

# 特大冰冻干扰对大明山常绿阔叶林树冠及林冠层状况的影响\*

## Effects of a Severe Ice Storm Disturbance on Crown and Canopy Condition of an Evergreen Broad-leaved Forest in Damingshan National Nature Reserve of Guangxi Province

温远光\*\*,李婉舒,朱宏光,周晓果,叶 铎,王 磊

WEN Yuan-guang, LI Wan-shu, ZHU Hong-guang, ZHOU Xiao-guo, YE Duo, WANG Lei

(广西大学林学院,亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室,广西南宁 530004)

(State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropical Agro-bioresources, Forestry College, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China)

**摘要:**【目的】通过对大明山南亚热带山地常绿阔叶林 72 个 400m<sup>2</sup>样地的调查,了解特大冰冻干扰对南亚热带山地常绿阔叶林树冠和林冠状况的影响。【方法】2009 年,在大明山海拔 934~1223m 的范围内,按上、中、下坡设立 3 组调查样地,每一组样地包括 24 个 20m×20m 样方,对胸径≥5cm 的林木进行调查,记录种名、胸径、树高、冠长、冠幅、座标及受损类型等。【结果】经统计,在调查的胸径≥5cm 的 2538 株林木中,有 1714 株受到不同程度损伤,占总数的 67.53%,其中轻度损伤占 47.75%、重度损伤占 19.78%。总体上,不同坡位的冠损状况相似,均以轻度损伤为主,但表现有所不同,上坡轻度损伤比例最小(40.94%),严重损伤的比例最高(26.49%);中坡与之相反,轻度损伤比例最大(52.38%),严重损伤比例最小(16.52%);下坡损伤比例最低。胸径影响树木的受损类型和程度,呈现出随着胸径的增加,树冠受损的比例逐渐增大,并在 30~40cm 径级(上坡)和 40~81cm 径级(中坡和下坡)达到最大值。断枝比例(包括断枝少和断枝多)随胸径增大而增大,而断梢和失冠则随胸径增大而减小。落叶树种比常绿树种受损更重。冰冻灾害后,林冠叶面积指数显著下降,散射透光系数和直射透光系数显著增加。【结论】特大冰冻干扰对大明山常绿阔叶林已造成严重影响,受冰冻灾害的长期影响,大明山常绿阔叶林的树冠和林冠状况发生了显著的变化,由半圆球形树冠演变为狭窄的圆柱形树冠,以适应冰冻干扰和气候变化的影响。

**关键词:**冰冻灾害 干扰 常绿阔叶林 树冠 冠层状况

**中图分类号:**Q145 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2014)05-0454-09

**Abstract:**【Objective】Through field investigation of 72 permanent plots (each 400m<sup>2</sup>) of the south subtropical montane evergreen broad-leaved forest in Damingshan Nature Reserve of

Guangxi province, this paper deals with the effects of a severe ice storm disturbance on the crown and canopy condition of south subtropical montane evergreen broad-leaved forest in Guangxi province. 【Methods】In 2009, 3 groups of plots were set up in the ice storm-damaged montane evergreen broad-leaved forest in Damingshan National Nature Reserve, with altitude ranged from 934m to 1223m, and divided into

收稿日期:2014-08-10

作者简介:温远光(1957-),男,博士,教授,主要从事森林生态和森林培育研究。

\* 国家自然科学基金项目(39460022,30860059),国家科技支撑计划项目(2011BAC09B02)和广西重大专项计划项目(1222005)资助。

\*\* 通讯作者。

upper slope, middle slope and lower slope, where each group was further divided into 40 subplots and each had the plot of 400m<sup>2</sup>. Within each subplot, all trees that their diameter at breast height (DBH) was equal to or larger than 5.0cm were identified, mapped and tagged at breast height (1.3m from the base) with pre-numbered aluminum tags, and then the DBH, stem heights, crown length, crown width, damage type of these tagged trees were measured. **【Results】** The evergreen broad-leaved forest of Damingshan National Nature Reserve were affected severely by the ice storm as the damaged trees accounted for 67.53% of the total individuals with DBH≥5.0cm. Among of them slightly damaged individuals accounted for 47.75% and severely damaged ones accounted for 19.78%. The ratio of slightly damaged trees was minimum at upper slope (40.94%) while it was maximum at middle slope (52.38%). On the contrary, the ratio of severely damaged individuals was maximum at upper slope (26.49%) while minimum at middle slope (16.52%). However, the ratio of damaged individuals at lower slope was the most low among the three slope positions. The DBH was a sensitive index influencing the type and extent of tree damage. The more larger the DBH was, the more severe damage the tree crown suffered. The ratio of broken branch (including slight branch loss and severe branch loss) increased as the DBH increasing, whereas the breakage within crown and whole-crown loss decreased with increasing of DHB. The deciduous trees tended to show severe damage than evergreen trees. After ice storm damage, the leaf area index (LAI) was significantly reduced while scattering light transmission coefficient (TD) and direct transmission coefficient (TR) were significantly increased. **【Conclusion】** This severe ice storm caused severe damage to evergreen broad-leaved forest in Damingshan. The crown and canopy condition of evergreen broad-leaved forest in Damingshan had changed significantly from semi spherical crown to cylindrical narrow-crown in order to adapte ice storm disturbance and climate change.

