

土壤环境变化对土壤动物群落影响的研究*

王振中 张友梅 邢协加

(湖南师范大学国土学院, 长沙 410081)

EFFECT OF CHANGE IN SOIL ENVIRONMENT ON COMMUNITY STRUCTURE OF SOIL ANIMAL

Wang Zhen zhong Zhang You mei Xing Xie jia

(Land Institute of Hunan Normal University, Changsha 410081)

关键词 土壤动物, 森林土壤, 农田土壤, 土壤环境, 农药污染

中图分类号 S154.5

土壤是环境系统中物质与能量交换的枢纽, 土壤动物在土壤物质能量迁移转化过程中具有特殊的功能和作用。然而, 随着人类活动对环境影响的加剧, 原生植被受到破坏, 各种污染物质不断在土壤中富集, 对土壤动物的生存繁衍带来严重威胁, 目前土壤动物学者的研究, 主要集中在土壤动物在成长过程中的作用, 理化性质的改良, 土壤养分循环以及区系分类等, 很少涉及土壤动物与环境特别是污染环境关系的研究。农药是目前主要的化学性环境污染物, 农药污染对自然和农田生态系统的结构和功能都有影响^[1], 有实验表明, 农药污染对土壤动物新陈代谢及卵的数目和孵化能力有明显影响^[2, 3]。现代土壤动物学研究已进入生物生产力和对人类与环境关系的研究阶段, 国际土壤动物学术会议、国际蚯蚓生态专题讨论会定期举行, 国际生态学大会等把土壤动物研究成果列为大会专题进行学术交流, 进一步推动了土壤动物学科的发展, 80 年代以来我国土壤动物学研究取得了重大进展^[4]。

1 研究方法

1.1 定位调查

1.1.1 土壤调查样地 森林土壤调查样地是岳麓山地区的人工针叶林、针阔叶混交林、地带性常绿阔叶次生林以及灌木草本植被下发育的红壤, 岳麓山地处 28° 20' N, 112° 44' E, 系长(沙)一浏(阳)盆地西沿的低山丘陵, 海拔 295.7 m, 调查样点相对高差 150 m 左右, 气候因素影响不大。

* 国家自然科学基金重点项目(39230070)和湖南省自然科学基金项目(962027)资助

收稿日期: 2001-02-28; 收到修改稿日期: 2001-10-08

农田土壤环境调查是湘潭易家湾农药厂附近农田, 主要由于农药生产过程中排放的废水进入农田灌渠, 致使土壤环境恶化。本工作依距污染源的距离沿污灌渠水平方向布点, 设置重污染区、中污染区和轻污染区, 在远离污染源的清洁区选择对照点。

1.1.2 土壤取样方法 在每个取样区, 选择具代表性的样点, 进行三点重复取样, 首先拣去地表植物残体, 挖掘土壤剖面, 按 0~ 5、5~ 10、10~ 15 和 15~ 20 cm, 4 个层次分层取样, 每层用 100 cm³ 和 25 cm³ 土壤环刀各取 1 个土样, 带回室内分离提取土壤动物, 大型土壤动物调查, 挖掘 50 × 50 cm² 面积, 深度 20 cm, 手拣动物计数和分类。

1.2 土壤动物的分离提取和鉴定

将野外采来的土壤样品, 用干漏斗法(Tullgren apparatus)和湿漏斗法(Bearmen apparatus)分离提取中、小型土壤动物, 并进行计数和分类, 一般分到了目或科^[5,6]。

1.3 土壤理化指标的测定

测定项目和方法: 土壤有机质(重铬酸钾法), 土壤 pH 值(酸度计法)、土壤容重(环刀法)、土壤机械组成(比重计法)。

1.4 土壤污染模拟实验

供试农药为有机磷杀虫剂敌敌畏(湖南农药厂生产, 纯度 50%), 配制成 10 个浓度梯度: 10 mol L⁻¹、5.6 mol L⁻¹、3.2 mol L⁻¹、1.8 mol L⁻¹、1 mol L⁻¹、0.54 mol L⁻¹、0.30 mol L⁻¹、0.16 mol L⁻¹、0.09 mol L⁻¹ 和 0.04 mol L⁻¹, 供试土壤是岳麓山地区的森林土壤。将采来的土壤, 各取 600 g 放入培养缸中, 同时用注射器均匀喷施药液 50 ml, 对照组则喷施蒸馏水, 每个处理重复三次, 经 24 h、42 h、72 h 后, 从培养缸中各取 150 g 和 25 g, 放入干、湿漏斗中, 分离提取土壤动物。

