

DOI: 10.5846/stxb201308042021

姚丹丹, 余黎, 雷相东, 卢军, 符利勇, 张晓红, 耿少波, 赵忠林, 张会儒, 汪兆阳. 台风“布拉万”对东北近天然落叶松云冷杉试验林的影响. 生态学报, 2015, 35(11): 3674-3683.

Yao D D, Yu L, Lei X D, Lu J, Fu L Y, Zhang X H, Geng S B, Zhao Z L, Zhang H R, Wang Z Y. The influence of typhoon Bolaven to semi-natural larch-spruce-fir forests in northeast China. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(11): 3674-3683.

台风“布拉万”对东北近天然落叶松云冷杉试验林的影响

姚丹丹¹, 余黎¹, 雷相东^{1,*}, 卢军¹, 符利勇¹, 张晓红¹, 耿少波², 赵忠林², 张会儒¹, 汪兆阳²

¹ 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091

² 吉林省林业勘察设计院, 长春 130022

摘要: 台风是重要的森林干扰因子之一, 会对森林生态系统的结构和功能产生较大的影响。2012 年的台风“布拉万”对我国东北地区局部森林造成了严重的破坏。以受灾最重的吉林省汪清林业局的近天然落叶松云冷杉林为对象, 采用方差分析和相关分析方法, 研究林分结构和地形条件对林木株数损伤率的影响。结果表明: (1) 林木损伤类型可分为折断、连根拔起、搭挂、压弯 4 种, 其中连根拔起为最主要的损伤类型, 占总损伤株数的 52%, 台风灾害造成的林木株数损伤率平均为 14.09%。(2) 径级大小对林木株数损伤率的影响显著。损伤主要发生于径级较小林分处, 径级越大, 其株数损伤率越小。(3) 林木株数损伤率随林分密度的增加有减小的趋势, 但在统计学上它们的关系不显著。(4) 不同树种间的林木株数损伤率差异显著, 落叶松、冷杉等针叶树种损伤株数最多。(5) 林分的树种多样性指数与林木株数损伤率无显著的相关性。(6) 海拔、坡度和坡位对林木株数损伤率的影响不显著, 但坡向的影响显著, 东北坡向林分的林木株数损伤率最大。研究结果可以为灾后森林恢复和减少风灾影响的森林培育措施提供依据。

关键词: 近天然落叶松云冷杉林; 台风灾害; 林分结构; 地形

The influence of typhoon Bolaven to semi-natural larch-spruce-fir forests in northeast China

YAO Dandan¹, YU Li¹, LEI Xiangdong^{1,*}, LU Jun¹, FU Liyong¹, ZHANG Xiaohong¹, GENG Shaobo², ZHAO Zhonglin², ZHANG Huiru¹, WANG Zhaoyang²

¹ Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

² Forest Survey and Design Institute of Jilin Province, Changchun 130022, China

Abstract: Typhoons are one of the most important natural disturbances, which directly or indirectly have effects on forest stand structure and function. Typhoons disturbance events occur in nearly all forest ecosystems and have profound impacts on forest structure, species diversity and ecosystem functions. Such ecological effects are often complex, subtle, and at small scale relatively unpredictable. Many factors such as tree size, stand density, tree species, stand structure, altitude, gradient, slope location and aspect, affect wind resistances of tree species and the extent of forest damage. The typhoon rarely arrives in temperate regions close to the coastline and in the temperate regions of the interior land. So there is little known about the influence of typhoon on forest in the temperate regions of the interior and even in northeast China. Typhoon

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划课题(2012BAD22B02)

收稿日期: 2013-08-04; 修订日期: 2014-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xdlel@caf.ac.cn

“Bolaven” has caused serious damage on forests in northeast China in 2012. In this paper, Typhoon-induced damage has been analyzed at stand level for semi-natural larch-spruce-fir forests of Wangqing Forestry Bureau in Jilin Province. Analysis of variance and correlation analysis are used for examining effects of stand structure and topography on damage severity of trees. Results showed that: (1) Typhoon caused massive damage to semi-natural larch-spruce-fir forests, in some cases reaching over 30% of all trees in the stands. The average percentage of the damaged trees was 14.05%. Major tree damaged types were uprooted, broken, hooked and bending. Among these types, the type of uprooted was the dominant one with a rate of 52%. (2) Tree diameter class had significant effects on the extent of tree damage. The medium and small-class trees were more vulnerable to typhoon damage than the bigger ones. (3) There was no significant correlation relationship between the density and the extent of tree damage. However, the extent of tree damage weakly decreased with increasing stand density. (4) Trees damaged differed significantly among tree species. Broad-leaved tree species were easier to be hurt by typhoon. (5) No significant correlation relationship was found between tree species diversity index and the proportion of damaged trees. (6) The altitude, gradient and slope location had no significant impacts on the extent of the tree damage, while the aspect had, especially the northeast aspect which was more vulnerable with a high damage rate of 18.35%. Therefore, tree size, tree species and aspect were important factors affecting the tree damage of typhoon in this study, and the impact was complicated. We suggested that improving tree quality and mixing tree species enhance stand resistance to wind. The findings presented in this study provide information that can be used to implement silvicultural practices to minimize the risk of those forests and to resist wind damages.

