

# 1,3-二氯丙烯药剂对土壤微生物数量和酶活性的影响

范 昆<sup>1,2</sup>, 王开运<sup>1,\*</sup>, 王 东<sup>1</sup>, 夏晓明<sup>1</sup>, 刘振龙<sup>1</sup>, 王红艳<sup>1</sup>

(1. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018; 2. 山东省果树研究所, 泰安 271000)

**摘要:**通过室内培养实验研究了 1,3-二氯丙烯对土壤中微生物数量和土壤酶活性的影响,以评价其环境生态效应。结果表明,1,3-二氯丙烯熏蒸土壤后,各浓度处理对土壤真菌数量有强烈的抑制作用;对土壤细菌和放线菌的影响开始均表现为抑制作用,然后抑制作用减弱,逐渐表现出一定的激活作用。1,3-二氯丙烯熏蒸土壤后,高浓度处理对土壤脲酶表现为抑制-激活作用;低浓度处理表现为激活-抑制-激活作用。对蔗糖酶表现为激活-抑制作用,且抑制率逐渐增大。对过氧化氢酶表现为抑制-激活作用,50 d 后施药土壤和对照组土壤的过氧化氢酶活性基本趋于一致。

**关键词:**1,3-二氯丙烯;土壤微生物;微生物数量;酶活性

文章编号:1000-0933(2008)02-0695-07 中图分类号:Q142,Q938,S482.6 文献标识码:A

## Effects of 1,3-dichloropropene on soil microbial population and enzyme activities

FAN Kun<sup>1,2</sup>, WANG Kai-Yun<sup>1,\*</sup>, WANG Dong<sup>1</sup>, XIA Xiao-Ming<sup>1</sup>, LIU Zhen-Long<sup>1</sup>, WANG Hong-Yan<sup>1</sup>

1 College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

2 Shandong Institute of Pomology, Taian 271000, China

*Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 0695 ~ 0701.

**Abstract:** The effects of 1,3-dichloropropene on the number of microbial population and activities of the urease, invertase and hydrogen peroxidase in the soil were studied in this study. The results indicated that, upon application as soil fumigation, 1,3-dichloropropene at each concentration tested had significant inhibitory effect on soil fungal population; however, their effects on soil bacteria and actinomyces were significantly inhibitory at the beginning, then decreased later on and finally became stimulating effect. The effects of 1,3-dichloropropene on soil urease were dosage-dependent. When soil was fumigated with high concentrations of 1,3-dichloropropene, the effects were firstly inhibition and then stimulation, while those treated with low concentrations of 1,3-dichloropropene showed stimulation-inhibition-stimulation effect. The levels and sustained time of inhibition and stimulation were proportional to the concentrations of 1,3-dichloropropene. The effects of 1,3-dichloropropene on the activities of soil invertase were stimulatory at first, and then it become inhibitory, which was increasing with time. The effects of 1,3-dichloropropene on soil hydrogen peroxidase activities were inhibition-stimulation. The activities of soil hydrogen peroxidase in both soils treated with 1,3-dichloropropene and those of CK tended to be similar 50 days after treatment.

基金项目:国家“十五”科技攻关项目(2002BA516A12)

收稿日期:2006-10-03; 修订日期:2007-11-19

作者简介:范昆(1980~),女,山东新泰人,硕士,主要从事果树病理及其防治技术研究. E-mail:kunstage@163.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail:kywang@sdau.edu.cn

**Foundation item:** The project was financially supported by the National “Tenth Five-Year Plan” Key Program of Science and Technology, China (No: 2002BA516A12)

**Received date:** 2006-10-03; **Accepted date:** 2007-11-19

**Biography:** FAN Kun, Master, mainly engaged in pesticide toxicology and agricultural pest resistance. E-mail:kunstage@163.com

**Key Words:** 1,3-dichloropropene; soil microbes; microbial biomass; urease; invertase; hydrogen peroxidase

土壤微生物是土壤生态系统中的重要组成部分,对土壤肥力的形成、土壤生态系统的物质循环等具有重要的作用。农田施用的化学农药绝大部分散落于土壤中,势必会对土壤微生物产生影响<sup>[1]</sup>。因此,化学农药在农田施用后对土壤微生物的影响程度已成为评价其生态安全性的一个重要指标,也是农药环境生态毒理学研究的热点之一<sup>[2,3]</sup>。