2 结果与讨论

2.1 农林环境土壤动物群落结构的特点

通过对两地的调查, 共采取土壤样品 1 536 个, 获得土壤动物 32 932 只, 其中在森林土壤环境中, 通过对人工针叶林(I)、针阔叶混交林(II)常绿阔叶林(III)和灌草丛(IV)等 4 种植被类型土壤动物调查, 共获得土壤动物 26 211 只, 计 28 类; 在农田土壤中, 通过对农药污染影响严重的重污染区(I)、中污染区(II)、轻污染区(III)和远离污染源的清洁区(IV)土壤动物调查, 共获得土壤动物 6 728 只, 计有 26 类。从这个调查结果可以看出, 森林土壤动物远比农田土壤动物丰富, 如果用土壤动物密度(万个 m³)作一比较, 森林土壤动物平均密度为 54.59, 农田土壤只有 14.05, 其中农药重污染区 3.13, 这种数量的巨大差别, 显然是农药污染影响的结果, 因来自点源排放的废水进入农田, 土壤动物在水型和气型污染的综合影响下, 种类和数量减少及至消失^[7]。

森林土壤动物丰度在不同植被条件下也有明显差别, 地带性常绿阔叶林和灌草丛土壤中的动物相对较为丰富, 土壤动物密度分别为 61.23 和 63.56, 而人工针叶林和针阔叶混交林土壤动物密度为 44.92 和 48.71, 前者为后者的 1.3 倍, 因此, 在森林土壤环境中, 随着原生植被的破坏, 人工针叶林的建立, 植物营养元素大量淋失, 自然肥力下降, 势必导致土壤动物种类和数量的减少, 群落结构发生改变(表 1)。也有报道认为: 针叶林土壤动物所以较少, 可能部分地由于针叶林地有机物质的多样性减少, 有机碳含量较低和针叶难以分解的缘故。因目前已经清楚的了解, 某些针叶中含有大量为腐生生物难以消化的植物混合物, 所以针叶林土壤动物没有地带性常绿林那么丰富。

表 1 不同土壤环境土壤动物群落结构

土壤环境及 土壤动物种类	森林土壤				农田土壤				个体 总数
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
三歧肠目 Tricladida		6		9				5	20
线虫类 Nematoda	502	1 113	1 764	1 421	48	116	296	670	5 930
后孔寡毛目 Oligochaeta	7	6	12	3	8	9	59	120	224
线蚓科 Enchytraeidae	141	229	508	169	11	22	17	347	1 444
柄眼目 Stylommatophora						1	1	1	3
真熊虫目 Eutardigrada			1	6					7
蜱螨目 Acarina	2 892	2 705	3 844	4 854	142	146	1 067	1 050	16 700
蜘蛛目 Araneae	12	10	13	7	11	22	43	370	488
鼠妇科 Porcellionidae			2	1		31		30	64
地蜈蚣目 Geophilomorpha	3	2	1	2		4		3	15
石蜈蚣目 Lithobiomorpha	10	13	19	10	3	2	15	18	90
大蜈蚣目 Scudoderomorpha		1					4	16	21
倍足类 Diplopoda		1	2	4		1	8	2	18
少足类 Pauropoda	23	13	7	20					63
综合类 Symphyla	4	12	7	13	1	4	16	19	76
类 Pauropoda						1		58	59
原尾目 Protura	12	6	10	39	1	11	19	61	159
弹尾目 Collembola	1 638	1 564	946	970	137	108	450	738	6 751
科 Gampeoideae	6	7	3	16		1	3	2	38
科 Japygidae		4		9			5		18
蟻目 Blattoplera		2	1	5					10
蟋总科 Grylloidea	2	2			1	10		4	17
等翅目 Isoptera		2	4						6
目 Psocoptera							1	2	3
半翅目 Hemiptera	1	2					1		4
鞘翅目 Coleoptera	6	9	13	12	3	20	4	85	152
缨翅目 Thysanoptera	1			12	9				22
蚁总科 Formicidae	93	105	129				11	14	352
同翅目 Homoptera	1	3	9	1			2	1	17
双翅目 Diptera	30	29	52	42				3	156
鳞翅目 Lepidoptera			1	2		1		1	5

