

重金属污染对土壤动物群落结构的影响

任若凡¹,赵腾飞¹,王晴晴¹,马友华¹,张云华^{2*}

(1.安徽农业大学 资源与环境学院,安徽 合肥 230036; 2.安徽农业大学 生命科学学院,安徽 合肥 230036)

摘要:对淮南市土壤重金属含量、动物群落结构及其多样性进行分析,探讨重金属污染对土壤动物群落结构的影响,以期治理重金属污染与恢复污染区的生态系统提供相关的科学依据。结果表明,对重金属综合污染指数进行分析发现,8个样地中仅1个样地受到轻度污染,其余样地均受到重度污染;随着样地土壤重金属综合污染指数增大,土壤动物的类群数与个体数总体呈减少趋势;样地土壤动物群落的Shannon-Wiener多样性指数、Pielou均匀性指数的变化趋势总体上与土壤重金属综合污染指数相反,土壤动物群落的Simpson优势性指数的变化趋势总体上与土壤重金属综合污染指数一致。

关键词:重金属污染;土壤动物;群落结构;多样性

中图分类号:S1545.3;X53 文献标志码:A 文章编号:1004-3268(2015)10-0090-05

Effect of Heavy Metal Pollution on Soil Animal Community Structure

REN Ruofan¹, ZHAO Tengfei¹, WANG Qingqing¹, MA Youhua¹, ZHANG Yunhua^{2*}

(1. School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China;
2. School of Life Sciences, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: The effect of heavy metal pollution on soil animals community structure was studied by analysis of soil heavy metal content, soil community structure and diversity in Huainan, so as to provide scientific basis for controlling pollution and recovery of ecosystems polluted by heavy metals. The results showed that one plot was subjected to mild pollution among the eight sample plots, the rest were subjected to heavy pollution through the analysis of comprehensive pollution index of heavy metals. With the increase of the comprehensive pollution index of heavy metals, the individual numbers and group number of soil animals decreased; the change trend of evenness index and diversity index of community were opposite to that of comprehensive pollution index of heavy metals, while the change trend of dominance index was consistent with that of comprehensive pollution index of heavy metals.

Key words: heavy metal pollution; soil animal; community structure; diversity

土壤是生态环境系统中物质交换与能量流通的重要枢纽,其中土壤动物在土壤物质能量迁移转化过程中具有特殊的作用。但随着人类活动对环境影响的日益加剧,大量原生植被遭到破坏,污染物质在土壤中不断富集,土壤动物的生存繁殖受到严重的威胁^[1]。其中,重金属污染尤为严重。土壤动物是土壤生态系统中极其重要的组成成分,在分解动植

物残体、土壤的形成与发育、改变土壤理化性质、土壤物质迁移与能量转化等方面有着十分重要的作用;另外,土壤动物对周围环境的变化比较敏感,且其活动性差,易获得标本,是监测土壤污染的理想指示生物,因此,成为土壤污染评价的替代指标或者间接指标^[2-3]。目前,关于土壤重金属污染与土壤动物群落结构的关系研究报道较少^[4-5]。鉴于此,本

收稿日期:2015-04-10
基金项目:科技部星火计划项目(2013GA710066);安徽农业大学生态学科骨干培育项目(2014XKPY-40);安徽省农产品产地土壤重金属调查与污染修复项目(AHNY23001)
作者简介:任若凡(1988-),女,安徽淮南人,在读硕士研究生,研究方向:环境生态。E-mail:275863117@qq.com
* 通讯作者:张云华(1975-),男,安徽怀远人,副教授,博士,主要从事植物生理生态研究。E-mail:yunhua9681@163.com

研究对淮南几个煤矿和发电厂、灰场等样地进行调查,探讨了土壤重金属污染对土壤动物群落结构的影响,以期治理重金属污染与恢复污染区的生态系统提供相关的科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于淮南市境内(116°21'05"~117°12'30"E、32°23'20"~33°00'26"N),淮南是中国能源之都、华东工业粮仓、安徽省重要的工业城市,境内有多家煤矿和发电厂。

