

## 宁波主要园林树种木材物理力学性质及抗风能力评价

楼璐, 何云核\* (浙江农林大学风景园林与建筑学院, 浙江杭州 311300)

**摘要** [目的]掌握宁波主要园林树种的抗风能力。[方法]调查9号、18号台风过后宁波主城区园林树种的受害情况,筛选出8个种植范围较广且较为典型的园林树种进行相关试验分析。测定8个树种枝条的木材纤维特性、木材力学性质、抗风性能,分析木材性质与抗风值的相关性,综合评价抗风性。[结果]抗风值与枝条纤维长宽比(相关系数0.843)、枝条弯曲弹性模量(相关系数0.779)存在强正相关。8个树种中,以柚、木犀、樟、水杉的抗风能力较好,广玉兰、构树、意杨的枝条抗风能力较差。[结论]该研究为今后宁波市市区园林树种的选择与应用提供了科学依据。

**关键词** 园林树种;纤维长度;纤维宽度;弹性模量;抗风能力

中图分类号 S781 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)12-0116-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2021.12.029



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Evaluation of Wood Properties and Wind Resistance of Branches of Major Garden Trees in Ningbo

LOU Lu, HE Yun-he (School of Landscape Architecture, Zhejiang A&F University, Hangzhou, Zhejiang 311300)

**Abstract** [Objective] To master the wind resistance ability of main garden trees in Ningbo. [Method] The damage of landscape tree species in the main urban area of Ningbo after typhoon No.9 and No.18 was investigated. Eight typical landscape tree species with wide planting range were selected and analyzed. The wood fiber properties, wood mechanical properties and wind resistance of 8 tree species were measured, and the correlation between wood properties and wind resistance was analyzed. [Result] There was a strong positive correlation between wind resistance value and fiber aspect ratio (correlation coefficient 0.843) and bending modulus of elasticity (correlation coefficient 0.779). Among the 8 tree species, *Citrus maxima*, *Osmanthus fragrans*, *Cinnamomum camphora*, *Metasequoia glyptostroboides*, while *Magnolia grandiflora*, *Broussonetia papyrifera* and *Populus euramericana* had lower wind resistance. [Conclusion] This study provides a scientific basis for the selection and application of landscape tree species in Ningbo City in the future.

**Key words** Garden tree species; Fiber length; Fiber width; Modulus of elasticity; The wind resistance ability

宁波地处我国东南沿海台风多发地区。在夏季,风害是宁波等多风地区毁坏城市绿化的主要自然灾害之一。因此,选择抗风性良好的植物作为行道树、沿海防护林、园林绿化、建筑绿化等,是城市环境建设的迫切需求<sup>[1]</sup>。据统计,2007年至今对宁波市造成影响的台风数量为46个,平均每年3.5个<sup>[2]</sup>,且几乎每年对宁波的农林牧渔业造成巨大影响。历年来,影响宁波的台风数量有增无减,随着气象部门对台风预测能力的提升,群众抗台应急意识的增强,城市绿化部门相关预防及灾后重建措施的完善,使台风对宁波的影响处于可控制范围内。但台风后大量行道树的倒伏对绿化及交通的影响较大,如何选择适宜宁波生长又具有较好抗风能力的行道树树种并进行合理配置是目前值得探讨的问题。目前国内外关于林木抗风能力的研究较少,国内更多偏向于林分尺度,表现在林分布局、营林措施对抗风效果的影响等方面<sup>[3]</sup>,国外主要对风力大小、方向和植株自身特性进行综合研究评价<sup>[4]</sup>。笔者对宁波市市区受损程度较大地区行道树展开调查,选择主要园林树种并对其树木枝条进行内部纤维与力学性质测定,并使用层次分析法将试验结果与相关影响因素进行分析筛选出较好树种,以期今后宁波市市区园林树种的选择与应用提供科学依据。

## 1 材料与方

**1.1 风害调查与样本采集** 选区为宁波海曙区环城西路与段塘东路交界处往西南方向170 m处的街边公园、月湖公园

及不同走向的主要干道。在9号、18号台风后对样区进行调查,2次台风后树木情况:意杨、黄山栎树、广玉兰整株倒伏,木犀、构树、柚、樟、水杉均有不同程度的枝桠断裂情况。

