

DOI:10.3969/j.issn.1000-7083.2012.05.026

# 多菌灵与博士 1:4 单一与复合污染对蚯蚓的毒性效应研究

白桂芬, 李冰

(赤峰学院生命科学院, 内蒙古赤峰 024000)

**摘要:**多菌灵与博士 1:4 是农业生产中常见的农药,它们在土壤中存在可能造成污染,为了评价这两种农药对目标生物以外的土壤动物的影响,本研究以蚯蚓为实验动物,采用滤纸接触法进行污染性试验。试验中,蚯蚓分别暴露在多个浓度梯度的多菌灵或博士 1:4 中,同时还测试了二者多个浓度梯度下的复合毒性。结果表明,多菌灵和博士 1:4 对蚯蚓均有毒性作用,多菌灵的毒性较博士 1:4 略大,48 h 半致死浓度分别为  $1.28 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $2.88 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。复合毒性试验与单独试验相比,二者的毒性明显降低。提示如果二者联合使用不明显降低对目标有害生物抑杀作用,则可考虑联合使用这一策略。

**关键词:**多菌灵; 博士 1:4; 蚯蚓; 毒性

**中图分类号:**S482 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7083(2012)05-0808-05

## Study on the Toxicity of Single and Combination of Carbendazim and Doctor 1:4 to Earthworms

BAI Gui-fen, LI Bing

(Department of Life Science, Chi-Feng College, Chifeng, Inner Mongolia Autonomous Region 024000, China)

**Abstract:** Carbendazim and Doctor 1:4 are widely used pesticides in agriculture. They are also pollutant of soil due to their potentials in killing or inhibiting the growth of soil animals. In the study, we used earthworm as model animal to assess the toxicity of Carbendazim and Doctor 1:4 to soil animals other than their target pests. Earthworms were exposed to Carbendazim and Doctor 1:4 at different gradients of concentrations respectively, either separately or in combination in normal conditions of lab. Toxic effects were observed at 0 h, 24 h and 48 h after exposure. Results indicated the both Carbendazim and Doctor 1:4 are toxic to earthworm, but toxicity of Carbendazim was higher and severer than that of Doctor 1:4. The half lethal concentrations were  $1.28 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  and  $2.88 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , respectively. When the Carbendazim and Doctor 1:4 were used in combination, the overall toxicity was reduced comparing to the cases of single use. The result demonstrates that Carbendazim and Doctor 1:4 should be used in combination to minimize the pollution to soil in case that their toxicity to target pests would not be reduced.

**Key words:** Carbendazim; Doctor 1:4; earthworm; toxicity

蚯蚓作为土壤中分布较广的动物,对土壤生态系统具有改善土壤通气、保水、排水、提高土壤养分循环速度、调节土壤微生物区系组成、改善土壤生态系统功能、调节土壤 pH 值、活化土壤养分等重要功能(胡锋等,1998;王盛权等,2009)。通过蚯蚓的活动,使土壤疏松,团粒结构增强,从而促进农作物的生长。另外,蚯蚓是土壤生态系统中许多动物的食物来源,在食物链中起着污染传递作用,从而可能威胁到食物链中更高营养级的生物(邱江平,2000;郝桂玉等,2004;王盛权等,2009;徐冬梅等,2009)。

随着农药的大量使用,蔬菜地、果园等土壤中累积的农药污染越来越严重,对土壤中的动物与微生物

产生严重危害。众多研究表明,当土壤被各种污染物污染后,会对蚯蚓的生存、生长、繁殖等产生不利的影响,从而导致土壤生态系统正常结构和功能遭到破坏,产生各种不良的生态效应(宋玉芳,周启星,2002;贾秀英等,2005)。其中,土壤环境受到农药污染后对土壤生态系统的结构和功能的破坏尤为突出。以蚯蚓为模式生物,研究环境污染的生物效应及其对土壤生态系统的影响,已成为国内外的研究热点(徐冬梅等,2009)。其中,有关农药单一与复合及农药和重金属复合污染已有不少报道,而且对蚯蚓的生态检测与毒理研究既可反映土壤污染状况,又能鉴定各种有害物质的毒性(何勇,熊先哲,

