

Effects of Different Forest Types on Meso-Micro Soil Faunal Diversity

Weijie Wang, Xiaoqiang Li*, Rongyuan Nie, Rui Gao, Xi Zhang, Yijia Dai

College of Urban and Environmental Sciences, Changchun Normal University, Changchun Jilin
Email: *6657555@163.com

Received: Mar. 24th, 2019; accepted: Apr. 8th, 2019; published: Apr. 15th, 2019

Abstract

Vegetation, soil and other environmental factors of different forest types affect the soil faunal diversity in surrounding soil. In the present study, an investigation about the composition and diversity of the soil meso-micro fauna and its relationship with soil factors was conducted in Longwan National Nature Reserve. Sampling sites were conducted in *Quercus mongolica* forest, miscellaneous wood forest, *Pinus koraiensis* plantations and *Larix olgensis* plantations in May, July and October 2018. A total of 630 individuals belong to 6 classes, 12 orders, 16 families. *Quercus mongolica* forest, miscellaneous wood forest had a higher abundance and richness of soil meso-micro fauna, when compared with *Pinus koraiensis* plantations and *Larix olgensis* plantations. Isotomidae and Oribatida were the dominant groups in all forest types. A significantly higher abundance of Isotomidae was evident in *Pinus koraiensis* plantations than *Quercus mongolica* forest at months 7 of the experiment ($P < 0.05$). Miscellaneous wood forest showed significantly higher abundance of Isotomidae than *Pinus koraiensis* plantations at months 10 of the experiment ($P < 0.05$). Principal component analysis results showed the effect of different forest types on dominant and common groups of soil meso-micro fauna. The canonical correspondence analysis results showed that soil meso-micro faunal diversity was significantly correlated with soil relative humidity and soil humus in different forest types. Effects of different forest types on meso-micro soil faunal diversity need to consider soil and vegetation factors, as well as by the interactions.

Keywords

Forest Type, Meso-Micro Soil Fauna, Diversity, Longwan National Nature Reserve

不同林型对中小型土壤动物多样性的影响

王伟杰, 李晓强*, 聂荣元, 高 瑞, 张 西, 代益嘉

长春师范大学城市与环境科学学院, 吉林 长春
Email: *6657555@163.com

*通讯作者。

收稿日期：2019年3月24日；录用日期：2019年4月8日；发布日期：2019年4月15日

摘要

不同林型由于植被,土壤等环境因子的差异会影响土壤动物的群落结构。在吉林龙湾国家级自然保护区,选取蒙古栎林、杂木林、红松人工林、长白落叶松人工林四个典型生境,研究不同林型对中小型土壤动物多样性的影响。结果表明:本研究共获取中小型土壤动物630个,隶属于6纲12目16科。阔叶林土壤动物个体数明显多于针叶林,在种类上阔叶林也略多。节跳虫科和甲螨亚目是四个生境共同优势类群。单因素方差分析表明,7月份红松人工林节跳科个体密度显著高于蒙古栎林($P < 0.05$)。10月份杂木林节跳科个体密度显著高于红松人工林($P < 0.05$)。主成分分析表明不同林型对土壤动物优势类群和常见类群影响较大。典范对应分析表明土壤相对湿度和土壤腐殖质是影响不同林型土壤动物群落多样性的主要土壤因子。不同林型对土壤动物多样性的影响要考虑土壤和植被等因素的综合作用。

关键词

林型, 中小型土壤动物, 多样性, 龙湾国家级自然保护区

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来土壤动物生态学研究已成为当前生态研究的热点与前沿领域[1]。土壤动物是陆地生态系统中的重要组成部分[2] [3] [4] [5], 在生态系统中扮演着重要的消费者和分解者角色, 是森林生态系统可持续经营管理的重要结构组分[6]。同时土壤质量、土地利用方式等与土壤动物也息息相关[7] [8], 土壤动物已成为土壤和土地质量评价的一个重要指标[9]。

土壤动物群落与植物群落之间存在着动态的相互作用[2]。不同的植被条件下土壤动物有其特异性, 不同的林地类型, 甚至是同一林地类型不同的地域与时间下, 土壤动物都具有不同的群落结构, 丰富度, 均匀度和优势类群等特征。近40年来, 东北森林土壤动物生态学研究取得丰富的成果[1], 但目前对于不同林型特别是针叶林和阔叶林的土壤动物多样性对比研究比较少, 所以研究不同林型对土壤动物多样性的影响具有一定必要性, 同时该研究对明确地上与地下生态系统的相互作用有重要意义。

