

南亚热带山地常绿阔叶林林隙及其自然干扰特征研究*

Gaps and Their natural Disturbance Regimes in the South Subtropical Montane Evergreen Broadleaved Forest

温远光**,林建勇,朱宏光,周晓果,叶 铎,王 磊

WEN Yuan-guang, LIN Jian-yong, 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 85 个林隙的调查,了解南亚热带山地常绿阔叶林林隙的基本特征和自然干扰规律。【方法】在大明山 3.2hm²永久样地内仔细寻找每一个林隙,记录林隙形成木的种类,测量其胸径和高度,判断林隙形成木和林隙的年龄,绘制树冠投影图。【结果】扩展林隙(EG)和冠空隙(CG)在南亚热带山地常绿阔叶林中的面积比例分别为 71.70%和 52.90%,干扰频率分别为 1.793%·a⁻¹和 1.323%·a⁻¹,林隙干扰的返回间隔期约为 76a。南亚热带山地常绿阔叶林中,由树木翻兜形成的林隙最为普遍,占 51.88%,其次是干中折断而形成的,占 37.88%。林隙大多由 0~1 株树木形成,平均每个林隙拥有形成木 3.45 株。EG 的大小多在 200~600m²,其中以 200~300m²者所占的面积比例最大(占 56.47%);CG 的大小多在 200m²以下,以 100~200m²者所占的面积比例最大(占 37.65%)。大部分林隙是在 2 年前形成的,占 68.40%。林隙形成木种类超过 42 种,主要是云贵山茉莉(*Huodendron biaristatum*)、罗浮槭(*Acer fabri*)、栓皮木姜子(*Litsea suberosa*)、百色猴欢喜(*Sloanea chingiana*)、刨花润楠(*Machilus pauhoi*)、天目紫茎(*Stewartia gemmata*)、糙皮桦(*Betula utilis*)和罗浮柿(*Diospyros morrisiana*),占形成木个体数的 68.51%。林隙形成木分布最多的径级在 15~20cm。【结论】南亚热带山地常绿阔叶林林隙特征不同于热带山地雨林,也与南亚热带低地的常绿阔叶林存在显著区别。2008 年特大冰冻干扰是造成大明山山地常绿阔叶林林隙分异的主要因素。

关键词:南亚热带 山地常绿阔叶林 林隙 自然干扰 冰冻灾害 大明山

中图分类号:Q145 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2014)05-0447-07

Abstract:【Objective】Through field investigation of 85 gaps in 3.2hm² permanent plots of the south subtropical montane evergreen broadleaved forest in Damingshan Nature Reserve of Guangxi Province, this paper deals with gap characteristics and their natural disturbance regimes in south subtropical montane evergreen broadleaved forest of Guangxi Province.【Methods】Every gap in 3.2hm² permanent plots of the south subtropical montane evergreen broadleaved forest was carefully investigated. Tree species, DBH (diameter at breast height) and height were recorded in the gaps, and then the age was determined for both the trees growing in gaps and the gap-formation. Finally, the canopy coverage picture was drawn.【Results】The area percentage of expanded gap (EG) and canopy gap (CG) in the forest landscape is 71.70% and 52.90%, respectively. The natural disturbance frequency for EG and CG is 1.793%·a⁻¹ and 1.323%·a⁻¹, respectively, and the return interval of canopy gaps is about 76a. The most popular manner of gap formation in the forest was up-roots (51.88% of the total), and the second one was breakage on trunk (37.88%). Most gaps were formed by zero and one tree, averaging 3.45 trees per gap. The size of most EG was in the

收稿日期:2014-07-20

作者简介:温远光(1957-),男,博士,教授,主要从事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。

range of 200~600m², and the gaps of 200~300m² occupied the biggest percentage in area (56.47% of the total). The size of most CG was under 200m², and the gaps of 100~200m² had the biggest percentage in area (37.65% of the total). Most of the gaps were formed 2 years ago (68.40% of the total). Over 42 wood species were found in gaps, of which dominant species were *Huodendron biaristatum*, *Acer fabri*, *Litsea suberosa*, *Sloanea chingiana*, *Machilus pauhoi*, *Stewartia gemmata*, *Betula utilis* and *Diospyros morrisiana*, and their individuals occupied 68.51% of the total ones. The DBH of most trees growing in gaps was 15~20cm. **【Conclusion】**The gap characteristics and their natural disturbance regimes in south subtropical montane evergreen broadleaved forest in Damingshan Nature Reserve revealed significant difference with those in tropical montane rain forest of Hainan Island and the south subtropical evergreen broadleaved forest in Heishiding Reserve of Guangdong Province, and a severe ice storm damage in 2008 was a main cause.

