

不同树种木材性质及其抗台风性能

许秀玉^{1,2}, 王明怀¹, 仲崇禄³, 张华新¹

(1. 中国林业科学研究院 国家林业局盐碱地研究中心, 北京 100091; 2. 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520; 3. 中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520)

摘要: 为阐明不同树种木材性质对抗台风效果的影响规律, 确定影响林木风害的主要材性因子, 采用相关分析、逐步回归分析等方法对强台风过后 6 个树种风害情况及 8 个材性性状进行了研究。结果表明: 台风对沿海防护林的破坏以 1 级风害(风折或风倒)和 2 级风害(严重风斜)为主; 琼崖海棠 *Calophyllum inophyllum*, 木麻黄 *Casuarina equisetifolia* 最抗台风, 马占相思 *Acacia mangium*, 巨尾桉 *Eucalyptus grandis* × *Eu. urophylla* 次之, 厚荚相思 *Acacia crassicaarpa* 最不抗风; 树种总风害率分别与纤维宽度($r=0.958\ 0$, $P<0.05$), 纤维长宽比($r=-0.868\ 0$, $P<0.05$)存在显著相关; 树种抗风值分别与纤维宽度($r=-0.944\ 0$, $P<0.05$), 纤维长宽比($r=0.890\ 0$, $P<0.05$)存在显著相关。逐步回归分析表明: 以总风害率为因变量, 只有纤维宽度 ($r^2=0.917\ 8$, $P=0.002\ 6$), 抗弯弹性模量 ($r^2=0.972\ 5$, $P=0.009\ 2$)这 2 个性状纳入了方程, 它们对总风害率影响最大; 以抗风值为因变量, 只有纤维宽度($r^2=0.890\ 5$, $P=0.004\ 7$)这个性状纳入方程, 其对树种抗风值影响最大; 以 1 级风害率为因变量, 纤维长宽比 ($r^2=0.825\ 9$, $P=0.012\ 1$), 顺纹剪切强度($r^2=0.974\ 0$, $P=0.176\ 9$), 抗弯弹性模量($r^2=0.919\ 5$, $P=0.158\ 6$)纳入回归方程, 回归方程达到显著水平; 纤维宽度($r^2=0.818\ 8$, $P=0.106\ 4$), 冲击韧性($r^2=0.882\ 4$, $P=0.055\ 6$)对 2 级风害率影响最大。建立的回归方程可用于其他树种抗风性能的预测及评价。图 2 表 4 参 19

关键词: 森林保护学; 木材性质; 抗台风; 木材密度; 纤维形态; 力学性质

中图分类号: S728.6; S761.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2014)05-0751-07

Wood properties and anti-typhoon performance in selected trees

XU Xiuyu^{1,2}, WANG Minghuai¹, ZHONG Chonglu³, ZHANG Huaxin¹

(1. Research Centre on Saline and Alkali Lands of State Forestry Administration, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China; 3. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong China)

Abstract: To analyze the relationship between anti-typhoon performance and wood properties, eight wood property factors (oven-dried density, fiber width, fiber length, ratio of fiber length to width, modulus of elasticity, shearing strength, modulus of rupture, and impact toughness) of six tree species (*Calophyllum inophyllum*, *Casuarina equisetifolia*, *Melia azedarach*, *Acacia mangium*, *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*, and *Acacia crassicaarpa*) and their anti-typhoon performance were tested. A correlation analysis between anti-typhoon performance and wood properties was conducted. Also, a regression analysis was conducted to determine forecasting and evaluating values for wind-resistance performance. Results for the six tree species showed that each wood property factor presenting a significant difference ($P<0.01$) from another. Typhoon-resistance of the trees

