

克无踪除草剂对农田生态系统土壤动物的影响

郑荣泉 李迪艳 孔军苗

(浙江师范大学化学与生命科学学院 金华 321004)

摘要:应用克无踪农药对农田生态系统土壤动物进行污染模拟实验。本次实验共获得土壤动物1 291个,隶属3门、7纲。结果表明,克无踪农药对土壤动物有明显影响,并随着克无踪溶液处理浓度的增加,土壤动物的种类和数量显著减少,但上、下层动物随染毒历时递减规律有所不同。染毒实验中土壤动物种类的减少主要由于常见类群和稀有类群的减少,土壤动物的数量变化则主要由于优势类群弹尾类和蜱螨类的数量消长所致。

关键词:土壤动物;克无踪;农药污染;模拟实验;农田生态系统

中图分类号:Q958.116 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2005)02-60-06

Effects of Paraquat Herbicide on Soil Animal in Agroecosystem

ZHENG Rong-Quan LI Di-Yan KONG Jun-Miao

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

Abstract: Paraquat polluted experiment on the agricultural soil animal be taken in this project. 1 291 soil animal ind. belonging to 3 Phylums and 7 Classes were collected. The result indicated that: with the increasing of Paraquat concentration, the species and quantities of soil animals decreased remarkably. But with the time of treating prolonged, there was little difference between topsoil animal and subsoil animal in decreasing trend. In this polluted experiment, the species of soil animals were decreased with decreasing of common population and rare population, while the amount change of soil animal was associated with the amount change of the dominant populations of Collembola and Acarina.

Key words: Soil animal; Paraquat; Pesticide pollution; Simulated experiment; Agroecosystem

随着人类对农药污染的问题日益关注,国内外专家学者在农药污染对土壤动物影响已作了大量工作。Abdul 等的试验证明,农药污染对土壤动物的新陈代谢及卵的数目和孵化能力均有影响^[1]。农药对蚯蚓有很强的毒性,低剂量农药即可引起蚯蚓数量的减少^[2]。国内学者对一些重要的有机磷杀虫剂农药,如甲胺磷^[3,4]、乐果^[4,5]、杀虫双^[6]和敌敌畏^[4,7]等对土壤动物群落结构、毒性、呼吸强度的影响开展了一些研究,表明有机磷杀虫剂对土壤动物呼吸有抑制作用,直至死亡,而且显著改变土壤动物群落结构,降低土壤动物生物多样性。随着农业的大力发展,另一种重要农药,除草剂已广泛

应用于农业生产,在我国的使用量与年俱增。除草剂被植物根、芽吸收后,作用于特定位点,干扰植物的生理、生化代谢反应,导致植物生长受抑制或死亡。同时,除草剂的应用对环境所带来的负面影响也受到了一定的关注。研究表明,除草剂的施用对环境中的动物泥鳅^[8]、黄鳝^[9]、蛙类^[10]和鱼类^[11]等均产生影响,如使动物红细胞的微核率和核异常率增加。而除草剂

基金项目 浙江省生态学重点扶持学科,浙江师范大学优秀中青年骨干教师资助项目;

第一作者介绍 郑荣泉,男,硕士,副教授;研究方向:动物生态;E-mail: zhengrq@zjnu.cn

收稿日期 2004-09-22,修回日期 2005-01-04

对土壤动物影响的研究目前在国内尚无报道。

克无踪又名百草枯,化学名称为 1,1'-二甲基-4,4'-联吡啶阳离子(盐酸盐或三硫酸甲醋盐),属杂环类。极易溶于水,除在碱性条件下都很稳定。克无踪农药是一种触杀性、无内吸作用的除草剂,主要用于果园、林带、玉米、蔬菜、休闲地的除草,能杀灭大部分禾本科及阔叶杂草,绿叶接触药液数小时后便开始枯死。药液接触土壤后能被土壤胶体迅速、强烈吸附,并完全钝化而不影响作物根部。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,在土壤质量评价体系中具有重要作用^[12-14]。本研究通过对克无踪污染模拟实验,探讨了除草剂污染对土壤动物群落结构及多样性的影响,为除草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,为农业生态环境保护和除草剂合理使用提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试农药 实验选用浓度为 20% 的克无踪水剂(江苏先正达南通作物保护有限公司生产),试验浓度的配制参照该农药农田施用常规浓度(约 3 ml/L),采用 0.6 的等自然对数间距,设置 1.8、3.2、5.6 和 10 ml/L 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 2003 年 5 月取金华地区未施用农药的水稻泥土,将取样地划分为五个区域,并分别从每个区域中用直径为 5 cm、高为 14 cm 的圆形铁罐取 15(5×3)个样品,固定,并标上标记,以便区别。实验共设 4 个处理浓度,平均每个浓度 15 个样品。每个样品各喷施药液量均参照农田施用常规用量,标上相应标记。对照组则用蒸馏水喷施。