Key Words: semi-natural larch-spruce-fir forests; typhoon disaster; stand structure; topography

台风是沿海森林经营管理中的重要非生物干扰因子,对林业的正常生产和可持续发展具有重大影响^[1]。台风往往损伤大量林木,影响林分的生长,降低木材质量和产量,危害森林生态系统。国外对台风等自然灾害对森林的影响和恢复开展了大量研究,如台风对成熟阔叶林干扰的研究^[2],台风对亚热带林的损害^[3],自然灾害对林分结构的影响^[4-7],灾害后补救措施实施的影响以及森林恢复^[7-9]等方面。国内在台风对林业危害这方面的研究比较薄弱,起步较晚。近年来的研究集中反映在风灾后林分的空间优化配置、树种选择以及群落结构配置等灾后林分结构的变化及其恢复等方面^[10-13]。台风偶尔会到达温带地区接近海岸线的陆地,一般不会到达温带地区的内陆腹地^[14-16]。2012年8月29日,超强台风“布拉万”从朝鲜北部到达东北内陆地区进入吉林省东南部地区,给东北农林业带来了较严重的灾害。局部地区受到的灾害非常罕见,称之为“百年不遇”。鉴于此,本文以这次受灾严重的吉林省汪清林业局金沟岭林场为研究对象,基于灾后实验样地调查数据,重点分析林分结构和地形条件与林木受损类型及林木株数损伤率的关系,以期对灾害损失评估、科学实施灾后森林恢复及抗风灾林分的培育提供依据。

1 研究地点概况

研究地区为吉林省汪清林业局金沟岭林场,位于吉林省汪清县境内东北部,所处的地理坐标为 130°05′—130°19′ E, 43°17′—43°25′ N。属长白山系老爷岭山脉雪岭支脉,地貌属低山丘陵,海拔 300—1200 m,坡度一般在 5°—25°,个别陡坡在 35°以上。研究区属季风型气候,年均气温为 3.9℃左右,年均降水量 600—700 mm,且集中在 5—9 月份,占全年总降水量的 80%。土壤主要是玄武岩中低山灰化土灰棕壤类型,平均厚度在 40 cm 左右,该区植被属长白山植物区系^[17]。

2 数据和方法

2.1 台风“布拉万”情况

2012 年第 15 号台风“布拉万”于 8 月 20 日上午在关岛西北方洋面上形成,以 10 km/h 左右的速度向西

北方向移动。28 日 22:50 在朝鲜西北部的平安北道南部沿海登陆,中心最大风力达 10 级,向北偏东方向移动。29 日凌晨,“布拉万”从朝鲜北部进入吉林省东南部地区,根据位于吉林省汪清林业局金沟岭林场的吉林省林业生态定位观测研究站的测定结果,8 月 29 日最大风速为 19.08 m/s,出现时间为 02:27。

2.2 样地调查

本次调查样地为金沟岭林场的 20 块长期固定样地,其起源为 1964—1967 年间营造的有部分保留树种的人工长白落叶松林,经过多年的演变,大部分已成为落叶松云冷杉针阔混交林,具有天然林的部分特征,称为近天然林。以长白落叶松(*Larix olgensis*)、鱼鳞云杉(*Picea jazensis* var. *microsperma*)、冷杉(*Abies nephrolepis*)为优势树种,其他树种有红松(*Pinus koraiensis*)、色木(*Acer mono*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、白桦(*Betula platyphylla*)、黑桦(*Betula dahurica*)、黄菠萝(*Phellodendron amurense*)、榆树(*Ulmus pumila*)、杨树(*Populus*)、紫椴(*Tilia tuan*)、枫桦(*Betula costata*)等。样地面积在 0.08—0.25 hm²之间。主要调查因子包括:海拔、坡度、坡向、坡位等地形因子;测量样地内胸径在 5 cm 以上样木的胸径、树高、冠幅及枝下高,并按以下 4 种类型记录样木损伤情况^[18-19]:(1)折断(风折木)。从树木的主干处折断,损伤较为严重,很可能直接导致树木死亡。(2)连根拔起(风倒木)。危害最为严重,几乎没有生还的可能。(3)搭挂(搭挂木)。是同邻近树木相互依靠而未完全倒地的林木,是损伤程度最小的一种损伤类型,如果进行及时扶植、管理,这类损伤木最有可能恢复重生。(4)压弯(压弯木)。主要是受外力施压导致林木产生相对微弱的机械损伤,由强风、邻近倒木或断枝引起,这类损伤木可以自我恢复而重生,而重生的能力主要看树种自身抗逆性能和压弯的程度。以上 4 种损伤样木统称为损伤木。调查时间为 2012 年 8 月,样地基本概况如表 1 示。

表 1 样地基本情况(风灾前)

Table 1 General information of the sample plots (before Bolaven damage)

海拔 Altitude/m	坡向 Slope aspect	坡度 Gradient/(°)	坡位 Slope location	株数 Number of trees/ (株/hm ²)	平方平均胸径 Mean DBH Diameter atbreast height/cm	断面积 Basal area/ (m ² /hm ²)	蓄积 Stand volume/ (m ³ /hm ²)	树种组成(按材积) Tree species composition (According to the volume)
760	东北	10	下	819	23.17	34.52	309.25	7 落 1 红 1 冷 1 云-色-桦
760	东北	10	下	1079	20.30	34.94	296.83	5 落 1 桦 2 冷 2 云+色+红+椴
760	东北	10	下	907	22.02	34.53	294.54	5 落 3 冷 1 红 1 桦+色+云
760	东北	10	下	728	22.99	30.22	266.88	7 落 1 红 1 桦 2 冷+云
780	西	18	下	745	19.73	22.78	190.97	6 落 1 红 1 枫桦 1 冷+椴+榆-色
780	东北	7	中	710	19.69	21.62	181.79	6 落 1 椴 1 枫 1 冷 1 云+红+色+水
780	西	18	下	580	21.18	20.43	179.83	9 落+黄+桦-木-树-树
780	东北	10	中	713	19.71	21.79	194.40	8 落 1 冷+红+桦+椴-水-杨
660	西北	6	下	1280	19.15	36.85	316.51	6 落 1 冷+红+色+椴+桦+云+水
670	西北	10	中	796	23.98	35.94	323.94	5 落 1 红 1 水 1 冷 2 云+榆-红-桦
670	西北	6	下	632	23.95	28.48	259.47	7 落 1 冷 1 云+桦+水-红-色-杨
680	西北	10	下	856	22.55	34.20	301.93	6 落 1 红 1 冷 1 云+水+桦+杨-椴
630	北	7	下	775	22.26	30.18	272.81	8 落 1 冷+桦+云
640	北	7	下	716	24.31	33.23	302.41	6 落 2 冷 2 云+红+杨-色
660	北	7	下	1076	21.74	39.92	349.61	7 落 2 冷 1 红+桦+云-色
645	北	7	下	950	22.11	36.48	314.72	7 落 2 冷 1 云+红+色+枫
615	东北	7	下	933	21.86	35.03	305.82	7 落 1 冷 1 云+红+桦
610	东北	7	下	542	23.87	24.26	217.85	8 落 1 冷+云+红+桦+椴
605	东北	9	下	690	24.47	32.46	295.95	10 落-桦
600	东北	9	下	939	22.22	36.43	314.76	7 落 1 冷 1 云+色+水+桦+杨+榆