1.2 样品采集

于 2014 年 6 月在淮南市境内选取 8 个样地,A:洛河电厂,B:洛河电厂的灰场边,C:顾桥煤矿,D:顾北煤矿,E:舜耕山,F:淮化集团,G:潘一矿,H:田集电厂。在各样地取 4 个中小样点和 1 个手拣大样。在选定地点设置 30 cm×30 cm 的样方,用取土环刀(容积为 100 cm³) 在 4 个角和 2 条对角线交点(中心)处设点取样,采 4 层(0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm)取中小样。并在该区域随机选取一个 10 cm×10 cm 的大样采集点,先去掉枯枝落叶层后,同样采集 4 层,以供手拣。将取土环刀内的土挖进预先贴好标签的小布袋内。小样采用 Tullgren 干漏斗法收集动物,大样当场进行手拣,将所有看到的土壤动物放入贴好标签的瓶子中,并随中小样一起在体视镜下分拣。然后,进行采样点土壤动物的分类与计数^[6]。随后,对采集完土壤动物的土壤样品进行重金属元素含量的测定。

1.3 测定项目及方法

对 8 个采样点采集的土样,进行风化、研磨并过 0.15 mm 尼龙筛,再把土样采用硝酸-盐酸-双氧水湿式消化法处理,Cd、Cu 含量采用石墨炉原子吸收分光光度法测定,Cr、Pb 含量采用火焰原子吸收分光光度法测定,Hg、As 含量采用原子荧光光谱法测定。

1.4 土壤重金属污染评价

采用内梅罗综合污染指数法进行土壤重金属综合污染评价,具体计算公式^[7]如下:

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{P_{\text{imax}}^2 + P_{\text{iave}}^2}{2}}$$

$$P_i = C_i / S_i$$

式中, P_i 是重金属 i 的污染指数, C_i 是重金属 i 的实际测量值, S_i 是重金属 i 的背景值, $P_{\text{综}}$ 为内梅罗

综合污染指数, P_{imax} 为单因子污染指数中的最大值, P_{iave} 为土壤所有单因子污染指数的平均值。

$P_i \leq 1$,说明土壤未受污染,处于清洁水平; $1 < P_i \leq 2$,说明土壤受轻度污染; $2 < P_i \leq 3$,说明土壤受中度污染; $P_i > 3$,说明土壤受重度污染^[8-9]。 $P_{\text{综}} \leq 0.7$,说明土壤清洁; $0.7 < P_{\text{综}} \leq 1.0$,说明土壤污染程度到达警戒线; $1.0 < P_{\text{综}} \leq 2.0$,说明土壤污染程度为轻度污染; $2.0 < P_{\text{综}} \leq 3.0$,说明土壤污染程度为中度污染; $P_{\text{综}} > 3.0$,说明土壤污染程度为重度污染^[8-9]。

1.5 土壤动物群落的多样性指数、均匀性指数和优势性指数评价

土壤动物群落多样性指数(H)采用 Shannon - Wiener 多样性指数法计算^[10],公式如下:

$$H = - \sum \left(\frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N} \right)$$

土壤动物群落的均匀性指数(E)采用 Pielou 均匀性指数法计算^[11],公式如下:

$$E = \frac{H}{\ln S}$$

土壤动物群落的优势性指数(C)采用 Simpson 优势性指数法计算^[12],公式如下:

$$C = \sum \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$$

式中, N 是样品中所有物种的总个体数, n_i 是第 i 种物种的个体数, S 是样品中物种种类总数。

动物多样性指数相关性分析采用简单相关系数法计算。

2 结果与分析

2.1 土壤重金属含量状况

由表 1 可知,各样地都不同程度地受到了重金属污染,但 6 种重金属元素的污染程度不同。对于 As 来说,仅 B、E、H 样地未受污染,D 样地受到重度污染,其他样地受到轻度污染;对于 Cd 来说,仅 E、H 样地未受污染,F 样地受到重度污染,其他样地受到轻度污染;所有样地均受到 Cu 污染,F、G 样地分别受到重度、中度污染,其他样地均受到轻度污染;所有样地均受到 Cr 污染,E 样地受到轻度污染,其他样地均受到重度污染;对于 Pb 来说,仅 A、B 样地未受到污染,C、H 样地受到轻度污染,D、G 样地受到中度污染,F 样地受到重度污染;对于 Hg 来说,仅 A、B 样地受到轻度污染,其他样地均未受到污染。根据综合污染指数,样区 E 为轻度污染区,样区 A、B、C、D、F、G、H 为重度污染区。

