

开封市土壤动物及其对土壤污染的响应

宋博¹ 马建华² 李剑² 魏林恒² 殷秀琴^{1†}

(1 东北师范大学城市与环境学院, 长春 130024)

(2 河南大学环境与规划学院, 河南开封 475001)

摘要 将开封市城市用地划分为农田、公共绿地、文教用地、居住用地和工业用地五种类型, 作为五个采样区, 采集了土壤和土壤动物样品, 运用土壤理化分析和生态分析的方法, 研究了城市生态系统土壤中动物类群特征, 以及土壤动物对土壤污染的响应。结果发现不同土地利用类型中土壤动物的组成不同, 农田、城市绿地和文教用地中土壤动物的优势类群均为弹尾目、前气门亚目和线虫; 居住用地为弹尾目和前气门亚目; 工业用地为弹尾目和线虫。土壤动物的数量与 pH 值具有良好的相关性。土壤动物的多样性指数与土壤污染程度具有显著的负相关性, 可以利用多样性指数指示土壤综合污染程度。

关键词 土壤动物; 城市土壤; 土壤环境; 开封市

中图分类号 Q958.11 文献标识码 A

土壤动物在土壤改良和生态系统的物质循环与能量转换, 以及生物降解和污染指示方面等都有重大作用。研究表明, 土壤动物是土壤污染的重要指示生物, 能敏感地对土壤污染做出响应^[1-6], 但目前城市生态系统中的相关研究却比较缺乏^[7,8]。开封市土地利用方式多样, 土壤环境质量的差异较大, 已经出现了不同程度的污染^[9]。本文通过对开封市不同土地利用类型中土壤动物类群的研究, 探讨土壤动物对土壤环境污染的响应, 这将丰富开封市土壤生态系统的研究, 并为城市土壤环境的生物监测提供依据。

1 研究区概况

开封市地处黄淮平原, 位于河南省东北部 (E113°52' ~ E115°02', N34°12' ~ N35°01')。地势平坦, 海拔高度多在 69~78 m 之间, 相对高度多为 2~7 m。属于暖温带大陆性季风气候, 年降水量为 627.5~722.9 mm, 年平均气温在 14.0~14.2 °C 之间, ≥10 °C 的活动积温为 2994~3139 °C。土壤母质是不同时期和不同类型的黄河冲积物, 土壤呈碱性, 养分含量普遍偏低。开封市具有悠久的城市发展历史, 受人类活动影响深刻久远, 是城市生态系统

土壤动物研究的典型区域。

2 研究方法

2.1 样品采集与分析

根据土地功能的差异将开封市土地划分为农田、公共绿地、文教用地、居住用地和工业用地五种类型, 分别作为 A、B、C、D、E 五大采样区, 根据实际情况共布设 10 个样点 (图 1)。

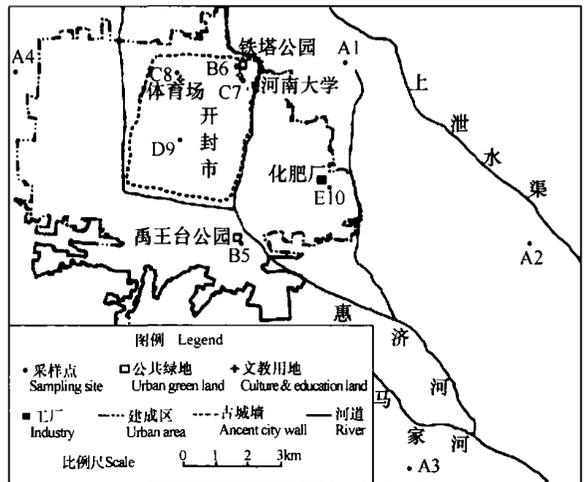


图 1 研究区及采样点分布示意图

Fig 1 Sampling sites in the study area

† 通讯作者, E-mail: yinxq773@nenu.edu.cn

作者简介: 宋博 (1981~), 女, 博士研究生, 主要从事土壤动物生态学研究。E-mail: song811019@163.com

收稿日期: 2005-12-02; 收到修改稿日期: 2006-08-06

2004 年 5 月采用蛇形随机分布法取得土壤样品, 在室内对样品风干研磨预处理后, 利用玻璃电极法测定 pH 值, 重铬酸钾容量法测定有机质含量, 扩散法测定碱解氮含量, 钼锑抗比色法测定有效磷含量, 火焰光度法测定有效钾含量, 石墨炉原子吸收法进行测定总 Cd 和总 Pb 含量, 并利用比色法测定总 As 含量^[10]。

