

# 小青菜对土壤中毒死蜱吸收移动特征研究<sup>\*</sup>

张志勇<sup>1</sup> 钟桂琴<sup>2</sup> 余向阳<sup>1</sup> 王冬兰<sup>1</sup> 张存政<sup>1</sup> 刘贤进<sup>1†</sup>

(1 江苏省食品安全重点实验室/农业部食品安全监控重点开放实验室, 南京 210014)

(2 江苏省扬州市蒋王中学, 江苏扬州 225000)

**摘要** 以小青菜为供试蔬菜, 通过在土壤中添加毒死蜱, 进行盆栽试验, 研究毒死蜱对小青菜生长的影响、在土壤中的降解速度以及在小青菜中的吸收和转移规律, 为蔬菜中农药残留风险评估和蔬菜安全生产提供理论依据。试验结果表明, 与对照相比, 含有高浓度 ( $>50.0 \text{ mg kg}^{-1}$ ) 毒死蜱土壤对小青菜的生长有显著抑制作用; 毒死蜱在不同处理土壤中的半衰期从 23.03 d 至 77.43 d 不等; 残留于土壤中的毒死蜱能够被种植的小青菜根系吸收并转移至茎叶部分, 随着土壤中处理浓度的增加, 毒死蜱在小青菜根、茎和叶中的残留量也随之增加, 且毒死蜱在小青菜根中的残留量最大, 在叶中的残留量最小; 土壤中毒死蜱残留量与小青菜根、茎和叶中毒死蜱的含量呈良好的线性关系, 线性方程分别为:  $C_{\text{根}} = 0.025 1 C_{\text{土壤}} - 0.235 8$ ,  $C_{\text{茎}} = 0.012 3 C_{\text{土壤}} - 0.051 7$ ,  $C_{\text{叶}} = 0.000 7 C_{\text{土壤}} + 0.011 5$ 。为了实现蔬菜中农药残留从农田到餐桌的全程控制, 保证无公害蔬菜的安全生产与供应, 首先要对生产基地土壤中的农药残留进行检测, 并从源头上进行控制。

**关键词** 小青菜; 土壤; 毒死蜱; 毒性; 吸收转移

**中图分类号** X592 **文献标识码** A

叶菜类蔬菜含有矿物质、微量元素、维生素、抗氧化剂、植物甾醇类、可食纤维等物质, 在人类营养和健康方面起着重要作用<sup>[1]</sup>, 是我国人民膳食重要组成部分。但由于农药的长期、大量特别是不合理使用以及叶菜类蔬菜种植和病虫害发生重等特点, 叶菜类蔬菜中农药残留受到人们的普遍重视和关注。毒死蜱 (Chlorpyrifos) 是一种具有触杀、胃毒和熏蒸作用的高效、广谱、中等毒性的有机磷酸酯类杀虫剂, 广泛应用于水稻、棉花、柑橘、蔬菜等作物害虫和韭蛆等地下害虫防治, 施药方法有喷雾、拌土撒施以及灌根等, 是目前全球应用最广泛的 5 种杀虫剂之一, 且用量正在逐年增加<sup>[2]</sup>。袁玉伟等<sup>[3]</sup>认为土壤中毒死蜱残留量达到  $67.7 \text{ mg kg}^{-1}$  时能够影响菠菜生长与产量, 而且土壤中的毒死蜱能够被菠菜吸收, 吸收量与土壤中的残留量呈一定的线性关系。Sun 等<sup>[4]</sup>报道了涕灭威在分别种植了玉米、绿豆以及豇豆的土壤中的半衰期分别为 1.6、1.4 和 1.7 d, 且灭菌土壤中的涕灭威的降解速率明显低于非灭菌土壤。Lin 等<sup>[5]</sup>认为茶叶的根和叶对环境 (大气和水) 的 PAHs 均有很强的吸收能力, 而且这种吸收能力与污染的理化特性密切相关。高彦征等<sup>[6]</sup>认为表明活性剂 Tween 80 对植物吸收有机污染有显著的影响, 选取适当的表面活性剂及其浓度, 可调控植物对有机污染物的积累作用, 并可有望提高污染土壤的修复效率。前人的研究多集中于植物对被污染土壤、水体等的修复方面。植物对有机污染物的吸收累积能力与植物特性及污染物的理化性质有非