表 1 各样地重金属元素的单因子污染指数及综合污染指数

样地	P_i						$P_{\text{综}}$
	As	Cd	Cu	Cr	Pb	Hg	
A	1.558	1.809	1.874	17.978	0.013	1.461	13.041
B	0.061	1.587	1.755	28.433	0.007	1.038	20.496
C	1.303	1.151	1.298	43.450	1.134	0.543	31.259
D	3.084	1.022	1.749	52.102	2.103	0.643	37.528
E	0.983	0.230	1.044	1.453	0.043	0.140	1.130
F	1.718	3.499	3.406	58.643	10.062	0.558	42.468
G	1.134	1.358	2.020	62.498	2.036	0.555	44.953
H	0.003	0.711	1.383	65.174	1.010	0.438	46.768

2.2 土壤动物群落组成及分布特点

由表 2 可知,对淮南市 8 个样地的土样分离提取土壤动物,共获得大中小型土壤动物 1 346 个,23 类,隶属 4 门 8 纲。其中,优势类群(个体数占总个体数的 10% 及以上)为隐翅类、螨类、膜翅类,共 3 类,占土壤动物全部捕获量的 65.01%;常见类群(个体数占总个体数的 1% ~ 10%)为弹尾类、双翅

类、鞘翅类、半翅类、唇足(蜈蚣)、蚯蚓类、双尾类、鞘翅(幼)共 8 类,占总捕获量的 29.27%;优势类群和常见类群总共 11 类,占总捕获量的 94.28%,是重金属样地土壤动物的主要组成部分,对于改善土壤的功能和结构有着重要的作用;其余的 12 类为稀有类群(个体数占总个体数 1% 以下),只占总捕获量的 5.72%,是重金属污染样地的敏感性类群。

表 2 各样地土壤动物群落组成及数量

类群	样地								总数/个	频度/%	多度
	A	B	C	D	E	F	G	H			
隐翅类	102	6	56	5	101	5	5	49	329	24.44	+++
螨类	26	17	13	39	124	43	44	11	317	23.55	+++
膜翅类	37	28	3	5	134	4	1	17	229	17.02	+++
弹尾类	10	10	5	11	45	9	11	8	109	8.10	++
双翅类	24	1	8	3	37	5	5	4	87	6.46	++
鞘翅类	20	4	6	6	24	3	5	2	70	5.20	++
半翅类	10	3	8	4	12	0	1	0	38	2.82	++
唇足(蜈蚣)	2	1	1	2	22	2	0	1	31	2.30	++
蚯蚓类	5	1	3	0	11	0	2	2	24	1.79	++
双尾类	3	1	4	3	6	0	3	1	21	1.56	++
鞘翅(幼)	2	0	1	0	9	0	1	1	14	1.04	++
蜘蛛类	2	0	1	0	3	2	1	2	11	0.82	+
隐翅(幼)	3	1	1	0	4	1	0	1	11	0.82	+
双翅(幼)	1	0	0	1	3	1	1	1	8	0.59	+
同翅	0	0	0	2	1	1	1	1	8	0.59	+
线虫	1	2	1	1	2	1	0	0	8	0.59	+
直翅类	3	1	1	0	1	0	1	1	6	0.45	+
倍足	0	1	0	0	2	1	0	1	6	0.45	+
鳞翅类	1	1	1	0	1	1	0	1	5	0.37	+
蜗牛类	1	1	1	0	1	1	0	0	5	0.37	+
原尾类	1	0	0	1	2	0	0	0	4	0.30	+
结合类	0	0	1	0	1	0	0	1	3	0.22	+
革翅类	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0.15	+
个体数/个	255	79	116	83	546	80	82	105	1 346		
类群数/个	20	16	19	13	22	15	14	18	23		

注:+++为优势类群;++为常见类群;+为稀有类群。

根据表 1、表 2 可知,各样地重金属综合污染指数由小到大为:E < A < B < C < D < F < G < H,土壤动物的个体数由多到少为:E > A > C > H > D > G > F > B,类群数由多到少为:E > A > C > H > B > F > G > D。由此可以看出,随着样地土壤重金

属综合污染指数的增大(重金属污染越严重),土壤动物的类群数与个体数总体呈减少的趋势。

2.3 重金属污染对土壤动物群落多样性指数、均匀性指数和优势性指数的影响

生物多样性、均匀性以及优势性指数这 3 项指

标是衡量生物群落结构的常用指数^[13]。从图 1—3 可以看出,综合污染指数以样地 H 最高,样地 E 最低;Shannon - Wiener 多样性指数以样地 E 最高,样地 H 最低;Pielou 均匀性指数以样地 E 最高,样地 H 最低;Simpson 优势性指数以样地 G 最高,样地 E 最低。样地土壤动物群落的 Shannon - Wiener 多样性指数、Pielou 均匀性指数的变化趋势总体上与土壤重金属综合污染指数相反;土壤动物群落的 Simpson 优势性指数的变化趋势总体上与土壤重金属综合污染指数一致。

