江苏常熟虞山土壤动物群落多样性研究

苏永春 勾影波 郁 达 王继元

(江苏常熟高等专科学校生物系, 常熟 215500)

摘要:对江苏省常熟市虞山国家森林公园内的土壤动物进行了调查,共采得土壤动物样本 3916 个,隶属于 5 门 10 纲,共 26 类群。蜱螨目、弹尾目和线虫纲是优势类群,占个体总数的 88.22%,它们构成了该地区土壤动物的主体。针对阔混交林、竹林和茶园的土壤动物群落结构分析表明:土壤动物密度、类群数、多样性指数(H')、密度-类群指数(DG)和多群落比较多样性指数(DIC)排序均为阔混交林>茶园>竹林。茶园的均匀度指数最高。竹林的优势度指数最大。不同群落的相似性(q)分析表明,3 种生境的土壤动物群落两两间的相似性指数 q 均大于 0.5,都达到了中等相似水平。土壤动物的类群数垂直分布有明显差异,类群数向下逐渐减少。

关键词:虞山,土壤动物,群落多样性

中图分类号:Q958 文献标识码:A 文章编号:1005-0094(2004)03-0333-06

Diversity of soil invertebrate communities at Yushan Hill, Changshu, Jiangsu Province

SU Yong-Chun, GOU Ying-Bo, YU Da, WANG Ji-Yuan
Department of Biology, Changshu College, Changshu, Jiangsu 215500

Abstract: A preliminary study on the diversity of soil invertebrate communities was conducted at Yushan Hill, Changshu, Jiangsu Province. Twenty-six taxa of invertebrates were identified, belonging to 10 classes and five phyla, of which Acarina, Collembola and Nematoda were dominant, accounting for 88.2% of the total individuals. Vegetations at Yushan Hill were grouped into three categories: pine-broad-leaf mixed forest, tea garden and bamboo forest. Pine-broad-leaf mixed forest ranked the highest in taxon and individual numbers of invertebrates, H' index, DG index and DIC index. The lowest was in the bamboo forest. Evenness (J) of invertebrates in the three categories showed a complex pattern of variation: the highest value was observed in tea garden and the lowest in bamboo forest. The invertebrate community in bamboo forest had the highest Simpson index (C) compared with the other two forests. The results also showed that the similarity (q) of soil invertebrates among these three forests was moderate ($q > 0.5$) in all communities. The numbers of groups in soil decrease rapidly with increase in depth of soil layer.

Key words: Yushan Hill, biodiversity, soil invertebrate

土壤动物是土壤生态系统中的重要组成部分,其数量大、种类多,与土壤微生物和植物根系等构成了地下生物群落,其活动对土壤的物质循环和能量转化有着重要的作用。土壤动物在优化土壤结构和检测环境污染等方面也起着重要的作用。150 多年前欧洲开始对土壤无脊椎动物进行研究,至今已经取得了很大进展。我国自 20 世纪 20 年代起开始有学者从事某一类群的土壤动物研究,近十多年来土壤动物学的研究更是全面展开(田家怡等,2001)。

在东北地区、黄河三角洲、南亚热带等地都有土壤动物学方面的研究(苏永春等,2001;田家怡等,2001;廖崇惠等,1997)。地处长江三角洲的虞山国家森林公园的生态保护和前景越来越受到人们的重视,而土壤动物方面的研究还是空白。对虞山土壤动物进行研究,不仅有利于了解虞山土壤生态状况,而且能为森林、茶园和竹林等不同环境的生态管理及植被保护提供基础资料。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

江苏省常熟市虞山国家森林公园位于江苏南部,地理位置为 120°40'E,31°36'N,最高峰海拔 263 m。属于北亚热带南部温湿气候区,年平均气温 15.4℃,大于 10℃ 的年积温为 4250-4750℃。全年降雨量 1047.7 mm,4-9 月雨水相对集中,月降雨量 100 mm 以上。年平均相对湿度为 80% 左右。年均无霜期为 242 天。土壤类型为黄棕壤(常熟地方志编纂委员会,1993)。山林面积 115 hm²,森林覆盖率达 96.6%。我们对虞山国家森林公园中的针阔混交林、茶园及宝岩生态观光园的竹林等几个代表性生境中的土壤动物进行了调查研究。

