

## 浙江天童雨雪冰冻灾后林木机械受损与相关功能性状的关联

阎恩荣<sup>1</sup>, 仲强<sup>1</sup>, 周武<sup>1</sup>, 郭明<sup>1</sup>, 王良衍<sup>2</sup>, 袁世杰<sup>2</sup>

(1. 华东师范大学 环境科学系, 上海 200062; 2. 浙江天童国家森林公园, 浙江宁波 315114)

**摘要:** 为探讨冰冻雨雪灾后林木机械受损与功能性状间的联系, 调查了浙江天童盘山 8 种人工林的灾后受损状况, 并对主要常绿林木的抗雨雪冰冻功能性状进行了测定, 结果显示: ①柳杉 *Cryptomeria fortunei* 受损指数最大(0.54), 木荷 *Schima superba* 次之(0.45), 金钱松 *Pseudolarix kaempferi* 最低; 木荷和红楠 *Machilus thunbergii* 幼树在纯林中的受损指数大于混交林。②几种常绿阔叶林木的抗机械损伤功能性状表现各异: 叶面积和比叶面积最大的是木荷, 其次是红楠, 最小的是小叶青冈 *Cyclobalanopsis myrsinaefolia*; 树枝干物质质量分数和树枝密度的表现格局相反, 即小叶青冈最高, 木荷最低, 红楠中等。③受损指数与叶面积和比叶面积间显著正相关( $P < 0.05$ ), 与枝条干质量和枝条密度间显著负相关( $P < 0.05$ )。常见常绿林木抗雨雪冰冻功能性状与林木受损指数间具有重要关联。图 2 表 3 参 12

**关键词:** 森林生物学; 冰冻灾害; 机械受损指数; 比叶面积; 树干密度; 电导率

中图分类号: S718.4 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2010)03-0360-07

## Mechanical damage in relation to tree characteristics after a catastrophic freeze in Tiantong Region, Zhejiang Province

YAN En-rong<sup>1</sup>, ZHONG Qiang<sup>1</sup>, ZHOU Wu<sup>1</sup>, GUO Ming<sup>1</sup>, WANG Liang-yan<sup>2</sup>, YUAN Shi-jie<sup>2</sup>

(1. Department of Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. Tiantong National Forest Park, Ningbo 315114, Zhejiang, China)

**Abstract:** In early 2008 forest ecosystems in subtropical China were subjected to catastrophic heavy snow and freezing rain. The damage index and mechanical damage tolerance of common evergreen species (*Cryptomeria fortunei*, *Schima superba*, *Pseudolarix kaempferi*, *Machilus thunbergii*, and *Cyclobalanopsis myrsinaefolia*) in eight plantations of the Tiantong Region, Zhejiang Province, were determined and then compared with and correlated to tree traits (leaf area, specific leaf area, leaf dry matter content, twig dry matter content, twig density, and trunk density). Results showed that: 1) the damage index was highest in *Cr. fortunei*(0.54), intermediate in *S. superba* (0.45), and lowest in *P. kaempferi* with damage severity for *S. superba* and *M. thunbergii* seedlings higher in monoculture forests than in mixed forests. Also, 2) for mechanical damage tolerance, leaf area and specific leaf area were: *S. superba* > *M. thunbergii* > *Cy. myrsinaefolia*, but twig dry matter content and twig density were: *Cy. myrsinaefolia* > *M. thunbergii* > *S. superba*. Finally, 3) the damage index was positively and significantly correlated with leaf area ( $r = 0.95$ ,  $P < 0.001$ ) and specific leaf area ( $r = 0.86$ ,  $P < 0.01$ ) but negatively and significantly correlated with twig dry matter content ( $r = 0.73$ ,  $P < 0.05$ ) and twig density ( $r = 0.97$ ,  $P < 0.001$ ). Thus, for evergreen trees in this area, there should be a ecological linkage between tree characteristics and the mechanical damage index. [Ch, 2 fig. 3 tab. 12 ref.]

