

毒死蜱和丁硫克百威对香蕉根际土壤酶活性的影响

赵志强^{1,2}, 侯宪文², 李勤奋², 邓晓², 李光义², 陈秋波²

(1. 海南大学 环境与植物保护学院, 海南 儋州 571737; 2. 中国热带农业科学院 环境与植物保护研究所, 海南 儋州 571737)

摘要:在大田试验中研究了毒死蜱和丁硫克百威两种农药对香蕉园土壤酶活性的影响。结果表明, 毒死蜱和丁硫克百威在施入土壤初期对 4 种土壤酶活性有明显影响。毒死蜱和丁硫克百威两种农药都对脲酶和淀粉酶活性有抑制作用; 对磷酸酶活性表现为先抑制后激活。毒死蜱对过氧化氢酶活性有激活作用, 而丁硫克百威对过氧化氢酶活性作用表现为“抑制-激活-抑制”的趋势。施用毒死蜱后, 4 种土壤酶活性都可在 1~2 周内恢复到对照水平; 施用丁硫克百威后, 土壤脲酶、磷酸酶和淀粉酶活性都在 1~2 周内恢复到对照水平, 而过氧化氢酶活性需要 4 周才能恢复。毒死蜱和丁硫克百威对 4 种酶活性的影响在短时间内恢复, 说明这两种农药对土壤酶活性不会造成严重危害。

关键词: 毒死蜱; 丁硫克百威; 根际土壤; 酶活性

中图分类号: S154.2 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2010)增刊-0098-06

Effects of Chlorpyrifos and Carbosulfan on Soil Enzymes Activity in Banana Rhizosphere

ZHAO Zhi-qiang^{1,2}, HOU Xian-wen², LI Qin-fen², DENG Xiao², LI Guang-yi², CHEN Qiu-bo²

(1. College of Environment and Plant Protection, Hainan University, Danzhou 571737, China; 2. Institute of Environment and Plant Protection, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou 571737, China)

Abstract: Effects of chlorpyrifos and carbosulfan on the soil enzymes activity of banana plantation were studied in this experiment. The results indicated that distinct effects of two pesticides on the soil enzymes activity were showed in the early stage. The effects went as follows: Urease activity and amylase activity were inhibited, while phosphatase activity was firstly inhibited then activated by both pesticides. For the activity of catalase, activation was exhibited by chlorpyrifos and the trend of inhibition-activation-inhibition was performed by carbosulfan. Duration when pesticide interacted with the soil enzyme was different: Response time of chlorpyrifos with four soil enzymes was 1~2 weeks; interaction time of carbosulfan with urease, amylase and phosphatase was 1~2 weeks, which was 4 weeks when carbosulfan interacted with catalase. In a word, the time during which both pesticides affected the activity of four soil enzymes was relatively short and the influenced enzymes activity were resumable. It proved that there were no practical harmful of soil enzymes activity under normal concentrations of chlorpyrifos and carbosulfan in this area of agro-environment.

Keywords: chlorpyrifos; carbosulfan; rhizosphere soil; enzymes activity

香蕉产业作为海南省的新兴产业发展十分迅速, 已在海南农业生产中占有越来越重要的位置。线虫

是香蕉栽培管理中最主要的虫害之一, 有机磷类、氨基甲酸酯类杀虫剂被证明是防治线虫效果很好的杀虫剂^[1]。毒死蜱属广谱性有机磷类杀虫剂, 具有高效和低毒特性; 丁硫克百威属氨基甲酸酯类杀虫剂, 中等毒性、见效快、持效期长。调查发现, 在许多作物种植管理中, 为防治地下害虫, 常以灌根方式大量施用这类农药。

收稿日期: 2009-09-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(40961024); 海南省自然科学基金项目(808192); 中国热带农业科学院环植所博士科研启动基金项目(Hzs0804)。

