

南京市老城区法桐行道树健康状况研究

陈文静^{1,2}, 圣倩倩^{1,2*}, 张慧会^{1,2}, 祝遵凌^{1,2,3}

(1. 南京林业大学 风景园林学院, 江苏 南京 210037; 2. 南京林业大学 南方现代林业协同创新中心, 江苏 南京 210037;
3. 南京林业大学 艺术设计学院, 江苏 南京 210037)

摘要:通过研究南京市老城区内法桐行道树的健康状况,提出行道树健康生长的影响因素,为行道树的养护管理提供参考。对南京市老城区内 10 条主要道路进行基础调查,在因子分析法建立健康评价综合模型的基础上,采用单因素方差分析法和多重比较法分析不同道路间健康综合评分和健康评价指标的差异。结果表明,各道路法桐行道树生长结构良好,整体健康综合评分为 0.00,中等健康等级(26.2%)占比最大,其次为健康等级,占比 21.5%,濒死等级占比 20.6%,亚健康等级占比 19.7%,不健康行道树占比 12.0%,整体健康状况中等水平。不同道路法桐行道树间的健康综合评分与评价指标均具有显著差异($P < 0.05$),健康状况具体表现为:北京西路>江东中路>中山路>中央路>中山东路>升州路>广州路>汉中路>虎踞北路>珠江路。行道树长势、损伤情况等是影响其健康状况的重要因素,行道树所面临的主要问题集中在地表铺装与土壤硬化、病虫害、夜间光照以及修剪技术等方面,同时断枝倒伏等情况的发生也构成了对城市空间的安全隐患。适用于行道树的评价方法为因子分析法结合完整的评价指标体系,包含树体生长、树池及铺装类型、病虫害危害情况、气体及光污染、周边建筑与设施距离等多方面相关指标,能够全面掌握其健康状况。

关键词:法桐;行道树;道路绿化;健康等级;评价指标

中图分类号:S731.2

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2023)03-0251-08

Structure and Health Status of *Platanus acerifolia* Street Trees in Old District of Nanjing

CHEN Wen-jing^{1,2}, SHENG Qian-qian^{1,2*}, ZHANG Hui-hui^{1,2}, ZHU Zun-ling^{1,2,3}

(1. College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China;

2. Co-innovation Center for the Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China;

3. College of Art and Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: The influencing factors of health growth of street trees were proposed by studying the health status of *Platanus acerifolia* street trees in the old urban area of Nanjing, so as to provide reference for the maintenance and management of street trees. Based on the basic investigation of 10 main roads in the old urban area of Nanjing, the comprehensive health evaluation model was established by factor analysis method, and the difference of comprehensive health score and health evaluation index between different roads were analyzed by single factor analysis of variance and multiple comparison method. The results showed that the growth structure of *P. acerifolia* street trees was good. The overall health comprehensive score was 0.00, the medium healthy level (26.2%) accounted for the largest proportion, followed by healthy lev-

收稿日期:2022-04-28 修回日期:2022-06-14

基金项目:江苏省社会科学基金项目研究成果(21GLC002),教育部人文社会科学研究项目(21YJCZH131),国家自然科学基金青年科学基金项目(32101582),江苏省自然科学基金项目(BK20210613),江苏省高等学校自然科学研究面上项目(21KJB220008)。

第一作者:陈文静。研究方向:园林植物绿化。E-mail:cwj0225@163.com

* 通信作者:圣倩倩,博士,副教授。研究方向:园林植物生态功能与应用。E-mail:qqq@njfu.edu.cn

el (21.5%), the proportion of dying level was 20.6%, sub-healthy level was 19.7%, unhealthy street trees accounted for 12.0%, and the overall health status was medium. There were significant differences in the comprehensive health scores and evaluation indexes among the trees on different roads ($P < 0.05$), the specific performance of health status was in the order of Beijing West Road > Jiangdong Middle Road > Zhongshan Road > Central Road > Zhongshan East Road > Shengzhou Road > Guangzhou Road > Hanzhong Road > Huju North Road > Zhujiang Road. Growth and damage of street trees were important factors affecting their health status. The main problems faced by street trees were focused in surface pavement and soil hardening, pests and diseases, night lighting and pruning technology. The occurrence of broken branches and lodging also constituted a potential safety hazard to urban space. The evaluation method suitable for street trees is factor analysis combined with a complete evaluation index system, including tree growth, tree pool and pavement type, pest and disease damage, gas and light pollution, and the distance between surrounding buildings and facilities, from which the health status can be fully understood.

