

园林树木形态因子与树种抗风能力关系探讨

黄义钧¹, 何国强², 张建华³, 刘永金⁴

1. 深圳仙湖植物园, 广东 深圳 518036; 2. 深圳大学 有害生物防控中心, 广东 深圳 518060;
3. 江西金乔园林股份有限公司, 南昌 330202; 4. 深圳梧桐山风景区管理处, 广东 深圳 518004

摘要:为探索树木形态因子与树种抗风性能间的关系,在查阅了近 40 年的研究资料,调查分析了深圳城区树木受 2018 年台风“山竹”危害情况的基础上,基于形态因子的基本特征提出了园林树种抗风性能的评分标准,构建以树干与材质等 10 个形态指标及 1 个生长因子的理论抗风模型,对 48 种常见园林树木的抗风能力进行分析与评价,并对抗风模型进行了有效性检验。结果表明:① 11 个因子中:根系状况、树干与材质、树体健康度、根冠比与树种抗风性能直接相关;根系发达,气干密度大,长势旺盛且根冠比值大的树种抗风力强。② 方差分析说明按理论抗风模型评价的树种抗风能力与实际调查的结果差异不具有统计学意义。③ 把 85 个树种按抗风性强弱划为 4 类,1 类为抗风性能强的,有 12 种;2~3 类属一般性抗风的,分别有 42 种和 13 种;4 类为抗风性差的,有 18 种。

关键词:园林树木;抗风能力;形态因子;台风;风害;方差分析

中图分类号: Q948.12

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2020)05-0069-11

近 30 年来全球气候变化加剧,各种极端气象灾害频发,影响我国东南沿海地区的台风有显著加强和增多的趋势。台风具有发生频率高、突发性强、影响范围广和成灾强度大等特点。在登陆过程中,它除了严重干扰人民的正常生产和生活之外,还对城市基础设施,尤其是绿地系统造成极大破坏。

据统计,平均每年有 9 个台风在中国沿海地区登陆,其中 90% 集中登陆东南沿海的浙江、福建、台湾、广东、海南至广西等省、自治区。其中 2014 年 7 月影响海南省北部的台风“威马逊”和 2018 年 9 月横扫珠三角地区的台风“山竹”最为著名,两次台风的共同特点为风力超强、瞬时雨量大、持续时间长、波及范围广和灾害程度重等。面对突如其来的台风灾害,如何更加全面地开展相关研究,不断完善防风和减灾体系,是迫切需要解决的问题。

改革开放以来,伴随着经济的快速发展,东南沿海地区的城市绿地系统建设也在不断完善与提升。围绕台风对园林树种的影响和园林树木的抗风性能的研究备受关注,研究内容也更加深入和系统。有关学者研究发现^[1-4] 树木风害普遍与立地条件和管养措施密切相关,并就相关细节作了阐述。有关树种抗风性的研究不断完善和系统化,但针对树种生物学特性抗风性评价的研究鲜少得到关注。本研究针对树种生物学特性,提出基

收稿日期: 2019-04-30

基金项目: 广东省林业科技创新项目(2018KJCX023);深圳市城市管理与综合执法局科研基金项目(202009);深圳市坪山区城市管理与综合执法局科研基金项目(20180901)。

作者简介: 黄义钧(1985—),男,硕士,主要从事植物引种及园林植物应用。

通信作者: 何国强,高级工程师。

于树种形态因子的抗风性能评价体系,探讨树木形态因子与抗风能力关系的模型,以期在实际工作中对园林树种抗风性能的评价提供理论依据及技术支持.

1 研究材料与方法

1.1 调查研究材料

1) 调查时间、地点

2018 年 9 月 16 日,14 级超强台风“山竹”自东向西横扫珠三角沿海地带.调研组于风灾后第 2 天,即 2018 年 9 月 17 日,选取深圳市 40 条代表性的道路,包括横向的滨河(海)大道、北环大道、深南大道、笋岗路和泥岗路等,纵向的宝安大道、龙岗大道、梅龙大道和南海大道等道路为对象进行风害受损情况调查.公园受风害情况调查主要包括:莲花山公园、园博园、笔架山公园、中心公园、深圳湾公园、香蜜公园、仙湖植物园和大鹏地质公园等.

2) 调查内容

乔木类选择标准:生长 5 年以上,胸径大于 10 cm;灌木类选择标准:株高大于 1 m,园林中被广泛应用的树种.风害指标调查:折干率、倒伏率、倾斜率(前 3 项均指主干)和折枝率;形态学指标调查:树干与材质、枝条柔韧度、根系状况、冠形、冠层密度、树体健康度、分枝角度、根冠比、冠径比、冠高比和树龄.其中形态学指标数据源于其他项目或文献资料.

1.2 调查与研究方法

1.2.1 “山竹”台风对深圳园林树木危害情况调查

采用随机区域调查法,道路是沿主要道路的上、下行方向依次对每种树木进行拍照记录,并在表格中登记树种、风害受损情况和形态因子特征等.公园是从不同入口开始随机选 3 个区域,各区域样方面积为 50 m × 50 m,方法与道路调查相同.

