

王洁瑾, 杨晓东. 宁波市道路绿化植物调查及适宜种筛选[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(14): 112–122.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.14.022

# 宁波市道路绿化植物调查及适宜种筛选

王洁瑾<sup>1</sup>, 杨晓东<sup>1,2,3</sup>

[1. 宁波大学地理与空间信息技术系/陆海国土空间利用与治理研究中心, 浙江宁波 315211;

2. 宁波市高等学校协同创新中心(宁波陆海国土空间利用与治理协同创新中心), 浙江宁波 315211;

3. 浙江省新型重点专业智库宁波大学东海研究院, 浙江宁波 315211]

**摘要:**城市道路绿化对于改善城市生态环境和提高人民生活质量有着举足轻重的价值,也是城市生态文明建设的重要抓手。但当前城市道路所使用的绿化植物,多为外貌较好或具有特色的风景植物,其他生态功能不强。为了利用植物功能性状的方法筛选具有较高生态功能、适合宁波市道路绿化的植物,调查宁波市主城区 126 种植物的 11 个功能性状,利用专家访谈和街头社会调查确定了当地居民认为绿化植物最重要的 3 种生态功能(外观美学、抗风抗涝和改善空气质量),之后,利用层次分析法计算每种植物的上述 3 种功能的数值,并将它们合并为一个综合值来筛选道路绿化植物。结果表明:(1)宁波市的道路绿化植物隶属 46 科 86 属,占《浙江植物志》中收录总科数的 27.06%;(2)宁波市道路绿化种的乔灌比例、常绿和落叶的比例,均明显和当地天然林不同;(3)外观美学、抗风抗涝、改善空气质量及综合优势值在常绿乔木和落叶乔木之间没有显著差别,同样它们在常绿灌木和落叶灌木之间没有显著差别;(4)乔木在外观美学、抗风抗涝、改善空气质量方面的能力和绿化综合优势值均显著高于灌木( $P < 0.05$ );(5)木兰科、樟科、蔷薇科、锦葵科、木樨科、山茶科和山茱萸科作为道路绿化植物具有生态优势;(6)根据绿化综合值,还筛选了 50 种植物(包括 25 种乔木和 25 种灌木)作为建群种或常见种,用它们构建具有较多生态功能的道路绿化群落。研究结果为城市道路绿化物种的选择提供了一种方法,同时也为宁波市道路绿化群落的构建提供了理论基础。

**关键词:**道路绿化植物;植物功能性状;层次分析法;外观美学;抗风抗涝;改善空气质量

**中图分类号:**S688.9      **文献标志码:**A      **文章编号:**1002-1302(2021)14-0112-11

城市道路绿化对于改善城市生态环境、提高人民生活质量、协调社会经济发展等具有举足轻重的作用,是城市生态文明建设的重要组成部分<sup>[1-2]</sup>。近年来,伴随着我国工业化、城市化的稳步推进和社会经济的快速增长,以及人民物质文化生活水平的逐渐提升,城市道路绿化工作愈加受到社会各方的重视<sup>[1,3]</sup>,已经成为各地建设绿色城镇、旅游城镇和特色城镇的重要手段<sup>[2,4-5]</sup>。

当前我国众多城市的道路绿化存在千篇一律的现象,植物配置布局较为单一,在外观统一、树形好看、具有特色、吸引旅客眼球”等传统绿化观念指导下,种植绿化植物时,较少考虑到其他生态功

能<sup>[6-7]</sup>。这就造成在过去 10 年,我国一些城市逐渐出现了不合理的道路绿化带来的诸多问题<sup>[8-10]</sup>。比如,在 2016 年 9 月台风“莫兰蒂”登陆时,厦门损失了 35 万株绿化植物<sup>[9]</sup>。北方较多城市道路上大面积种植杨树,在每年春夏之交,漫天飞舞的杨絮给当地居民带来了过敏和哮喘等疾病困扰,同时,它又能堵塞汽车水箱散热片使其熄火,甚至引起火灾。在城市地理学和城市植物学的研究中,我国需要“接地气”的研究,筛选合适的道路绿化植物<sup>[2,5,11]</sup>。在考虑外观美学这个生态功能的同时,还应注重改善空气质量、抗风抗涝、降低噪声、碳固持、多样性维持等多个功能<sup>[8]</sup>。

植物众多生态功能在传统研究中难以量化,或者逐一量化工作量大,是大规模筛选多功能植物的主要限制因素<sup>[12]</sup>。举例来说,植物的抗风抗涝能力就需要盆栽试验、风洞试验和水浸试验才能得到相应数值。改善空气质量的能力须要长期在植物周边定量观测  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$  和负氧离子浓度等才能证实<sup>[3,8]</sup>。以上这种处理都会消耗大量的时间和物

收稿日期:2020-09-24

基金项目:国家自然科学基金面上项目(编号:41870131);国家自然科学基金地区项目(编号:31860111)。

作者简介:王洁瑾(1999—),女,浙江宁波人,主要从事地理科学研究。E-mail:591687485@qq.com。

通信作者:杨晓东,博士,副教授,博士生导师,主要从事功能生态学研究。E-mail:xjyangxd@sina.com。

力,难以大规模观测并筛选绿化植物。植物功能性状是指植物在长期适应环境过程中形成的与其定植、存活、生长和死亡紧密相关的一系列核心植物属性,且这些属性能够显著影响生态系统功能,并能够反映植被对环境变化的响应<sup>[5,13]</sup>。它作为连接植物与外界环境的重要桥梁,可以反映植物的生态系统功能。相对传统方法,测量植物功能性状可在短期内获得反映植物各种生态功能的数值,大范围筛选出具有多功能的道路绿化植物<sup>[5,14]</sup>。

本研究在调查浙江省宁波市常见木本植物名录的基础上,调查了 126 种植物的 11 种功能性状,之后,按对当地最为重要的外观美学、抗风抗涝潜力和改善空气质量作为绿化物种的目标,利用层次分析法评价并筛选出适合宁波市的绿化植物名录,以期提供一种研究模式为其他城市筛选绿化物种作参考。

## 1 研究区域概况

宁波市(120°55′~122°16′ E,28°51′~30°33′ N)位于我国第 3 级阶梯的华东地区,地处大陆海岸线中段。当地以平原、丘陵和山地为主,拥有丰沛的矿产、海洋和植物资源,是我国东南沿海重要的港口城市以及国家历史文化名城和长江三角洲南翼经济中心。作为典型的江南水乡,宁波市隶属亚热带季风气候,四季分明,雨热同期,年平均降水量为 1 480 mm,河流主汛期在 5—9 月,3—6 月常有集中的春雨和梅雨季,7—9 月为台风季和秋雨季。

