

文章编号: 1008 - 2786 - (2017) 4 - 000 - 08

DOI: 10. 16089/j. cnki. 1008 - 2786. 000239

长白山地不同次生林土壤动物群落 多样性特征及其分布格局

寇新昌¹ 殷秀琴^{1 2}

(1. 东北师范大学 地理科学学院, 吉林 长春 130024;

2. 吉林省动物资源保护与利用重点实验室, 吉林 长春 130024)

摘 要: 为探讨长白山地不同地貌类型次生林土壤动物群落多样性特征及其分布格局, 分别于 2015 年春季(5 月)、夏季(7 月) 及秋季(9 月) 对长白山地三种不同地貌类型(玄武岩台地、花岗岩低山和花岗岩丘陵) 的次生林土壤动物进行调查研究。研究表明: 大型土壤动物类群数季节变化不显著, 中小型土壤动物密度季节波动较大。其中, 花岗岩低山次生林大型土壤动物密度和类群数均为最低, 玄武岩台地次生林中小型土壤动物密度和类群数要显著高于其他两个生境。通过比较三种生境土壤动物多样性指数发现, 大型土壤动物多样性指数随着季节变化表现出相同的动态趋势, 均无显著性差异, 而中小型土壤动物多样性指数季节波动呈显著升高或降低趋势, 且同一季节玄武岩台地次生林的中小型土壤动物多样性指数要显著高于其他两个生境。对三种地貌类型次生林的土壤动物群落与环境因子间相关关系进行了 RDA 分析, 结果表明土壤动物对土壤有机质、全效养分(N、P) 和速效养分(N、P、K) 响应程度较高, 其中中小型土壤动物优势类群甲螨亚目分布对土壤温度、湿度呈显著正向响应。研究可为次生林的管理及生态恢复提供土壤动物学依据。

关键词: 土壤动物; 次生林; 多样性特征; 分布格局; 长白山地

中图分类号: S154.5

文献标志码: A

次生林是一种分布较为广泛的森林生态系统, 为当地居民提供一定的资源及生态服务^[1]。由原始林型向次生林型的转变过程中, 土壤有机碳及全氮含量会产生明显的下降^[2], 由于土壤动物对环境因子的响应程度不同, 在次生林的形成过程中, 土壤动物的群落结构也会随之改变。土壤动物作为陆地生态系统的重要组成部分, 对生态系统功能和稳定性具有重要的意义^[3], 其多样性也会显著影响地上生态系统的功能及植被多样性^[4]。当次生林林型稳定后, 树龄大小也会对土壤动物群落结构产生重要的影响^[5], 因此, 土壤动物群落变化可以反映次生林发育不同阶段植被、有机质含量及土壤理化性

质的状况, 加强对地下土壤动物多样性及分布格局的研究, 有利于次生林群落的管理。近年来, 有关土壤动物多样性的研究越来越受到学者们的关注^[6-9], 国内外关于土壤动物在次生林生态系统中的群落结构、分布格局及多样性的研究已有大量报道, 但研究均为单一次生林或次生林与其他林型间的比较, 对于同一地区不同地貌类型次生林土壤动物群落多样性特征和分布格局的研究近年来未见报道。本研究旨在探究土壤动物在不同地貌类型、土壤环境及水热条件等因素影响下的差异性, 为次生林的生态恢复提供土壤动物学方面的依据。

收稿日期(Received date): 2016 - 6 - 29; 改回日期(Accepted date): 2016 - 9 - 28

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(41471211) [National Natural Science Foundation of China (41471211)]

作者简介(Biography): 寇新昌(1992 -) 男, 辽宁辽阳人, 硕士研究生, 主要从事土壤动物生态学方面研究 [Kou Xinchang, (1992 -) , male, born in Liaoyang, Liaoning province, M. Sc. candidate, research on biological geography] E-mail: kouxc761@nenu.edu.cn

* 通讯作者(Corresponding author): 殷秀琴, 女, 吉林长春人, 博士生导师, 教授 [Yin Xiuqin, female, born in Changchun Jilin province, doctoral tutor, professor] E-mail: yinxq773@nenu.edu.cn

1 研究区自然概况

研究区域共选取玄武岩台地(Basalt platform , BP)、花岗岩低山(Granite low mountain ,GL) 和花岗岩丘陵(Granite hill ,GH) 三种不同地貌类型次生林。

玄武岩台地次生林选择在长白山二道白河镇, 地理坐标 $42^{\circ}40'N$, $128^{\circ}10'E$, 海拔 874 m, 坡度 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$, 气候为温带大陆性山地气候, 年平均温度为 $3^{\circ}C$, 年降水量约为 700 ~ 800 mm, 主要乔木有白桦(*Betula platyphylla*)、色木槭(*Acer mono*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*); 主要灌木有青楷槭(*A. tegmentosum*)、瘤枝卫矛(*Euonymus verrucosus*); 主要草本植物有阴地苔草(*Carex planiculmis*) 和木贼(*Equisetum hyemale*) 地带性土壤为暗棕壤。