针阔混交林概况:为次生针阔混交林,植被保护状况比较好。样地中的植被主要是由马尾松(*Pinus massoniana*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、麻栎(*Quercus acutissima*)和冬青(*Ilex chinensis*)等乔木,茅莓(*Rubus parvifolius*)等灌木,以及草本植物和苔藓构成。

竹林概况:虞山宝岩生态观光园竹林为人工毛竹林,种植于 20 世纪 80 年代。竹林周围有栅栏,每年砍伐部分竹子。植物群落单调,地面少有其他植物分布。

茶园概况:虞山维摩山庄茶园,土壤 pH 值为 5-6.5。茶种植期为 20-30 年。每年 2 月和 5 月底翻土,9 月底翻根。2、5、7 月分别施用尿素和绿肥。

1.2 研究方法

调查工作分别在 2001 年 4、5、9 月和 2002 年 3、4、5 月共分 6 次进行,每次调查 9 个样方,其中针阔混交林 3 个样方,竹林 3 个样方,茶园 3 个样方。每个样方进行多点取样。中、小型土壤动物的取样方法为:先挖掘土壤剖面,按 0-5 cm、5-10 cm、10-15 cm 分 3 个层,用 50 cm³ 和 100 cm³ 土壤环刀取样,土样放在土壤袋内带回实验室,采用 Tullgren 法(干漏斗法)和 Baermann 法(湿漏斗法)进行分离鉴定。大型土壤动物的取样方法为:按 0-5 cm、5-10 cm、10-15 cm 分 3 个层,取 50 cm×50 cm 的土样,采用手拣法进行分类计数。样本分类鉴定到纲、目或科(陈鹏,1983;Jun-ich,1973;南开大学等,1981;尹文英等,1992,1998)。为了减少计算误差,将土壤动物采集数转换为密度进行统计(个/

m²)。

1.3 土壤动物群落多样性分析计算公式

(1)Shannon-Wiener 多样性指数(Shannon & Wiener,1949):

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

其中 $P_i = n_i/N$, n_i 为第 i 类群的个体数, N 为群落中所有类群的个体总数。

(2)Pielou 均匀度指数(Pielou,1975):

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

式中 H' 为 Shannon-Wiener 多样性指数, S 为类群数。

(3)Simpson 优势度指数(王宗英等,1991):

$$C = \sum P_i^2$$

P_i 为 Shannon-Wiener 多样性指数。

(4)密度-类群指数(廖崇惠等,1997):

$$DG = (g/G) \times \sum (D_i/D_{i\max})$$

式中 D_i 为第 i 类群的密度, $D_{i\max}$ 为各群落中第 i 类群的最大密度。

(5)多群落比较的多样性指数(廖崇惠等,1997):

$$DIC = (g/G) \sum [1 - |X_{i\max} - X_i| / (X_{i\max} + X_i)] C_i/C$$

式中 $X_{i\max}$ 为多群落中第 i 类群的最大个体数, X_i 为要测的群落中第 i 类群的个体数, g 为群落的类群数, G 为各群落所包含的总类群数, C_i/C 为在 C 个群落中第 i 类群出现的比率。

(6)Jaccard 指数(马克平,1994):

$q = c/(a+b-c)$, 式中 a 为群落 A 类群数, b 为群落 B 类群数, c 为群落 A、B 共有类群数。当 $0 < q < 0.25$ 时,极不相似;当 $0.25 \leq q < 0.50$ 时,中等不相似;当 $0.50 \leq q < 0.75$ 时,中等相似;当 $0.75 \leq q < 1.00$ 时,极相似。

2 结果与讨论

2.1 土壤动物的种类组成和数量

通过对虞山的针阔混交林、竹林和茶园的调查,共采集土样 486 份,采得土壤动物样本 3916 个,隶属于 5 门 10 纲,共 26 个类群。在所测量的两个年度中土壤动物平均数无显著差异,季节性波动变化差异也不显著。

0-15 cm 土壤层中土壤动物平均数量为 26 660 个/m²。其中,蛴螬类、弹尾类和线虫类分别占土壤动物个体总数的 45.76%、32.45% 和 10.01%,合计

