D = (a_1 + a_2) TqA(1/K - 1)$ (53) ^[45] a_1 和 a_2 为灭菌或降噪价值占森林总生态价值的比例系数 (通过调查评价或专家评审); T 为森林立木价格; q 为林木单位蓄积量; A 林分面积 Forest area; K 为森林直接实物性使用价值占森林有形和无形总价值的比例系数
		杀菌能力		总价值分离法: $E_D = (a_1 + a_2) TqA(1/K - 1)$ (53) ^[45] a_1 和 a_2 为灭菌或降噪价值占森林总生态价值的比例系数 (通过调查评价或专家评审); T 为森林立木价格; q 为林木单位蓄积量; A 林分面积 Forest area; K 为森林直接实物性使用价值占森林有形和无形总价值的比例系数
		降噪能力		总价值分离法: $E_D = (a_1 + a_2) TqA(1/K - 1)$ (53) ^[45] a_1 和 a_2 为灭菌或降噪价值占森林总生态价值的比例系数 (通过调查评价或专家评审); T 为森林立木价格; q 为林木单位蓄积量; A 林分面积 Forest area; K 为森林直接实物性使用价值占森林有形和无形总价值的比例系数
		负离子供给		生产成本法 $E_n = 5.256 \times 10^{15} \times AHK_{\text{负离子}} (Q_{\text{负离子}} - 600) / L$ ^[44] A 林分面积; H 林分高度; $K_{\text{负离子}}$ 负离子的生产费用; $Q_{\text{负离子}}$ 林分负离子浓度; L 负离子寿命
经济价值 Economic value	提供林木产品	木材和果品供给	市场价值法 ^[47]	$E_F = \sum A_i V_i P_i$ ^[47] A_i 第 i 类型林分面积; V_i 第 i 类林分的单位面积产量; P_i 第 i 类林分的木材或果品价格
	森林游憩		旅行费用法 ^[10] 条件价值法 ^[10]	森林游憩价值 = 隶属林业系统管辖的自然保护区、森林公园、风景名胜区等全年旅游直接收益/游览在整个旅游收入中所占的比例 ^[48]
	生物多样性	使用价值	市场价值法	生物多样性价值 = 全民每人每年愿意捐赠生物多样性保护的金额 $\times$ 森林所在地区人口数 $\times$ 中国一级保护动物中生境为森林生态系统的物种比例
	拉动产业发展	非使用价值 房地产增值及吸引外商投资	支付意愿法 享乐价格法 意愿调查法 ^[4]	通过询问市民及投资者的意愿来获得 ^[4]
社会价值 Social value		科技进步推动	替代价值法 综合模型法 ^[49]	用投入城市森林研究领域的科研经费来表征 ^[4]
		文化教育		森林文化创造的价值
		就业机会提供	投入产出法 ^[49] 指数法 ^[49]	森林就业人员年收入与增值系数的乘积 ^[4]

城市森林涵养水源、净化空气、固碳释氧等生态价值研究较多,方法较成熟。城市森林涵养水源的价值评估方法中,水量平衡法应用最为广泛,其参数易于获取,在山地森林中应用较多^[28,29,47],但研究区不宜过大;杜丽娟等用土壤蓄水估算法评估森林涵养水源的价值^[42],但此法仅用土壤的蓄水量来代表整个森林的蓄水量,导致评估结果偏小;综合蓄水能力法考虑全面、针对性强但需大量实测数据,康文星等人运用该方法评估了广州市城市森林不同林分类型的涵养水源价值^[43];由于城市森林水文过程的复杂性和模糊性,姜文来构建了森林涵养水源价值量估算的模糊数学模型^[50]。城市森林固碳释氧价值评估方面主要存在参数过于陈旧、针对性差等问题;城市森林净化环境的价值评估中,大气污染物吸收和滞尘价值大多学者均采用《中国生物多样性国情研究报告》中单位面积森林的吸收能力来评估,因其数据过于笼统易造成评估结果的不准确,应当发展针对性强的方法进行评估如叶干重法和阈值法等;杀菌和降噪价值由于其量化困难,常用总价值分离法评估,该法适用于城市工业区和居民生活区的森林,而对大面积森林评估结果的准确性降低。目前,关于城市森林提供负离子价值的评估还较少,大多研究集中于空气负离子质量的评价^[51]。

