

大兴安岭重度火烧迹地地表土壤 节肢动物群落特征

王京^① 刘丹丹^① 黄勇杰^① 金屿淞^② 李慧仁^③ 刘芳蕊^③ 刘学爽^③

王立中^③ 林英华^{①*}

① 中国林业科学研究院湿地研究所 北京 100091; ② 东北林业大学林学院 哈尔滨 154000; ③ 大兴安岭林业集团公司
农林科学研究院 加格达奇 165000

摘要: 火是生态系统的主要干扰因子之一, 直接影响地表土壤动物群落多样性。为了解大兴安岭火烧迹地地表土壤动物群落恢复状况, 于2016年6月和8月, 选取松岭区南瓮河国家级自然保护区内2006年落叶松白桦混交林重度火烧迹地为实验样地、未受干扰的混交林为对照样地, 采用陷阱法研究地表土壤节肢动物群落组成与多样性。本研究共捕获地表土壤节肢动物17460只, 隶属5纲14目57科85属。其中大型土壤节肢动物隶属4纲11目36科55属, 优势类群为铺道蚁属 (*Tetramorium*); 中小型土壤节肢动物隶属2纲3目18科30属, 优势类群为球角跳属 (*Hypogastrura*)。整体而言, 重度火烧迹地地表土壤节肢动物总个体数多于对照样地, 而总类群数低于对照样地, 但仅大型地表土壤节肢动物个体数明显低于对照样地 ($P < 0.05$)。研究时段, 8月份中小型土壤节肢动物的个体数明显高于6月份 ($P < 0.05$)。群落多样性分析表明, 重度火烧迹地与对照样地的地表土壤节肢动物群落多样性指数差异性不显著 ($P > 0.05$), 其中6月份中小型地表土壤节肢动物 Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数与 Margalef 丰富度指数明显低于8月份 ($P < 0.01$), 而6月份 Simpson 优势度指数高于8月份 ($P < 0.01$)。火烧迹地与对照样地土壤节肢动物群落相似性系数为0.78, 不同月份之间地表土壤节肢动物群落相似性均为0.43, 表明地表土壤节肢动物群落总体变化较小, 但地表土壤节肢动物群落随时间发生改变。地表土壤节肢动物对研究区域资源的利用存在明显的差异 ($P < 0.01$), 重度火烧迹地可共同利用资源增多, 对照样地可共同利用资源少而优势现象明显。重度火烧迹地地表主要土壤动物类群因可利用资源增加而导致生态位重叠指数增加。典型判别分析显示, 地表土壤节肢动物群落受火烧干扰影响, 且存在明显的季节变化。

关键词: 土壤节肢动物; 火干扰; 多样性; 生态位

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2018) 06-878-12

Characteristic of Ground-dwelling Soil Arthropods Community in Severely Burned Sites in The Daxing'anling Range

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31570603);

* 通讯作者, E-mail: linyinghua@263.net;

第一作者介绍 王京, 男, 硕士研究生; 研究方向: 动物生态学; E-mail: workw@qq.com.

收稿日期: 2018-03-26, 修回日期: 2018-07-26 DOI: 10.13859/j.cjz.201806006

WANG Jing^① LIU Dan-Dan^① HUANG Yong-Jie^① JIN Yu-Song^② LI Hui-Ren^③ LIU Fang-Rui^③
LIU Xue-Shuang^③ WANG Li-Zhong^③ LIN Ying-Hua^{①*}

① Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091; ② School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 154000; ③ Research Institutes of Agriculture and Forestry, Daxing'anling Forestry Group, Jiagedaqi 165000, China

Abstract: Fire is one of the main disturbance factors for ecosystems, which directly affects the diversity of ground-dwelling soil fauna. This study aimed to examine the restoration of the ground-dwelling soil arthropods community in the burned area in The Daxing'anling Range. We investigated the ground-dwelling soil arthropod communities by pitfall traps in the *Larix gmelinii* - *Betula platyphylla* mixed forest at the locations suffered and not suffered the severe fire at all in the year 2006 at Songling in June and August ten years later (2016). Totally, we collected 17 460 individuals that belonged to 5 classes, 14 orders, 57 families, 85 genera (Appendix) in the burned and unburned sites. Of our collections, 55 genera were macro soil arthropods, belonged to 4 classes, 11 orders, 36 families, included 1 dominant group (*Tetramorium*); 30 genera were meso/micro soil arthropods, belonged to 2 classes, 3 orders, 18 families, included 1 dominant group (*Hypogastrura*). In general, the total number of ground-dwelling soil arthropods in the sampling site suffered severely burned was higher than that in the unburned sites. However, the individuals of soil macro arthropods in burned site were significantly less than that in the control site ($P < 0.05$). The ratio of meso/micro soil arthropods collected in August was significantly higher than that collected in June ($P < 0.05$). The diversity analysis showed that the ground-dwelling soil arthropods had no significant difference in the diversity indexes between severe burned and unburned sites ($P > 0.05$). Compared with August, the Shannon-Wiener index, Pielou evenness index and Margalef richness index of soil meso/micro arthropods (Table 2) were significantly lower in June, while Simpson dominance index was higher ($P < 0.01$). The Jaccard coefficient of soil arthropods in the burned and unburned sites was 0.78, and this value was 0.43 between June and August, which means the composition of ground-dwelling soil arthropods community has a little variance, but it changes with time. Soil arthropods had significant differences in the utilization of resources in the study area ($P < 0.01$), the types of resource were an increase in severely burned sites and a decrease in control. Thus, the dominant phenomenon was obvious, and the niche overlap index of major soil arthropod groups was increased due to the addition of available resources. Typical discriminant analysis (Fig. 1) showed that the ground-dwelling soil arthropod community was affected by the fire, and the affected degree was obvious change with seasons.

