

# 中国南方雨雪冰冻灾害受损森林植被研究进展

徐雅雯, 吴可可, 朱丽蓉, 林真光, 彭少麟\*

中山大学有害生物控制与资源利用国家重点实验室, 广东 广州 510006

摘要: 2008 年年初我国南方遭受了一场极为罕见的大范围持续低温雨雪冰冻极端气候灾害, 这场灾害给我国人民的生产生活造成了重大损失, 其中, 林业受损尤为严重。我国学者针对受损森林生态系统进行了多方面的调查与研究。对现有的调查研究工作进行综述, 重点概述了森林结构、功能和经济效益的受损状况, 总结了天气条件、地理因素、树种及其生长情况, 分析了林分特征等方面的森林受损机制以及受损森林的恢复与重建对策, 对现有的研究在内容、水平及方向上的不足之处提出建议, 以期对未来的相关研究提供帮助。

关键词: 雨雪冰冻灾害; 森林; 受损程度; 受损机制; 恢复; 建议

中图分类号: 文献标识码: A 文章编号: 1674-5906 (2010) 06-1485-10

2008 年 1 月中旬至 2 月中旬, 我国南方遭受了大范围的持续低温雨雪冰冻天气, 这场极为罕见的极端天气为 50 年一遇, 个别地区甚至为 100 年一遇。此次灾害涉及范围广, 持续时间长、降温幅度大、降水强度高、灾害损失重, 给我国南方交通运输、电力设施、电煤供应、农业和林业及工业企业造成了重大损失, 同时对人民生活也造成极为严重的影响。据有关部门统计, 此次低温雨雪冰冻灾害共造成直接经济损失 1 516.5 亿元。

这一极为罕见的持续低温雨雪冰冻天气使我国南方主要森林树种遭受了始料未及的冻害, 给林业生产带来了巨大的资源和经济损失。据有关部门评估, 这场灾害造成我国湖南、湖北、安徽等 19 个省区森林受到损害, 受灾面积 0.186 亿  $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>, 占全国森林总面积的 1/10, 全国森林总受灾面积 0.227 亿  $\text{hm}^2$ , 种苗受灾 16.2 万  $\text{hm}^2$ , 损失 67 亿株。

极端天气都具有突发性、偶然性和不可预知性等特点, 因此开展极端天气对森林植被影响的研究难度相对比较大, 对科研人员素质的要求相对较高。目前国内外在森林植被极端天气受灾方面的研究还比较少<sup>[6]</sup>, 关于冰雪灾害对森林植被影响的研究主要集中在欧洲<sup>[7]</sup>和北美<sup>[8-10]</sup>, 而对于偶发性特大雨雪冰冻灾害的研究就进行得更少<sup>[6]</sup>。

由于冰雪灾害在我国发生的频率不高, 因此有关冰雪灾害的科学研究没能得到应有的重视, 这方面的研究起步较晚, 大约从上世纪 80 年代开始陆续有较为零散的研究, 如庞国良<sup>[2]</sup>研究了 1982—1983 年冬春发生在大兴安岭地区的冰雪危

害, 陶芳明<sup>[3]</sup>研究了 1988 年的冰灾给大别山的毛竹带来的危害, 王晓明等<sup>[4]</sup>根据吉林省 1960—1996 年 53 个气象站的冰雹资料分析了当地的冰雹灾害时空分布规律及特征, 张光元等<sup>[5]</sup>调查了 2004—2005 年冬春发生在湖南怀化的冰冻雪灾给毛竹带来的损失。针对 2008 年年初发生在我国南方的持续低温雨雪冰冻灾害, 我国学者开展了大量的科研工作, 对各地受灾严重的森林资源受损情况进行了调查与分析, 本文将对现有的研究进行归纳总结, 以期找到此次灾害的普遍现象与规律。

## 1 林分受损状况研究

### 1.1 森林结构受损情况

对于严重受灾的森林, 我国学者展开了大量的实地调查工作, 统计了其植被的主要受损类型。总体上来讲, 人工林、自然林, 阔叶林、针叶林、竹林、经济林等林型都有所涉及, 林木的受损类型相似, 以断干和折枝为主, 其次为压弯和翻斃, 但各种类型的严重程度在不同区域有所不同。例如, 对于乔木而言, 在云南东南部, 人工林受损类型主要为冻死、腰折、翻斃、断梢 4 种, 其中冻死、腰折和翻斃的林地占受灾总面积的绝大部分<sup>[11]</sup>; 在江西省大岗山, 杉木近成熟林分中断梢和断干是最主要的受害类型<sup>[12]</sup>; 在广东省的南岭山脉, 林木的受灾类型以折干、倒伏、翻斃的情况最为显著<sup>[13]</sup>; 而在同样位于广东省的乐昌杨东山, 林木受损最严重的类型却是压弯, 超过总株数的 50%<sup>[14]</sup>。又如, 对于竹子而言, 在四川省长宁县, 大量竹林被积雪压倒、折断甚至翻斃, 由于不同竹种抗寒能力的差异性,

基金项目: 广东省林业科技创新专项资金项目(2008KJ CX012); 广东省林业科技创新专项资金项目(2009KJ CX015)

作者简介: 徐雅雯 (1986 年生), 女, 主要从事生态恢复研究。E-mail: xywcat@hotmail.com

\*通讯作者: 彭少麟 (1956 年生), 男, 广东省特聘教授, 博士, 博士生导师, 中山大学生态与进化研究所所长, 国家重点实验室首席教授。E-mail: lsspsl@mail.sysu.edu.cn

收稿日期: 2010-05-06

使其遭受了不同程度的冻害胁迫,但其主要症状都表现为竹叶变黄,竹干变黑,立竹折断、枯死,新发竹笋冻烂等<sup>[15]</sup>;而在广东省南岭山脉,竹子爆裂、弯倒和翻茆的情况比较常见,直接冻死的情况却很少<sup>[13]</sup>。

有学者对雨雪冰冻灾害产生的大量落叶、断枝及断干等异常植物残体进行了研究,其中,吴仲民等<sup>[16]</sup>定义了非正常凋落物的概念并探讨了其测定方法及其生态学意义;薛立等<sup>[17]</sup>对灾后粤北杉木林的林冠残体和凋落物的储量、持水量、持水率和吸水速率进行了研究;骆土寿等<sup>[18]</sup>对广东杨东十二度水省级自然保护区森林凋落物现存量进行了研究,结果表明非正常凋落物量比正常的年凋落量高出很多,造成了严重的次生灾害隐患;骆土寿等<sup>[19]</sup>还调查了灾后粤北天然次生林产生的林冠残体量,对落叶和枝干木质残体分别进行了统计。

凋落物的增加进一步使森林可燃物增加<sup>[20-22]</sup>,火灾发生的可能性大大提高,火灾隐患堪忧。以湖南省为例,王秋华等<sup>[23]</sup>于灾后实地调查了受损森林火烧迹地,结果表明雨雪冰冻灾害致使林内的灌木和草类大面积枯萎甚至死亡,造成林中有效可燃物厚度增加,连续性变强,其质量在极短的时期内加倍增长;王明玉等<sup>[24]</sup>分析了 2008 年 3 月卫星热点的空间分布特征与受害程度的空间关系,结果显示灾后短期内的火灾发生次数、过火面积以及伤亡人数都异常增高;王明玉等<sup>[25]</sup>还利用遥感技术,结合地面调查数据和植被分布图,研究发现林木受灾后地表可燃物载量急剧的增加。

### 1.2 森林功能受损情况

生态系统养分含量在受灾前后也会发生很大的变化,田大伦等<sup>[26]</sup>对湖南湘潭锰矿矿区废弃地的栎树、杜英混交林生态系统的地表水、林木、土壤及死地被物的养分含量等进行冰冻灾害前后的对比研究,发现灾后以上各项指标都有显著变化。

受灾前后生境的变化直接影响了动物的种群动态,导致了种群密度和多样性的降低。苏化龙等<sup>[27]</sup>评估了雨雪冰冻灾害对三峡库区野生动物的影响程度,发现灾后红腹锦鸡繁殖期占区雄鸟种群密度大大降低,其中人工日本落叶松纯林生境中存活率最低,自然阔叶林及混交林生境中存活率较高。王胜坤等<sup>[28]</sup>研究了雨雪冰冻灾害对南岭保护区粉蝶种群密度的影响,发现其种类明显减少,剩下的数量不到灾前的一半。