2004 年 9 月采集了土壤动物样品。在各个样点, 选取 30 cm × 30 cm 采样单元 4 个。其中两个自地表向下按 0~ 5 cm、5~ 10 cm、10~ 15 cm、15~ 20 cm 分四层手捡各层大型土壤动物。另两个用 100 cm³ 环刀分别在 0~ 5 cm、5~ 10 cm、10~ 15 cm、15~ 20 cm 不同深度平行取样 4 次。每层三个环刀的土壤材料用 Tullgren 法收集中小型土壤动物; 另一环刀 1/4 的土壤材料用 Baermann 法收集湿生土壤动物^[11]。然后参照《中国土壤动物检索图鉴》^[12] 与《昆虫分类学》^[13] 利用单目显微镜进行分类鉴定。除线虫外, 其他类群一般鉴定到目。

2.2 数据处理

采样区土壤动物数量是各个样点的土壤动物个体数加和平均; 在确定各采样区土壤动物类群数时, 将各样点出现的土壤动物种类总数记做该采样区的类群数。

土壤类群特征分析时采用了 Shannorr Wiener 多

样性指数(\bar{H})、Pielou 均匀性指数(e)、Simpson 优势度指数(C)^[14]: $\bar{H} = - \sum (n_i/N) \times \log_2 (n_i/N)$; $e = \bar{H} / \ln s$; $C = \sum (n_i/N)^2$ 。式中, N 为动物个体总数, n_i 为第 i 种动物的个体数, s 为动物类群数。

在土壤重金属污染评价中采用污染指数法进行^[15], 其中污染物土壤环境质量标准, 采用土壤环境质量二级标准(GB15618—1995, 二级, pH > 7.5)。

3 结果与讨论

3.1 土壤理化性质及污染状况

3.1.1 土壤理化性质分析 土壤理化性质分析(表 1)显示, 各采样区土壤的 pH 值均较高(7.21~ 8.71), 属于中性、偏碱性土壤, 其中 C 样区土壤 pH 值最高; 有机质含量在 6.13~ 31.20 mg kg⁻¹ 之间, 肥力水平偏低, 其中 A 样区最低; 在 N、P、K 几种有效养分的含量上, E 样区碱解氮含量最高, 达 164.4 mg kg⁻¹, A 样区次之, 为 101.4 mg kg⁻¹, 其余各采样区都较低。在农田样区(A), 因为农业活动中施入的氮肥较多, 所以除碱解氮含量较高外, 其他两项有效养分含量较低, 有机质含量在各采样区中处于最低水平; 城市绿地(B)、文教用地(C)、居住用地(D)和工业用地(E)这些样区由于受固体废物堆放等人类活动的影响, 有机质和有效养分水平高于农田样区。

表 1 各采样区土壤理化性质及重金属污染状况

Table 1 Physicochemical properties and heavy metal pollution of the soils in the sampling areas

采样区 Sampling area	pH	有机质 Organic matter (mg kg ⁻¹)	碱解氮 Alkalyisable N (mg kg ⁻¹)	有效磷 Av. P (mg kg ⁻¹)	有效钾 Av. K (mg kg ⁻¹)	As (mg kg ⁻¹)	F_{As}	Cd (mg kg ⁻¹)	F_{Cd}	Pb (mg kg ⁻¹)	F_{Pb}	综合指数 Integrated index F
A	7.73	6.13	101.4	18.0	77.8	5.76	0.23	0.64	0.64	24.32	0.07	0.50
B	8.36	18.55	44.8	322.3	147.3	8.71	0.35	0.67	0.67	15.75	0.05	0.53
C	8.71	19.55	42.2	64.2	356.0	7.95	0.31	1.50	1.50	21.23	0.06	1.13
D	8.16	26.00	39.7	858.7	92.3	6.23	0.25	2.40	2.40	15.00	0.04	1.78
E	7.21	31.20	164.4	60.5	133.6	98.00	3.92	6.90	6.90	29.00	0.08	5.30