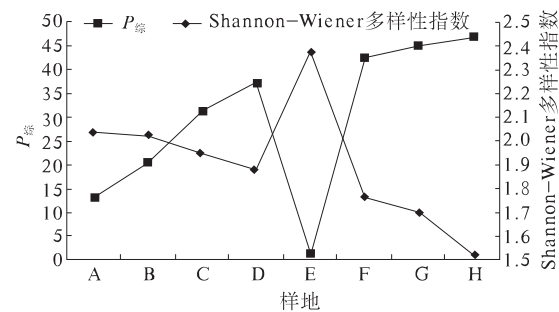


图 1 重金属污染对土壤动物群落多样性指数的影响

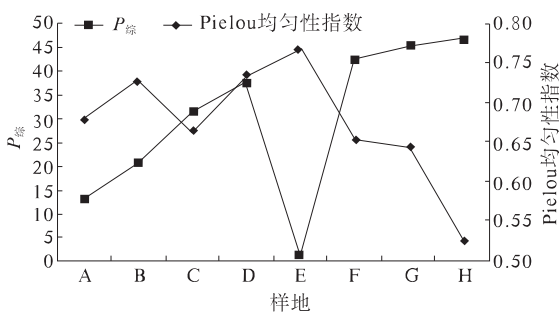


图 2 重金属污染对土壤动物群落均匀性指数的影响

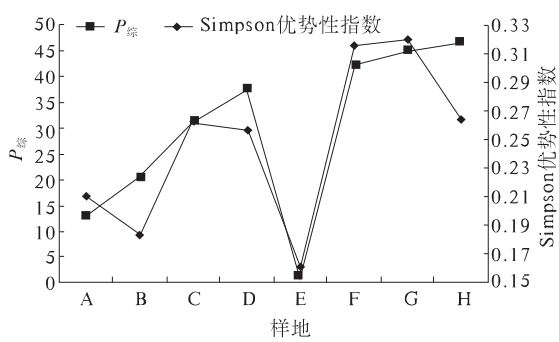


图 3 重金属污染对土壤动物群落优势性指数的影响

2.4 动物群落多样性指数、均匀性指数和优势性指数的相关性分析

由表 3 可知,Shannon - Wiener 多样性指数与 Pielou 均匀性指数呈极显著正相关,与 Simpson 优势性指数呈极显著负相关,Pielou 均匀性指数与 Simpson 优势性指数呈显著负相关。

表 3 土壤动物群落多样性指数、均匀性指数、优势性指数的相关系数

指数	Shannon - Wiener 多样性指数	Pielou 均匀性指数	Simpson 优势性指数
Shannon - Wiener 多样性指数	1		
Pielou 均匀性指数	0.860 **	1	
Simpson 优势性指数	-0.799 **	-0.586 *	1

注: *、** 分别表示相关性显著 ($P < 0.05$)、极显著 ($P < 0.01$)。

3 结论与讨论

在煤炭的生产以及火力发电等工业生产过程中产生的由煤炭衍生的各种废弃物长期堆放和填充对周围土壤环境造成了不同程度的重金属污染。王丽等^[14]通过对陕西神木煤矿区土壤重金属污染特征进行研究发现,矿区周围土壤受到了不同程度的重金属累积性污染,土壤中 Ni、Cd 含量普遍高于陕西土壤背景值。本研究对淮南市煤矿、电厂周围的土壤重金属含量分析发现,所有样地均受到 Cr、Pb 的污染,分别有 5、6 个样地受到了 Cd、Cu 的污染,从综合污染指数来看,E 样地受到轻度污染,其他样地均受到重度污染,这表明长期煤炭资源的开发运输和火力发电等活动导致周围土壤受到了不同程度的重金属累积性污染^[15]。

