

天童常绿阔叶林五个演替阶段凋落物 中的土壤动物群落

易 兰, 由文辉*, 宋永昌

(华东师范大学环境科学系, 上海 200062)

摘要:为探讨森林凋落物中土壤动物群落的结构特征以及土壤动物群落随植被演替而发生的变化, 于 2003 年冬季, 对浙江天童常绿阔叶林 5 个演替阶段凋落物中的土壤动物群落, 按代表不同分解阶段的新鲜凋落物层、腐叶层和腐殖土层进行了调查研究。共获得土壤动物 13381 只, 分别隶属于 2 门 8 纲 20 目。优势类群为蜚蠊目(Arcarina)和弹尾目(Collembola), 二者共占总数的 94.24%, A/C 为 7.66; 常见类群为双翅目(Diptera)。研究结果表明: (1) 凋落物中的土壤动物群落存在明显的有别于真土层的垂直分布, 类群数和个体数总体表现为向下递增的趋势。共有 19 类、59.03% 的土壤动物分布在底部腐殖土层, 仅 8 类、5.35% 的土壤动物分布在新鲜凋落物层, 其余共 8 类分布在中间腐叶层。而且, 不同类群在各演替阶段的分布表现出一定的差异; (2) 凋落物中土壤动物群落随植物群落的演替而发生明显的变化: 个体总数和类群总数在演替顶极阶段最高, 其次为中期阶段, 演替初期最低。但是, 在目这一分类等级上, 各演替阶段凋落物中土壤动物群落的主要类群基本一致, 均为蜚蠊目、弹尾目、双翅目和鳞翅目(Lepidoptera); (3) 相似性分析表明, 演替中期凋落物中土壤动物群落与顶极阶段最为相似; 但它们的 Shannon-Wiener 多样性指数相差很大, 顶极阶段最高, 演替中期最低。Shannon-Wiener 多样性指数能很好地反映不同演替阶段凋落物中土壤动物群落的多样性状况, 并且和 Simpson 优势度指数呈明显的负相关。讨论了土壤动物在植被演替中的指示意义、凋落物不同分解阶段起主要作用的土壤动物类群以及影响凋落物中土壤动物群落组成、分布的主要因素。

关键词:土壤动物群落; 凋落物; 垂直分布; 演替阶段; 常绿阔叶林; 天童

Soil animal communities in the litter of the evergreen broad-leaved forest at five succession stages in Tiantong

YI Lan, YOU Wen-Hui*, SONG Yong-Chang (Department of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 466~473.

Abstract: Soil animals are abundant in forest litter layer, but little attention has been paid to the vertical distribution of community structure of soil animals in the layer at different plant community succession stages. Forest litter layer can be divided into fresh litter layer (L), fermentation layer (F) and humus layer (H), which may represent different litter decomposition stages. The aim of the study is to ascertain the vertical distribution feature of soil animal community structure among the three litter layers and the change in the succession process of the evergreen broad-leaved forest (EBLF) in Tiantong, Zhejiang Province. Five plant communities at different succession stages were investigated in winter of 2003. Soil animals, which were extracted by using Tullgren funnels, amounted to a total of 13,381 in number, falling into 2 phyla, 8 classes and 20 orders. The dominant groups were Arcarina and Collembola, accounting for 94.24% of the total individuals, with the number of Arcarina individuals 7.66 times that of Collembola. The common group was Diptera. The results indicated that there

基金项目:国家自然科学基金重点研究资助项目(30130060)

收稿日期:2004-06-17; **修订日期:**2004-12-25

作者简介:易兰(1970~), 女, 河北人, 博士生, 主要从事土壤动物生态学和生态工程研究. E-mail: yilan1101@sina.com

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: youwh@jysy.ecnu.edu.cn

致谢:在研究的前期工作和标本鉴定中得到了中国科学院上海植物生理生态研究所尹文英院士、柯欣副研究员和谢荣栋高级实验师的大力帮助, 在野外工作中得到了唐祥云、熊燕、郑大海、张玉平、中国科学院徐晓军以及天童生态站王良衍、王啊昌两位场长的帮助, 在此一并致谢!

Foundation item: National Natural Science Key Foundation of China (No. 30130060)

Received date: 2004-06-17; **Accepted date:** 2004-12-25

Biography: YI Lan, Ph. D. candidate, mainly engaged in soil animal ecology and ecological engineering. E-mail: yilan1101@sina.com

was a distinctive vertical distribution of the soil animal communities in the forest litter layer, but it differed from that in soil below the litter layer. Opposite to those in the soil, the soil animals in the litter layer generally tend to increase from top fresh litter layer to bottom humus layer both in group richness and density; altogether 19 groups and 59.03% of total individuals were found in the bottom layer, while only 8 groups and 5.35% of the individuals were seen in the top. Moreover, there were some variations in the distribution of the soil animals at different plant succession stages; 85.19% of Homoptera and 100% of Symphyla were found in the litter layer at the climax succession stage, while 75.61% of Thysanoptera found at the intermediate succession stage. Therefore these groups might be seen as indicative groups. The total numbers of soil animal groups and individuals in the litter layers greatly changed in the succession process of the EBLF. They both were greatest at the climax, moderate at the intermediate and smallest at the primary succession stage. However, the main soil animal groups in the litter at the different succession stages were essentially the same; they were Arcarina, Collembola, Diptera and Lepidoptera. Although similarity analysis revealed that the soil animal communities in the litter at the intermediate succession stage were most similar to those at the climax succession stage, they differed greatly from each other in the Shannon-Wiener diversity index. The Shannon index was highest at the climax succession stage and lowest at the intermediate succession stage. The Shannon-Wiener diversity index well represented the diversity of the soil animal communities in the litter at the five succession stages but was in negative correlation with the Simpson dominance index.

