

基于层次分析法的深圳市绿化树种抗风性评价*

——以台风“山竹”为例

高育慧 毛君竹 曾鹏飞 李军娟
宫彦章 申凯歌 王业春

(深圳文科园林股份有限公司/广东省园林景观与生态恢复工程技术研究中心, 广东 深圳 518000)

摘要 对台风“山竹”袭击后的100种常见绿化树种风害受损情况进行调查统计,利用层次分析法对其抗台风能力进行分级。结果表明100种常见绿化树种的抗风性强弱可分为3个等级,I级抗风树种54种,II级抗风树种35种,III级抗风树种11种,其中I级抗风性能最好,III级抗风性能最差。深圳市常用绿化树种有89种较为抗风,11种树种抗风性较差,抗风树种大多为乡土树种,在今后的规划设计中,应尽可能选用抗风性强的I级抗风树种。

关键词 台风“山竹”;绿化树种;层次分析法;抗风性

中图分类号: S718.43 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053(2019)04-0097-09

Evaluation of Wind Resistance of Greening Tree Species in Shenzhen Based on Analytic Hierarchy Process ---Taking the Typhoon “Mangosteen” as An Example

GAO Yuhui MAO Junzhu ZENG Pengfei LI Junjuan
GONG Yanzhang SHEN Kaige WANG Yechun

(Shenzhen Wenke Garden Co., Ltd./Guangdong Province Landscape Architecture and Ecological Restoration Engineering
Technology Research Center, Shenzhen, Guangdong 518000, China)

Abstract The purpose of this paper is to study the anti-wind ability of common greening tree species in Shenzhen, and it provides a reference for the selection of garden trees in Shenzhen and even the South China coastal areas. Based on the investigation and statistics of 100 common greening tree species attacked by typhoon “Mangosteen”, using analytic hierarchy process can classify their anti-wind ability. The results suggest that the anti-wind ability of 100 greening tree species can be divided into 3 classes, there are 54 wind-resistance species in class I, 35 in class II, and 11 in class III, class I has the best anti-wind ability and class III is the worst. 89 common greening tree species have the anti-wind abilities in Shenzhen, 11 species is bad. Most native tree species have anti-wind ability. Class I tree species, which has high anti-wind level, should be selected for planning as much as possible in the future.

Key words typhoon “Mangosteen”; greening tree species; Analytic hierarchy process; anti-wind ability

* 第一作者: 高育慧(1975—),男,高级工程师,主要从事生态修复、海绵城市、生态与环境研究工作, E-mail: major@wkyy.com。
通信作者: 王业春(1980—),男,教授级高级工程师,主要从事生态与环境研究, E-mail: wangyechun@yahoo.com。

在全球气候变化的影响下,沿海城市遭受台风的侵袭越来越频繁,过去近40年,亚洲东部及东南部强台风的频率增加了2-3倍^[1-2]。台风对沿海城市的负面影响较大,威胁着人们的生命财产安全,同时也造成树木损毁,对沿海城市的自然生态系统造成严重的影响^[3]。深圳市绿化以南方乡土植物和棕榈科植物为主,形成了五彩缤纷的城市绿地系统,各方面指标已达到或超过“园林城市”的标准,具有很强的生态功能^[4]。深圳市位于南海之滨,属于南亚热带海洋性季风气候区,由于特殊的地理位置和气候条件,常年遭受台风袭击。尤其是2018年9月肆虐深圳的超强台风“山竹”,“山竹”为39年以来,对珠三角影响最大的台风,强度大且持续时间长,给深圳市园林景观造成极大损失,因此,如何选择抗风树种是深圳乃至沿海城市绿化亟待解决的问题。本文通过对深圳市超强台风“山竹”袭击后的100种常见绿化树种风害受损情况进行调查统计,利用层次分析法对绿化树种进行抗风性能分级,旨在为深圳乃至华南沿海城市绿化树种的选择提供依据,并提出抗风性园林种植原则与种植应用,针对不同抗风树种提供相应的防风减灾措施,为华南滨海区域园林植物的防风减灾提供一定的参考依据。

1 材料与方法

1.1 调查地点

台风“山竹”风害后第二天筛选出受灾较重、

覆盖范围广、具有代表性的城市公园和城市道路进行调查,调查地点包括东湖公园、莲花山公园、深圳湾公园、罗湖体育公园、大沙河公园5大公园和景田东路、吉华路、滨河大道、中山路、文化路、岭南路、迎宾北路7条道路。

1.2 调查方法

公园均采用分区调查法,每个公园随机分成5个区域,除深圳湾公园外,每个区域均选取1个100 m×100 m的样方对胸径≥5 m的乔木进行调查,深圳湾公园则选取500 m×20 m的样方进行调查,城市道路则直接按照道路走向进行踏查,依次对每种植物拍照记录,记录植物的种类、风害受损情况^[5]。风害受损情况包括:主干断裂率、主干倒伏率、主干倾斜率、主枝折损率、次枝折损率、叶片撕毁率。计算公式如下:

主干断裂率 = 某树种主干断裂棵数 / 某树种总棵数;

