

# 乙草胺对中型土壤动物生物多样性影响的研究

孔军苗, 郑荣泉, 顾磊, 周丽泉

(浙江师范大学化学与生命科学学院, 浙江 金华 321004)

**摘要:**采用现场采集土壤样品,农药染毒的模拟试验方法,研究了乙草胺对中型土壤动物生物多样性的影响。结果表明,经染毒处理的土样中,弹尾目和甲螨亚目计 510 只,与对照组比较,土壤动物个体数量显著减少,与乙草胺处理浓度呈明显负相关。染毒试验结果表明,土壤动物的数量随农药处理浓度的递增而显著减少,其中以弹尾目和甲螨亚目对乙草胺最为敏感。

**关键词:**中型土壤动物; 乙草胺; 农药污染; 土壤

**中图分类号:**X174   **文献标识码:**A   **文章编号:**1672-2043(2005)03-0576-05

## Effects of Acetochlor on Biodiversity of Mesofauna Community in Soil

KONG Jun-miao, ZHENG Rong-quan, GU Lei, ZHOU Li-quan

(College of Chemistry and Life Science, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004, China)

**Abstract:** An experiment on biodiversity of mesofauna in soil receiving acetochlor was conducted in this investigation. We collected 792 soil animals, which subordinates to 3 Phyla, 5 Classes that Collembola and Acarina are dominant population, accounting for 87.37% of the total animals, while the rest are either averaged or rare in population. Among acetochlor polluting soil samples, there were 510 individuals. Compared with the control soil sample, the species and the amount of soil animals were remarkably decreased. With increase of acetochlor concentration in the soil, the species and quantities of soil animals decreased, respectively, from 35 species and 180 individuals at low concentration ( $0.54 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ ) to only 30 species and 113 individuals at high concentration ( $3.2 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ ), representing the diversity index of 3.1695, 3.2451 and 3.3163 for  $3.2 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $0.54 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$  and control sample, respectively. The results from simulating experiments on acetochlor to soil animals showed that the herbicide exhibited an obvious effect on soil animals, while the amount of soil animals were decreased with the increase of acetochlor treating dose in which Collembola and Acarina were particularly sensitive to the herbicide. Accordingly, soil animals may be regarded as an indicative organism in monitoring the herbicide pollution. This experiment showed that the effects of acetochlor was less than that of other pesticides on species diversity of soil mesofauna community according to other literature, and the connection between the long exposure period and species diversity of soil mesofauna community is being developed in our lab.

**Keywords:** biodiversity; Acetochlor; mesofauna; soil

有毒化学品的环境污染是当今世界七大全球性环境问题之一。目前,农药对土壤动物影响的研究国外有一些报道<sup>[1-4]</sup>,国内研究主要集中在杀虫剂有机磷农药对土壤动物群落结构、毒性、呼吸强度的影响<sup>[5-9]</sup>,而作为另一种重要农药,除草剂对土壤动物的研究国内尚无报道。一些研究表明,除草剂的施用对泥鳅<sup>[10]</sup>、

黄鳝<sup>[11]</sup>、蛙类<sup>[12]</sup>和鱼类<sup>[13]</sup>等环境中的动物均产生影响。

乙草胺是氯代替苯胺类旱田化学除草剂,是一种广谱、高效的选择性芽前土壤处理除草剂,广泛用于玉米、棉花、花生和大豆田防除一年生禾本科杂草和某些一年生阔叶杂草。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和生态学效应<sup>[5]</sup>,在土壤质量评价体系中具有重要作用<sup>[14]</sup>。本文拟通过除草剂乙草胺农药染毒试验,探索除草剂类农药对土壤动物生物多样性的影响规律。