落:落叶松,冷:冷杉,云:鱼鳞云杉,红:红松,色:色木,水:水曲柳,桦:白桦和黑桦,枫:枫桦,黄:黄菠萝,椴:紫椴,榆:榆树,杨:杨树;+:树种组成系数在 0.2—0.5 之间,-:树种组成系数小于 0.2

2.3 统计分析

为了研究林分 and 地形因子对台风造成林分损伤的影响,首先确定这些因子和量化损伤。这些因子可分为离散型(包括径级、树种、海拔、坡度、坡向、坡位)和连续性(林分密度和树种多样性指数)2类。离散型因子进行以下分级(水平):径级以 5 cm 为径级距,划分为 5—10 cm, 10—15 cm, ..., >55 cm, 共 10 个水平;海拔划分为 3 个水平, 600—650 m, 650—700 m, 750—800 m(以上分级按上限排外法取值);树种有落叶松、云杉、冷杉等 14 个水平;坡向有东北、北、西北、西 4 个水平;坡度有 5 个水平(6°、7°、9°、10°、18°)。

本文用林木株数损伤率 Y (公式(1))来表示台风对林木的破坏程度:

$$Y = \frac{n}{N} \quad (1)$$

计算林分的林木株数损伤率时, n 是林分损伤株数, N 是林分总株数;计算不同因子各水平的林木株数损伤率时, n 是不同因子各水平的损伤株数, N 是不同因子各水平的总株数。

分别用方差分析和相关分析来研究离散型因子和连续性因子对林木株数损伤率的影响。

计算的其它林分因子,包括林分密度(株/hm²)、林分断面积(m²/hm²)、蓄积(m³/hm²)、平均胸径(cm)、树种组成(10 分法)和树种多样性指数(公式(2))。

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \times \ln P_i \quad (2)$$

式中, H 是树种多样性指数; P_i 是第 i 种树种的材积占林分总蓄积的比例。

3 结果与分析

3.1 台风造成的林木损伤类型和数量

调查结果显示,在台风“布拉万”的影响下,近天然落叶松云冷杉林 4 种损伤类型中,连根拔起损伤最严重,占损伤总株数的 52%,其次是压弯木,占总损伤株数的 36%,搭挂木和风折木各占总损伤株数的 6%(图 1)。

从表 2 可以看出,各样地株数损伤率在 1.05%—33.10%之间,平均为 14.09%。风倒木的林木株数损伤率在 0.00%—26.06%之间,平均为 7.60%。4 种损伤类型的林木株数损伤率的变异系数都在 0.70 以上,其中风折木和搭挂木的变异系数甚至大于 1.00,说明 20 块样地的林木株数损伤率变化很大,各样地均不同程度的受到台风的破坏。

3.2 影响林木损伤的林分因子分析

3.2.1 径级大小对林木损伤的影响

不同损伤类型林木的径级分布呈不规则曲线(图 2)。林分在径级 12.5 cm 处林木株数损伤率首次达到峰值 20.00%,之后随着径级增大,呈波动式的下降趋势,表明损伤主要发生在径级较小林分内,径级越大,其林木株数损伤率越小。4 种损伤类型的径级分布呈多峰曲线,不同径级林木的损伤类型有较大差异。风折、风倒、搭挂等 3 种损伤类型主要发生在大、中径级林分内,风折木和搭挂木的株数损伤率都在径级 12.5 cm、32.5 cm 和 42.5 cm 处出现了 3 次峰值;风倒木的株数损伤率在 27.5 cm 和 47.5 cm 径级处,出现了 2 次峰值。压弯木的株数损伤率在径级 12.5 cm 处首次达到峰值后,随着径级增大有递减趋势,但在 27.5 cm 径级处,又出现 1 个小峰值,37.5 cm 径级以上的林木没有出现压弯损伤(图 2)。方差分析表明,径级对林木株数损伤率的影响显著($P < 0.05$),多重比较显示,12.5 cm 径级林分的株数损伤率显著大于 12.5 cm 径级以上的林分($P <$

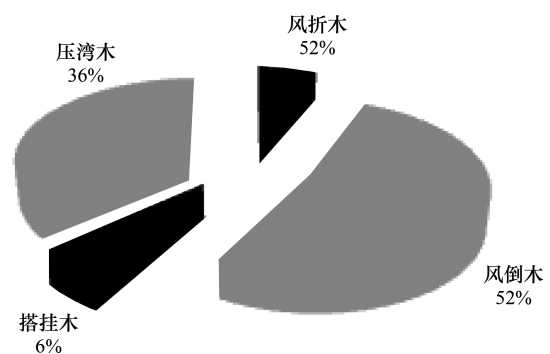


图 1 近天然落叶松云冷杉林不同损伤类型分布

Fig.1 Distribution of different damaged types for semi-natural larch-spruce-fir forests

