

敌百虫对南方农田土壤动物多样性的影响^①

朱丽霞¹, 陈素香¹, 陈清森², 章家恩^{3*}, 余双春¹, 郑灵芝¹, 杨燕¹

(1 漳州师范学院生物科学与技术系, 福建漳州 363000; 2 扬翔研究院, 广西贵港 537100;

3 华南农业大学热带亚热带生态研究所, 广州 510642)

摘要: 应用敌百虫杀虫剂对南方农田土壤动物进行染毒模拟实验, 共获得土壤动物 679 只, 隶属 1 门 20 目 1 亚目, 其中前气门亚目 (Prostigmata) 和弹尾目 (Collembola) 为优势类群, 共占土壤动物全捕获量的 54.93%, 其余为常见类群和稀有类群。实验结果表明, 随敌百虫处理浓度的增加, 土壤动物的个体数量和类群数减少, Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 和 Pielou 均匀度指数 (E) 均表现出递减趋势, 而 Simpson 优势度指数 (C) 则递增。在一定的染毒历时 (24 ~ 72 h) 内, 随着染毒时间的增加, 所获得的土壤动物的类群数和个体数量呈下降趋势。

关键词: 土壤动物; 敌百虫; 毒理试验; 多样性指数

中图分类号: Q958.15; S482.4; S154.5

土壤动物是指终生或某一发育阶段在土壤中度过, 且对土壤有一定影响的动物。大多数动物门类在土壤中都有一定代表, 主要涉及原生动物、扁形动物、线形动物、轮形动物、环节动物、缓步动物、软体动物和节肢动物 8 个动物门^[1]。土壤动物是生态系统中不可或缺的重要组成部分, 是生态系统中重要的消费者和特殊的分解者, 虽然个体小, 但种类多, 数量大, 其生存、取食、活动对土壤有机质的形成、土壤结构及土壤物理化学性质的变化具有重要影响, 它们可以作为土壤有机质层的生物活性显示指标^[2-3]。

随着现代石油农业的发展, 农药的使用量逐渐加大, 如何有效地监测和控制农药污染, 已成为一个全球性的问题。“生物多样性”、“可持续性”以及保持土壤质量的呼声日益高涨, 人们逐渐意识到保护土壤及土壤动物的重要意义, 同时认识到土壤动物作为土壤污染敏感指示生物对土壤污染检测的重要作用^[4-8]。

敌百虫为白色粉末状固体, 有醛类气味, 主要成分为 90% 敌百虫原粉, 80% 可溶性粉剂, 属低毒、广谱杀虫剂。不但可以在水稻、麦类、棉花等大田作物上防治多种害虫, 也可防治经济作物的害虫, 目前广泛应用于菜园、茶园、果园、桑园及农田等。它的使用在防治害虫危害、提高作物产量的同时, 也势必对环境及生物产生危害。

土壤动物作为农药污染的重要指示生物, 能敏感反映土壤污染程度, 在土壤质量评价体系中具有重要作用^[9-11]。关于农药污染对土壤动物的影响研究, 目前国内外已有不少^[12-16], 多集中在有机磷农药对土壤动物多样性和生理生化的影响等方面^[17]。本研究通过对敌百虫污染的模拟试验, 探讨了敌百虫对土壤动物群落结构及多样性的影响, 从而为杀虫剂污染的生物监测和环境质量综合评价提供土壤动物监测指标, 同时为农业生态环境保护和土壤质量的生物学指标的确定提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 土壤样品采集与染毒处理

土壤采自福建省漳州地区未施用杀虫剂的农家菜园肥沃土壤, 用直径为 5.5 cm、高为 13 cm 的圆形铁罐随机取上层 (0 ~ 5 cm) 的土壤共 45 个样品, 带回实验室混匀, 称取 150 g 为 1 份的 45 份样品, 每 3 份为 1 组。实验设 24 h, 48 h, 72 h 共 3 个染毒历时, 每个染毒历时均设 4 个处理组和 1 个蒸馏水对照组。每个处理组各喷施 10 ml 不同浓度梯度的药液, 对照组均匀喷施 10 ml 蒸馏水。

1.2 敌百虫试验浓度设置

敌百虫实验浓度的配制参照农田施用常规浓度,

①基金项目: 国家自然科学基金项目 (40871118)、福建省青年创新项目 (2007F3109) 和广东省自然科学基金项目 (8151064201000048) 资助。