收稿日期:2012-01-21 接受日期:2012-03-27

基金项目:内蒙古自治区教育厅高等学校研究项目(NJ10249);内蒙古赤峰学院重点扶持学科项目

作者简介:白桂芬(1962~),女,教授,E-mail: bgf7780@sohu.com

1994;王佚等,2009)。多菌灵与博士 1:4 是目前农业生产中常见的农药,而关于多菌灵与博士 1:4 对蚯蚓影响的研究却鲜有报道。本研究以蚯蚓为指示生物,采用滤纸接触法进行多菌灵、博士 1:4 单一与复合污染对蚯蚓的毒理研究,旨在明确该两种农药对土壤生物的生态毒性效应,为科学评价这两种农药的生态安全性、早期预警提供基础数据,为赤峰市周边地区农药污染的生态学检测、正确使用这两种农药进行农业害虫的防治提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

**1.1.1 供试动物** 蚯蚓:在赤峰市区周边选择地表比较潮湿、有新鲜蚯蚓粪便的蔬菜大棚,用工具挖土采集蚯蚓。选择体重为 300 ~ 500 mg,环带明显,大小基本一致的健康成蚓进行试验。

**1.1.2 主要试验器材** 直径 15 cm 的玻璃培养皿,直径 15 cm 的定性中速滤纸,试剂瓶。

**1.1.3 供试污染物** 多菌灵 (Carbendazim),化学名 N-(2-苯丙咪唑基)-氨基甲酸甲酯,为灰色可湿性超微粉末,天津市施普乐农药技术发展有限公司生产,生产批号:HNP12032-D0446。多菌灵是一种高效、中等毒性、内吸性、广谱性、氨基甲酸酯类杀菌剂,安全间隔期 15 d,单一长期使用后病菌产生抗药性,因此使用时最好与其他杀菌剂轮换使用或混合使用。

博士 1:4 (Doctor 1:4),化学名 O-O-(二乙基-异丙基-4-甲基嘧啶-6-甲基)硫代磷硫酯,主要成分为 5% 二嗪磷,彩色颗粒状,河南农业大学生物化工实验厂生产,生产批号:HNP41025-A6814。博士 1:4 是一种低毒、广谱性有机磷杀虫剂,具有触杀、胃毒和一定的内吸作用。

**1.1.4 污染物试验浓度设计** 先通过预试验确定正式试验中两种农药对蚯蚓染毒历时 48 h 的最小致死浓度 (MLD) 和最大致死浓度 ( $LD_{100}$ ),然后在此区间内设置正式试验中各污染物的浓度序列。

多菌灵:浓度选择根据农药使用要求 1000 ~ 1500 mg/kg,取其平均值 1250 mg/kg,即试验基准浓度为  $1.25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在基准浓度的基础上首次设计预试验浓度 ( $\text{g/L}$ ): 2.75、2.25、1.75、1.25、0.75、0.25。根据其试验结果与现象,经过多次预试验最后确立多菌灵正式单一毒性试验浓度序列 (单位:  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ): 2.00、1.75、1.5、1.25、1.00、0.75。

博士 1:4:浓度选择根据农药使用要求 800 ~ 1200 g/亩,取其平均值 1000 g/亩,即要求使用浓度为  $0.0265 \text{ g/m}^2$ 。试验基准浓度 =  $0.0265 \text{ g/m}^2 \times$  滤纸面积  $\div 0.01 \text{ L}$  (试验农药用量),得出滤纸法的基准浓度为  $2.65 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在基准浓度的基础上首次设计预试验浓度 ( $\text{g/L}$ ): 6.00、5.00、4.00、3.00、2.00、1.00。根据其试验结果与现象,经过多次预试验最后确立博士 1:4 正式单一毒性试验浓度序列 (单位:  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ): 4.00、3.50、3.00、2.50、2.00、1.50。