收稿日期: 2013-11-07; 修回日期: 2013-12-20

基金项目: “十一五”国家林业科技支撑计划专题(2009BADB2B0101); 广东省财政专项; 广东省乡土树种良种选育与繁育项目

作者简介: 许秀玉, 高级工程师, 博士研究生, 从事林木遗传育种及森林生态研究。E-mail: 81250908@163.com. 通信作者: 张华新, 研究员, 博士生导师, 从事植物抗逆育种研究。E-mail: 13601283540@126.com

was in the order: *Calophyllum inophyllum* > *Casuarina equisetifolia* > *M. azedarach* > *A. mangium* > *Eu. grandis* × *Eu. urophylla* > *A. crassicaarpa*. The direct linear correlation between anti-typhoon performance (total wind damage) and fiber width ($r = 0.958\ 0$, $P < 0.05$), and that between total wind damage and ratio of fiber length to width ($r = -0.868\ 0$, $P < 0.05$) were found. Regression analysis showed that fiber width ($r^2 = 0.917\ 8$, $P = 0.002\ 6$) and modulus of elasticity ($r^2 = 0.972\ 5$, $P = 0.009\ 2$) got into the regression equation and had the greatest impact on total wind damage. The fiber width ($r^2 = 0.890\ 5$, $P = 0.004\ 7$) got into the regression equation and had the greatest impact on wind-resistance value. Also, ratio of fiber length to width ($r^2 = 0.825\ 9$, $P = 0.012\ 1$), shearing strength ($r^2 = 0.974\ 0$, $P = 0.176\ 9$), and modulus of elasticity ($r^2 = 0.919\ 5$, $P = 0.158\ 6$) got into the regression equation and had the greatest impact on 1st level damage (broken trunk and trunk lodging); whereas, fiber width ($r^2 = 0.818\ 8$, $P = 0.106\ 4$) and impact toughness ($r^2 = 0.882\ 4$, $P = 0.055\ 6$) got into the regression equation and had greatest impact on 2nd level damage (trunk heavily skewed). The forecasting value fitted well with the actual value. Thus, the regression equation could be used for forecasting and evaluating wind-resistance performance of other tree species.[Ch, 2 fig. 4 tab. 22 ref.]

Key words: forest protection; wood property; anti-typhoon; wood density; fiber feature; mechanical characteristic

中国是世界上少数受台风影响最严重的国家之一, 平均有台风或热带气旋 $7\ \text{个} \cdot \text{a}^{-1}$ 在东南沿海各省登陆, 重创农林种植业。目前, 国外对林木抗风机制研究主要集中在樟子松 *Pinus sylvestris*, 西家云杉 *Picea sitchensis*, 挪威云杉 *P. abies*, 西铁杉 *Tsuga heterophylla* 等树种, 通过动力学理论推导建立了一系列力学方程来描述林木的抗风性, 形成了若干关于林木风倒机理的模型^[1-5]。国内涉及林木抗风机制的相关研究中, 关德新等^[6]进行了林带结构与抗风能力关系的理论分析, 郑兴峰等^[7]从木材纤维的解剖特征来探讨巴西橡胶树 *Hevea brasiliensis* 的抗风性能, 朱成庆^[8]从生长指标、木材密度、造林密度、行间走向等多方面探讨了桉树无性系的抗风性, 吴志华等^[9]从形态性状、应力波速、基本密度、Pilodyn 值等方面探讨木麻黄 *Casuarina equisetifolia* 及相思 *Acacia* 的抗风性。这些研究均未涉及木材力学性质对树种抗台风效果的影响规律, 也未探明影响林木风倒、风折的主要材性因子。木麻黄是华南沿海地区不可替代的海防林主栽树种^[10], 马占相思 *Acacia mangium*, 厚荚相思 *A. crassicaarpa*, 巨尾桉 *Eucalyptus grandis* × *Eu. urophylla* 是华南沿海地区主要的经济用材树种^[11-14], 苦楝 *Melia azedarach* 和琼崖海棠 *Calophyllum inophyllum* 是华南沿海地区乡土树种、滨海盐碱地造林树种及园林绿化景观树种。目前, 对于这些树种的培育技术已较为成熟, 而对这些树种抗台风性能与材性性状之间关系的研究极少见报道。本研究通过开展风害调查及木材物理、力学性质测定, 探讨木材材性对抗台风效果的影响规律, 对树种抗台风能力进行评价与预测, 为沿海防护林抗风树种的选择和利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于广东湛江东海岛, 为典型的季风气候, 年降水量为 $1\ 500.0\ \text{mm}$, 其中 75% 以上的降水集中在 4-9 月; 年平均气温为 $25.0\ ^\circ\text{C}$, 最低气温在 1 月为 $2.0\ ^\circ\text{C}$, 最高气温在 7 月为 $38.0\ ^\circ\text{C}$; 年均相对湿度为 80%, 土壤为海滨潮积沙土。木麻黄、苦楝、马占相思、琼崖海棠、巨尾桉、厚荚相思等 6 个树种在试验地上随机区组排列, $40\sim 50\ \text{株} \cdot \text{小区}^{-1}$, 4 次重复。2005 年造林, 林分平均胸径 $11\ \text{cm}$, 平均树高 $9.5\ \text{m}$ 。