* 通讯作者 (jeanzh@scau.edu.cn)

作者简介: 朱丽霞 (1976—), 女, 湖北大冶人, 博士, 讲师, 研究方向为土壤生态学及生态毒理。E-mail: julia404@163.com

采用 0.6 的等自然对数间距^[18-19]，设置 0（蒸馏水作为对照），5，10，18，32 g/L 共 5 个浓度梯度。

1.3 土壤动物的提取与分类

染毒后的土壤样品，经 24 h，48 h，72 h 后，用改进的干漏斗法分离提取土壤动物，并进行计数和分类^[20]。土壤螨类鉴定到亚目，弹尾目昆虫鉴定到目，其他类群采用土壤动物大类群分类法鉴定，本文土壤动物的分类参见《中国土壤动物检索图鉴》^[21]。

1.4 数据分析

各类群数量等级按傅必谦等^[22]的标准划分，占群落总数量 10.0% 以上为优势类群，占 1.0%~10.0% 之间者为常见类群，不足 1.0% 者为稀有类群。

利用 Excel 及 SPSS 软件进行多样性计算和分析。计算公式如下^[23-24]：

Shannon-Wiener 多样性指数： $H' = -\sum P_i \ln P_i$ 。式中， $P_i = n_i/N$ ， n_i 为第 i 类群的个体数， N 为群落中所有类群的个体总数。

Pielou 均匀度指数： $E = H'/\ln S$ 。式中， H' 为 Shannon-Wiener 多样性指数， S 为类群数。

Simpson 优势度指数： $C = \sum (P_i)^2$ 。式中， $P_i = n_i/N$ 。

2 结果与分析

2.1 敌百虫对土壤动物种类数量的影响

经改进的干漏斗法对 45 个样品（包括不同浓度和不同历时的所有处理）进行分离，共获得土壤动物 679 只，隶属 1 门 20 目 1 亚目。其中，对照组土壤中获得 235 只动物，计 19 目 1 亚目（表 1）。

表 1 不同浓度敌百虫溶液对土壤动物种类组成及数量的影响

Table 1 Effects of different concentrations of dipterex on composition and quantity of soil animal species

动物类群	敌百虫施用浓度 (g/L)					合计 (只)	频度 (%)	多度
	0	5	10	18	32			
前气门亚目 Prostigmata	67	46	44	39	28	224	32.99	+++
弹尾目 Collembola	46	33	28	26	16	149	21.94	+++
地蜈蚣目 Geophilomorpha	8	5	3	3	1	20	2.95	++
同翅目 Homoptera	11	8	6	6	3	34	5.01	++
膜翅目 Hymenoptera	22	15	11	9	4	61	8.98	++
双尾目 Diplura	10	7	6	3	0	26	3.83	++
蜘蛛目 Araneina	10	5	3	5	1	24	3.53	++
蜈蚣目 Scolopendromorpha	7	5	4	2	1	19	2.80	++
毛马陆目 Polynenida	5	2	2	2	1	12	1.77	++
多板马陆目 Polyzonida	1	1	0	0	0	2	0.29	+
虫齿目 Psocoptera	4	3	0	1	0	8	1.18	++
鳞翅目幼虫 Lepidoptera larvae	7	4	3	2	1	17	2.50	++
双翅目幼虫 Diptera larvae	4	4	2	1	0	11	1.62	++
伪蝎目 Pseudoscorpionida	2	1	1	1	0	5	0.74	+
鞘翅目幼虫 Coleoptera larvae	6	3	1	1	2	13	1.91	++
眼马陆目 Ommotophora	2	2	0	1	0	5	0.74	+
石蜈蚣目 Lithobiomorpha	9	5	2	1	0	17	2.50	++
蛭目 Acerentomata	2	2	0	0	0	4	0.59	+
蝎目 Pauropoda	0	2	0	0	0	2	0.29	+
缨翅目 Thysanoptera	3	0	1	2	0	6	0.88	+
等足目 Isopoda	9	7	3	1	0	20	2.95	++
合计	235	160	120	106	58	679	100	