截至 2018 年末,宁波市辖 6 个区和 2 个代管县(市),常住人口为 820.2 万人,全市城镇化率达 72.9%,国内生产总值(GDP)为 11 193.1 亿元<sup>[15]</sup>。受得天独厚的自然优势和优越迅猛的经济支撑,宁波市城市道路绿化工作备受政府和当地居民重视。当地出台了道路建设与绿化建设同步设计、同步施工、同步验收的政策指导绿化工作,成绩尤为突出。2009—2018 年,城区新增道路绿地超过 1 000 hm<sup>2</sup><sup>[16]</sup>。然而,随民众生态文明意识的不断增加,以往单一绿化模式或注重外貌审美的绿化意识已不能满足当前的社会需求。受地理位置的影响,宁波市绿化植物受台风影响较大,每年 6—10 月的季风期,积涝和强风胁迫会引起较多植物死亡。另外,当地城市化和工业化迅猛发展,使得当地有些施工路段和工业园区存在尘土飞扬、空气质量较差的状况。将绿化植物的生态功能分为生物多样

性保育、外貌美观、碳固持、改善空气质量、抗风抗涝、水土保持、涵养水源、提供木材和改善土壤共 8 个功能,在街头随机采访调查了 100 个成年人的需求发现,外貌美观、改善空气质量和抗风抗涝是当地居民对绿化植物功能要求排名前 3 的功能,各占调查人数的 40%、30%、15%。因此,本研究将外貌美观、改善空气质量和抗风抗涝等 3 个功能作为宁波市适宜绿化植物的依据,并综合它们的数值筛选绿化植物。

## 2 研究方法

### 2.1 宁波市城区道路绿化植物种类的现状调查

2019 年 12 月至 2020 年 2 月,在宁波市 3 个主城区(江北区、海曙区和鄞州区),对道路绿化植物生长较好的通途路、中山路、沧海路、福明路、桑田路、江南路和环城西路进行为期 3 个月的样地调研,并结合从宁波城市管理局获得的园林资料,以及《中国植物志》和《浙江植物志》的相关记载,整合得到当前宁波市城区绿化所使用绿化种的名录,共计 126 种植物,将它作为道路绿化植物筛选的背景物种库。

### 2.2 宁波市适宜道路绿化植物的功能性状的调查

2019 年 12 月至 2020 年 5 月,对适宜绿化物种名录中的植物,每个物种随机在调查地点(通途路、中山路、沧海路、福明路、桑田路、江南路和环城西路),以及宁波市较大的一些绿地公园内,每个物种随机选择 3 株较高大、未经人工修整处理、外观干净利落、生长状况较一致的个体作为样本,进行相关功能性状的调查。本研究调查的功能性状包括树冠形状、潜在高度、花色、花期长度、叶面特性(叶面粗糙程度和是否有被毛)、叶片形态、单叶面积、枝端叶片密度、干材密度、植物根特性和净光合速率,共 11 个指数。

树冠形状在户外调查时直接确定,根据前人的研究成果,它包括 5 种类型:自然圆头形、自由纺锤形、柱形、开心形和分散疏散形<sup>[5]</sup>。数值处理时,树冠形态为定性数据无法定量分析,因此,在咨询宁波大学和宁波市林业领域相关专家,以及参照杨柏钰等的研究<sup>[5]</sup>的基础上,将这 5 种树冠形状分别赋值为 5、4、3、2、1。潜在高度、花色和花期长度参考《浙江植物志》和《中国植物志》中记录的数值。具体查询时为了消除地域变化对 3 个功能指数的影响,优先使用《浙江植物志》中的数据,《浙江植物

志》中没有数据时使用《中国植物志》中的数据。本次调查的 126 种植物的花色共有 6 大类:粉色、白色、黄色、紫色、红色、绿色。按照树冠形状定量化的处理方式,依次将这几种颜色分别赋值为 6、5、4、3、2、1。

为了避免常绿植物和落叶植物叶片性状随季节而变化,本研究在 2019 年 4—5 月期间(落叶植物叶片完全发育完成),对前期随机选择的植株,每株利用枝剪在其树冠外围截取小枝 3 段。随后将枝条迅速插入水桶,利用便携仪光合测量系统(LI-Cor, LI-6400, 美国)测定叶片净光合速率[参照杨晓东的研究成果<sup>[17]</sup>,将光照度设定为  $1\ 600\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,温度设定为  $25\ ^\circ\text{C}$ ]。之后,清点末端枝条(0 级小枝上)叶片的数量,并将其记录为叶片密度。再后,将这些叶片从小枝摘下装入自封袋,带回宁波大学的地理实验室,借助放大镜观察叶面特性。着重观察叶片正面、背面的粗糙程度及被毛情况。若有被毛,进一步观察毛的疏密程度、形态和分布,并详细记录观察结果。综合粗糙程度和被毛疏密程度,将叶面特性分为 8 类:光滑无被毛、光滑疏被毛、粗糙无被毛、光滑中等被毛、粗糙疏被毛、光滑密被毛、粗糙中等被毛和粗糙密被毛<sup>[3]</sup>。叶面特征直接与植物改善空气质量的效果相关,尤其是滞尘能力。类似树冠形状定量化的处理方式以及参照杨柏钰等的研究成果<sup>[5]</sup>,依次将上述叶面特性分别赋值为 0、1、2、3、4、5、6<sup>[18-19]</sup>。根据相关资料,将本研究中收集的 126 种植物的叶片性状分为 12 类:扇形、椭圆形、卵形、掌状(裂)、长卵形、菱形、马褂形、线形、宽卵形、倒卵形、针形、钻形,依次赋值为 12、11、10、9、8、7、6、5、4、3、2、1。若有植物的叶片不符合上述 12 种类型,将该植物的叶片与这 12 种叶片形态进行比对,对应最符合的形态记录分值,若同一绿化种叶片具备不同的形态,则取近似叶形态平均值作为最终分值。单叶面积在室内利用叶面积仪(LI-Cor, LI-3100, 美国)进行测量,每株植物至少测量 5 张叶片,平均值为单叶面积的数值。

在采集叶片的同时,对乔木利用年轮锥从植株胸径(离地面 1.3 m)处钻取一小段木材。对于灌木,利用枝剪剪一小段小枝。将其装入自封袋带回实验室后,利用排水法测定干材密度。植物根特性通过查阅大量文献资料获得。根据资料描述,将植物分为深根、普通根、浅根以及特耐水湿、耐水湿、普通耐水湿、不耐水湿 2 个层次,相互组合共 12 个

类型。按照根系与抗风抗涝之间的关系(根越深植物抗风能力越强、根耐水湿能力越大植物抗涝能力越强),将浅根 + 不耐水湿、普通 + 不耐水湿、深根 + 不耐水湿、浅根 + 普通耐水湿、浅根 + 耐水湿、普通 + 耐水湿、深根 + 普通耐水湿、浅根 + 特耐水湿、普通 + 普通耐水湿、深根 + 耐水湿、普通 + 特耐水湿、深根 + 特耐水湿分别赋值为 0 ~ 12<sup>[10,20]</sup>。上述涉及美学的树冠形状、叶片形态、花色、根特性的赋分数值,均是在文献查阅和收集 100 位性别、年龄、文化程度不等的成年人对各类型打分的基础上排序确立的。这里的数据处理统一默认为分值越高,证明在生态功能上的能力越强。

