

不同台风等级对珠海城市绿化树木的影响*

唐洪辉¹ 宋磊¹ 李毓琦¹ 杨清¹
许东先¹ 钱万惠¹ 唐敏聪² 赵庆¹

(1. 广东省森林培育与保护利用重点实验室 / 广东省林业科学研究院, 广东广州 510520;
2. 广东省龙眼洞林场, 广东广州 510520)

摘要 为探明不同台风等级对城市绿化树木的影响, 根据台风“天鸽”及“海高斯”在珠海市的登陆路径, 划分 14、12、10 共 3 种风力等级影响范围, 按城市绿地分类, 选取 113 个调查样区, 采用典型抽样法, 每个调查样区设置 1 个 400 m² 样方, 调查记录样方内所有径级超过 5 cm 树种名称、受灾特征等因子, 并用 Excel 2010 和 SPSS 20.0 软件进行相关数据处理, 结果表明: (1) 风力等级越大, 受害树种种类及数量越多、受害程度越严重, 风害值越大; 在 14、12、10 级风力侵袭下, 其受害树种比例分别为 92.65%、58.14% 和 44.74%, 受害树木数量比例分别为 46.45%、31.29% 和 16.01%; 平均风害值分别为 0.344、0.181 和 0.072。(2) 风力对不同树种侵袭产生的风害值存在极显著差异 ($P < 0.01$); 风害值可用作分析树木受害情况的量度指标, 预判或评价树木抗风的能力。(3) 台风侵袭后风害值较小的树木, 可选择为沿海城市绿化树种; 风害值中等的树种, 应在台风季节前应做好防护措施; 风害值较高的树种, 建议慎用。

关键词 珠海市; 绿化树木; 台风等级; 受害程度; 风害值

中图分类号: S723 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2053 (2021) 02-0001-06

Impacts of Typhoons with Different Wind Scales on the Urban Greening Trees in Zhuhai City

TANG Honghui¹ SONG Lei¹ LI Yuqi¹ YANG Qing¹
XU Dongxian¹ QIAN Wanhui¹ TANG Mincong² ZHAO Qing¹

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization / Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China; 2. Longyandong Forest Farm of Guangdong Province, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract To explore different typhoons' impacts on urban greening trees, we selected 113 surveyed regions and used typical sampling method to set sample plots with 400 m² on the basis of the landing paths of 'Hato' and 'Higos' as well as the classification of three typhoons' wind scales at level 14, 12, and 10. We investigated and recorded all the trees with diameter over 5 cm and damaged characteristics and analyzed them with Excel 2010 and Spss 20.0. Our results showed: (1) With higher wind scale, a higher number of tree species were damaged seriously and the wind damage values (WDV) were high. Under the wind scales at level 14, 12 and 10, the percentages of affected tree species were 92.65%, 58.14%, and 44.74%. The percentages of affected trees were 46.45%, 31.29%, and 16.01%. The averaged WDV were 0.344, 0.181 and 0.072. (2) WDV caused by different wind scales were extremely significantly different ($P < 0.01$). WDV could be used to analyze how much the trees

* 基金项目: 广东省林业科技创新项目 (2018KJCX029), 广州市科技计划项目 (201904010397)。

第一作者: 唐洪辉 (1962—), 男, (教授级) 高级工程师, 主要从事城市林业及景观植物应用研究, E-mail: gztanghh@126.com。

通信作者: 赵庆 (1985—), 男, 高级工程师, 主要从事城市林业及植物景观构建研究, E-mail: zhaoping@sinogaf.cn。

were damaged by typhoons and to predict trees' anti-wind capacities. (3) The trees with low WDV after the attacking of a typhoon can be selected as coastal urban greening trees; the trees with medium WDV should be well pre-protected before typhoon comes; the trees with high WDV were suggested to be cautiously considered in coastal urban areas.

