

# 城市森林健康与监测评价研究进展\*

张志永<sup>1</sup> 叶兵<sup>2</sup> 杨军<sup>3</sup>

(1 教育部森林培育与保护重点实验室,北京林业大学林学院,北京 100083;

2 中国林业科学研究院林业科技信息研究所,北京 100091;

3 地球系统数值模拟教育部重点实验室,地球系统科学研究中心,清华大学,北京 100084)

**摘要:**城市森林作为城市生态系统的重要组成部分,具有重要的生态功能和社会功能。城市森林健康是保证其各项功能发挥的前提。城市森林的健康状况将直接影响城市的可持续发展。城市森林健康是一个综合概念,要求不仅满足自身生态系统的健康,还应满足人类社会的经济、文化等各方面的需求。文中分析了影响城市森林健康的因素,城市环境的特殊性和人类活动是影响城市森林健康的主要原因。介绍了我国城市森林健康监测评价指标的筛选和评价方法的选择,认为其还处于实验和摸索阶段,尚未形成一套成熟的体系。城市森林结构的破碎化等特征严重影响了城市森林的自我修复能力。为保证城市森林的健康生长,众多学者从宏观尺度和个体尺度上研究城市森林健康的维护措施。文中指出城市森林健康及其监测评价研究存在的不足之处,在总结前人研究成果的基础上提出几点建议。

**关键词:**城市森林,森林健康,影响因素,监测评价,维护

中图分类号:S731.2

文献标识码:A

文章编号:1001-4241(2013)05-0053-06

## A Review of Urban Forests Health and Its Monitoring Evaluation

Zhang Zhiyong<sup>1</sup> Ye Bing<sup>2</sup> Yang Jun<sup>3</sup>

(1 Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education; College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2 Research Institute of Forestry Policy and Information, Chinese Academy of Forestry, Beijing, 100091, China; 3 Ministry of Education Key Laboratory for Earth System Modeling, Center for Earth System Science, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** As a key component of urban ecosystem, urban forests are of important ecological and social functions, while urban forests health is the prerequisite of ensuring the fulfillment of these functions and thus can directly affect the sustainable development of human society. Urban forests health is a comprehensive concept, which requires not only satisfying its own ecosystem health, but also meeting various demands of human society in economic, cultural and other terms. However, there are a number of factors that can influence urban forest health, while the main factors include the particularity of urban environment and human activities. In addition, the monitoring evaluation index screening and the evaluation methods selection for urban forest health in China are still at an infancy stage, which have not yet formed a mature system. The structural fragment of urban forest as well as the other features has seriously influenced the self-healing capacity of urban forests. In order to ensure the healthy growth of urban forests, many scholars researched on the maintenance measures from the macro and individual dimensions. The paper gave some recommendations in view of the shortcomings spotted in the research on urban forests health, on the basis of summarizing the previous research achievements.

**Key words:** urban forest, forest health, influencing factor, monitoring evaluation, maintenance

\* 收稿日期:2013-06-17

基金项目:国家林业局公益性行业科研专项城市森林健康功能监测与评价(201104035)

作者简介:张志永(1986-),北京林业大学硕士研究生,研究方向为城市林业,E-mail:zzy100083@163.com

通信作者:杨军(1973-),博士,清华大学副教授,研究方向为城市生态,E-mail:larix001@gmail.com

随着城市化进程的加快,密集的人类活动使城市生态系统的稳定性遭到破坏,自净能力削弱<sup>[1]</sup>。城市生态容量不足、生态功能差、生态承载力低的问题日益突显。城市森林是陆地森林生态系统的重要组成部分,同时也是城市系统中具有负反馈调节功能的生态支持系统和城市健康持续发展的基础。城市森林的存在有利于维持城市生态系统的健康和稳定,作为城市可持续发展的基础和保障发挥着越来越重要的价值<sup>[2]</sup>。

城市森林的价值主要体现在生态、社会、美学以及文化等多个方面。城市森林的功能不仅包括净化空气、降低污染<sup>[3]</sup>、改善气候<sup>[4]</sup>、储备能源<sup>[5]</sup>等生态功能,还包括营造环境<sup>[6]</sup>、调节色彩以及文化服务<sup>[7]</sup>等社会功能。

城市森林健康是保证其各项功能发挥的前提。城市森林只有处于健康稳定的状况下才可以提供城市发展所需的各种功能。因此,城市森林健康状况将直接影响城市的可持续发展。

## 1 城市森林健康的概念

森林健康问题最早在美国和欧洲提出。城市森林作为一种特殊的森林形式,目前对其健康的研究还处于起步阶段。城市森林健康尚没有一个明确的概念,但许多学者从不同的角度进行了概括。

