

典型 POPs 物质对土壤原生动物丰度的影响

郭非凡¹, 史雅娟², 孟凡乔^{1*}, 陈京生¹, 吕永龙²

(1. 中国农业大学资源与环境科学学院, 北京 100094; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要:采用“三级十倍环式稀释法(three level ten-fold dilution method)”的方法,对取自添加了 DDT、林丹的盆栽实验土壤中的原生动物丰度进行研究分析,以此作为典型 POPs 物质对土壤原生动物的抑制效应的初步探索性研究。实验发现,在添加了 DDT、林丹的土壤中的原生动物的丰度与对照相比有大幅度的下降,其种群结构遭到了相当大的破坏。其中作为优势类群的鞭毛虫、肉足虫平均数量最小时仅为 CK 对照的 0.3%、2.5%,而对污染最为敏感的纤毛虫则在土壤中完全消失。研究结果表明,受典型 POPs 物质污染的土壤,即使其含量很低,也对原生动物的抑制作用非常显著。

关键词:土壤原生动物;有机氯农药;POPs;指示生物

文章编号:1000-0933(2006)01-0070-05 中图分类号:Q143, S154.1, X172 文献标识码:A

Ecological effects of typical POPs on soil protozoa

GUO Fei-Fan¹, SHI Ya-Juan², MENG Fan-Qiao^{1*}, CHEN Jing-Sheng¹, LÜ Yong-Long² (1. College of resource and environment Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy Sciences, Beijing 100085, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 70 ~ 74.

Abstract: Soil protozoa play an important role in soil ecosystem, especially making contributions to material cycling and energy transformation in soils. However, the difficulty in counting and taxonomic analysis limits the use of soil protozoa as bioindicator in terrestrial environments at present. In this regard, there is little literature available on the effects of POPs on soil protozoa.

In order to acquire primary understanding of the toxicity of typical POPs on soil protozoa, the effects of DDT and lindane on the community structure and abundance of soil protozoa were assessed. Pot experiments simulating farm ecosystem were begun with the uncontaminated soils in China Agricultural University, the pesticides were then mixed into the soil at concentrations of 1, 10, 50 mg·kg⁻¹ dry soil for lindane and 1, 10, 50 mg·kg⁻¹ dry soil for DDT. Three replicates were used for each dose. The same procedure was employed to prepare a set of three control replicates without the pesticides. The pots were placed in a greenhouse for 60 days, and the abundance of soil protozoa was analyzed with the “three level ten-fold dilution method” at days 1, 3, 7, 15, 30 and 60, and the residue level of lindane and DDT were analyzed. The results showed that the soil protozoa were sensitive to DDT and lindane. Compared with control group, the species and numbers of protozoa in soil samples treated by DDT and lindane decreased markedly, and the population structure and community were greatly demolished. The minimal abundance of flagellate and sarcodina in the DDT and lindane group was only 0.3% and 2.5% compared to that of control group, respectively, and the ciliates disappeared completely. The results suggested that the typical POPs in soil, even with low concentrations, could be greatly harmful to soil protozoa.

Key words: soil protozoa; organochlorine pesticide; POPs; bio-indicator

基金项目:国家自然科学基金面上资助项目(30300056)

收稿日期:2005-01-12; **修订日期:**2005-11-02

作者简介:郭非凡(1978~),男,内蒙古乌兰察布市人,硕士生,主要从事持久性有机污染物对土壤动物危害研究. E-mail: guofeifan2008@163.com

* 通信作者 Author for correspondence. E-mail: mengfq@public3.bta.net.cn

Foundation item: National Natural Science Foundation of China(No.30300056)

Received date:2005-01-12; **Accepted date:**2005-11-02

Biography: GUO Fei-Fan, Master candidate, mainly engaged in harm of the persistent organic pollutants on soil microfauna. E-mail: guofeifan2008@163.com

