

冰雪灾害对粤北天然次生林的损害 及产生的林冠残体量

骆土寿^{1*}, 杨昌腾², 吴仲民¹, 肖荣高²,
周志平³, 张娜¹, 翁启杰¹, 肖以华¹

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520; 2. 广东南岭国家级自然保护区大顶山管理处, 广东 乳源 512726; 3. 广东车八岭国家级自然保护区, 广东 始兴 512500)

摘要: 采用样地调查和取样, 研究了2008年初中国南方冰雪灾害对粤北天然次生林的损害特征及其产生的林冠残体量。结果表明, 灾害对粤北天然林造成严重损害, 林木受害特征主要是胸径较大的植株断枝、断梢和断干较多, 胸径较小的容易压弯, 坡度大的林分翻兜受害率增加。灾后林地林冠残体总量为 38.12~43.52 t hm⁻², 平均 41.25 t hm⁻²; 地表凋落叶 11.79~12.87 t hm⁻², 平均 12.47 t hm⁻²; 灾害产生的枝、干木质残体量为 24.27~30.65 t hm⁻², 平均 28.41 t hm⁻²。天然常绿阔叶林产生的林冠残体量较常绿与落叶混交林和杉木人工林大, 造成林地林冠残体量骤增, 一方面使林地存在严重安全隐患(如发生火灾和病虫害的风险增加), 另一方面大量的林冠残体归还林地、改变了森林生态系统的结构与功能。

关键词: 冰雪灾害; 天然次生林; 林冠残体量; 粤北

中图分类号: Q948.112

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2010)03-0231-07

Damage of the Frozen Rain and Snow to Natural Secondary Forests and Its Crown Debris in Northern Guangdong Province

LUO Tu-shou^{1*}, YANG Chang-teng², WU Zhong-min¹, XIAO Rong-gao³,
ZHOU Zhi-ping², ZHANG Na¹, WENG Qi-jie¹, XIAO Yi-hua¹

(1. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry (CAF), Guangzhou 510520, China; 2. Dadingshan Administration of Nanling National Nature Reserve in Guangdong, Ruyuan 512726, China; 3. Chebaling National Nature Reserve in Guangdong, Shixing 512500, China)

Abstract: Southern China suffered one of the most destructive frozen rain and snow ever since 1954, from the middle of January to early February in 2008. The damage status and crown debris amounts of natural secondary forests of Chebaling Nature Reserve and Tianjingshan Station of Nanling National Nature Reserve in northern Guangdong Province, were investigated after the disaster. The results showed that the natural secondary forests were damaged heavily, with the broken of branch, top and stem of the big trees, and stem bent of the smaller trees commonly. The proportions of uproot trees were increased with slope degree increasing. The total standing crop of crown debris in forests ranged from 38.12 to 43.52 t hm⁻² with an average of 41.25 t hm⁻². The leaf litter varied from 11.79 to 12.87 t hm⁻² with an average of 12.47 t hm⁻². The total amounts of woody debris of branch and trunk by the disaster varied from 24.27 to 30.65 t hm⁻² with an average of 28.41 t hm⁻². The crown debris of natural evergreen broadleaved forest caused by the disaster were significantly more than that of the evergreen and deciduous broadleaved mixed forest and Chinese fir plantation. The disaster increased litterfall debris in short period, which will not only increase dangers of fires, pests and diseases, but also change the structure and

收稿日期: 2009-06-11 接受日期: 2009-11-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(30870417); “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD03A0402); 尖峰岭森林生态站和中国林业科学院南岭森林生态系统定位研究站的研究内容之一

* 通讯作者 Corresponding author, email: luots@ritf.ac.cn

function of the forest ecosystem.