**Key words:** forest biology; scourge of freeze; mechanical damage index; specific leaf area; tree trunk density; relative conductance

收稿日期: 2009-06-19; 修回日期: 2009-09-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30770365); 浙江省宁波市鄞州区农业与社会发展科技项目(2008C06)

作者简介: 阎恩荣, 副教授, 从事代谢生态学、植物与土壤营养生态学等研究。E-mail: eryan@des.ecnu.edu.cn

2008 年初,中国南方地区所发生的冰雪灾害给亚热带森林生态系统造成了巨大影响。由于积雪和冰凌积压等原因,使得大面积人工林和天然林出现了断梢、折断、倒伏、翻兜和冻死等受损状态<sup>[1-3]</sup>,尤以常绿林木的机械受损最为严重。灾害之后,通过对常绿林木的机械受损和相关功能性状的调查和评估,探索其受损特征与林分结构和环境要素等的关系,可为筛选优良抗雨雪冰冻灾害常绿林木,营造健康、安全和可持续地抗雨雪冰冻灾害森林生态系统提供技术支持<sup>[4]</sup>。林木功能性状能够客观表达林木对外部环境的适应性,也能对生存环境的变化产生响应<sup>[5-9]</sup>,反映了林木在表征森林生态系统功能方面的指示作用<sup>[10-11]</sup>。例如:叶片比叶面积下降和干物质质量增加能够指示极端低温条件;树枝和树干的密度、比干质量与弹性等可以指示林木的抗折断能力,反映林木的抗雪压能力大小<sup>[7]</sup>。因此,林木功能性状可指示和反映森林的抗雨雪冰冻灾害能力<sup>[7]</sup>。本研究以浙江天童盘山林区 8 种人工林为研究对象,在对其灾后林分和主要林木机械受损状况,以及相关林木功能性状进行调查的基础上,评估纯林和混交林在抗雨雪冰冻灾害能力方面的差异,并通过进一步探索优势林木抗雨雪冰冻灾害功能性状与受损指数的关系,判别林木功能性状对抗雨雪灾害的指示作用,为筛选宁波地区优良抗雪压、抗低温常绿乡土林木提供借鉴。

## 1 研究方法

### 1.1 研究地概况和样地描述

盘山林区位于宁波市鄞州区天童风景区东部(29°46'N, 121°48'E),海拔为 310 ~ 500 m,地带性土壤为红壤,土壤厚度一般在 1 m 左右。该区地处亚热带中部东端,受海洋性季风气候影响,温暖湿润,正常情况下年平均气温为 16.2 °C,最冷 1 月平均气温 4.1 °C,历史极端最低气温 - 10.0 °C。2008 年 1 - 2 月平均气温为 4.5 °C,而极端最低气温为 - 5.0 °C。

1959 年盘山森林基本被砍伐,植被退化为荒山和次生灌丛。此后,林场对荒山荒坡进行了改造,大面积营造了金钱松 *Pseudolarix kaempferi*, 柳杉 *Cryptomeria fortunei*, 杉木 *Cunninghamia lanceolata*, 黑松 *Pinus thunbergii*, 马尾松 *Pinus massoniana* 和日本扁柏 *Chamaecyparis obtusa* 等人工林。经近 50 a 的经营,绝大部分人工林已发育为中、近成熟林。自 20 世纪 90 年代中期,森林管理目标从用材型向生态效益型转变,林场采取了“近自然林业”理论改造管理人工林。这一管理方式的主要原理是通过各种手段在人工林下抚育和定向补植乡土阔叶林木,使人工林尽快朝地带性森林群落的结构特征演替,使林分进行接近生态的自发生产。2000 年,分别在原有的金钱松林、柳杉林和日本扁柏林下补植木荷 *Schima superba* 和红楠 *Machilus thunbergii* 等常绿阔叶林木幼苗。2000 - 2004 年期间,曾遭受了较大规模的台风灾害和火灾,在灾后,林场选择了常绿阔叶林常见林木木荷、红楠和小叶青冈 *Cyclobalanopsis myrsinaefolia* 等,利用 1 ~ 2 年生苗木分别在不同台风侵袭迹地和火烧迹地营造人工林,共 7 种类型,其中,有以木荷、红楠和小叶青冈为主的单种幼龄纯林 3 个类型,以木荷、杉木和日本扁柏等比例混交的幼龄林 1 个类型。

本研究所选 8 种人工林主要由以上类型组成,包括 3 类幼龄纯林(木荷林、红楠林和小叶青冈林),1 类幼龄混交林(木荷-日本扁柏-杉木林),以及 4 类在金钱松、柳杉纯林和混交林下分别定植木荷与红楠形成的混交林,其中,根据金钱松的年龄级,把金钱松-红楠林划分为 2 种类型。以上 8 类人工林均位于海拔 330 ~ 390 m,坡度为 16° ~ 20° 的中山缓坡地带。各类型的林分特征如表 1 所示。