Key words: *Platanus acerifolia*; street tree; road greening; health grade; evaluation indicator

城市园林绿化在城市建设中是非常重要的环节,其中道路绿化是关键的组成部分之一,而行道树作为构成道路绿化的骨干树种,在美化城市和改善生态环境中发挥着不可替代的作用。行道树的健康状况与道路景观构成存在紧密联系,不健康的行道树不仅影响道路景观和生态功能的发挥,而且有可能威胁行人的人身安全。行道树的生长环境较为复杂恶劣,容易受到极端天气的影响,出现病虫害、真菌、断枝倒伏等情况。所以,准确地评估行道树的健康状况,提出正确的预防和应对措施,保障行道树的健康生长和生态功能的正常发挥尤为重要。

“树木健康”描述的是树木良好的生长状态,反映出树木的生长状况^[1]。树木健康评价是指通过调查与诊断等方法对树木的生长势、病虫害等情况进行评价,及时并准确地评估树木健康,对园林养护、预防及救助工作的及时开展具有积极意义^[2]。树木不健康的症状一般会表现在树冠、树干及根部区域,所以在树木评价研究中常选择枝叶长势、树干状况、根部情况等相关指标等进行调查研究^[3],目前应用于树木健康状况评估的方法主要有层次分析法^[4]、加权主成分分析法以及因子分析法^[5]等,其中层次分析法十分常见,但由于其指标选择时主观性的成分较多,后期分析时权重值难以确定、数据统计工作量且人工评分的主观性不可忽视等问题,易导致结果的可信度不高^[6],近年来多采用因子分析法和主成分分析法。朱宇等^[7]采用主成分分析法建立落叶单木健康评价及预测模型,将林木分为健康、亚健康、不健康 3 个类别;黄帅帅等^[3]采用因子分析和主成分分析法构建居住区林木健康模型后比较了不同类型居住区林木健康差异;梁陈涛等^[8]通过街景测量法和视觉评估法分析了行道树结构特征和健康状况;朱玮珍^[9]采用确立指标权重的方法进行福建

省古树名木的健康诊断,对代表性的指标进行筛选,进而从整体上评价树木健康;Stravinskien 等^[10]则对树木的健康指标进行了评估,从树冠落叶、树叶变色、枯枝数量等角度评价树木健康状况。

法桐是南京市最具有代表性的行道树树种之一,对于南京市民有着特别的情感记忆,在经济、历史、文化、社会和生态等多方面都体现其重要价值。南京法桐中占绝大多数的种类为二球悬铃木(*Platanus acerifolia*),目前我国常见栽培的有 3 种悬铃木,即一球悬铃木(*P. occidentalis*)、三球悬铃木(*P. orientalis*)、二球悬铃木(*P. acerifolia*),根据产地又可将其分别称为美国梧桐、法国梧桐和英国梧桐^[11],通常将以上 3 种悬铃木统称为“法桐”^[12]。法桐为落叶大乔木,树皮有薄片脱落,呈斑块状,叶大掌状,具有很强的观赏特性^[13]。树型高大、冠大荫浓、生长迅速、耐修剪、易繁殖、适应环境的能力强,能净化空气、抗污染气体,具有十分优良的生态效益和观赏效益,是优良的行道树树种之一^[14-15]。根据调查,南京市老城区中的法桐行道树出现倒伏、断枝、病虫害严重等情况不在少数,对其进行健康状况的评价继而提出管护措施具有重大意义。

从目前的树木评价研究来看,研究对象主要集中在林木和古树名木且一般基于多个树种,针对城市行道树的健康评价报道较少;城市行道树所面临的问题及对人类的影响相关研究稍有不足。基于此,本研究以南京市老城区主要道路的法桐行道树为对象,基于法桐行道树生长信息的实地调查,对其健康状况建立评价体系,并分析不同道路的行道树健康差异,旨在了解法桐行道树的健康状态,分析法桐行道树面临的问题,提出针对性的管护建议及适用于法桐行道树的评价方法,为法桐行道树有机更新提供科学依据。

1 研究区概况

南京市位于江苏省西南部(31°14′—32°37′N, 118°22′—119°14′E),地处长江下游中心,平均海拔 20—30 m,最高地理海拔 448 m,属亚热带季风气候;四季分明,气候环境温和,自然条件优越,山丘、河湖兼备;冬季天气晴朗、寒冷干燥,夏季天气炎热、雨水充沛;年平均降水量 1 200 mm 左右,年平均温度 15.4 ℃,十分适合落叶阔叶树种的生长^[16]。

2 研究方法

2.1 道路选择

掌握树木的健康状况是进行城市行道树管理养护的首要前提,因此进行基础的健康指标调查及分析是十分必要的。以南京市老城区即玄武区、鼓楼区、秦淮区的法桐道路为调查对象,按照道路的分区与走向以及道路的历史情况共选择 10 条主要道路进行调查(图 1)。

2.2 抽样调查

法桐行道树实地调研选择于 2020 年 7—8 月采用抽样调查法进行,在选择道路两侧每隔一定数量选择一株样树,调查时,对每株样树记录树高、胸径、冠幅等定量指标;定性指标如枝叶茂密程度、异常叶比例、枯枝状况等参考余韵^[17]、邵鹏^[18]、田凌鸿^[19]的分级标准。参考前人研究^[17],在样树选择时,遵循以下原则:1)活立木,在调查当年生长旺盛期间有叶片即可判定为活立木;2)随机性,在道路两侧按道路行道树总数的约 10%随机选择样树(防止主观因

素下法桐的受害情况对取样产生显著影响);3)环境相似,选择的样树环境尽可能保持相似,保证外界条件得到一定控制。共调查南京市老城区内 10 条道路,法桐行道树共 327 株,有效进行健康评价的行道树共 325 株。



