

# 雪灾干扰下林窗对木荷幼苗更新的影响

葛晓改, 周本智\*, 王刚, 曹永慧, 王小明

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

**摘要:**林窗干扰是维持森林生态系统的重要驱动力之一,对种子萌发、幼苗等自然更新过程、森林物种组成和动态、森林生物多样性的维持具有重要作用。本研究以2008年雪灾干扰后的浙江江郎山木荷林为研究对象,对木荷林窗大小结构、幼苗更新、生长等进行调查研究,结果表明:扩展林窗以50~100 m<sup>2</sup>的林窗个数最多(占总数的45.45%),各等级林窗中以50~100 m<sup>2</sup>的林窗占总面积比例最大(占总面积的30.31%)。林窗中木荷幼苗的平均高度和地径较对照林分分别高1.44 cm和0.61 mm,幼树在林窗中的平均高度和地径则比对照林分中分别高45.37 cm和5.00 mm且差异显著;林窗大小对木荷幼苗、幼树的高度和地径生长影响显著,中林窗中幼苗的高度和地径均高于小林窗和大林窗中的幼苗且差异均显著( $F=4.893, P=0.007; F=5.203, P=0.004; n=357$ );幼树的地径在不同大小林窗中差异显著( $F=3.569, P=0.037; n=43$ )。林窗幼苗的更新密度随着林窗面积的增大而增大,在林窗面积达到76 m<sup>2</sup>时,更新密度达到最大值,而后随着林窗面积的增大下降;中林窗和小林窗中更新苗木以低矮植株(1级、2级)为主,面积>100 m<sup>2</sup>大林窗中,木荷幼苗生长较快。与他人研究的森林天然林窗相比,雪灾干扰后改变了林窗的大小分布结构和面积,50~100 m<sup>2</sup>的林窗比例较大,一定程度上更利于幼苗更新,具有相对较大的林窗幼苗更新密度;不论林窗大小,林窗内的更新幼苗都比林内多,郁闭度较大的林内或大面积的空地上都不利于更新幼苗的生长。因此,从受灾木荷林窗大小结构、幼苗更新、生长等来看,中林窗是幼苗适宜更新的面积,为木荷灾后恢复与重建提供了科学依据。

**关键词:**雪灾;林窗;木荷;林窗结构;幼苗更新

中图分类号:S754

文献标识码:A

## The Influence of Forest Gap on Seedling Regeneration of *Schima superba* after Heavy Snowstorm

GE Xiao-gai, ZHOU Ben-zhi, WANG Gang, CAO Yong-hui, WANG Xiao-ming

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

**Abstract:** Forest gap interference is one of the important factors maintaining forest ecosystems. It also plays an important role in driving seedling natural renewal process, forest species composition and forest biodiversity. In this study, the size structure, seedling regeneration, growth of forest gap on *Schima superba* in Jianglang Mountain of Zhejiang Province after 2008 snowstorm interference were evaluated, the results showed that the quantity of 50~100 m<sup>2</sup> forest gaps in expanded gaps was the most (accounted for 45.45% of the total), which also occupied the highest percentage in area (accounted for 30.31% of the total area). The mean seedling height and basal diameter of forest gap were 1.44 cm and 0.66 mm higher than that of the control, while the average tree height and basal saplings were 45.37 cm and 5.00 mm higher than that of the control. The effect of forest gap size on seedling, saplings height and basal diameter was significant. The seedling height and basal diameter in medium size forest gap

收稿日期:2013-12-05

基金项目:国家林业公益性行业科研专项项目(201204101-9);中国林业科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费重点项目(CAFYBB2008006)

作者简介:葛晓改(1982—),女,河南漯河人,助理研究员,博士,主要从事森林土壤碳过程研究。

\* 通讯作者:研究员,博士生导师,主要从事森林生态和森林培育研究。E-mail:benzhi\_zhou@126.com

were significantly higher than that in small and maximum forest gaps ( $F = 4.893$ ,  $P = 0.007$ ,  $F = 5.203$ ,  $P = 0.004$ ;  $n = 357$ ). The difference of the basal diameter in different size forest gaps was significant ( $F = 3.569$ ,  $P = 0.037$ ;  $n = 43$ ). The forest gaps' seedlings regeneration density increased with the area of forest gaps, which reached its maximum value when the forest gap area was  $76 \text{ m}^2$ , then the density decreased rapidly with the area of forest gap. Most regenerated seedlings in medium and small area forest gaps was low plants (grade 1 and 2), the *S. superba* seedling grew faster when the forest gaps area larger than  $100 \text{ m}^2$ . Compared with other studies on natural forest gaps, the structure and size distribution of forest gaps changed after snowstorm interfere, the percentage of forest gaps with the area of  $50 \sim 100 \text{ m}^2$  was higher, which was more conducive to seedling regeneration and relatively large seedling regeneration density at some extents. No matter the size of the forest gaps, the quantity of seedlings in forest gaps was more than that within forest, the forest with larger canopy density or on a large area of open space is not conducive to the growth of regenerated seedlings. Therefore, based on the structure of forest gaps, seedling regeneration and seedling growth, the forest gap with medium area is suitable for the regeneration of seedlings.