Key words: Frozen rain and snow disaster; Natural secondary forest; Amounts of crown debris; Northern Guangdong Province

2008年1~2月,我国南方出现罕见的特大雨雪冰冻灾害,对工农业生产、交通、电力及人民财产等造成重大灾害和经济损失。广东省粤北地处南岭山地,森林资源受到整体性、毁灭性破坏。此区域内的广东车八岭国家级自然保护区和国营天井山林场,由于山坡陡峭、土层浅薄,树木倒伏、折断和翻兜十分严重,连片的乔木树干和冠层基本损毁,林分复层结构不复存在,对生态系统造成很大破坏,并造成大量的残枝、断干和落叶等林冠残体存留在林地,存在火灾、病虫害等次生灾害和生态隐患,对森林结构和功能产生很大影响。

国内外在气候灾害对森林及环境的影响方面有过论述和研究,如气候变暖下寒潮袭击对农作物和自然植被的影响,明显降低了植物叶面积指数、对光合有效辐射吸收和初级生产量,改变了植被表面的能量平衡和群落的结构与功能^[1];极端冰冻灾害后从树木形态学、地形学和土壤参数研究了树木受害的地理模式,发现较冷小环境的树木由于每年经历低温锻炼而受害较少,胸径较大或树高较矮的树木树叶受害较少^[2];台风影响造成热带山地雨林非正常凋落物量占全年总量的43%~45%^[3];对风暴造成亚热带常绿阔叶林、热带雨林的凋落物进行了分解速率和养分动态研究,显示台风产生的叶片较正常状态凋落物分解快,N、P迅速减少,转移到土壤中,受害后林隙中95%凋落物分解需要11a的时间,平均分解率超过林分净初级生产力^[4-5]。在非灾害时期,我国对亚热带森林中凋落物研究较多^[6-9],也对森林凋落物动态及其对全球变暖的响应进行了综述^[10]。这些研究结果对开展灾害应急预案制定和灾害恢复重建具有指导意义,但针对气候灾害对林木损害特征及产生的林冠残体少见报道。

为定量评价此次灾害对粤北森林资源及生态系统的破坏程度,为受灾森林的保护、管理和恢复提供科学依据,我们在灾后的2008年4月对南岭粤北地区的受灾森林进行了综合调查。此次灾害对广东个别地区的植物机械损伤^[11]和森林凋落物影响的初步研究^[12]已有报道。本文主要对粤北东部的广东车八岭国家级自然保护区和西部的广东

南岭国家级自然保护区大顶山管理处灾后调查数据进行分析,探索灾害对亚热带次生阔叶林的为害特征及产生的林冠残体量,为评估其对森林结构与功能的影响以及灾后恢复重建提供科学依据。

1 研究区概况

广东车八岭国家级自然保护区位于广东省北部始兴县境内,北纬24°40′29″~24°46′21″,东经114°09′04″~114°16′46″,总面积7545 hm²,主要保护对象是中亚热带常绿阔叶林及珍稀动植物。属中亚热带季风气候,年均温19.5℃,最冷月(1月)平均气温8~12℃,极端最低温-5.5℃,年降雨量2300~2945 mm。森林土壤类型随海拔上升而变化,700 m以下为红壤带,700~1000 m为黄壤带,1000 m以上为草甸土。植被属南亚热带常绿阔叶林向中亚热带典型常绿阔叶林过渡的类型^[13]。研究样地位于保护区鹿子洞次生阔叶林内,主要树种有华润楠(*Machilus chinensis*)、锥栗(*Castanea henryi*)、米锥(*Castanopsis carlesii*)、木荷(*Schima superba*)、甜槠(*Castanopsis eyrei*)和深山含笑(*Magnolia maudiae*)等常绿阔叶树种。

广东南岭保护区天井山位于乳源县西南部,北纬24°39′~28°08′,东经112°41′~113°15′,林业用地面积25293.6 hm²,属南岭山脉的南部,为南岭国家级保护区外缘部分,地形地势复杂,具亚热带季风气候。年均温为17.1℃,1月平均气温为8℃,7月平均气温为22℃,极端低温为-8℃;年均降水量为2800 mm。土壤类型以山地红壤和黄壤为主。地带性植被为中亚热带常绿阔叶林。研究样地为次生阔叶林,主要树种有米锥、红背锥(*Castanopsis fargesii*)、黄果厚壳桂(*Cryptocarya concinna*)、黎蒴(*Castanopsis fissa*)、网脉山龙眼(*Helicia reticulata*)和泡花树(*Meliosma pannosa*)等^[14-15]。