综合上述情况,采集以上8种并选择长势较好的树木,用高枝剪剪取15~20根生长于树干且直挺无虫害树枝作为试样。根据五级风害等级评估树种受害情况,估算相应的抗风值。I级:主干折断等必须更换,得1分;II级,连根拔起或倾斜倾角在45°以上等需扶起种植,得2分;III级,枝条折断(包括主干折断但仍可继续种植),得3分;IV级,倾斜倾角在45°以下需扶正,得4分;V级,主干皮伤及护树设施损坏,得5分<sup>[5]</sup>。

抗风值=(I级风害抗风值×株数+II级风害抗风值×株数+III级风害抗风值×株数+IV级风害抗风值×株数+V级风害抗风值×株数)/总株数<sup>[6]</sup>。

## 1.2 木材性质测定方法

**1.2.1 纤维特性。**采用硝酸-氯酸钾法,即Schaltze法<sup>[7]</sup>测定。取5根试样劈成火柴杆大小,随机抽取5~8根试样放入试管中,倒入30%硝酸淹没试样,再加入适量氯酸钾后置于60~80℃水浴锅中加热。待试样变成黄白色或白色时,用玻璃棒试触试样两端,若两端软化即证明离析完成。待试管冷却后用水冲洗数次至无酸为止,再注水至试管中,用手指按住试管口用力振荡。取木材细胞分离后的溶液滴1~2滴番红试剂染色,用胶头滴管取适量液体滴于载玻片上,盖上盖玻片,用吸水纸吸取盖玻片上多余水分。

选择两端尖、壁厚腔小、完整的细胞在光学显微镜下进行观察,并测定纤维长度、宽度、腔径。测定时每个样本中取

**作者简介** 楼璐(1996—),女,浙江宁波人,硕士研究生,研究方向:园林植物应用。\*通信作者,教授,硕士生导师,从事园林植物、植物分类与生态研究。

**收稿日期** 2020-10-14

200 根纤维进行读数,获得数据后计算平均值进行记录。试验获得纤维长度、宽度、壁厚、腔径等基本形态指标,可进一步计算出长宽比、壁腔比、腔径比等指标。

**1.2.2 力学性质。**取基本直径为 1.5 cm,尺寸公差为 0.3 mm 的试样 10~15 个。其中,拉伸样本试验长度为 4 cm 柱体,压缩样本试验长度为 3 cm,弯曲样本试验长度 14 cm。试验在 WDW-100 微机控制电子万能试验机上操作。在万能试验机上安装量程为 15 kN 的力传感器。拉伸、压缩、弯曲试验步骤基本相同:先打开软件,在进行拉伸与压缩试验前,输入试样直径与试验长度;进行弯曲试验前输入有效变形长度与试样直径。拉伸试验中样本中段需安装 Y40/5 力传感器检测试验载荷,压缩、弯曲试验均可从软件中直接进行读数。准备试验时将力值读数清零,开始试验,当读数到达试样屈服强度时终止试验。在软件中可直接读取试验数据,计算出每个树种的相关力学性质。

**1.3 抗风性综合评价**

**1.3.1 评价方法、指标体系建立与分级。**依据上述试验结果并参考已有研究成果<sup>[8-13]</sup>,使用层次分析法与综合评价法对选择树种进行抗风性综合评价。筛选影响树种抗风能力的 6 个指标:树木类型、冠形、根系情况、叶片疏密度、枝条纤维长宽比、枝条弯曲弹性模量。

树木类型分为常绿大乔木/乔木、常绿小乔木、落叶乔木 3 级;根系情况分为不发达、一般、发达 3 级;冠形分为圆锥形/伞形、圆柱形、扁圆形 3 级;叶片疏密度分为浓密、密、一般、稀疏 4 级。根据试验结果,弯曲弹性模量、纤维长宽比与抗风能力成正相关。

**1.3.2 层次分析法。**构建判断矩阵,对各指标的影响程度咨询专家意见,判断各指标的相对重要性。通过计算最大特征根  $\lambda_{max}$  对判断矩阵的一致性进行检验,CR 小于 0.1 则可确定评价结果的合理性和数据的可靠性,最终得出各指标的权重。

**1.3.3 综合评价法。**根据综合评价指标体系建立对应模型,通过各指标对应权重对所选园林树种的抗风性能进行综合评分计算。评分准则:常绿大乔木/乔木 3 分、常绿小乔木 2 分、落叶乔木 1 分;根系不发达 1 分、根系发达情况一般 2 分、根系发达 3 分;冠形圆锥形/伞形 3 分、圆柱形 2 分、扁圆形 1 分;叶片疏密度浓密 1 分、密 2 分、一般 3 分、稀疏 4 分。弯曲弹性模量、纤维长宽比按照数据分为 4 级,从小到大分别对应 1~4 分。