由于城市森林的经济价值和社会价值由于难以准确量化,其价值评估研究较少,缺乏统一的标准和方法。城市森林游憩价值国内外研究均较多,旅行费用法和条件价值法应用最为广泛,前者主要是针对森林游憩资源的利用价值,客观可靠;而后者既可评估其利用价值又可评估其非利用价值,但主观性较强;生物多样性价值评估虽研究较多,但还没有形成统一的方法,不同国家差异较大,我国学者张颖将森林生物多样性看作“黑箱”系统,构建了森林生物多样性的评价模型^[52];城市森林拉动产业发展尤其是房地产增值价值评估国外研究较多,多采用享乐价格法进行价值评估,如 Tyrvaenen 关于城市森林对芬兰的 Salo 和 Joensuu 房产价格影响的研究^[53,54],Morancho 运用享乐价格法比较了城市森林不同环境变量对房产价格的影响^[55];城市森林的社会价值评估研究较少,技术上难以实现,尚处于探索阶段。

基于以上各评估方法分别得到城市森林的生态价值、经济价值和社会价值后,城市森林生态服务综合价值即为 3 种价值货币量之和。然而,城市森林公益性强,具有明显的外部性,并多表现为间接价值,使其生态服务综合价值评估困难重重;同时各种生态服务功能之间具有交互作用,容易造成重复计算;对于各种生态服务功能的价值量直接相加的做法,学术界仍存在很大争议。另外,城市森林生态服务综合价值多偏向于应用性研究,大都借鉴森林生态服务价值评估方法,因此,应发展专门针对城市森林的评估方法,并逐步规范城市森林经济价值和社会价值研究。

另外,许多研究者建立了多种城市森林生态服务综合价值评估的数学模型,如多边形综合指数法^[56]、整体扩散模型^[46]、不相关模型^[57]、货币构造模型^[58]、能值分析方法^[59]、系统动力学模型^[60]等。

2.3 空间显式景观模型评估法

随着 3S 技术的发展,GIS 和遥感技术已成为现代城市森林研究不可或缺的重要手段。一系列基于 Arcview、ArcGIS 平台开发的空间显式景观模型(表 3),如 CITYgreen 模型、城市森林效应模型(UFORE)以及

表 3 城市森林生态服务价值评估的空间显式景观模型
Table 3 Spatially explicit landscapes models of urban forest ecological services valuation

模型 Models	发行人 Publisher	发行时间 Year	生态服务评估种类 Ecological services	模型特征 Model features
CITYgreen 模型 ^[61,62] CITYgreen Model	美国农业部林业署	1996 年发行,2002 年发行 5.0 版本	碳储存、水土保持、大气污染物清除、节能、提供野生动物生境	基于 Arcview3.2 开发,结合高分辨率图像,将生态效益转换为直观的经济价值
UFORE 模型 ^[63,64] UFORE Model	美国农业部林业署	1998 年发行,2008 年 i-tree 2.0 版本,2009 年 i-tree 3.0 版本发行	大气污染物净化、碳吸收、建筑物节能	基于 SAS 建立,主要评价城市森林的大气净化功能,需结合当地气象数据和大气污染物浓度数据
STRATUM 模型 ^[64] STRATUM Model	美国农业部林业署	2005 年发行,2008 年 i-tree 2.0 版本,2009 年 i-tree 3.0 版本发行	节能、大气质量改进、碳吸收、暴雨径流消减、房地产增值、美学价值	针对行道树,计算其环境和美学价值,并进行成本收益分析,为城市管理提供依据

行道树效益分析模型 (STRATUM) 等, 以其友好的界面、便捷的操作和强大的数据库等特点而广泛应用于城市森林生态服务价值评估、生态环境调查、城市生态规划与管理等方面。