0.05)。

表 2 20 块样地不同损伤类型的林木株数损伤率

样地号 Plot number	林分密度 Stand density/ (株/hm ²)	林木株数损伤率 Proportion of trees damaged/%				合计 Total
		风折木 Broken	风倒木 Uprooted	搭挂木 Hooked	压弯木 Bending	
1	819	0.00	10.62	0.00	6.11	16.73
2	1079	1.11	11.49	1.11	13.81	27.52
3	907	0.77	7.83	0.00	3.97	12.57
4	728	0.00	4.26	0.00	0.00	4.26
5	745	0.67	2.01	0.00	2.68	5.36
6	710	3.52	26.06	0.00	3.52	33.10
7	580	1.72	6.90	0.86	3.45	12.93
8	713	0.84	5.05	0.84	0.84	7.57
9	1280	1.56	3.13	0.63	8.13	13.45
10	796	0.00	0.00	5.03	4.52	9.55
11	632	1.27	18.35	0.00	4.43	24.05
12	856	0.00	8.88	0.93	2.80	12.61
13	775	0.00	3.23	0.65	1.29	5.17
14	716	0.00	0.70	0.00	2.09	2.79
15	1076	0.00	0.84	0.00	3.35	4.19
16	950	0.00	0.00	0.00	1.05	1.05
17	933	2.89	6.65	0.00	6.65	16.19
18	542	1.66	19.74	0.00	11.44	32.84
19	690	0.00	13.04	0.00	8.70	21.74
20	939	0.00	3.19	1.06	13.95	18.20
平均 Average	823	0.80	7.60	0.55	5.14	14.09
变异系数 Coefficient of variation	0.22	1.27	0.92	2.00	0.78	0.67

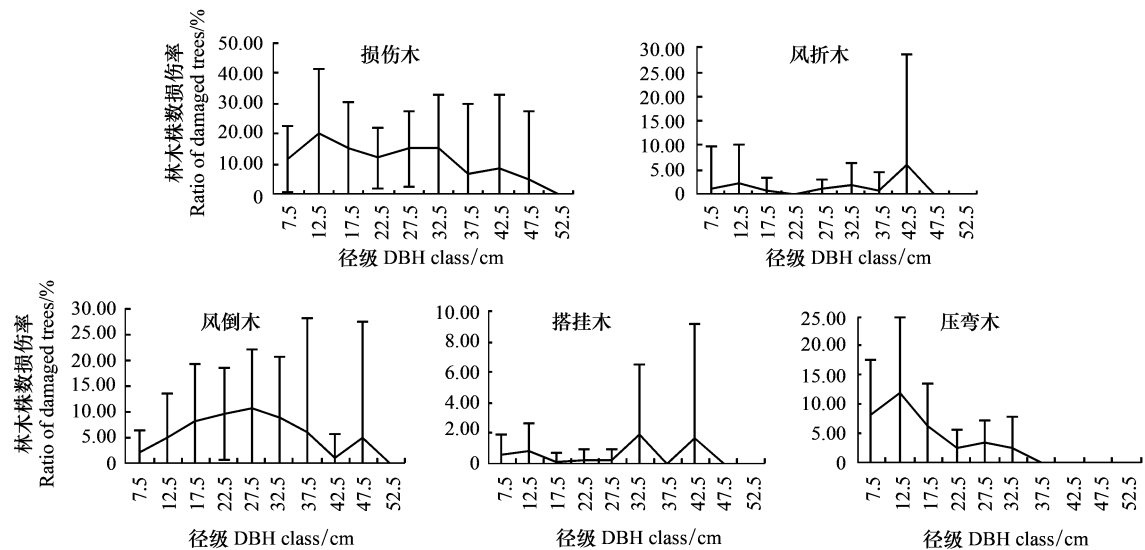


图 2 不同损伤类型林木的径级分布

Fig.2 The distribution of the ratio of damaged trees of different damage types by diameter class

3.2.2 林分密度对林木损伤的影响

林分密度是森林经营的最重要的可控因子之一。20 块样地的林木株数损伤率随林分密度的增加有下降的趋势(图 3),但相关分析表明,林分密度与林木株数损伤率的相关性统计上不显著($P>0.05$)。