2 研究方法

2.1 样地设置及植被受害调查

南岭是我国亚热带常绿阔叶林的中心地带,其中的粤北林区是此次冰雪重灾区之一,尤其是海拔500~1000 m的林木受损更严重。本研究于2008

年4月中旬和5月初,分别在南岭和车八岭两个国家级自然保护区的缓冲区内,海拔700 m上下、坡度约30°的次生常绿阔叶林地段范围,根据受灾程度实地踏查的基础上选择具有植被类型、受害程度代表性的林分建立固定样地,代表了两个保护区、粤北东西走向的中亚热带次生阔叶林受害情况。每样地1500 m²,按照相邻格子法将固定样地设为50 m×30 m的长方形,分为10 m×10 m的样方共

15个,样地概况见表1。在每个样方中,对胸径(diameter at breast height, DBH)≥1 cm的植株进行每木检测,记录个体的位置、种名、胸径、高度、冠幅,并详细记载断梢、断枝、断干、断头、压弯、倒伏、翻斃和正常等植株受害指标状况。其中断梢是指样地内立木枝下高以上的顶梢折断的,往往带有枝叶;断头是指立木从树木根颈部位断裂的,与断干同属于折干的范畴。

表1 雨雪冰冻灾害调查植物样地概况

Table 1 The plot situation in northern Guangdong after freezing disaster

样地 Plot	面积(m ²) Area	海拔(m) Altitude	坡向 Slope aspect	坡度(°) Slope	林分类型 Forest type
车八岭1 Chebaling 1	1500	664	东南 SE	28	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest
天井山1 Tianjinshan 1	1500	740	东南 SE	33	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest
天井山2 Tianjinshan 2	1500	745	东北 NE	30	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest

2.2 林冠残体调查样方设置和收集

为不破坏固定样地内林冠残体自然状况,在靠近每个固定样地的左下角、右侧中部、上边线中部的样地边线外侧分别建立5 m×5 m的林冠残体调查大样方3个,分别代表样地坡位的下部、中部和上部;而在每个林冠残体调查大样方四周又分别设置3个50 cm×50 cm的测定凋落叶的小样方共9个重复。林冠残体收集时,用锯将样方内外的枝、干锯断分开,将大样方内由于本次灾害造成的枝和干组分分别进行全部收集称湿重和取样。取样方法是把样方内所有树种的干、枝木质残体,按其直径、枝条大小及重量比例等在干、枝不同部位分别锯取圆盘和剪取枝段样品,枝、干样品各称重500~1000 g,样品即时称湿重后装入布袋,挂上标签,拿回室内80℃烘干测定恒干重和含水率。

由于受灾植株掉落的树叶与地表原有枯落叶难以区分,而且受灾产生的落叶量远小于木质残体的重量,故将小样方内的所有未腐烂、半腐烂、新鲜的凋落叶全部收集作为凋落叶称重,即包括灾前的现存凋落物和受灾造成的落叶作为凋落叶组分进行统计分析。然后均匀取500 g左右的凋落叶样品放入布袋中,放上标签,称湿重后带回室内80℃烘干测定恒干重和含水率。

2.3 数据统计分析方法

2.3.1 植被受害程度统计

根据植物样地调查数据,统计样地DBH≥1 cm

的木本树种的平均高、平均胸径和密度。分别统计样地各受害类型的个体数量、胸高断面积(Basal Area, BA)和百分率,以评价植被受害程度。按广东省自然保护区管理办公室的划分标准进行评价:轻度受害的森林,其倒伏、翻斃、断干、断梢、断枝及压弯的总植株数量和胸高断面积占总数量的30%以下;中度受害的森林,其相应的数量占30%~70%;重度受害的森林,其相应的数量占70%以上。

