地形因子对森林林木冰雪灾害的影响*

陈发星¹ 张家栋¹ 刘日钦¹ 卢小冬¹ 王槐文²

(1. 广东省乳阳林场, 广东 韶关 512727; 2. 广东南岭国家级自然保护区管理局, 广东 韶关 512727)

摘要 采用人机结合方法对广东省乳阳林场 2022 年初发生森林冰雪灾害的区域进行调查, 运用奥维互动地图软件结合地形图、坡度仪等记录样地的海拔、坡向、坡位、坡度等地形因子, 分析了这些地形因子对森林林木冰雪灾害的影响。结果表明, 森林冰雪灾害与地形因子关系紧密, 在一定范围内林木受损程度先随海拔升高而加重, 超过一定海拔后随海拔升高而减弱; 灾害等级越高越趋向于发生在阴坡或半阴坡; 灾害级别越高坡位独特性越明显; 坡度大小对林木受损程度影响明显, 坡度越大、灾害等级越高。

关键词 地形因子; 森林; 冰雪灾害

中图分类号: X43 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2023) 01-0147-06

Impact of Topographic Factors on Forest Snow and Ice Disasters

CHEN Faxing¹ ZHANG Jiadong¹ LIU Riqin¹ LU Xiaodong¹
WANG Huaiwen²

(1. Ruyang Forest Farm of Guangdong Province, Shaoguan, Guangdong 512727, China; 2. Guangdong Nanling National Nature Reserve, Shaoguan, Guangdong 512727, China)

Abstract In this paper, the man-machine combination method was used to investigate the forest ice and snow disaster areas that occurred in Ruyang Forest Farm in Guangdong province in early 2022. Using the Ovitalmap software combined with topographic maps and slope meters to record topographic factors such as elevation, slope aspect, slope position, and slope gradient, the impact on the above topographic factors of forest ice and snow disasters was analyzed. The results showed that the forest snow and ice disasters were closely related to the topographic factors. Within a certain range, the damage degree of trees increased with the increase of elevation at first but decreased with the increase of elevation after exceeding a certain elevation. The higher the disaster level is, the more likely it is to occur to a shady slope or semi-shady slope. The higher the disaster level is, the more distinct the slope positions. The slope has a significant impact on the degree of forest damage, the greater the slope, the higher the disaster level.

Key words terrain factor; forests; snow and ice disasters

* 第一作者: 陈发星 (1969 —), 男, 工程师, 主要从事森林资源调查、规划、培育及管理, E-mail: 369cfchen@163.com。

通信作者: 张家栋 (1982 —), 男, 高级工程师, 主要从事森林动植物资源保护、调查规划设计等, E-mail: 305055995@qq.com。

冰雪灾害是我国北方常见的一种自然灾害,对森林破坏的特征主要是成片或单独林木折枝、断梢、爆裂、倒伏、翻兜等^[1]。多年记载表明,以往常见于我国北方的冰雪灾害已蔓延到南方地区。2008年初春,我国南方地区发生了大面积、持续时间长的冰冻雨雪天气,造成19个省区森林受灾面积达1 860万 hm^2 ,森林生态系统遭到难于估量的破坏^[1-2]。2022年2月,粤北山区再次发生极端冰冻雨雪天气,持续时间虽然不长,但仍使乳阳林场大面积的森林再次遭受严重破坏^[3]。

影响冰雪灾害的因素多种多样,有地形、林分、气候等因子,其中地形因子的影响十分明显^[2]。地形是指地球表面的形态特征,包括坡度、坡位、坡向及海拔等因子,是影响森林冰雪灾害的重要因素^[2,4]。虽然国内以往有不少关于冰雪灾害研究的文献,但针对地形等冰雪灾害致损因子研究的文献却为数不多,难以满足不同山区因地制宜、针对性布防森林冰雪灾害的技术需求。