**2 结果与分析**

**2.1 不同树种材性性状与抗风效果比较**

**2.1.1 不同树种枝条木材纤维特性比较。**由图 1 可以看出,不同树种枝条的木材纤维特性存在较大不同,水杉枝条的平

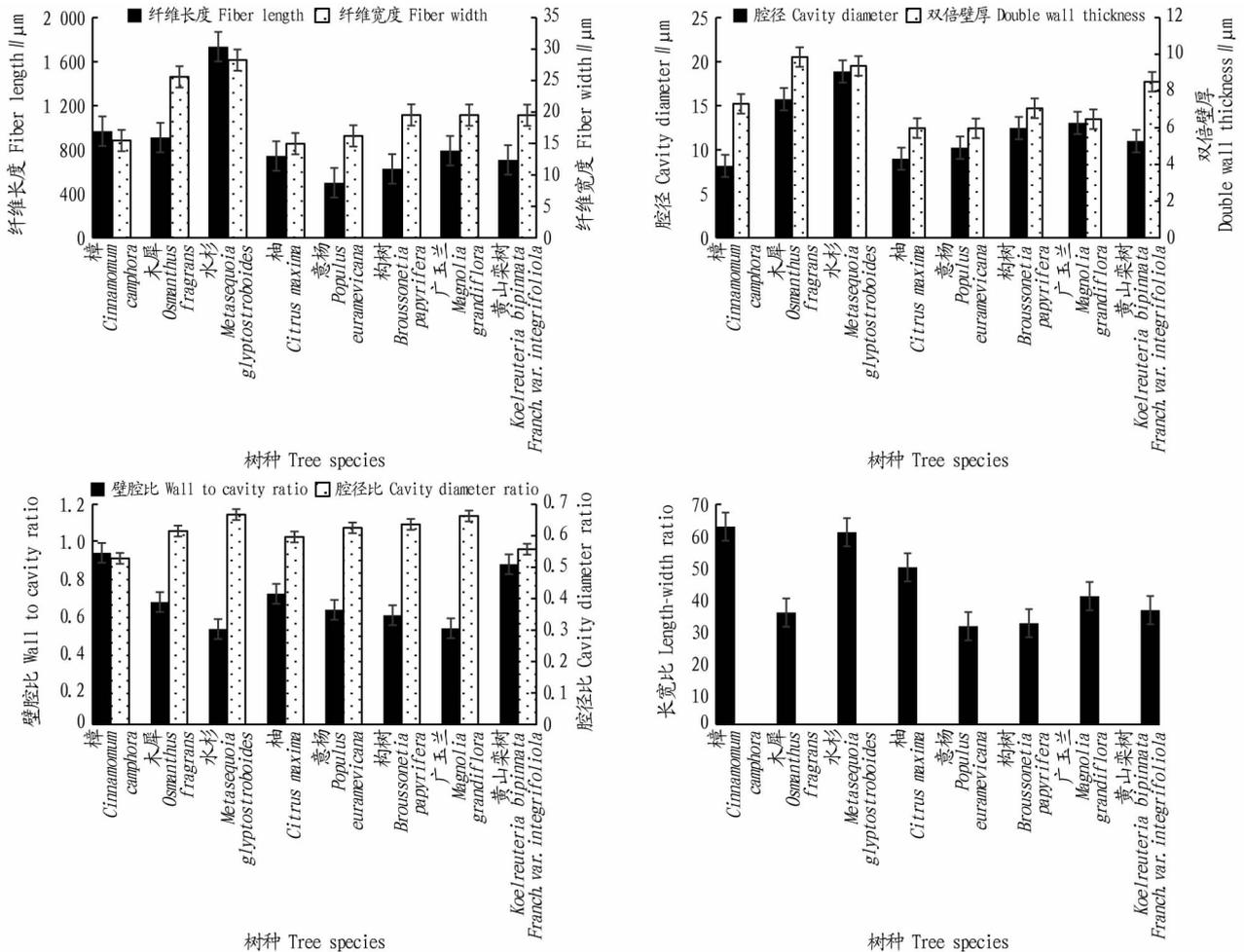


图 1 不同树种枝条的木材纤维特性比较

Fig.1 Comparison of wood fiber characteristics of branches of eight species

均纤维长度(1 735.865  $\mu\text{m}$ )、纤维宽度(28.259  $\mu\text{m}$ )、双倍壁厚(9.367  $\mu\text{m}$ )、腔径比(0.667)、长宽比(61.113)均较大,壁腔比(0.520)最小;樟枝条的纤维平均壁腔比(0.935)最大,腔径比(0.528)较小;意杨枝条的平均纤维长度(499.614  $\mu\text{m}$ )、双倍壁厚(5.964  $\mu\text{m}$ )、长宽比(31.227)均小于其他树种。

**2.1.2 不同树种枝条木材力学性质比较。**在树木枝条承受大风时,树枝不仅会发生弯曲形态变化,还会在受力点正反面受到压缩与拉伸应力作用,当受力达到其屈服强度时,树枝发生断裂。从图2可见,木犀枝条的压缩弹性模量

(1 049.10 MPa)与屈服强度(118.01 MPa)最大,弯曲弹性模量(3 986.88 MPa)也较大;构树枝条的弯曲弹性模量(4 294.14 MPa)、拉伸弹性模量(7 280.57 MPa)最大,其余力学性能也较好;黄山栎枝条的压缩弹性模量(456.00 MPa)与拉伸弹性模量(505.68 MPa)均小于其他树种。弹性模量与屈服强度越大,枝条抵抗外力变形的能力越好,越不容易发生变形。由试验结果可知,木犀、柚、构树、樟枝条相关弹性模量与屈服强度值较大,因此这4种树种在同样受风情况下不易折断。