2.3.2 林冠残体量分类统计

分别计算样地林冠残体各组分的重量,并用MS-Excel和SPSS软件进行方差分析和平均数差异性检验。由于缺乏样地灾前凋落物准确数据,所以林冠残体总量和灾害产生至少的林冠残体量用下式统计: $W_t = W_l + W_s + W_b$; $DW_t = W_l + W_s + W_b$, 式中: W_t 为林冠残体总量(t hm⁻²); W_l 为凋落叶现存量(t hm⁻²); W_s 为残体干现存量(t hm⁻²); W_b 为残体枝现存量(t hm⁻²); DW_t 为灾害产生的木质残体量(t hm⁻²),也即灾害产生至少的林冠残体量。

3 结果和分析

3.1 不同样地林木受害特征

根据固定样地的每木调查统计,不同样地林木状况见表2和表3。从表2可知,车八岭样地与天井山2个样地的平均值相比,前者林木较高,胸径稍小,个体大小差异明显,林木稍密,但两处样地林分有相似的结构。

表 2 不同样地林木调查结果

Table 2 Result assembles of sample plant

样地 Plot	平均高 (m) Average height	平均胸径 (cm) Average DBH	密度 [ind. (100 m ²) ⁻¹] Density
车八岭 1 Chebaling 1	5.28 ± 3.27	5.31 ± 5.07	54.53
天井山 1 Tianjinshan 1	4.05 ± 1.64	5.12 ± 4.21	57.93
天井山 2 Tianjinshan 2	4.14 ± 0.82	5.95 ± 4.77	39.70

从表 3 可以看出,车八岭样地中正常生长的植株数和胸高断面积仅分别占 33.99% 和 26.93%,大部分植株有不同程度的受害。林木受害主要表现是断枝、断梢和断干,这些类型的胸径较大,受害胸高断面积比例较大,株数比例较少;翻斃植株胸径最大;而压弯的受害比例也较大,胸高断面积达 15.58%,株数达 36.92%,但这类型的胸径较小。这结果也说明车八岭林木受害特征是胸径大的植株主要出现翻斃、断枝、断梢和断干现象,胸径较小

的容易被压弯。

而天井山两样地林木受害很严重,两者正常的植株数和胸高断面积均少于 25% 和 10%,出现严重的压弯、断枝、断梢和断干。从各受害类型所占比例和平均直径数据看,天井山林木受害特征与车八岭的相似。这原因可能是大树树冠较大,枝叶繁茂,承载结冰量大,枝干木质化变脆,容易折断;而小树树冠较小,枝叶较少,枝干柔性较大,不易折断。

表 3 不同样地林木受害率

Table 3 The rate of damaged plants in different plots

受害类型 Harmed types	车八岭 1 Chebaling 1			天井山 1 Tianjinshan 1			天井山 2 Tianjinshan 2		
	ADBH (cm)	BA (%)	N (%)	ADBH (cm)	BA (%)	N (%)	ADBH (cm)	BA (%)	N (%)
断枝,断梢 Branch and top broken	10.21	31.87	16.5	11.32	12.76	4.37	12.16	45.56	17.88
断干 Trunk broken	10.54	22.67	11	8.91	31	17.15	8.68	20.6	15.87
断头 Stem-basal broken	3.69	0.03	0.12	12.77	6.4	1.73	11.01	2.1	1.01
压弯 Stem bent	4.77	15.58	36.92	4.97	26.98	47.99	5.15	17.04	37.28
倒伏 Lodging	2.19	0.05	0.61	9.35	6.64	3.34	10.15	3.13	1.76
翻斃 Uproot	13.42	2.86	0.86	6.78	7.11	6.79	10.31	3.22	1.76
正常 Normal	6.54	26.93	33.99	4.63	9.1	18.64	4.45	8.33	24.43
合计 Total		100	100		100	100		100	100

ADBH: 平均胸径 Average DBH; BA: 胸高断面积 Basal area of breast height; N: 株数 Number.