**Key words:** ice storm damage, disturbance, evergreen broad-leaved forest, crown, canopy condition

**【研究意义】**干扰是森林生态系统动态的关键过程<sup>[1]</sup>,冰冻干扰是典型的自然干扰,在温带和暖温带地区相当普遍<sup>[2]</sup>,在热带和南亚热带地区非常稀少。冰冻干扰对森林生态系统的组成、结构和功能造成了强烈的影响<sup>[3]</sup>,受到学术界的广泛关注,并成为生态研究的热点之一<sup>[4-5]</sup>。常绿阔叶林是我国亚热带有代表性的地带性森林,也是我国亚热带地区生物多样性最丰富、生产力最高、经济价值最大的森林生态系统,在减缓全球气候变化和维护区域生态安全中具有无法替代的作用。2008年初,我国南方发生了百年不遇的特大雨雪冰冻灾害,在此次灾害中常绿阔叶林遭到了严重破坏<sup>[6-9]</sup>。林分冠层状况与林分生长状况密切相关,每株树的CO<sub>2</sub>固定量取决于冠层的发育状况<sup>[10]</sup>。分析和研究冰冻干扰对常绿阔叶林树冠及冠层状况的影响有助于我们深刻的认识常绿阔叶林林冠的形成与维持机制,也有利于全面的了解常绿阔叶林对气候变化的适应与响应,以指导常绿阔叶林的保护、恢复与可持续管理。**【前人研究进展】**冰雪灾害对森林生态系统的影响在温带和暖温带森林中已有大量的研究报道<sup>[2,11-13]</sup>,然而在热带和南亚热带地区的研究十分稀少<sup>[14,15]</sup>。2008年雨雪冰冻灾害后,这方面的研究有了一些报道<sup>[16,17]</sup>,但是,这些研

究主要是集中在雨雪冰冻灾害对树木损伤格局的描述<sup>[18]</sup>,极少涉及树冠和冠层状况的分析。**【本研究切入点】**本文通过对同一地区,冰冻灾害前后常绿阔叶林树冠和冠层状况的比较研究,阐明冰冻干扰对常绿阔叶林树冠及冠层状况的影响。**【拟解决的关键问题】**定量分析和评价2008年特大冰冻干扰对大明山常绿阔叶林树冠及冠层的影响,探讨南亚热带常绿阔叶林树冠及林冠层对气候变化的适应和响应机制,以期为深入认识南亚热带常绿阔叶林冠层形成和维持机制提供科学依据。

## 1 研究区概况

大明山国家级自然保护区地处广西中南部,地跨23°10'~23°38'N,108°18'~108°45'E,北回归线横贯中部,是北热带与南亚热带的分界点<sup>[2]</sup>,属南亚热带季风气候区。根据大明山天坪气候观测站观测记录,其年均温为15.1℃,8月份平均气温最高为21.9℃,1月份平均气温最低为5.8℃,极端高温为28.6℃,极端低温-6.0℃;日均温大于等于10℃的积温为5047.7℃;年均降水量为2630.3mm<sup>[19]</sup>。大明山地理位置独特,地层古老,地貌发育,形成了复杂多样的生态环境,孕育出丰富的生物多样性,保存了较完好

的原生性森林,共有维管植物 234 科 918 属 2374 种<sup>[20]</sup>。茂密的天然森林资源使大明山成为周边地区重要的物种基因库、水库、碳库、氧库,成为区域生态安全的保护屏障。

## 2 研究方法

### 2.1 样地选取

1995 年广西大学林学院在大明山保护区常绿阔叶林设立固定调查样地 3 块,样地位于同一坡面的上、中和下坡,样地面积为 800m<sup>2</sup>,2009 年 5 月,将上述样地合并,扩大为 3.2hm<sup>2</sup>的永久监测样地。样地东西长 160m、南北宽 200m(水平距离),海拔 934~1223m,坡度 30~35°。样地内所有胸径≥1cm 的木本植物个体都被定位测量,包括物种名称、坐标、胸径、树高、枝下高、树冠幅等。样地中胸径≥1cm 的物种共有 241 种 8889 个独立个体(没有鉴定的个体有 52 株,占总个体数的 0.58%;包括分枝在内的个体数达到 11103 个),分属于 54 科 110 属。为了比较不同坡位森林对特大冰冻干扰的适应和响应,从上、中、下坡选取了 3 组样地,每组样地由 24 个 20m×20m 的样方组成。

### 2.2 调查方法

2009 年 5 月,对 3 组样地的林木进行调查,并将树冠受损分为 5 个类型,即正常、断枝少、断枝多、断梢和失去整个树冠(倒伏或折干)(表 1)。因本文主要考虑特大冰冻干扰对树冠及冠层状况的影响,故仅对胸径≥5cm 的木本植物进行分析。分别于 2006 年 6 月和 2009 年 6 月,利用 CI-110 植物冠层分析仪测定和计算各个样地的叶面积指数(LAI)、散射透光