花岗岩低山次生林选择在吉林省东部的蛟河市乌林朝鲜族自治乡, 地理坐标 $43^{\circ}10'N$, $126^{\circ}50'E$, 海拔 505 m, 坡度 $20^{\circ} \sim 25^{\circ}$, 气候为典型的温带大陆性季风气候, 年平均气温 $3.4^{\circ}C$, 年降水量约为 700 mm, 主要乔木有色木槭、白桦、山杨(*Populus davidiana*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、千金鹅耳枥(*Carpinus Turczaninowii*); 主要灌木有刺五加(*Acanthopanax senticosus*)、忍冬(*Lonicera japonica*)、青楷槭、瘤枝卫矛; 主要草本植物有苔草(*Carex planiculmis*) 地带性土壤为暗棕壤。

花岗岩丘陵次生林选择在吉林省吉林市左家镇, 地理坐标 $44^{\circ}10'N$, $126^{\circ}05'E$, 海拔 285 m, 坡度 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$, 气候为温带大陆性季风气候, 年平均气温 $4.4^{\circ}C$, 年降水量约为 550 ~ 720 mm, 主要乔木有: 糠椴(*Tilia mandshurica*)、黄檗(*Phellodendron amurense*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、蒙古栎; 主要灌木有东北山梅花(*Philadelphus schrenkii*)、胡榛(*Ostryopsis Decne*)、刺五加、瘤枝卫矛; 主要草本植物有小叶芹(*Aegopodium alpestre*) 和阴地苔草, 地带性土壤为暗棕壤。

2 研究方法

2.1 样品的采集与处理

于 2015 年春季(5 月)、夏季(7 月) 和秋季(9 月) 在长白山二道白河镇、蛟河市乌林朝鲜族自治乡和吉林市左家镇左家自然保护区共选取 3 个次生

林生境。每个生境设置 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的样地, 每个样地内按对角线法选取 5 个样方作为重复样(即在样地内设小重复), 中小型土壤动物取样面积为 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$, 大型土壤动物取样面积为 $25\text{ cm} \times 25\text{ cm}$ (体长大于 2 mm 为大型土壤动物, 体长介于 $100\text{ }\mu\text{m} \sim 2\text{ mm}$ 为中型土壤动物, 体长小于 $100\text{ }\mu\text{m}$ 为小型土壤动物)。每个样方按凋落物层、0 ~ 5 cm、5 ~ 10 cm、10 ~ 15 cm 土层采集样品, 大型土壤动物野外采用手捡法收集, 中小型土壤动物带回室内采用 Tullgren 法分离, 将收集到的土壤动物放到 75% 的酒精中固定保存。所有大型和中小型土壤动物在 OLYMPUS SZX16 体视镜下进行鉴定, 一般鉴定到科, 个别鉴定到目(亚目)。每个小重复对应的土层取适量土样混合, 带回实验室用于土壤理化性质的测定, 在野外同时利用 EM 50 土壤水分温度自动监测系统测定土壤温度和土壤湿度。

将带回的土壤样品风干处理后进行研磨, 用常规方法测定土壤中 pH、有机质含量、速效养分(N、P、K)、全效养分(N、P、K) 以及全钙(Ca)、全镁(Mg) 和全锰(Mn) 的含量。

2.2 数据统计与处理

采用 Shannon-Winener 多样性指数(H')、Margalef 丰富度指数、Pielou 均匀度指数和 Simpson 优势度指数计算不同地貌类型次生林土壤动物群落多样性特征; 数据统计分析使用 SPSS 19 分析软件计算处理; 不同季节、地貌类型次生林土壤动物间差异采用单因素方差(one-way ANOVA) 方法分析; 为了探究土壤动物多样性在不同季节、不同次生林产生差异的原因, 用 Canoco 5 软件分析土壤动物与主要环境因子之间关系。

3 结果与分析

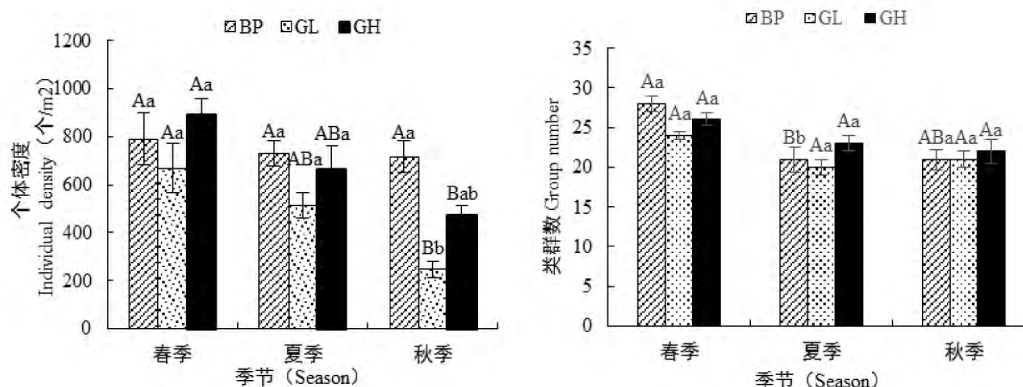
3.1 次生林土壤动物群落的组成特征

调查结果显示, 在三种生境共获土壤动物 68 类, 13 648 只, 隶属 4 门 8 纲 16 目 62 科(亚目)。其中, 获得大型土壤动物 51 类, 1779 只, 占总个体密度的 13.03%。优势类群 3 类, 即蚁科(占大型土壤动物总个体密度的 24.32%)、线蚓科(占大型土壤动物总个体密度的 13.93%) 和石蜈蚣科(占大型土壤动物总个体密度的 12.19%); 正蚓科、瓦娄蜗牛科、地蜈蚣科、光盔蛛科、漏斗蛛科、逍遥蛛科、蟹蛛