本文以吉林龙湾国家级自然保护区为例, 选取蒙古栎林、杂木林、红松人工林、长白落叶松人工林作为四个典型生境进行土壤动物多样性的研究对比, 并探讨其对土壤环境因子响应, 旨在揭示不同林型土壤动物群落的结构特征和差异。一方面为保护区生态系统质量的评价、维护、管理和生态文明建设提供相关的土壤动物学依据; 另一方面也有助于从不同林型角度为研究土壤动物多样性提供借鉴。

2. 研究区概况

研究区为吉林龙湾国家级自然保护区。保护区位于长白山系龙岗山脉中段, 吉林省通化市辉南县境内。地理坐标为 $42^{\circ}16'20''N$ ~ $42^{\circ}26'57''N$, $126^{\circ}13'55''E$ ~ $126^{\circ}32'02''E$, 海拔449~1233.3 m。本区属于北温带大陆性季风气候, 四季分明, 春季风大干旱, 夏季湿热多雨, 秋季温和凉爽, 冬季漫长寒冷, 在植被区划中属温带针叶落叶阔叶混交林区域。林木资源丰富, 针叶林主要以红松(*Pinus koraiensis*)人工林和长

白落叶松(*Larix olgensis*)人工林为主, 落叶阔叶林主要以夏绿杂木林和蒙古栎(*Quercus mongolica*)林为主。地带性土壤为暗棕壤, 非地带性土壤有白浆土、草甸土、沼泽土等。

3. 研究方法

3.1. 样地选取

根据实地考察, 选取保护区蒙古栎林、杂木林、红松人工林、长白落叶松人工林四个典型生境作为试验样地。另外在四个生境分别布设 iButton 温湿度记录仪(DS 1923), 用于测定土壤温度和土壤相对湿度。

3.2. 样品采集与土壤动物分离鉴定

2018 年的 5 月、7 月、10 月在四个典型生境进行中小型土壤动物取样, 取样面积为 10 cm × 10 cm, 取样深度 0~10 cm 土层, 共采集 36 个样品(4 生境 × 3 重复 × 3 次实验)。中小型土壤动物样品带回实验室。采用 Tullgren 法分离中小型土壤动物, 样品保存在 75% 的酒精溶液中。另外采集四个生境 0~10 cm 土壤样品用于理化性质分析, 同时收集 iButton 温湿度记录仪。利用体视显微镜(OLYMPUS SZX16)对中小型土壤动物进行分类鉴定[10][11][12]和数量统计。一般鉴定到科, 少数种类鉴定到目。土壤动物成虫和幼虫生态功能存在较大差异, 因此分开统计成虫和幼虫个体数量[13]。

3.3. 土壤理化性质测定

表 1 为龙湾自然保护区不同林型土壤理化性质, 采用腐殖质组成修改法[14][15], 测定土壤样品腐殖质含量。土壤有机碳采用重铬酸钾外加热法测定。iButton 温湿度记录仪(DS 1923)测定土壤温度和土壤相对湿度。

Table 1. Soil physiochemical properties of different forest types in the Longwan National Nature Reserve

表 1. 龙湾自然保护区不同林型土壤理化性质

取样时间	土壤理化性质	蒙古栎林	杂木林	红松人工林	长白落叶松人工林
5 月	土壤温度(°C)	14.33	12.33	12.09	13.07
	土壤相对湿度(%)	70.76	81.84	79.33	68.15
	土壤有机碳(g/kg)	90.27	188.91	86.98	105.49
	土壤腐殖质(g/kg)	21.78	31.16	29.82	26.80
7 月	土壤温度(°C)	20.68	20.06	20.68	19.91
	土壤相对湿度(%)	93.73	90.43	94.53	91.04
	土壤有机碳(g/kg)	95.20	171.74	113.86	94.74
	土壤腐殖质(g/kg)	23.79	30.49	29.48	26.47
10 月	土壤温度(°C)	8.63	6.90	8.63	8.03
	土壤相对湿度(%)	75.83	70.89	74.08	71.89
	土壤有机碳(g/kg)	79.09	151.90	78.16	69.27
	土壤腐殖质(g/kg)	11.39	32.83	44.67	19.43