森林生态系统受损后,其生态服务功能也有所降低,杨锋伟等<sup>[29]</sup>对我国南方受损森林生态系统的森林固碳、涵养水源、保育土壤和生物多样性进行了全面的评估,结果表明森林生态系统服务功能的

损失价值 7 117 亿元,其中江西与湖南受损最严重,江苏、陕西和青海受损最轻微;林型不同,其生态服务功能损失程度不同,以马尾松林和杉木林的损失最为严重。徐凤兰等<sup>[30]</sup>指出,雨雪冰冻灾害造成福建省森林生态功能在保育土壤、涵养水源、净化空气、固碳释氧、保护生物多样性等方面的价值损失十分严重,共造成 269.253 亿元·a<sup>-1</sup> 的间接经济损失,远大于森林直接提供产品价值的损失。

### 1.3 森林经济效益损失情况

2008 年年初的雨雪冰冻灾害使森林生态系统遭受了严重的破坏,不仅造成林业商品生产的直接经济损失,更为严重的是造成森林生态系统功能严重退化或丧失的间接经济损失。因此,一些学者采用经济学的方法,对 2008 年雨雪冰冻灾害造成森林生态系统的损失进行了评估,将其以货币数值的形式直观的反映出来。例如,陆钊华等<sup>[31]</sup>对雨雪冰冻灾害给南方桉树人工林产生的经济损失进行了评估与分析,结果表明,只有 4 年生的重灾林分木材利润为正值,其余 1、2、3 年生的重灾林分因为经营期较短,木材产量较低不能抵销经营期内所花费的成本,因此利润为负值。徐凤兰等<sup>[30]</sup>指出,冰冻灾害造成福建省林业直接提供产品价值的经济损失为 45.975 亿元。

## 2 林分受损机制研究

林分受损机制十分复杂,大量文献指出,林分对冰雪冻害的抵抗力或易感性出现差异的原因并不是单一的,也并非独立的,而是天气条件、地理因素、树种及林分特征等多种因素共同作用的结果<sup>[32-33]</sup>。

### 2.1 天气条件

在影响林木抵抗力的因素中,天气灾害的强度和持续时间是造成林木受灾程度的决定性原因。对于一般的冰雪灾害而言,当降落在树上的雪或者冰的重量超过了树木承载的限度时,就会引起树木的弯曲或者折断<sup>[32-34]</sup>,其中弯曲会造成树木永久性的内部生理损伤。国外频繁发生的冰雪风暴导致林木由于不堪冰雪压迫的重负而直接受损或是受到临近树木的影响而间接受损<sup>[35-36]</sup>,而我国南方的雨雪冰冻灾害受损情况也很相似<sup>[12-13, 37-38]</sup>。此外,我国 2008 年雨雪冰冻灾害持续的时间是造成林分严重受损的另一个重要原因。由于持续低温的时间有 20 多天,其在历史上极为罕见,而且灾害发生时的温度比常年同期要低,加上降雨量非常之大,造成了严重的冰冻灾害<sup>[39]</sup>,使得部分地区的林木由于受到内部生理损伤而直接被冻死<sup>[11, 15, 40]</sup>。

### 2.2 地理因素

地理因素对林分受损的影响是多方面的。海拔

的高低是影响树木受损程度的因素之一,但不同地区的林分受损特点受海拔的影响差异十分显著。有研究表明,高海拔地区树木的受损程度要远大于低海拔地区<sup>[41-44]</sup>。这是因为海拔越高,温度越低,再加上高海拔处湿度更大,更易结冰,使得树冠上冰雪的积累量相对更多,而且冰冻的时间也越长<sup>[7, 40]</sup>,对林木抵抗冰雪能力的考验更加严峻。许业洲等<sup>[45]</sup>指出湖北西亚高山日本落叶松人工林的受损程度与海拔的升高成正相关,以海拔 1 800 m 为界,上下区域间存在显著差异,上区域的受损程度是下区域的 2 倍。然而,也有文献指出随海拔的上升,林木的受损程度有下降的趋势<sup>[46]</sup>,这可能是由于高海拔的树种已经适应了长期低温的环境,其对寒冷天气的抵抗力有所提高。另外,还有文献指出海拔与受损程度的关系成正态分布,即在中间海拔高度处受损最为严重,此海拔范围向下和向上延伸,林木的受损程度逐渐减轻<sup>[13, 47-48]</sup>,这是可能是低温与树种适应性相互作用的结果。此外,有学者指出海拔与受损类型并无显著相关性<sup>[49]</sup>。

相对于海拔而言,坡度影响树木受损程度方面的研究结果较为清楚。就目前的研究而言,可以基本肯定,坡度的陡峭程度与森林受损程度成正相关<sup>[6, 12, 40, 47, 50-51]</sup>。由于树木的趋光性,陡坡处林木树冠生长不对称,使得积压在树冠上的冰雪质量不均衡,从而导致了严重的折断和翻倒<sup>[7, 9, 33]</sup>。

另外,坡向与树木的受损程度也有一定的关系。目前研究表明,迎风坡或阴坡的森林受损更为严重<sup>[40-43, 45, 52]</sup>。这是因为迎风坡的树冠多生长不对称,而且风口极易发生冰冻,再加上风本身对林木就有一定的冲击作用,使得迎风坡受灾惨重<sup>[40]</sup>;而阴坡由于长期受不到阳光的照射,温度更低,冰雪不容易融化,因此受到的损害更为严重<sup>[42]</sup>。此外,位于坡谷的森林比处于坡顶或中部的森林在遭遇雨雪冰冻灾害时更容易受损<sup>[43]</sup>。对于不同朝向的山坡(如南坡、北坡)来说,其森林受损的程度则各不相同,需视具体情况而定<sup>[44-45, 51]</sup>。

除了海拔、坡度、坡向这 3 个主要的环境因子外,地形因素也对森林受损程度有一定的影响。有文献指出,山区的受灾情况要比丘陵地区和平原地区更为严重,这可能是由于海拔和坡度等因素造成的<sup>[38]</sup>。此外,立地条件也是影响树木抗冻能力环境因子之一。立地条件好的林地,林木生长得更加健康粗壮,林分抵御自然灾害的能力更强,受损程度越轻<sup>[12]</sup>;而土层较浅薄的立地条件容易使树木发生翻倒<sup>[40, 52]</sup>。另外,雨雪冰冻灾害对生长、树龄和所处海拔基本相近的林木的破坏性表现出随纬度升高而损害程度减轻的规律,而经度的影响作用却不

明显<sup>[6]</sup>。

总而言之,地理因素对森林受损的影响是十分显著的,同时也是十分复杂的,在对森林受损情况具体分析时,需要对其进行多方位的综合考虑。

### 2.3 树种及其生长情况

树种自身的生物学特征,特别是抗寒抗冻能力的差异对其受损程度和表现形式有很大影响,树种特性是林木抵抗雨雪冰冻灾害的生理因素和内在前提条件,为其抵御自然灾害提供了一种潜在的可能性,是所有影响因素中最基础、最重要、最有力的。由于不同植物的生理生态特性不同,其对极端雨雪冰冻天气表现出的敏感程度也有很大差异,所以在众多的影响因子中,对于树种的研究是最受关注的。如竹类,秋季出笋的竹类一般比春季出笋的竹类受损严重,这是因为其新陈代谢更加活跃且木质化程度不高,更加容易遭受冻害的冲击<sup>[53-54]</sup>。另外,不同种的乔木受损的程度和类型也不尽相同<sup>[38, 50, 55]</sup>。根系特性能影响林木的抗倒伏能力,林木发生倒伏与其侧根的数量、大小及根系生物量有显著关系,侧根数量较多、较粗、根系生物量较大的林木的抗倒伏的能力更强<sup>[45]</sup>。顶级森林植被群落是森林演替的最高阶段,其稳定性比其他演替阶段的都要高,抗灾能力也最强,程鹏和张金池<sup>[56]</sup>的调查结果就验证了这一观点。果树上一年的挂果量对其受损程度也有一定的影响,有研究表明 2007 年的挂果量越大,受损情况越严重<sup>[43]</sup>,这可能是由于挂果量过高的植株因结果而消耗自身的大量营养,从而降低了其抗冻能力所致。

