

文章编号 :1003- 8701(2013)01- 0022- 05

# 敌百虫对蚯蚓体内 3 种抗氧化酶活性的影响

白桂芬,曾小波

(赤峰学院生命科学院,内蒙古 赤峰 024000)

**摘要:**采用酶活性测定方法检测了染毒后赤峰市区周边蔬菜大棚中蚯蚓体内抗氧化酶活性的变化。敌百虫对蚯蚓体内超氧化物歧化酶、过氧化物酶、谷胱甘肽过氧化物酶活性均有影响。SOD 与 POD 活性变化趋势相似,酶活性呈现先上升再下降的现象,但是促进 POD 酶活性上升的敌百虫浓度比促进 SOD 酶活性上升的浓度要低。敌百虫对 GSH-Px 酶活性的影响表现为抑制作用。在敌百虫胁迫下,蚯蚓体内 SOD、POD、GSH-Px 响应不同,敌百虫对 SOD 活性影响最大、POD 次之、GSH-Px 最小。

**关键词:**蚯蚓;抗氧化酶;敌百虫

中图分类号:S899.8

文献标识码:A

## The Effect of Trichlorfon on the Activities of Three Antioxidant Enzymes of Earthworm

BAI Gui-fen, ZENG Xiao-bo

(College of Life Science, Chifeng University, Chifeng 024000, China)

**Abstract:** In this study, changes of activity of antioxidant enzyme of earthworm in vegetable greenhouse in Chifeng after infected by Trichlorfon were detected. The results showed that Trichlorfon have an impact on superoxide dismutase (SOD), peroxidase enzyme (POD) and glutathione peroxidase (GSH-px) activity of earthworm. SOD and POD activity showed a similar tendency, i.e., increased at first and then declined. POD activity increased at lower trichlorfon concentrations than SOD activity. The trichlorfon inhibited the activity of GSH-Px. Under The stress of trichlorfon, SOD, POD, GSH-Px of earthworms responded differently. Effect of trichlorfon on SOD was the greatest, followed by POD, and GSH-Px was the minimum.

**Keywords:** Earthworm; Antioxidant enzymes; Trichlorfon

敌百虫是赤峰市区周边蔬菜大棚中使用较普遍的一种广谱、有机磷杀虫剂,具有杀灭效果好、见效快等特点。蚯蚓是土壤中生物量最大的动物类群之一,它通过取食、挖掘等活动促进有机质的分解、促进土壤养分循环与释放、改善土壤的物理化学性状。同时,由于蚯蚓活动于土壤的表层,易与土壤中各种污染物密切接触,并且蚯蚓对污染物敏感、体型较大、分布较广,常被视为土壤区系的代表类群而被用于指示、监测土壤污染,评价

外源污染物对土壤生态环境安全性的指示生物<sup>[1]</sup>。目前,国内外有关农药、重金属、单一与复合污染对蚯蚓的研究较多以及敌百虫对哺乳动物类、水产鱼类、盐水枝角、昆虫类的研究较普遍<sup>[2-6]</sup>,但敌百虫对蚯蚓体内的抗氧化酶活性的研究鲜有报道。

细胞内许多抗氧化酶活性的改变和膜脂质过氧化物的损伤一直被认为是许多毒物作用机制之一。正常机体的自由基氧化作用与抗氧化防御作用处于动态平衡状态,当清除自由基的酶和非酶系统的防御功能减退时,这种动态平衡失调,导致生物体的氧化损伤<sup>[7]</sup>。因此,抗氧化酶如谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、超氧化物歧化酶(SOD)、过

收稿日期:2012-09-12

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资助。

作者简介:白桂芬(1962-),女,教授,主要从事动物学的教学与研究。

氧化物酶(POD)的活性变化,是反映机体抗氧化能力的重要指标。因此,探讨抗氧化酶能否作为环境污染预警指标是生态毒理学的研究课题之一<sup>[9]</sup>。本文以赤峰市区周边蔬菜大棚中的蚯蚓为研究对象,测定了敌百虫的6种质量分数染毒48 h对蚯蚓半致死浓度(LC50)及抗氧化酶活性的影响,探讨敌百虫质量分数与蚯蚓体内抗氧化酶活力之间的剂量效应关系,为在细胞分子水平探讨敌百虫的安全使用及对相关动物的毒害程度积累基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试动物:采集于赤峰市区周边蔬菜大棚,试验选择质量为0.3~0.5 g之间,环带明显、大小较为一致的健康成蚓。供试污染物:敌百虫,低毒(有机磷杀虫剂),白色晶体,南通江山农药化工股份有限公司生产;农药正式登记号:PD84108-5;生产许可证号:XK13-200-00095;产品标准号:GB334-2001。