Finally, the paper discussed the following three questions: the role of soil animals as indicators for different plant community succession stages; the role of different soil animal groups in litter decomposition at different stages; the major factors affecting the composition and distribution of soil animals in the litter.

This paper would provide a new perspective for the research on the succession mechanism of plant communities and soil animals' decomposition functions.

Key words: soil animal community; litter layer; vertical distribution; forest succession stage; evergreen broad-leaved Forest; Tiantong

文章编号:1000-0933(2005)03-0466-08 中图分类号:Q958 文献标识码:A

凋落物的蓄积和分解是森林土壤维持肥力最重要的来源,土壤动物在凋落物分解过程中发挥着十分重要的作用。它们能够改变养分的矿化速率和养分在土壤中的空间分布、改变根际微生物群落结构、改变植物的激素状况,从而间接地改变植物之间的竞争平衡,进而影响到植物群落组成。近年来,关于土壤动物群落与地上植被之间关系的研究已日益引起国际上的广泛关注^[1~10]。然而,土壤动物对植被演替的影响目前仍然很少引起人们的关注^[11,12],以往人们在探索植被演替机制时也极少涉及到地下土壤动物的作用。对植物群落演替系列中土壤动物群落的调查研究对植被演替机制的理解有着十分重要的意义。另一方面,植物群落的演替变化直接影响到凋落物的组成、数量和质量,而森林凋落物中有着十分丰富的土壤节肢动物,凋落物的变化必然会影响其中的这些动物。同时,森林现存凋落物存在明显的垂直分层,代表了凋落物的不同分解阶段。对凋落物中土壤动物群落结构进行调查研究很有必要。然而,在对森林土壤动物群落进行的研究中,并未对凋落物中的土壤动物群落引起足够的重视。尽管有部分研究涉及到凋落物中的土壤动物^[13~19],但也仅仅是将其作为一个层次来进行取样。除了殷秀琴等^[20]曾对帽儿山森林凋落物进行过分层研究外,还未见有将森林凋落物进行详细分层调查研究的报道。

张庆费等^[21]曾对浙江天童常绿阔叶林主要演替阶段的凋落物数量及分解动态作过研究,但对于其中的土壤动物群落还未见有报道。该地常绿阔叶林 5 个主要演替阶段凋落物较厚,而且分层明显。秋冬季是落叶的高峰期,本文选择冬季对其中的土壤动物群落进行了详细的分层调查研究,旨在揭示各演替阶段凋落物中土壤动物群落的结构特征,并探讨土壤动物群落随植物群落的演替而发生的演替变化及其在演替中的指示意义,同时分析凋落物不同分解阶段起主要作用的土壤动物类群。

1 研究地概况及研究方法

1.1 研究地自然概况

天童国家森林公园位于浙江宁波东部(29°48'N,121°47'E),属典型的亚热带季风气候,年均气温 16.2℃,1 月平均气温 4.1℃。年平均降雨量为 1374.7mm,年蒸发量 1320.1mm。冬季冷而干燥,雨量仅占全年的 10%~15%。土壤主要为山地黄红壤,pH 值多为 4.5~5.0,偏酸性。地带性植被为中亚热带北缘常绿阔叶林^[22]。现存在的都是次生植被。历史上由于受到天童寺的保护而发育良好,后来几经破坏而成为现在以常绿阔叶林为主,兼有次生灌丛、人工林(如杉木林、马尾松林和竹林)及由次生灌丛向常绿阔叶林演替的各个阶段^[23]。

1.2 样地概况

本研究以该地常绿阔叶林主要的 5 个演替阶段凋落物中的土壤动物群落为对象。这 5 个阶段按演替顺序分别为:Ⅰ 榿木-石栎群落,Ⅱ 马尾松群落,Ⅲ 马尾松-木荷群落,Ⅳ 木荷群落和Ⅴ 栲树群落,关于它们的划分情况参见丁圣彦的文章^[23,24]。其中,榿木-石栎群落处于演替初期,栲树群落为该地的顶级群落。各演替阶段凋落物的组成、每层的厚度概况见表 1。

表 1 冬季天童常绿阔叶林 5 个演替阶段凋落物层概况

演替阶段 Succession stages	凋落物每层厚(cm) Thickness of each layer			凋落物组成 Composition of litter
	L	F	H	
I	2	3	2	以木荷、马尾松、苦槠、石栎凋落物为主,其次为苦竹、杉木凋落物,有少量老鼠矢、山矾、菝葜、米饭花凋落物
Ⅱ	1.5	3	1.5	以马尾松凋落物为主,其次为木荷、苦槠、杨梅、榿木凋落物,有少量连蕊茶、山矾、米饭花、栲树、石栎、披针叶山矾、苦竹凋落物
Ⅲ	1.5	4	3	主要是马尾松和木荷凋落物,其中马尾松占多数,其次为、苦槠、栲树、柃木、连蕊茶、赤皮稠、长叶木姜子、菝葜、狗脊凋落物,有少量石栎、细叶青冈、老鼠矢、披针叶山矾、山矾、茅栗、杨梅凋落物
Ⅳ	3	4	2	主要是木荷和马尾松凋落物,其中木荷占多数,其次为石栎、苦槠、柃木、栲树、细叶青冈凋落物,有少量山矾、褐叶青冈凋落物
V	3	4	5	以栲树凋落物为主,其次为米槠、柃木、木荷、连蕊茶、香樟、细叶青冈、菝葜凋落物,有少量山矾、枫香、石栎、茅栗、红楠、狗脊、浙江新木姜子、交让木、黄牛奶树凋落物