依据城市生态学理论,城市生态系统是各种因素的综合体,包括经济发展、社会进步、环境质量以及人类健康等<sup>[8]</sup>,因此城市森林健康也必将是一个综合概念。Clark 等将健康城市森林的状态描述为“持续地为居民提供经济、社会、环境和生态等效益”,应当具备“健康的树木和森林资源、广泛的社会支持和全面的管理规划”3 个方面的内容<sup>[9]</sup>。康博文认为,城市森林健康是城市自然生态系统与城市社会系统和经济系统耦合的结果与体现,其状态不仅包括自然生态系统的稳定,而且还包括经济系统健康和人文社会表现的和谐<sup>[10]</sup>。部分学者从功利概念的角度出发,提出如果城市森林可以满足预期的经济收益或者是其他经营管理目标,则被认为是健康的,反之则是不健康的。还有学者提出,其实并不存在城市森林健康的概念,生态系统本身不存在健康与否的问题。现在之所以提出城市森林健康的概念是因为城市森林只有处于良好状态下,才能为人类提供各种服务功能。

因此,可以说城市森林健康的概念是对一个过程

的描述,它要求城市森林不仅在时间上具有维持其组织结构、自我调节和应对胁迫的恢复能力,满足自身生态系统的健康,还应满足人类社会的经济、文化等各方面的需求。同时,城市森林健康的概念应该注重对城市森林未来发展方向的预测。

## 2 城市森林健康的影响因素

人类活动改变了地球的地表形态,将自然生态系统改造成了城市和农业用地<sup>[11]</sup>。这种人工化的过程使得城市生态系统的结构、过程和功能发生了不可逆转的变化,将直接影响到城市森林的健康状况。城市环境的特殊性和人类活动是影响城市森林健康的主要原因,主要包括非生物因素、生物因素以及人为因素等。

### 2.1 非生物因素

非生物因素主要包括气候变化、空气污染和土壤理化性质异常等。

#### 2.1.1 气候变化

气候变化增加了极端恶劣天气的危害程度,在城市环境中表现尤为明显。全球变暖、温室效应、城市热岛等对树木健康产生了不同程度的影响。Dukes 等依据最基本的生态法则,研究了美国东北部地区和加拿大东部地区温度在上升 3~5℃ 的前提下温度变化对树木的影响程度<sup>[11]</sup>。Roos 研究得出,随着气候变暖,树木病虫害的发病率存在上升趋势<sup>[12]</sup>。已有研究表明,气候变化还将加重空气污染对城市森林的影响<sup>[13]</sup>。

#### 2.1.2 空气污染

在过去 20 年间,对空气污染影响的研究重点已从树木单体的死亡转移到城市森林健康的整体损伤。城市环境中空气污染物含量高,汽车尾气和工业废气是空气污染物的主要来源。Honour 通过实例研究了空气污染物对植物物候期以及植物开花、衰老等其他生理过程的影响<sup>[14]</sup>。

#### 2.1.3 土壤理化性质异常

城市中不透水地面的增加改变了原有土壤的理化性质。城市中土壤的温度、碳储量等特性都与自然条件下的土壤表现出一定的差异。Savva 对巴尔的摩市区和周边乡村土壤温度的监测证实了城市中土壤的年平均温度大于乡村<sup>[15]</sup>。Pouyat 对城市用地和非城市用地土壤中碳含量以及碳流动性进行研究,也

展现了两者之间的差异性<sup>[16]</sup>。而这种差异往往是导致树木栽植成活率低、树势衰老等城市森林健康问题的关键。

## 2.2 生物因素

生物因素主要包括微生物、病虫害和入侵生物等。

### 2.2.1 微生物

微生物对城市森林健康的影响主要体现在种类和数量的改变破坏了原有的生态平衡体系,直接威胁到城市森林的健康。Di 等通过对马赛及周边地区自然环境中微生物数量的监测发现,与城市周边环境相比,城市空气中的有害微生物较高<sup>[17]</sup>。Shaffer 在城市和乡村中分别监测了以空气传播的微生物数量和类型,也得出城市有害微生物数量多而且类型变化大<sup>[18]</sup>。

