

山西临汾市郊土壤动物生态分布特征

任 婷 安建梅* 董 侃 陈 康

山西师范大学生命科学学院 临汾 041004

摘要: 为了解临汾市郊土壤动物群落多样性及其生态分布特征, 2009年4~10月间对山西省临汾市郊7个类型生境中(林地、农田、果园、道路绿化带、汾河滩涂废弃地、重金属污染区农田及林地)的土壤动物群落进行了调查, 采用手拣法和干漏斗法, 共捕获土壤动物个体5 842只, 隶属4门9纲25目。优势类群为弹尾目、蜉蝣目和膜翅目, 常见类群14种, 稀有类群8种。结果显示, 土壤动物个体数量因季节不同呈现出一定规律性, 即秋季>春季>夏季。土壤动物垂直分布上, 非污染区的1、2、3号样地表聚性明显, 中度污染区的4、5号样地表聚性不明显, 重度污染区的6、7号样地出现了逆分布现象。在群落多样性指数方面, 夏季除了均匀性指数外各项指数的波动比较大。在功能团方面, 临汾市郊腐食性动物比例最高, 尤其是在重金属污染区, 腐食性动物占到了很大比例。而在绿色植物比较茂密的2号样地, 植食性动物在数量上占优势。

关键词: 临汾市郊; 土壤动物; 多样性指数; 功能团

中图分类号: Q958.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2012)01-62-09

Ecological Distribution of Soil Animals in Linfen Suburban

REN Ting AN Jian-Mei* DONG Kan CHEN Kang

College of Life Science, Shanxi Normal University, Linfen 041004, China

Abstract: Community diversity and ecological distribution of soil animal in suburb of Linfen city was investigated by species surveying in 7 sites (woodland, farmland, orchard, road green belt, abandoned beach, heavy metal contaminated area of farmland and woodland) from April to October 2009. The soil in site 1, 2, and 3 is not polluted, in site 4 and 5 is moderate polluted and in site 6 and 7 heavily polluted. We totally captured 5 842 individuals of soil animal, representing 4 Phyla, 9 Classes, 25 Orders. Three Order, Collembola, Acarina and Hymenoptera, were dominant, 14 Orders were common and 8 Order rare in the samples. The individual abundance of soil animal was autumn > spring > summer. In the consideration of the soil animal vertical distribution, soil animals concentrated obviously in the surface layer (0–5 cm from surface) in site 1, 2 and 3, while in site 4 and 5 soil animals were almost equally in the layer 0–5 cm, 5–10 cm, and 10–15 cm from surface, then reduced in layer 15–20 cm; However, more individuals of soil animal were collected from layer 5–10 cm and 10–15 cm than from surface layer in site 6 and 7. Species diversity index (H'), dominant index (C), and richness index (D), varied more greatly in summer, while evenness index was relatively stable. The proportion of saprophagous animals was highest in the heavy metal polluted site, while phytophage animal was dominant in site 2 covered by wheat.

基金项目 山西师范大学大学生创新实验项目(No. SD2010CXSXY-17), 山西师范大学校级自然科学项目(No. ZR1014);

* 通讯作者, E-mail: anjianmei@hotmail.com;

第一作者介绍 任婷, 女, 硕士研究生; 研究方向: 动物生态学; E-mail: rendating0613@126.com。

收稿日期: 2011-06-11, 修回日期: 2011-11-21

Key words: Linfen Suburban; Soil animals; Diversity index; Functional group

土壤动物是生态系统的重要组成部分,在土壤的形成、发育、物理结构、化学性质等方面发挥着重要的作用。随着土壤动物学研究的逐步深入,国外学者对土壤动物群落功能,如土壤动物对环境的指示作用^[1]、物质循环和能量转化中功能^[2]、与土壤环境因素的相互关系^[3]等开展了相关研究。国内学者主要针对一些自然生态系统中,如森林生态系统^[4-5]、人工生态系统^[6],以及经济作物,如橘园和枣园土壤动物^[7-8]等进行了相关研究。近年来,国外对土壤动物的研究倾向于森林和草地,且大多将土壤动物的研究与微生物联系起来,如土壤节肢动物与昆虫真菌^[9],森林群落中微生物和中小型土壤动物的研究^[10-11],等等。对农田土壤动物的研究较少,仅有少数学者通过连续几年的田间试验,结合田间垃圾、植被多样性对土壤动物进行研究^[12]。国内学者近年来开始进行关于城市土壤动物的报道。目前对城市土壤动物的研究主要集中在城市生态系统中不同的土地利用类型^[13]、不同绿地^[14]以及土壤动物对污染响应^[15]等方面。这些研究的样地主要集中在公园绿地、苗圃绿地、道路绿地、人工林、菜地、农田等等,均为非污染区绿地。而关于城市周围非污染区与污染区之间的绿地类型进行对比研究的文章则少之又少。