I: 榿木-石栎群落 *Loropetalum Chinense-Lithocarpus glabre* comm.; Ⅱ: 马尾松群落 *Pinus massoniana* comm.; Ⅲ: 马尾松-木荷群落 *Pinus massoniana-Schima superba* comm.; Ⅳ: 木荷群落 *Schima superba* comm.; Ⅴ: 栲树群落 *Castanopsis fargesii* comm.; L: 新鲜凋落物层 Fresh litter layer; F: 腐叶层 Fermentation layer; H: 腐殖土层 Humus layer, 以下均同 the same below。

马尾松 *Pinus massoniana*; 木荷 *Schima superba*; 栲树 *Castanopsis fargesii*; 苦槠 *C. sclerophylla*; 米槠 *C. carlesii*; 石栎 *Lithocarpus glaber*; 细叶青冈 *Cyclobalanopsis myrsinaefolia*; 赤皮稠 *C. gilva*; 褐叶青冈 *Quercus stewardiana*; 榿木 *Loropetalum chinense*; 枫香 *Liquidambar formosana*; 香樟 *Cinnamomum camphora*; 红楠 *Machilus thumbergii*; 浙江新木姜子 *Neolitsea aurata* var. *chekiangensis*; 杨梅 *Myrica rubra*; 山矾 *Symplocos sumuntia*; 老鼠矢 *S. stellaris*; 黄牛奶树 *S. laurina*; 披针叶山矾 *S. lancifolia*; 连蕊茶 *Camellia fraterna*; 柃木 *Eurya* spp.; 交让木 *Daphniphyllum macropodum*; 苦竹 *Pleioblastus amarus*; 菝葜 *Smilax china*; 狗脊 *Woodwardia japonica*; 杉木 *Cunninghamia lanceolata*; 茅栗 *Castanea seguinii*; 长叶木姜子 *Litsea elongate*; 米饭花 *Vaccinium mandarinorum*

1.3 研究方法

1.3.1 采样、分离和鉴定 对以上 5 个演替阶段凋落物按自然层次分 3 层^[25,26]进行采样:L 层(Fresh litter layer),叶片新鲜完好,尚未分解,没有破损;F 层(Fermentation layer),凋落物呈半分解状态,多见有霉斑,叶片大多粘连在一起,肉眼还能辨认出植物残体的组织结构,该层没有无机质土壤混入;H 层(Humus layer),凋落物已完全分解,难以辨认原来植物的结构特征,并含有少量无机质土壤。每个阶段样地采 3 个点作为混合样,两采样点之间相距 5m 以上,每层采样面积为 20×20cm²。对当时肉眼看到的动物立即手拣放入瓶中带回。所采样品用布袋带回天童生态站,立即用塔式干法电热分离装置在 60w 白炽灯下进行 48h 分离,在双筒解剖镜下镜检计数^[27,28]。

1.3.2 数据分析 根据以下公式分别计算凋落物中土壤动物群落相似性指数、多样性指数、均匀度、优势度和丰富度等。

- (1)Sorenson 相似性指数

$Cs = 2j/(a + b)$

式中,j 为两个群落共有类群数;a 和 b 分别为样地 A 和样地 B 的类群数。
- (2)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。
- (3)Pielou 均匀度

$J_{ws} = H'/\ln S$

式中,S 为类群数。
- (4)Simpson 优势度指数

$C = \sum P_i^2$

式中, $P_i = n_i/N$ 。
- (5)Margalef 丰富度指数

$D = (S - 1)/\ln N$
- 2 研究结果
- 2.1 群落组成
- 在冬季 5 个演替阶段凋落物中,共获得土壤动物 13381 只,分别隶属于 2 门 8 纲 20 目,优势类群为蜚蠊目(Arcarina)和弹尾目(Collembola),二者共占总数的 94.24%,A/C(蜚蠊目与弹尾目个体数量比)为 7.66;常见类群为双翅目(Diptera),其余为

稀有类群(表 2)。蜚蠊目、弹尾目和双翅目构成了天童冬季凋落物中土壤动物群落的主体。

凋落物中土壤动物群落随植物群落的演替而发生明显的变化,类群数和个体数有较大差异。顶极栲树群落类群数(16)和个体数(33.20%)都最高,其次为中期阶段的马尾松-木荷群落(15,29.24%),初期阶段的榿木-石砾群落(6,8.12%)最低。但是,在目这一分类等级上,各演替阶段凋落物中土壤动物群落的主要类群基本一致,均为蜚蠊目、弹尾目、双翅目和鳞翅目(Lepidoptera)。其次,冬季凋落物中的 A/C 都很高,尤其是演替中期阶段的马尾松群落和马尾松-木荷群落,高达 11.12 和 10.72,蜚蠊目成为这两个群落唯一的优势类群;随着演替的进行,A/C 逐渐下降,演替顶极阶段栲树群落的 A/C 最低为 5.20(表 2)。马尾松群落常见类群最多,栲树群落和马尾松-木荷群落稀有类群最多,演替初期阶段的榿木-石砾群落稀有类群很少。