根据单一毒性试验确定复合毒性试验的浓度序列 (表 1),两种农药等体积混合。

表 1 多菌灵和博士 1:4 复合毒性试验浓度序列

Table 1 Experimental concentrations for composite toxicity test of Carbendazim and Doctor 1:4

组合	污染物	试验浓度 ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )					
I	多菌灵	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
	博士 1:4	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
II	多菌灵	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
	博士 1:4	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50

第 I 组 (0.75 g/L 多菌灵与各浓度博士 1:4 复合),第 II 组 (1.50 g/L 博士 1:4 与各浓度多菌灵复合)

Group I (0.75 g/L Carbendazim and Doctor 1:4 at different concentration), Group II (1.50 g/L Doctor 1:4 and Carbendazim at different concentration)

### 1.2 试验方法

取 1 L 烧杯,底部放一层滤纸喷洒少量水,以刚浸没滤纸为宜。挑选具有环带的健壮蚯蚓,将其洗净后放入烧杯中,用塑料薄膜封口,并用解剖针扎孔,清肠 24 h。

在直径 15 cm 的培养皿底铺衬滤纸 (中速) 2 张,以刚好遮住皿底为宜。按预试验确定的剂量 (表 1) 将多菌灵和博士 1:4 配成系列浓度,取 10 mL 倒入培养皿中撒均匀,使滤纸全部浸湿。每一浓度试验设置 3 个重复,并设置 1 组不含药物的空白对照 (CK)。将清肠后的蚯蚓冲洗干净,并用滤纸吸干蚯蚓体表的水分放入培养皿中。每个培养皿放入 10 条蚯蚓,用塑料薄膜封口避免蚯蚓逃逸,并用解剖针扎孔以提供足够的空气。将培养皿置于实验台上,并在培养皿下铺一层棉花,在实验室自然光照、室温条件下培养。在 0 h、24 h 和 48 h 各观测 1 次,记录蚯蚓死亡数及实验现象 (中毒症状),48 h 后结束试验 (左海根等,2005;陈志伟等,2007),以前尾部对机械刺激无反应判为死亡。

### 1.3 数据处理

将试验数据用 SPSS Statistics 17.0 进行统计学处理。单一毒性处理用直线回归方法,混合毒性处

理用曲线回归方法。显著性水平设定为  $P < 0.005$  为极显著,  $P < 0.05$  为显著。

## 2 实验结果

### 2.1 多菌灵、博士 1:4 单一作用下对蚯蚓的毒性

**2.1.1 多菌灵的毒性** 试验研究表明,多菌灵单一污染蚯蚓表现出的中毒症状是:最初蚯蚓接触滤纸后绕皿壁爬行,对污染区有明显的回避反应。24 h 观察:蚯蚓身体松软拉长,环节松弛,生殖环红肿,无爬行能力,针刺反应迟钝,1.50 g/L 以上各浓度皿中蚯蚓头部肿大,有断节(尾部有断掉的体节)现象。48 h 观察:蚯蚓皮肤透明充血,有渗血现象,头部体色发黑,尾部拉长,体色发青,针刺有黄色液体渗出,死亡者腹部发白,有腐臭味,较大浓度皿中蚯蚓生殖环红肿透明,头部发黑,尾部有断节现象。对照组蚯蚓在 24 h 和 48 h 观察时与 0 h 时未见明显变化。

表 2 显示,对照组蚯蚓无死亡现象。当多菌灵的浓度为  $0.75 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $1.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,污染暴露 24 h,对蚯蚓不产生致死效应。当多菌灵浓度增大到  $1.25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,污染暴露 24 h,对蚯蚓表现出致死效应。各浓度的多菌灵污染暴露 48 h,对蚯蚓均产生致死效应,且蚯蚓死亡率随污染物浓度的增大而升高,在试验的最高浓度时,蚯蚓的死亡率达 86.67%。回归分析表明,多菌灵的浓度与蚯蚓的死亡率之间符合如下关系:

$$D = 46.474X_1 - 9.457 \quad (R^2 = 0.896, n = 6, P < 0.005) \quad (1)$$

其中,  $D$  为蚯蚓死亡率(%),  $X_1$  为多菌灵浓度 ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ),  $P$  为显著性水平,  $R$  为相关系数,  $n$  为试验处理数。  $P < 0.005$ , 各实验组与对照组相比差异极显著。根据这一关系可计算出多菌灵的半致死浓度 ( $\text{LC}_{50}$ ) 为  $1.28 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