### 2.2.2 病虫害

城市森林中病虫害的蔓延将导致树木的死亡、树冠稀疏、顶梢枯死、生长减慢、提前落叶、繁殖率降低等危害现象的发生,影响城市森林的健康状况<sup>[19]</sup>。在数个北地中海国家,由甘薯长喙壳菌引起的溃疡变色导致了树木的大量死亡<sup>[20]</sup>。在北美城市森林中,荷兰榆树病是一个重要的影响因素<sup>[21]</sup>。而且在气候变化以及环境因素的影响下,某些害虫和病原体的适应能力增强,危害程度加重。

### 2.2.3 入侵生物

Vitousek 在 1996 年就曾指出,随着全球环境的改变以及全球的人类活动,生物入侵已无处不在<sup>[22]</sup>。城市森林作为受人类干扰严重的生态系统,抵抗入侵的能力减弱。入侵物种的繁衍蔓延对其他物种的生存造成了威胁,破坏城市森林系统的稳定。González - Moreno 研究得出,受到人类干扰和改变后的人工环境特别容易遭受生物入侵,尤其是在边缘地带。在城市森林中,靠近道路的临近度与入侵物种的丰富度呈正相关<sup>[23]</sup>。

## 2.3 人为因素

人为因素是指人类活动的影响。人类活动不断地改变着城市环境的类型,这其中许多转换过程都造成了空气和土壤温度的改变,干扰了正常的碳氮循环,影响到城市森林的健康。但是,人类在改造过程中并没有注意到这其中的变化而采取相应的补偿措施。Jactel 运用多重风险分析研究了不同强度人类干扰对不同森林类型的影响,得出城市森林健康受到影

响的风险最大<sup>[24]</sup>。

总体来说,针对城市森林健康影响因素各方面的研究多集中在影响因素对树木单体健康的影响,或者是影响因素所产生的结果对城市森林健康的影响。而从城市森林健康的整体尺度进行各个影响因素的考量在以往研究中考虑得不多,应受到重视。

## 3 城市森林健康监测评价技术

国外关于城市森林健康监测评价的研究比较早,在最近 20 年间呈上升趋势,已经形成了较为完善的监测评价体系。国内对城市森林健康的研究报道也在不断增加,多集中在对城市森林健康的概念探讨、现状分析等方面,而对监测评价指标的筛选和评价方法的选择还处于实验和摸索阶段,尚未形成一套成熟的体系。

### 3.1 城市森林健康的监测评价指标体系

选择合理的指标是建立城市森林监测评价指标体系的前提,直接关系到评价的科学性和准确性。指标体系必须能够完整地囊括影响城市森林生态系统健康的各种因素。近年来,国内外许多研究者从不同角度开展了城市森林健康监测评价体系的研究工作。王丹丹从结构指标、功能指标、景观指标和效益指标 4 个方面出发,共选取 19 个指标,构建了厦门城市森林健康评价指标体系,并对厦门市城市森林健康状况作出评价<sup>[25]</sup>。康博文运用生态系统健康理论,选取系统功能指标、系统结构指标、生境资源利用指标和系统经济状况指标建立了延安市城市森林健康评价指标体系<sup>[10]</sup>。王兵等从生产力指标、结构指标、干扰指标和服务功能 4 个方面构建了江西省广丰县森林生态系统健康评价指标体系,并依此评价了广丰县森林的健康状况<sup>[26]</sup>。在国外,以美国为代表,城市森林健康监测评价体系是由样方指标、树木指标、冠层指标和伤害指标组成,并已在多座城市开展了应用性研究。许多学者在此基础上对该体系进行了深入补充研究。Dobbs 研究指出,覆盖率、土壤 pH 值、土壤有机质等指标可以作为城市森林生态功能指标的子指标项<sup>[27]</sup>。Brouwers 从景观角度对城市森林的健康状况进行评价,同时验证了树冠的完整度可以作为城市森林健康评价的指标<sup>[28]</sup>。Escobedo 提出,将规模、环境、异质性、管理强度以及其他社会经济的协同效益、利益相关者的投入和城市发展目标等因素作为城市

森林健康评价的指标<sup>[29]</sup>。

由上述研究成果可以发现,我国城市森林健康监测评价指标体系注重对宏观性指标的描述,而国外则注重对具体指标的研究。这种现状可能是由城市森林健康监测评价发展阶段和研究现状所决定的。

我国城市森林健康监测评价指标体系存在的主要问题是缺乏长期完善的监测体系。城市森林健康是一个动态过程,由于其自身的不断变化,仅靠短时间的监测或者调查无法对其健康状况做出准确判断。而过去对自然森林健康监测评价研究的经验表明,以监测评价体系设置的长期监测对做出准确判断具有至关重要的作用。