2.2 群落相似性和多样性分析

相似性分析表明,演替中期的马尾松-木荷群落冬季凋落物层土壤动物群落与顶极栲树群落相似系数最大,其次为演替初期的榿木-石砾群落与演替后期的木荷群落和中期阶段的马尾松群落与马尾松-木荷群落;演替后期的木荷群落与顶极栲树群落的相似系数最小(表 3)。

表 2 浙江天童常绿阔叶林 5 个演替阶段凋落物层冬季土壤动物群落组成和数量分布
Table 2 Group composition and their quantitative distribution of soil animal in the three litter layers of the evergreen broad-leaved forest at five succession stages in winter in Tiantong, Zhejiang Province

类 群 Groups	I				II				III				IV				V				占总数 (%)				多 度 Abundance	
	L	F	H	小计 Total	L	F	H	小计 Total	L	F	H	小计 Total	L	F	H	小计 Total	L	F	H	小计 Total						
蜚蠊目 Arcarina	64	368	471	903	84	1180	915	2179	248	1128	2010	3386	52	648	411	1111	60	644	2871	3575	83.36	+++				
弹尾目 Collembola	24	48	46	118	52	84	60	196	64	120	132	316	8	52	79	139	20	120	547	687	10.88	+++				
双翅目 Diptera		36	17	53	12	84	48	144	12	64	71	147		60	20	80			61	61	3.62	++				
鳞翅目 Lepidoptera		2	2				28	1	29		28	3	31		8	2	10	20	3	23	0.71	+				
缨翅目 Thysanoptera				0		20	11	31		4		4			3	3	3			3	0.31	+				
鞘翅目 Coleoptera		8		8		4		4			2	2				0			1	1	0.10	+				
膜翅目 Hymenoptera				0			6	6			4	4				0			18	18	0.01	+				
原尾目 Protura				0	4		1	5			7	7				0			8	8	0.15	+				
伪蝎目 Pseudoscorpiones				0			1	1		4		4				0		4	5	9	0.10	+				
同翅目 Homoptera		2	2					0			1	1			1	1			23	23	0.20	+				
半翅目 Hemiptera				0				0	4		1	5				0				0	0.04	+				
石蜈蚣目 Lithobiomorpha				0				0				0				0		1	1	0.01	+					
地蜈蚣目 Geophilomorpha				0				0			1	1				0				0	0.01	+				
后孔寡毛目 Oligochaeta opisthopora				0				0		2	1	3				0		1	1	0.03	+					
带马陆目 Polydesmida				0				0			1	1				0		1	1	0.01	+					
综合目 Symphyla				0				0				0				0		25	25	0.19	+					
四隅枝目 Tetramerocerata				0				0				0				0		1	1	0.01	+					
蜘蛛目 Araneae				0				0				0				0	4	1	5	0.04	+					
等足目 Isopoda				0				0				0	1			1			0	0.01	+					
啮目 Psocoptera				0		1	1					0				0			0	0.01	+					
A/C				7.65				11.12				10.72				7.99				5.20						

+++：优势类群，其个体数占总数 10%以上 Dominant groups (its percentage to total>10%); ++：常见类群，其个体数占总数的 1%~10%Common groups (its percentage to total:1%~10%); +：稀有类群，其个体数占总数 1% 以下 Rare groups (its percentage to total<1%)

多样性分析表明(表 4),栲树群落凋落物层中土壤动物群落 Shannon-Wiener 多样性指数(H')最高,马尾松-木荷群落尽管其物种数和个体总数都上升到了接近栲树群落的水平,但其 H' 却为最低。该阶段蜚蠊目大量发生,是其唯一的优势类群,占该阶段总个体数的 86.55%,A/C 值高达 10.72,使其 Simpson 优势度指数(C')达到了最高。虽然其 Margalef 丰富度指数(D')仅次于栲树群落,但各类群的个体数量分配很不均匀,导致 Pielou 均匀性指数($J_{w\prime}$)最低,仅为 0.202,最终导致其 H' 低于其它群落。而对于榿木-石砾群落和木荷群落,其类群数最少,Margalef 丰富度指数相应为最小。但它们的 Pielou 均匀性指数却为最高,最终使 Shannon-Wiener 多样性指数并不低,都高于 Margalef 丰富度指数较高的马尾松-木荷群落。所以,Shannon-Wiener 多样性指数能够很好地反映凋落物层土壤动物的多样性状况,并且和 Simpson 优势度指数呈很好的负相关。但与 Pielou 均匀性指数和 Margalef 丰富度指数并非呈很好的正相关(图 1)。

2.3 主要类群在 5 个演替阶段凋落物中的分布

不同类群在各演替阶段凋落物中的分布表现出一定的差异(图 2):(1)蜚蠊目和弹尾目在各演替阶段凋落物中的分布均为

栲树群落最多(A 32.05%、C 47.18%),马尾松-木荷群落次之(A 30.36%、C 21.70%),榿木-石砾群落最少(A 8.10%、C 8.10%);(2)双翅目和鳞翅目主要集中在以马尾松为主的马尾松-木荷群落(D 30.31%, L 32.63%)和马尾松群落(D 29.69%, L 30.53%),最少在榿木-石砾群落(D 10.93%, L 2.11%);(3)缨翅目(Thysanoptera)集中发生在马尾松群落,占该目总捕获量的75.61%,可将其看作是马尾松群落冬季凋落物中土壤动物的标志类群。另外,有85.19%的同翅目(Homoptera)和所有的综合目(Symphyla)都分布在栲树群落,也可将它们看作是其冬季凋落物中土壤动物的标志类群。

