冰雪灾害前后的浙江古田山亚热带常绿阔叶林群落谱系结构变化

王衷涵¹, 吴初平², 钱海源³, 余建平³, 袁位高², 沈爱华⁴, 陈声文³, 金毅¹, 于明坚^{1*}

1. 浙江大学生命科学学院, 杭州 310058;

2. 浙江省林业科学研究院, 杭州 310023;

3. 钱江源国家公园管理局, 开化 324300;

4. 浙江省林业技术推广总站, 杭州 310020

* 联系人, Email: fishmj@zju.edu.cn

收稿日期: 2019-08-15; 接受日期: 2019-09-20; 网络版发表日期: 2020-03-27

浙江省科技计划项目(批准号: 2017C02028, 2015C02016)、国家重点研发计划政府间国际科技创新合作专项(批准号: 2018YFE0112800)和中央高校基本科研业务费专项(批准号: 2019QNA6002)资助

摘要 冰雪灾害是自然干扰的主要类型之一, 为中高纬度地区森林群落更新的重要驱动因子. 以往研究集中在冰雪灾害对群落动态的影响, 鲜有分析冰雪灾害前后群落谱系结构的变化特点. 本文以浙江省古田山国家级自然保护区内的亚热带常绿阔叶林作为研究对象, 在2008年冰雪灾害前(2005年)和灾害后(2010年)分别进行了群落调查, 并分别在3个粒度、4种地形生境和3个径级水平上分析了群落谱系结构在冰雪灾害前后的变化. 研究发现, (i) 在各个粒度、生境和径级水平上, 灾后的群落净亲缘关系指数(net relatedness index, NRI)和净最近种间亲缘关系指数(net nearest taxa index, NTI)均明显高于灾前. (ii) 对灾前和灾后群落的植株存活进行随机模拟, 并与其观测值进行比较发现, 除3个径级以及2种生境的最近谱系距离(mean nearest taxon distance, MNTD)无明显差异外, 其他情况下的MNTD以及所有情况下平均谱系距离(mean phylogenetic distance, MPD)的随机模拟期望值均显著大于观测值. 以上结果表明, 冰雪灾害后的群落谱系结构在各个空间粒度、森林垂直层次和生境中均变得更加聚集. 本研究对于了解冰雪灾害干扰对于亚热带常绿阔叶林群落构建的影响, 具有重要理论价值.

关键词 干扰, 亚热带, 森林结构, 垂直层次, 生境, 粒度

自然干扰可改变生物群落组成^[1-3]; 同时, 自然干扰对生物群落的影响具有选择性^[4]. 冰雪灾害是一种重要的自然干扰类型. 在气候变化的背景下, 全球范围内的冰雪灾害发生频率、强度有上升趋势, 发生地域也在变化^[5-7]. 了解冰雪灾害对于森林群落的破坏特

点, 具有重要的理论意义和保育价值.

谱系生态位保守(phylogenetic niche conservatism)假说认为, 物种有保留其祖先性状的趋势. 通常亲缘关系相近的物种, 总体上的性状特征较相似^[8-11], 对于环境的响应方式也较相似. 若冰雪灾害对物种的选择性

引用格式: 王衷涵, 吴初平, 钱海源, 等. 冰雪灾害前后的浙江古田山亚热带常绿阔叶林群落谱系结构变化. 中国科学: 生命科学, 2020, 50: 373-380
Wang Z H, Wu C P, Qian H Y, et al. The phylogenetic structure of a subtropical evergreen broad-leaved forest community before and after an ice-snow storm in Gutianshan, eastern China (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2020, 50: 373-380, doi: 10.1360/N052018-00105

与其性状特征相关, 则亲缘关系较近的物种更倾向于受到相似程度的破坏, 这种现象导致灾后的群落谱系结构变得更加聚集^[11,12].