### 1.2 灾后林分机械受损状况调查

2008 年 3 月,在对盘山林区各人工林进行全面踏查的基础上,选取以上 8 种人工林类型,进行雨雪冰冻灾后林木受损状况调查。在调查时,1 种类型设置 3 个重复样地,样地面积为 20 m × 20 m。调查内容主要包括:海拔、坡向、坡度等立地条件以及林分类型和种类组成。另外,在标准样地内逐株测量林木胸径和树高,并记录每株林木的机械损伤等级( $D_1$ )。林木机械受损等级共分为以下 6 级:0 级,略受损伤,损伤级值为 0;1 级,地上部分幼树折枝  $\leq 1/2$ ,损伤级值为 1;2 级,地上部分幼树折枝  $> 1/2$  或断梢,损伤级值为 2;3 级,林木腰折、断杆  $\leq 1/2$ ,树干爆裂,损伤级值为 3;4 级,倒伏、腰折  $> 1/2$ ,损伤级值为 4;5 级,死亡,损伤级值为 5。

### 1.3 林木功能性状选择及测量

为进一步探索林木机械受损与抗雨雪冰冻灾害功能性状的联系,在盘山及其周边地区,选择生长良好的木荷、红楠和小叶青冈等3种常绿阔叶林木,金钱松、柳杉、杉木和日本扁柏4种针叶林木,对其抗冰冻和抗机械损伤的功能性状进行了测定。反映叶片抗冰冻的指标主要为叶片相对电导率,反映林木抗机械损伤的指标为叶面积、比叶面积(单位质量的叶面积)、叶片干质量含量(叶片干质量占叶片鲜质量重的比例)、树枝干质量含量(树枝干质量占树枝鲜质量的比例)、树枝密度和树干密度。在这些指标中,叶片相对电导率可指示叶片的耐冻敏感性,反映叶片的耐严寒胁迫能力。其主要原理是:在冷胁迫条件下,叶片细胞原生质结构受到破坏,原生质膜的半透性丧失,盐类或有机物从细胞内渗出,进入周围环境,使介质的电导率增大;电导率越大,表明受冻害愈严重,抗寒性愈弱的林木叶片电导率越大。在反映抗机械受损的指标中,叶面积和比叶面积可反映林木树冠承载雪量的大小,叶面积越大,则反映承载的雪量越大,因而树干树枝等的机械受损概率也越大。树干密度和枝密度也能够反映林木的耐机械压迫性大小,树干和树枝密度越大,表明木材越坚硬,抗压能力越强<sup>[7]</sup>。

野外采样时,选择木荷、红楠和小叶青冈各30株,利用高枝剪在树冠东西南北和中部5个部位采集典型的叶片和枝条,将5个枝条上所收集的新鲜叶片合并放在托盘中,装入保鲜袋冷藏,带回实验室测量叶片电导率和叶面积;同时,将各枝条也一并带回进行枝条密度测定。另外,利用生长锥在胸高部位钻取每株林木的树芯,或用锯子与砍刀截取一定断面积的大树干,进行树干密度测量。由于针叶林木叶片形态性状难以与阔叶林木进行比较,因此,4个针叶林木仅测定了相对叶片电导率。

叶片相对电导率的测定方法如下:在12 h内,将采集的叶片用去离子水冲洗干净,剪成大小相近的正方形;称取2 g·份<sup>-1</sup>,平行样3个·份<sup>-1</sup>,分别置于0℃和-5.0℃条件下进行冷胁迫处理(模拟2008年初当地的低温),以7月份室温作为正常条件对照(26.0℃),处理1 h后,加入20 mL去离子水,浸没材料,置摇床震荡2 h,震荡频率为80次·min<sup>-1</sup>;再用电导率仪测定电导率 $R_1$ ;另外,在恒温沸水浴中加热20 min,室温冷却,测定总电导率 $R_2$ ,采用公式 $(R_1/R_2) \times 100$ 表示相对电导率(%)。