3.1.2 土壤重金属污染现状及评价 由土壤重金属含量和污染评价(表 1)可以看出, 综合污染指数(F)的变化为: A < B < C < D < E。其中 A 区远离工业区, 重金属元素含量基本处于自然状态, 其单项污染指数和综合污染指数均小于 1, 污染不明显; B 区污染也较轻; C 区土壤中 Cd 综合污染指数大于 1, 表明已发生 Cd 污染; D 区也表现为 Cd 污染, 综合污染指数为 1.78; 而在 E 区, Cd、As 均污染严重, 综

合污染指数高达 5.30, 是污染最重的, 这与工业生产中的废物堆放、污染物排放以及降尘等污染密切相关。

3.2 土壤动物的组成

3.2.1 土壤动物的数量特征 在选取的 5 个样区共获取土壤动物 2 711 个, 共 29 个类群(表 2)。从整体情况看, 研究区土壤动物以弹尾目、线虫、前气门亚目等类群分布较多, 分别占总捕获量

的 54.14%、18.68%、14.72%; 而鞘翅目、双翅目、膜翅目、钳亚目、线蚓比较常见, 分别占总捕获量的 3.58%、2.01%、1.11%、1.08%、1.47%;

其余类群如么蛭目、倍足纲、等足目、半翅目等数量较少。各采样区土壤动物数量和类群分布情况见图 2。

表 2 各样区土壤动物的数量特征
Table 2 Population of soil animals in each sampling site

类群 Group name	A		B		C		D		E	
	个体数 ^①	等级 ^②								
弹尾目 Collembola	11 808.3	+++	11 100.0	+++	1 166.7	+++	5 105.6	+++	28 583.3	+++
鞘翅目 Coleoptera	1 323.6	++	452.8	++	194.4	++	161.1	++	333.3	+
蜘蛛目 Araneae	188.9	+	105.6	+	50.00	+	44.4	+	122.2	+
双翅目 Diptera larvae	437.5	++	583.3	++	83.3	++	177.8	++	772.2	++
膜翅目 Hymenoptera	83.3	+	1 097.2	++	141.7	++	33.3	+	22.2	+
等翅目 Isoptera	65.3	+	0.0	+	0.0	+	0.0	+	0.0	+
同翅目 Homoptera	31.9	+	16.7	+	0.0	+	0.0	+	0.0	+
么蛭目 Scolopendrellidae	270.8	++	86.1	+	83.3	++	0.0	+	0.0	+
么蛭目 Scutigeraellidae	8.3	+	0.0	+	0.0	+	0.0	+	0.0	+
钳亚目 Dicellurata	213.9	+	386.1	++	125.0	++	355.6	++	0.0	+
前气门亚目 Prostigmata	2 948.6	+++	4 083.3	+++	2 000.0	+++	2 772.2	+++	250.0	+
甲螨亚目 Oribatida	25.0	+	0.0	+	0.0	+	0.0	+	0.0	+
中气门亚目 Astigmata	2.8	+	0.0	+	5.6	+	0.0	+	0.0	+
石蜈蚣目 Lithobiomorpha	8.3	+	58.3	+	0.0	+	83.3	+	11.1	+
地蜈蚣目 Geophilomorpha	0.0	+	38.9	+	0.0	+	33.3	+	0.0	+
蛭目 Scutigera	2.8	+	0.0	+	0.0	+	0.0	+	0.0	+
目 Acerentomata	20.8	+	0.0	+	0.0	+	0.0	+	0.0	+
啮目 Psocoptera	5.6	+	0.0	+	0.0	+	0.0	+	0.0	+
半翅目 Hemiptera	20.8	+	38.9	+	5.6	+	11.1	+	0.0	+
柄眼目 Stylomatophora	11.1	+	0.0	+	0.0	+	83.3	+	0.0	+
直翅目 Orthoptera	20.8	+	11.1	+	0.0	+	0.0	+	127.8	+
等足目 Isopoda	2.8	+	22.2	+	0.0	+	66.7	+	0.0	+
裂盾目 Schizomida	8.3	+	0.0	+	0.0	+	0.0	+	0.0	+
鳞翅目 Lepidoptera larvae	0.0	+	5.6	+	0.0	+	0.0	+	11.1	+
圆马陆目 Sphaerotheriida	0.0	+	116.7	+	0.0	+	255.6	++	0.0	+
大蚓类 Megadrile oligochaetes	38.9	+	16.7	+	16.7	+	144.4	++	0.0	+
小蚓类 Microdrile oligochaetes	702.8	++	2 866.7	+++	2 833.3	+++	2 566.7	+++	0.0	+
线虫 Nematoda	4 937.5	+++	3 250.0	+++	1 625.0	+++	583.3	++	5 000.0	+++
线蚓 Enchytraeidae	625.0	++	250.0	++	0.0	+	0.0	+	0.0	+

