

车八岭山地常绿阔叶林冰灾后土壤节肢动物群落的多样性

区余端^{1,2} 苏志尧^{1,2*} 李镇魁¹ 佟富春¹ 柳泽鑫¹

1 (华南农业大学林学院, 广州 510642)

2 (华南农业大学农业部生态农业重点开放实验室, 广州 510642)

摘要: 2008年初车八岭山地常绿阔叶林受到中国南方80年一遇的冰灾的重创。为了揭示灾后林冠开度的梯度对土壤节肢动物多样性与分布的影响, 在受冰灾影响的车八岭山地常绿阔叶林设置2 ha固定样地, 按照冠层受损程度选取17个20 m×20 m的样方, 用半球面影像技术获取林冠开度, 并分凋落物层、0–10 cm和10–20 cm的矿质土层采集凋落物及土壤样品, 分析土壤节肢动物多样性。利用双向聚类分析(two-way cluster analysis)对凋落物层的土壤节肢动物和样地进行聚类, 以典范对应分析(canonical correspondence analysis)研究冠层开度、土壤有机质、电导率以及自然含水量与0–10 cm表土层土壤节肢动物的关系。结果表明土壤节肢动物的多度、丰富度和多样性随土壤层的加深而下降, 具有明显的表聚性; 林冠开度与凋落物层的土壤节肢动物类群数量呈负相关; 甲螨亚目、中气门亚目和前气门亚目动物对光照的适应范围广; 膜翅目、鞘翅目幼虫、综合纲和伪蝎目动物具有明显的避光性; 土壤节肢动物类群的分布与林冠开度、土壤自然含水量、电导率和有机质关系密切。因此可以推论, 冰灾对车八岭山地常绿阔叶林冠层的破坏及土壤因子的变化会进一步影响土壤节肢动物群落的组成和分布。本研究还表明, 土壤节肢动物群落能有效地表征它们所栖息的生态系统的特点, 可用于监测冰灾后森林恢复和演替动态。而双向聚类分析和典范对应分析对于揭示土壤节肢动物的空间异质性及其与环境因子的相互关系具有理想的效果。

关键词: 林冠开度, 半球面影像技术, 双向聚类分析, 典范对应分析

Soil arthropod diversity following an ice storm in a montane evergreen broadleaved forest in Chebaling National Nature Reserve, China

Yudian Ou^{1,2}, Zhiyao Su^{1,2*}, Zhenkui Li¹, Fuchun Tong¹, Zexin Liu¹

1 College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642

2 Key Laboratory of Ecological Agriculture of Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, Guangzhou 510642

Abstract: In 2008, an ice storm caused extensive damage to the montane evergreen broadleaved forest in Chebaling National Nature Reserve, Guangdong Province, China. To assess the response of soil arthropod diversity and distribution to a gradient of canopy openness following the ice storm, 17 plots, each 400 m², were selected within a 2-ha permanent plot. Canopy openness was estimated with hemispherical photography in each plot. We sampled the litter layer and two soil layers (0–10 cm and 10–20 cm) to measure arthropod diversity and soil properties. We used two-way cluster analysis to group sites based on arthropod abundance in the litter layer. We also utilized canonical correspondence analysis to reveal relationships between soil arthropods in the 0–10 cm layer and four environmental variables, i.e., canopy openness (CO), soil organic matter (SOM), electric conductivity (EC), and natural moisture content (NMC). Results showed that abundance, richness and diversity of arthropod communities decreased with depth. A negative association was found between canopy openness and the number of arthropod groups in the litter layer; some arthropod taxa, such as the Oribatida, Prostigmata and Mesostigmata, were found in a wide range of light conditions,

收稿日期: 2009-02-12; 接受日期: 2009-08-23

基金项目: 广东省科技计划项目(2008A020100013)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zysu@scau.edu.cn

whereas the Hymenoptera, Symphyla, Pseudoscorpiones and Lepidoptera larvae may be photophobic. The distribution of arthropods in the 0–10 cm soil layer was closely related to CO, SOM, EC, and NMC on the first and second canonical axes. Hence, a series of changes in canopy structure and soil factors following the ice storm appeared to have affected the composition and distribution of soil arthropod communities. Findings from the present study also indicated that arthropod communities could serve as indicators to characterize the ecosystems they inhabit, thus being particularly suitable for monitoring forest regeneration and successional dynamics following ice storms.