1.2.2 资料综合整理分析

1.2.2.1 历年台风研究中园林树种抗风能力排序

查阅以往 40 年内有关树种抗风性研究文献^[2,4-23],对树种抗风性分析和抗风能力排序进行整理,得到共同涉及的树种有 48 种.

1.2.2.2 台风“山竹”园林树种综合抗风能力排序

对调查所得树种按折杆、倒伏、倾斜和折枝的风害等级类型依次计算受害率,以文献共同涉及的 48 个树种为基础,进行树种抗风性分析及排序.

1.2.3 数据标准化计算方法

1.2.3.1 历年研究中园林树种抗风能力排序计算

1) 将各研究中的树种抗风能力排序计算转化为相应排序 X_{ij} ($i=1\sim 48$, $j=1\sim n$),其中 i 为树种抗风能力排序数, j 为研究资料树种总数;

2) 计算树种抗风重要性指数(即重要值百分数);

$$S_{ij} = X_{ij} / 48$$

3) 计算某树种历年各地综合抗风性指数(即综合抗风性得分).

$$\bar{S}_i = \sum S_{ij} / n$$

其中 n 为研究资料取样地区或台风个数.

1.2.3.2 深圳台风“山竹”园林树种的抗风排序计算

- 1) 将树种不同类型的受害率转化为排序: X_{ij} ($i=1\sim 48, j=1\sim 4$), 其中: i 为树种, j 为受害类型;
- 2) 计算各受害类型中树种风害指数:

$$S_{ij} = X_{ij}/48$$

- 3) 计算树种综合抗风性能指数(即综合抗风性得分):

$$S_i = \sum S_{ij}/4$$

1.2.4 树木形态及生长因子的筛选与测定

影响树木风荷载与风致响应的主要因素既包括了气象与地理因素、城市规划与绿地设计(包括树种选择)、建设监管、日常养护和应急保障措施等层面的因子, 还包括了树木的形态及其生长状况因子. 其中树木形态及生长因子与抗风性能密切相关, 通过综合分析以往学者的研究成果, 筛选并得到与抗风性能相关性较高的 11 个形态因子: 树干与材质、根系状况、冠层密度、冠形、冠径比、树体健康度、冠高比、根冠比、树龄、抗弯强度和分枝角度. 通过实测和资料搜集得到 48 种树木的相关指标数据.

- 1) 冠层密度决定树冠的透风能力与风阻系数, 通过计算获得^[23-26], 公式如下:

冠层密度 = 单株总叶面积 / 树冠体积

单株总叶面积指数(cm^2) = 单株叶片总数 $\times$ 单片叶面积

单株的叶片总数 = $4\pi r^2$ / 单片叶的面积(叶长 $\times$ 叶宽 / m)

树冠体积 1 = $\pi x^2 y/6$ (该公式适用于宽冠形(伞形、球形、卵形、广卵形)树冠)

树冠体积 2 = $\pi x^2 y/12$ (该公式适用于圆锥形、塔形, 棕榈形树冠)

式中: r 为 $1/2$ 冠幅, x 为冠幅、 y 为冠高.

2) 根系类型、冠形指标是基于形象描述并由经验丰富的专业人士判断所得. 抗弯强度数据来源于成俊卿等^[9]; 树干与材质是树干纤维密度的指标, 主要由气干密度(g/cm^3)决定, 数据来源于吴显坤^[2]、成俊卿等^[9]、何坤益^[17]、黄日明等^[19]、张华林^[23]、CARSAN S^[24]和 FAQ^[25]; 根系状况、根冠比、冠高比、树体健康度、冠形、树龄和分枝角度的数据来源于谢佐贵等^[10]、周琳洁^[12]和王辉等^[15]; 冠径比来源于何国强等^[16], 对可定量分析的指标进行充分的论证.

1.2.5 抗风能力模型构建方法

1) 采用三级评分标准评价树种抗风能力. 综合参考吴显坤^[2]和祖若川^[8]的研究成果, 结合各树种的形态学指标得分得到三级评分量化标准, 以此标准计算各树种在对应指标中的理论得分. 3 分: 抗风能力强; 2 分: 抗风能力中等; 1 分: 抗风能力差.

2) 形态因子抗风性能权重的获得与计算. 通过设计制作问卷调查表, 邀请行业专家和从业人员各 25 名对形态因子抗风性能进行打分. 各指标平均分参考祖若川^[8], 各指标权重平均分采用加权平均法, 计算得到各指标权重 $a_1 - a_{11}$.

1.2.6 模型有效性的检验方法

采用单因素方差分析法, 理论数据处理步骤如下.

- 1) 各树种抗风性理论得分计算.

$$Y_i = \sum a_i X_i (i = 1 - n)$$

其中: a_i 为权重, X_i 为树种抗风性理论得分, Y_i 为抗风性总得分.

2) 对树种的抗风性总得分转化成统一排序, 参照 1. 2. 3 方法将数据进行标准化.

1. 2. 7 树种抗风能力分级方法

采用最优分割法^[6,8,23].

2 结果与分析

2. 1 形态因子与抗风性能的评分与标准

树木形态因子的评分标准见表 1.

