

# 太仓地区有机氯污染农田土壤动物群落结构分析\*

李斌<sup>1</sup> 董元华<sup>2</sup> 王辉<sup>2</sup> 严海娟<sup>1</sup> 曲继强<sup>1</sup> 张峰<sup>1</sup> 马以桐<sup>1</sup> 陈建秀<sup>1†</sup>

(1 南京大学生物学系, 南京 210093)

(2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

## SOIL ANIMAL COMMUNITIES IN FARMLAND POLLUTED BY ORGANOCHLORINE

Li Bin<sup>1</sup> Dong Yuanhua<sup>2</sup> Wang Hui<sup>2</sup> Yan Haijuan<sup>1</sup> Qu Jiqiang<sup>1</sup> Zhang Feng<sup>1</sup> Ma Yitong<sup>1</sup> Chen Jianxiu<sup>1†</sup>

(1 Department of Biology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

(2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008, China)

关键词 土壤动物群落; 有机氯污染; 生物多样性

中图分类号 S154.5 文献标识码 A

土壤环境的优劣决定着我国未来农业的可持续性发展,同时也深刻地影响着动物和人类的健康。土壤动物作为土壤污染程度的指示生物已成为国际土壤生态学领域研究中的热点问题<sup>[1,2]</sup>,对土壤动物作为土壤质量表征的研究目前仍处在开展阶段<sup>[3]</sup>。有机氯农药化学性质稳定,残留时间长,脂溶性强,且利用率低而对农业生态环境造成严重的污染<sup>[4]</sup>。此前已有文献讨论有机氯农药与土壤的关系<sup>[5-7]</sup>,土壤动物对重金属污染的反应<sup>[8]</sup>,但是从生物多样性的角度调查有机农药污染的相关文献较少。本调查利用生物统计学方法,对江苏太仓地区有机氯农药不同污染程度的农田中土壤动物群落进行了初步分析,旨在揭示土壤动物群落与土壤污染

程度之间的关系,寻找合适的土壤污染指示生物,为土壤动物的多样性保护以及土地资源的可持续利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样器材

土壤动物吸虫器、土壤动物采样器(内径 5 cm,高 5 cm)、干漏斗分离器、湿漏斗分离器等。

### 1.2 采样地点

土样取自江苏省太仓市鹿河镇长洲村, GPS 位置: E 121° 04.492', N 31° 42.931'。土壤类型为水稻土中乌砂土,耕作制度为水稻、小麦轮作。土壤基本理化性质见表 1。样地污染情况见表 2。

表 1 土壤理化性质

样地编号	土壤类型	pH	有机质(g kg <sup>-1</sup> )	N(g kg <sup>-1</sup> )	K(g kg <sup>-1</sup> )	P(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> g kg <sup>-1</sup> )
65	潮土或菜园土	8.11	21.6	1.49	19.4	1.89
87	潮土	8.13	9.1	0.56	18.0	1.43
67	水稻土	8.17	23.2	1.48	20.2	1.84

本试验选取样地编号分别为 65、87、67, 污染程度为 65 号样地 > 87 号样地 > 67 号样地; 农药的

\* 国家自然科学基金项目(40171084)、中国科学院知识创新工程重要方向(KZCX3-SW-417)、国家重点基础研究发展规划项目(2002CB410805 和 199901181)资助

† 通讯作者, Tel: 025-83593389; E-mail: chenjx@nju.edu.cn

作者简介: 李斌(1982~), 男, 硕士研究生, 主要从事土壤动物生态学研究

收稿日期: 2004-04-01; 收到修改稿日期: 2004-12-17

成分为六六六(HCH, 六氯环己烷)的4种异构体 $\alpha$ -HCH、 $\gamma$ -HCH、 $\beta$ -HCH、 $\delta$ -HCH, 和滴滴涕[2, 2-双(4