### 2.3 道路绿化植物生态功能的计算

本研究利用层次分析法先计算绿化植物在外观美学、抗风抗涝和改善空气质量上的单一功能优势值,之后,再次利用层次分析法计算绿化植物综合优势值。优势值为植物适合作绿化植物的程度,数值越高,植物具备的生态功能越强,更适合作绿化植物。本研究将 11 个功能性状划分成 3 类,分别反映植物在外观美学、抗风抗涝潜力和改善空气质量上的能力。层次分析法的层次结构见表 1。层次结构中,综合考虑景观学家所强调的植物比例、色彩、形态、层次与韵律等基本美感元素后,本研究中认为,植物越高、树冠形状越整齐、叶片和花色非常特别并吸引人、开花时间越久,植物的综合外貌形象越好<sup>[5,21]</sup>。故用植物的潜在树高、树冠形状、叶片形态、花色和花期长度等 5 项功能性状作为植物外观美学的评价指标。根据已有科研成果和经验,植物越矮、单叶面积越小、叶片密度越稀疏、干材密度越大、根系越深且越耐水湿,植物的抗风抗涝性能越好<sup>[22-23]</sup>。故用植物的潜在树高、单叶面积、叶片密度、干材密度和植物根特性等 5 项功能性状作为植物抗风抗涝的评价指标。植物净化空气效力主要与植株的体态和叶片特征有关,即叶片与外界的接触面越大、叶片密度越大、叶面粗糙、绒毛密集、净光合速率越大,植物吸附能力越强,植物抑尘和净化空气能力越强<sup>[24-25]</sup>。故用植物的潜在树高、单叶面积、叶片密度、叶面特性和净光合速率等 5 项功能性状作为植物改善空气质量的评价指标(表 1)。

### 2.4 数据分析

层次分析法的 3 层框架结构如表 1 所示。评价城市道路绿化植物综合优势值时,必须计算准则层各个功能对综合优势值的相对重要性(权重)。同

表 1 道路绿化植物筛选的层次分析模型及权重

目标层	准则层	准则层权重 ( $CW_i$ )	指标层	指标层权重 ( $IW_i$ )	最终指标权重 ( $CW_i \times IW_i$ )
城市道路绿化植物综合优势值(A)	外观美学( $B_1$ )	0.49	潜在树高( $B_{11}$ )	0.31	0.15
			树冠形状( $B_{12}$ )	0.34	0.17
			叶片形态( $B_{13}$ )	0.10	0.05
			花色( $B_{14}$ )	0.18	0.09
			花期长度( $B_{15}$ )	0.07	0.03
	抗风抗涝( $B_2$ )	0.20	潜在树高( $B_{21}$ )	0.18	0.03
			单叶面积( $B_{22}$ )	0.10	0.02
			叶片密度( $B_{23}$ )	0.11	0.02
			干材密度( $B_{24}$ )	0.29	0.06
			植物根特性( $B_{25}$ )	0.32	0.06
	改善空气质量( $B_3$ )	0.31	潜在树高( $B_{31}$ )	0.09	0.03
			单叶面积( $B_{32}$ )	0.24	0.08
			叶片密度( $B_{33}$ )	0.20	0.06
			叶面特性( $B_{34}$ )	0.40	0.13
			净光合速率( $B_{35}$ )	0.06	0.02

样地,在每一个功能下面,须要计算每一个功能性状指标对生态功能的相对重要性(权重)。本研究中,结合前人研究成果和专家打分,构建准则层和指标层的判断矩阵(表 2 和表 3)。同时利用判断矩阵计算得到每一个指标对其对应生态功能的权重,以及每一个生态功能对城市道路绿化植物综合优势值的相对权重。专家共计 10 人,判断矩阵中的数值为专家打分值的众数。专家为宁波大学和宁波市林业领域相关学者。表中, $CW_i$  表示判断矩阵得到的准则层权重(每一个生态功能对城市道路绿化植物综合优势值的相对权重); $IW_i$  表示判断矩阵得到的指标层对每一个生态功能的权重; $\lambda_{\max}$  是判断矩阵的最大特征方根; $CR$  是判断矩阵的随机一致性比值<sup>[5]</sup>。 $CR < 0.1$  表示判断矩阵设置是合理的,得到的权重数值是可信的。

表 2 准则层的判断矩阵及其对道路绿化植物综合优势值的权重

准则层	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$CW_i$
$B_1$ (外观美学)	1	2	2	0.49
$B_2$ (抗风抗涝)	1/2	1	1/2	0.20
$B_3$ (滞尘能力)	1/2	2	1	0.31
$\lambda_{\max} = 3.05$ $CR = 0.05 < 0.1$ (排序的随机一致性通过检验)				

层次分析矩阵的各级别的权重计算完成后,基于 126 个物种的 11 种功能性状组成的数据集,利用公式(1)和公式(2)对数据集进行标准化处理。之后,基于  $i$  功能性状标准化的数值  $F[E_i$  (或  $E_i'$ )],结合指标层对准则层各生态功能的权重( $IW_i$ ),利

用公式(3)计算各生态功能的评价值( $D_i$ ) (表 1)。再后,结合  $D_i$  和准则层各生态功能的权重( $CW_i$ ),利用公式(4)计算得到城市道路绿化各植物综合优势值(A)。计算结果见表 4 至表 7。

$$F(E_i) = \frac{F_i - F_{i\min}}{F_{i\max} - F_{i\min}}; \quad (1)$$

$$F(E_i') = \frac{F_i - F_{i\max}}{F_{i\min} - F_{i\max}}; \quad (2)$$

$$D_i = \sum_{i=1}^n F(E_i) \times IW_i; \quad (3)$$

$$A = \sum_{i=1}^n D_i \times CW_i。 \quad (4)$$

### 3 结果与分析

#### 3.1 宁波市城区道路绿化植物种类组成

本研究在宁波市 3 个主城区(江北区、海曙区和鄞州区)共发现了 126 种绿化植物(全部为木本植物,草本未做调查),隶属 46 科 86 属,占《中国植物志》收录总科数的 15.28%,以及《浙江植物志》中收录总科数的 27.06%。相比浙江省内其他城市,宁波城区道路绿化种物种数变化不大,比如杭州有 124 种道路绿化植物<sup>[7]</sup>。但在当下政府呼吁的春花、夏荫、秋色、冬景的城市道路绿化体系和一路一品、一街一景的多维景观格局的影响下<sup>[16]</sup>,宁波市道路绿化植物配置较单薄,常出现 1 个乔木物种绿化一大段道路的情况(比如香樟、樱花和栎树),易带来审美疲劳。