临汾是山西省主要的粮棉产区之一,也是

山西省能源重化工基地之一。近年来,随着城市化进程加快,人类活动对城市周边土壤环境的影响逐渐加大,因此选择临汾市郊的7个具有代表性生态类型,对其土壤动物进行初步调查研究,以期了解临汾不同生态类型土壤动物群落特征和功能团特征,探讨不同生态类型土壤动物对土壤质量变化的响应,为临汾市市郊土壤动物群落的相关研究提供基础资料。

1 研究地区自然概况

临汾市地处山西省西南部,黄河中游,地理坐标为北纬 35°32' ~ 35°57',东经 111°23' ~ 112°33'。全市气候的主要特征是春季干旱多风,夏季酷热多暴雨,伏天旱雨交错,秋季阴雨连绵,冬季寒冷干燥,降雪稀少。一年中,气温波动较大。积温有效性高,是华北地区光能资源高值区。全市年平均气温介于 9 ~ 13℃之间,无霜期 160 ~ 200 d。降水主要分布在夏季,占全年降水量的 55% 左右,冬季降水量最少,只占年降水量的 3% ~ 4%^[16]。

2 研究地点与方法

2.1 选取样地 2009年4~10月对临汾市郊7个样地(图1)的土壤动物进行了初步调查,4、7、10三个月份分别代表春、夏、秋3个季节。样地基本情况见表1。

表 1 样地基本情况

Table 1 Sample sites information

样地 Sample	位置 Site	样地类型 Samples types	植被状况 Plant cover	周边状况 Ambient conditions
1号样地 Site 1	乔村	无污染区林地	乔木为柳树,夹杂有一些稀疏的草本	距离路面比较近,属于村间小道,污染较小
2号样地 Site 2	乔村	无污染区麦田	植被单一,为小麦,偶有杂草	周围全部是麦田
3号样地 Site 3	乔村	无污染区果园	桃园,有一些矮小的灌木、草本	周围有葡萄园、枣园等
4号样地 Site 4	滨河路	轻度污染的绿化带	道路绿化带,植被为冬青	周边车辆来往比较多,尾气排放量大
5号样地 Site 5	汾河	滩涂废弃地	荒地,有稀疏的草本生长	邻近汾河,周围有麦地,也有杂草丛生的荒地
6号样地 Site 6	临钢北方	重度污染的农田	小麦田,麦叶发黄,长势欠佳	南方为临钢厂区,常年受临钢厂区重金属污染,其余方向均为麦田
7号样地 Site 7	临钢东方	重度污染的林地	柳树林地,几乎无杂草	西邻临钢,旁边有部分麦田的枣树林地,且邻近国道,受到临钢和国道的不同程度的重金属污染



图1 样地分布图

Fig. 1 Sample distribution

2.2 样品的采集、分离、鉴定 在每个样地内选择3个样点。大型土壤动物的取样方法为每个样点设置一个50 cm × 50 cm的样方,分4层取样,分别为地面下0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm土层,用手捡法将所有大型土壤动物全部采集,并用75%的酒精保存。中小型土壤动物的采集方法为每个样点内取3个30 cm × 30 cm的小样方,即重复3次,然后每个小样方分4层,即地面下0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm土层,用100 cm³的土壤环刀取样,土样带回室内用干漏斗法分离提取土壤动物,并用75%的酒精保存。由于实验条件限制,本次实验不包括湿生动物。对所有采集到的土壤动物进行统计数量,并分类鉴定^[17]。

2.3 数据分析与处理

2.3.1 多度 土壤动物的多度按以下标准划分:个体数占总捕获量10.00%及以上者为优势类群,介于1.00%~10.00%之间的为常见类群,介于0.10%~1.00%为稀有类群,0.10%以下的为极稀有类群。