**Key words:** snowstorm; forest gap; *Schima superba*; size structure of forest gap; seedling regeneration

林窗干扰是森林生态系统得以长期维持的重要驱动力之一,也是森林循环更新的重要方式;林窗的产生导致森林组成和结构的异质性,其对种子萌发、幼苗生长等自然更新过程、森林物种组成和动态、森林生物多样性的维持具有重要的作用<sup>[1]</sup>。林窗最直接、最重要的作用是引起生境中光照的增加,不但增加了光到达森林下层的持续时间,而且增加了生境内的光照强度且明显大于林下<sup>[2]</sup>,同时导致微环境的变化,如林窗中小生境中光照条件、气温都较林下高,具有较好的光热条件,使林下植物种类及其数量发生变化,有利于更新苗木的生长发育<sup>[3]</sup>,从而影响森林树种的组成。因此,对林窗干扰后的幼苗更新和环境因子的时空动态及生态过程进行研究,可为人工促进生态系统发展提供依据。

2008年我国南方地区遭遇了罕见的雨雪冰冻灾害,这次灾害时间长、面积广、强度大,使该地区森林植被遭受重大损失<sup>[4]</sup>。雪灾作为森林生态系统重要的自然干扰因子之一,不仅对林业生产经营造成巨大损失,同时对森林生态系统的稳定也产生一定程度的影响。亚热带常绿阔叶林作为这次雨雪冰冻灾害受灾的主体,林地景观严重破坏,森林生物量减少,固碳能力下降,涵养水源、保持水土等生态服务功能也大为降低,灾后国内学者针对这些变化陆续开展多方面的研究,如李晓靖等<sup>[5]</sup>对雪灾后木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)萌枝光合生理特性、徐涵涓等<sup>[6]</sup>对灾害毛竹(*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie)凋落物分解、丁九敏等<sup>[7]</sup>对雪灾后毛竹林土壤微生物生物量氮和可溶性氮的影响研究等,但未涉及对灾后林窗的研究。目前,国内

对林窗的研究主要集中在林窗特征、林窗模型<sup>[8]</sup>、林窗微环境<sup>[9]</sup>、林窗与生物多样性<sup>[10]</sup>、林窗干扰和更新动态<sup>[11]</sup>等方面,如韩文娟等<sup>[12]</sup>研究表明林窗大小对1~3年生油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)幼苗高度无显著影响,对4~7年生幼苗高度影响显著,幼苗年龄相同时,阴坡大林窗>阳坡大林窗>阳坡小林窗>阴坡小林窗,即正常气候条件下林窗对幼苗生长及长势影响明显,这些研究为森林生态系统的可持续经营提供了科学依据。但极端气候干扰下林窗对物种更新的影响报道较少。

木荷广泛分布于我国东部亚热带地区,是该地区常绿阔叶林主要建群种之一,分布区域包括浙江、江西、安徽南部、福建西北部、湖南、两广北部、四川东南部以及贵州东部<sup>[13]</sup>。木荷在其分布区内时常与栲属(*Castanopsis* Spach)、青冈属(*Cyclobalanopsis* Oerst.)、石栎属(*Lithocarpus* Blume)的树种相互交错分布,形成了不同森林群落类型。2008年雨雪冰冻灾害使南方很多地区的木荷林大面积受灾,有的林木树冠集中折断,有的甚至连根拔起,木荷林在遭受严重破坏的同时形成了大量的林窗。本研究以灾害较严重的浙江江郎山典型受灾植被木荷为研究对象,通过对受灾木荷林窗大小结构、幼苗更新、生长等进行研究,进一步揭示自然干扰对森林生态系统结构与功能的影响,为亚热带典型森林植被灾后恢复与重建提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区位于浙江省江山市江郎山( $118^{\circ}33'45''$  E,  $28^{\circ}32'00''$  N),海拔高度  $73.0 \sim 1\,500.3 \text{ m}$ 。土壤

以黄壤为主,分布有红壤、岩性土、水稻土。该地气候温暖湿润,四季分明,雨水充沛,年降水量为 1 650 ~ 2 200 mm,相对湿度 85% ~ 95%,全年无霜期 250 ~ 290 d,年平均气温 14.0℃;植被覆盖率达 85%,植被类型较为丰富,拥有国家重点保护野生植物 22 种,国家一级保护动物 5 种,国家二级保护动物 20 多种。

