

# 冰灾对车八岭山地常绿阔叶林区系和群落的影响

刘刚, 区余端, 李镇魁, 黎孟昭, 马旭东, 苏志尧

(华南农业大学林学院, 广东广州510642)

**摘要:**研究了2008年年初南方冰雪冻雨灾害对车八岭常绿阔叶林不同区系的冠层植被所造成的影响. 结果显示, 研究样地内温带分布的乔木受损比例高于热带分布的乔木受损比例.  $\chi^2$  检验说明不同区系间的冠层乔木个体受损比例差异显著( $P < 0.01$ ); 东亚分布及其变型受损个体比例最小, 热带亚洲至热带非洲分布及变型、东亚和北美间断分布及其变型、热带亚洲分布及其变型受损个体比例较大. 冠层乔木都以重度受损为主, 中度受损和轻度受损个体数都远小于前者. CCA 多元分析显示, 株数密度、平均胸高断面积、坡度、海拔各自对不同物种的受损乔木的分布有显著影响(Monte Carlo test,  $P = 0.0100$ ). 优势种米槠 *Castanopsis carlesii* 受损植株的分布与群落的平均胸高断面积显著正相关; 亚优势种栲 *Castanopsis fargesii*、鸭公青 *Neolitsea chunii*、尾尖叶柃 *Eurya acuminata* 受损植株的分布与坡度显著负相关; 亚优势种荷木 *Schima superba* 与海拔显著正相关. 总之, 在相同的生境中能够占据林冠优势层的区系类型往往受灾更严重.

**关键词:**冰雪灾害; 区系分布类型; 山地常绿阔叶林; 车八岭国家级自然保护区

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2010)02-0082-06

## Floristic and Coenological Analyses of the Montane Evergreen Broadleaved Forest in Chebaling National Nature Reserve Impacted by a Huge Ice Storm

LIU Gang, OU Yu-duan, LI Zhen-kui, LI Meng-zhao, MA Xu-dong, SU Zhi-yao

(College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** The evergreen broadleaved forest ecosystem of Chebaling National Nature Reserve was severely damaged by the freezing rain and ice storm in the early 2008. Proportions of damaged stems were compared among 10 generic areal-types. The proportion of damaged stems belonged to temperate areal-type was higher than that to the tropical areal-type.  $\chi^2$  test indicated that the proportions of damaged stems were significantly different ( $P < 0.01$ ) among the 10 generic areal-types. The damage proportion of the Eastern Asia areal-type was the smallest, whereas the damage proportion of the tropical Asia and Africa, Eastern Asia and North America, and tropical Asia areal-types were greater than others. All the generic areal-types were dominated by serious damage class, and the proportion of damaged stems in moderate damage class and slight damage class were far less than serious damage class. Canonical correspondance analysis (CCA) indicated that density, basal area, slope and elevation could significantly affect the distribution of damaged trees (Monte Carlo test,  $P = 0.0100$ ). The distribution of damaged trees of the dominant species, *Castanopsis carlesii*, was positively correlated with basal area, while the three subdominant species, *Castanopsis fargesii*, *Neolitsea chunii* and *Eurya acuminata*, were negatively affected by slope, and the other subdominant species, *Schima superba*, was positively affected by elevation. In sum, the areal-type most seriously damaged was that in which species were dominant and took up the dominant layer of the forest canopy.

**Key words:** ice storm; areal-type; mountain evergreen broadleaved forest; Chebaling National Nature Reserve

收稿日期: 2009-09-11

作者简介: 刘刚(1984—), 硕士研究生; 通信作者: 苏志尧(1963—), 男, 教授, 博士, E-mail: zysu@scau.edu.cn

基金项目: 广东省科技计划项目(2008A020100013)

2008年1—2月,我国南方地区发生了罕见的雨雪冰冻灾害,车八岭国家级自然保护区的天然林在这次灾害中也遭受了巨大破坏.一场严重的自然灾害,如飓风、暴雪、冻雨等,往往会极大地改变森林植被的物种组成和多样性<sup>[1-3]</sup>,甚至改变森林的演替进程<sup>[4-5]</sup>.雨雪冰冻灾害会给森林植被带来长期且深远的影响,受损严重的植被生活力会逐渐下降而死去<sup>[6]</sup>.我国南方的这场雨雪冰冻灾害发生强度大、持续时间长,必将对受灾地区的森林生态系统产生持续而又深远的影响.植物区系地理成分的划分可以指出物种的真正地理分布中心,有助于了解群落的特点、性质、起源和分布<sup>[7]</sup>,而该保护区处于植被类型的过渡区域<sup>[8]</sup>,物种区系组成复杂多样,因此,分析不同区系植物的受损情况,有助于深入研究本地区各植被区系地理成分的性质和特点.冠层乔木作为森林植被群落的主体,其结构和组成对于维持本地区常绿阔叶林群落的稳定意义重大,但是通常由于冠层乔木处于林冠外层,受损往往比林内其他层次植物受损更严重<sup>[9-12]</sup>,本文以不同区系的冠层乔木作为研究对象,旨在从植物区系角度分析不同分布区的冠层乔木植物在雨雪冰冻灾害中的受损情况,以及不同区系物种受害的内外影响因素,为本地区常绿阔叶林植物区系、群落演替、灾后森林的恢复以及天然林保护研究提供必要的研究基础.