从受害指标看,天井山的翻斃受害率大于车八岭的受害率,这可能除与土层厚薄、植株根系深浅有关外,与天井山样地的海拔较高、坡度较大也有很大关系。

依照灾害划分标准分,天井山林木正常个体小于 25%,胸高断面积小于 10%,为重度受灾等级;车八岭正常林木的胸高断面积和个体数分别达 26.93% 和 33.99%,受害程度在中度至重度受灾等级。若以胸高断面积指标为主评价,即正常林木小于 30% 达重度受灾等级,则天井山林木受害大于车八岭。

3.2 灾害对森林林冠残体量的影响

凋落叶现存量 样地凋落叶现存量的测定结果见图 1,凋落叶量为 11.79 ~ 12.87 t hm⁻²,平均 12.47 t hm⁻²,为天井山 2 > 天井山 1 > 车八岭 1。方差分析表明,样地间凋落叶量差异不显著 ($F = 0.401, P = 0.674$)。

枝现存量 样地残体枝现存量的平均值为 10.81 ~ 17.90 t hm⁻²,总平均值为 14.00 t hm⁻²,为天井山 1 > 车八岭 1 > 天井山 2,如图 1。方差分析表明,样地间的残体枝现存量差异不显著 ($F = 0.814, P = 0.487$)。

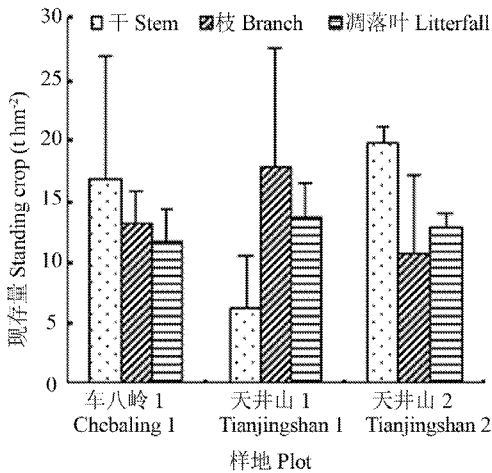


图1 样地林冠残体和凋落物现存量

Fig. 1 Standing crop of crown debris and litterfall in plots

干现存量 样地残体干现存量的平均值为 $6.38 \sim 19.84 \text{ t hm}^{-2}$, 总平均值 14.41 t hm^{-2} , 为天井山 2 > 车八岭 1 > 天井山 1 (图 1)。方差分析表明, 样地间的残体干现存量差异不显著 ($F = 3.818, P = 0.085$)。

林冠残体总量及组分比例 以各样地的凋落叶、残体枝和残体干三者之和作为相应样地林冠残体现存总量, 则受害森林林冠残体总量为 $38.12 \sim 43.52 \text{ t hm}^{-2}$, 平均 41.25 t hm^{-2} , 天井山 2 > 车八岭 1 > 天井山 1 (图 2)。方差分析表明, 样地间林冠残体量差异不显著 ($F = 0.221, P = 0.808$)。

样地林冠残体不同组分比例见表 4, 从中看到枝和干两组分之之和约占林冠残体总量的 60%~70%, 车八岭 1 号、天井山 2 号样地林冠残体以树干为多, 而天井山 1 号样地林冠残体以树枝占大部分。