系数(TD)、直射透光系数(TR)。其中,2006 年在上、中、下坡随机测定 108 个点;2009 年,在每个 20m×20m 的样方中心位置进行测定,共测定 72 个点。

### 2.3 数据分析

为了研究特大冰冻干扰对常绿阔叶林树冠和冠层状况的影响,选择胸径(分为 5 个径级:Ⅰ级:5~10cm,Ⅱ级:10~20cm,Ⅲ级:20~30cm,Ⅳ级:30~40cm,Ⅴ级:40~81cm)、树冠状况(如树冠长、树冠幅、树冠体积)、冠层状况(如叶面积指数、散射透光系数、直射透光系数)和生境(分为上坡、中坡、下坡)等指标进行分析。采用 Microsoft Office Excel 2003 对调查数据进行初步整理和计算,以 SPSS16.0 统计软件进行差异性统计分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 大明山常绿阔叶林树冠受损情况

在调查的胸径≥5cm 的 2538 株林木中,有 1714 株受到不同程度损伤,占总数的 67.53%,其中正常、轻度损伤、重度损伤所占比例分别为 32.47%、47.75%和 19.78%(表 1),表明在此次特大冰冻干扰中,大明山常绿阔叶林是以轻度损伤为主。在重度损伤等级中,断梢占的比例最大,占该等级的 81.85%。在轻度损伤等级中,断枝多和断枝少等级几乎平分秋色,分别占受损等级的 49.59%和 50.41%。

在上、中、下 3 个坡位中,以中坡的损伤比例最大,达 68.89%,下坡最小,为 66.24%;但在重度损伤等级中,以上坡损伤比例最大,达 26.49%,分别比中坡和下坡高 60.35%和 59.10%(表 2)。

表 1 大明山常绿阔叶林树冠受损类型的分布(DBH≥5cm)

Table 1 Distribution of damage classes for tree crown with DBH≥5cm in Damingshan evergreen broadleaved forests

坡位 Slope position	等级 Damage class	受损类型 Damage type	类型描述 Description	个体数 Individuals	受损类型比例 Ratio of damage type(%)	受损等级比例 Ratio of damage class(%)
总体 Total	正常 Undamaged	正常 Undamaged	树冠完整,受损不明显 Complete crown or unaffected	824	32.47	32.47
	轻度受损 Slightly damaged	断枝少 Slight branch loss	少于 50%的分枝折断 Less than half of the branches lost	601	23.68	47.75
		断枝多 Severe branch loss	多于 50%的分枝折断 More than half of the branches lost	611	24.07	
	严重受损 Severely damaged	断梢 Broken within crown	林冠中的树干折断 Broken in trunk	411	16.19	19.78
失去整个树冠 Whole-crown loss		1.3m 以下折断或倒伏 Uprooted or broken below 1.3m	91	3.59		

表 2 不同坡位树冠受损类型的分布 (DBH≥5cm)

Table 2 Distribution of damage classes for tree crown with DBH≥5cm under different slope positions

坡位 Slope position	等级 Damage class	受损类型 Damage type	类型描述 Description	个体数 Individuals	受损类型比例 Ratio of dam- age type(%)	受损等级比例 Ratio of dam- age class(%)
上坡 Upper slope	正常 Undamaged	正常 Undamaged	树冠完整,受损不明显 Complete crown or unaffected	257	32.57	32.57
	轻度受损 Slightly dam- aged	断枝少 Slight branch loss	少于 50%的分枝折断 Less than half of the branches lost	170	21.55	40.94
		断枝多 Severe branch loss	多于 50%的分枝折断 More than half of the branches lost	153	19.39	
	严重受损 Severely dam- aged	断梢 Breakage in trunk	林冠中的树干折断 Breakage within crown	174	22.05	26.49
失去整个树冠 Whole-crown loss		1.3m 以下折断或倒伏 Uprooted or broken below 1.3m	35	4.44		
中坡 Middle slope	正常 Undamaged	正常 Undamaged	树冠完整,受损不明显 Complete crown or unaffected	275	31.11	31.11
	轻度受损 Slightly dam- aged	断枝少 Slight branch loss	少于 50%的分枝折断 Less than half of the branches lost	218	24.66	52.38
		断枝多 Severe branch loss	多于 50%的分枝折断 More than half of the branches lost	245	27.71	
	严重受损 Severely dam- aged	断梢 Breakage in trunk	林冠中的树干折断 Breakage in trunk	114	12.90	16.52
失去整个树冠 Whole-crown loss		1.3m 以下折断或倒伏 Uprooted or broken below 1.3m	32	3.62		
下坡 Lower slope	正常 Undamaged	正常 Undamaged	树冠完整,受损不明显 Complete crown or unaffected	292	33.76	33.76
	轻度受损 Slightly dam- aged	断枝少 Slight branch loss	少于 50%的分枝折断 Less than half of the branches lost	216	24.97	49.60
		断枝多 Severe branch loss	多于 50%的分枝折断 More than half of the branches lost	213	24.62	
	严重受损 Severely dam- aged	断梢 Broken within crown	林冠中的树干折断 Broken within crown	120	13.87	16.65
失去整个树冠 Whole-crown loss		1.3m 以下折断或倒伏 Uprooted or broken below 1.3 m	24	2.77		