Key words: Soil arthropod; Fire disturbance; Diversity; Niche

土壤节肢动物是土壤生态系统的重要组成部分 (Maaß et al. 2015), 也是地下生态系统演化的重要驱动因子 (Huhta 2007), 在地上植物生长和地下土壤生态系统养分转换过程中起着至关重要的作用 (Haase et al. 2008), 外界干扰导致的土壤生物多样性下降 (张雪萍等 2006, Krab et al. 2013) 对生态系统功能产生直接影响, 已引起了学者的关注 (Hooper et al. 2012)。

大兴安岭森林是我国仅有的水平地带性寒温带性针叶林, 林火是该区域生态系统主要的干扰因素之一 (罗菊春 2002, 李顺等 2017)。研究显示, 重度火烧 (烧死木占蓄积量的 60%以上) 会明显改变地上与地下生态系统组成与演替过程, 导致生态系统功能退化 (Ameloot et al. 2013, Vries et al. 2013)。但受各种因素的限制, 火干扰对生态系统影响的研究主要集中在土壤

微生物群落多样性 (白爱芹等 2012)、土壤主要性质 (宋利臣等 2015) 和地上植被更新 (蔡文华等 2012) 等方面, 对火干扰后土壤动物群落变化 (张淑花等 2009, 2011, Zaitsev et al. 2015), 尤其是地表节肢动物群落多样性的研究则鲜有报道 (杨大星等 2013)。

本研究选择 2006 年大兴安岭松岭区南瓮河国家自然级保护区落叶松白桦混交林重度火烧迹地为研究区域, 调查其地表土壤节肢动物群落特征, 通过与未受火干扰的落叶松白桦混交林天然次生林地地表土壤节肢动物群落特征进行对比, 分析重度火烧迹地地表土壤节肢动物群落组成与多样性以及地表主要土壤节肢动物类群生态位宽度变化, 探讨地表土壤节肢动物群落对重度火烧迹地植被恢复的响应, 为进一步揭示重度火烧迹地自然恢复过程中地表土壤节肢动物的生态学功能恢复提供依据。

1 实验地基本情况与研究方法

1.1 实验地基本情况

实验地位于大兴安岭松岭区, 该地区属于大兴安岭支脉伊勒呼里山的南麓, 为嫩江源头, 属低山丘陵地貌, 平均海拔为 500 m。气候属寒温带大陆性季风气候, 夏季温暖而短暂, 冬季严寒且时期长。年平均气温 $-3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。年平均温度不低于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的积温为 $1\ 400\sim 1\ 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。年降水量在 500 mm 左右, 80% 以上集中在 7 和 8 月份。积雪时间 200 d 以上, 积雪深达 30 ~ 40 cm。全年无霜期 90 ~ 100 d。

根据大兴安岭森林近 50 年火灾数据, 按照火烧强度, 选择位于大兴安岭松岭区南瓮河国家级自然保护区内 2006 年经重度火烧的针阔混交林——兴安落叶松 (*Larix gmelinii*) 和白桦 (*Betula platyphylla*) 混交林为研究区, 邻近无干扰的针阔混交林为对照区进行实验, 其基本情况见表 1。

1.2 地表土壤节肢动物采集

在重度火烧迹地与未经火烧的落叶松 - 白桦混交林内, 选择地形条件、林龄基本一致样地, 分别设置大小为 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ 的 3 块样

表 1 样地基本情况

Table 1 The environment factors of experiment field

	火烧样地 Severely burned sites	对照样地 Unburned sites
地点 Location	南瓮河国家级自然保护区 Nanwenghe National Nature Reserve ($51^{\circ}10'03.92''\text{N}$, $125^{\circ}12'39.16''\text{E}$)	松岭林业局古源林场 Guyuan Forest Farm of Songling Forestry Bureau ($50^{\circ}54'04.18''\text{N}$, $124^{\circ}43'39.74''\text{E}$)
主要植物种类 Common plants	兴安落叶松 (<i>Larix gmelinii</i>)、白桦 (<i>Betula platyphylla</i>)、笃实越橘 (<i>Vaccinium uliginosum</i>)、绣线菊 (<i>Spiraea</i> sp.)、山刺梅 (<i>Rosa davurica</i>)、大叶野豌豆 (<i>Vicia pseudoarobus</i>)	兴安落叶松 (<i>Larix gmelinii</i>)、白桦 (<i>Betula platyphylla</i>)、绣线菊 (<i>Spiraea</i> sp.)、苔草 (<i>Carex</i> sp.)、种阜草 (<i>Moehringia</i> sp.)、鹿蹄草 (<i>Pyrola rotundifolia</i>)
海拔 Elevation (m)	453	475
坡度 ($^{\circ}$) / 坡向 Slope degree / Aspect	5/东北坡 Northeast	8/西北坡 Northwest
郁闭度 Canopy density (%)	0.80	0.93
凋落物厚度 Litter thickness (cm)	2.1 ± 0.5	3.9 ± 0.8
土壤温度 ($^{\circ}\text{C}$) Soil temperature (0 ~ 20 cm)	8.67 ± 1.83 (6 月 June) 12.74 ± 1.85 (8 月 August)	4.9 ± 0.70 (6 月 June) 16.6 ± 1.00 (8 月 August)
土壤湿度 (%) Soil moisture (0 ~ 20 cm)	76.67 ± 10.19 (6 月 June) 95.86 ± 1.41 (8 月 August)	90.4 ± 8.83 (6 月 June) 76.8 ± 10.20 (8 月 August)

方。2016年6月上旬(春末夏初)及8月下旬(秋末冬初),采用陷阱法收集地表土壤节肢动物,即将装有少量30%酒精溶液的陷阱瓶(直径65 mm,高90 mm)一次埋在地下,瓶口与地表齐平,7 d后取回。每个样方均匀布设9个陷阱,两期共布设108个陷阱。土壤动物数量统计时,将每个样方内的9个陷阱合并作为该样方地表土壤节肢动物样本。土壤节肢动物标本除了部分类群外,均鉴定到属;体型大小依据其在食物分解过程中的作用进行划分(Swift et al. 1979);土壤动物分类与营养功能团主要依据《中国土壤动物检索图鉴》划分(尹文英 1998)。