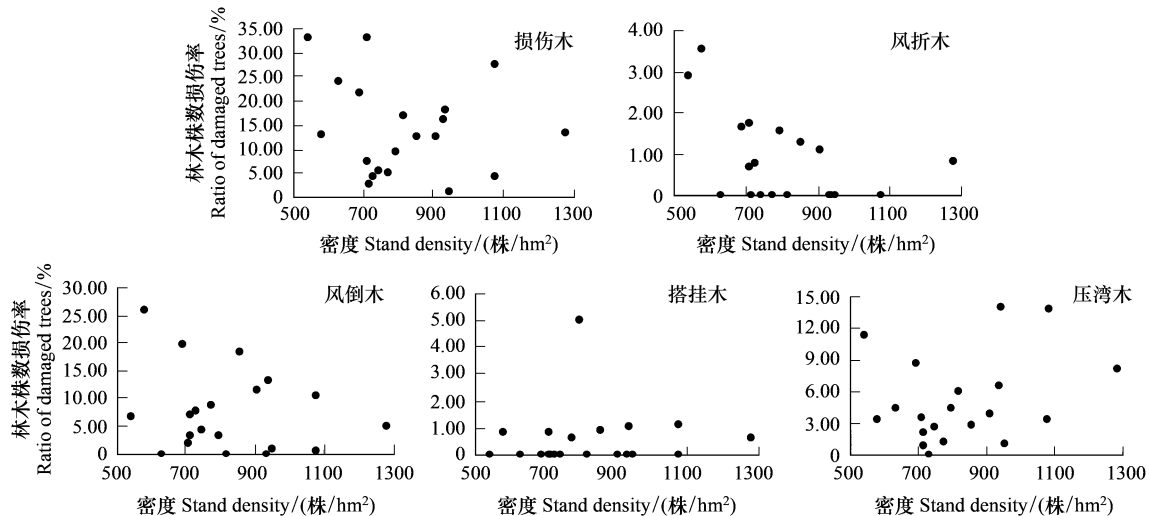


图 3 林分密度对林木损伤率的影响

Fig.3 Effects of stand density on the ratio of damaged trees

分析 4 种损伤类型的株数损伤率的密度分布(图 3)可知,风折木和风倒木的株数损伤率随林分密度增加有减小的趋势;搭挂木的最大株数损伤率是 5.03%,其样地密度为 796 株/hm²,其相近密度 819 株/hm²的样地却没有搭挂损伤,而高密度样地(1280 株/hm²)的搭挂木株数损伤率仅为 0.63%,表明搭挂木株数损伤率的密度分布没有规律;压弯木株数损伤率随林分密度增加有增加的趋势。相关分析表明,林分密度与风折木、风倒木、搭挂木、压弯木的株数损伤率的相关性都是不显著的($P>0.05$)。

3.2.3 树种对林木损伤的影响

由图 4 可以看出,不同树种的林木株数损伤率(各树种的损伤株数与其总株数的比例)及不同损伤类型的林木株数损伤率并不相同。白桦、枫桦、榆树等阔叶树种的株数损伤率较大,在 19.00%以上,落叶松、冷杉、云杉等针叶树种的株数损伤率相对较小,在 9.00%—17.00%之间。只有色木、落叶松、云杉、红松、冷杉有不同程度的折断损伤,其株数损伤率都在 2.50%以下。色木、黄菠萝、杂木、榆树、黑桦等阔叶树没有风倒损伤,而

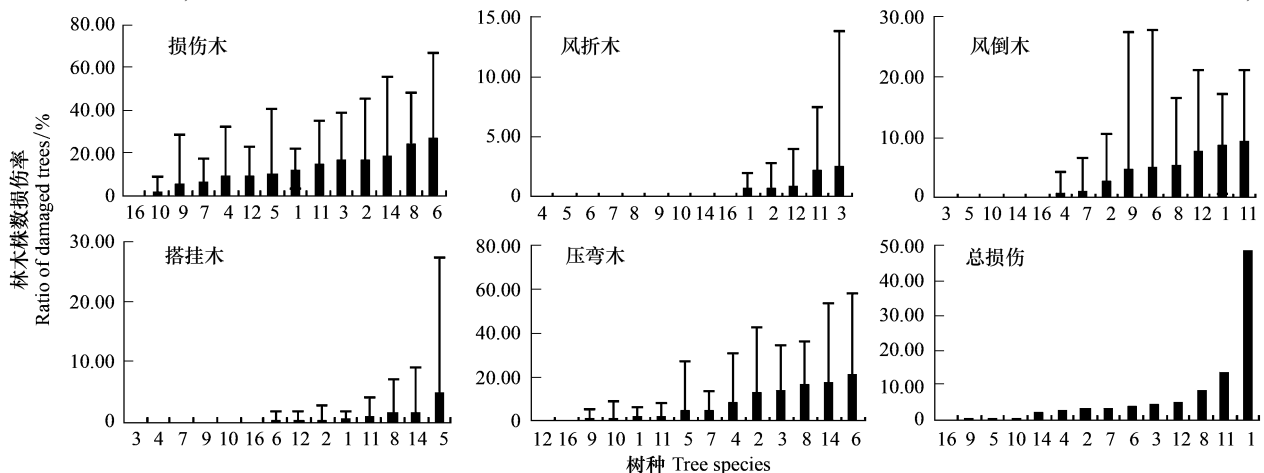


图 4 树种对林木损伤率的影响

Fig.4 Effects of tree species on the ratio of damaged trees

红松、落叶松、冷杉、云杉等针叶树种有不同程度的风倒损伤,株数损伤率在 0.83%—9.43%之间)。搭挂木的株数损伤率在 5.00%以下,搭挂损伤最严重的是黄菠萝。压弯木的株数损伤率在 0.00%—21.21%之间,压弯损伤较严重的树种是白桦、枫桦和榆树等阔叶树种。另外,对各树种损伤株数与总损伤株数的比例分析发现(图 4),落叶松损伤株数最多,占总损伤株数的 48.83%,其次是冷杉,占总损伤株数的 14.06%,其它数树种的损伤比例在 10.00%以内。以上分析表明,针叶树种的株数损伤率比阔叶树种小,但其损伤株数多,这与落叶松等针叶树种是研究区中的优势树种有关,且主要有风折和风倒两种损伤类型。

方差分析表明,树种对林木株数损伤率的影响极显著($P < 0.01$),多重比较显示,冷杉的株数损伤率比白桦、枫桦、榆树等阔叶树种大,且有极显著的差异($P < 0.01$)。

3.2.4 树种多样性对林木损伤的影响

树种多样性对抵抗干扰和维持生态系统的稳定具有重要意义。从图 5 可以看出,林木株数损伤率 20.00%以上的 5 块样地中,树种多样性指数既有最小的 0.06,又有较大的 1.43;树种多样性指数较大的 3 块样地中(树种多样性指数分别为 1.51、1.50、1.49),其林木株数损伤率分别为 12.62%、5.37%、9.55%。说明林木株数损伤率随树种多样性指数的变化没有规律。相关分析表明,树种多样性指数与林木株数损伤率无显著的相关关系($P > 0.05$)。