科、隐翅虫科、叩甲科幼虫、双翅目幼虫、鳞翅目幼虫为该地区的常见类群, 占总个体密度的 29.71%; 优势类群和常见类群构成了长白山地次生林生境大型土壤动物的主体。其余 37 类土壤动物为稀有类群, 琥珀螺科、象甲科幼虫和平腹蛛科占稀有类群个体密度的前 3 位。经显著性统计检验: 同一季节对比, 三种不同地貌类型大型土壤动物个体密度在春季及夏季无显著性差异, 秋季玄武岩台地、花岗岩低山次生林大型土壤动物个体密度呈显著性差异 ($p < 0.05$)。不同季节对比, 低山、丘陵地区次生林大型土壤动物个体密度在春季、秋季呈显著性差异 ($p < 0.05$), 不同生境间大型土壤动物的类群数无显著性差异 (图 1)。

获得中小型土壤动物 44 类, 共 11869 只。甲螨亚目 (占中小型土壤动物总个体密度的 40.91%) 和等节跳虫科 (占中小型土壤动物总个体密度的

22.72%) 为优势类群, 其中甲螨亚目数量最多且分布最广泛, 这与我们之前研究调查结果相一致^[10]。拟亚跳亚科、革螨亚目、蝠螨亚目、长角跳虫科、双翅目幼虫和鳞跳虫科为常见类群, 占中小型土壤动物总个体密度的 27.9%。其余类群均为稀有类群, 稀有类群个体密度小, 但类群数要显著多于优势类群和常见类群。棘跳虫科、圆跳虫科和石蜈蚣科占稀有类群个体密度的前 3 位。经显著性统计检验: 同一季节玄武岩台地次生林中小型土壤动物个体密度与花岗岩低山、丘陵次生林呈显著性差异 ($p < 0.05$); 各生境秋季中小型土壤动物个体密度与春季、夏季呈显著性差异 ($p < 0.05$); 花岗岩低山春季中小型土壤动物类群数显著高于夏季和秋季 ($p < 0.05$), 同一季节不同生境中小型土壤动物类群数无显著性差异 (图 2)。



注: 小写字母表示同一季节不同生境间的差异, 大写字母表示同一生境的不同季节间的差异, 生境 BP 为玄武岩台地次生林, 生境 GL 为花岗岩低山次生林, 生境 GH 为花岗岩丘陵次生林, 下同。

图 1 各生境大型土壤动物密度与类群数动态

Fig. 1 Dynamics of group number and density of macro soil fauna in different habitats

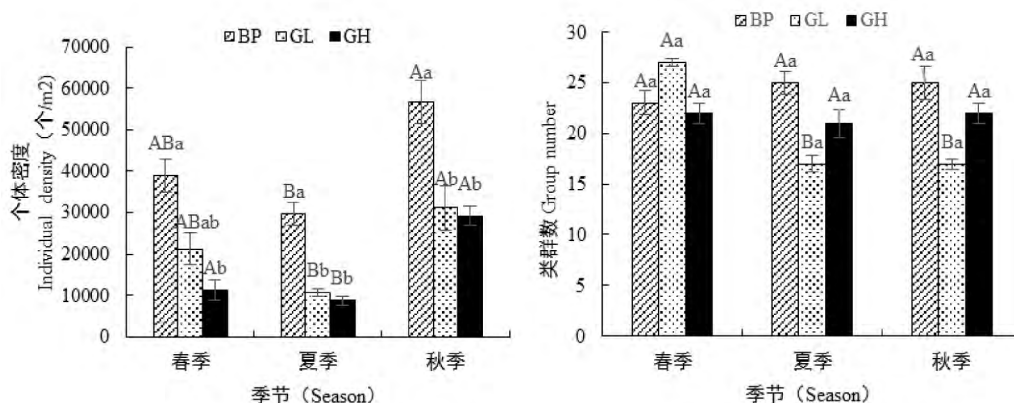


图 2 各生境中小型土壤动物密度与类群数动态

Fig. 2 Dynamics of group number and density of meso-micro soil fauna in different habitats

总体看来,同一季节,各生境间大型土壤动物类群数无显著性差异。不同季节,不同地区次生林大型土壤动物密度季节动态显著,且玄武岩台地和花岗岩丘陵次生林大型土壤动物密度季节动态显著高于花岗岩低山次生林($p < 0.05$) (图1)。而对于中小型土壤动物而言,玄武岩台地中小型土壤动物密度在不同季节要显著高于其他两个生境,花岗岩丘陵和花岗岩低山次生林中小型土壤动物密度及类群数季节动态趋于一致(图2)。