2008年初, 我国南方地区经历了一场严重的冰雪灾害, 覆盖21个省区, 受灾森林面积至少1860万公顷^[7,13-15]. 此次灾害对古田山保护区内的亚热带常绿阔叶林也造成了巨大破坏^[7,16]. 针对古田山24 ha常绿阔叶林群落的前期相关研究发现, 此次灾害对于物种的破坏具有选择性^[16]; 另外, 灾后所有径级阶段死亡率均大于补员率^[7]. 尤其是大径级, 死亡率是补员率的几倍到几十倍. 这显示出了冰雪灾害对于群落动态的关键影响. 据此, 本研究假设, 冰雪灾害所造成的破坏支配了灾前灾后古田山森林群落谱系结构的短期动态, 若冰雪灾害对于该森林群落谱系结构的影响是随机的, 则表现为群落在灾后的谱系结构与灾前无明显差异; 否则将会出现差异.

1 方法

1.1 研究地点

研究地点位于浙江省开化县西北部的古田山国家级自然保护区(29°15'102"~29°15'344"N, 118°07'010"~118°07'400"E), 属南岭山系怀玉山脉. 位于中亚热带湿润季风区, 年平均降水天数142.5 d, 年平均降水量1963.7 mm; 年平均温度15.3℃, 极端最高温为38.1℃, 极端最低温为-6.8℃, 无霜期约为250 d. 区内地形复杂, 山势陡峭. 主要土壤类型有红壤、黄红壤、红黄壤以及沼泽土^[17].

1.2 研究方法

(1) 样地设置. 古田山24 ha样地建成于2005年, 海拔446.3~714.9 m. 按照CTFS(the center for tropical forest science)的样地建设标准, 样地内所有胸径≥1 cm的个体均进行挂牌编号, 并记录物种名称、胸径、存活状态以及坐标. 2005年的首次群落调查发现, 样地内共有种子植物49科104属159种^[16,18]. 2010年, 对样地群落进行了复查, 包括对样地内首次调查时记录的所有胸径(diameter at breast height, DBH)≥1 cm的个体进行了存活状态调查^[7].

Legendre等人^[19]将古田山24 ha样地划分为600个20 m×20 m样方, 并将这些样方归类为5组具有相似地

形条件和物种组成的生境类型, 分别是低山谷、低山脊、中山坡、高山坡和高山脊. 但由于高山坡生境类型的样方只有8个, 在样地空间上受到限制, 且高山坡生境与中山坡生境具有相似的地形特征, 从而将这两组生境类型合并为高山谷, 所以古田山24 ha样地生境类型划分为低山谷、低山脊、高山谷和高山脊^[20].

(2) 谱系树和谱系指数. 本研究使用的谱系树, 是针对古田山24 ha样地初次调查所记录木本植物种类的*rbcL*, *matK*和*trnH-psbA*基因, 采用DNA条形码技术(DNA barcoding)所建立^[21]. 对于2010年调查中出现的5个新种, 将它们加到最近亲缘分类.

净亲缘关系指数(net relatedness index, NRI)和净最近种间亲缘关系指数(net nearest taxa index, NTI)分别衡量群落内的种间谱系平均发散情况和最近亲缘种间谱系发散情况^[11], 可用于了解灾害前后的群落谱系结构的变化. NRI和NTI的计算分别采用*picante*包的“*ses.mpd*”和“*ses.mntd*”函数. 零模型为随机打乱谱系树上物种的位置, 重复999次. 计算公式为^[11,22-24]:

$$NRI = -1 \times \frac{MPD_s - MPD_r}{SD(MPD_r)} \quad (1)$$

$$NTI = -1 \times \frac{MNTD_s - MNTD_r}{SD(MNTD_r)} \quad (2)$$

其中, n 为物种数, δ_{ij} 为物种*i*和*j*间的谱系距离, $\min\delta_{ij}$ 为物种*i*与群落内其他物种间的最近谱系距离. *MPD*(mean phylogenetic distance)和*MNTD*(mean nearest taxon distance)分别衡量群落内的种间平均谱系距离和最近谱系距离^[11]. *MPD_s*和*MNTD_s*为实测值, *MPD_r*和*MNTD_r*为零模型的平均值. *NRI*和*NTI*越大, 表示群落内的种间平均和末端谱系结构越聚集; 反之则越发散.