3.4. 数据处理

单因素方差分析同一取样时间不同林型甲螨亚目, 辐螨亚目, 节跳虫科和长角跳虫科个体密度差异。

LSD 法进行多重比较。对于不服从正态分布的数据进行 $\log(X)$ 转换。采用 SPSS 22.0 软件进行单因素方差分析。主成分分析不同样带对土壤动物群落的影响。典范对应分析定量研究土壤因子(土壤有机碳、土壤腐殖质、土壤温度和土壤相对湿度)对中小型土壤动物多样性的影响。在进行排序分析之前,对中小型土壤动物个体密度进行对数转换,采用 Canoco 4.5 排序软件进行主成分分析和典范对应分析。

4. 结果与分析

4.1. 不同林型土壤动物群落组成

本研究共获取中小型土壤动物 630 个,隶属于 6 纲 12 目 16 科(表 2)。其中杂木林生境的土壤动物数

Table 2. Composition of soil fauna of different forest types in the Longwan National Nature Reserve

表 2. 龙湾自然保护区不同林型土壤动物群落组成

种类 Species	蒙古 栎林	%	杂木林	%	阔叶林 合计	%	红松 人工林	%	长白落叶松 人工林	%	针叶林 合计	%
甲螨亚目 Oribatida	17	10.76	39	15.92	56	13.90	13	11.40	29	25.66	42	18.50
辐螨亚目 Prostigmata	20	12.66	19	7.76	39	9.68	11	9.65	15	13.27	26	11.45
革螨亚目 Mesostigmata	12	7.59	1	0.41	13	3.23	1	0.88	4	3.54	5	2.20
砺螨科 Laelapidae	—	—	1	0.41	1	4.35	—	0.00	3	2.65	3	1.32
赤螨科 Erythraeidae	1	0.63	4	1.63	5	1.24	4	3.51	1	0.88	5	2.20
节跳虫科 Isotomidae	52	32.91	118	48.16	170	42.18	59	51.75	34	30.09	93	40.97
球角跳科 Hypogastruridae	4	2.53	—	—	4	0.99	1	0.88	—	—	1	0.44
圆跳科 Sminthuridae	—	—	1	0.41	1	0.25	1	0.88	—	—	1	0.44
鳞跳科 Tomoceridae	—	—	2	0.82	2	0.50	—	0.00	—	—	—	—
长角跳科 Entomobryidae	5	3.16	13	5.31	18	4.47	4	3.51	8	7.08	12	5.29
跳虫科 Poduridae	—	—	—	—	—	—	2	1.75	—	—	2	0.88
蜘蛛目 Araneae	3	1.90	—	—	3	0.74	2	1.75	2	1.77	4	1.76
马陆目 Juliformia	—	—	—	—	—	—	—	—	3	2.65	3	1.32
地蜈蚣科 Geophilidae	2	1.27	1	0.41	3	0.74	—	—	—	—	—	—
步甲科 Carabidae	—	—	—	—	—	—	—	—	2	1.77	2	0.88
象甲科 Curculionidae	—	—	2	0.82	2	0.50	—	—	—	—	—	—
铁甲科 Hispididae	—	—	1	0.41	1	0.25	—	—	—	—	—	—
舟蛾科幼虫 <i>Notodontidae larva</i>	3	1.90	—	—	3	0.74	—	—	—	—	—	—
夜蛾科幼虫 <i>Noctuidae larva</i>	1	0.63	1	0.41	2	0.50	—	—	—	—	—	—
隐翅虫科 Staphylinidae	3	1.90	—	0.00	3	0.74	—	—	5	4.42	5	2.20
隐翅虫科幼虫 <i>Staphylinidae larva</i>	3	1.90	3	1.22	6	1.49	2	1.75	1	0.88	3	1.32
鞘翅目幼虫 <i>Coleoptera larva</i>	—	—	—	—	—	—	5	4.39	—	—	5	2.20
双翅目幼虫 <i>Diptera larva</i>	11	6.96	27	11.02	38	9.43	6	5.26	5	4.42	11	4.85
蚁科 Formicidae	1	0.63	6	2.45	7	1.74	1	0.88	—	—	1	0.44
线蚓科 Enchytraeidae	11	6.96	5	2.04	16	3.97	1	0.88	—	—	1	0.44
线虫纲 Nematoda	9	5.70	1	0.41	10	2.48	1	0.88	1	0.88	2	0.88
总计 Total	158		245		403		114		113		227	
类群数 Richness	18		19		23		17		15		21	