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,分上下两层(每层厚度 7 cm),用干漏斗法(Tullgran appartus)^[14]分离提取土壤动物,并进行计数和分类。土壤螨类鉴定到科,弹尾类鉴定到属,其它类群采用土壤动物大类群分类法鉴定^[14]。

2 结果与讨论

2.1 克无踪浓度对土壤动物群落的影响 在克无踪农药染毒实验中,共取 5 区域,采集土样 75 个,每个土样容积为 100 cm³,经改进的干漏斗法分离,共获得土壤动物 1 291 个,隶属 3 门、7 纲、11 目。其中对照组土壤中获得 380 个动物,计 7 目。

在获得的 54 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 35.01% 和 36.72%。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 9.60%、1.01%、1.47%、2.48% 和 9.37%。其余类群均为稀有类群(占土壤动物全捕量 1% 以下的类群)(表 1)。在各个浓度组中,优势类群的数量随克无踪浓度的升高,依次降低,稀有类群表现为随克无踪浓度的递增,其种类数依次减少。故土壤动物数量的减少,主要是由于优势类群随浓度升高而减少所致,其种类的减少则主要是由于稀有类群的减少。

从 5 个处理浓度的结果来看,克无踪农药染毒实验对土壤动物的个体数量和类群数有显著影响。在低浓度(1.8 ml/L)组存活的土壤动物有 39 类,占土壤动物种类的 72.22%,数量为 315 个,占动物量的 24.40%;而在高浓度(10 ml/L)组中,存活的仅有 27 类和 134 个动物,分别占种类数的 50% 和动物量的 10.38%。与对照组类群数 42 和个体总数为 380 有显著区别(表 2)。这说明除草剂克无踪对土壤动物的生存、生活均有一定的抑制作用,导致土壤生态系统的改变,进而影响作物的生产。

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:

表 1 克无踪除草剂对土壤动物种类组成及数量的影响

动物种类	除草剂浓度 (ml/L)					合计	频度 (%)	多度
	0	1.8	3.2	5.6	10			
弹尾目 Collembola							35.01	+++
棘蛭属 <i>Onychiurus</i>	4	3	3	2	1	13	1.01	++
球角蛭属 <i>Hypogastrura</i>	10	8	5	9	1	33	2.56	++
奇蛭属 <i>Xenylla</i>	5	2	3	2	1	13	1.01	++
隐蛭属 <i>Cryptopygus</i>	3	1	0	1	0	5	0.39	+
符蛭属 <i>Folsomia</i>	63	57	41	43	33	237	18.36	+++
裔符蛭属 <i>Folsomides</i>	0	3	0	1	2	6	0.47	+
类符蛭属 <i>Folsomina</i>	2	0	4	2	1	9	0.70	+
等节蛭属 <i>Isotoma</i>	13	7	7	9	6	42	3.25	++
小等蛭属 <i>Isotomiella</i>	4	8	0	8	4	24	1.86	++
似等蛭属 <i>Isotomodes</i>	0	0	1	0	0	1	0.08	+
陷等蛭属 <i>Isotonurus</i>	1	0	0	0	0	1	0.08	+
原等蛭属 <i>Proisotoma</i>	12	10	11	9	6	48	3.72	++
拟缺蛭属 <i>Pseudanurophorus</i>	1	0	0	1	0	2	0.15	+
长蛭属 <i>Entomobrya</i>	1	0	0	0	1	2	0.15	+
短角蛭属 <i>Neelus</i>	4	2	0	2	1	9	0.70	+
小圆蛭属 <i>Sminthurinus</i>	2	0	2	2	1	7	0.54	+
真螨目 Acariformes								
前气门亚目 Prostigmata							9.60	++
吸螨科 Bdellidae	19	18	16	12	8	73	5.65	++
隐颚螨科 Cryptognathidae	12	8	9	4	5	38	2.94	++
缝颚螨科 Raphignathidae	2	5	4	1	1	13	1.01	++
腾岛螨科 Teneriffidae	1	5	2	1	0	9	0.70	+
甲螨亚目 Oribatida							36.72	+++
罗尹螨科 Lobmanniidae	19	17	18	12	6	72	5.58	++
盲甲螨科 Malacooothridae	5	7	3	4	2	21	1.63	++
小赫甲螨科 Hermannellidae	28	21	13	8	0	70	5.42	++
沙甲螨科 Eremulidae	39	38	35	20	13	145	11.23	+++
蚌甲螨科 Cepheidae	10	9	2	1	0	22	1.70	++
小隅甲螨科 Microtegeidae	2	3	1	2	1	9	0.70	+
盖头甲螨科 Tectocephidae	9	5	3	1	0	18	1.39	++
奥尹螨科 Oppidae	29	20	16	11	13	89	6.89	++
苔甲螨科 Oribatulidae	5	1	3	2	1	12	0.93	+
单翼甲螨科 Haplozetidae	4	0	2	1	0	7	0.54	+
菌甲螨科 Scheloribatidae	4	4	1	0	0	9	0.70	+
蜘蛛目 Araneae								
新蛛下目 Araneomorphae							0.39	+
弱蛛科 Leptonetidae	1	1	0	0	0	2	0.15	+
球蛛科 Therididae	1	0	1	0	0	2	0.15	+
类球蛛科 Nesticidae	0	0	1	0	0	1	0.08	+
缨翅目 Thysanoptera								
管蓟马科 Phlaeothripidae	0	1	0	0	0	1	0.08	+
鞘翅目幼虫 Coleoptera							0.31	+
隐翅虫科 Staphylinidae	2	0	0	1	0	3	0.23	+
叩甲科 Elateridae	0	0	0	1	0	1	0.08	+
鞘翅目成虫 Coleoptera							1.01	+
长朽木甲科 Melandryidae	2	1	0	0	0	3	0.23	+
隐翅甲科 Staphylinidae	3	3	2	1	0	8	0.62	+