为了解首次调查群落在灾后(即2010年复查时)的存活情况与随机存活情况的差异, 本研究进行了灾后群落观测*MPD*和*MNTD*与随机存活场景*MPD*和*MNTD*的比较. 具体地, 灾后群落观测*MPD*和*MNTD*为灾后仍存活的所有首次调查记录个体的*MPD*和*MNTD*. 随机存活场景*MPD*和*MNTD*为考虑了植株大小(即胸径)后, 设置的存活场景下, 所有随机存活个体的*MPD*和*MNTD*. 植株大小对存活概率的影响, 采用广义线性模型(generalize linear model)进行估计, 通过“*glm*”函数实现. 模型的应变量为植株在2010年调查中的存活情况, 自变量包括植株胸径的一次方和二次方

项, 是为了更好地拟合存活率随胸径变化而出现的非线性改变. 整个模型得到的拟合值反映群落水平的个体平均存活率随胸径的变化情况. 在每次随机存活模拟中, 某植株的存活率等于该植株所属径级的植株个体平均存活率. 在此基础上, 从2005年群落调查数据中抽取一个随机存活样本, 该样本所含个体数等于2010年群落调查所记录到的存活个体数. 计算随机存活样本的MPD和MNTD. 对随机存活进行999次模拟. MPD和MNTD的计算, 使用R 3.2.4^[23]软件中*picante*包的“*mpd*”和“*mntd*”函数. 计算公式为^[11,24]:

$$MPD = \frac{\sum_i \sum_j \delta_{ij}}{n}, i \neq j \quad (3)$$

$$MNTD = \frac{\sum_i \min \delta_{ij}}{n}, i \neq j \quad (4)$$

MPD和MNTD越大, 表示群落内的种间平均谱系距离和最近谱系距离越大. 此时, 观测MPD(或MNTD)和随机MPD(或MNTD)若存在差异, 说明在控制了个体大小后, 仍出现了群落谱系结构的非随机变化, 提示冰雪灾害对群落破坏与谱系关系相关. 若观测MPD(或MNTD)显著小于随机MPD(或MNTD), 则说明谱系关系近的物种更容易受到相似程度的伤害; 若观测MPD(或MNTD)显著大于随机MPD(或MNTD), 则说明谱系关系远的物种更容易受到相似程度的伤害.

(3) 分析方法. 将24 ha样地划分为10 m×10 m, 20 m×20 m和40 m×40 m粒度的样方. (i) 比较冰雪灾害前后群落NRI和NTI在不同粒度上的差异; (ii) 在20 m×20 m粒度上, 比较灾害前后NRI和NTI在各个径级阶段(1~5 cm, 5~10 cm, ≥10 cm)的差异; (iii) 在20 m×20 m粒度上, 比较灾害前后NRI和NTI在不同生境中的差异. 另外, 针对(i), (ii)和(iii), 分别比较灾前后的群落MPD和MNTD值与随机存活情况下的差异. 具体地, 利用实际观测值与999个随机值均值的组间比较. 组间比较采用Wilcoxon符号秩检验(Wilcoxon signed-rank test). (文中所使用的软件和R语言数据包. 软件: S. PhyloMaker. 数据包: *lme4* package, *picante* package).

2 结果

2.1 不同粒度的群落谱系结构

冰雪灾害后, 各个粒度上的群落NRI和NTI均显著

高于灾害前(图1). 随机模拟也显示, 各粒度上群落MPD和MNTD显著小于随机情况($P < 0.05$; 网络版附图1).

2.2 不同径级群落谱系结构动态

各径级的NRI和NTI也在冰雪灾害后显著增大(图2). 随机模拟显示所有径级的MPD均为灾后小于随机情况, 但MNTD与随机情况无显著差异(网络版附图2).