Key words Zhuhai city; greening trees; wind scale; damaged levels; wind damage values

台风是我国东南沿海地区最主要的气象灾害,具有时间短、影响范围广、连锁灾害效应大、破坏力强等特征,对城市绿化树木的破坏极强。如2017年和2020年在珠海金湾区相近地点登录的台风“天鸽”和“海高斯”,其登陆时风力等级均达到12级,强风与夹带的暴雨影响范围遍及全市,其中“天鸽”共造成全市40多万株树木断枝、倒伏或折断^[1],而“海高斯”则造成2万多株树木受害^[2],对该市的城市建设造成极大损失,而未来类似甚至高于该等级的台风仍会在我国东南沿海发生。为此,众多学者围绕风害树木受损特征及原因^[3-7]、台风对树木的力学作用机理^[8-9]、树木风害评价^[10-11]、风害生态系统服务损失评估^[12-15]、台风灾害监测^[16]、减轻台风对城市绿化破坏措施^[17]、灾后城市景观修复与重建^[18]和防台风应对策略^[19]等方面开展研究,并取得较多的研究成果。但在有效判断和预测城市绿化树木的抗风能力的研究上,报导不多。本研究通过调查分析不同等级台风对同一城市绿化树木侵袭的受损特征,从中探讨沿海城市绿化树种选择条件,为构建沿海城市稳定的城市森林群落提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

珠海市地处广东中南部沿海,珠江入海口西偏南,为沿海低山丘陵地区,属亚热带海洋性气候,年均温22.4℃,年均降雨量1770~2300mm,4—9月为雨季,平均每年受台风影响4~5次。区域主要植被类型有常绿季雨林、红树林、灌丛、草丛、沼泽植被和人工植被等。地带性森林植被为常绿季雨林,城市绿地树种以细叶榕 *Ficus microcarpa*、秋枫 *Bischofia javanica*、香樟 *Cinnamomum camphora* 及棕榈科植物等为主。

1.2 台风“天鸽”及“海高斯”登陆概况

台风“天鸽”为2017年第13号台风,于8月23号在广东珠海市登陆,登陆时最大风力14

级,该风力的风圈半径为40km,覆盖珠海市几乎全部辖区范围。台风“海高斯”为2020年第7号台风,于8月18号也在广东珠海市登陆,登陆时最大风力12级,12级风圈半径为25km,覆盖珠海市金湾、斗门、高栏港区全域和横琴新区大部分区域以及香洲部分区域;10级风圈半径为40km,覆盖珠海市香洲、高新大部分区域和横琴新区小部分区域。两台风的登陆位置相邻,覆盖范围重叠(图1-2)。

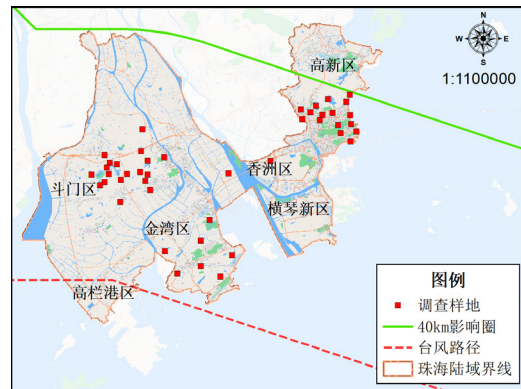


图1 台风“天鸽”14级风力影响范围调查样点分布示意
Figure 1 Distribution of surveyed sample plots within the typhoon Hato's affecting areas with wind scale at level 14

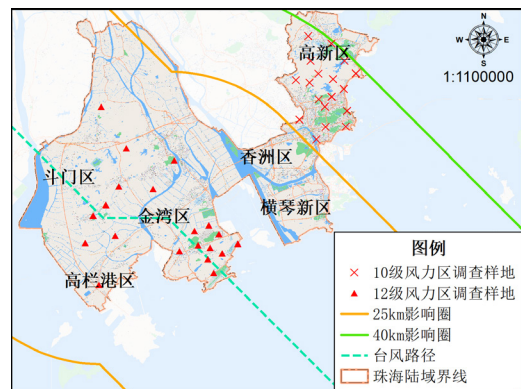


图2 台风“海高斯”12、10级风力影响范围调查样点分布示意
Figure 2 Distribution of surveyed sample plots within the typhoon Higos's affecting areas with wind scale at level 12 and 10