主干倒伏率 = 某树种主干倒伏棵数 / 某树种总棵数;

主干倾斜率 = 某树种主干倾斜棵数 / 某树种总棵数;

主枝折损率 = 某树种主枝折损数量 / 某树种主枝总数;

次枝折损率 = 某树种次枝折损数量 / 某树种次枝总数;

叶片撕毁率 = 某树种叶片撕毁数量 / 某树种叶片总量。

表1 深圳市绿化树种风害受损指标体系

Table 1 Wind damage indicator system of greening tree species in Shenzhen

| 目标层 Target layer | 指标层 Index layer | 指标描述 Index description |
|---------------------|-------------------------------------|---|
| 风害受损 Wind damage | 主干断裂率 Major fault rate | 主要枝干断裂 Major branch break |
| | 主干倒伏率 Main lodging rate | 主干倾斜角大于90° Trunk tilt angle is bigger than 90 degrees |
| | 主干倾斜率 Main tilt rate | 主干倾斜角度大于30°小于90° Trunk tilt angle is bigger than 30 degrees and less than 90 degrees |
| | 主枝折损率 Main branch breakage rate | 主要分枝断裂 Main branch break |
| | 次枝折损率 Minor branch breakage rate | 次要分枝断裂 Minor branch break |
| | 叶片撕毁率 Blade torn rate | 叶片撕裂或毁坏 Blade tear or destruction |

1.3 研究方法

1.3.1 建立 AHP 评价体系模型 本文运用层次分析法 (AHP), 对深圳常见绿化树种进行风害受损综合评价。如表 1, 分别以风害受损综合评价为目标层, 以风害受损指标为指标层, 建立基于 AHP 法的深圳市绿化树种抗风性评价体系^[6]。

1.3.2 建立判断矩阵及指标权重计算 根据上述 6 种指标, 建立判断矩阵, 因素两两比较含义如表 2 所示。运用 Saaty1-9 标度法构建判断矩阵, 矩阵一致性检验使用 yaahpV7.5 软件, 当 $CR < 0.1$ 时, 表示判断矩阵具有一致性, 否则重新调整^[7]。

1.3.3 风害受损综合得分计算 各绿化树种的综合得分运用公式 $Y = \sum_{i=1}^n W_i C_i$ 进行计算^[8], 其中 W_i

代表各树种风害指标的权重, C_i 代表各树种风害指标的受损率。

1.3.4 聚类分析 通过 SPSS 21 对植物风害受损指标综合得分总值进行聚类分析, 根据树种的抗风性能分成不同等级。

2 结果与分析

2.1 风害对各受损指标影响的层次分析

由层次分析法最终得到如表 3 所示的检测结果。风害受损指标矩阵的最大特征方根 $\lambda_{\max}=6.2383$, 判断矩阵的随机一致性比值 $CR=0.0378 < 0.1$, 获得很好的一致性, 说明检测结果可靠。由表 3 可知, 主干断裂的权重值最大, 主干倒伏其次, 分别为 0.3792、0.2493, 叶片撕

毁权重值最低, 为 0.0328。这表明主干断裂和主干倒伏对树木的伤害较大, 而叶片撕毁对树木的伤害较小。

2.2 深圳市常见绿化树种风害受损情况综合评价

对深圳市公园 100 种常见绿化树种 (隶属于 39 科 78 属) 风害受损情况进行综合评价, 并对综合评价结果进行排序。如表 4 所示, 各绿化树种风害受损情况综合评分介于 0.012-0.339 之间, 绿化树种综合评分越高, 表明抗风性越弱。不同科树种之间, 抗风性存在较大差异, 棕榈科、杉科、樟科、无患子科等科树种抗风性普遍较好, 桑科、木棉科、紫葳科、苏木科、蝶形花科、含羞草科等科树种抗风性普遍较差; 但同一科树种之间, 抗风性可能也会存在差异, 如桑科的高山榕 *Ficus altissima*、波罗蜜 *Artocarpus heterophyllus* 等抗风性较好, 但黄葛榕 *Ficus virens* var. *sublanceolata*、小叶榕 *Ficus microcarpa*、橡胶榕 *Ficus elastica* 等桑科植物抗风性较差。

2.3 深圳市常见绿化树种抗风性聚类分析

对深圳市公园 100 种常见绿化树种风害受损情况进行聚类分析, 得到如图 1 所示的聚类结果, 在聚类数为 20 时, 可将 100 种树种分为 3 类, 再结合表 4 对树种风害受损的综合评分可将这 3 类树种分为 3 个等级, 风害受损综合评分越高, 抗风性能越差。其中 I 级抗风树种抗风性能最好, 有 54 种, 占总体的 54%, 如霸王棕 *Bismarckia nobilis*、金山葵 *Syagrus romanzoffiana*、棍棒椰子 *Hyophorbe verschaffeltii* 等; II 级树种抗风性能次