Key words: canopy openness, hemispherical photography, two-way cluster analysis, canonical correspondence analysis

随着全球变暖的加剧, 极端气候的频率也在增加(Lassig & Mocalov, 2000), 一般只在温带和寒温带发生的冰灾也罕见地出现在地处我国亚热带的多个省份。2008年1月初至2月我国南方出现80年一遇的冰灾, 粤北森林生态系统因此遭受重创(李意德, 2008; Stone, 2008)。其中, 南岭国家级自然保护区及车八岭国家级自然保护区林木受损情况尤为严重, 据统计, 该地区90%的森林被损毁(Stone, 2008)。低温不仅使很多植物遭受冻害, 使部分枝梢乃至整个植株枯死, 而且枝条上堆积形成的冰层还折断了大量枝干, 甚至压垮了整个冠层, 一些乔木被拦腰折断或劈倒, 某些还被连根拔起, 根系裸露在外。这使很多林分破碎化, 形成大量林窗。另一方面, 大量倒木和枝叶堆积林下给森林生态系统带来了大量非正常的养分输入, 影响了能量流动及物质循环的过程(Wilcke *et al.*, 2005)。研究表明, 在美国与加拿大东部的森林冰灾是频繁的自然干扰现象(Irland, 2000; Proulx & Greene, 2001; Beaudet *et al.*, 2007), 这种自然干扰对生物个体的多度和分布有着深刻的影响, 并且对生物体及生态系统施加着重大的选择压力(Wootton, 1998; Jones *et al.*, 2001)。冰灾对森林冠层的破坏和使凋落物的增加将导致林下微环境和土壤状况的改变, 这必然影响到栖息其中的生物的分布, 包括土壤节肢动物(Beaudet *et al.*, 2007)。但因我国南方冰雪灾害极为罕见, 尚缺少这方面的研究。

土壤节肢动物是生态系统中重要的组成成分, 它们在物质分解、养分循环和肥力保持过程中起着重要的调节作用。另外, 土壤节肢动物的分布通常体现出聚集效应, 这一特点可用于揭示其群落的组成及多样性与外部环境(光、温、水、养分等)的关系(Hasegawa, 2001)以及对栖息环境变化的适应性。本文旨在通过研究冰灾后的林冠开度及土壤因子

与土壤节肢动物的关系, 揭示冰灾后的森林环境对土壤节肢动物分布的影响, 并考察土壤节肢动物对环境的指示作用。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

车八岭国家级自然保护区地处广东省东北部始兴县境内(114°09'04"–114°16'46" E, 24°40'29"–24°46'21" N), 其东面与江西省全南县相邻, 南面与司前镇接壤, 西面毗邻刘张家山林场, 北面与都亨镇交界, 全区面积7,545 ha。地质构造上属华南褶皱系, 地势西北高东南低, 最高峰天平架海拔1,256 m, 最低处樟栋水海拔330 m。保护区的土壤形态和结构较为完整, 山地红壤、山地暗红壤、山地黄红壤、山地黄壤、山地表潜黄壤和山地草甸土随海拔由低到高呈垂直分布, 低地和谷地还有各类岩石风化物的坡积物和冲积物发育而成的水稻土。本地区属于亚热带季风气候区, 全年热量充分, 冷暖交替明显, 春季低温阴雨寡照, 夏季炎热高温多雨, 秋季昼暖夜凉, 冬季寒冷有霜稀雨。年平均气温19.5℃, 年平均降水量1,500 mm。区内森林是南岭南缘保存较完整、面积较大、分布较集中、原生性较强的中亚热带常绿阔叶林(徐燕千, 1993)。

1.2 取样与分析

2008年7月, 在保护区内受冰灾破坏的山地常绿阔叶林内建立了一块2 ha的固定样地, 在样地中按照冠层受损程度选17个20 m × 20 m的样方进行调查取样。记录各样方的海拔高度、坡度和坡向等地形特征, 并在样方内进行植物群落的每木调查, 测定胸径≥1 cm所有立木的胸径、树高、冠幅和群落郁闭度。利用半球面影像技术获取每个样方的冠层影像, 用冠层分析软件Gap Light Analyzer对半球面照片进行分析, 获得林冠开度(canopy openness,

CO)参数(Silbernagel & Moeur, 2001; Beaudet & Messier, 2002)。各样方主要环境因子的数据见表1。

在每个样方对角线的四分位和中心共设置5个取样点,每个样点分凋落物层、0–10 cm和10–20 cm土层3个层次进行取样。凋落物层用25 cm × 25 cm (1 cm)的取样框收集;在取样框范围内0–10 cm和10–20 cm的土壤层从下往上用200 cm³环刀分别取土。所获样品先用手拣出大型土壤节肢动物,然后带回实验室用Tullgren干漏斗法分离中小型土壤节肢动物。土壤节肢动物分类鉴定依据《中国亚热带土壤动物》(尹文英等,1992)和《中国土壤动物检索图鉴》(尹文英,1998),一般分至大类群单位(目)。每个样方每层分别取5个取样点土壤节肢动物个体数(多度)的平均值,将个体数折算成每625 cm³样品中含土壤节肢动物的个体数。