2.4 各演替阶段凋落物中土壤动物群落的垂直分布

表 3 5 个演替阶段凋落物层土壤动物群落相似性指数
Table 3 Similarity indices of soil animal communities in the litter layer at five succession stages

演替阶段 Succession stages	I	II	III	IV	V
榿木-石砾群落		0.625	0.571	0.769	0.545
II 马尾松群落			0.720	0.588	0.692
III 马尾松-木荷群落				0.545	0.774
IV 木荷群落					0.522
V 栲树群落					

I : *Loropetalum chinese-Lithocarpus glabre* comm. ; II : *Pinus massoniana* comm. ; III : *Pinus massoniana-Schima superba* comm. ; IV : *Schima superba* comm. ; V : *Castanopsis fargesii* comm.

表 4 5 个演替阶段凋落物层土壤动物群落多样性指数
Table 4 Diversity indices of soil animal communities in the litter layers at five succession stages

演替阶段 Succession stages	H'	J_{sh}	D	C	类群总数 Total number of groups	个体总数(%) % of total individuals
I 榿木-石砾群落	0.6014	0.3356	0.7153	0.7056	6	8.12
II 马尾松群落	0.6476	0.2813	1.1448	0.7136	10	19.40
III 马尾松-木荷群落	0.5469	0.202	1.6925	0.7572	15	29.24
IV 木荷群落	0.6211	0.3192	0.8329	0.6966	7	10.05
V 栲树群落	0.6743	0.2432	1.786	0.672	16	33.19

I : *Loropetalum chinese-Lithocarpus glabre* comm. ; II : *Pinus massoniana* comm. ; III : *Pinus massoniana-Schima superba* comm. ; IV : *Schima superba* comm. ; V : *Castanopsis fargesii* comm.

在各演替阶段,土壤动物群落的类群数均表现为从上向下增加的趋势;个体数量(%)的垂直分布上大体上也表现为向下增加的趋势(图 3),但发现马尾松群落和木荷群落中间腐叶层数量占多数,分别达到 53.93%和 57.10%,主要是由于该层蜚蠊目大量发生所致。其次,各演替阶段优势类群和常见类群的数量垂直分布各有其规律(图 4):(1)蜚蠊目的数量分布表现出与整个土壤动物群落数量分布相一致的特征;(2)弹尾目除在榿木-石砾群落和马尾松群落中表现出中间腐叶层稍高于底部腐殖土层外,其余均表现为向下增加的趋势;(3)双翅目的垂直分布均不同于蜚蠊目和弹尾目。在榿木-石砾群落、马尾松群落和木荷群落中均集中分布在中间腐叶层,栲树群落几乎只在底部腐殖土层中出现。

总的来说,冬季凋落物中的土壤动物类群数和个体数量表现为向下递增的趋势:类群上,有 19 类分布在底部腐殖土层,各

有 8 类分布在上层和中间层;个体数量上,有 59.03%分布在底部腐殖土层(H),仅 5.35%分布于新鲜凋落物层(L),其余分布在中间腐叶层(F)。所捕获的蜚蠊目和弹尾目,均有近 60%集中分布在底部腐殖土层,其次为中间腐叶层,新鲜凋落物层中较少,大多是个体较大、密被褐色长毛的长角跳虫种类。所捕获的原尾目(Protura)有 80%发生在底部腐殖土层,此外,综合目和同翅目也只在底部腐殖土层中出现。而 88.42%的鳞翅目、58.54%的缨翅目和 50.31%的双翅目则集中分布在中间腐叶层。

3 小结与讨论

3.1 植物群落演替过程中土壤动物群落的变化及其演替指示意义

对五个不同演替阶段凋落物层土壤动物群落的调查结果表明,随着植物群落的演替,凋落物中土壤动物群落也发生明显的演替变化。演替初期,土壤动物群落的类群数和个体数都最低,主要是一些分布广、适应性强的蜚蠊目、弹尾目。随着植物群落演替的进行,土壤动物类群数和个体数逐渐增加,到了演替中期阶段,类群数和个体数都上升到接近顶极群落阶段,并出现许多稀

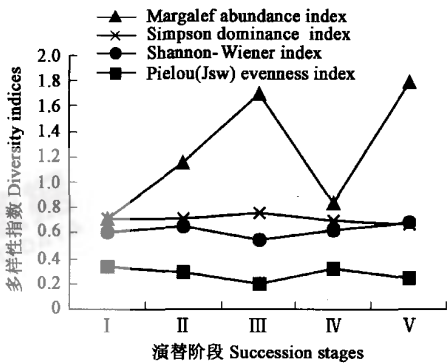


图 1 5 个演替阶段凋落物层土壤动物群落多样性指数变化曲线
Fig. 1 Changes of diversity indices of soil animal communities in the litter layers at five succession stages

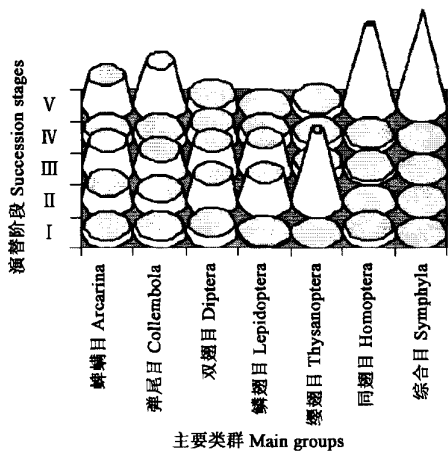


图 2 主要类群在 5 个演替阶段凋落物中的分布情况

Fig. 2 Distribution of main soil animal groups in the litter layers at five succession stages
以占该类群个体总数计 By the percentage to the total individuals of the group(%)