## 1 研究地概况

车八岭国家级自然保护区位于北纬 $24^{\circ}40'29'' \sim 24^{\circ}46'21''$ ,东经 $114^{\circ}07'39'' \sim 114^{\circ}16'46''$ ,面积 $7\,545\text{ hm}^2$ ,主要保护对象为中亚热带常绿阔叶林及珍稀动植物.属中亚热带季风型气候,年均温 $19.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,极端最高气温 $38.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温 $-5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最冷月(1月)平均气温 $8 \sim 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,冬季偶尔有雪,年平均降水量 $1\,468\text{ mm}$ ,最高年降水量可达 $2\,126.0\text{ mm}$ ,自然保护区东北走向的中山,可作为寒潮入侵的屏障<sup>[13]</sup>.保护区处于中亚热带南缘,植物区系为南亚热带向中亚热带过渡类型<sup>[8]</sup>.动植物区系保存完好,是具有代表性的中亚热带常绿阔叶林<sup>[13-14]</sup>.该区森林的结构、功能、演替及其在生态系统中的平衡作用具有重要科学研究价值.

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置及调查

在保护区受冰雪灾害破坏的天然林中设置 $2\text{ hm}^2$ 的长期监测固定样地.在固定样地内设置50个 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的样方.用PVC管标记样地边界、各样方的四角及中心点.记录样地内各样方分布位置、经

纬度、坡度、海拔等信息.调查记录样方内胸径 $\geq 10\text{ cm}$ 的冠层乔木的种名、胸径(DBH)、树高( $H$ )等,并对各单株立木有无受灾、受灾程度给予统一规定的描述.样地设置及野外调查工作于2008年8月初完成.

### 2.2 林木受损等级划分

根据本研究地区乔木受损状况,参考相关的研究成果<sup>[15-18]</sup>,将受损乔木分为4个级别,即未受损:树冠完整没有破坏或受破坏极不明显;树冠轻度受损:树冠损坏量 $< 11\%$ ;树冠中度受损:树冠损坏量介于 $11\% \sim 50\%$ ;树冠严重受损:树冠损坏量 $> 50\%$ ,树干倾斜、折干、枯立木、翻兜.

### 2.3 数据统计分析

物种重要值( $V_i/\%$ )采用PC-ORD5.0计算,其内置计算公式为:

$$V_i = (F_{Ri} + D_{Ri} + B_{Ri})/3,$$

其中, $F_{Ri}$ 为第 $i$ 个物种的相对频度, $D_{Ri}$ 为第 $i$ 个物种的相对密度, $B_{Ri}$ 为第 $i$ 个物种的相对优势度.

用STATISTICA 8.0进行数据统计、 $\chi^2$ 检验及做图;用CANOCO 4.5做多元分析,样方受损乔木个体数量矩阵、样方所处的内外环境数据矩阵,数据经底数为10的对数转换后,采用CCA分析环境因子对物种受损程度的影响.

## 3 结果与分析

### 3.1 乔木的区系组成分析

在研究地区 $2\text{ hm}^2$ 固定样地中共记录到 $\text{DBH} \geq 10\text{ cm}$ 的冠层乔木植物66种1 178株,分属于32科48属.其中以壳斗科Fagaceae锥属*Castanopsis*、樟科Lauraceae新木姜子属*Neolitsea*、安息香科Styracaceae安息香属*Styrax*、茶科Theaceae木荷属*Schima*为冠层优势科和优势属,从科属的分布来看,本研究地区的冠层植被具有明显的过渡性,温带、热带、亚热带植被在共同的生境中混杂共存.以物种重要值为确定标准,研究区域的植物群落是以米槠*Castanopsis carlesii*为优势种( $V_i$ 为20.4),以荷木*Schima superb*( $V_i$ 为5.9)、栲*Castanopsis fargesii*( $V_i$ 为4.9)、鸭公青*Neolitsea chunii*( $V_i$ 为4.5)、尾尖叶桉*Eurya acuminata*( $V_i$ 为4.35)等为亚优势木的亚热带山地常绿阔叶林群落.

按照吴征镒<sup>[19]</sup>的中国种子植物属的分布类型划分标准,可将研究地区的冠层乔木植物所属的48个属划分为10个分布区类型,以热带亚热带成分占绝对优势(表1).车八岭种子植物区系分布共包括11种类型<sup>[8]</sup>,在本研究中冠层乔木植物的区系分布类型仅比此少了世界分布.其中,泛热带分布及变型、热带亚洲分布及其变型和旧大陆热带分布及变型包含的属

最多,分别有10、9、8个属,共占总属数的56.3%;表征华夏植物区系的东亚和北美间断分布、东亚分布及其变型以及中国特有分布<sup>[20]</sup>三者合计占22.9%.