表 1 树木形态因子及抗风能力等级评分标准

形态因子	抗风能力评分与标准		
	3 分	2 分	1 分
1. 树干与材质	树干通直、气干密度(g/cm ³)>0. 65.	树干较为通直、一级分枝均衡、气干密度(g/cm ³)在 0. 45~0. 65 之间.	干形不规则、分枝多且凌乱、气干密度(g/cm ³)<0. 45.
2. 抗弯强度	≥1 000(kgf/m ³)	800< <i>x</i> <1000	≤800(kgf/m ³)
3. 分枝角度	60~90°	45~60°	<45°
4. 冠形	塔型、锥形、圆柱形和棕榈型	扁圆、球形和广卵形	伞形和球冠形
5. 冠层密度	植株叶层稀疏	植株叶层适中	叶层浓密
	双子叶树种: <9 500	双子叶树种: 9 500~15 000	双子叶树种: >1 5000
	棕榈类树种: <10 000	棕榈类树种: 10 000~20 000	棕榈类树种: >2 0 000
	裸子类树种: <10 000	裸子类树种: 10 000~18 000	裸子类树种: >18 000
6. 根系状况	侧根系、根总数多、粗壮且分布均匀及板根发达	直根系、根系发达扎根深	根系不发达、根短而稀少
7. 树龄	壮龄树	中龄树	老龄及幼龄树
8. 冠径比	<20 : 1	20~30 : 1	>30 : 1
9. 冠高比	针、阔叶树种: ≥2/3	1/2~2/3	<1/2
	棕榈类树种: ≤1/3		
10. 根冠比	≥1	1~1/2	<1/2
11. 树体健康度	树体健康, 树皮光滑有弹性, 叶色墨绿	一、二级分枝切口愈合状况不良, 潜在病虫害隐患, 树体有轻度损伤, 枝条部分衰老干枯	截干或受病虫害侵害, 树干有蛀干现象, 树体出现空洞、干腐现象

1) 树干与材质: 树木的干形越通直所受的风阻就越小, 干形不规则, 风阻就越大. 如棕榈类植物的干形基本上都是通直的, 这也是其抗风性强的原因之一^[6,18]. 据研究^[7,29]纤维长度与抗风能力呈正相关; 导管密度和抗风能力呈负相关. 晚材明显和晚材率的增加能够增加径向横拉强度; 纤维长度越大、宽度越小抗风性能越强, 反之则越抗风性能越差. 表现为树干的某部分所承受的应力大于树干的强度(材料抵抗破坏的能力)极限时, 树木就会折断^[2,23-25]. 由于时间短及检测条件限制, 未能测定及收集到园林树木树干的纤维长度、导管密度数据, 使用目前通用的气干密度(g/cm³)作为园林树种树干的强度指标, 气干密度越大树干的强度越大. 从现有数据分析划分标准为树干通直、气干密度(g/cm³)大于 0. 65, 评 3 分; 树干较为通直、一级分枝均衡、气干密度为 0. 45~0. 65, 评 2 分; 干形不规则、分枝多且凌乱、气干密度小于 0. 45, 评 1 分.

2) 抗弯强度: 木材受横向静力载荷作用时所产生的最大弯曲应力. 综合各文献^[7,9,26,29]结果得知, 木材

受外力作用时,受到的弯曲应力数值越大,弹性越好.当然抗弯强度还与木材的密度,纤维长度及弹性紧密相关.一般情况下抗弯强度与木材密度呈显著正相关.抗弯强度的单位为 kgf/m^3 .从已获得数据可知:树木主干坚韧,弹性强度高,当抗弯强度(kgf/m^3)大于等于 1 000,评 3 分;主干弹性强度一般,当抗弯强度(kgf/m^3)在 800~1 000 之间,评 2 分;主干弹性强度差,受外力易开裂,当抗弯强度(kgf/m^3)小于等于 800,评 1 分.

3) 分枝角度:综合文献研究^[2,4,24-25],分枝角度越小,受风面积大,风压强度越大,影响风压矩和截面惯性矩大小的因素如树高、胸径、平均冠幅和分枝角度等,均与抗风性相关.当分枝角度在 $60^\circ\sim 90^\circ$ 之间评 3 分; $45^\circ\sim 60^\circ$ 评 2 分,小于 45° 评 1 分.

4) 冠形:大量试验和理论都已证实树冠的结构形态是树木振动特性的主要影响因素之一.树冠的形状与迎风面大小相关,迎风面大风阻大.树冠的形状不同,则树冠重心位置差异很大,树木的风心高位置也就不同,这直接影响风压矩和截面惯性矩的大小.同时,树木产生风折、倒伏等情况也因此各异^[18,20-21].当树木冠形为塔形、锥形、圆柱形和棕榈形,风阻小,评 3 分;扁圆、球形、广卵形,风阻较大,评 2 分;伞形和球形冠形,风阻最大,评 1 分.

5) 冠层密度:树冠的结构也是树木振动特性的主要影响因素之一,现有研究证明冠层枝叶浓密^[18,20],“树大招风”,风阻大,透风率低的阔叶树种较易在台风灾害中倒伏;枝叶疏淡如棕榈类植物,在台风中受到阻力较小,倒伏少.抗风性与冠层密度成负相关性.关于冠层密度指标的分级,我们认为应按照针叶树种、棕榈类树种及阔叶树种进行划分.细节详见表 1.

