

辽东山区次生林生态系统大、中型土壤 动物组成与季节动态

焦向丽^{1,2}, 朱教君^{1,*}, 闫巧玲¹

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所清原森林生态实验站, 沈阳 110016; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 土壤动物是次生林生态系统的重要组成部分。为探讨次生林生态系统不同林型对大、中型土壤动物群落结构特征的影响, 于 2007 年对东部山区次生林生态系统中 5 个主要林型的土壤动物群落进行了观测和分析。共获取土壤动物 36210 只, 分别隶属于 2 门 8 纲 32 目。优势类群为真螨目 (Acariformes) 和弹尾目 (Collembola)。分析结果表明: (1) 人工林大、中型土壤动物类群数和个体数波动大于次生林; (2) 除落叶松人工林外, 其他林型大、中型土壤动物生物量在 7 月份达到最大值; (3) 除胡桃楸林外, 其他林型大、中型土壤动物多样性在 9 月份达到最大值。结果表明, 次生林较人工林土壤动物群落在生长季中波动范围小、多样性高。

关键词: 土壤动物; 多样性; 次生林生态系统; 人工林

文章编号: 1000-0933(2009)05-2361-08 中图分类号: Q142, Q948 文献标识码: A

Composition and seasonal dynamics of macro- and meso- soil fauna in secondary forest ecosystems of Liaodong montane area, China

JIAO Xiang-Li^{1,2}, ZHU Jiao-Jun¹, YAN Qiao-Ling¹

1 Qingyuan Experimental Station of Forest Ecology, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2631 ~ 2638.

Abstract: Soil fauna is the important composition in secondary forest ecosystems. As one of the most important factors, vegetation type plays a critical role in influencing the composition and vertical distribution of soil fauna. Aiming to survey the impact of different forest types in secondary forests on composition and dynamics of macro- and meso- soil fauna, macro- and meso-soil fauna within five major forest types of secondary forest ecosystems was investigated in 2007. There were 36210 in total macro- and meso- soil fauna found in the investigation, which belonged to 2 phyla, 8 classes and 32 orders. The dominant groups were Acariformes and Collembola. The results showed that: (1) the fluctuation of groups and individuals in planted forest stands was much greater than that in the secondary forest stands, which indicated that habitats of secondary forest stands were more stable for soil fauna than those in planted forest stands; (2) the biomass of macro- and meso soil fauna in July reached the maximum, except larch planted forest stands and (3) biodiversity index of macro- and meso- soil fauna reached the maximum in September, except Manchurian walnut forest stands. The above results indicated that fluctuation of groups and individuals of soil fauna in secondary forest stands was less fluctuant and more diverse than those in planted forest stands.

Key Words: soil fauna; diversity; secondary forest ecosystem; planted forest

基金项目: 中国科学院百人计划资助项目; 国家自然科学基金资助项目(30671669)

收稿日期: 2008-01-21; 修订日期: 2008-08-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiaojunzhu@iae.ac.cn

土壤动物数量巨大,种类繁多,是构成森林生态系统的重要组成部分^[1]。土壤动物对森林土壤质量,物质循环等具有重要的功能性作用^[2-4]。例如,土壤动物可以降解凋落物、改变土壤剖面物理性质,提高养分循环^[5]。另外,土壤动物种类组成和多样性可以反映土壤中的食物源、生境的多样性、环境压力的强度和土壤动物对环境的耐受力等^[6,7];而且这些功能性作用与土壤动物之间是相互影响的^[8,9]。

不同林型对土壤动物的影响在国内已广泛研究,如杨效东和沙丽清^[10]对西双版纳热带人工林与次生林土壤动物群落结构的研究;颜绍愬等^[1]比较了亚热带天然次生林常绿阔叶林与杉木人工林土壤动物群落特征;陈颖彪和殷秀琴^[11]在凉水地区不同林型作了研究。决定土壤动物群落组成的主要因子是:气候、植被、人类干扰、土壤条件等^[12];其中,土壤动物群落组成结构与植被状况密切相关^[13]。大多数未对土壤动物的季节动态进行详细的研究。