由表1可知温带属仅占总属数的25.0%,而热带属占70.9%.温带分布类型的冠层乔木个体数占总数的50.5%,优势种米楮属于温带分布;热带分布类型个体数占49.1%,主要是亚优势种,从个体数目上来看,温带区系的乔木在冠层植被中稍占优势.

冠层乔木中属于中国特有分布属的有2属2种,分别是杉科 Taxodiaceae 杉木属 *Cunninghamia* 的杉木 *Cunninghamia lanceolata* 和无患子科 Sapindaceae 伞花木属 *Eurycorymbus* 的伞花木 *Eurycorymbus cavaleriei*,两者个体都很少.

表1 属的分布区类型及比例

Tab.1 Generic areal-types and proportion

分布区类型 <sup>1)</sup>	属数	属的比例/%	个体数	个体比例/%
二、泛热带分布及其变型	10	20.8	195	16.6
2. 泛热带分布	10			
三、热带亚洲和热带美洲间断分布	5	10.4	19	1.6
3. 热带亚洲和热带美洲间断分布	5			
四、旧大陆热带分布及其变型	8	16.7	16	1.4
4. 旧大陆热带分布	6			
4-1. 热带亚洲、非洲(或东非、马达加斯加)和 大洋洲间断分布	2			
五、热带亚洲至热带大洋洲分布及其变型	1	2.1	59	5.0
5. 热带亚洲至热带大洋洲分布	1			
六、热带亚洲至热带非洲分布及其变型	1	2.1	1	0.1
6. 热带亚洲至热带非洲分布	1			
七、热带亚洲分布及其变型	9	18.8	287	24.4
7. 热带亚洲分布	6			
7-1. 爪哇(或苏门答腊)、喜马拉雅和华南、 西南星散分布	2			
7-4. 越南(或中南半岛)至华南(或西南)分布	1			
八、北温带分布及其变型	3	6.3	63	5.3
8. 北温带分布	3			
九、东亚和北美间断分布及其变型	5	10.4	480	40.7
9. 东亚和北美间断分布	5			
十四、东亚分布及其变型	4	8.3	53	4.5
14. 东亚分布	1			
14-1. 中国-喜马拉雅分布	1			
14-2. 中国日本分布	2			
十五、中国特有分布	2	4.2	5	0.4

1) 分布区类型及编号引自吴征镒<sup>[19]</sup>.