1,3-二氯丙烯(1,3-dichloropropene)是播前土壤熏蒸杀线虫剂,对线虫、土壤害虫、植物病原菌和杂草具有良好的防治效果,而且持效期较长,已被国际上列为替代溴甲烷的土壤熏蒸杀线剂之一<sup>[4]</sup>。近年来该药剂在国外逐渐成为果树、蔬菜、烟草、花卉等多种作物种植前土壤熏蒸处理的主导药剂。国外学者已对其防治效果进行大量研究<sup>[5~8]</sup>,但对其使用后给土壤微生物活性产生的影响尚未见报道。本文探讨1,3-二氯丙烯对土壤微生物数量和土壤酶活性的影响,旨在了解其土壤微生物生态效应,间接反映该药剂对土壤肥力和环境的影响,以期为该药剂的合理施用和环境毒性评价提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 土壤

土壤采自山东省泰安市良庄镇东延东村大棚,常年种植番茄,进行正常水肥管理。土壤类型为棕壤,从未使用过1,3-二氯丙烯,也未使用过其他土壤熏蒸剂。土样采用五点取样法,取2~20cm耕作层土壤,过1mm筛,剔除瓦砾和植物残根等杂物,自然风干土样,备用。供试土壤的pH 6.9,有机质含量 $15.3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,粘粒含量( $<0.005\text{ mm}$ )含量37%。

#### 1.1.2 药品

1,3-二氯丙烯(1,3-Dichloropropene)97%原油(山东淄博鲁达化工有限公司)。

### 1.2 试验步骤

#### 1.2.1 药剂对土壤微生物数量的影响

称取风干土壤5份,每份200g,分别加入不同剂量的1,3-二氯丙烯,使之在土壤中的浓度分别为0、10、50、100、200  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,然后调节土壤的含水量至最大田间持水量的60%,密封广口瓶,置于25℃的恒温培养箱中。每隔一定的时间采用测重法调节土壤含水量,使之恒定。培养后第1、4、7、14、21、30、100天(10~100d开启广口瓶,以模仿田间试验条件)分别取土样检测其中细菌、真菌、放线菌数量。试验平行设置3组重复。

#### 1.2.2 药剂对土壤脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性的影响

称取一定量的上述供试风干土壤,加入一定剂量的1,3-二氯丙烯,使之在土壤中的浓度分别为0、1、10、50、100、200、500  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,然后调节土壤的含水量至最大田间持水量的60%,密封广口瓶,置于25℃的恒温培养箱中。每隔一定的时间采用测重法调节土壤含水量,使之恒定。培养后第1、5、10、20、30、40、50天(10~50天开启广口瓶,以模仿田间试验条件)分别取土样检测其脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性,同时作空白试验。脲酶活性以24h后每克干土中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的毫克数表示,蔗糖酶活性以每克干土产生的葡萄糖的毫克数表示,过氧化氢酶活性以每克干土消耗的 $\text{KMnO}_4$ 的毫升数或微升数表示。试验平行设置3组重复。

1,3-二氯丙烯对土壤微生物数量和酶活性抑制率的计算方法:抑制率( $\%$ ) =  $(b - a) / a \times 100$ 。式中, $a$ 为不加药剂处理的土壤微生物数量或酶活性; $b$ 为药剂处理的土壤微生物数量或酶活性。评价标准:抑制率大于零表明刺激作用,小于零表明抑制作用。

所有试验结果是以烘干土重为基础(120℃,24h),利用DPS软件进行Duncan新复极差检验其差异性( $P \leq 0.05$ )。

### 1.3 测定方法<sup>[9,10]</sup>

土壤pH值测定采用水土比为2.5:1的电位法;土壤有机质含量测定采用重铬酸钾容量法;粘粒含量的测

定采用吸管法;土壤微生物数量测定采用平板菌落计数法;脲酶的测定采用靛酚蓝比色法;过氧化氢酶活性的测定采用高锰酸钾滴定法;蔗糖酶活性的测定采用3,5-二硝基水杨酸(DNS)比色法。