3.2 次生林土壤动物群落多样性指数特征

3.2.1 不同次生林大型土壤动物群落多样性指数特征

不同次生林大型土壤动物多样性指数季节动态均不一致,而随着季节的变化多样性指数、丰富度指数和均匀度指数却表现出相同的动态趋势,具体变化趋势为:玄武岩台地次生林各指数夏季达到最高,秋季最低,呈先升高后下降的趋势;花岗岩低山次生林各指数秋季达到最高,春季最低,呈逐渐上升趋势;花岗岩丘陵次生林各指数秋季达到最高,夏季最低,呈先下降后上升的趋势。春季与夏季玄武岩台地丰富度指数要显著高于秋季($p < 0.05$),除此之外,不同次生林间计算得出的多样性指数随季节变化均无显著性差异,且大型土壤动物优势度指数季

节动态趋势与多样性指数、丰富度指数和均匀度指数不一致(图3)。

3.2.2 不同次生林中小型土壤动物群落多样性指数特征

中小型土壤动物多样性指数季节动态不一致,呈显著升高或降低趋势,具体变化趋势为:花岗岩低山和丘陵次生林的多样性指数随季节变化呈逐渐下降趋势,而玄武岩台地次生林多样性指数呈先上升后下降趋势,且同一季节玄武岩台地次生林的多样性指数要显著高于其他两个生境($p < 0.05$),花岗岩丘陵次生林多样性指数季节动态呈显著性差异($p < 0.05$);三种次生林的丰富度指数随季节变化呈逐渐下降趋势,夏季和秋季玄武岩台地次生林的丰富度指数要显著高于低山次生林($p < 0.05$),花岗岩丘陵次生林的丰富度指数在春季要显著高于秋季($p < 0.05$);玄武岩台地次生林的均匀度指数随季节变化呈先上升后下降的趋势,且均匀度指数在秋季要显著高于花岗岩丘陵次生林($p < 0.05$),花岗岩低山和丘陵次生林的均匀度指数随季节变化表现为逐渐下降的趋势,且夏季下降趋势明显高于秋季;优势度指数的季节变化趋势与多样性指数不一致,花岗岩丘陵次生林的优势度指数在三个季节呈显著性差异($p < 0.05$) (图4)。