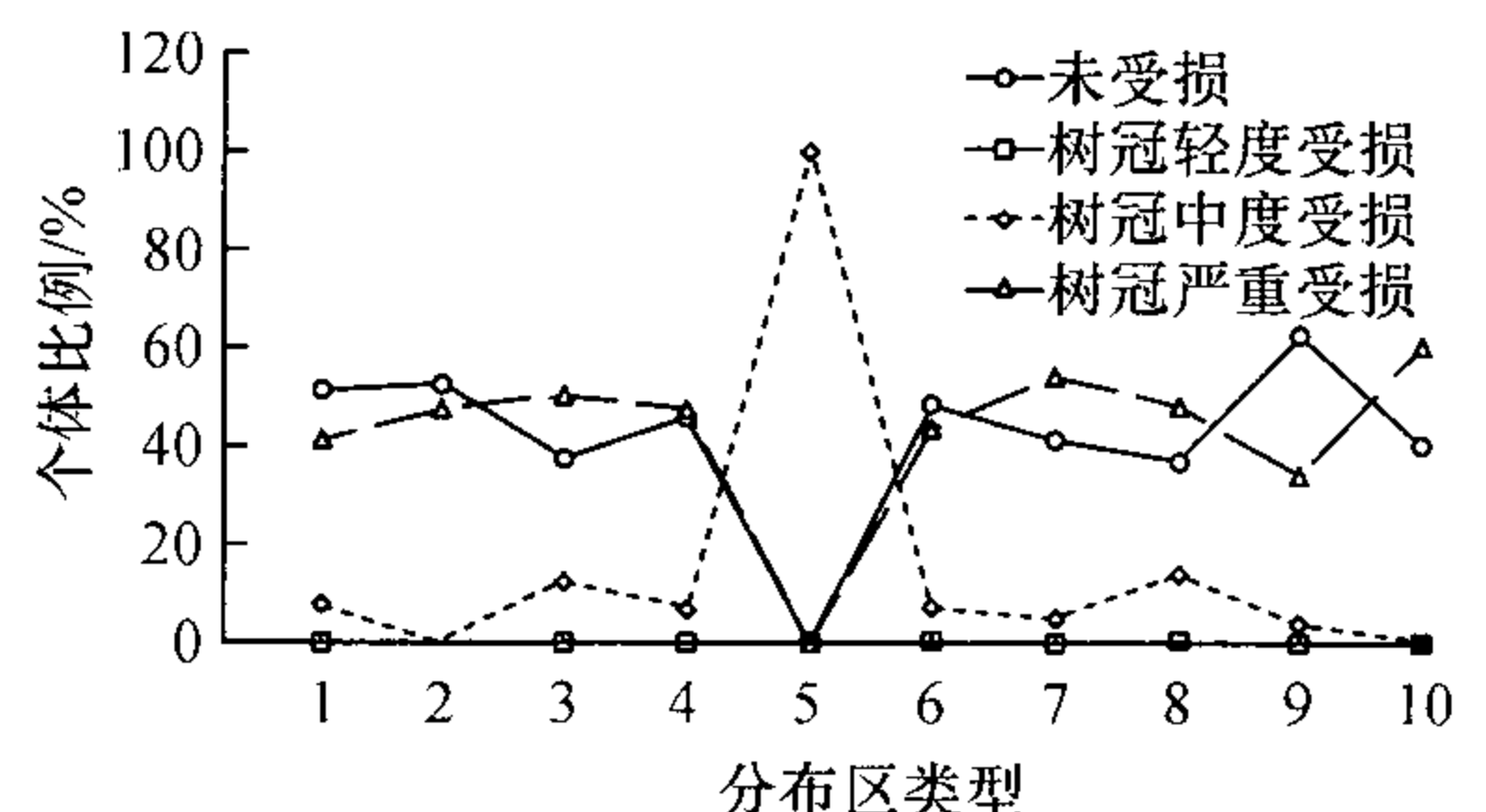
### 3.2 不同分布区类型乔木受损情况对比

所有冠层乔木未受损个体占总数的44.23%,冠层轻度受损、中度受损和严重受损分别占总数的0.42%、9.85%和45.50%,受损个体共占55.77%,冠层乔木受损比例高于未受损比例.卡方检验结果

显示,相同受损级别内不同属的分布区类型之间乔木受损比例存在显著差异,且同一分布区类型内不同受损级别之间个体比例也存在显著差异(Pearson Chi-square,  $\chi^2 = 48.5697, P = 0.0064$ ).

东亚分布及其变型、热带亚洲和热带美洲间断分布、泛热带分布及其变型所包含的冠层乔木受损个体比例低于未受损个体比例,未受损个体比例分别为62.26%、52.63%、51.28%,这3种分布类型的乔木受损相对较轻.其他分布类型的乔木受损个体比例均高于未受损个体比例,其受损个体比例分别为热带亚洲及热带非洲分布及变型100%、东亚和北美洲间断分布及其变型62.92%、旧大陆热带分布及其变型60%、中国特有分布60%、北温带分布及其变型58.73%、热带亚洲至热带大洋洲分布及其变型54.24%、热带亚洲分布及其变型51.57%.热带亚洲及热带非洲分布及变型受损个体比例最高,这是因为在样地中仅记录到1种——红背桂 *Excoecaria cochinchinensis*,胸径大于10 cm的只有1株,由于记录到的数量太少,不足以说明该树种以及该区系类型的冠层乔木对此次冰雪灾害的抵抗力最低.东亚和北美洲间断分布及其变型的乔木个体数量最多,但同时此类型的个体受损也相对最严重;东亚分布及其变型中受灾个体比例最小,此类型的冠层乔木在此次冰雪冻雨灾害中受损最小.

图1显示了各属的分布区类型中冠层乔木在不同受损等级中的个体受损比例,除了热带亚洲至热带非洲分布及其变型外,其他各分布区类型中冠层乔木个体均以重度受损为主;在各分布区类型中,轻度受损的个体比例都只占很小的比例,仅占0~0.70%;中度受损的个体比例介于0~14.17%.总体而言,冠层乔木均以重度受损为主.



1: 泛热带分布及其变型; 2: 热带亚洲和热带美洲间断分布; 3: 旧大陆热带分布及其变型; 4: 热带亚洲至热带大洋洲分布及其变型; 5: 热带亚洲至热带非洲分布及其变型; 6: 热带亚洲分布及其变型; 7: 北温带分布及其变型; 8: 东亚和北美洲间断分布及其变型; 9: 东亚分布及其变型; 10: 中国特有分布.