持久性有机污染物(Persistent Organic Pollutants 简称 POPs)是指具有长期残留性、生物累积性、半挥发性和高毒性,能够在大气环境中长距离迁移并能够沉积回地面,对人类健康和环境具有严重危害的天然或人工合成的有机污染物质^[1,2]。2001 年斯德哥尔摩公约提出首批控制的 12 种 POPs,其中前九种是以 DDT 为代表的有机氯农药^[3]。

DDT(1939 年由瑞士科学家米勒研制开发成功)是人类历史上第一种有机合成农药,也是使用最早的有机氯杀虫剂,在农业和家庭卫生上多有使用。据统计,在 20 世纪 60~80 年代,我国生产和使用的主要是以 DDT 为代表的有机氯农药。虽然自 1983 年被正式禁止生产和使用,但至今在果蔬^[4]、中草药^[5,6]及土壤^[7]中检出率仍相当高,其对环境的影响仍没有消失。

土壤原生动物是指生活在土壤或土壤表面覆盖的凋落物中的原生动物,是一个相对独立存在的以土壤为栖息地的微型生物群落。土壤原生动物种类繁多,生物量巨大,它们消耗土壤中大部分细菌,对促进土壤生态系统的物质循环和能量转化以及提高微生物、植物和动物的活力方面起着至关重要的作用^[8,9]。自 1839 年 Ehrenberg 首次发现原生动物至今,有关土壤原生动物的研究已有 160a 的历史,但大多集中在土壤原生动物的分类区系、种类、生活习惯、分布特征和生态功能等基础性研究^[10,11]。在我国,土壤原生动物的研究起步较晚,主要集中在土壤原生动物生态功能、区系特征和物种分布等方面^[12]。

原生动物是由单细胞构成,密切地与它们所生存的环境接触,从而能对外界环境的变化做出敏捷的反应,因而可以作为早期预警系统的指示生物。实际上,在上个世纪初,水生原生动物就开始被用于淡水生态系统的监测中,目前已被广泛应用在湖泊或淡水水环境的污染指示与评价中,而土壤原生动物作为环境指示生物的研究起步较晚。对农药类污染物指示作用的系统性研究目前还未见报道。本文是在保证其他环境因子相同的情况下,对不同添加浓度梯度的两种典型 POPs 物质 DDT、林丹(Lindane)对土壤原生动物丰度的破坏性进行了研究,为更好地了解 POPs 物质对土壤原生动物的抑制作用提供了基础知识,从而为将来在这方面更加深入、细致的研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 主要仪器和试剂

HPG-280H 型人工气候箱;XSZ-G 型生物显微镜;AB104-N 分析天平;HZQ-C 空气浴振荡器;YX-280 型手提式蒸汽灭菌器;金花牌 5ml 取液器。

DDT、林丹均为原药,分析纯,由天津大沽化工厂提供;琼脂粉,生化试剂,日本进口分装。

1.2 培养条件

将接种好原生动物的培养皿在恒温 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 条件下,光照周期为 12h:12h,光强大于 3000lx 的模拟自然生境条件下的人工气候箱中进行培养。

1.3 实验步骤

1.3.1 盆栽实验 实验供试土壤取自本校科技园玉米地,盆栽用直径为 27cm 高为 30cm 的塑料盆,每盆装土 6.75kg。实验所用的土壤经粉碎过 6mm 空筛,摊于干净的塑料布上,精确称取一定量的研碎的 DDT、林丹粉剂添加到土壤中,充分拌匀,装盆。共设 3 个浓度组,分别为 1、10、50 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,每个浓度设 3 个重复,同时设空白作对照组。在实验开始的当天播种油菜,分别于第 1、3、7、15、30、60 天取土样进行原生动物及 DDT、林丹残留的测定。

1.3.2 土壤原生动物的总数测定 本文采用 Stout 和 Singh 的“3 级 10 倍”环式稀释法。在培养过程中一切器皿、培养基均经高压灭菌,接种时避免尘埃落入,确保培养不受污染^[13]。