<sup>\*</sup> 十一五国家科技支撑计划项目 (2006BAD08A03)、江苏省自主创新资金项目 (CX (09) 630) 资助

<sup>†</sup> 通讯作者, E-mail: jaasliu@jaas.ac.cn

作者简介: 张志勇 (1979-), 男, 湖北仙桃人, 博士, 助理研究员, 主要从事农产品中农药残留研究。E-mail: yuzzy@163.com

收稿日期: 2010-04-07; 收到修改稿日期: 2010-05-04

常密切的关系<sup>[7]</sup>。但目前很少有研究关注农药对植物本身的生长及其安全性方面影响,而农药在作物不同部位的吸收转移规律研究则更少。本研究旨在探明被毒死蜱不同程度污染的土壤对小青菜生长的影响,毒死蜱在土壤中的降解速率以及小青菜对土壤中毒死蜱的吸收转移能力,以期为明确蔬菜中农药残留来源、药残留风险评估和环境修复提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

本研究于 2009 年 4 月至 5 月在江苏省农业科学院进行,供试土壤为潮土,采自江苏省农业科学院旱地试验田表层(0~20 cm),其砂粒、粉砂粒和黏粒含量分别为 34.7、852.6 和 112.7 g kg<sup>-1</sup>。土壤的肥力情况如表 1。将土壤过 5 mm 的网筛,堆沃 1 周。供试蔬菜品种为小青菜 (*Brassica chinensis*)。供试农药为毒死蜱 (48%乳油,市售)。毒死蜱标样 (纯度>99%),购自农业部环境保护科研监测所。

表 1 土壤的肥力情况

Table 1 Fertility of the soil in the pot experiment

土壤类型	有机质	速效氮	速效磷	速效钾	pH
Soil type	Organic matter	Available nitrogen	Available phosphorus	Available potassium	
	(g kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	
潮土 Alluvial soil	18.89	128.4	40.09	246.4	5.2

### 1.2 盆栽试验设计

用手动喷雾器将供试农药毒死蜱喷洒于土壤,并不断翻动土壤,使农药混和均匀,形成一定含量梯度。对照及 5 个处理土壤中的毒死蜱残留量分别为 0(未检出)、1.13、11.00、49.33、103.7 和 197.7 mg kg<sup>-1</sup>,均重复 5 次。供试植物小青菜经苗床育苗 30 d 后,选择生长势良好整齐的小青菜苗,移栽至装有添加过毒死蜱土壤的钵中(内径 25 cm,高 35 cm),每个钵装土 15 kg,移栽 1 棵小青菜苗。整个生长期未喷施任何农药,蜗牛等虫害采用手工摘除。下雨时用塑料薄膜遮盖,根据土壤墒情,每次每盆浇水约 500 ml,每 2 天随机交换钵的位置。

### 1.3 小青菜和土壤取样

在试验 0、5、10、20、30、40 和 60 d,用自制土壤取样器,取各钵表层(0~15 cm)土壤 50 g 左右,对照分别在第一次和最后一次取样时采集土壤样品。移栽 60 d 后,从土壤中取出小青菜,用自来水冲洗根系,滤纸吸干表面水分后,再测量其根长、株高和鲜重,并分别测量根、茎和叶中毒死蜱的含量。

### 1.4 小青菜和土壤中毒死蜱检测方法

参照余向阳等<sup>[8]</sup>的方法并加以改进。蔬菜植物株根、茎和叶中毒死蜱残留量的测定:蔬菜组织称重后,剪碎,加入 20 ml 乙腈,匀浆后加入 1 g 无水 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 和 1 g NaCl,在 4℃ 下 5 000 r min<sup>-1</sup> 离心 10 min,取 0.5 ml 上清液,过 0.22 μm 微孔滤膜后,直接由 GC-FPD(Agilent 6890N) 测定。土壤中毒死蜱的测定:土壤风干过筛(1 mm)后,称取土壤 10 g,置于离心管内加丙酮 30 ml,过夜浸泡。将浸泡液经过装有无水硫酸钠的漏斗至样品吹瓶中,并分 3

次用 10 ml 丙酮冲洗剩余土壤，合并冲洗液。45℃下氮气(2 ml min<sup>-1</sup>)吹至近干，用丙酮定容至 10 ml。如浓度过高，相应稀释，待测。毒死蜱在小青菜蔬菜植株根、茎和叶的回收率分别为 83%~106%、81%~99% 和 82%~102%，在土壤中的回收率为 82%~108%。