表 2 因素重要性含义

Table 2 Meaning of the importance of factors

| 标度 Scaling | 含义 Meaning |
|---------------|---|
| 1 | 两两比较, 两者同等重要 Comparison between the two, both are equally important |
| 3 | 两两比较, 前者稍微重要 Comparison between the two, the former is slightly important |
| 5 | 两两比较, 前者明显重要 Comparison between the two, the former is obviously important |
| 7 | 两两比较, 前者强烈重要 Comparison between the two, the former is strongly important |
| 9 | 两两比较, 前者及其重要 Comparison between the two, the former is especially important |
| 2,4,6,8 | 上述两相邻判断的中值 Median value of the above two adjacent judgments |
| 倒数 Reciprocal | 倒数表示两指标的反比较 Reciprocal means the inverse comparison of the two indicators |

表 3 判断矩阵及各风害受损指标权重值
Table 3 Judgment matrix and weights of each wind damage indicator

| A | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | 权重值 Weights |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----------------|
| A1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 0.379 2 |
| A2 | 1/2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 0.249 3 |
| A3 | 1/3 | 1/2 | 1 | 2 | 3 | 5 | 0.159 6 |
| A4 | 1/4 | 1/3 | 1/2 | 1 | 3 | 5 | 0.116 4 |
| A5 | 1/5 | 1/4 | 1/3 | 1/3 | 1 | 3 | 0.062 7 |
| A6 | 1/7 | 1/6 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1 | 0.032 8 |

注: A1 代表主干断裂, A2 代表主干倒伏, A3 代表主干倾斜, A4 代表主要分枝折损, A5 代表次要分枝折损, A6 代表叶片撕毁。

Note: A1 represents major fault, A2 represents main lodging, A3 represents main tilt, A4 represents the main branch break, A5 represents the minor branch break, and A6 represents the blade tear.

表 4 深圳市 100 种常见绿化树种风害受损综合评分
Table 4 Comprehensive scores of wind damage in 100 common greening tree species in Shenzhen

| 种名 Species | 主干断裂率 /% Trunk fracture rate | 主干倒伏率 /% Trunk lodging rate | 主干倾斜率 /% Trunk tilt rate | 主枝折损率 /% Trunk branch breakage rate | 次枝折损率 /% Minor branch breakage rate | 叶片撕毁率 /% Blade tear rate | 综合评分 Comprehensive scoring (Y) | 排序 Sorting |
|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--|--|-----------------------------|-----------------------------------|---------------|
| 美丽针葵 <i>Phoenix roebelenii</i> | 0.00 | 1.23 | 2.32 | 0.00 | 0.00 | 15.34 | 0.012 | 1 |
| 棍棒椰子 <i>Hyophorbe versaffeltii</i> | 0.00 | 3.27 | 2.32 | 0.00 | 0.00 | 6.38 | 0.014 | 2 |
| 霸王棕 <i>Bismarckia nobilis</i> | 0.00 | 3.67 | 2.56 | 0.00 | 0.00 | 6.89 | 0.015 | 3 |
| 罗汉松 <i>Podocarpus macrophyllus</i> | 0.00 | 2.31 | 3.27 | 1.23 | 4.32 | 3.28 | 0.016 | 4 |
| 金山葵 <i>Syagrus romanzoffiana</i> | 0.00 | 2.34 | 5.34 | 0.00 | 0.00 | 6.89 | 0.017 | 5 |
| 老人葵 <i>Washingtonia filifera</i> | 0.00 | 3.23 | 5.67 | 0.00 | 0.00 | 12.67 | 0.021 | 6 |
| 象腿树 <i>Moringa drouhardii</i> | 3.28 | 0.00 | 3.28 | 0.00 | 0.00 | 15.83 | 0.023 | 7 |
| 银海枣 <i>Phoenix sylvestris</i> | 2.19 | 2.12 | 3.33 | 0.00 | 0.00 | 12.23 | 0.023 | 8 |
| 三角椰子 <i>Dypsis decaryi</i> | 0.00 | 3.26 | 7.86 | 0.00 | 0.00 | 18.56 | 0.027 | 9 |
| 蒲葵 <i>Livistona chinensis</i> | 2.35 | 4.32 | 3.21 | 0.00 | 0.00 | 9.72 | 0.028 | 10 |
| 狐尾椰 <i>Wodyetia bifurcata</i> | 2.83 | 3.29 | 5.28 | 0.00 | 0.00 | 10.28 | 0.031 | 11 |
| 落羽杉 <i>Taxodium distichum</i> | 2.30 | 1.29 | 4.28 | 4.55 | 6.73 | 9.54 | 0.031 | 12 |
| 红刺露兜树 <i>Pandanus utilis</i> | 4.12 | 3.53 | 2.98 | 0.00 | 0.00 | 6.86 | 0.031 | 13 |
| 椰子 <i>Cocos nucifera</i> | 4.38 | 3.35 | 4.09 | 0.00 | 0.00 | 6.78 | 0.034 | 14 |
| 池杉 <i>Taxodium ascendens</i> | 1.34 | 3.45 | 2.41 | 6.38 | 14.36 | 7.28 | 0.036 | 15 |
| 油棕 <i>Elaeis guineensis</i> | 2.54 | 1.23 | 3.77 | 0.00 | 0.00 | 59.45 | 0.038 | 16 |
| 假槟榔 <i>Archontophoenix alexandrae</i> | 3.78 | 2.34 | 3.42 | 0.00 | 0.00 | 48.97 | 0.042 | 17 |
| 水松 <i>Glyptostrobus pensilis</i> | 3.34 | 3.29 | 2.10 | 7.38 | 10.37 | 9.27 | 0.042 | 18 |
| 黄金香柳 <i>Glyptostrobus pensilis</i> | 3.42 | 2.12 | 7.39 | 6.23 | 12.34 | 14.34 | 0.050 | 19 |