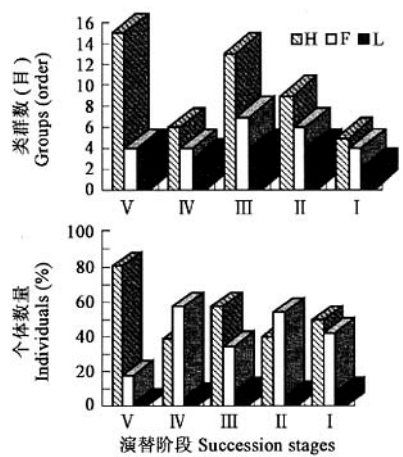


图 3 类群数和个体数的垂直分布

Fig. 3 Vertical distribution of soil animal groups and individuals
有类群;它们之间的相似性系数也达到最大,但是它们的多样性指数相差却很大,中期阶段多样性指数最低,而顶极阶段多样性指数最高。由于相似性系数是基于群落间共有类群数计算的,它

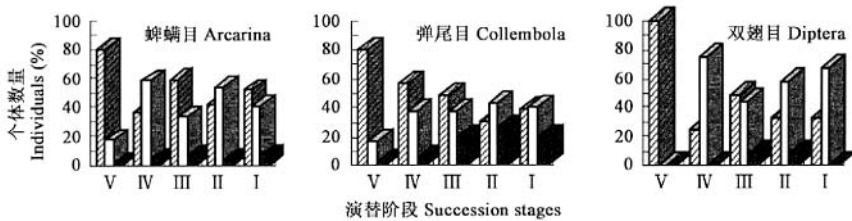


图 4 优势类群和常见类群的垂直分布

Fig. 4 Vertical distribution of dominant and common soil animal groups

不能反映出共有类群在群落中的数量分配情况。尽管两群落间相似性系数较大,但由于共有类群在各群落中的数量分配不同,致使分配不均匀的演替中期阶段的土壤动物群落多样性指数降低。另一方面,也反映了植物群落的演替是一个生境不断改善的过程,顶极植物群落能为土壤动物提供相对稳定的食物源和栖息环境,经过长期的选择和适应,形成了相对稳定而多样性指数较高的土壤动物群落,从而维持着系统稳定正常的生态功能。植物群落不同演替阶段凋落物中土壤动物群落组成和个体数量的差异,将对凋落物的分解速率和系统的养分循环产生影响,从而对植物群落的演替产生一定的作用。对土壤动物群落和植物群落之间关系的认识将有助于对植被演替机制的探讨。

此外,不同土壤动物类群在常绿阔叶林不同演替阶段中的分布存在一定的差异,一方面与各自的生物学特性有关;另一方面,与不同演替阶段为其提供的生存环境有关。由于某些类群只出现在特定的演替阶段,它们对演替具有一定的指示意义。本研究中,同翅目和综合目可以看作是常绿阔叶林演替顶极阶段的指示类群,缨翅目则为演替中期的指示类群。但是,需强调的是,由于土壤动物各自的生活史不同,不同季节的标志类群会有所差异,所以还需进行不同季节的调查研究,找出各阶段不同季节的标志类群,这对于探讨植被恢复或退化的土壤动物指标具有一定的意义。

3.2 凋落物不同分解阶段起主要作用的土壤动物类群

在对土壤动物分解功能的研究中,凋落物袋法对于定量研究有其优越的一面,但由于时间的限制和取样的难度,一般很难进行一个完整的分解过程,如结合自然状况下凋落物不同层次中土壤动物群落的调查,以空间代替时间,就可以弥补凋落物袋法的这些不足。从未分解的新鲜凋落物层(L层)、半分解的腐叶层(F层)到已分解的腐殖土层(H层),代表了凋落物的整个分解过程。对天童常绿阔叶林冬季凋落物各层的调查结果表明,凋落物分解的不同阶段土壤动物群落的组成是不同的,但不论在分解的前期、中期还是后期阶段,螨目和弹尾目在数量上都占绝对优势。凋落物分解的早期阶段,聚积的中小型土壤动物类群数和个体数都较少,主要是一些取食微生物的螨目和弹尾目。在该阶段主要是大型土壤动物对凋落物进行破碎、易溶成分的

淋洗和微生物对易分解成分的分解^[30]。分解的中期阶段,由于凋落物的质地、质量的变化,为较多的土壤动物提供了食物源和适宜的栖息环境,在该阶段土壤动物的类群数和个体数大大增加,主要是一些以植物碎屑和微生物为食的类群。除蜚蠊目和弹尾目外,还聚积了大量的双翅目、鳞翅目、缨翅目和鞘翅目,它们都是分解中期阶段起主要作用的土壤动物类群。它们进攻难分解的木质部,为微生物的继续分解创造条件。此外,在该阶段还出现了不少捕食性的伪蝎目。到了分解末期,积聚了更大量的土壤动物,类群数和个体数都达到了最高。蜚蠊目、弹尾目、双翅目、膜翅目、同翅目、综合目、原尾目都集中发生在该阶段,还有部分缨翅目、鳞翅目和伪蝎目,同时还出现了许多稀有类群。在腐殖土层,由于这些土壤动物的活动,使得土壤有机质与无机土壤充分混合,改善着土壤的理化性质。同时,在该层还发生着一系列重要的生物化学过程,如土壤有机质在土壤酶和微生物的作用下继续合成土壤腐殖质,土壤腐殖质在一定条件下又分解释放出养分供植物生长利用^[31]。该层生活的众多土壤动物是否对这些过程产生影响?它们发挥着怎样的作用?这些问题都待于深入研究。