注: 个体数占总个体数比例 > 10% 为优势类群; 个体数占总个体数 1%~10% 为常见类群; 个体数占总个体数比例 < 1% 为稀有类群。

量最丰富,数量多达 245 个,占总体的 38.89%;长白落叶松人工林生境土壤动物数量最少,为 113 个,均占总体的 17.94%。土壤动物种类丰富度差别不大,杂木林最丰富 19 种,其次是蒙古栎林 18 种,红松人工林为 17 种,长白落叶松人工林的土壤动物种类最少为 15 种。阔叶林的土壤动物数量明显多于针叶林型的土壤动物数量,在种类上阔叶林也略多。

节跳虫科和甲螨亚目是蒙古栎林、杂木林、红松人工林、长白落叶松人工林生境共同的优势类群。辐螨亚目是蒙古栎林、长白落叶松人工林生境的优势类群,但在杂木林和红松人工林中所占比例也较高。除此之外,双翅目幼虫是杂木林生境的优势类群。

从阔叶林生境来看,共有 23 种类群,其中节跳虫科(42.18%)和甲螨亚目(13.90%)是优势类群,两者在数量上占比多达 56.08%,常见类群有辐螨亚目、双翅目幼虫、线虫、革螨亚目、长角跳虫科、线蚓科、蚁科、隐翅虫科幼虫、赤螨科 9 类,其他 12 类为稀有类群。

从针叶林生境来看,共有 21 种类群,其中节跳虫科(40.97%)和甲螨亚目(18.50%)、辐螨亚目(11.45%)是优势类群,三者数量上占比多达 70.92%,常见类群有双翅目幼虫、长角跳虫科、革螨亚目、蜘蛛目、马陆目、隐翅虫科、隐翅目幼虫、鞘翅目幼虫、赤螨科、砾螨科 10 类,其他 8 类为稀有类群。

4.2. 不同林型土壤动物群落结构

单因素方差分析表明,本研究的主要动物类群甲螨亚目,辐螨亚目,节跳虫科和长角跳虫科个体密度在不同林型间存在差异(图 1)。其中 7 月份红松人工林节跳虫科个体密度显著高于蒙古栎林($P < 0.05$)。10