土壤动物类群数、个体数和土壤动物多样性是土壤动物研究的基础性内容^[14]。土壤动物生物量能够反映不同林型对林地的土壤质量,环境质量及物质循环^[15]。

东北次生林是原始林经过干扰后上形成的森林生态系统,该系统群落结构复杂,包括人工林和天然林^[16]。土壤动物对该区次生林生态系统的凋落物分解和物质循环起着重要的作用。目前,对于该地区次生林生态系统的土壤动物研究较少。因此,本文以土壤动物的个体数、类群数、优势类群以及生物量的季节动态为研究对象,对不同林型的土壤动物群落的组成及分布进行调查,旨在揭示次生林生态系统不同林型土壤动物季节变化规律,为管理和保护次生林生态系统积累基础数据。

1 研究地区和研究方法

1.1 研究区概况

本试验在中国科学院沈阳应用生态研究所清原森林生态实验站(41°51'N, 124°54'E)(GPS, eTrex Vista)林地进行。该区海拔介于 550 ~ 1116 m,属暖温带大陆性季风气候,冬季漫长寒冷,夏季炎热多雨,年平均气温 3.9 ~ 5.4 °C,最低温度出现在 1 月份,最高温度出现在 7 月份,极端最高气温 36.5 °C,最低气温 -37.6 °C,≥10 °C 的年活动积温 2497.5 ~ 2943.0 °C。无霜期 120 ~ 139 d,平均日照 2433 h。年降水量 700 ~ 850 mm,主要集中在 6 ~ 8 月份。土壤类型为棕壤^[17]。

该区植被类型为阔叶红松原始林经长期破坏后逐渐演变形成的天然次生林和人工林,主要林型有蒙古栎林、胡桃楸林、杂木林、红松人工林、落叶松人工林,树种以蒙古栎(*Quercus mongolicus*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、枫桦(*Betula costata*)、山杨(*Populus davidiana*)、槭(*Acer* spp.)、长白落叶松(*Larix olgensis*)、红松(*Pinus koraiensis*)为主。

1.2 样地选择

本研究以东部山区次生林生态系统中的 5 个不同林型(蒙古栎林、杂木林、胡桃楸林、落叶松人工林、红松人工林)为研究对象。蒙古栎林的植被类型主要为蒙古栎(重要值 0.8)(重要值由株数与胸高断面积所得)为主的混交林;杂木林主要植被类型为蒙古栎(重要值 0.4),花曲柳(重要值 0.3)和山杨(重要值 0.2)为主的混交林;胡桃楸林是胡桃楸(重要值 0.5)和花曲柳(重要值 0.2)为主的混交林;红松人工林和落叶松人工林均为 43a 生纯林。所选样地的立地条件基本一致,详见表 1。

1.3 采样及分离方法

野外调查于 2007 年 5 月初,6 月初,7 月初,8 月初,9 月初及 9 月底(10 月初)6 次完成,将每块样地 400m²(表 1)划分为 4 个大小一致的小样方,每样方中,大型土壤动物分 2 层取样:凋落物层(30 cm × 30 cm)和 0 ~ 15 cm(直径 8 cm 的圆柱体)土层;中型土壤动物分 4 层取样:凋落物层(直径 8 cm 的圆柱体),0 ~ 5 cm,5 ~ 10 cm 和 10 ~ 15 cm(直径 5 cm 的圆柱体)土层。所取样品用手捡法和干漏斗分别分离提取大、中型土壤动物,标本用 75% 酒精固定后,再用显微镜进行辨识与分类^[9,18,19]。

生物量的测定 将大型、中型土壤动物直接称重(鲜重),即将保存在 75% 的酒精中的预称动物放在洁净的酒精中洗净泥土,用纸巾或滤纸吸干其表面的酒精,在天平秤上分别称重、记录^[15]。

表 1 样地植被概况

Table 1 General descriptions of the five plots (20m×20m)

样地森林类型 Forest types	样地面积 Plot area (m ²)	海拔 Elevation (m)	坡向 Aspect	坡度 Slope (°)	土层厚度 Soil depth (cm)	凋落物层厚度 Litter depth (cm)	植被(重要值) Vegetation (importance)
胡桃楸林 <i>Juglans mandshurica</i> forest	400	648	SE	20	30	5.8	胡桃楸 <i>Juglans mandshurica</i> (0.5) + 花曲柳 <i>Fraxinus rhynchophylla</i> (0.2) + 其他 Others(0.3)
杂木林 Mixed forest	400	644	SE	20	30	2.7	蒙古栎 <i>Quercus mongolicus</i> (0.4) + 花曲柳 <i>Fraxinus rhynchophylla</i> (0.3) + 山杨 <i>populus davidiana</i> (0.2) + 其他 Others(0.1)
蒙古栎林 <i>Quercus mongolicus</i> forest	400	636	SE	20	30	2.7	蒙古栎 <i>Quercus mongolicus</i> (0.9) + 花曲柳 <i>Fraxinus rhynchophylla</i> (0.1)
落叶松人工林 <i>Larix olgensis</i> forest	400	633	SE	20	30	4.6	落叶松 <i>Larix olgensis</i> (1.0)
红松人工林 <i>Pinus koraiensis</i> planted forest	400	620	SW	15	30	3.8	红松 <i>Pinus koraiensis</i> (1.0)