用LI-3050C型叶面积仪测定叶面积,测定完毕后,将叶片置于80℃的烘箱中48 h,至恒量后测定干质量,最后利用单位干质量的叶面积反映比叶面积(mm<sup>2</sup>·mg<sup>-1</sup>)。枝密度和树干密度用排水法测定,即:在测定每个样品的湿质量后,在量筒中置入一定容量的水( $V_1$ ),再将待测样品放入量筒,重新读取量筒中液体的体积( $V_2$ ),2次体积的变化值为待测样品的体积,测定3次·样品<sup>-1</sup>。在体积测量后,将供测样品置于烘箱中72 h,烘干至恒量后测定干质量,并计算各个树枝和树干的密度(g·cm<sup>-3</sup>)。

### 1.4 数据处理及分析

受损指数的计算方法如下:分别统计同一群落内各林木不同受损级别的株数,计算出平均损伤级值( $D_L$ )和损伤指数( $I_D$ )。平均损伤级值( $D_{AL}$ )由公式(1)计算:

$$D_{AL} = \sum (D_{Li} \times n_i) / N. \quad (1)$$

表1 浙江天童盘山8类人工林的林分特征

Table 1 Community structure and species composition among 8 plantations in the Panshan, Tiantong Region, Zhejiang Province

林分类型及林木组成		年龄/ a	胸径/ cm	树高/ m	密度/ (株·hm <sup>-2</sup> )
木荷纯林	木荷	7	5.0	5.0	3 558
红楠纯林	红楠	6	3.0	4.0	3 625
小叶青冈纯林	小叶青冈	4	1.8	1.5	4 250
木荷-日本扁柏-杉木混交林	木荷	7	6.0	5.0	5 325
	日本扁柏	8	8.0	5.0	5 325
	杉木	7	8.0	5.0	5 325
金钱松-木荷混交林	金钱松	33	14.0	9.0	3 500
	木荷	7	3.0	4.0	3 500
金钱松-红楠混交林 I *	金钱松	31	14.0	9.0	4 500
	红楠	5	2.0	3.0	4 500
金钱松-红楠混交林 II *	金钱松	48	20.0	13.0	1 425
	红楠	9	8.0	6.0	1 425
柳杉-金钱松-红楠混交林	柳杉	31	18.0	10.0	1 600
	金钱松	30	12.0	9.0	1 600
	红楠	8	6.0	4.0	1 600

说明: I 和 II 林分中金钱松树龄不同。

式(1)中:  $D_{Li}$  为  $i$  级的损伤级值,  $n_i$  为损伤级值为  $i$  的株数,  $N$  为群落内调查样本总株数。

损伤指数( $I_D$ )由公式(2)计算:

$$I_D = \sum (D_{Li} \times n_i) / (D_{L_{\max}} \times N) \quad (2)$$

式(2)中:  $D_{L_{\max}}$  为最大级的损伤级值, 其他变量含义同公式(1)。

在统计分析时, 利用单因素方差分析(ANOVA)和多重比较检验各林木的相对电导率、叶面积、比叶面积、树干密度和枝密度的差异。另外, 对于不满足单因素方差分析假定条件的资料, 通过多个独立样本的非参数检验  $t$  检验进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同林木的受损指数

在各林分中, 损伤级别 0 级所占个体数最多。不同损伤级别的个体数占总调查株数的比例在各林分中不同, 幼龄纯林中, 木荷和红楠损伤级别在 0~4 级均有分布, 而小叶青冈主要分布在 0~2 级(表 2)。幼龄混交林中, 受损级别在 0~4 级均有分布; 在混交林金钱松-木荷林与金钱松-红楠 I 林内, 无论高大乔木和补植阔叶幼树, 损伤级别主要为 0~1 级; 而金钱松-红楠 II 林中的金钱松基本未受损, 红楠幼树的受损级为 0~3 级; 在柳杉-金钱松-红楠林中, 柳杉在 0~5 级均有分布, 金钱松基本未受损, 仅有 0 级, 红楠的受损级别为 0~1 级。

表 2 浙江天童盘山冰冻雨雪灾后 8 类人工林中各林木的受损指数

Table 2 Index of mechanical damage of common trees among 8 plantations under the freezing catastrophe in the Panshan, Tiantong Region, Zhejiang Province