注: 优势类群(+++), 占总个体数 10% 以上的类群; 常见类群(++), 占总个体数 1%~10% 的类群; 稀有类群(+), 占总个体数小于 1% 的类群
Note: Dominant groups(+++), accounting for more than 10 percent; Common groups(++), 1~10 percent; Rare groups(+), less than 1 percent.

① Individual number; ② Number grade

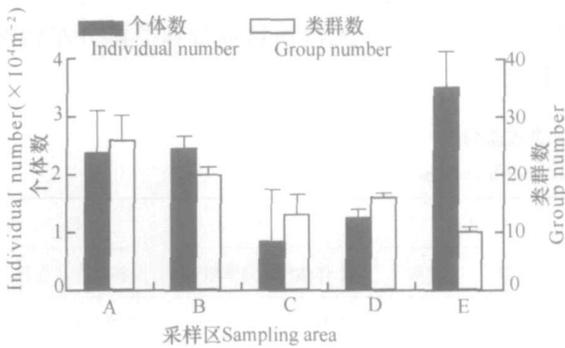


图2 各采样区土壤动物的数量及类群数

Fig. 2 Individual and group number of soil animals

从类群组成上看,一些常见类群如弹尾目、鞘翅目、双翅目、螨类等在各个采样区都有发现,说明这些类群的生态幅较宽,可以在整个城市生态系统中生存。但有些类群只分布在特定的采样区中,如裂盾目和目只在农田中捕获;地蜈蚣目和圆马陆目两个类群只在城市绿地和居住用地的土壤中出现。

3.2.2 土壤动物类群的多样性、优势度和均匀度 由各样区的类群特征指数(表3)可以看出,城市绿地多样性指数 \bar{H} 最高,为2.47;居住用地和文教用地次之,为2.41;农业用地为2.30;工业用地为0.95。文教用地和居住用地的土壤动物类群的均匀性指数 e 最高,分别为0.94和0.87,优势度 C 最低,分别为0.23和0.26;城市绿地的土壤动物类群 e 值稍低,为0.85, C 值也较低,为0.27;农田样区的 e 值较低,为0.71, C 值为0.31;而工业用地均匀性最差, e 值仅为0.41,优势度最高, C 值为0.68。比较各采样区均匀性指数和优势度指数可以发现,均匀度 e 值变化与 \bar{H} 值变化相似,即多样性指数高的样区,其均匀度也较高,而优势度 C 值变化与均匀度 e 值相反,这与前人研究结果一致^[16]。

表3 土壤动物类群的主要特征指数

Table 3 Characteristic indexes of soil animal communities

采样区 Sampling area	\bar{H}	C	e
A	2.30	0.31	0.71
B	2.47	0.27	0.83
C	2.41	0.23	0.94
D	2.41	0.26	0.87
E	0.95	0.68	0.41

城市绿地受人为干扰较少,污染程度相对较轻,而且植被条件比较好,因此土壤动物的个体数量和

类群数都比较多,个体数量分布相对均匀,多样性指数较高;农田土壤肥沃,但受人类耕作活动的影响较大,土壤动物各类群的分布比较集中,均匀度低,多样性差;居住用地土壤动物的类群和数量虽远不如农田丰富,但是其数量在各类群间的分布比较均匀,反映丰富度和均匀性的多样性指数值反而比农田高;文教用地土壤动物的数量在类群间分布情况与居住用地类同,多样性指数也较高;工业用地土壤污染严重,虽然个体数量很多,但类群很少,特别是弹尾目类群数量巨大,优势度高,多样性较差。