Key words: south subtropical, montane evergreen broadleaved forest, gaps, natural disturbance, ice storm damage, Daming Mountain

【研究意义】林隙是森林中由于林冠层树木的死亡导致森林中出现的森林空隙^[1]。林隙包括冠空隙(指直接处于林冠层空隙下的森林空间, canopy gap, CG)和扩展林隙(指由冠空隙边缘树木的树干所围成的林地空间, expanded gap, EG)^[2]。虽然林隙干扰属于小尺度干扰,但在森林群落更新、演替和物种多样性维持中具有重要的作用^[3~5]。林隙及其干扰特征是了解森林群落动态变化规律的第一步,也是合理经营森林的重要理论基础^[3]。**【前人研究进展】**自1947年英国生态学家 A. S. WATT 提出“林隙”概念以来,国外学者对不同类型森林生态系统的林隙特征、动态和干扰体系开展了大量的研究^[4~8],逐步清楚地认识到森林是一个动态的平衡系统,全球气候变化正在加剧森林林隙的动态变化^[8]。我国的林隙研究工作起步较晚,但已经引起众多学者的广泛关注,特别是近20a来,林隙研究已成为森林生态系统研究与管理的热点。目前,在温带红松阔叶林和针阔混交林^[9,10]、亚高山暗针叶林^[11]、南亚热带季风常绿阔叶林^[12]、中亚热带常绿阔叶林^[13]、亚热带喀斯特森林^[14]、亚热带常绿落叶阔叶混交林^[15]和热带山地雨林^[16]等类型都有一些研究,但有关南亚热带山地常绿阔叶林林隙干扰特征的研究尚未见报道。**【本研究切入点】**在全球气候变化的背景下,林隙干扰的频率和间隔期都将发生改变^[17,18]。本文通过对大明山山地常绿阔叶林 3.2hm² 永久样地的调查,了解此类森林的自然变化规律,阐明百年不遇的特大冰冻干扰对其林隙特征及自然干扰体系的影响。**【拟解决的关键问题】**探讨南亚热带山地常绿阔叶林林隙特征和动态变化规律及其对全球气候变化的响应。

1 研究地点概况及研究方法

1.1 概况

调查地点设在大明山国家级自然保护区天坪站,

橄榄峡谷北坡的原生性常绿阔叶林内,样地位于 23°30'06"N, 108°25'44"E, 属南亚热带季风气候区。根据大明山天坪气象观测站观测记录,其年均温度为 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^[19]。土壤为山地黄壤, 坡度在 20~45°, 土层薄, 地面覆盖大量的巨石和石块, 估计是 100~200 年前山体崩塌所致^[20]。调查地点主要以云贵山茉莉 (*Huodendron biaristatum*)、罗浮槭 (*Acer fabri*)、栓皮木姜子 (*Litsea suberosa*)、刨花润楠 (*Machilus pauhoi*)、天目紫茎 (*Stewartia gemmata*)、糙皮桦 (*Betula utilis*) 和罗浮柿 (*Diospyros morrisiana*) 等为优势的南亚热带山地常绿阔叶林群落。

1.2 研究方法

1.2.1 样地构建

2009 年,按照大样地构建技术和中国生物多样性监测网络统一的调查方法,在大明山国家级自然保护区橄榄峡谷北坡采用全站仪将 3.2hm² 样地划分出 80 个 20m×20m 的样方,再把每个 20m×20m 的样方划分成 4 个 10m×10m 和 16 个 5m×5m 的小样方,每个 20m×20m 或 10m×10m 的样方的 4 个角用 PVC 管作永久标记。以 5m×5m 小样方为基本测树单元,挂铝牌标记每个 DBH≥1.0cm 的木本植物。

1.2.2 林隙计算方法

2010 年,在 3.2hm² 永久样地内仔细寻找每一个林隙,记录林隙边界木的牌号,根据树木坐标在坐标纸上作图,并对每棵树木做树冠投影图。辨认林隙形成木的种类,测量其胸径和高度,估计林隙的年龄。林隙年龄估计的依据是:20a 来多次的样地调查资

料、林木采伐后树干的腐烂分解情况(一般 40a 能全部分解)以及询问林区有经验的技术人员。林隙形成的原因取决于林隙形成木发生的干扰类型,如冰冻灾害、风灾、病虫害等,将林隙形成木死亡方式及划分标准定义为:枯立(高度 $H_s \geq 10\text{m}$)、干基折断($H_s < 2\text{m}$)、干中折断($2 \leq H_s < 10\text{m}$)和翻斃(树木在倒下后连根拔起)。根据样地内每棵树木的坐标和树冠投影图,采用坐标方格纸绘制出扩展林隙的多边形平面图,依据多边平面图和树冠投影图精确计算 CG 和 EG 的面积,EG 大小根据边界木基部围成的多边形平面图计算,CG 大小根据林隙边界木树冠投影图的空隙计算。这样,在永久样地共调查到林隙 85 个。根据这些数据就可以对山地常绿阔叶林的林隙干扰规律进行分析。