该区自然植被有常绿阔叶林、针阔混交林、针叶林、灌丛 4 个组,7 个类,15 个群系。海拔高度 900 m 以下山地大多分布着木荷、马尾松 (*P. massoniana* Lamb.)、次生灌丛、杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、毛竹以及其它植被类型。江郎山的植被垂直分布表现出一定的规律性,山体中下部为常绿阔叶林,其中木荷林分布较广,中上部为常绿落叶阔叶混交林,岩壁为苔藓植被、岩生草甸和次生灌丛。本研究样地选择在该区分布的木荷林中,主要位于海拔高度 400 ~ 600 m 之间,总面积在 33.3 hm<sup>2</sup> 以上。

## 2 研究方法

### 2.1 林窗特征研究方法

2008 年雪灾通过树冠干扰(枯立、倒树、干中折断和干基折断)后形成的林窗几何特征(林窗面积、形状)比较典型。于 2009 年 2 月对研究区雪灾后形成的林窗进行调查,调查沿不同的海拔高度设置样线,调查内容包括:样线上林窗的形成方式(分倒树、干折、基折、枯立 4 类),冠层林窗(CG)和扩展林窗(EG)的长轴长( $L$ )、短轴长( $W$ )和林窗高度(即林窗边缘树木高度  $H$ ),林窗形成木种类、株数、胸径( $DBH$ )、高度等林窗特征测定。林窗分布位置和环境基本相似,按上述方式共调查了 44 个林窗,并在林窗内及距林窗 10 m 处的非林窗林分内各设置 5 个 4 m × 4 m 样方,调查各样方内乔木、灌木、草本层各物种种名、高度及盖度,高度大于 3 m 的树种记录其胸径。

### 2.2 林窗更新研究方法

于 2010 年 7—9 月,将调查的所有林窗分为 < 50 m<sup>2</sup> (根据林窗分布特征可细分为 0 ~ 25 m<sup>2</sup>、25 ~ 50 m<sup>2</sup>)、50 ~ 100 m<sup>2</sup> (可细分为 50 ~ 75 m<sup>2</sup>、75 ~ 100 m<sup>2</sup>)、≥ 100 m<sup>2</sup> (可细分 100 ~ 150 m<sup>2</sup>、150 ~ 200 m<sup>2</sup>、> 200 m<sup>2</sup>) 3 个等级,分别代表小林窗、中林窗、大林窗,然后在每个林窗等级内分别选取 4 个具有代表性的林窗,在每个林窗中分别设置 9 个 2 m × 2 m 研究小样方,分别设在林窗中心(用 CC 表示)、距离扩展林窗边缘一半处和扩展林窗边缘处(分别用

NN、SS、EE、WW 表示林窗北部、南部、东部和西部边缘的样方,用 CN、CS、CE、CW 表示林窗中心至林窗北、南、东、西缘一半处的样方)。然后将林窗内的更新苗木划分幼苗( $H < 1$  m)、幼树( $H > 1$  m,  $DBH < 5$  cm)两种,将其划分成 5 级,1 级为 < 25 cm,2 级为 25 ~ 50 cm,3 级为 50 ~ 75 cm,4 级为 75 ~ 100 cm,5 级为 > 100 cm,其中 1 ~ 4 级为幼苗,5 级为幼树。在每个样方内调查  $H < 1$  m 的更新幼苗和  $H > 1$  m、但  $DBH < 5$  cm 的更新幼树的种类、数量、树高、地径等。在距林窗边缘 10 m 处的非林窗林分中设 1 个 10 m × 20 m 的对照样地(林窗间相距较近时,则共用一个对照样地),调查样地内立木的种类、树高、胸径等,在每个对照样地内沿对角线方向设置 9 个 2 m × 2 m 的小样方,记录更新幼苗、幼树的种类、数量、高度、胸径或地径等。

### 2.3 数据处理

根据调查林窗的形状和目前计算林窗大小的通常方法,所调查的林窗均接近于椭圆形,林窗面积可采用如下公式计算<sup>[14]</sup>:  $A = \pi LW/4$

其中, $A$  为林窗面积,单位 m<sup>2</sup>, $L$  为长轴长, $W$  为短轴长(与林窗长度相垂直的最大直径),单位为 m。

所有数据均利用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件进行统计分析和作图。

## 3 结果与分析

### 3.1 雪灾干扰下不同木荷林窗的大小结构特征

林窗大小不同,直接影响着林窗内的光照和其它环境条件,进而对树种的生长与更新产生不同的作用<sup>[15]</sup>。木荷林中扩展林窗大小主要集中在 150 m<sup>2</sup> 以内,面积在 50 ~ 100 m<sup>2</sup> 之间的林窗数量最多,占总数的 45.45%,其次是面积在 100 ~ 150 m<sup>2</sup> 之间的林窗,占总数的 27.27% (表 1)。木荷林中各级扩展林窗中,50 ~ 100 m<sup>2</sup> 的扩展林窗所占的比例最大,占 30.31%,其次为 100 ~ 150 m<sup>2</sup> 和 > 200 m<sup>2</sup> 部分,> 200 m<sup>2</sup> 的扩展林窗仅占林窗总数的 13.64%,但其在扩展林窗总面积中则占 28.29%。在所调查的 44 个林窗中扩展林窗的面积最小为 45.54 m<sup>2</sup>,最大为 260.26 m<sup>2</sup>,平均为 112.47 m<sup>2</sup>。可见,各级林窗在整个林分中的比例,不仅取决于其个数,而且取决于各林窗平均面积的大小。