### 1.5 数据处理

毒死蜱对小青菜生长的影响采用 DPS 软件 (7.05) 进行 Duncan's 方差分析。毒死蜱在不同添加水平土壤中的降解计算采用一级动力学方程式 ( $C_t = C_0 e^{-kt}$ )，式中  $C_t$  为处理  $t$  天后毒死蜱在土壤中的浓度， $C_0$  为原始浓度， $k$  为一级动力学方程降解常数，半衰期 ( $t_{0.5}$ ) =  $(\ln 2)/k$ <sup>[9]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 毒死蜱对小青菜生长的影响

小青菜的鲜重、株高等数量性状能够反映出土壤中残留毒死蜱对小青菜的生物效应影响。处理 60 d 后，小青菜根长、株高和鲜重等参数见表 2。与对照相比，含有高浓度 (>50 mg kg<sup>-1</sup>) 毒死蜱土壤对小青菜的生长有显著抑制作用，但含有低浓度 (<10 mg kg<sup>-1</sup>) 毒死蜱土壤对小青菜根长、株高和鲜重未产生明显影响 ( $p < 0.05$ )。

表 2 不同处理对小青菜生长的影响

Table 2 Effects of chlorpyrifos on growth of *Brassica chinensi* as compared to control

添加浓度 Fortification level(mg kg <sup>-1</sup> )	根长 Length of root(cm)	株高 Height of plant(cm)	鲜重 Fresh weight(g)
0	5.26 a	15.26a	11.26a
1.13	5.40a	15.23a	10.56a
11.00	5.23a	14.70ab	10.36a
49.33	5.07a	13.74b	8.41b
103.7	4.16b	10.83c	8.09b
197.7	3.54c	9.87c	7.54b

注：同列不同字母表示 5% 显著水平 Note: Different letters within the same column indicate significant difference at 5% level

### 2.2 毒死蜱在不同处理土壤中的降解

毒死蜱在不同添加水平土壤中的降解曲线均较平缓，降解速度缓慢，说明毒死蜱在土壤中残留时间较长、较稳定不易分解。在处理 60 d 后，毒死蜱在由低至高不同添加水平土壤中的降解率分别为 82.67%、72.86%、63.73%、52.84% 和 40.36%。毒死蜱在低浓度处理土壤中的降解率最大，在高浓度处理土壤中的降解率最小，且随着处理浓度的增加，降解率也随之减少 (图 1)。毒死蜱在从低剂量至高剂量不同处理土壤中的降解动态方程分别为： $C_t = 0.95e^{-0.030t}$ ， $C_t = 10.09e^{-0.023t}$ ， $C_t = 47.03e^{-0.019t}$ ， $C_t = 97.21e^{-0.013t}$  和  $C_t = 200.8e^{-0.009t}$ ；半衰期分别为 23.03、29.89、36.16、54.55 和 77.43 d；相关系数分别为 0.903 7、0.947 0、0.906 9、0.934 2 和 0.968 7。