2 结果与分析

2.1 林隙在森林景观中所占比例及干扰频率

在大明山常绿阔叶林 3.2hm² 永久样地中,共出现了 85 个林隙,由此可推算出山地常绿阔叶林中林隙出现的密度为 $85/3.2 = 26.56$ 个/hm²。样地内 85 个林隙按 EG 计算的总面积为 $A_{EG} = 22947.5\text{m}^2$,按 CG 计算的总面积为 $A_{CG} = 16940\text{m}^2$,由此推算出 EG 和 CG 在山地常绿阔叶林景观中所占的面积比例分别为 71.70% 和 52.90%。无论是按扩展林隙还是冠空隙的概念,林隙在大明山山地常绿阔叶林景观中均占有半数以上的面积,表明林隙是山地常绿阔叶林重要的组成部分。

在调查的 85 个林隙中,有 79 个林隙可以判断年龄,另外 6 个林隙由于形成于岩石沟谷或裸露的巨石上,难以确定林隙年龄。我们估计大明山山地常绿阔叶林林隙最大的形成年龄在 40a 左右,如果以 40a 为基准计算林隙的形成速率,则为 $85/3.2/40 = 0.66$ 个/hm² · a。从面积来看,EG 的形成速率为 $22947.5/(40 \times 3.2) = 179.28\text{m}^2/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$,CG 的形成速率为 $16940/(40 \times 3.2) = 132.34\text{m}^2/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$,即在大明山山地常绿阔叶林中,每年每公顷森林中约有 179.28m² 的土地面积变为 EG,有 132.34m² 的林冠变为 CG。从面积的百分比来看,EG 的形成速率为 $R_{EG} = 71.70\%/40 = 1.793\% \cdot \text{a}^{-1}$,CG 的形成速率为 $R_{CG} = 52.90\%/40 = 1.323\% \cdot \text{a}^{-1}$ 。根据 CG 的干扰频率,则可计算出大明山山地常绿阔叶林林隙的周转率或返回间隔期为 $RI = 1/R_{CG} = 1/1.323\% \approx 76\text{a}$ 。也就是说大明山山地常绿阔叶林中的任何一点大约 76a 经历一个次干扰。

2.2 林隙的大小结构

以所调查到的 85 个林隙为基础,统计出 EG 和 CG 的大小结构如图 1。从图 1 可以看出,在大明山山地常绿阔叶林中,EG 的变化范围在 67~1149m²,平均值为 269.97m²,大多数 EG 的面积在 200~300m²,占 56.47%,400~600m² 的占 22.35%,<100m² 的 EG 占 14.12%,>800m² 的 EG 很少。调查中我们发现一个特大型林隙,面积达 1149m²,属于大型干扰的范围^[21]。从 CG 来看,大明山山地常绿阔叶林中有个别小于 30m² 的 CG,缺乏 1000m² 以上的 CG,平均值为 199.30m²,大多数的 CG 面积为 200m² 以下,占 68.24%。

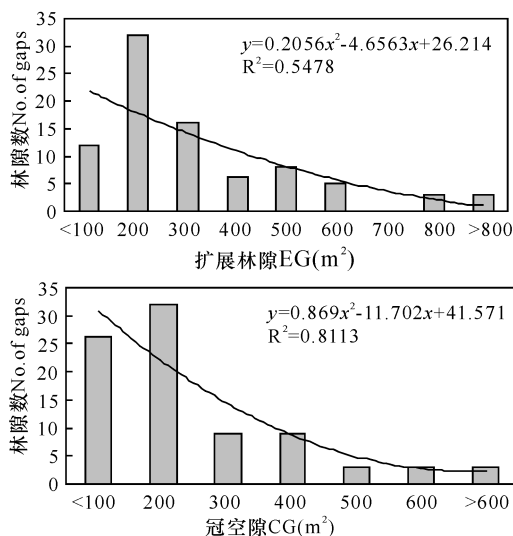


图 1 扩展林隙(EG)和冠空隙(CG)的大小结构

Fig. 1 Size structure of expanded gap (EG) and canopy gap (CG)

2.3 林隙的年龄结构

林隙的年龄是反映林隙动态和林隙更新的重要参数^[22]。在大明山 3.2hm² 样地内的 85 个林隙中,有 79 个林隙可以判断年龄,其余 6 个林隙难以确定林隙年龄。故按 79 个林隙分析林隙的年龄结构,结果显示,大明山山地常绿阔叶林林隙的年龄为 1~40a,其中年龄小于 2a 的有 54 个林隙,占 68.4%;林隙年龄为 2~10a 的有 11 个,占 13.92%,林隙年龄为 10~20a 和 20~40a 的均为 7 个,各占 8.86%。由此可见,2008 年发生的特大冰冻灾害对大明山山地常绿阔叶林林隙产生了极其严重的影响。

