

网络出版时间:2018-04-20 16:29

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2018.09.006

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180420.1628.012.html>

北京八达岭地区油松人工林 土壤动物群落特征研究

王 玲¹, 赵广亮², 杨雨果¹, 耿玉清¹, 孙玉军¹, 周红娟¹

(1 北京林业大学 林学院 森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 2 北京市八达岭林场, 北京 102102)

【摘要】【目的】研究油松人工林土壤动物群落结构和多样性特征, 为人工林土壤生态系统经营提供理论依据。【方法】采用陷阱法和 Tullgren 干漏斗法, 于 2015 年 5 月、8 月和 10 月分别收集地表和新鲜枯落物层(Oi 层)、半分解枯落物层(Oe 层)以及矿质土层(0~2 cm 的矿质土壤表层(界面层)、2~5 cm 和 5~10 cm 土层)的土壤动物。对收集到的土壤动物进行鉴定分类。【结果】2015 年 5 月、8 月、10 月 3 次共收集土壤动物 2 799 只, 隶属于 6 纲 22 目 22 科。3 次收集的地表土壤动物共有优势类群为弹尾目、膜翅目和双翅目, 地下中小型土壤动物优势类群为真螨目、寄螨目和弹尾目。5 月地表土壤动物功能类群以植食类为主, 8 月主要为植食类和捕食类, 10 月各功能类群的个体密度差异不明显。3 次调查的地下中小型土壤动物功能类群均以腐食类为主。不同采样时期中小型土壤动物类群数和个体密度的垂直变化规律不同, 5 月和 8 月 Oi 层的土壤动物类群数与 Oe 层无显著差异, 但显著高于矿质土层, 而 10 月各深度土壤动物的类群数差异不显著。就土壤动物个体密度的变化规律而言, 5 月 Oi 层个体密度显著高于 Oe 层和矿质土层, 但在 8 月和 10 月的土壤动物个体密度 Oe 层最大, 且显著高于 Oi 层和矿质土层。【结论】枯落物层的土壤动物类群数较矿质土层丰富; 半分解枯落物层土壤动物个体密度较新鲜枯落物层高。在矿质土层, 随土层深度的增加土壤动物个体密度呈减小趋势。

【关键词】 油松; 土壤动物; 枯落物; 陷阱法; 群落多样性; 北京八达岭

【中图分类号】 S714.3

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2018)09-0041-10

Community features of soil fauna in *Pinus tabulaeformis* plantation in Badaling, Beijing

WANG Ling¹, ZHAO Guangliang², YANG Yuguo¹,
GENG Yuqing¹, SUN Yujun¹, ZHOU Hongjuan¹

(1 The Key Laboratory for Forest Silviculture and Conservation of Ministry of Education, College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2 Beijing Badaling Forest Farm, Beijing 102102, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the soil fauna community structure and diversity to provide basis for soil ecosystem management of *Pinus tabulaeformis* plantation. 【Method】 Samples of forest litter and soil were collected in May, August and October 2015 in *Pinus tabulaeformis* plantation in Badaling, Beijing. Aboveground soil fauna was collected through pitfall method, while underground soil mesofauna was collected by tullgren funnel in Oi, Oe and mineral soil with 0—2 cm (interface layer), 2—5 cm and 5—10 cm depth, respectively. 【Result】 A total of 2 799 individuals of soil fauna were collected, belonging to 22 families, 22 orders and 6 classes. The common aboveground predominant groups were Collembola, Hy-

【收稿日期】 2017-06-16

【基金项目】 北京林业大学实验室开放基金项目(2017KF); 北京市财政专项(PXM2015-154309-000007, PXM2017-154309-000002)

【作者简介】 王 玲(1979—), 女, 山东诸城人, 高级工程师, 主要从事森林生态系统管理研究。E-mail: wling224@163.com

【通信作者】 孙玉军(1963—), 男, 黑龙江绥化人, 教授, 博士生导师, 主要从事森林资源与环境监测以及生态旅游研究。

E-mail: sunyj@bjfu.edu.cn

menoptera and Diptera, whereas the common predominant groups of underground mesofauna were Acari-formes, Parasiformes and Collembola. In May, the predominant functional guilds of aboveground soil fauna were herbivores, herbivores and predators in August, while the 4 functional guilds had no significant difference in October. The main functional guilds of underground mesofauna were saprophytes in all months. Vertical distribution pattern of mesofauna was different among different sampling times. In May and August, taxon amount in Oi had no significant difference with that in Oe, while it was significantly higher than that in mineral layers. In October, there was no significant difference among different depths. In May, the individual density was significantly higher in Oi than that in Oe. In August and October, the individual density in Oe was the largest and significantly higher than that in Oi and mineral layers. 【Conclusion】 Taxon amount in litter layers was more abundant than in mineral layers, and individual density in half-decomposed litter layer was higher than that in fresh litter layer. In mineral layers, individual density decreased with the increase of soil depth.