作者简介: 赵志强(1986—), 男, 江苏南通人, 在读硕士生, 主要从事土壤微生物生态学和农药残留检测技术研究。

通讯作者: 侯宪文 E-mail: kohouxw@163.com

农药对土壤酶活性的影响是农药生态风险评价的重要内容,利用土壤酶活性易受到环境中化学、物理和生物等因素的影响的特点,可在一定程度上灵敏地反映环境状况^[2]。土壤酶活性为生态毒理学指标,评价外来物质对土壤的生态毒理学效应已成为环境科学领域的研究热点之一^[3-6]。目前,国内外对土壤酶活性与农药化学物质进行了较多研究^[7-9],而有关毒死蜱与土壤酶活性关系的研究较少^[10],关于丁硫克百威与土壤酶活性关系的研究还未见报道。本研究阐述了毒死蜱和丁硫克百威对香蕉根际土壤酶活性的影响,以期对农药污染土壤的监测、土壤生物质量保护及安全食品的生产管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验区概况

试验区(109.5°E, 19.5°N)处于东亚大陆季风气候的南缘,属热带季风海洋性气候。年均光照时数在2 000 h以上。年均降雨量1 815 mm,由于受季风影响,全年雨量分布很不均匀,干季雨季分明,5—10月为雨季,占年降雨量的84%,其余月份为旱季,占年降雨量的16%。土壤理化性质为:pH 4.9(水土比为1:2.5);阳离子交换量 $5.3 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$;氮 $0.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;有机质 $13.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;土壤颗粒组成为砂粒66%(>0.05 mm)、粉粒14%(0.005~0.05 mm)、粘粒20%(<0.005 mm)。

采样时土壤含水率为 $(13.7 \pm 3.2)\%$,第1 d为 $(12.6 \pm 1.1)\%$,第3 d为 $(16.3 \pm 1.8)\%$,第7 d为 $(17.1 \pm 2.5)\%$,第14 d为 $(17.6 \pm 1.7)\%$,第28 d为 $(12.3 \pm 2.2)\%$,第56 d为 $(17.0 \pm 2.4)\%$ 。

1.1.2 供试农药

毒死蜱乳油(商品名乐斯本),美国陶氏益农公司,含有效成分48%;丁硫克百威乳油(商品名好年冬),苏州富美实植物保护剂有限公司,含有效成分20%。

1.2 试验设计

共设3种药剂处理:0.5倍推荐用量(折合袋内土壤中浓度 $2.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、1倍推荐用量(折合袋内土壤中浓度 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、2倍推荐用量(折合袋内土壤中浓度 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),设不施药处理为对照,3次重复。用300目尼龙网(根系无法穿过,水分、N和P养分等可以自由通过)制作长、宽、高均为50 cm的

方形根袋,袋内分别装入下层土壤(25~50 cm)和上层土壤(0~25 cm),袋内土约150 kg,埋于田间,移栽香蕉苗于袋内土壤中。试验用香蕉均选缓苗后生长状况良好一致的植株,缓苗后集中施药(施药时间为2009年5月17日),分别将不同用量农药兑水4 L施于香蕉假茎周围土壤表层,上覆薄层土壤,常规田间管理。于施药前(记为第0 d)和施药后第1、3、7、14、28、56 d取香蕉假茎周围的5~25 cm层土壤分析其酶活性。

1.3 分析方法

酶活性的测定参照郑洪元的方法^[11]:过氧化氢酶活性用1 g土壤(干重计)消耗 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 高锰酸钾的毫升数表示;脲酶活性用1 g土壤(干重计)24 h产生的氨态氮量(mg)表示;磷酸酶活性用1 g土壤(干重计)24 h产生的苯酚量(mg)表示;淀粉酶活性用1 g土壤(干重计)24 h产生葡萄糖的量(mg)表示。

1.4 数据统计分析

利用Excel 2003和SAS 9.0进行数据整理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 对土壤过氧化氢酶活性的影响

过氧化氢酶广泛存在于土壤和生物体内,能有效防止土壤及生物体在新陈代谢中产生的过氧化氢对生物体的毒害,具有解毒和抗逆的功能,其酶促活性为机体提供了抗氧化防御机理,是生物防御体系的关键酶之一^[12]。如图1和2,毒死蜱对土壤过氧化氢酶活性的影响总体表现为“激活-恢复”的趋势,丁硫克百威对土壤过氧化氢酶活性的影响总体表现为“抑制-激活-抑制”的趋势。