图 1 道路分布
Fig. 1 Road distribution

2.3 健康评价

根据前期行道树生长指标调查,通过计算、分级评分等提炼出冠径比、冠高比、活冠比、树冠体积、枝叶茂密程度、叶片健康程度、枯枝状况、树干竖直程度、树皮健康程度、分叉部位异常程度共 10 个评价指标(表 1),采用因子分析法进行综合评价,构建法桐行道树健康评价模型,利用综合评分通过 K-均值聚类分析法进行健康等级评价。

表 1 评价指标及测定方法^①

Table 1 Evaluation indexes and determination methods

序号	指标	记录方式	计算方法
1	冠径比	计算	$\frac{1}{2} \cdot \text{四面冠幅} / \text{胸径}(D_{BH})$
2	冠高比	计算	$\frac{1}{2} \cdot \text{四面冠幅} / \text{树高}(H)$
3	活冠比	计算	$\text{冠长} / \text{树高}(H) = (\text{树高} - \text{活枝下高}) / \text{树高}(H)$
4	树冠体积	计算	$(\pi \cdot \text{冠长} \cdot \text{平均冠幅}^2) / 6$
5	枝叶茂密程度	分级	3 非常茂密, 2 茂密, 1 不茂密
6	异常叶比例	分级	5 无异常叶; 4 少许; 3 较多; 2 较严重, 不超 50%; 1 超过 50%
7	枯枝状况	分级	5 完全无枯枝; 4 枯枝 10% 以内; 3 枯枝不超过 20%; 2 枯枝不超过 50%; 1 枯枝超过 50%
8	树干竖直程度	计算	90—树干倾斜程度
9	树皮健康程度	计算	$1 - \frac{\text{max 树干损伤腐朽宽度总和}}{\text{受害部位所在位置树干周长}}$
10	分叉部位异常程度	分级	4 无; 3 轻微; 2 中度; 1 严重

注:表中计算公式及分级标准均参考余韵^[17]、邵鹏^[18]、田凌鸿^[19]的相关文献。

2.4 数据处理

采用 WPS Office 和 SPSS26 进行数据统计和分析。利用单因素方差分析法(One-way ANOVA)

和 LSD 多重比较法判断行道树健康特征和健康状况评价在不同道路间的显著性差异,比较各类间的健康等级差异。

3 结果与分析

3.1 行道树健康评价结果

3.1.1 因子分析综合评价结果 对指标体系中的 10 个指标进行统计整理,将原始数据进行检验前,通过 SPSS 软件进行标准化处理,后进行 KMO 和 Bartlett 球形度检验,KMO 是比较变量之间相关系数的统计量,KMO 值越大越趋向于 1,说明变量间相关系数性越强,因子分析越适用于本组数据,当 KMO 值大于 0.5 时,可采用因子分析处理数据。由表 2 的检验结果可知,KMO 值为 0.551,大于 0.5,Bartlett 球形度检验在自由度为 45 时 Sig. 为 0,已达到显著水平,因此本次研究数据可通过因子分析进行处理。

表 2 KMO 和 Bartlett 检验

Table 2 KMO and Bartlett tests

KMO 取样适切性量数		0.551
Bartlett 球形度检验	近似卡方	568.724
	自由度	45
	显著性	0.000

通过数据统计,计算各指标变量间的相关矩阵、特征根及方差贡献率;得到初始载荷矩阵,并利用最大方差法旋转因子载荷,遵循特征值大于 1 的标准或累计贡献率达 65%~80%的方法来提取出的 5 个公因子(表 3)。5 个公因子的特征根的累计贡献率达到 73.450%,包含了指标体系中的绝大多数信息,故这 5 个公因子作为本次健康评价的复合指标。

表 3 各主成分特征

Table 3 The characteristics of each main component

公因子	特征值	贡献率(%)	累计贡献率(%)
F_1	1.869	18.692	18.692
F_2	1.611	16.112	34.804
F_3	1.513	15.131	49.935
F_4	1.262	12.617	62.552
F_5	1.090	10.898	73.450

对表 3 中各公因子的成分矩阵进行分析,可得各公因子在各指标上的载荷量,从而得出各公因子对各个变量的反映情况,提取各公因子的特点,进行命名。各公因子的反映变量及命名见表 4。

计算各因子得分及综合评分。设 $Y_i (i=1,2,3,4,5)$ 为 10 个变量在 5 个主成分上的得分,用各主成分在每个指标上的得分作为权重(表 5),5 个主成分的表达式为:

$$Y_1 = 0.132X_1 - 0.200X_2 + 0.484X_3 + \dots - 0.007X_{10}$$

$$Y_2 = 0.044X_1 - 0.112X_2 - 0.041X_3 + \dots +$$

$$0.003X_{10}$$

$$Y_3 = 0.023X_1 + 0.088X_2 - 0.020X_3 + \dots - 0.015X_{10}$$

$$Y_4 = 0.691X_1 + 0.508X_2 - 0.043X_3 + \dots + 0.067X_{10}$$

$$Y_5 = 0.235X_1 - 0.353X_2 + 0.083X_3 + \dots + 0.811X_{10}$$

其中 $X_1, X_2, X_3, X_4 \dots X_{10}$ 为各指标标准化处理后的数据。

表 4 因子分析公因子命名

Table 4 Common factor name of factor analysis

公因子	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
命名	树木生长情况	树木长势情况	树木损伤情况	树木结构情况	树木倾倒风险
反映的变量	活冠比;树冠体积	异常叶比例;枝叶茂密程度;枯枝状况	分叉部位异常程度;树皮健康程度	冠径比;冠高比	树干竖直程度