### 3.2 不同径级林木树冠损伤状况

表 3 结果显示,经  $\chi^2$  检验,3 个坡位的情形相似,不同径级林木个体的损伤类型存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。大体上,随着胸径的增加,损伤的比例逐渐增加,除上坡以 30~40cm 径级为最大外,中坡和下坡均以 40~81cm 径级最大,胸径为 5~10cm 径级的树木受损比例最少。不同受损类型随径级变化规律有所不同,断枝(包括断枝多和断枝少)是随着径级的增加而增加,相反,断梢和失去整个林冠(倒伏或 1.3m 以下折干)则表现为随径级增加而递减。

### 3.3 不同物候型林木树冠受损状况

表 4 结果显示,从总体上看,上坡常绿和落叶树的损伤比例相当,而在中坡、下坡落叶树表现出更易受损。从不同受损类型分析,常绿树易断梢,落叶树

更易断枝。在上坡,常绿树易倒伏,下坡落叶树易倒伏,中坡两类树种受损比例相近(表 4)。

### 3.4 正常和受损树木的树冠状况

图 1 结果显示,无论是不同坡位,还是不同径级,树冠长度、树冠幅和树冠体积都是随径级的增大而增大,正常林木的树冠长度、树冠幅和树冠体积大于受损林木。上坡林分的情况较特殊,正常林木中第 V 径级的树冠长度、树冠幅和树冠体积均小于第 IV 径级林木。总体而言,上坡、中坡、下坡正常林木的平均树冠长度分别比相应坡位受损树木的长 19.00%, 26.22% 和 23.88%;相应地,正常林木的平均树冠幅和平均树冠体积分别比受损林木的大 72.78%, 19.73%, 19.54% 和 26.47%, 23.60%, 39.03%。

表 3 不同径级林木树冠受损类型的分布 (DBH $\geq$ 5cm)Table 3 Distribution of damage classes for tree crown among DBH gradients with DBH $\geq$ 5cm

坡位 Slope position	径级 Diameter class (cm)	总数 Total(个,%)	失去整个树冠 Whole-crown loss(个,%)	断梢 Breakage within crown(个,%)	断枝多 Severe branch loss(个,%)	断枝少 Slight branch loss(个,%)	正常 Undamaged (个,%)
上坡 Upper slope	5~10	391 (100)	21 (5.37)	87 (22.25)	52 (13.30)	66 (16.88)	165 (42.20)
	10~20	193 (100)	11 (5.70)	49 (25.39)	40 (20.73)	46 (23.83)	47 (24.35)
	20~30	82 (100)	2 (2.44)	16 (19.51)	28 (34.15)	15 (18.29)	21 (25.61)
	30~40	70 (100)	1 (1.43)	12 (17.14)	21 (30.00)	23 (32.86)	13 (18.57)
	40~81	54 (100)	0 (0.00)	10 (18.52)	12 (22.22)	21 (38.89)	11 (20.37)
中坡 Middle slope	5~10	340 (100)	9 (2.65)	46 (13.53)	67 (19.71)	74 (21.76)	144 (42.35)
	10~20	333 (100)	21 (6.31)	52 (15.62)	108 (32.43)	72 (21.62)	80 (24.02)
	20~30	112 (100)	1 (0.89)	8 (7.14)	36 (32.14)	38 (33.93)	29 (25.89)
	30~40	62 (100)	0 (0.00)	6 (9.68)	19 (30.65)	21 (33.87)	16 (25.81)
	40~81	37 (100)	1 (2.70)	5 (13.51)	15 (40.54)	10 (27.03)	6 (16.22)
下坡 Lower slope	5~10	306 (100)	7 (2.29)	50 (16.34)	60 (19.61)	47 (15.36)	142 (46.41)
	10~20	347 (100)	13 (3.75)	53 (15.27)	92 (26.51)	91 (26.22)	98 (28.24)
	20~30	109 (100)	3 (2.75)	11 (10.09)	32 (29.36)	41 (37.61)	22 (20.18)
	30~40	70 (100)	1 (1.43)	4 (5.71)	20 (28.57)	21 (30.00)	24 (34.29)
	40~81	33 (100)	0 (0.00)	2 (6.06)	9 (27.27)	16 (48.48)	6 (18.18)

表 4 不同物候型林木树冠受损类型的分布 (DBH $\geq$ 5cm)Table 4 Distribution of damage classes for tree crown with DBH $\geq$ 5cm in different phenological types of forest