目前, 城市森林生态服务价值的评估方面应用最广泛的当属 CITYgreen 模型, 美国林业署曾利用该模型对美国 200 多个城市的城市森林生态效益进行了评估, 并形成分析报告供当地居民和政府决策参考; 在我国, 中科院沈阳生态应用所何兴元、刘常富等人首先引进了 CITYgreen 模型, 并修正了模型中的相关参数, 以沈阳市为试点进行了城市森林生态效益的分析^[65,66], 开辟了 CITYgreen 模型在国内应用的先河; 此后, 在南京^[67]、深圳^[68]、通州^[69]、西安^[70]、杭州^[71]等城市得到应用, 主要用于评估城市森林的固碳价值、污染物净化价值和水土保持价值方面, 但由于各地城市森林的分类系统不统一, 其计算结果的可比性差。CITYgreen 模型基于样地清查数据, 与遥感影像结合, 多以区域分析方法为主, 适用于大面积城市森林生态服务价值的评估, 而且资料分析客观快捷; 但模型中考虑的影响因素有限, 往往用均值代替不同研究区参数, 导致精度不高, 计算结果可靠性有待进一步验证; 作为一个线性模型, 忽略了生态系统的复杂性也是其缺陷之一。

同为空间显式景观模型城市森林效应模型 (UFORE) 在国外也有较多应用, Atlanta, Boston, Calgary 等 20 多个城市利用 UFORE 模型进行了城市森林生态服务价值评估^[31,72,73]。WangJun 等人更是在 UFORE 模型的基础上建立了城市森林水文效益模型 (UFORE-Hydro), 并利用该模型对马里兰州巴尔的摩的 Dead Run 流域进行了生态效益评估^[74]。在国内, 北京、宁波、合肥等城市利用 UFORE 模型对城市森林在净化大气污染物方面的功能价值进行了计算^[75,76]。UFORE 模型既可测定整个群落的生态服务价值, 也可测定单株树木, 通过交叉验证可保证结果的准确性; 但是, 该模型需要每小时的实时野外观测数据, 所需数据量大、投入成本高。自 2003 年吴泽民首次在国内引入该模型以来, UFORE 模型在国内的应用还很少, 该模型要求的数据参数较难获得是主要原因; 另外, 货币价值的评估标准也源自美国, 与国内相比有一定的出入。

而行道树效益分析模型 STRATUM 则应用较少, 主要集中在如 New York, Albuquerque, Honolulu 和 Boise 等一些国外城市; 在国内, 仅陶晓等利用该模型评估了合肥市行道树截留雨水、吸收 CO₂、美学价值等的效益^[77]。模型的精度和可靠性有待于进一步验证。

另外, CITYgreen 模型和 UFORE 模型都无法对城市森林的经济效益和社会效益进行评估, 而 STRATUM 模型则对此有所涉及。

3 城市森林生态服务价值评估研究的展望

从 20 世纪 60 年代城市森林的概念首次被提出以来, 随着研究的深入, 其理论体系日趋完善。1997 年生态服务价值评估受到众多科学家关注后, 城市森林生态服务价值评估的研究也稳步开展。综观国内外有关城市森林生态服务价值评估的研究, 各国学者在研究内容和研究方法上均有不同侧重。在研究内容上, 国外研究在城市森林生态服务各个功能的分项效益研究和整体效益研究方面较为成熟, 并多利用成本效益分析为政府决策和城市规划提供依据; 此外, 国外还侧重于生态系统管理和城市森林负面效应的研究。而国内则更注重于绿色空间结构与功能、城市绿量与绿当量、评价指标体系、服务价值评估及国外模型的引进应用等方面^[11], 对其社会价值则较少关注。在研究方法上, 国外充分利用先进的计算机和 3S 技术, 侧重于计算机模型的开发和应用, 并且致力于城市森林生态服务中社会价值评估的研究, 多运用条件价值法来评估, 并在此基础上发展了货币化审议评估法 (DMV); 国内更多的是对城市森林的生态服务价值进行货币化计算, 用各种经济评估方法如市场价值法、替代价值法等来评估其生态效益, 对评估城市森林生态服务价值的空间显式模型研究较少, 缺乏自主研发的模型。

在总结前人研究的基础上, 我国城市森林生态服务价值评估的研究在以下方面还略显不足, 应给予重点关注:

(1) 应加强城市森林生态服务结构和过程的机理研究, 探明其对生态服务价值评估方法论构建的指导意义, 并在进行评估时注意各种评估方法的适用性。

(2) 统一城市森林生态服务功能的分类体系, 避免由于分类差异所导致的生态系统服务价值的重复计算

和漏算。建立完善、合理的城市森林生态服务功能评价指标体系,指导城市森林规划。

(3)在引入消化国外空间显式景观模型的基础上,根据我国城市森林的特殊性,修改关键参数,避免直接套用国外模型的现象,或者研建基于我国城市森林特点的生态服务价值评估模型。

(4)城市森林生态服务价值评估应与实际的城市森林规划、景观设计相结合,将城市森林生态服务价值评估的结果作为城市规划与景观设计的定量化标准,实现景观规划设计与生态学的融合,提高城市森林生态服务价值评估在城市规划中的实用性。

References:

- [1] McPherson E G, Simpson J R, Pepper P J, Xiao Q F. Benefit-cost analysis of Modesto's municipal urban forest. *Journal of Arboriculture*, 1999, 25 (5): 235—248.
- [2] Escobedo F J, Wagner J E, Nowak D J. Analyzing the cost effectiveness of Santiago, Chile's policy of using urban forests to improve air quality. *Journal of Environmental Management*, 2008, 86: 148—157.
- [3] McPherson E G, Simpson J R. A comparison of municipal forest benefits and costs in Modesto and Santa Monica, California, USA. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2002, 1: 61—74.
- [4] Yao X M, Kang W X. Urban forestry social service function and evaluation of the Guangzhou City. *Hunan Forestry Science and Technology*, 2007, 24(3): 1—5.
- [5] Liu C F, He X Y, Chen W, Zhao G L, Li L, Xu W D. Ecological benefit evaluation of urban forests in Shenyang City based on QuickBird image and CITYgreen model. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(9): 1865—1870.
- [6] Krutilla J V. Conservation reconsidered. *The American Economic Review*, 1967, 57: 777—786.
- [7] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R C, Sutton P, Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(15): 253—260.
- [8] Daily G C, Soderquist T, Aniyar S, Arrow K, Dasgupta P, Ehrlich P R, Folke C, Jansson A M, Jansson B O, Kautsky N, Simon L, Lubchenco J, Maler K G, Simpson D, Starrett D, Tileman D, Walker B. The value of nature and the nature of value. *Science*, 2000, 289: 395—396.
- [9] Howarth R, Farber S. Accounting for the value of ecosystem services. *Ecological Economics*, 2002, 41: 421—429.
- [10] Li S N, Wang B, Zhao G D, Cui X H, Bai X L. Advance in researches on forest ecosystem services — theory and method. *World Forestry Research*, 2004, 17(4): 14—18.
- [11] Li F, Wang R S. Research advance in ecosystem service of urban open space. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(3): 527—531.
- [12] Yin K, Zhao Q J, Cui S H, Lin T, Shi L Y. Progresses in urban forest and landscape pattern. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 389—398.
- [13] Xie G D, Lu C X, Cheng S K. Progress in evaluating the global ecosystem services. *Resources Science*, 2001, 23(6): 5—9.
- [14] Daily G C. *Nature's Services: Social Dependence on Natural Ecosystem*. Washington DC: Island Press, 1997. 1—10.
- [15] MEA. *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*. Washington DC: Island Press, 2005. 28—33.
- [16] Boyd J, Banzhaf S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 2007, 63: 616—626.
- [17] Ouyang Z Y, Wang R S, Zhao J Z. Ecosystem services and their economic valuation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(5): 635—640.
- [18] Faber S C, Constanza R, Wilson M A. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological Economics*, 2002, 41: 375—392.
- [19] Mitchell R C, Carson R T. *Using Survey to Value Public Goods; the Contingent Valuation Method*. Washington DC: Resource of the Future, 1989. 17—23.
- [20] Zhao J Z, Xiao H, Wu G. Comparison analysis on physical and value assessment methods for ecosystems service. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(2): 290—292.
- [21] Li W H, *et al.* *Theory, Methods and Application of the Value of Ecosystem Services*. Beijing: China People's University Press, 2008. 60—62.
- [22] Bernatzky A. The contribution of trees and green spaces to a town climate. *Energy and Buildings*, 1982, 5: 1—10.
- [23] Heisler G M. Energy savings with trees. *Journal of Arboriculture*, 1986, 12: 113—125.
- [24] Sanders R A. Urban vegetation impacts on the hydrology of Dayton, Ohio. *Urban Ecology*, 1986, 9: 361—376.
- [25] Mu L Q, An L. Research development of urban forest function and value evaluation. *Journal of Qiqihar University*, 2007, 23(5): 86—91.
- [26] McPherson E G. Accounting for benefits and costs of urban greenspace. *Landscape and Urban Planning*, 1992, 22: 41—51.