占 88.22% ,在数量上为该地区土壤动物的优势类群(占总数的 10% 以上)。这与北方的有关研究结果相似(苏永春等 ,2001)。虞山土壤动物的常见类群(占总数的 1% -10%)是线蚓类、双尾类、膜翅目和结合纲动物 ,它们的数量相对较多 ,合计占土壤动物个体总数的 8.71%。其他为稀有类群(占总数 1% 以下) ,数量合计占土壤动物个体总数的 6.10%。而稀有动物类群的类群数则占类群总数的 73.08%(表 1)。这表明了该地区土壤动物类群的多样性主要取决于常见类群和稀有类群。优势类群中的中、小型土壤动物的个体小 ,数量多 ,在土壤中最为活跃 ,并且它们的分布范围广泛 ,对微生物的分散起一定作用 ,同时土壤动物对有机物的机械粉碎作用使微生物和有机质的接触面积显著增大 ,提高

微生物的分解效率 ,从而在调节土壤物质转化和能量流动方面起重要作用。某些大型的稀有动物类群 ,如蚯蚓、蚁类、鞘翅目等土壤动物的个体较大 ,对土壤的物质转化和能量代谢也起着重要的作用。

针阔混交林、茶园与竹林的土壤动物密度和类群数的比较结果表明 ,针阔混交林 > 茶园 > 竹林。其中针阔混交林 23 个类群 ,茶园 13 个类群 ,竹林 17 个类群。不同群落间相比 ,大型动物类群的个体密度差距相差很大 ,中、小型土壤动物密度差别相对小一些 ,可能是因为中、小型土壤动物对环境的依赖性小(王振中等 ,1990)。

2.2 土壤动物的群落结构分析

常熟虞山国家森林公园针阔混交林下土壤动物的群落结构属于优质类型。土壤动物的数量和土壤

表 1 土壤动物群落组成和数量
Table 1 Group composition and quantity of soil invertebrate in three different habitats at Yushan Hill , Changshu , Jiangsu Province

动物类群 Taxa	混交林 Mixed forest (ind. /m ²)	竹林 Bamboo forest (ind. /m ²)	茶园 Tea garden (ind. /m ²)	平均 Average (ind. /m ²)	占总数百分比 Percentage (%)	丰度 Abundance
线虫纲 Nematoda	2840	1190	3980	2670	10.01	+++
弹尾目 Collembola	11 340	5970	8640	8650	32.45	+++
蜱螨目 Acarina	15 400	8350	12 850	12 200	45.76	+++
双尾目 Diplura	1532	143	725	800	3.00	++
膜翅目 Hymenoptera	367.6	243	756.3	455.6	1.71	++
线蚓科 Enchytraeidae	1224	101	815	713.3	2.68	++
结合纲 Symphyla	546	102.3	405	351.1	1.32	++
多足纲 Myriapoda	329	84	277	230	0.86	+
倍足纲 Diplopoda	214.8	—	125.4	113.4	0.43	+
后孔寡毛目 Opisthopora	207	142	331	226.7	0.85	+
蜘蛛目 Araneida	137	33	73.3	81.1	0.30	+
缨翅目 Thysanura	43	16.6	90.4	50	0.19	+
鞘翅目 Coleoptera	74.2	—	59	44.4	0.17	+
鳞翅目 Lepidoptera	35.1	48.3	26.7	36.7	0.14	+
拟蝎类 Pseudoscorpionida	23	—	—	7.7	0.029	+
蛞蝓类 Turbellaria	—	—	6.5	2.2	0.008	+
原尾目 Protura	16.7	—	—	5.6	0.021	+
直翅目 Orthoptera	—	—	8	2.7	0.010	+
双翅目 Diptera	10.5	—	—	3.5	0.013	+
等足目 Isopoda	9	—	—	3	0.011	+
蜚蠊目 Blattoptera	8	—	—	2.7	0.010	+
等翅目 Isoptera	7.5	—	—	2.5	0.009	+
同翅目 Homoptera	7	—	—	2.3	0.009	+
革翅目 Dermaptera	5	2.5	—	2.5	0.009	+
半翅目 Hemimptera	5.5	—	—	1.8	0.008	+
腹足纲 Gastropoda	—	—	4	1.3	0.005	+
总计 Total	34 381.4	16 425.7	29 172.6	26 660.1	100	