人工林及林木组成	株数/株	不同受损级别个体数						平均受损级别	受损指数	
		0	1	2	3	4	5			
木荷纯林	木荷	144	41	23	26	30	24	0	1.81	0.45
红楠纯林	红楠	185	72	58	33	21	1	0	1.03	0.26
小叶青冈纯林	小叶青冈	144	139	3	2	0	0	0	0.05	0.02
木荷-日本扁柏-杉木混交林	木荷	120	48	17	20	22	13	0	1.46	0.37
	日本扁柏	59	44	7	3	2	3	0	0.53	0.13
	杉木	34	12	8	4	6	4	0	1.47	0.37
金钱松-木荷混交林	金钱松	54	53	1	0	0	0	0	0.02	0.02
	木荷	86	42	18	0	0	0	0	0.94	0.24
金钱松-红楠混交林 I	金钱松	40	39	1	0	0	0	0	0.03	0.03
	红楠	140	92	28	0	0	0	0	0.52	0.18
金钱松-红楠混交林 II	金钱松	37	37	0	0	0	0	0	0	0.00
	红楠	19	14	2	2	1	0	0	0.47	0.16
柳杉-金钱松-红楠混交林	柳杉	43	11	5	5	5	11	11	2.14	0.54
	金钱松	7	7	0	0	0	0	0	0	0.00
	红楠	13	10	3	0	0	0	0	0.23	0.23

从平均损伤级别和受损指数来看, 不同林分间, 以及同一林木在不同林分间均有差别。从不同种类阔叶幼龄林间的比较可以看出, 木荷受损指数最大, 其次为红楠, 小叶青冈最低( $P < 0.05$ )。针叶林木间受损指数大小也存在较大差异, 受损最严重的为柳杉, 其次为杉木幼树, 然后是日本扁柏, 金钱松受损程度最小。尤其值得指出的是, 木荷和红楠幼树在幼龄纯林中的受损大于幼龄混交林, 且两者又显著大于高龄混交林的受损程度。木荷在 2 类混交林的平均受损指数(0.20)与纯林间存在极显著

差异( $P<0.01$ ); 同样, 3类混交林中红楠的受损指数平均值(0.19)也显著小于幼龄纯林( $P<0.05$ )。

## 2.2 不同林木的抗冰冻功能性状

与常温和  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  处理相比较, 7种林木叶片在  $-5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的低温处理下的相对电导率均显著增大( $P<0.001$ ), 表明  $-5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的低温对各种林木叶片具有非常显著的伤害(图1)。从不同林木比较来看, 低温处理的针叶林木(金钱松、杉木、柳杉和日本扁柏)的相对电导率远大于3种常绿阔叶林木(木荷、红楠和小叶青冈), 表明该地区的常绿阔叶林木比针叶林木更耐严寒胁迫。从常温 and  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的处理结果来看, 小叶青冈的相对电导率均小于其他常绿阔叶林木(图1), 说明常绿阔叶林木中, 小叶青冈叶片更耐寒冷胁迫。在针叶林木中, 柳杉叶片的相对电导率最小, 说明其耐寒性强于其他3种针叶林木。

## 2.3 常绿阔叶林木的抗机械损伤功能性状

3种常绿林木的抗机械损伤功能性状表现各异(图2)。叶面积最大的是木荷, 其次是红楠, 最小的是小叶青冈( $P<0.05$ )。比叶面积在3种林木间的表现格局与叶面积一致, 木荷显著大于红楠和小叶青冈( $P<0.05$ ), 但小叶青冈与红楠间无显著差异( $P>0.05$ )。叶片干物质质量分数在3者间无显著差异, 小叶青冈的树枝干物质质量分数最高, 木荷与红楠最低(两者间无显著差异)。树枝密度的表现格局与叶面积在三者间的表现格局相反, 即: 小叶青冈最高, 木荷最低, 红楠介于中等。树干密度也是小叶青冈最大, 红楠和木荷间无显著差异。

## 2.4 常绿阔叶林木受损指数与抗机械损伤功能性状的相关性

对3种常绿阔叶林木的受损指数与抗机械损伤各功能性状进行相关分析后发现(表3), 受损指数与叶面积间, 以及比叶面积间显著正相关; 而与叶片干质量分数间没有显著相关性, 与枝条干质量分数间显著负相关; 受损指数与枝条密度间显著负相关, 与树干密度间没有显著相关性。