2.4 林隙形成木的种类组成和数量

大明山 3.2hm² 样地林隙形成木的种类组成见表 1。由表 1 可知,在 293 个林隙形成木个体中,尚有 112 个个体无法鉴定到种。在已鉴定的 181 个个体中,形成木种类为 42 种,其中数量最多的是云贵山茉莉,占已鉴定个体的 24.86%,其次为罗浮槭、栓皮木

姜子和百色猴欢喜,其比例分别为 12.71%,7.71%和 6.08%,这些物种都是群落中的优势种。林隙中大多数种类仅有 1~2 株个体,这些种类共有 26 种,占已鉴定种类数的 61.90%。

表 1 林隙形成木的种类组成和比例

Table 1 Number and percentage of wood species in gaps

| 序号 No. | 种名 Species | 个体数 Individuals | 比例/ Percentage (%) |
|-----------|--|--------------------|--------------------------|
| 1 | 云贵山茱萸 <i>Huodendron biaristatum</i> | 45 | 24.86 |
| 2 | 罗浮槭 <i>Acer fabri</i> | 23 | 12.71 |
| 3 | 栓皮木姜子 <i>Litsea suberosa</i> | 14 | 7.73 |
| 4 | 百色猴欢喜 <i>Sloanea chingiana</i> | 11 | 6.08 |
| 5 | 刨花润楠 <i>Machilus pauhoi</i> | 8 | 4.42 |
| 6 | 天目紫茎 <i>Stewartia gemmata</i> | 8 | 4.42 |
| 7 | 糙皮桦 <i>Betula utilis</i> | 8 | 4.42 |
| 8 | 罗浮柿 <i>Diospyros morrisiana</i> | 7 | 3.87 |
| 9 | 黄杞 <i>Engelhardtia roxburghiana</i> | 4 | 2.21 |
| 10 | 罗浮栲 <i>Castanopsis fabri</i> | 4 | 2.21 |
| 11 | 深山含笑 <i>Michelia maudiae</i> | 4 | 2.21 |
| 12 | 冬桃 <i>Elaeocarpus duclouxii</i> | 3 | 1.66 |
| 13 | 拟赤杨 <i>Alniphyllum fortunei</i> | 3 | 1.66 |
| 14 | 榕叶冬青 <i>Ilex ficoidea</i> | 3 | 1.66 |
| 15 | 薯豆杜英 <i>Elaeocarpus japonicus</i> | 3 | 1.66 |
| 16 | 阴香 <i>Cinnamomum burmannii</i> | 3 | 1.66 |
| 17 | 贵州木瓜红 <i>Rehderodendron kweichowense</i> | 2 | 1.10 |
| 18 | 脉叶虎皮楠 <i>Daphniphyllum paxianum</i> | 2 | 1.10 |
| 19 | 山胡椒 <i>Lindera glauca</i> | 2 | 1.10 |
| 20 | 网脉琼楠 <i>Beilschmiedia tsangii</i> | 2 | 1.10 |
| 21 | 阿丁枫 <i>Altingia chinensis</i> | 1 | 0.55 |
| 22 | 白叶安息香 <i>Styrax tonkinensis</i> | 1 | 0.55 |
| 23 | 长序虎皮楠 <i>Daphniphyllum longeraemosum</i> | 1 | 0.55 |
| 24 | 饭甗青冈 <i>Cyclobalanopsis fleuryi</i> | 1 | 0.55 |
| 25 | 桂南木莲 <i>Manglietia chingii</i> | 1 | 0.55 |
| 26 | 红淡比 <i>Cleyera japonica</i> | 1 | 0.55 |
| 27 | 厚叶红淡比 <i>Cleyera pachyphylla</i> | 1 | 0.55 |
| 28 | 华南石栎 <i>Lithocarpus fenestratus</i> | 1 | 0.55 |
| 29 | 黄丹木姜子 <i>Litsea elongata</i> | 1 | 0.55 |
| 30 | 罗汉松 <i>Podocarpus macrophyllus</i> | 1 | 0.55 |
| 31 | 毛狗骨柴 <i>Diplospora fruticosa</i> | 1 | 0.55 |
| 32 | 毛折柄茶 <i>Hartia villosa</i> | 1 | 0.55 |
| 33 | 木油桐 <i>Vernicia montana</i> | 1 | 0.55 |
| 34 | 疏脉山香圆 <i>Turpinia indochinensis</i> | 1 | 0.55 |
| 35 | 甜锥 <i>Castanopsis eyrei</i> | 1 | 0.55 |
| 36 | 杨梅叶蚊母树 <i>Distylium myricoides</i> | 1 | 0.55 |
| 37 | 狭叶阴香 <i>Cinnamomum burmannii f. heyneanum</i> | 1 | 0.55 |
| 38 | 腺叶杜英 <i>Elaeocarpus argenteus</i> | 1 | 0.55 |
| 39 | 香楠 <i>Adina canthioides</i> | 1 | 0.55 |
| 40 | 小果冬青 <i>Ilex micrococca</i> | 1 | 0.55 |
| 41 | 小花红花荷 <i>Rhodoleia parvipetala</i> | 1 | 0.55 |
| 42 | 野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i> | 1 | 0.55 |
| | 已鉴定 Identified | 181 | 100.00 |
| | 未鉴定 Not identified | 112 | |
| | 形成木总数 Sum of wood | 293 | |