### 1.2 主要试验器材

小型冷冻高速离心机(型号:centrifuge 5417R, eppendoff公司)、紫外可见分光光度计(型号:UV7502,上海欣茂仪器有限公司)、数显恒温水浴箱(型号:HH-4,常州国华电器有限公司)、电子天平(型号:FA1004A,上海精密科学仪器有限公司,称量药品用)、电子天平(型号:BS4202S,北京赛多利斯仪器系统有限公司,称量蚯蚓用)、微量取液器、研钵等。

### 1.3 主要试验试剂

5,5'-硫双硝基苯甲酸(批号:LD60L34, J & K Scientific LTD.)、还原性谷胱甘肽(批号:201108, Amresco)、磷酸二氢钠(批号:20110427, 沈阳市华东试剂厂)、磷酸氢二钠(批号:20110614, 沈阳市华东试剂厂)、EDTA-Na<sub>2</sub>(批号:201205, Amresco)、迭氮钠(批号:201202, Amresco)、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(批号:20110428, 天津市科密欧化学试剂有限公司)、愈创木酚(批号:津QH/NK204-2000, 天津市光复精细化工研究所)。

### 1.4 污染物试验质量分数设计

参照白桂芬等<sup>[9]</sup>敌百虫、多菌灵单一与复合对蚯蚓的毒理效应研究中所采用的质量分数范围进行试验。设定敌百虫质量分数分别是0.02 g/L、0.03 g/L、0.04 g/L、0.05 g/L、0.06 g/L、0.07 g/L。

### 1.5 试验方法

#### 1.5.1 急性毒理试验

急性毒理试验采用滤纸法,设置处理组和对照组。将蚯蚓进行清肠24 h后,于15 cm培养皿中垫3层分析滤纸,用10 mL敌百虫溶液浸湿滤纸,对照组用10 mL蒸馏水代替敌百虫溶液,取10条清肠后的蚯蚓,吸干身体表面多余的水分,置于培养皿中,用保鲜膜、橡皮筋封口,解剖针在保鲜膜上扎孔,每个浓度组及对照组设置3个重复,置于25℃、90%湿度的恒温箱中培养48 h,观察记录。

#### 1.5.2 粗酶液制备

于相同浓度梯度的3个培养皿中随机取处理后的蚯蚓,用蒸馏水快速冲洗一次,置于滤纸上吸干多余水分后称重(w,单位:g),在4℃以下加入该蚯蚓质量6倍PBS缓冲液[(SOD粗酶液提取用0.05 mol/L pH=8.2 PBS缓冲液,POD粗酶液提取用0.05 mol/L pH=7的PBS缓冲液,GSH-Px粗酶液提取用0.05 mol/L pH=7的PBS缓冲液(含1.00 mmol/L EDTA-Na<sub>2</sub>,5%水溶性PVP)]、适量石英砂于研钵中,冰浴下快速研磨成匀浆,将匀浆转移至10 mL离心管中,于冷冻高速离心机中4℃、4 000 r/min下离心15 min,取上清液在4℃以下保存备用。对照组蚯蚓SOD、POD、GSH-Px粗酶液提取参照试验组对应处理。

#### 1.5.3 酶活性测定方法

SOD的活性测定方法:参照自俊青等<sup>[10]</sup>的方法,取5 mL透明指形管4支(2支为测定管,另2支为对照管),按表1加入各溶液。混匀后,给1支对照管罩上比试管稍长的双层黑色硬纸套遮光,与其他各管同时置于4 000 lx日光灯下反应20~30 min,反应温度控制在25~35℃之间,至反应结束后,用黑布罩盖上全部试管,终止反应。以遮光的对照管作为空白,分别在560 nm下测定各管的光吸收值(OD)值,计算SOD活性。SOD活性单位以抑制NBT光化还原的50%为一个酶活性单位(U)。

表1 SOD酶测定试剂量

试剂/酶	用量(mL)	试剂/酶	用量(mL)
0.05 mol/L 磷酸缓冲液	1.5	20 μmol/L 核黄素	0.3
130 mmol/L Met 溶液	0.3	粗酶液	0.1
750 μmol/L NBT 溶液	0.3	蒸馏水	0.5
100 μmol/L EDTA-Na <sub>2</sub> 液	0.3	总体积	3.3