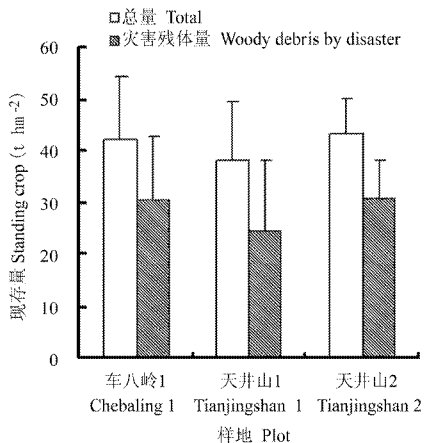


图2 样地林冠残体量

Fig. 2 Standing crop of crown debris in plots

灾害产生的林冠残体量 从表 4 看出, 凋落叶约占总林冠残体量的 30%~40%, 而且其中包括灾前所有凋落物和灾害造成的新落叶两部分, 故灾害产生的新落叶重量远少于产生的枝、干的林冠木质残体量。所以在没有样地灾前原有凋落物量本底数据前提下, 如果剔除灾害产生的新落叶不算, 仅以林冠残体的枝、干木质残体现存量作为灾害产生至少的林冠残体量, 则 3 个样地受灾后的林冠残体量分别为 30.32 t hm^{-2} 、 24.27 t hm^{-2} 和 30.65 t hm^{-2} , 平均为 28.41 t hm^{-2} (图 2)。方差分析表明各样地的林冠残体量差异不显著 ($F = 0.284, P = 0.762$)。

表4 样地林冠残体不同组分比例

Table 4 The percentage of different components of crown debris

样地 Plot	干 Trunk (%)	枝 Branch (%)	叶 Leaf (%)
车八岭 1 Chebaling 1	40.43	31.57	28.00
天井山 1 Tianjingshan 1	16.72	46.95	36.32
天井山 2 Tianjingshan 2	45.58	24.84	29.58

受损程度与林冠残体量的关系 受害林分产生林冠残体量的多少与诸多因素有关, 如林分结构, 植株各组分的生物量, 林分整体受害程度, 受害类型、受损树冠的大小等。

从表 5 看出, 车八岭与天井山的两个样地相比, 前者的断枝、断梢、断干、断头和翻斃等损害类型的胸高断面积所占比例处在中间位置, 而且倒伏、压弯的比例最小, 未受害的正常状态比例最高, 而林冠残体量处在中间位置, 但大于天井山两个样地的平均值 (40.82%)。所以, 天井山总体受损程度大于车八岭, 其产生林冠残体作用力大的损害类型 (断枝, 断梢, 断干, 断头, 翻斃) 所占比例大, 故其林冠残体总量较多。这结果也表明: 受损林分林冠残体的多少主要决定于断枝、断梢、断干、断头和翻斃的数量, 倒伏、压弯对产生林冠残体作用相对较小; 林分受害程度与林木受损类型的比例有关, 在制定划分林分受害等级或综合指数时应考虑林木损害类型的权重。

4 结论和讨论

(1) 2008 年中国南方雨雪冰冻灾害对粤北天然林造成严重损害, 达到重度受害等级。林木受害特征主要是个体直径大的林木其断枝、断梢和断干较多, 个体直径较小的容易受压弯, 坡度大的林分翻

表 5 不同损害类型的胸高断面积(BA)林冠残体量(CD)比较

Table 5 Comparison of basal area (BA) and crown debris (CD) at different harmed types in three plots

受害类型 Harmed types	车八岭 1 Chebaling 1		天井山 1 Tianjinshan 1		天井山 2 Tianjinshan 2	
	BA (%)	CD (t hm ⁻²)	BA (%)	CD (t hm ⁻²)	BA (%)	CD (t hm ⁻²)
断枝,断梢,断干,断头,翻兜 Branch, top, trunk, stem-basal and uproot broken	57.43	42.11	57.27	38.12	71.49	43.52
倒伏,压弯 Lodging, stem bent	15.63			33.62	20.17	
正常 Normal	26.93		9.1		8.33	