坡位 Slope position	物候型 Phenological type	总数 Total (个,%)	失去整个树冠 Whole-crown loss(个,%)	断梢 Broken within crown(个,%)	断枝多 Severe branch loss(个,%)	断枝少 Slight branch loss(个,%)	正常 Undamaged (个,%)
上坡 Upper slope	常绿 Evergreen tree	682 (100)	31 (4.55)	152 (22.29)	134 (19.65)	141 (20.67)	224 (32.84)
	落叶 Deciduous tree	106 (100)	4 (3.77)	21 (19.81)	20 (18.87)	26 (24.53)	35 (33.02)
中坡 Middle slope	常绿 Evergreen tree	798 (100)	29 (3.635)	107 (13.41)	219 (27.44)	193 (24.19)	250 (31.33)
	落叶 Deciduous tree	84 (100)	3 (3.57)	10 (11.90)	26 (30.95)	22 (26.19)	23 (27.38)
下坡 Lower slope	常绿 Evergreen tree	782 (100)	21 (2.69)	110 (14.07)	187 (23.91)	194 (24.81)	270 (34.53)
	落叶 Deciduous tree	83 (100)	3 (3.61)	10 (12.05)	26 (31.33)	22 (26.51)	22 (26.51)

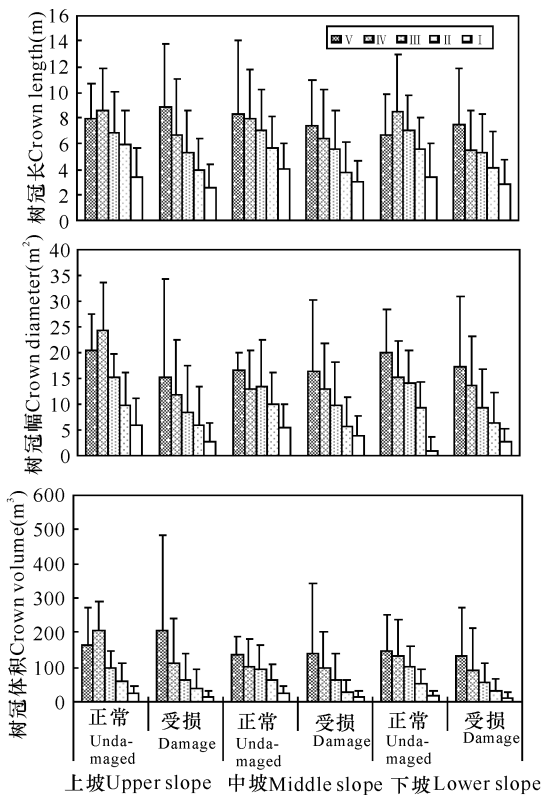


图1 正常树冠与受损树冠状况的比较

Fig. 1 Comparison of undamaged and damaged tree crown

crown

(I: 5~10cm 径级; II: 10~20cm 径级; III: 20~30cm 径级; IV: 30~40cm 径级; V: 40~81cm 径级)

### 3.5 冰冻干扰前后常绿阔叶林林冠状况的比较

从图2不难发现,冰冻干扰后大明山常绿阔叶林的叶面积指数显著下降( $P < 0.01$ ),其中上坡下降17.59%,中坡下降18.98%,下坡下降40.74%。由于冰冻干扰后林冠层叶面积下降,林内的散射透光系数和直射透光系数均显著增加,其中散射透光系数增加42%~60%,直射透光系数增加42%~56%(图2)。

## 4 讨论

### 4.1 树冠和林冠受损情况与海拔和坡位的关系

大多数研究认为树木受到的冰雪灾害与海拔呈正比,海拔越高,受灾越严重<sup>[21~23]</sup>,这是由于在高海拔地区树冠上积雪量多,积雪时间长所致<sup>[24]</sup>。与之相反,曼兴兴等<sup>[18]</sup>对古田山常绿阔叶林样地调查结果表明,高海拔区域比低海拔区域受损更轻,主要是因为古田山样地的高差仅有268m,且地势较平坦,不足以体现海拔的潜在影响。此外,也有一些研究认为,林木受损被局限在一定的海拔区间内,如华南植物园调查表明,井冈山受影响海拔范围在500~1000m,猫儿山在600~1200m,天井山则在700~

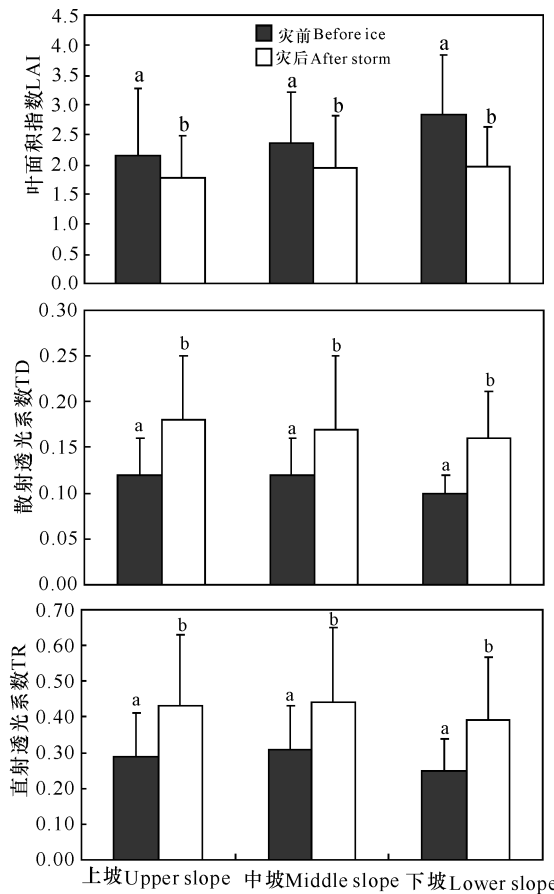


图2 冰冻干扰前后常绿阔叶林林冠状况的比较

Fig. 2 Comparison of crown condition before and after ice storm in evergreen broadleaved forest