图1 各属的分布区类型中冠层乔木在不同受损等级中的个体比例

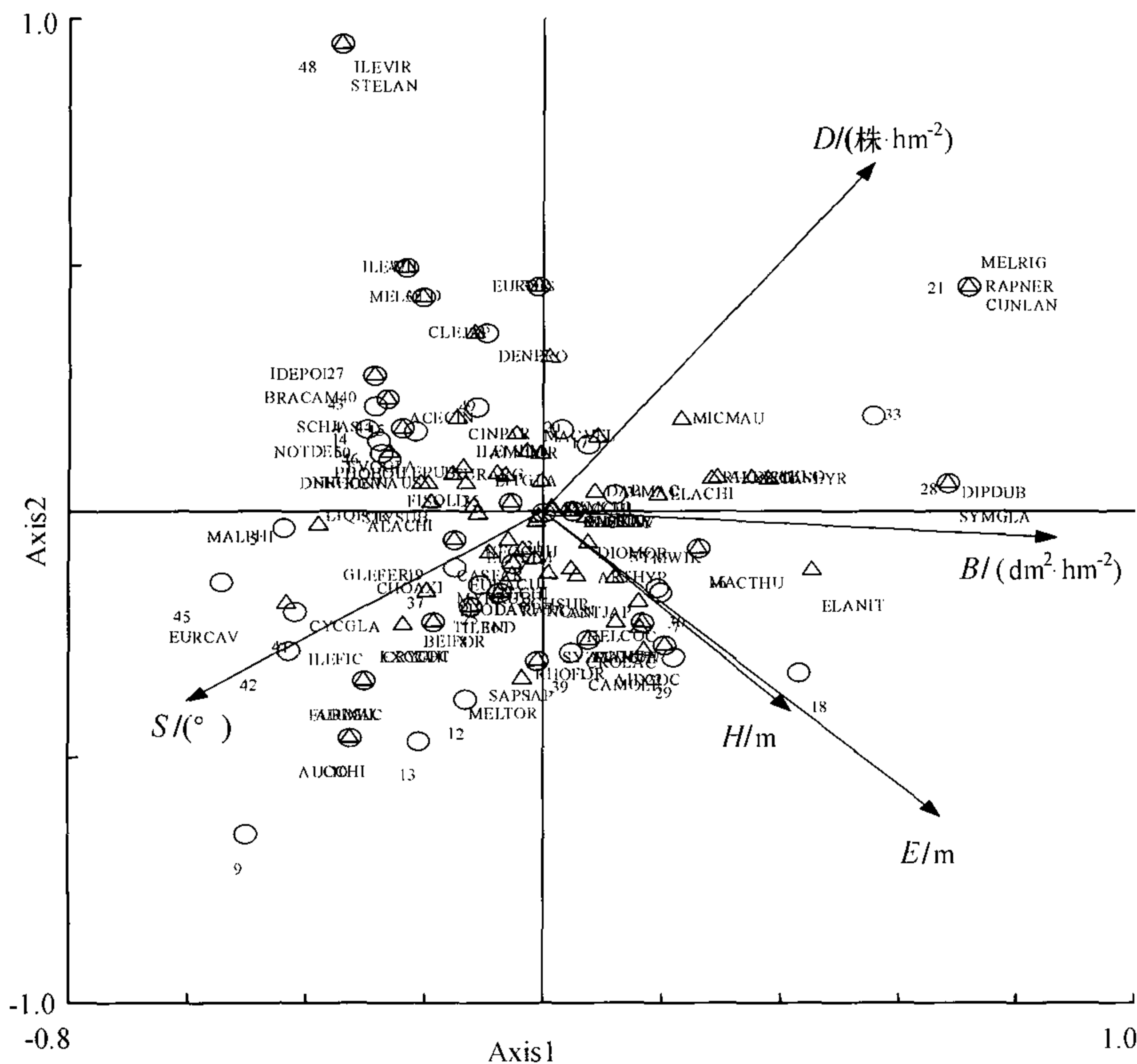
Fig. 1 The proportion of damaged stems in different damage classes and areal-types

温带分布区类型的受损个体占其个体总数的60.23%,热带分布区类型的受损个体占其总数的51.13%,中国特有分布受损个体占60%,此次冰雪冻雨灾害对温带分布型物种的破坏程度比热带分布型的物种高。

### 3.3 冠层乔木受损影响因素的多元分析

CCA排序中环境因子选取了海拔( $E$ )、坡度( $S$ )、冠层乔木密度( $D$ )、冠层乔木平均胸高断面面积( $B$ )、平均树高( $H$ )。结果显示,受损乔木的分布与这些因子之间存在显著的相关性(Monte Carlo 检验,

$P=0.0100$ )。CCA分析结果表明,5个环境因子 $E$ 、 $S$ 、 $D$ 、 $B$ 和 $H$ 的膨胀系数(Variable inflation factor, VIF)分别为1.5121、1.2978、2.3675、5.3068和3.9712,各环境因子的VIF值均较小,说明变量间协同效应不大,适合作为解释变量<sup>[21]</sup>。 $B$ 与第1轴的相关性最大(相关系数为0.8672),第1轴主要反映了冠层受损乔木随着 $B$ 的变化梯度所呈现出的分布规律; $D$ 与第2轴相关性最大(相关系数为0.7059),第2轴主要反映了冠层受损乔木随着 $D$ 的变化梯度所呈现出的分布规律(图2)。