统计分析表明:在1~7 d内,3种浓度毒死蜱处理对过氧化氢酶都有显著的激活作用($P < 0.05$);7 d后,3种处理与对照差异均不显著,土壤过氧化氢酶活性逐渐恢复。丁硫克百威施药后第1 d表现为轻微抑制作用;到第3 d,1倍处理仍表现为抑制作用,而其余两种处理对过氧化氢酶活性都起刺激作用,且差异达显著水平($P < 0.05$);第7 d后,3种浓度处理转变为抑制作用,到第14 d时,出现抑制峰,但除1倍处理外,从第7 d开始,与对照差异均不显著。

毒死蜱对过氧化氢酶具有激活作用,可能是因为乳化剂、溶剂等被微生物吸取利用,甚至农药本身被

微生物用作碳源或能源所致^[13],另一方面可能是土壤中相关微生物受到毒死蜱胁迫时的应激反应,分泌出大量的过氧化氢酶来抵制毒害。丁硫克百威对土壤过氧化氢酶活性的影响表现为抑制-激活-抑制的趋势,可能是由于初期土壤微生物不适应农药的加入^[14],而在第3 d,丁硫克百威对过氧化氢酶活性起刺激作用的原因亦可能是微生物的应激反应或外加碳源(或能源)所致,第7 d后转为抑制作用,可能与降解产物等的积累和毒性有关。丁硫克百威比毒死蜱对土壤过氧化氢酶活性的影响时间更长。

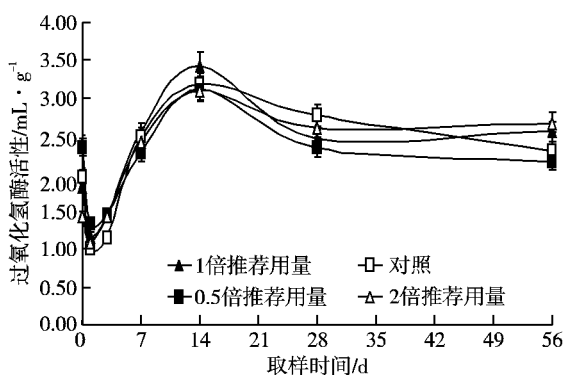


图1 毒死蜱对过氧化氢酶活性的影响

Figure 1 Effect of chlorpyrifos on catalase activity in soils

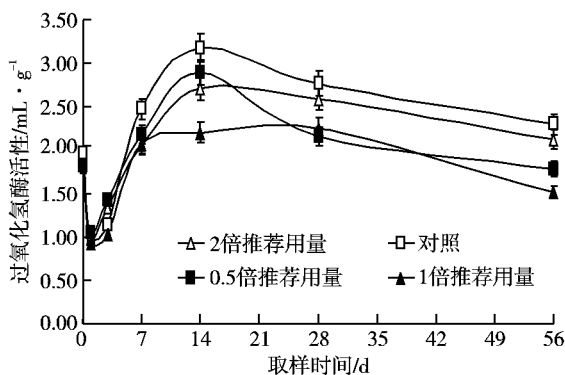


图2 丁硫克百威对过氧化氢酶活性的影响

Figure 2 Effect of carbosulfan on catalase activity in soils

2.2 对土壤脲酶活性的影响

脲酶是酰胺水解酶的一种,土壤中脲酶主要来源于微生物和植物,常被用做土壤中微生物活性及土壤质量的指标,其活性对提高土壤氮肥利用率有重要意义^[12]。从图3和图4可见,毒死蜱和丁硫克百威对脲酶活性都以抑制作用为主。统计分析表明:施药后第1 d和3 d,3种浓度毒死蜱处理与对照差异显著($P < 0.05$)。随着施药时间的延长,从第7 d开始,各处理与对照无显著差异,土壤的脲酶活性逐渐恢复。

丁硫克百威施用第1 d时,0.5倍和1倍处理与对照差异不显著,从第3 d开始,3种处理逐渐表现出抑制作用,一直持续到第28 d,但从第7 d开始,各处理与对照差异不显著。