1.4 数据分析

本文定义动物优势类群为个体占总数的 10% 以上;常见类群为个体数占总数的 1% ~ 10%;稀有类群为个体数占总数 1% 以下。

利用 Excel 和 SPSS 13.0 分析统计数据,并计算动物多样性指数。

Shannon-Wiener 多样性指数 $H' = - \sum (n_i/N) \ln(n_i/N)$

式中, n_i 为第 i 个类群的个体数; N 为群落中所有类群的个体总数。

2 结果与分析

2.1 不同林型大、中型土壤动物组成与优势类群季节动态

在 5 个不同林型中,共获取土壤动物 36210 只,分别隶属于 2 门 8 纲 32 目。优势类群有弹尾目 (Collembola) 和真螨目 (Acariformes),二者分别占总数的 56.8%,25.2%。常见类群有寄螨目 (Parasiformes)、双翅目幼虫 (Diptera larvae)、小蚓类 (Microdrile oligochaetes)、鞘翅目幼虫 (Coleoptera)、膜翅目 (Hymenoptera) 等,其余为稀有类群。 A/C (真螨目个体数/弹尾目个体数):蒙古栎林(0.82) > 红松人工林(0.69) > 杂木林(0.44) > 胡桃楸林(0.28) > 落叶松人工林(0.26)(表 2)。

土壤动物在不同林型中类群数和个体数有较大差异。胡桃楸林土壤动物类群数(25) > 杂木林土壤动物类群数(21) > 红松人工林土壤动物类群数(17) > 落叶松人工林土壤动物类群数(15) > 蒙古栎林土壤动物类群数(13)。落叶松人工林土壤动物个体数(28%) > 蒙古栎林土壤动物个体数(23%) > 胡桃楸林土壤动物个体数(19%) > 红松人工林土壤动物个体数(16%) > 杂木林土壤动物个体数(14%)(表 2)。

大、中型土壤动物个体数 5 ~ 10 月间在次生林林分中波动较小,而在红松人工林和落叶松人工林中波动较大(图 1A)。次生林土壤动物类群数在生长季中有两个峰值,波动较小;人工林大、中型土壤动物类群数波动较大,红松人工林土壤动物类群数 5 ~ 8 月份间类群数增加,在 8 月份达到最大值;落叶松人工林土壤动物类群数在 6 月份达到最大值,之后类群数减少。不同林型土壤动物个体数间差异不显著 ($P > 0.05$),不同月份间土壤动物个体数差异显著 ($P < 0.05$);不同林型土壤动物类群数间差异不显著 ($P > 0.05$),不同月份间土壤动物类群数差异不显著 ($P > 0.05$)(图 1B)。

表 2 东部山区不同林型大、中型土壤动物优势类群和常见类群和数量组成(个/m²)

Table 2 Dominant and familiar group composition and quantitative distribution of soil macro- and meso-fauna in five different forest types of east montane area(ind./m²)

类群 Groups	林型 Forest types					占总量的% Percentage of total	注 Note
	胡桃楸林 <i>Juglans mandshurica</i> Forest	杂木林 Mixed forest	蒙古栎林 <i>Quercus mongolica</i> Foest	红松人工林 <i>Pinus koraiensis</i> planted forest	落叶松人工林 <i>Larix olgensis</i> forest		
弹尾目 Collembola	3748	2861	3391	2904	7650	58.52	+++
真螨目 Acariformes	1052	1269	2790	1999	2009	25.96	+++
寄螨目 Parasiformes	580	295	173	584	-	6.39	++
鞘翅目 Coleoptera	278	-	-	-	-	1.08	++
近孔寡毛目 Plesiopora	141	-	-	78	-	1.05	++
鞘翅目幼虫 Coleoptera	113	124	129	-	-	1.34	++
膜翅目 Hymenoptera	111	71	98	93	60	1.23	++
A/C	0.44	0.55	0.87	0.89	0.26		