均匀混合每样方同一层5个点的土样,测定混合土壤的自然含水量(105℃烘干法)、电导率(土壤电导率仪)和有机质含量(丘林法)(鲍士旦,2000)。

1.3 数据统计与分析

1.3.1 节肢动物的多样性

计算每个样方凋落物层、0–10 cm和10–20 cm土壤层节肢动物的丰富度指数(S) (即物种数)、均匀度指数(E)和多样性指数(H'),各多样性指数的计算公式如下:

Shannon-Wiener多样性指数(H'):

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

式中 S 为物种数, P_i 是样本中属于 i 种的所有个体占总个体数的比例。

Pielou均匀度指数(E): $E = H' / \ln S$

对三层的多样性指数做Kruskal-Wallis分析,检验土壤动物在各层间是否存在差异。

1.3.2 双向聚类分析

采用Sorensen距离系数和组平均法对凋落物层土壤节肢动物各类群在17个样方中的多度分布做双向聚类分析(two-way cluster analysis) (McCune &

表1 车八岭国家级自然保护区山地常绿阔叶林17个样方主要的环境因子

Table 1 The main environmental factors of 17 plots in montane evergreen broadleaved forest of Chebaling National Nature Reserve

样方 Plot	海拔 Elevation (m)	坡向 Aspect	坡度 Slope (°)	林冠开度 Canopy openness (%)	主要优势植物 Dominant plant species
P1	459	EBS3°	31	17.81	米槠, 甜槠 <i>Castanopsis carlesii</i> , <i>C. eyrei</i>
P2	434	DE	40.1	28.73	米槠, 红背锥, 荷木 <i>Castanopsis carlesii</i> , <i>C. fargesii</i> , <i>Schima superba</i>
P3	442	EBS7°	34.5	20.93	米槠, 微毛山矾, 灰毛杜英, 交让木 <i>Castanopsis carlesii</i> , <i>Symplocos wikstroemiifolia</i> , <i>Elaeocarpus limitaneus</i> , <i>Daphniphyllum macropodum</i>
P4	425	EBS11°	33	22.92	米槠, 红背锥, 鸭公青, 微毛山矾 <i>Castanopsis carlesii</i> , <i>C. fargesii</i> , <i>Neolitsea chunii</i> , <i>Symplocos wikstroemiifolia</i>
P5	459	EBS3°	31	33.23	米槠, 甜槠 <i>Castanopsis carlesii</i> , <i>C. eyrei</i>
P6	459	EBS3°	31	19.45	米槠, 甜槠 <i>Castanopsis carlesii</i> , <i>C. eyrei</i>
P7	435	DE	40.3	13.15	米槠, 华南樟, 栓叶安息香 <i>Castanopsis carlesii</i> , <i>Cinnamomum austro-sinensis</i> , <i>Styrax suberifolia</i>
P8	435	DE	40.3	17.21	米槠, 华南樟, 栓叶安息香 <i>Castanopsis carlesii</i> , <i>Cinnamomum austro-sinensis</i> , <i>Styrax suberifolia</i>
P9	418	EBN12°	41.2	20.09	米槠, 栓叶安息香 <i>Castanopsis carlesii</i> , <i>Styrax suberifolia</i>
P10	418	EBN12°	41.2	19.27	米槠, 栓叶安息香 <i>Castanopsis carlesii</i> , <i>Styrax suberifolia</i>
P11	434	DE	40.1	21.42	米槠, 红背锥, 荷木 <i>Castanopsis carlesii</i> , <i>C. fargesii</i> , <i>Schima superba</i>
P12	394	EBN10°	34.9	18.58	米槠, 荷木 <i>Castanopsis carlesii</i> , <i>Schima superba</i>
P13	394	EBN10°	34.9	22.96	米槠, 荷木 <i>Castanopsis carlesii</i> , <i>Schima superba</i>
P14	394	EBN10°	34.9	20.52	米槠, 荷木 <i>Castanopsis carlesii</i> , <i>Schima superba</i>
P15	349	EBN15°	32	10.52	米槠, 鸭公青, 华山矾 <i>Castanopsis carlesii</i> , <i>Neolitsea chunii</i> , <i>Symplocos chinensis</i>
P16	349	EBN15°	32	13.21	米槠, 鸭公青, 华山矾 <i>Castanopsis carlesii</i> , <i>Neolitsea chunii</i> , <i>Symplocos chinensis</i>
P17	385	EBN30°	44.3	16.76	香港四照花, 石栎 <i>Dendrobenthamia hongkongensis</i> , <i>Lithocarpus glabra</i>