山区地形复杂、气候多样,同纬度不同海拔、不同坡向的气候差异明显^[5],不同地区不同地形因子对冰雪灾害的影响同样差异明显。邵全琴等^[6]研究认为不同地区发生严重冰雪灾害的海拔存在差异,并且大多受损地的坡度大于 15° ,林木受损程度北坡要比其他坡向严重;吴可可等^[7]研究认为一般情况下灾害程度阴坡比阳坡严重,但某些情况半阳坡比半阴坡林木受损更严重;骆土寿等^[8]研究认为在调查地范围内,植被受损程度随海拔升高而加重;郭淑红等^[1]研究发现冰雪灾害随海拔的升高而加重,1 800 m以上海拔地区的林分受损程度是1 800 m以下地区的2倍。也有学者指出在一定范围内,林木受损程度与海拔呈正相关关系,但海拔超出一定高度后,林木受损有所降低等^[1-2]。还有学者认为林木受损与坡度呈正比,坡度越陡,林木受损越严重;阴坡和迎风坡的林木雪折比南坡严重;上坡的林木损伤严重;坡度在 $8^\circ\sim 35^\circ$ 之间、或 $15^\circ\sim 45^\circ$ 之间林木受损最严重^[2]。

本文旨在通过实地调查森林冰雪灾害,研究地形因子对森林冰雪灾害的影响,探索其规律性,为针对性开展布防森林冰雪灾害,保护珍贵、稀有和具有特殊意义的物种,维护林区各类基础设施的安全等重要举措提供应有的技术帮助。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究区在广东省乳阳林场,地处粤、湘两省四县(广东省乳源县、阳山县、乐昌市和湖南省宜章县)交界处,位于粤北南岭山脉中心偏南地带,东经 $112^\circ 51' 54''\sim 113^\circ 07' 48''$,北纬 $24^\circ 47' 30''\sim 25^\circ 00' 50''$ 。属南岭中段南坡,中山地貌,一般海拔在500 m以上,最高海拔1 902 m。调查地四周几乎由山脉形成包围状,区域内地势呈中间高,两边低走势,由一条海拔1 200~1 902 m南-北走向山脊将其分为东、西两部分。调查地北面边界山脊呈“八”字形,左边即西部山脊海拔1 100~1 902 m,右边即东部山脊由一条峡谷分成两段,一段山脊海拔900~1 100 m,一段山脊海拔700~900 m。东部有4条支山脊,从北算起第一条为海拔900~1 700 m西北-东南走向,其他3条为东-西走向;若干条小山脊,走势不一。西部支山脊不明显,若干条小山脊、支山脊及小山脊走势均不一。区域山高地险,坡度多在 $15^\circ\sim 55^\circ$,局部小于 15° 或 60° 以上。大小溪流丰富,东西两部各有2条主溪流,若干条小溪流,为珠江支流北江的发源地。调查地属典型的亚热带温湿气候兼山地气候,年平均气温 17.7°C ,最高温度为 34.4°C ,最低温度 -3.4°C ,冬季霜期较长,最长可达100天,年均通常有10天左右的降雪期^[9]。森林树木以亚热带常绿阔叶林为主,1 200 m海拔以下区域分布有人工杉树 *Cunninghamia lanceolata* 及松树 *Pinus sp.*。

调查地属于南岭保护区范围,森林植被茂密,类型丰富多样,据统计区内有高等植物287科1 262属3 889种^[10]。调查从2022年2月中旬开始至6月底结束,主要调查胸径5 cm以上的乔木,不分树种。

1.2 调查方法

受雨水天气及地形地势的影响,难以单靠无人机或目测进行全面排查林场森林受灾区域。因此,为保证精度要求,本研究的排查方法采用无人机(Mavic 2)和人工相结合的方法,实地勾画确定受灾区域范围。在确定的受灾区域范围内,随机布置样地,样地规模为 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 。运用奥维互动地图软件结合地形图、坡度仪等采集并记录样地的海拔、坡向、坡位、坡度等地形因子。