6) 根系状况:植物的根系主要分为直根系和侧根系,还有特化类型,如板根.研究表明^[3,30]:树木根的总数多,主根相对发达,在分布均匀的情况下,根系稳固性最高.直根系树木:主根发达且扎根较深.同时,深根性树种较浅根性树种抗倒伏,但在风害中折干率也相应提高;侧根系树种:主根长势弱于侧根.侧根粗壮发达且数量众多,根系稳固性极高,树体抗风力很强.同时,参考多方研究成果得知:断梢率与根总数呈显著正相关,风倒率则与根总数呈显著负相关;侧根多的树木风倒率和风折率低,受破坏程度轻;侧根少的树木,其风斜率、风倒率和风折率都高,受破坏程度重.因此,根总数多、粗壮且分布均匀、板根发达的侧根类树种,评 3 分;主根系发达,扎根深的主根类树种,评 2 分;根系不发达、根短而稀少的浅根类树种,评 1 分.

7) 树龄:已有的研究表明^[23],树种抗风能力与林龄大小有关,随着树木的衰老,抗性变差,感染某些病原菌的可能性越来越大,而致病群体的增加,使树干强度变弱,以致容易发生风倒或风折.不同的树种成熟年龄不一致,评分原则为壮龄树,评 3 分;中龄树评 2 分,老龄及幼龄树,评 1 分.

8) 冠径比:研究表明^[16]树木冠幅和胸径比大、高径比大的树木受破坏严重,抗风能力差;树木胸径大的抗风力强,提高树木粗生长的速度可提高树木自身抗风能力.在风压作用下,如果树干的任一部位的实际应力大于树干的强度极限,树木会折断或倒伏.因此,树木的冠径比与树木风折有密切的关系.

根据本项目组成员对 48 种园林树木冠幅与胸径生长关系的结果与分析,我们研究认为冠径比小于 20:1,评 3 分; (20~30):1,评 2 分;大于 30:1,评 1 分.

9) 冠高比:断梢率与树高呈显著的正相关^[2];风倒率则与树高呈极显著的负相关,与冠幅呈极显著的正相关;风斜率与树高和冠幅呈显著的负相关.我们研究认为应按照针、阔叶树种及棕榈类进行划分,细节详见表 1.

10) 根冠比:根冠比常指苗木地下根部冠幅与地上树冠冠幅之比.根冠比值的大小反映出地下部根系与地上部苗茎生长的均衡程度.研究表明^[30]树木地上生长迅速,在胸径不大的情况下,树冠达到较大的程度,也是其抗风能为差的原因.我们研究认为根冠比大于等于 1:1,评 3 分; 1:1~1:2,评 2 分;

小于 1 : 2, 评 1 分.

11) 树体健康度: 树体健康, 树皮光滑有弹性, 叶色墨绿, 叶色墨绿, 评 3 分; 一级分枝切口愈合状况不良, 潜在病虫害隐患, 树体有轻度损伤, 枝条部分衰老干枯, 评 2 分; 截干或受病虫害侵害, 树干有蛀干现象, 树体出现空洞、干腐现象, 评 1 分.

2.2 树种综合抗风能力模型构建与检验

2.2.1 树种综合抗风能力模型构建

经调查及计算获得 11 个因子的权重值(表 2).

表 2 专家问卷调查权重及综合赋权汇总

因子	树干与 材质	抗弯 强度	分枝 角度	冠形	冠层 密度	根系 状况	树龄	冠径比	高冠比	根冠比	树体 健康度
平均权重	9.796	8.741	9.077	8.766	9.112	10.350	8.435	8.540	8.314	9.252	9.618

由表 2 结果可知, 权重最高的 4 个指标分别是根系状况($a_5=10.35$)、树干与材质($a_1=9.796$)、树体健康度($a_{11}=9.618$)、根冠比($a_{10}=9.252$), 这说明根系发达, 气干密度大, 长势旺盛且根冠比值大的树种抗风力强. 而树龄、冠径比与高冠比对树种抗风性能影响较弱.

根据各因子的权重值, 可获得树种抗风能力总得分模型为:

$$Y_i=9.796X_1+8.741X_2+9.077X_3+8.766X_4+9.112X_5+10.350X_6+8.435X_7+8.540X_8+8.314X_9+9.252X_{10}+9.618X_{11}$$

2.2.2 数据的标准化

数据分析要求等量对比, 经整理后可得历年统计的树种抗风性排序、台风“山竹”树种抗风性排序及理论研究树种抗风性排序的 3 组标准化数据, 48 种常见树种相关数据见表 3.