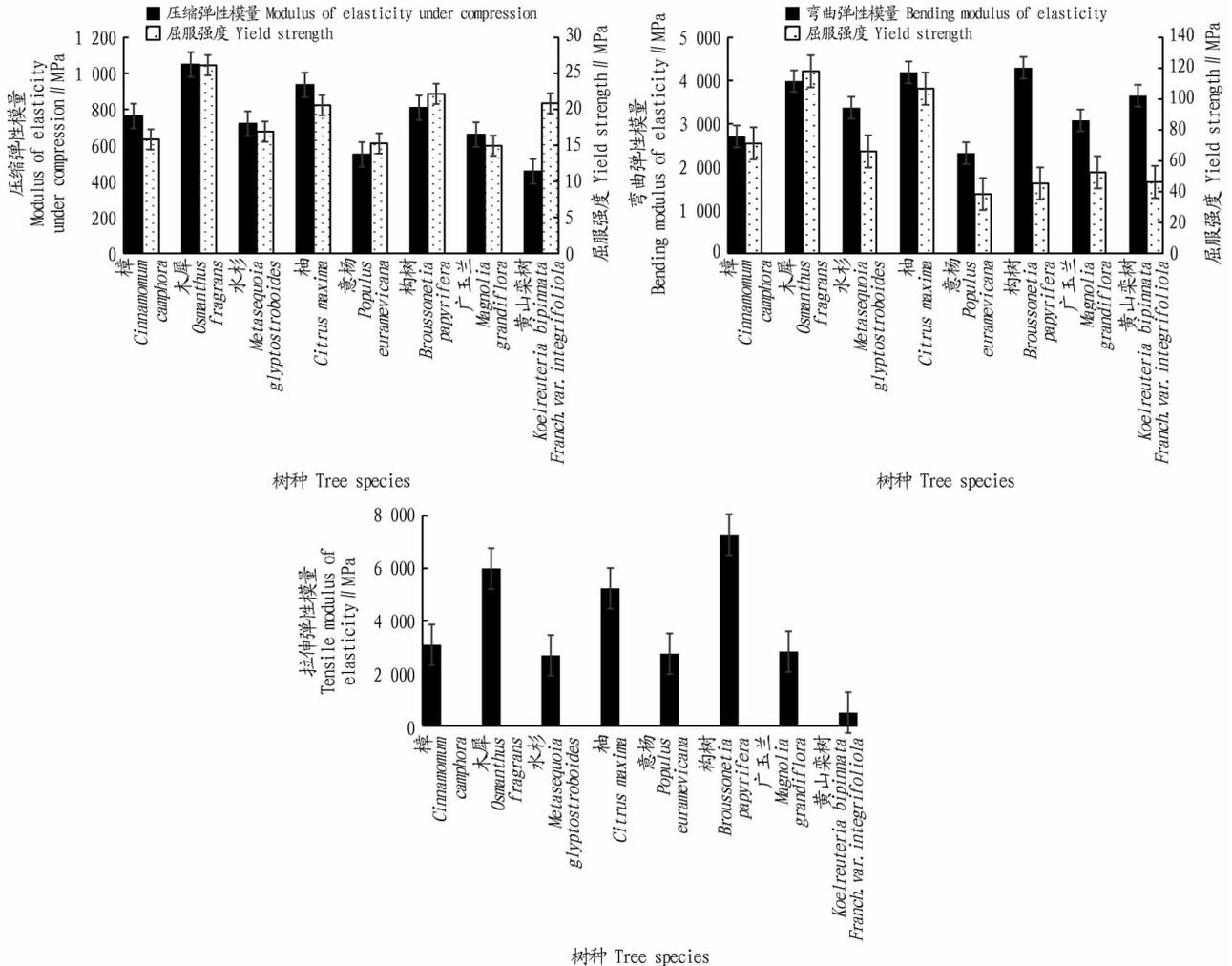


图2 不同树种枝条的木材力学性质比较

Fig.2 Co MParison of wood mechanical properties of branches of eight tree species

**2.1.3 不同树种木材抗风效果比较。**选区内大部分树木在台风过境后存在枝桠断裂的情况,按照风害等级评估标准可知,意杨受损较为严重,部分整株倒伏,主要风害等级为I级;而樟、黄山栎、木犀大多为枝条折断,并无大量整株倒伏现象,II、III级风害占总风害等级中大部分;柚、水杉、构树普遍未出现大面积受损现象。根据表1比较分析可知,各树木的抗风值由大到小为柚、水杉、构树、木犀、广玉兰、樟、黄山栎、意杨。

**2.2 枝条木材性质与抗风值的相关性分析**用Pearson函数对抗风值与试验数据进行相关性分析,结果见表2。由表2可知,抗风值与枝条纤维长宽比、枝条弯曲弹性模量存在极

显著、显著正相关,与其他纤维性状、力学性质呈不显著相关。这与许秀玉等<sup>[6]</sup>在不同树种木材性质及其抗台风性能的研究结果基本一致。

## 2.3 抗风性综合评价

**2.3.1 层次分析法。**由表3可知,权重值较高的为弯曲弹性模量( $W=0.3309$ )、枝条纤维长宽比( $W=0.2627$ )与根系情况( $W=0.1490$ ),权重值较低的是冠形( $W=0.0804$ )与叶片疏密度( $W=0.0596$ )。通过计算得最大特征根 $\lambda_{\max}=6.4812$ ,一致性指标 $(CI)=0.0962$ ,随机一致性比值 $(CR)=0.0764$ ,值小于0.1000,有较好的一致性,证明评价结果合理。

表 1 不同树种风害等级与抗风值

Table 1 Wind damage grade and wind resistance value of different tree species

序号 No.	树种 Tree species	常绿/落叶 Evergreen/ Deciduous	针叶/阔叶 Conifer/ Broadleaf	数量 Number 株	不同风害等级树木数量 Number of trees with different wind damage grades//株					抗风值 Wind resi- stance value
					I 级 Grade I	II 级 Grade II	III 级 Grade III	IV 级 Grade IV	V 级 Grade V	
1	樟	常绿	阔叶	71			34	17	20	3.80
2	木犀	常绿	阔叶	13		2	4		7	3.92
3	水杉	落叶	针叶	11			2		9	4.64
4	柚	常绿	阔叶	5				1	4	4.80
5	意扬	常绿	阔叶	14	3	1	2	4	4	3.35
6	构树	落叶	阔叶	9			3		6	4.33
7	广玉兰	常绿	阔叶	15	2	3			10	3.87
8	黄山栎树	落叶	阔叶	27	1	2	11	7	6	3.56

表 2 树种枝条木材性质与抗风值相关性分析

Table 2 Correlation analysis of wood properties and wind resistance of tree branches