冠层林窗大小主要集中在 100 m<sup>2</sup> 以下,其中以 25 ~ 50 m<sup>2</sup> 的林窗数量最多,占林窗总数的 50.00%,75 ~ 100 m<sup>2</sup> 的林窗所占比例次之,为 22.73%,> 100

$\text{m}^2$  的林窗数量最少,仅为 4.55% (表 1)。在冠层林窗中,按面积百分比计,25 ~ 50  $\text{m}^2$  的林窗所占比例最大(占 36.39%),其次是 75 ~ 100  $\text{m}^2$  林窗(占

34.77%),而 <25  $\text{m}^2$  的林窗仅占 3.38%。在所调查中的 44 个林窗中冠层林窗的面积最小为 17.82  $\text{m}^2$ ,最大为 104.4  $\text{m}^2$ ,平均为 55.07  $\text{m}^2$ 。

表 1 雪灾干扰后木荷林扩展林窗和冠层林窗大小结构特征

扩展林窗等级	0 ~ 50 $\text{m}^2$	50 ~ 100 $\text{m}^2$	100 ~ 150 $\text{m}^2$	150 ~ 200 $\text{m}^2$	> 200 $\text{m}^2$	$\Sigma$
林窗个数/个	2	20	12	4	6	44
数量百分比/%	4.55	45.45	27.27	9.09	13.64	100
面积百分比/%	1.84	30.31	28.29	11.26	28.29	100
冠层林窗等级	0 ~ 25 $\text{m}^2$	25 ~ 50 $\text{m}^2$	50 ~ 75 $\text{m}^2$	75 ~ 100 $\text{m}^2$	> 100 $\text{m}^2$	$\Sigma$
林窗个数/个	4	22	6	10	2	44
数量百分比/%	9.09	50.00	13.64	22.73	4.55	100
面积百分比/%	3.38	36.39	16.83	34.77	8.62	100

### 3.2 雪灾干扰下不同大小林窗木荷幼苗的更新密度

在不同大小林窗中,木荷的更新密度随着林窗面积的增大而呈单峰型变化(图 1)。当林窗面积 < 50  $\text{m}^2$  时,木荷幼苗更新密度较小,随着林窗面积的增大,木荷幼苗、幼树更新密度逐渐增大;当林窗面积达到 76  $\text{m}^2$  时,林窗中更新密度达到最大,之后随着林窗面积的增加更新密度又迅速下降。木荷幼

苗、幼树在小林窗 (< 50  $\text{m}^2$ )、中林窗 (50 ~ 100  $\text{m}^2$ )、大林窗 (> 100  $\text{m}^2$ ) 的平均分布密度分别为 5 678 株  $\cdot \text{hm}^{-2}$ 、9 657 株  $\cdot \text{hm}^{-2}$  和 4 138 株  $\cdot \text{hm}^{-2}$ ,其中在林窗中的分布密度最大。研究区木荷幼苗在林窗内和对照林分中的分布密度分别为 7 708.33 株  $\cdot \text{hm}^{-2}$  和 4 861.11 株  $\cdot \text{hm}^{-2}$ ,分布密度均较大,而木荷幼树在林窗内和对照林分中的分布密度分别是 972.22 株  $\cdot \text{hm}^{-2}$  和 763.89 株  $\cdot \text{hm}^{-2}$ 。