EBS: 东偏南; EBN: 东偏北; DE: 正东

EBS: East by south; EBN: East by north; DE: Due east

Mefford, 2006)。同时, 将17个样方按林冠开度是否大于20%分为两级, 分析土壤节肢动物群落类群在样方中的分布与林冠开度的关系。

1.3.3 典范对应分析

通过CCA(canonical correspondence analysis)排序分析0-10 cm土壤层节肢动物类群与环境因子的关系。用蒙特卡罗检验(Monte Carlo permutation test)($n = 499$)度量各个环境变量与土壤节肢动物类群之间关系是否显著(Leps & Smilauer, 2003)。

用Statistica 8.0 (StatSoft Inc., 2007)做方差分析; PC-ORD 5.0(MjM software, 2006)计算多样性指标并做双向聚类分析; CANOCO 4.5(Biometris, 2006)做典范对应分析。

2 结果

2.1 样地节肢动物群落的组成

在17个样方的凋落物层、0-10 cm和10-20 cm土壤层中共采集到土壤节肢动物883头(表2)。其中, 甲螨亚目为优势类群, 个体数占捕获量的64.1%; 中气门亚目为常见类群, 个体数占捕获量的13.6%; 膜翅目、弹尾纲、鳞翅目、前气门亚目和双翅目为较常见类群, 它们总个体数占捕获量的20.0%; 蜘蛛目、伪蝎目、鞘翅目、缨翅目和综合纲均为稀有类群, 它们总个体数只占捕获量的2.3%。蛛形纲、昆虫纲、弹尾纲和综合纲的个体数分别占捕获量的80.86%、14.38%、4.64%和0.11%。

Kruskal-Wallis检验表明, 丰富度、均匀度和多样性指数在3层土壤节肢动物间均存在极显著差异($P < 0.0001$)。随土层的加深土壤节肢动物的丰富度显著降低, 垂直分布显著; 均匀度未表现出垂直分布的规律, 但层与层之间的差异显著; 凋落物层和0-10 cm层的节肢动物多样性差异不显著, 但它们与10-20 cm土层的差异却很显著, 多样性随土层的加深有降低的趋势(图1)。

2.2 双向聚类分析

凋落物层土壤节肢动物群落的双向聚类分析结果表明(图2), 按照凋落物层土壤节肢动物类群在各样方中的多度可将17个样方分为4个大类, 第一大类包括样方1、12和16, 为林冠开度较小的样方; 第二大类包括样方2、6、13和14, 主要为林冠开度较大的样方; 第三大类包括样方3、5、8、9和11, 主

表2 车八岭国家级自然保护区山地常绿阔叶林土壤节肢动物群落的组成及多度

Table 2 Arthropod community composition and abundance in the montane evergreen broadleaved forest of Chebaling National Nature Reserve

分类群 Taxa	凋落物层 Litter	土壤层 Soil layer (cm)	
		0-10	10-20
蛛形纲 Arachnida			
蜱螨目 Acarina			
甲螨亚目 Oribatida	309	219	38
前气门亚目 Prostigmata	20	3	-
中气门亚目 Mesostigmata	61	50	9
蜘蛛目 Araneae	3	-	-
伪蝎目 Pseudoscorpiones	2	-	-
昆虫纲 Insecta			
膜翅目 Hymenoptera	8	41	19
鞘翅目幼虫 Coleoptera larva	2	3	-
双翅目幼虫 Diptera larva	-	13	-
鳞翅目幼虫 Lepidoptera larva	17	12	3
缨翅目 Thysanoptera	9	-	-
弹尾纲 Collembola	35	6	-
综合纲 Symphyla	1	-	-

要为林冠开度较大的样方; 第四大类包括4、7、15、10和17, 主要为林冠开度较小的样方。林冠开度等级与样方聚类的结果非常吻合。林冠开度较小的样方土壤节肢动物类群的多度明显高于林冠开度较大的样方。节肢动物的剩余信息(information remaining)越大, 它们在样方中的分布状况也越相似, 聚类越近。其中甲螨亚目和中气门亚目的剩余信息最大, 说明它们在样方中的分布最相似, 它们几乎在所有的样方中都出现, 但其在林冠开度小的样方中的多度明显大于林冠开度大的样方; 膜翅目和鞘翅目幼虫的剩余信息次之, 它们只出现在样方16和样方4。