2.3.2 群落结构分析指数 (1) Shannon-Wiener 多样性指数: $H' = -\sum P_i \ln P_i$, 其中, $P_i = n_i/N$, n_i 为每个类群的个体数, N 为总个体数;

(2) Pielou 均匀度指数: $E = H'/\ln S$, H' 为 Shannon-Wiener 多样性指数, S 为类群数; (3) Simpson 优势性指数: $C = \sum (n_i/N)^2$, n_i 为每个类群的个体数, N 为总个体数; (4) Margalef 丰富度指数: $D = (S - 1)/\ln N$, N 为总个体数, S 为类群数。

3 结果与分析

3.1 各生境土壤动物群落组成 7个样地共采集1 008份土样,获取土壤动物个体数5 842只,隶属隶属于4门,即线虫动物门、环节动物门、软体动物门和节肢动物门,9纲,即线虫纲、寡毛纲、腹足纲、倍足纲、昆虫纲、蛛形纲、唇足纲、综合纲、甲壳纲,25目(表2)。

节肢动物是土壤动物的主要类群,而节肢动物中的蜱螨目和弹尾目因其数量多、分布广,成为绝大部分生境的优势类群。捕获的土壤动物中,优势类群为蜱螨目、弹尾目和膜翅目,其中,蜱螨目所占比例最大,占到了21.69%。常见类群包括线虫(2.02%)、蚯蚓(2.80%)、双尾目(1.85%)、双翅目(2.31%)、等足目(8.80%)、综合纲(1.47%)、等翅目(3.25%)、腹足纲(1.67%)、鞘翅目(3.57%)、鳞翅目(1.00%)、直翅目(1.34%)、同翅目(1.80%)、

缨翅目(1.90%)和拟蝎目(7.52%)。其余8类均为稀有类群。3个优势类群个体数占总个体数的55.86%,优势类群和常见类群所占比例为97.16%,他们构成了本次调查所得土壤动物的主体,其个体数远远超过稀有类群。

蜚蠊目和膜翅目是研究区7个样地中共有的优势类群;除样地6外,弹尾目是其他6个样地共有的优势类群。蚯蚓是7个样地共有的常见类群;鞘翅目是除了样地5之外,其他样地共有的常见类群;腹足纲是除了样地7之外,其他样地共有的常见类群。这几种常见类群分布较广泛,适应性强。倍足纲、半翅目、鳞翅目在个别样地中是常见类群,在其他样地中是稀有类群,甚至不出现。说明上述类群在各个样地中所占比例有较大差别。

调查期间,不同生境中采集的土壤动物的个体数量和类群数不尽相同。位于无污染区的2号样地(麦田)和3号样地(果园)的个体数量及类群数均较高,重金属污染区的6号样地和7号样地的土壤动物个体数及类群数较低。这一调查结果显示,城市周围不同生境土壤动物的水平分布有所不同。麦田和果园的植被覆盖率较高于其他样地,其土壤动物的个体数量和类群数均较高。故土壤环境良好的生境条件更有利于土壤动物的生存。

从表2中可以看出,6号样地和7号样地的多

样性指数偏低,而其优势度指数则明显偏高。2号样地和3号样地的各项群落指数都比较接近。

3.2 各生境土壤动物个体数的垂直分布 从各生境土壤动物数量的垂直分布来看(图2),其在各层的分布是不同的。1、2、3号样地均表现为,随土壤深度增加土壤动物数量逐渐减少,即符合土壤动物垂直分布的表聚性现象。4号样地各层土壤动物的数量从地表向下依次为262、239、218、102。0~5 cm层与5~10 cm层和10~15 cm层相比,其土壤动物数量优势不很明显。5号样地与4号样地类似。而对于6号样地,其4个土壤层中土壤动物数量从地表向下依次为163、241、205、111,7号样地为151、203、174、81。6、7号样地5~10 cm层和10~15 cm层中土壤动物数量超过了0~5 cm层,出现了逆分布现象。

3.3 土壤动物群落的季节变化 由表3可以看出,从研究区土壤动物多度的季节变化来看,蜚蠊目、膜翅目在3个季节中都是优势类群,其中,蜚蠊目最多。等足目是研究区3个季节中所占比例最大的常见类群,秋季所占比例最高,为夏季的2倍左右。春、夏、秋三季,土壤动物的类群组成一致,优势群落所占的比例均在60%左右,共有的常见类群主要为蚯蚓、综合纲、鞘翅目、腹足纲和等翅目。观察样地捕获的土壤动物个体数总量有明显的季节消长,由高