3.3 土壤动物的垂直分布

研究表明,在自然生态系统中,土壤动物在土壤中的垂直分布具有表聚规律^[16,17]。从研究区各样点的土壤动物数量的垂直分布(图3)看,除工业用地外,其余样区都表现为第一层(0~5 cm)的土壤动物数量最多,而深层减少的表聚性。

土壤动物个体数的垂直分布(图3a)中,A区第一层的土壤动物数量较多,占该样区土壤动物总捕获量的63.4%,向下骤然减少,第二层仅占总捕获量的16.9%;B区的垂直分布情况与A区类似;C区的土壤动物总个体数量较少,第一层和第二层动物数量分别占总捕获量的46.8%和20.3%,表聚性有所减弱;D区第一层动物的数量占总捕获量的55.2%,在深层动物分布较少;E区第一层的土壤动物数量很多,居所有样区之首,其余各层动物数量都很少。

土壤动物类群数的垂直分布(图3b)中,除E样区外,其余样区土壤动物的类群数在垂直方向上都呈递减趋势。在E样区,在第二层仅存一个类群(双翅目),而且在垂直分布上出现了第三层类群数反而大于第二层的逆分布现象。不仅土壤动物个体数和类群数的垂直分布表现出上述规律,而且在常见类群数量的垂直分布上表现得更为明显(图4)。

由图4可以看出,在弹尾目、鞘翅目、螨类和线虫常见类群的垂直分布上,A区和B区两个样区的表聚性十分明显,向下数量递减;C区和D区表聚现象有所减弱。在E区中,土壤动物的垂直分布变化较大。其中,弹尾目在第一层数量极多,其下锐减,且在第三层缺失,而第四层(0.8%)又出现;鞘翅目的分布在第二层缺失,而第三、四层又出现且递减分布;前气门亚目的分布则表现为第一层和第二层缺失,从第三层到第四层则递减分布;线虫只有表层分布。