POD的活性测定方法:采用吕淑霞<sup>[11]</sup>的测定方法,取5 mL指形管加入POD反应液3 mL并

加入 30 $\mu$  L 酶液,以 PBS 为对照调零,470nm 下测定 OD 变化值,计算酶活性。酶活性单位以每分钟 OD 值升高 0.01 为一个酶活性单位(U)。

GSH-Px 的活性测定方法:参照刘永萍等<sup>[12]</sup>的方法,首先按照 GSH 标准曲线的制作方法制作 GSH 标准曲线。取上述酶液各 0.4 mL,分别注于酶管和非酶管中,并将非酶管加热使酶失活,分别加入 1.0 mmol/L GSH 0.4 mL 和经 37 $^{\circ}$ C 预热的 1.5 mmol/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 0.2 mL,立即于 37 $^{\circ}$ C 下反应 3 min,再在 2 支试管中加入 1.67%的偏磷酸沉淀液 4.0 mL,2 000 r/min 离心 10 min,保留上清液。另取 2 支试管分别加入上述清液 2.0 mL;再取 1 支试管加双蒸水 0.4 mL 和 1.67%的偏磷酸沉淀液 1.6 mL 作为空白管,并在这 3 支试管中各加入 0.32 mol/L Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 2.5 mL 和 DTNB 0.5 mL,反应 5 min,在 412 nm 处比色读取 OD 值。酶活性单位以每分钟 GSH 下降 1 $\mu$  mol 为一个酶活性单位(U)。

蛋白质含量测定方法采用考马斯亮蓝 G-250 法。

急性毒理试验与酶活力测定试验均在不同时间、同样的条件下重复 3 次,记录数据。

## 1.6 数据处理

采用 spss17.0 软件中的单样本 t 检验及相关分析,对不同质量分数处理及空白对照组的蚯蚓 SOD、POD 及 GSH-Px 活力进行检验和相关分析,以确定敌百虫质量分数对蚯蚓体内 3 种抗氧化酶活性的影响及其相关性。

## 2 结果

### 2.1 敌百虫对蚯蚓的急性毒性

试验结果显示,在 48 h 试验中,敌百虫各浓度处理下蚯蚓的死亡率与白桂芬等<sup>[9]</sup>得到的数据相一致。

### 2.2 敌百虫对蚯蚓体内酶活性的影响

所测得的数据,采用 SPSS17.0 软件处理获得在 95%置信区间范围内 SOD、POD、GSH-Px 的酶活性。根据获得的数据作图(图 1、图 2、图 3)。

#### 2.2.1 敌百虫对蚯蚓体内 SOD 酶活性的影响

图 1 显示染毒 48 h 后,敌百虫处理组的 SOD 酶活性比空白对照组的酶活性有显著增加。当敌百虫浓度小于 0.04 g/L 时,蚯蚓体内 SOD 酶活性上升趋势较强,在 0.04 g/L 时达到最大值,比空白组上升了 112.9%,差异显著 ( $P < 0.05$ );当大于 0.04 g/L 时,SOD 酶活性上升趋势减弱。说明在低

浓度下,敌百虫对蚯蚓体内 SOD 酶活性的促进作用呈上升趋势;在高浓度下,对蚯蚓体内 SOD 酶活性促进作用呈下降趋势。

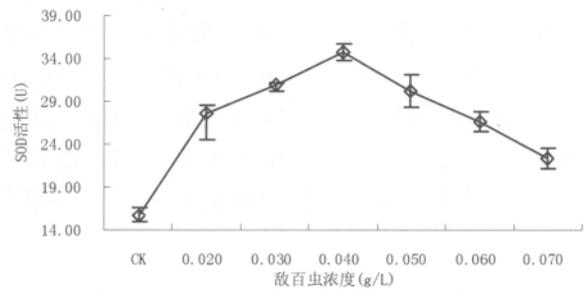


图 1 各浓度敌百虫处理下对蚯蚓体内 SOD 活性的影响

#### 2.2.2 敌百虫对蚯蚓体内 POD 酶活性的影响

由图 2 可以看出,蚯蚓体内 POD 酶活性随着敌百虫浓度的增加呈下降的趋势,当敌百虫浓度在 0.03 g/L 和 0.04 g/L 之间时,蚯蚓体内 POD 酶活性与对照组相似,当敌百虫浓度大于此值后,POD 酶活性呈下降趋势,说明当敌百虫浓度小于此值时,敌百虫对蚯蚓体内 POD 酶活性有促进作用,当敌百虫浓度大于此值时,敌百虫对蚯蚓体内 POD 酶活性有抑制作用。