+++ : 优势类群,其个体占10%以上 Dominant groups (accounting for the total individuals more than 10%); ++ : 常见类群,其个体数占总数的1%~10% Common groups (the percentage of individuals 1%~10%); * :调查期内优势类群+常见类群+稀有类群, The sum of dominant groups, common groups and rare groups

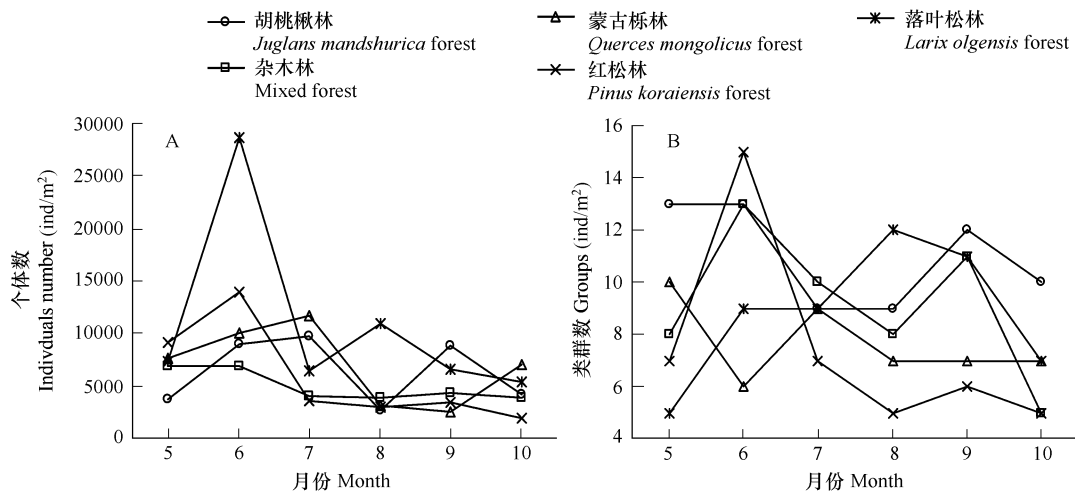


图 1 不同林型土壤动物个体数和类群季节动态

Fig. 1 Monthly variation of groups and individuals of macro- and meso- soil fauna in different forest types

优势类群弹尾目:

胡桃楸林弹尾目数量在6月份上升,7月份保持不变,8月份下降,9月份有小幅上升,10月份下降;杂木林弹尾目数量在生长季中一直处于下降的趋势;蒙古栎林在5到7月份间上升,8到9月份持续下降,10月份回升。红松林在6月有上升,然后一直处于下降趋势。落叶松林在6月份急剧上升,7月份急剧下降,然后处于下降的趋势(图2)。

5月份落叶松林弹尾目数量最高,胡桃楸林最低。6月份落叶松林弹尾目数量最高,杂木林最低。7月份蒙古栎林弹尾目数量最高,红松林最低。8月份落叶松弹尾目数量最高。9月份胡桃楸林弹尾目最高,蒙古栎林最低。10月份红松林弹尾目数量最低(图2)。

优势类群真螨目:

胡桃楸林中真螨目在6到10月份间呈现“W”曲线;杂木林真螨目呈现为逐渐下降的趋势,在8月份有回升;蒙古栎林真螨目6月份上升,然后下降,最后在10月份上升;红松人工林真螨目在6月份上升之后,一直

处于下降趋势;落叶松人工林土壤动物在 6 月份急剧上涨,7 月份下降到原来的水平,然后在 10 月份有轻微下降(图 3)。

5 月份红松林真螨目最高,胡桃楸林最低;6 月份落叶松林真螨目最高,胡桃楸林最低;7 月份土壤动物蒙古栎林最高,杂木林最低;8 月份胡桃楸林真螨目个体数最低,其他林型个体数相差不多;9 月份胡桃楸林和落叶松林真螨目个体数最高,其他林型低;10 月份蒙古栎林真螨目最高,其他林型低于胡桃楸林(图 3)。

2.2 不同林型大、中型土壤动物生物量季节动态

胡桃楸林、杂木林、蒙古栎林、红松人工林中的大、中型土壤动物生物量在 5~7 月份之间呈上升趋势,在 7~10 月份间呈下降趋势;落叶松人工林大、中型土壤动物生物量在 5~6 月分之间呈上升趋势,在 6~10 月份间呈下降趋势(图 4)。