根据表 3 中各主成分的方差贡献率,构建出法桐行道树健康综合评价模型为:

$$Y = 0.18692/73.450 \times Y_1 + 0.16112/73.450 \times Y_2 + 0.15131/73.450 \times Y_3 + 0.12617/73.450 \times Y_4 + 0.10898/73.450 \times Y_5$$

表 5 成分得分系数矩阵

Table 5 Component score coefficient matrix

指标	成分				
	1	2	3	4	5
X_1 冠径比	0.132	0.044	0.023	0.691	0.235
X_2 冠高比	-0.200	-0.112	0.088	0.508	-0.353
X_3 活冠比	0.484	-0.041	-0.020	-0.043	0.083
X_4 树冠体积	0.444	-0.053	0.059	0.154	-0.147
X_5 异常叶比例	-0.074	0.498	-0.004	-0.081	0.066
X_6 枝叶茂密程度	0.197	0.505	-0.330	0.175	-0.067
X_7 枯枝状况	-0.171	0.348	0.241	-0.041	-0.032
X_8 树干竖直程度	-0.007	0.003	-0.015	0.067	0.811
X_9 树皮健康程度	0.002	0.019	0.449	-0.002	-0.184
X_{10} 分叉部分异常程度	0.018	-0.170	0.597	0.097	0.127

3.1.2 聚类分析结果 利用影响法桐行道树健康的指标因子得分值及综合得分作为划分健康等级的变量,采用 K-均值聚类分析进行等级分类。

根据聚类结果中各类行道树的特征(图 2),将其分为濒死、不健康、中等健康、亚健康和健康共 5 个健康等级(表 6)。

3.2 行道树整体健康评价

法桐行道树的健康等级分布基本呈现正态分布的特点(图 3),中等健康等级在所有调查法桐中占比最大,为 26.2%;其次为健康等级和濒死等级,分别占

比 21.5%和 20.6%;而亚健康等级占比为 19.7%,不健康等级占比 12.0%。说明老城区这 10 条主要道路的健康状况整体良好,大部分的行道树处于中等健康以上状态,部分行道树健康状态较不理想。

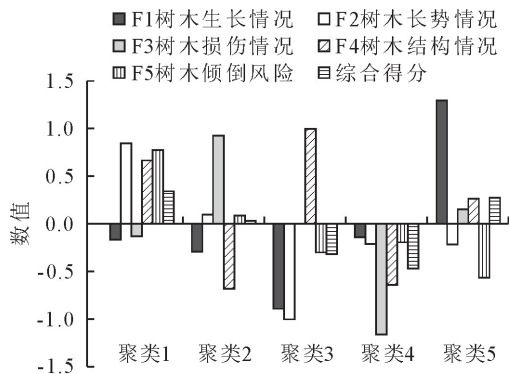


图 2 行道树健康状况聚类图

Fig. 2 Cluster diagram of street tree health status

表 6 行道树健康等级分类

Table 6 Classification of health grades of street trees

等级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
健康程度	濒死	不健康	中等健康	亚健康	健康
样本数量	67	39	85	64	70

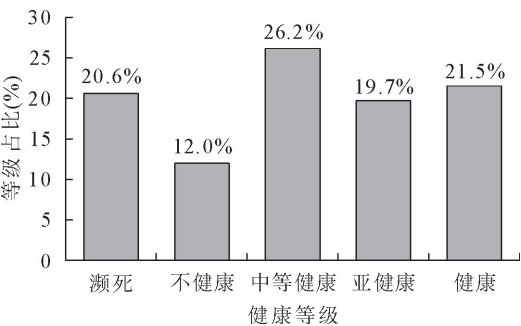


图 3 行道树健康等级分布

Fig. 3 Health level distribution of street trees

3.3 各道路行道树健康评价分析

3.3.1 行道树健康综合评价差异 不同道路法桐行道树的健康等级分布差异较明显(图 4)。北京西路的法桐行道树中等健康和健康等级的行道树占比最大,分别为 37.9%和 34.5%,道路整体健康状况良好,中等健康以上等级的行道树占 86.2%,在 10 条道路中表现最佳;而虎踞北路绝大部分的行道树为濒死等级(41.2%),中等健康等级以上的行道树仅占 38.2%,整体道路健康状况较差;广州路、汉中路、珠江路中达到濒死等级和不健康等级的行道树数量分别占据 54.2%、50.0%和 42.4%,健康状况表现相对较差;而江东中路、升州路、中山东路、中山路及中央路的行道树绝大部分分布在中等健康等级以上,分别占据 75.0%、80.0%、79.5%、75.9%及 82.9%,整体健康状况表现良好。健康等级分布占