3.3 影响林木损伤的地形因子分析

3.3.1 不同海拔高度对林木损伤的影响

从图 6 可看出,3 个海拔水平的林木株数损伤率分别为 12.77%、14.91%、15.01%,有微弱递增的趋势。方差分析表明,海拔对林木株数损伤率的影响不显著($P > 0.05$)。

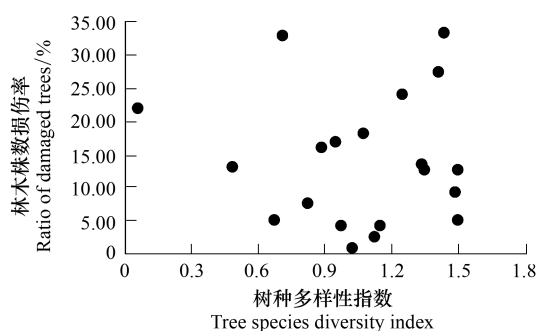


图 5 树种多样性对林木损伤率的影响

Fig. 5 Effects of tree species diversity index on the ratio of damaged trees

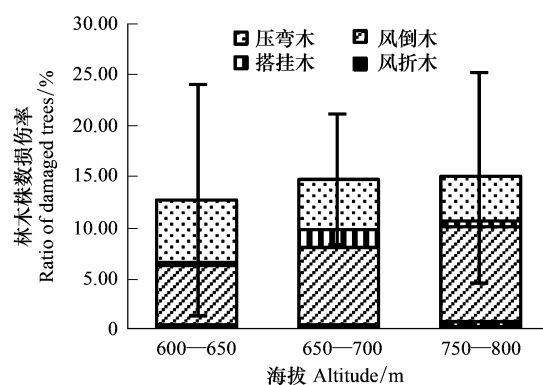


图 6 海拔对林木损伤率的影响

Fig. 6 Effect of different altitudes on the ratio of damaged trees

3.3.2 坡向、坡位与坡度对林木损伤的影响

图 7 显示,东北坡向林木的株数损伤率达 18.97%,大于其它坡向的林木株数损伤率,这可能是因为东北坡向是其迎风面,林分受台风危害最为严重。方差分析表明,坡向对林木株数损伤率的影响显著($P < 0.05$),多重比较显示,东北坡向的林木株数损伤率比其它 3 个坡向的林木株数损伤率大,且有极显著的差异($P < 0.01$)。

为使分析更具有可比性,选取处于同一海拔级、坡度、坡向的样地,分析不同坡位的林木损伤情况。由表 3 可知,位于下坡位的 1 号样地的林木株数损伤率(16.73%),高于位于中坡位的 8 号样地(7.57%)。选取 10 号和 12 号样地,也发现下坡位林分的株数损伤率高于中坡位林分。这表明,下坡位林分的林木株数损伤率大于中坡位林分。方差分析表明,坡位对林木株数损伤率的影响不显著($P > 0.05$)。

林木株数损伤率随坡度没有明显规律(图 8)。最小坡度(6°)的样地中,林木株数损伤率较大,为 18.75%;在坡度为 9°时,损伤最为严重,株数损伤率达 19.97%,但位于最大坡度(18°)样地的林木株数损伤率

却最小,为 9.15%。方差分析表明,坡度对林木株数损伤率的影响不显著($P>0.05$)。

表 3 坡位对林木损伤率的影响
Table 3 Effects of different slope location on the ratio of damaged trees

样地号 Plot number	海拔级 Altitude class/m	坡向 Slope aspect	坡度 Gradient/(°)	坡位 Slope location	株数损伤率 Percentage of trees damaged/%				
					风折木 Broken	风倒木 Uprooted	搭挂木 Hooked	压弯木 Bending	合计 Total
1	750—800	东北	10	下	0.00	10.62	0.00	6.11	16.73
8	750—800	东北	10	中	0.84	5.05	0.84	0.84	7.57
10	650—700	西北	10	中	0.00	0.00	5.03	4.52	9.55
12	650—700	西北	10	下	0.00	8.88	0.93	2.80	12.61

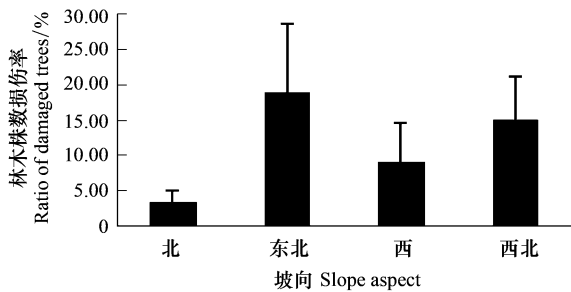


图 7 坡向对林木损伤率的影响
Fig.7 Effect of different aspect on the ratio of damaged trees

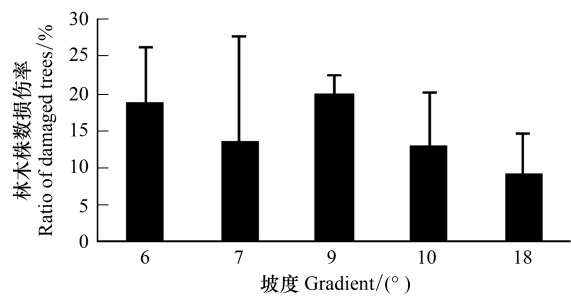


图 8 坡度对林木损伤率的影响
Fig.8 Effects of gradient on the ratio of damaged trees

3.4 影响林木损伤因子的交互作用分析

根据以上分析,发现径级、树种和坡向对林木株数损伤率的影响是显著的。在此基础上,通过多因子方差分析,研究其交互作用对林木株数损伤率的影响(表 4)。可以看出,坡向和径级、坡向和树种、径级和树种等 2 个因子以及径级、树种和坡向 3 个因子的交互作用,对林木株数损伤率的影响都显著($P<0.05$)。