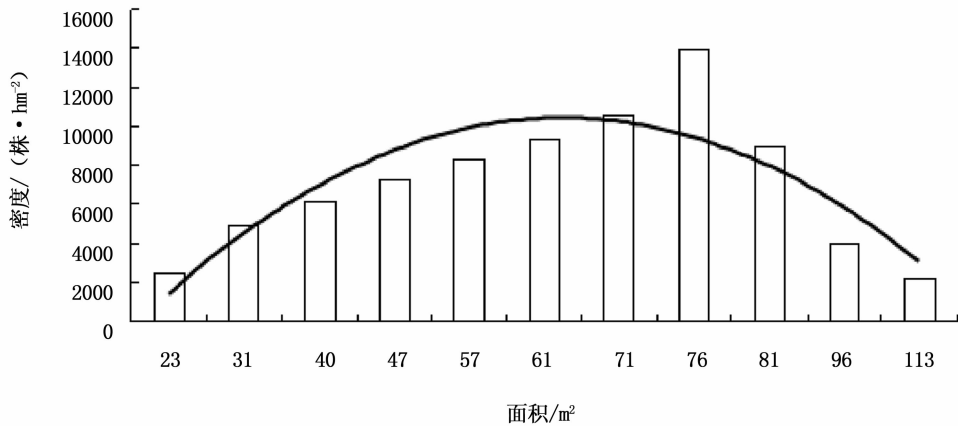


图 1 不同大小林窗中木荷的更新密度

### 3.3 雪灾对不同大小林窗中木荷幼苗高度结构影响

木荷幼苗、幼树在小林窗 (< 50  $\text{m}^2$ )、中林窗 (50 ~ 100  $\text{m}^2$ )、大林窗 (> 100  $\text{m}^2$ ) 的高度分布差异显著(图 2)。小林窗中更新幼苗都以低矮植株 (< 25 cm、25 ~ 50 cm) 为主,且木荷更新幼苗在中林窗、小林窗中均随着高度级的增加更新幼苗数量变少;大林窗中木荷幼苗以中等高度 (50 ~ 75 cm) 的幼树居多,且林窗面积在 100  $\text{m}^2$  以下的中小林窗中,木荷幼苗数量多、生长相对较慢、高度低矮,

而在面积大于 100  $\text{m}^2$  的大林窗中,木荷幼苗生长较快,中等高度的更新幼苗占到一定比例,而木荷幼树在林窗中分布也比林分下数量多,但相互间差异较小。

### 3.4 林窗内外木荷幼苗、幼树的生长差异

木荷幼苗、幼树的平均高度和平均基径在林窗与对照林分中的分布差异显著(表 2)。林窗中木荷幼苗平均高度和地径分别为 35.16 cm 和 5.91 mm,均比对照林分中幼苗的高度 (31.65 cm) 和地径 (5.04 mm) 大;林窗中木荷幼树的平均高度和地径

分别为 150.59 cm 和 16.29 mm,也比对照林分中幼树的高度(104.76 cm)和地径(11.32 mm)大。林窗和对照林分中木荷幼苗的高生长和地径生长差异均

显著( $F = 25.164, P < 0.05; F = 34.982, P < 0.05; n = 440$ ),木荷幼树的高生长和地径生长也有差异( $F = 61.223, P < 0.05; F = 39.763, P < 0.05; n = 54$ )。

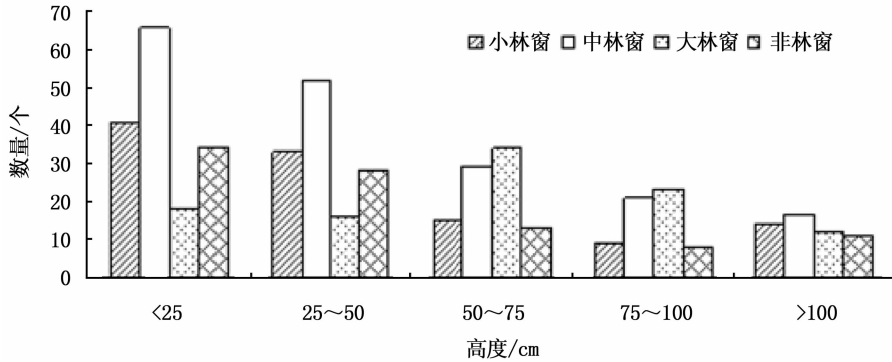


图2 不同大小林窗及非林窗中木荷幼苗、幼树的高度结构

表2 林窗内外木荷幼苗、幼树的高度和径级分布

木荷	林窗		对照林分	
	高度/cm	地径/mm	高度/cm	地径/mm
幼苗	35.16 ± 6.95a	5.91 ± 1.25a	31.65 ± 5.89b	5.04 ± 1.45b
幼树	150.59 ± 22.82a	16.29 ± 5.80a	104.76 ± 14.21b	11.32 ± 4.93b

注:不同小写字母代表林窗和对照林分幼苗、幼树差异显著。

林窗大小对木荷幼苗的高度生长和地径生长有显著性影响(表3)。在中林窗中木荷幼苗的高度和地径分别为 39.65 cm 和 6.34 mm,均高于生长在小林窗和大林窗中的幼苗,且差异均显著( $F = 4.893, P = 0.007; F = 5.203, P = 0.004; n = 357$ )。木荷幼苗在中林窗的地径生长和高度生长均比在小林窗和

大林窗中高,林窗大小对木荷幼树高度生长影响不显著( $F = 1.508, P = 0.14; n = 43$ ),而木荷幼树的地径在不同大小林窗中差异显著( $F = 3.569, P = 0.037; n = 43$ ),木荷幼树的地径在中林窗中比在小林窗和大林窗中大。