Key words: *Pinus tabulaeformis*; soil fauna; forest litter; pitfall method; community diversity; Badaling, Beijing

土壤动物是森林生态系统的重要组成部分,能够显著提高枯落物的分解速度、参与土壤有机质的矿化,并能调整微生物群落结构的组成。目前国外学者对土壤动物的研究已从常规的土壤动物资源调查、分布特征、不同土地利用方式对土壤动物的影响发展到生态环境如大气 CO₂ 浓度、水分含量以及食物来源对土壤动物的影响^[1-2]。国内对土壤动物较深入的研究始于 20 世纪 90 年代,研究内容主要集中在土壤动物多样性资源调查^[3-4]和季节动态^[5]方面。

油松(*Pinus tabulaeformis*)是我国华北地区常见的造林树种之一。国内对油松林土壤的相关研究很多,近年来的研究内容主要涵盖了油松林土壤碳密度^[6]、土壤呼吸及其影响因子^[7]、土壤微生物及酶活性^[8]等。目前针对油松林土壤动物的研究已有一些报道。有学者认为,油松人工林土壤动物多样性大于天然油松林,但小于山顶草甸^[9]。与阔叶林相比,不同学者的研究结果存在差异,如有学者认为落叶阔叶林中土壤动物的多样性大于油松人工林和天然林^[9];另有学者认为油松林的土壤动物多样性大于阔叶林^[10-11]。

在华北地区,油松枯落物层可分为新鲜枯落物层(Oi)和半分解枯落物层(Oe),不同分解状态枯落物的水分和养分含量存在显著差异^[12],这些特征如何影响到土壤动物群落特征的分布,目前还鲜有报道。另外土壤动物群落结构有一定的季节性变化^[13],但前人对油松林土壤动物的研究大多局限于一次性调查。鉴于此,本研究以北京八达岭油松人工林为研究对象,调查地表活动性土壤动物与地下

中小型土壤动物,探究油松林土壤动物群落组成结构和多样性特征,旨在丰富人工林土壤动物研究,为了解油松人工林土壤生态系统的结构特征提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于北京市八达岭林场(40°17' N, 115°55' E),该区属暖温带半湿润大陆性季风气候,年平均气温为 10.8 °C,其中最高月(7 月)平均气温 26.9 °C,最低月(1 月)平均气温 -7.2 °C;年均降水量为 454 mm,且多集中在 7—8 月;原始植被主要为落叶阔叶林。由于植被的破坏,目前该区海拔 1 000 m 以上的植被主要是糠椴(*Tilia mandshurica*)、黑桦(*Betula dahurica*)天然次生林;海拔 1 000 m 以下的植被主要是 20 世纪 50 年代后营造的人工林,主要树种是油松,其次为侧柏(*Platycladus orientalis*)。该区灌木主要有大花溲疏(*Deutzia grandiflora*)、三裂叶绣线菊(*Spiraea trilobata*)和荆条(*Vitex nigundo*)等。按中国土壤分类系统,该区地带性土壤类型在海拔 800 m 地区为棕壤。本研究的油松人工林位于海拔 800 m 中山区,林龄 60 年,平均密度 1 200 株/hm²,平均胸径 15.68 cm,平均树高 8.67 m。

2 试验方法

2.1 土壤动物的收集

考虑到季节变化对土壤动物的影响,分别在 2015 年 5 月、8 月和 10 月进行土壤动物的收集。由于土壤动物运动性强且类型多样,本研究选取 1 200

m²的油松人工林样地对土壤动物进行收集。地表土壤动物采用陷阱法^[14]进行收集,在考虑枯落物厚度、距林木位置、林冠空隙和坡位等因素的前提下,在样地中选取10个有代表性的样地,然后分别用直径7.5 cm深10 cm的圆柱形塑料盒设置3个陷阱,作为3次重复,共计30个陷阱,在每个陷阱中加入V(乙二醇):V(水)为1:1的混合液约100 mL,并在陷阱旁边作标记,于48 h后回收塑料盒。中小型土壤动物采用改良Tullgren漏斗法^[15]收集,在样地选取10个有代表性的样地,划定面积为20 cm×20 cm的样方,在每个样方中分别采集新鲜枯落物层(Oi层)、半分解枯落物层(Oe层)以及矿质土层(0~2 cm的矿质土壤表层(界面层)、2~5 cm和5~10 cm土层)的样本,并把同一层次样本混合均匀后组成待测样本,共重复3次,利用改良Tullgren漏斗法对中小型土壤动物进行分离,根据干漏斗大小,将50 cm³土壤样品放入干漏斗中,进行分离,每个样品重复3次,所分离到的样品用体积分数70%乙醇溶液保存。

2.2 土壤动物的鉴定

在体视显微镜下参考《中国土壤动物检索图鉴》^[16]、《幼虫分类学》^[17]、《昆虫分类学》^[18]对所收集的土壤动物进行鉴定,把土壤动物分别鉴别到科或目,且幼虫与成虫分开计数^[19]。

2.3 数据处理

将鉴别后的土壤动物进行统计,并按科、目进行整理,计算各类动物占动物个体总数的百分比(多度),据其将收集的土壤动物分为不同类群:<1%为稀有类群;1%~10%为常见类群;>10%为优势类群。依据所鉴定到的最小分类单元(科或目)计算土壤动物的多样性指标,计算公式如下^[20]:

(1)Shannon-wiener指数(H'):

$$H' = -\sum P_i \ln P_i.$$

式中: P_i 为第*i*种类群个体数相对于群落个体总数的比值。

(2)Simpson优势度指数(C):

$$C = \sum P_i^2.$$

(3)Pielou指数(J):

$$J = H' / \ln S.$$

式中: S 为类群数。

(4)Margalef丰富度指数(D):

$$D = (S-1) / \ln N.$$

式中: N 为群落中所有个体的总数。

按照文献^[21],将地表土壤动物分为捕食类、腐

食类、杂食类和植食类4个功能类群,并把兼具多种食性的土壤动物平分到各功能类群中^[22]。根据最小分类单元的数目(类群数)和单位体积的个体数(个体密度),分析中小型土壤动物群落特征。

对所获数据用SPSS 18.0进行统计分析。采用ANOVA方法对3次调查的土壤动物多样性指数和功能类群以及不同深度土壤动物类群数和个体密度进行比较,其差异显著性通过LSD方法进行确定。

3 结果与分析

本试验从油松人工林共收集到土壤动物2799只,其中陷阱法捕获地表土壤动物1305只,改良Tullgren漏斗法捕获中小型土壤动物1494只。通过鉴别发现所获土壤动物分别隶属6纲22目22科。