注：优势类群：+++；常见类群：++；稀有类群：+；每一列数据均是综合 3 个染毒历时的结果。

在获得的 21 类土壤动物中，优势类群为前气门亚目和弹尾目。这 2 个类群的个体数量分别占土壤动物

全捕获量的 32.99% 和 21.94%，合计占土壤动物全捕获量的 54.93%，优势类群的种类和数量变化能很好地

反映杀虫剂敌百虫污染的程度,对动物群落结构起决定作用。常见类群为地蜈蚣目、同翅目、膜翅目、双尾目、蜘蛛目、蜈蚣目、虫齿目、鳞翅目幼虫、双翅目幼虫、鞘翅目幼虫、石蜈蚣目、毛马陆目、等足目这 13 个类群的动物数量分别占土壤动物全捕获量的 2.95%、5.01%、8.98%、3.83%、3.53%、2.80%、1.18%、2.50%、1.62%、1.91%、2.50%、1.77%、2.95%。其余类群均为稀有类群。土壤动物各类群呈现不同的比例,这可能与土壤动物的生活习性及其土壤中水分、有机质含量、土壤类型等理化性质有关系。

从表 1 还可以看出,土壤动物数量的减少,主要是由于优势类群动物数量随土壤农药含量的升高而减少所致;其种类的减少则主要是由于稀有类群的减少;而优势种群的类群数的减少不明显,只是个体数量上

的减少。这与其他研究者的研究结果相一致^[11,24]。

2.2 敌百虫对土壤动物物种多样性的影响

从 5 个浓度处理的结果来看(表 1 和表 2),敌百虫染毒试验对土壤动物的个体数量和类群数有较大影响。在低浓度 5 g/L 时土壤动物有 20 类,数量为 160 只,占土壤动物种类的 95.24% 和个体总数量的 23.56%;中等浓度 18 g/L 下土壤动物有 18 类,数量为 106 只,占土壤动物种类的 85.71% 和个体总数量的 15.61%;而在高浓度 32 g/L 中,有 10 类,58 只动物,分别占土壤动物种类的 47.62% 和个体数总量的 8.54%,而对照组则分离得到 20 个类群和 235 只土壤动物。这说明施用杀虫剂敌百虫对土壤动物的生存和生长产生了一定的抑制作用,甚至是毒杀作用,从而将会导致土壤生态系统的改变,进而影响农作物的生产。

表 2 不同浓度的敌百虫对土壤动物多样性的影响

Table 2 Effects of different concentrations of dipterex on soil animal diversity

敌百虫浓度 (g/L)	类群数 (个)	个体总数 (只)	多样性指数 (H')	均匀性指数 (E)	优势度指数 (C)
0	20	235	2.3999	0.8011	0.1421
5	20	160	2.3788	0.7941	0.1469
10	16	120	2.0327	0.7332	0.2069
18	18	106	2.0380	0.7051	0.2118
32	10	58	1.5106	0.6560	0.3193

物种多样性指数是反映动植物群落功能组织特征的重要指标,生物多样性指数大,说明群落物种丰富、结构复杂、类群数量分布均匀^[25-27]。由表 2 可见,在对照组中多样性指数 H' 和均匀度指数 E 分别为 2.3999 和 0.8011,低浓度 5 g/L 为 2.3788 和 0.7941,在中等浓度 10 g/L 和 18 g/L 下多样性指数 H' 分别为 2.0327、2.0380,均匀度指数 E 分别为 0.7332 和 0.7051,而高浓度 32 g/L 则分别为 1.5106 和 0.6560,可见多样性指数 H' 和均匀度指数 E 大小均表现出随敌百虫浓度的增加呈递减趋势。而优势度指数 C 是用以表示一个种在群落中的地位与作用的综合指标,从本实验结果可知, C 表现出来的趋势与 H' 和 E 相反,即随敌百虫浓度的增加呈递增趋势,由低浓度到高浓度分别为 0.1421、0.1469、0.2069、0.2118 和 0.3193。说明施用敌百虫之后,虽然群落当中土壤动物类群数和个体数量都变少,但是某些耐敌百虫的优势类群所占比例较大,造成其在群落中占绝对优势,这是造成群落的优势度指数 C 比较高的原因,这与韩立亮等^[26]的研究结果一致。