- [27] Tyrvainen L. Economic valuation of urban forest benefits in Finland. *Journal of Environmental Management*, 2001, 62: 75—92.
- [28] Xue D Y, Bao H S, Li W H. A valuation study of the indirect values of forest ecosystem in Changbaishan Mountain Biosphere Reserve of China. *China Environmental Science*, 1999, 19(3): 247—252.
- [29] Xiao H, Ouyang Z Y, Zhao J Z, Wang X K. Forest ecosystem services and their ecological valuation — A case study of tropical forest in Jianfengling of Hainan island. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(4): 481—484.
- [30] Hu Z B, He X Y, Li Y H, Sun Y, Ning Z H. Development and application of urban forest management information system(UFMIS) based on CITYgreen model. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(6): 181—185.
- [31] Currie B A, Bass B. Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. *Urban Ecosystems*, 2008, 11: 409—422.
- [32] Maco S E, McPherson E G. A practical approach to assessing structure, function and value of street tree populations in small communities. *Journal of Arboriculture*, 2003, 29(2): 84—97.
- [33] Nowak D J, Crane D E, Dwyer J F. Compensatory value of urban trees in the United States. *Journal of Arboriculture*, 2002, 28(4): 194—199.
- [34] Martin C W, Maggio R C, Appel D N. The contributory value of trees to residential property in the Austin, Texas metropolitan area. *Journal of Arboriculture*, 1989, 15(3): 72—75.
- [35] Gary W. A study of CTLA formula methods. *Journal of Arboriculture*, 2001, 27(6): 289—297.
- [36] McPherson E G. Benefit-based tree valuation. *Arboriculture & Urban Forestry*, 2007, 33(1): 1—11.
- [37] Helliwell D R. *Amenity Valuation of Trees and Woodlands*. Romsey: Arboricultural Association, 1990. 1—38.
- [38] Helliwell D R. Valuation of biodiversity in British woodlands. In: Burgess P J, Brierley E D R, Morris J, Evans J. eds. *Farm Woodlands for the Future*, Oxford: Bios Scientific Publications, 1999. 57—67.
- [39] Gary W. Comparing formula methods of tree appraisal. *Journal of Arboriculture*, 2002, 28(1): 11—18.
- [40] Flook R. A standard method for tree evaluation — STEM. *Journal of the Royal New Zealand Institute of Horticulture*, 1996, 3(1): 29.
- [41] Hu Y L, Qi R H, You W H, Da L J. Ecological service functional assessment on forest ecological system of Kunshan City. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2005, 29(3): 111—114.
- [42] Du L J, Liu C S, Wang D M. Account of forest resources value in soil and water loss region of Loess Plateau. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(1): 93—95.
- [43] Kang W X, Tian D L. Economic evaluation of the public benefits of the forests in Hunan I Benefits of timber production and water holding. *Journal of Central South Forestry University*, 2001, 21(9): 13—17.
- [44] LY/T 1721-2008. Specifications for assessment of forest ecosystem services in China. Beijing: Standards Press of China, 2008. 1—12.
- [45] Chen N L, Nie Y. Economic analyses of urban forest ecological value of Nanjing. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2007, 31(5): 129—133.
- [46] Lang K J. Research of ecological assessment of Chinese forest—The 4 forestry ecological engineerings as example. In: Hou Y Z. ed. *Accounting for the Environmental Value of Forest*. Beijing: China Science & Technology Press, 2002. 216—230.
- [47] Yu X X, Qin Y S, Chen L H, Liu S. The forest ecosystem services and their valuation of Beijing mountain areas. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(5): 783—786.
- [48] Yu X X, Lu S W, Jin F, Chen L H, Rao L Y, Lu G Q. The assessment of the forest ecosystem services evaluation in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 2096—2102.
- [49] Zhang Y. Review on the research on valuation of forest social benefits. *World Forestry Research*, 2004, 17(3): 6—11.
- [50] Jiang W L. Theory and method to accounting value of forest water conservative. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(2): 34—40.
- [51] Shi Q, Shu H F, Zhong L S, Wu C C. Research on evaluation of the aeroanion in forestry recreational areas. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(1): 36—40.
- [52] Zhang Y. Improvement on evaluation model of forest biodiversity. *Forestry Economics*, 2008, 12: 48—52.
- [53] Tyrvainen L. The amenity value of the urban forest: an application of the hedonic pricing method. *Landscape and Urban Planning*, 1997, 37: 211—222.
- [54] Tyrvainen L, Miettinen A. Property Prices and Urban Forest Amenities. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2000, 39: 205—223.
- [55] Moranco A B. A hedonic valuation of urban green areas. *Landscape and Urban Planning*, 2003, 66: 34—41.
- [56] Wang R S, Ren H Z, Ouyang Z Y. *China water vision*. Beijing: Meteorological Press, 2000. 79—82.
- [57] Sun J H, Lang K J. Design of apparently not related models with forest ecological benefits in broad sense. *Journal of Beijing Forestry University*, 2004, 26(3): 19—23.