$D$ :样方内乔木平均密度/(株· $hm^{-2}$ ); $B$ :样方内乔木平均基面积/( $dm^2 \cdot hm^{-2}$ ); $H$ :样方内乔木平均高度/m; $S$ :样方坡度/(°); $E$ :海拔/m;  
 CHOAXI:南酸枣 *Choerospondias axillaris*; DAPMAC:交让木 *Daphniphyllum macropodum*; CINAUS:华南樟 *Cinnamomum austro-sinensis*; STYSUB: 桉叶安息香 *Styrax suberifolia*; CLEJAP:红淡比 *Cleyera japonica*; EURACU:尾尖叶桉 *Eurya acuminata*; SCHSUP:荷木 *Schima superba*; CASCAR:米槠 *Castanopsis carlesii*; CINPOR:黄樟 *Cinnamomum porrectum*; NEOCHU:鸭公青 *Neolitsea chunii*; SAPSAP:无患子 *Sapindus saponaria*; SYMWIK:微毛山矾 *Symplocos wikstroemiifolia*; DENHON:香港四照花 *Dendrobenthamia hongkongensis*; RANCAN:香楠 *Randia canthioides*; ALNFOR:赤杨叶 *Alniphyllum fortunei*; MACCHI:华润楠 *Machilus chinensis*; SLOSIN:猴欢喜 *Sloanea sinensis*; CASFAR:栲 *Castanopsis fargesii*; ARTHYP:白桂木 *Artocarpus hypargyreaeus*; ELALIA:灰毛杜英 *Elaeocarpus limitaneus*; RHOCAV:羊角杜鹃 *Rhododendron cavaleriei*; LITGLA:石栎 *Lithocarpus glaber*; MICMAU:深山含笑 *Michelia maudiae*; ITECHI:华鼠刺 *Itea chinensis*; PHODAV:刺楸 *Photinia davidsoniae*; EURCAV:伞花木 *Eurycorymbus cavaleriei*; NEOLEV:大叶新木姜 *Neolitsea levinei*; DIOMOR:罗浮柿 *Diospyros morrisiana*; ELACHI:华杜英 *Elaeocarpus chinensis*; ILEMEN:谷木冬青 *Ilex memecylifolia*; ELAJAP:日本杜英 *Elaeocarpus japonicus*; NEOZEY:南亚新木姜 *Neolitsea zeylanica*; CYCGLA:青冈 *Cyclobalanopsis glauca*; SYMCHI:华山矾 *Symplocos chinensis*; LITELO:黄丹木姜子 *Litsea elongata*; ACECIN:樟叶槭 *Acer cinnamomifolium*; LIQFOR:枫香 *Liquidambar formosana*; RHOMOU:毛棉杜鹃 *Rhododendron moulmainense*; CUNLAN:杉木 *Cunninghamia lanceolata*; REEGLA:瑶山梭罗 *Reevesia glaucophylla*; ILEFIC:榕叶冬青 *Ilex ficoidea*; ALACHI:八角枫 *Alangium chinense*; MICSKI:锈毛含笑 *Michelia skinnerana*; MACTHU:红楠 *Machilus thunbergii*; CASEYR:甜锥 *Castanopsis eyrei*; SYZHAN:红鳞蒲桃 *Syzygium hancei*; EVOGLA:椴叶吴茱萸 *Evodia glabrifolia*; ALBKAL:山合欢 *Albizia kalkora*; MELRIG:笔罗子 *Meliosma rigida*; AIDCOC:茜树 *Aidia cochinchinensis*; EXCCOC:红背桂 *Excoecaria cochinchinensis*; CRYCHI:厚壳桂 *Cryptocarya chinensis*; ZANMYR:大叶臭花椒 *Zanthoxylum myriacanthum*; IDEPOL:山桐子 *Idesia polycarpa*; MALJAP:野桐 *Mallotus japonicus*; CINWIL:川桂 *Cinnamomum wilsonii*; MELOLD:红枝柴 *Meliosma oldhamii*; FISOLD:瓜馥木 *Fissistigma oldhamii*; TILEND:白毛楸 *Tilia endochrysea*; ELADEC:杜英 *Elaeocarpus decipiens*; MELAZE:苦楝 *Melia azedarach*; CINPAR:黄樟 *Cinnamomum parthenoxylon*; ELANIT:绢毛杜英 *Elaeocarpus nitentifolius*; MACRET:网脉润楠 *Machilus reticulata*; VERFOR:油桐 *Vernicia fordii*; STELAN:假苹婆 *Sterculia lanceolata*.