| 种名 Species | 主干断裂率 /% Trunk fracture rate | 主干倒伏率 /% Trunk lodging rate | 主干倾斜率 /% Trunk tilt rate | 主枝折损率 /% Trunk branch breakage rate | 次枝折损率 /% Minor branch breakage rate | 叶片撕毁率 /% Blade tear rate | 综合评分 Comprehensive scoring (Y) | 排序 Sorting |
|--|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--|--|-----------------------------|-----------------------------------|---------------|
| 桂花 <i>Osmanthus fragrans</i> | 0.00 | 5.28 | 5.29 | 13.28 | 18.39 | 8.29 | 0.051 | 20 |
| 短穗鱼尾葵 <i>Caryota mitis</i> | 7.29 | 1.22 | 3.49 | 4.39 | 7.29 | 20.25 | 0.053 | 21 |
| 鸡冠刺桐 <i>Erythrina crista-galli</i> | 4.29 | 2.31 | 3.27 | 8.28 | 15.38 | 21.20 | 0.053 | 22 |
| 龙眼 <i>Dimocarpus longan</i> | 3.21 | 1.36 | 3.43 | 12.38 | 22.39 | 14.39 | 0.054 | 23 |
| 荔枝 <i>Litchi chinensis</i> | 2.38 | 4.32 | 5.23 | 11.38 | 13.92 | 16.28 | 0.055 | 24 |
| 广玉兰 <i>Magnolia grandiflora</i> | 1.76 | 5.98 | 7.89 | 8.91 | 10.28 | 15.89 | 0.056 | 25 |
| 中国无忧花 <i>Saraca dives</i> | 1.23 | 3.67 | 13.82 | 4.83 | 6.38 | 36.45 | 0.057 | 26 |
| 高山榕 <i>Ficus altissima</i> | 4.39 | 5.39 | 3.28 | 7.38 | 14.28 | 18.23 | 0.059 | 27 |
| 窿缘桉 <i>Eucalyptus exserta</i> | 3.56 | 3.23 | 5.34 | 13.42 | 18.34 | 9.27 | 0.060 | 28 |
| 散尾葵 <i>Dypsis lutescens</i> | 5.93 | 6.77 | 10.23 | 0.00 | 0.00 | 20.54 | 0.062 | 29 |
| 阴香 <i>Cinnamomum burmanni</i> | 1.16 | 2.78 | 12.54 | 14.67 | 15.87 | 13.82 | 0.063 | 30 |
| 水石榕 <i>Elaeocarpus hainanensis</i> | 1.23 | 2.13 | 4.91 | 26.29 | 12.39 | 21.20 | 0.063 | 31 |
| 波罗蜜 <i>Artocarpus heterophyllus</i> | 3.06 | 1.88 | 3.65 | 21.23 | 16.65 | 18.45 | 0.063 | 32 |
| 水翁 <i>Syzygium nervosum</i> | 3.23 | 6.45 | 7.45 | 7.54 | 13.46 | 18.54 | 0.064 | 33 |
| 五月茶 <i>Antidesma bunius</i> | 2.35 | 9.79 | 3.78 | 7.67 | 16.78 | 17.78 | 0.065 | 34 |
| 水黄皮 <i>Pongamia pinnata</i> | 1.32 | 2.34 | 3.23 | 19.34 | 28.32 | 28.39 | 0.066 | 35 |
| 垂枝红千层 <i>Callistemon viminalis</i> | 6.98 | 5.89 | 3.98 | 8.38 | 11.28 | 6.82 | 0.067 | 36 |
| 香樟 <i>Cinnamomum camphora</i> | 5.64 | 4.87 | 6.74 | 9.78 | 11.76 | 16.88 | 0.069 | 37 |
| 苹婆 <i>Sterculia monosperma</i> | 3.29 | 4.38 | 6.05 | 13.28 | 16.47 | 30.26 | 0.069 | 38 |
| 白千层 <i>Melaleuca leucadendron</i> | 5.23 | 5.34 | 8.39 | 8.38 | 13.48 | 13.38 | 0.069 | 39 |
| 降香黄檀 <i>Dalbergia odorifera</i> | 4.29 | 5.45 | 7.34 | 12.39 | 13.34 | 15.38 | 0.069 | 40 |
| 尖叶杜英 <i>Elaeocarpus apiculatus</i> | 5.28 | 3.67 | 4.33 | 13.20 | 16.71 | 23.66 | 0.070 | 41 |
| 五桠果 <i>Dillenia indica</i> | 3.89 | 8.72 | 6.82 | 10.29 | 6.29 | 20.28 | 0.070 | 42 |
| 苦楝 <i>Melia azedarach</i> | 6.89 | 3.29 | 2.23 | 17.32 | 15.23 | 16.29 | 0.073 | 43 |
| 异叶南洋杉 <i>Araucaria heterophylla</i> | 6.23 | 2.34 | 10.23 | 9.23 | 18.34 | 16.29 | 0.073 | 44 |
| 小叶榄仁 <i>Terminalia neotaliala</i> | 4.37 | 3.43 | 1.32 | 23.49 | 25.38 | 12.38 | 0.075 | 45 |
| 海南红豆 <i>Ormosia pinnata</i> | 5.24 | 6.76 | 2.65 | 12.43 | 16.87 | 28.86 | 0.075 | 46 |
| 蒲桃 <i>Syzygium jambos</i> | 3.78 | 7.28 | 5.32 | 12.38 | 17.39 | 28.39 | 0.076 | 47 |
| 海南菜豆树 <i>Radermachera hainanensis</i> | 4.35 | 5.34 | 7.43 | 15.23 | 14.34 | 25.43 | 0.077 | 48 |
| 朴树 <i>Celtis sinensis</i> | 6.93 | 2.28 | 3.19 | 21.49 | 19.04 | 12.40 | 0.078 | 49 |
| 人面子 <i>Dracontomelon duperreanum</i> | 6.32 | 4.31 | 3.32 | 14.23 | 23.48 | 21.39 | 0.078 | 50 |
| 莫氏榄仁 <i>Terminalia muelleri</i> | 4.51 | 7.28 | 10.24 | 13.43 | 10.32 | 14.20 | 0.078 | 51 |
| 台湾栲树 <i>Koelreuteria elegans</i> subsp. <i>formosana</i> | 2.38 | 9.03 | 8.61 | 14.63 | 18.29 | 23.34 | 0.081 | 52 |