氯苯基)-1, 1, 1-三氯乙烷]的4种代谢产物 p, p'-DDE、o, p'-DDT、p, p'-DDD、p, p'-DDT。

表2 土壤污染情况

样地编号	土壤类型	土层(cm)	有机氯含量 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )		
			$\Sigma\text{HCH}$	$\Sigma\text{DDT}$	OCPs
65	潮土或菜园土	0~5	5.71	260.8	266.5
		5~10	6.08	280.6	286.8
		10~15	6.05	279.3	285.3
87	潮土	0~5	6.15	226.4	232.6
		5~10	5.41	218.8	224.1
		10~15	4.92	201.6	206.5
67	水稻土	0~5	6.41	190.8	186.2
		5~10	6.52	177.2	183.7
		10~15	6.23	208.8	215

注:  $\Sigma\text{HCH}$  为4种六六六异构体 $\alpha$ -HCH、 $\gamma$ -HCH、 $\beta$ -HCH、 $\delta$ -HCH含量之和;  $\Sigma\text{DDT}$  为滴滴涕4种代谢产物 p, p'-DDE、o, p'-DDT、p, p'-DDD、p, p'-DDT之和; OCPs 为六六六和滴滴涕含量之总和

### 1.3 土壤动物采集、分离和鉴定

每一采样地选取3个采样点, 为重复3次取样, 分别用I、II、III表示。每一采样点划定30 cm  $\times$  30 cm的样方, 分0~5 cm(编号1)、5~10 cm(编号2)和10~15 cm(编号3)三层分别取样; 采用手捡法从中分离大型土壤动物; 并在同一位置用环套垂直方向分三层取样, 每层取两个环套, 分别用于干、湿漏斗收集土壤动物。活泼性土壤小型节肢动物以吸尘器采集。土壤动物鉴定, 根据青木淳<sup>[9]</sup>和尹文英的分类方法<sup>[10, 11]</sup>。

### 1.4 数据分析

**1.4.1 差异显著性分析** 由于本研究中影响土壤动物群落结构的因素有两个——污染程度和土壤深度, 所以采取双因素方差分析。当  $F > F_{\text{crit}}$  时, 差异显著。

**1.4.2 相关性分析** 相关系数的计算公式为:

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}$$
 其中  $x$  为污染浓度,  $y$  为土壤动物数量。相关性为正, 表示类群数随污染的增加而增加; 反之, 表示随污染的增加而减少。

**1.4.3 多样性分析** 土壤动物保持一定的多样性是土壤健康的标志之一<sup>[12]</sup>。

(1) 多样性指数 (Shannon wiener 指数)  $H = -\sum(n_i/N) \times \ln(n_i/N)$ ;

(2) 均匀度  $J = H/H_{\text{max}} = H/\ln S$ ;

(3) 单纯度  $P = \sum n_i^2/N^2$ 。

上述三个公式中,  $n_i$  为  $i$  种的个体数;  $N$  为群落的个体总数;  $S$  为土壤动物的类群数。

**1.4.4 相似性检验** 用以比较两个样地中土壤动物群落的相似性程度。计算公式为:  $S = 2c/(a+b)$ 。其中  $S$  为相似性系数;  $a$ 、 $b$  为不同样地土壤动物类群数;  $c$  为不同样地共有的类群数。

**1.4.5 秩和非参数检验** 用于比较群落结构差异。计算公式为:  $H = 12 \times \sum R_i^2/n_i / (N \times (N+1)) - 3 \times (N+1)$ 。其中,  $N$  为各组样本数之和,  $R_i$  和  $n_i$  为各组的秩号之和以及样本数。先将各组数据由小到大排列, 再将各组数据由小到大统一编秩, 不同组的相同数据取其平均秩次。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤动物类群

本调查共获土壤动物标本1541个, 隶属5个门, 7个纲。主要类群有9大类, 即2个优势类群(个体数大于全捕量的10%): 线虫(38.6%)和双翅目(35.9%), 共占74.5%; 7个常见类群(1%~10%): 线蚓(1.16%), 蛭纲(1.93%), 螨类(1.09%), 蜘蛛目(4.57%), 鞘翅目(5.41%), 弹尾目(5.41%), 同翅目(1.93%), 共占21.5%。优势类群和常见类群共占个体总数的96%。此外, 还有12个偶见类群(个体数小于1%)。