表 4 多因素方差分析结果
Table 4 Results of multi-factor analysis of variance

方差来源 Source	离差平方和 Sum of Squares	自由度 df	均方差 Mean Square	F	P
坡向 Slope aspect	6409.473	3	2136.491	34.800	0.000
径级 DBH class	4973.011	9	552.557	9.000	0.000
树种 Species	4999.463	13	384.574	6.264	0.000
坡向×径级 Slope aspect×DBH class	4862.945	27	180.109	2.934	0.000
坡向×树种 Slope aspect×Species	7325.873	39	187.843	3.060	0.000
径级×树种 DBH class×Species	10613.431	117	90.713	1.478	0.001
坡向×径级×树种 Slope aspect×DBH class×Species	25351.577	351	72.227	1.176	0.014
误差 Error	653225.448	10640	61.393		

综上所述可知,影响林分损伤的径级、密度、树种等林分因子和海拔、坡度、坡位、坡向等地形因子中,只有径级、树种和坡向 3 个因子及其交互作用对林木株数损伤率的影响显著。因此,林分受台风破坏的程度不是由单一因子决定,而是受到多个因子的共同影响,这种影响是极其复杂的。

4 结论与讨论

基于样地调查数据,利用方差分析和相关分析,研究了近天然落叶松云冷杉林受台风损害程度及其影响

因素,得到以下结论:

(1) 台风造成的林木株数损伤率平均为 14.09%;林木受害类型可分为折断、连根拔起、搭挂、压弯 4 种,其中连根拔起和压弯为最主要的受害类型,占损伤总株数的 52% 和 36%。在损伤木中,落叶松最多,占总损伤株数的 48.83%,其次是冷杉,占总损伤株数的 14.06%。这是因为落叶松、冷杉是浅根系树种,增加了其在台风中的连根拔起^[20-22]。

(2) 径级大小对林木株数损伤率的影响显著。损伤主要发生在径级较小林分内,径级越大,其林木株数损伤率越小,这是因为大径级林木具有更强抵抗性^[14]。但不同的损伤类型表现不同,径级较大林分的风折、风倒、搭挂严重,是因为大径级林木暴露在强风中的面积较多,易直接受强风破坏,而且部分大径级林木位于林分边缘,易被强风袭击致倒^[14,23],且风倒、风折林木易干扰周围林木,形成搭挂损伤;小径级林分的风折、风倒损伤较轻,是因为小径级林木具有较好的柔韧性,不易被风折,也与小径级林木受周围大径级林保护而没有直接风倒有关;压弯损伤主要发生在小径级林分内,是因为小径级林木易受周围损伤林木干扰致压弯^[14-15]。

(3) 林分密度对林木株数损伤率的影响不显著。林分的林木株数损伤率随着林木密度的增加呈波动递减,这是因为风速是决定破坏严重程度的主要因子^[24-25],高密度林分,可有效降低林内风速。不同损伤类型的林木株数损伤率随林分密度变化规律不同,风折木和风倒木的林木株数损伤率随林分密度增加而减小,这是因为高密度的森林通常具有较差的根系和较大的树高/胸径比值,在台风袭击下,往往具有较高的折断损伤^[14];搭挂木株数损伤率的密度分布没有规律;压弯木株数损伤率随林分密度的增加有增加的趋势。但林分密度与风折木、风倒木、搭挂木、压弯木的株数损伤率都无显著的相关性。

(4) 树种对林木株数损伤率的影响显著。白桦、枫桦、榆树等阔叶树种的株数损伤率比针叶树种大,主要为搭挂和压弯,因为具有扁平而柔软叶子的阔叶树种比针叶树种更易受到风力的影响。Xi 在飓风对山麓森林影响的研究中有同样的结论^[19]。但是这些阔叶树种的损伤株数比针叶树种少,这是因为它们不是该研究区的优势树种。针叶树种的损伤类型以风倒和风折为主,与其本身的生物学特性有关,它们都是高大乔木,且都是浅根系树种,因而比根系发达的阔叶树种相比更易受到台风影响,发生风折和风倒^[12,26]。此外不同树种具有不同的材质和抵抗性能以及林分条件和抚育间伐都会使林木脆弱性有较大差异^[24-25],这也增加了结果的复杂性。

(5) 树种多样性指数与林木株数损伤率的相关关系不显著。通常情况下,复杂的混交林可能比纯林对自然灾害的抵抗能力更强^[27],在本研究中却没有此规律,说明台风灾害对林分的影响较复杂,林木损伤程度由多个环境因素共同作用影响^[15,28]。

(6) 林分的地形条件海拔、坡度、坡位等因子对林木株数损伤率的影响不显著,但坡向对林木株数损伤率的影响显著,尤其是东北坡向林分的林木株数损伤率最大,达 18.35%。有研究表明,在高海拔、迎风面、接近溪流谷底的土壤潮湿处和暴露于强风中的突起山脊处的树木损害较大^[14-15]。因此,东北坡向可能是其迎风坡面。

此外,一些研究还表明树冠的大小对抵御台风等自然灾害具有重要作用^[28],树木损伤的严重性是随着树高的增加而线性增加^[27]。但是由于缺少风灾木的树冠和树高信息,文章未进行分析。研究中样地面积不同也可能增加结果的不确定性。

根据本文研究结果,从减少台风灾害影响的角度,对落叶松云冷杉的经营提出以下建议:首先应注意加强森林经营,适时进行间伐为林木生长提供适宜的环境,提高大径级林木的比例;其次注意培育针阔混交林,改变树种的单一性,形成多样性结构,提高抗风灾能力,降低损伤风险。