农药施用直接或间接地影响土壤酶活性,前者是农药接触土壤酶产生作用,后者则是由农药对土壤生物的作用而引起酶活性的变化^[15]。在第3 d时,3种浓度的毒死蜱处理对脲酶活性的抑制作用出现峰值,可能是毒死蜱在此时间段对土壤酶和土壤微生物的抑制效应达到最大,表现的生理抑制作用为:蛋白质与磷脂间稳定的极性键或疏水性键被解离,从而改变细胞膜的结构,使细胞膜受到损伤,细胞壁受损时,细胞释放分泌酶类就会受到影响。当生物合成机制减弱和细胞膜分泌机能减弱,脲酶活性便发生变化,呈降低状态^[13]。到第7 d时,2倍处理有较弱的刺激作用,一方面可能是由微生物的抗性引起的,另一方面可能是那些被杀死的微生物的胞内酶被释放出来而增加了脲酶活性^[13]。丁硫克百威的0.5倍和1倍处理在第1 d时对土壤脲酶活性无明显作用,可能是因为丁硫克百威还未开始对土壤酶和微生物产生作用。丁硫克百威系克百威低毒化衍生物,具有热不稳定性,在酸性条件下很快水解为克百威(呋喃丹)^[16]。3 d后的抑制作用可能就是由丁硫克百威的降解产物(呋喃丹等物质)引起的,而呋喃丹等降解产物比较稳定,对土壤酶活性及微生物的影响也较持久,随着土壤中微生物的适应性增强以及有毒代谢产物的减少,毒害作用也逐渐消失。

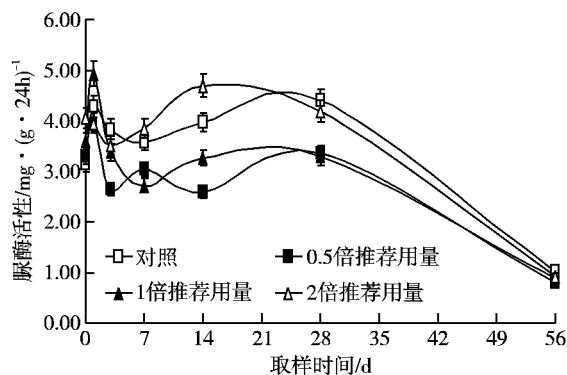


图3 毒死蜱对土壤脲酶活性的影响

Figure 3 Effect of chlorpyrifos on urease activity in soils

2.3 对土壤磷酸酶活性的影响

土壤磷酸酶在土壤磷素循环中起重要作用,其活性高低直接影响着土壤中有机磷的分解转化及其生

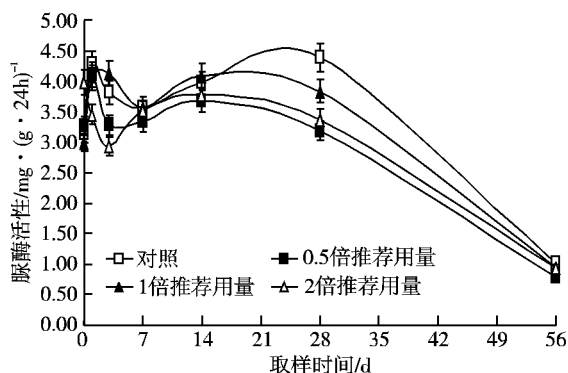


图4 丁硫克百威对脲酶活性的影响

Figure 4 Effect of carbosulfan on urease activity in soils 物有效性^[12]。从图5和6可见,毒死蜱和丁硫克百威对磷酸酶活性作用表现为“抑制-激活-恢复”的趋势。

毒死蜱对磷酸酶活性影响较小,统计分析表明:在整个试验过程中,0.5倍处理与对照差异不显著,而1倍和2倍处理只在第1d与对照有显著差异($P < 0.05$)。在第1d时表现为抑制作用,浓度越大,抑制效应越强,之后逐渐恢复。丁硫克百威对土壤磷酸