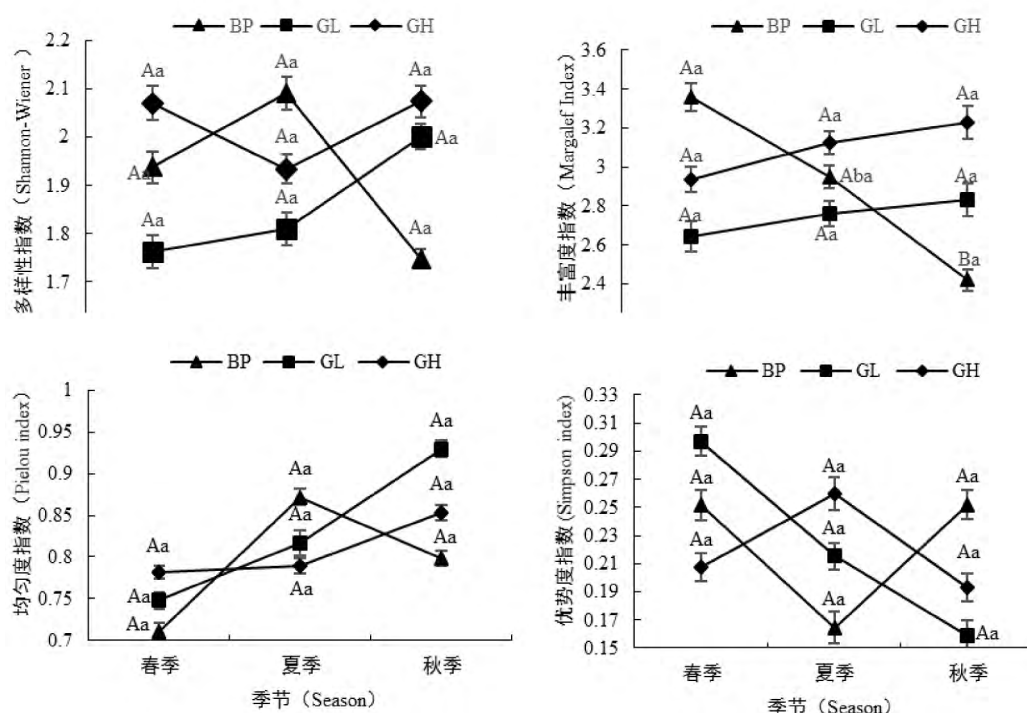


图3 各生境大型土壤动物多样性指数季节变化

Fig. 3 Macro soil fauna diversity index with season change in different habitats

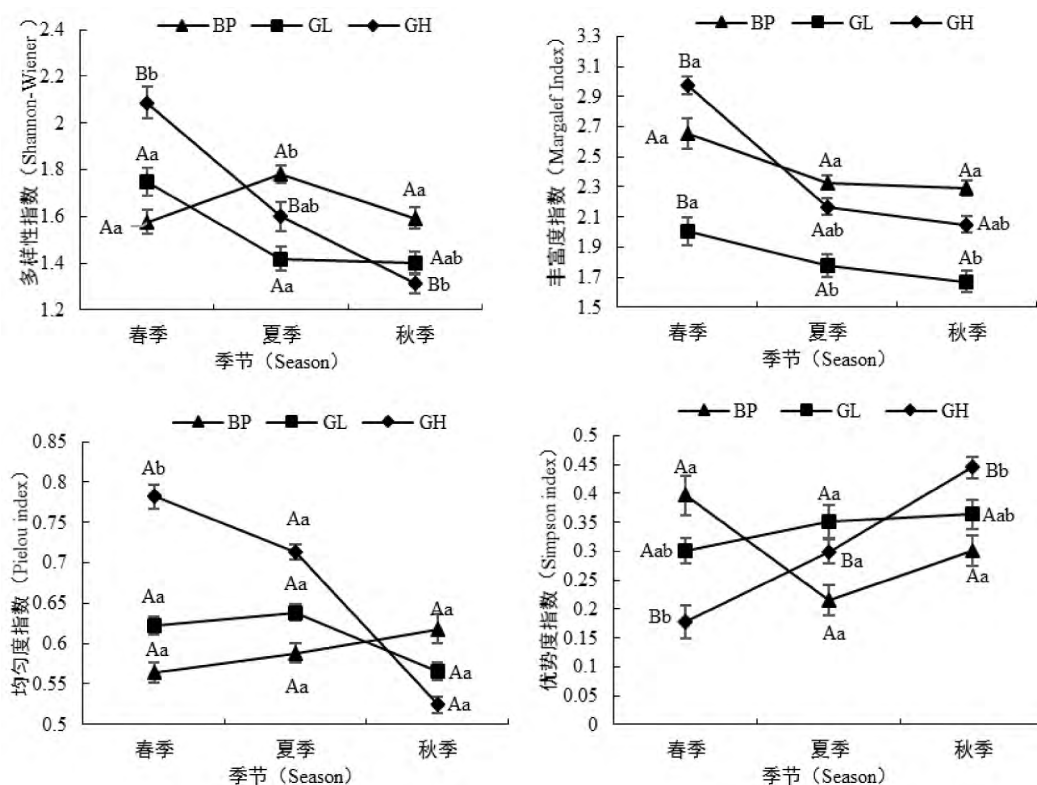


图4 各生境中小型土壤动物多样性指数季节变化

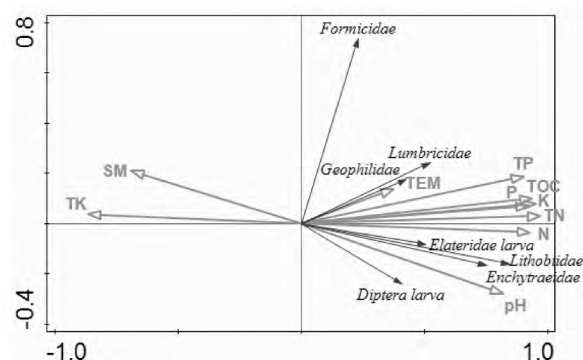
Fig. 4 Meso-micro soil fauna diversity index with season change in different habitats

3.3 次生林土壤动物群落多样性特征与土壤环境因子相关关系分析

为了探究土壤动物多样性在不同季节、不同次生林产生差异的原因, 本文对三种地貌类型次生林的土壤动物群落与环境因子间相关关系进行了 RDA 分析, 来探讨大型、中小型土壤动物对主要环境因子的响应。土壤动物的组成和动态分布对多样性指数的计算有很大的影响, 因此, 探讨土壤动物与环境因子间的相关关系, 优势类群与常见类群的分布及数量特征, 也能够间接的反应土壤动物多样性与环境因子间的关系。考虑到大型土壤动物与中小型土壤动物对环境敏感程度的差异性, 将大型、中小型土壤动物与环境因子间相关关系分别进行 RDA 分析得出:

大型土壤动物对土壤温度、有机质、pH、全效养分(N、P)和速效养分(N、P、K)呈正相关关系, 与土壤湿度和土壤全效养分(K)呈显著负相关关系。但不同大型土壤动物对环境因子的响应程度不同, 蚁科、正蚓科和地蜈蚣科活动能力较强, 其分布主要受土壤温度影响; 叩甲科幼虫、线蚓科和双翅目幼虫由于活动能力范围有限, 其分布主要受土壤 pH、全 N 和速效 N 影响(图 5)。

中小型土壤动物主要对土壤有机质、全效养分



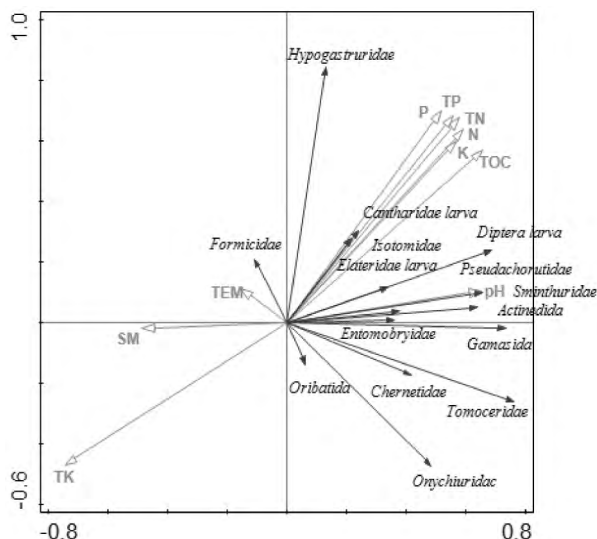
注: Formicidae: 蚁科; Lumbricidae: 正蚓科; Geophilidae: 地蜈蚣科; Elateridae larva: 叩甲科幼虫; Lithobiidae: 石蜈蚣科; Enchytraeidae: 线蚓科; Diptera larva: 双翅目幼虫。TP: 全磷; TK: 全钾; TN: 全氮; TEM: 温度; SM: 湿度; TOC: 有机质; N: 速效氮; P: 速效磷; K: 速效钾(下同)。