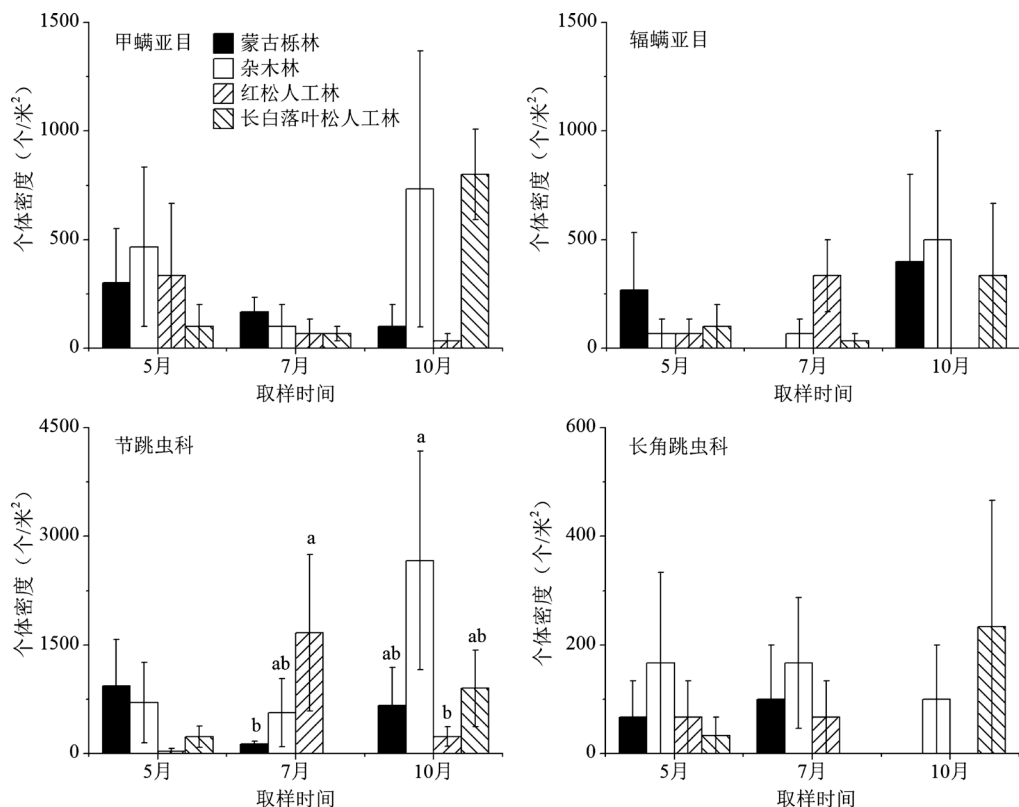


Figure 1. Abundance of Oribatida, Prostigmata, Isotomidae and Entomobryidae for different forest types (means \pm SE), lowercase letters indicate significant differences among different forest types within the same experimental periods ($P < 0.05$)

图 1. 不同林型甲螨亚目, 辐螨亚目, 节跳虫科和长角跳虫科个体密度(均值 \pm 标准误), 不同小写字母表示同一取样时间不同林型间个体密度存在显著差异($P < 0.05$)

月份杂木林节跳科个体密度显著高于红松人工林($P < 0.05$)。另外7月份蒙古栎林无辐螨亚目类群, 落叶松人工林无节跳虫科和长角跳虫科。10月份红松人工林无辐螨亚目类群, 蒙古栎林和红松人工林无长角跳虫科类群。这也说明不同林型土壤动物群落结构存在差异。

不同季节林型对土壤动物群落的影响存在差异(图2)。5月份排序轴 PC 1 和 PC 2 将落叶松人工林和红松人工林样带与其他林型分开。排序轴 PC 1 主要反映了节跳虫科和鞘翅目幼虫, 跳虫科以及蜘蛛目类群的数量变化, 排序轴 PC 2 主要反映了隐翅虫科, 步甲科和线蚓科类群的数量变化。

7月份排序轴 PC 1 和 PC 2 将落叶松人工林和蒙古栎林与其他林型分开。排序轴 PC 1 主要反映了革螨亚目和节跳虫科两个类群的数量变化, 排序轴 PC 2 主要反映了长角跳科和辐螨亚目两个类群的数量变化。10月份排序轴 PC 1 和 PC 2 将红松人工林和蒙古栎林与其他林型分开。排序轴 PC 1 主要反映了节跳虫科和赤螨科两个类群的数量变化, 排序轴 PC 2 主要反映了线虫纲, 舟蛾科幼虫和长角跳科类群的数量变化。从以上分析可知, 不同林型对土壤动物优势类群和常见类群影响较大。

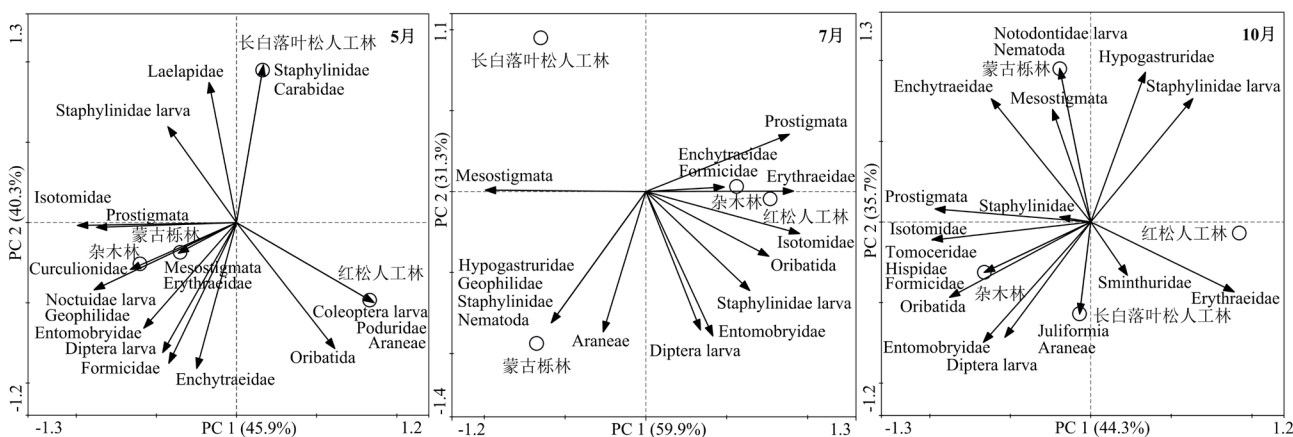


Figure 2. Principal component analysis results of soil faunal communities for different forest types