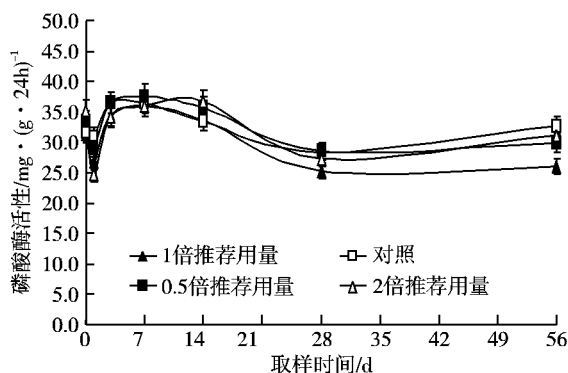


图5 毒死蜱对磷酸酶活性的影响

Figure 5 Effect of chlorpyrifos on phosphatase activity in soils

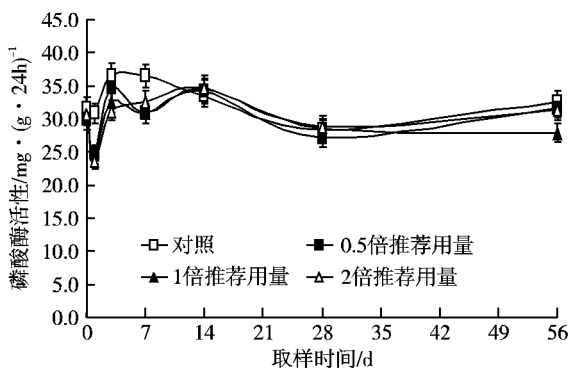


图6 丁硫克百威对磷酸酶活性的影响

Figure 6 Effect of carbosulfan on phosphatase activity in soils

酶活性的影响以抑制作用为主,14d时出现轻微激活作用。施药后第1d,抑制效果最强,之后抑制作用逐渐减弱,在第1、3、7d,除0.5倍处理在第3d时与对照差异不显著外,其他处理与对照有显著差异($P < 0.05$)。第14d后,3种处理与对照均无显著差异,酶活性逐渐恢复到对照水平。

土壤磷酸酶来源于植物根的分泌和土壤微生物,随着作物生长,需磷量会逐渐减少,从而根诱导分泌的磷酸酶也会相对减少^[17],此时土壤中的磷酸酶活性以微生物的影响为主导。施药后第1d,毒死蜱可能只是杀死或胁迫一小部分微生物,使分泌的磷酸酶减少;死亡的微生物体,或被活的微生物利用,或直接进入土壤,都会使土壤中酶活性增强,也就表现为施药后期的稍微激活效应^[13]。丁硫克百威抑制作用由强转弱再出现轻微激活,这可能和丁硫克百威本身的性质有关,结合降解产物呋喃丹一起,接触土壤磷酸酶和微生物产生作用。

2.4 对土壤淀粉酶活性的影响

淀粉酶是催化淀粉水解的一类酶,普遍存在于动植物体内,它直接参与土壤有机质的代谢过程^[12]。从图7和8可见,毒死蜱和丁硫克百威对淀粉酶活性都以抑制作用为主。

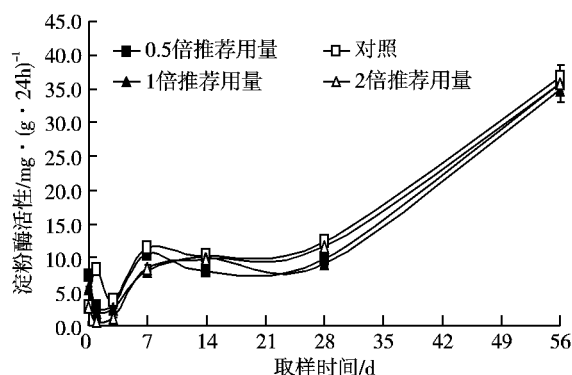


图7 毒死蜱对淀粉酶活性的影响

Figure 7 Effect of chlorpyrifos on amylase activity in soils

毒死蜱3种浓度处理的淀粉酶活性均低于对照,表现为明显的抑制作用,浓度越高,抑制效果越强。抑制作用在第1d最明显,到第3d大幅度下降,之后变化相对较小。经统计分析,第1d时,3种处理与对照差异显著($P < 0.05$);第7d以后3种处理与对照差异均不显著。丁硫克百威对土壤淀粉酶的影响与毒死蜱的较一致,表现为同样的变化规律和趋势。第1d和3d时,3种处理与对照差异显著($P < 0.05$);