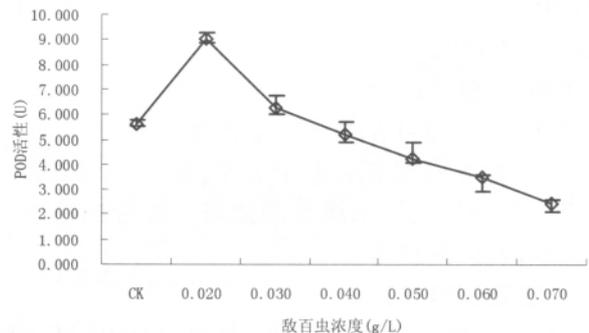


图 2 各浓度敌百虫处理下对蚯蚓体内 POD 活性的影响

#### 2.2.3 敌百虫对蚯蚓体内 GSH-Px 酶活性的影响

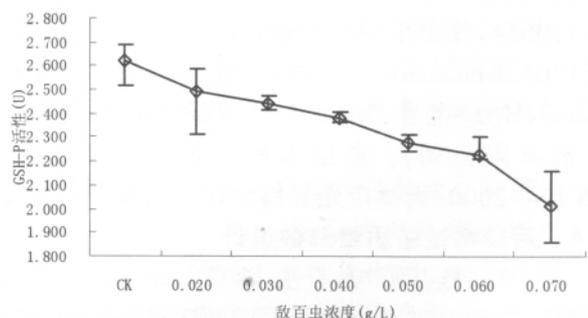


图 3 各浓度敌百虫处理下对蚯蚓体内 GSH-Px 活性的影响

由图 3 可以看出,空白对照组的酶活性最高,

随着敌百虫浓度的不断升高,蚯蚓体内 GSH-Px 酶的活性呈下降趋势,说明敌百虫对蚯蚓体内 GSH-Px 酶活性有明显的抑制作用。浓度小于 0.06g/L 的敌百虫对蚯蚓体内 GSH-Px 酶的活性抑制作用较弱,且表现为平稳下降;浓度大于 0.06 g/L 的抑制作用较强,且表现为急剧下降。

### 3 讨 论

本文采用的滤纸接触法是一种实验室模拟的蚯蚓急性染毒方法,其能在实验室条件下反映污染物对蚯蚓的毒性作用。敌百虫对蚯蚓有触杀和胃杀双重毒性,从而对蚯蚓体内生物化学和生理反应产生影响,本文试验的敌百虫浓度范围内,蚯蚓有急性中毒症状及死亡现象,且死亡率与敌百虫浓度呈正相关关系<sup>[9]</sup>。

生物体内活性氧是在正常的生理条件下产生,活性氧的产生以及抗氧化防御系统酶之间存在动态平衡机制,但当体内抗氧化防御系统不能消除机体产生的活性氧时,可引起机体的氧化应激。SOD、POD、GSH-Px 属抗氧化防御系统酶,SOD 消除细胞内生物氧化的金属酶类,是生物体内重要的氧自由基消除剂,而 POD 通常与 GSH-Px 发生协同作用,将 SOD 歧化自由基的产物 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 转变成无害的水和氧,从而消除 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 对机体造成的毒害。本文的试验结果表明,在敌百虫作用下,蚯蚓体内 SOD 活性在暴露 48 h 表现出促进现象,而随着浓度的增加出现促进效应减弱,这可能是暴露初期蚯蚓通过激活 SOD 来清除过量的自由基,但随着时间的延长累积毒性增强后影响 SOD 酶活性,促进作用减弱;敌百虫作用下 POD 酶活性受影响在不同浓度下表现不同,低浓度敌百虫处理下,POD 活性升高,可以认为是低浓度敌百虫对 POD 产生诱导作用,高浓度处理下,POD 酶活性下降,可认为是高浓度敌百虫对 POD 产生抑制作用;经敌百虫处理后的蚯蚓体内 GSH-Px 活性处于下降趋势,可认为是高浓度敌百虫对 GSH-Px 产生抑制作用。

此外,试验结果还表明,敌百虫对 SOD 活性起促进作用,对 POD 活性起先促进后抑制作用,SOD 与 POD 的活性都是随着污染物的质量分数的增加先升高后下降,变化趋势基本一致,SOD 与 POD 的活性变化为正相关(表 2),皮尔逊相关系数为 R=0.047,表明 SOD 与 POD 在抗污染物胁迫时具有协同作用,但 SOD 活性峰值的出现滞后于 POD。这可能是由于污染物胁迫蚯蚓时,造成蚯蚓机体受到