土壤动物群落结构以及多样性的变化可作为土壤环境质量评价和土壤污染监测的指标和依据^[16]。本研究结果表明,综合污染指数越大(重金属污染越严重),土壤动物的类群数和个体数总体越小。淮南市样点土壤动物优势种为隐翅类、螨类、膜翅类 3 类,占全部土壤动物捕获量的 65.01%,而在孙贤斌等^[4]的研究中,土壤动物的优势种为弹尾类、螨类、线虫类 3 类,占全部土壤动物捕获量的 74%。产生这种差异的原因可能与重金属污染元素种类及污染程度、污染时间以及化学农药肥料的使用等因素有关^[17]。样地土壤动物群落的 Shannon - Wiener 多样性指数、Pielou 均匀性指数的变化趋势总体上与土壤重金属综合污染指数相反;土壤动物群落的 Simpson 优势性指数的变化趋势总体上与土壤重金属综合污染指数一致。这可能是因为随着土壤重金属污染程度的增加,动物的生存环境遭到严重的破坏,导致土壤中绝大部分动物死亡,少部分耐受重金属的种类存活下来,形成新的优势种群,致使土壤动物的总数、种类数和每种个体数均减少,因此多样性指数与均匀性指数会降低,优势性指数会增加^[18-19]。总体上,土壤动物群落的多样性指数变化

趋势与均匀度指数变化趋势相似,与优势度指数变化趋势相反,这与前人^[20]研究结果类似。

参考文献:

[1] 王振中,张友梅,邢协加. 土壤环境变化对土壤动物群落影响的研究[J]. 土壤学报,2002,39(6):892-897.

[2] 王雪峰. 冶炼厂周围重金属污染土壤生物指示研究[D]. 大连:辽宁师范大学,2008.

[3] 孙贤斌,李玉成. 淮南煤矿废弃地重金属污染对土壤动物群落的影响[J]. 生态学杂志,2014,33(2):408-414.

[4] 孙贤斌,李玉成,张小平,等. 淮南市重金属污染对土壤动物群落和多样性影响研究[J]. 生态学杂志,2005,24(10):1163-1166.

[5] 孙贤斌,刘红玉,李玉成,等. 重金属污染对土壤动物群落结构及空间分布的影响[J]. 应用生态学报,2007,18(9):2080-2084.

[6] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京:科学出版社,1998.

[7] 陈兴仁,陈富荣,贾十军,等. 安徽省江淮流域土壤地球化学基准值与背景值研究[J]. 中国地质,2012,39(2):302-310.

[8] 杨贵凯,安建梅. 重金属污染区土壤动物多样性分析[J]. 广东农业科学,2012,39(10):85-87.

[9] 王振中,张友梅,邓继福,等. 重金属在土壤生态系统中的富集及毒性效应[J]. 应用生态学报,2006,17(10):1948-1952.

[10] 王兵,郑秋红,郭浩. 基于 Shannon - Wiener 指数的中国森林物种多样性保育价值评估方法[J]. 林业科学研究,2008,21(2):268-274.

[11] 李丽平,钟福生. 湖南东洞庭湖湿地鸟类群落多样性和均匀性比较[J]. 四川动物,2010,29(6):925-929.

[12] 李效文,贾黎明,李广德,等. 抚育对北京低山侧柏游憩林灌草生物多样性的影响[J]. 北京林业大学学报,2009,31(6):193-197.

[13] Filser J. The effect of green manure on the distribution of collembola in a permanent row crop [J]. Biology and Fertility of Soils,1995,19(4):303-308.

[14] 王丽,王力,和文祥,等. 神木煤矿区土壤重金属污染特征研究[J]. 生态环境学报,2011,20(Z2):1343-1347.

[15] 张久明,迟凤琴,宿庆瑞,等. 哈尔滨市城市土壤重金属空间分布特征及相关分析[J]. 东北农业大学学报,2010,41(7):56-61.

[16] 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[J]. 生态学报,2011,31(2):421-430.

[17] 施时迪,白义,马勇军. 重金属污染对土壤动物的毒性效应研究进展[J]. 中国农学通报,2010,26(14):288-293.

[18] 赫福霞,谢桐音,谢桂林,等. 东营盐生植物园土壤动物垂直分布研究及其聚类分析[J]. 东北农业大学学报,2012,43(6):155-160.

[19] 任婷. 重金属污染区土壤动物群落结构特征及其与重金属污染的相关性研究——以山西省临汾钢铁有限公司为例[D]. 临汾:山西师范大学,2012.

[20] 张秀娟,勾影波,杨晨利. 东洞庭湖环湖丘岗区土壤动物群落多样性研究[J]. 湖南理工学院学报:自然科学版,2008,21(1):73-77.