关于植物生活周期与其抗冻能力的研究十分少见,一般而言,速生树种相对于慢生树种受灾严重<sup>[37, 50]</sup>,因为速生树种的树高生长很快,其高径比相对较大,容易发生折断。而从生活型来看,常绿树种比落叶树种受灾严重<sup>[40, 50, 57]</sup>,这是因为落叶树受灾时叶片承载的冰雪量比常绿树种少很多<sup>[32]</sup>。另外,乔木树种与灌木树种,草本植物与木本植物的受损程度也有显著的差异<sup>[38, 58]</sup>。

林木的原产地是一个容易被忽略的影响因素,然而其重要性却不容小觑。研究普遍认为林木的受冻程度与其原产地有关,外来树种的受损程度高于乡土树种<sup>[11, 15, 37-38, 40-41, 52, 56-57, 59-61]</sup>。树种的原产地温度越低,就会越适应寒冷的气候条件,因此抵抗冻害的能力也就越强,反之,树种的原产地温度越高,其对突如其来的雨雪冰冻天气适应能力越差,也就越容易受到冻害<sup>[58]</sup>。

林木的生长情况对于其抵抗雨雪冰冻灾害的能力有显著的影响,有研究表明林木受灾的类型及程度与其胸径的大小有关,且不同径阶的林木受损

类型具有较大的差异。有文献指出,随着林木胸径的增大,树干越粗壮,林木的抵抗力逐渐增强,受冻害程度逐渐减弱<sup>[12]</sup>。但是,也有研究得出了相反的结论:胸径越大的林木受灾的几率越高<sup>[14, 48, 54]</sup>,可能的原因是胸径越大其冠幅相对较大,承载的冰雪也就更多,因此树木所受的压力也就越大,导致其更易受损;而对于冠幅较小的杉木,其承载的雪压相对主干受到的冲击力而言比较小,其抵抗力的强弱主要由主干发挥作用,因此只是被轻微的压弯。另外,还有研究发现胸径在一定的最适范围内具有最强的抵抗力<sup>[46]</sup>,这一现象也很有可能是树冠和树干的作用力大小的此消彼长而导致的,早在 1961 年 Lemon<sup>[32]</sup>就指出主干直且粗而侧枝小且富有弹性的树木抵抗力较强。目前的研究对于树高的探讨相对比较少,一般而言,矮小的树木容易发生压弯和倒伏,高大的树木容易发生翻斃<sup>[14, 37]</sup>。另外,除了单独研究高度和胸径之外,还有学者研究了两者的比例,即高径比这一影响因子,并得出了比较统一的结论。高径比小的林木,即越矮小粗壮的林木具有较强的抵御雨雪冰冻灾害的能力,特别是抗倒伏的能力<sup>[6, 45, 48]</sup>。由此可见,林木的树冠、高度、胸径,以高径比,都对林木的抵抗力有很大的影响,由于其他因素的影响,冠幅小而胸径大的林木受灾较轻,冠幅大而胸径的大小不足以抵抗冻害的林木受灾较重;越高大的林木发生翻斃的几率越高,越矮小的林木则更趋向于压弯和折断;高径比小的林木抵抗力更强。

树木的年龄与其抗冻能力也有一定的关系。不少文献指出,树龄是影响树木受灾的主要原因之一。其中,有大量文献认为林龄与受损程度为极显著负相关,即随着树龄的增加,其抗冻能力相应增强<sup>[45, 51-52]</sup>;但也有学者指出过熟的老龄树,抵抗冰雪冰冻灾害的能力会下降<sup>[38]</sup>。由此可见随着树龄的增大,林木长势越好,主干越粗壮,且高径比会会随着树龄的增加逐渐减小,因此其抵抗力越高<sup>[7]</sup>;但随着其老龄化,长势变弱,冠幅增加,枝条的弹性降低,病虫害增加,抵抗力也相应的降低<sup>[62]</sup>。

由此可见,林木自身的生物学特点,包括树种特性以及胸径、高度、树冠形状与大小、年龄等生长情况是影响林木抵抗力的重要因素。

#### 2.4 林分特征

目前的调查研究表明,树木的立木密度与其抵御雨雪冰冻灾害的能力有很大关系,而其中大部分的研究都指出林木的受损程度与立木密度为极显著正相关<sup>[45, 57, 63]</sup>,且两者的相关关系因树种的不同而有所差异<sup>[54]</sup>,而在林木的受损类型方面,立木密度其的影响有一定的偏好性<sup>[12]</sup>。同时也有人指出,

立木密度有一个最适范围能使其抵抗雨雪冰冻灾害的能力发挥最佳效力<sup>[47-48, 51, 56]</sup>。总体来说,密度较低的林分受损程度相对较轻,密度较高的林分受损程度相对较高,这可能是由于密度高的林分郁闭度高,当雨雪降落时,其冲击力几乎都由树冠承担,使得树干等其他抵抗冰雪的力量几乎不能发挥作用,导致密度高的林分严重受灾;同时,密度高的林分树木趋向于纵向生长,树冠伸展不充分且不对称,其高径比较密度低的林分大<sup>[7]</sup>,也增加了其受灾的几率。但是,密度可能存在一个中间值使其树冠和树干都能发挥最大的作用,具有最强的抵抗力,能够让受灾程度减到最低限度。而关于这方面的理论研究还需要大量开展,以期发现规律,指导造林实践,通过对立木密度的合理控制,增强林分对灾害的抵御能力。

就目前所得到的调查数据而言,大多显示树木在混交林模式中的抗性比纯林模式强<sup>[38, 41, 50-51, 56-57, 60-61, 63]</sup>,因为混交林生物多样性高,林分的稳定性和抵抗力相对生物多样性低的纯林而言更加强,再加上混交林的冠层交错起伏,能够在一定范围内对雨雪进行层层阻截,使得下层的冠层承载的冰雪量降低,从而降低了受损程度。由于天然林的树种和结构的稳定状态是其长期进化的结果,因此其抵抗力要高于人工林,再加上人工林一般采用了引种措施,不合理的引种会导致其抵抗力降低,所以一般人工林比天然林受灾更为严重<sup>[38, 40, 50, 59-61]</sup>。不同林型的受灾情况也有很大差异,普遍认为针叶树种比阔叶树种受灾严重<sup>[38, 55, 60]</sup>,这是因为针叶林多为纯林,而阔叶林多为混交林,因此针叶林的受损程度要高于阔叶林。然而,就损失的生物量而言,有文献指出阔叶林的损失比针叶林更为严重<sup>[64]</sup>,这是由树种的内部结构特性的差异造成的。

林木的受灾情况与其造林措施和经营管理状况密不可分<sup>[6, 45, 57, 61]</sup>。经营管理不当的林分,林木长势不佳,病虫害肆虐,抵抗冰冻的能力弱;特别是在冻害前没有采取树体包干、覆盖、摇雪等防冻防护措施的林分,受损程度更为严重<sup>[38, 43]</sup>;防护林有明显降低冻害的作用<sup>[43]</sup>;人工抚育能有效的降低森林的受损程度<sup>[44, 56]</sup>。因此,考虑到经营管理方式对森林抵抗力的影响,可通过加强管理力度提高森林抵抗雨雪冰冻灾害的能力。

#### 3 灾后的恢复与重建

这场历史罕见的雨雪冰冻灾害给我国南方森林生态系统造成了难以估量的损失,其发生具有偶然性与突发性,是一场始料未及的灾难,未能做好充足的预防措施与准备,因此,只能从灾后的恢复与重建方面进行补偿。