2.3 不同生境类型的群落谱系结构

4种生境的NRI和NTI结果均显示, 雪灾后显著大于雪灾前(图3). 对于4种生境群落进行随机模拟也显示, 所有群落在冰雪灾害后的MPD和MNTD均小于雪灾前(网络版附图3).

3 讨论

干扰作为生境过滤的形式之一, 对群落构建起重要作用^[4]. 强烈的干扰会导致群落内某些物种灭绝, 同时使得抗干扰能力强的物种得以保留下来^[25,26]. 以往研究发现, 在冰雪灾害后森林内环境条件和群落结构通常会有显著变化^[7,27~29]. 2008年冰雪灾害对于古田山24 ha亚热带常绿阔叶林的破坏广泛而强烈, 且冰雪灾害破坏对于物种具有选择性^[7,16]. 在此基础上, 本研究发现, 冰雪灾害后古田山24 ha样地群落的谱系结构在绝大多数空间粒度、垂直层次和地形条件下, 均比灾前更加聚集.

3.1 不同粒度群落谱系结构变化

冰雪灾害后, 各粒度上的NRI和NTI都显著增大, 且随机模拟显示, 各粒度上群落MPD和MNTD小于随机情况. 说明雪灾干扰使群落谱系结构愈加聚集. 粒度效应是由生境过滤和种间竞争等生态过程相对强度在尺度上的差异引起的, 这些生态过程是研究冰雪灾害影响群落谱系结构变化中的重要因子^[30]. 郝珉辉等人^[31]提出, 在针阔混交林中, 干扰对谱系结构的影响具有尺度依赖性, 且粒度小时群落离散程度上升, 粒度大时群落离散程度下降. 而本研究中, 各个粒度上, 冰雪灾害后群落的近缘种谱系结构和整体谱系结构均更加聚集, 表明冰雪灾害在不同粒度上对于群落谱系结构的破坏较为相似且广泛.

图1 冰雪灾害前(2005年)后(2010年), 古田山24 ha样地群落在3个粒度上NRI和NTI的比较

Figure 1 Comparison of NRI and NTI at three grain sizes in a 24 ha plot on Gutian Mountain between 2005 and 2010, i.e., before and after the ice-snow storm

3.2 不同径级阶段群落谱系结构变化

虽然径级的大小可以反映植物抵抗冰雪灾害能力的强弱^[27], 但几乎所有径级冰雪灾害后群落的近缘种谱系结构和整体谱系结构都更加聚集。另一方面, 虽然3个径级的NTI也是灾害后显著增大, 但MNTD观察值与随机值无明显差异, 提示在相同的生境条件下, 谱系近缘种在相同的径级阶段对雪灾有相似的反应, 也在一定程度上支持了对于雪灾破坏的谱系保守性。

3.3 不同地形生境群落谱系结构变化

古田山24 ha样地4种生境间的地形条件差异很大^[16,32]。但在本研究中, 经历冰雪灾害干扰后, 不同生境下群落的近缘种谱系结构和整体谱系结构均变得更加聚集。在以往的研究中显示, 不同生境条件对雪灾的响应有一定差异^[6,7]。本研究中表现为低山谷和低山脊的NRI, NTI均在灾后变大, 且MPD和MNTD观察值均小于随机值, 表明低海拔生境遭受到较为严重的破坏, 可能与低海拔生境冠层结构较为完整, 破坏过程中进

一步引起严重的林下层损伤有关。而高山谷和高山脊中, 虽然NRI和NTI在灾后变大, 但MNTD观察值与随机值无明显差异, 提示谱系近缘种受到相似的雪灾损害, 群落的近缘种谱系结构并未受到较大破坏, 这可能与高海拔生境中小径级个体较多, 树干的韧性较大, 对于雪灾的抵抗力较强有关。