比可以看出,10 条道路中,北京西路、中央路、升州路和中山东路的行道树健康状况较佳;虎踞北路广州路、汉中路和珠江路的行道树健康状况表现较差。

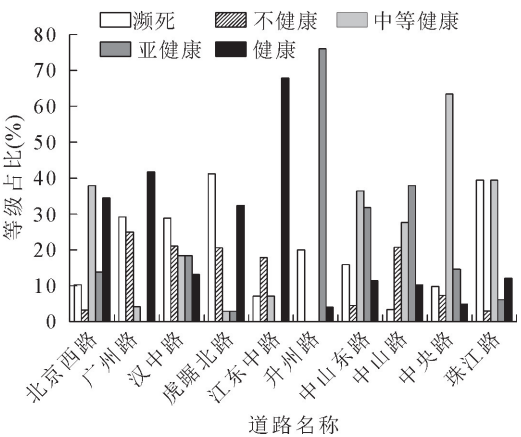


图 4 不同道路行道树健康等级分布

Fig. 4 Distribution of different road health grades

进一步分析综合评分发现,各道路间健康评分存在显著差异($P<0.05$)(表 7),具体表现为:北京西路>江东中路>中山路>中央路>中山东路>升州路>广州路>汉中路>虎踞北路>珠江路,珠江路的健康状况最差,北京西路的健康状况最佳。综合评分最低的行道树出现在中山东路,综合评分最高的行道树出现在汉中路,而汉中路整体健康状况较差,说明此道路行道树健康分布落差较大。

表 7 不同道路法桐行道树健康综合评价比较

Table 7 Comparison of comprehensive evaluation of street tree health in different roads

道路名称	样本量	平均值±标准差
北京西路	29	0.33±0.37a
广州路	24	-0.08±0.32cd
汉中路	38	-0.10±0.51cd
虎踞北路	34	-0.23±0.41de
江东中路	28	0.20±0.37ab
升州路	25	0.03±0.35bc
中山东路	44	0.03±0.41bc
中山路	29	0.20±0.52ab
中央路	41	0.04±0.44bc
珠江路	33	-0.34±0.39e

注:不同小写字母代表不同分布位置间差异显著($P<0.05$)。

3.3.2 行道树健康指标差异 不同道路法桐行道树健康评价指标具有显著性差异($P<0.05$)(表 8)。北京西路中树木长势情况表现显著最佳,江东中路中树木长势、损伤情况及倾倒风险表现显著最佳,升州路中树木生长情况表现显著最佳,中山路中树木结构情况和损伤情况表现显著最佳,虎踞北路中树木倾倒风险表现显著最佳。

针对树木生长情况,表现显著较差的有广州路与珠江路;树木长势情况中,表现显著较差的为虎踞

北路、中山东路及汉中路;树木损伤情况中,表现显著较差的为广州路与虎踞北路;树木结构情况中,表现显著较差的为中山东路、中央路及珠江路;而树木倾倒风险中,表现显著最差的为升州路。

结合各条道路法桐行道树健康评价指标的差异表现和各道路的健康综合评分来看,健康等级较差

的道路上,在树木生长情况、长势情况、损伤情况这3类评价指标中表现较差;而在健康等级较好的道路上,主要在树木生长情况和损伤情况这2类评价指标中较其他道路表现普遍更好。可以说明,树木的生长、长势及树干腐朽空洞情况等对树木的健康状况影响较大。

表8 不同道路法桐行道树评价指标比较

Table 8 Comparison of evaluation indexes of street trees in different roads

评价指标	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
北京西路	$0.41 \pm 0.66b$	$0.81 \pm 0.79a$	$0.27 \pm 0.88bc$	$-0.10 \pm 0.75cde$	$0.09 \pm 0.71bcd$
广州路	$-0.45 \pm 0.63cd$	$0.47 \pm 0.82abc$	$-0.66 \pm 0.96e$	$0.34 \pm 0.76abc$	$0.02 \pm 1.01cde$
汉中路	$0.08 \pm 0.83b$	$-0.67 \pm 1.03e$	$-0.07 \pm 0.73c$	$-0.13 \pm 1.13cde$	$0.41 \pm 0.82abc$
虎踞北路	$-0.38 \pm 0.79c$	$-0.42 \pm 1.01e$	$-0.78 \pm 0.77e$	$0.19 \pm 1.08bcd$	$0.59 \pm 0.79a$
江东中路	$-0.41 \pm 0.52c$	$0.64 \pm 1.41ab$	$-0.18 \pm 0.79cd$	$0.71 \pm 0.86a$	$0.54 \pm 0.79ab$
升州路	$1.08 \pm 0.88a$	$0.14 \pm 0.45cd$	$-0.57 \pm 0.61de$	$-0.19 \pm 0.76de$	$-0.85 \pm 0.95g$
中山东路	$0.40 \pm 0.92b$	$-0.42 \pm 0.84e$	$0.25 \pm 0.89bc$	$-0.28 \pm 0.93e$	$0.13 \pm 0.80bcd$
中山路	$0.10 \pm 1.46b$	$-0.28 \pm 0.76de$	$0.98 \pm 0.78a$	$0.65 \pm 0.96ab$	$-0.53 \pm 1.06fg$
中央路	$0.05 \pm 0.93b$	$0.06 \pm 0.72cd$	$0.52 \pm 0.94b$	$-0.33 \pm 0.80e$	$-0.22 \pm 1.01def$
珠江路	$-0.89 \pm 0.77d$	$0.24 \pm 0.81bc$	$-0.13 \pm 1.19cd$	$-0.47 \pm 1.11e$	$-0.43 \pm 1.12efg$