优势类群及其分布特点。优势类群是土壤动物群落的主体对群落特征起着决定作用的类群, 调查结果显示, 在农田和森林环境中, 优势类群均为蜱螨类、弹尾类和线虫类: 在森林土壤中三类群分别占土壤动物总量的 54.45%、19.53%、18.31%, 共计 92.29%; 农田土壤中三类群分别为 35.74%、24.26%和 16.71%, 共计 76.71%, 可以看出三个优势类群在两种土壤环境中所占比重有明显差别, 这说明农药污染对土壤动物的数量影响则主要是优势类群的数量消长, 而对种类的影响则主要是稀有类群和常见类群的减少或消失。

2.2 农林土壤动物在土体中的垂直分布特点

土壤动物在土体中垂直分布同有机质的分布特点一样, 具有明显的表聚现象, 即由土壤的表层向下呈垂直递减变化, 尤其在森林土壤中比较典型: 针叶林、针阔混交林和常绿阔叶林, A 层(0~5 cm) 土壤动物密度(万个 m^{-3}) 为 128.18、112.09 和 113.96, 灌草丛土壤

高达 153.47, 而 B 层(5~ 10 cm) 和 C 层(10~ 15 cm) 则明显递减, 如针叶林的 B、C 层土壤动物密度是 39.73 和 19.36, A 层为 B、C 层的 3.2 倍和 6.2 倍, 其它林相的情况类同。同时, 我们还观察了土壤动物分布的下限问题, 森林土壤土层一般较深厚, 大体在 0~ 15 cm 土层的动物量占 75%, 15~ 30 cm 土层占 20%, 30~ 45 cm 土层 5% 左右, 45 cm 以下未发现动物。而农田环境土壤动物垂直变化则不同, 特别在农药污染严重的土壤中, A、B、C 三层土壤动物密度分别为 5.98、4.80 和 2.71, 垂直递减不明显, 甚至在少数样点中发现有 B 层高于 A 层的逆层分布现象, 这可能由于农药污染物在表层富集的结果。

2.3 土壤理化特性对土壤动物群落的影响

现在人们已认识到土壤动物不仅是土壤环境监测的敏感指示生物, 同时也是土壤肥力或熟化程度的重要生物指标。所以, 在一般耕作土壤和自然土壤中, 通常把土壤动物丰度作为肥田沃土的重要标志, 因而, 深入研究人类活动对土壤环境的影响, 具有十分重要意义^[8-10]。当然构成土壤肥力的理化指标很多, 但土壤有机质是土壤形成的重要物质基础, 因此, 常把有机质含量高低与土壤动物丰度联系在一起。从森林土壤主要理化指标测定结果来看, 针叶林的土壤有机质含量 36.5 g kg^{-1} , 均低于其它土壤, 同时土壤紧实、容重增加、土壤 pH 值偏低、酸度偏大, 不利于土壤动物活动, 而常绿阔叶林和灌草丛土壤中有有机质含量 64.8 g kg^{-1} 和 87.8 g kg^{-1} , 同时土壤疏松多孔, 为土壤动物提供了良好的生活环境, 所以在一定程度可以把土壤动物丰度作为土壤肥力的重要指标。然而, 农田环境则完全不同, 特别是农药污染环境, 如重污染土壤有机质含量 76.1 g kg^{-1} , 高于其它农田土壤, 其他主要农化指标, 除全 K 2.6 g kg^{-1} 偏低外, 水解氮 13 mg kg^{-1} 、全氮 1.1 g kg^{-1} 、全 P_2O_5 2.2 g kg^{-1} 等均相对较高。可见土壤动物的减少, 并非由于土壤贫瘠造成的, 而主要由于农药生产过程中排放的废水进入农田, 致使土壤板结、酸化, 破坏了土壤动物赖以生存的土壤环境, 导致土壤动物减少, 种群多样性指数 H' 值下降(表 2)。