表 2 多菌灵滤纸接触法蚯蚓死亡情况

Table 2 Mortality of earthworm caused by Carbendazim at different concentration

浓度 Concentration (g/L)	死亡蚯蚓数 No. of death						死亡率 (%) Mortality (%)	
	24 h			48 h			24 h	48 h
	I	II	III	I	II	III		
2.00	2	0	3	9	9	8	16.67	86.67
1.75	0	0	1	6	7	6	3.33	63.33
1.50	2	2	2	5	6	7	20.00	60.00
1.25	1	2	2	6	5	5	16.67	53.33
1.00	0	0	0	3	4	5	0	46.67
0.75	0	0	0	2	2	1	0	16.67
CK	0	0	0	0	0	0	0	0

**2.1.2 博士 1:4 的毒性** 博士 1:4 单一污染蚯蚓表现出的中毒症状是:身体变硬、收缩变短、体色变深发黑。对照组蚯蚓均表现正常。

由表 3 可知,各浓度博士 1:4 污染暴露 24 h,对蚯蚓不产生致死效应。各浓度的博士 1:4 污染暴露 48 h,对蚯蚓均产生致死效应,且蚯蚓死亡率随着污染物浓度的增大而升高,试验中的博士 1:4 浓度在  $2.50 \sim 3.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时蚯蚓的死亡率达 50%;在最高浓度  $4.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时,蚯蚓的死亡率达 80%。回归分析表明,博士 1:4 的浓度与蚯蚓的死亡率之间存在如下关系:

$$D = 26.992X_2 - 27.618 \quad (R^2 = 0.979, n = 6, P < 0.005) \quad (2)$$

其中,  $D$  为蚯蚓死亡率(%),  $X_2$  为博士 1:4 浓度 ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ),  $P$  为显著性水平,  $R$  为相关系数,  $n$  为试验处理数。  $P < 0.005$ , 各实验组与对照组相比差异极显著。根据上述方程可计算出博士 1:4 的半致死浓度 ( $\text{LC}_{50}$ ) 为  $2.88 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

表 3 博士 1:4 滤纸接触法蚯蚓死亡情况

Table 3 Mortality of earthworm caused by Doctor 1:4 at different concentration

浓度 Concentration (g/L)	死亡蚯蚓数 No. of death						死亡率 (%) Mortality (%)	
	24 h			48 h			24 h	48 h
	I	II	III	I	II	III		
4.00	0	0	0	9	8	7	0	80.00
3.50	0	0	0	5	7	7	0	63.33
3.00	0	0	0	5	6	7	0	60.00
2.50	0	0	0	3	5	4	0	40.00
2.00	0	0	0	2	3	2	0	23.33
1.50	0	0	0	1	2	1	0	13.33
CK	0	0	0	0	0	0	0	0

### 2.2 多菌灵和博士 1:4 复合作用下对蚯蚓的毒性

试验表明,  $1.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  的博士 1:4 与  $0.75 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \sim 2.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  范围内的多菌灵复合污染,蚯蚓表现出的中毒症状是:24 h 观察,身体松软拉长,环节松弛,生殖环红肿,前段体色变深,尾部体色发青,较高浓度针刺反应迟钝,无死亡现象;48 h 观察,皮肤透明,生殖环红肿充血,头部肿大轻度腐烂,尾部有断节现象,死者环带渗血有明显的血迹、有腐臭味。虽然各浓度多菌灵对蚯蚓均产生致死效应,但该复合污染体系对蚯蚓的中毒症状主要表现出多菌灵污染时的中毒症状,且比多菌灵单一组轻。回归分析表明,在  $1.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  的博士 1:4 存在的条件下,蚯蚓死亡率与多菌灵浓度之间的关系为:

$$D = 22.860X_3^2 - 44.963X_3 + 29.438 \quad (R^2 = 0.926, P < 0.05) \quad (3)$$

其中, D 为蚯蚓死亡率(%),  $X_3$  为博士 1:4 浓度( $g \cdot L^{-1}$ ),  $P$  为显著性水平,  $R$  为相关系数,  $n$  为试验处理数。  $P < 0.05$ , 各实验组与对照组相比差异显著。在复合污染作用 48 h 后, 多菌灵的浓度与蚯蚓的死亡率之间呈上升的关系(图 1), 即蚯蚓死亡率随多菌灵浓度的增大呈升高, 在多菌灵超过  $1.75 g \cdot L^{-1}$  的时候, 死亡率迅速上升。但与多菌灵单一组相比蚯蚓死亡率明显降低。  $1.50 g \cdot L^{-1}$  的博士 1:4 与最高浓度  $2.00 g \cdot L^{-1}$  的多菌灵复合污染, 暴露 48 h, 其死亡率仅达 33.33%, 明显低于单一多菌灵  $2.00 g \cdot L^{-1}$  时蚯蚓死亡率 86.67%。

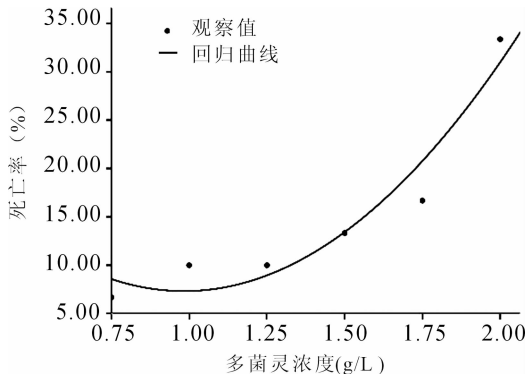


图 1 1.50 g/L 博士 1:4 存在条件下多菌灵浓度与蚯蚓死亡率的关系  
Fig. 1 Relationship between Carbendazim concentration and earthworm mortality with existence of 1.50 g/L Doctor 1:4

$0.75 g \cdot L^{-1}$  多菌灵与  $1.50 \sim 4.00 g \cdot L^{-1}$  的博士 1:4 复合污染蚯蚓表现出的中毒症状是: 24 h 观察,  $0.75 g \cdot L^{-1}$  多菌灵与  $1.50 g \cdot L^{-1}$  的博士 1:4 复合的污染体系中蚯蚓生殖环红肿, 而与其他浓度博士 1:4 复合污染的体系中蚯蚓生殖环出现消肿皱缩, 与较高浓度博士 1:4 复合的体系中少数有黄色液体渗出, 尾部充血。 48 h 观察, 蚯蚓行动迟缓, 环节松弛, 较高浓度复合体系中蚯蚓头部肿大, 生殖环有黄色液体渗出。回归分析表明,  $0.75 g \cdot L^{-1}$  多菌灵存在时, 博士 1:4 的浓度与蚯蚓死亡率之间遵循下列关系:

$$D = 2.144X_4^2 - 9.317X_4 + 9.509 \quad (R^2 = 0.965, P < 0.05) \quad (4)$$

其中, D 为蚯蚓死亡率(%),  $X_4$  为博士 1:4 浓度( $g \cdot L^{-1}$ ),  $P$  为显著性水平,  $R$  为相关系数,  $n$  为试验处理数。  $P < 0.05$ , 各实验组与对照组相比差异显著。复合污染中博士 1:4 的浓度与蚯蚓的死亡率之间呈上升的关系(图 2)。在各浓度复合体系中,