表 3 指标层的判断矩阵及其对准则层生态功能的权重

准则层	指标层	B <sub>11</sub>	B <sub>12</sub>	B <sub>13</sub>	B <sub>14</sub>	B <sub>15</sub>	<i>IW<sub>i</sub></i>
外观美学(B <sub>1</sub> )	B <sub>11</sub> (潜在树高)	1	1	3	2	4	0.31
	B <sub>12</sub> (树冠形状)	1	1	3	3	4	0.34
	B <sub>13</sub> (叶片形态)	1/3	1/3	1	1/3	2	0.10
	B <sub>14</sub> (花色)	1/2	1/3	3	1	3	0.18
	B <sub>15</sub> (花期长度)	1/4	1/4	1/2	1/3	1	0.07
	$\lambda_{\max}=5.13$	$CR=0.03<0.1$ (排序的随机一致性通过检验)					
抗风抗涝(B <sub>2</sub> )	指标层	B <sub>21</sub>	B <sub>22</sub>	B <sub>23</sub>	B <sub>24</sub>	B <sub>25</sub>	<i>IW<sub>i</sub></i>
	B <sub>21</sub> (潜在树高)	1	3	3	1/3	1/3	0.18
	B <sub>22</sub> (单叶面积)	1/3	1	1	1/2	1/3	0.10
	B <sub>23</sub> (叶片密度)	1/3	1	1	1/2	1/2	0.11
	B <sub>24</sub> (干材密度)	3	2	2	1	1	0.29
	B <sub>25</sub> (植物根特性)	3	3	2	1	1	0.32
	$\lambda_{\max}=5.34$	$CR=0.08<0.1$ (排序的随机一致性通过检验)					
改善空气质量(B <sub>3</sub> )	指标层	B <sub>21</sub>	B <sub>22</sub>	B <sub>23</sub>	B <sub>24</sub>	B <sub>25</sub>	<i>IW<sub>i</sub></i>
	B <sub>31</sub> (潜在树高)	1	1/3	1/3	1/4	2	0.09
	B <sub>32</sub> (单叶面积)	3	1	2	1/3	4	0.24
	B <sub>33</sub> (叶片密度)	3	1/2	1	1/2	4	0.20
	B <sub>34</sub> (叶面特性)	4	3	2	1	4	0.40
	B <sub>35</sub> (净光合速率)	1/2	1/4	1/4	1/4	1	0.06
	$\lambda_{\max}=5.27$	$CR=0.06<0.1$ (排序的随机一致性通过检验)					

表 4 落叶乔木名录及 3 种生态功能的评价值和道路绿化植物的综合优势值

序号	物种名	拉丁名	评价值			综合优势值
			外观美学	抗风抗涝	改善空气质量	
1	榉树	<i>Zelkova serrata</i>	0.68	0.68	0.47	0.61
2	臭椿	<i>Ailanthus altissima</i>	0.57	0.54	0.65	0.59
3	厚朴	<i>Magnolia officinalis</i>	0.59	0.46	0.53	0.54
4	槐树	<i>Sophora japonica</i>	0.70	0.70	0.13	0.52
5	刺槐	<i>Robinia pseudoacacia</i>	0.75	0.59	0.10	0.52
6	栾树	<i>Koelreuteria paniculata</i>	0.68	0.58	0.20	0.51
7	银杏	<i>Ginkgo biloba</i>	0.75	0.53	0.09	0.50
8	楝木	<i>Cornus macrophylla</i>	0.61	0.60	0.27	0.50
9	柿树	<i>Diospyros kaki</i>	0.64	0.74	0.10	0.49
10	朴树	<i>Celtis sinensis</i>	0.69	0.64	0.08	0.49
11	枫杨	<i>Pterocarya stenoptera</i>	0.60	0.55	0.27	0.49
12	无患子	<i>Sapindus mukorossi</i>	0.66	0.68	0.07	0.48
13	枫香树	<i>Liquidambar formosana</i>	0.67	0.57	0.11	0.48
14	梧桐	<i>Firmiana platanifolia</i>	0.59	0.50	0.26	0.47
15	黄连木	<i>Pistacia chinensis</i>	0.62	0.67	0.09	0.47
16	喜树	<i>Camptotheca acuminata.</i>	0.54	0.65	0.23	0.46
17	落羽杉	<i>Taxodium distichum</i>	0.55	0.39	0.29	0.44
18	法国梧桐	<i>Platanus orientalis</i>	0.62	0.41	0.17	0.44
19	水杉	<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	0.55	0.55	0.16	0.43
20	杨梅	<i>Myrica rubra</i>	0.58	0.65	0.05	0.43
21	重阳木	<i>Bischofia polycarpa</i>	0.51	0.76	0.05	0.42
22	鹅掌楸	<i>Liriodendron chinense</i>	0.57	0.51	0.09	0.41

表 4(续)

序号	物种名	拉丁名	评价值			综合优势值
			外观美学	抗风抗涝	改善空气质量	
23	三角槭	<i>Acer buergerianum</i>	0.48	0.80	0.05	0.41
24	山合欢	<i>Albizia kalkora</i>	0.32	0.58	0.42	0.40
25	金合欢	<i>Acacia farnesiana</i>	0.48	0.72	0.06	0.40
26	杜仲	<i>Eucommia ulmoides</i>	0.49	0.60	0.12	0.40
27	珊瑚朴	<i>Celtis julianae</i>	0.27	0.56	0.46	0.39
28	南酸枣	<i>Choerospondias axillaris</i>	0.56	0.42	0.06	0.38
29	合欢	<i>Albizia julibrissin</i>	0.44	0.51	0.19	0.38
30	榔榆	<i>Ulmus parvifolia</i>	0.42	0.66	0.07	0.36
31	五角枫	<i>Acer pictum</i>	0.36	0.68	0.12	0.35
32	刺桐	<i>Erythrina variegata</i>	0.32	0.45	0.30	0.34
33	桃	<i>Prunus persica</i>	0.40	0.62	0.06	0.34
34	池杉	<i>Taxodium ascendens</i>	0.35	0.61	0.12	0.33
35	垂柳	<i>Salix babylonica</i>	0.26	0.68	0.16	0.31
36	乌桕	<i>Sapium sebiferum</i>	0.30	0.69	0.06	0.30
37	枳椇	<i>Hovenia acerba</i>	0.29	0.54	0.12	0.29
38	日本早樱	<i>Cerasus subhirtell</i>	0.31	0.54	0.10	0.29
39	山桐子	<i>Idesia polycarpa</i>	0.23	0.52	0.21	0.28
40	日本晚樱	<i>Cerasus serrulata</i>	0.30	0.54	0.03	0.26
41	鸡爪槭	<i>Acer palmatum</i>	0.21	0.59	0.12	0.26