3.1 地表土壤动物组成

3.1.1 地表土壤动物组成 由表1可知,8月地表土壤捕获量最多,分别较5月和10月高87.8%和422.0%。3次调查共有的优势类群为弹尾目、膜翅目和双翅目,其中双翅目所占比例最多,每次取样所占总数的比例均达到20%以上;其次是弹尾目和膜翅目,10月弹尾目所占比例为18.62%,大于膜翅目的13.10%,而5月和8月弹尾目所占比例分别为10.67%和12.95%,均小于膜翅目占比(分别为14.89%和14.53%)。除3个共有的优势类群外,在不同的调查时间还有其他的优势类群,如5月处于优势类群的缨翅目(占22.58%),10月处于优势类群的鞘翅目(占11.03%)。在3次调查中发现的常见类群主要是蜘蛛目、蜱螨类的真螨目和弹尾目;共有的稀有类群为地蜈蚣目、蜈蚣目、蚤目、直翅目和脉翅目。科数最多的目为双翅目,共包含8个科;其次为鞘翅目和膜翅目,均有6个科。由于目前土壤动物系统分类的限制,本研究对寄螨目、真螨目、盲蛛目、地蜈蚣目、蜈蚣目、蚤目和缨翅目的动物未能鉴定到科。

3.1.2 地表土壤动物的多样性组成 3次调查土壤动物类群的多样性指数有一定的差异。由表2可知,8月份Shannon-wiener指数显著高于5月和10月,这说明8月地表土壤动物多样性丰富;3次调查的Simpson指数为0.90~0.94,没有显著差异;5月Pielou指数显著小于8月和10月,而Margalef指数显著大于10月,这表明5月地表土壤动物类群的丰富度较10月高,但均匀度较10月差。

表 1 油松人工林地表土壤动物组成

Table 1 Composition of aboveground soil fauna in *Pinus tabulaeformis* plantation

类群 Taxon			5 月 May		8 月 August		10 月 October		
纲 Class	目 Order	亚目或科 Suborder or family	个体数/只 Individual amount	占总数百 分比/% Proportions	个体数/只 Individual amount	占总数百 分比/% Proportions	个体数/只 Individual amount	占总数百 分比/% Proportions	
寡毛纲 Oligochaeta	正蚓目 Lumbricida	正蚓科 Lumbricidae	0	0	8	1.06	2	1.38	
蛛形纲 Arachnoidea	寄螨目 Parasiformes	中气门亚目 Mesostigmata	4	0.99	27	3.57	8	5.52	
		真螨目 Acariformes	9	2.23	62	8.19	13	8.97	
	盲蛛目 Opiliones	蜘蛛目 Araneae	狼蛛科 Lycosidae	15	3.72	33	4.36	6	4.14
			园蛛科 Araneidae	1	0.25	16	2.11	5	3.45
			跳蛛科 Salticidae	1	0.25	7	0.92		
弹尾纲 Collembola	弹尾目 Collembola	长角虫兆科 Entomobryidae	25	6.20	56	7.40	12	8.28	
		棘虫兆科 Onychiuridae	8	1.99	3	0.40	3	2.07	
		球角虫兆科 Hypogastruridae	10	2.48	39	5.15	12	8.28	
倍足纲 Diplopoda	山蛩目 Spirobolida	山蛩科 Spirobolidae	0	0	20	2.64	9	6.21	
唇足纲 Chilopoda	地蜈蚣目 Geophilomorpha	蚰蜒目 Scutigera	6	1.49	15	1.98			
		蜈蚣目 Scolopendromorpha		1	0.25	2	0.26		
				0	0	2	0.26	1	0.69
昆虫纲 Insecta	蚤目 Siphonaptera		1	0.25	0	0			
	直翅目 Orthoptera	蚱总科 Tetragoidea		1	0.25	2	0.26		
	革翅目 Dermaptera	蠊螋科 Labiduridae		2	0.5	8	1.06		
	膜翅目 Hymenoptera	双翅目 Diptera	胡蜂总科 Vespoidea	13	3.23	18	2.38		
			小蜂总科 Chalcidoidea	4	0.99	9	1.19	4	2.76
			蚁总科 Formicoidea	35	8.68	68	8.98	13	8.97
			姬蜂总科 Ichneumonoidea	4	0.99	8	1.06	1	0.69
			叶蜂总科 Tenthredinoidea	3	0.74	5	0.66	1	0.69
			蜜蜂总科 Apoidea	1	0.25	2	0.26		
				106	26.30	166	21.93	32	22.07
			果蝇科 Drosophilidae	9	2.23	11	1.45	3	2.07
			丽蝇科 Calliphoridae	2	0.50	6	0.79		
			寄蝇科 Tachinidae	4	0.99	7	0.92		
			食蚜蝇科 Syrphidae	4	0.99	13	1.72		
			瘿蚊科 Cecidomyiidae	68	16.87	112	14.80	25	17.24
			大蚊科 Tipulidae	14	3.47	9	1.19		
			毛蠓科 Ceratopogonidae	4	0.99	5	0.66	3	2.07
蕈蚊科 Mycetophilidae	1	0.25							
	双翅目幼虫 Diptera larvae			3	0.40	1	0.69		
同翅目 Homoptera		蚧总科 Coccidae		0	1	0.13	2	1.38	
		叶蝉科 Cicadellidae	5	1.24	3	0.40			