+++ 为优势类群 Dominant groups ; ++ 为常见类群 Ordinary groups ; + 为稀有类群 Rare groups

动物的类群数都较多,达到 23 个类群,这与南亚热带常绿阔叶林(廖崇惠等,1997)以及黄河三角洲地区(田家怡等,2001)的土壤动物类群数相近。而竹林土壤动物的类群数较少,仅有 13 个类群。在所调查的 3 种土壤生态环境中,有 12 个土壤动物类群是共有类群,说明不同植被土壤中动物类群结构有差异。本地区总体土壤动物类群的分布与我国的其他地区也有差异。与黄河三角洲地区(田家怡等,2001)有 10 个共有类群,Jaccard 相似性指数(q)为 0.26,为中等不相似水平,类群结构差距较大。与南亚热带森林的天然阔叶林、次生林(廖崇惠等,1997)有 20 个共有类群,Jaccard 相似性指数(q)为 0.69,达到了中等相似水平(Jun-ich,1973),说明该地区土壤动物类群结构的组成与南亚热带常绿阔叶林近似。

多样性指数(H')的排序为:针阔混交林>茶园>竹林。针阔混交林的土壤动物类群数多,多样性指数最高($H'=1.4425$),这与土壤动物类群数的排序是一致的。均匀度指数(J)的排序为:茶园>针阔混交林>竹林,茶园的均匀性指数最高($J>0.5$),表明土壤动物的数量和类群数分布相对比较均匀。优势度指数(C)的排序为:竹林>针阔混交林>茶园,说明竹林的优势种群比较集中($C=0.3962$)。因为群落优势度指数反映优势种群的集中程度,它与多样性及均匀性指数相反(表 2)。但是均匀度指标分析表明,3 种植被环境的数值差距不大,在 0.40-0.52 之间,说明它们的土壤动物群落结构可能达到的程度相近;其中茶园土壤动物群落的均匀度指数相对较高,为 0.5125,个体分布最均匀。

采用密度-类群指数(DG)和多群落比较的多样性指数(DIC)分析(廖崇惠等,1997)所得的结果基本一致,两者都可以对群落间的生物多样性进行比较。 DG 值排序结果为:针阔混交林(19.4105)>茶园(9.0131)>竹林(2.331); DIC 值排序为针阔混交林(13.6313)>茶园(8.1552)>竹林(3.0657)。两种指数的排序和变化趋势基本相同,两个指标的变化趋势与土壤动物密度和多样性指数排序一致(表 2)。表明该地区土壤动物分布的异质性。反映生物多样性综合指标的 DG 指数基本上体现了 3 种土壤生态环境的生态特性。总体综合分析表明土壤生态环境评价的优质程度依次是:针阔混交林土壤>茶园土壤>竹林土壤。

采用 Jaccard 指数(q)(马克平,1994)分析不同

群落的相似性结果表明,针阔混交林和竹林的相似性系数为 0.5417,竹林与茶园的相似性系数为 0.6667,针阔混交林与茶园的相似性系数为 0.5185。3 种生态环境的群落相似性系数的两两比较结果均大于 0.5,都达到了中等相似水平(Jun-ich,1973),其中竹林与茶园土壤动物群落的相似性系数最高。说明虞山各种生境土壤动物生态特性的差异不大。Jaccard 指数对不同群落的相似性分析主要是以群落中的类群数作为基本的生态信息进行对比研究,而避开不同群落中各类群的丰度比较。因此 Jaccard 系数对分析大尺度的群落差异性可能更有实际意义,而对同一地区不同植被下的土壤动物多样性分析时,由于所采用的原始信息比较单一,就显示出它的不全面性。上述分析结果表明,针阔混交林、茶园和竹林 3 种植被的土壤生态环境的群落多样性是有很大差异的。