续表 1

动物种类	除草剂浓度(ml/L)					合计	频度(%)	多度
	0	1.8	3.2	5.6	10			
小蕈甲科 Mycetophagidae	0	1	0	0	0	1	0.08	+
寡毛纲 Oligochaeta								
小蚓类 Microdrile oligochaetes	4	6	2	4	3	19	1.47	++
线虫动物门 Nematoda	8	6	9	4	5	32	2.48	++
啮虫目 Psocoptera	3	2	1	3	1	10	0.77	+
双尾目 Diplura	0	1	0	0	0	1	0.08	+
膜翅目 Hymenoptera								
蚁科 Formicidae	4	5	1	1	0	11	0.85	+
双翅目幼虫 Diptera							9.37	++
虻科 Tabanidae	1	1	0	2	0	4	0.31	+
摇蚊科 Chironomidae	22	13	12	15	10	72	5.58	++
瘿蚊科 Cecidomyiidae	0	0	1	2	0	3	0.23	+
蝇科 Muscidae	12	10	5	9	6	42	3.25	++
蠓科 Ceratopogonidae	4	1	3	2	0	10	0.77	+
同翅目幼虫 Homoptera	0	0	1	0	0	1	0.08	+
倍足纲 Chilopoda								
球马陆科 Glomeridae	0	0	1	0	0	1	0.08	+
鳞翅目幼虫 Lepidoptera	0	1	1	0	0	2	0.15	+
蛭纲 Hirudinea	0	0	0	0	1	1	0.08	+
合计∑	380	315	246	216	134	1 291		

优势类群(+++) 常见类群(++) 稀有类群(+)

Shannon-Wiener 多样性指数公式：

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

式中 H' 为多样性指数, n_i 为该区第 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。在对照组中多样性指数 H' 为 3.133 0, 低浓度组(1.8 ml/L) 为 3.068 0, 而在高浓度组(10 ml/L) 中多样性指数 H' 为 2.715 4 (表 2), 表现出一定的递减趋势。即随克无踪溶液处理浓度的增加, 土壤动物种类显著减少, 故根据克无踪农药对土壤动物种类和数量的影响规律, 可以作为农田生态系统土壤农药污染的重要指标。

表 2 不同浓度农药污染下土壤动物群落重要指标值

指标	浓度(ml/L)				
	0	1.8	3.2	5.6	10
类群数	42	39	38	39	27
个体总数(个)	380	315	246	216	134
多样性指数 (H')	3.133 0	3.068 0	3.003 5	3.060 5	2.715 4