1.3 研究方法

在台风“天鸽”和“海高斯”登陆后的第2天起,分别在风圈半径14级、12级和10级范围

内，采用无人机巡行与人工踏查相结合方式，在城市公园绿地、防护绿地、广场用地、附属绿地、区域绿地选取 113 个调查样区（图 1-2），采用典型抽样法，每个样区设置 1 个 400 m² 样方，并围绕表 1 的 3 个受损程度、9 种受灾特征，调查记录所有径级超过 5 cm 乔木树种名称、树高、胸径、枝下高、冠幅和样方地点、样方方位、绿地类型、群落结构、斑块林木郁闭度、乔木种植方式及种植年限等因子。

1.4 数据处理

调查数据采用 Excel 2010 和 SPSS 20.0 软件进行处理。其中树种受害率、树木受害率和树种重要值采用公式 (1)(2)(3) 计算；树种的综合损害程度用风害值表示，根据树种在不同等级台风中的受害程度（表 1），参考相关文献^[4,10]并结合现场调查，按损害程度从重到轻分别赋予 0.5、0.3、0.2 权重值，其计算采用公式 (4)。不同风力等级侵袭后，各树种产生的风害值差异采用系统分组的两因素方差分析。

树种受害率 (N_i) % = 100 × (样方内受害树种数量 / 样方所有调查树种数量) …… (1)

树木受害率 (M_L) % = 100 × (样方内受害树木数量 / 样方内所有调查树木数量) …… (2)

树种重要值 (IV) = (相对多度 + 相对频率 + 相对优势度) / 3 …… (3)

式中：相对多度 (%) = 100 × (某个物种的株数 / 所有物种的总株数)；相对频度 (%) = 100 × (某个物种在统计样方中出现的次数 / 所有物种出现的总次数)；相对优势度 (%) = 100 ×

(某个物种的胸径 / 所有物种的胸径和)。

某树种风害值 (V) = (某树种重度受损率 × 0.5 + 某树种中度受损率 × 0.3 + 某树种轻度受损率 × 0.2) / 100 …… (4)

式中：树种重度受损率 (%) = 100 × (某个物种受害程度达到重度受损数量 / 该物种的总受害株数)，树种中度受损率 (%) = 100 × (某个物种受害程度达到中度受损数量 / 该物种的总受害株数)，树种轻度受损率 (%) = 100 × (某个物种受害程度达到轻度受损数量 / 该物种的总受害株数)。

2 结果与分析

2.1 不同风力等级侵袭树木受灾种类和数量

从表 2 的分析结果可知：侵袭的风力等级越大，受害树种种类及数量越多，随着风力的减弱，受害种类和数量呈下降趋势。在 14 级强风侵袭下，树种的受害率达到 92.65%，树木受害率则达到 46.45%，明显高于 12 级、10 级风力的树种受害率 58.14%、44.74% 和树木受害率 31.29%、16.01%。

2.2 不同风力等级侵袭树木受害特征分析

从表 3 的分析结果可知：14 级强风作用下，重度受损树木共有 978 株，占调查树木总数的 26.66%，这些树木需要重栽。而中度受损的树木共有 335 株，占总数的 9.13%，这些树木需要通过截枝、树冠重新整形修剪后，同时加强护理，方可恢复。另调查中发现：银海枣 *Phoenix sylvestris*、加拿利海枣 *Phoenix canariensis*、椰子 *Cocos nucifera*、澳洲鸭脚木 *Schefflera microphylla*、木麻

表 1 风害树木受灾特征及等级类型划分^[20]

Table 1 Disaster characteristics and classification of wind-damaged trees

受害程度 Damage level	受害类型 Damage type	树木受灾特征 Characteristics of damaged trees
重度受损 I Severely damaged	I-1	主杆折断或撕裂、树木一级分枝折断或撕裂，林冠破坏程度大于 2/3；
	I-2	树体吹斜垂直倾角度大于 45°，甚至树体倒伏，根系折断，根头翻兜裸露；
	I-3	棕榈植物叶片吹断、吹落数量大于全株 2/3，生长点吹断或树干吹断、撕裂。
中度受损 II Moderately damaged	II-1	树木二级以上分枝折断或撕裂，林冠受损程度为 1/3~2/3；
	II-2	树体吹斜垂直倾角度为 30~45°；
	II-3	棕榈植物叶片吹断、吹落数量为全株 1/3~2/3。
轻度受损 III Light damaged	III-1	树木三级以上分枝折断，林冠受损程度小于 1/3；
	III-2	树体吹斜垂直倾角度小于 30°；
	III-3	棕榈植物叶片吹断、吹落数量小于全株 1/3。