因此,城市森林健康监测评价体系的建立应借鉴自然森林健康监测评价体系中适用于城市森林健康监测评价的因子,然后结合城市森林的特点,依据干扰城市森林健康的影响因子建立城市森林健康监测评价体系。同时,注重遥感、地理信息系统等宏观技术手段与地面监测配合应用,有助于提高城市森林健康监测评价的水平与深度。

### 3.2 城市森林健康的评价方法

目前国内关于城市森林健康评价的方法主要有综合评判法和生物指示法。综合评价法是将多个评价指标用某一个(类)统计方法构造一个综合性指标,指标分为几大项,然后确立大项权重;各大项中又分为若干个小项,也确立其权重<sup>[30]</sup>。王丹丹在厦门市<sup>[25]</sup>、康博文在延安市<sup>[10]</sup>、阮俊峰在宁德市<sup>[31]</sup>、杨任在株洲市<sup>[32]</sup>等对城市森林健康评价的研究都是采用该方法。综合评判法是目前应用最为广泛的一种方法,其优点在于评价指标的选择较为全面细致,能够较直观地反映城市森林的健康状况。但是相应地存在采集指标过多、工作量大等实际问题。生物指示法主要是依据生态系统中的特有物种、指示物种、濒危物种等的数量、生物量、生产力、结构指标、功能指标及其一些生理生态指标来描述系统的健康状况<sup>[33]</sup>。陆庆轩在应用生物指示法和综合评价法分别对沈阳市城市森林的健康状况进行评价研究的基础上得出,生物指示法更适合沈阳市植被组成特点,能够在一定程度上反映沈阳城市森林健康状况<sup>[34]</sup>。生物指示法虽然具有快捷高效、经济实用等特点,但当外界干扰没有达到阈值时,这种方法则不敏感<sup>[35]</sup>。一般认为,该方法更适用于天然林的健康评价。此

外,模糊综合评价法<sup>[36]</sup>和“压力—状态—响应”框架模型<sup>[37]</sup>等在我国也有应用。

目前,国内在进行城市森林健康评价时实际应用的方法并不多,尚处于发展阶段,有待于新的评价方法的创新与尝试。在对城市森林健康的评价方法进行研究时,可以借鉴自然森林健康评价的成熟方法与经验。目前,健康距离法(HD)<sup>[38]</sup>、BP神经网络模型<sup>[39]</sup>、复合结构功能指标法<sup>[40]</sup>等方法应用于自然森林健康评价时,都已比较成熟,可以根据城市森林的现状,借鉴使用上述方法。

## 4 城市森林健康的维护措施

城市森林的斑块破碎化严重,缺乏自然生态系统的稳定性,自身抵抗能力下降。从生态群落演替的观点看,人为的正确干预可以加速群落过渡与稳定的过程<sup>[41]</sup>。研究者从宏观和个体尺度上研究了城市森林健康的维护措施。

宏观尺度上的维护是指针对整个城市森林所实行的政策、项目等措施。城市森林的发展需要一个长期的着眼于整个城市发展的规划,并纳入城市整体规划体系中,这是保证城市森林健康的前提。完善城市森林健康基础数据和信息的建设工作,并与林业中的经营标准与指标体系相结合,同时与国际检疫对象接轨,加强新栽苗木的检疫工作,防范外来有害生物入侵。Wolf还提出了城市森林的健康维护需要有专业技术、维护人员以及第三方的管理者,并且需要有地方或者国家提供的资金支持<sup>[42]</sup>。McLain提出注意对城郊森林中务农实践区、采摘园等区域健康的维护,为城市居民提供管理公共自然资源和深入接触自然的机会<sup>[43]</sup>。应用公众教育项目讲述健康、有产出的城市森林效益,加强城市居民和城市树木之间的联系,提高公众维护的主动性<sup>[2]</sup>。

个体尺度上的维护是指针对树木单株的修剪、水肥管理等日常养护措施。注意专业养护人员的培训,做好病虫害监测,采用IPM措施降低杀虫剂的使用,及时补植病虫、死亡树木<sup>[44]</sup>。通过人工修剪合理控制密度,解决复层结构群落中存在的空间竞争问题。在种植池、绿地中覆盖小碎木片,为土壤提供保护。经过处理的无病虫枯枝可以为植物提供营养。还应注意与其他市政设施部门的协调,避免树木的生长与电线、路灯及其他设施产生冲突<sup>[45]</sup>。