2.2 染毒历时对土壤动物的影响 实验结果

表明, 克无踪除草剂对土壤动物有一定的触杀作用, 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, 如在低浓度(1.8 ml/L) 组中, 上层土壤动物数量为 58 个, 下层为 62 个, 分别占全捕量的 4.49% 和 4.80%, 而在高浓度 10 ml/L 组中, 上层及下层的数量分别降到 19 和 30 个, 分别占全捕量的 1.47% 和 2.32% (表 3)。显然, 除草剂克无踪对上层和下层的土壤动物影响趋势相同, 即随着克无踪浓度的增加, 上、下层土壤动物也随之呈递减趋势。

表 3 克无踪染毒历时与土壤动物个体数量的关系

染毒历时 (h)	分层	不同浓度(ml/L) 克无踪影响下 土壤动物数量(个)					∑
		0	1.8	3.2	5.6	10	
		24	上	69	58	39	
	下	63	62	57	44	30	256
48	上	62	49	34	31	10	186
	下	58	45	42	38	24	207
72	上	68	51	42	39	22	222
	下	60	50	32	36	19	197

但在各个染毒历时, 克无踪对上、下层土壤动物数量的影响大小有所不同。在经过 24、48

和 72 h 的染毒条件下,把不同处理浓度的土壤动物数量和克无踪各个浓度的自然对数进行回归分析,发现不同处理浓度的土壤动物数量和克无踪各个浓度的自然对数存在负一元线性相关关系,同时,经过 24、48 和 72 h 的染毒,克无踪对上层土壤动物的影响逐渐下降,回归系数从 24 h 时的 21.67 下降到 48 h 的 20.33,到 72 h 时,回归系数下降为 17.33;而对下层土壤动物的影响逐渐上升,回归系数则由 24 h 的 14.00 上升为 72 h 的 16.00,在 72 h 时,克无踪对上、下层土壤动物的影响基本一致(图 1)。

2.3 克无踪污染对优势类群的影响 在获得的土壤动物类群中,以蜱螨目(Acarina)动物的数量最多,有 607 只,占动物总量的 47.02%,是土壤动物群落中的主要优势类群,其中又以甲螨亚目(Oribatid)的种类和数量最为丰富。王振中等认为,可能是由于甲螨类动物口器发达,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^[2]。本实验获得的 11 种甲螨 474 只,约占蜱螨目总量的 78.09%,表明在高浓度农药毒害影响下仍有相当数量的甲螨个体能存活下来。低浓度(1.8 ml/L)组中的甲螨种类和数量分别为高浓度(10 ml/L)组的 1.7 和 3.4 倍。另从蜱螨耐药性的种间差异来看,以沙甲螨和奥甲螨耐药性最强,分别占蜱螨类动物量的 11.23% 和 6.89%,其次为吸螨、罗甲螨和小赫甲螨科,5 种螨类共占蜱螨总量的 34.77%。实验结果表明甲螨随着克无踪浓度增加,其种类和数量均呈下降趋势。如在对照组中有甲螨 154 个、11 类,占甲螨总数的 32.49% 和类群数的 100%,在低污染组有 125 个、10 类,占甲螨总数的 26.37% 和种类数的 90.91%;在高污染组只有 36 个、6 类,所占比例分别为 7.59% 和 54.55%(表 4)。故认为甲螨是农药污染的敏感指示生物,应用甲螨来监测土壤污染的研究,具有一定的应用前景。

弹尾目(Collembola)与蜱螨目同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两个类群,通常占土壤