3.4 结论

本研究是运用谱系学解释冰雪灾害对亚热带常绿阔叶林群落结构干扰的探索性研究。研究发现, 冰雪灾害对于该森林群落谱系结构的影响是非随机的, 在不同空间粒度、径级水平和地形生境中, 群落谱系结构多朝着聚集格局发展, 植物群落趋于谱系保守。冰雪灾害作为一种重要的干扰形式, 导致了强烈的环境压力从而驱使具有相似生态学特性的近缘种聚集, 表现出聚集格局, 这表明生境过滤在群落构建中起决定性作用。根据谱系生态位保守假说, 亲缘关系较近的物种更倾向于受到相似程度的破坏, 同时群落结构和内

图 2 冰雪灾害前(2005年)后(2010年), 古田山24 ha样地群落3个径级NRI和NTI比较

Figure 2 Comparison of NRI and NTI at three size classes in a 24 ha plot on Gutian Mountain between 2005 and 2010, i.e., before and after the ice-snow storm

图 3 冰雪灾害前(2005年)后(2010年), 古田山24 ha样地4种生境群落NRI和NTI的变化

Figure 3 Comparison of NRI and NTI at four topographic habitat types in a 24 ha plot on Gutian Mountain between 2005 and 2010, i.e., before and after the ice-snow storm

环境也会有显著变化^[8~11,28]。群落内抗干扰能力弱的物种将面临较大的灭绝风险, 而抗干扰能力强的物种在幸存下来后, 将面临更加激烈的资源竞争^[25,26,30]。若全球气候变化加剧, 冰雪灾害在亚热带地区发生的频率

和强度发生变化^[5,33], 很可能会加剧影响亚热带地区常绿阔叶林群落谱系结构和多样性。因此, 具有相似生态学特性物种间的竞争压力可能将取代环境压力、干扰等生境过滤因素成为群落构建的主要驱动力。

致谢 感谢在2005年和2010年古田山24 ha样地两次调查过程中, 中国科学院植物研究所、浙江大学以及浙江师范大学等单位的师生付出的辛勤劳动; 感谢钱江源国家公园管理局的大力支持; 感谢唐头和苏庄等村的村民给予的协助; 感谢东北林业大学金光泽教授、浙江大学丁平教授等对论文提出建设性意见。