- [58] Lang K J, Li C S, Yin Y, Lang P M, Wang W F, Liu P, Liu G. The measurement theory and method of 10 forest ecological benefits for forestry ecological engineering. *Journal of Northeast Forestry University*, 2000(1): 1—8.
- [59] Li Z Y, Zhang T. The progress of forest resources accounting of China. In: Hou Y Z. ed. *Accounting for the Environmental Value of Forest*. Beijing: China Science & Technology Press, 2002. 348—353.
- [60] Lu G Q, Gu J C, Zheng H, Bai S J, Zhang S C, Li Y J. Dynamic prediction of comprehensive ecological benefit of urban forest in Dalin City. *Journal of Agriculture University of Hebei*, 2006, 29(3): 53—57.
- [61] Zhan S, Yan W D, Tian D L. The application of CITYgreen software to the assessment of ecological benefits of urban forest. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2008, 28(2): 137—143.
- [62] American Forests. CITYgreen (Version 5.0) User Manual. Washington D C: American Forests, 2002.
- [63] Nowak D J, McHale P J, Ibarra M, Crane D, Stevens J C, Luley C J. Modeling the effects of urban vegetation on air pollution. In: Gryning S E. ed. *Air Pollution Modeling and Its Application XII*, New York: Plenum Press, 1998. 399—407.
- [64] USDA. i-Tree Software Suite v2.0 User's Manual. Kent, 2008. (www.itreetools.org)
- [65] Hu Z B, He X Y, Chen W, Ning Z H. Preliminary analysis of city green land quantity and its ecological benefits. In: He X Y, Ning Z H. eds. *Advances in Urban Forest Ecology*. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002. 208—214.
- [66] Zhu W Q, He X Y, Chen W, Xu W D, Ning Z H. GIS-based analysis on urban forest health and its ecological benefits. In: He X Y, Ning Z H. eds. *Advances in Urban Forest Ecology*. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002. 304—308.
- [67] Peng L H, Chen S, Liu Y X, Wang J. Application of Citygreen model in benefit assessment of Nanjing urban greenbelt in carbon fixation and runoff reduction. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(6): 1293—1298.
- [68] Chen L, Li P C, Li G C, Su D, Yuan X Z. Application of CITYGREEN in air purification, carbon fixation and oxygen release by greenbelt system of Shenzhen city. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 272—282.
- [69] Liu J H, Shao Y, Huang C D. Research on extracting urban forest and estimating its ecological value using remote sensing image. *Geography and Geo-Information Science*, 2007, 23(4): 33—36.
- [70] Lian J Y, Liu K, Wang J, Liang Y, Zhang J, Li X X. Quantification of benefits from storm-runoff reduction by urban forest—a case study of the second ring road of Xi'an city. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2008, 28(6): 28—31.
- [71] Zhang K, Zhang J Y, Chen Y X, Zhu Y M. Urban greenbelt eco-service value of Hangzhou City under effects of land use change: An evaluation with CITYgreen model. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(10): 1918—1922.
- [72] Escobedo F J, Wagner J E, Nowak D J, De la Maza C L, Rodriguez M. Analyzing the cost effectiveness of Santiago, Chile's policy of using urban forests to improve air quality. *Journal of Environmental Management*, 2008, 86: 148—157.
- [73] Nowak D J, Civerolo K L, Rao S T, Sistla G, Luley C J, Crane D E. A modeling study of the impact of urban trees on ozone. *Atmospheric Environment*, 2000, 34: 1601—1613.
- [74] Wang J, Endreny T A, Nowak D J. Mechanistic simulation of tree effects in an urban water balance model. *Journal of the American Water Resources Association*, 2008, 44(1): 75—85.
- [75] Yang J, McBride J, Zhou J X, Sun Z Y. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban Forestry and Urban Greening*. 2005(3): 65—78.
- [76] Wu Z M, McBride J, Nowak D J, Yang J. Effects of urban forest on air pollution in Hefei City. *Journal of Chinese Urban Forestry*, 2003(1): 39—43.
- [77] Tao X, Wu Z M, Hao Y P. Study on ecological benefits of street trees in Hefei city. *Chinese Agriculture Science Bulletin*, 2009, 25(3): 75—82.