5 月份土壤动物不同林型大、中型土壤动物生物量基本一致;6 月份红松人工林大、中型土壤动物生物量最高,杂木林土壤动物生物量最低;7 月份胡桃楸林大、中型土壤动物生物量最高,落叶松人工林大、中型土壤动物生物量最低;8 月份胡桃楸林大、中型土壤动物生物量最高,落叶松人工林大、中型土壤动物生物量最低;9 月份土壤动物生物量处于一个低谷状态;10 月份红松人工林大、中型土壤动物生物量最高,次生林大、中土壤动物生物量低(图 4)。

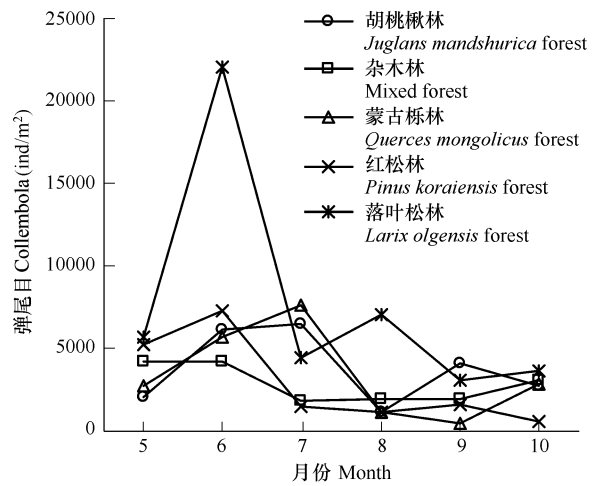


图 2 不同林型弹尾目季节动态变化

Fig. 2 Monthly variation of Collembola in different forest types

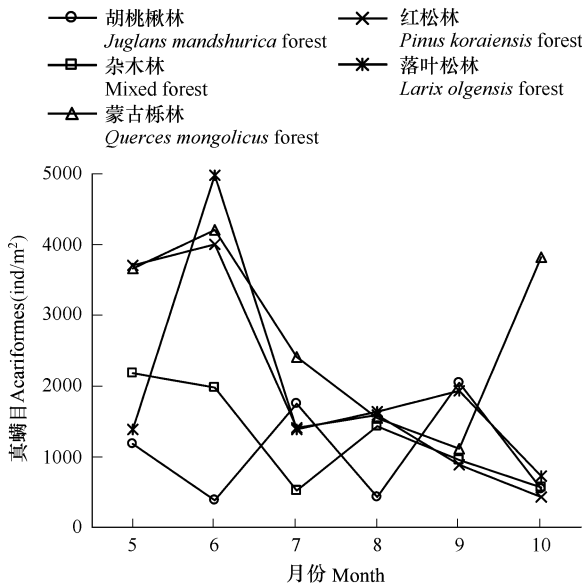


图 3 不同林型真螨目季节动态变化

Fig. 3 Monthly variation of Acari-formes in different forest types

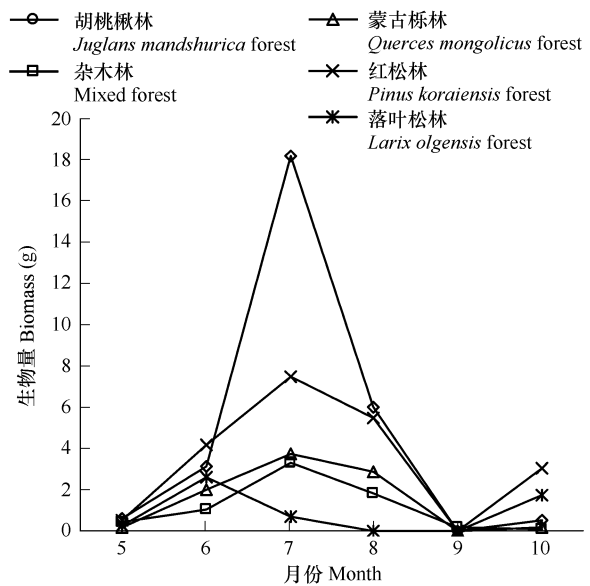


图 4 不同林型大、中土壤动物生物量动态变化

Fig. 4 Monthly variation of macro- and meso- soil fauna biomass in different forest types

在整个生长季,大、中型土壤动物生物量表现为先增后减。除落叶松林外,土壤动物的生物量在 7 月份达到峰值(落叶松林土壤动物在 6 月份达到峰值),胡桃楸林生物量在峰值时最大(图 4)不同林型土壤动物生物量差异不显著($P > 0.05$),不同月份间土壤动物生物量差异显著($P < 0.05$)。