## 2 结果与分析

### 2.1 1,3-二氯丙烯对土壤微生物数量的抑制-激活作用

一般情况下,细菌可占土壤微生物总量的70%~80%,其数量多少常决定着土壤微生物总量的变化<sup>[11]</sup>。结果表明(图1),1,3-二氯丙烯各浓度处理对细菌种群的影响开始表现为抑制作用,且抑制程度及持续的时间与处理的浓度成正比,然后抑制作用逐渐减弱,并表现出一定的刺激作用,刺激作用出现的时间与处理浓度成反比。

其中 $0.1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $1.0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  2个浓度,在处理后的前4d表现为抑制作用,至第7天左右开始表现出刺激作用,以后逐渐增强,至30d左右刺激作用达最大值,然后逐渐减弱。 $5, 10 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $50 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  3个浓度抑制作用持续至第7天左右,转变为刺激作用,并随时间延长而刺激作用增强,然后其刺激作用又逐渐降低。

1,3-二氯丙烯各浓度处理对真菌种群数量表现很显著的抑制作用(图2)。处理土壤后1~4d,除 $0.1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 处理外,1~50  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 浓度处理对土壤真菌抑制率均达到100%,其中 $50 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 能完全抑制真菌生长达14d。

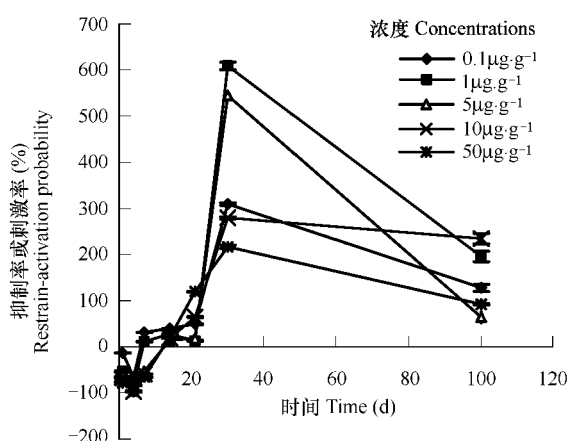


图1 1,3-二氯丙烯对土壤细菌数量的抑制-激活率变化

Fig. 1 The Influence of 1,3-dichloropropene on population of the bacteria in soil

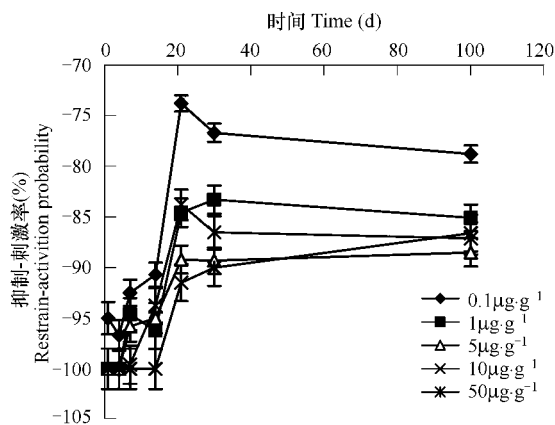


图2 1,3-二氯丙烯对土壤真菌数量的抑制-激活率变化

Fig. 2 The Influence of 1,3-dichloropropene on population of the fungi in soil

1,3-二氯丙烯处理土壤后,对放线菌的影响也很大(图3)。处理土壤后1~4d,各浓度处理对土壤放线菌均有很强的抑制作用,且 $10 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $50 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 浓度处理对放线菌的抑制率均达到100%。7~14d各浓度处理对放线菌的抑制率逐渐降低,至21d开始表现为刺激作用,至30d刺激作用最强,其中 $0.1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 浓度处理的刺激率为64%,100d后刺激作用有逐渐降低到正常水平的趋势。

### 2.2 1,3-二氯丙烯对土壤酶活性的抑制-激活作用

结果显示(图4),用1,3-二氯丙烯高剂量 $200 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $500 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 处理土壤,脲酶活性在处理后的1~30d表现为抑制作用,30d后表现为刺激作用,然后其刺激效果又逐渐消失并趋于平缓。 $1, 10, 50, 100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  4个浓度处理,在处理后的1d表现为刺激作用,至3d后开始表现为抑制作用,并随时间延长逐渐增强;至15d后又表现为刺激作用;30d后逐渐转为平缓降低。