对样地进行每木调查，调查每木的受损情况。

地形因子包括：坡向分北、东北、东、东南、南、西南、西、西北 8 个朝向。其中，南向为阳坡；西向、东南向、西南向为半阳坡；北向为阴坡；东向、东北向、西北向为半阴坡。坡位分山脊、上坡、中坡、下坡、山谷 5 个部位。坡度分平坡（ 5° 以下）、缓坡（ $6^{\circ}\sim 15^{\circ}$ ）、斜坡（ $16^{\circ}\sim 25^{\circ}$ ）、陡坡（ $26^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ）、急坡（ $36^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ）、

险坡（ 45° 以上）6 个等级^[4]。

参照俞晓艳等^[11] 研究结果将林木受损类型分为：I 冻死；II 腰折（树冠以下折断）、翻茔、爆裂；III 断梢（主梢折断）；IV 折枝 1（折枝比例 $\geq 50\%$ ）；V 折枝 2（折枝比例 $< 50\%$ ）；VI 无损。

排查得知受灾区域主要位于海拔 800~1 600 m 之间，因此，样地的设置范围集中在受灾海拔区域内。样地详细介绍见表 1。

表 1 样地林木受损类型及灾害等级明细
Tab. 1 List of forest damage types and disaster level

样地号 Sample plot num- ber	海拔 /m Altitude	坡向 Aspect	坡位 Slope	坡度 Declivity	林木受损株数 Forest tree damage condition						样地林 木总株 数 Total	样地林木 损失率 /%Forest damage rate	灾害 等级 Disaster level
					I	II	III	IV	V	VI			
1	1 200	半阴坡	下坡	斜坡	0	3	6	0	3	15	27	16.67	1
2	1 309	半阳坡	中坡	急坡	0	9	9	4	0	3	25	49.00	3
3	1 255	阳坡	上坡	急坡	0	11	6	0	4	12	33	37.88	3
4	1 155	阴坡	上坡	斜坡	0	7	4	2	0	8	21	40.48	3
5	924	半阴坡	下坡	斜坡	0	5	9	7	0	21	42	21.43	2
6	1 216	阴坡	山脊	陡坡	0	10	6	0	2	21	39	29.49	3
7	1 147	阴坡	上坡	斜坡	0	3	5	0	0	17	25	17.00	2
8	985	半阳坡	中坡	陡坡	0	7	9	1	0	11	28	33.93	2
9	997	阳坡	山谷	斜坡	0	1	9	0	3	9	22	14.78	2
10	1 061	半阳坡	中坡	斜坡	0	2	2	2	0	17	23	13.04	2
11	1 419	阳坡	中坡	斜坡	0	9	3	0	7	27	46	21.20	2
12	1 524	半阳坡	中坡	斜坡	0	2	1	3	0	26	32	9.31	1
13	1 144	半阴坡	山谷	陡坡	0	12	7	0	0	25	44	31.25	3
14	925	阴坡	上坡	斜坡	0	6	7	0	7	18	38	20.39	2
15	944	阴坡	下坡	斜坡	0	5	8	2	0	20	35	21.43	2
16	988	半阴坡	山谷	险坡	0	6	3	4	0	5	18	43.06	3
17	874	阴坡	山谷	斜坡	0	3	9	0	0	23	35	15.00	2
18	1 000	阴坡	山谷	急坡	0	12	7	3	0	4	26	55.77	3
19	1 497	半阳坡	山脊	急坡	0	26	3	0	1	2	32	83.59	4
20	1 360	半阴坡	中坡	陡坡	0	5	9	0	0	23	37	19.59	2
21	1 177	半阴坡	山谷	险坡	0	15	6	5	0	2	28	63.39	4
22	818	半阳坡	下坡	陡坡	0	2	5	0	0	34	41	7.93	1
23	935	半阳坡	中坡	陡坡	0	7	11	1	0	0	39	25.64	2
24	1 353	半阴坡	山脊	陡坡	0	9	4	0	3	26	42	23.81	2
25	1 240	阳坡	中坡	陡坡	0	4	12	0	0	16	35	20.00	2
26	1 259 村集体	半阳坡	中坡	陡坡	0	7	6		5	9	27	31.66	3