图2 受损冠层乔木在不同环境梯度上的 CCA 排序图

Fig. 2 Canonical correspondence analysis on damaged canopy trees and environments

5个环境因子中冠层乔木平均胸高断面积、密度、坡度、海拔对冠层受损乔木的影响都比较大,而平均树高对其影响较小。

*B*间接反映了乔木DBH对受损程度的影响,相同的树种*B*和DBH越大,树干强度越高,树冠的抗灾能力就越强。沿着第1轴冠层乔木受损比例与*B*呈正相关,即林分的平均胸高断面积越大,冠层乔木的受损比例越高。如该群落的优势种米楮处于第1轴附近,且紧邻*B*,可见受损米楮的分布与群落的平均胸高断面积和DBH关系密切。

*D*反映了冠层乔木植株密度对林木受灾的影响,绒楠 *Machilus velutina*、深山含笑 *Michelia maudiae*、石栎 *Lithocarpus glaber* 等种类的冠层乔木受损与之有密切关系,冠层乔木植株密度越大,这些物种受损比例越大。

*S*反映受损乔木沿坡度梯度的变化,亚优势种栲、鸭公青、尾尖叶受损程度与*S*密切相关,这些种的冠层乔木随着坡度的减小而增加。

*E*反映受损乔木沿海拔梯度的变化,亚优势种荷木与*E*密切相关,其受损程度随着海拔的升高而增加。调查样地从山脊一直延伸到山谷,虽然垂直海拔差距并不大(343~475 m),但是实地调查显示处于较高海拔或者说处于上坡位的植被受损情况明显比下坡位的植被受损严重,多元分析的结果很好地印证了这一点。受损乔木的分布与树高的关系较小。理论上树高作为乔木自身内在因素,是影响乔木抵抗冰雪灾害能力的一个重要内在因素;但实际上,由于树高的估测精度低,且树冠受损的乔木其树高的估测会受到显著影响,致使在分析中树高的作用较小。

## 4 讨论

不同区系的植物是长期适应特定地理环境的结果<sup>[22]</sup>,植物区系地理成分分析可以直观地揭示该区系的地带性气候特征及其在发生、发展上与全球植物区系的地理亲缘<sup>[23]</sup>。植物地理分布的差异,使其带有特定的地理区系特点,这些可能导致其在应对相同的外来干扰时,表现出不同的抗干扰能力。本地区温带分布型的植物种在抵抗冻雨灾害的能力上要劣于本地区的热带分布型植物种。温带种米楮数量多、个体大,占据了林冠的顶层,成为温带种受灾严重的重要原因;相比之下,占据亚优势层的热带种受灾较轻。此外,对温带种的抗冻生理特性、树干机械强度、树冠密度等方面的研究尚需进一步深入开展。

东亚和北美间断分布及其变型的个体比例最大,该分布区类型的冠层乔木数量最多,个体受损比例也最高,受损最严重。该分布区类型中包括了优势种米楮和亚优势种栲以及常见种甜椎、石栎等,这些乔木树冠常处于冠层的最上层,受损最严重。热带亚洲及其变型中包含了亚优势种鸭公青、荷木,此外,该类型的植被在保护区植被群落中也经常出现占据优势种地位的物种<sup>[8]</sup>,因此受灾也比较严重。

各区系乔木都以重度受损为主,中度受损比例和轻度受损比例都远小于前者。这主要是因为这些乔木植被多处于主林层,树冠高大,处于林冠外层的乔木往往遭受强风、冰雪、冻雨等的危害强度高于处于外层遮蔽下的亚林层和林下植被层,因此受损也更为严重<sup>[9-12,24]</sup>。

冠层乔木受损的严重程度受到气象(雪灾频率、冻雨量、风速等)<sup>[25]</sup>、立地条件(海拔、坡向、坡度、土壤类型等)<sup>[1,26]</sup>、群落内的生物环境(林分结构、物种组成、乔木密度、林龄等)<sup>[27-28]</sup>、树种自身生理特性(乔木个体大小、枝和干的柔韧性、健康状况、树冠形状等)等多方面因素的影响<sup>[29-33]</sup>。因此,有关气象因素和物种自身的生理特性的影响尚需结合气象学与生理学等学科的研究方法做进一步深入研究。

### 参考文献:

- [1] FOSTER D R, BOOSEE R. Patterns of forest damage resulting from catastrophic wind in Central New England USA[J]. *Journal of Ecology*, 1992(80):79-98.
- [2] VANDERMEER J H, BOUCHER D, GRANZOW DELA C I, et al. Growth and development of the thinning canopy in a post-hurricane tropical rain forest on the Caribbean coast of Nicaragua[J]. *Forest Ecology and Management*, 2001(148):221-242.
- [3] ILISSON T, KÖSTER K, VODDE F, et al. Regeneration development 4-5 years after a storm in Norway spruce dominated forests, Estonia[J]. *Forest Ecology and Management*, 2007(250):17-24.
- [4] DESTEVEN D, KLINE J, MATTHIAE P E. Long-term changes in a Wisconsin Fagus-Acer forest in relation to glaze storm disturbance[J]. *Journal of Vegetable Science*, 1991(2):201-208.
- [5] REBERTUS A J, SHIFLEY S R, RICHARDS R H, et al. Ice storm damage to an old-growth oak-hickory forest in Missouri[J]. *The American Midland Naturalist*, 1997(137):48-61.
- [6] WHITNEY H E, JOHNSON W C. Ice storms and forest