表 5 常绿乔木名录及 3 种生态功能的评价值和道路绿化植物的综合优势值

序号	物种名	拉丁名	评价值			综合优势值
			外观美学	抗风抗涝	改善空气质量	
1	广玉兰	<i>Magnolia grandiflora</i>	0.69	0.55	0.50	0.60
2	枇杷	<i>Eriobotrya japonica</i>	0.55	0.73	0.48	0.56
3	浙江楠	<i>Phoebe chekiangensis</i>	0.54	0.63	0.47	0.54
4	山玉兰	<i>Magnolia delavayi</i>	0.55	0.53	0.49	0.53
5	紫楠	<i>Phoebe sheareri</i>	0.52	0.60	0.48	0.52
6	香樟	<i>Cinnamomum camphora</i>	0.71	0.55	0.08	0.48
7	乐昌含笑	<i>Michelia chapensis</i>	0.62	0.60	0.11	0.46
8	金叶含笑	<i>Michelia foveolata</i>	0.63	0.51	0.15	0.46
9	木樨	<i>Osmanthus fragrans</i>	0.65	0.62	0.04	0.45
10	深山含笑	<i>Michelia maudiae</i>	0.61	0.62	0.08	0.45
11	女贞	<i>Ligustrum lucidum</i>	0.54	0.79	0.06	0.44
12	木荷	<i>Schima superba</i>	0.63	0.55	0.07	0.44
13	樟叶槭	<i>Acer cinnamomifolium</i>	0.55	0.61	0.14	0.44
14	竹柏	<i>Podocarpus nagi</i>	0.62	0.51	0.07	0.43
15	桫欏木石楠	<i>Photinia davidsoniae</i>	0.55	0.68	0.05	0.42
16	冬青	<i>Ilex chinensis</i>	0.53	0.72	0.04	0.42
17	苦槠	<i>Castanopsis sclerophylla</i>	0.51	0.59	0.06	0.39
18	杜英	<i>Elaeocarpus decipiens</i>	0.52	0.58	0.04	0.38
19	浙江樟	<i>Cinnamomum chekiangense</i>	0.51	0.55	0.07	0.38
20	湿地松	<i>Pinus elliotii</i>	0.44	0.61	0.05	0.35
21	日本柳杉	<i>Cryptomeria japonica</i>	0.47	0.40	0.12	0.35
22	红楠	<i>Machilus thunbergii</i>	0.33	0.59	0.05	0.30

表 6 落叶灌木名录及 3 种生态功能的评价值和道路绿化植物的综合优势值

序号	物种名	拉丁名	评价值			综合优势值
			外观美学	抗风抗涝	改善空气质量	
1	木芙蓉	<i>Hibiscus mutabilis</i>	0.63	0.38	0.50	0.54
2	红端木	<i>Swida alba</i>	0.62	0.42	0.25	0.47
3	红叶李	<i>Prunus Cerasifera</i>	0.50	0.62	0.25	0.45
4	木槿	<i>Hibiscus syriacus</i>	0.54	0.44	0.30	0.44
5	海棠	<i>Malus chaenomeles</i>	0.60	0.40	0.19	0.43
6	紫丁香	<i>Syringa oblata</i>	0.58	0.47	0.13	0.42
7	梅	<i>Armeniaca mume</i>	0.56	0.40	0.21	0.42
8	笑靥花	<i>Spiraea prunifolia</i>	0.53	0.48	0.20	0.42
9	紫荆	<i>Cercis chinensis</i>	0.51	0.28	0.25	0.38
10	四季锦带	<i>Weigela florida</i>	0.32	0.53	0.21	0.33
11	紫薇	<i>Lagerstroemia indica</i>	0.38	0.26	0.29	0.33
12	海滨木槿	<i>Hibiscus hamabo</i>	0.15	0.51	0.49	0.33
13	山麻杆	<i>Alchornea davidii</i>	0.29	0.39	0.32	0.32
14	紫玉兰	<i>Magnolia liliflora</i>	0.38	0.36	0.17	0.31
15	日本海棠	<i>Chaenomeles japonica</i>	0.40	0.41	0.09	0.31
16	贴梗海棠	<i>Chaenomeles speciosa</i>	0.39	0.46	0.07	0.31
17	腊梅	<i>Chimonanthus praecox</i>	0.32	0.41	0.18	0.30
18	探春花	<i>Jasminum floridum</i>	0.31	0.57	0.06	0.28
19	地中海莢迷	<i>Viburnum tinus</i>	0.37	0.40	0.07	0.28
20	绣线菊	<i>Spiraea salicifolia</i>	0.29	0.45	0.13	0.27
21	迎春花	<i>Jasminum nudiflorum</i>	0.27	0.49	0.04	0.24
22	八仙花	<i>Hydrangea macrophylla</i>	0.29	0.42	0.04	0.24
23	金钟花	<i>Forsythia viridissima</i>	0.22	0.50	0.06	0.23
24	矮紫薇	<i>Lagerstroemia indica</i>	0.19	0.50	0.07	0.21
25	醉鱼草	<i>Buddleja lindleyana</i>	0.18	0.43	0.09	0.20
26	锦鸡儿	<i>Caragana sinica</i>	0.15	0.47	0.03	0.17

表 7 常绿灌木名录及 3 种生态功能的评价值和道路绿化植物的综合优势值

序号	物种名	拉丁名	评价值			综合优势值
			外观美学	抗风抗涝	改善空气质量	
1	四季桂	<i>Osmanthus fragrans</i> var. <i>semperflorens</i>	0.76	0.34	0.11	0.47
2	珊瑚树	<i>Viburnum odoratissinum</i>	0.65	0.38	0.18	0.45
3	红花檵木	<i>Loropetalum chinense</i>	0.51	0.63	0.22	0.44
4	桃叶珊瑚	<i>Aucuba chinensis</i>	0.47	0.35	0.42	0.43
5	红叶石楠	<i>Photinia</i> × <i>fraseri</i>	0.63	0.38	0.13	0.43
6	栀子花	<i>Gardenia jasminoides</i>	0.55	0.51	0.18	0.42
7	石楠	<i>Photinia serratifolia</i>	0.57	0.47	0.16	0.42
8	山茶	<i>Camellia japonica</i>	0.65	0.33	0.11	0.42
9	海桐	<i>Pittosporum tobira</i>	0.60	0.41	0.11	0.41
10	含笑花	<i>Michelia figo</i>	0.62	0.3	0.14	0.41
11	夹竹桃	<i>Nerium oleander</i>	0.62	0.31	0.12	0.40
12	金丝桃	<i>Hypericum monogynum</i>	0.44	0.68	0.13	0.39
13	金丝梅	<i>Hypericum patulum</i>	0.46	0.60	0.14	0.39
14	红花油茶	<i>Camellia Chekiangoleosa</i>	0.52	0.42	0.12	0.38
15	柑橘	<i>Citrus reticulata</i>	0.53	0.42	0.09	0.37
16	金边黄杨	<i>Euonymus japonicus</i>	0.52	0.45	0.09	0.37

表 7(续)