兜受害率增加。断枝、断梢、断干、断头和翻兜是造成林分林冠残体大量增加的主要类型。

(2) 雨雪冰冻灾害使粤北天然林产生大量林冠残体,林冠残体现存总量为 38.12~43.52 t hm⁻²,平均 41.25 t hm⁻²;地表凋落叶 11.79~12.87 t hm⁻²,平均 12.47 t hm⁻²;灾害产生的枝和干的木质残体量为 24.27~30.65 t hm⁻²,平均 28.41 t hm⁻²。这与此次灾害对粤北杉木人工林产生的林冠残体及凋落量(总量 31.92 t hm⁻²,干、枝、叶和皮合计的林冠残体 25.99 t hm⁻²,凋落物层 5.93 t hm⁻²)^[16]相比,天然林产生的林冠残体量较大,主要是地表凋落叶层大量增加和较大的木质残体,这与阔叶林树叶生物量组分较多有关。而与广东杨东山十二度水保护区常绿与落叶混交林在此次灾害中的林冠残体相比,后者在总量(20~30 t hm⁻²)、叶(7.5~10.5 t hm⁻²)、干(6~15 t hm⁻²)和枝(3~10 t hm⁻²)、灾害造成的枝干木质残体量(13.96~19.59 t hm⁻²)均较少^[12],这可能与林分类型有关,前者为常绿阔叶林,后者为常绿与落叶混交林,由于部分树种在秋、冬季落叶,枝叶积雪和结冰量少,则林木受损相对较轻,产生的林冠残体就较少。雨雪冰冻灾害造成森林林冠残体中树干、树枝木质组分的大量增加,正常状况下凋落叶占凋落物总量为 60%~80%^[9,17-18],而本次受灾林分仅占总量的 30%~40%,凋落叶占小部分,这正反映了灾害的非常规性及严重性。

(3) 雨雪冰冻灾害造成大量林冠残体,改变了森林生态系统养分和碳素的分配。本研究结果与相邻区域森林年凋落物量比较明显大增,南热带的广东鼎湖山常绿阔叶林为 8.45 t hm⁻²^[6],广东黑石顶常绿阔叶林为 4.63 t hm⁻²^[7],福建省人工促进更新的常绿阔叶次生林为 6.87 t hm⁻²^[19];甚至高于热带山地雨林和季雨林的现存量、凋落量^[10,17,20]。本次冰冻灾害造成的林冠残体量是森林正常年凋落物量的 5~10 倍。因此,吴仲民等提出此次雨雪冰冻灾害造成的大量非正常凋落物将对南岭森林土

壤的养分和碳素产生突变效应^[21]。

此次雨雪冰冻灾害造成的大量林冠残体对南岭森林生态系统养分和碳素循环与积累的影响是一个重要的科学命题,值得进行长期的监测研究。

致谢 参加本研究野外调查的还有李意德、周光益、杨曾奖、黄世能、赵霞、邱治军、王旭、罗鑫华、曾繁助等研究人员,陈德祥对论文提了宝贵意见,在此谨表谢意。

参考文献

- [1] Gu L H, Hanson P J, Post W M, et al. The 2007 eastern US spring freeze: Increased cold damage in a warming world? [J] *BioScience*, 2008, 58(3): 252-262.
- [2] Soule P T, Knapp P A. Topoedaphic and morphological complexity of foliar damage and mortality within western juniper (*Juniperus occidentalis* var. *occidentalis*) woodlands following an extreme meteorological event [J]. *J Biogeogr*, 2007, 34(11): 1927-1937.
- [3] Zeng Q B(曾庆波), Li Y D(李意德), Chen B F(陈步峰), et al. *Tropical Forest Ecosystem Research and Management* [M]. Beijing: Chinese Forestry Press, 1997: 208-209. (in Chinese)
- [4] Xu X N, Hirata E, Enoki T, et al. Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in a subtropical forest after typhoon disturbance [J]. *Plant Ecol*, 2004, 173: 161-170.
- [5] Yoneda T. Decomposition of storm generated litter in a tropical foothill rain forest, West Sumatra, Indonesia [J]. *Tropics*, 1997, 7: 81-92.
- [6] Guan L L(官丽莉), Zhou G Y(周国逸), Zhang D Q(张德强), et al. Twenty years of litter fall dynamics in subtropical evergreen broad-leaved forests at the Dinghushan forest ecosystem research station [J]. *Acta Phytocool Sin(植物生态学报)*, 2004, 28(4): 449-456. (in Chinese)
- [7] Hou Y(侯庸), Wang B S(王伯荪), Zhang H D(张宏达), et al. The litterfall of the south subtropical evergreen broad-leaved forest in Heishiding Nature Reserve [J]. *Ecol Sci(生态科学)*, 1998, 17(2): 14-18. (in Chinese)
- [8] Tang X L(唐旭利), Zhou G Y(周国逸). Coarse woody debris biomass and its potential contribution to the carbon cycle in successional subtropical forests of Southern China [J]. *Acta Phytocool Sin(植物生态学报)*, 2005, 29(4): 559-568. (in Chinese)
- [9] Tu M Z(屠梦照), Yao W H(姚文华), Weng H(翁轰), et al. Characteristics of litter in evergreen broad-leaved forest of the Dinghu Mountain [J]. *Acta Pedol Sin(土壤学报)*, 1993, 30(1): 35-