土壤添加1,3-二氯丙烯后的5d~10d,脲酶活性表现为抑制作用,且抑制达到最大值,剂量处理间差异显著;处理后20d~30d,药剂对脲酶的刺激活性达到或即将达最大值,各处理间的差异也很显著。

1,3-二氯丙烯各浓度处理对土壤蔗糖酶活性影响的变化规律基本一致(图5)。处理后1~40d,各处理剂量均表现激活作用,其中至第30天时达最大值;至第40天开始表现抑制作用,且抑制率随时间延长而逐渐

增大。

1,3-二氯丙烯处理土壤后 1~5d,各处理剂量对过氧化氢酶均表现为抑制作用,且浓度越大,对过氧化氢酶的抑制作用愈明显,其中  $500\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  的处理在第 5 天对过氧化氢酶的抑制率为 19.64%;随着时间的延长,土壤中过氧化氢酶的活性逐渐恢复,且浓度越低,恢复越快,其中  $1\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  的处理在第 40 天时与对照相比达到激发的最大值;50d 后施药土壤和对照组土壤的过氧化氢酶活性基本趋于一致(图 6)。

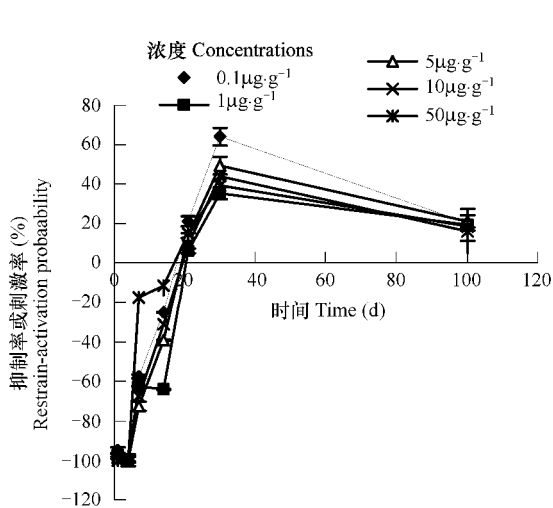


图 3 1,3-二氯丙烯对土壤放线菌数量的抑制-激活率变化

Fig. 3 The Influence of 1,3-dichloropropene on population of the actinomycetes in soil

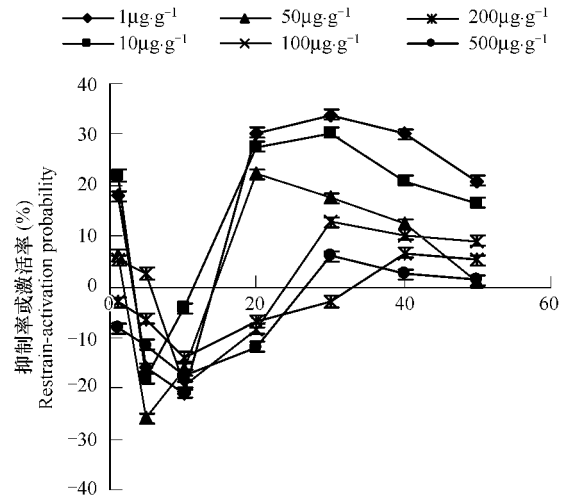


图 4 1,3-二氯丙烯对土壤脲酶活性的抑制-激活率变化

Fig. 4 The restrain-activation-probability of 1,3-dichloropropene on the soil urease activity

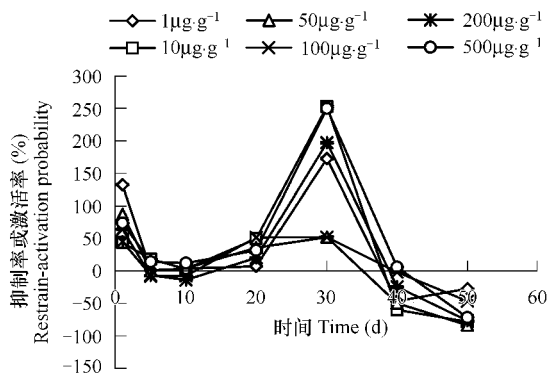


图 5 1,3-二氯丙烯对土壤蔗糖酶活性的抑制-激活率

Fig. 5 The restrain-activation-probability of 1,3-dichloropropene on the soil invertase activity