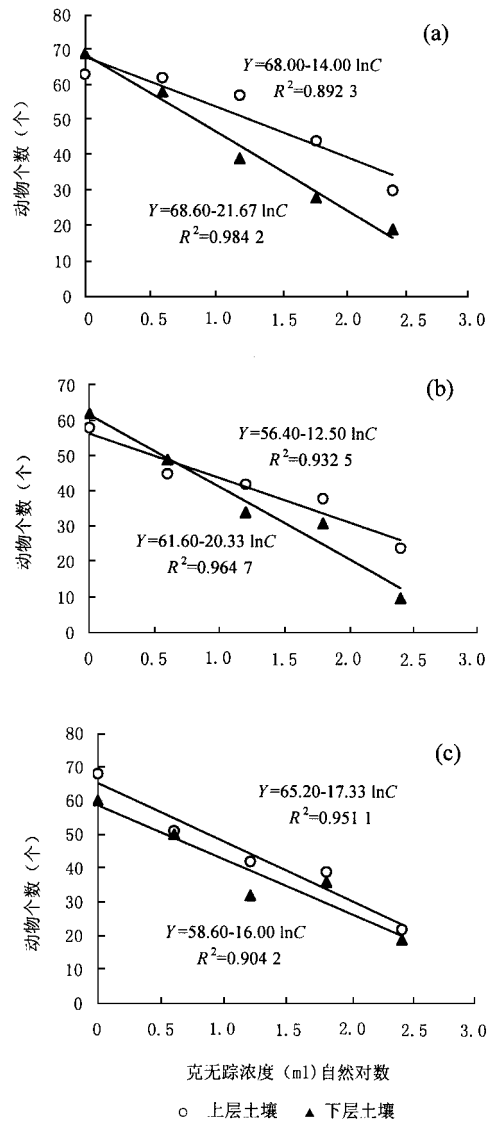


图 1 不同历时、不同层次土壤动物数量与克无踪浓度的关系

a, b, c 分别为染毒历时 24、48 和 72 h

节肢动物总量的 85% 左右。本次实验获得的弹尾类昆虫,占动物总量的 35.01%,仅次于蜱螨类的优势度,在各农药处理组中种类和数量

表 4 甲螨种群数与克无踪溶液浓度关系

项目	克无踪浓度(ml/L)				
	0	1.8	3.2	5.6	10
个体数(个)	154	155	97	62	36
种类数	11	10	11	10	6

变化,具有与蛴螬类近似的变化规律,亦是反映农污染程度的敏感指示动物。

3 结 论

土壤动物是土壤污染的敏感指示生物,根据克无踪除草剂染毒实验中土壤动物群落结构(种类和数量)的变化来评价除草剂污染的局部影响是可行的,可以把土壤动物作为土壤污染的敏感指示生物。由对照组至高浓度组,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。

土壤动物种群和数量随克无踪除草剂处理浓度的升高而递减。

在染毒历时上,克无踪除草剂对上层、下层土壤动物的影响规律有所不同。在 72 h 内,克无踪除草剂对上层土壤动物的影响逐渐降低,而对下层土壤动物逐渐升高,到 72 h 时两者基本达到一致。这与克无踪除草剂在土壤中的降解和渗透有关,也提示了一定量的克无踪除草剂可以影响到较深层的土壤动物。

优势类群为弹尾目和甲螨亚目,占土壤动物全捕量的 71.73%,对群落特征起决定作用。其中以蛴螬类中的甲螨耐污能力最强,优势类群的种类和数量变化也能较好的反映土壤污染的程度。

克无踪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 $-124^{[3]}$ 和 $-68.97^{[7]}$,两者明显大于克无踪的回归系数(约 -20),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克无踪。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,还须进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Abdul M M, Abdul R, Marcel B B. Earthworm toxicology: form acute to chronic tests. *Soil Biol Biochem*, 1997, **29**(3/4):699 ~ 703.
- [2] Fred Heimbach. Correlation between data from laboratory and field tests for investigating the toxicity of pesticides to earthworm. *Soil Biol and Biochem*, 1992, **24**(12):1 749 ~ 1 753.
- [3] 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. *环境科学*, 1997, **18**(6):45 ~ 49.
- [4] 王振中,张友梅,夏卫生等.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.
- [5] 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. *湖南师范大学自然科学学报*, 1998, **21**(1):89 ~ 92.
- [6] 邢协加,王振中,张友梅等.杀虫双农药对土壤蛴螬类和弹尾类影响的研究. *湖南师范大学自然科学学报*, 1997, **20**(1):79 ~ 84.
- [7] 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. *环境科学研究*, 1999, **12**(1):49 ~ 53.
- [8] 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. *现代农药*, 2002, **4**:24 ~ 27.
- [9] 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. *动物学杂志*, 2000, **35**(1):12 ~ 17.
- [10] 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. *动物学杂志*, 2000, **35**(5):15 ~ 19.
- [11] 李康民,李佩珍.除草剂对水产养殖的潜在影响. *农业环境保护*, 1995, **14**(2):75 ~ 79.
- [12] Pankhurst C E, Hawke B G, McDonald H J, et al. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1995, **35**:1 015 ~ 1 028.
- [13] Haimi J. Decomposer animals and bioremediation of soils. *Environmental Pollution*, 2000, **107**(2):233 ~ 238.
- [14] 尹文英等主编. *中国土壤动物*. 北京:科学出版社, 2000.