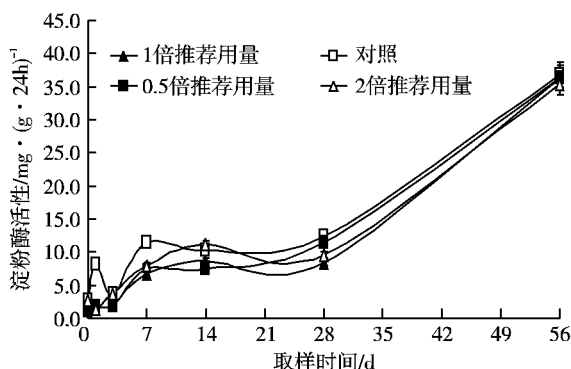


图8 丁硫克百威对淀粉酶活性的影响

Figure 8 Effect of carbosulfan on amylase activity in soils
第7 d以后3种处理与对照差异均不显著。

出现上述现象的原因可能为试验土壤中淀粉酶的活性模式比其他酶更为简单,由于土壤中有机的含量较少,对污染物质的缓冲能力较小,两种农药抑制了土壤中相关微生物和酶,使土壤淀粉酶活性降低^[18]。随着施药时间的延长,土壤微生物的适应性增强及有毒代谢产物的降解,毒害作用逐渐消失。

本研究试验区环境具有高温、多雨、光照强等特点,这些多变的自然环境与室内模拟培养环境相比对土壤酶活性和农药的影响是不可忽略的。高温、多雨、强光都可以促进农药挥发、下渗和分解,也可能是本试验中农药对土壤酶活性的影响时间较短的原因之一。有研究表明,酶活性具有热力学特征^[19],而灌水等措施也会对酶活性产生影响^[20],甚至土壤的粒径组成和 pH 也会对酶的功能有一定影响^[13]。另外,植物的不同生长时期以及对自然环境变化的反应,都会对土壤酶活性产生影响^[17]。总之,在实际生产中要用某个因素来解释土壤酶活性的变化,或者在土壤酶活性变化与引发因素之间建立某种联系是比较困难的。

3 结论

本试验通过在大田环境中研究毒死蜱和丁硫克百威对土壤酶活性的影响,初步得出以下结论:

(1) 毒死蜱对过氧化氢酶活性先激活再抑制,对脲酶活性和淀粉酶活性主要起抑制作用,对磷酸酶活性先抑制再激活再恢复。

(2) 丁硫克百威对过氧化氢酶活性是先抑制再激活再抑制,对脲酶和淀粉酶活性都以抑制作用为主,对磷酸酶活性是先抑制再激活再恢复。

(3) 4种土壤酶活性在施用毒死蜱和丁硫克百威

后,除丁硫克百威影响下的过氧化氢酶需4周才恢复外,其余均在1~2周基本恢复到正常水平;本试验用量的毒死蜱和丁硫克百威对4种土壤酶活性的影响均可以在短期内恢复,表明在本地区的农业环境条件下,毒死蜱和丁硫克百威对土壤酶活性不会造成严重危害。

参考文献:

- [1] Gupta R L. 有机磷杀线虫剂的进展[J]. 农药, 1988, 27(4): 34-35.
- [2] Gupta R L. Organic phosphorus nematicides nearly study[J]. *Pesticides*, 1988, 27(4): 34-35.
- [3] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 192-214.
- [4] HUANG Chang-yong. Soil sciences[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 192-214.
- [5] 李永红, 高玉葆. 单噻磺隆对土壤呼吸脱氢酶和转化酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(6): 1176-1181.
- [6] LI Yong-hong, GAO Yu-bao. Effects of monosulfuran on respiration, hydrogenase and invertase activity in soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(6): 1176-1181.
- [7] 葛才林, 络剑峰, 刘冲, 等. 重金属对水稻呼吸速率及相关同工酶影响的研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(2): 222-226.
- [8] GE Cai-lin, LUO Jian-feng, LIU Chong, et al. Effects of heavy metals on the respiratory rate and expression of related isozymes in rice[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(2): 222-226.
- [9] 刘恩科, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响[J]. 植物生态学报, 2008, 32(1): 176-182.
- [10] LIU En-ke, ZHAO Bing-qiang, LI Xiu-ying, et al. Biological properties and enzymatic activity of arable soils affected by long-term different fertilization systems[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(1): 176-182.
- [11] Taylor J P, Wilson B, Mills M S, et al. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(3): 387-401.
- [12] Sannino F, Gianfreda L. Pesticide influence on soil enzymatic activities[J]. *Chemosphere*, 2001, 45: 417-425.
- [13] YAO XH, MINH, L ZH, et al. Influence of acetamiprid on soil enzymatic activities and respiration[J]. *Eur J Soil Bio*, 2006, 42(2): 120-126.
- [14] 和文祥, 蒋新, 卞永荣, 等. 杀虫双对土壤酶活性影响的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2002, 30(1): 13-17.
- [15] HE Wen-xiang, JIANG Xin, BIAN Yong-rong, et al. Study on soil enzyme activity effected by dimehypo[J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2002, 30(1): 13-17.
- [16] 李时银, 黄智, 倪利晓, 等. 毒死蜱及代谢产物对土壤过氧化氢酶活性的影响[J]. 农业环境保护, 2002, 21(6): 553-555.