1.3 数据处理

数据采用 Excel 软件进行处理。按林木受损不同类型分别计相应的株数损失，其中：I、II 类型计损失 1 株；III、IV 类型计损失 1/4 株；V、VI 不计算损失株数。

样地林木损失率计算公式：

$$Y_s = \sum S_i \div L_z \times 100\%$$

式中： Y_s 为样地林木损失率 (%)； $\sum S_i$ 为样地各类型林木受损株数总和； L_z 为样地林木总株数。

亦参照俞晓艳等^[11] 研究结果将样地冰雪灾害等级分为：损失率 <10% 为 1 级；10% ≤ 损失率 <30% 为 2 级；30% ≤ 损失率 <60% 为 3 级；损失

率 ≥ 60% 为 4 级，数字越大灾害等级越高，样地受损越严重。

2 结果与分析

运用归纳法对样地调查数字进行统计，得出各级灾害样地占总样地的比率分别为 1 级 7.7%、2 级 53.8%、3 级 30.8%、4 级 7.7%。各地形因子森林受灾等级的具体样地个数见表 2。

2.1 基于海拔影响森林林木冰雪灾害的分析

据表 1、表 2 可知 1 级灾害出现在 801~1 000 m 及 1 401~1 600 m 两个海拔带的样地中，分别占同海拔带样地的比率都较低；2 级和 3 级灾害

表 2 地形因子影响森林冰雪灾害等级的样地个数统计

Tab. 2 Statistical table of sample number of terrain factors affecting forest ice and snow disaster level

地形因子 Terrain factor		灾害等级及其占比 Disaster level and its proportion							
1 级因子	2 级因子	1 级 Level 1	百分比	2 级 Level 2	百分比	3 级 Level 3	百分比	4 级 Level 4	百分比
海拔 /m Altitude	801~1 000	1	10	7	70	2	20	0	0
	1 001~1 200	0	0	3	50	2	33	1	17
	1 201~1 400	0	0	3	50	3	50	0	0
	1 401~1 600	1	25	1	25	1	25	1	25
坡向 Aspect	阳坡	0	0	3	75	1	25	0	0
	半阳坡	2	22	4	44	2	22	1	11
	阴坡	0	0	4	57	3	43	0	0
	半阴坡	0	0	3	50	2	33	1	17
坡位 Slope	山脊	0	0	2	50	1	25	1	25
	上坡	0	0	2	50	2	50	0	0
	中坡	1	13	6	75	1	12	0	0
	下坡	1	25	3	75	0	0	0	0
	山谷	0	0	1	17	4	67	1	16
坡度 Declivity	平坡	0	0	0	0	0	0	0	0
	缓坡	0	0	0	0	0	0	0	0
	斜坡	1	9	9	82	1	9	0	0
	陡坡	1	11	5	56	3	33	0	0
	急坡	0	0	0	0	3	75	1	25
	险坡	0	0	0	0	1	50	1	50

在各海拔带中都有出现，其中2级灾害占同海拔带样地的比率相对较高，且随海拔的升高而降低，与海拔呈反比关系；3级灾害占同海拔带样地的比率为20%~50%之间，与海拔关系不明显；4级灾害出现在1 001~1 200 m及1 401~1 600 m海拔带的样地中，占同海拔带样地的比率也较低。结果表明1级和4级灾害发生概率低，低级别灾害发生在低海拔带和高海拔带，中等级别灾害在各海拔带普遍存在，高级别灾害在中、高海拔带偶有发生。