参考文献

- 1 Pickett S T A, White P S. The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics. London: Academic Press, 1985
- 2 Pickett S T A, Kolasa J, Armesto J J, et al. The ecological concept of disturbance and its expression at various hierarchical levels. *Oikos*, 1989, 54: 129–136
- 3 Song K, Mi X C, Ma K P, et al. Variation in phylogenetic structure of forest communities along a human disturbance gradient in Gutianshan forest, China (in Chinese). *Biodivers Sci*, 2011, 19: 190–196 [宋凯, 米湘成, 马克平, 等. 不同程度人为干扰对古田山森林群落谱系结构的影响. 生物多样性, 2011, 19: 190–196]
- 4 Helmus M R, Keller W B, Paterson M J, et al. Communities contain closely related species during ecosystem disturbance. *Ecol Lett*, 2009, 13: 162–174
- 5 Tremblay M, Messier C, Marceau D J. Analysis of deciduous tree species dynamics after a severe ice storm using SORTIE model simulations. *Ecol Model*, 2005, 187: 297–313
- 6 Guo S H, Xue L. Effects of ice-snow damage on forests (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2012, 32: 5242–5253 [郭淑红, 薛立. 冰雪灾害对森林的影响. 生态学报, 2012, 32: 5242–5253]
- 7 Jin Y, Chen J H, Yu M J, et al. Impacts of the 2008 ice storm on structure and composition of an evergreen broad-leaved forest community in eastern China (in Chinese). *Biodivers Sci*, 2015, 23: 610–618 [金毅, 陈建华, 于明坚, 等. 古田山24 ha森林动态监测样地常绿阔叶林群落结构和组成动态: 探讨2008年冰雪灾害的影响. 生物多样性, 2015, 23: 610–618]
- 8 Swenson N G, Enquist B J. Opposing assembly mechanisms in a neotropical dry forest: Implications for phylogenetic and functional community ecology. *Ecology*, 2009, 90: 2161–2170
- 9 Webb C O, Gilbert G S, Donoghue M J. Phylodiversity-dependent seedling mortality, size structure, and disease in a Bornean rain forest. *Ecology*, 2006, 87: S123–S131
- 10 Cadotte M W. Functional traits explain ecosystem function through opposing mechanisms. *Ecol Lett*, 2017, 20: 989–996
- 11 Webb C O, Ackerly D D, McPeck M A, et al. Phylogenies and community ecology. *Annu Rev Ecol Syst*, 2002, 33: 475–505
- 12 Kembel S W, Hubbell S P. The phylogenetic structure of a neotropical forest tree community. *Ecology*, 2006, 87: S86–S99
- 13 Stone R. Natural disasters: Ecologists report huge storm losses in China's forests. *Science*, 2008, 319: 1318–1319
- 14 Zhu L K. Impact of serious disaster on forestry and ideas of restoration and reconstruction (in Chinese). *Forest Econ*, 2008, 3: 3–7 [祝列克. 特大雨雪灾害对林业的影响及恢复重建思路. 林业经济, 2008, 3: 3–7]
- 15 Zhou B, Gu L, Ding Y, et al. The great 2008 Chinese ice storm: Its socioeconomic-ecological impact and sustainability lessons learned. *Bull Amer Meteor Soc*, 2011, 92: 47–60
- 16 Man X X, Mi X C, Ma K P. Effects of an ice storm on community structure of an evergreen broadleaved forest in Gutianshan National Nature Reserve, Zhejiang Province (in Chinese). *Biodivers Sci*, 2011, 19: 197–205 [曼兴兴, 米湘成, 马克平. 雪灾对古田山常绿阔叶林群落结构的影响. 生物多样性, 2011, 19: 197–205]
- 17 Yu M J, Hu Z H, Yu J P, et al. Forest vegetation types in Gutianshan natural reserve in Zhejiang (in Chinese). *J Zhejiang Univ (Agric Life Sci)*, 2001, 27: 375–380 [于明坚, 胡正华, 余建平, 等. 浙江古田山自然保护区森林植被类型. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2001, 27: 375–

380]