2.3 不同林型大、中型土壤动物多样性季节动态

不同林型土壤动物多样性(Shannon-Wiener 多样性指数)在生长季表现不同。胡桃楸林土壤动物多样性,5月至7月份呈下降趋势,到7月份达到最小,8~9月份开始回升并达到最大值。杂木林土壤动物多样性季节变化呈“M”曲线型,多样性的两个峰值分别出现在7月份和9月份。蒙古栎林土壤动物多样性则呈“W”型变化,多样性的两个峰值也分别出现在7月份和9月份,9月份最大值高于7月份。红松林从5月份开始上升,8月份出现下降。落叶松林土壤动物在9月份出现最大值。除胡桃楸林外,土壤动物多样性在9月份达到最高,胡桃楸林土壤动物多样性在八月份达到最大值(图5)。多样性在不同林型中差异不显著($P < 0.05$),不同月份见差异显著($P > 0.05$)。

3 讨论与结论

3.1 不同林型大、中型土壤动物优势类群

易兰等 2005,2006 年的研究^[20,21]表明土壤动物中的优势类群为弹尾目与真螨目,本研究也证实了这一点。优势类群弹尾目和真螨目存在于5个林型中,说明二者具有广泛的生态位,在不同的林型中均有生存;但弹尾目个体数量高于真螨目。分析弹尾目个体数量高的原因发现,寄螨目和弹尾目是捕食与被捕食的关系,而捕食者寄螨目数量较低,因此,为弹尾目创造了良好的生存环境^[22]。

落叶松林弹尾目数量最高,胡桃楸林最低;产生这一现象的原因主要是:落叶松林的松针的腐烂导致了真菌的产生,真菌是弹尾目的主要食物^[22]。而落叶松林中的凋落物腐烂较充分,所以在落叶松林中的弹尾目个体数高于其他林型;胡桃楸林内的凋落物腐烂不充分,所以在胡桃楸林中弹尾目个体数低于其他林型。另外,土壤温湿度是影响土壤动物个体数和类群数的主要因子^[23];由于各个林型的小气候不同(温湿度),不同林型土壤动物呈现出不同的变化趋势。

次生林林型中,大、中型土壤动物类群数和个体数波动范围较小,而人工林土壤动物大、中型土壤动物类群数和个体数波动范围大,表明次生林较人工林具有稳定的生态环境^[23]。

4.2 不同林型大、中型土壤动物生物量

土壤动物生物量能够反映不同林型对林地的土壤质量,环境质量及物质循环^[15]。土壤动物生物量主要体现为体型较为庞大土壤动物类群^[1],因此本文采用了直接称量法计算土壤动物生物量。整个生长季过程,土壤动物生物量表现为先增后减(图4)。随着温度的升高,土壤动物的生物量在7月份达到峰值。殷秀琴等^[24]认为大型土壤动物的季节动态能够反映温度变化,因此通过测定大型土壤动物的生物量的季节动态同样能够反映温度的变化特征。土壤动物生物量在9月份最低,是由于长期没有降雨导致土壤动物向深层下移。因此在0~15cm土层没有获取到大量的蚯蚓造成。

4.3 不同林型大、中型土壤动物多样性

大、中型土壤动物多样性指数(Shannon-Wiener 多样性指数)全年没有超过2.0,这主要是由弹尾目和真螨目两个优势类群占总体的比例过大造成的^[24]。殷秀琴等在帽儿山的研究中多样性指数没有超过3.0,而易兰等^[20]在天童山常绿阔叶林中的土壤动物群落的研究中表明,土壤动物多样性指数低于1.0,可能由于不同