损伤,体内产生大量的自由基,自由基的增多诱导 SOD 保护系统打开,刺激了 SOD 的合成,将 O<sup>2-</sup> 歧化为 O<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的增加诱导了 POD 的合成,POD 与 SOD 偶联,清除体内超氧阴离子 O<sup>2-</sup> 和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 等氧自由基<sup>[13]</sup>。表 2 显示 SOD、POD 与 GSH-Px 的活性均呈正相关,皮尔逊相关系数分别为:R<sub>(SOD,POD)</sub>=0.047(p=0.930)、R<sub>(SOD,GSH-Px)</sub>=0.690(P=0.130)以及 R<sub>(POD,GSH-Px)</sub>=0.714(p=0.111)。说明 SOD、CAT 与 POD 的活性变化趋势相似,且各酶之间在抗污染物胁迫时具有协同作用。当敌百虫质量分数小于 0.02 mg/L 时,SOD、POD 活性被激活开始上升而 GSH-Px 活性被抑制,Leel<sup>[14]</sup>等认为当生物受到外界环境胁迫时,SOD 活性增加会引起 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的积累,这时较多的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 主要靠线粒体中的 POD 来清除,但当 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 量达到 POD 激活的临界点,POD 活性就会升高,而 GSH-Px 的活性也会升高,但是在此试验中,GSH-Px 活性始终被抑制,其原因可能由于敌百虫能抑制蚯蚓体内 GSH-Px 的活性,还有待于进一步的探究。敌百虫对蚯蚓抗氧化酶活性的影响模式比较复杂,还需要进一步的深入研究,但无论其活性是增加还是下降,均表示机体内活性氧大量增加,并已扰乱机体抗氧化防御系统的正常功能<sup>[15]</sup>。抗氧化系统酶活性的变化往往是个动态过程,将其作为污染暴露的生物标志物时需考虑多种因素的影响,因此,以某几种抗氧化酶的活性变化来反映蚯蚓在外来污染物胁迫下的氧化应激虽然具有特异性,但往往不能完全反映蚯蚓受污染胁迫的程度,在进行土壤监测时应该将其他生物标志物结合起来进行分析比较全面。

表 2 敌百虫处理后蚯蚓体内抗氧化酶活性之间的相关性

抗氧化酶	SOD 酶活性和 POD 酶活性	SOD 酶活性和 GSH-Px 酶活性	POD 酶活性和 GSH-Px 酶活性
相关系数(R)	0.047	0.690	0.714
显著性检验(P)	0.930	0.130	0.111

注: \* 表示与对照组显著差异,\*\* 表示与对照组有极显著差异。

### 4 结 论

4.1 敌百虫对蚯蚓体内 SOD 酶活性影响表现为促进作用,并在 0.04 g/L 时 SOD 酶活性达到了峰值,当浓度大于 0.04 g/L 时酶活性上升趋势减弱;低浓度敌百虫对 POD 酶活性影响表现与 SOD 一致,但是高浓度敌百虫作用下对 POD 酶活性具有抑制作用;敌百虫对 GSH-Px 酶活性的影响表现

为抑制作用,并随着浓度的增大,抑制效果加强。

4.2 敌百虫作用下,蚯蚓体内 SOD、POD、GSH-Px 响应不同。敌百虫对 SOD 活性影响最大、POD 次之、GSH-Px 最小。

参考文献:

- [1] 徐冬梅,刘文丽,刘维屏.外源污染物对蚯蚓毒理作用研究进展[J].生态毒理学报,2009,4(1):21-27.
- [2] 朱友芳,洪万树.敌百虫对中国花鲈的毒性效应[J].生态学杂志,2011,30(7):1484-1490.
- [3] 谢钦铭,李向阳.敌百虫和久效磷农药对蒙古裸腹潘的急性毒性研究[J].水产科学,2007,26(3):164-166.
- [4] 房英春,王冲,朱延才,等.敌百虫对泥鳅·鲤鱼的急性毒性[J].安徽农业科学,2003,31(4):678-679.
- [5] 苍涛,吴长兴,王新全,等.氟虫腈与敌百虫对意大利蜜蜂的联合毒性评价[J].浙江农业科学,2008(4):473-475.
- [6] 范学辉,李建科,张清安.核桃油对小鼠体内抗氧化酶活性及总抗氧化能力的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2004,32(11):122-124.
- [7] 卜元卿,骆永明,滕应,等.铜暴露对赤子爱胜蚓(*Eisenia fetida*)抗氧化酶活力的影响[J].环境化学,2007,26(5):

593-597.