Margakef 种群多样性指数 $H' = (S - 1) / \text{Log}_e N$ 式中 S 为种类数, N 为个体数量

表 2 不同土壤环境理化特性与土壤动物密度

项目指标	农田土壤				森林土壤			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
土壤有机质(g kg^{-1})	76.1	65.5	61.1	64.9	36.5	52.9	64.8	87.8
土壤 pH 值	4.45	5.39	5.84	7.02	3.87	4.57	4.30	4.18
土壤容重(g cm^{-3})	1.32	1.07	1.27	1.05	1.389	1.225	0.980	0.871
土壤孔隙度(%)	49.71	59.28	51.62	59.96	47.58	53.77	63.02	67.13
土壤动物种类	12.00	18.00	19.00	24.00	19.00	24.00	22.00	23.00
土壤动物密度(万个 m^{-3})	3.13	5.91	16.86	30.16	44.92	48.71	61.23	63.50
H'	1.855	2.589	2.364	2.866	2.095	2.651	2.358	2.399

2.4 农药毒性对土壤动物影响的实验研究

农药是目前主要的化学性环境污染物质, 这里的农药污染源, 主要来自农药生产过程中排放的废水、废气造成的污染, 尽管有机磷农药具有残留低, 降解快等特点, 但由于生物内

吸率高, 毒性效应十分明显^[11]。从农药污染区的调查结果不难发现, 土壤动物的耐药性有明显种间差异, 其中耐药性最强的是蜱螨类, 它不仅是一种广适性类群, 而且有较强的抗药性, 特别是甲螨类(Oribatida)中的一些种类, 我们通过染毒实验得到了进一步证明。实验所用农药是农药厂生产的有机磷杀虫剂敌敌畏, 共采用 10 个浓度梯度对土壤动物进行毒性效应试验, 实验共获得蜱螨目动物 2 228 只, 其中甲螨 1 441 只, 占蜱螨目总动物量的 64. 6%, 计有 26 种, 在这些种类中, 缝甲螨、罗甲螨、沙甲螨等为优势种, 这三种甲螨占 44. 5%, 其它 23 种则为常见种或稀有种(表 3)。

表 3 农药毒性对甲螨(Oribatida)种群结构的影响

甲螨种类	敌敌畏农药浓度(mol L ⁻¹)										
	0	0.04	0.09	0.16	0.30	0.54	1.0	1.8	3.2	5.6	10.0
古甲螨 <i>Palaeacaridae</i>					1						
卷甲螨 <i>Phthiracaridae</i>	13	8	9	8	4	11	7	1	3	5	4
缝甲螨 <i>Hypochthoniidae</i>	27	27	28	26	26	15	15	16	22	24	8
地缝甲螨 <i>Gedypochthoniidae</i>	4	6	2	9	5	12	3	5		3	
类缝甲螨 <i>Eniochthoniidae</i>	8	11	5	7	10	11	4	3	4	4	1
罗甲螨 <i>Lohmanniidae</i>	21	25	26	26	18	12	17	15	9	16	5
真罗甲螨 <i>Eulohmanniidae</i>	6	7		7	3	5	1	3		1	
上罗甲螨 <i>Epilohmanniidae</i>	1	7	2	1		2	4	3	2	2	1
洼甲螨 <i>Canisiidae</i>	4		1			2					
礼服甲螨 <i>Trhypochthoniidae</i>	2					1	2				
矮汉甲螨 <i>Nanhermanniidae</i>	1										
珠甲螨 <i>Danaeidae</i>	5	5	6	1	9	2	13	5	8	6	2
沙甲螨 <i>Ermulidae</i>	29	20	14	18	20	14	28	16	21	17	4
滑珠甲螨 <i>Danaeolidae</i>						1					1
角翼甲螨 <i>Achipteriidae</i>	2	4		3		1	5	2	1	2	
耳头甲螨 <i>Otocepheidae</i>	2	3		2	2	1	10	3	1	1	
奥甲螨 <i>Oppidae</i>	10	4	3	9	4	10	5	11	5		7
小奥甲螨 <i>Oppiella J.</i>	2	2	2	3	2	6	8	2	1	3	3
隐奥甲螨 <i>Cryptoppia C</i>	21	13	12	10	6	10	4	3	7	3	5
菌甲螨 <i>Schelori batidae</i>	22	15	8	9	6	12	12	9	9	6	2
单翼甲螨 <i>Haplzetidae</i>			1	1		1	1	1			
木单翼甲螨 <i>Xylobatidae</i>							3	1	1		2
金单翼甲螨 <i>Perylobates. H.</i>	1	1	2								
角翼甲螨 <i>Achipteriidae</i>	3	2			1	1	1		2	2	1
大翼甲螨 <i>Galumnidae</i>	6	8	8	8	6	14	8	4		4	
奇缝甲螨 <i>Atopochthoniidae</i>			1	1	3	1					