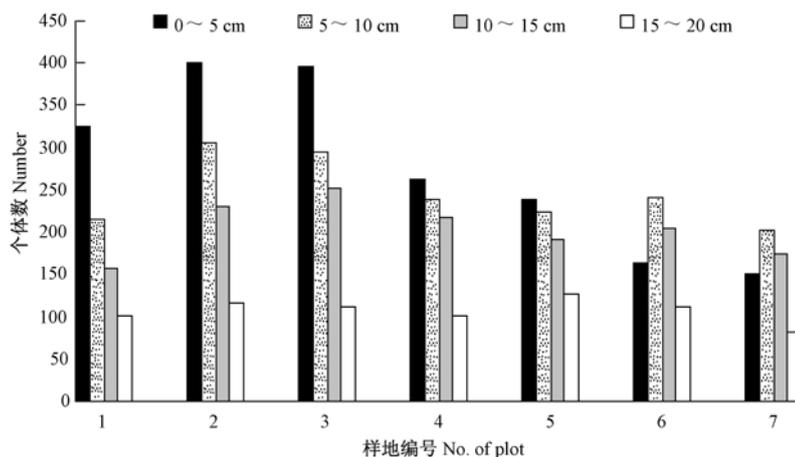


图2 各生境土壤动物个体数的垂直分布

Fig. 2 The vertical distribution of soil animal individual number in different habitats

表 2 研究区各样地土壤动物群落的组成、数量及功能类群比较

Table 2 Composition and amounts of individuals of soil fauna communities at the seven experimental plots in the study area

类群 Group	1 号样地 Site 1		2 号样地 Site 2		3 号样地 Site 3		4 号样地 Site 4		5 号样地 Site 5		6 号样地 Site 6		7 号样地 Site 7		频度 Frequency (%)	多度 Abundance	功能群 Functional
	数量 Number	比例 Ratio(%)															
线虫纲 Nematoda	16	2.00	15	1.42	17	1.61	19	2.31	1	0.13	22	3.06	22	3.61	2.02	++	
线虫科 Enchytraeidae	0	0.00	3	0.28	6	0.57	0	0.00	1	0.13	0	0.00	2	0.33	0.19	+	
蚯蚓 Pheretima	9	1.12	28	2.66	36	3.41	15	1.83	27	3.46	25	3.47	29	4.76	2.80	++	
蛴螬目 Acarina	94	11.75	207	19.64	162	15.33	193	23.51	114	14.60	232	32.22	212	34.81	21.69	+++	
弹尾目 Collembola	175	21.88	189	17.93	199	18.83	172	20.95	138	17.67	58	8.06	69	11.33	16.66	+++	腐食性动物 Saprophytic
原尾目 Protura	3	0.38	4	0.38	0	0.00	3	0.37	7	0.90	4	0.56	0	0.00	0.37	+	
双尾目 Diplura	20	2.50	23	2.18	18	1.70	4	0.49	18	2.30	12	1.67	13	2.13	1.85	++	
双翅目 Diptera	31	3.88	37	3.51	30	2.84	1	0.12	42	5.38	3	0.42	0	0.00	2.31	++	
等足目 Isopoda	86	10.75	26	2.47	32	3.03	73	8.89	196	25.10	31	4.31	43	7.06	8.80	++	
倍足纲 Diplopoda	9	1.13	8	0.76	5	0.47	0	0.00	0	0.00	7	0.97	0	0.00	0.48	+	
综合纲 Symphyla	22	2.75	26	2.47	33	3.12	2	0.24	12	1.54	1	0.14	0	0.00	1.47	++	
等翅目 Isoptera	50	6.25	71	6.74	59	5.58	2	0.24	11	1.41	10	1.39	7	1.15	3.25	++	
腹足纲 Gastropoda	26	3.25	31	2.94	27	2.55	11	1.34	0	0.00	9	1.25	2	0.33	1.67	++	
鞘翅目 Coleoptera	25	3.13	33	3.13	55	5.20	45	5.48	7	0.90	23	3.19	24	3.94	3.57	++	植食性动物 Phytophage
半翅目 Hemiptera	4	0.50	13	1.23	11	1.04	3	0.37	0	0.00	10	1.39	1	0.16	0.67	+	
膜翅目 Hymenoptera	154	19.25	196	18.60	194	18.35	157	19.12	110	14.08	137	19.03	86	14.12	17.51	+++	
鳞翅目 Lepidoptera	8	1.00	4	0.38	16	1.51	7	0.85	7	0.90	11	1.53	5	0.82	1.00	++	
直翅目 Orthoptera	27	3.38	14	1.33	31	2.93	5	0.61	9	1.15	0	0.00	0	0.00	1.34	++	植食性动物 Phytophage
同翅目 Homoptera	7	0.88	30	2.85	6	0.57	22	2.68	21	2.69	8	1.11	11	1.81	1.80	++	
缨翅目 Thysanoptera	1	0.13	43	4.08	23	2.18	36	4.38	15	1.92	2	0.28	2	0.33	1.90	++	
蜘蛛目 Araneae	0	0.00	8	0.76	1	0.09	3	0.37	0	0.00	3	0.42	0	0.00	0.23	+	
拟蝎目 Pseudoscorpionida	29	3.63	39	3.70	88	8.33	38	4.63	37	4.74	103	14.31	81	13.30	7.52	++	捕食性动物 Predacity
唇足纲 Chilopoda	4	0.5	3	0.28	7	0.66	6	0.73	3	0.38	2	0.28	0	0.00	0.40	+	