3.3 影响凋落物中土壤动物群落组成、分布的主要因素

本研究中,不同演替阶段凋落物中土壤动物群落组成是不同的,类群数和个体数存在明显的垂直分布,一般表现为向下增加的趋势,与殷秀琴等人对帽儿山的研究结果一致^[20]。凋落物为土壤动物提供了丰富的食物源和栖息环境,其组成、质量、各层的厚度(见表1)和分解程度等对其中的土壤动物群落组成、个体数量和分布产生十分重要的影响。随着植物群落的演替,凋落物组成成分日趋复杂,为土壤动物提供了更加多样化的食物源,加之逐渐改善的小生境,使得凋落物中土壤动物群落随之发生变化。演替顶极的栲树群落凋落物成分十分丰富,其中的土壤动物类群数和个体数量都达到了最高;而在演替后期的木荷群落,凋落物的组成较简单,其中的土壤动物类群数和个体数量都较低,接近演替初期。其次,凋落物各层的厚度对土壤动物个体数量影响较大,对各演替阶段凋落物各层厚度的调查表明,新鲜凋落物层、腐叶层和腐殖土层的厚度随着植物群落的演替大体上呈增加的趋势,但发现马尾松群落和木荷群落中间腐叶层相对较厚,新鲜凋落物层和腐殖土层都较薄,这也是造成这两个群落土壤动物在中间腐叶层大量聚积的原因之一。第三,不同分解程度的凋落物为土壤动物提供了不同质地、质量的食物源和栖息小环境,这决定了土壤动物类群和个体数量在凋落物中的垂直分布,大量的中小型土壤动物聚积在半分解和完全分解的凋落物层中。此外,冬季的地面低温也使许多土壤动物向下层移动,造成土壤动物大量聚积在中间腐叶层和底部腐殖土层。该地区冬季较干燥,降雨不是影响冬季凋落物中土壤动物分布的主要因素。关于凋落物质量对其中土壤动物群落的影响有待于进一步研究。

References:

- [1] Wardle D A, Bardgett R D, *et al.* Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 2004, **304**: 1629~1633.
- [2] Sugden A, Stone R & Ash C. Ecology in the Underworld. *Science*, 2004, **304**: 1613.
- [3] Addison J A, Trofymow J A & Marshall V G. Functional role of Collembola in successional coastal temperate forests on Vancouver Island, Canada. *Applied Soil Ecology*, 2003, **24**: 247~261.
- [4] Bardgett R D, Wardle D A. Herbivore-mediated linkages between aboveground and belowground communities. *Ecology*, 2003, **84**(9): 2258~2268.
- [5] Gerlindde, B De Deyn, Ciska, E, Raaijmakers, H Rik Zoomer, *et al.* Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity. *Nature*, 2003, **6933**: 711~713.
- [6] Bradford M A, Jones T H, Bardgett R D, *et al.* Impacts of soil faunal community composition on model grassland ecosystems. *Science*, 2002, **298**: 615~618.
- [7] Gange A C & Brown V K. Soil food web components affect plant community structure during early succession. *Ecological Research*, 2002, **17**(2): 217~227.
- [8] Copley J. Ecology goes underground. *Nature*, 2000, **406**: 452~454.
- [9] Gange A C. Arbuscular mycorrhizal fungi, Collembola and plant growth. *Trends in Ecology and Evolution*, 2000, **15**(9): 369~372.
- [10] Wardle D A. How soil food webs make plants grow. *Trends in Ecology and Evolution*, 1999, **14**(11): 418~420.
- [11] Brown V K, Gange A C. Differential effects on of above-and below-ground insect herbivory during early plant succession. *Oikos*, 1989, **54**: 67~76.
- [12] Brown V K, Gange A C. Secondary plant succession: how is it modified by insect herbivory? *Vegetatio*, 1992, **101**: 3~13.
- [13] Li C D, Xiao N N, Yang D R, *et al.* Comparison of the community component of soil animals on the fragments of tropical rain forest in Xishuangbanna, Yunnan. *Zoological Research*, 1997, **18**(1): 45~49.
- [14] Liao C H, Li J X, Huang H T. Soil animal community diversity in the forest of the southern subtropical region, China. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, **17**(5): 449~555.
- [15] Zhang X P, Hou W L, Chen P. Soil animal guilds and their ecological distribution in the northeast of China. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.*, 2001, **7**(4): 370~374.
- [16] Wang Z Y, Zhu Y H, Lu Y C, *et al.* The ecological distribution of soil collembola in Jiuhua Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**