### 3.1 森林植被资源的恢复与重建

森林植被恢复的一个首要步骤就是要对受灾林地产生的受损木进行及时的清理,使生态和经济损失尽量减小,同时避免发生次生灾害<sup>[65-67]</sup>。植物多样性能提高生态系统的自我恢复能力,进而增强其抗灾能力<sup>[68]</sup>,因此可以在造林时增加树种以提高森林的稳定性<sup>[67, 69]</sup>。一般来讲,混交林比纯林具有更强的抵抗雨雪冰冻灾害的能力,因此在灾后植被重建的过程中要考虑树种搭配,多构建混交林,以提高森林的抗灾能力<sup>[70-72]</sup>。由于乡土种具有更强的环境适应能力,所以在森林植被重建过程中要遵循适地适树的原则,多选用抗冻灾害强的乡土树种造林<sup>[71, 73-74]</sup>。合理造林还涉及到适宜密度,在重建过程中,既要考虑到种植密度的增加会加大受灾的风险,而且要根据当地的实际情况,由受灾程度最小的立木密度来决定最佳的造林密度,以增强其抗灾能力<sup>[73-74]</sup>。森林群落发展的顶级阶段具有最强的稳定性和抗灾能力,因此在造林时可以增加演替阶段高的树种<sup>[72]</sup>。竹林、经济林、用材林等不同林型具有不同的受灾特点,因此,应该因地制宜,遵循其各自的特征与规律采取适当的恢复技术<sup>[65, 75]</sup>。良好的森林管理与防护措施能够有效的降低森林的受损程度,因此有必要改善经营管理方式,加大防护力度,做好防灾的充分准备<sup>[56, 75-76]</sup>。

### 3.2 植被生境的恢复

冰冻灾害给土壤也造成了严重影响,使得土壤的物理、化学和生物性质发生了显著的变化<sup>[26]</sup>,包括土壤的元素含量、含水量、有机质、pH值、质地等,使其不能为林木的生长提供一个适宜的地下条件,不利于植被的生长。对土壤肥力进行恢复,有利于提高植被的恢复速度,因此有必要针对土壤生态系统采取恢复措施,加快受损土壤生态系统的恢复<sup>[77]</sup>。而目前的研究对森林的恢复与重建提出的对策将焦点放在了地上的造林方面,忽略了为树木提供生长营养的土壤的恢复,治标而不治本。因此应该首先从为树木生长提供源动力的土壤恢复入手,改善土壤环境,如施加磷肥、调节酸化土壤的pH等,给造林手段打下一个良好的基础。

雨雪冰冻灾害造成大量的断干、残枝和落叶等异常植物残体存留在林地,存在次生灾害隐患<sup>[65-67]</sup>。较大的残枝断干留在林地会影响新生植物的生长,对森林环境特别是土壤功能将产生很大影响。如果能够加速这些异常植物残体的分解,将会加速林地的灾后恢复与重建。凋落物分解是森林生态系统中物质和能量交换的重要生态学过程,土壤生物在森林凋落物的分解过程中起着非常重要的作用。然而,目前还没有研究是针对雨雪冰冻受灾

林地产生的异常植物残体的生物分解过程而进行的。因此,可以利用土壤微生物及小型动物来加速这些异常的植物残体分解,以促进森林恢复。这样一方面可以加快林地养分转化,另一方面对异常植物残体采用微生物技术处理后,加快其分解还有利于林地新生植物的快速生长。

### 3.3 灾后病虫害的防治及森林火灾的预防

灾后产生的大量倒木、断木和断枝落叶,为害虫提供了潜在的爆发环境,树木受灾后长势变弱,伤口增多扩大了传染病的感染途径,使得森林病害的发生几率显著提高,因此有必要及时采取措施预防森林病虫害的大面积爆发<sup>[66, 75]</sup>。雨雪冰冻灾害使森林可燃物短时间内激增,造成了巨大的火灾隐患,因此必须重视对森林火灾的预防<sup>[67, 70, 78]</sup>。

### 3.4 灾害科学研究的加强及监测预警水平的提高

提高对自然灾害特别是极端天气的监测预警水平,对于防灾、减灾、救灾十分重要;科学研究与技术的发展是预防灾害发生、减少灾害损失的有力保证,因此要增加灾害研究的科技含量,提高灾害的防治水平<sup>[72, 76, 79]</sup>。目前,对于森林生态系统进行的资源调查大多采用传统的调查方法,如小班调查、抽样调查等,得到的结果虽然真实可靠,但却耗费大量的人力和时间。科技日新月异的发展给森林生态学的研究与发展带来了福音,3S技术的出现给森林资源调查的手段注入了新的力量。3S技术是遥感技术(Remote sensing, RS)、地理信息系统(Geography information systems, GIS)和全球定位系统(Global positioning systems, GPS)的统称,为森林资源现状的测量以及森林动态系统变化的监测等提供了更为方便快捷、简单有效的手段,可以用于监测和估算受灾前后森林生物量、生产力、蓄积量等的动态变化。例如, Huang等<sup>[80]</sup>利用遥感手段对美国黄石国家公园森林生态系统火灾产生的粗木质残体进行了定性和定量的估算。

## 4 建议

### 4.1 整合调查数据

就目前的调查情况而言,一般都是以某一片受灾严重的林地为对象进行研究,所得到的数据虽然对于当地受灾情况的总体评估、林木受损原因的分析以及应采取的因地制宜的恢复与重建措施等有一定的参考价值,但很难从大尺度上得到规律性的结论。利用整合分析的手段对自然灾害进行分析,有利于获得更为科学的结论。近年来,国外在这方面的研究正在逐步增多,如 Gardner等<sup>[81]</sup>整合了1980—2001年间受到长期监测的286个珊瑚礁位点的数据,利用Meta分析的手段研究了飓风与加勒比海珊瑚礁的损害、恢复模式及长期衰退的关系,

肯定了飓风对其的影响。因此,有必要运用统计学的方法将尽可能多的、具有参考价值的、进行灾后实地调查的文献数据进行整合分析,得出科学可信的规律,对于补充和深化森林灾害理论以及指导未来森林防灾减灾治灾工作具有十分重要的理论和实践意义。

#### 4.2 统一林分受损程度的划分标准

一般来讲,林分受损程度的划分是按照受损达到某一程度(如重度、中度)的林木占总株数的比例来确定的,而其中用于划分重度受灾林分、中度受灾林分和轻度受灾林分的比例多是调查者根据当地受灾的实际情况而决定的,带有一定的主观因素,这样可能会令人产生一种错误的认识,例如,可能一片受灾严重地区的轻度受灾林分比另一片受灾轻微地区的重度受灾林分实际受损的程度要大,但单凭作者所描述的“轻度受灾林分”和“重度受灾林分”进行字面上的比较,可能会让读者产生误解。因此,有必要制定统一的林分受损程度划分标准,有利于不同地区林分间的横向比较。

#### 4.3 全面和系统的分析影响林分受损因素

林分的受损类型与程度与多种因素有关,包括其自身的树种特性,树龄、胸径等生长情况,天气、海拔、坡度等外界客观条件,以及经营管理、引种、造林模式等人工因素等,其受损类型与程度是多种因素相互联系、相互作用的结果。而很多文献都只是分析了其中的部分因素,没有对所有可能的因素进行全面、系统的探讨,对于正确分析林分受损的原因以及理解受损林分间受灾类型与程度产生差异的原因造成了一定的困难。就 2008 年我国南方雨雪冰冻灾害的研究情况而言,对于天气条件与森林受损的关系探讨得非常少,例如风的影响,发生在欧洲和北美的冰雪灾害往往伴有猛烈的强风<sup>[33]</sup>,其能加重冰雪灾害的严重程度<sup>[62, 82-83]</sup>,使树木发生翻倒、断干和折枝并产生大量的落叶,而且强风更易对承载了冰雪的树木产生危害<sup>[32]</sup>。虽然 2008 年发生在我国南方的雨雪冰冻灾害风速偏低,然而偏低的风速可以促进冰雪在树冠上大量的积累,特别是当空气潮湿的时候促进作用更为明显<sup>[84]</sup>。我国的雨雪冰冻灾害发生时降雨量非常大,平均湿度达到了 90%<sup>[39]</sup>,因此低风速与重湿度两者的共同作用势必对森林受损造成一定的影响。但是纵观针对此次雨雪冰冻灾害的调查研究,很少有学者提及风速与湿度对林木受损的影响。又如,树冠的特征是影响林木受损的一个重要因素,但我国学者却很少探讨其与森林受损的关系,抑或是只是很轻描淡写的一笔带过,没有作深入的分析,而早在上世纪 60 年代, Lemon<sup>[32]</sup>就指出树冠的大小、形状、对称度等