由图 2 可知,在大明山山地常绿阔叶林中,形成或创造一个林隙的形成木数量变化在 0~22 株,以 1 株形成木林隙最多,达 21 个,占调查林隙总数的 24.71%;其次是由 0 个形成木创造的林隙(有 16 个),占调查林隙总数的 18.82%;由 2 个和 3 个形成木形成的林隙分别有 9 个和 10 个,各占 10.59%和 11.76%;由 4 个和 5 个形成木形成的林隙各有 6 个,分别占 7.06%;由 6~9 个形成木形成的林隙有 12 个,占调查林隙总数的 14.14%;由 10 个以上形成木形成的林隙有 5 个,占 5.88%。

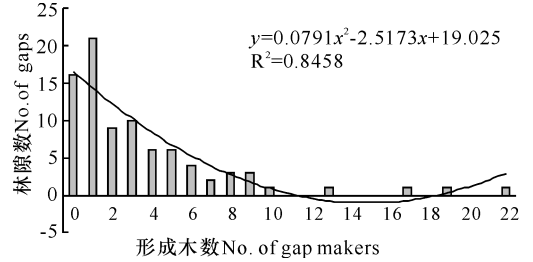


图 2 形成一个林隙的形成木数量分布

Fig. 2 Distribution of gap makers forming a gap

2.5 林隙形成木的径级结构

以 5cm 为一个径级分析林隙形成木的径级结构(图 3),结果表明,在 293 株林隙形成木中,胸径范围为 6.9~75.0cm,以 15~20cm 径级的个体最多,占总形成木数量的 24.5%,其次为 10~15cm 和 20~25cm,分别为 18.5%和 12.9%,胸径大于 40cm 的大径级形成木只占 13.6%。

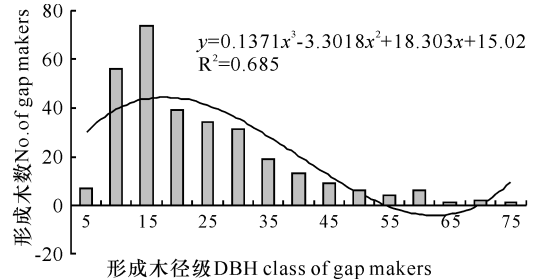


图 3 林隙形成木的径级分布

Fig. 3 Distribution of DBH class of gap makers

2.6 林隙形成木的死亡形式与林隙的形成方式

对调查到的 293 株林隙形成木的死亡形式进行统计,结果如图 4 和图 5。从图 4 和图 5 可以看出,大明山山地常绿阔叶林林隙形成木以翻斃最多,占形成木总数的 51.88%,其次为干中折断,占 37.88%,而干基折断和枯立很少,分别占 3.75%和 6.48%。不同径级林隙形成木的死亡形式有所不同,DBH<15cm 的形成木为翻斃(74.55%)>干中折断(16.36%)>干基折断(7.27%)>枯立(1.82%),DBH 为 15~30cm 的中径木表现为干基折断(50.00%)>翻斃(44.44%)>枯立(4.17%)>干中