## 1 材料与方法

收稿日期:2004-08-17

项目来源:浙江师范大学优秀中青年骨干教授资助项目

作者简介:孔军苗(1984—),男,浙江绍兴人,浙江师范大学化学与生命科学学院三年级本科生。

联系人:郑荣泉 E-mail:zhengrq@zjnu.cn

1.1 乙草胺及其浓度

乙草胺(国营昆山化工厂生产,纯度为 50%)试验浓度的配制参照农田施用常规浓度,采用 0.6 的等自然对数间距,设置 0.54、1.0、1.8 和 3.2 mL·L<sup>-1</sup> 4 个浓度梯度,另外设置不加农药的蒸馏水作为对照组。

1.2 取样与染毒处理

土壤采自金华地区未施用农药的水稻泥,用直径为 5 cm、高为 14 cm 的圆形铁罐取 75 个样品,为了使土壤样品能够更真实反映取样区域的土壤动物组成,75 个样品分别取自 5 个随机取样点。试验共设 4 个处理浓度,3 次重复,平均每个浓度 15 个样品(分别取自 5 个取样点,每个取样点 3 个样品)。每个样品各喷施药液量均参照农田施用常规用量,并标上相应标记。对照组则用蒸馏水喷施,并标记。

1.3 土壤动物的提取与分类

染毒后的土壤样品,经 24、48 和 72 h 后,分上下 2 层(每层厚度 7 cm),用干漏斗法(Tullgran apparatus)

分离提取土壤动物,并进行计数和分类<sup>[4]</sup>。土壤螨类鉴定到科,弹尾类鉴定到属<sup>[15]</sup>。

2 结果与讨论

2.1 乙草胺浓度对土壤动物群落结构的影响

在乙草胺农药染毒试验中,每个土样容积为 100 cm<sup>3</sup>,采用经改进的干漏斗法分离,从 75 个土样中获得土壤动物 792 个,隶属 3 门,5 纲,10 目。详见表 1。

在获得的 49 类土壤动物中,优势类群(占土壤动物全捕量 10%以上的类群)为弹尾目(Collembola)和甲螨亚目(Oribatida)。这 2 个类群分别占土壤动物全捕量的 57.45%和 29.92%。常见类群(占土壤动物全捕量 1%以上的类群)为前气门亚目(Prostigmata)、鞘翅目成虫(Coleoptera adult)、小蚓类(Microdrile oligochaetes)、线虫动物门(NEMATODA)和双翅目幼虫(Diptera larvae)。这 5 个类群分别占土壤动物全捕量的 2.53%、1.26%、2.40%、1.01%和 2.02%。其余类群均

表 1 乙草胺农药对土壤动物种类组成及数量的影响  
Table 1 Effect of acetochlor on species composition and quantities of the soil animals