- 18 Chen B. Gutianshan Forest Dynamic Plot Tree Species and Their Distribution Patterns (in Chinese). Beijing: China Forestry Publishing House, 2009 [陈彬. 浙江古田山森林: 树种及其分布格局. 北京: 中国林业出版社, 2009]
- 19 Legendre P, Mi X, Ren H, et al. Partitioning beta diversity in a subtropical broad-leaved forest of China. *Ecology*, 2009, 90: 663–674
- 20 Lai J, Mi X, Ren H, et al. Species-habitat associations change in a subtropical forest of China. *J Veget Sci*, 2009, 20: 415–423
- 21 Pei N C. Building a subtropical forest community phylogeny based on plant DNA barcodes from Dinghushan plot (in Chinese). *Plant Divers Resour*, 2012, 34: 263–270 [裴男才. 利用植物DNA条形码构建亚热带森林群落系统发育关系——以鼎湖山样地为例. 植物分类与资源学报, 2012, 34: 263–270]
- 22 Bates D M, Mächler M, Bolker B M, et al. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *J Stat Soft*, 2015, 67: 1–48
- 23 Kembel S W, Cowan P D, Helmus M R, et al. Picante: R tools for integrating phylogenies and ecology. *Bioinformatics*, 2014, 26: 1463–1464
- 24 Webb C O, Donoghue M J. Phylomatic: Tree assembly for applied phylogenetics. *Mol Ecol Notes*, 2005, 5: 181–183
- 25 Liu W, Cao W. Phylogenetic structure and influence of environmental factors on phylogenetic structure of plant community in Changbai Mountains (in Chinese). *J Arid Land Resour Environ*, 2013, 27: 63–68 [刘巍, 曹伟. 长白山植物群落谱系结构及环境因子对其的影响. 干旱区资源与环境, 2013, 27: 63–68]
- 26 Verdú M, Pausas J G. Fire drives phylogenetic clustering in Mediterranean Basin woody plant communities. *J Ecol*, 2007, 95: 1316–1323
- 27 Proulx O J, Greene D F. The relationship between ice thickness and northern hardwood tree damage during ice storms. *Can J For Res*, 2001, 31: 1758–1767
- 28 Hopkin A, Williams T, Sajan R, et al. Ice storm damage to eastern Ontario forests: 1998–2001. *Forest Chron*, 2003, 79: 47–53
- 29 Lafon C W. Ice-storm disturbance and long-term forest dynamics in the Adirondack mountains. *J Veget Sci*, 2004, 15: 267–276
- 30 Wu Q Q, Liu J L, Hu G, et al. Dynamics of phylogenetic structure in *Fagus hayatae* communities vary across temporal and spatial scales (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2018, 38: 1320–1327 [吴倩倩, 刘金亮, 胡广, 等. 不同时间和空间尺度上台湾水青冈群落谱系结构动态变化. 生态学报, 2018, 38: 1320–1327]
- 31 Hao M H, Li X Y, Xia M J, et al. Effects of tending felling on functional and phylogenetic structures in a multi-species temperate secondary forest at Jiaohe in Jilin province (in Chinese). *Scie Silvae Sin*, 2018, 54: 1–9 [郝珉辉, 李晓宇, 夏梦洁, 等. 抚育采伐对蛟河次生针阔混交林功能结构和谱系结构的影响. 林业科学, 2018, 54: 1–9]
- 32 Chen L, Mi X, Comita L S, et al. Community-level consequences of density dependence and habitat association in a subtropical broad-leaved forest. *Ecol Lett*, 2010, 13: 695–704
- 33 Hooper M C, Arian K, Lechowicz M J. Impact of a major ice storm on an old-growth hardwood forest. *Can J Bot*, 2001, 79: 70–75

The phylogenetic structure of a subtropical evergreen broad-leaved forest community before and after an ice-snow storm in Gutianshan, eastern China

WANG ZhongHan¹, WU ChuPing², QIAN HaiYuan³, YU JianPing³, YUAN WeiGao²,
SHEN AiHua⁴, CHEN ShengWen³, JIN Yi¹ & YU MingJian¹

1 College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China;

2 Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, China;

3 Qianjiangyuan National Park Administration, Kaihua 324300, China;

4 Zhejiang Forestry Technology Extended Station, Hangzhou 310020, China

Ice-snow storms are a major natural disturbance, and it is an important driver of forest regeneration in middle and high latitudes. Previous studies have focused on the impact of ice-snow storm on forest dynamics; however, few studies have investigated the impact of ice-snow storms on the phylogenetic structure of a forest community. In this study, we studied the phylogenetic structure of a 24-ha subtropical evergreen, broad-leaved forest in Gutianshan National Nature Reserve in Zhejiang Province before (2005) and after (2010) an ice-snow storm. We compared NRI and NTI of the community at three grain sizes, four topographic habitat types, and three size classes between before and after the ice-snow storm. Furthermore, we simulated random mortality during 2005–2010 and compared MPD and MNTD between observed values and random mortality in 2010. We found that (1) NRI and NTI were significantly higher after the storm across grain size, habitat, and size class. (2) Additionally, MNTD were not significantly different between random mortality and observed values in 2010 for the three size classes and two habitats, whereas all other cases showed that MNTD and MPD were significantly larger for random mortality than that for observed values. The results indicate that community phylogenetic structures of the study forest were more clustered after the storm, and they were little affected by grain size, vertical layer and habitat condition. This study improves our understanding of ice-storm disturbance on subtropical evergreen broad-leaved forest community phylogenetic structure.

disturbance, subtropics, forest phylogenetic structure, vertical layer, habitat, grain

doi: [10.1360/N052018-00105](https://doi.org/10.1360/N052018-00105)