2.2 基于坡向影响森林林木冰雪灾害的分析

据表1、表2可知1级灾害出现在半阳坡的样地中，同坡向样地占比较低，约20%；2级和3级灾害在各坡向都有出现，灾害等级同坡向样地的占比：2级灾害最高是阳坡75%，最低是半阳坡44%、3级灾害最高是阴坡43%，最低是半阳坡22%；4级灾害出现在半阳坡和半阴坡的样地中，占同坡向样地的比率都低于20%。结果表明1级灾害只在半阳坡出现，2级和3级灾害在各坡向普遍存在，4级灾害并不在阳坡和阴坡中。

2.3 基于坡位影响森林林木冰雪灾害的分析

据表1、表2可知1级灾害出现在中坡和下坡的样地中，分别占同坡位样地的13%和25%；2级灾害在各坡位都有出现，占同坡位样地的比率较高，最高位为中坡和下坡75%，最低为山谷17%；3级灾害除下坡外其他坡位都有出现，同坡位样地占比最高的是山谷67%，最低是中坡12%；4级灾害出现在山脊和山谷的样地中，分别占同坡位样地的25%、16%。结果表明2级灾害在各坡位普遍存在，高级别灾害只发生在山脊和山谷中。

2.4 基于坡度影响森林林木冰雪灾害的分析

据表1、表2可知平坡和缓坡没有样地，原因是调查地山地坡度多在15°以上；1级和2级灾害出现在斜坡和陡坡的样地中，1级灾害同坡坡度样地占比较低，2级灾害同坡坡度样地占比较高；3级灾害出现在斜坡、陡坡、急坡和险坡的样地中，占同坡度样地的比率最高是急坡75%，最低是斜坡9%；4级灾害出现在急坡和险坡的样地中，分别占同坡度的25%、50%。结果表明1、2级低级别灾害发生在小坡度处，3级灾害在缓坡以上坡度都有发生，高级灾害只在急坡以上坡度发生。

调查地植被种类极其丰富，有苔藓植物、维

管植物、种子植物及单子叶植物等^[10]，除受地形因子影响外，森林冰雪灾害等级还受植被本身抗灾力的影响，植被种类不同抗灾力不同。

3 结论与讨论

研究发现调查地发生森林冰雪灾害区域大致在800 m<海拔<1 600 m之间，1级和4级灾害样地占比较低，代表性不强，2级和3级灾害样地占比分别为53.8%、30.8%，具有较强的代表性。

海拔对森林冰雪灾害的影响至关重要，在灾害区域内林木受损程度先随海拔升高而加重，超过一定海拔后却随海拔升高而减轻。这与尹新华等^[12]对浙江省毛竹 *Phyllostachys edulis* 林的受损特征分析结果一致，海拔在380 m时，受损率为18.9%；海拔在400 m~750 m时，受损率达50%以上；海拔在1 110 m时，受损率为39.5%，受损率反而降低。中等级别灾害在各坡向都有发生，灾害等级越高越趋向于阴坡或半阴坡。对贵州省的小桐子 *Jatropha curcas* 幼树的雨雪冰冻灾害调查结果亦表明，阳坡林木受损率为62%，阴坡受损率则高达100%^[13]。坡位对中低级别灾害影响不大，但高级别灾害发生具有一定的坡位独特性。坡度对林木受损影响明显，坡度越大，灾害等级越高。尹新华等^[12]在分析浙江省毛竹林的受损特点亦得出，坡度与受损率呈线性关系，发现坡度在55°时，受损率高达70.5%；坡度小于30°时，冰雪冻害呈减少趋势。