2.3 典范对应分析

0-10 cm土层节肢动物群落的双向聚类分析表明, 在17个样方中林冠开度、土壤自然含水量、电导率和有机质与土壤节肢动物分布的关系都很密切。其中林冠开度和土壤自然含水量的影响最大, 且两者几乎不相关($r = 0.0064$); 土壤自然含水量和电导率有很明显的负相关($r = -0.9588$); 土壤自然含水量和有机质也有明显的负相关($r = -0.7294$); 电导率和土壤有机质有明显的正相关($r = 0.5481$)。从图3可以看出, 样方5与各类土壤节肢动物的连线

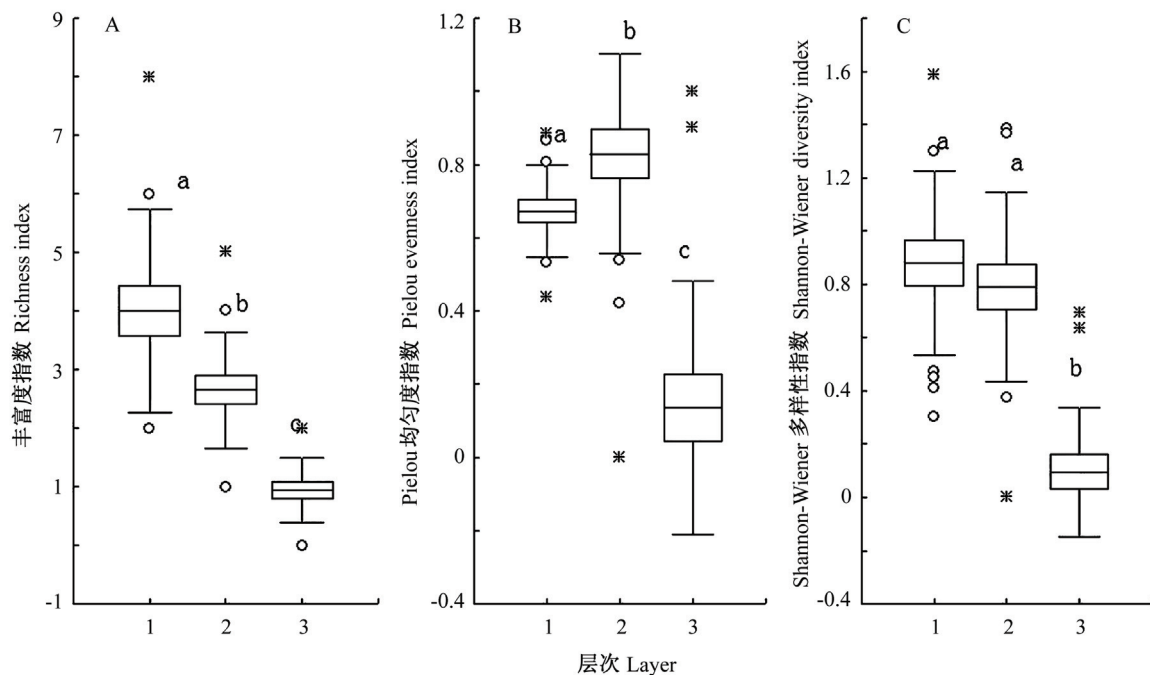


图1 不同层次节肢动物群落丰富度(A)、均匀度(B)和多样性指数(C)的比较。1: 凋落物层; 2: 土壤层0–10 cm; 3: 土壤层10–20 cm。图中不同小写字母表示有显著差异($P < 0.0001$)。

Fig. 1 Comparison of arthropod richness (A), evenness (B) and diversity index (C) of arthropod community in different layers. 1, Litter layer; 2, Soil layer of 0–10 cm; 3, Soil layer of 10–20 cm. Different letters for the boxplots in a sub-figure indicates significantly different ($P < 0.0001$).

距离最长, 表示各类土壤节肢动物的多度在样方5最低。沿林冠开度(CO)增大的箭头可发现, 样方5的林冠开度在17个样方中最大, 这与实际数据完全一致, 进一步说明了土壤节肢动物一般都具有避光性。第1排序轴与各土壤因子的角度较小, 说明第1排序轴与土壤性质相关, 第2排序轴与林冠开度的角度较小, 说明第2排序轴与冠层结构相关, 环境变量与排序轴之间的关系详见表3。

3 讨论

已有研究表明土壤节肢动物的多度、丰富度和多样性会随土层的加深而减少, 垂直分布具有明显的表聚性(刘红和袁兴中, 1999; 王海霞等, 2003; 高艳等, 2007; 殷秀琴等, 2008)。本文的研究也有相同结果, 且发现到10–20 cm土壤层节肢动物的多度、丰富度和多样性已经变得很小, 因此本文主要分析凋落物层以及0–10 cm土壤层的节肢动物群落。