表 3 各常见树种在实际中综合抗风能力及理论评价数据对照表

序号	树种	历年统计数据	台风“山竹”数据	理论数据
1	秋枫	0.810 80	0.770 83	0.875 00
2	橡胶榕	0.810 55	0.937 50	0.833 33
3	海南蒲桃	0.686 57	0.645 83	0.750 00
4	鸡蛋花	0.774 10	0.958 33	0.916 67
5	小叶榄仁	0.743 70	0.416 67	0.979 17
6	芒果	0.740 20	0.208 33	0.479 17
7	荔枝	0.617 90	0.229 17	0.937 50
8	尖叶杜英	0.714 30	0.916 67	0.958 33
9	菲岛福木	0.795 70	0.562 50	1.000 00
10	黄葛树	0.701 05	0.395 83	0.729 17
11	美丽异木棉	0.571 40	0.458 33	0.687 50
12	白兰	0.486 40	0.833 33	0.666 67
13	铁刀木	0.387 80	0.375 00	0.895 83
14	铁冬青	0.317 00	0.020 83	0.562 50
15	黄槿	0.741 90	0.270 83	0.770 83
16	麻楝	0.434 43	0.333 33	0.854 17
17	小叶榕	0.589 00	0.437 50	0.708 33
18	香樟	0.679 90	0.750 00	0.645 83
19	黄花风铃木	0.681 80	0.625 00	0.791 67

续表 3

序号	树种	历年统计数据	台风“山竹”数据	理论数据
20	非洲楝	0.659 50	0.125 00	0.583 33
21	高山榕	0.644 10	0.583 33	0.541 67
22	吉贝	0.595 70	0.500 00	0.500 00
23	南洋楹	0.351 40	0.541 67	0.062 50
24	人面子	0.518 50	0.875 00	0.375 00
25	凤凰木	0.704 95	0.854 17	0.354 16
26	阴香	0.807 10	0.187 50	0.333 33
27	南非刺桐	0.693 90	0.062 50	0.312 50
28	台湾相思	0.604 90	0.895 83	0.270 83
29	菩提树	0.724 00	0.166 67	0.625 00
30	假苹婆	0.368 40	0.312 50	0.604 17
31	木棉	0.693 90	0.687 50	0.187 50
32	大花紫薇	0.423 00	0.666 67	0.250 00
33	夹竹桃	0.882 00	0.979 17	0.437 50
34	白千层	0.612 10	0.479 17	0.416 67
35	垂叶榕	0.602 33	0.708 33	0.395 83
36	王棕	0.694 10	1.000 00	0.812 50
37	羊蹄甲	0.409 10	0.104 17	0.083 33
38	尾叶桉	0.500 00	0.145 83	0.166 67
39	印度紫檀	0.402 40	0.291 67	0.125 00
40	复羽叶栎树	0.475 00	0.812 50	0.458 33
41	垂枝红千层	1.000 00	0.791 67	0.520 83
42	糖胶树	0.361 05	0.729 17	0.041 67
43	火焰木	0.545 90	0.520 83	0.208 33
44	马占相思	0.301 00	0.354 16	0.104 17
45	黄槐	0.405 40	0.604 17	0.145 83
46	宫粉紫荆	0.243 20	0.083 33	0.229 17
47	红花羊蹄甲	0.341 50	0.041 67	0.020 83
48	腊肠树	0.448 10	0.250 00	0.291 67

表 3 中历年统计数据为综合 40 年来研究中各树种抗风性平均分经标准化后所得;台风“山竹”得分为调查深圳 10 个行政区树种风害结果经数据标准化后所得;理论得分为运用抗风评价模型计算各树种抗风性能数据经标准化后所得.其中小叶榄仁、芒果、荔枝等 12 个树种的台风“山竹”数值相比其他两组数值偏小,这与深圳近 10 年来全市绿化树种改造,光明、坪山、龙华、前海和大鹏新区树木扎根浅,生长不稳固有关;铁刀木、麻楝、南洋楹等 13 个树种的理论数值相比其他两组数值偏大或小,这与树种种植位置或配置方式相关.

2.2.3 数据有效性检验

采用单因素方差分析法^[31-32]对统计的历年来东南沿海树木抗台风风害数据、深圳园林树种抗台风“山竹”风害数据及理论模型研究的树种抗风害数据(表 3)进行分析,结果见表 4 和表 5.

表 4 组间差异性分析

组	观测数	求 和	平 均	方 差
历年统计数据	48	28.297 03	0.589 521 4	0.030 278 300
台风“山竹”数据	48	24.499 96	0.510 415 9	0.085 069 615
理论研究数据	48	24.499 99	0.510 416 5	0.085 069 558

表 5 数据有效性检验

差异源	SS	df	MS	F	假设几率	临界值
组间	0.200 244 63	2	0.100 122 32	1.498 705 75	0.226 956 24	3.060 291 77
组内	9.419 625 17	141	0.066 805 85			
总计	9.619 869 81	143				

* 说明： $\alpha=0.05$ 。

结果可知：假设几率(0.226 956 24)小于临界值(3.060 291 77)，同时假设几率大于 0.05，3 组数据检验差异不具有统计学意义，表明理论模型对园林树种抗风性的分析可行，可用于园林树种的抗风性能评价。

2.3 树种抗风能力分级与应用建议

按 2.2.1 中树种抗风能力总得分模型，计算东南沿海 85 种树种抗风能力总得分，结合根系状况、树干与材质、枝条柔韧度和树体健康度 4 个主要因子，采用最优分割法^[6,8,23]，将树种按抗风性强弱划分为 4 级(表 6)。