- (7); 1142~1147.
- [17] Yang X D, Sha L Q. Species composition and diversity of soil mesofauna in the "HolyHills" fragmentary tropical rain forest of Xishuangbanna, China. *Chinses Journal of Applied Ecology*, 2001, **12**(2): 261~265.
- [18] Xu G L, Huang Z L, OuYang X J, *et al.* Diversity of aboveground invertebrates in Dinghushan and its correlation with litter. *Zoological Research*, 2002, **23**(6): 477~482.
- [19] Wang Q F, Wang Z Y. Study on the soil animal community in Lushan Mountain. *Journal of Anhui Normal University(Natural science)*, 2003, **26**(2): 180~185.
- [20] Yin X Q, *et al.* *Study on forest soil animals in the northeast of China*. Changchun: Northeast Normal University Press, 2001.
- [21] Zhang Q F, Song Y C, Wu H Q, *et al.* Dynamics of litter amount and its decomposition in different successional stages of ever-green broad-leaf forest in Tiantong, Zhejiang Province. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, **23**(3): 250~255.
- [22] Song Y C, Wang X R. *Vegetation and flora of Tiantong National Forest Park Zhejiang Province*. Shanghai: Shanghai Scientific Technology Document Press, 1995.
- [23] Ding S Y. Comparison of soil characteristics under different successive communities of evergreen broad-leaved forest. *Journal of He'nan University (Nature Science)*, 1999, **29**(3): 92~96.
- [24] Ding S Y. The causes of *Castanopsis fargasii* and *Schima superba* being dominant species of series of evergreen broad-leaved forest in Zhejiang, Tiantong. *Journal of Henan University (Nature Science)*, 2001, **31**(1): 79~83.
- [25] Xin J L, *et al.* *Knowledge about soil animals*. Beijing: Science Press, 1986.
- [26] Yin W Y, *et al.* *Soil animals of China*. Beijing: Science Press, 2000.
- [27] Yin W Y, *et al.* *Pictorial keys of soil animals of China*. Beijing: Science Press, 1998.
- [28] Zheng L Y, Gui H. *Insect classification*. Nanjing: Nanjing Normal University Press, 1999.
- [29] Ding Q Y. *Mathematics ecology of insect*. Beijing: Science Press, 1994.
- [30] Ke X, Zhao L J, Yin W Y. Succession of collembola community structure during decomposition of leaves in *Cyclobalanopsi sglauc*a forest. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(6): 982~987.
- [31] Yan D R. A study on humus characteristic of artifical forest and soil enzyme activity. *Forestry Science & Technology*, 1997, **22**(5): 10~12.
- [32] Ponge Jean-Francois. Humus forms in terrestrial ecosystems: a framework to biodiversity. *Soil Biology & Biochemistry*, 2003, **35**(7): 935~945.
- [33] Wu C Z, Hong W, Jiang Z L, *et al.* Advances in research of forest litter-fall in China. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2000, **22**(3): 406~410.

参考文献:

- [13] 李朝达,肖宁年,杨大荣,等. 西双版纳片断热带雨林土壤动物组成的比较. *动物学研究*, 1997, **18**(1): 45~49.
- [14] 廖崇惠,李健雄,黄海涛. 南亚热带森林土壤动物群落多样性研究. *生态学报*, 1997, **17**(5): 449~555.
- [15] 张雪萍,侯威岭,陈鹏. 东北森林土壤动物同功能种团及其生态分布. *应用与环境生物学报*, 2001, **7**(4): 370~374.
- [16] 王宗英,朱永恒,路有成,等. 九华山土壤跳虫的生态分布. *生态学报*, 2001, **21**(7): 1142~1147.
- [17] 杨效东,沙丽清. 西双版纳“龙山”片断热带雨林中小型土壤动物群落组成与多样性研究. *应用生态学报*, 2001, **12**(2): 261~265.
- [18] 徐国良,黄忠良,欧阳学军,等. 鼎湖山地表无脊椎动物多样性及其与凋落物的关系. *动物学研究*, 2002, **23**(6): 477~482.
- [19] 汪权方,王宗英. 庐山土壤动物群落结构研究. *安徽师范大学学报(自然科学版)*, 2003, **26**(2): 180~185.
- [20] 殷秀琴,等. 东北森林土壤动物研究. 长春: 东北师范大学出版社, 2001.
- [21] 张庆费,宋永昌,吴化前,等. 浙江天童常绿阔叶林演替过程凋落物数量及分解动态. *植物生态学报*, 1999, **23**(3): 250~255.
- [22] 宋永昌,王祥荣. 浙江天童国家森林公园的植被和区系. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1995.
- [23] 丁圣彦. 常绿阔叶林演替系列群落下土壤性质的比较. *河南大学学报(自然科学版)*, 1999, **29**(3): 92~96.
- [24] 丁圣彦. 浙江天童常绿阔叶林演替系列栲树和木荷成为优势种的原因. *河南大学学报(自然科学版)*, 2001, **31**(1): 79~83.
- [25] 忻介六编著. 土壤动物知识. 北京: 科学出版社, 1986.
- [26] 尹文英,等著. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社, 2000.
- [27] 尹文英,等著. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
- [28] 郑乐怡,归鸿. 昆虫分类. 南京: 南京师范大学出版社, 1999.
- [29] 丁伙岩. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社, 1994. 442~456.
- [30] 柯欣,赵立军,尹文英. 青冈林土壤跳虫群落结构在落叶分解过程中的变化. *生态学报*, 2001, **21**(6): 982~987.
- [31] 闫德仁. 人工林土壤腐殖质特性和土壤酶活性的研究. *林业科技*, 1997, **22**(5): 10~12.
- [33] 吴承祯,洪伟,姜志林,等. 我国森林凋落物研究进展. *江西农业大学学报*, 2000, **22**(3): 406~410.