1.3 数据分析与处理

土壤节肢动物类群数量等级:个体数量占全部捕获量10%以上的为优势类群,超过且包括1%至10%的为常见类群,超过且包括0.1%至1%的为稀有类群,0.1%以下的为极稀有类群,本文将优势类群与常见类群归为主要类群。

群落多样性指数采用Shannon-Wiener多样性指数(H')、Pielou均匀度指数(E)、Simpson优势度指数(C)和Margalef丰富度指数(D)进行分析: $H' = \sum P_i \times \ln P_i$, $E = H'/\ln S$, $C = \sum (P_i)^2$, $D = (S - 1)/\ln N$, 式中, S 为类群数, N 为所有类群的总个体数, P_i 指第*i*个类群的个体数占总个体数*N*的比例。

群落相似性分析采用Jaccard系数进行计算: $q = c/(a + b - c)$, 式中, q 为相似性系数, c 为两个群落共有的类群数, a 和**b**分别为群落A、群落B的类群数。

生态位宽度和生态位重叠指数分别采用以Shannon-Weiner多样性指数为基础的生态位宽度指数 B_{Li} (孙儒泳 2001)和Petraitis普通生态位重叠指数 O 进行计算,即

$$B_{Li} = \frac{1 \lg \sum N_{ij} - \left(\frac{1}{\sum N_{ij}} \right) \left(\sum N_{ij} \lg N_{ij} \right)}{1 \lg r},$$

$$O = e^{-\left\{ \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^r [n_{ij} (\ln c_j - \ln p_{ij})] / N \right\}},$$

其中, n_{ij} 为第*i*个类群在第*j*个资源下的个体数, P_{ij} 为第*i*类群

对第*j*个资源的利用占它对全部资源利用的频率, $c_j = t_j/N$, t_j 为第*j*个群落中所有类群个体数之和, r 为资源位数,即样方数。

为降低变量间的异质性,将各变量进行对数 $\ln(x + 1)$ 转化并进行方差齐性检验后,采用双因素方差分析方法分析采样时间及火干扰对土壤节肢动物群落的影响;LSD检验法对地表土壤节肢动物群落显著性进行多重比较;采用典型判别分析方法分析火干扰后地表主要土壤动物群落间的差异,标准化统计量Wilk's λ 检验判别分析函数的显著性;标准化判别函数得分确定主要土壤节肢动物群落的作用;采用Bayes判别函数验证典型判别分析结果的正确率。以上分析在Excel 2016和SPSS20软件中完成。

2 结果

2.1 地表土壤节肢动物群落组成

研究阶段,共采集地表土壤节肢动物17460只,隶属5纲14目57科85属(附录)。其中,大型土壤节肢动物共4纲11目36科55属,铺道蚁属(*Tetramorium*)为优势类群,占所捕获大型土壤节肢动物总数的51.74%;步甲属(*Carabus*)、婪步甲属(*Harpalus*)、脊胸露尾甲属(*Carpophilus*)、小蕈甲属(*Microsternus*)、叶蝉属(*Cicadella*)、弓背蚁属(*Camponotus*)、毛蚁属(*Lasius*)、佐蛛属(*Zora*)、安蛛属(*Anahita*)及红螯蛛属(*Chiracanthium*)为常见类群,占所捕获大型土壤节肢动物总数的37.58%;稀有与极稀有类群占大型土壤节肢动物总数的10.68%。中小型土壤节肢动物共2纲3目18科30属,球角跳属(*Hypogastrura*)为优势类群,占所捕获中小型土壤节肢动物总数的91.87%,稀有和极稀有类群占所捕获中小型土壤节肢动物总数的8.13%。

土壤节肢动物营养功能群范围较广,共有植食性(phytophagy)、菌食性(fungivorous forms)、捕食性(predators)、腐食性(saprophytic)和杂食性(omnivores)五大类。其中植食性动

物占相对较大的比例 (33.72%), 其次是捕食性 (20.93%), 菌食性所占的比例最少 (16.28%)。

2.2 地表土壤节肢动物的群落分布与多样性

数据统计显示, 重度火烧迹地土壤地表节肢动物个体数与类群数分别是 13 894 只、67 属, 而对照样地则分别为 3 566 只、69 属, 即重度火烧迹地土壤节肢动物总个体数高于对照样地, 而总类群数低于对照样地; 其中火烧迹地的大型地表土壤节肢动物个体数与类群数均低于对照样地, 中小型地表节肢动物的个体数与类群数则都高于对照样地, 但仅大型土壤节肢动物个体数显著低于对照样地 ($P < 0.05$) (附录)。

群落多样性分析表明 (表 2), 重度火烧迹地大型地表土壤节肢动物的 Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数均高于对照样地, Simpson 优势度指数与 Margalef 丰富度指数低于对照样地, 中小型地表土壤节肢动物则相反, 但差异性均不显著 ($P > 0.05$)。

研究时段, 6 月上旬采集的地表土壤节肢动物个体数与类群数 (2 374 只、64 属) 均低于 8 月下旬 (15 086 只、71 属) (附录)。其中大型地表土壤节肢动物个体数 6 月份多于 8 月份, 而中小型土壤节肢动物则是 6 月份低于 8 月份; 类群数大型地表土壤节肢动物类群数 6 月份低于 8 月份, 中小型地表土壤节肢动物类群数则是 6 月份多于 8 月份, 但差异性均不显著 ($P > 0.05$)。大型土壤节肢动物的 Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数及 Margalef 丰富度指数与其个体数变化相反, Simpson 优势度指数与其个体数变化相同, 但差异并不显著 ($P > 0.05$); 中小型地表土壤节肢动物 Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数与 Margalef 丰富度指数与个体数变化相反, Simpson 优势度指数与其个体数变化相同, 且差异性显著 ($P < 0.05$)。