图5 大型土壤动物与环境因子相关关系 RDA 分析

Fig. 5 RDA analysis of the relationship between macro soil fauna and environmental factors

(N、P)和速效养分(N、P、K)呈正相关关系, 与土壤全效养分(K)呈显著负相关关系。不同中小型土壤动物对环境因子的响应程度不同, 蚁科和球角跳虫科分布主要受土壤温度影响, 与土壤养分含量、pH

无明显关系;花萤科幼虫、等节跳虫科、叩甲科幼虫、双翅目幼虫、拟亚跳虫亚科、圆跳虫科和长角跳虫科分布主要受土壤有机质、pH、全效养分(N、P)和速效养分(N、P、K)影响,与土壤温度无明显关系;甲螨亚目分布主要受土壤温度、湿度影响,土壤养分含量对其影响很小(图6)。



注: Formicidae: 蚁科; Hypogastruridae: 球角跳虫科; Cantharidae larva: 花萤科幼虫; Isotomidae: 等节跳虫科; Elateridae larva: 叩甲科幼虫; Diptera larva: 双翅目幼虫; Pseudochorutidae: 拟亚跳虫亚科; Sminthuridae: 圆跳虫科; Oribatida: 甲螨亚目; Gamasida: 革螨亚目; Actinedida: 辐螨亚目; Entomobryidae: 长角跳虫科; Tomoceridae: 鳞跳虫科; Onychiuridae: 棘跳虫科; Chernetidae: 苦伪蜴科;

图6 中小型土壤动物与环境因子相关关系 RDA 分析

Fig. 6 RDA analysis of the relationship between meso-micro soil fauna and environmental factors

4 结论与讨论

4.1 讨论

4.1.1 不同次生林土壤动物多样性差异

土壤动物多样性可以代表一个地区的土壤结构及其理化性质,进而对其所处的整体环境条件得到一定的评价^[11]。通过对大型土壤动物与中小型土壤动物多样性指数的比较,我们发现大型土壤动物多样性指数随季节和地貌的变化无显著性差异,而中小型土壤动物多样性指数随季节的变化会表现出明显的差异性,这是因为土壤理化性质及结构的短时间变化会显著改变中小型土壤动物的群落结构及分布,进而影响其多样性的变化^[12],而这种短周期的变化并不会对大型土壤动物产生较大的影响^[13],

导致其多样性季节变化不显著。我们在实际调查中发现,若研究多个生境,其中某生境的多样性指数最高,但在实际调查中该生境的多样性并不一定是最高,也可能是较高(排第2位),这主要是受均匀度的影响,多样性指数是计算得出,多样性是实际客观存在的。本研究选取的三种次生林虽然林型相似,但其生境的条件也有一定的差异,玄武岩台地次生林多样性要高于其他两种地貌类型的次生林。由于土壤动物多样性具有一定的区域特点^[14],优越的生境条件也会对土壤动物的多样性产生正向的影响^[15],玄武岩台地次生林位于长白山保护区,其生境条件最好,土壤动物多样性也较高,花岗岩丘陵次生林位于左家自然保护区,虽有人为干扰,但人为对环境的影响并不严重,而花岗岩低山次生林人为干扰比较严重,甚至有砍伐的迹象,因此其多样性最低,这与 Marx 等^[16]对三江平原湿地不同自然土壤动物群落分布的研究结果相似,生境的受干扰程度会对土壤动物多样性造成一定的影响。比较玄武岩台地次生林夏季与秋季土壤动物多样性指数、均匀度指数发现,秋季土壤动物多样性指数、均匀度指数要明显低于夏季,可能是由于取样地点秋季温度较低导致土壤动物密度、类群数减少,进而影响多样性的变化,这进一步反应了土壤动物对温湿度具有明显的正向响应^[17],这与 Ikawa A 等^[18]对不同温室湿度下土壤动物多样性的研究结果相一致。

4.1.2 土壤动物分布格局对不同次生林环境因子的响应

土壤动物的分布格局受多种因素的综合影响,地形通过影响其他环境因素进而能够影响土壤动物的分布格局^[3]。我们对三种不同地貌类型的次生林土壤动物分布格局进行比较研究,发现不同季节及地形的分异对土壤动物的分布格局具有显著的影响,这与辛未冬^[19]等对松嫩草原地形分异对土壤动物分布格局影响的研究结果一致。结合相关的环境要素来看,大型土壤动物分布格局的季节动态差异很明显,而地貌类型差异并不是影响其分布格局的主要因素,这可能与大型土壤动物的生活习性及对环境的适应能力有关,李娜^[20]等对温带森林大型土壤动物分布格局的研究也得到类似的结论。中小型土壤动物密度大、个体小,对环境的敏感程度要强于大型土壤动物^[21],由于其活动能力有限,导致温度、湿度和土壤养分等环境因子可能是决定其分布的主要环境要素,通过 RDA 分析发现,土壤养分与中小型土壤动物的分布具有显著正相关的关系,中小型