### 2.2 土壤动物数量与污染的关系

调查结果显示, 土壤动物个体数量随污染程度

的加重而减少, 重度污染土壤中个体数少于轻度污染土壤; 中度污染与轻度污染土壤中的个体数量无显著差异, 具体见表 3。

表 3 不同土层的土壤动物个体数(个)

样地编号	0~ 5 cm	5~ 10 cm	10~ 15 cm	总数
65	219±25.94	87±18.08	83±5.03	389±35.80
87	193±32.08	185±38.74	144±41.67	522±45.65
67	360±37.04	146±28.54	124±35.56	630±72.67

### 2.3 土壤动物优势类群数量分析

根据表 4 对线虫和摇蚊数量所做的方差分析显示: 在土层之间,  $F_{crit} = 3.555$ , 线虫的  $F = 5.129 > F_{crit}$ , 差异显著; 而摇蚊的  $F = 0.493 < F_{crit}$ , 差异不显著。根据表 5, 在土层和污染程度的交互作用下,  $F_{crit} = 2.923$ , 线虫的  $F = 3.415 > F_{crit}$ , 差异显著; 而摇蚊的  $F = 0.459 < F_{crit}$ , 差异性不显著; 相关性分析

的结果为: 类群数 =  $a + rx = a + 0.1813x$ , 线虫数 =  $a' - 0.5175x$ , 摇蚊数 =  $a'' - 0.2779x$ , 线虫和摇蚊的数目与污染程度呈负相关。根据表 6 对土壤动物类群数所做的双尾检验表明:  $T \leq t$ , 得出  $p_{65-87} = 0.74$ ,  $p_{65-67} = 0.43$ ,  $p_{87-67} = 0.40$ , 临界值  $0.05$ ,  $p > 0.05$ , 不同污染程度土壤之间土壤动物类群数差异不显著。

表 4 土壤动物线虫和摇蚊的数量(个)

样地编号	线 虫			摇 蚊		
	0~ 5 cm	5~ 10 cm	10~ 15 cm	0~ 5 cm	5~ 10 cm	10~ 15 cm
65	56	0	3	12	4	8
	3	1	0	13	18	22
	10	6	5	1	1	19
87	48	39	1	0	27	45
	2	25	1	57	20	0
	4	3	76	0	5	0
67	69	6	4	13	12	60
	136	13	11	1	39	23
	64	14	0	0	15	0

表 5 土壤动物类群数、优势类群与污染状况

样地编号	土层 (cm)	OCPs ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	类群数(个)	线虫数量(个)	摇蚊数量(个)
65	0~ 5	266.5	38	69	26
	5~ 10	286.8	21	7	23
	10~ 15	285.3	12	8	49
87	0~ 5	232.6	25	54	57
	5~ 10	224.1	23	47	52
	10~ 15	206.5	15	78	45
67	0~ 5	186.2	21	269	14
	5~ 10	183.7	20	33	66
	10~ 15	215.0	11	15	83

注: OCPs 为六六六和滴滴涕含量之总和

表6 不同重复下的类群数目(个)

	65 I	65 II	65 III	87 I	87 II	87 III	67 I	67 II	67 III
科的数目	33	29	16	23	25	24	22	26	13

2.4 土壤污染对群落结构的影响

表7显示,土壤动物多样性指数(H')和均匀度指数(J)在轻度污染的土壤中最低,中度污染的土壤中最高,而重度污染的土壤中又有所下降。这种非线性关系,本文作者认为可能是由于污染的作用,导致优势类群数量减少,从而空出生态位,以致较耐污染的常见类群及稀有类群的类群数增加,而当污染达到一定程度时,又使其有所下降。由表8可知,中度污染87-2与87-1的相似性系数最高,而轻度污染67-3与中度污染87-1的相似性系数最低。表9列出了七大常见类群在不同污染样地中的频度。鞘翅