表 1(续) Continued table 1

类群 Taxon			5月 May		8月 August		10月 October	
纲 Class	目 Order	亚目或科 Suborder or family	个体数/只 Individual amount	占总数百分比/% Proportions	个体数/只 Individual amount	占总数百分比/% Proportions	个体数/只 Individual amount	占总数百分比/% Proportions
昆虫纲 Insecta	半翅目 Hemiptera	蚜总科 Aphidoidea	1	0.25	20	2.64	1	0.69
		蝽总科 Pentatomoidea	1	0.25	16	2.11	1	0.69
		鞘翅目 Coleoptera	23	5.71	54	7.13	16	11.03
	鞘翅目 Coleoptera	瓢甲科 Coccinellidae	2	0.5	4	0.53	3	2.07
		步甲总科 Caraboidea	13	3.23	34	4.49	12	8.28
		叶甲总科 Chrysomeloidea	3	0.74	7	0.92		
		隐翅甲科 Staphylinidae	3	0.74	8	1.06	1	0.69
		叩甲科 Elateridae	1	0.25				
		长扁甲科 Cupedidae	1	0.25	1	0.13		
		脉翅目 Neuroptera	草蛉科幼虫 Chrysopidae larvae	1	0.25			
	鳞翅目 Lepidoptera	夜蛾科 Noctuidae	1	0.25	1	0.13		
		鳞翅目幼虫 Lepidoptera larvae			2	0.26	3	2.07
	缨翅目幼虫 Thysanoptera nymph		91	22.58	57	7.53		
总计 Total			403		757		145	

表 2 油松人工林地表土壤动物多样性指数

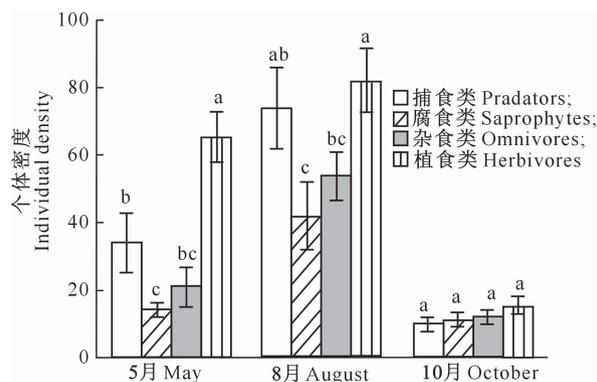
Table 2 Diversity indices of aboveground soil fauna in *Pinus tabulaeformis* plantation

多样性指数 Diversity index	5月 May	8月 August	10月 October	多样性指数 Diversity index	5月 May	8月 August	10月 October
Shannon-wiener 指数 H'	2.78 b	3.09 a	2.76 b	Pielou 指数 J	0.76 b	0.83 a	0.86 a
Simpson 指数 C	0.90 a	0.94 a	0.92 a	Margalef 丰富度指数 D	6.33 a	6.18 a	4.82 b

注:同行数据后标不同小写字母表示不同月份间的差异达到显著水平($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters represent significant difference ($P < 0.05$) between months.

3.1.3 地表土壤动物功能类群 在 4 个功能类群中,不同月份不同功能类群的个体密度有一定的差异(图 1)。



个体密度为 10 个陷阱中的个体数。同一月份不同功能类群相比,

图柱上标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Individual density is the number of individuals in 10 traps.

Different lowercase letters in each plot represent significant difference different functional guilds in same month($P < 0.05$)

图 1 油松人工林地表土壤动物不同功能类群的个体密度

Fig. 1 Individual density in different functional guilds of aboveground soil fauna in *Pinus tabulaeformis* plantation

由图 1 可知,在 5 月,植食类的个体密度显著高于其他 3 个功能类群;在 8 月,植食类与捕食类群的个体密度没有显著差异,但均显著高于腐食类群;而在 10 月各功能类群的个体密度差异不显著。总的来看,在 3 次调查中植食类群个体密度均最大,而腐食类群个体密度最小。

3.2 地下中小型土壤动物组成

3.2.1 地下中小型土壤动物的组成 3 次调查中地下中小型土壤动物的优势类群均为蜱螨类(包括真螨目和寄螨目)和弹尾目,蜱螨类中又以真螨目居多(表 3)。在 5 月和 8 月收集的地下中小型土壤动物中,弹尾目分别占总个体数的 76.40% 和 65.47%;在 10 月,真螨目占总个体数的 47.35%,且蜱螨类动物的数目超过了弹尾目,占到了 60.23%。不同月份的常见类群有一定差异。5 月、8 月和 10 月 3 次调查中共有常见类群为双翅目幼虫,分别占总个体数的 2.54%,2.20% 和 8.71%。此外,5 月的常见类群还有缨翅目幼虫和蜘蛛目,8 月的常见类群还有缨翅目幼虫和膜翅目。3 次调查共有的稀有类群为啮目。

表 3 油松人工林地下中小型土壤动物组成

Table 3 Composition of soil mesofauna in *Pinus tabulaeformis* plantation

纲 Class	目 Order	亚目或科 Suborder or family	5 月 May		8 月 August		10 月 October	
			个体数量/只 Individual amount	占总数百分比/% Proportions	个体数量/只 Individual amount	占总数百分比/% Proportions	个体数量/只 Individual amount	占总数百分比/% Proportions
昆虫纲 Insecta	双翅目幼虫 Diptera larvae		10	2.54	16	2.20	23	8.71
	鳞翅目幼虫 Lepidoptera larvae		1	0.25	2	0.28		
	啮目 Psocoptera		2	0.51	5	0.69	1	0.38
	缨翅目幼虫 Thysanoptera nymph		11	2.79	38	5.23		
	膜翅目 Hymenoptera	蚁总科 Formicidae	3	0.76	43	5.91		
蛛形纲 Arachnoidea	寄螨目 Parasiformes	中气门亚目 Mesostigmata	27	6.85	74	10.18	34	12.88
	真螨目 Acariformes	甲螨亚目 Oribatida	57	14.47	128	17.61	125	47.35
	蜘蛛目 Araneae	光盗蛛科 Lioncranidae	6	1.52	6	0.83	1	0.38
弹尾纲 Collembola	弹尾目 Collembola		301	76.40	476	65.47	104	39.39
		长角虫兆科 Entomobryidae	25	6.35	69	9.49	3	1.14
		棘虫兆科 Onychiuridae	92	23.35	61	8.39	18	6.82
		球角虫兆科 Hypogastruridae	184	46.70	346	47.59	83	31.44
总计 Total			418		788		288	