从农药浓度对甲螨的影响来看: 由低浓度(0.04 mol L^{-1})到高浓度(10 mol L^{-1})组, 甲螨的种类和数量呈明显递减趋势, 其中低浓度组动物量为高浓度组的 1.3~ 3.6 倍, 对照组则为高浓度组的 1.5~ 4.2 倍。所以甲螨类尽管具有较强的抗药性, 但在高浓度农药影响下数量减少, 某些种类消失, 故有利用甲螨指数(甲螨数/螨类数 $\times 100\%$)监测污染的报道^[12]。

3 结 语

土壤是无脊椎动物的巨大贮藏库, 除典型的海洋动物外, 各门类都有它的代表。然而, 随着人类活动影响的加剧。土壤环境恶化, 生活在土壤中的动物种类和数量减少, 如果把本次定位调查点土壤动物丰度作一排序, 则灌草丛土壤动物丰度> 常绿阔叶林> 针阔叶混交林> 人工针叶林> 农田土壤清洁区> 农药轻污染区> 中污染区> 重污染区。从人工针叶林和农药污染区土壤动物群落结构的变化可以看出, 人类活动所引起土壤生态环境恶化是土壤动物生存繁衍的主要限制因素, 土壤动物是反应土壤环境变化的重要指示生物, 在一定程度上土壤动物能敏感反应土壤污染程度、时间变化和生物学效应。目前关于土壤环境保护研究问题已成为全球性的重大课题, 土壤动物学研究已进入生物生产力和对人类与环境关系的研究阶段, 土壤污染的生物净化, 环境质量的生物监测与评价等, 将成为最具实践意义的前沿学科受到重视。

参 考 文 献

1. Edwards C A. The effect of contaminants on the structure and function of soil communities. Digest of XI International Colloquium on Soil Zoology. Jyväskylä, Finland. 1992
2. Senapati B K. Ecotoxicological effect of malathion earthworm. Soil Biology and Biochemistry, 1992, 24(12): 1719~ 1722
3. Lee K E. Some trends opportunities in earthworm research. Soil Biology and Biochemistry, 1992, 24(12): 1765~ 1772
4. 由文辉. 我国土壤动物学研究概况与展望. 土壤学进展, 1994, 22(4): 11~ 17
5. 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998
6. 青木淳一. 土壤动物学. 东京: 北隆馆, 1980
7. Dunger W. Long termed studied and soil fauna at euod cities with increasing industrial pollution. Revaluation of Soil Biology, 1992, 28(1): 31~ 40
8. 龚子同. 土壤环境变化. 北京: 中国科学技术出版社, 1992
9. 王振中, 张友梅. 衡山自然保护区森林土壤中动物群落研究. 地理学报, 1989, 44(2): 205~ 213
10. 杨效东, 沙丽清. 西双版纳热带人工林与次生林土壤动物群落结构时空变化初查. 土壤学报, 2000, 32(1): 116~ 123
11. 汝少国, 李永棋, 敬永畅. 10种有机磷农药对扁藻的毒性. 环境科学学报, 1996, 16(3): 337~ 341
12. 陈国定, 朱文, 黎明达. 应用甲螨监测土壤污染研究. 中国环境科学, 1991, 11(2): 100~ 103