指标 Index	抗风值 Wind resistance value	纤维长度 Fiber length	纤维 宽度 Fiber width	腔径 Cavity diameter	双倍壁厚 Double wall thickness	长宽比 Aspect ratio	壁腔比 Wall to cavity ratio	腔径比 Cavity diameter ratio	压缩弹 性模量 Compres- sion modulus of elas- ticity	屈服强 度(压缩) Yield strength (compr- ession)	弯曲弹 性模量 Bending modulus of elas- ticity	屈服强 度(弯曲) Yield strength (bending)	拉伸弹 性模量 Tensile modulus of elas- ticity
抗风值 Wind resistance value	1.000												
纤维长度 Fiber length	0.495	1.000											
纤维宽度 Fiber width	0.254	0.726*	1.000										
腔径 Cavity diameter	0.311	0.709*	0.976**	1.000									
双倍壁厚 Double wall thickness	0.066	0.619	0.854**	0.719*	1.000								
长宽比 Aspect ratio	0.843**	0.809*	0.341	0.356	0.236	1.000							
壁腔比 Wall to cavity ratio	-0.336	-0.237	-0.484	-0.659	0.030	-0.142	1.000						
腔径比 Cavity diameter ratio	0.322	0.276	0.533	0.702	0.025	0.147	-0.996**	1.000					
压缩弹性模量 Compression modulus of elasticity	0.572	0.156	0.209	0.187	0.218	0.375	-0.128	0.084	1.000				
屈服强度(压缩) Yield strength (compression)	0.220	-0.132	0.321	0.214	0.508	-0.094	0.095	-0.096	0.593	1.000			
弯曲弹性模量 Bending modulus of elasticity	0.779*	0.270	0.270	0.218	0.336	0.583	0.012	-0.019	0.718*	0.672	1.000		
屈服强度(弯曲) Yield strength (bending)	0.458	0.217	0.197	0.123	0.332	0.340	0.111	-0.136	0.864**	0.572	0.571	1.000	
拉伸弹性模量 Tensile modulus of elasticity	0.486	-0.167	0.048	0.086	-0.051	0.139	-0.302	0.245	0.813*	0.576	0.665	0.449	1.000

注: \* 表示显著相关( $P < 0.05$ ), \*\* 表示极显著相关( $P < 0.01$ )

Note: \* indicates significant correlation, \*\* indicates extremely significant correlation

表 3 判断矩阵及各指标相对权重值

Table 3 Judgment matrix and relative weight value of each index

指标 Index	树木类型 Types of trees	冠形 Crown shape	根系情况 Root system	叶片 疏密度 Blade density	枝条纤 维长宽比 Ratio of branch fiber length to width	枝条弯曲 弹性模量 Bending modulus of elasticity of branches	相对权 重值(W) Relative weight value
树木类型 Types of trees	1	3	1	3	1/5	1/5	0.117 5
冠形 Crown shape	1/3	1	1/2	2	1/3	1/3	0.080 4
根系情况 Root system	1	2	1	3	1/2	1/2	0.149 0
叶片疏密度 Blade density	1/3	1/2	1/3	1	1/3	1/3	0.059 6
枝条纤维长宽比 Ratio of branch fiber length to width	5	3	2	3	1	1/2	0.262 7
枝条弯曲弹性模量 Bending modulus of elasticity of branches	5	3	2	3	2	1	0.330 9

**2.3.2 综合评价法。**根据综合评价指标体系建立对应模型,通过各指标对应权重对所选园林树种的抗风性能进行综合评分。对表4中园林树种枝条抗风性综合评分进行排序,由高到低为柚、木犀、樟、水杉、黄山栾树、广玉兰、构树、意杨。

评分结果与对选区实地调查结果较为贴合,即枝条抗风能力较强的柚、木犀、樟、水杉受到风害多为枝条断裂,枝条抗风能力较差的广玉兰、构树、意杨存在主干折断与整株倒伏的现象。

表4 不同树种抗风性综合评分

Table 4 Comprehensive wind resistance score of different species

序号 No.	树种 Tree species	树木类型 Types of trees	冠形 Crown shape	根系情况 Root system	叶片疏 密度 Leaf density	枝条纤维 长宽比 Ratio of branch fiber length to width	枝条弯曲 弹性模量 Bending modulus of elasticity of branches	综合评分 Compre- hensive score (Y)
1	樟	0.36	0.16	0.45	0.12	1.04	0.33	2.46
2	木犀	0.24	0.16	0.45	0.12	0.52	0.99	2.48
3	水杉	0.12	0.32	0.45	0.18	1.04	0.33	2.44
4	柚	0.36	0.16	0.45	0.12	0.78	0.66	2.53
5	意杨	0.12	0.16	0.45	0.12	0.26	0.33	1.44
6	构树	0.12	0.24	0.15	0.12	0.52	0.99	2.14
7	广玉兰	0.36	0.16	0.45	0.18	0.52	0.66	2.33
8	黄山栾树	0.12	0.16	0.45	0.18	0.52	0.99	2.42