参考文献:

- [4] 姚先铭, 康文星. 广州市城市森林社会服务功能价值及其评估. *湖南林业科技*, 2007, 24(3): 1~5.
- [5] 刘常富, 何兴元, 陈玮, 赵桂玲, 李玲, 徐文铎. 基于 QuickBird 和 CITYgreen 的沈阳城市森林效益评价. *应用生态学报*, 2008, 19(9): 1865~1870.
- [10] 李少宁, 王兵, 赵广东, 崔向慧, 白秀兰. 森林生态系统服务功能研究进展——理论与方法. *世界林业研究*, 2004, 17(4): 14~18.
- [11] 李锋, 王如松. 城市绿色空间生态服务功能研究进展. *应用生态学报*, 2004, 15(3): 527~531.
- [12] 尹锴, 赵千钧, 崔胜辉, 吝涛, 石龙宇. 城市森林景观格局与过程研究进展. *生态学报*, 2009, 29(1): 389~398.
- [13] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展. *资源科学*, 2001, 23(6): 5~9.
- [17] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价. *应用生态学报*, 1999, 10(5): 635~640.
- [20] 赵景柱, 肖寒, 吴钢. 生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较研究. *应用生态学报*, 2000, 11(2): 290~292.
- [21] 李文华, 等. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用. 北京: 中国人民大学出版社, 2008. 60~62.