1.4 土样中 DDT、林丹的残留测定

本文采用土壤质量六六六和滴滴涕的测定气相色谱法(GB/T14550-93)^[14],对取自添加了 DDT、林丹的盆栽实验土样中的 DDT 和林丹进行残留测定。

2 结果与讨论

2.1 DDT、林丹在土壤中的残留动态

表 1 显示的是不同处理土壤中 DDT、林丹浓度随时间变化。通过 60d 曝露时间,共取样 6 次,由于所取的土样较多,如果把全部土样进行农药残留测定,所需工作量巨大,因此只取了其中具有代表性的 3 个曝露时间来进行分析。

2.2 土壤原生动物的丰度的变化

表 2 显示的是添加了不同浓度 DDT、林丹处理的土壤中,通过 60d 曝露时间,共 6 次取样所测得不同处理土样中出现的三大类群原生动物的平均数量变化。表 3 显示的是以浓度为因子,用 SPSS10.0 对 6 次实验中不同浓度水平下测得的原生动物丰度的分析结果,由于测得的原生动物丰度数据呈非正态分布,故采用非参数多个独立样本检验进行分析。

表 1 不同处理土样中 DDT、林丹的残留量

Table 1 The residues of DDT and lindane in the soil sample with different treatment

曝露时间(d) Exposure time	滴滴涕 DDT (mg·kg ⁻¹)			林丹 Lindane (mg·kg ⁻¹)		
	1.000	10.000	50.000	1.000	10.000	50.000
0	1.000	10.000	50.000	1.000	10.000	50.000
3	0.230	1.510	22.250	0.059	0.100	0.138
15	0.140	0.720	8.540	0.033	0.048	0.065
60	0.095	0.107	2.340	0.011	0.017	0.033

表 2 滴滴涕、林丹不同添加浓度梯度土样中原生动物的平均数量

Table 2 The mean amount of protozoa in soil sample with different concentrations DDT and lindane(ind./g)

土壤原生动物 Soil protozoan	曝露时间(d) Exposure time	空白 CK 0	滴滴涕 DDT(mg·kg ⁻¹)			林丹 Lindane(mg·kg ⁻¹)		
			1	10	50	1	10	50
鞭毛虫 Flagellate	1	88273	357	358	232	665	675	511
	3	63716	1436	741	534	1151	1129	1121
	7	112169	2008	1992	1638	3130	1621	1347
	15	52867	2444	1924	1041	1027	427	280
	30	25230	3996	2416	1102	5084	2428	657
	60	38199	4414	3567	2867	5544	3325	1307
纤毛虫 Ciliate	1	394	104	231	104	505	233	105
	3	381	230	232	0	126	0	0
	7	410	383	115	0	244	150	113
	15	723	678	426	0	874	665	232
	30	2100	1677	1298	105	1026	832	657
	60	2826	2716	2296	967	2107	1702	1055
肉足虫 Sarcodina	1	1139	965	766	196	814	597	360
	3	2743	1999	1625	1313	2014	2009	1308
	7	3345	945	932	716	536	381	113
	15	4298	511	457	363	355	232	106
	30	1557	1300	619	605	1569	1286	611
	60	4556	3927	1298	695	1945	1929	657

2.3 结果与讨论

由表 1 可以看出,不同处理的土壤中,DDT、林丹浓度随着曝露时间的延长有显著的降低。林丹在前 3d 浓度降低得非常快,从第 3 天之后浓度变化变慢。与林丹相比,DDT 在浓度变化上则有明显不同,其降解速度比林丹要慢的多,在前 15 天其浓度变化较快,从第 15 天之后浓度变化趋势趋于平缓,当曝露时间达到 60d 时,3 个处理组中测得的 DDT 浓度为初始浓度的 9.6%、10.8%、4.7%,而林丹的 3 个处理组测得的最高浓度仅为初始浓度的 1.1%,这一点正好与 DDT 的持久性大于林丹这一特性相吻合。