900m<sup>[24]</sup>。汤景明等<sup>[25]</sup>则发现鹤峰木林子自然保护区海拔低于1100m和高于1500m的天然次生林受到的危害较轻,并推测更高海拔处的树木已经适应了低温条件,对雪灾具有一定的抵抗能力,而在更低海拔处气温较高,积聚在树木上的冰雪量较少,受损也较轻。本研究表明,在2008年的冰冻干扰中,大明山中山地区表现为冻雨和雾凇灾害,对海拔943~1223m范围内的调查显示,有近70%的树冠不同程度受损,呈现出中坡(受损率为68.89%)比上坡(67.43%)和下坡(66.24%)受损较重的情况。总体上,不同坡位的冠损状况相似,均以轻度损伤为主,但不同坡位间也表现出一些变化。在3种坡位中,上坡的轻度损伤比例最小(40.94%),严重损伤的比例最高(26.49%);中坡与之相反,轻度损伤比例最大(52.38%),严重损伤比例最小(16.52%);下坡损伤比例最低。这与苏志尧等<sup>[6]</sup>对车八岭常绿阔叶林的研究结果不同。苏志尧等对车八岭山地常绿阔叶林灾后调查得出,随着坡位由下而上,林木受损程度逐渐加重,上坡位的林木受损比例最大<sup>[6]</sup>。认为上坡位受到对面山峰的庇护较小,受到冷空气的袭击更直接,树冠结冰后风速较大,破坏较为严重,而下坡位的

冷空气一部分被阻挡,且风速较小,破坏程度较轻<sup>[6]</sup>。常绿阔叶林树冠的受损程度受许多因素影响,难以用单一的因素进行分析,最直接的因素是冰(或雾凇)的厚度和持续时间。如果结冰厚度很低,并不会对林木造成损害。如果积累的冰凌超过 1.3cm 就有可能断枝,造成严重损害<sup>[26]</sup>,如果枝条上冰的重量超过木材的抗压能力,或枝条薄弱区域冰的重量超过载荷,就可能断枝<sup>[26]</sup>。大明山中山地区上坡位林木总体受损较轻,可能与上坡区域林木已能适应低温条件,并对冰冻灾害具有一定的抵抗力有关,而上坡树冠严重损伤的比例高可能与该区域落叶树种比例较高、气温低、结冰量大和风力强有关。

#### 4.2 树冠和林冠受损情况与胸径的关系

胸径是决定受损类型的主要因素<sup>[27]</sup>。本文的研究表明,随着胸径的增加,树冠受损的比例逐渐增大,并在 30~40cm 径级(上坡)和 40~81cm 径级(中坡和下坡)达到最大值。这个规律与前人的研究结论相同<sup>[18,28]</sup>。如 Hopkin 等<sup>[28]</sup>的结论认为,随着胸径的增大,冠幅增大,所承受的冰雪重量也越大,造成损伤的比例增加,大径级的树木通过断枝减少了树干的压力,而且其树干粗壮,本身也具有较强的抵抗力,因而倒伏失冠比例较中等径级树木小。胸径较小的树木位于主林冠的下层,受到上层树木的庇护,因此胸径较小的树木受损较轻。

曼兴兴等<sup>[18]</sup>的研究指出,压弯仅发生在小径级的树木上,倒伏和折断主要发生于胸径 8~30cm 的树木上,而断枝则是胸径 >30cm 个体主要的受损类型。Proulx 和 Greene<sup>[27]</sup>的研究也呈现出相似的规律,他们研究得出:DBH < 17.8cm 的树木倾向于弯曲,DBH > 17.8cm 的树木倾向于断枝,而折断则集中发生于中等径级的个体。可能原因是,小树的树干柔韧性较强,在冰雪的压力下容易弯曲而不易折断,中等径级树木树冠承受冰凌或积雪的重量超过了树干的抗折断能力,造成断干、断梢,而大径级树木有强壮的树干,折干的可能性极小,树枝在冰雪的压力下折断,进一步减轻了树干的压力。在本研究中,断枝比例(包括断枝少和断枝多)随胸径增大而增大,而断梢和失冠则随胸径增大而减小,与上述结果一致。

本研究还发现,与典型的常绿阔叶林树冠状况(分层明显、树冠半圆球形、较为整齐一致<sup>[29]</sup>)相比,大明山中山常绿阔叶林的树冠状况已经发生了明显的变化,表现为冠幅狭窄、呈圆柱形。我们在调查中看到,这种狭窄的圆柱形树冠通常只出现在胸径 30cm 以上的上层林木中,它们是在长期的、反复的冰冻干扰后由半圆球形树冠演变而成的,在被折断的大

枝上长出许多大小不等的树枝,这些树枝既有小树一样的柔韧性,也能在冰凌较厚时出现断枝,有效的减轻树干的压力。因此,较狭窄的圆柱形树冠更有利于常绿阔叶林抵抗冰冻干扰,是常绿阔叶林适应气候变化的一种有效方式。