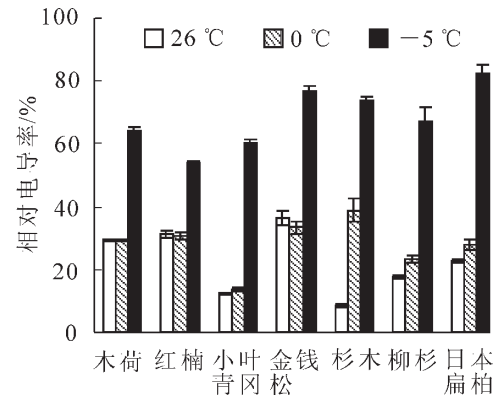


图1 7种常绿林木叶片在低温胁迫下的相对电导率

Figure 1 Relative conductance in relation to cold tolerance among 7 evergreen tree species

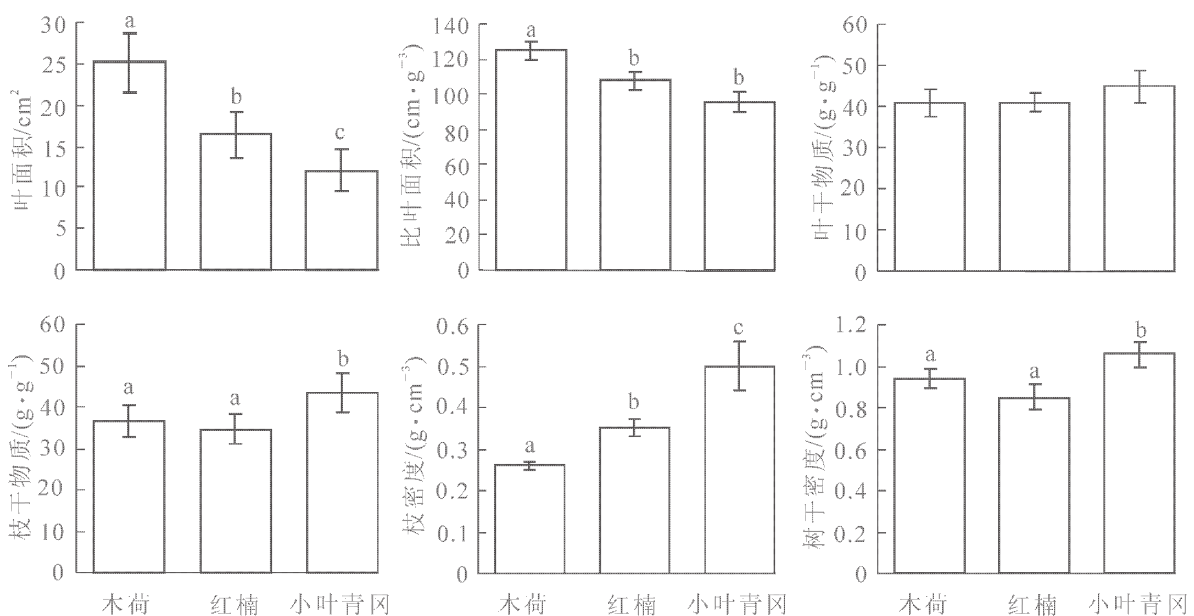


图2 3种常绿阔叶林木的抗机械损伤功能性状

Figure 2 Functional traits in relation to mechanical damage among three evergreen broad-leaved tree species

表 3 3 种常绿阔叶林木受损指数与抗机械损伤功能性状的 Pearson 相关系数

Table 3 Pearson correlation coefficients for the relationships between damaged index and tree functional traits

性状	叶面积	比叶面积	叶干质量分数	枝干质量分数	树枝密度	树干密度
受损指数	0.95***	0.86**	- 0.64	- 0.73*	- 0.97***	- 0.57

说明: \*\*\* 表示  $P < 0.001$ ; \*\* 表示  $P < 0.01$ ; \* 表示  $P < 0.05$ 。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 林分结构与林木受损程度的关系