续表 2

类群 Group	1 号样地 Site 1		2 号样地 Site 2		3 号样地 Site 3		4 号样地 Site 4		5 号样地 Site 5		6 号样地 Site 6		7 号样地 Site 7		频度 Frequency (%)	多度 Abundance	功能群 Functional
	数量 Number	比例 Ratio(%)															
革翅目 Dermoptera	0	0.00	1	0.09	0	0.00	0	0.00	1	0.13	6	0.83	0	0.00	0.15	+	杂食性动物
蜚蠊目 Blattoptera	0	0.00	2	0.19	1	0.09	4	0.49	4	0.51	1	0.14	0	0.00	0.20	+	Omnivore
类群数 Group number	21		25		23		22		21		23		16				
个体数 Individual number	800		1 054		1 057		821		781		720		609				
多样性指数 Index of diversity (<i>H'</i>)	2.434 6		2.508 8		2.522 8		2.211 4		2.2646		2.196 5		2.050 6				
均匀性指数 Index of evenness (<i>E</i>)	0.799 6		0.779 4		0.804 6		0.715 4		0.7438		0.700 5		0.739 6				
优势度指数 Index of dominance (<i>C</i>)	0.122 4		0.119 9		0.112 2		0.152 7		0.1441		0.173 4		0.182 8				
丰富度指数 Index of richness (<i>D</i>)	2.991 9		3.448 1		3.159 5		3.129 4		3.0027		3.343 8		2.339 4				

+++ 优势类群; ++ 常见类群; + 稀有类群; — 极稀有类群; 比例: 某样地某物种数量占该样地个体总数的百分比; 频度: 某物种数量占总捕获量的百分比。
 +++ Dominant groups; ++ Common groups; + Rare group; — Extreme rare groups; Ratio: Percentage of number of species in the total species of sampled; Frequency: Percentage of the individual of a given species in the total sample size.

表 3 研究区各季节土壤动物群落的组成及数量

Table 3 Composition and numbers of soil fauna communities at different seasons in the study area