图 2. 不同林型土壤动物群落主成分分析

4.3. 不同林型土壤动物群落对土壤因子的响应

不同林型土壤动物与土壤因子的典范对应分析结果见图3。5月份土壤相对湿度与轴1的相关系数最大为-0.569, 土壤有机碳与轴2的相关系数最大为-0.503。因此土壤相对湿度和土有机碳是影响5月份中

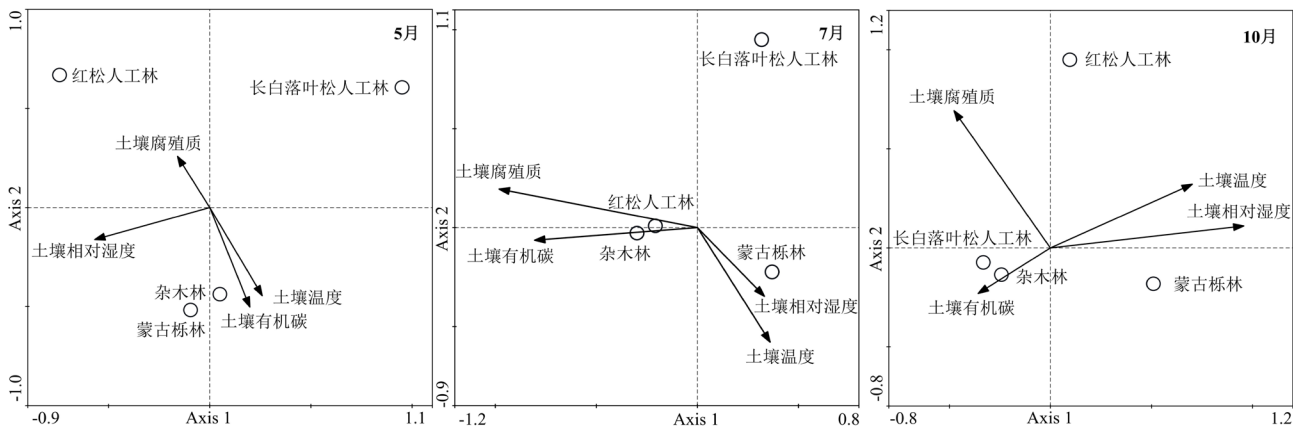


Figure 3. Canonical correspondence analysis of the relationships between soil fauna community and soil factors for different forest types

图 3. 不同林型土壤动物群落与环境因子典范对应分析

小型土壤动物群落的主要土壤因子。土壤有机碳与杂木林的土壤动物群落显著正相关。

7月份土壤腐殖质与轴1的相关系数最大为-0.980,土壤温度与轴2的相关系数最大为-0.578。因此土壤腐殖质和土壤温度是影响7月份中小型土壤动物群落的主要土壤因子。土壤腐殖质与红松人工林土壤动物群落显著正相关,土壤温度与蒙古栎林土壤动物群落显著正相关。

10月份土壤相对湿度与轴1的相关系数最大为0.957,土壤腐殖质与轴2的相关系数最大为0.692。因此土壤相对湿度和土壤腐殖质是影响10月份大型土壤动物群落的主要土壤因子。土壤相对湿度与蒙古栎林土壤动物群落显著正相关,土壤腐殖质与红松林土壤动物群落显著正相关。从以上分析可知,不同季节土壤因子对土壤动物群落影响存在差异,总体上土壤相对湿度和土壤腐殖质是影响不同林型土壤动物群落多样性的主要土壤因子。

5. 讨论

本研究中节跳虫科和甲螨亚目是蒙古栎林、杂木林、红松人工林和长白落叶松人工林生境共同的优势类群。这一共性结果在很多研究中均得到证实,例如对东北地区大,小兴安岭[16][17]和帽儿山不同林型土壤动物的对比研究[18][19][20],以及长白山红松阔叶混交林土壤动物生态分布的研究[21]。这也决定了对土壤动物分类研究需要更加深入,鉴定到更高的分类阶元属和种的水平,结果会有很大的差异,这也是今后需要关注的内容。本研究针叶林和阔叶林特有类群也存在差异(表2),其中杂木林生境只有鳞跳科,象甲科和铁甲科分布。蒙古栎林生境只有舟蛾科幼虫分布。红松人工林生境只有跳虫科和鞘翅目幼虫分布。长白落叶松人工林生境只有马陆目和步甲科分布。这也说明土壤动物对环境因子较为敏感,一些敏感性种类仅在某一时期土壤条件适宜时,种群数量才逐渐增加,并成为常见类群,这与黑龙江帽儿山土壤动物群落研究结果[20]基本一致。