Jaccard 系数显示, 火烧迹地与对照样地地表土壤节肢动物相似性为 0.78, 其中大型地表

表 2 地表土壤节肢动物群落多样性

Table 2 The diversity of ground-dwelling soil arthropods

多样性指数 Diversity indexes	月份 Month	大型土壤节肢动物 Soil macro arthropods		中小型土壤节肢动物 Soil meso/micro arthropods	
		火烧样地 Severely burned sites	对照样地 Unburned sites	火烧样地 Severely burned sites	对照样地 Unburned sites
Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index, H'	6 月 June	1.70 ± 0.51 ^{aA}	1.61 ± 0.41 ^{aA}	2.00 ± 0.15 ^{aA}	1.29 ± 0.16 ^{aA}
	8 月 August	2.09 ± 0.79 ^{aA}	1.81 ± 0.44 ^{aA}	0.26 ± 0.21 ^{ba}	1.07 ± 0.39 ^{ba}
	总计 Total	2.31 ± 0.56 ^A	1.96 ± 0.36 ^A	0.32 ± 0.17 ^A	1.29 ± 0.27 ^A
Pielou 均匀度指数 Pielou index, E	6 月 June	0.61 ± 0.14 ^{aA}	0.56 ± 0.13 ^{aA}	0.73 ± 0.06 ^{aA}	0.51 ± 0.06 ^{aA}
	8 月 August	0.71 ± 0.26 ^{aA}	0.60 ± 0.12 ^{aA}	0.11 ± 0.09 ^{ba}	0.41 ± 0.12 ^{ba}
	总计 Total	0.63 ± 0.18 ^A	0.50 ± 0.10 ^A	0.10 ± 0.11 ^A	0.43 ± 0.95 ^A
Simpson 优势度指数 Simpson index, C	6 月 June	0.35 ± 0.18 ^{aA}	0.36 ± 0.16 ^{aA}	0.23 ± 0.05 ^{aA}	0.46 ± 0.08 ^{aA}
	8 月 August	0.26 ± 0.27 ^{aA}	0.33 ± 0.14 ^{aA}	0.91 ± 0.09 ^{ba}	0.57 ± 0.17 ^{ba}
	总计 Total	0.22 ± 0.19 ^A	0.33 ± 0.12 ^A	0.91 ± 0.34 ^A	0.53 ± 0.12 ^A
Margalef 丰富度指数 Margalef index, D	6 月 June	3.21 ± 0.92 ^{aA}	3.07 ± 0.61 ^{aA}	3.00 ± 0.28 ^{aA}	2.08 ± 0.23 ^{aA}
	8 月 August	4.01 ± 0.70 ^{aA}	3.93 ± 0.56 ^{aA}	1.44 ± 0.00 ^{ba}	1.98 ± 0.57 ^{ba}
	总计 Total	6.12 ± 0.78 ^A	6.75 ± 0.64 ^A	2.74 ± 0.79 ^A	2.45 ± 0.36 ^A

样地间差异显著性以大写字母标注, 月份间差异显著性以小写字母标注。数据后字母相同表示无显著差异 ($P > 0.05$)。

Differences between plots are marked with capital letters, and differences between months are marked with lowercase letters. The same letters represent no significant difference ($P > 0.05$).

土壤节肢动物群落与中小型土壤节肢动物群落相似性分别为 0.59 和 0.57, 表明地表土壤节肢动物群落总体变化较小, 相似性较高。同一月份、重度火烧与对照样地之间, 两种体型地表土壤节肢动物群落相似性较高, 如 6 月份大型地表土壤节肢动物、中小型土壤节肢动物群落相似性分别为 0.51 和 0.59, 8 月份则分别为 0.60 和 0.50; 不同月份之间, 重度火烧迹地与对照样地地表土壤节肢动物群落相似性偏低, 均为 0.43, 表明地表土壤节肢动物群落随时间发生改变。

2.3 主要地表土壤节肢动物的生态位宽度与生态位重叠指数

主要地表土壤节肢动物生态位宽度值介于 0.00~0.99 之间 (表 3), 即地表土壤节肢动物对研究区域资源的利用存在明显的差异 ($P < 0.01$), 但重度火烧迹地与对照样地之间各地表土壤动物生态位宽度之间差异不显著 ($P > 0.05$), 表明重度火烧 10 年后, 火烧样地可利用资源与对照样地相似, 即可利用资源基本得

到恢复。地表土壤节肢动物优势类群, 如铺道蚁属、球角跳属在重度火烧迹地的生态位宽度低于对照样地; 常见类群, 如佐蛛属生态位宽度较大, 且其在重度火烧迹地生态位宽度增加 (表 3), 说明地表节肢动物类群对资源的利用程度不一致。

普通生态位重叠指数大小均在 0.80 以上 (表 3), 重度火烧迹地的生态位重叠指数高于对照样地, 表明与对照样地相比, 重度火烧迹地中地表土壤节肢动物栖息地分布没有出现分离, 火烧 10 年后, 地表土壤节肢动物彼此之间存在较高竞争压力。