注:数据为平均值±标准差;同行不同小写字母代表不同区域间差异显著($P < 0.05$); F_1 树木生长情况, F_2 树木长势情况, F_3 树木损伤情况, F_4 树木结构情况, F_5 树木倾倒风险。

4 结论与讨论

4.1 结论

通过对南京市老城区内主要道路法桐行道树结构与健康状况的分析,各道路法桐行道树生长状况良好,整体健康综合评分为0.00,整体健康水平中等,中等健康等级(26.2%)占比最大,其次为健康等级,占比21.5%,濒死等级占比20.6%,亚健康等级占比19.7%,不健康行道树占比12.0%。不同道路间的健康综合评分和健康指标均存在显著差异($P < 0.05$),健康具体表现为:北京西路>江东中路>中山路>中央路>中山东路>升州路>广州路>汉中路>虎踞北路>珠江路。行道树长势、损伤情况等是限制其健康生长的重要因素,行道树所面临的主要问题集中在地表铺装与土壤硬化、病虫害、夜间光照以及修剪技术等方面,同时断枝倒伏等情况的发生也构成了对城市空间的安全隐患。本研究采用的评价指标体系和因子分析法能够得出行道树的健康状况,但存在一定局限性,理想的指标体系应包含树体生长、树池及铺装类型、病虫害危害情况、气体及光污染、周边建筑与设施距离等多方面相关指标,从生长势情况、环境因素、外界干扰因素等多方面掌握行道树健康状况,实现对其的全面评价。

4.2 讨论

4.2.1 行道树健康状况差异 研究表明,目前大部分法桐行道树的健康状况多为中等,树木存在部分问题,但并不严重。树木的健康反映其结构特征,树

木的冠径比,结合胸径分布特征能够调整并控制法桐行道树的株行距,保持适当的栽植密度^[20];冠高比达到2/3以上时,树体结构最为牢固,生长最健壮,能够最大限度地发挥其生态功能^[21]。熊斌梅等^[22]对黄杉年龄树高胸径的相关性研究表明,树龄与胸径、树高都呈正相关关系,而树高、胸径等指标与树木的冠径比、冠高比等结构息息相关,所以法桐行道树的健康差异与各道路法桐行道树的种植时间也有关。另外,法桐行道树的健康状况容易受到外界环境的影响,极端天气、人为活动、各种公共设施等易对树木的树冠结构、地下根系的分布造成破坏,从而导致其健康状况变差。

研究发现不同道路间评价指标达到显著差异($P < 0.05$),虎踞北路、珠江路、汉中路和广州路中树木生长情况、长势情况及损伤情况这几类指标表现普遍较差,根据调查,这几条道路的行道树生长空间较为狭小,树基大面积硬化铺装,人为活动干扰严重,影响树木的健康生长。而北京西路、江东中路周边分别有机关单位、商业区,绿化管理条件较好,且行道树生长空间较为宽阔,树木受光条件较好,绝大多数行道树种植于绿化带中,土壤理化性质和结构较其他道路较为良好,对根系的生长干扰相对较小,故在树木长势和损伤情况等类指标表现较好。同时,广州路、珠江路、虎踞北路上人行道区域多有非机动车停车区域,常有非机动车辆通行,从而促进地面硬化,影响行道树根系的正常生长和养分吸收,这也是这几条道路健康状况表现较差的原因之一。

4.2.2 行道树面临的主要问题 研究发现,健康等级低的行道树中,树木生长情况、长势情况、损伤情况等指标表现普遍较差,说明枝叶长势、树干腐朽空洞及修剪工作等对树木的健康状况影响较大,结合以上研究结果及行道树环境特点和树木生长特点,能够提出以下几方面的问题。

土壤温度和地表覆盖类型是影响土壤呼吸的主要因素,从而影响植物生长^[23-24]。绝大部分的法桐行道树地面覆盖采用硬质铺装,经常性的人为踩踏造成地表土壤硬化、通气性减弱,以及树池的破坏,对行道树生长造成了一定的不良影响。地表硬化会显著提高地表温度,降低树木的光合速率、蒸腾速率等,株高和基径生长受到抑制^[25],易造成树木根系生长停滞,甚至导致死亡^[26-27]。良好的覆盖方式能够改善土壤理化性质、增加土壤通气和透水性,从而促进树木健康生长^[28]。研究表明,夜间只要对树木进行光照处理,其光合节律会发生改变^[29],夜间光照对树木的叶绿素含量、相对导电率和MDA含量等存在影响^[30]。陈冰晶等^[31]研究发现,夜间照明对天安门广场油松的长势和成活率有一定的负面影响,从而对树木健康生长产生影响。

合理适度修剪树木的徒长枝、枯枝、病虫枝等不良枝能够增加树冠通透性,促进枝条萌发,减少病虫害发生,形成良好树型,修剪需要重视植物生长环境,避免过度修剪,以免导致植物受到损伤^[32],也会影响树木形态。Karlovich等^[33]认为抹头修干与不修剪相比更易对树木造成负面影响,林木生长不良率较不修剪的高192%,枝条死亡率高40%,病虫害发生率高70%,严重威胁树木健康生长。