| 种名 Species | 主干断裂率 /% Trunk fracture rate | 主干倒伏率 /% Trunk lodging rate | 主干倾斜率 /% Trunk tilt rate | 主枝折损率 /% Trunk branch breakage rate | 次枝折损率 /% Minor branch breakage rate | 叶片撕毁率 /% Blade tear rate | 综合评分 Comprehensive scoring (Y) | 排序 Sorting |
|---|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--|--|-----------------------------|-----------------------------------|---------------|
| 铁冬青 <i>Ilex rotunda</i> | 7.39 | 2.38 | 7.83 | 13.28 | 26.38 | 13.89 | 0.083 | 53 |
| 假苹婆 <i>Sterculia lanceolata</i> | 8.38 | 4.34 | 5.34 | 12.34 | 24.34 | 28.37 | 0.090 | 54 |
| 大叶榄仁 <i>Terminalia neotaliala</i> | 8.24 | 4.76 | 5.38 | 14.39 | 24.05 | 24.23 | 0.091 | 55 |
| 潺槁树 <i>Litsea glutinosa</i> | 7.83 | 5.31 | 15.45 | 12.87 | 15.27 | 13.89 | 0.097 | 56 |
| 大王椰 <i>Roystonea regia</i> | 20.38 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 60.28 | 0.097 | 57 |
| 柳叶榕 <i>Ficus benjamina</i> | 4.23 | 10.36 | 8.23 | 17.65 | 23.58 | 23.50 | 0.098 | 58 |
| 秋枫 <i>Bischofia javanica</i> | 7.76 | 13.09 | 5.82 | 11.28 | 16.38 | 14.28 | 0.099 | 59 |
| 大琴叶榕 <i>Ficus lyrata</i> | 8.32 | 6.24 | 12.34 | 13.45 | 15.00 | 24.54 | 0.100 | 60 |
| 麻楝 <i>Chukrasia tabularis</i> | 9.76 | 2.34 | 6.38 | 18.38 | 29.38 | 21.76 | 0.100 | 61 |
| 鱼木 <i>Crateva formosensis</i> | 7.35 | 8.29 | 9.28 | 16.78 | 17.28 | 23.29 | 0.101 | 62 |
| 幌伞枫 <i>Heteropanax fragrans</i> | 13.67 | 7.88 | 2.78 | 7.34 | 15.64 | 21.64 | 0.101 | 63 |
| 猫尾木 <i>Markhamia stipulata</i> var. <i>kerrii</i> | 10.04 | 5.22 | 7.89 | 11.09 | 23.48 | 32.99 | 0.102 | 64 |
| 面包树 <i>Artocarpus incisa</i> | 5.29 | 13.29 | 10.39 | 15.27 | 16.28 | 23.37 | 0.105 | 65 |
| 红花天料木 <i>Homalium ceylanicum</i> | 12.34 | 5.89 | 4.39 | 12.39 | 23.83 | 32.38 | 0.108 | 66 |
| 海红豆 <i>Adenanthera pavonina</i> var. <i>microsperma</i> | 8.23 | 10.23 | 11.70 | 14.29 | 21.20 | 12.34 | 0.109 | 67 |
| 红花玉蕊 <i>Barringtonia racemosa</i> | 6.72 | 10.74 | 6.22 | 23.48 | 19.25 | 26.78 | 0.110 | 68 |
| 凤凰木 <i>Delonix regia</i> | 5.78 | 4.56 | 3.48 | 18.95 | 70.36 | 20.46 | 0.112 | 69 |
| 糖胶树 <i>Alstonia scholaris</i> | 12.67 | 4.28 | 7.52 | 17.26 | 26.56 | 17.82 | 0.113 | 70 |
| 金钟花 <i>Forsythia viridissima</i> | 11.84 | 12.39 | 20.37 | 1.57 | 5.67 | 11.18 | 0.117 | 71 |
| 紫檀 <i>Pterocarpus indicus</i> | 14.56 | 4.46 | 3.54 | 17.89 | 26.38 | 25.37 | 0.118 | 72 |
| 菩提榕 <i>Ficus religiosa</i> | 5.78 | 15.67 | 9.65 | 16.89 | 24.76 | 25.69 | 0.120 | 73 |
| 腊肠树 <i>Cassia fistula</i> | 10.89 | 3.76 | 5.87 | 24.86 | 36.86 | 28.34 | 0.121 | 74 |
| 台湾相思 <i>Acacia confusa</i> | 12.35 | 8.24 | 13.54 | 14.67 | 18.38 | 17.34 | 0.123 | 75 |
| 莲雾 <i>Syzygium samarangense</i> | 14.65 | 3.67 | 2.95 | 21.65 | 29.45 | 33.43 | 0.124 | 76 |
| 海南蒲桃 <i>Syzygium hainanense</i> | 16.56 | 1.87 | 5.76 | 20.54 | 25.76 | 23.72 | 0.124 | 77 |
| 石栗 <i>Aleurites moluccana</i> | 6.28 | 13.29 | 15.32 | 23.29 | 21.70 | 10.28 | 0.125 | 78 |
| 蓝花楹 <i>Jacaranda mimosifolia</i> | 17.89 | 5.23 | 4.32 | 12.34 | 28.34 | 21.38 | 0.127 | 79 |
| 鸡蛋花 <i>Plumeria rubra</i> 'Acutifolia' | 9.78 | 13.56 | 4.67 | 27.89 | 24.56 | 5.67 | 0.128 | 80 |
| 大叶山楝 <i>Aphanamixis polystachya</i> | 13.28 | 10.45 | 7.28 | 23.29 | 21.38 | 23.89 | 0.136 | 81 |
| 爪哇木棉 <i>Ceiba pentandra</i> | 18.76 | 8.78 | 8.56 | 12.76 | 20.89 | 15.98 | 0.140 | 82 |
| 红花银桦 <i>Grevillea banksii</i> var. <i>forsteri</i> | 9.14 | 23.27 | 21.23 | 6.64 | 7.89 | 14.18 | 0.144 | 83 |
| 铁刀木 <i>Senna siamea</i> | 15.83 | 8.72 | 14.38 | 18.37 | 23.36 | 17.37 | 0.146 | 84 |
| 黄葛榕 <i>Ficus virens</i> var. <i>sublanceolata</i> | 14.54 | 7.78 | 9.75 | 23.56 | 35.67 | 26.78 | 0.149 | 85 |