#### 4.3 树冠和林冠受损情况与物候型的关系

曼兴兴等<sup>[18]</sup>对古田山常绿阔叶林的研究表明,在 2008 年的特大冰冻灾害中,常绿物种比落叶物种受损更重。他们推测,这是因为常绿树种叶面积更大,截留的降雪更多,故而受损更重。汤景明等<sup>[25]</sup>在湖北东南部也发现了相同的规律,然而他们在湖北西南部却发现常绿树种的受损率低于落叶树种。他们推测,这和常绿物种的比例及当地的气候有关,西南部常绿树种比例较少,且海拔较高,经常受到冰雪灾害的影响,可能对冰雪灾害产生了抵抗力。本研究结果与湖北西南部的情形相似,落叶树种比常绿树种更易受到损伤。但大明山常绿阔叶林中常绿树种的比例很高,占林木总数的 85%~90%,而落叶树种只占 10%~15%。在特大冰冻灾害中,落叶树种更倾向于断枝,常绿树种更倾向于断梢,其原因尚需进一步研究。

#### 4.4 树冠和林冠受损与冠层状况的变化

雨雪冰冻灾害造成的林木断枝、断梢、折干、倒伏和冻死,使森林的郁闭度显著下降。如 2008 年的特大冰冻灾害,使广西 176.83 万  $\text{hm}^2$  森林受灾,其郁闭度由灾前平均的 0.73,下降到灾后的 0.41<sup>[7]</sup>。目前关于灾前灾后常绿阔叶林林冠叶面积指数变化的报道极少。本研究表明,与 2006 年冰冻灾害前相比,冰冻灾害后不同坡位林冠受损率达 66%~69%,而叶面积指数下降 18%~41%。叶面积指数的显著下降引起林下光照的显著增强,林内的散射透光系数和直射透光系数分别增加 42%~60% 和 42%~56%。Beaudet 等<sup>[30]</sup>采用灾后冠层影像和林中光照强度的变化来衡量林冠受损程度或恢复程度,指出冰冻灾害前,林内的光照强度为 2%~4%,冰冻灾害后,林内的光照强度增加了 4~5 倍,3~7 年后,林内的光照水平又降低一半,表明灾后林冠的恢复是迅速的。

#### 参考文献:

- [1] Oliver C D, Larson B C. Forest Stand Dynamics[M]. New York: Wiley, 1996: 520-520.
- [2] 李秀芬,朱教君,王庆礼,等. 森林风雪灾害[J]. 生态学报, 2005, 25: 148-157.
- Li X F, Zhu J J, Wang Q L, et al. Forest damage induced by wind/snow: A review [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25: 148-157.