冰雪灾害的直接原因是冷空气，冷空气的活动与地形因素有关^[14]。调查地特殊的地形条件明显干预冷空气进入或南下，由于调查地西部最北边界山脊海拔普遍要高于其内部山地海拔，因此西部森林几乎没有受到冰雪灾害，这与邓冰等^[15]研究表明的南岭对冷空气南下起阻挡作用观点吻合。地形与河谷的走向是影响大风风向的重要因素^[16]，调查地东部最北边界山脊海拔普遍在800 m以上，只有少部分山谷或山脊鞍部海拔低于800 m，南下的冷空气被山脊抬升至800 m平面以上跨过试验地最北边山脊，随后与沿山谷或鞍部进入的冷空气汇合，随山谷地形走向，形成2条流动线深入调查地，并随海拔提高而抬升。由于狭管效应^[17]，山脊鞍部极易形成狭小风口，冷空气主要于鞍部穿越并持续补充，其余继续随地形流动，遇凹坡面形成回旋，使试验地森林冰雪灾害集中

于东西部分界山脊2个大鞍部范围的林木受损最为严重,其次是凹面山坡及凸面陡峭地。可见,地形明显影响冷空气的进入途径,冷空气堆积与样地反映的林木冰雪灾害受损情形基本吻合^[18]。

山脊鞍部附近、北坡迎风回旋面、陡峭山坡是调查地冰雪灾害重要影响区域,相关部门应当重点排查此类区域内的物种及基础设施,提前对需要重点保护的物种或基础设施实施特别防护措施。

受时间、资料等条件限制,本研究主要针对地形因子对发生森林冰雪灾害的响应。至于海拔1600 m以上森林为何没受冰雪灾害,是否因海拔1600 m以上森林多为低矮乔灌木,并且长期经受冰雪考验已经适应恶劣环境,另外就不同树种自身抵抗冰雪灾害能力等课题,有待今后进一步研究。

参考文献

- [1] 郭淑红, 薛立. 冰雪灾害对森林的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(16): 5242-5253.
- [2] 孙晓瑞, 高永, 杨光, 等. 森林冰雪灾害致损因子研究综述[J]. 浙江林业科技, 2017, 37(3): 79-84.
- [3] 广东省林业局. 省林业局调研组到省乳阳林场调研雨雪冰冻灾害救灾复产工作[EB/OL]. 林业要闻, [2022-02-26]. http://lyj.gd.gov.cn/news/forestry/content/post_3829617.html.
- [4] 薛建辉. 森林生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2012: 6.
- [5] 薛丽芳, 王春林, 申双和. 粤北南岭精细化气候资源分布及区域研究[J]. 中国农业气象, 2011, 32(S1): 178-183.
- [6] 邵全琴, 黄麟, 刘纪远, 等. 2008年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.
- [7] 吴可可, 彭少麟, 陈蕾伊, 等. 南方森林雨雪冰冻灾害的特征[J]. 生态学杂志, 2011, 30(3): 611-620.
- [8] 骆土寿, 张国平, 吴仲民, 等. 冰冻雨雪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): 178-183.
- [9] 陈春如, 安伟莉, 高艳芳, 等. 粤北不同密度杉木林植被的物种多样性比较[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(5): 73-78.
- [10] 李耀光. 南岭国家级自然保护区珍稀濒危植物保护与利用[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(4): 80-83.
- [11] 俞晓艳, 齐建国, 王建国, 等. 2009年冬季异常天气对银川市部分园林植物的影响调查研究[J]. 宁夏农林科技, 2011, 52(7): 101-103.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 彭晶晶, 马红云, 朱歆炜, 等. 1967-2017年湖南省冷空气活动特征分析[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(4): 43-51.
- [15] 邓冰, 潘世康. 地形对南海冷空气影响的数值研究[J]. 广东气象, 1999, 4(4): 2-5.
- [16] 潘新民, 祝学范, 黄智强, 等. 新疆百里风区地形与大风的关系[J]. 气象, 2012, 38(2): 234-237.
- [17] 董安祥, 胡文超, 张宇, 等. 河西走廊特殊地形与大风的关系探讨[J]. 冰川冻土, 2014, 36(2): 347-351.
- [18] 郑丽君, 马中元, 骆云峰, 等. 江西东部走廊地形对冷空气风场的影响[J]. 气象水文海洋仪器, 2020, 12(4): 19-23.