3.2.2 地下中小型土壤动物的功能类群组成 油松人工林中小型土壤动物不同功能类群的比例如图 2 所示。

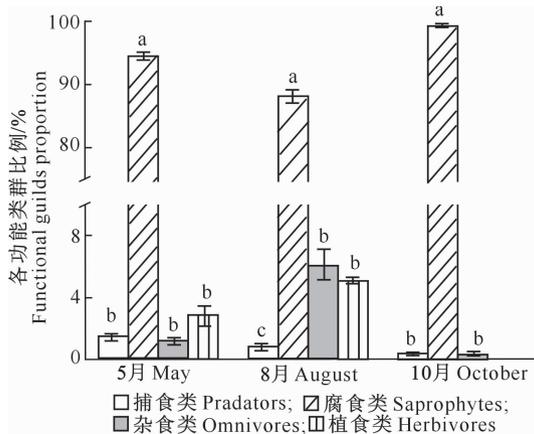


图 2 油松人工林中小型土壤动物不同功能类群的比例
Fig. 2 Proportions of different functional guilds of soil mesofauna in *Pinus tabulaeformis* plantation

由图 2 可知,地下中小型土壤动物的功能类群以腐食类为主,在 5 月、8 月和 10 月 3 次调查中腐食类所占比例分别为 94.5%,88.07%和 99.31%,显著高于其他 3 个功能类群。植食类、捕食类和杂食类在不同月份所占的功能类群比例有一定差异,其中在 5 月植食类占 2.87%,较捕食类和杂食类高,但差异不明显;8 月杂食类和植食类所占比例分

别 6.09%和 5.08%,显著高于捕食类;10 月捕食类和杂食类动物均占 0.35%,未收集到植食类土壤动物。

3.2.3 地下中小型土壤动物的垂直分布 从类群数和个体密度来看,地下中小型土壤动物垂直分布具有明显的表聚性(表 4),即枯落物层比界面层丰富。在矿质土层,随着土壤深度的增加,动物的类群数和个体密度呈减少的趋势。但不同月份的土壤动物垂直分布有一定的差异。就类群数而言, Oi 层和 Oe 层的类群数差异不显著。在矿质土壤层中,8 月界面层土壤动物类群数显著高于 2~5 cm 和 5~10 cm 土层;在 5 月和 10 月不同矿质土层的动物类群数差异不显著。就平均垂直分布而言,3 次收集土壤动物类群数的垂直分布表现为: Oi 层与 Oe 层相近, Oi 层显著高于界面层, Oe 层显著高于 2~5 cm 和 5~10 cm 土层;矿质土层中的 3 个层次动物类群数差异不显著。

土壤动物个体密度的垂直分布变化明显,但不同月份的变化趋势不同。5 月 Oi 层的土壤动物个体密度显著高于 Oe 层;而在 8 月和 10 月 Oi 层的土壤动物个体密度却较 Oe 层小。在矿质土壤层中,5 月界面层土壤动物的个体密度与 2~5 cm 土层差异不显著;8 月和 10 月界面层土壤动物个体密度显著

高于 2~5 cm 和 5~10 cm 土层。从 3 次收集土壤动物的平均值来看, Oi 和 Oe 层土壤动物的个体密度与界面层差异不显著,但显著高于 2~5 cm 和 5~

10 cm 土层。因此,土壤动物个体密度有一定的垂直分布特征。

表 4 油松人工林中小型土壤动物类群数及个体密度的垂直分布

Table 4 Vertical distribution of taxon amount and individual density soil mesofauna

样本 Sample	5月 May		8月 August		10月 October		平均 Average	
	类群数 Taxon amount	个体密度 Individual density	类群数 Taxon amount	个体密度 Individual density	类群数 Taxon amount	个体密度 Individual density	类群数 Taxon amount	个体密度 Individual density
新鲜枯落物层 Oi	8 a	71 a	9 a	106 b	7 a	12 bc	8 a	63 a
半分解枯落物层 Oe	8 a	43 b	10 a	120 a	5 a	46 a	8 a	70 a
界面层 Interface layer	5 b	18 c	6 b	32 c	5 a	20 b	5 bc	23 ab
2~5 cm 土层 2-5 cm layer	5 b	5 cd	3 c	3 d	5 a	10 c	4 c	6 b
5~10 cm 土层 5-10 cm layer	3 b	2 d	3 c	1 d	5 a	6 c	4 c	3 b

注:个体密度以每 50 cm³ 样品中的动物数量表示。同列数据后标不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

Note: The individual density is represented by the number of animals in each 50 cm³ sample. Different lowercase letters in each column represent significant difference (P<0.05) among different depths.