林冠开度不同导致透射到林内的直射光和散

射光强度不同, 造成光照水平的差异, 进而影响到林内温度和水分状况(方升佐等, 1998), 而这些也正是影响土壤节肢动物群落组成和多样性的重要因子。光会给易受干燥和高温影响的土壤节肢动物类群带来危险(Chan *et al.*, 1997; Berg & Hemerik, 2004), 因此这类土壤节肢动物有避光性。冰灾造成的大量林窗对这类有明显避光性的土壤节肢动物有抑制作用, 会使这类不适应强光照的土壤节肢动物逐渐从受灾严重的样地中消失。

林冠开度对土壤节肢动物群落的分布有很大影响, 林冠开度较小的样方土壤节肢动物多度较高, 即大多数土壤节肢动物会聚集在光照水平较弱的样方。甲螨亚目和中气门亚目几乎在所有样方中都出现, 但其在林冠开度小的样方中的多度明显大于林冠开度大的样方, 说明该类土壤节肢动物虽然对光照强度有较广的适应范围, 但对光照较弱的有利环境还是会呈现聚集效应。聚类的结果也表明, 聚类越近, 即分布状况也越相似的土壤节肢动物对

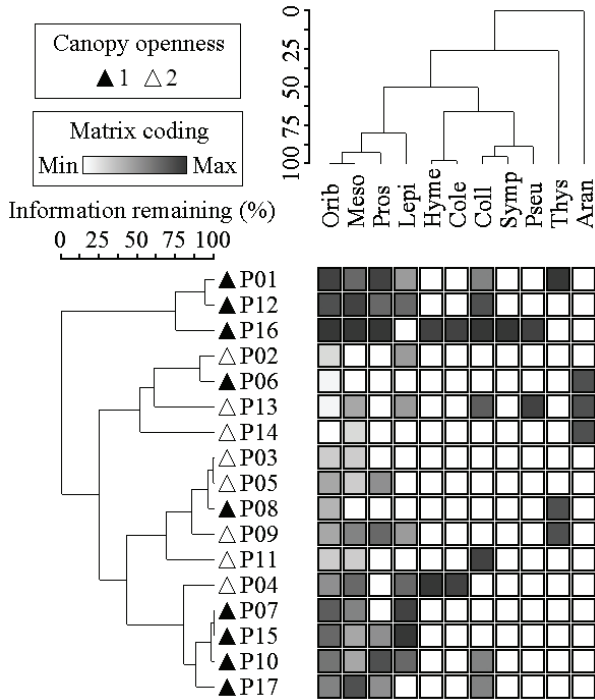


图2 凋落物层土壤节肢动物类群及其分布的双向聚类分析。林冠开度<math>< 20\%</math>的样方, 标记为△; 林冠开度$\ge 20\%$的样方, 标记为▲。各类群按多度从小到大对应matrix coding从浅色到深色。Orib: 甲螨亚目; Meso: 中气门亚目; Pros: 前气门亚目; Lepi: 鳞翅目幼虫; Hyme: 膜翅目; Cole: 鞘翅目幼虫; Coll: 弹尾纲; Symp: 综合纲; Pseu: 伪蝎目; Thys: 缨翅目; Aran: 蜘蛛目。

Fig. 2 Two-way cluster dendrogram of arthropods and plots in litter layer. (△) canopy openness<math>< 20\%</math>; (▲) canopy openness$\ge 20\%$, grayscale ranging from light to black color in matrix coding stands for the increase of arthropod abundance. Orib, Oribatida; Meso, Mesostigmata; Pros, Prostigmata; Lepi, Lepidoptera larva; Hyme, Hymenoptera; Cole, Coleoptera larva; Coll, Collembola; Symp, Symphyla; Pseu, Pseudoscorpionida; Thys, Thysanoptera; Aran, Araneae.

林内微环境的要求相似; 分布状况不同的土壤节肢动物对栖息环境的要求有所不同, 对冰灾给生境造成破坏的适应能力也不同。

很多研究表明, 土壤节肢动物群落的组成和分布与土壤有机质及含水量有密切关系(Hasegawa, 2001), 本文也得到了同样的结果。另外, 我们还发现土壤电导率和土壤有机质与土壤节肢动物群落的分布有密切关系, 并且它们之间呈明显的正相关。土壤电导率是反映土壤电化学性质和肥力特性的基础指标(敬芸仪等, 2006)。但以往研究未见把土