土壤环境是影响土壤动物多样性的直接因素。本研究5月份杂木林土壤相对湿度为81.84%,土壤腐殖质为31.16 g/kg均高于其他三个生境(表1)。7月和10月土壤腐殖质含量也较高分别为30.49 g/kg和32.83 g/kg(表1)。另外本研究总体上土壤相对湿度和土壤腐殖质对不同林型土壤动物群落多样性影响较大(图3)。这也决定了杂木林生境土壤动物个体数和类群数均多于其他生境(表2)。吉林龙湾自然保护区臭冷杉阔叶混交林、红松阔叶混交林、杂木林和蒙古栎林土壤动物群落多样性的研究[22]也表明杂木林中小型土壤动物群落结构复杂,物种丰富,组成类群较多。但是本研究中蒙古栎林土壤腐殖质在各个月份的含量均低于其他生境,然而土壤动物的个体数和类群数高于红松林和落叶松林(表2)。分析原因可能与土壤温度有关,蒙古栎林多生长在山脊的位置决定了土壤养分比较贫瘠,然而土壤温度较高,本研究中蒙古栎林土壤温度在各个月份的均高于其他生境。因此,土壤因子对土壤动物多样性的影响要综合土壤理化性质的各个因子。另外有研究指出植被差异能够显著影响地下生物多样性组成和结构等[23]。所以研究不同林型对土壤动物多样性的影响要考虑土壤和植被等因素综合作用。

凋落叶和一些落叶植物能够改变土壤生物的特性[24],并且植物叶片的数量与特性能影响土壤生物的种群动态[25]。然而本试验只是研究0~10 cm土层的中小型土壤动物,并没有研究凋落物层中小型土壤动物。地上和地下土壤动物存在紧密联系,应该作为一个整体探讨其对不同林型的响应。对于森林生态系统而言,凋落物的种类和数量决定土壤养分的多少以及养分循环的速率,进而也影响土壤动物群落多样性特征。今后的研究会关注不同林型地上凋落物多样性和地下土壤动物多样性相互作用关系,以及食物网中的上行效应如何调控土壤动物多样性等问题。

6. 结论

本试验通过研究吉林龙湾国家级自然保护区不同林型对中小型土壤动物多样性的影响,得出以下结

论:

- 1) 本研究共获取中小型土壤动物 630 个,隶属于 6 纲 12 目 16 科。节跳虫科和甲螨亚目是蒙古栎林、杂木林、落叶松林、红松林生境共同的优势类群。
- 2) 单因素方差分析表明,7 月份红松人工林节跳科个体密度显著高于蒙古栎林($P < 0.05$)。10 月份杂木林节跳科个体密度显著高于红松人工林($P < 0.05$)。
- 3) 主成分分析表明不同林型对土壤动物优势类群和常见类群影响较大。典范对应分析表明土壤相对湿度和土壤腐殖质是影响不同林型土壤动物群落多样性的主要土壤因子。
- 4) 不同林型对土壤动物多样性的影响要考虑土壤和植被等因素的综合作用。

基金项目

国家自然科学基金项目(31200407, 31670527, 41601263); 吉林省科技发展计划项目(20170101166JC, 20180520085JH, 20190201018JC); 吉林省教育厅十三五科学技术研究项目(JJKH20190498KJ), 吉林省大学生创新创业训练计划项目(201810205032)。