污染暴露 24 h, 蚯蚓均无死亡现象; 污染暴露 48 h, 较低浓度的博士 1:4 ( $3.0 g \cdot L^{-1}$  以下) 未造成蚯蚓死亡, 当浓度超过  $3.0 g \cdot L^{-1}$  时, 蚯蚓死亡率陡然上升。但是其总体死亡率较低, 在  $3.5 g \cdot L^{-1}$  和  $4.0 g \cdot L^{-1}$  时死亡率分别为 3.33% 和 6.67%。

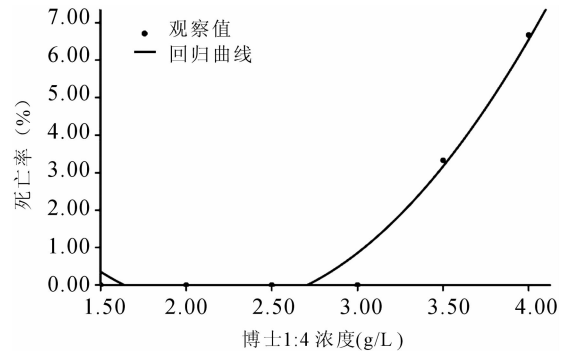


图 2  $0.75 g/L$  多菌灵存在条件下博士 1:4 浓度与蚯蚓死亡率的关系  
Fig. 2 Relationship between Doctor 1:4 concentration and earthworm mortality with existence of  $0.75 g/L$  Carbendazim

### 3 讨论

#### 3.1 单独使用时多菌灵和博士 1:4 的毒性差异

从试验结果看, 两种农药对蚯蚓均有毒性作用, 而且随着农药浓度的增加, 农药对蚯蚓的毒性增强。但是蚯蚓对两种农药表现的中毒症状有所不同。 24 h 观察时, 博士 1:4 组蚯蚓均未出现死亡现象, 多菌灵组较大浓度时蚯蚓出现死亡现象。 48 h 观察时, 多菌灵组的死亡率高于博士 1:4 组, 而且多菌灵的  $LC_{50}$  为  $1.28 g \cdot L^{-1}$ , 也高于博士 1:4 ( $LC_{50}$  为  $2.88 g \cdot L^{-1}$ )。这表明多菌灵对蚯蚓的毒性大于博士 1:4。

两种农药对蚯蚓的毒性差异可能是由于农药的化学结构、作用机制以及侵入途径不同所导致。多菌灵属于氨基甲酸酯类农药, 博士 1:4 属于有机磷农药。虽然氨基甲酸酯类农药对机体的毒性作用与有机磷农药相似, 主要是抑制胆碱酯酶活性(花日茂, 2006; 沈建忠, 2008), 以整个分子与胆碱酯酶形成疏松复合物, 在体内不需要经过代谢活化, 即可产生抑制作用(虞轶俊, 施德, 2008), 但是二者进入动物体内的途径不同, 多菌灵脂溶性较高, 对虫体表皮的穿透性较强, 导致该农药在虫体内分布吸收速度较快, 使蚯蚓较快地表现出中毒症状; 而博士 1:4 是以胃毒作用为主, 即进入虫体内的途径是以食入为主, 中毒较慢, 而且毒性效果可能还受消化吸收率的影响。

根据回归方程(1)可计算出多菌灵的最大致死

浓度为  $2.36 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , 明显超过了生产要求的使用浓度  $1.25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。根据回归方程(2)得出的博士 1:4 最大致死浓度为  $4.72 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , 明显超过了生产要求的使用浓度  $2.65 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。但是二者的半致死浓度分别为  $1.28 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $2.88 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , 这表明正常生产中使用的浓度已经对蚯蚓产生了明显的影响。

### 3.2 复合使用多菌灵和博士 1:4 时的毒性特点

在  $1.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  博士 1:4 存在的条件下, 各浓度多菌灵复合毒性试验和多菌灵单独使用时的毒性试验相比(图 1, 表 2), 试验 24 h 时, 复合组蚯蚓未出现死亡现象, 单一组最大死亡率为 20%; 试验 48 h 时, 复合组蚯蚓在各个浓度中的死亡率均明显低于单一组的相应浓度。说明复合组与单一组相比毒性明显降低, 产生了拮抗效应。