| 动物种类                         | 除草剂浓度/mL·L <sup>-1</sup> |      |     |     |     | 合计<br>/个 | 频度<br>/% | 多度  |
|------------------------------|--------------------------|------|-----|-----|-----|----------|----------|-----|
|                              | 0                        | 0.54 | 1.0 | 1.8 | 3.2 |          |          |     |
| 弹尾目 <i>Collembola</i>        |                          |      |     |     |     |          | 57.45    | +++ |
| 棘跳属 <i>Onychiurus</i>        | 12                       | 9    | 11  | 9   | 10  | 51       | 6.44     | ++  |
| 球角跳属 <i>Hypogastrura</i>     | 14                       | 13   | 10  | 12  | 9   | 58       | 7.32     | ++  |
| 奇跳属 <i>Xenylla</i>           | 13                       | 12   | 12  | 7   | 7   | 51       | 6.44     | ++  |
| 隐跳属 <i>Cryptopygus</i>       | 3                        | 1    | 0   | 1   | 1   | 6        | 0.76     | +   |
| 符跳属 <i>Folsomides</i>        | 23                       | 20   | 18  | 14  | 10  | 85       | 10.73    | +++ |
| 裔符跳属 <i>Folsomides</i>       | 5                        | 8    | 7   | 6   | 5   | 31       | 3.91     | ++  |
| 类符跳属 <i>Folsomina</i>        | 10                       | 5    | 4   | 1   | 1   | 21       | 2.65     | ++  |
| 等节跳属 <i>Isotoma</i>          | 8                        | 12   | 7   | 4   | 5   | 36       | 4.55     | ++  |
| 小等跳属 <i>Isotomiella</i>      | 9                        | 8    | 11  | 6   | 8   | 42       | 5.30     | ++  |
| 似等跳属 <i>Isotomodes</i>       | 0                        | 0    | 0   | 1   | 0   | 1        | 0.13     | +   |
| 陷等跳属 <i>Isotomurus</i>       | 1                        | 3    | 0   | 0   | 2   | 6        | 0.76     | +   |
| 原等跳属 <i>Proisotoma</i>       | 3                        | 6    | 2   | 5   | 2   | 18       | 2.27     | ++  |
| 拟缺跳属 <i>Pseudanurophorus</i> | 1                        | 0    | 0   | 1   | 0   | 2        | 0.25     | +   |
| 长跳属 <i>Entomobrya</i>        | 6                        | 3    | 3   | 4   | 1   | 17       | 2.15     | ++  |
| 短角跳属 <i>Neelus</i>           | 8                        | 6    | 5   | 6   | 4   | 29       | 3.66     | ++  |
| 小圆跳属 <i>Sminthurinus</i>     | 0                        | 0    | 0   | 0   | 1   | 1        | 0.13     | +   |
| 真螨目 <i>Acariformes</i>       |                          |      |     |     |     |          |          |     |
| 前气门亚目 <i>Prostigmata</i>     |                          |      |     |     |     |          | 2.53     | ++  |
| 吸螨科 <i>Bdellidae</i>         | 0                        | 2    | 0   | 1   | 0   | 3        | 0.38     | +   |
| 隐颚螨科 <i>Cryptognathidae</i>  | 0                        | 0    | 1   | 1   | 0   | 2        | 0.25     | +   |
| 颚螨科 <i>Raphignathidae</i>    | 1                        | 0    | 1   | 0   | 0   | 2        | 0.25     | +   |
| 大赤螨科 <i>Anystidae</i>        | 3                        | 3    | 2   | 0   | 0   | 8        | 1.01     | ++  |
| 腾岛螨科 <i>Teneriffidae</i>     | 1                        | 0    | 1   | 1   | 2   | 5        | 0.63     | +   |
| 甲螨亚目 <i>Oribatida</i>        |                          |      |     |     |     |          | 29.92    | +++ |
| 罗甲螨科 <i>Lohmanniidae</i>     | 10                       | 8    | 4   | 4   | 4   | 30       | 3.79     | ++  |
| 盲甲螨科 <i>Malaconothridae</i>  | 5                        | 3    | 4   | 3   | 2   | 17       | 2.15     | ++  |
| 小赫甲螨科 <i>Hermanniellidae</i> | 5                        | 2    | 3   | 2   | 3   | 15       | 1.89     | ++  |
| 鲜甲螨科 <i>Cepheidae</i>        | 10                       | 4    | 3   | 9   | 5   | 31       | 3.91     | ++  |