类群 Group	春季 Spring (2009-04)		夏季 Summer (2009-07)		秋季 Autumn (2009-10)		数量总计 Total number	比例 Ratio (%)	多度 Abundance
	比例(%) Ratio	多度 Abundance	比例(%) Ratio	多度 Abundance	比例(%) Ratio	多度 Abundance			
线虫纲 Nematoda	2.35	++	2.73	++	0.85	+	112	1.92	++
线蚓科 Enchytraeidae	0.20	+	0.06	—	0.33	+	12	0.21	+
蚯蚓 Pheretima	1.57	++	2.85	++	4.20	++	169	2.89	++
蜱螨目 Acarina	24.22	+++	23.99	+++	14.92	+++	1 214	20.78	+++
弹尾目 Collembola	8.14	++	18.82	+++	24.41	+++	1 000	17.12	+++
原尾目 Protura	0.49	+	0.48	+	0.14	+	21	0.36	+
双尾目 Diplura	2.45	++	1.48	++	1.56	++	108	1.85	++
双翅目 Diptera	1.91	++	2.02	++	3.35	++	144	2.46	++
等足目 Isopoda	7.50	++	6.00	++	11.00	+++	487	8.34	++
倍足纲 Diplopoda	0.29	+	0.77	+	0.47	+	29	0.50	+
综合纲 Symphyla	1.86	++	1.60	++	1.46	++	96	1.64	++
等翅目 Isoptera	2.99	++	2.79	++	4.82	++	210	3.59	++
腹足纲 Gastropoda	1.76	++	1.25	++	2.31	++	106	1.81	++
鞘翅目 Coleoptera	5.83	++	3.09	++	1.94	++	212	3.63	++
半翅目 Hemiptera	0.54	+	1.01	++	0.66	+	42	0.72	+
膜翅目 Hymenoptera	21.18	+++	15.62	+++	16.01	+++	1034	17.70	+++
鳞翅目 Lepidoptera	0.59	+	1.60	++	0.90	+	58	0.99	+
直翅目 Orthoptera	2.11	++	1.78	++	0.61	+	86	1.47	++
同翅目 Homoptera	0.34	+	3.03	++	2.22	++	105	1.80	++
缨翅目 Thysanoptera	1.81	++	0.53	+	3.59	++	122	2.09	++
蜘蛛目 Araneae	0.20	+	0.36	+	0.24	+	15	0.26	+
拟蝎目 Pseudoscorpionida	10.69	+++	7.42	++	3.40	++	415	7.10	++
唇足纲 Chilopoda	0.39	+	0.48	+	0.42	+	25	0.43	+
革翅目 Dermaptera	0.29	+	0.06	—	0.05	—	8	0.14	+
蜚蠊目 Blattoptera	0.29	+	0.18	+	0.14	+	12	0.21	+
个体总数 Total number	2 040		1 684		2 118		5 842		
类群数 Groups	25		25		25		25		

符号说明同表 2。See explanation of symbol used in table 2.

到低依次为:秋季大于春季大于夏季。研究区土壤动物数量在 10 月最多,而在 7 月最少。

3.4 土壤动物群落多样性指数 由图 3 可以看出,多样性指数和丰富度指数波动趋势基本一致,呈正相关,而与优势度指数则呈明显的负相关。均匀性指数在 3 个季节中波动不大,且各生境间差别不大,说明各生境间土壤动物分布的均匀度相似。整体上观察,除均匀性指数外,夏季土壤动物群落的结构指数波动明显大于春季和秋季。

从图 3 中可以明显看出,不论哪个季节,4~7 号样地的优势度指数明显高于 1~3 号样地。4~7 号样地属于污染型样地,尤其是 6、7 号样地,重

金属污染严重,重金属含量超过了部分土壤动物类群的致死浓度,只有少数土壤动物在此生存,从其优势性指数也明显地体现出来。

3.5 部分土壤环境因子对土壤动物密度的影响 土壤动物的多样性受土壤环境因子的影响,对各个样地的土壤 pH 和有机质含量进行了测定(表 4)。并对土壤动物密度与土壤 pH、土壤有机质含量的相关性进行了计算。土壤动物密度与土壤 pH 的相关系数为 -0.204,其相伴概率为 0.660,表明它们之间呈负相关,但相关程度不显著。土壤动物密度与土壤有机质含量的相关系数为 0.621,其相伴概率为 0.137,表明它们之间呈正相关,相关程度亦不显著。