试验结果分析表明,除了均匀度和优势度外的其他各项指标的排序一致。其中,针阔混交林下土壤动物多样性指标最好,竹林下的土壤生态多样性指标最差。尽管有学者认为(廖崇惠等,1997)土壤动物的多样性指数只能用来测度分类范围不大、生态功能比较接近的种类所组成的群落,只宜于说明群落本身的多样性可能达到的程度,不能作群落间比较。但是对同一地区不同植被下土壤动物的比较分析很有用。这对整个生态环境的评价都是很好的理论支持,对虞山国家森林公园土壤生态环境的监测,提供了一个基准点,也为将来更深入地进行土壤生态学研究奠定一个良好的基础。

2.3 土壤动物的垂直分布

本研究表明,在 0-15 cm 土层中,针阔混交林与竹林的蚯蚓、蚁类和鞘翅目等大型土壤动物的数量由表层到深层急剧减少,茶园中的大型土壤动物各层间数量变化不大。在针阔混交林和茶园中,蜱螨类、弹尾类和线虫等数量占优势的中、小型土壤动物,其数量的垂直分布相对比较均匀;在竹林中土壤动物数量由表层向下逐渐增多(表 3)。调查结果还显示,土壤动物在类群数方面的垂直分布都是从上到下明显减少,0-5 cm 土层中类群数占类群总数的 92.30%,5-10 cm 土层中占 76.92%,10-15 cm 土层中占 53.85%,这说明土壤动物的表聚性很强,对环境的依赖性大(Debauche,1962)。大型土壤动物表聚性尤其明显。

表 2 3 种生态环境中土壤动物群落的几项重要指标

Table 2 Some important indexes of soil invertebrate communities in three habitats at Yushan Hill , Changshu , Jiangsu Province

生境 Habitat	类群数 Number of groups (S)	个体数 Number of individuals (N)	个体密度 Density (ind. /m ²)	多样性 Diversity (H')	均匀度 Evenness (J)	优势度 Dominance (C)	密度-类 群指数 DG index	多群落比 较的多样性 DIC index
混交林 Mixed forest	23	1683	34 381.4	1.4425	0.4539	0.3200	19.4105	13.6313
竹林 Bamboo forest	13	805	16 425.7	1.1558	0.4079	0.3962	2.331	3.0657
茶园 Tea garden	17	1428	29 172.6	1.3144	0.5125	0.3029	9.0131	8.1552

表 3 土壤动物类群数量的垂直分布

Table 3 Vertical distribution of soil invertebrate groups at Yushan Hill , Changshu , Jiangsu Province

生境 Habitat	类群 Groups	0 – 5 cm (ind. /m ²)	5 – 10 cm (ind. /m ²)	10 – 15 cm (ind. /m ²)
混交林 Mixed forest	I	10 320	10 210	9050
	II	2721.4	1520	560
竹林 Bamboo forest	I	3590	5510	6410
	II	610	229.7	75
茶园 Tea garden	I	8170	8850	8450
	II	1266.6	1274	1162
平均 Average	I	7360.0	8190.0	7970
	II	1533.4	1007.9	598.8

I 为优势类群 Dominant groups ; II 为其他类群 Other groups

3 结论

共采得土壤动物样本 3916 个 ,隶属于 5 门 10 纲。其中蜚螨类、弹尾类和线虫类为优势类群 ,数量分别占土壤动物个体总数的 45.76%、32.45% 和 10.01% ,合计为 88.22%。它们构成了虞山土壤动物数量的主体。

土壤动物的群落结构分析表明 :土壤动物密度、类群数、多样性指数、密度-类群指数和多群落比较的多样性指数排序均为针阔混交林 > 茶园 > 竹林。茶园土壤动物的均匀度指数最高。竹林土壤动物的优势度指数最大。不同群落的相似性分析表明 ,3 种生态环境的群落两两比较的相似性系数(q)均大于 0.5 ,都达到了中等相似水平。其中竹林与茶园土壤动物群落的相似性系数最高。

土壤动物的类群数垂直分布有明显差异 ,类群数向下逐渐减少。

参考文献

Changshu Chorography Compile Committee (常熟地方志编纂委员会) . 1993. *Changshu General View* (常熟概览) . Jiangsu People's Press, Nanjing, 1 – 26. (in Chinese)

Chen, P. (陈鹏) . 1983. Collection and survey methods for soil animal. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志) , 2(3): 46 – 51. (in Chinese with English abstract)

Debauche, H. R. 1962. The structure analysis of animal communities of the soil. In: Murphy, P. W. (ed.), *Progress in Soil Zoology*. Butterworths, London, 10 – 25.