不同层次土壤性质的差异也影响着中小型土壤动物类群种类的垂直分布。本研究采用不同动物类群数量占总数量的百分比来表示不同土层中不同土壤动物类群的分布机率,结果见表 5。由表 5 可知,就土壤动物类群而言,不同枯落物层有一定差异。在所收集到的 11 个类群中, Oi 层出现了 10 个类群,但主要以球角虫兆科、长角虫兆科、棘虫兆科 3 个类群为主,其所占比例为 19.88%, 5.76%和 4.89%,其余 7 个类群所占比例相对较低;在 Oe 层出现了 Oi 层中未出现的鳞翅目幼虫,但未出现啮目,该层

类群以球角虫兆科、甲螨亚目、棘虫兆科为主,其所占比例分别为 14.46%, 11.91%和 6.02%,可见 Oe 层主要类群与 Oi 层有一定差异。相对于枯落物层,界面层未出现光盞蛛科和长角虫兆科,类群以甲螨亚目和球角虫兆科为主,其所占比例分别为 4.69%和 4.15%。2~5 cm 土层的主要类群与界面层相似,但未出现鳞翅目幼虫和缨翅目幼虫。在 5~10 cm 土层土壤动物的种类进一步减少,在调查中未收集到棘虫兆科和蚁总科。

表 5 油松人工林中小型土壤动物不同类群的垂直分布特征

Table 5 Vertical distribution of different soil mesofauna in *Pinus tabulaeformis* plantation

类群 Taxon	新鲜枯落物层	半分解枯落物层	界面层	2~5 cm	5~10 cm
	Oi	Oe	Interface Layer	土层 2-5 cm layer	土层 5-10 cm layer
双翅目幼虫 Diptera larvae	1.07	1.54	0.40	0.07	0.20
鳞翅目幼虫 Lepidoptera larvae	0	0.13	0.07	0	0
中气门亚目 Mesostigmata	1.47	3.88	2.61	0.60	0.47
甲螨亚目 Oribatida	2.68	11.91	4.69	1.14	0.33
蜘蛛目 Araneae	光盞蛛科 Lioncranidae	0.20	0.67	0	0
弹尾目 Collembola		30.53	21.22	4.35	1.40
	长角虫兆科 Entomobrydae	5.76	0.74	0	0
	棘虫兆科 Onychiuridae	4.89	6.02	0.20	0.33
	球角虫兆科 Hypogastruridae	19.88	14.46	4.15	1.07
啮目 Psocoptera		0.07	0	0.27	0.07
缨翅目幼虫 Thysanoptera nymph		0.20	2.14	0	0
蚁总科 Formicidae		1.67	0.60	0.07	0

4 讨 论

4.1 土壤动物的优势类群

土壤动物类群的分布受气候条件与植被景观等环境因素的影响^[23]。目前,对地表动物的研究方法

主要采用陷阱法^[14]和手捡法^[21]。不同的方法收集到的动物有一定的差异,但至今未发现更准确的理想方法。利用手捡法主要是收集一些大型的土壤动物,但也存在容易遗漏活动性强的土壤动物的缺点;而利用陷阱法收集土壤动物,由于在野外收集的时

间较长,因此较手捡法收集的动物多。但是,也有可能在与用漏斗法搜集枯落物层的土壤动物有重叠的现象。就以往在北京地区所做的土壤动物研究结果而言,通过手捡法收集的优势类群主要为蚁科和隐翅甲科^[9];而在门头沟废弃矿区,通过陷阱法收集的优势类群为叶蝉科、蚁科、等节跳科、长角跳科和甲螨亚目^[24]。本研究发现,在八达岭油松人工林中,地表土壤动物的优势类群主要有弹尾目、膜翅目和双翅目。这一研究结果与在以侧柏为主要树种的门头沟矿区用陷阱法收集的结果有所不同,因此本研究结果所搜集的土壤动物类群对油松人工林具有一定的代表性。

就中小型土壤动物而言,土壤有机质是其重要食物来源,以弹尾目、蜚蠊类为代表的腐食类土壤动物在有机质分解和土壤养分循环中起着重要作用^[25]。本研究中收集的地下中小型土壤动物主要是腐食类,优势类群为弹尾目和蜚蠊类。这一研究结果与以往一些研究结果相似,如和润莲等^[26]在米亚罗鹑山和王振海等^[27]在小兴安岭的研究中都发现优势类群包含有弹尾目和蜚蠊类。这表明,地域以及植被类型的差异,对地下和枯落物中的中小型土壤动物优势类群影响较小。

4.2 土壤动物的垂直分布特征

森林土壤有机质直接或间接地为土壤动物提供了丰富的食物来源。土壤有机质含量垂直递减的规律导致土壤动物营养空间上的变化,从而影响土壤动物的类群数量和种类。本研究表明,枯落物 Oi 层的土壤动物类群数和个体密度与 Oe 层相近,但显著高于界面层,而界面层又显著高于 2~5 cm 和 5~10 cm 土层。前人大量的研究也得出了土壤动物类群与数量具有明显的表聚性结论,如赵世魁等^[28]对华北落叶松天然林和人工林土壤动物分层取样研究表明,土壤动物数量的变化规律遵从凋落物层 >0~5 cm 土层 >5~10 cm 土层 >10~15 cm 土层的规律。王振中等^[29]对亚热带山地红壤森林土壤动物群落定位调查的研究表明,土壤动物数量随土层向下呈锐减趋势,0~10 cm 土层中的动物量占动物总量的 87.38%。从影响土壤动物的营养特征来看,土壤动物在土体中垂直分布规律与土壤有机物质的表聚特征有密切关系,因为地表枯落物层以及土壤腐殖质层中的有机物质丰富,可直接或间接满足土壤动物的需求。

由于不同土壤动物类群的习性不同,其种类在不同土层有一定的差异。一些类群可分布在各个土

层,如球角蛭科和甲螨亚目在每层土壤均为优势种;而一些类群集中分布在特定土层,如光盔蛛科和长角蛭科仅出现在枯落物层,鳞翅目幼虫和缨翅目幼虫出现在枯落物层和界面层。一些数量相对较少的类群则随着土层深度的增加逐渐消失。前人研究表明,影响土壤动物垂直分布的因素很多,如植被、土壤、气候等均可影响土壤动物的发育^[28,30]。本研究仅对油松人工林不同土层的土壤动物类群以及数量进行了研究,而对相关环境因子如土壤温湿度、土壤有机质以及土壤养分等指标未进行监测,今后在进行土壤动物研究时,应同时对环境因子进行定位观测。