| 种名 Species | 主干断裂率 /% Trunk fracture rate | 主干倒伏率 /% Trunk lodging rate | 主干倾斜率 /% Trunk tilt rate | 主枝折损率 /% Trunk branch breakage rate | 次枝折损率 /% Minor branch breakage rate | 叶片撕毁率 /% Blade tear rate | 综合评分 Comprehensive scoring (Y) | 排序 Sorting |
|---|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--|--|-----------------------------|-----------------------------------|---------------|
| 非洲楝 <i>Khaya senegalensis</i> | 19.37 | 9.28 | 10.72 | 18.97 | 26.87 | 16.89 | 0.158 | 86 |
| 福建山樱花 <i>Cerasus campanulata</i> | 7.39 | 23.29 | 25.34 | 12.34 | 17.45 | 23.34 | 0.159 | 87 |
| 宫粉羊蹄甲 <i>Bauhinia variegata</i> | 20.13 | 10.28 | 4.28 | 24.29 | 54.38 | 11.63 | 0.175 | 88 |
| 南洋楹 <i>Falcataria moluccana</i> | 23.48 | 8.98 | 7.98 | 18.37 | 39.76 | 23.56 | 0.178 | 89 |
| 紫花风铃木 <i>Handroanthus impetiginosus</i> | 13.89 | 38.21 | 10.27 | 5.14 | 10.15 | 20.26 | 0.183 | 90 |
| 美丽异木棉 <i>Ceiba speciosa</i> | 32.67 | 5.15 | 2.12 | 16.34 | 35.15 | 17.28 | 0.187 | 91 |
| 木麻黄 <i>Casuarina equisetifolia</i> | 27.65 | 3.76 | 1.23 | 29.77 | 44.38 | 26.87 | 0.187 | 92 |
| 黄花风铃木 <i>Handroanthus chrysanthus</i> | 16.78 | 37.17 | 7.09 | 10.67 | 12.67 | 14.32 | 0.193 | 93 |
| 大花紫薇 <i>Lagerstroemia speciosa</i> | 15.75 | 28.94 | 13.43 | 12.34 | 23.56 | 32.56 | 0.193 | 94 |
| 红花羊蹄甲 <i>Bauhinia blakeana</i> | 32.23 | 13.56 | 5.89 | 13.65 | 18.29 | 26.89 | 0.202 | 95 |
| 木棉 <i>Bombax ceiba</i> | 38.20 | 7.65 | 8.56 | 28.27 | 35.28 | 18.35 | 0.239 | 96 |
| 小叶榕 <i>Ficus microcarpa</i> | 33.34 | 17.36 | 15.65 | 28.23 | 58.93 | 17.64 | 0.270 | 97 |
| 垂叶榕 <i>Ficus benjamina</i> | 34.37 | 20.38 | 26.34 | 23.43 | 33.46 | 18.23 | 0.277 | 98 |
| 黄槿 <i>Hibiscus tiliaceus</i> | 48.94 | 7.89 | 8.56 | 38.76 | 48.76 | 36.57 | 0.307 | 99 |
| 橡胶榕 <i>Ficus elastica</i> | 55.57 | 1.14 | 4.65 | 58.43 | 64.00 | 30.57 | 0.339 | 100 |