据了解,法桐行道树面临的病害主要为白粉病、黄化病、霉霜病,虫害主要为方翅网蝽、美国白蛾、红蜘蛛、光肩星天牛等^[34],影响了树木的正常生长发育,破坏树体本身的生理循环,从而导致树木健康状况下降。行道树生长势日渐衰弱,易导致树体发生断枝、倒伏、枯枝掉落等情况,危害到交通及行人安全。同时,法桐在春季果毛飞絮时期,容易对行人的皮肤、呼吸道、眼睛造成刺激,并导致过敏。

目前南京市法桐行道树健康状况大部分为中等水平,地面铺装、土壤硬化,夜间照明及病虫害和修剪技术等方面对其生长发育影响重大,同时,健康状况的下降也增加了其在城市空间中的安全隐患。

4.2.3 行道树健康评价方法 本研究采用因子分析法,通过各评价指标的得分为每株法桐计算综合得分,从而确定其健康等级,得出了研究范围内10条道路上法桐行道树的健康状况,并通过差异比较发现树木长势情况、损伤情况等相关指标对行道树

健康影响较大,说明本研究采用的评价指标体系及方法是合理的,能够有效了解行道树的健康状况。

结合上文分析的行道树面临的主要问题以及相关研究,目前对于法桐行道树的评价指标体系存在一定的局限性,需要进一步完善。相关研究表明,行道树健康状况除与树木自身状况息息相关外,与铺装类型和周边建筑设施距离^[35]、树池形式^[36]、空气及汽车尾气污染^[37]、光污染和土壤理化性质^[38]以及病虫害等因素相关性较强,在评价指标体系中加入相关指标能够更加全面地掌握行道树的健康状况。因此,完整的健康评价指标体系应包括行道树树木生长指标、与周边建筑设施距离、树池及铺装类型、病虫害危害情况、气体污染、夜间光照等相关具体指标,从生长势情况、环境因素、外界干扰因素等多方面分析行道树的健康状况,从而建立起满足行道树独特性的健康评价方法。

参考文献:

- [1] 黎彩敏,翁殊斐,林云,等. 园林树木健康与安全性评价研究进展[J]. 广东农业科学, 2009(7): 186-189.
- [2] 杨玲. 黄帝陵古柏健康评价与保护技术研究[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 2014.
- [3] 黄帅帅,曹哲源,邱尔发,等. 北京市居住区林木健康评价[J]. 生态学报, 2019, 39(24): 9222-9232.
HUANG S S, CAO Z Y, QIU E F, et al. Health assessment of trees in residential areas of Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(24): 9222-9232. (in Chinese)
- [4] 翁殊斐,黎彩敏,庞瑞君. 用层次分析法构建园林树木健康评价体系[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(1): 177-181.
WENG S F, LI C M, PANG R J. Establishment of landscaping tree health assessment model Using analytic hierarchy process [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(1): 177-181. (in Chinese)
- [5] 赵小亮,周国娜,高宝嘉,等. 主成分分析法在承德县森林生态系统健康评价中的应用[J]. 中国农学通报, 2008, 24(6): 400-403.
ZHAO X L, ZHOU G N, GAO B J, et al. The principal component analysis method in health evaluation for forest ecosystem of Chengde County[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(6): 400-403. (in Chinese)
- [6] 李琳. 古树健康监测与评价研究进展[J]. 现代农业科技, 2020(10): 103-105.
- [7] 朱宇,刘兆刚,金光泽. 大兴安岭天然落叶松林单木健康评价[J]. 应用生态学报, 2013, 24(5): 1320-1328.
ZHU Y, LIU Z G, JIN G Z. Health assessment of individual trees in natural *Latix gmelinii* forest in Great Xing'an Mountains of China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(5): 1320-1328. (in Chinese)
- [8] 梁陈涛,杨艳波,田盼立,等. 基于街景测量的南昌市行道树结构特征与健康状况研究[J]. 生态学报, 2022, 42(2): 549-560.
LIANG C T, YANG Y B, TIAN P L, et al. Structural charac-