1.2 木材性质的测定

分别树种选择试验林中生长正常, 树干较圆满通直而无明显缺陷的平均木 3~5 株, 伐倒, 截取原木试材。具体方法参考国家标准 GB/T 1927-1991《木材物理力学试材采集方法》。试样的截取参考国家标准 GB/T 1929-1991《木材物理力学试材锯解及试样截取方法》。试样制作、含水率的调整、试验结果的计算等参考国家标准 GB/T 1928-1991《木材物理力学试验方法总则》。

参考国家相应标准^[14], 测定各树种绝干密度、纤维长度、纤维宽度、纤维长宽比、木材顺纹抗剪、

冲击韧性、木材抗弯强度、木材抗弯弹性模量等 8 个材性指标。

1.3 风害调查

2012 年 13 级强台风“启德”在湛江市麻章区登陆，对试验林造成了一定破坏，台风过后 7 d 内对试验林开展风害调查，并以 5 级风害等级评估林分风害情况，估算相应的抗风值^[15-16]。1 级，树干倾斜角度>45°或树干折断，得 1 分；2 级，树干倾斜角度 30°~45°或树梢折断，得 2 分；3 级，树干倾斜角度 15°~30°，得 3 分；4 级，树干倾斜角度<15°或上端树冠倾斜，得 4 分；5 级，正常而无损害，得 5 分。

抗风值=(1 级风害抗风值×株数+2 级风害抗风值×株数+3 级风害抗风值×株数+4 级风害抗风值×株数+5 级风害抗风值×株数)/总株数。

1.4 数据处理

应用 SAS 系统软件^[17]，进行方差分析、相关分析、逐步回归分析等统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同树种间各材性性状比较分析

由图 1 可以看出：各树种材性性状差异较大，木麻黄绝干密度、纤维长度及其长宽比、冲击韧性的平均值均大于其他树种。厚荚相思的绝干密度最小，纤维宽度最大，纤维长宽比值最小。琼崖海棠纤维宽度平均值最小，顺纹剪切强度、抗弯强度平均值最大。苦楝纤维长度、顺纹剪切强度、抗弯弹性模量平均值均低于其他树种。经方差分析，参试树种各材性性状存在着极显著差异，这些差异性性状为探讨林木抗台风性能差异提供了遗传基础。