## 5 研究展望

城市森林健康研究在我国属于新兴领域,在沈阳、株洲、延安、上海、厦门等多地开展的实地研究工作取得了丰富的研究成果,但也存在着部分局限性。这些都为城市森林健康研究的发展与创新提供了宝贵的经验。总结前人的研究成果,提出以下几点建议:1)明确城市森林健康的概念,丰富城市森林健康的理论基础,重视城市森林健康对城市森林建设和城市生态系统的基础性作用。2)在关注城市森林生态功能的同时,重视城市森林的社会和经济属性,完善城市森林健康监测评价体系。3)借鉴其他学科先进的研究手段,促进与相关环境监测项目的密切结合,提高城市森林监测评价的水平和完整性。4)功能定位不同的城市需要应用不同的评价方法。如何根据不同城市森林的具体情况分别给出不同的评价方法也是一个非常重要的研究方向。5)在城市森林健康的日常维护过程中,应注重树木的生理特性,考虑城市小气候对其综合影响。

### 参 考 文 献

- [1] Takano T, Nakamura K. An analysis of health levels and various indicators of urban environments for Healthy Cities Projects[J]. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 2001, 55(4): 263–270.
- [2] Dwyer J F, McPherson E G, Schroeder H W, et al. Assessing the benefits and costs of the urban forest[J]. *Journal of Arboriculture*, 1992, 18(5): 227–234.
- [3] Yang J, McBride J, Zhou J X, et al. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2005, 3(2): 65–78.
- [4] Hall J M, Handley J F, Ennos A R. The potential of tree planting to climate-proof high density residential areas in Manchester, UK[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 104(3): 410–417.
- [5] McPherson E G, Nowak D J, Rowntree R A. Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project[M]. Radnor, PA: Northeastern Forest Experiment Station, USDA Forest Service, 1994.
- [6] Cumming A B, Twardus D B, Nowak D J. Urban forest health monitoring: large scale assessments in the United States[J]. *Arboriculture and Urban Forestry*, 2008, 34(6): 341–346.
- [7] Liisa T, Pauleit S, Seeland K, et al. Urban forests and trees [M]// Konijnendijk C C, Nilsson K, Randrup T, et al. Benefits and uses of urban forests and trees. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2005: 81–114.
- [8] Su M R, Yang Z F, Chen B, et al. Urban ecosystem health assessment and its application in management: a multi-scale perspective [J]. *Entropy*, 2012, 15(1): 1–9.
- [9] Clark J R, Matheny N P, Cross G, et al. A model of urban forest sustainability[J]. *Journal of Arboriculture*, 1997, 23(1): 17–30.
- [10] 康博文, 刘建军, 侯琳, 等. 延安市城市森林健康评价[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2006, 34(10): 81–86.
- [11] Dukes J S, Pontius J, Orwig D, et al. Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America; what can we predict? [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2009, 39(2): 231–248.
- [12] Roos J, Hopkins R, Kvarnheden A, et al. The impact of global warming on plant diseases and insect vectors in Sweden[J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2011, 129(1): 9–19.
- [13] Paoletti E, Schaub M, Matyssek R, et al. Advances of air pollution science: from forest decline to multiple-stress effects on forest ecosystem services [J]. *Environmental Pollution*, 2010, 158(6): 1986–1989.
- [14] Honour S L, Bell J N B, Ashenden T W, et al. Responses of herbaceous plants to urban air pollution: effects on growth, phenology and leaf surface characteristics [J]. *Environmental Pollution*, 2009, 157(4): 1279–1286.
- [15] Savva Y, Szlavecz K, Pouyat R V, et al. Effects of land use and vegetation cover on soil temperature in an urban ecosystem[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2010, 74(2): 469–480.
- [16] Pouyat R, Groffman P, Yesilonis I, et al. Soil carbon pools and fluxes in urban ecosystems [J]. *Environmental Pollution*, 2002, 116(1): S107–S118.
- [17] Giorgio C D, Krempff A, Guiraud H, et al. Atmospheric pollution by airborne microorganisms in the city of Marseilles [J]. *Atmospheric Environment*, 1996, 30(1): 155–160.
- [18] Shaffer B T, Lighthart B. Survey of culturable airborne bacteria at four diverse locations in Oregon: urban, rural, forest, and coastal [J]. *Microbial Ecology*, 1997, 34(3): 167–177.
- [19] Aukema J E, McCullough D G, Holle B V, et al. Historical accumulation of nonindigenous forest pests in the continental United States [J]. *Bioscience*, 2010, 60(11): 886–897.
- [20] Anselmi N, Cardin L, Nicolotti G. Pine decline in European and Mediterranean countries: associated pests and their interactions [J]. *EPP0 Bulletin*, 1994, 24(1): 159–171.
- [21] Bauer Tatia, Zach Clark, Mira Fishman, et al. Planning for the future: assessing potential impacts and management options for invasive forest pests at the Offield Nature Preserve [R]. University of Michigan Biological Station Instructor, 2012.
- [22] Vitousek P M, D'Antonio C M, Loope L L, et al. Biological invasion as global environmental change [J]. *American Scientist*, 1996, 84(5): 468–478.
- [23] González-Moreno P, Pino J, Gassó N, et al. Landscape context modulates alien plant invasion in Mediterranean forest edges [J]. *Biological Invasions*, 2013, 15(3): 547–557.
- [24] Jactel H, Branco M, Duncker P, et al. A multicriteria risk analysis