参考文献 (References):

- [1] Nykänen M L, Peltola H, Quine C P, Kellomäki S, Broadgate M. Factors affecting snow damage of tree with particular reference to European conditions. *Silva Fennica*, 1997, 31(2): 193-213.
- [2] Dunn C P, Guntenspergen G R, Dorn J R. Catastrophic wind disturbance in an old-growth hemlock-hardwood forest, Wisconsin. *Canadian Journal*

- of Botany, 1983, 61(1): 211-217.
- [3] Forsyth E. Patterns of Typhoon Damage in Two Subtropical Forests. Brown Environmental Science, Brown University, 2006.
- [4] Martín Alcón S, González Olabarria J R, Coll L. Wind and snow damage in the Pyrenees pine forests: effect of stand attributes and location. *Silva Fennica*, 2010, 44(3): 399-410.
- [5] Sanchez O, Islebe G A. Hurricane Gilbert and structural changes in a tropical forest in south-eastern Mexico. *Global Ecology and Biogeography*, 1999, 8(1): 29-38.
- [6] De Govenain R C, Silander J A Jr. Do tropical storm regimes influence the structure of tropical lowland rain forest? *Biotropica*, 2003, 35(2): 166-180.
- [7] Waldron K, Ruel J C, Gauthier S. Forest structural attributes after windthrow and consequences of salvage logging. *Forest Ecology and Management*, 2013, 289: 28-37.
- [8] Everham E M, Brokaw N V L. Forest damage and recovery from catastrophic wind. *The Botanical Review*, 1996, 62(2): 113-185.
- [9] Webb E L, Van de Bult M, Faamu S, Webb R C, Tualaulelei A, Carrasco L R. Factors affecting tropical tree damage and survival after catastrophic wind disturbance. *Biotropica*, 2014, 46(1): 32-41.
- [10] 洪奕丰. 浙东沿海防护林空间优化配置研究 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012.
- [11] 侯倩. 热带滨海城市防风防护林树种选择与群落结构配置研究 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2011.
- [12] 杨玲, 黄晓兰, 王希华, 王良衍, 姜良才. 台风对天童地区常绿阔叶林干扰的一般特征. *浙江林业科学*, 2006, 26(5): 10-14.
- [13] 赵晓飞, 牛丽君, 陈庆红, 张植, 栾艳新. 长白山自然保护区风灾干扰区生态系统的恢复与重建. *东北林业大学学报*, 2004, 32(4): 38-40.
- [14] 刘斌, 潘澜, 薛立. 台风对森林的影响. *生态学报*, 2012, 32(5): 1596-1605.
- [15] Mitchell S J. Wind as a natural disturbance agent in forests. *Forestry*, 2013, 86(2): 147-157.
- [16] Webb S L. Wind disturbances in temperate forests // *Ecosystems of Disturbed Ground*. The Netherlands: Elsevier, 1999: 187-222.
- [17] 向玮, 雷相东, 刘刚, 徐光, 陈光法. 近天然落叶松云冷杉林单木枯损模型研究. *北京林业大学学报*, 2008, 30(6): 90-98.
- [18] Zhang F, Zhou G Y, Hiratsuka M, Tanaka K, Morikawa Y. Influence of an ice storm on aboveground biomass of subtropical evergreen broadleaf forest in Lechang, Nanling Mountains of Southern China. *International Journal of Forestry Research*, 2012, 2012: Article ID 467848, doi: 10.1155/2012/467848.
- [19] 张建国, 段爱国, 童书振, 孙洪刚, 邓宗富, 张守攻. 冰冻雪压对杉木人工林近成熟林分危害调查. *林业科学*, 2008, 44(11): 18-23.
- [20] Gresham C A, Williams T M, Lipscomb D J. Hurricane Hugo wind damage to southeastern united-state coastal forest tree species. *Biotropica*, 1991, 23(4): 420-426.
- [21] Putz F E, Sharitz R R. Hurricane damage to old-growth forest in Congaree Swamp National Monument, South Carolina, USA. *Canadian Journal of Forest Research*, 1991, 21(12): 1765-1770.
- [22] Xi W M, Peet R K. Hurricane effects on the Piedmont forests: patterns and implications. *Ecological Restoration*, 2008, 26(4): 295-298.
- [23] Hale S E, Gardiner B A, Wellpott A, Nicoll B C, Achim A. Wind loading of trees: influence of tree size and competition. *Forest Research*, 2012, 131(1): 203-217.
- [24] Peterson C J. Within-stand variation in windthrow in southern boreal forests of Minnesota: is it predictable? *Canadian Journal of Forest Research*, 2004, 34(2): 365-375.
- [25] Man R Z, Chen H Y H, Schafer A. Salvage logging and forest renewal affect early aspen stand structure after catastrophic wind. *Forest Ecology and Management*, 2013, 308: 1-8.
- [26] Xi W M, Robert K P, James K D, Dean L U. Tree damage risk factors associated with large, infrequent wind disturbances of Carolina forests. *Forestry*, 2008, 81(3): 317-334.
- [27] 奚为民, 陶建平, 李旭光. 强风干扰对森林生态系统的复杂影响: 研究进展和未来展望 // 自主创新与持续增长第十一届中国科协年会论文集. 北京: 中国学术期刊电子出版社, 200: 402-421.
- [28] Jactel H, Branco M, Gonzalez Olabarria J R, Grodzki W, Långström B, Moreira F, Netherer S, Nicoll B, Orazio C, Piou D, Santos H, Schelhaas M J, Tojic K, Vodde F. Forest Stands Management and Vulnerability to Biotic and Abiotic Hazards. European Forest Institute: EFI Technical Report, 2011.