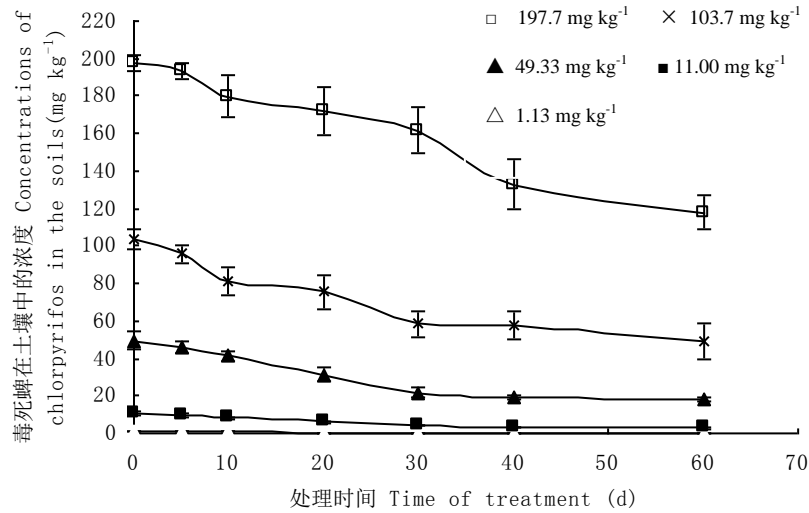


图 1 毒死蜱在不同处理土壤中的消解动态

Fig. 1 Degradation of chlorpyrifos in soils different in fortification level

### 2.3 小青菜对毒死蜱的吸收、转移与其在土壤中残留量的关系

**2.3.1 小青菜根、茎和叶对毒死蜱的吸收与转移** 处理 60 d 后小青菜根、茎和叶中毒死蜱的含量见图 2。从图 2 中可以看出，残留于土壤中的毒死蜱能够被种植的小青菜根系吸收，该结论与汪立刚等<sup>[10]</sup>的结论一致。随着土壤中处理浓度的增加，毒死蜱在小青菜根、茎和叶中的残留量也随之增加，且毒死蜱在根中的残留量最大，在叶中的残留量最小。在 0.05 的显著水平，土壤中毒死蜱浓度 1.13 和 11.00 mg kg<sup>-1</sup> 处理与 49.33、103.7 和 197.7 mg kg<sup>-1</sup> 处理间小青菜根、茎和叶中毒死蜱存在显著差异。结果还表明蔬菜植物通过根系吸收毒死蜱后，再通过植物的蒸腾作用向茎和叶转运。但毒死蜱在供试蔬菜植株体内的迁移能力较低，大部分被根系吸收固定，向地上部分（叶）转移的量较少。土壤或水体中含有高浓度毒死蜱时，小青菜根和茎较叶更易受到其毒害，但却为农药向地上部分转移提供了良好的缓冲屏障。

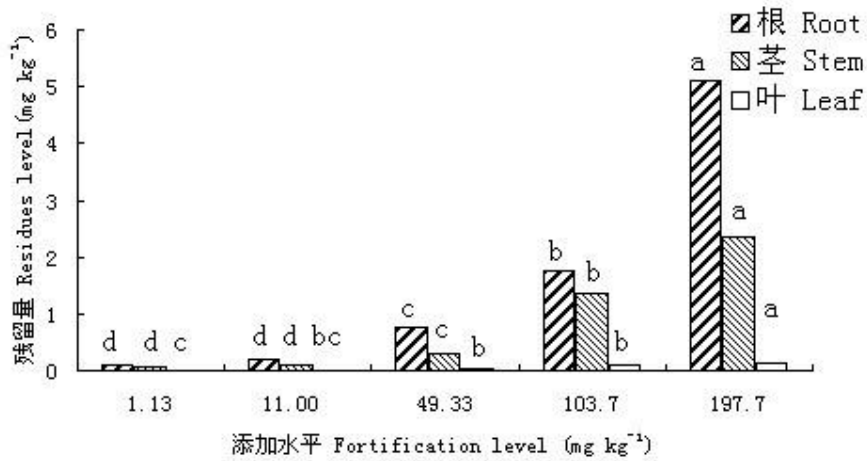


图2 不同添加水平下小青菜根茎叶中毒死蜱含量

Fig. 2 Chlorpyrifos concentrations in *Brassica chinensis* root, stem and leaf as a function of the fortification level of the pesticide

**2.3.2 小青菜根、茎和叶中毒死蜱含量与土壤中残留量的关系** 试验结果表明, 土壤中毒死蜱残留量与小青菜根、茎和叶中毒死蜱的含量呈良好的线性关系 (图 3)。土壤中毒死蜱能够被小青菜根吸收后转移至茎叶部。在本试验添加范围内, 毒死蜱在土壤中残留量与在小青菜根、茎和叶中的残留量呈正相关, 线性方程为:  $C_{\text{根}} = 0.0251C_{\text{土壤}} - 0.2358$  ( $R^2 = 0.9603$ ),  $C_{\text{茎}} = 0.0123C_{\text{土壤}} - 0.0517$  ( $R^2 = 0.9758$ ),  $C_{\text{叶}} = 0.0007C_{\text{土壤}} + 0.0115$  ( $R^2 = 0.9029$ )。3 个线性回归方程中, 小青菜根对毒死蜱吸收线性方程的斜率最大, 说明小青菜根对毒死蜱的吸收、固定能力最大; 而小青菜叶对毒死蜱吸收线性方程的斜率最小, 则说明小青菜叶对毒死蜱的固定能力最差。且随着土壤中毒死蜱浓度的增大, 小青菜根、茎和叶中所吸收毒死蜱量也有较大幅度的增长, 但当土壤中毒死蜱浓度较高时对小青菜生长有明显影响。