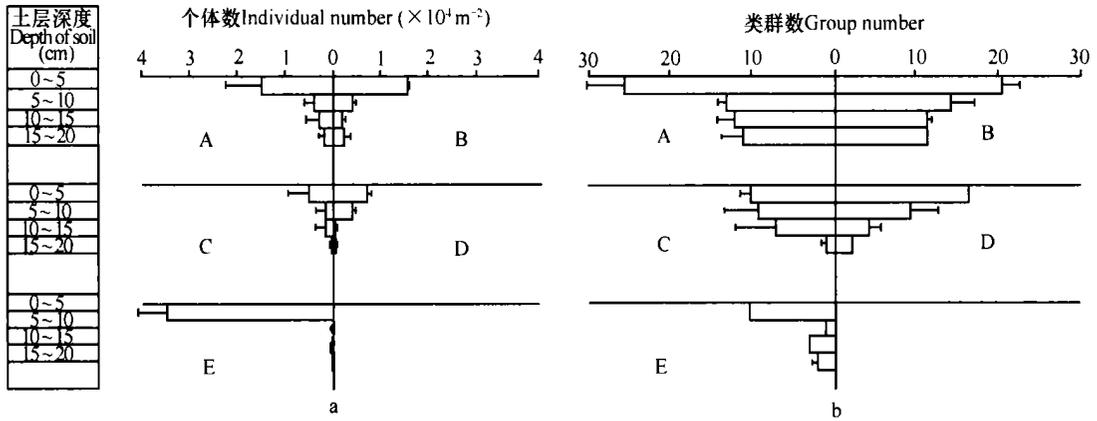


图 3 各采样区土壤动物个体数 (a) 和类群数 (b) 的垂直分布

Fig 3 Vertical distribution of individuals (a) and groups (b) of soil animals

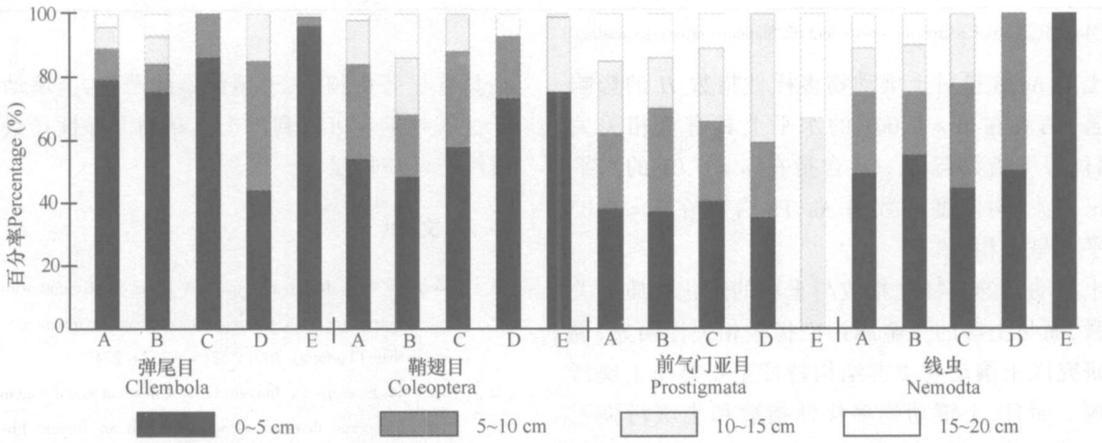


图 4 各采样区土壤动物常见类群的垂直分布

Fig 4 Vertical distribution of soil animal groups in each sampling area

结合各样区土壤污染情况可以看出, 土壤动物类群数在垂直分布上的变化与土壤环境质量的优劣相关。严重污染土壤中, 土壤动物的垂直分布表聚性减弱甚至出现逆分布现象。因此, 利用土壤动物的垂直分布的变化可以对土壤环境质量进行定性的说明。

3.4 土壤动物与土壤理化性质及土壤污染的相关分析

为了探讨土壤动物类群与土壤环境的关系, 利用 SPSS 软件, 以土壤动物的个体数、类群数、多样性指数、优势度指数和均匀度指数为因变量, 以土壤 pH 值、有机质含量、N、P、K 有效养分含量、Cd、Pb、As 重金属含量及重金属综合污染指数为自变量进行逐步回归分析, 找出影响土壤动物数量和类群特征的主要土壤环境因子(表 4)。

结合表 1 和表 4 可以看出, 在土壤 pH 值、有机质含量、土壤中 Cd、Pb 和 As 含量等各项影响因素中, pH 值对土壤动物个体数量的影响最大。土壤 pH 值较高的 C 区土壤动物数量最少, 而 A、E 和 B 区的 pH 值相对较低, 土壤动物的数量较多。因此, 在中性以上 pH 值的土壤环境中, 土壤动物的数量与 pH 值呈负相关, 即土壤 pH 值越高, 土壤动物数量越少。

有机质含量较低的 A 区土壤动物的数量和类群都比较多; 土壤有机质含量较高的 C 区和 D 区, 土壤动物的类群数和个体数与农田相比都不是很多。可见, 研究区土壤动物的数量与土壤中的有机质含量没有显著的正相关性, 这与前人的研究结果^[17]不同。这可能因为研究区土壤受到了重金属污染, 土壤动物的数量和类群结构受到影响。

表4 土壤动物类群的主要影响因子分析

Table 4 Main factors affecting soil animal communities

	模型 ^①	偏回归系数 ^②	标准误 ^③	<i>t</i>	<i>p</i>
个体数 Individual number	常数项 ^④	1.461E-05	4.530E+04	3.226	0.048
	pH	-1.559E-04	5.626E+03	-2.771	0.070
类群数 Group number	常数项 ^④	29.078	3.678	7.905	0.004
	有机质 Organic matter	-0.595	0.167	-3.556	0.038
\bar{H}	常数项 ^④	2.510	0.049	51.047	0.000
	As	-1.59E-02	0.001	-14.310	0.001
	常数项 ^④	0.932	0.001	929.915	0.001
<i>C</i>	As	4.718E-03	0.000	989.912	0.001
	pH	-8.28E-02	0.000	-683.079	0.001
	Cd	-0.934E-03	0.000	-157.273	0.004
	常数项 ^④	0.822	0.072	11.367	0.008
<i>e</i>	As	-5.38E-03	0.001	-9.637	0.011
	Pb	1.675E-02	0.005	3.240	0.084