- 41.(in Chinese)
- [10] Peng S L(彭少麟), Liu Q(刘强). The dynamics of forest litter and its responses to global warming [J]. *Acta Ecol Sin(生态学报)*, 2002, 22(9): 1534-1544.(in Chinese)
- [11] Zhao X(赵霞), Shen X Q(沈孝清), Huang S N(黄世能), et al. Mechanical damages to woody plants from a snow disaster in Yangdongshan Shierdushui Provincial Nature Reserve [J]. *Sci Silv Sin(林业科学)*, 2008, 44(11): 164-167.(in Chinese)
- [12] Luo T S(骆土寿), Zhang G P(张国平), Wu Z M(吴仲民), 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]. *Sci Silv Sin(林业科学)*, 2008, 44(11): 177-183.(in Chinese)
- [13] Xu Y Q(徐燕千). A comprehensive report on investigation in National Chebaling Nature Reserve [C]// Forestry Department of Guangdong Province and People's Government of Shixing County. Collected Papers for Investigation in National Chebaling Nature Reserve. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1993: 1-8.(in Chinese)
- [14] Zhuang X Y(庄雪影), Lei H Z(雷海珠). Forest and floristic diversity of Tianjingshan, Guangdong Province [J]. *J S China Agri Univ(华南农业大学学报)*, 1997, 18(4): 69-75.(in Chinese)
- [15] Chen B G(陈北光), Su Z Y(苏志尧), Li Z K(李镇魁). Structural characteristics of montane broadleaved evergreen forest on mount Tianjingshan, Guangdong [J]. *J S China Agri Univ(华南农业大学学报)*, 1997, 18(3): 42-47.(in Chinese)
- [16] Xu L(薛立), Feng HF(冯慧芳), Zheng W G(郑卫国), 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]. *Sci Silv Sin(林业科学)*, 2008, 44(11): 82-86.(in Chinese)
- [17] Lu J P(卢俊培), Liu Q H(刘其汉). Litter-fall in tropical forest at Jianfengling mountains, Hainan Island [J]. *Acta Phytoecol Geobot Sin(植物生态学与地植物学学报)*, 1988, 12: 104-112.(in Chinese)
- [18] Wang F Y(王凤友). Review on the study of forest litterfall [J]. *Adv Ecol(生态学进展)*, 1989, 6(2): 95-102.(in Chinese)
- [19] Wu Z X(吴擢溪). Amount, component and seasonal pattern of litterfall in secondary evergreen broad-leaved forest [J]. *J Mount Sci(山地学报)*, 2006, 24(2): 215-221.(in Chinese)
- [20] Wu Z M(吴仲民), Lu J P(卢俊培), Du Z H(杜志鹤). Litter production and storage in the natural and regenerated tropical montane rain forests at Jianfengling, Hainan Island [J]. *Acta Phytoecol Sin(植物生态学报)*, 1994, 18(4): 306-313.(in Chinese)
- [21] Wu Z M(吴仲民), Li Y D(李意德), Zhou G Y(周光益), et al. Abnormal litterfall and its ecological significance [J]. *Sci Silv Sin(林业科学)*, 2008, 44(11): 28-31.(in Chinese)