序号	物种名	拉丁名	评价值			综合优势值
			外观美学	抗风抗涝	改善空气质量	
17	辽东水蜡树	<i>Ligustrum obtusifolium</i>	0.44	0.52	0.12	0.36
18	锦绣杜鹃	<i>Rhododendron pulchrum</i>	0.44	0.34	0.23	0.36
19	胡柚	<i>Citrus maxima</i>	0.43	0.54	0.11	0.35
20	八角金盘	<i>Fatsia japonica</i>	0.39	0.25	0.33	0.35
21	蚊母树	<i>Distylium racemosum</i>	0.44	0.43	0.13	0.34
22	冬红山茶	<i>Camellia hiemalis</i>	0.41	0.43	0.13	0.33
23	枸骨	<i>Ilex cornuta</i>	0.43	0.39	0.09	0.32
24	金叶六道木	<i>Abelia grandiflora</i>	0.31	0.71	0.06	0.31
25	茶梅	<i>Camellia sasanqua</i>	0.42	0.42	0.07	0.31
26	金森女贞	<i>Ligustrum japonicum</i>	0.38	0.43	0.10	0.30
27	南天竹	<i>Nandina domestica</i>	0.38	0.46	0.05	0.29
28	皋月杜鹃	<i>Rhododendron indicum</i>	0.29	0.38	0.23	0.29
29	龟甲冬青	<i>Ilex crenata</i>	0.39	0.33	0.11	0.29
30	阔叶十大功劳	<i>Mahonia bealei</i>	0.28	0.44	0.18	0.28
31	小叶黄杨	<i>Buxus microphylla</i>	0.26	0.54	0.12	0.27
32	亮叶忍冬	<i>Lonicera ligustrina</i>	0.21	0.46	0.23	0.27
33	火棘	<i>Pyracantha fortuneana</i>	0.30	0.43	0.08	0.26
34	大叶黄杨	<i>Buxus megistophylla</i>	0.25	0.44	0.15	0.26
35	红叶小檗	<i>Berberis thunbergii</i>	0.30	0.46	0.05	0.25
36	朱砂根	<i>Ardisia crenata</i>	0.28	0.41	0.10	0.25
37	十大功劳	<i>Mahonia fortunei</i>	0.26	0.5	0.06	0.25

按生活型将记录的绿化种分类为乔木和灌木后,统计发现乔木和灌木各有 63 种,比例对半;按植物类型将其分类为常绿植物和落叶植物后,统计得到常绿植物和落叶植物分别有 59、67 种,所占比例相当。按照尹俊光等的理论,城市绿化植物组成与当地天然林物种组成的比较,可以判断城市森林群落的近自然程度以及绿化群落稳定性的水平<sup>[26]</sup>。宁波市处于北亚热带常绿阔叶林区,本研究以浙江天童国家森林公园的 20 hm<sup>2</sup> 天然林为例,常见乔木和灌木物种数的比例约为 0.71 : 1.00,个体大于 300 的常绿和落叶物种数的比例大致为 7 : 1<sup>[27]</sup>。宁波市道路绿化种的乔灌比例、常绿和落叶的比例,均明显和天然林不同,说明宁波市道路绿化植物形成群落的稳定性不高。按照乡土植物理论,当地绿化植物群落结构和自然林存在较大差距<sup>[4-5]</sup>。

3.2 宁波市城区道路不同生活型绿化植物性能的差异

按生活型将调查植物划分为乔木和灌木以及落叶植物和常绿植物后,对比(表 8)发现,外观美学、抗风抗涝、改善空气质量及综合优势值在常绿

乔木和落叶乔木之间没有显著差异,但常绿乔木的外观美学能力、抗风抗涝能力和绿化综合优势值的平均值高于落叶乔木,相反,落叶乔木改善空气质量能力的平均值高于常绿乔木。类似地,常绿灌木的外观美学能力和绿化综合优势值的平均值高于落叶灌木,但抗风抗涝没有差异,落叶灌木改善空气质量能力的平均值高于常绿灌木。这一结果说明,常绿植物和落叶植物(包括乔木和灌木)之间,常绿植物在外观美学、抗风抗涝上的能力,以及绿化适宜性(综合优势值)上略好于落叶植物,但差别不明显。相反,落叶植物在改善空气质量上略好于常绿植物。由此可以推断,宁波市道路绿化中,常绿植物和落叶植物的使用应考虑环境条件,在工业园区等空气较差的区域,可以适当增加落叶植物的比例,用于改善空气质量。但在绝大多数地区,常绿和落叶植物之间绿化性能没有显著差别,但考虑到常绿植物常年为绿期(有叶片时间),落叶植物生长季仅在 4—11 月,道路绿化时应着重考虑常绿植物,适当减小落叶植物的比例。

由表 8 可知,在落叶乔木和落叶灌木之间,前者



的外观美学能力、抗风抗涝能力和绿化综合优势值显著高于后者( $P < 0.05$ ),但改善空气能力没有显著差别。在常绿乔木和常绿灌木之间,前者的外观美学能力、抗风抗涝能力、改善空气质量能力和绿化综合优势值均显著高于后者( $P < 0.05$ )。这一结

果说明,乔木在道路绿化上性能远胜于灌木。据此可以推断,在道路绿化种的选择上,乔木应作为首要选择对象,而后再考虑植物配置的层次辅助搭配合适的灌木,增添比例和尺度的美感以及近地面改善空气的性能<sup>[28]</sup>。

表 8 不同植物生活型间外观美学、抗风抗涝、改善空气质量的评价值及综合优势值的差别

生活型及统计检验值		评价值			综合优势值
		外观美学	抗风抗涝	改善空气质量	
生活型	落叶乔木	0.50 ± 0.16 Aa	0.59 ± 0.10 Aa	0.18 ± 0.15 Aa	0.42 ± 0.09 Aa
	常绿乔木	0.56 ± 0.09 Aa	0.60 ± 0.08 Aa	0.17 ± 0.08 Aa	0.45 ± 0.07 Aa
	落叶灌木	0.38 ± 0.15 Ab	0.44 ± 0.08 Ab	0.18 ± 0.13 Aa	0.33 ± 0.09 Ab
	常绿灌木	0.44 ± 0.14 Ab	0.44 ± 0.10 Ab	0.14 ± 0.07 Ab	0.35 ± 0.06 Ab
独立样本 <i>t</i> 检验的结果	落叶乔木 VS 常绿乔木	$t = -1.59; P > 0.05$	$t = -2.00; P > 0.05$	$t = 0.23; P > 0.05$	$t = -1.26; P > 0.05$
	落叶灌木 VS 常绿灌木	$t = -1.62; P > 0.05$	$t = 0.01; P > 0.05$	$t = 1.44; P > 0.05$	$t = -0.81; P > 0.05$
	落叶乔木 VS 落叶灌木	$t = 3.00; P < 0.01$	$t = 6.72; P < 0.01$	$t = -0.07; P > 0.05$	$t = 3.80; P < 0.01$
	常绿乔木 VS 常绿灌木	$t = 3.54; P < 0.01$	$t = 6.08; P < 0.01$	$t = 0.70; P < 0.05$	$t = 5.22; P < 0.01$

注:同列数据后不同大写字母表示同一生活型的不同植物类型之间有显著性差异(落叶 VS 常绿)( $P < 0.05$ );同行数据后不同小写字母表示同一类型植物的不同生活型之间有显著性差异(乔木 VS 灌木)( $P < 0.05$ )。