表2 不同风力等级侵击后的树种受灾概况
Table 2 Disaster situation of tree species under different wind scales

风力等级 Wind scale	调查树种种数 Surveyed tree species	树种受害率 /% Percentages of damaged trees	受害株数超过 80% 种数 Tree species with damaging percentages over 80%	调查株数 Surveyed trees	树木受害率 /% Damage rate
14	68	92.65	44	3 669	46.45
12	43	58.14	7	1 125	31.29
10	38	44.74	3	1 206	16.01

黄 *Casuarina equisetifolia*、荔枝 *Litchi chinensis*、尖叶杜英 *Elaeocarpus apiculatus*、人面子 *Dracontomelon duperreanum*、高山榕 *Ficus altissima*、麻楝 *Chukrasia tabularis*、台湾相思 *Acacia confusa*、鸡蛋花 *Plumeria rubra*、树菠萝 *Artocarpus heterophyllus* 等树种具有较好抗击强风能力,表现在这些树种在 14 级强风的侵击下,处于 I、II 级受损程度的数量比例较低,受损程度较轻,适宜作为珠海城市绿化树种。

而 12 级强风作用下,重度受损树木共有 224 株,占调查总数的 19.92%。中度受损的共有 58 株,占总数的 5.16%。另调查中发现:除在 14 级强风下受害较轻的银海枣、加拿利海枣等树种外,大王椰子 *Roystonea regia*、狐尾椰子 *Wodyetia bifurcata*、老人葵 *Coccothrinax crinita*、布迪椰子 *Butia capitata*、蒲桃 *Syzygium jambos*、秋枫 *Bischofia javanica*、香樟 *Cinnamomum camphora*、细叶榕 *Ficus microcarpa*、海南蒲桃 *Syzygium hainanense*、芒果 *Mangifera indica*、铁冬青 *Ilex rotunda*、海南红豆 *Ormosia pinnata*、金黄熊猫 *Xanthostemon chrysanthus*、假苹婆 *Sterculia lanceolata*、黄葛榕 *Ficus virens* 等树种在 12 级强风侵击下,处于 I、II 级受损程度的数量比例较低,表现出较好的抗强风能力,在有防护措施的前提下,可作为珠海城市绿化树种。

在 10 级强风作用下,重度受损树木共有 165 株,占调查总数的 13.69%,中度受损树木共有 8 株,占总数的 0.67%。另调查中发现:除在 14 级强风下受害较小及可以抵御 12 级强风的大王椰子、海南红豆、金黄熊猫等树种外,细叶榄仁 *Terminalia amtay*、盆架子 *Alstonia scholaris*、尾叶桉 *Eucalyptus urophylla*、菩提榕 *Ficus religiosa*、蓝花楹 *Jacaranda mimosifolia*、复羽叶栎树 *Koelreuteria bipinnata*、黄花风铃木 *Handroanthus chrysanthus*、铁刀木 *Cassia siame*、大叶紫薇 *Lagerstroemia speciosa*、凤凰木 *Delonix regia*、美丽异木棉 *Ceiba speciosa* 等大量树种均具有抗击 10 级强风能力。但黄槿 *Hibiscus tiliaceus*、宫粉洋蹄甲 *Bauhinia variegata*、红花紫荆 *Bauhinia blakeana*、羊蹄甲 *Bauhinia* sp.、黄槐 *Cassia surattensis*、腊肠树 *Cassia fistula*、印度紫檀 *Pterocarpus indicus*、白兰 *Michelia alba*、垂柳 *Salix babylonica*、中华无忧树 *Saraca asoca*、南洋楹 *Albizia falcataria*、银叶金合欢 *Acacia podalyriifolia* 等树种抗强风能力较差,在没有防护措施的时候,不适宜作为珠海城市绿化主要树种。