①Model; ②Partial regression coefficient; ③Standard error; ④Constant

土壤 As 含量对土壤动物多样性指数 \bar{H} 的影响最显著,两者在 $p = 0.001$ 的水平上具有负相关关系;而优势度指数与 As、Cd 含量在 $p = 0.01$ 的水平上呈正相关;均匀度指数与 As、Pb 含量在 $p = 0.05$ 的水平上呈负相关。

土壤动物的多样性指数与土壤的理化性质相关性不强,而与土壤的重金属污染指数相关性明显,说明在研究区土壤动物类群结构特征主要是受土壤污染影响。而且,土壤动物多样性指数和土壤污染元素含量显著负相关,特别是与 As 元素含量的关系最明显,表明土壤污染越严重,土壤动物的多样性指数就越低。因此可以利用土壤动物的多样性指数对该区域的土壤综合环境质量进行指示。

4 结论

1) 不同土地利用类型下土壤动物的组成不同。农田和城市绿地中优势类群为弹尾目、前气门亚目和线虫;居住用地为弹尾目和前气门亚目;工业用地中则为弹尾目和线虫。

2) 土壤动物在垂直分布上具有表聚性。其中农田和公共绿地的表聚性强;居住用地、文教用地的表聚性减弱;在污染严重的工业用地,表层向下有逆分布现象。

3) 研究区土壤动物的数量与土壤有机质及有效养分的关系不密切,而与 pH 值具有一定的负相关性;土壤动物类群的多样性指数与土壤重金属污

染具有显著负相关,土壤污染越严重,土壤动物的多样性就越差。可以利用土壤动物多样性指数指示土壤综合环境质量。

参考文献

- [1] McIntyre N E, Rango J, Faganb W F, *et al.* Ground arthropod community structure in a heterogeneous urban environment. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 52(4): 257~ 274
- [2] Lock K, Janssens F, Janssen C R. Effects of metal contamination on the activity and diversity of springtails in an ancient Pb/Zn mining area at Plombières, Belgium. *European Journal of Soil Biology*, 2003, 39 (1): 25~ 29
- [3] Kelly J J, Håggblom M, Tate III R L. Effects of the land application of sewage sludge on soil heavy metal concentrations and soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31 (10): 1467~ 1470
- [4] 陈国定,朱文,黎明达,等.应用甲螨监测土壤污染的研究. *中国环境科学*, 1991, 11(2): 100~ 103. Chen G D, Zhu W, Li M D, *et al.* Study on oribatid as the bioindicator of soil pollution (In Chinese). *China Environmental Science*, 1991, 11(2): 100~ 103
- [5] 王振中,张友梅,邢协和.土壤环境变化对土壤动物群落影响的研究. *土壤学报*, 2002, 39(6): 892~ 897. Wang Z Z, Zhang Y M, Xing X H. Effect of change in soil environment on community structure of soil animal (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(6): 892~ 897
- [6] 高岩,骆永明.蚯蚓对土壤污染的指示作用及其强化修复的潜力. *土壤学报*, 2005, 42(1): 104~ 148. Gao Y, Luo Y M. Earthworms as bioindicators of soil pollution and their potential for remediation of contaminated soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(1): 104~ 148
- [7] 赵吉.土壤健康的生物学监测与评价. *土壤*, 2006, 38(2):