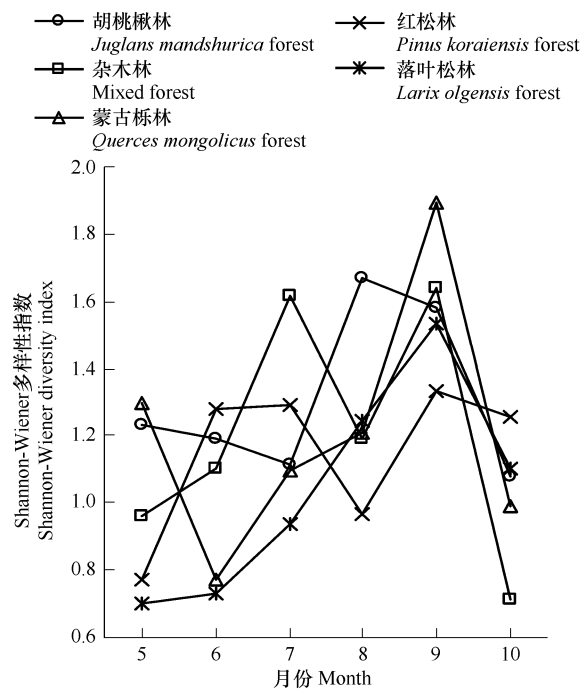


图5 不同林型土壤动物 Shannon-Wiener 多样性指数季节动态
Fig. 5 Monthly variation of diversity of soil fauna in different forest types

的地理条件所造成。

除胡桃楸林外,其他林型大、中型土壤动物在 9 月份多样性最高。8 月份胡桃楸林中的弹尾目和真螨目数量下降,因此在 8 月份具有最高的多样性。而温带地区,土壤动物种类和数量在 7~9 月份达到最大值^[25],因为本研究地区位于暖温带,所以土壤动物的多样性在 9 月份具有最高的多样性指数与其研究结果一致。而殷秀琴等^[24]认为在总体水平上看,土壤动物多样性在 6 月份出现最大值。但比较两地相同的林型发现,红松,人工林、蒙古栎林、杂木林在 9 月份具有最高的生物多样性。

5 个林型中凋落物的种类对土壤动物的生存环境有很大的影响。凋落物本身理化性质和凋落物分解过程产生的不同微生物,导致了土壤动物类群的差异性。土壤动物没有随着空气温度的升高在生长季出现单峰曲线,而呈现出波动曲线。天然林比人工林具有稳定的生态环境,土壤动物群落在生长季中波动范围小;土壤动物群落在人工林在较大的范围内波动或者出现单峰曲线。

References:

- [1] Yan S K, Wang S L, Hu Y L, *et al.* A comparative study on soil fauna in native secondary evergreen broad-leaved forest and Chinese fir plantation forests in subtropics. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(10): 1792—1796.
- [2] Hurd L E. Stability and diversity at the trophic levels in terrestrial successional systems. *Science*, 1971, 173: 1134—1136.
- [3] Reichle D E. The role of soil invertebrates in nutrient cycling. In: Lohm U, Persson T, eds. *Soil Organism of Ecosystems*. *Ecol Bull*, 1997, 25: 145—156.
- [4] Teuben A. Nutrient availability and interaction between soil arthropods and microorganisms during decomposition of coniferous litter: A mesocosm study. *Biol J Linnean Soc*, 1991, 31: 59—74.
- [5] Bruyn, LAL D, Conache AJ. The role of termites and ants in soil modification — a review. *Australian Journal of Soil Research*, 1990, 28(1): 55—93.
- [6] Pandhurst C, Doube B N, Gupta V V S R. *Biological Indicators of Soil Health*. London: CAB International, 1997. 1—451.
- [7] Ke X, Xu J M, Xie R D, *et al.* Community structure and seasonal change of soil mesofauna in Quzhou Region, Zhejiang. *Zoological Research*, 2003, 24(2): 86—93.
- [8] Hastings A. 1998. Food web theory and stability. *Ecology*, 69(6): 1665—1668.
- [9] Tong F C, Wang Q L, Liu X S, *et al.* Dynamics of soil fauna communities during succession process of secondary forests in Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(9): 1531—1535.
- [10] Yang X D, Sha L Q. Preliminary investigation on time and space variation of structure of soil fauna community in artificial and secondary forests of Xishuangbanna. *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37(1): 116—123.
- [11] Chen Y B, Yin X Y. The study of soil animals community in difference forest type in Liangshui Zone. *Journal of Shanghai Normal University (Natural Sciences)*, 2000, 29(2): 79—84.
- [12] Wolters V. Invertebrate control of soil organic matter stability. *Boil Fertil Soils*, 2000, 31: 1—19.
- [13] Zhang X P, Li C Y, Yin X Q, *et al.* Relation between soil animals and nutrients in the differently used forest lands. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 1999, 5(1): 26—31.
- [14] Wu H T, Lü X G, Yang Q, *et al.* Ecological characteristics and functions of soil fauna community. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(2): 314—323.
- [15] Zhang X P, Cui G F, Chen P. Biomass of soil animal in larch plantation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, 7(2): 150—154.
- [16] Zhu J J, Liu S R. Conception of secondary forest and its relation to ecological disturbance degree. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(7): 1085—1093.
- [17] Zhu J J, Li X F, Liu Z G, *et al.* Factors affecting the snow/wind induced damage of a montane secondary forest in Northeastern China. *Silva Fennica*, 2006, 40(1): 37—51.
- [18] Zhong R Z, Wang Z Z, Liao C H, *et al.* *Research methods for soil animals*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1998.
- [19] Yin W Y, Hu S H, Shen Y F, *et al.* *Pictorial keys to soil animals of China*. Beijing: Science Press, 1998.