2.3 不同风力等级侵击树种风害值

比较 113 个样方中重要值居前 30 位的 20 种相同树种在不同风力等级侵击下受损情况发现(表 4):风力越强,树木受损程度越严重,受害树木种

表3 不同风力等级侵击下的树木受害种类与数量
Table 3 Tree damage types and numbers under different wind scales

风力等级 Wind scale	受害类型 Damage type								
	I-1	I-2	I-3	II-1	II-2	II-3	III-1	III-2	III-3
14	335/31	522/41	121/17	169/18	130/17	15/1	197/5	241/6	127/2
12	20/7	203/15	1/1	40/13	14/5	14/1	45/4	6/3	9/1
10	1/1	164/13	0/0	8/4	0/0	0/0	0/0	20/2	0/0

注:表中数据为受害树木数量/受害树种种类。有些树种同时显现多种受损特征。

Note: the numbers are damaged tree numbers / damaged tree species. Some tree species suffered from different damages.

类和数量比例越大, 风害值越大, 各树种之间存在差异。在 14 级强风的侵袭下, 树木受害率 $\geq 50\%$ 的树种有 18 种、占 90%, 其受损程度达到 I、II 级树木比例较多, 达到 I 级受损程度的树木数量平均比例有 52.8%, 风害值也较高, 均值达到 0.344; 但随着风力等级下降到 12 和 10 级, 受害率 $\geq 50\%$ 的树种下降至 9 种和 4 种, 其受损程度 I、II 级树木比例及风害值明显呈下降趋势, 达到 I 级受损程度的树木数量比例平均下降到 24.4% 和 8.0%, 风害值均值则为 0.181 和 0.072。采用系统分组的两因素方差分析, 对树种、风力等级和风害值进行差异性分析比较, 结果表明: 3 种风力侵袭下, 树种间

的风害值存在极显著差异 ($F=7.195, P < 0.01$)。

3 结论与讨论

台风对城市绿化树木影响主要以树木遭受台风侵袭后其生长表现特征来反映, 大多采用树木受害率或受损害程度分级进行受损统计、评价^[4,7]。本研究中采用风害值作为量度指标, 分析树木受害情况。因树种的风害值是物种受台风侵袭后, 涉及树木不同受损程度和受害数量, 并且根据树木受损程度赋予受害权重值, 受损程度越严重, 赋予权重值越大, 反之则小^[4,10]。如在 14 级风力侵袭下, 大王椰子、盆架子、凤凰木和黄槐的树

表 4 不同风力等级侵袭下相同树种受害比较
Table 4 Damage of the same tree species under different wind force