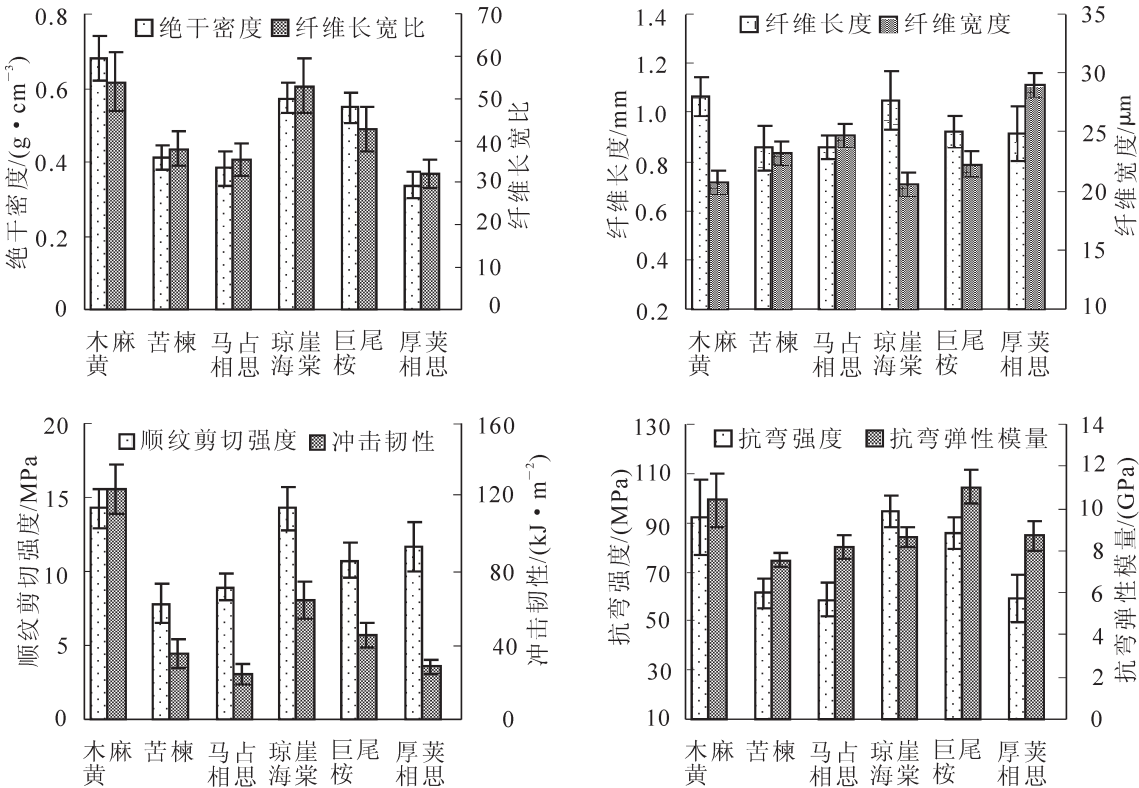


图 1 参试树种材性性状比较

Figure 1 Wood property in different tree species

8 个材性性状相关分析(表 1)表明：纤维形态、木材密度、力学性状两两之间相关关系显著，纤维长宽比值越大，木材密度越大，冲击韧性越强，抗弯强度越大。顺纹剪切强度、冲击韧性、抗弯强度、抗弯弹性模量 4 个力学性状两两之间相关均不显著，抗弯弹性模量与其他材性性状相关关系均不显著。

表 1 材性性状相关分析
Table 1 Correlation analysis of wood property

性状	绝干密度	纤维长度	纤维宽度	纤维长宽比	顺纹剪切强度	冲击韧性	抗弯强度	抗弯弹性模量
绝干密度	1.000							
纤维长度	0.844*	1.000						
纤维宽度	-0.867*	-0.602	1.000					
长宽比	0.951**	0.907*	-0.884*	1.000				
顺纹剪切强度	0.709	0.961**	-0.393	0.768	1.000			
冲击韧性	0.898*	0.856*	-0.662	0.856*	0.736	1.000		
抗弯强度	0.942**	0.874*	-0.816*	0.938**	0.791	0.756	1.000	
抗弯弹性模量	0.673	0.465	-0.360	0.448	0.485	0.539	0.658	1.000

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

2.2 不同树种抗风效果比较分析

风害研究结果表明:巨尾桉、马占相思、厚荚相思台风过后风折风倒严重,1级风害率占总风害率的比值最大,分别为72.4%,74.4%,64.7%;台风对琼崖海棠、木麻黄的危害主要是风斜、断梢、枝叶脱落等,2级与3级风害占的比例较大;苦楝以1级和2级风害为主。比较各树种的抗风值,其抗风性能由大到小依次为:琼崖海棠>木麻黄>苦楝>巨尾桉>马占相思>厚荚相思(图2)。研究结果还表明:台风过后,参试树种树干倾斜角度 $<30^{\circ}$ 或只是上端树冠倾斜时,绝大部分植株都能在后期生长中恢复直立,台风对沿海防护林的危害主要是风折、风倒及严重风斜(即1级和2级风害),造成林木的机械破坏、生长势下降及由此可能引发的病虫害。