表 6 树种抗风性能分级表

抗风等级	树种/得分
I	菲岛福木(274.61)、木麻黄(274.29)、小叶榄仁(264.81)、榄仁树(255.70)、异叶南洋杉(254.67)、垂枝暗罗(252.89)、尖叶杜英(245.52)、扁桃(245.28)、龙眼(244.91)、荔枝(244.91)、五月茶(236.70)、鸡蛋花(236.33)
	大叶桃花心木(236.17)、苦楝(235.59)、霸王棕(232.31)、海红豆(228.42)、仪花(227.87)、圆柏(227.69)、铁刀木(227.66)、秋枫(227.63)、麻楝(227.05)、洋蒲桃(226.94)、海南红豆(226.37)、橡胶榕(226.36)、蒲葵(225.18)、王棕(224.38)、皇后葵(224.27)、银海枣(223.87)、狐尾椰子(223.70)、黄花风铃木(218.63)、黄槿(217.83)、海南蒲桃(217.24)、黄葛树(216.87)、小叶榕(216.57)、美丽异木棉(215.41)、散尾葵(215.27)、油棕(214.95)、加拿利海枣(214.76)、扇叶露兜(214.24)、美丽针葵(213.91)、白兰(211.40)、龙柏(211.14)、蒲桃(210.19)、香樟(210.19)、菩提树(209.31)、香榄(209.26)、假苹婆(208.75)、非洲楝(208.32)、铁冬青(208.26)、高山榕(208.13)、垂枝红千层(208.02)、吉贝(207.99)、华盛顿棕(207.07)、椰子(205.65)
II	波罗蜜(200.85)、芒果(200.63)、复羽叶栎树(199.42)、吊瓜树(199.30)、夹竹桃(198.92)、白千层(198.56)、垂叶榕(198.51)、假槟榔(198.21)、人面子(192.34)、凤凰木(191.25)、阴香(191.04)、南非刺桐(190.86)、腊肠树(190.63)
III	台湾相思(190.47)、大花紫薇(189.49)、宫粉紫荆(188.95)、火焰木(188.00)、木棉(181.62)、尾叶桉(181.21)、黄槐(180.68)、蓝花楹(180.60)、瓜栗(180.47)、印度黄檀(180.18)、马占相思(172.34)、幌伞枫(172.20)、羊蹄甲(171.97)、窿缘桉(171.52)、南洋楹(170.70)、糖胶树(170.59)、石栗(153.20)、红花羊蹄甲(136.04)
IV	

1) 综合评价为Ⅰ级的树种有 12 种：这类树种根材质坚硬，枝条韧性高，且根系发达，扎根较深。抗风性能Ⅰ级的树种综合抗风力强，在城市绿化中作为骨干树种被广泛运用，其中不乏乡土树种。这类树种能较好体现区域特色，可继续作为城乡及沿海防风绿化的主要树种。

- 2) 综合评价为Ⅱ级的树种有 42 种: 该类树种树冠宽大, 一些具有挺拔的干形、发达的地表根系, 抗风性能Ⅱ级的树种由于树体高大, 根系较浅, 在持续的强风中容易出现轻度折枝、树叶撕毁和主干倾斜等现象, 宜在台风频发季节提前进行疏枝, 避免出现“头重脚轻”的现象并致树木倒伏, 该类树种普遍具有较好的遮阴效果, 可合理规划种植。
- 3) 综合评价为Ⅲ级的树种有 13 种: 多为树体高大且冠幅开展的种类, 部分树种具有特化的板根形象, 抗风性能Ⅲ级的树种抗风性能一般, 如遇强台风侵袭会出现一定程度的折枝、断梢、倾斜和倒伏等现象, 该类树种宜作为远离风口及非迎风面的园林绿化辅助树种。
- 4) 综合评价的Ⅳ级的树种有 18 种: 多数种类根系不发达, 易倒伏, 一些树种冠幅大, 枝干很脆, 台风灾害中极易出现严重的折干、断梢等现象, 由于宫粉紫荆等开花树种对于丰富城市园林景观色彩、季相, 增添热带氛围不可或缺, 建议在避风区域种植, 或与其他树种混合种植, 台风来临前需做好固树支架、疏枝修剪等防护措施, 该类树种在园林绿化中建议少用或不用。