- [8] 孟紫强,白巨利.二氧化硫吸入对小鼠9种脏器谷胱甘肽过氧化物酶活性的影响[J].劳动医学,2003,20(1):6-9.
- [9] 白桂芬,郝茹,曾小波,等.多菌灵和敌百虫单一与复合污染对蚯蚓的毒性效应研究[J].四川动物,2010,29(3):398-400.
- [10] 自俊青,邓希贤.氮蓝四唑光照法实验操作的改进及效果[J].北京师范大学学报(自然科学版),1998,34(1):101-104.
- [11] 吕淑霞.基础生物化学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2003:113-142.
- [12] 刘永萍,边建朝.鼠全血组织中谷胱甘肽过氧化物酶活力与硒含量的关系[J].中国地方病防治杂志,2003,18(3):134-136.
- [13] 彭艳,李洋,杨广笑,等.铝胁迫对不同小麦 SOD、CAT、POD 活性和 MDA 含量的影响[J].生物技术,2006,16(3):38-42.
- [14] Lee DH, Lee CB. Chilling stress-induced changes of antioxidant enzymes in the leaves of cucumber in gelyzyme activity assays[J]. Plant Science, 2000,159(1):75-85.
- [15] 刘文丽,徐冬梅,刘惠君,等.异丙甲草胺对蚯蚓体重及酶活性的影响[J].环境科学学报,2007,27(12):2025-2031.

(上接第 21 页)从不同剂型施菌区总体数据看,白僵菌含量均高于对照区。从不同部位上分析,白僵菌含量为:叶片>空气>土壤。由于施用方式,除 4 000 亿/667 m<sup>2</sup> 白僵菌颗粒剂施菌区外,其余各施菌区白僵菌主要集中在玉米叶片上。但后两个月均检测不到叶片上白僵菌的存在。主要原因也是由于阳光中的紫外线不宜孢子存活。所以在将来田间施用白僵菌时也应注意到白僵菌这一特征,施用过程中尽量向玉米植株的新叶中喷洒,这样能有利于白僵菌孢子田间存活、提高防治效率。与对照区相比,从施菌后 30 d 即 8 月份数据看,除白僵菌悬乳剂 2 号外其余都显著高于对照区。原因也是由于白僵菌悬乳剂 2 号田间的吸附能力强,由于施菌方式大多白僵菌是都附着在了玉米植株叶片上,阳光中的紫外线破坏了叶片上的白僵菌从而使大多数白僵菌都损失在叶片中。

总体来看,白僵菌在玉米田间宿存能力比较低,主要原因是由于施用方式,大部分白僵菌都宿存在玉米植株叶片上被阳光中紫外线所影响。这就大大影响了白僵菌在田间的防治效率。白僵菌悬乳剂 2 号的吸附能力强,如果在施用方式上直

接向玉米植株新叶中喷洒,吸附能力强的剂型更利于提高白僵菌田间防治效率。对叶片、土壤及空气中的调查情况分析,白僵菌在空气中的宿存能力相对稳定,主要也是田间僵虫保证了田间的带菌量。这与前人的结果相同。本研究为这一年来的调查结果,很多数据仍然需要反复验证,进一步研究。但也为白僵菌田间防治、持续控制的必要性、降低农民劳动效率具有重要意义,对绿色农业发展有重要作用。

参考文献:

- [1] 王滨,樊美珍,李增智.真菌杀虫剂剂型的研究与应用[J].安徽农业科学,2003,30(2):206-209.
- [2] 陶淑霞,李玉,刘家富,等.球孢白僵菌对亚洲玉米螟幼虫血细胞数量和包囊作用的影响[J].植物保护学报,2011,38(6):527-531.
- [3] 蒲蛰龙,李增智.昆虫真菌学[M].合肥:安徽科技出版社,1996:301-446.
- [4] Studdert JP, Kaya HK, Duniway JM. Effect of water Potential, temperature, And clay-coating on survival of *Beauveria bassiana* in loam and Peat soil[J]. J. Invertebr. Pathol, 1990(55):417-427.
- [5] 王滨.白僵菌持续控制马尾松毛虫的生物多样性和生态基础[D].浙江大学,2003:43-64.