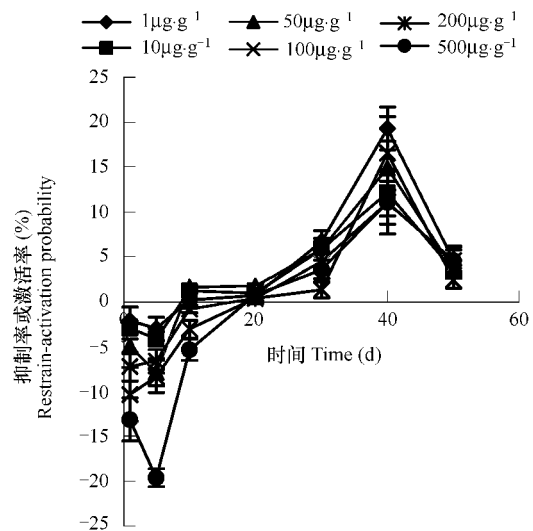


图 6 1,3-二氯丙烯对土壤过氧化氢酶活性的抑制-激活率

Fig. 6 The restrain-activation-probability of 1,3-dichloropropene on the soil hydrogen peroxidase activity

### 3 讨论

#### 3.1 1,3-二氯丙烯对土壤微生物数量的影响

目前国内外有关土壤熏蒸剂施入土壤后对其微生物种群数量影响的报道很少。Reber<sup>[13]</sup>的研究表明,氯化苦熏蒸处理土壤后一周,细菌数量略有下降,随后数量明显上升,并大大超过未处理土壤;至 16 周时还高于

未处理土壤细菌数。至于细菌数量恢复到正常水平所需时间, Martin<sup>[14]</sup> 研究发现, 不同熏蒸剂大约需要约 14 周到 1a 时间。本研究发现, 1,3-二氯丙烯各浓度处理对细菌种群的影响与上述报道结果类似。由此可推断, 添加 1,3-二氯丙烯初期, 由于其对土壤中某些种类的细菌产生一定的急性毒性, 细菌很难适应外界的强烈干扰, 从而抑制其生长, 并导致数量减少; 后来多数细菌能够忍耐并适应了药剂的加入剂量, 且因药剂打破了原来土壤细菌的平衡, 使部分对其它有“拮抗作用”的细菌的控制能力消除, 细菌的总数增加。即通过人为干扰, 使部分细菌的数量减少, 可能更有利于其他种类细菌的定殖和繁殖。

Ervin<sup>[15]</sup> 报道, 土壤用 D-D 混剂熏土壤后, 真菌绝大部分被杀死, 2a 或 3a 后, 许多土壤真菌类群仍受到抑制, Mollison<sup>[16]</sup> 也得到类似的结果。本研究证明, 1,3-二氯丙烯各浓度处理对土壤真菌种群数量也表现出显著的抑制作用。在整个试验期间内, 各浓度处理对真菌的抑制作用未见恢复, 第 100 天时抑制作用还高达 80% 以上。同时还发现, 1,3-二氯丙烯熏蒸处理后, 再拓殖的真菌类群比未处理土壤真菌类群要少, 且在相当长的时间内, 青霉 (*Penicillium*) 成为优势种群, 其原因可能不是因为它更耐受 1,3-二氯丙烯, 而是因其生长力强, 恢复生长早的缘故。另从生长趋势来看, 随培养时间的延长, 青霉菌落形成的速度逐渐加快, 直径也逐渐增大。Saksena<sup>[17]</sup> 也有类似报道。

关于土壤熏蒸剂对土壤中放线菌影响的研究, 尚不如对细菌和真菌的研究充分。本研究发现, 1,3-二氯丙烯对土壤放线菌和细菌的影响呈现相似规律, 但对放线菌的影响不如对细菌影响显著。处理土壤后 1 ~ 4d, 各浓度处理对土壤放线菌均有强烈的抑制作用, 7 ~ 14d 各浓度处理对放线菌的抑制率逐渐降低, 至第 21 天开始表现为刺激作用, 第 30 天时刺激作用最强, 100d 后其刺激作用有逐渐降低到正常水平的趋势, 有可能是因为土壤中的放线菌对一定浓度的 1,3-二氯丙烯 ( $0.1 \sim 5 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) 表现出抗性, 随后又能很好的利用其作为营养源进行生长和繁殖。Reber<sup>[13]</sup> 利用氯化苦熏蒸土壤后, 几乎杀死了全部放线菌, 至 14 周后数量未见回升, 即使再用新鲜土壤接种也不见效果; 然而, 也有报道表明, 放线菌数量在熏蒸后变化不定, 这可能是由于土壤性质、熏蒸剂的施用浓度的不同和气候条件的变化对微生物的影响也不同。