土壤动物甲螨亚目对土壤湿度的响应非常明显。我们对夏季与秋季弹尾目和蜱螨目群落密度的比较研究发现,虽然秋季温度要低于夏季,但秋季弹尾目和蜱螨目群落密度要显著高于夏季($p < 0.05$),这与秦钟^[22]等研究不同,他们认为弹尾目的抗寒性要强于蜱螨目,而我们研究发现,土壤养分可能要高于温度对群落密度的影响。由于环境因子调查的限制,可能忽略一些其他影响要素(如酶、菌类等)与中小型动物之间的相互作用^[23],进而对其分布产生影响,在以后的研究工作中有待进一步深入。

4.2 结论

(1) 长白山地三种不同地貌类型次生林土壤动物群落组成存在一定差异性,大型土壤动物类群数季节变化不显著,中小型土壤动物密度季节波动较大。比较三个季节取样结果,大型和中小型土壤动物分布格局在不同地貌类型生境中有明显差异,表现为大型土壤动物分布格局差异性小,中小型土壤动物分布格局差异性大。花岗岩低山次生林大型土壤动物密度和类群数均为最低,玄武岩台地次生林中小型土壤动物密度和类群数要显著高于其他两个生境。

(2) 不同地貌类型次生林大型土壤动物多样性指数随季节变化均无显著性差异,同一季节玄武岩台地次生林的中小型土壤动物多样性指数要显著高于其他两个生境($p < 0.05$),花岗岩丘陵次生林多样性指数季节动态呈显著性差异($p < 0.05$)。

(3) 三种不同地貌类型次生林大型土壤动物多样性指数、丰富度指数和均匀度指数随着季节的变化表现出相同的动态趋势,而中小型土壤动物多样性指数季节波动明显不同于大型土壤动物多样性指数,呈显著升高或降低趋势,且各指数季节动态不一致。

(4) 大型土壤动物对环境因子的响应程度有一定的差异性,对土壤有机质、全效养分(N、P)和速效养分(N、P、K)呈显著正相关关系;中小型土壤动物分布对环境的敏感程度要高于大型土壤动物,其分布与土壤全效养分(K)呈显著负相关关系,弹尾目分布对土壤有机质、pH、全效养分(N、P)和速效养分(N、P、K)呈正向响应,而甲螨亚目分布对土壤温度、湿度呈显著正向响应,土壤养分含量并不是影响其分布的主要环境要素。

参考文献(References)

[1] LORANGER-MERCIRIS G, IMBERT D, BERNHARD-REVERSAT F, et al. Soil fauna abundance and diversity in a secondary semi-evergreen forest in Guadeloupe (Lesser Antilles): influence of soil type and dominant tree species [J]. *Biology & Fertility of Soils*, 2007, **44**(2): 269–276.

[2] FANG X, YU D, ZHOU W, et al. The effects of forest type on soil microbial activity in Changbai Mountain, Northeast China [J]. *Annals of Forest Science*, 2016, **73**(2): 1–10.

[3] YIN X, SONG B, DONG W, et al. A review on the eco-geography of soil fauna in China [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, **20**(3): 333–346.

[4] BARDGETT R D, PUTTEN W H V D. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. [J]. *Nature*, 2014, **515**(515): 505–11.

[5] HAN Zhiguang, SUI Xin, LI Mengsha. Effects of forest age on soil fungal community in a northern temperate ecosystem [J]. *Indian Journal of Microbiology*, 2016, **56**(3): 328–334.

[6] KORBOULEWSKY N, PEREZ G, CHAUVAT M. How tree diversity affects soil fauna diversity: A review [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2016, **94**: 94–106.

[7] ZHU X, ZHU B. Diversity and abundance of soil fauna as influenced by long-term fertilization in cropland of purple soil, China [J]. *Soil & Tillage Research*, 2015, **146**: 39–46.

[8] SEITZ S, GOEBES P, ZUMSTEIN P, et al. The influence of leaf litter diversity and soil fauna on initial soil erosion in subtropical forests [J]. *Earth Surface Processes & Landforms*, 2015, **40**(11): 1439–1447.

[9] HLAVA J. Soil fauna diversity relationship with NO₃ content in grass filter strips within intensive agriculture land [J]. *Polish Journal of Ecology*, 2015, **63**(2): 273–279.

[10] YIN X, LI X, AN J, et al. Characteristics of ecological distribution of soil microarthropod communities in the wetlands of the Lhasa River on the Qinghai-Tibet plateau [J]. *Wetlands*, 2015, **35**(3): 589–596.

[11] SOUZA J T A, FARIAS A A D, FERREIRA R C C, et al. Soil macrofauna in three different environments in Cariri, Paraíba, Brazil [J]. *Scientia Agraria Paranaensis*, 2016.

[12] THAKUR M P, BENG M P, EISENHAUER N, et al. Disturbance – diversity relationships for soil fauna are explained by faunal community biomass in a salt marsh [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2014, **78**(78): 30–37.