折断(1.39%),而 DBH>30cm 的大径木则为翻兜(50.00%)>干中折断(31.91%)>枯立(12.77%)>干中折断(5.32%)(图 5)。

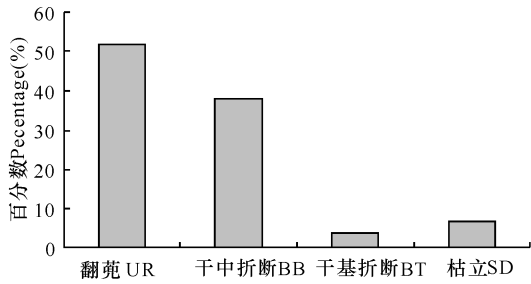


图 4 林隙形成木的死亡形式比较

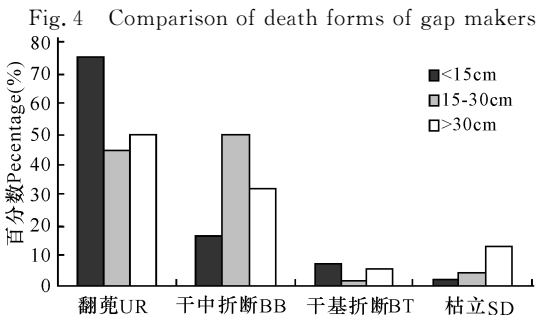


图 5 不同径级林隙形成木的死亡形式比较

Fig. 5 Comparison of death forms of gap makers in different DBH class

调查表明,大明山山地常绿阔叶林林隙多由不同形式死亡的混合形式形成。对所调查的 85 个林隙的形成方式统计的结果表明,大明山山地常绿阔叶林的林隙可由翻兜、干中折断、干基折断和枯立 4 种形式形成,也可由它们的不同组合而形成(表 2),就其原

表 2 大明山森林林隙形成原因

Table 2 Formation reasons of gaps in Damingshan forest

| 形成原因 Reasons | 林隙数量 No. of gaps(个) | 比例 Percentage(%) |
|-------------------|------------------------|---------------------|
| I | 1 | 1.18 |
| II | 7 | 8.24 |
| IV | 1 | 1.18 |
| I + II | 28 | 32.94 |
| I + II + III | 9 | 10.59 |
| I + II + III + IV | 1 | 1.18 |
| I + II + IV | 9 | 10.59 |
| I + II + IV | 3 | 3.53 |
| I + II + IV | 13 | 15.29 |
| I + III | 1 | 1.18 |
| II + III | 2 | 2.35 |
| II + IV | 9 | 10.59 |
| IV | 1 | 1.18 |
| 合计 Total | 85 | 100.00 |

注: I~IV 表示林隙的形成原因; I, 冰冻灾害导致的形成木, II, 冰冻灾害边界木树冠幅受损, III, 病虫害导致的形成木, IV, 其它原因。

Notes: I~IV indicate the reasons for gap-formation. I, Ice storm damage; II, Canopy damage at the edge of damage induced by the ice storm; III, Damages induced by diseases and pests; IV, Other reasons.

因,冰冻灾害引起的翻兜在林隙的形成中所占的比例最大,占调查林隙数的 56.47%,其次是冰冻灾害中边界木树冠受损,占 14.12%,病虫害引起的林隙比例最小,只占 5.88%,其它原因(如林地上有巨石),引起的林隙比例占 23.53%。

3 讨论

3.1 EG 和 CG 的大小与比例

研究表明,广东黑石顶自然保护区亚热带常绿阔叶林中 EG 的平均值为 192.13m²,而 CG 的平均值为 66.00m²[12];在海南岛热带山地雨林中,EG 和 CG 的平均值分别为 160m²和 80m²[16]。而本研究表明,广西大明山亚热带山地常绿阔叶林中 EG 的平均值为 269.97m²,CG 的平均值为 199.30m²,远大于黑石顶常绿阔叶林和海南岛热带山地雨林,但居大多数热带森林的 CG 平均范围(80~600m²)内[23]。林隙面积在大明山山地常绿阔叶林中占有很大的比例,其 EG 和 CG 在山地常绿阔叶林景观中所占的面积比例分别为 71.70%和 52.90%,CG 和 EG 的面积比例为 73.82%,也远高于海南岛热带山地雨林(47.12%)的水平[16]。大明山山地常绿阔叶林如此高的 CG 与 EG 比例,其主要原因是 2008 年的特大冰冻灾害使林隙边界木树冠幅严重受损,导致冠空隙面积增大。

3.2 EG 和 CG 的形成速率与林隙的返回间隔期

国外学者对世界不同地区森林计算出林隙的干扰频率大约是在 0.5~2.0%·a⁻¹,自然干扰的返回间隔期为 50~300a,热带林中林隙干扰的返回间隔期是 60~416a [23]。本研究表明,大明山亚热带山地常绿阔叶林的 EG 的形成速率为 1.793%·a⁻¹,CG 的形成速率为 1.323%·a⁻¹,林隙的返回间隔期约 76a,这个干扰频率是长白山红松林区林隙干扰频率的 8.82 倍[9]、热带山地雨林的 2.10 倍[16]。大明山山地常绿阔叶林中较短的返回间隔期和较快的干扰频率,说明山地常绿阔叶林中存在着快速的森林循环过程,这可能与全球气候变化加剧,导致极端气候事件频发多变影响有关。

3.3 林隙的年龄结构与大小结构

大明山亚热带山地常绿阔叶林林隙的年龄结构呈现明显的年轻化,有 68.4%的林隙年龄小于 2a,86.3%的林隙形成木产生于前两年(2008 年)的特大冰冻灾害。这比海南岛热带山地雨林的林隙年龄结构偏小 10~15 倍[16]。在大明山山地常绿阔叶林 293 株林隙形成木中,以 15~20cm 径级的个体最多,比亚热带常绿阔叶林的偏小[12]。大明山亚热带山