重度火烧迹地与对照样地主要地表土壤节肢动物类群总生态位普遍重叠值分别为 0.73 和 0.66, 显示重度火烧迹地地表土壤节肢动物群落可利用资源比对照样地低。

2.4 环境因子对地表节肢动物群落的影响

为进一步反应环境因子对地表土壤节肢动物群落的影响, 研究选取个体数量占全部捕获量 0.5% 及以上, 且月份间或样地间差异显著 (P

表 3 地表主要土壤节肢动物群落生态位宽度与生态位重叠指数

Table 3 The niche breadth and niche overlap of ground-dwelling soilarthropods

编号 No.	类群 Taxa	火烧样地 Severely burned sites		对照样地 Unburned sites	
		6 月 June	8 月 August	6 月 June	8 月 August
7	佐蛛属 <i>Zora</i>	0.95	0.96	0.84	0.93
9	安蛛属 <i>Anahita</i>	0.94	0.78	0.33	0.00
12	红螯蛛属 <i>Chiracanthium</i>	0.69	0.78	0.94	0.67
37	球角跳属 <i>Hypogastrura</i>	0.57	0.64	0.92	0.97
45	步甲属 <i>Carabus</i>	0.96	0.99	0.00	0.97
46	婪步甲属 <i>Harpalus</i>	0.33	0.76	0.83	0.86
51	脊胸露尾甲属 <i>Carpophilus</i>	0.00	0.49	0.67	0.95
52	小蕈甲属 <i>Microsternus</i>	0.33	0.46	0.33	0.95
68	叶蝉属 <i>Cicadella</i>	0.64	0.84	0.84	0.68
84	铺道蚁属 <i>Tetramorium</i>	0.55	0.48	0.87	0.93
85	弓背蚁属 <i>Camponotus</i>	0.71	0.82	0.82	0.46
86	毛蚁属 <i>Lasius</i>	0.33	0.76	0.61	0.67
	生态位重叠指数 Niche overlap	0.89	0.83	0.81	0.80
	总生态位重叠指数 General niche overlap		0.73		0.66

编号与附录相同。“0.00”表明此物种未在该样地中出现。

The No. is the same as the appendix. “0.00” means this species has not appeared in this plot.

< 0.05) 的类群进行典型判别分析。分析显示, 地表土壤节肢动物群落存在明显的分离情况 (Wilk's $\lambda = 0.000$, $P = 0.000$)。判别函数的第 1 轴和第 2 轴对所有变量的解释率分别为 97.1% 和 2.8%, 5 类土壤节肢动物被筛选出来以表征地表土壤节肢动物群落总体变化 (图 1a), 其判别分析得分见图 1b。

判别函数第 1 轴主要是把 6 月份和 8 月份的地表土壤节肢动物类群分开, 判别函数第 2 轴则是将重度火烧迹地与对照样地的土壤节肢动物类群分开, 其中 6 月份对照样地沿判别函数第 1 轴负方向转移, 因而导致地表土壤节肢动物类群中与第 1 判断函数轴 DF1 正向密切相关的婪步甲属和齿棘圆跳属 (*Arrhopalites*) 种群数量下降, 但增加与第 1 判断函数轴 DF1 反向密切相关的佐蛛属的种群数量 (附录)。判别函数第 2 轴主要是把同一月份所采集的地表土壤节肢动物群落分开, 尤其是 8 月份重度火烧迹地与对照样地的地表土壤节肢动物群落, 8 月份对照样地沿判别函数第 2 轴负方向转移, 因而导致地表土壤动物类群中与第 2 判别函数轴 DF2 正向密切相关奇跳属 (*Xenylla*) 数量明显增加 (附录)。

采用 Bayes 判别函数对地表主要土壤节肢动物类群分类进行预测, 数据显示, 不同月份重度火烧迹地与对照样地地表土壤动物群落内验证错判率均为 0.0%, 综合判断率 100.0%; 经交叉验证后, 6 月重度火烧迹地与对照样地、8 月重度火烧迹地与对照样地错判率均为 0.0%, 综合判断率为 100.0%, 说明典型判别分析准确性高且稳定, 因此判别分析对重度火烧迹地与对照样地的判别结果理想。

3 讨论

地表土壤节肢动物分布主要受环境因子, 如地表温度、湿度、植被盖度等影响, 而呈现出个体分布不均衡、群落组成差异性较大的现象 (林英华等 2009, 2015), 火干扰可通过改变环境条件进而对土壤节肢动物群落产生影响。本研究中, 重度火烧迹地与对照样地环境条件即在土壤温湿度、坡向等方面有所不同 (表 1), 土壤节肢动物群落组成和分布存在差异, 即火烧区大型土壤节肢动物个体数显著低于对照区 ($P < 0.05$), 说明火干扰对地表土壤节肢动物群落有一定影响。然而, 火烧迹地与对照样地间土壤节肢动物群落多样性指数差异却并

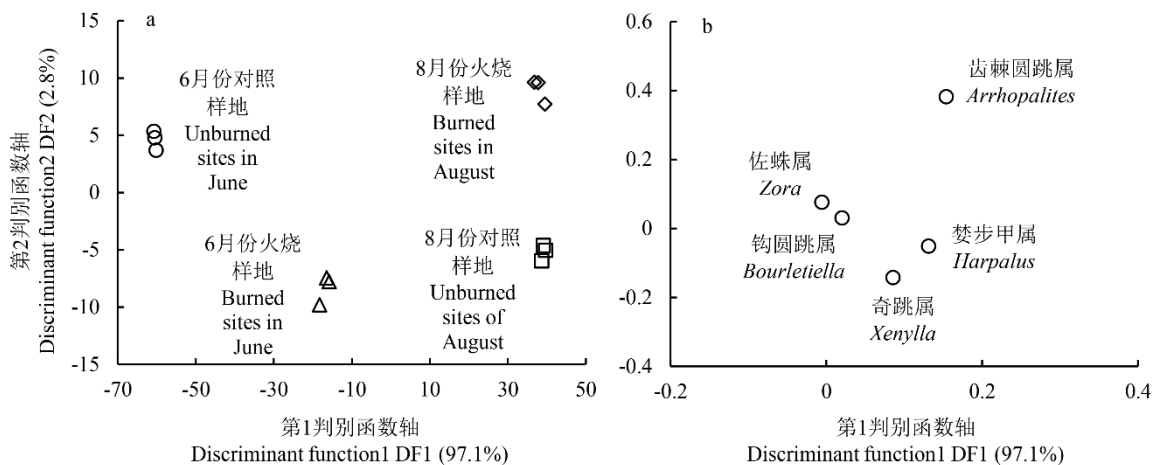


图 1 地表主要土壤动物群落型判别分析 (a) 与主要土壤动物群落判断分析得分图 (b)