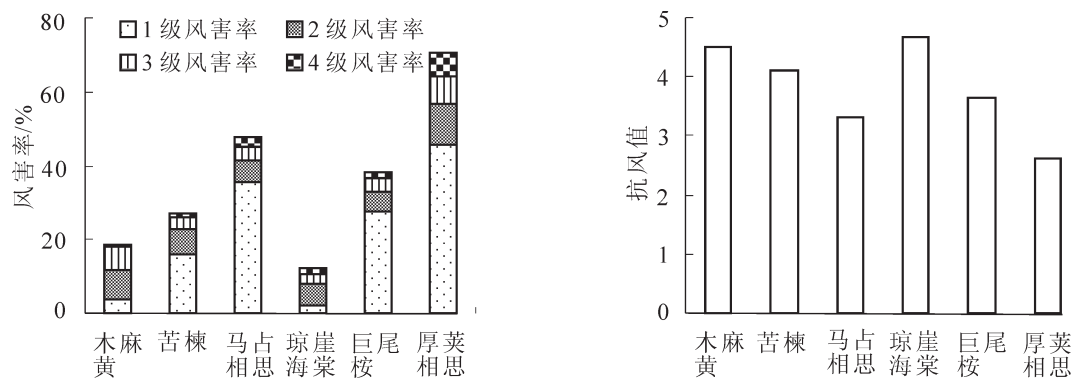


图 2 不同树种抗风表现差异

Figure 2 Anti-typhoon performance in different tree species

2.3 抗风效果与材性性状的相关分析

相关分析结果表明(表2):树种总风害率及1级风害率与纤维宽度呈显著正相关,与纤维长宽比呈显著负相关,与绝干密度、纤维长度、顺纹剪切强度、冲击韧性、抗弯强度、抗弯弹性模量呈不显著负相关;树种抗风值与纤维宽度呈显著负相关,与纤维长宽比呈显著正相关,与其他木材材性性状呈不显著正相关。由以上分析可知,纤维宽度、纤维长宽比与树种总风害率、1级风害率及抗风值大小有着密切的关系;树种抗风效果与木材力学性状间多呈不显著负相关或不显著正相关,2类性状似相互独立,这对育种上开展综合选择非常有利。

表 2 抗风效果与材性性状的相关分析

Table 2 Correlation analysis between anti-typhoon performance and wood property

性状	绝干密度(x_1)	纤维长度(x_2)	纤维宽度(x_3)	纤维长宽比(x_4)	顺纹剪切强度(x_5)	冲击韧性(x_6)	抗弯强度(x_7)	抗弯弹性模量(x_8)
总风害率	-0.781	-0.607	0.958*	-0.868*	-0.379	-0.637	-0.734	-0.127
1级风害率	-0.810	-0.716	0.908*	-0.909*	-0.505	-0.738	-0.757	-0.134
2级风害率	-0.383	-0.014	0.720	-0.379	0.150	-0.026	-0.394	-0.151
抗风值	0.796	0.6555	-0.944*	0.890*	0.433	0.679	0.748	0.129

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

2.4 影响林木抗风性能的主要材性因子分析

木材材性性状之间、林木抗风性能与材性性状间存在着复杂的关系。为了确定哪些变量是影响林木抗风性能的主效因子，并寻找这些变量间的规律，分别以绝干密度(x_1)，纤维长度(x_2)，纤维宽度(x_3)，纤维长宽比(x_4)，顺纹剪切强度(x_5)，冲击韧性(x_6)，抗弯强度(x_7)及抗弯弹性模量(x_8)为自变量，以总风害率(y_1)，1 级风害率(y_2)，2 级风害率(y_3)，抗风值(y_4)为因变量进行逐步回归分析。