表3 木荷幼苗、幼树在不同大小林窗中的生长差异

林窗	幼苗		幼树	
	高度/cm	地径/mm	高度/cm	地径/mm
小林窗	29.34 ± 5.72b	5.37 ± 1.94 a	147.24 ± 24.81a	15.68 ± 4.68a
中林窗	39.65 ± 6.21a	6.34 ± 2.05a	153.23 ± 29.73 a	17.15 ± 5.61a
大林窗	30.28 ± 8.09b	5.25 ± 1.87 a	149.93 ± 26.65a	16.13 ± 5.19a

注:运用 Tukey 检验法对木荷幼苗的高度、基径进行方差分析;不同小写字母表示在 0.05 水平上存在差异,相同小写字母表示不存在差异。

## 4 结论与讨论

### 4.1 雪灾干扰对木荷林窗结构的影响

林窗的大小结构即为不同大小林窗的数量分配状况,是林窗的重要特征,通过对林窗内光照、水分、温度、土壤营养物质等的影响,最终影响到林窗中苗木地上部分和地下部分的生长发育,对树种的生长与更新产生不同的作用<sup>[16]</sup>。本研究中扩展林窗数量最多的是面积在 50~100 m<sup>2</sup> 之间的林窗,占总数的 45.45%,其次是面积在 100~150 m<sup>2</sup> 之间的林

窗,占总数的 27.27%;50~100 m<sup>2</sup> 的扩展林窗所占的比例最大,占 30.31%,其次为面积 100~150 m<sup>2</sup> 和 >200 m<sup>2</sup> 部分,>200 m<sup>2</sup> 的扩展林窗在林窗总数中仅占 13.64%,这与刘庆等<sup>[17]</sup>对云南西北部亚高山针叶林林窗大小研究略有不同,即面积 >100 m<sup>2</sup> 的较大林窗占 24%,面积 50~100 m<sup>2</sup> 的中林窗占 40%,面积 <50 m<sup>2</sup> 的小林窗占 36%。说明雪灾干扰后改变了林窗的大小分布比例,不同林窗大小结构为林木的天然更新提供场所不同<sup>[18]</sup>。刘庆<sup>[19]</sup>也研究表明,林窗的大小分布结构影响幼苗高度和生

长速度,中林窗是长苞冷杉(*Abies georgei* Orr)幼苗更新的适宜面积。因此,不论林窗大小,林窗的大小结构明显影响林窗内的幼苗更新及生长。

林窗面积直接影响林窗内光照状况,进而影响林窗内的温度和湿度;不同大小林窗具有不同的林窗小生境,林窗面积对树木更新有较大的影响,许多树种都需要特定大小的林窗来完成更新<sup>[20]</sup>。本研究调查的44个林窗中扩展林窗的面积最小为45.54 m<sup>2</sup>,最大为260.26 m<sup>2</sup>,平均为112.47 m<sup>2</sup>,而冠层林窗的面积最小为17.82 m<sup>2</sup>,最大为104.4 m<sup>2</sup>,平均为55.07 m<sup>2</sup>。何中声<sup>[21]</sup>对格氏栲(*C. kawakamii* Hayata)天然林林窗研究表明,扩展林窗面积最大为487.42 m<sup>2</sup>,最小为180.66 m<sup>2</sup>,而冠层林窗的面积最小为29.03 m<sup>2</sup>,最大为98.92 m<sup>2</sup>。张志国等<sup>[22]</sup>对天童国家森林公园常绿阔叶林林窗研究中林窗面积最大为664.04 m<sup>2</sup>,最小为46.18 m<sup>2</sup>,平均为137.82 m<sup>2</sup>,其中面积在45~300 m<sup>2</sup>之间的林窗占林窗总面积的80.1%。相比之下,本研究调查得出的林窗面积相对偏小,这可能因为调查时间在雪灾干扰初期,很难有面积较大的林窗,随着雪灾干扰后其它因素如风、病虫害等的共同影响,林窗面积在一定时间内可能有变大的趋势,之后随着树种的更新和填充再不断减小。说明研究适合林木更新的林窗面积的大小,对亚热带典型森林植被灾后恢复与重建及推进森林资源的永续利用具有重要意义。

#### 4.2 雪灾干扰下林窗对木荷更新密度的影响

森林群落中林窗的出现为物种的传播提供了更大的空间,从而更有利于更新。Zhu等<sup>[23]</sup>研究发现,>1年生苗木其密度随着林窗大小的增加而增加,在径高比为1.5的林窗内苗木生长比其它林窗都好,同时在林窗西北边缘苗木的数量最多。本研究中木荷的更新密度随着林窗面积的增大而呈单峰型变化。当林窗面积<50 m<sup>2</sup>时,木荷幼苗更新密度较小,当林窗面积达到76 m<sup>2</sup>时,林窗中更新密度达到最大,之后随着面积的增加迅速下降;木荷幼苗、幼树在中林窗中的分布密度最大。这与刘庆等<sup>[17]</sup>的研究结果一致,即中小林窗中出现大量的云冷杉(*Picea asperata* Mast. + *A. fabric* (Mast.) Craib)幼苗,尤其是<75 m<sup>2</sup>的林窗中单位面积幼苗数量最多,面积>75 m<sup>2</sup>以上的中等偏大林窗和大林窗中幼苗数量明显降低。这可能是因为在<50 m<sup>2</sup>的林窗内,更新环境虽有所改善,但仍受周围大树的影响较大,林冠对光的遮挡以及周围大树根系对水分、养分