- [25] 穆立嵩,安磊. 城市森林功能及其价值评估研究进展. 齐齐哈尔大学学报, 2007, 23(5): 86~91.
- [28] 薛达元,包浩生,李文华. 长白山自然保护区森林生态系统间接经济价值评估. 中国环境科学, 1999, 19(3): 247~252.
- [29] 肖寒,欧阳志云,赵景柱,王效科. 森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探——以海南岛尖峰岭热带森林为例. 应用生态学报, 2000, 11(4): 481~484.
- [30] 胡志斌,何兴元,李月辉,孙雨,宁祝华. 基于 CITYgreen 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.
- [41] 胡艳琳,戚仁海,由文辉,达良俊. 城市森林生态系统服务功能的评价. 南京林业大学学报(自然科学版), 2005, 29(3): 111~114.
- [42] 杜丽娟,柳长顺,王冬梅. 黄土高原水土流失区森林资源价值核算. 水土保持学报, 2004, 18(1): 93~95.
- [43] 康文星,田大伦. 湖南省森林公益效能的经济评价 I. 森林的木材生产效益和水源涵养效益. 中南林业学院学报, 2001, 21(9): 13~17.
- [44] LY/T 1721-2008. 森林生态系统服务功能评估规范. 北京: 中国标准出版社, 2008. 1~12.
- [45] 陈乃玲,聂影. 南京城市森林生态价值经济分析. 南京林业大学学报(自然科学版), 2007, 31(5): 129~133.
- [46] 郎奎建. 中国森林生态效益计量化评价研究——以 4 大林业生态工程为例. 见: 侯元兆主编. 森林环境价值核算. 北京: 中国科学技术出版社, 2002. 216~230.
- [47] 余新晓,秦永胜,陈丽华,刘松. 北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究. 生态学报, 2002, 22(5): 783~786.
- [48] 余新晓,鲁绍伟,靳芳,陈丽华,饶良懿,陆贵巧. 中国森林生态系统服务功能价值评估. 生态学报, 2005, 25(8): 2096~2102.
- [49] 张颖. 森林社会效益价值评价研究综述. 世界林业研究, 2004, 17(3): 6~11.
- [50] 姜文来. 森林涵养水源量的价值核算研究. 水土保持学报, 2003, 17(2): 34~40.
- [51] 石强,舒惠芳,钟林生,吴楚材. 森林游憩区空气负离子评价研究. 林业科学, 2004, 40(1): 36~40.
- [52] 张颖. 森林生物多样性评价模型的改进. 林业经济, 2008, 12: 48~52.
- [57] 孙继华,郎奎建. 广义森林生态效益似乎不相关模型的总体估计. 北京林业大学学报, 2004, 26(3): 19~23.
- [58] 郎奎建,李长胜,殷有,郎璞玫,王维芳,刘鹏,刘刚. 林业生态工程 10 种森林生态效益计量理论与方法. 东北林业大学学报, 2000(1): 1~8.
- [59] 李智勇,张涛. 中国森林资源核算研究的现状与进展. 见: 侯元兆主编. 森林环境价值核算. 北京: 中国科学技术出版社, 2002. 348~353.
- [60] 陆贵巧,谷建才,郑辉,白顺江,张锁成,李永杰. 大连城市森林综合生态效益动态预测研究. 河北农业大学学报, 2006, 29(3): 53~57.
- [61] 占珊,闫文德,田大伦. 基于 CITYgreen 模型的城市森林生态效益评估的应用. 中南林业科技大学学报, 2008, 28(2): 137~143.
- [65] 胡志斌,何兴元,陈玮,宁祝华. 城市绿量与生态效益初步分析. 见: 何兴元,宁祝华主编. 城市森林生态研究进展. 北京: 中国林业出版社, 2002. 208~214.
- [66] 朱文泉,何兴元,陈玮,许文铎,宁祝华. GIS 支持下的城市森林健康与生态效益分析. 见: 何兴元,宁祝华主编. 城市森林生态研究进展. 北京: 中国林业出版社, 2002. 304~308.
- [67] 彭立华,陈爽,刘云霞,王进. Citygreen 模型在南京城市绿地固碳和削减径流效益评估中的应用. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1293~1298.
- [68] 陈莉,李佩武,李贵才,苏笛,袁雪竹. 应用 CITYGREEN 模型评估深圳市绿地净化空气与固碳释氧效益. 生态学报, 2009, 29(1): 272~282.
- [69] 柳晶辉,邵芸,黄初冬. 基于遥感影像的城市森林分类提取及生态价值估算研究. 地理与地理信息科学, 2007, 23(4): 33~36.
- [70] 连军营,刘康,王俊,梁轶,张晶,李西祥. 城市森林减少的暴雨径流效益定量与分析——以西安市建成区二环内建成区为例. 水土保持通报, 2008, 28(6): 28~31.
- [71] 张侃,张建英,陈英旭,朱荫渭. 基于土地利用变化的杭州市绿地生态服务价值 CITYgreen 模型评价. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1918~1922.
- [76] 吴泽民, McBride J, Nowak D J, 杨军. 合肥城市森林减少大气污染的效果. 中国城市林业, 2003(1): 39~43.
- [77] 陶晓,吴泽民,郝焰平. 合肥市行道树生态效益研究. 中国农学通报, 2009, 25(3): 75~82.