结果表明：以总风害率(y_1)为因变量进行逐步回归分析时，由于绝干密度、纤维长度、纤维长宽比、顺纹剪切强度、冲击韧性、抗弯强度等 6 个变量对树种总风害率影响不显著或者变量之间共线性原因，在逐步回归过程中被剔除，只有纤维宽度、抗弯弹性模量这 2 个性状纳入了方程，回归方程达到显著水平；以 1 级风害率(y_2)为因变量进行逐步回归分析时，只有纤维长宽比、顺纹剪切强度、抗弯弹性模量这 3 个性状纳入了方程，回归方程达到显著水平；以 2 级风害率(y_3)为因变量进行逐步回归分析时，只有纤维宽度、冲击韧性这 2 个性状纳入了方程，回归方程达到显著水平；以树种抗风值(y_4)为因变量进行逐步回归分析时，只有纤维宽度这个性状纳入了方程，回归方程达到显著水平(表 3)。

表 3 逐步回归分析

Table 3 Regression analysis

因变量	自变量	参数估计	标准误	均方	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
总风害率	截距	-167.167 91	25.692	878.655	42.34	0.007 4
	纤维宽度	7.114 99	0.697	2 163.895	104.26	0.002 0
	抗弯弹性模量	0.003 95	0.002	123.728	5.96	0.092 4
1 级风害率	截距	70.352 87	14.117	496.214	24.84	0.038 0
	纤维长宽比	-2.570 18	0.349	1 082.428	54.18	0.018 0
	顺纹剪切强度	2.472 94	1.207	83.926	4.20	0.176 9
	抗弯弹性模量	0.003 59	0.002	88.256	4.42	0.170 3
2 级风害率	截距	-13.709 41	4.496	7.239	9.30	0.055 5
	纤维宽度	0.797 45	0.168	17.511	22.49	0.017 8
	冲击韧性	0.042 72	0.014	7.221	9.28	0.055 6
抗风值	截距	9.229 63	0.958	7.494	92.84	0.000 6
	纤维宽度	-0.231 19	0.041	2.625	32.53	0.004 7

说明：变量进入模型和留在模型的显著水平分别为 0.20 和 0.18。

以总风害率(y_1)，1 级风害率(y_2)，2 级风害率(y_3)和抗风值(y_4)作因变量，分别与各自纳入方程的性状建立回归方程如下： $\hat{y}_1 = -167.167\ 91 + 7.114\ 99\ x_3 + 0.003\ 95x_8$ ； $\hat{y}_2 = 70.352\ 87 - 2.570\ 18x_4 + 2.472\ 94x_5 + 0.003\ 59x_8$ ； $\hat{y}_3 = -13.709\ 41 + 0.797\ 45x_3 + 0.042\ 72\ x_6$ ； $\hat{y}_4 = 9.229\ 63 - 0.231\ 19x_3$ 。

由表 4 可以看出进入模型各因子决定系数(R^2)均大于 0.8，方程拟合程度较高。

表 4 逐步回归过程

Table 4 Process of regression analysis

因变量	步数	每步选入的变量	模型的变量数	偏 R^2	模型 R^2	进入变量的 <i>F</i> 值	<i>P</i> 值
总风害率	1	纤维宽度	1	0.917 8	0.917 8	44.66	0.002 6
	2	抗弯弹性模量	2	0.054 7	0.972 5	5.96	0.009 2
1 级风害率	1	纤维长宽比	1	0.825 9	0.825 9	18.98	0.012 1
	2	抗弯弹性模量	2	0.093 6	0.919 5	3.49	0.158 6
	3	顺纹剪切强度	3	0.054 5	0.974 0	4.20	0.176 9
2 级风害率	1	纤维宽度	1	0.818 8	0.818 8	4.31	0.106 4
	2	冲击韧性	2	0.363 6	0.882 4	9.28	0.055 6
抗风值	1	纤维宽度	1	0.890 5	0.890 5	32.53	0.004 7