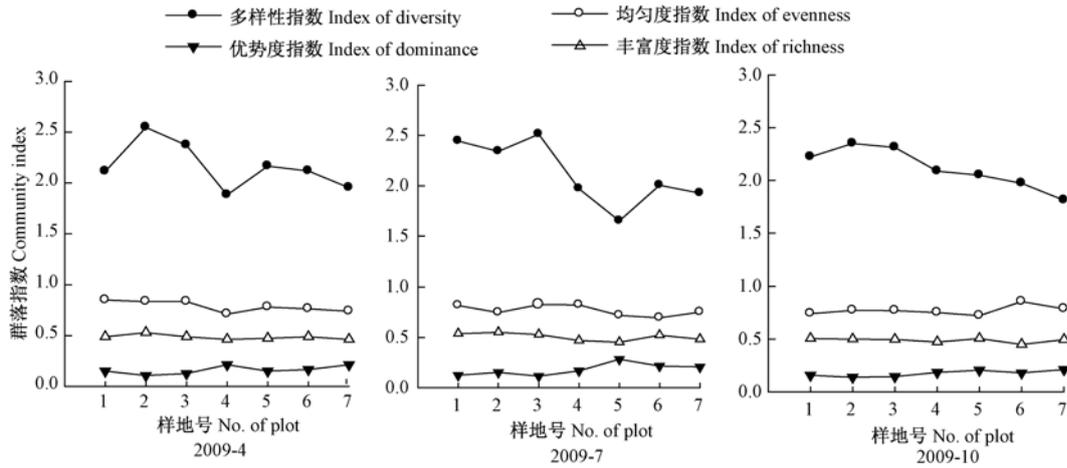


图 3 3 个季节各生境下土壤动物群落结构重要指标

Fig. 3 Important indexes of soil animals communities in different habitats in three seasons

表 4 各生境土壤 pH 和有机质含量

Table 4 The biological content of soil and pH value in sample site

	土壤动物密度 Soil animal density (个/cm ³)	土壤 pH Soil pH	土壤有机质 含量(%) Content of soil organic matter
1 号样地 Site 1	7.41	8.02	2.97
2 号样地 Site 2	9.76	7.31	3.30
3 号样地 Site 3	9.79	7.87	2.74
4 号样地 Site 4	7.60	7.52	2.81
5 号样地 Site 5	7.23	7.13	3.11
6 号样地 Site 6	6.67	7.99	2.72
7 号样地 Site 7	5.64	7.75	2.23

3.6 土壤动物的各功能团类群及其生态特征

临汾土壤动物主要分为 4 个功能团,即腐食性、植食性、捕食性和杂食性动物。其中,腐食性动物主要包括蚯蚓、线蚓、马陆(Juliformia)、蜗牛(Fruticolidae)及蟬蛄目、弹尾目等一些腐食性昆虫等等;植食性土壤动物即鞘翅目、鳞翅目、双翅目、膜翅目昆虫等等;捕食性土壤动物是土壤生物群落中的消费者,如蜈蚣目、蜘蛛目、拟蝎类等等,蜚蠊目和革翅目是临汾及其周围杂食性动物的代表。

对临汾市郊 7 个样地的调查表明,3 个季节腐食性、植食性、捕食性、杂食性 4 个功能群的土壤动物个体数量比例分别为,春季 49.26%、35.39%、12.84%、2.50%,夏季

58.61%、30.05%、9.08%、2.26%,秋季 60.53%、33.82%、4.93%、1.05%。土壤动物群落个体数因样地不同而变化。与无污染区相比,在 6 号样地和 7 号样地这 2 个重金属污染区样地,腐食性动物占到了很大的比例(表 2);而在绿色植物比较茂密的 2 号样地(乔村周围麦田)和 4 号样地(滨河道路绿化带),植食性动物在数量上占优势,且膜翅目是植食性土壤动物中的优势类群。整体上而言,4 个功能群的土壤动物所占比例,腐食性动物比例最高,其次为植食性动物和捕食性动物,杂食性动物最少。在 10 月,腐食性动物繁殖最快,数量最多,占到了 60.53%,但重金属污染区的 6 号和 7 号样地中,腐食性动物比例相对 4 月和 7 月较低。

4 讨论

不同季节、不同生境下的土壤动物群落结构指标有差异。整体上 4 号样地的多样性指数偏低。由于 4 号样地长期受汽车尾气的污染,仅有部分土壤动物在此处存活。从图 3 可以看出,5 号样地夏季多样性指数和优势性指数波动比较大,5 号样地毗邻汾河,夏季是洪水高发时段,处于一年中最潮湿的时间段,土壤动物的生存环境比较恶劣,所以多样性指数明显偏低。此外,无论是在哪个季节,同为林地和农田的 1