| 续表 1                               |     |     |     |     |     |     |      |    |
|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|----|
| 小隅甲螨科 <i>Microtegeidae</i>         | 3   | 2   | 3   | 3   | 2   | 13  | 1.64 | ++ |
| 盖头甲螨科 <i>Tectocepheidae</i>        | 5   | 8   | 7   | 1   | 4   | 25  | 3.16 | ++ |
| 奥甲螨科 <i>Oppiidae</i>               | 14  | 11  | 10  | 10  | 6   | 51  | 6.44 | ++ |
| 若甲螨科 <i>Oribatulidae</i>           | 4   | 4   | 3   | 3   | 3   | 17  | 2.15 | ++ |
| 单翼甲螨科 <i>Haplozetidae</i>          | 7   | 6   | 4   | 3   | 3   | 23  | 2.90 | ++ |
| 菌甲螨科 <i>Scheloribatidae</i>        | 3   | 3   | 4   | 1   | 4   | 15  | 1.89 | ++ |
| 蜘蛛目 <i>Araneae</i>                 |     |     |     |     |     |     |      |    |
| 新蛛下目 <i>Araneomorphae</i>          |     |     |     |     |     |     | 0.63 | +  |
| 弱蛛科 <i>Leptonetidae</i>            | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 2   | 0.25 | +  |
| 球蛛科 <i>Theridiidae</i>             | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 0.25 | +  |
| 类球蛛科 <i>Nesticidae</i>             | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0.13 | +  |
| 缨翅目 <i>Thysanoptera</i>            |     |     |     |     |     |     |      |    |
| 管蓟马科 <i>Phlaeothripidae</i>        | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 0.25 | +  |
| 鞘翅目幼虫 <i>Coleoptera Larvae</i>     |     |     |     |     |     |     | 0.88 | +  |
| 隐翅虫科 <i>Staphylinidae</i>          | 3   | 0   | 1   | 0   | 0   | 4   | 0.51 | +  |
| 叩甲科 <i>Elateridae</i>              | 0   | 3   | 0   | 0   | 0   | 3   | 0.38 | +  |
| 鞘翅目成虫 <i>Coleoptera adult</i>      |     |     |     |     |     |     | 1.26 | ++ |
| 长朽木甲科 <i>Melandryidae</i>          | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0.13 | +  |
| 隐翅甲科 <i>Staphylinidae</i>          | 2   | 0   | 0   | 4   | 2   | 8   | 1.01 | ++ |
| 小藓甲科 <i>Mycetophagidae</i>         | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0.13 | +  |
| 寡毛纲 <i>Oligochaeta</i>             |     |     |     |     |     |     |      |    |
| 小蚓类 <i>Microdrile oligochaetes</i> | 5   | 4   | 2   | 5   | 3   | 19  | 2.40 | ++ |
| 线虫动物门 <i>NEMATA</i>                | 4   | 2   | 2   | 0   | 0   | 8   | 1.01 | ++ |
| 寄螨目 <i>Parasiformes</i>            |     |     |     |     |     |     |      |    |
| 中气门亚目 <i>Mesostigmata</i>          | 0   | 2   | 0   | 0   | 0   | 2   | 0.25 | +  |
| 虫齿目 <i>Psocoptera</i>              | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 4   | 0.51 | +  |
| 双尾目 <i>Diplura</i>                 | 0   | 2   | 2   | 1   | 0   | 5   | 0.63 | +  |
| 膜翅目 <i>Hymenoptera</i>             |     |     |     |     |     |     |      |    |
| 蚁科 <i>Formicidae</i>               | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0.25 | +  |
| 双翅目幼虫 <i>Diptera larvae</i>        |     |     |     |     |     |     | 2.02 | ++ |
| 虻科 <i>Tabanidae</i>                | 1   | 1   | 1   | 1   | 2   | 6   | 0.76 | +  |
| 摇蚊科 <i>Chironomidae</i>            | 6   | 0   | 1   | 0   | 1   | 8   | 1.01 | ++ |
| 瘦蚊科 <i>Cecidomyiidae</i>           | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0.13 | +  |
| 蝇科 <i>Muscidae</i>                 | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0.13 | +  |
| 合计 $\Sigma$ summation              | 215 | 180 | 150 | 134 | 113 | 792 |      |    |

注:优势类群(+++);常见类群(++);稀有类群(+).