的争夺等因素使树种的更新密度不会太大。而面积50~100 m<sup>2</sup>的林窗内,环境条件和资源有效性比林下有明显的改善,从而促进树种的大量更新,同时林窗内的杂草、灌木还不繁茂,对更新幼苗的竞争作用还较小,所以树种的更新密度达到最大。但林窗面积>100 m<sup>2</sup>后,林窗内的环境空间和资源有效性比林下更大,尤其是光照条件十分充足,又使土壤水分下降,不利于种子的发芽及成苗,这对木荷的更新起到了抑制作用,所以随着林窗面积进一步增加,木荷的更新密度却减少。张立杰<sup>[24]</sup>研究表明祁连山青海云杉(*P. crassifolia* Kom.)林的林窗大小与林窗更新密切相关,对林窗植被的密度具有决定性的影响;青海云杉更新幼苗密度以中小林窗较大,随着林窗面积的增大,当面积超过86 m<sup>2</sup>以后,林窗更新密度开始大幅度下降。谭辉等<sup>[25]</sup>研究表明大林窗有利于喜光物种的更新和促进森林结构重组,而小林窗有利于顶级树种或耐荫树种的更新,维持林分结构和年龄的稳定性。因此,林窗面积对林木幼苗更新密度具有重要作用,本研究中雪灾干扰后扩展林窗数量最多的是面积在50~100 m<sup>2</sup>之间的林窗,占总数量的45.45%,在一定程度上利于幼苗更新,具有相对较大的林窗幼苗更新密度,而郁闭度较大的林内或大面积的空地上都不利于更新幼苗的生长。

#### 4.3 雪灾干扰下林窗对木荷生长的影响

林窗为幼苗生长创造了适宜环境,使幼苗和幼树生长得到释放,高生长加快,表明木荷林窗在种子散布与萌发、幼苗生长及种群更新过程中扮演重要角色,对维持天然林物种多样性与稳定性具有重要意义。刘庆等<sup>[17]</sup>研究表明林窗大小对林窗植被的物种多样性、结构、密度分布以及云冷杉的空间分布都有不同程度的影响,云冷杉更新幼苗以中小林窗较多,且在小林窗中呈随机分布,主要分布在林窗中心和过渡区域(共占88%),在大林窗、中林窗中则呈集群分布,主要分布在过渡区域(占44%~50%)。本研究中木荷林中小林窗中更新幼苗都以低矮植株(<25 cm、25~50 cm)为主,幼苗在中小林窗中均表现为随高度级的增加,更新幼苗数量降低。大林窗中木荷幼苗以中等高度(50~75 cm)的幼树居多,说明林窗面积在100 m<sup>2</sup>以下的中小林窗中,木荷幼苗数量多、生长相对较慢、高度低矮,而在面积大于100 m<sup>2</sup>大林窗中,木荷幼苗生长较快,中等高度的更新幼苗占到一定比例。而木荷幼树在林窗中分布也比林分下数量多,但相互间差异不大。

鲜骏仁等<sup>[26]</sup>研究表明林窗内幼苗的密度(12 903 株·hm<sup>-2</sup>)和平均高度(26.6 cm)均大于非林窗幼苗密度(2 017 株·hm<sup>-2</sup>)和高度(24.3 cm)。何中声<sup>[21]</sup>研究表明当格氏栲幼苗高度达到100~150 cm后,其所面临的竞争强度逐渐减少,林窗内充足的光照条件则进一步促进林窗格氏栲幼苗、幼树生长;非林窗缺乏充足的光照条件,导致格氏栲幼苗、幼树生长缓慢,尽管所面临的竞争逐渐减少,但生长缓慢难以达到林冠层,不利于其种群更新。

林窗幼苗动态是森林群落动态和森林更新的一个重要环节,有研究表明林窗形成的干扰环境有利于幼苗的生产,这可能与林窗形成初期的优越光环境和林隙内较小竞争的小环境条件有关<sup>[20]</sup>。本研究中木荷幼苗在林窗的平均树高和基径分别为35.16 cm和5.91 mm,均比对照林分中幼苗的高度(31.65 cm)和地径(5.04 mm)大;木荷幼树在林窗中的平均树高和地径分别为150.59 cm和16.29 mm,也比在对照林分中幼树的高度(104.76 cm)和地径(11.32 mm)大。这与刘庆<sup>[19]</sup>的研究结果类似,即林窗由小到大,单位面积内的自然更新苗木数量逐渐增加,大林窗中更新苗为小林窗的1.5倍左右,而林下的更新苗很少;中林窗内的幼苗,高度最大、生长最快,小林窗次之,大林窗和林下幼苗个体最小,生长最慢。