4.3 不同取样时间土壤动物的变化特征

土壤水热条件是影响土壤动物发育与生长的重要因素。从陷阱法和 Tullgren 漏斗法收集的结果可以看出,在 3 次调查中,8 月收集的土壤动物数量最大,类群也最丰富,其次是 5 月,而 10 月收集到的土壤动物个体、类群均较少,这与 5 月和 8 月是土壤动物较活跃的时期有关,而在 10 月,随着气温降低,土壤动物活动性下降,种类和数目减少。除了部分共有的优势类群外,每次调查结果中的优势类群不尽相同。从地表土壤动物来看,缨翅目仅在 5 月为优势类群,而在 10 月却未被收集到;鞘翅目在 5 月和 8 月为常见类群,而在 10 月为优势类群。这可能与地表不同类群土壤动物的习性和生活周期有关^[14]。缨翅目生活周期短,季节性变化明显;而部分鞘翅目生活周期相对较长,季节变化相对较小^[18]。虽然土壤动物受季节的影响,但在本研究不同月份的调查结果中,地下中小型土壤动物的优势类群未发生显著变化。而不同深度土壤动物个体所占的比例有所变化,其中最接近地表的 Oi 层变化最为明显。这与 Oi 层受地面环境变化的影响较大有关。另外,10 月 2~5 cm 和 5~10 cm 矿质土层的土壤动物个体密度较 5 月和 8 月有所增加,这可能与地表气温降低有关。总的来看,土壤动物受不同采样时期的影响较大,对油松人工林土壤动物群落特征的研究需要长期监测。

[参考文献]

- [1] Tabaglio V, Gavazzi C, Menta C. Physico-chemical indicators and microarthropod communities as influenced by no-till, conventional tillage and nitrogen fertilisation after four years of continuous maize [J]. Soil and Tillage Research, 2009, 105(1): 135-142.
- [2] Vestergard M, Dymum K, Michelsen A, et al. Long-term multi-

- factorial climate change impacts on mesofaunal biomass and nitrogen content [J]. *Applied Soil Ecology*, 2015, 92: 54-63.
- [3] 李萌, 吴鹏飞, 王永. 贡嘎山东坡典型植被类型土壤动物群落特征 [J]. *生态学报*, 2015, 35(7): 2295-2307.
- Li M, Wu P F, Wang Y. Vertical distributions of soil fauna communities on the eastern slope of Gongga Mountain [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(7): 2295-2307.
- [4] 肖玖金, 张利, 李雪菲, 等. 柳杉人工林林窗土壤动物群落结构特征 [J]. *中国科学院大学学报*, 2015, 32(1): 57-62.
- Xiao J J, Zhang L, Li X F, et al. Soil fauna community diversity in forest gap of *Cryptomeria fortunei* artificial stands [J]. *Journal of University of Chinese Academy of Sciences*, 2015, 32(1): 57-62.
- [5] 李晓东, 史沉鱼, 覃国乐, 等. 濒危植物单性木兰林区土壤动物群落结构与季节动态 [J]. *华中农业大学学报*, 2015, 34(4): 20-26.
- Li X D, Shi C Y, Qin G L, et al. Community composition and seasonal dynamics of soil fauna in endangered plant *Kmeria septentrionalis* forest [J]. *Journal of Huazhong Agriculture University*, 2015, 34(4): 20-26.
- [6] 沈彪, 党坤良, 武朋辉, 等. 秦岭中段南坡油松林生态系统碳密度研究 [J]. *生态学报*, 2015, 35(6): 1798-1806.
- Shen B, Dang K L, Wu P H, et al. Organic carbon density in *Pinus tabulaeformis* forest ecosystem on the south slope of the middle Qinling Mountains, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(6): 1798-1806.
- [7] 金冠一, 赵秀海, 康峰峰, 等. 太岳山油松人工林土壤呼吸对强降雨的响应 [J]. *生态学报*, 2013, 33(6): 1832-1841.
- Jin G Y, Zhao X H, Kang F F, et al. The great rainfall effect on soil respiration of *Pinus tabulaeformis* plantation in Taiyue Mountain [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(6): 1832-1841.
- [8] 高晶, 韩海荣, 康峰峰, 等. 冀北辽河源不同林龄油松天然次生林土壤微生物量及酶活性 [J]. *东北林业大学学报*, 2015, 43(9): 78-83.
- Gao J, Han H R, Kang F F, et al. Soil microbial biomass and enzymes activity of *Pinus tabulaeformis* forest with different ages in Liaohe River of northern Hebei [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2015, 43(9): 78-83.
- [9] 傅必谦, 陈卫, 董晓晖, 等. 北京松山四种大型土壤动物群落组成和结构 [J]. *生态学报*, 2002, 22(2): 215-223.
- Fu B Q, Chen W, Dong X H, et al. The composition and structure of the four soil macrofaunas in Songshan Mountain in Beijing [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(2): 215-223.
- [10] 刘继亮, 曹靖, 李世杰, 等. 秦岭西部山地次生林和人工林大型土壤动物群落结构特征 [J]. *应用生态学报*, 2012, 23(9): 2459-2466.
- Liu J L, Cao J, Li S J, et al. Characteristics of soil macrofaunal community structure in secondary forest and forest plantations in western Qinling Mountains of northwest China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(9): 2459-2466.
- [11] 黄丽荣, 尤国春, 唐凤德, 等. 章古台沙地人工林大型土壤动物群落特征 [J]. *土壤通报*, 2013, 44(1): 93-98.
- Huang L R, You G C, Tang F D, et al. Community characteristics of macro-soil fauna in different plantations of Zhanggutai sany land [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2013, 44(1): 93-98.
- [12] 向师庆, 翟保国, 郝晋文. 华北地区主要针叶林下森林腐殖质类型的研究 [J]. *北京林业大学学报*, 1986(4): 54-65.
- Xiang S Q, Zhai B G, Hao J W. Study on forest humus type in main coniferous forests in Huabei [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 1986(4): 54-65.
- [13] 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 N, Zhang X P, Zhang L M. Spatial and temporal variation of soil macrofauna community structure in three temperate forests [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(19): 6236-6245.
- [14] 刘继亮, 李锋端, 刘七军, 等. 黑河流域荒漠生态系统地面土壤动物群落的组成与多样性 [J]. *中国沙漠*, 2010, 30(2): 342-349.
- Liu J L, Li F R, Liu Q J, et al. Composition and diversity of surface-active soil fauna communities in arid desert ecosystems of the Heihe Basin [J]. *Journal of Desert Research*, 2010, 30(2): 342-349.
- [15] Crossley D A, Blair J M. A high-efficiency, "low-technology" Tullgren-type extractor for soil microarthropods [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1991, 34(1): 187-192.
- [16] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴 [M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- Yin W Y. Pictorial keys to soil animals of China [M]. Beijing: Science Press, 1998.
- [17] 钟觉民. 幼虫分类学 [M]. 北京: 农业出版社, 1990.
- Zhong J M. Larva taxonomy [M]. Beijing: Agriculture Press, 1990.
- [18] 袁锋. 昆虫分类学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- Yuan F. Insect taxonomy [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [19] 张武, 顾成林, 李富, 等. 大兴安岭不同冻土环境湿地土壤动物群落特征 [J]. *东北林业大学学报*, 2014, 42(5): 101-104.
- Zhang W, Gu C L, Li F, et al. Wetland soil faunal community characteristics on different types of tundra environment in Daxing' An Mountain [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2014, 42(5): 101-104.
- [20] 宋英石, 李晓文, 李锋, 等. 北京市奥林匹克公园不同地表类型对土壤动物多样性的影响 [J]. *应用生态学报*, 2015, 26(4): 1130-1136.
- Song Y S, Li X W, Li F, et al. Influence of different types of surface on the diversity of soil fauna in Beijing Olympic Park [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(4): 1130-1136.
- [21] 孙立娜, 李晓强, 殷秀琴, 等. 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.
- Sun L N, Li X Q, Yin X Q, et al. The guilds and diversity of soil fauna community in forest ecosystem of Longwan Nature