- [3] Franklin J F, Spies T A, van Pelt R, et al. Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example [J]. *Forest Ecology and Management*, 2002, 155(1/3): 399-423.
- [4] 朱教君, 刘世荣. 森林干扰生态研究 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.  
Zhu J J, Liu S R. *Ecological Research on Forest Disturbances* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2007.
- [5] Rammig A, Jansson A M, Hickler T, et al. Impacts of changing frost regimes on Swedish forests: Incorporating cold hardiness in a regional ecosystem model [J]. *Ecological Modelling*, 2010, 221(2): 303-313.
- [6] 苏志尧, 刘刚, 区余端, 等. 车八岭山地常绿阔叶林冰灾后林木受损的生态学评估 [J]. *植物生态学报*, 2010, 34(2): 213-222.  
Su Z Y, Liu G, Ou Y D, et al. Storm damage in a montane evergreen broadleaved forest of Chebaling National Nature Reserve, South China [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(2): 213-222.
- [7] 尹伟伦, 翟明普. 南方低温雨雪冰冻的林业灾害与防治对策研究 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2010.  
Yin W L, Zhai M P. *Forestry Disaster of Freezing Rain and Ice Storm in Southern China and Control Countermeasures* [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2010.
- [8] 朱宏光, 李燕群, 温远光, 等. 特大冰冻灾害后大明山常绿阔叶林结构及物种多样性动态 [J]. *生态学报*, 2011, 31(19): 5571-5577.  
Zhu H G, Li Y Q, Wen Y G, et al. The dynamics of the structure and plant species diversity of evergreen broadleaved forests in Damingshan National Nature Reserve after a severe ice storm damage in 2008, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(19): 5571-5577.
- [9] 曹坤芳, 常杰. 突发气象灾害的生态效应: 2008 年中国南方特大冰雪灾害对森林生态系统的破坏 [J]. *植物生态学报*, 2010, 34(2): 123-124.  
Cao K F, Chang J. The ecological effects of an unusual climatic disaster: The destruction to forest ecosystems by the extremely heavy glaze and snow storms occurred in early 2008 in southern China [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(2): 123-124.
- [10] Sanz-Ros A V, Pajares J A, Diez J J. 气候变量对西班牙北部松林冠层状况的影响 [M] // 王小平, 杨晓晖, 刘晶岚, 等译. 气候变化挑战下的森林生态系统经营管理. 北京: 高等教育出版社, 2013: 99-112.  
Sanz-Ros A V, Pajares J A, Diez J J. Impacts of climatic variability on pinery canopy conditions in the northern
- Span [M] // Translated by Wang X P, Yang X H, Liu J L, et al. *Management Forest Ecosystems: The Challenge of Climate Change*. Beijing: Higher Education Press, 2013: 99-112.
- [11] Irland L C. Ice storm 1998 and the forests of the north-east: A preliminary assessment [J]. *Journal of Forestry*, 1998, 96(9): 32-40.
- [12] Duguay S M, Arie K, Hooper M, et al. Ice storm damage and early recovery in an old-growth forest [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2001, 67(1/2): 97-108.
- [13] Rhoads A G, Hamburg S P, Fahey T J, et al. Effects of an intense ice storm on the structure of a northern hardwood forest [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2002, 32(10): 1763-1775.
- [14] Hopkin A, Williams T, Sajan R, et al. Ice storm damage to eastern Ontario forests, 1998~2001 [J]. *The Forestry Chronicle*, 2003, 79(1): 47-53.
- [15] Bragg D C, Shelton M G, Zeide B. Impacts and management implications of ice storms on forests in the southern United States [J]. *Forest Ecology and Management*, 2003, 186(1/3): 99-123.
- [16] Goodnow R, Sullivan J, Amacher G S. Ice damage and forest stand management [J]. *Journal of Forest Economics*, 2008, 14(4): 268-288.
- [17] 马泽清, 王辉民, 王绍强, 等. 雨雪冰冻灾害对中亚热带人工林的影响——以江西省千烟洲为例 [J]. *植物生态学报*, 2010, 34(2): 204-212.  
Ma Z Q, Wang H M, Wang S Q, et al. Impact of a severe ice storm on subtropical plantations at Qianyanzhou, Jiangxi, China [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34: 204-212.
- [18] 曼兴兴, 李湘成, 马克平. 雪灾对古田山常绿阔叶林群落结构的影响 [J]. *生物多样性*, 2011, 19(2): 197-205.  
Man X X, Li X C, Ma K P. Effects of an ice storm on community structure of an evergreen broadleaved forest in Gutianshan National Nature Reserve, Zhejiang Province [J]. *Biodiversity Science*, 2011, 19(2): 197-205.
- [19] 温远光, 元昌安, 李信贤, 等. 大明山中山植被恢复过程植物物种多样性的变化 [J]. *植物生态学报*, 1998, 22(1): 33-40.  
Wen Y G, Yuan C A, Li X X, et al. Development of species diversity in vegetation restoration process in mid-mountain region of Damingshan, Guangxi [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 1998, 22(1): 33-40.
- [20] 温远光, 和太平, 谭伟福. 广西热带和亚热带山地的植物多样性及群落特征 [M]. 北京: 气象出版社, 2004.  
Wen Y G, He T P, Tan W F. *Plant Diversity and Com-*



- munity Character of Tropical and Subtropical Zones in Guangxi [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2004.
- [21] 王立龙, 陆林. 雪灾对九华山风景区毛竹林的影响[J]. 植物生态学报, 2010, 34: 233-239.  
Wang L L, Lu L. Analysis of the damage to *Phyllostachys pubescens* forests caused by a severe snow in Jiu-hua Mountain, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34: 233-239.
- [22] 张建国, 段爱国, 童书振, 等. 冰冻雪压对杉木人工林近熟林分危害调查[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 18-22.  
Zhang J G, Duan A G, Tong S Z, 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.
- [23] Evans A M, Camp A E, Tyrrell M L, et al. Biotic and abiotic influences on wind disturbance in forests of NW Pennsylvania, USA[J]. Forest Ecology and Management, 2007, 245: 44-53.
- [24] 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 Q, Li J Y, Chen X Y, 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: 195-203.
- [25] 汤景明, 宋丛文, 戴均华, 等. 湖北省主要造林树种冰雪灾害调查[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 2-10.  
Tang J M, Song C W, Dai J H, et al. Investigation on the frozen snow damage of main afforestation tree species in Hubei Province [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(11): 2-10.
- [26] Lemon P C. Forest ecology of ice storms[J]. Bulletin of the Torrey Botanical Club, 1961, 88: 21-29.
- [27] Proulx O J, Greene D F. The relationship between ice thickness and northern hardwood tree damage during ice storms[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2001, 31: 1758-1767.
- [28] Hopkin A, Williams T, Sajan R, et al. Ice storm damage to eastern Ontario forests: 1998 ~ 2001 [J]. Forestry Chronicle, 2003, 79: 47-53.
- [29] 宋永昌. 中国常绿阔叶林: 分类·生态·保育[M]. 北京: 科学出版社, 2013.  
Song Y C. Evergreen Broad-leaved Forest in China: Classification-Ecology-Conservation [M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [30] Beaudet M, Brisson J, Messier C, et al. Effect of a major ice storm on understory light conditions in an old-growth *Acer-fagus* forest: Pattern of recovery over seven years [J]. Forest Ecology and Management, 2007, 242(2/3): 553-557.

(责任编辑: 尹 闯)