地常绿阔叶林林隙的年龄结构和大小结构较小与2008年特大冰冻灾害造成的大量中、小径级林木死亡有关。

3.4 林隙形成木的种类和数量

大明山山地常绿阔叶林中林隙形成木种类在42种以上,其中数量较多的是云贵山茉莉、罗浮槭、栓皮木姜子、百色猴欢喜、刨花润楠、天目紫茎、糙皮桦和罗浮柿,这8个树种只占形成木种类数的19.05%,但已占形成木个体数的68.51%。这些林隙形成木种类都是当地森林的优势种,主要分布在森林的中上层,受冰冻灾害影响最严重,更易成为林隙的形成木。其它34个树种只是零星出现,其中22个树种只有1个个体。这类形成木种类多属森林中、下层的树种,这些树种的死亡原因可能是上层形成木倒伏或折干的打压所致。大明山山地常绿阔叶林中,大多数的林隙是由0~3株形成木所创造的。这与海南岛热带山地雨林、南亚热带常绿阔叶林和东北阔叶红松林中都是以2株形成木形成的林隙最多^[9,16]的情况有所不同。大明山山地常绿阔叶林中则以0~1株形成木形成的林隙最多。这是由于大明山山地坡陡,以及2008年特大冰冻干扰使许多林木的树冠损失严重,从而形成了没有林隙形成木的林隙。

3.5 林隙形成木的死亡形式与林隙成因

林隙形成木的死亡形式和致隙原因多种多样。刘静艳等^[12]的综合分析发现,从林隙的形成方式的比例来看,热带和亚热带森林中以折干方式形成的林隙最多,而在温带森林中则是以掘根方式形成的林隙最多;而且从温带、亚热带到热带,干中折断的比例呈增加的趋势,即由温带的1.6%,亚热带的24.41%,到热带的32.47%。他们认为,这种林隙形成方式的地带性差异,可能主要与各森林所处的自然气候条件有很大的关系,热带和亚热带大风,特别是台风出现的频率和强度都远大于温带,所以树木被折断的比例就增大,而其中热带大风的频率和强度又大于亚热带,所以热带森林中折干的比例就更大^[12]。这可能是以风灾为主的地区表现出的规律。而在本研究中,情况显有不同。大明山山地森林的林隙以翻斃为主,占形成木总数的51.88%,其次为干中折断,占37.88%,而干基折断和枯立很少,分别占3.75%和6.48%。大明山虽处南亚热带,但由于海拔较高,雾凇形成的冰冻(结冰)干扰是促使树木死亡形成林隙的重要自然因素。当冻雨和雾凇形成时,在树枝、树干上结冰,并不断积累加厚、加重,最后导致树冠过重,引起树枝、树干断裂或翻斃等^[24]。加之研究样地位于橄榄河峡谷,坡度陡峭(20~45°),土层浅薄,植

物根系难以承受冰凌的重压,因此树木更容易发生翻斃。大明山森林木中折断的比例很高,也是树冠被冰凌重压折断所致。因此,2008年的特大冰冻灾害是导致林隙大量形成的最主要原因。随着全球气候变化的加剧,极端气候事件的频发多变,南亚热带山地常绿阔叶林林隙的动态变化将更加明显。

参考文献:

- [1] Watt A S. Pattern and process in the plant community [J]. *Journal of Ecology*, 1947, 35: 1-22.
- [2] Runkle J R. Patterns of disturbance in some old-growth mesic forests of eastern North America [J]. *Ecology*, 1982, 63: 1533-1546.
- [3] 臧润国, 刘静艳, 董大方. 林隙动态与森林生物多样性 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
Zang R G, Liu J Y, Dong D F. Gap Dynamics and Forest Biodiversity [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1999.
- [4] Denslow J S. Disturbance and diversity in tropical rain forest [J]. *Ecological Application*, 1995, 5(4): 962-968.
- [5] Yavitt J B, Battle J J, Lang G E, et al. The canopy gap regime in a secondary neotropical forest in Panama [J]. *Journal of Tropical Ecology*, 1995, 11: 391-402.
- [6] Huth F, Wagner S. Gap structure and establishment of Silver birch regeneration (*Betula pendula* Roth.) in Norway spruce stands (*Picea abies* L Karst) [J]. *Forest Ecology and Management*, 2006, 229: 314-324.
- [7] d'Oliveira M V N, Ribas L A. Forest regeneration in artificial gaps twelve years after canopy opening in Acre State Western Amazon [J]. *Forest Ecology and Management*, 2011, 261: 1722-1731.
- [8] Richards J D, Hart J L. Canopy gap dynamics and development patterns in secondary *Quercus* stands on the Cumberland Plateau, Alabama, USA [J]. *Forest Ecology and Management*, 2011, 262: 2229-2239.
- [9] 臧润国, 刘涛, 郭忠凌, 等. 长白山自然保护区阔叶红松林林隙干扰状况的研究 [J]. *植物生态学报*, 1998, 22(2): 135-142.
Zang R G, Liu T, Guo Z L, et al. Gap disturbance regime in a broadleaved-korean pine forest in the Changbai Mountain Nature Reserve [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 1998, 22(2): 135-142.
- [10] 张春雨, 赵秀海, 郑景明. 长白山阔叶红松林林隙大小结构研究 [J]. *北京林业大学学报*, 2006, 28(4): 34-38.
Zhang C Y, Zhao X H, Zheng J M. Size structure of canopy gaps in broadleaved korean pine in the Changbai Mountain [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28(4): 34-38.
- [11] 夏冰, 兰涛, 贺善安, 等. 云南亚高山冷杉林林窗的研