在本研究中,木荷和红楠在幼龄纯林中的受损指数大于幼龄混交林,且两者又显著大于高龄混交林。这种现象反映了森林林分结构对于林木抗机械受损能力具有重要影响。纯林中的损伤指数显著大于混交林,原因主要在于林分层次的差异。纯林一般为单优林分结构,垂直结构单一;与之相比,混交林为复层结构,垂直结构分层明显,具有完整的乔木层、灌木层和草本层。高龄混交林乔木层一般为金钱松和柳杉,亚乔木层和灌木层由红楠和木荷组成,林分垂直分层明显,结构完善,各层次间具有协同保护作用,在抵抗雨雪冰冻灾害时,尤其是当积雪和冰凌挂上树冠时,林分结构完整性的作用就得到了发挥,不同层次可以有效分散和缓解林冠积雪的压力胁迫。另外,与纯林相比,复层混交林的物种多样性高,也能够增强林分抵抗力,维持林分稳定性<sup>[12]</sup>。由此可见,在营林实践中,建立具有高物种多样性的复层混交林,有利于增强林分的抗干扰能力和稳定性。

#### 3.2 林木损伤指数与功能性状的关联

比较 3 种常绿阔叶林木机械损伤指数与其抗机械损伤功能性状的关系可以看出,常绿林木的叶面积、比叶面积、枝干质量分数和树枝密度等功能性状可以较好地反映其抗机械损伤程度。在本研究中,木荷的叶面积和比叶面积显著大于红楠,红楠大于小叶青冈,该现象与这 3 种林木在本次雨雪冰冻灾后的受损指数大小完全一致,表明对常绿阔叶林木而言,叶面积大小可以较好地反映林木的抗机械损伤能力。这是因为:在冰冻雨雪天气下,由叶面积大的林木所组成的林分树冠部分接纳的雪量和冰凌量更大,对枝干等支撑器官的压力也越大,加大了林木支撑器官的承载负担,一旦超过其承载阈值,林木的机械支撑器官容易受损。比叶面积是指单位质量的叶面积,比叶面积越大,表明单位质量情况下叶面积更大,其大小直接受叶片厚度、形状和质量等的影响,在一定程度上也反映了叶片的机械强度和自我保护能力。

枝条干物质质量分数是指枝条干质量占鲜质量的比例,其值越大,表明枝条机械强度更大,支撑力越强,在外力作用下不易折断受损<sup>[7,9]</sup>。雨雪冰冻条件下,由于树叶接纳的雪量和冻雨增加,干物质质量分数小的枝条容易折枝,其受机械损伤的概率也越大。从本研究来看,木荷和红楠的枝条干物质质量分数显著小于小叶青冈,因此其受损指数也越大。同理,枝条密度也可以反映其耐机械压力胁迫的程度,密度越大,林木的机械强度越高,其承载力也越大,在外力胁迫下,受损概率越小。从本研究中 3 种林木的树枝密度大小,以及与受损指数的相关分析结果来看,也可较好地证明这种推断。

从理论上推测,叶片干物质质量分数和树干密度也可以指示林木的抗机械胁迫程度<sup>[7]</sup>,即:叶片干物质质量分数越大,林木叶片的机械强度也越大;树干密度越大,林木的承载力越大,因此,其抗机械胁迫能力越强。但是,本研究结果不支持以上推断。对于叶片干物质质量分数来说,可能具有与叶面积类似的特征有关,也就是说,叶片干物质质量分数越大,虽然其机械强度也增大,但同时可承载的雪量也会增大,两相抵消,它们反映抗机械损伤的指示意义就显著降低。对于树干密度来讲,可能主要与本次所调查的受损林分的受损程度较轻有关,即:大多数林木的受损主要表现在断枝、断梢方面,倒伏和树干断裂的情况较少,因此,树干密度的指示意义没有显现出来。

研究表明,叶片相对电导率是衡量林木耐冻性能的重要生理指标<sup>[4]</sup>。在本研究中,通过用 $-5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温模拟 2008 年年初中国南方雨雪冰冻灾害的气候条件,针叶林木(金钱松、杉木、柳杉和日本扁柏)的叶片受害程度远大于 3 种常绿阔叶林林木(木荷、红楠和小叶青冈),表明该地区的常绿阔叶林

木相对针叶林木更耐严寒胁迫,此结果基本与该地区年初冰冻雨雪灾后各人工林的受损情况一致。从我们在灾后的调查结果来看,该地区的森林受损特点为:人工林比天然林严重,针叶树比阔叶树严重,幼龄林比成熟林严重。本研究中的针叶林木基本为该地区的人工林主要类型,在海拔500 m以上,杉木、马尾松和日本扁柏林出现成片倒伏、折断和折损,属于受损严重的森林类型,该现象基本与本研究的结论相符。由此可见,叶片的相对电导率可较好地反映不同功能类群林木的耐冻能力。