对于林木的受损类型和程度有显著的影响。因此,有必要确定对林分受损有明显作用的、公认的影响因素,在未来的受损林分调查与分析工作中,对这些因素都加以讨论,以便更加准确的得出结论。

#### 4.4 深化森林生态学理论研究,保证灾前数据的完整性

由于目前国内森林生态学理论研究的不足以及对极端天气的防范意识不够,使得受灾前对森林生态系统进行的各项研究开展得不充分,造成了灾前数据的缺失,难以和灾害发生后调查所得的数据进行比较。例如,雨雪冰冻灾害使森林生态系统产生了大量的异常凋落物,但可能由于之前没有对当地的正常凋落物的年输入量和现储量进行调查,而难以进行对比分析,骆士寿等<sup>[18]</sup>在调查广东杨东山十二度水保护区灾后产生的非正常凋落物时,因为样地受灾前凋落物量本底数据的缺失,只能以灾害产生的断枝和断干的现存量作为至少的非正常凋落量。因此,应当完善和加强森林生态学的理论研究,建立各种基础指标的数据库,使日后针对突发性的灾害进行调查研究时能够有据可依。

#### 4.5 进行模拟试验,建立受损模型

由于森林资源受灾前的数据难以重现以及受灾过程的动态变化难以监测,目前国内的研究几乎都集中于针对灾后的情况进行调查和分析。为了探究受灾前后森林生产力和生物量、植物种群和种子库以及土壤微生物群落、土壤动物群落、土壤呼吸和土壤理化性质等的变化规律及其恢复情况,可以进行模拟试验。在这一方面,国外的研究开展得比较多,已有大量的模型用于模拟不同强度的冰、雪、风对林分的危害<sup>[85-86]</sup>。例如, Lirman<sup>[87]</sup>模拟了不同强度和频率的暴风雪对珊瑚虫 *Acropora palmata* 种群动态的影响,并建立了模型; Canizares 和 Irish<sup>[88]</sup>对美国纽约附近的一个屏障岛由暴风雪引起的地貌动态进行了模拟,模拟结果和历史记录的数据十分相符。对气候环境条件进行模拟时,试验的持续时间以及受冻的程度不一定局限于 2008 年雨雪冰冻灾害的情形,可以进行多梯度的试验研究,探讨不同持续时间和灾害严重程度对森林资源的影响,建立森林植被及土壤的受损模型,这不仅深化并丰富了雨雪冰冻灾害的理论研究,而且对于未来的相关研究具有很好的参考价值。

#### 参考文献:

- [1] 中国林业编辑部. 林业系统全面开展冰雪灾害灾后重建[J]. 中国林业, 2008, (2B): 1.  
Forestry of China Editorial Board. Forestry system fully launches reconstruction after the ice and snow disaster[J]. Forestry of China, 2008, (2B): 1.

- [2] 庞国良. 大兴安岭地区的冰雪危害[J]. 冰川冻土, 1987, 9(增刊): 53-54.  
PANG Guoliang. The disaster of snow and ice in the region of Daxingan mountains[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1987, 9(Special Issue): 53-54.
- [3] 陶芳明. 冰压危害毛竹林的调查研究[J]. 竹子研究汇刊, 1999, 9(1): 78-87.  
TAO Fangming. An investigation on icefall damage to *Phyllostachys pubescens* stands[J]. Journal of Bamboo Research, 1999, 9(1): 78-87.
- [4] 王晓明, 倪惠, 周淑香. 吉林省冰雹灾害时空分布规律及特征分析[J]. 灾害学, 1999, 14(3): 50-54.  
WANG Xiaoming, NI Hui, ZHOU Shuxiang. Analysis on distribution law and character in time and space of hail disasters in Jilin province[J]. Journal of catastrophology, 1999, 14(3): 50-54.
- [5] 张光元. 冰冻雪灾下毛竹受损率调查[J]. 湖南林业科技, 2005, 32(3): 69-71.  
ZHANG Guangyuan. The investigation of the damage rate of the *Phyllostachys heterocycla*. cv. *pubescens* in freezing season and snow disaster[J]. Hunan Forestry Science and Technology, 2005, 32(3): 69-71.
- [6] 栾启福, 卢萍, 肖复明, 等. 雨雪冰冻重灾区湿地松受害情况调查及其原因初步分析[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 50-54.  
LUAN Qifu, LU Ping, XIAO Fuming, et al. Investigation on the damage of *pinus elliottii* in the freezing rain and snow area and the analysis on the reason[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 50-54.
- [7] NYKANEN M L, PELTOLA H, QUINE C, et al. Factors affecting snow damage of trees in particular reference to European conditions[J]. Silva Fennica, 1997, 31(2): 193-213.
- [8] SHEPARD JR R K. Ice storm damage to Loblolly Pine in northern Louisiana[J]. Journal of Forestry, 1975, 73(7): 420-423.
- [9] SEISCHAB F K, BERNARD J M, EBERIC M D. Glaze storm damage to western New York forest communities[J]. Bulletin of the Torrey Botanical Club, 1993, 120(1): 64-72.
- [10] PISARIC M F J, KING D J, MACINTOSH A J M, et al. Impact of the 1998 ice storm on the health and growth of sugar maple(*Acer saccharum* Marsh.) dominated forests in Gatineau Park, Quebec[J]. Journal of the Torrey Botanical Society, 2008, 135(4): 530-539.
- [11] 温庆忠, 魏雪峰, 赵元藩, 等. 雨雪冰冻灾害对滇东南 5 种人工林的影响[J]. 林业科学, 2008 44(11): 23-27.  
WEN Qingzhong, WEI Xuefeng, ZHAO Yuanfan, et al. Impact of the freezing rain and snow disasters on five plantations in the southeast Yunnan[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 23-27.
- [12] 张建国, 段爱国, 董书振, 等. 冰冻雪压对杉木人工林近成熟林分危害调查[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 18-22.  
ZHANG Jianguo, DUAN Aiguo, TONG Shuzhen, et al. Harm of frost and snow suppress to near mature stands of *Cunninghamia lanceolata* plantations[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 18-22.
- [13] 李意德. 低温雨雪冰冻灾害后的南岭山脉自然保护区: 亟待拯救的生态敏感区域[J]. 林业科学, 2008, 44(6): 2-4.  
LI Yide. The Nanling National Nature Reserve underwent the ice and snow disaster: the eco-sensitive area needed urgently to save[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(6): 2-4.
- [14] 赵霞, 沈孝清, 黄世能, 等. 冰雪灾害对杨东山十二度水省自然保护区木本植物机械损伤的初步调查 [J]. 林业科学, 2008, 44(11): 164-167.  
ZHAO Xia, SHEN Xiaqing, HUANG Shineng, et al. Mechanical damages to woody plants from a snow disaster in Yangdongshan Shierdushui Provincial Nature Reserve[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 164-167.
- [15] 蒋俊明, 李本祥, 蒋南青, 等. 2008 年南方雪灾对川南丛生竹的影响[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 141-144.  
JIANG Junming, LI Benxiang, JIANG Nanqing, et al. Impact of the snow disaster occurred in 2008 in south china to the clump bamboo in south Sichuan[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 141-144.
- [16] 吴仲民, 李意德, 周光益, 等. “非正常凋落物”及其生态学意义[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 28-31.  
WU Zhongmin, LI Yide, ZHOU Guangyi, et al. Abnormal litterfall and its ecological significance[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 28-31.
- [17] 薛立, 冯慧芳, 郑卫国, 等. 冰雪灾害后粤北杉木林冠残体和凋落物的持水特性[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 82-86.  
XUE Li, FENG Huifang, ZHENG Weiguo, et al. Water capacity characteristic of the broken crown and litter in a *Cunninghamia lanceolata* stand suffered from ice-snow damage in north Guangdong province[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 82-86.
- [18] 骆士寿, 张国平, 吴仲民, 等. 雨雪冰冻灾害对广东杨东山十二度水保护区常绿与落叶混交林凋落物的影响[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 177-183.  
LUO Tushou, ZHANG Guoping, WU Zhongmin, et al. Effects of the frozen rain and snow disaster to the litterfall of evergreen and deciduous broadleaved mixed forest in Yangdongshan Shierdushui Nature Reserve of Guangdong[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 177-183.
- [19] 骆士寿, 杨昌腾, 吴仲民, 等. 冰雪灾害对粤北天然次生林的损害及产生的林冠残体量[J]. 热带亚热带植物学报, 2010, 18(3): 231-237.  
LUO Tuzhou, YANG Changteng, WU Zhongmin, et al. Damage of the frozen rain and snow to natural secondary forests and its crown debris in northern Guangdong province[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2010, 18(3): 231-237.
- [20] 张思玉. 2008 年中国南方冰雪灾害对夏季森林火灾的影响[J]. 防灾科技学院学报, 2008, 10(2): 11-14.  
ZHANG Siyu. Effects of southern ice-and-snow disaster in China in 2008 on the summer forest fires[J]. Journal of Institute of Disaster-Prevention Science and Technology, 2008, 10(2): 11-14.
- [21] 王磊, 黄良江, 代勋, 等. 雨雪冰冻灾害对云南三江口自然保护区森林资源的影响调查研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(17): 8253-8254, 8259.  
WANG Lei, HUANG Liangjiang, DAI Xun, et al. The investigation and assessment for the impact of disasters of frozen rain and snow on the Sanjiangkou Nature Reserve forest resources[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(17): 8253-8254, 8259.
- [22] 肖金香, 叶蕾, 叶清, 等. 冰雪灾害对森林火灾的影响及防御措施[J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(3): 433-436.  
XIAO Jinxiang, YE Lei, YE Qing, et al. A study on the influence of ice-snow disaster on forest fire and its defensive measures[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2009, 31(3): 433-436.
- [23] 王秋华, 舒立福, 戴兴安, 等. 冰雪灾害对南方森林可燃物及火行为的影响[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 171-176.  
WANG Qiuhua, SHU Lifu, DAI Xing'an, et al. Effects of snow and ice disasters on forest fuel and fire behaviors in the southern China[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 171-176.
- [24] 王明玉, 舒立福, 王秋华, 等. 中国南方冰雪灾害对森林火灾火发生短期影响分析: 以湖南为例[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 64-68.  
WANG Mingyu, SHU Lifu, WANG Qiuhu, et al. Forest fire occurrence in short term under the impacts of snow damage in south of China: case study in Hunan province[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 64-68.