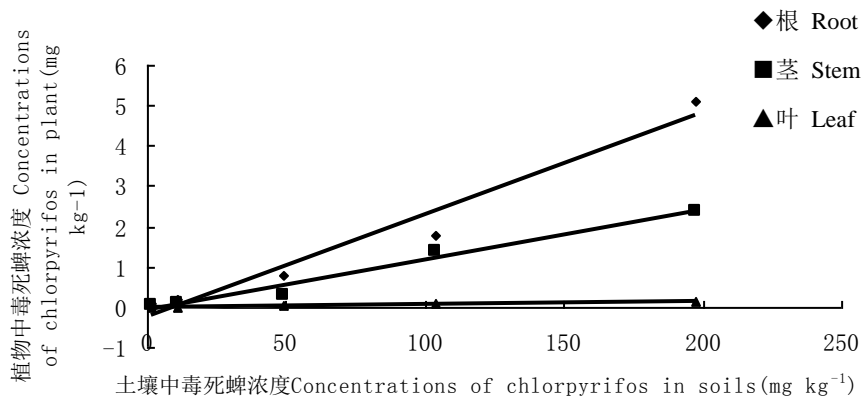


图3 小青菜中毒死蜱含量与土壤中残留量的关系

Fig. 3 Relationship of chlorpyrifos residue in soil and its concentration in *Brassica chinensis*

### 3 讨论

本试验中,土壤中含有较高浓度毒死蜱时,对小青菜生长有明显的抑制作用。这可能是由于毒死蜱在土壤中主要代谢产物是3,5,6-三氯-2-吡啶醇(TCP),能够抑制过氧化氢酶的活性<sup>[11]</sup>。而过氧化氢酶广泛存在于土壤和植物体内,具有清除自由基、保护酶的作用,对动植物的生长发育和代谢有重要意义<sup>[12]</sup>。

农药在土壤中的降解速率与农药本身的理化性质、土壤中微生物种类及含量、pH、有机质含量和所种植的植物特性(如脂肪含量、含水量)等因素密切相关。本试验结果表明低剂量处理时降解速度快,高剂量处理时降解速度慢。这一结果与吴慧明等<sup>[13]</sup>的研究结果相一致,其认为土壤中微生物对毒死蜱的降解有较大影响,微生物能够加速毒死蜱的降解。Singh<sup>[14]</sup>等研究认为毒死蜱的主要代谢物TCP对土壤中的酶活性和微生物数量有抑制作用,从而导致了土壤中毒死蜱的降解速度变慢。李界秋等<sup>[15]</sup>报道了毒死蜱在壤土、黏土和砂土中的降解半衰期分别为23.9d、12.6d和9.8d。黄素芳等<sup>[16]</sup>的研究认为毒死蜱在蔬菜地土壤中的半衰期为25.48d,并能够引起土壤二次污染。周世萍等<sup>[17]</sup>也认为毒死蜱在土壤中的残留降解属于一级动力学反应,在土壤中的降解半衰期为63.0d,与本试验结果相似。