为稀有类群(占土壤动物全捕量 1%以下的类群)。

从 5 个处理浓度的结果来看,乙草胺农药染毒试验对土壤动物的个体数量和类群数有显著影响。在低浓度(0.54 mL·L<sup>-1</sup>)组中土壤动物有 35 类,占土壤动物种类的 71.43%, 数量为 180 个, 占动物量的 22.73%;而在高浓度(3.2 mL·L<sup>-1</sup>)组中,有 30 类和 113 个动物, 分别占动物量的 14.27%和种类数的 61.22%。与对照组类群数 38 和个体总数为 215 有显著区别。这说明除草剂乙草胺对土壤动物的生存、生活均有一定的抑制作用,从而将导致土壤生态系统的改变,进而影响作物的生产。这与 Edwards 认为的农药污染对自然和农业生态系统的结构与功能均有影响的结论<sup>[16]</sup>比较一致。

种群多样性指数是反映动植物群落功能组织特征的重要生物指标,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。根据 Shannon-Wiener 多样性指数(H')公式:

$$H'=-\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i(P_i=n_i/N);$$

式中:H'为多样性指数,n<sub>i</sub>为该区区内第 i 个类群的个体数量;N 为样区内所有物种的个体数量;s 为样区内类群数目。在对照组中 H'为 3.316 3,低浓度组(0.54 mL·L<sup>-1</sup>)为 3.245 1,而在高浓度组(3.2 mL·L<sup>-1</sup>)中 H'为 3.169 5,表现出一定的递减趋势,见表 2。即土壤动物的种类随着乙草胺浓度的递增而递减。

以各个浓度梯度的自然对数 lnC 作为横坐标,以

各浓度土壤动物捕获量为纵坐标,对浓度和个体数的关系进行回归分析,可以更加清楚地看到随浓度升高而动物个体数递减的变化趋势。用最小二乘法进行一元线性回归拟合,得  $a=155.10, b=-36.17$ , 决定系数  $r^2=0.98$ , 达到 99% 的置信度, 见图 1。

2.2 染毒历时对土壤动物的影响

试验结果表明,乙草胺农药对土壤动物有一定的

表 2 不同浓度污染下土壤动物群落重要指标值

| 指标            | 浓度/ $\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$ |        |        |        |        |
|---------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|               | 0                                   | 0.54   | 1.0    | 1.8    | 3.2    |
| 类群数           | 38                                  | 35     | 32     | 34     | 30     |
| 个体总数/个        | 215                                 | 180    | 150    | 134    | 113    |
| 多样性指数( $H'$ ) | 3.3163                              | 3.2451 | 3.1393 | 3.1856 | 3.1695 |

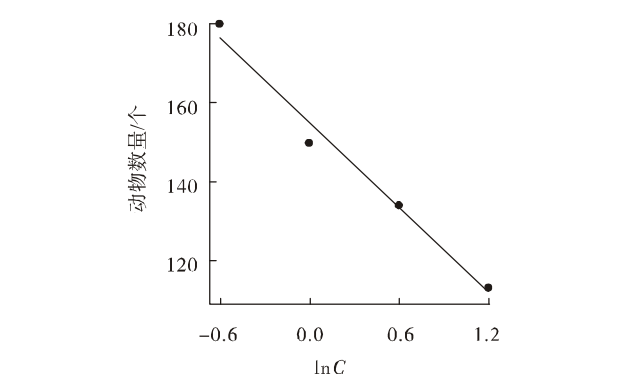


图 1 土壤动物数量与乙草胺浓度的关系

Figure 1 Relationship between soil animal number and acetochlor concentrations

触杀作用,致使染毒后的土样中动物无论是在上层还是在下层均少于对照组中个体数,另外乙草胺对上层和下层土壤动物的影响是同样明显的。如在低浓度( $0.54 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ )组中,上层土壤动物数量为 25 个,下层为 42 个,分别占全捕量的 3.16% 和 5.30%;而在高浓度( $3.2 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ )组中,上层及下层的数量分别降到 19 个和 27 个,分别占全捕量的 2.40% 和 3.41%。显然,