总之,林窗干扰对林内小环境条件的影响,不仅表现在因林窗大小不同而导致林窗小环境条件的差异,而且在林窗内的中心、过渡区域和林缘带等不同位置上,微生境条件也同样具有差异,从而影响木荷更新苗的分布和生长。

## 参考文献:

- [1] 王家华,李建东. 林窗研究进展[J]. 世界林业研究, 2006, 19(1): 27-30
- [2] 班勇. 自然干扰与森林林冠孔隙动态[J]. 生态学杂志, 1996, 15(3): 43-49
- [3] 吴宁. 贡嘎山东坡亚高山针叶林的林窗动态研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(3): 228-237
- [4] Zhou B Z, Gu L H, Ding Y H, *et al.* The great 2008 Chinese ice storm its socioeconomic-ecological impact and sustainability lessons learned [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2011, 91(1): 47-60
- [5] 李晓靖,周本智,曹永慧,等. 南方雪灾灾后受木荷萌枝光合生理特性[J]. 生态学杂志, 2011, 30(12): 2753-2760
- [6] 徐涵涓,丁九敏,刘胜,等. 雪灾对武夷山毛竹林凋落物分解动态的影响[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2010, 34(3): 131-135
- [7] 丁九敏,卜晓莉,刘胜,等. 2008年雪灾对武夷山毛竹林土壤微生物生物量氮和可溶性氮的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(3): 517-522
- [8] 霍常富,赵晓敏,鲁旭阳,等. 林窗模型研究进展[J]. 世界林业研究, 2009, 22(6): 43-48
- [9] 刘文杰,李庆军,张光明,等. 西双版纳望天树林林窗小气候特征研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 356-361
- [10] 何中声,刘金福,郑世群,等. 林窗对格氏栲天然林更新层物种多样性和稳定性的影响[J]. 植物科学学报, 2012, 30(2): 133-140
- [11] 张希彪,王瑞娟,周天林,等. 黄土丘陵区油松天然次生林林窗特征与更新动态[J]. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2103-2108
- [12] 韩文娟,袁晓青,张文辉. 油松人工林林窗对幼苗天然更新的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(11): 2940-2948
- [13] 祁承经,汤庚国. 树木学(南方版)[M]. 北京:中国林业出版社, 2005
- [14] Runkle J R. Gap regeneration in some old-growth forest of the eastern United States[J]. *Ecology*, 1981, 62(4): 1041-1051
- [15] Canham C D, Denslow J S, Platt W J, *et al.* Light regimes beneath closed canopies and tree-fall gaps in temperate and tropical forests [J]. *Canadian Journal Forest Research*, 1990, 20(5): 620-631
- [16] Watt A S. Pattern and process in the plant community[J]. *Journal of Ecology*, 1947, 35(1/2): 1-22
- [17] 刘庆,吴彦. 滇西北亚高山针叶林林窗大小与更新的初步分析[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(5): 453-459
- [18] 李永兵,王辉,付菁. 子午岭辽东栎林林窗主要树种更新生态位[J]. 生态学杂志, 2008, 27(12): 2062-2066
- [19] 刘庆. 林窗对长苞冷杉自然更新幼苗存活和生长的影响[J]. 植物生态学报, 2004, 28(2): 204-209
- [20] 陶建平,臧润国. 海南霸王岭热带山地雨林林隙幼苗库动态规律研究[J]. 林业科学, 2004, 40(3): 33-38
- [21] 何中声. 格氏栲天然林林窗微环境特征及幼苗更新动态研究[D]. 福州:福建农林大学, 2012
- [22] 张志国,马遵平,刘何铭,等. 天童常绿阔叶林林窗的地形分布格局[J]. 应用生态学报, 2013, 24(3): 621-625
- [23] Zhu J J, Matsuzaki T, Lee F O, *et al.* Effect of gap size created by thinning on seedling emergency, survival and establishment in coastal pine forest [J]. *Forest Ecology and Management*, 2003, 182(1-3): 339-354
- [24] 张立杰. 祁连山青海云杉林窗特征及更新特点的研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2006
- [25] 谭辉,朱教君,康宏樟,等. 林窗干扰研究[J]. 生态学杂志, 2007, 26(4): 587-594
- [26] 鲜骏仁,胡庭兴,张远彬,等. 林窗对川西亚高山岷江冷杉幼苗生物量及其分配格局的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(4): 721-727