- Reserve [J]. Journal of Northeast Normal University (Nature Science Edition), 2014, 46(1): 110-116.
- [22] 廖崇惠, 李建雄. 华南热带和南亚热带地区森林土壤动物群落生态 [M]. 广州: 广东科技出版社, 2009.
- Liao C H, Li J X. Forest soil animal community ecology in south China tropical and subtropical zones [M]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 2009.
- [23] Martins D S P, Berg M P, Da S A A, et al. Soil fauna through the landscape window: factors shaping surface-and soil-dwelling communities across spatial scales in cork-oak mosaics [J]. Landscape Ecology, 2015, 30(8): 1511-1526.
- [24] 林英华, 宋百敏, 韩 茜, 等. 北京门头沟废弃采石矿区地表土壤动物群落多样性 [J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4832-4839.
- Lin Y H, Song B M, Han Q, et al. The community diversity of ground dwelling soil animals in abandoned quarry in Mentougou, Beijing [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4832-4839.
- [25] Farská J, Prejzková K, Rusek J. Management intensity affects traits of soil microarthropod community in montane spruce forest [J]. Applied Soil Ecology, 2014, 75: 71-79.
- [26] 和润莲, 陈亚梅, 邓长春, 等. 雪被期川西高山林线交错带两种地被物凋落物分解与土壤动物多样性 [J]. 应用生态学报, 2015, 26(3): 723-731.
- He R L, Chen Y M, Deng C C, et al. Litter decomposition and soil faunal diversity of two understory plant debris in the alpine timberline ecotone of western Sichuan in a snow cover season [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(3): 723-731.
- [27] 王振海, 殷秀琴, 蒋云峰, 等. 松嫩草地与小兴安岭森林土壤动物群落比较研究 [J]. 东北师大学报(自然科学版), 2014, 46(3): 109-113.
- Wang Z H, Yin X Q, Jiang Y F, et al. Comparison of the composition of soil fauna communities between Songnen Grassland and Xiao Hinggan Mountains [J]. Journal of Northeast Normal University (Nature Science Edition), 2014, 46(3): 109-113.
- [28] 赵世魁, 刘贤谦. 关帝山华北落叶松天然林和人工林土壤动物的群落多样性 [J]. 林业科学, 2007, 43(6): 105-110.
- Zhao S K, Liu X Q. Diversity of soil-animal community in the planted and natural *Larix principis-rupprechtii* forest in Guandi mountain [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(6): 105-110.
- [29] 王振中, 张友梅, 李忠武. 湘中低山丘陵红壤森林生态系统土壤动物群落结构的特征 [J]. 土壤学报, 2007, 44(6): 1097-1103.
- Wang Z Z, Zhang Y M, Li Z W. Structure characteristics of fauna in forest red soils in the low mountain and hilly region of middle Hunan [J]. Acta Pedologica Sinica, 2007, 44(6): 1097-1103.
- [30] 佟富春, 金哲东, 王庆礼, 等. 长白山北坡土壤动物群落物种共有的海拔梯度变化 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1723-1728.
- Tong F C, Jin Z D, Wang Q L, et al. Co-occurrence of soil fauna communities with changes in altitude on the northern slope of Changbai Mountain [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(10): 1723-1728.