除草剂乙草胺对上层和下层的土壤动物同样具有影响,即随着乙草胺浓度的增加,上、下层土壤动物也随之呈递减趋势。

同时从时间上来看,不论是从整体还是从各个浓度组来说,在上层(0~7 cm),24、48、72 h 后土壤动物个体数均有一定的变化,但变化量不大,亦无明显规律可循。如在对照组上层,24 h 有 32 个动物,48h 仍为 32 个,而 72 h 为 39 个,三者无明显差别;而在高浓度( $3.2 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ )组上层 24 h 为 19 个,48 h 为 19 个,72 h 为 16 个,也基本持平。但在下层(7~14 cm)却有逐渐减少的趋势。如在低浓度( $0.54 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ )组下层 24 h 为 42 个,48 h 下降到 26 个,72 h 则为 25 个,呈递减趋势。故认为乙草胺农药染毒历时在短期内对上层土壤动物没有多大影响,但对下层土壤动物还是呈负相关,见表 3。至于随历时的进一步延长,对土壤动物有无影响,还有待进一步研究。

2.3 乙草胺污染对优势类群的影响

乙草胺农药对各类土壤动物的影响有明显差异,在获得的土壤动物类群中,以弹尾目(*Collembola*)的动物数量最多,有 455 只,占动物总量的 57.45%,是土壤动物群落中的主要优势类群。

试验结果表明,低浓度( $0.54 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ )组中的弹尾目个体数为高浓度组( $3.2 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ )的 1.79 倍,另外在对照组中多样性指数  $H'$  为 2.273 6,低浓度组( $0.54 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ )为 2.283 9,高浓度组( $3.2 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ )为 2.206 0,表现出一定的递减趋势,见表 4。即随乙草胺溶液处理浓度的增加,弹尾目个体数显著减少,故根据乙草胺农药对弹尾目个体数的影响规律,可以作为土壤农药污染的重要指标。

甲螨亚目与弹尾目为土壤中中型节肢动物,种类多,数量大,在获得的土壤动物类群中,甲螨亚目共 237 只,占总量的 29.92%,仅次于弹尾目优势度。在各农药处理组中种类和数量变化,具有与弹尾目近似的变化规律,个体数从对照组 66 只,到低浓度组

表 3 乙草胺染毒历时与土壤动物个体数量的关系

Table 3 Relationship between exposure periods with the herbicide and the number of the soil animals

| 染毒历时/h | 不同乙草胺浓度影响下土壤动物数量/个 |                                    |                                       |                                      |                                      |                                      |
|--------|--------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|        | 分层                 | $0 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ | $0.54 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ | $1.0 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ | $1.8 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ | $3.2 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ |
| 24     | 上                  | 32                                 | 25                                    | 19                                   | 19                                   | 19                                   |
|        | 下                  | 46                                 | 42                                    | 37                                   | 30                                   | 27                                   |
| 48     | 上                  | 32                                 | 27                                    | 24                                   | 19                                   | 19                                   |
|        | 下                  | 29                                 | 26                                    | 23                                   | 24                                   | 21                                   |
| 72     | 上                  | 39                                 | 35                                    | 22                                   | 23                                   | 16                                   |
|        | 下                  | 38                                 | 25                                    | 25                                   | 19                                   | 11                                   |
| 合计     |                    |                                    |                                       |                                      |                                      | 113                                  |



表 4 弹尾目个体数与乙草胺溶液浓度关系

Table 4 Relationship between the quantities of Collembola and the doses of acetochlo

| 项目        | 乙草胺浓度/mL·L <sup>-1</sup> |        |        |        |        |
|-----------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
|           | 0                        | 0.54   | 1.0    | 1.8    | 3.2    |
| 个体数/个     | 111                      | 102    | 90     | 74     | 62     |
| 多样性指数(H′) | 2.2736                   | 2.2839 | 2.2427 | 2.2561 | 2.2060 |

(0.54 mL·L<sup>-1</sup>)的 51 只,在高浓度组(3.2 mL·L<sup>-1</sup>)时仅为 36 只,因而亦是反映农药污染程度的敏感指示动物。