### 3.2 1,3-二氯丙烯对土壤酶活性的影响

土壤脲酶能酶促土壤有机化合物尿素分子酰胺碳氮键的水解, 生成的氨是植物氮素营养来源之一, 在氮肥利用和土壤氮素代谢方面有很重要的意义<sup>[18,19]</sup>; 国内已有农药对土壤脲酶活性影响的报道<sup>[20,21]</sup>。本研究表明, 1,3-二氯丙烯高浓度处理土壤后, 脲酶的活性前 30d 表现为抑制作用, 其它浓度第 1 天表现为刺激作用, 随后至第 3 天也表现为抑制作用, 且抑制程度及持续的时间与处理的浓度成正相关。至处理后第 10 天抑制作用逐渐降低, 并逐渐转变为刺激作用, 且刺激作用出现的时间及强度均与处理浓度成负相关。这与王金、文祥<sup>[20,21]</sup> 研究其它农药的环境影响结果基本一致。由此说明 1,3-二氯丙烯对土壤脲酶的抑制是一种暂时现象, 经过一段时间后, 酶活性还能恢复; 其中脲酶活性有短暂增加阶段, 可能与药剂分解后增加了碳源, 从而提高了微生物的活性有关。

土壤蔗糖酶活性不仅能够表征土壤生物学活性强度, 也可以作为评价土壤熟化程度和肥力水平的指标<sup>[22]</sup>。蔗糖酶广泛存在于土壤中, 是表征土壤生物学活性的重要的酶, 也是反映土壤有机碳转化的一个重要酶, 能催化蔗糖分子中果糖基的  $\beta$ -葡萄糖苷碳原子处的化学裂解键, 使蔗糖水解成葡萄糖和果糖<sup>[23]</sup>。李永红<sup>[12]</sup> 等报道单啞磺隆处理组土壤蔗糖酶活性接近或超过对照组土壤, 说明在使用单啞磺隆一定时间后土壤中蔗糖酶活性不会受到不良影响。辛承友<sup>[24]</sup> 等研究表明, 阿特拉津浓度为  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时, 对土壤蔗糖酶的激活影响最大, 可能是该条件下阿特拉津刺激土壤微生物生长, 从而提高了土壤蔗糖酶的活性。本研究表明, 1,3-二氯丙烯对土壤蔗糖酶表现为不同程度的刺激作用。这可能因 1,3-二氯丙烯被土壤微生物分解、利用并促进土壤微生物自身的生长, 微生物细胞合成酶的数量增加所产生的激活作用所致; 但是, 随着处理时间延长, 1,3-二氯丙烯不断作为底物被微生物降解, 在土壤中的含量下降, 对土壤蔗糖酶的激活作用也逐渐降低。

过氧化氢酶是土壤中一种重要的氧化还原酶, 它主要酶促生物呼吸过程和有机物的生物化学氧化还原过程所产生的过氧化氢分解为水和氧, 而解除土壤中过氧化氢对生物体的毒害作用。唐美珍<sup>[25]</sup> 等研究表明, 表

明,在施用量超过田间推荐用量 7 倍的浓度范围内,碘甲磺隆钠盐对土壤中过氧化氢酶活性的影响不明显;当其浓度为  $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  时,在不同培养时间下,碘甲磺隆钠盐施用后对土壤过氧化氢酶活性的影响呈现出轻微的抑制-激活-恢复的过程。本研究表明,1,3-二氯丙烯熏蒸土壤后对过氧化氢酶活性的影响为先抑制后激活,说明 1,3-二氯丙烯施用于土壤后对土壤过氧化氢酶活性有一定的抑制作用,但随着时间的推移,1,3-二氯丙烯不断降解,且土壤微生物也逐渐适应外来污染物的干扰,过氧化氢酶活性恢复或增强。