- [25] 王明玉, 舒立福, 赵凤君, 等. 中国南方冰雪灾害对森林可燃物影响的数量化分析: 以湖南为例[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 69-74.  
WANG Mingyu, SHU Lifu, ZHAO Fengjun, et al. Quantity analysis of forest fuel under the impacts of snow damage in south of China: case study in Hunan province [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 69-74.
- [26] 田大伦, 高述超, 康文星, 等. 冰冻灾害前后矿区废弃地栎树杜英混交林生态系统养分含量的比较[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 115-122.  
TIAN Dalun, GAO Shuchao, KANG Wenxing, et al. Impact of freezing disaster on nutrient content in a *Koelreuteria paniculata* and *Elaeocarpus decipens* mixed forest ecosystem[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 115-122.
- [27] 苏化龙, 肖文发, 马强, 等. 2008年雪灾之后三峡库区红腹锦鸡种群动态[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 75-81.  
SU Hualong, XIAO Wenfa, MA Qiang, et al. Population dynamics of the Golden Pheasant(*Chrysolophus pictus*) in the Three Gorges Reservoir Area after the snow calamity in 2008[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 75-81.
- [28] 王胜坤, 龚粤宁, 顾茂彬, 等. 南岭保护区粉蝶区系以及雨雪冰冻灾害对其种群密度的影响[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 184-187.  
WANG Shengkun, GONG Yuening, GU Maobin, et al. Pieridae fauna of Nanling National Nature Reserve and the impact of snow disaster on the population densities[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 184-187.
- [29] 杨锋伟, 鲁绍伟, 王兵. 南方雨雪冰冻灾害受损森林生态系统生态服务功能价值评估[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 101-110.  
YANG Fengwei, LU Shaowei, WANG Bing. Value estimation of service function of forest ecosystem damaged by frozen rain and snow in the south China[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 101-110.
- [30] 徐凤兰, 钱国钦, 杨伦增. 冰冻灾害造成森林生态服务价值损失的经济评估: 以福建省受灾森林为例[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 193-201.  
XU Fenglan, QIAN Guoqin, YANG Lunzeng. Economical assessment of the lose's value brought by the blizzard and frozen disasters to the forest in the ecosystem services: take the disaster forest of Fujian province as the example[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 193-201.
- [31] 陆钊华, 徐建民, 韩超, 等. 南方桉树人工林雨雪冰冻经济损失评估与分析[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 36-41.  
LU Zhaohua, XU Jianmin, HAN Chao, et al. Economic losing evaluation of Eucalyptus plantations subjected to the frozen catastrophe in southern China[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 36-41.
- [32] LEMON P C. Forest ecology of ice storms[J]. Bulletin of the Torrey Botanical Club, 1961, 88(1): 21-29.
- [33] VAN DYKE O R R F. A literature review of ice storm impacts on forests in Eastern North America[C]. South central Sciences Section Technical Report #112, Ontario: Landmark Consulting, 33p.
- [34] HAUER R J, WANG W, DAWSON J O. Ice storm damage to urban trees[J]. Journal of Arboriculture, 199, 19(4): 187-193.
- [35] CAMPBELL W A. Decay hazard resulting from ice damage to northern hardwoods[J]. Journal of Forestry, 1937, 35(11): 1156-1158.
- [36] BOEMER R E J, RUNGE S D, CHO D S, et al. Localized ice storm damage in an Appalachian plateau watershed[J]. American Midland Naturalist, 1988, 119(1): 199-208.
- [37] 管远保. 浅谈冰冻灾害对湖南森林资源的影响[J]. 湖南林业科技, 2008, 35(4): 80-81.  
GUAN Baoyuan. The effects on forest resource of Hunan province of effects on rain and snow frozen disaster [J]. Hunan Forestry Science and Technology, 2008, 35(4): 80-81.
- [38] 李东升, 裴东, 杨振寅, 等. 低温雨雪冰冻灾害对湖北森林资源的影响与思考: 赴湖北灾后恢复重建工作技术指导组调研[J]. 林业经济, 2008(4): 15-17.  
LI Dongsheng, PEI Dong, YANG Zhenyin, et al. Low-temperature freezing rain and snow disasters on the impact of forest Hubei and thinking: to the post-disaster reconstruction work in Hubei technology research steering group report[J]. Forestry Economics, 2008(4): 15-17.
- [39] 王东海, 柳崇健, 刘英, 等. 2008年1月中国南方低温雨雪冰冻天气特征及其天气动力学成因的初步分析[J]. 气象学报, 2008, 66(3): 405-422.  
WANG Donghai, LIU Congjian, LIU Ying, et al. A preliminary analysis of features and causes of the snow storm event over the Southern China in January 2008 [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2008, 66(3): 405-422.
- [40] 邵全琴, 黄麟, 刘纪远, 等. 2008年春季中国南方冰雪冻害林木物理折损典型样带分析[J]. 山地学报, 2009, 27(2): 177-187.  
SHAO Quanqin, HUANG Lin, LIU Jiyuan, et al. Analysis of forest damages caused by the snow and ice chaos in transect of southern China in 2008 spring[J]. Journal of Mountain Science, 2009, 27(2): 177-187.
- [41] 蔡子良, 钟秋平, 刘清元, 等. 广西主要树种冰雪灾害调查及恢复措施[J]. 林业科学研究, 2008, 21(6): 837-841.  
CAI Ziliang, ZHONG Qiuping, LIU Qingyuan, et al. Investigation on main trees Guangxi and the species damaged by ice storm in restoration measures[J]. Forest Research, 2008, 21(6): 837-841.
- [42] 陈波涛, 欧国腾, 李昆. 贵州小桐子特大雨雪冰冻低温灾害调查研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(4): 506-509.  
CHEN Botao, OU Guoteng, LI Kun. Investigation Report on the Damage of Physic Nut in Guizhou province caused by the extraordinarily freezing rain and snow weather[J]. Forest Research, 2008, 21(4): 506-509.
- [43] 周席徐, 徐永杰, 罗治建, 等. 湖北三峡库区退耕还林区柑橘低温冻害规律调查[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 145-151.  
ZHOU Xihua, XU Yongjie, LUO Zhijian, et al. Characteristics of citrus freeze injury in the newly-reclaimed forest from Farmland of Three Gorges area in Hubei province [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 145-151.
- [44] 刘建灵, 孙莉莉, 戚连忠, 等. 雨雪冰冻灾害对云和县主要森林群落的影响[J]. 浙江林业科技, 2009, 29(3): 48-51.  
LIU Jianling, SUN Lili, QI Lianzhong, et al. Effect of freezing rain and snow disaster on main forest community in Yunhe county[J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2009, 29(3): 48-51.
- [45] 许亚洲, 孙晓梅, 宋丛文, 等. 鄂西亚高山日本落叶松人工林雪灾调查[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 11-17.  
XU Yezhou, SUN Xiaomei, SONG Congwen, et al. Damage of Sub-Alpine *Larix kaempferi* plantation induced by snow storm in western Hubei[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 11-17.
- [46] 王旭, 黄世能, 周光益, 等. 冰雪灾害对杨东山十二度水自然保护区栲类林建群种的影响[J]. 林业科学, 2009, 45(9): 41-47.  
WANG Xu, HUANG Shineng, ZHOU Guangyi, et al. Effects of the frozen rain and snow disaster on the dominant species of Castanopsis forests in Yangdongshan Shierdushui Provincial Nature Reserve of Guangdong[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(9): 41-47.