### 3 结论

(1) 乙草胺除草剂显著地影响土壤动物群落结构,随着乙草胺除草剂浓度的增加土壤动物种类和数量呈递减变化,多样性指数  $H'$  值亦呈递减趋势。这表明,根据乙草胺农药染毒试验中土壤动物群落结构(种类和数量)的变化来评价农药污染的局部影响是可行的。甲螨亚目与弹尾目均为土壤中型节肢动物,种类多,数量大,被认为是陆地生态系统中生物量最大的 2 个类群,通常占土壤节肢动物总量的 85%左右。本试验两者占土壤动物全捕量的 87.37%,对群落特征起决定作用。这 2 类优势类群对乙草胺除草剂较为敏感,可以作为土壤环境污染的指示生物。

(2)乙草胺除草剂对土壤动物多样性的影响在短期内不如有些杀虫剂类有机磷农药明显。李忠武等的研究表明,甲胺磷、敌敌畏农药浓度和土壤动物数量回归方程的回归系数分别为-124<sup>[17]</sup>和-68.97<sup>[18]</sup>,两者明显大于乙草胺的回归系数(-36.17),这也说明,在短期内(72 h),从对土壤动物数量的影响程度上看,杀虫剂类农药甲胺磷、敌敌畏对土壤动物的影响明显大于除草剂乙草胺。在更长的时间内,杀虫剂农药和除草剂农药对土壤动物多样性的影响规律,还需进一步

研究。

### 参考文献:

[1] Jari Haimi, Janne Salmine, et al. *Soil Biol Biochem*, 1992, 24(12): 1699-1703.

[2] Senapati B K, Biswal J, et al. *Soil Biol Biochem*, 1992, 24(12): 1719-1722.

[3] Fred Heimbach. *Soil Biol Biochem*, 1992, 24(12): 1749-1752.

[4] Hartmu Kula and Christine Kokta. *Soil Biol Biochem*, 1992, 24(12): 1711-1714.

[5] 王振中,等.有机磷农药对土壤动物群落结构的影响研究[J].生态学报, 1996, 16(4): 357-366.

[6] 王振中,等.有机磷农药对土壤动物毒性的影响研究[J].应用生态学报, 2002, 13(12): 1663-1666.

[7] 邢协加, 王振中, 张友梅, 等. 乐果农药污染对土壤动物呼吸强度的影响[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 1998, 21(1): 89-92.

[8] 邢协加, 王振中, 张友梅, 等. 杀虫双农药对土壤螨类和弹尾类影响的研究[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 1997, 20(1): 79-84.

[9] 尹文英, 等. 中国土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

[10] 谢志浩, 蔡亚非, 陈 国, 等. 利用泥鳅红细胞微核及核异常测定法对四种除草剂遗传毒性的研究[J]. 现代农药, 2002, 4: 24-27.

[11] 陈 刚, 耿德贵, 朱必才, 等. 除草剂精禾草克对黄鳝细胞遗传毒性的研究[J]. 动物学杂志, 2000, 35(5): 15-19.

[12] 耿德贵, 张大生, 程 伟, 等. 四种除草剂对中华大蟾蜍蝌蚪红细胞微核及核异常的影响[J]. 动物学杂志, 2000, 35(1): 12-17.

[13] 李康民, 李佩珍. 除草剂对水产养殖的潜在影响[J]. 农业环境保护, 1995, 14(2): 75-79.

[14] 尹文英, 等. 中国亚热带土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 1992.

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

[16] Edwards C A. The effect of contaminates on the structure and function of soil communities. Digest of XI International Colloquium on soil Zoology. Jyuaskyla, Finland, 1992.

[17] 李忠武, 王振中, 邢协加, 等. 甲胺磷农药污染对土壤动物影响的研究[J]. 环境科学, 1997, 18(6): 45-49.

[18] 李忠武, 王振中, 邢协加, 等. 农药污染对土壤动物群落影响的实验研究[J]. 环境科学研究, 1999, 12(1): 49-53.