#### 4 结论

**4.1** 1,3-二氯丙烯熏蒸土壤后,各浓度处理对土壤真菌种群数量有强烈的抑制作用;对土壤细菌和放线菌的影响开始均表现为抑制作用,然后抑制作用逐渐减弱,逐渐表现出一定的刺激作用,但对细菌、放线菌的种类间的影响又具有一定的差异性。由此可见,1,3-二氯丙烯对土壤中真菌的影响较大,而对细菌和放线菌的影响是暂时性的,不会对土壤肥力及农作物生长造成潜在的危害。

**4.2** 1,3-二氯丙烯熏蒸土壤后,高浓度处理对土壤脲酶先表现为抑制作用,后表现为激活作用;低浓度的处理则表现为激活-抑制-激活作用,且抑制、激活程度及持续时间与处理浓度成正相关。各浓度 1,3-二氯丙烯对土壤蔗糖酶活性的影响变化规律基本一致,均表现为激活-抑制作用,且抑制率逐渐增大。对土壤过氧化氢酶表现为抑制-激活作用,50d 后施药土壤和对照组土壤的过氧化氢酶活性基本趋于一致。

#### References:

- [1] Cai D J, Jiang X L, Cai Y Q. Environmental safety assessment of chemical pesticides. Rural Eco- Environment, 1986, (2): 9—13.
- [2] State environmental protection administration of China. Environmental safety assessment of chemical pesticides. Pesticide Science and Administration, 1990, (2): 1—5, (3): 3—5, (4): 4—9.
- [3] Zhu L S, Wang J, Lin A J. Ecological effect of pendimethalin on soil microbe. Environmental Science, 2002, 23(3): 88—91.
- [4] World Health Organization. Environmental health criteria 146: 1, 3-Dichloropropene, 1, 2-Dichloropropane and isomers. Geneva: International Programme on Chemical Safety, 1993.
- [5] Csinos A S, Johnson W C, Johnson A W. Alternative fumigants for methyl bromide in tobacco and pepper transplant production. Crop Protection, 1997, 16(6): 585—594.
- [6] Basile M, Lambert Z F, Russo G. Efficacy and toxicity of 1, 3-dichloropropene in nematode control in vineyards. Vignevini, 1990, 17(11): 53—56.
- [7] Zhang X W, Qian X L, Liu J W. Evaluation of the resistance to root-knot nematode of watermelon germplasm and its control. Journal of Fruit Science, 1989, 6(1): 33—38.
- [8] Stirling G R, Vawdrey L L, Shannon E L. Australian Journal of Experimental Agriculture, 1989, 29(2): 223—232.
- [9] Cui S H, Wang K Y, Hong Y. Influence of tebuconazole on the population and respiration of the soil microbes. Journal of Agro-Environment Science, 2005, 24(5): 865—869.
- [10] Guo Z Y, Tang M Z, Yuan M. Effects of iodosulfuron-methyl sodium on several biological indicators in soil. Chinese Journal of Pesticide Science, 2005, 7(1): 88—91.
- [11] Li K B, Cai X Y, Liu W P. Influences of single and combined herbicides on soil microbial activity. Journal of Agro-Environment Science, 2004, 23(2): 392—396.
- [12] Long J, Huang C Y, Teng Y. Effects of heavy metal pollution on microbial indicators in soil of a mining. Journal of Agro-Environment Science, 2003, 22(1): 60—63.
- [13] Chen H K. soil microbiology. Shanghai: Shanghai scientific & Technical Publishers, 1979.
- [14] Martin J P. Influence of pesticide residues on soil microbiological and chemical properties, Residue Reviews, 1963, 4: 96—129.
- [15] Martin J P, Baines R C, Ervin J O. Influence of soil fumigation for citrus replants on the fungus population of the soil. Proceedings of the Soil Science Society of America, 1957, 21, 163—166.
- [16] Mollison J E. Effect of partial sterilization and acidification of soil on the fungal population. Transactions of the British Mycological Society, 1953, 36: 225—228.
- [17] Saksena S B. Effect of carbon disulphide fumigation on *Trichoderma viride* and other soil fungi. Transactions of the British Mycological Society, 43: 111—116.
- [18] Li Y H, Gao Y B. Effects of monosulfuron on growth of millet and soil microbial function. Journal of Agro-environment Science, 2004, 23(4): 633—637.