- [47] 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]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2008, 25(6): 823-827.
- [48] 何茜, 李吉跃, 陈晓阳, 等. 2008 年初特大冰雪灾害对粤北地区杉木人工林树木损害的类型及程度[J]. 植物生态学报, 2010, 34(2): 195-203.  
HE Qian, LI Jiyue, CHEN Xiaoyang, et al. Types and extent of damage to *Cunninghamia lanceolata* plantations due to unusually heavy snow and ice in southern China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(2): 195-203.
- [49] 吴忠东, 吴道圣, 徐志平, 等. 雨雪冰冻灾害对仙居县林木的危害情况调查[J]. 林业调查规划, 2009, 34(4): 53-57.  
WU Zhongdong, WU Daosheng, XU Zhiping, et al. Damage of frozen rain and snow on forest of Xianju county[J]. Forest Inventory and Planning, 2009, 34(4): 53-57.
- [50] 李苇洁, 聂忠兴, 龙秀琴, 等. 百里杜鹃自然保护区雪凝灾情分析及重建思考[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 111-114.  
LI Weijie, NIE Zhongxi, LONG Xiuqin, et al. Damage investigation and rehabilitation thinking of snow storm in the Baili Rhododendron Nature Reserve[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 111-114.
- [51] 肖复明, 陈红兴, 江香梅, 等. 江西安福林区毛竹林雨雪冰冻灾情调查分析[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 32-35.  
XIAO Fuming, CHEN Hongxing, JIANG Xiangmei, et al. Investigation on the damage of Moso bamboo caused by freezing rain and snow in Anfu, Jiangxi province[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 32-35.
- [52] 杨曾奖, 徐大平, 曾杰, 等. 南方大果紫檀等珍贵树种寒害调查[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 123-127.  
YANG Zengjiang, XU Daping, ZENG Jie, et al. A survey of freezing harm of precious trees in south China[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 123-127.
- [53] 彭映辉, 项文化, 田大伦, 等. 特大冰冻雪灾后长沙市竹类的冻害状况[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 55-58.  
PENG Yinghui, XIANG Wenhua, TIAN Dalun, et al. Status of frozen injury of bamboo after snow and ice disaster in Changsha[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 55-58.
- [54] 赵金发, 董文渊, 毛闻君, 等. 冰雪灾害对大关县 4 种竹林损害的调查研究[J]. 西部林业科学, 2009, 38(1): 96-100.  
ZHAO Jinfā, DONG Wenyuan, MAO Wenjun, et al. An investigation on snow damage on four kinds of bamboo forests in Dagan county[J]. Journal of West China Forestry Science, 2009, 38(1): 96-100.
- [55] 李土生, 邱瑶德, 高洪娣, 等. 浙江省公益林雨雪冰冻灾情评估及恢复重建对策[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 168-170.  
LI Tusheng, QIU Yaode, GAO Hongdi, et al. Evaluation to the sleet freeze disaster of the non-commercial forest in Zhejiang province and the reconstruction measure [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 168-170.
- [56] 程鹏, 张金池. 2008 年重大冰雪灾害对安徽森林的影响与反思[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2008, 32(3): 1-4.  
CHENG Peng, ZHANG Jinchī. Analysis on the influence of ice-snow calamity on forest and reflection to the theory of forest management in Anhui province[J]. Journal of Nanjing Forestry University(Natural Sciences Edition), 2008, 32(3): 1-4.
- [57] 吴际友, 王旭军, 廖德志, 等. 冰冻雨雪灾害中城市森林抗雪压特性及评价[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 59-63.  
Wu Jiyu, Wang Xujun, Liao Dezhi, et al. Performance features and evaluation of compressive strength of urban forest in the ice-snow disaster [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 59-63.
- [58] 林瑞芬, 杨东梅, 刘东明, 等. 2008 年初广州常见园林植物冷害情况调查及分析[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 152-160.  
LIN Ruifen, YANG Dongmei, LIU Dongming, et al. Investigation and analysis of the chilling injury to the common garden plants in Guangzhou, early of 2008[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 152-160.
- [59] 刘兰芳, 谭青山, 刘沛林, 等. 2008 年湖南林业冰冻灾情形成机理及防范对策[J]. 衡阳师范学院学报, 2008, 29(6): 101-104.  
LIU Lanfang, TAN Qingshan, LIU Peilin, et al. Study on formation mechanism of snow-frozen and the disaster relieve countermeasure on forestry in Hunan province[J]. Journal of Hengyang Normal University, 2008, 29(6): 101-104.
- [60] 唐初明, 陈丰惠. 雨雪冰冻灾害对荔浦县森林资源的影响. 广西林业科学, 2008, 37(4): 200-203.  
TANG Chuming, CHEN Fenghui. Impacts of frost damage on forest resource in Lipu county. Guangxi Forestry Science, 2008, 37(4): 200-203.
- [61] 宗凡中. 雨雪冰冻灾害对森林资源影响因子调查分析[J]. 安徽农学通报, 2008, 14(15): 163-164.  
ZONG Fanzhong. Effect of rainstorm, snowstorm, freeze and microtherm on forest resource: Investigation and Analysis [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2008, 14(15): 163-164.
- [62] BRUEDERLE L P, STEARNS F W. Ice storm damage to a southern Wisconsin mesic forest[J]. Bulletin of the Torrey Botanical Club, 1985, 112(2): 167-175.
- [63] 魏松正, 张水生, 钟寿旺, 等. 南方重大冰雪灾害对福建省建阳市毛竹林的影响及成因分析[J]. 福建林业科技, 2008, 35(4): 203-206.  
WEI Songzheng, ZHANG Shuisheng, ZHONG Shouwang, et al. The influence and cause analysis of heavy snow and ice damage on *Phyllostachy pubescens* plantation in southern China [J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2008, 35(4): 203-206.
- [64] 陈红跃, 薛立, 李吉跃, 等. 冰雪灾害对 3 种不同林分的损害特征比较[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(2): 78-81.  
CHEN Hongyue, XUE Li, LI Jiyue, et al. Comparison between characteristics of ice damage to three stands[J]. Journal of South China Agricultural University, 2010, 31(2): 78-81.
- [65] 郭颖, 孙吉慧. 雪凝灾害林木损失评估及恢复重建技术初探[J]. 贵州林业科技, 2008, 36(3): 30-34.  
GUO Ying, SUN Jihui. Investigation on the on the forest loss caused by the frozen disaster and discussion on the technology of restoration and reconstruction [J]. Guizhou Forestry Science and Technology, 2008, 36(3): 30-34.
- [66] 聂朝俊. 贵州林业低温雨雪冰冻灾害与防治对策研究[J]. 贵州林业科技, 2008, 36(3): 46-50.  
NIE Chaojun. A study on forestry disaster caused by low-temperature & sleet and countermeasures in Guizhou province[J]. Guizhou Forestry Science and Technology, 2008, 36(3): 46-50.
- [67] 张绍辉, 李靖, 马长乐, 等. 冰雪灾害后林业可持续发展问题探讨: 以云南省盐津县为例[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(17): 8020-8021, 8026.  
ZHANG shaohui, LI jing, MA changle, et al. Discussion on the problems of forestry sustainable development after 2008 ice-snow disasters [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(17): 8020-8021, 8026.
- [68] 王震洪. 基于植物多样性的生态系统恢复动力学原理[J]. 应用生态学报, 2007, 18(9): 1965-1971.  
WANG Zhenhong. Dynamic principle of ecosystem restoration based on plant diversity [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(9): 1965-1971.
- [69] 薛建辉, 胡海波. 冰雪灾害对森林生态系统的影响与减灾对策[J]. 林业科学, 2008, 44(4): 1-2.  
XUE Jianhui, HU Haibo. Impact of the ice and snow disaster on the