Fig. 1 The plot of canonical discriminant functions analysis for ground dwelling soil animal community (a) and discriminant scores of the seventeen soil animal selected by analysis (b)

不明显 ($P > 0.05$), 这可能与火干扰一段时间后土壤动物群落已有一定恢复有关 (Gongalsky et al. 2013, Zaitsev et al. 2014)。

地表土壤节肢动物群落存在明显的季节性差异 (表 2)。6 月上旬 (春末夏初) 与 8 月下旬 (秋末冬初) 中小型土壤节肢动物个体数及群落多样性指数均存在显著差异 ($P < 0.05$)。由于地表土壤湿度偏大, 如 8 月份火烧迹地土壤湿度高于 6 月份 (表 1), 可使得一些气管系统不发达的土壤动物, 诸如弹尾目的球角跳属、伪亚跳属 (*Pseudachorutes*)、奇跳属、鳞跳属 (*Tomocerus*) 以及蜚蠊类中的沙足甲螨属 (*Eremobelba*) 等喜湿性的中小型土壤节肢动物数量偏高, 因此 8 月份中小型土壤节肢动物个体数增多 (附录); 同时少数偏好较高湿度的地表土壤节肢动物, 如铺道蚁属、弓背蚁属数量也偏高。多样性分析显示, 由于 8 月份球角跳属和对照样地铺道蚁属的个体数量偏多, 且分布不均匀而呈现较明显的优势现象, 使其群落多样指数偏低。此外, 分析发现, 地表土壤节肢动物群落 Shannon-Weaner 指数与 Pielou 指数变化趋势相似, 并存在显著的相关关系 ($P < 0.01$), 中小型地表土壤节肢动物与大型地表土壤节肢动物 Shannon-Wiener 指数与 Pielou 指数变化趋势与地表土壤节肢动物群落变化趋势相似, 且呈现出明显的正相关关系 ($r = 0.995, 0.980$), 这与林英华等 (2015) 研究结果不一致, 其原因有待深入研究。

火干扰导致地表土壤动物群落组成发生改变 (Buddle et al. 2006)。在本研究中, 虽然火烧迹地与对照样地地表土壤节肢动物相似性为 0.78, 但大型地表土壤节肢动物群落与中小型土壤节肢动物群落相似性偏低, 分别为 0.59 和 0.57, 并且重度火烧迹地大型土壤节肢动物个体数与对照样地大型土壤节肢动物个体数存在显著差异 ($P < 0.05$), 这与 Wardle 等 (2003) 的研究结果相一致, 即火干扰将改变原有生态环境并对生物群落产生长期的影响。

生态位宽度可衡量物种对环境资源的利

用程度及对环境的适应能力, 物种的生态位宽度大表明其对环境的适应性强。而生态位重叠指数则反映了不同物种对资源利用的竞争程度, 重叠指数大表明不同物种在相同资源位上相遇的频率高, 种间竞争强。本研究中, 重度火烧迹地与对照样地的地表节肢动物主要类群生态位宽度指数变化趋势不一致 (表 3), 如重度火烧迹地仅佐蛛属、安蛛属、步甲属生态位宽度指数增加, 其他地表土壤动物生态位宽度指数均下降, 但土壤节肢动物生态位重叠指数与总生态位重叠指数增加, 反映了重度火烧迹地资源谱中可利用资源减少, 表明重度火烧后地表土壤节肢动物中各物种利用资源共性增加, 这与外界干扰发生后, 物种为增加在不稳定生境中的生存几率会扩展其资源利用范围, 从而使群落中物种间的生态位重叠指数较大的研究相一致 (胡正华等 2009, 简尊吉等 2017)。

典型判别分析解释了地表土壤节肢动物群落总变量的 99.9%, 且通过 Bayes 判别函数内验证与交互验综合判断率均为 100.0%, 反映典型判别分析重度火烧迹地与对照样地分类判断结果准确。

致谢 大兴安岭嫩江源森林生态定位站在野外调查中给予后勤保障, 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所薛寒老师、湿地研究所胡宇坤老师、大兴安岭松岭区古源林场护林员白书魁、张喜富和白永富等协助野外调查, 在此表示诚挚感谢。

参 考 文 献

- Ameloot N, Graber E R, Verheijen F G A, et al. 2013. Interactions between biochar stability and soil organisms: review and research needs. *European Journal of Soil Science*, 64(4): 379–390.
- Buddle C M, Langor D W, Pohl G R, et al. 2006. Arthropod responses to harvesting and wildfire: Implications for emulation of natural disturbance in forest management. *Biological Conservation*, 128(3): 346–357.
- Gongalsky K B, Persson T. 2013. Recovery of soil macrofauna after wildfires in boreal forests. *Soil Biology & Biochemistry*, 57(3):