Liao, C. H. (廖崇惠) , Li, J. X. (李健雄) and Huang, H. T. (黄海涛) . 1997. Soil animal community diversity in the forest of the southern subtropical region, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报) , 17: 549 – 554. (in Chinese with English abstract)

Jun-ich, A. 1973. *Soil Zoology*. Beilonwan Press, Tokyo. (in Japanese)

Ma, K. P. (马克平) . 1994. The measurement of community diversity. In: Qian, Y. Q. (钱迎倩) and Ma, K. P. (马克平) (eds.), *Principles and Methodologies of Biodiversity Studies*(生物多样性研究的原理与方法) . Chinese Science and Technology Press, Beijing, 141 – 165. (in Chinese)

Nankai University(南开大学) , Sun Yat-sen University(中山大学) , Peking University(北京大学) , Sichuan University (四川大学) and Fudan University (复旦大学) . 1981. *Insectology* (昆虫学) . People's Education Press, Beijing. (in Chinese)

Pielou, E. C. 1975. *Mathematical Ecology*. John Wiley & Sons Inc. , New York.

Shannon, C. E. and Wiener, W. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois, Urbana, 117.

Su, Y. C. (苏永春), Gou, Y. B. (勾影波), Zhang, Z. H. (张忠恒) and Zhang, C. B. (张崇邦). 2001. Ecology characters of soil faunas and microorganisms in the northeast heavy frigid region of China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **21**: 1613 – 1619. (in Chinese with English abstract)

Tian, J. Y. (田家怡), Pan, H. J. (潘怀剑) and Fu, R. S. (傅荣恕). 2001. Study on soil animal diversity in the Yellow River Delta. *Biodiversity Science* (生物多样性), **9**: 228 – 236. (in Chinese with English abstract)

Wang, Z. Y. (王宗英), Lu, Y. C. (路有成) and Chen, F. Y. (陈发扬). 1991. Community structures of soil fauna on the hilly tea garden, southern Anhui Province. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), **46**: 213 – 223. (in Chinese with English abstract)

Wang, Z. Z. (王振中), Zhang, Y. M. (张友梅) and Hu, J. L. (胡觉莲). 1990. Study of the soil animal community structure in the forest ecosystem of the area of the Yuelu Mountain in Changsha, China. *Journal of Natural Science of Hunan Normal University* (湖南师范大学自然科学学报), **13**: 268 – 274. (in Chinese with English abstract)

Yin, W. Y. (尹文英), Shen, Y. F. (沈韞芬) and Song, D. X. (宋大祥). 1992. *Subtropical Soil Animal of China* (中国亚热带土壤动物). Science Press, Beijing, 1 – 618. (in Chinese)

Yin, W. Y. (尹文英), Hu, S. H. (胡圣豪), Shen, Y. F. (沈韞芬), Ning, Y. Z. (宁应之), Sun, X. D. (孙希达), Wu, J. H. (吴纪华), Zhuge, Y. (诸葛燕), Zhang, Y. M. (张云美), Wang, M. (王敏), Chen, J. Y. (陈建英), Xu, C. G. (徐成纲), Liang, Y. L. (梁彦龄), Wang, H. Z. (王洪铸), Yang, T. (杨潼), Chen, D. N. (陈德牛), Zhang, G. Q. (张国庆), Song, D. X. (宋大祥), Chen, J. (陈军), Liang, L. R. (梁来荣), Hu, C. Y. (胡成业), Wang, H. Y. (王慧英), Zhang, C. Z. (张崇洲), Kuang, P. R. (匡溥人), Chen, G. X. (陈国孝), Zhao, L. J. (赵立军), Xie, R. D. (谢荣栋), Zhang, J. (张骏), Liu, X. W. (刘宪伟), Han, M. Z. (韩美贞), Bi, D. Y. (毕道英), Xiao, N. N. (肖宁年) and Yang, D. R. (杨大荣). 1998. *Pictorial Keys of Soil Animals in China* (中国土壤动物检索图鉴). Science Press, Beijing. (in Chinese)

(责任编辑 : 闫文杰)