2.3 染毒历时对土壤动物的影响

由图 1 可知,各染毒历时所收集的土壤动物中,对照组在 24 h、48 h 和 72 h 分别有 19、18 和 17 个类群,104、71 和 60 只土壤动物;在高浓度 32 g/L 时,24 h、48 h 和 72 h 分别有 9、6 和 3 个类群,25、25 和 9 只土壤动物。同样,在其他浓度下,随着染毒时间的延长,土壤动物的类群数和个体数量均呈下降趋势,总的来说染毒时间越长,则动物类群数和个体数量均越少。可见,72 h 内敌百虫对土壤动物的杀伤力随时间延长而增大。但对于随染毒历时的进一步延长,敌百虫对土壤动物将产生怎样的影响,还有待开展进一步的研究。另外,由 48 h 和 72 h 两个染毒历时的实验数据可知,随着敌百虫浓度的升高,土壤动物的类群数和个体数量均呈下降趋势,说明杀虫剂敌百虫对土壤动物有一定的毒杀作用,致使染毒后的土样中动物种类和数量均少于对照组。因此,根据农药污染对土壤动物数量影响的规律,土壤动物类群数和个体数量可以作为土壤农药污染的重要评价指标^[12]。

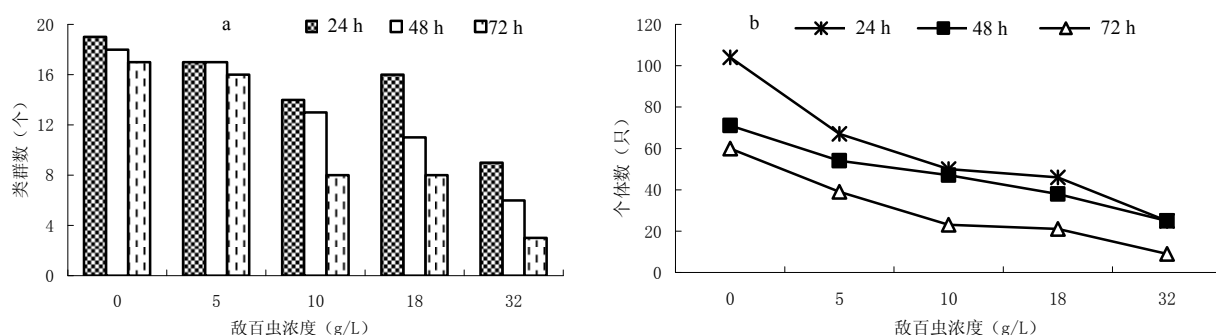


图1 敌百虫染毒历时对土壤动物类群数(a)和个体数量(b)的影响

Fig. 1 Time impacts of dipterex exposure on species (a) and individual number (b) of soil animals

2.4 敌百虫对土壤动物优势类群的影响

从表2可知, 杀虫剂敌百虫低浓度处理的动物种类和数量分别是高浓度组的2倍和2.76倍, 可见农药浓度是限制土壤动物生存和繁衍的主导因素。杀虫剂对土壤动物群落种类的影响主要是稀有类群和常见类群的减少和消失, 而对数量的影响则主要是优势类群个体数量的消长^[11,14]。

在获得的土壤动物类群中, 以前气门亚目的动物数量最多, 有224只, 占土壤动物总个体数量的32.99%, 可能是由于该类动物的口器发达, 且主要栖息于土壤表层, 并以腐殖质为食。它分布广、种类多、密度大, 有更广泛接触土壤有机质和污染物的机会。

实验结果表明, 随着农药污染量的增加, 前气门亚目的数量在总体上呈下降趋势(图2), 在最低染毒浓度为5 g/L时, 前气门亚目较对照组个体数量上有较大幅度的下降, 说明5 g/L的土壤农药染毒量抑制了该类土壤动物的生长, 因此, 应用前气门亚目可作为农药污染的监测指标。在高浓度杀虫剂染毒下仍可获28个前气门亚目的动物, 表明在高浓度杀虫剂影响下仍有相当数量的前气门亚目个体能存活下来, 说明该类动物具有较强的耐药性。

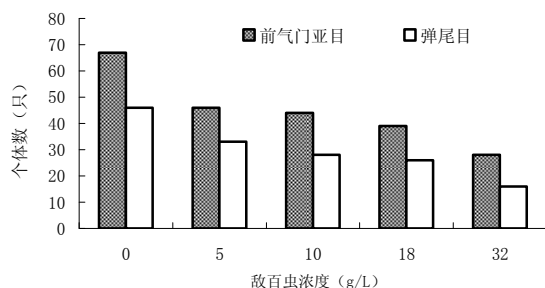


图2 敌百虫对土壤动物优势类群的影响

Fig. 2 Impacts of dipterex on dominant groups of soil animals

本实验还获得弹尾目动物149只, 弹尾目动物的数量少于前气门亚目, 约占土壤动物总个体数量的21.94%。弹尾目动物种类多、数量大, 与前气门亚目同为土壤中型节肢动物, 被认为是陆地生态系统中生物量最大的两个类群之一, 两者通常占土壤节肢动物总量的80%左右^[27-28]。随着土壤中喷施的农药含量的增加, 弹尾目动物数量与前气门亚目相似, 也显著减少(图2)。故弹尾目种类和数量的变化也能较好地反映土壤污染的程度。随着敌百虫浓度的增加, 这两个优势类群的种类和数量均呈明显的递减趋势。