目、蛭、螨、螺等类群的频度随污染的增加而减少,而且在不同污染的土样中,各常见种的地位均有变化。做秩次和非参数检验:  $H = 0.69, \chi^2_{0.05,2} = 5.99 > H$ , 所以不同程度污染之间动物群落结构差异不显著。

表7 污染土壤动物多样性分析

多样性指数	以科的数量做多样性分析		
	65	87	67
单纯度P	0.0623	0.236	0.329
多样性H'	1.977	2.036	1.724
均匀度J	0.511	0.573	0.497

表8 不同垂直层次的样地相似性系数分析

样地编号	65 2	65 3	87 1	87 2	87 3	67 1	67 2	67 3
65 1	0.51	0.52	0.63	0.52	0.34	0.54	0.38	0.41
65 2		0.61	0.48	0.5	0.39	0.48	0.44	0.44
65 3			0.59	0.57	0.44	0.67	0.44	0.43
87 1				0.79	0.4	0.7	0.31	0.28
87 2					0.53	0.59	0.33	0.35
87 3						0.61	0.34	0.31
67 1							0.39	0.31
67 2								0.65

表9 七大常见类群在不同污染样地中的频度

土壤动物	65	秩次	87	秩次	67	秩次
鞘翅目 Coleoptera	5.68	29	7.64	32	3.33	26
蜘蛛 Araneae	6.98	31	6.33	30	1.59	21
弹尾目 Collembola	12.1	33	3.72	28	2.7	24
同翅目 Homoptera	3.62	27	0.93	10.5	1.75	23
蚯蚓 Oligochaeta	1.03	13	1.49	18	0.32	4.5
线蚓 Enchytraeidae	1.55	19	0.74	7	1.27	15
双尾目 Diplura	0.78	8.5	1.12	13	0.32	4.5
蛭纲 Hirudinea	1.29	16.5	1.12	13	2.86	25
膜翅目 Hymenoptera	1.29	16.5	0.19	3	0.63	6
螨 Acarina	0.78	8.5	0.93	10.5	1.59	21
螺 Gastropoda	0	1.5	0	1.5	1.59	21
	$n_1 = 11$	$R_1 = 203.5$	$n_2 = 11$	$R_2 = 166.5$	$n_3 = 11$	$R_3 = 191$

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 杨冬青, 高峻. 城市生态系统中土壤动物研究及应用进展. 生态学杂志, 2002, 21(5): 54~ 57
- [ 2 ] 梁文举, 葛亭魁, 段玉奎. 土壤健康及土壤动物生物指示的研究与应用. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(1): 70~ 72
- [ 3 ] 张华, 张甘霖. 土壤质量指标和评价方法. 土壤, 2001, 6: 326~ 333
- [ 4 ] 赵玲, 马永军. 有机氯农药残留对土壤环境的影响. 土壤, 2001, 6: 309~ 311
- [ 5 ] 龚钟明, 朱雪梅, 崔艳红, 等. 天津市郊农田土壤中有有机氯农药残留的局地分异. 城市环境与城市生态, 2002, 15(4): 4~ 6
- [ 6 ] 阎伍玖, 吕成文, 陈飞星. 芜湖城市郊区土壤重金属污染危害及其对策研究. 土壤学报, 2000, 37(1): 136~ 141
- [ 7 ] 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. 土壤学报, 2002, 39(6): 892~ 897
- [ 8 ] 黄成, 孟文新, 陈建秀, 等. 蚯蚓对镉的富集作用及其耐受性研究. 南京师大学报(自然科学版), 2000, 23(3): 214~ 218
- [ 9 ] 青木淳一. 土壤动物学. 东京: 北隆馆, 1973
- [ 10 ] 尹文英, 等编. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社, 1992
- [ 11 ] 尹文英, 等编. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社, 1998
- [ 12 ] Meurisse R T. Soil quality and health: some applications to ecosystem health and sustainability. In: Meurisse R T, Ypsilantis W G, Seybold C. eds. Proceedings of the Pacific Northwest Forest and Rangeland Soil Organism Symposium, March 17~ 19 Corvallis, OR; Gen. Tech. Rep. PNWGTR 461 U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station: Portland, OR, 1999. 21~ 32