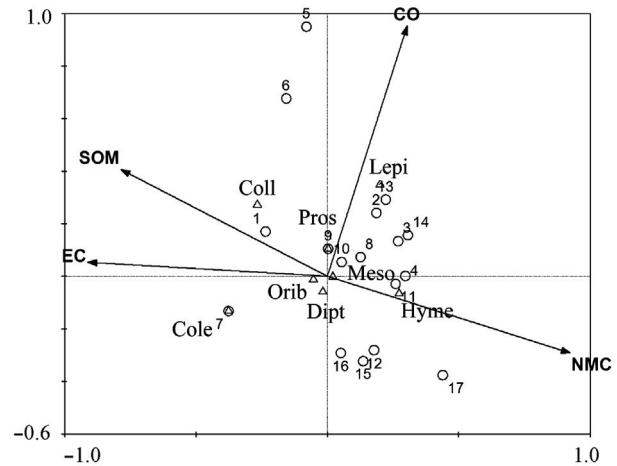


图3 0-10 cm土壤层节肢动物类群(△)、样地(○)和环境变量(→)的CCA排序图。CO: 林冠开度; NMC: 自然含水量; EC: 电导率; SOM: 土壤有机质。Orib: 甲螨亚目; Meso: 中气门亚目; Pros: 前气门亚目; Hyme: 膜翅目; Lepi: 鳞翅目幼虫; Dipt: 双翅目幼虫; Coll: 弹尾纲; Cole: 鞘翅目幼虫。

Fig. 3 CCA ordination diagram of taxa, sampling area and environmental variables in soil layer 0-10 cm. CO, Canopy openness; NMC, Natural moisture content; EC, Electric conductivity; SOM, Soil organic matter. Orib, Oribatida; Meso, Mesostigmata; Pros, Prostigmata; Hyme, Hymenoptera; Lepi, Lepidoptera larva; Dipt, Diptera larva; Coll, Collembola; Cole, Coleoptera larva.

表3 环境变量与排序轴的相关性

Table 3 Correlation of environmental variables with axes

环境变量 Environmental variables	排序轴1 Axis 1	排序轴2 Axis 2	排序轴3 Axis 3
电导率 Electric conductivity (EC)	-0.7130	0.0404	0.1356
土壤有机质 Soil organic matter (SOM)	-0.6141	0.3044	-0.1555
自然含水量 Natural moisture content (NMC)	0.7227	-0.2182	-0.0821
林冠开度 Canopy openness (CO)	0.2374	0.7135	-0.0046

壤电导率与土壤节肢动物结合起来分析, 而土壤节肢动物组成和分布对土壤质量的变化有指示作用, 因此研究土壤电导率和土壤节肢动物的关系对应用土壤节肢动物评价监测土壤质量具有重要意义。光照对温度和湿度的影响随着土层的加深而有所减弱, 光照强度对土壤层0-10 cm的不同类群土壤节肢动物的影响表现出与凋落物层相同的规律。土壤节肢动物群落类群在环境变量梯度上的分布表

明:不同类群的土壤节肢动物对不同的环境因子的要求各有偏好。冰灾破坏冠层结构,使林冠开度增加的同时,也会增加枯枝落叶的堆积,使凋落物层加厚。而这些凋落物的分解会给表层土壤输入大量的养分,对表层土壤的理化性质带来很大的改变。

土壤节肢动物并非随机分布的,并且它们的多度、丰富度和多样性与其空间内化学、物理以及生态特征(如光照、水分、温度等)密切相关。冰灾对车八岭山地常绿阔叶林的破坏会导致林分因子(如林冠开度)和土壤因子(土壤有机质、土壤自然含水量、土壤电导率等)一系列的变化,这些变化会进一步影响土壤节肢动物群落的组成和多样性及其分布,而土壤节肢动物群落用于表征它们所栖息的生态系统的特点和监测冰灾后森林环境的恢复和演替动态非常适合(Irmler, 2000; Antunes *et al.*, 2008),这同样适用于对我国南方冰雪灾害后群落演替和森林环境变化进行监测。