3.3 宁波市常见道路绿化植物的筛选

在前文分析中,落叶乔木和常绿乔木、落叶灌木和常绿灌木在外观美学、抗风抗涝、改善空气质量的能力以及综合优势值上未有显著差异(表 8)。因此,筛选各个生态功能的绿化物种时,本研究不再将落叶和常绿分开,将评价值排名前 40% 的物种,作为宁波市道路绿化的主要物种。本研究共调查乔木和灌木物种数均为 63 种,它们前 30% 的物种均为 25 种。在 63 种乔木物种中,外观美学排名前 25 的植物为刺槐、银杏、香樟、槐树、朴树、广玉兰、榉树、栾树、枫香树、无患子、木樨、柿树、金叶含笑、木荷、黄连木、法国梧桐、乐昌含笑、竹柏、榉木、深山含笑、枫杨、厚朴、梧桐、杨梅和臭椿;抗风抗涝排名前 25 的植物为三角枫、女贞、重阳木、柿树、枇杷、冬青、金合欢、槐树、乌桕、榉树、无患子、栎木石楠、五角枫、垂柳、黄连木、榔榆、杨梅、喜树、朴树、浙江楠、木樨、深山含笑、桃、樟叶槭和湿地松;改善空气质量排名前 25 的乔木为臭椿、厚朴、广玉兰、山玉兰、枇杷、紫楠、榉树、浙江楠、珊瑚朴、山合欢、刺桐、落羽杉、榉木、枫杨、梧桐、喜树、山桐子、栾树、合欢、法国梧桐、垂柳、水杉、金叶含笑、樟叶槭和槐树;绿化植物综合优势值排名前 25 的植物为榉树、广玉兰、臭椿、枇杷、厚朴、浙江楠、山玉兰、紫楠、槐树、刺槐、栾树、榉木、银杏、枫杨、柿树、朴树、枫香树、香樟、无患子、梧桐、黄连木、喜树、金叶含笑、乐

昌含笑和深山含笑(表 9)。

在 63 种灌木种,外观美学排名前 25 的灌木为四季桂、珊瑚树、山茶、木芙蓉、红叶石楠、红瑞木、含笑花、夹竹桃、海棠、海桐、紫丁香、石楠、梅、栀子花、木槿、笑靥花、柑橘、红花油茶、金边黄杨、紫荆、红花檵木、红叶李、桃叶珊瑚、金丝梅和金丝桃;抗风抗涝排名前 25 的灌木为金叶六道木、金丝桃、红花檵木、红叶李、金丝梅、探春、胡柚、瓜子黄杨、四季锦带、辽东水蜡树、栀子花、海滨木槿、十大功劳、金钟花、矮紫薇、迎春花、笑靥花、紫丁香、石楠、锦鸡儿、贴梗海棠、南天竹、红叶小檗、亮叶忍冬和金边黄杨;改善空气质量排名前 25 的灌木为木芙蓉、海滨木槿、桃叶珊瑚、八角金盘、山麻杆、木槿、紫薇、紫荆、红叶李、红瑞木、皋月杜鹃、锦绣杜鹃、亮叶忍冬、红花檵木、四季锦带、梅、笑靥花、海棠、栀子花、珊瑚树、腊梅、阔叶十大功劳、紫玉兰、石楠和大叶黄杨;绿化植物综合优势值排名前 25 的灌木为木芙蓉、红瑞木、四季桂、红叶李、珊瑚树、木槿、红花檵木、桃叶珊瑚、海棠、红叶石楠、梅、笑靥花、栀子花、石楠、紫丁香、山茶、含笑花、海桐、夹竹桃、金丝梅、金丝桃、紫荆、红花油茶、金边黄杨和柑橘(表 9)。考虑到宁波市的地域环境,临海的海滨地区或海岛地区由于受到台风影响,植物抗风抗涝的能力需求较高,在道路绿化中,应着重考虑植物抗风抗涝能力,选择抗风抗涝能力较强的物种进化种植。

表 9 宁波市道路绿化植物生态功能的排序及适宜绿化植物的物种库

排名	乔木物种库				灌木物种库			
	外观美学	抗风抗涝	改善空气	综合性能值	外观美学	抗风抗涝	改善空气	综合性能值
1	刺槐	三角枫	臭椿	榉树	四季桂	金叶六道木	木芙蓉	木芙蓉
2	银杏	女贞	厚朴	广玉兰	珊瑚树	金丝桃	海滨木槿	红瑞木
3	香樟	重阳木	广玉兰	臭椿	山茶	红花檵木	桃叶珊瑚	四季桂
4	槐树	柿树	山玉兰	枇杷	木芙蓉	红叶李	八角金盘	红叶李
5	朴树	枇杷	枇杷	厚朴	红叶石楠	金丝梅	山麻杆	珊瑚树
6	广玉兰	冬青	紫楠	浙江楠	红瑞木	探春花	木槿	木槿
7	榉树	金合欢	榉树	山玉兰	含笑花	胡柚	紫薇	红花檵木
8	栎树	槐树	浙江楠	紫楠	夹竹桃	瓜子黄杨	紫荆	桃叶珊瑚
9	枫香树	乌桕	珊瑚朴	槐树	海棠	四季锦带	红叶李	海棠
10	无患子	榉树	山合欢	刺槐	海桐	辽东水蜡树	红瑞木	红叶石楠
11	木樨	无患子	刺桐	栎树	紫丁香	栀子花	皋月杜鹃	梅
12	柿树	椴木石楠	落羽杉	栎木	石楠	海滨木槿	锦绣杜鹃	笑靥花
13	金叶含笑	五角枫	栎木	银杏	梅	十大功劳	亮叶忍冬	栀子花
14	木荷	垂柳	枫杨	枫杨	栀子花	金钟花	红花檵木	石楠
15	黄连木	黄连木	梧桐	柿树	木槿	矮紫薇	四季锦带	紫丁香
16	法国梧桐	榔榆	喜树	朴树	笑靥花	迎春花	梅	山茶
17	乐昌含笑	杨梅	山桐子	枫香树	柑橘	笑靥花	笑靥花	含笑花
18	竹柏	喜树	栎树	香樟	红花油茶	紫丁香	海棠	海桐
19	栎木	朴树	合欢	无患子	金边黄杨	石楠	栀子花	夹竹桃
20	深山含笑	浙江楠	法国梧桐	梧桐	紫荆	锦鸡儿	珊瑚树	金丝梅
21	枫杨	木樨	垂柳	黄连木	红花檵木	贴梗海棠	腊梅	金丝桃
22	厚朴	深山含笑	水杉	喜树	红叶李	南天竹	阔叶十大功劳	紫荆
23	梧桐	桃	金叶含笑	金叶含笑	桃叶珊瑚	红叶小檗	紫玉兰	红花油茶
24	杨梅	樟叶槭	樟叶槭	乐昌含笑	金丝梅	亮叶忍冬	石楠	金边黄杨
25	臭椿	湿地松	槐树	深山含笑	金丝桃	金边黄杨	大叶黄杨	柑橘

工业园区,应从改善空气质量的物种库中筛选植物进行绿化。其他地方,综合考虑 3 种能力,从绿化植物综合优势值构成的物种库中,优先选择植物进行道路绿化。

按照绿化植物综合性能值进行分析,在筛选出较优的乔木绿化种中,木兰科植物最多,樟科植物次之,豆科、榆科、无患子科植物并列第 3。整合数据发现,木兰科植物外观美学和改善空气质量能力分别高出所有乔木种平均值 22.9%、134.43%,综合优势值高出所有乔木平均值 22.82%,但抗风抗涝潜力微低于其他乔木种。这表明,虽然木兰科植物的抗风抗涝潜力较低,但拥有符合大众审美的优越外貌以及相较其他乔木绿化种尤为出众的改善空气质量的能力,在城市道路绿化中,应将木兰科植物作为首选。此外,樟科植物的外观美学、抗风抗涝、改善空气质量和综合优势值分别高出所有乔