植物对有机污染物的吸附能力,与植物特性(如脂肪含量、含水量等)、有机污染物的性质(如 $K_{ow}$ 值、pH等)以及环境因素如污染强度等均呈显著的相关性<sup>[18-21]</sup>。农药的水溶性和 $K_d$ (分配系数)对农药在环境中的归宿有重要影响,毒死蜱属于非内吸性农药,水中溶解度小( $<2\text{ mg L}^{-1}$ ),且具有高 $K_d(118\text{ L kg}^{-1})$ 值,容易被土壤中有机质吸附,不易被植物根系吸收<sup>[22]</sup>。本实验结果表明,部分残留于土壤中毒死蜱能够被种植的小青菜根系所吸收,然后再转移至茎和叶。同时随着土壤污染强度的增加,小青菜中毒死蜱的含量也随之增加,该结论与汪立刚等<sup>[10]</sup>的结论相同,但本试验数据与汪立刚等<sup>[10]</sup>采用灌根法的试验数据有很大差异,他们认为土壤中毒死蜱含量为 $1\sim 10\text{ mg kg}^{-1}$ 时,毒死蜱在油菜苗地上含量可达到 $0.249\sim 2.020\text{ mg kg}^{-1}$ 。这可能是农药随着灌溉水灌入土壤时,由于植物的蒸腾作用农药会随着灌溉水分也被根系吸收到植物体内。但本试验由于是事先将毒死蜱喷施至土壤中,则容易被土壤中的有机质吸附,可游离的毒死蜱较少,不易被根系吸收,但也可能与作物种类有关。随着暴露时间的延长,毒死蜱在植株-土壤系统中的总量会随之减少。毒死蜱在土壤中的含量减少的原因主要有植物吸收、在土壤中的降解以及挥发;而在植物体内含量减少的主要原因有:(1)蔬菜的生长稀释作用,包括蔬菜的生长、从蔬菜植物向土壤中释放以及由于植物的蒸腾作用而挥发等;(2)毒死蜱在植物体内的代谢;(3)部分毒死蜱与植物组织形成结合残留物而无法提取<sup>[23]</sup>。

## 4 结论

土壤中低浓度的毒死蜱( $<11.0\text{ mg L}^{-1}$ )对供试小青菜生长无明显影响,但高浓度毒死蜱( $>50\text{ mg L}^{-1}$ )能对小青菜的生长产生明显的抑制作用。土壤中毒死蜱能够被种植的小青菜所吸收,而且随着土壤中毒死蜱残留量的加大,植物组织中毒死蜱的含量也随之增大,因此蔬菜吸收富集农业环境(土壤)中的残留农药是蔬菜中农药残留的主要来源之一。毒死蜱在土壤中的降解速度缓慢,半衰期长,容易造成农田污染,可能会危害本茬及下茬种植作物。在蔬菜的无公害生产过程中,为了实现农药残留的全程控制,首先要对生产基地土壤中的农药残留进行检测,从源头上进行监管和控制。

## 参 考 文 献

- [1] Wennberg M, Ekvall J, Olsson K, et al. Changes in carbohydrate and glucosinolate composition in white cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata) during blanching and treatment with acetic acid. *Food Chemistry*, 2006, 95 (2) : 226-236
- [2] 钟国华, 何玥, 刘萱清, 等. 毒死蜱高效降解酶保护剂配方优化及稳定性. *中国农业科学*, 2009, 42(1): 136-144. Zhong G H, He Y, Liu X Q, et al. Optimization of enzyme protectant of chlorpyrifos-biodegradation fungi and its stability (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(1): 136-144
- [3] 袁玉伟, 王静, 叶志华. 菠菜对土壤中毒死蜱残留的吸收研究. *生态环境*, 2007, 16(4): 1 098-1 102. Yuan Y W, Wang J, Ye Z H. Chlorpyrifos residue in soil uptaken by spinach with pot experiment (In Chinese) . *Ecology and Environment*, 2007, 16(4): 1 098-1 102
- [4] Sun H W, Xu J, Yang S H, et al. Plant uptake of aldicarb from contaminated soil and its enhanced degradation in the rhizosphere. *Chemosphere*, 2004, 54: 569-574
- [5] Lin D H, Zhu L Z, He W, et al. Tea plant uptake and translocation of polycyclic aromatic hydrocarbons from water and around air. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(10): 3 658-3 662
- [6] 高彦征, 朱利中, 胡晨剑, 等. Tween80 对植物吸收菲和芘的影响. *环境科学学报*, 2004, 24(4): 713-718. Gao Y Z, Zhu L Z, Hu C J, et al. Effects of Tween 80 on plant uptake of phenanthrene and pyrene from water (In Chinese) . *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2004, 24(4): 713-718
- [7] 颜冬云, 蒋新, 徐绍辉, 等. 有机磷农药在土壤中的消解机理及 QSAR 研究. *土壤学报*, 2010, 47(1): 58-63. Yan D Y, Jiang X, Xu S H, et al. Attenuation rule of organophosphorous pesticides in soils (In Chinese) . *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47(1): 58-63
- [8] 余向阳, 赵于丁, 王冬兰, 等. 毒死蜱和三唑磷对斑马鱼头部 AChE 活性影响及在鱼体富集. *农业环境科学学报*, 2008, 27(6): 2 452-2 455. Yu X Y, Zhao Y D, Wang D L, et al. Impact on the activity of acetylcholinesterase (AChE) in head and bioconcentration in zebrafish (*Brachydanio rerio*) after chronic exposure to chlorpyrifos and triazophos (In Chinese) . *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(6): 2 452-2 455
- [9] Gao J P, Garrison W, Hoehamer C, et al. Uptake and phytotransformation of organophosphorus pesticides by axenically cultivated aquatic plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(12): 6 114-6 120
- [10] 汪立刚, 蒋新, 颜冬云, 等. 土壤中残留毒死蜱的作物效应. *环境科学*, 2006, 27(2): 366-370. Wang L G, Jiang X, Yan D Y, et al. Effect of chlorpyrifos residue in red soil on crops (In Chinese) . *Chinese Journal of Environmental Science*, 2006, 27(2): 366-370
- [11] 杨炜春, 刘维屏, 方肇华, 等. 荧光光谱法研究莠去津与过氧化氢酶的相互作用. *浙江大学学报: 理学版*, 2002, 29(5): 542-547. Yang W C, Liu W P, Fang Z H, et al. Study on interaction between atrazine and catalase by fluorospectroscopy (In Chinese) . *Journal of Zhejiang University: Sciences Edition*, 2002, 29(5): 542-547
- [12] 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. *农业环境保护*, 2002, 21(6): 553-555. Li S Y, Huang Z, Ni L X, et al. Influence of insecticide chlorpyrifos and its metabolites on catalase activity in soil (In Chinese) . *Agro-Environmental Protection*, 2002, 21(6): 553-555
- [13] 吴慧明, 朱国念. 毒死蜱在灭菌和未灭菌土壤中的降解研究. *农药学报*, 2003, 5(4): 65-69. Wu H M, Zhu G N. Study on the degradation of chlorpyrifos in sterilized and nonsterilized soil (In Chinese) . *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2003, 5(4): 65-69
- [14] Singh B K, Walker A, Grayston S J. Degradation of chlorpyrifos and its effect on soil biota. XII Symposium Pesticide Chemistry,