3 讨论与结论

3.1 讨 论

- 1) 树木形态因子与生长状况直接决定园林植物抗风性能, 现实中材质坚韧的树种通常具有发达的地下根系或特化根(如板根和支柱根), 且根系幅度超过冠幅^[33-34], 如菲岛福木、小叶榄仁和鸡蛋花等木材坚硬且韧性极高, 小叶榕和黄葛树等具有发达的支柱根和表面根(地表), 在支撑庞大树冠同时给予树体稳固性, 棕榈类树种根系不甚发达, 但冠幅很小, 根冠比均衡, 加之材质韧性高, 抗风性突出, 树木形态因子、生长状况与抗风性能关系权重调查结果表明, 根系状况、树干与材质、树体健康度、根冠比这 4 个指标与抗风性能最为密切, 其中树干与材质、根系状况、根冠比三者是密切相关, 尤其在阔叶树种抗风性能中表现尤为突出, 这与祖若川^[8]对海口园林树木的研究, 吴显坤^[2]对深圳、江门地区园林树种抗风性与根系状况的相关研究, 张华林^[23]对雷州半岛园林树种抗风性与根系状况和树干与材质关系的相关研究, 吴志华等^[6]对湛江地区园林树种抗风性与树干与材质、根系状况关系的相关研究结果一致, 可见根系状况、树干与材质两指标对树种抗风性能的重要性毋庸置疑, 属于影响抗风性能的内因, 同时外因影响的树体健康度和根冠幅比例大小与上述内因相辅相成, 共同构成了影响树种抗风性能的 4 个核心指标。
- 2) 采用树种抗风性能评价模型评价不同树种抗风性能的结果表明, 不同树种的抗风能力存在极大差异, 这与吴显坤^[2]通过采用主成分、聚类 and 回归相结合的方法, 发现气干密度、抗弯强度、根系状况和冠形直接决定树种抗风性强弱, 以及吴志华等^[6]、祖若川^[8]、张华林^[23]采用层次分析结合模糊函数法的研究结果接近, 抗风性能评价体系同时表明抗风性强弱与树木生物学因子密切相关, 张华林^[23]通过研究相思和木麻黄类树种发现当树木木材纤维越长, 宽度越小则抗风性越强, 任如红等^[35]指出同一树种, 冠形不同其抗风性差异很大, 自然圆头形、从状形、开心形树木比较抗风, 树冠生长迅速、则冠大招风, 加之材质疏松极易出现断杆倒伏现象^[18,36-37], 这与抗风性能评价模型的评价吻合。
- 3) 树木是一类随机结构体系, 其形态复杂, 目前开展的树种抗风研究仅集中在比较有限的树种, 对于树种抗风性能评价标准的研究尚处于起步探索阶段, 我国也未建立系统的树种抗风性能评价标准, 本研究利用 AHP 法和加权平均法综合构建的树木形态因子综合抗风性能评价模型, 经检验与实际调查统计的不同树种综合抗风结果差异不显著, 可为今后开展新优园林树种抗风性能预测以及对东南沿海地区园林植物的抗风性能进行评价提供理论参考及技术支持。

3.2 结 论

树干与材质和根系状况两个指标是决定不同树种抗风能力的首要因素, 因此, 木材致密具韧性、根系发达的菲岛福木、小叶榄仁、荔枝、鸡蛋花、铁刀木和尖叶杜英表现出极强的抗风能力。

我国东南沿海地区地处低纬度亚热带季风气候区, 充足的日照、温暖湿润的气候适合各类植物生长,

近年来随着城市化发展,该区域园林绿化水平不断提高。城市园林工作者不断实践将众多抗性优良,观赏价值高的树种引入应用,丰富了园林景观,同时也提升了树种多样性。为增强园林绿地系统对台风风害的抵御能力,建议在城市树种规划设计时,对传统种植的树种必须结合树种抗风性评价结果和历年台风中该树种的表现进行合理的规划设计,风口及迎风面慎重选择抗风性弱的种类;对新引进的树种需从抗风性角度开展引种与推广试验,筛选推荐抗风性能优良的树种,制定科学的种植要求及技术指引,为城市园林绿地构建防风抗风体系提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 杨康民,霍应强. 台风对南京行道树的影响及其防护措施 [J]. 园艺学报, 1964, 3(3): 279-286.
- [2] 吴显坤. 台风灾害对深圳城市园林树木的影响和对策 [D]. 南京: 南京林业大学, 2007.
- [3] 李 敏,文 寅. 广州市区道路绿化抗风灾的技术方法 [J]. 农业科技与信息(现代园林), 2009, 6(4): 52-54.
- [4] 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.
- [5] 黄 龙. 台风“尤特”对揭东县城行道树破坏情况调查及因应对策 [J]. 广东园林, 2002, 24(4): 26-29.
- [6] 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.
- [7] 吴春太,黄华孙,高新生,等. 21 个橡胶树无性系抗风性比较研究 [J]. 福建林学院学报, 2012, 32(3): 257-262.
- [8] 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.
- [9] 成俊卿,杨家驹,刘 鹏. 中国木材志 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1992. 3.
- [10] 谢佐贵,谭一凡. 园林绿化树种选择技术指引 [M]. 广州: 广东科技出版社, 2019.
- [11] 卓丽环,陈龙清. 园林树木学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
- [12] 周琳洁. 华南乡土树种与应用 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010: 1-352.
- [13] 深圳市莲花山公园管理处. 莲花山公园园林植物实用图鉴 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2008: 1-112.
- [14] 邢福武,曾庆文,谢左章. 广州野生植物 [M]. 贵阳: 百通集团贵州科技出版社, 2007: 1-377.
- [15] 王 辉,周兰平. 深圳市公园植物二维码科普图册-上 [M]. 深圳: 海天出版社, 2015.
- [16] 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.
- [17] 何坤益. 100 年度台湾河岸生态绿带树种筛选与现况调查 [R/OL]. [2011-12]. <https://www.forest.gov.tw/report/0000727>.
- [18] 肖洁舒,冯景环. 华南地区园林树木抗台风能力的研究 [J]. 中国园林, 2014, 30(3): 115-119.
- [19] 黄日明,黄汝群,段 萍,等. 福建龙岩城区园林树木木材密度和生材含水率研究 [J]. 亚热带植物科学, 2016, 45(2): 160-166.
- [20] 朱伟华,丁少江. 深圳园林防台风策略研究 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2008: 10.
- [21] 何 诚,张思玉,Matteo Convertino,等. 基于方格网法的树冠体积测算方法 [J]. 农业机械学报, 2014, 45(12): 308-315.
- [22] 孙海坤. 玉米单株叶面积速测法 [J]. 河北农学报, 1983(3): 75-76.
- [23] 张华林. 雷州半岛主要树种抗风性研究和评价 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010.
- [24] CARSAN S, ORWA C, HARWOOD C, et al. African Wood Density Database [DB/OL]. [2019-03-15]. <http://www.worldagroforestry.org/treesandmarkets/wood/#>.
- [25] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Appendix 1 - List of wood densities for tree species from tropical America, Africa, and Asia [DB/OL]. [2019-03-15]. <http://www.fao.org/3/w4095e/w4095e0c.htm>.
- [26] 郑兴峰,邱德勃,陶忠良,等. 巴西橡胶树不同抗风性品系木材胞壁纤维角 [J]. 热带作物学报, 2002, 23(1): 14-18.
- [27] 周利芬,吴红华,李正农. 树木抗风及对风环境影响的研究综述 [J]. 自然灾害学报, 2015, 24(5): 199-206.
- [28] 彭勇波,艾晓秋,承颖瑶. 风致树木倒伏研究进展 [J]. 自然灾害学报, 2016, 25(5): 167-175.
- [29] 郭祁源,周钟毓,陈传琴,等. 橡胶树苗期茎干冲击韧度、次数与成龄期抗风性能的分析 [J]. 热带作物研究, 1987, 7(4): 19-21.