- forest ecosystem and mitigation countermeasures[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44(4): 1-2.
- [70] 王琴芳. 广西雨雪冰冻灾害对林业的影响及灾后重建对策[J]. *中南林业调查规划*, 2008, 27(3): 17-20.  
WANG Qinfan. Influence to forestry from rain, snow and freezing disaster in Guangxi and reconstruction countermeasures after disaster [J]. *Central South Forest Inventory and Planning*, 2008, 27(3): 17-20.
- [71] 吴昌军, 刘晓镜, 严伟宾. 苏仙岭风景名胜区冰灾受损森林植被恢复策略研究[J]. *现代农业科学*, 2008, 15(7): 14-16.  
WU Changjun, LIU Xiaojing, YAN Weibin. Study on recovery strategy of damaged forest vegetation by ice disaster in Suxianling scenery zone [J]. *Modern Agricultural Sciences*, 2008, 15(7): 14-16.
- [72] 张俊生, 刘江林. 迭部林区冰雪灾害受损森林生态系统恢复技术[J]. *甘肃林业科技*, 2008, 33(4): 67-70.  
ZHANG Junsheng, LIU Jianglin. Restoration techniques of forest ecosystem damaged during snow disaster in Diebu forest area [J]. *Journal of Gansu Forestry Science and Technology*, 2008, 33(4): 67-70.
- [73] 廖德志, 吴际友, 侯伯鑫, 等. 长沙城市森林树种冰冻灾害的调查与反思[J]. *中国城市林业*, 2008, 6(1): 10-13.  
LIAO Dezhi, WU Jiyu, HOU Boxin, et al. Investigation and thought of frost disaster of urban forest in Changsha [J]. *Journal of Chinese Urban Forestry*, 2008, 6(1): 10-13.
- [74] 徐冬梅, 韩敏. 雨雪冰冻灾害的成因及对策研究[J]. *农技服务*, 2010, 27(1): 111-113.  
XU Dongmei, HAN Min. Study on the reasons and countermeasures of snow and freezing-rain disaster [J]. *Serves of Agricultural Technology*, 2010, 27(1): 111-113.
- [75] 田华, 谈建文, 黄光体. 湖北省低温雨雪冰冻灾害植被恢复与林业重建的思考[J]. *湖北林业科技*, 2009, (1): 65-68.  
TIAN Hua, TAN Jianwen, HUANG Guangti. Thinking on vegetation rehabilitation and forestry reconstruction to ice disaster of low temperature and rain-snow[J]. *Hubei Forestry Science and Technology*, 2009, (1): 65-68.
- [76] 陈芳平, 周修权. 郴州市冰雪灾害后的林业发展现状与对策[J]. *湖南林业科技*, 2009, 36(1): 56-58.  
CHEN Fangping, ZHOU Xiuquan. Developing status and countermeasures of forestry in Chenzhou City since the ice-snow disaster[J]. *Hunan Forestry Science and Technology*, 2009, 36(1): 56-58.
- [77] 曹昀, 张聃, 卢永聪. 南方雨雪冰冻灾后林业生态恢复的措施[J]. *福建林业科技*, 2008, 35(4): 207-209.  
CAO Yun, ZHANG Dan, LU Yongcong. The measures of forest ecology restoration after freezing rain and snow disaster in southern China[J]. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 2008, 35(4): 207-209.
- [78] 张铁平. 广东省雨雪冰冻灾害对引发森林火灾的影响分析与建议[J]. *林业调查规划*, 2008, 33(5): 79-84.  
ZHANG Tieping. Analysis and suggestion for impact of natural disasters on forest fire in Guangdong province [J]. *Forest Inventory and Planning*, 2008, 33(5): 79-84.
- [79] 黄国勤. 江西省低温雨雪冰冻灾害对农林业造成的危害及对策[J]. *江西农业学报*, 2008, 20(10): 104-107.  
HUANG Guoqin. Harm of disasters of low-temperature, raining, snowing and freezing on agriculture and forestry in Jiangxi and its strategies [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2008, 20(10): 104-107.
- [80] HUANG S, CRABTREE R L, POTTER C, et al. Estimating the quantity and quality of coarse woody debris in Yellowstone post-fire forest ecosystem from fusion of SAR and optical data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(9): 1926-1938.
- [81] GARDNER T A, COTE I M, GILL J A, et al. Hurricanes and Caribbean coral reefs: impacts, recovery patterns, and role in long-term decline[J]. *Ecology*, 2005, 86(1): 174-184.
- [82] HOUGH A F. What a glaze storm brings[J]. *Pennsylvania Forest*, 1965, 33(1): 4-5.
- [83] AMATEIS R L, BURKHART H E. Impact of heavy glaze in a loblolly pine spacing trial[J]. *Southern Journal of Applied Forestry*, 1996, 20(3): 151-155.
- [84] GILL D. Snow damage to boreal mixedwood stands in northern Alberta[J]. *Forestry Chronicle*, 1974, 50(2): 70-73.
- [85] PELTOLA H, KELLOMAKI S, VAISANEN H, et al. A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce, and birch[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1999, (29): 647-661.
- [86] MILLER D R, DUNHAM R, BROADGATE M L, et al. A demonstrator of models for assessing wind, snow and fire damage to forests using the WWW[J]. *Forest Ecology and Management*, 2000, 135(Special issue): 355-363.
- [87] LIRMAN D. A simulation model of the population dynamics of the branching coral *Acropora palmate*: Effects of storm intensity and frequency[J]. *Ecological Modelling*, 2003, 161(3): 169-182.
- [88] CANIZARES R, IRISH J L. Simulation of storm-induced barrier island morphodynamics and flooding[J]. *Coastal Engineering*, 2008, 55(12): 1089-1101.

## A review of freezing rain and snow impacts on forests in southern China

XU Yawen, WU Keke, ZHU Lirong, LIN Zhenguang, PENG Shaolin\*

State Key Laboratory of Biocontrol, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

**Abstract:** An unusually severe freezing rain and snow disaster of continuous low temperature covered a wide range of southern China in early 2008. This caused significant loss to human's work and life, especially on forests. There are many studies focusing on damaged forest ecosystems. This research project searched out and summarized all the relevant research information about the effects of freezing rain and snow disasters on forests, to discuss the connection between damage impacts and the elements of weather severity, site conditions, tree characteristics and stand characteristics. The project also researched the recovery and reconstruction rates of forests from freezing rain and snow disasters. Compared to existing researches, we found their shortages on depth and orientation. Then the article put forward several recommendations to help with future research.

**Key words:** freezing rain and snow disasters; forests; extent of damage; damage mechanism; reconstruction; suggestions