- 究[J]. 植物资源与环境,1996,5(4):1-8.
- Xia B,Lan T,He S A,et al. Canopy gaps in subalpine spruce-fir forests of the hills around Bitahai Lake, Yunnan Province[J]. Journal of Plant Resources and Environment,1996,5(4):1-8.
- [12] 刘静艳,王伯荪,臧润国,等. 南亚热带常绿阔叶林林隙形成方式及其特征的研究[J]. 应用生态学报,1999,10(4):385-388.
- Liu J Y,Wang B S,Zang R G,et al. Gap formation and its characteristics in south subtropical evergreen broad-leaved forest[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,1999,10(4):385-388.
- [13] 闫淑君,洪伟,吴承祯,等. 中亚热带常绿阔叶林林隙及其自然干扰特征的研究[J]. 应用生态学报,2004,15(7):1126-1130.
- Yan S J,Hong W,Wu C Z,et al. Gaps and their natural disturbance characteristics in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest in Wanmulin[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2004,15(7):1126-1130.
- [14] 龙翠玲,余世孝,魏鲁明,等. 茂兰喀斯特森林干扰状况与林隙特征[J]. 林业科学,2005,41(4):13-19.
- Long C L,Yu S X,Wei L M,et al. Disturbance regimes and the characteristics of gaps in Maolan Karst Forest, Guizhou Province[J]. Scientia Silvae Sinicae,2005,41(4):13-19.
- [15] 沈泽吴,李道兴,王功劳. 三峡大老岭山地常绿落叶阔叶混交林林隙干扰研究 I. 林隙基本特征[J]. 植物生态学报,2001,25(3):276-282.
- Shen Z W,Li D X,Wang G F. Gap related disturbance in mixed mountain forests at MT. Dalaoling in the three gorges I. Topographic patterns[J]. Acta Phytocologica Sinica,2001,25(3):276-282.
- [16] 臧润国,杨彦承,刘静艳,等. 海南岛热带山地雨林林隙及其自然干扰特征[J]. 林业科学,1999,35(1):1-8.
- Zang R G,Yang Y C,Liu J Y,et al. Gaps and their natural disturbance regimes in the tropical montane rain forest of Hainan Island [J]. Scientia Silvae Sinicae,1999,35(1):1-8.
- [17] 时明芝. 全球气候变化对中国森林影响的研究进展[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(7):68-72.
- Shi M Z. The influence of the global climate change on forests in China [J]. China Population Resource Environment,2011,21(7):68-72.
- [18] 政府间气候变化专门委员会第四次评估报告工作组. 气候变化 2007: 综合报告[R/OL]. 瑞士,日内瓦: IPCC,2007:1-104. [2014-02-10]. <http://www.ipcc.ch/>.
- The Fourth Assessment of Working Group. Climate change 2007: Physical science basis [R/OL]. Swiss Confederation, Geneva: IPCC, 2007: 1-104. [2014-02-10]. <http://www.ipcc.ch/>.
- [19] 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 Community Character of Tropical and Subtropical Zones in Guangxi [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2004.
- [20] 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.
- [21] 臧润国,徐化成. 林隙干扰研究进展[J]. 林业科学,1998,34(1):90-98.
- Zang R G,Xu H C. Advances in gap disturbance research[J]. Scientia Silvae Sinicae,1998,34(1):90-98.
- [22] 臧润国. 林隙更新动态研究进展[J]. 生态学杂志,1998,17(2):50-58.
- Zang R G. Research advances of gap regeneration dynamics [J]. Chinese Journal of Ecology,1998,17(2):50-58.
- [23] Tyrrell L E,Crow C R. Structural characteristics of old-growth hemlock-hardwood forest s in relation to age[J]. Ecology,1994,75(2):370-386.
- [24] Hooper M C,Arii K,Lechowicz M J. Impact of a major ice storm on an old-growth hardwood forest [J]. Canadian Journal of Botany,2001,79:70-75.

(责任编辑:尹 闯)