之，有 35 种，占总体的 35%，如幌伞枫 *Heteropanax fragrans*、鱼木 *Crateva formosensis*、猫尾木等；III 级树种抗风性能最差，有 11 种，占总体的 11%，如黄花风铃木 *Handroanthus chrysanthus*、宫粉羊蹄甲 *Bauhinia variegata*、橡胶榕等。

3 结论与讨论

不同绿化树种受台风影响差异较大，园林树种的抗风性是城市绿化在防灾减灾中选择树种的重要性状之一，选择抗风性强的树种作为园林绿化的主要树种具有重大意义^[9-10]。

从评价分级结果来看，I 级抗风树种大多数为乡土树种，或是引自附近沿海已广泛种植的树种，乡土树种是长期自然选择的树种，具有较强的抗逆性和适应性，容易形成稳定的植物群落和体现地方植物特色^[11]，其中棕榈科植物抗风性最好，可能是因为棕榈科植物枝叶稀疏，树形过风，这与祖若川^[12]和肖洁舒^[13]研究结果一致，但树种的抗风性能排序结果存在一定差异，原因可能是受调查地理位置、调查范围以及遭受台风等级差异的影响。研究结果表明不同科植物，抗风性能

存在差异，同一科植物，抗风性能也存在一定差异，说明树种的抗风性不仅与外界因素有关，与树木自身的特性同样息息相关。

通过对绿化树种的评价分级，可将红刺露兜树、狐尾椰、蒲葵、香樟、阴香、水石榕、落羽杉、桂花、象腿树等 I 级抗风树种作为深圳市以及华南沿海城市绿化的基调树种，特别应种植在防护林区、迎风面和风口区。II 级抗风树种如福建山樱花、糖胶树、凤凰木、莲雾、台湾相思、腊肠树、红花天料木、假苹婆、紫檀等可作为深圳市以及华南沿海城市绿化的骨干树种。III 级抗风树种如红花羊蹄甲、宫粉羊蹄甲、黄花风铃木、紫花风铃木、木棉、美丽异木棉、大花紫薇等虽然抗风性弱，但具有很高的观赏价值，在植物造景方面不可替代，规划设计时也应该遵循防风与景观兼顾的原则，将此类树种种植在避风区或背风区，同时应采用乔、灌、草相结合的原则，形成层次丰富、配置合理、结构稳定、景观优美的复层群落，这样更有利于抗风^[14-15]。像垂叶榕、榕树、橡胶榕、南洋楹等观赏价值相对较低的 III 级抗风树种可少量种植。