从对盆栽实验所取土样中的原生动物的测定结果(表 2)可以看出,不论是在添加不同浓度梯度的 DDT、林丹处理的土壤中,还是作为对照的空白土壤中,鞭毛虫和肉足虫的数量较大,所占比例最高,是优势类群,这与现有的文献报道的结果完全一致。与对照相比,在添加了 DDT、林丹的土壤中,三类原生动物数量变化非常显著,在实验的前期,鞭毛虫、纤毛虫、肉足虫的数量急剧下降,但减少的程度又各不相同,其中鞭毛虫数量的降幅最大,肉足虫次之,纤毛虫最小。但是从受伤害的程度来看,纤毛虫所受的损伤最大,因为在一些高浓度处理中,纤毛虫在土样中完全消失。由此可以推断,在这三类原生动物中,纤毛虫对 DDT、林丹最为敏感。随

着曝露时间逐渐延长,三大类群的原生动物的数量变化虽存在一定的起伏,这可能是受其它环境因子(如气温等)影响的结果,但整体的趋势是随着曝露时间的延长,三类原生动物的数量逐渐回升。综合表 1、表 2 的结果,发现这样一条规律,随着暴露时间的延长,土壤中 DDT、林丹的浓度越来越低,对原生动物的损伤越来越小,而原生动物的数量逐渐回升,但与对照相比,其数量差距仍然相当大,不同的是,在实验的初期,同一浓度处理的土壤中,添加了林丹的土壤原生动动物数量要比 DDT 中的少,而到实验的后期,结果恰恰相反。由此可以得出这样的结论,即使土壤中残留有浓度很小的 DDT、林丹,也会对土壤原生动动物产生很大的抑制效应,林丹的急性毒性大于 DDT,但 DDT 长期毒性作用要比林丹更明显。就实验每次取样的土壤原生动动物测定的结果来看,不难发现,随着 DDT、林丹的浓度的增大,原生动物的数量减少,通过对实验数据进行多个独立样本的非参数分析结果(如表 3 所示)表明,随着浓度的增大原生动物的丰度变化存在极显著差异。

综上所述,受 DDT、林丹污染的土壤,对于单细胞的土壤原生动动物的丰度影响非常显著,因此可以作土壤中 POPs 污染物的指示生物。

References:

- [1] Frank Wania, Donald Mackey. Tracking the distribution of Persistent Organic Pollutants. *Environment science & Technology*, 1996, 30(9):390 ~ 396.
- [2] Jones K C, Voogt P de. Persistent organic pollutants (POPs): state of the science. *Environmental Pollution*, 1999, 100:209 ~ 221.
- [3] Huang J, Yu G, Qian Y. The problems of Persistent Organic Pollutants in China and Their Research Countermeasures. *Environmental protection*, 2001, 11: 3 ~ 6.
- [4] Xie Y, Liu X Y, Ji Y. Determination of BHC & DDT Remnant in Kuerle Pear by Gas Chromatography. *Journal of Shihezi University(Natural Science)*, 2002, 6(2): 161 ~ 162.
- [5] Yan Z, Zhang Y L, Feng T T, *et al.* Determination of Residues of Organochlorinated Pesticides in Five Herbs by Capillary Gas Chromatography. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2003, 31(1): 95 ~ 98.
- [6] Wang H L, Chen J M, Zhang S M. GC-ECD Determination of Residual Organochlorine Pesticides in American Ginseng (*Panax quinquefolium*). *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 1998, 29(6): 381 ~ 383.
- [7] Li H X, Hao G T, Zhao C J, *et al.* Determination of the organochlorine pesticide residues in the Radix Rehmanniae preparata by the CGC-EDC. *Journal of Shenyang Pharmaceutical University*, 2002, 19(6):422 ~ 425.
- [8] Song X Y, Song Y F, Sun T Y, *et al.* Bio-indicating function of soil protozoa to environmental pollution. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15 (10):1979 ~ 1982.
- [9] Xu R L, Mo Y. Effect of irrigation of landfill leachate on soil protozoan communities. *Chin J Apple Environ Biol*, 2001, 7(1):41 ~ 44.
- [10] Ning Y Z, Shen Y F. Soil protozoa in typical zone of China I. Faunal characteristics and distribution of species. *Acta Zoologica Sinica*, 1998, 44(1):5 ~ 9.
- [11] Ning Y Z, Shen Y F. Soil protozoa in typical zone of China II. Ecological study. *Acta Zoologica Sinica*, 1998, 44(3):271 ~ 276.
- [12] Chen S F, Xu R L. Advance of the Studies on the Soil Protozoa. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatsen*, 2003, 42:187 ~ 194.
- [13] The compose-team of handbook of study means on Soil fauna, *Handbook of study means on Soil fauna*. China Forestry Publishing House, 1998.
- [14] Environmental Protection Administration of China. GB/T14550 ~ 93. National Standards of P. R. China: Soil quality—Determination of BHC and