3 结论与讨论

本研究参试树种均为广东、海南沿海大面积、普遍种植的 6 个树种, 其 8 个材性性状变异幅度极大, 均呈现极显著差异, 这为研究木材材性对抗风的影响及抗风树种的选择、评价与利用提供了依据。6 个参试树种中, 琼崖海棠、木麻黄最抗风, 苦楝、马占相思、巨尾桉次之, 厚荚相思最不抗风。这些试验结果与王志洁等^[18]研究发现木麻黄抗台风的能力强于各种相思树种, 陈胜^[19]研究发现厚荚相思抗强风能力较弱等的研究结果基本一致。台风对沿海防护林的破坏以 1 级风害、2 级风害为主, 对巨尾桉、马占相思、厚荚相思的危害主要是树干折断、树梢折断, 对琼崖海棠、木麻黄的危害主要是风斜、断梢、枝叶脱落等。

相关分析表明: 树种抗台风性能与木材纤维形态(纤维宽度、纤维长宽比)存在着直接的线性相关。这可能由于木材纤维形态与木材密度、力学性质指标之间呈显著相关关系, 不同树种木材纤维形态直接影响着各树种的木材密度及力学性能, 木材密度随着纤维长宽比的增加而增加, 力学性能随着纤维长宽比的增加而增强, 从而对台风的侵袭表现出不同的抗性。一般来说, 纤维长宽比越大、全干密度越大, 木材结构就越致密, 因此, 从本研究来看木材结构越致密的树种相对来说抗风性越强。这与吴志华等^[9]研究发现相思树种木材材性较脆, 决定其林分抗风折能力弱等研究结果相一致。

逐步回归分析表明: 8 个材性指标中对总风害率影响最大的是纤维宽度、抗弯弹性模量这 2 个指标, 对树种抗风值影响最大的是纤维宽度, 对 1 级风害率影响最大的是纤维长宽比、顺纹剪切强度、抗弯弹性模量 3 个指标, 对 2 级风害率影响最大的是纤维宽度、冲击韧性这 2 个指标。本研究所建立的回归方程可用于其他树种抗风性能的预测及评价。

参考文献:

- [1] PELTOLA H, KELLOMAKI S. A mechanistic model for calculating windthrow and stem breakage of scots pines at stand edge [J]. *Silv Fennica*, 1993, **27**(2): 99 – 111.
- [2] RUEL J C, PIN D, SPACEK L, *et al.* The estimation of wind exposure for windthrow hazard rating: Comparison between Strongblow, MC2, Topex and a wind tunnel study [J]. *Forestry*, 1997, **70**(3): 253 – 266.
- [3] ENGLAND A H, BAKER D J, SAUNDERSON S T. A dynamic analysis of windthrow of trees [J]. *Forestry*, 2000, **73**(3): 225 – 238.
- [4] BENOIT R, DESGAGNE M, PELLERIN P, *et al.* The Canadian MC2: a semi Lagrangian, semi-implicit wide band atmospheric model suited for finescale process studies and simulation [J]. *Mon Weather Rev*, 1997, **125**: 2382 – 2415.
- [5] VALINGER E, FRIDMAN J. Models to assess the risk of snow and wind damage in pine, spruce, birch forests in Sweden [J]. *Environ Manage*, 1999, **24**: 209 – 217.
- [6] 关德新, 朱廷曜. 林带结构与抗风能力关系的理论分析[J]. 北京林业大学学报, 1998, **20**(4): 119 – 212.
GUAN Dexin, ZHU Tingyao. Relationship between windbreak structure and wind-resistance ability [J]. *J Beijing For Univ*, 1998, **20**(4): 119 – 121.
- [7] 郑兴峰, 陶忠良, 邱德勃, 等. 巴西橡胶树抗风品系木材纤维的解剖特征[J]. 华南农业大学学报: 自然科学版, 2003, **24**(1): 47 – 49.
ZHENG Xingfeng, TAO Zhongliang, QIU Debo, *et al.* Anatomical characteristics of wood fibers of cultivars of *Hevea brasiliensis* with different wind-resistance [J]. *J South China Agric Univ Nat Sci Ed*, 2003, **24**(1): 47 – 49.
- [8] 朱成庆. 雷州半岛桉树无性系抗风性的研究[J]. 林业科学研究, 2006, **19**(4): 532 – 536.
ZHU Chengqing. Study on the wind-resistance traits of *Eucalyptus* clones in Leizhou Peninsula [J]. *For Res*, 2006, **19**(4): 532 – 536.
- [9] 吴志华, 李天会, 张华林, 等. 沿海防护林树种木麻黄和相思生长和抗风性状比较研究[J]. 草业学报, 2010, **19**(4): 166 – 175.
WU Zhihua, LI Tianhui, ZHANG Hualin, *et al.* Studies on growth and wind-resistance traits of *Casuarina* and *Acacia* stands from coastal protection forest [J]. *Acta Pratac Sin*, 2010, **19**(4): 166 – 175.
- [10] 仲崇禄, 白嘉雨, 张勇. 我国木麻黄种质资源引种与保存[J]. 林业科学研究, 2005, **18**(3): 345 – 350.