致 谢

参与本研究工作的还有占威峦, 郑云松, 崔雅婷和王国峰, 在此表示衷心感谢。

参考文献

- [1] 殷秀琴, 陶岩, 王海霞, 马辰, 寇新昌, 许还, 崔东. 我国东北森林土壤动物生态学研究现状与展望[J]. 生物多样性, 2018, 26(10): 1083-1090.
- [2] Yin, X.Q., Song, B., Dong, W.H., *et al.* (2010) A Review on the Eco-Geography of Soil Fauna in China. *Journal of Geographical Sciences*, **20**, 333-346. <https://doi.org/10.1007/s11442-010-0333-4>
- [3] 董炜华. 内蒙古公路路域土壤动物群落特征及其在生态恢复中的作用研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 东北师范大学, 2008.
- [4] 王富斌. 土壤动物对长白山针阔混交林主要凋落物分解作用的研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 东北师范大学, 2012.
- [5] 李晓强, 殷秀琴, 孙立娜. 松嫩草原不同演替阶段大型土壤动物功能类群特征[J]. 生态学报, 2014, 34(2): 442-450.
- [6] 靳亚丽. 天童常绿阔叶林凋落物层跳虫群落的生态学研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2011.
- [7] 马宏彬, 刘惠清. 拉萨河流域不同土地利用方式下土壤动物的群落特征[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2012, 44(2): 84-90.
- [8] 张晓光, 殷秀琴, 顾卫, 董满宇. 长白山区公路边坡人工植草后土壤动物群落特征[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2011, 43(4): 111-117.
- [9] Laiho, R., Silvan, N., Cárcamo, H. and Vasander, H. (2001) Effects of Water Level and Nutrients on Spatial Distribution of Soil Mesofauna in Peatlands Drained for Forestry in Finland. *Applied Soil Ecology*, **16**, 1-9. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00103-7](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00103-7)
- [10] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [11] 郑乐怡, 归鸿. 昆虫分类[M]. 南京: 南京师范大学出版社, 1999.
- [12] 钟觉民. 幼虫分类学[M]. 北京: 农业出版社, 1990.
- [13] 殷秀琴. 东北森林土壤动物研究[M]. 长春: 东北师范大学出版社, 2001.
- [14] Kumada, K., Sato, O., Ohsumi, Y. and Ohta, S. (1967) Humus Composition of Maintain Soil in Central Japan with Special Reference to the Distribution of P Type Humic Acid. *Soil Science and Plant Nutrition*, **13**, 151-158. <https://doi.org/10.1080/00380768.1967.10431990>
- [15] 窦森. 土壤有机质[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [16] 张雪萍, 曹会聪, 冯仲科. 大兴安岭森林生态系统中小型土壤动物生态地理特征分析[J]. 北京林业大学学报,

2007, 29(S2): 259-265.

- [17] 殷秀琴, 吴东辉, 韩晓梅. 小兴安岭森林土壤动物群落多样性的研究[J]. 地理科学, 2003, 23(3): 316-322.
- [18] 仲伟彦, 殷秀琴, 陈鹏. 帽儿山不同林型土壤动物的对比研究[J]. 东北师大学报(自然科学版), 1998(1): 74-79.
- [19] 张雪萍. 帽儿山针叶林与针阔叶混交林土壤动物对比研究 I 区系组成与特征[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 1995, 11(2): 94-99.
- [20] 林英华, 孙家宝, 刘海良, 张夫道, 孙龙, 金森. 黑龙江帽儿山土壤动物群落组成与多样性分析[J]. 林业科学, 2006, 42(4): 71-77.
- [21] 殷秀琴, 蒋云峰, 陶岩, 安静超, 辛未冬. 长白山红松阔叶混交林土壤动物生态分布[J]. 地理科学, 2011, 31(8): 935-940.
- [22] 孙立娜, 李晓强, 殷秀琴, 单昱. 龙湾自然保护区森林土壤动物群落多样性及功能类群[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2014, 46(1): 110-116.
- [23] Coleman, D.C. (2008) From Peds to Paradoxes: Linkages between Soil Biota and Their Influences on Ecological Processes. *Soil Biology and Biochemistry*, **40**, 271-289. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.08.005>
- [24] Mikola, J., Yeates, G.W., Wardle, D.A., *et al.* (2001) Response of Soil Food-Web Structure to Defoliation of Different Plant Species Combinations in an Experimental Grassland Community. *Soil Biology and Biochemistry*, **33**, 205-214. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00131-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00131-0)
- [25] Wardle, D.A., Bonner, K.I. and Barker, G.M. (2002) Linkages between Plant Litter Decomposition, Litter Quality, and Vegetation Responses to Herbivores. *Functional Ecology*, **16**, 585-595. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00659.x>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2329-7255, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: hjss@hanspub.org