3 结论

土壤动物活动使土壤的物理性质(通气状况)、化学性质(养分有效性)以及生物化学性质(微生物活性)均发生变化, 对土壤形成及土壤肥力发展有重要作用^[29]。同时, 土壤动物作为土壤生态系统的重要组成部分, 势必会受到来自土壤环境改变及外部环境的影响。当土壤中农药含量的变化超出一定限度时, 会影响到土壤动物的生存和繁衍, 导致土壤动物群落结构的变化和物种多样性的降低, 最终会影响到植物的生长, 导致作物产量的降低^[29-32]。本实验模拟了单一农药(敌百虫)对土壤的污染, 探明了几种不同浓度的敌百虫染毒情况下土壤动物群落结构及多样性的变化情况。本实验结果表明, 在一定浓度范围内, 敌百虫对土壤动物群落结构产生了明显影响。同时, 本研究认为, 根据敌百虫染毒实验中土壤动物群落结构(种类和数量)及物种多样性指数的变化来评价杀虫剂污染的局部影响是可行的。

本实验获得了如下结论: ①土壤动物类群及其数量随敌百虫杀虫剂处理浓度的升高而递减。②土壤动物多样性指数(H')和均匀度指数(E)随着敌百虫杀虫剂处理浓度的升高而表现出递减趋势, 而优势度

指数 (C) 则呈递增趋势。③在一定的染毒历时 (24 ~ 72 h) 内, 随着染毒时间的增加, 土壤动物的类群数和个体数量呈下降趋势。④在本实验中土壤动物优势类群为前气门亚目和弹尾目, 分别占土壤动物全捕量的 32.99% 和 21.94%, 对群落特征起决定作用。而且, 优势类群的种类和数量变化亦能较好地反映土壤污染的程度。

参考文献:

- [1] 尹文英. 土壤动物学研究的回顾与展望. 生物学通报, 2001, 36(8): 1-3
- [2] 孙儒泳. 动物生态学原理. 北京: 北京师范大学出版社, 1987
- [3] 尹文英. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社, 2000
- [4] 梁文举, 葛亭魁, 段玉玺. 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
- [5] 李玉娟, 吴纪华, 陈慧丽, 陈家宽. 线虫作为土壤健康指示生物的方法及应用. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1 541-1 546
- [6] 孙雷, 李武艳, 胡玲. 腹足纲土壤动物在监测和评价重金属污染中的应用研究进展. 土壤通报, 2008, 39(2): 435-440
- [7] Shao YH, Zhang WX, Shen JC, Zhou LX, Xia HP, Shu WS, Ferris H, Fu SL. Nematodes as indicators of soil recovery in tailings of a lead/zinc mine. Soil Biology & Biochemistry, 2008, 40: 2 040-2 046
- [8] Wang QY, Zhou DM, Cang L, Li LZ, Wang P. Indication of soil heavy metal pollution with earthworms and soil microbial biomass carbon in the vicinity of an abandoned copper mine in the eastern Nanjing, China. European Journal of Soil Biology, 2009, 45: 229-234
- [9] 李忠武, 王振中, 邢协加, 张友梅, 龙开元. 农药污染对土壤动物群落结构影响的实验研究. 环境科学研究, 1999, 12(1): 49-53
- [10] 郑荣泉, 李迪艳, 孔军苗. 克无踪除草剂对农田生态系统土壤动物的影响. 动物学杂志, 2005, 40(2): 60-65
- [11] 邱咏梅, 郑荣泉, 李灿阳, 孙晶. 百草清除草剂对农田生态系统土壤动物群落结构的影响. 土壤通报, 2006, 37(5): 976-980
- [12] 王振中, 张友梅, 李忠武, 邢协加. 有机磷农药对土壤动物毒性的影响研究. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1 663-1 666
- [13] 李国生, 徐建祥, 吴进才, 王建中, 程家安. 除草剂对拟水狼蛛生长发育及捕食功能的影响. 江苏农业研究, 2000, 21(4): 41-44
- [14] 巫厚长, 魏重生, 蒯文兴, 程遐年. 除草剂精克草能对烟田节肢动物群落的影响. 安徽农业大学学报, 2001, 28(4): 372-375
- [15] 孔军苗, 郑荣泉, 顾磊, 周丽泉. 乙草胺对中型土壤动物多样性影响的研究. 农业环境科学学报, 2005, 24(3): 576-580
- [16] Gao YH, Sun ZJ, Sun XS, Sun Y, Shi WY. Toxic effects of albendazole on adenosine triphosphatase activity and ultrastructure in *Eisenia fetida*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2007, 67(3): 378-384
- [17] 李淑梅. 化学除草剂对土壤动物影响的研究进展. 农业与技术, 2007, 27(5): 95-96
- [18] 朱永恒, 刘功华. 盖草能污染对农田土壤动物群落结构的影响. 皖西学院学报, 2006, 22(5): 126-130
- [19] 李灿阳, 郑荣泉, 陈青云, 章金义. Pb 污染对土壤动物群落结构的影响. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2007, 30(1): 88-94
- [20] 尹文英. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社, 1992
- [21] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998
- [22] 傅必谦, 陈卫, 董晓晖, 邢忠民, 高武. 北京松山四种大型土壤动物群落组成和结构. 生态学报, 2002, 22(2): 215-223
- [23] Richard D, Bard G, Roger C. Functional aspects of soil animal diversity in agricultural grasslands. Applied soil ecology, 1998, 10: 263-276
- [24] 赵祥伟, 骆永明, 滕应, 李振高, 宋静, 吴龙华. 重金属复合污染农田土壤的微生物群落遗传多样性研究. 环境科学学报, 2005, 25(2): 186-191
- [25] 李忠武, 王振中, 张友梅, 邢协加. Cd 对土壤动物群落结构的影响. 应用生态学报, 2000, 11(6): 931-934
- [26] 韩立亮, 王勇, 王广力, 张美文, 李波. 洞庭湖湿地与农田土壤动物多样性研究. 生物多样性, 2007, 15(2): 199-206
- [27] Haimi J. Decomposer animals and bioremediation of soils. Environment Pollution, 2000, 107: 233-238
- [28] 刘长海, 骆有庆, 陈宗礼, 廉振民. 土壤动物群落生态学与土壤微生态环境的关系. 生态环境, 2007, 16(5): 1 564-1 569
- [29] 殷秀琴, 宋博, 董炜华, 辛未冬. 我国土壤动物生态地理研究进展. 地理学报, 2010, 65(1): 91-102
- [30] 邓继福. 重金属污染对土壤动物群落生态影响的研究. 环境科学, 1996, 17(2): 1-6
- [31] 朱永恒, 濮励杰, 王宗英. 芜湖市郊土壤污染对土壤动物群落结构的影响. 应用与环境生物学报, 2005, 11(3): 320-324
- [32] Xu GL, Mo JM, Zhou GY, Fu SL. Preliminary response of soil fauna to simulated N deposition in three typical subtropical forests. Pedosphere, 2006, 16(5): 596-601

Effects of Dipterex Insecticide on Soil Animal Diversity in South China

ZHU Li-xia¹, CHEN Su-xiang¹, CHEN Qing-sen², ZHANG Jia-en³, YU Shuang-chun¹, ZHENG Ling-zhi¹, YANG Yan¹

(1 *Department of Biological Science and Technology, Zhangzhou Normal University, Zhangzhou, Fujian 363000, China;*

2 *Yangxiang Research Centre, Guigang, Guangxi 537100, China;*

3 *Institute of Tropical and Subtropical Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China*)

Abstract: By simulating test for effects of dipterex insecticide pollution on soil animals, a total of 679 soil animal individuals was collected, belonging to 1 phylums, 20 orders, and 1 suborder. The dominant groups were Prostigmata and Collembola, accounting for 54.93% of the total number of soil animals captured, and others were the ordinary groups and rare groups. The result showed that with the increase of dipterex concentration, the species and quantities of soil animal as well as the Shannon-Wiener diversity index and Pielou evenness index decreased, but the Simpson dominance index increased; And as the exposure time of dipterex increased (24–72 h), the species and quantities of soil animals decreased.

Key words: Soil animal, Dipterex, Toxicity test, Biodiversity index