参考文献

- Antunes SC, Pereira R, Sousa JP, Santos MC, Goncalves F (2008) Spatial and temporal distribution of litter arthropods in different vegetation covers of Porto Santo Island (Madeira Archipelago, Portugal). *European Journal of Soil Biology*, **44**, 45–56.
- Bao SD (鲍士旦)(2000) *Soil and Agricultural Chemistry Analysis* (土壤农化分析). China Agricultural Science and Technology Press, Beijing. (in Chinese)
- Beaudet M, Brisson J, Messier C, Gravel D (2007) Effect of a major ice storm on understory light conditions in an old-growth *Acer-Fagus* forest: pattern of recovery over seven years. *Forest Ecology and Management*, **242**, 553–557.
- Beaudet M, Messier C (2002) Variation in canopy openness and light transmission following selection cutting in northern hardwood stands: an assessment based on hemispherical photographs. *Agricultural and Forest Meteorology*, **110**, 217–228.
- Berg MR, Hemerik L (2004) Secondary succession of terrestrial isopod, centipede, and millipede communities in grasslands under restoration. *Biology and Fertility of Soils*, **40**, 163–170.
- Chan YS, Chu LM, Wong MH (1997) Influence of landfill factors on plants and soil fauna—an ecological perspective. *Environmental Pollution*, **97**, 39–44.
- Fang SZ (方升佐), Xu XZ (徐锡增), Lü SX (吕士行), Tang LZ (唐罗忠), Cao FL (曹福亮) (1998) Leaf area index and biomass productivity of mid and short rotation poplar plantations for pulp timber. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **9**, 225–230. (in Chinese with English abstract)
- Gao Y (高艳), Bu Y (卜云), Luan YX (栾云霞), Yang YM (杨毅明), Ke X (柯欣)(2007) Community composition and diversity of soil fauna in the land use of city planning: a case study in Shanghai World Exposition Site. *Biodiversity Science* (生物多样性), **15**, 207–214. (in Chinese with English abstract)
- Hasegawa M (2001) The relationship between the organic matter composition of a forest floor and the structure of a soil arthropod community. *European Journal of Soil Biology*, **37**, 281–284.
- Irland LC (2000) Ice storms and forest impacts. *Science of the Total Environment*, **262**, 231–242.
- Irmler U (2000) Changes in the fauna and its contribution to mass loss and N release during leaf litter decomposition in two deciduous forests. *Pedobiologia*, **44**, 105–118.
- Jing YY (敬芸仪), Deng LJ (邓良基), Zhang SR (张世熔) (2006) Character of purple soil EC and effecting factors. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), **37**, 617–619. (in Chinese)
- Jones J, Debruyne RD, Barg JJ, Robertson RJ (2001) Assessing the effects of natural disturbance on a neotropical migrant songbird. *Ecology*, **82**, 2628–2635.
- Lassig R, Mocalov SA (2000) Frequency and characteristics of severe storms in the Urals and their influence on the development, structure and management of the boreal forests. *Forest Ecology and Management*, **135**, 179–194.
- Leps J, Smilauer P (2003) *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO*. Cambridge University Press, New York, USA.
- Li YD (李意德) (2008) Nanling Mountain Nature Reserve following the low temperature and sleet disaster, the sensitive area which needs to be rescued. *Scientia Silvae Sinica* (林业科学), **44**(6), 2–4. (in Chinese)
- Liu H (刘红), Yuan XZ (袁兴中) (1999) Diversity of soil animals in Confucian graveyard of Qufu. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **10**, 609–611. (in Chinese with English abstract)
- McCune B, Mefford MJ (2006) *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data*. Version 5.12. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- Proulx OJ, Greene DF (2001) The relationship between ice thickness and northern hardwood tree damage during ice storms. *Canadian Journal of Forest Research*, **31**, 1758–1767.
- Silbernagel J, Moeur M (2001) Modeling canopy openness and understory gap patterns based on image analysis and mapped tree data. *Forest Ecology and Management*, **149**, 217–233.
- Stone R (2008) Ecologists report huge storm losses in China's forests. *Science*, **319**, 1318–1319.
- Wang HX (王海霞), Yin XQ (殷秀琴), Zhou DW (周道玮) (2003) Ecological study on small-middle size soil animals in a compound ecosystem of farm land, grassland and wood-

- land in the grassland region of Songnen Plain. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **14**, 1715–1718. (in Chinese with English abstract)
- Wilcke W, Hess T, Bengel C, Homeier J, Valarezo C, Zech W (2005) Coarse woody debris in a montane forest in Ecuador: mass, C and nutrient stock, and turnover. *Forest Ecology and Management*, **205**, 139–147.
- Wootton JT (1998) Effects of disturbance on species diversity: a multitrophic perspective. *The American Naturalist*, **152**, 803–925.
- Xu YQ (徐燕千) (1993) *Collected Research Papers of Chebaling National Nature Reserve* (车八岭国家级自然保护区调查研究论文集). pp. 1–7. Guangdong Science and Technology Press, Guangzhou. (in Chinese)
- Yin WY (尹文英) (1998) *Pictorial Keys to Soil Animals of China* (中国土壤动物检索图鉴). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Yin WY (尹文英), Yang FC (杨逢春), Wang ZZ (王振中) (1992) *Subtropical Soil Animals of China* (中国亚热带土壤动物). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Yin XQ (殷秀琴), Gu W (顾卫), Dong WH (董炜华), Qiu LL (邱丽丽), Liu YB (刘永兵), Tao Y (陶岩) (2008) The community change and diversity of soil fauna after artificial vegetation restoration in highway slope. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **28**, 4295–4305. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 傅声雷 责任编辑: 闫文杰)