- ZHONG Chonglu, BAI Jiayu, ZHANG Yong. Introduction and conservation of *Casuarina* trees in China [J]. *For Res*, 2005, **18**(3): 345 – 350.
- [11] 谭芳林, 徐俊森, 林武星, 等. 福建滨海沙地造林树种的适应性与选择研究[J]. 林业科学, 2003, **39**(专刊 1): 100 – 105.
- TAN Fanglin, XU Junsen, LIN Wuxing, *et al.* Study on adaptability to coastal sandy land and selection of different planting tree species in Fujian Province [J]. *Sci Silv Sin*, 2003, **39**(suppl): 100 – 105.
- [12] 王凌晖, 秦武明, 杨梅, 等. 厚荚相思无性系造林与林业可持续发展[J]. 安徽农业科学, 2009, **37**(2): 592 – 594.
- WANG Linghui, QIN Wuming, YANG Mei, *et al.* Clone forest of *Acacia crassicarpa* and the sustainable development of forestry [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2009, **37**(2): 592 – 594.
- [13] 黄和亮, 吴景贤, 许少洪, 等. 桉树工业原料林的投资经济效益与最佳经济轮伐期[J]. 林业科学, 2007, **43**(6): 128 – 133.
- HUANG Heliang, WU Jingxian, XU Shaohong, *et al.* Evaluation of investment economic revenue and confirmation of the best economic cutting cycle of industrial raw material forest eucalyptus [J]. *Sci Silv Sin*, 2007, **43**(6): 128 – 133.
- [14] 中国标准出版社第一编辑室. 木材工业标准汇编[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002: 21 – 58.
- [15] PINYOPUSARERK K, KALINGANIRE A, WILLIAMS E R, *et al.* *Evaluation of International Provenance Trials of Casuarina equisetifolia* [R]. Canberra: ACIAR Technical Reports, 2004.
- [16] 仲崇禄, 白嘉雨. 山地木麻黄家系遗传参数估算与家系评选[J]. 林业科学研究, 1998, **11**(4): 361 – 369.
- ZHONG Chonglu, BAI Jiayu. Estimation of genetic parameters and screening of families for *Casuarina junghuhniana* [J]. *For Res*, 1998, **11**(4): 361 – 369.
- [17] 黄少伟, 谢维辉. 实用 SAS 编程与林业试验数据分析[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001: 36 – 140.
- [18] 王志洁, 叶功富, 谭芳林, 等. 相思树种在沿海沙质立地环境中的抗逆性研究[J]. 福建林业科技, 2005, **32**(4): 35 – 38.
- WANG Zhijie, YE Gongfu, TAN Fanglin, *et al.* The study on stress resistance of *Acacia* tree species in coastal sandy site[J]. *J Fujian For Sci Technol*, 2005, **32**(4): 35 – 38.
- [19] 陈胜. 沿海防护林优良适生树种造林效果研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2005, **29**(4): 91 – 95.
- CHEN Sheng. Growth performance of fine adaptive tree species for coastal protection forest [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2005, **29**(4): 91 – 95.