树种 Tree species	树种重要值 %/ 排位 Significant value/NO			14 级台风受损程度 Extent of damage under wind scale at level 14				12 级台风受损程度 Extent of damage under wind scale at level 12				10 级台风受损程度 Extent of damage under wind scale at level 10			
	14 级 Level 14	12 级 Level 12	10 级 Level 10	I 级所 占比 例 % Percentage of damage level I	II 级所 占比 例 % Percentage of damage level II	III 级所 占比 例 % Percentage of damage level III	风害 值 Wind dam- age value	I 级所 占比 例 % Percentage of damage level I	II 级所 占比 例 % Percentage of damage level II	III 级所 占比 例 % Percentage of damage level III	风害 值 Wind dam- age value	I 级所 占比 例 % Percentage of damage level I	II 级所 占比 例 % Percentage of damage level II	III 级所 占比 例 % Percentage of damage level III	风害 值 Wind dam- age value
细叶榕	14.20/ 1	13.60/ 1	12.63/ 1	38.0	0.9	50.6	0.294	0.0	6.3	12.5	0.044	0.0	0.0	0.0	0.000
秋枫	7.60/ 2	8.02/ 2	4.70/ 7	27.8	27.8	38.9	0.300	16.2	2.1	0.0	0.087	0.0	2.1	2.1	0.011
芒果	5.20/ 3	4.20/ 7	6.23/ 2	84.2	0.0	0.0	0.421	0.0	4.0	2.0	0.016	0.0	0.0	0.0	0.000
香樟	4.27/ 5	5.20/ 5	6.07/ 3	20.0	40.0	20.0	0.260	2.0	6.0	8.0	0.044	0.0	0.0	0.0	0.000
细叶榄仁	3.80/ 7	3.17/ 8	5.00/ 6	81.7	9.2	9.2	0.454	16.7	22.2	19.4	0.189	0.0	7.7	15.4	0.054
大叶紫薇	4.20/ 6	5.18/ 6	2.93/ 13	75.0	21.4	3.6	0.446	28.3	7.5	7.5	0.179	0.0	2.1	2.1	0.010
红花紫荆	2.40/ 11	2.30/ 13	4.00/ 8	87.5	12.5	0.0	0.475	63.6	27.3	9.1	0.418	33.3	33.3	11.1	0.289
宫粉洋蹄甲	2.13/ 12	3.03/ 11	3.13/ 14	87.0	13.0	0.0	0.474	52.1	12.3	4.1	0.305	41.9	0.0	0.0	0.209
黄花风铃木	1.43/ 17	2.27/ 14	3.00/ 12	100.0	0.0	0.0	0.500	60.0	40.0	0.0	0.420	2.8	8.4	0.0	0.039
木棉	1.21/ 18	1.43/ 19	3.40/ 9	75.0	25.0	0.0	0.450	36.8	42.1	0.0	0.311	9.1	36.4	0.0	0.155
美丽异木棉	1.50/ 16	2.17/ 15	2.81/ 15	61.4	30.0	5.7	0.409	34.3	22.4	16.4	0.272	4.2	22.9	35.4	0.160
盆架子	2.67/ 10	7.44/ 4	2.70/ 17	56.5	28.3	15.2	0.398	18.2	45.5	9.1	0.245	0.0	0.0	1.4	0.003
大王椰子	2.03/ 14	1.50/ 18	1.93/ 20	23.6	9.1	67.3	0.280	0.0	0.0	28.6	0.057	0.0	0.0	0.0	0.000
高山榕	3.10/ 9	7.70/ 3	5.07/ 5	0.0	12.5	37.5	0.113	0.0	3.6	14.3	0.039	0.0	0.0	9.1	0.018
椰子	3.47/ 8	2.13/ 17	3.30/ 10	19.6	30.4	37.5	0.264	0.0	0.0	25.6	0.051	0.0	0.0	0.0	0.000
黄槐	2.10/ 13	1.13/ 20	2.00/ 19	100.0	0.0	0.0	0.500	72.0	4.0	4.0	0.380	68.8	0.0	0.0	0.344
凤凰木	0.83/ 24	0.77/ 25	0.90/ 27	60.5	26.3	13.2	0.408	33.3	0.0	0.0	0.167	0.0	0.0	0.0	0.000
非洲桃花心	1.77/ 15	0.72/ 28	1.23/ 25	57.4	29.5	13.1	0.402	55.2	34.5	3.4	0.386	0.0	35.7	21.4	0.150
澳洲鸭脚木	5.13/ 4	3.43/ 9	1.33/ 22	0.9	2.6	1.7	0.016	0.0	0.0	3.8	0.008	0.0	0.0	0.0	0.000
银海枣	1.13/ 23	0.73/ 26	0.87/ 29	0.0	0.0	10.0	0.020	0.0	0.0	5.0	0.010	0.0	0.0	0.0	0.000
均值 Mean values				52.8	15.9	16.2	0.344	24.4	14.0	86.0	0.181	8.0	7.4	48.0	0.072

木受害率均达到 100%，但风害值不一，四者的风害值分别为：0.280、0.398、0.408 和 0.500，风害值最小的大王椰子，Ⅰ级受害率才 23.6%、Ⅱ级受害率 9.1%、Ⅲ级受害率 67.3%，该物种受损程度轻的数量多；而盆架子、黄槐、凤凰木 3 种树种，其受损程度Ⅰ、Ⅱ级的树木数量比例多。根据树木修复与养护实践以及相关研究^[18,20]，后 3 种树种修复与恢复城市绿化景观的困难程度明显要大于大王椰子。因此，通过本研究分析认为，用树木的风害值指标量度城市绿化树木的风害程度，比采用单一树木风害率更全面和科学，同时也可采用该指标评价和预判树木抗击强风的能力。