综上所述,通过对纯林和混交林的比较研究,可以看出,在实际的林业生产过程中,不仅要注重混交林的营造,更要研究更多混交林的栽植模式,以达到更加稳定的群落状态及最优的生态和经济效益。更为重要的是:林木的枝叶抗机械损伤功能性状和抗冻功能性状与受损指数间具有重要的关联,通过林木功能性状可有效反映林木的耐胁迫能力<sup>[6-8]</sup>。在未来的林业理论研究和生产实践中,还需要加大林木功能性状与林木耐胁迫能力关系的研究,通过对林木抗冻性、抗机械损伤性、抗旱性、抗盐性、抗涝性、抗燃性等功能性状的研究,可为营造具有不同生态服务功能林分提供借鉴,也可有效评估林分灾害损失,以及生态服务价值提供理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 徐建明,李光友,陆钊华,等.南方桉树人工林雨雪冰冻灾害调查分析[J].林业科学,2008,44(7):103-110.  
XU Jianming, LI Guangyou, LU Zhaohua, et al. Investigation on eucalypt forest plantations subjected to the freezing catastrophe in Southern China [J]. *Sci Silv Sin*, 2008, 44(7): 103-110.
- [2] 钟梁,杨馥宁,朱汉南,等.2008雨雪冰冻灾害对林业的影响——以崇义县为例[J].林业建设,2009(1):52-55.  
ZHONG Liang, YANG Funing, ZHU Hannan, et al. Frozen snow disasters on the impact of forestry: Chongyi County as an example [J]. *For Constr*, 2009(1): 52-55.
- [3] 尹新华,翁益明,董云富,等.毛竹受雨雪冰冻危害的受损特点[J].浙江林学院学报,2008,25(6):823-827.  
YIN Xinhua, WENG Yiming, DONG Yunfu, et al. Damage characteristics of *Phyllostachys pubescens* forests in freezing rain and snow hazards [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, 25(6): 823-827.
- [4] 国家林业局.南方雨雪冰冻灾害地区林业科技救灾减灾技术要点[J].湖南林业,2008(3):16-19.  
State Forestry Administration. Disaster reduction techniques of forestry science and technology for the freezing catastrophe in Southern China [J]. *Hunan For*, 2008(3): 16-19.
- [5] 张林,罗天祥.植物叶寿命及其相关叶性状的生态学研究进展[J].植物生态学报,2004,28(6):844-852.  
ZHANG Lin, LUO Tianxiang. Advances in ecological studies on leaf lifespan and associated leaf traits [J]. *Acat Phytoecol Sin*, 2004, 28(6): 844-852.
- [6] 冯秋红,史作民,董莉莉.植物功能性状对环境的响应及其应用[J].林业科学,2008,44(4):127-129.  
FENG QiuHong, SHI Zuomin, DONG Lili. Response of plant functional traits to environment and its application [J]. *Sci Silv Sin*, 2008, 44(4): 127-129.
- [7] CORNELISSEN J H C, LAVOREL S, GARNIER E, et al. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide [J]. *Australian J Bot*, 2003, 51(4): 335-380.
- [8] 孟婷婷,倪健,王国宏.植物功能性状与环境 and 生态系统功能[J].植物生态学报,2007,31(1):150-165.  
MENG Tingting, NI Jian, WANG Guohong. Plant functional traits, environments and ecosystem functioning [J]. *J Plant Ecol*, 2007, 31(1): 150-165.
- [9] WESTOBY M, FALSTER D S, MOLES A T, et al. Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species [J]. *An Rev Ecol & Syst*, 2002, 33: 125-159.
- [10] BARBONI D, HARRISON S P, BARTLEIN P J, et al. Relationships between plant traits and climate in the Mediterranean region: A pollen data analysis [J]. *J Veg Sci*, 2004, 15: 635-646.
- [11] DAVID A. Functional strategies of chaparral shrubs in relation to seasonal water deficit and disturbance [J]. *Ecol Monogr*, 2004, 74(1): 25-44.
- [12] 张庆,牛建明,王秀梅.生物多样性与生态系统功能关系研究进展[J].生物学通报,2009,44(1):15-17.  
ZHANG Qing, NIU Jianming, WANG Xiumei. Recent advances on the relation between biodiversity and ecosystem function [J]. *Bull Biol*, 2009, 44(1): 15-17.