号和2号样地的多样性指数远远高于6号和7号样地,但前者优势度指数却低于后者。原因有二:(1)6号和7号样地位于临汾市污染比较严重的临钢周围,土壤重金属污染比较严重,大部分土壤动物消失;(2)有极少数土壤动物受重金属污染影响不大,如蚯蚓、蜉蝣目、弹尾目、膜翅目和蜘蛛目,它们在污染严重的环境中表现出了极大的优势性。

国内曾报道,在中温和寒温带地区,土壤动物种类和数量7~9月间达到高潮,而亚热带地区,秋末冬初达到最高(11月)^[18]。临汾属于温带地区,本文得到的结论与上述基本类似。

在垂直分布上,土壤动物具有表聚性,7个样地的土壤动物的数量由表层向下呈逐渐递减的趋势,这与绝大多数土壤动物群落研究者的研究结果相似。其中,数量上表现最为明显的是农田、果园以及林地,它们的4层土壤动物的数量表聚性比较显著。滨河道防护带和汾河滩涂废弃地表现得不是那么明显,而重金属污染区农田和柳树林地甚至还出现了逆分布现象。究其原因,我们认为是临钢周围表层土壤污染严重,导致土壤动物整体向下迁移,造成下层土壤动物多于表层,从而呈现逆分布现象。

在功能团类群方面,10月是腐食性动物的高峰期,但临钢周围林地和农田的腐食性动物却低于4月和7月,究其原因,主要是因为10月份是临钢生产的旺季,也是临钢一年中环境质量最差的一段时间,因此这个时间段临钢周围的土壤动物相对也大幅度减少。

参 考 文 献

- [1] Gongalsky K B. Impact of pollution caused by uranium production on soil macrofauna. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2003, 89(2): 197-219.
- [2] Striganova B R, Bienkowski P. Rates of decomposition processes in mountain soils of the Sudeten as a function of edaphic-climatic and biotic factors. *Biology Bulletin*, 2001, 27(6): 619-628.
- [3] Lisa C, Sarah M B, Richard D B. Relating microarthropod community structure and diversity to soil fertility manipulations in temperate grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(9): 1707-1717.
- [4] 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. *地理研究*, 2003, 23(3): 316-322.
- [5] 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): 9-84.
- [6] 钱复生, 张光生. 安徽省休屯盆地土壤动物群落研究. *国土与自然资源研究*, 1995, (2): 43-48.
- [7] 袁凤辉, 刘细明, 陈连水, 等. 江西南丰橘园土壤动物群落结构及其多样性. *动物学杂志*, 2005, 40(4): 100-107.
- [8] 刘长海, 骆有庆, 陈宗礼, 等. 陕西延安万花山枣园土壤动物群落结构与组成. *动物学杂志*, 2008, 43(2): 101-105.
- [9] Garrido-Jurado I, Ruano F, Campos M, et al. Effects of soil treatments with entomopathogenic fungi on soil dwelling non-target arthropods at a commercial olive orchard. *Biological Control*, 2011: 7.
- [10] Mulder C, Boit A, Bonkowski M, et al. A belowground perspective on dutch agroecosystems: how soil organisms interact to support ecosystem services. *Advances in Ecological Research*, 2011, 44: 277-357.
- [11] Chauvat M, Titsch D, Zaytser A S, et al. Changes in soil faunal assemblages during conversion from pure to mixed forest stands. *Forest Ecology and Management*, 2011, 262(3): 317-324.
- [12] Szanser M, Ilieva-Makulec K, Kajak A, et al. Impact of litter species diversity on decomposition processes and communities of soil organisms. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(1): 9-19.
- [13] 吴鹏飞, 于晓飞, 杨大星. 成都市郊区三种土地利用方式的土壤动物群落特征比较. *西南民族大学学报: 自然科学版*, 2009, 35(5): 1006-1012.
- [14] 李淑梅, 马克世, 丁涛. 周口市不同绿地大型土壤动物多样性调查研究. *安徽农业科学*, 2010, 38(30): 16876-16877, 16910.
- [15] 白义, 施时迪, 齐鑫, 等. 台州市路桥区重金属污染对土壤动物群落结构的影响. *生态学报*, 2011, 31(2): 421-430.
- [16] 程红艳. 临汾市农业土壤中重金属元素分析与评价. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 1-10.
- [17] 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. *生态学报*, 2002, 22(2): 215-223.
- [18] 朱立安, 魏秀国. 土壤动物群落研究进展. *生态科学*, 2007, 26(3): 269-273.