木平均值 17.78%、0.95%、108.32%、22.94%,说明樟科植物也是城市道路绿化种的一个重要来源。在筛选出较优的灌木绿化种中,蔷薇科植物数量最多,且生态功能的评价价值较高,其次为锦葵科、木樨科、山茶科和山茱萸科。比如,蔷薇科植物的外观美学、抗风抗涝、改善空气质量和绿化综合优势值分别高出所有灌木平均值 43.5%、5.49%、43.45%、28.71%。因此,在选择城市道路绿化植物时,应将蔷薇科的灌木作为首选。

4 讨论与结论

本次在宁波市共调查了 126 个物种,其仅占《浙江植物志》中植物总数的 27.06%,属于一个较小的比例。物种数量和囊括范围并不宽泛,极有可能存在未在本次调查之内的其他更适合城市道路绿化的物种,在后续工作中应继续深入调查。但通

过数值发现,木兰科、樟科、蔷薇科、锦葵科、木樨科、山茶科和山茱萸科等在外观美学、抗风抗涝、改善空气质量上具有优势,后期更多物种的选择可重点关注上述这几科的植物。此外,除本研究考虑的 3 种生态功能外,城市道路绿化植物还拥有为城市动物提供栖息地、保护城市物种多样性、固碳等功能<sup>[12,29]</sup>。这些功能就需要在城市道路绿化植物种群的构建中,涉及更多物种。因此,宁波市道路绿化,本研究建议以此次筛选出的物种库为基础,群落构建时将筛选种作为建群种、共建种和常见种,将排名 40% 之后的物种以及本研究未涉及的物种作为偶见种,利用近自然群落理论搭建城市道路绿化植物种群。

#### 参考文献:

- [1]汪俊芝. 城市道路绿化养护中存在的主要问题及应对策略[J]. 现代园艺,2018(8):182.
- [2]刘立民. 天津港适种绿化植物筛选与应用研究[D]. 天津:天津大学,2010.
- [3]马 远,贾雨龙,王 成,等. 北京市 3 种道路防护林春季滞尘规律研究[J]. 林业科学研究,2018,31(2):147-155.
- [4]梁 艳,杨晓杰,刘 敏,等. 齐齐哈尔市乡土树种在园林景观中的应用研究[J]. 北方园艺,2011(1):116-119.
- [5]杨柏钰,热米娜·克热木,拉孜提·木黑亚特,等. 乌鲁木齐市乡土植物和外来植物在城市绿化中优先性分析[J]. 新疆大学学报(自然科学版),2020,37(1):75-85,93.
- [6]李华威,穆 博,雷雅凯,等. 道路带状绿地景观评价及功能分析[J]. 浙江农林大学学报,2015,32(4):611-618.
- [7]李一伦,邹 霆,梁立军. 杭州市城区主干道路绿地植物景观调查与分析[J]. 北方园艺,2012(9):101-104.
- [8]李 晶,徐玉玲,黎桂英,等. 兰州市交通道路主要乔灌木植物叶片重金属积累及生理特性的分析[J]. 生态环境学报,2019,28(5):999-1006.
- [9]林双毅,周锦业,秦一芳,等. 莫兰蒂台风对厦门市主要道路绿化树种的影响[J]. 中国园林,2018,34(5):83-87.
- [10]王良睦,王中道,许海燕. 9914<sup>#</sup>台风对厦门市园林树木破坏情况的调查及对策研究[J]. 中国园林,2000,16(4):65-68.
- [11]王玉涛. 北京城市优良抗旱节水植物材料的筛选与评价研究[D]. 北京:北京林业大学,2008.
- [12]王 蕾,王 志,刘连友,等. 城市园林植物生态功能及其评价与优化研究进展[J]. 环境污染与防治,2006,28(1):51-54.

- [13]刘晓娟,马克平. 植物功能性状研究进展[J]. 中国科学(生命科学),2015,45(4):325-339.
- [14]李修鹏,杨晓东,余树全,等. 基于功能性状的常绿阔叶植物防火性能评价[J]. 生态学报,2013,33(20):6604-6613.
- [15]宁波市统计局. 2018 年末宁波全市常住人口是多少? 城镇化率是多少? [N/OL] (2019-12-02) [2020-09-24]. [http://tjj.ningbo.gov.cn/art/2019/12/2/art\\_1229042818\\_43267500.html](http://tjj.ningbo.gov.cn/art/2019/12/2/art_1229042818_43267500.html).
- [16]中国宁波网. 宁波森林地图首发 全市的森林资源、珍稀濒危物种上面都有了[N/OL]. (2019-03-12) [2020-09-24]. <http://news.cnnb.com.cn/system/2019/03/12/030034927.shtml>.
- [17]杨晓东. 常绿阔叶林植物光线利用和水分运输能力对树木构型垂直层次性的影响[D]. 上海:华东师范大学,2014.
- [18]张家洋,周君丽,任 敏,等. 20 种城市道路绿化树木的滞尘能力比较[J]. 西北师范大学学报(自然科学版),2013,49(5):113-120.
- [19]江胜利. 杭州地区常见园林绿化植物滞尘能力研究[D]. 杭州:浙江农林大学,2012.
- [20]时明芝,周保松. 植物涝害和耐涝机理研究进展[J]. 安徽农业科学,2006,34(2):209-210.
- [21]王毅娟,郭燕萍. 城市道路植物造景设计与生态环境[J]. 北京建筑工程学院学报,2004,20(4):75-78.
- [22]吴志华,李天会,张华林,等. 广东湛江地区绿化树种抗风性评价与分级选择[J]. 亚热带植物科学,2011,40(1):18-23.
- [23]祖若川. 海口市公园抗风园林植物的选择与应用[D]. 海口:海南大学,2016.
- [24]Freer-Smith P H, Holloway S, Goodman A. The uptake of particulates by an urban woodland: site description and particulate composition[J]. Environmental Pollution,1997,95(1):27-35.
- [25]Lovett G M, Lindberg S E. Concentration and deposition of particles and vapors in a vertical profile through a forest canopy [J]. Atmospheric Environment. Part A. General Topics,1992,26(8):1469-1476.
- [26]尹俊光,彭 鹂,章君果,等. 城市近自然森林生态效益研究[J]. 华东师范大学学报(自然科学版),2009(5):63-74.
- [27]杨庆松,马遵平,谢玉彬,等. 浙江天童 20 ha 常绿阔叶林动态监测样地的群落特征[J]. 生物多样性,2011,19(2):215-223.
- [28]刘 库,李 河. 浅谈城市道路绿化树种的设计与选择[J]. 防护林科技,2002(3):37-38.
- [29]Williams N S G, Hahs A K, Vesk P A. Urbanisation, plant traits and the composition of urban floras[J]. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics,2015,17(1):78-86.