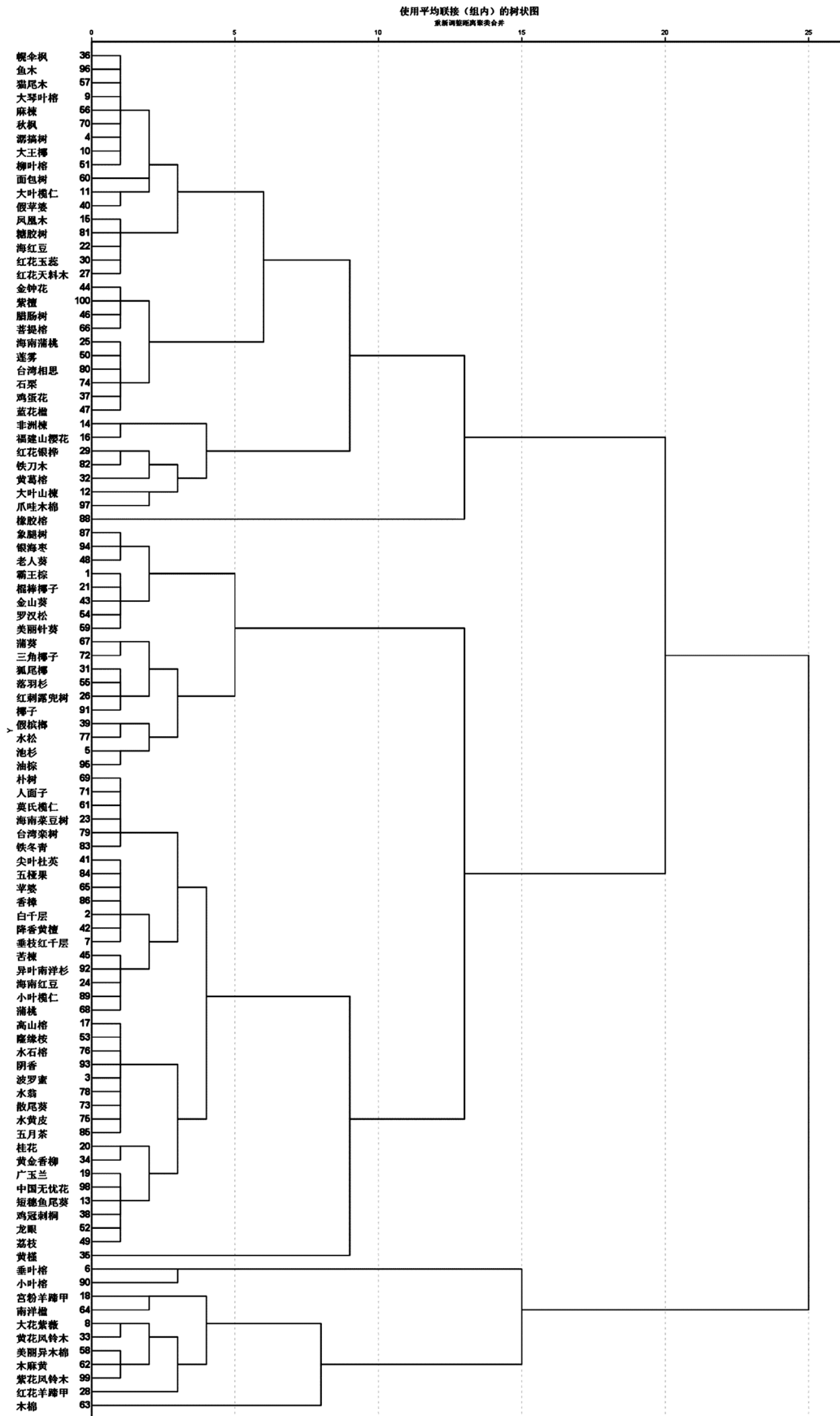


图 1 深圳市常见绿化树种风害受损情况聚类分级

Fig.1 Clustering analysis of wind damage of common greening tree species in Shenzhen

参考文献

- [1] LI K, LI G S. Risk assessment on storm surges in the coastal area of Guangdong Province[J]. *Natural Hazards*, 2013, 68 (2) : 1129-1139.
- [2] MEI W, XIE S P. Intensification of landfalling typhoons over the northwest Pacific since the late 1970s[J]. *Nature Geoscience*, 2016, 9 (10) : 753-757.
- [3] 卓钦锐. 创造深圳特色建设花园城市[J]. *中国园林*, 2001, 17(4): 49-50.
- [4] 汤剑雄, 徐礼来, 李彦旻, 等. 基于无人机遥感的台风对城市树木生态系统服务的损失评估[J]. *自然灾害学报*, 2018, 27(3): 153-161.
- [5] 周红敏, 惠刚盈, 赵中华, 等. 森林结构调查中最适样方面积和数量的研究[J]. *林业科学研究*, 2009, 22(4): 482-485.
- [6] 秦寿康. *综合评价原理与应用*[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [7] 唐东芹, 杨学军, 许东新. 园林植物景观评价方法及其应用[J]. *浙江林学院学报*, 2001(4): 64-67.
- [8] 封培波, 胡永红, 张启翔, 等. 上海露地宿根花卉景观价值的综合评价[J]. *北京林业大学学报*, 2003, 25(6): 84-87.
- [9] 罗建中, 谢耀坚, 曹加光, 等. 2年生桉树杂交种生长与抗风的遗传变异研究[J]. *草业学报*, 2009, 18(6): 91-97.
- [10] 辛如如, 彭剑华, 肖泽鑫, 等. 粤东滨海城市绿化树种抗风性评价与筛选[J]. *林业与环境科学*, 2017, 33(2): 29-35.
- [11] 姚喜梅, 郭再宽, 姚喜娟. 浅谈园林绿化树种的选择与配置[J]. *农业与技术*, 2016, 36(23): 102-103.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 雷金睿, 宋希强, 何荣晓. 滨海城市公园植物物种多样性比较: 以海口市为例[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(1): 118-124.
- [15] 魏龙, 张方秋, 高常军, 等. 广东沿海典型木麻黄防护林带风场的时空特征[J]. *林业与环境科学*, 2016, 32(4): 1-6.