表 3 土壤原生动动物数量的非参数多个独立样本检验的分析结果

Table 3 The k Independent Sample test analysis of nonparametric tests on the amount of soil protozoa

土壤原生动动物 ($n \cdot g^{-1}$)	暴露时间 (d) Exposure time	滴滴涕 DDT		林丹 Lindane	
		H	P	H	P
鞭毛虫 Flagellate	1	9.462	0.024	9.430	0.024
	3	10.385	0.16	8.436	0.038
	7	9.462	0.024	10.385	0.016
	15	10.385	0.016	10.385	0.016
	30	10.385	0.016	10.385	0.016
	60	10.385	0.016	10.385	0.016
纤毛虫 Ciliate	1	9.379	0.025	8.128	0.043
	3	9.492	0.023	10.649	0.014
	7	10.116	0.018	10.385	0.016
	15	10.116	0.018	10.385	0.016
	30	10.385	0.016	10.385	0.016
	60	9.462	0.024	10.385	0.016
肉足虫 Sarcodina	1	10.385	0.016	9.462	0.024
	3	9.462	0.024	9.974	0.019
	7	8.436	0.038	10.385	0.016
	15	9.359	0.025	9.359	0.025
	30	10.385	0.016	9.462	0.024
	60	9.359	0.025	10.385	0.016

DDT—Gas Chromatography. Beijing: Standards Press of China, 1993-12-06.

参考文献:

- [3] 黄俊, 余刚, 钱易. 我国持久性有机污染物问题与研究对策. 环境保护, 2001, 11: 3~6.
- [4] 谢勇, 刘晓宇, 姬勇. 毛细管气相色谱法测定香梨中有机氯农药六六六、DDT 的残留量. 石河子大学学报(自然科学版), 2002, 6(2): 161~162.
- [5] 阎正, 张亚莉, 冯天涛, 等. 毛细管气相色谱法测定 5 种中草药中有机氯农药的残留量. 分析化学, 2003, 31(1): 95~98.
- [6] 王会丽, 陈建民, 张曙明. 有机氯农药残留量的气相色谱检测方法研究. 中草药, 1998, 29(6): 381~383.
- [7] 李欢欣, 郝桂彤, 赵春杰, 等. 气相色谱法测定熟地中有机氯类农药残留量. 沈阳药科大学学报, 2002, 19(6): 422~425.
- [8] 宋雪英, 宋玉芳, 孙铁珩, 等. 土壤原生动物的生物指示作用. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1979~1982.
- [9] 徐润林, 莫燕. 垃圾渗滤液对土壤原生动物的群落影响. 应用于环境生物学报, 2001, 7(1): 41~44.
- [10] 宁应之, 沈韫芬. 中国典型地带土壤原生动物 I 区系特征和物种分布. 动物学报, 1998, 44(1): 5~9.
- [11] 宁应之, 沈韫芬. 中国典型地带土壤原生动物 II 生态学研究. 动物学报, 1998, 44(3): 271~276.
- [12] 陈素芬, 徐润林. 土壤原生动物的研究进展. 中山大学学报(自然科学版), 2003, 42: 187~194.
- [13] 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. 62~68.
- [14] 国家环保局. GB/T14550-93. 中华人民共和国国家标准——土壤质量六六六和滴滴涕的测定——气相色谱法. 北京: 中国标准出版社, 1993-12-06.