- 182–191.
- Haase J, Brandl R, Scheu S, et al. 2008. Above-and belowground interactions are mediated by nutrient availability. *Ecology*, 89(11): 3072–3081.
- Hooper D U, Adair E C, Cardinale B J, et al. 2012. A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature*, 486(7401): 105–108.
- Huhta V. 2007. The role of soil fauna in ecosystems: A historical review. *Pedobiologia*, 50(6): 489–495.
- Krab E J, Cornelissen J H C, Berg M P. 2013. How extreme is an extreme climatic event to a subarctic peatland springtail community? *Soil Biology & Biochemistry*, 59(2): 16–24.
- Maaß S, Maraun M, Scheu S, et al. 2015. Environmental filtering vs. resource-based niche partitioning in diverse soil animal assemblages. *Soil Biology & Biochemistry*, 85: 145–152.
- Swift M J, Heal O W, Anderson J M. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. *Quarterly Review of Biology*, 83(14): 2772–2774.
- Vries F T D, Thibault E, Liiri M, et al. 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(35): 14296.
- Wardle D A, Hårnberg G, Zackrisson O, et al. 2003. Long-term effects of wildfire on ecosystem properties across an island area gradient. *Science*, 300(5621): 972.
- Zaitsev A S, Gongalsky K B, Persson T, et al. 2014. Connectivity of litter islands remaining after a fire and unburnt forest determines the recovery of soil fauna. *Applied Soil Ecology*, 83: 101–108.
- Zaitsev A S, Gongalsky K B, Malmström A, et al. 2015. Why are forest fires generally neglected in soil fauna research? A mini-review. *Applied Soil Ecology*, 98: 261–271.
- 白爱芹, 傅伯杰, 曲来叶, 等. 2012. 大兴安岭火烧迹地恢复初期土壤微生物群落特征. *生态学报*, 32(15): 4762–4771.
- 蔡文华, 杨健, 刘志华, 等. 2012. 黑龙江省大兴安岭林区火烧迹地森林更新及其影响因子. *生态学报*, 32(11): 3303–3312.
- 胡正华, 钱海源, 于明坚. 2009. 古田山国家级自然保护区甜槠林优势种群生态位. *生态学报*, 29(7): 3670–3677.
- 简尊吉, 马凡强, 郭泉水, 等. 2017. 三峡水库峡谷地貌区消落带优势植物种群生态位. *生态学杂志*, 36(2): 328–334.
- 李顺, 吴志伟, 梁宇, 等. 2017. 大兴安岭林火发生的时空聚集性特征. *生态学杂志*, 36(1): 198–204.
- 林英华, 孙家宝, 张夫道. 2009. 我国重要森林群落凋落物层土壤动物群落生态特征. *生态学报*, 29(6): 2938–2944.
- 林英华, 贾旭东, 徐演鹏, 等. 2015. 大兴安岭典型森林沼泽类型地表土壤动物群落与生态位分析. *林业科学*, (12): 53–62.
- 罗菊春. 2002. 大兴安岭森林火灾对森林生态系统的影响. *北京林业大学学报*, 24(6): 101–107.
- 宋利臣, 何平平, 崔晓阳. 2015. 大兴安岭重度火烧林地土壤环境质量综合评价. *生态学杂志*, 34(8): 2353–2361.
- 孙儒泳. 2001. *动物生态学原理*. 3版. 北京: 北京师范大学出版社.
- 杨大星, 杨茂发, 徐进, 等. 2013. 马尾松人工林火烧迹地不同恢复阶段中小型土壤节肢动物多样性. *生态学报*, 33(8): 2531–2544.
- 尹文英. 1998. *中国土壤动物检索图鉴*. 北京: 科学出版社.
- 张淑花, 张雪萍. 2009. 大兴安岭火烧迹地土壤动物的群落多样性. *应用生态学报*, 15(5): 672–676.
- 张淑花, 张雪萍. 2011. 大兴安岭森林火烧迹地大型土壤动物功能类群. *东北林业大学学报*, 39(8): 70–72.
- 张雪萍, 张武, 曹会聪. 2006. 大兴安岭不同冻土带土壤动物生态地理研究. *土壤学报*, 43(6): 996–1003.

附录 研究区地表土壤节肢动物群落组成

Appendix Composition of ground-dwelling soil arthropods in the study area

序号 No.	名称 Taxa	类型 Size	火烧样地 Severely burned sites (ind)	对照样地 Unburned sites (ind)	丰度 Percent	优势度 Degree of dominance	功能群 Guild
1	长奇盲蛛 <i>Phalagium opilio</i>		0	1	0.06		Pr
2	列齿盲蛛属 <i>Systemocentrus</i>		1	6	0.39		Pr
3	穴石蜈蚣属 <i>Bothropolys</i>		5	0	0.28		Pr
4	石蜈蚣属 <i>Lithobius</i>		1	2	0.17		Pr
5	狂蛇马陆属 <i>Orsiboe</i>		1	0	0.06		S
6	蝇虎属 <i>Menemerus</i>	大型土壤节 肢动物	1	5	0.33		Pr
7	佐蛛属 <i>Zora</i>	Soil macro arthropods	37	76	6.25	**	Pr
8	逍遥蛛属 <i>Philodromus</i>		4	12	0.89		Pr
9	安蛛属 <i>Anahita</i>		18	1	1.05	**	Pr
10	小蚁蛛属 <i>Micaria</i>		0	1	0.06		Pr
11	平腹蛛属 <i>Gnaphosa</i>		4	6	0.55		Pr
12	红螯蛛属 <i>Chiracanthium</i>		39	50	4.93	**	Pr
13	花蟹蛛属 <i>Xysticus</i>		1	5	0.33		Pr
14	糙尾螨属 <i>Trachytes</i>		2	0	0.01		S
15	维螨属 <i>Veigaia</i>		18	7	0.16		S
16	巨须螨属 <i>Cunaxa</i>		1	0	0.01		S
17	异绒螨属 <i>Allothrombium</i>		11	50	0.39		S
18	爪甲螨属 <i>Unguizetes</i>		20	42	0.40		S
19	小甲螨属 <i>Oribatella</i>		41	81	0.78		S
20	沙足甲螨属 <i>Eremobelba</i>		39	7	0.29		S
21	沙甲螨属 <i>Eremulus</i>		6	0	0.04		S
22	厚厉螨属 <i>Pachylaelaps</i>		0	2	0.01		S
23	胭螨属 <i>Rhodacarus</i>		10	0	0.06		S
24	伪亚跳属 <i>Pseudachorutes</i>	中小型土壤 节肢动物	36	30	0.42		O
25	疣跳属 <i>Neanura</i>	Soil meso/micro arthropods	0	9	0.06		O
26	长跳属 <i>Entomobrya</i>		57	34	0.58		F
27	裸长角跳属 <i>Sinella</i>		64	20	0.54		F
28	鳞长跳属 <i>Lepidocyrtus</i>		15	25	0.26		F
29	长角长跳属 <i>Orchesellides</i>		1	0	0.01		O
30	鳞跳属 <i>Tomocerus</i>		34	0	0.22		O
31	跳虫属 <i>Podura</i>		104	7	0.71		F
32	等节跳属 <i>Isotoma</i>		3	6	0.06		F
33	德跳属 <i>Desoria</i>		8	30	0.24		F
34	类符跳属 <i>Folsomina</i>		7	0	0.04		F
35	符跳属 <i>Folsomia</i>		8	1	0.06		F
36	奇跳属 <i>Xenylla</i>		50	59	0.70		F
37	球角跳属 <i>Hypogastrura</i>		12 697	1 684	91.87	***	F
38	上跳属 <i>Tullbergia</i>		2	0	0.01		Ph