- 136~ 142. Zhao J. Biological monitoring and assessment of soil health (In Chinese). *Soils*, 2006, 38(2): 136~ 142
- [8] Liang W J, Lavian I, PerrMourator S, *et al.* Diversity and dynamics of soil free living nematode populations in a Mediterranean agroecosystem. *Pedosphere*, 2005, 15(2): 204~ 215
- [9] 马建华, 张丽, 李亚丽. 开封市城区土壤性质与污染的初步研究. *土壤通报*, 1999, 30(2): 93~ 96. Ma J H, Zhang L, Li Y L. Study on the characteristic and pollution of urban soil in Kaifeng City (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 1999, 30(2): 93~ 96
- [10] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. 96~ 134. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. *Physical and Chemical Analysis of Soil* (In Chinese). Shanghai: Shanghai Scientific and Technological Press, 1978. 96~ 134
- [11] 土壤动物研究方法手册编写组. 土壤动物研究方法手册. 北京: 中国林业出版社, 1998. 22~ 35. Group of Writing Research Methods of Soil Animals. *Research Methods of Soil Animals* (In Chinese). Beijing: China Forestry Press, 1998. 22~ 35
- [12] 尹文英, 胡圣豪, 沈温芬, 等. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998. 1~ 6, 90~ 93, 265~ 295. Yin W Y, Hu S H, Shen W F, *et al.* *Pictorial Keys to Soil Animals of China* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1998. 1~ 6, 90~ 93, 265~ 295
- [13] 袁锋. 昆虫分类学. 北京: 中国农业出版社, 1996. 50~ 57, 103~ 266. Yuan F. *Insects Taxology* (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1996. 50~ 57, 103~ 266
- [14] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(下). *生物多样性*, 1994, 2(4): 231~ 239. Ma K P, Liu Y M. The method of biodiversity I α diversity method (ii) (In Chinese). *Chinese Biodiversity*, 1994, 2(4): 231~ 239
- [15] 梁耀开. 环境评价与管理. 北京: 中国轻工业出版社, 2002. 42~ 44. Liang Y K. *Environment Assessment and Management* (In Chinese). Beijing: China Light Industry Press, 2002. 42~ 44
- [16] 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. *地理科学*, 2003, 23(3): 316~ 322. Yin X Q, Wu D H, Han X M. Study on the diversity of soil animals community in Xiaoxing'anling (In Chinese). *Geographical Science*, 2003, 23(3): 316~ 322
- [17] 钱复生, 王宗英. 水东枣园土壤动物与土壤环境的关系. *应用生态学报*, 1995, 6(1): 44~ 50. Qian F S, Wang Z Y. Relationship between soil fauna and soil environment in jujube garden of Shuidong, Anhui Province (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1995, 6(1): 44~ 50

SOIL ANIMALS AND THEIR RESPONSE TO SOIL POLLUTION IN KAIFENG CITY

Song Bo¹ Ma Jianhua² Li Jian² Wei Linheng² Yin Xiuqin^{1†}

(1 College of Urban and Environment, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

(2 College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng, Henan 475001, China)

Abstract A case study of Kaifeng was carried out on soil animals in urban ecosystem and influence of heavy metals pollution on their community structure. Kaifeng is a city in Henan Province, sitting at 113°52' ~ 115°02' E Long., 34°12' ~ 35°01' N Lat. . Under the warm temperate continental monsoon climate, it enjoys an annual mean temperature of about 14.0~ 14.2 °C and an annual mean precipitation of 627.5~ 722.9 mm. In May of 2004, soil samples (0~ 20 cm) were collected randomly in 5 different types of land, i. e. cropland, urban green land, the culture & education land, residential land, and industrial land. And in September the same year, soil animals were collected by the hand sorting method (sampling plot area 30 cm × 30 cm, two replicates in each land types), Tullgren funnel method (100 cm³ soil materials), and Baemann funnel method (25 cm³ soil materials) from soils (0~ 5 cm, 5~ 10 cm, 10~ 15 cm, and 15~ 20 cm) in corresponding soil sampling sites. The soil samples were analyzed for pH, organic matter, available nutrients (N, P, & K), and heavy metals (As, Cd, & Pb). Stepwise regression analysis was conducted of response of soil fauna diversity index to variation of the characteristics of soil environment. Results showed that the composition of soil fauna differed from type to type of land use. The dominant groups in the cropland are Collembola, Prostigmata and Nematoda, which also dominated the urban green land and the culture & education land. The dominant groups in the residential land include Collembola and Prostigmata, but in the industrial land they consist of Collembola and Nematoda. Vertical distributions of soil animals also varied from sampling site to site, but the surface aggregation was obvious. The regression of the diversity of soil animals and soil environment showed that the size of soil fauna was decreasing with the increasing soil pH. The abundance of soil animals was not positively related to content of soil organic matter. The diversity index of soil fauna was obviously negatively related to soil pollution of heavy metals, especially As in soil. So the diversity index can be cited as the indicator of soil pollution.

Key words Soil fauna; Urban soil; Soil environment; Kaifeng City