表4中综合评分较高的树种,如柚和木犀的特点为根系发达且枝条弯曲弹性模量较大;樟的枝条弯曲弹性模量偏小,但其为材性结构坚硬的常绿大乔木;圆锥形冠形<sup>[14]</sup>如水杉,也有助于树种抗风能力的提升。对于综合评分较低的树种,多是在某些性状上不利于抗风,如构树,尽管其枝条弯曲弹性模量大,冠形抗风,但因其根系较浅,在台风过境时易整株倾倒或连根拔起。意杨尽管根系发达,但其枝叶浓密、树冠庞大且枝条纤维长宽比值小即木材密度低,台风中易出现断枝断干等现象。

### 3 结论与讨论

(1)该研究表明,枝条纤维长宽比与弯曲弹性模量是影响树种抗风值的主要因素且二者成正比,根系发达与否也是影响抗风能力的重要因素。枝条纤维长宽比与密度存在线性关系<sup>[6]</sup>,因此根系发达,枝条纤维长宽比与弯曲弹性模量越大,木材越致密的园林树种抗风性强。

(2)在目前城市园林树种应用中,樟作为行道树大面积使用;木犀枝条抗风能力较好,树形也符合上述条件,可作为行道树树种的优良选择。柚四季常绿,果实秋末成熟,作为点缀间植在道路两侧以丰富较为单调的道路景观,而水杉由于其移植存活率低且对水分需求较大,可以选择在道路近水处种植。

(3)该研究从树种本身出发,对枝条木材性质与物理力学性质进行试验,再将试验所得结果与重要影响因素进行综合分析,结果表明,枝条纤维长宽比、枝条弯曲弹性模量、根系情况是影响抗风能力的主要因素。但抗风能力还应综合

考虑树种立地条件<sup>[12]</sup>、受风强弱、受风时间长短、种植密度等因素。同时在城市园林树种的选择中还需考虑适地适树、文化相关、植物配置等,这有待于今后进一步研究。该结论与实际情况较为吻合,希望对宁波抗风园林树种的选择提供参考。

### 参考文献

- [1] 周丁一,王英姿.台风多发地区植物抗风性能及其防护措施研究进展[J].汕头大学学报(自然科学版),2018,33(1):73-80.
- [2] 陈望春,许洁.宁波市近年台风及灾害损失分析[J].中国水利,2016(7):28-29,32.
- [3] 段溪.亚热带泥质海岸68个防护林树种抗风性能比较分析[D].南京:南京林业大学,2012.
- [4] HADIWINOTO S, LEITMANN J. Urban environmental profile [J]. Cities, 1994, 11(3): 153-157.
- [5] 朱伟华,谢良生.台风灾害对深圳城市园林树木的影响和对策:以9910号台风为例[J].广东园林,2001,23(1):25-28.
- [6] 许秀玉,王明怀,仲崇禄,等.不同树种木材性质及其抗台风性能[J].浙江农林大学学报,2014,31(5):751-757.
- [7] PANSIN A J, DE ZEEUW C. Textbook of wood technology [M]. New York: McGraw-Hill Book company, 1980.
- [8] 成俊卿.木材学[M].北京:中国林业出版社,1985.
- [9] 张秀标,邱坚,聂梅凤,等.两种样地西南桦人工林木材纤维形态及变异规律[J].东北林业大学学报,2013,41(12):64-67,71.
- [10] 骆昱春,杨桦,曾志光,等.东京野茉莉木材性质分析与利用[J].江西农业大学学报,2007,29(1):77-80.
- [11] 祖若川,罗立娜,刘晶,等.滨海公园棕榈类植物抗风性调查与评价分析[J].北方园艺,2016(5):89-94.
- [12] 杨莉莉.浙江省沿海城市行道树抗风能力调查研究[D].杭州:浙江大学,2006.
- [13] 李慧仙,信文海.华南沿海城市绿化抗风树种选择及防风措施[J].华南热带农业大学学报,2000,6(1):15-17.
- [14] 黄笑,云挺,薛联凤,等.基于流体运动仿真的不同林冠形状抗风强度分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(2):107-113.