续附录

序号 No.	名称 Taxa	类型 Size	火烧样地 Severely burned sites (ind)	对照样地 Unburned sites (ind)	丰度 Percent	优势度 Degree of dominance	功能群 Guild
39	棘跳属 <i>Onychiurus</i>		12	0	0.08		Ph
40	钩圆跳属 <i>Bourletiella</i>		38	105	0.91		Ph
41	小圆跳属 <i>Sminthurinus</i>		15	15	0.19		Ph
42	圆跳属 <i>Sminthurus</i>		13	0	0.08		Ph
43	齿棘圆跳属 <i>Arrhopalites</i>		0	127	0.81		Ph
44	葬甲属 <i>Silpha</i>		5	1	0.33		S
45	步甲属 <i>Carabus</i>		23	20	2.38	**	Pr
46	婪步甲属 <i>Harpalus</i>		7	47	2.99	**	Pr
47	直扁足甲属 <i>Blindus</i>		3	0	0.17		Ph
48	蜉金龟属 <i>Aphodius</i>		0	6	0.33		F
49	金叶甲属 <i>Chrysolina</i>		3	2	0.28		Pr
50	小莹叶甲属 <i>Galerucella</i>		3	1	0.22		Pr
51	脊胸露尾甲属 <i>Carpophilus</i>		5	15	1.11	**	Ph
52	小蕈甲属 <i>Microsternus</i>		14	52	3.65	**	Ph
53	小蕈甲科一种 Mycetophagidae		2	1	0.17		Ph
54	十节跳甲属 <i>Psylliodes</i>		1	0	0.06		Ph
55	木蠹象属 <i>Pissodes</i>		4	2	0.33		Ph
56	沟胸隐翅虫属 <i>Megarthus</i>		0	1	0.06		O
57	菲隐翅虫属 <i>Philonthus</i>		2	7	0.50		O
58	脊胸隐翅虫属 <i>Anotylus</i>		3	1	0.22		O
59	隆线隐翅虫属 <i>Lathrbium</i>	大型土壤节 肢动物	0	5	0.28		O
60	隐翅虫科一种 Staphylinidae	Soil macro arthropods	6	4	0.55		O
61	突眼隐翅虫属 <i>Stenus</i>		0	1	0.06		O
62	蚁塚甲科一种 Pselaphidae		1	1	0.11		Ph
63	隐翅虫科幼虫 Staphylinidae		0	1	0.06		S
64	叶甲科幼虫 Chrysomelidae		0	5	0.28		Ph
65	阎甲科幼虫 Histeridae		0	3	0.17		S
66	花萤科幼虫 Cantharidae		0	2	0.11		Pr
67	步甲科幼虫 Carabidae		3	1	0.22		Pr
68	叶蝉属 <i>Cicadella</i>		30	34	3.54	**	Ph
69	脊冠叶蝉属 <i>Aphrodes</i>		1	0	0.06		Ph
70	扁头叶蝉属 <i>Petalocephaloides</i>		2	0	0.11		Ph
71	小长蝽属 <i>Nysius</i>		0	1	0.06		Ph
72	膜蝽属 <i>Hebrus</i>		3	6	0.50		Ph
73	红蝽属 <i>Pyrhocoris</i>		0	7	0.39		Ph
74	异斑腿蝗属 <i>Xenocatantops</i>		1	0	0.06		Ph
75	冠管蓟马属 <i>Stephanothrips</i>		0	1	0.06		Ph
76	蚤蝇科幼虫 Phoridae		3	4	0.39		S

续附录

序号 No.	名称 Taxa	类型 Size	火烧样地 Severely burned sites (ind)	对照样地 Unburned sites (ind)	丰度 Percent	优势度 Degree of dominance	功能群 Guild
77	蕈蚊科幼虫 <i>Mycetophilidae</i>		1	1	0.11		Ph
78	毛蚊科幼虫 <i>Bibionidae</i>		2	12	0.77		Ph
79	水虻科幼虫 <i>Stratiomyiidae</i>		0	1	0.06		O
80	切根虫属 <i>Euxoa</i>	大型土壤节 肢动物 Soil macro arthropods	2	3	0.28		Ph
81	粘虫属 <i>Leucania</i>		2	1	0.17		Ph
82	赤蛱蝶属 <i>Vanessa</i>		0	1	0.06		Ph
83	尺蠖属 <i>Calcula</i>		0	1	0.06		Ph
84	铺道蚁属 <i>Tetramorium</i>		256	679	51.74	***	O
85	弓背蚁属 <i>Camponotus</i>		32	107	7.69	**	O
86	毛蚁属 <i>Lasius</i>		50	22	3.98	**	O
	大型个体数 Macro individuals		582	1 225	1 807		
总计	大型类群数 Macro groups		40	49			
Total	中小型个体数 Meso/micro individuals		13 312	2 341	15 653		
	中小型类群数 Meso/micro groups		27	20			

***. 优势类群; **. 常见类群; F. 菌食性; O. 杂食性; Ph. 植食性; Pr. 捕食性; S. 腐食性。

***. Dominant groups; **. Common groups; F. Fungivorousforms; O. Omnivores; Ph. Phytophage; Pr. Predators; S. Saprozoic.