[13] 刘红, 袁兴中. 中国东部山地森林土壤动物多样性[J]. *山地学报*, 2000, **18**(3): 221–225 [LIU Hong, YUAN Xingzhong. Diversity of forest soil fauna in the eastern mountain regions of China [J]. *Journal of Mountain Science*, 2000, **18**(3): 221–225]

[14] HUHTA V, PERSSON T, SETALA H. Functional implications of soil fauna diversity in boreal forests [J]. *Applied Soil Ecology*, 1998, **10**(3): 277–288.

[15] 黄旭, 文维全, 张健, 等. 川西高山典型自然植被土壤动物多样性[J]. *应用生态学报*, 2010, **21**(1): 181–190 [HUANG Xu, WEN Weiquan, ZANG Jian, et al. Soil faunal diversity under typical alpine vegetations in West Sichuan [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, **21**(1): 181–190]

[16] MARX M T, YAN X, WANG X, et al. Soil fauna abundance, feeding and decomposition in different reclaimed and natural sites in the Sanjiang Plain wetland, Northeast China [J]. *Wetlands*, 2016, **36**(3): 1–11.

- [17] COLE L, BRADFORD M A, SHAW P J A, et al. The abundance, richness and functional role of soil meso-and macrofauna in temperate grassland—A case study [J]. *Applied Soil Ecology*, 2006, **33**(2): 186–198.
- [18] IKAWA A, NAKAMERAT, KOMAMURA M, et al. Relationship between diversity of soil meso-fauna and soil moisture condition in green house [J]. *Journal of Agricultural Science Tokyo Nogyo Daigaku*, 2010, **55**(1): 56–62.
- [19] 辛未冬, 殷秀琴, 宋博. 松嫩草原地形分异对土壤动物分布格局的影响 [J]. *地理研究*, 2013, **32**(3): 413–420 [XIN Weidong, YIN Xiuqin, SONG Bo. Effect of topography heterogeneity on distribution of soil fauna in Songnen grassland [J]. *Geographical Research*, 2013, **32**(3): 413–420]
- [20] 李娜, 张雪萍, 张利敏. 三种温带森林大型土壤动物群落结构的时空动态 [J]. *生态学报*, 2013, **33**(19): 6236–6245 [LI Na, ZHANG Xueping, ZHANG Limin. Spatial and temporal variation of soil macro-fauna community structure in three temperate forests [J]. *Acta Ecologica Sinica* 2013, **33**(19): 6236–6245]
- [21] 王振海, 殷秀琴, 蒋云峰. 长白山苔原带土壤动物群落结构及多样性 [J]. *生态学报*, 2014, **34**(3): 755–765 [WANG Zhenhai, YIN Xiuqin, JIANG Yunfeng. Structure and diversity of soil fauna communities in the tundra of the Changbai Mountains, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, **34**(3): 755–765]
- [22] 秦钟, 章家恩, 李庆芳. 城市化地区不同生境下中小型土壤动物群落结构特征 [J]. *应用生态学报*, 2009, **20**(12): 3049–3056 [QIN Zhong, ZHANG Jiaen, LI Qingfang. Community structure of soil meso and micro-fauna in different habitats of urbanized region [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, **20**(12): 3049–3056]
- [23] MARKS E A N, MATTANA S, ALCANIZ J M, et al. Gasifier biochar effects on nutrient availability, organic matter mineralization, and soil fauna activity in a multi-year Mediterranean trial [J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2015, **215**(21): 30–39.

Soil Fauna Community Diversity and Distribution Characteristics in Different Secondary Forest of Changbai Mountains

KOU Xinchang¹, YIN Xiuqin^{1 2*}

(1. School of Geographical Sciences, Northeast Normal University, Jilin 130024, Changchun, China

2. Jilin Key Laboratory of Animal Resource Conservation and Utilization, Jilin 130024, Changchun, China)

Abstract: The soil fauna community diversity and distribution characteristics of the different secondary forest in Changbai Mountains were investigated in this paper. Soil fauna from three secondary forest habitats, including the Basalt platform, Granite low mountain and Granite hill in Changbai Mountain area, were studied in the spring (May), summer (July) and fall (September) of 2015. The soil fauna density and their group numbers differed among the habitats with seasonal fluctuations. The density variation of macro soil fauna with season was not significant, whereas that of meso-micro soil fauna was great. The density and groups of Granite low mountain secondary forest was the lowest, while the Basalt platform secondary forest was significant higher than other two habitats. The diversity indices of macro soil fauna in three habitats were showed the same dynamic trend. The change of soil fauna diversity had no significant differences with different season. The meso-micro soil fauna diversity index was showed a significant increase or decrease trend, which obviously different to macro soil fauna. The meso-micro diversity index of Basalt platform was significant higher than other two habits. Through the RDA analysis of soil fauna and environmental factors we found that the soil fauna responded highly to soil organic matter, total nitrogen, total phosphorus and available nutrient. *Oribatida* was the dominant group of the meso-micro fauna which distribution showed a significant positive response to soil temperature and humidity. The study can provide the soil zoological theoretical basis for the management and ecological restoration of secondary forest.

Key words: Soil fauna; secondary forest; distribution pattern; characteristics of diversity; Changbai Mountains