- Li Shi - yin, HUANG Zhi, NI Li - xiao, et al. Influence of Insecticide chlorpyrifos and its metabolites on catalase activity in soil[J]. *Agro - environmental Protection*, 2002, 21(6): 553 - 555.
- [11] 郑洪元, 张德生. 土壤动态生物化学研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- ZHENG Hong - yuan, ZHANG De - sheng. Dynamic biochemical study of soil[M]. Beijing: China Science Press, 1982.
- [12] 严昶升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- YAN Chang - sheng. Soil fertility research methods [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1988.
- [13] 王黎明, 徐冬梅, 陈波, 等. 外来污染物对土壤磷酸酶影响的研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2004, 5(5): 11 - 17.
- Wang Li - ming, Xu Dong - mei, Chen Bo, et al. Effects of external contaminants on soil phosphatase[J]. *Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control*, 2004, 5(5): 11 - 17.
- [14] 徐 珍, 郭正元, 黄 帆, 等. 霸螨灵、克螨特及其混剂对土壤过氧化氢酶的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(6): 1654 - 1658.
- XU Zhen, GUO Zheng - yuan, HUANG Fan, et al. Effects of fenpyroximate and propargite as well as its mixture on catalase in soil[J]. *Journal of Agro - Environment Science*, 2006, 25(6): 1654 - 1658.
- [15] 关松荫. 化学农药对土壤脲酶活性抑制作用的研究[J]. 土壤通报, 1992, 23(5): 232 - 233.
- GUAN Song - yin. Chemical pesticides inhibition on soil urease activity[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1992, 23(5): 232 - 233.
- [16] 王亚廷, 刘亚敏, 李波, 等. 20% 丁硫克百威水乳剂的研制[J]. 农药科学与管理, 2008, 29(1): 33 - 37.
- Wang Ya - ting, Liu Ya - min, Li Bo, et al. Preparation of carbosulfan 20% EW [J]. *Pesticide Science and Administration*, 2008, 29(1): 33 - 37.
- [17] 李春越, 白红英, 党廷辉, 等. 农田土壤磷酸酶活性与土壤 N_2O 排放通量的相关性[J]. 中国环境科学, 2007, 27(2): 231 - 234.
- LI Chun - yue, BAI Hong - ying, DANG Ting - hui, et al. Relationship of field soil phosphatase activity and soil N_2O emission flux[J]. *China Environmental Science*, 2007, 27(2): 231 - 234.
- [18] 和文祥, 姚敏杰, 孙丽娜, 等. 呋喃丹对土壤酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1921 - 1924.
- HE Wen - xiang, YAO Min - jie, SUN Li - na, et al. Effects of furadan on soil enzyme activity[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(8): 1921 - 1924.
- [19] 朱铭裘, 白红英, 约代伟. 陕西几种土壤过氧化氢酶的动力学和热力学特征[J]. 西北农业大学学报, 1989, 17(1): 20 - 26.
- Zhu Ming - e, Bai Hong - ying, Yue Dai - wei. The Kinetic and thermodynamic properties of catalases in several soils sampled from Shanxi Province [J]. *Acta University Septentrionali Occident Agriculture*, 1989, 17(1): 20 - 26.
- [20] 王耀生, 张玉龙, 黄毅, 等. 渗灌对保护地土壤脲酶和过氧化氢酶活性的影响[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(1): 103 - 105.
- WANG Yao - sheng, ZHANG Yu - long, HUANG Yi, et al. Effect of subsurface irrigation scheduling on soil urease and catalase activity in protected field[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2006, 34(1): 103 - 105.