- to evaluate impacts of forest management alternatives on forest health in Europe[J]. *Ecology and Society*,2012,17(4):52.
- [25]王丹丹. 厦门城市森林生态系统健康评价与调控技术研究[D]. 福州:福建农林大学,2010.
- [26]王兵,鲁少波,白秀兰,等. 江西省广丰县森林生态系统健康状况研究[J]. *江西农业大学学报*,2011,33(3):521-528.
- [27]Dobbs C, Escobedo F J, Zipperer W C. A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators[J]. *Landscape and Urban Planning*,2011,99(3):196-206.
- [28]Brouwers N, Matusick G, Ruthrof K, et al. Landscape - scale assessment of tree crown dieback following extreme drought and heat in a Mediterranean eucalypt forest ecosystem[J]. *Landscape Ecology*, 2013,28(1):69-80.
- [29]Escobedo F J, Kroeger T, Wagner J E. Urban forests and pollution mitigation: analyzing ecosystem services and disservices[J]. *Environmental Pollution*,2011,159(8):2078-2087.
- [30]王懿祥,陆元昌,张守攻,等. 森林生态系统健康评价现状及展望[J]. *林业科学*,2010,45(2):134-140.
- [31]阮俊峰. 宁德城市森林生态功能与健康评价[D]. 福州:福建农林大学,2012.
- [32]杨任. 株洲市城市森林生态系统景观健康监测与评价研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2007.
- [33]孔红梅,赵景柱,姬兰柱,等. 生态系统健康评价方法初探[J]. *应用生态学报*,2002,13(4):486-490.
- [34]陆庆轩,何兴元,魏玉良,等. 沈阳城市森林生态系统健康评价研究[J]. *沈阳农业大学学报*,2005,36(5):580-584.
- [35]孟伟. 城郊森林生态系统健康评价:以济南市南部山区为例[D]. 济南:山东师范大学,2009.
- [36]谭三清,张贵. 基于模糊综合评判法的城市森林健康评价:以湖南省株洲市为例[J]. *湖南农业大学学报:自然科学版*,2010,36(4):474-477.
- [37]刘昕,孙铭,朱俊,等. 上海城市森林评价指标体系[J]. *复旦学报:自然科学版*,2004,43(6):988-994.
- [38]代力民,陈高,邓红兵,等. 受干扰长白山阔叶红松林林分结构组成特征及健康距离评估[J]. *应用生态学报*,2004,15(10):1750-1754.
- [39]甘敬,朱建刚,张国祯,等. 基于BP神经网络确立森林健康快速评价指标[J]. *林业科学*,2007,43(12):1-7.
- [40]李金良,郑小贤. 北京地区水源涵养林健康评价指标体系的探讨[J]. *林业资源管理*,2004(1):31-34.
- [41]徐永荣. 城市园林植物配置中的生态学原则[J]. *广东园林*,1997(4):8-11.
- [42]Wolf K L, Kruger L E. Urban forestry research needs: a participatory assessment process[J]. *Journal of Forestry*,2010,108(1):39-44.
- [43]McLain R, Poe M, Hurley P T, et al. Producing edible landscapes in Seattle's urban forest[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*,2012,11(2):187-194.
- [44]Alumai A, Grunkemeyer M, Kovach J, et al. Implementing integrated pest management in professional lawn care: a case study[J]. *Urban Ecosystems*,2012,13(1):37-49.
- [45]柴思宇,刘燕. 国外城市树种选择指导及其借鉴[J]. *中国园林*,2011(9):82-85.