- teristics and health status of roadside trees in Nanchang City, China from baidu street view-based measurements[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(2): 549-560. (in Chinese)
- [9] 朱玮珍. 城市古树名木健康诊断技术[J]. 福建热作科技, 2021, 46(1): 48-51.
- [10] STRAVINSKIEN V, BARTKEVIUS E, ABRAITIEN J, *et al.* Assessment of *Pinus sylvestris* L. tree health in urban forests at highway sides in Lithuania[J]. *Global Ecology and Conservation*, 2018, 16: 00517.
- [11] 陈笑, 盖玉红, 丁亦男, 等. 经典植物法国梧桐的研究进展[J]. 长春师范大学学报, 2015, 34(8): 65-67.
- [12] 徐明良. 法国梧桐白粉病防治技术及应用[J]. 科技向导, 2011(27): 420, 428.
- [13] 中国科学院中国植物志编委会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [14] 张守仕, 刘荣宁, 王利锋. 悬铃木研究进展[J]. 河南农业, 2015(2): 48-50.
- [15] 利顺欣. 悬铃木的开发利用研究[J]. 时珍国医国药, 2007(5): 1279-1280.
- [16] 张慧珠. 地方感知下的城市植物景观研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2017.
- [17] 余韵. 北京城市核心区白蜡行道树健康评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [18] 邵鹏. 北京城市核心区国槐行道树健康评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [19] 田凌鸿. 天水市伏羲庙古侧柏健康无损诊断与评价[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 2019.
- [20] 何国强, 谢良生, 戴耀良, 等. 100 种园林树木冠径比的初步研究[J]. 广东农业科学, 2017, 44(5): 57-64.
- HE G Q, XIE L S, DAI Y L, *et al.* A preliminary study on ratio of crown to on ratio oi crown to diameter of 100 kinds of landscaping trees[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2017, 44(5): 57-64. (in Chinese)
- [21] 祝遵凌. 园林树木栽培学[M]. 南京: 东南大学出版社, 2015.
- [22] 熊斌梅, 汪正祥, 李中强, 等. 七姊妹山自然保护区黄杉年龄胸径树高的相关性研究[J]. 林业资源管理, 2016(4): 41-46.
- XIONG B M, WANG Z X, LI Z Q, *et al.* Study on the correlation among age, DBH and tree height of the *Pseudotsuga sinensis* in Qizime Mountain nature reserve[J]. *Forest Resources Management*, 2016(4): 41-46. (in Chinese)
- [23] 付芝红, 呼延佼奇, 李锋, 等. 城市不同地表覆盖类型对土壤呼吸的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(18): 5500-5508.
- FU Z H, HUYAN J Q, LI F, *et al.* Impact of different surface covers on soil respiration in urban areas[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(18): 5500-5508. (in Chinese)
- [24] 李云红, 邵英男, 陈瑶, 等. 云冷杉红松林和蒙古栎红松林对土壤活性有机碳含量的影响[J]. 森林工程, 2021, 37(3): 60-66.
- [25] 陈媛媛, 江波, 王效科, 等. 北京典型绿化树种幼苗光合特性对硬化地表的响应[J]. 生态学报, 2017, 37(11): 3673-3682.
- CHEN Y Y, JIANG B, WANG X K, *et al.* Effect of pavement on the leaf photosynthetic characteristics of saplings of three common tree species (*Pinus tabulaeformis*, *Fraxinus chinensis*, and *Acer truncatum*) in Beijing[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(11): 3673-3682. (in Chinese)
- [26] 侯晓丽. 根际土壤实施钻孔通气法对改善行道树生长势衰弱的实验研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2006.
- [27] 张甜, 李龙龙. 中条山不同森林类型土壤和枯落物的水文性能分析[J]. 森林工程, 2022, 38(3): 32-39.
- [28] 王成, 郗光发, 彭镇华. 有机地表覆盖物在城市林业建设中的应用价值[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2213-2217.
- WANG C, QIE G F, PENG Z H. Application value of organic ground surface mulch in urban forestry construction[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(11): 2213-2217. (in Chinese)
- [29] 段然, 刘星滢. 园林植物光合节律对夜间光照响应的研究[J]. 重庆工商大学学报: 自然科学版, 2021, 38(2): 108-115.
- DUAN R, LIU X Y. Response of photosynthetic rhythm of landscape plants to urban nighttime illumination[J]. *Journal of Chongqing Technology and Business University: Natural Science Edition*, 2021, 38(2): 108-115. (in Chinese)
- [30] 张涛, 王瑞敏, 陈燕琼, 等. 8 种绿化树种对城市夜间照明的生理适应性[J]. 森林与环境学报, 2019, 39(4): 424-430.
- ZHANG T, WANG R M, CHEN Y Q, *et al.* Physiological adaptations of eight greening-trees in an urban area under night lighting[J]. *Journal of Forest and Environment*, 2019, 39(4): 424-430. (in Chinese)
- [31] 陈冰晶, 马慧, 于晓南. 夜间照明对天安门广场行道树油松生长的影响[C]//中国园艺学会观赏园艺专业委员会, 国家花卉工程技术研究中心. 中国观赏园艺研究进展. 北京: 中国林业出版社, 2012: 342-346.
- [32] 王磊. 园林植物养护管理中修剪技术的实践分析[J]. 现代园艺, 2020, 11: 94-95.
- [33] KARLOVICH D A, GRONINGER J W, CLOSE D D. Tree condition associated with topping in southern Illinois communities[J]. *Journal of Arboriculture*, 2000, 26(2): 87-91.
- [34] 杨丽霞, 杨耀明. 行道树法桐主要病虫害及防治[J]. 农村科学实验, 2019(10): 76-77.
- [35] 李佳慧, 彭祚登, 刘勇, 等. 北京市首都功能核心区国槐健康评价及其影响因素研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2021, 49(1): 64-73, 84.
- LI J H, PENG Z D, LIU Y, *et al.* Health evaluation and influencing factors of *Sophora japonica* in the caoital functional core area of Beijing[J]. *Journal of Northwest A&F University: Nat. Sci. Ed.*, 2021, 49(1): 64-73, 84. (in Chinese)
- [36] 金小军, 张军, 杨凡, 等. 城市行道树生长健康状况与种植形式的相关性分析[J]. 城市建筑, 2021, 18(34): 188-192.
- [37] 李娟, 韩姣, 王晓娜, 等. 行道树树种结构及健康评价的研究[J]. 吉林林业科技, 2015, 44(1): 16-20.
- [38] 周宇亭. 南昌市红谷滩中心区行道树健康评价与分析[D]. 南昌: 江西农业大学, 2012.