珠海城市绿化树种受台风侵袭的损害与风力等级相关，风力等级越大，受害树种种类及数量越多，树木受害程度越严重，风害值越大；不同树种的风害值存在极显著差异 ($P < 0.01$)。通过现场调查和树木受害分析认为，风害值较小、具有较好观赏性的银海枣、加拿利海枣、椰子、澳洲鸭脚木、荔枝、尖叶杜英、人面子、高山榕、麻楝、鸡蛋花、树菠萝等抗风性较好，宜选为珠海市城市绿化树种；选择大王椰子、狐尾椰子、老人葵、布迪椰子、蒲桃、秋枫、香樟、细叶榕、海南蒲桃、芒果、铁冬青、海南红豆、金黄熊猫、假苹婆、黄葛榕等风害值中等的绿化树种，在台风季节前应做好防护措施；黄槿、宫粉洋蹄甲、红花紫荆、羊蹄甲、黄槐、腊肠树、印度紫檀、白兰、垂柳、中华无忧树、南洋楹、银叶金合欢等风害值较大的树种，建议慎用。

参考文献

- [1] 受台风“天鸽”影响珠海树木倒伏折断超40万株 [EB/OL].(2017-08-25) [2017-11-20]. http://news.ycwb.com/2017-08/25/content_25422519.htm.
- [2] 马涛.台风过后城市“颜值”恢复[N].珠海晚报, 2020, 8, 21(2).
- [3] 黄义钧, 何国强, 张建华, 等.园林树木形态因子与树种抗风能力关系探讨[J].西南大学学报(自然科学版).2020, 42(5): 69-79.
- [4] 郭子燕, 柯雨沁, 李海燕, 等.基于台风危害的厦门地区园林树木受损原因研究[J].中国园林, 2020, 36(1): 122-127.
- [5] 肖毅强, 古亚宁, 林瀚坤, 等.台风灾害下城市受损树木的空间分布特征: 以广州为例[J].风景园林, 2020, 27(10): 112-117.
- [6] 柯欢, 张伟海, 谭家得, 等.台风“山竹”对佛山市南海区园林树木的影响[J].防护林科技, 2020, 198(3): 29-35.
- [7] 刘瑞雪, 许晓雪.强台风后城市园林树木的风灾损伤及其抗风能力研究: 以深圳大学后海校区为例[J].中国园林, 2020, 36(9): 116-121.
- [8] 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.
- [9] 翁翔, 李光辉, 冯海林, 等.应力波在树木径切面内的传播速度模型[J].林业科学, 2016, 52(7): 104-112.
- [10] 高育慧, 毛君竹, 曾鹏飞, 等.基于层次分析法的深圳市绿化树种抗风性评价[J].林业与环境科学, 2019, 35(4): 97-105.
- [11] 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.
- [12] 仝川, 杨玉盛.飓风和台风对沿海地区森林生态系统的影响[J].生态学报, 2007, 27(12): 5337-5344.
- [13] 刘斌, 潘澜, 薛立.台风对森林的影响[J].生态学报, 2012, 32(5): 1596-1906.
- [14] 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.
- [15] 田韞钰, 周伟奇, 钱雨果, 等.台风“山竹”对深圳城市绿地及生物量的影响[J].生态学报, 2020, 40(8): 2589-2598.
- [16] 刘少军, 张京红, 蔡大鑫, 等.Landsat 8在橡胶林台风灾害监测中的应用[J].自然灾害学报, 2016, 25(2): 53-58.
- [17] 王仙芝.闽南沿海地区园林绿化防台风应对策略[J].闽南师范大学学报(自然科学版), 2020, 33(2): 72-78.
- [18] 欧云锋.台风灾后绿化景观的修复与重建: 以厦门市环岛路绿化景观灾后重建项目为例[J].绿色科技, 2020, 17(9): 80-81.
- [19] 卢文刚, 温超敏, 刘沛.粤港澳大湾区城市灾害应急管理: 挑战及应对能力建设——以珠海市金湾区应对台风“天鸽”为例[J].行政科学论坛, 2018(4): 51-53.
- [20] 黄頌谊, 陈峥, 周圆.珠海市“天鸽”“帕卡”台风灾后行道树倒伏及复壮调研[J].广东园林, 2017(6): 91-95.