- [20] Yi L, You W H, Song Y C. Soil animal communities in the litter of the evergreen broad-leaved forest at five succession stages in Tiantong. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 466–473.
- [21] Yi L, You W H. Influences of changes of environment factors on soil animal community in the succession of the vegetation in Tiantong. *Journal of East China Normal University(Natural Science)*, 2006, (6): 109–116.
- [22] Liu M Q, Hu F, Li H X. Soil arthropod communities under different artificial woodland restored on degraded red soil. *Chinese Journal of Ecology*, 2002, 22(1): 54–61.
- [23] Deng X B. Seasonal variation of soil animals in man-made rubber-tea community in Tropics. *Chinese Journal of Ecology*, 1994, 13(5): 31–34.
- [24] Yin X Q, Chen P, Hou W L, *et al.* Study on forest soil animals in the Northeast of China. Changchun: Northeast Normal University Press, 2001.
- [25] Zhu L A, Wei X G. Research progress on soil fauna community. *Ecological Science*, 2007, 26(3): 269–273.

参考文献:

- [1] 颜绍馥, 汪思龙, 胡亚林, 等. 亚热带天然次生林常绿阔叶林与杉木人工林土壤动物群落特征比较. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1792~1796.
- [7] 柯欣, 徐建明. 浙江衢州中型土壤动物群落结构及其季节性变化. *动物学研究*, 2003, 24(2): 86~93.
- [9] 佟富春, 王庆礼, 刘兴双, 等. 长白山次生林演替过程中土壤动物群落的变化. *应用生态学报*, 2004, 15(9): 1531~1535.
- [10] 杨效东, 沙丽清. 西双版纳热带人工林与次生林土壤动物群落结构时空变化初查. *土壤学报*, 2000, 37(1): 116~123.
- [11] 陈颖彪, 殷秀琴. 凉水地区不同林型土壤动物群落研究. *上海师范大学学报(自然科学版)*, 2000, 29(2): 79~84.
- [13] 张雪萍, 李春艳, 殷秀琴, 等. 不同使用方式林地的土壤动物与土壤营养元素的关系. *应用与环境生物学报*, 1999, 5(1): 26~31.
- [14] 武海涛, 吕宪国, 杨青, 等. 土壤动物主要生态特征与生态功能研究进展. *土壤学报*, 2006, 43(2): 314~323.
- [15] 张雪萍, 崔国发, 陈鹏. 人工落叶松林土壤动物生物量研究. *应用生态学报*, 1996, 7(2): 150~154.
- [16] 朱教君, 刘世荣. 次生林概念与生态干扰度. *生态学杂志*, 2007, 26(7): 1085~1093.
- [18] 张荣组, 王振中, 廖崇惠, 等. 土壤动物研究方法. 北京: 中国林业出版社, 1998.
- [19] 尹文英, 胡圣豪, 沈蕴芬, 等. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
- [20] 易兰, 由文辉, 宋永昌. 天童山常绿阔叶林五个岩体阶段凋落物中的土壤动物群落. *生态学报*, 2005, 25(3): 466~473.
- [21] 易兰, 由文辉. 天童植被演替过程中环境因子对土壤动物群落的影响. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2006, (6): 109~116.
- [22] 刘满强, 胡锋, 李辉信. 退化红壤不同人工林恢复下土壤节肢动物群落特征. *生态学报*, 2002, 22(1): 54~61.
- [23] 邓晓保. 热带人工胶茶群落中土壤动物季节变化的研究. *生态学杂志*, 1994, 13(5): 31~34.
- [24] 殷秀琴, 陈鹏, 侯威岭, 等. 东北森林土壤动物研究. 长春: 东北师范大学出版社, 2001.
- [25] 朱立安, 魏秀国. 土壤动物研究进展. *生态科学*, 2007, 26(3): 269~273.