在  $0.75 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  多菌灵存在的条件下, 各浓度博士 1:4 复合毒性试验和博士 1:4 单独使用时的毒性试验相比(图 2, 表 3), 试验 24 h 时复合组与单一组均对蚯蚓无致死效应; 试验 48 h 时在复合试验组中较高浓度(博士 1:4 浓度分别为  $3.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $4.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ )时蚯蚓出现死亡现象, 蚯蚓死亡率分别为 3.33% 和 6.67%, 但是均低于博士 1:4 单一污染试验组中最小浓度  $1.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时的死亡率(16.67%), 也就是说,  $0.75 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  多菌灵存在的条件下, 博士 1:4 的复合毒性较单一毒性明显降低, 二者产生拮抗效应。

农药使用的基本原则是, 在有效杀灭或控制目标生物的前提下, 尽量减少对环境的污染和对整个生态系统的影响。蚯蚓作为环境指示生物, 对多菌灵和博士 1:4 均比较敏感, 正常使用的两种农药已经可以对其产生明显的影响。降低使用浓度又会降低对目标生物的控制效果, 那么可否采用联合使用

两种农药的方法, 如果经过评估, 联合使用时对目标生物的控制效果没有明显降低, 则因为其有效降低了对蚯蚓的毒性, 是值得推广的。相反, 如果也像蚯蚓一样产生拮抗作用, 联合使用也明显降低了对目标生物的控制效果, 则在生产实践上应避免二者的联合使用。多菌灵和博士 1:4 联合使用是否降低对目标生物的控制效果还有待于进一步研究。

## 4 参考文献

- 陈志伟, 李兴华, 周华松. 2007. 铜、镉单一及复合污染对蚯蚓的急性毒性效应[J]. 浙江农业学报, 19(1): 20~24.
- 郝桂玉, 黄民生, 徐亚同. 2004. 蚯蚓及其在生态环境保护中的应用[J]. 环境科学研究, 17(3): 75~77.
- 何勇, 熊先哲. 1994. 复合污染研究进展[J]. 环境科学研究, 15(6): 79~83.
- 胡锋, 李信辉, 吴新奇, 等. 1998. 蚯蚓和蚁类活动对红壤性质的影响[A]. 土壤生态系统研究(5集)[C]. 北京: 中国农业科技出版社: 76~85.
- 花日茂. 2006. 环境毒理学[M]. 北京: 中国农业出版社.
- 贾秀英, 李喜梅, 杨亚琴, 等. 2005. 复合污染对蚯蚓的急性毒性效应研究[J]. 农业环境科学学报, 24(1): 31~34.
- 邱江平. 2000. 蚯蚓与环境保护[J]. 贵州科学, 18(1): 116~133.
- 沈建忠. 2008. 动物毒理学[M]. 北京: 中国农业出版社.
- 宋玉芳, 周启星. 2002. 甲胺磷-乙草胺和铜单一与复合污染对蚯蚓的毒性效应研究[J]. 应用生态学报, 14(4): 593~596.
- 王盛权, 周汝敏, 张云峰. 2009. 蚯蚓血细胞微核试验对汞·镉遗传毒性的研究[J]. 安徽农业科学, 37(6): 2449~2451.
- 王轶, 唐云, 徐凌凌, 等. 2009. 阿苯哒唑对蚯蚓的生态毒性效应[J]. 应用生态学报, 20(9): 2296~2300.
- 徐冬梅, 刘文娟, 刘维屏. 2009. 外源污染物对对蚯蚓毒理作用研究进展[J]. 生态毒理报, 4(1): 21~27.
- 虞轶俊, 施德. 2008. 农药毒理学[M]. 北京: 中国农业出版社.
- 左海根, 林玉锁, 龚瑞忠. 2005. 吡喃丹、杀虫双对蚯蚓的单一和复合毒性[J]. 农村生态环境, 21(1): 69~71.