- [30] GRAHAM R, REBECCA S, AL K, etc. D-2. Silva Cell Suspended Pavement with Bioretention by DeepRoot Green Infrastructure [DB/OL]. [2019-03-15]. <https://www.deeproot.com/products/silva-cell.html>.
- [31] 何 成. SPSS 中单因素方差分析的运用 [J]. 农业网络信息, 2018(1): 92-94.
- [32] 李 莹. 学生的学习风格对学习成绩的单因素方差分析 [J]. 课程教育研究, 2014(25): 229-230.
- [33] 王玉岱, 朱爱萍, 陈建华, 等. 台风对泰安市绿化树木危害情况调查 [J]. 山东林业科技, 1998, 28(3): 45-47.
- [34] 柯病凡, 王妍妍. 木材抗弯强度及抗弯弹性模量试验方法的研究 [J]. 安徽农学院学报, 1989, 16(1): 1-10.
- [35] 任如红, 刘分念, 龚洁莹, 等. 舟山市园林树木抗风性的调查研究 [J]. 浙江农业科学, 2013, 54(4): 422-426.
- [36] 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.
- [37] 杨小乐, 金荷仙, 彭海峰, 等. 台风灾害下杭州行道树树种选择及应对措施 [J]. 中国城市林业, 2018, 16(4): 54-57.

Discussion of the Relationship Between Morphological Factors and Wind Resistance of Garden Trees

HUANG Yi-jun¹, HE Guo-qiang², ZHANG Jian-hua³, LIU Yong-jin⁴

1. Fairy Lake Botanical Garden, Shenzhen Guangdong 518036, China;

2. Pest Control Center, Shenzhen University, Shenzhen Guangdong 518060, China;

3. KingTree Garden Co Ltd, Nanchang 330202, China;

4. Administrative Office of WuTong Mountain National Park, Shenzhen Guangdong 518004, China

Abstract: In order to explore the relationship between the morphological factors of garden trees and their wind resistance, a study was made, in which the reasearch data of the recent 40 years in literature were reviewed and the damages caused by typhoon “Mangosteen” in 2018 to the garden trees in Shenzhen were investigated and analyzed. A system of scoring criteria for wind resistance of garden tree species based on morphological factors was proposed and a theoretical wind-resistance model with 10 morphological factors and 1 growth factor was constructed. Wind resistance of 48 common garden tree species was analyzed and evaluated, and the validity of this wind-resistance model was tested. The results showed that of the 11 factors studied, root growth, trunk and wood quality, tree health, and root/canopy ratio were directly related to wind resistance, and that tree species with a well-developed root system, great air-dry density, growth vigor and a large root/canopy ratio were more resistant to wind. Variance analysis demonstrated that wind resistance of tree species evaluated with this theoretical wind-resistance model was not significantly different from the data in actual investigation. According to their wind resistance, the 85 tree species were clustered into 4 groups: 12 species in Grade one (highly resistant), 42 and 13 species in Grades 2 and Grade 3 (resistant and tolerably resistant) and 18 species in Grade 4 (poorly resistant).

Key words: garden tree; wind resistance; morphological factor; typhoon; wind damage; analysis of variance