- [19] Chu H Y, Zhu J G, Xie Z B. Effects of lanthanum on urease and acid phosphatase activities in red soil. *Journal of Agro-environment Science*, 2002, 19(4): 193—195.
- [20] He W X, Jiang X, Yu G F. Effect of dimehypo on soil urease activity. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(5): 750—755.
- [21] Wang J H, Zhu L S, Wang J. Effect of atrazine on urease activity in soils with different fertility. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(12): 2281—2285.
- [22] Wang J W, Feng Y J, Luo S M. Effects of Bt corn straw decomposition on soil enzyme activities and soil fertility. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(3): 524—528.
- [23] Chu H Y, Zhu J G, Xie Z B. Effects of Lanthanum on hydrolytic enzymes activities of paddy soil in Tai Lake district. *Chinese Rare Earths*, 2002, 23(3): 41—43.
- [24] Xin C Y, Zhu L S, Sun R L. Effect of atrazine on soil invertase under different soil fertilities. *Journal of Agro-environment Science*, 2004, 23(3): 479—483.
- [25] Tang M Z, Guo Z Y, Yuan M. Effects of iodosulfuron-methyl-sodium on catalase in soil and soil respiration. *Soil*, 2005, 37(4): 421—425.

#### 参考文献:

- [1] 蔡道基, 江希流, 蔡玉祺. 化学农药对生态环境安全评价研究 I. 农村生态环境, 1986, (2): 9~13.
- [2] 国家环保局. 化学农药环境安全评价试验准则. 农药科学与管理, 1990, (2): 1~5; (3): 3~5; (4): 4~9.
- [3] 朱鲁生, 王军, 林爱军, 等. 二甲戊乐灵的土壤微生物生态效应. 环境科学, 2002, 23(3): 88~91.
- [9] 崔淑华, 王开运, 洪营, 等. 戊唑醇对土壤微生物数量和呼吸强度的影响. 农业环境科学学报, 2005, 24(5): 865~869.
- [10] 郭正元, 唐美珍, 袁敏, 等. 碘甲磺隆钠盐对土壤中几种生物学指标的影响. 农药学报, 2005, 7(1): 88~91.
- [11] 李克斌, 蔡喜运, 刘维屏. 除草剂单用与混用对土壤微生物活性的影响. 农业环境科学学报, 2004, 23(2): 392~396.
- [12] 龙健, 黄昌勇, 滕应, 等. 矿区重金属污染对土壤环境质量微生物学指标的影响. 农业环境科学学报, 2003, 22(1): 60~63.
- [13] 陈华癸. 土壤微生物学. 上海: 上海科学技术出版社, 1979.
- [18] 李永红, 高玉葆. 土壤中单啮磺隆对谷子生长及土壤微生物若干生化功能的影响. 农业环境科学学报, 2004, 23(4): 633~637.
- [19] 褚海燕, 朱建国, 谢祖彬. 稀土元素镧对红壤脲酶、酸性磷酸酶活性的影响. 农业环境保护, 2002, 19(4): 193~195.
- [20] 和文祥, 蒋新, 余贵芬. 杀虫双对土壤脲酶活性特征的影响. 土壤学报, 2003, 40(5): 750~755.
- [21] 王金花, 朱鲁生, 王军. 除草剂阿特拉津对土壤脲酶活性的影响. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2281~2285.
- [22] 王建武, 冯远娇, 骆世明. Bt 玉米秸秆分解对土壤酶活性和土壤肥力的影响. 应用生态学报, 2005, 16(3): 524~528.
- [23] 褚海燕, 朱建国, 谢祖彬. 镧对太湖地区水稻土若干水解酶活性的影响. 稀土, 2002, 23(3): 41~43.
- [24] 辛承友, 朱鲁生, 王军, 等. 阿特拉津对不同肥力土壤蔗糖酶活性的影响. 农业环境科学学报, 2004, 23(3): 479~483.
- [25] 唐美珍, 郭正元, 袁敏. 碘甲磺隆钠盐对土壤中过氧化氢酶活性及呼吸作用的影响. 土壤, 2005, 37(4): 421~425.