- succession in southern Virginia[J]. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 1984(111):429-437.
- [7] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海:华东师范大学出版社, 2001:57-61.
- [8] 陈锡沐,张常路,李秉滔. 车八岭国家级自然保护区种子植物区系研究[C]//徐燕千. 车八岭国家级自然保护区调查研究论文集. 广州:广东科技出版社, 1993:109-122.
- [9] PELTOLA H, KELLOMÄKI S, VÄISÄNEN H, et al. A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce, and birch[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1999(29):647-661.
- [10] HOPKIN A, WILLIAMS T, SAJAN R, et al. Ice storm damage to eastern Ontario forests: 1998-2001 [J]. *The Forestry Chronicle*, 2003, 79 (1):47-53.
- [11] PARKER W C. The effect of ice damage and post-damage fertilization and competition control on understory microclimate of sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) stands [J]. *The Forestry Chronicle*, 2003, 79 (1):82-90.
- [12] NIELSEN C, VAN DYKE O, PEDLAR J. Effects of past management on ice storm damage in hardwood stands in eastern Ontario [J]. *The Forestry Chronicle*, 2003, 79 (1):70-74.
- [13] 徐燕千. 车八岭国家级自然保护区调查研究综合报告[C]//徐燕千. 车八岭国家级自然保护区调查研究论文集. 广州:广东科技出版社, 1993:1-8.
- [14] 蔡达深,宋相金. 广东车八岭国家级自然保护区生物资源及保护对策[J]. *生态科学*, 2005, 24 (3):282-285.
- [15] PETERSON C J. Damage and recovery of tree species after two different tornadoes in the same old growth forest, a comparison of infrequent wind disturbances[J]. *Forest Ecology and Management*, 2000(135):237-252.
- [16] HOLMES T P, BLATE G M, ZWEEDE J C, et al. Financial and ecological indicators of reduced impact logging performance in the eastern Amazon [J]. *Forest Ecology and Management*, 2002(163):93-110.
- [17] FELDPAUSCH T R, JIRKA S, PASSOS C A M, et al. When big trees fall, damage and carbon export by reduced impact logging in southern Amazonia [J]. *Forest Ecology and Management*, 2005(219):199-215.
- [18] WEISHAMPEL J F, DRAKE J B, COOPER A, et al. Forest canopy recovery from the 1938 hurricane and subsequent salvage damage measured with airborne LiDAR [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2007 (109):142-153.
- [19] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型[J]. *云南植物研究*, 1991(增刊IV):1-139.
- [20] 苏志尧,张宏达. 广西植物区系属的地理成分分析[J]. *广西植物*, 1994, 14(1):3-10.
- [21] 李鸿凯,卜兆君,王升忠,等. 长白山区泥炭地现代有壳变形虫环境意义探讨[J]. *第四纪研究*, 2009, 29 (4):817-824.
- [22] 王荷生. 植物区系地理[M]. 北京:科学出版社, 1992:125-171.
- [23] 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, 2004:77-108.
- [24] PETTY J A, WORRELL R. Stability of coniferous tree stems in relation to damage by snow [J]. *Forestry*, 1981 (54):115-128.
- [25] LINDEMANN J D, BAKER W L. Attributes of blowdown patches from a severe wind event in the Southern Rocky Mountains, USA [J]. *Landscape Ecology*, 2001 (16):313-325.
- [26] KRAMER M G, HANSEN A J, TAPER M L, et al. Abiotic controls on long-term windthrow disturbance and temperate rain forest dynamics in southeast Alaska [J]. *Ecology*, 2001, 82(10):2749-2768.
- [27] GARDINER B A, QUINE C P. Management of forests to reduce the risk of abiotic damage, A review with particular reference to the effects of strong winds [J]. *Forest Ecology and Management*, 2000(135):261-277.
- [28] CANHAM C D, PAPAİK M J, LATTY E F. Interspecific variation in susceptibility to windthrow as a function of tree size and storm severity for northern temperate tree species [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2001 (31):1-10.
- [29] CANNELL M G R, MORGAN J. Branch breakage under snow and ice loads [J]. *Tree Physiology*, 1989 (5):307-317.
- [30] SISINNI S M, ZIPPERER W C, PLENINGER A G. Impacts from a major ice storm: street-tree damage in Rochester, New York [J]. *Journal of Arboriculture*, 1995(21):156-167.
- [31] LÄSSIG R, MOČALOV S A. Frequency and characteristics of severe storms in the Urals and their influence on the development, structure and management of the boreal forests [J]. *Forest Ecology and Management*, 2000 (135):179-194.
- [32] SMITH W H. Ice and forest health [J]. *Northern Journal of Applied Forestry*, 2000(17):16-19.
- [33] PROULX O J, GREENE D F. The relationship between ice thickness and northern hardwood tree damage during ice storms [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2001 (31):1758-1767.