2003: 27-34

- [15] 李界秋, 黎晓峰, 沈方科, 等. 毒死蜱在土壤中的环境行为研究. 中国农学通报, 2007, 23(1): 168-171.  
Li J Q, Li X F, Shen F K, et al. Study on environmental behavior of chlorpyrifos in soil (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(1): 168-171
- [16] 黄素芳, 朱育菁, 林抗美, 等. 毒死蜱在蔬菜及土壤中的残留和消解动态研究. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊): 269-271.  
Huang S F, Zhu Y J, Lin K M, et al. Study on the residue of chlorpyrifos in *ipomoea aquatica* forsk and the soil (In Chinese). Journal of Agro-Environment Science, 2006, 25(Suppl): 269-271
- [17] 周世萍, 段昌群, 余泽芬, 等. 毒死蜱在土壤中的残留和淋溶动态. 生态环境, 2008, 17(2): 619-622. Zhou S P, Duan C Q, Yu Z F, et al. The residual dynamics and leaching dynamics of chlorpyrifos in soil (In Chinese). Ecology and Environment, 2008, 17(2): 619-622
- [18] 凌婉婷, 朱利中, 高彦征, 等. 植物根对土壤中 PAHs 的吸收及预测. 生态学报, 2005, 25(9): 2 320-2 325. Ling W T, Zhu L Z, Gao Y Z, et al. Root uptake and its prediction model of PAHs from soils (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(9): 2 320-2 325
- [19] Paterson S, Mackay D, Mcfarlane C. A model of organic chemical uptake by plants from soil and the atmosphere. Environmental Science and Technology, 1994, 28, 2 259-2 266
- [20] Su Y H, Zhu Y G. Bioconcentration of atrazine and chlorophenols into roots and shoots of rice seedlings. Environmental Pollution, 2006, 139: 32-39
- [21] Simonich S L, Hites R A. Organic pollutant accumulation in vegetation. Environmental Science and Technology, 1995, 29(12): 2 905-2 914
- [22] Ngan C K, Cheah U B, Wan Abdullah W Y, et al. Fate of chlorothalonil, chlorpyrifos and profenofos in a vegetable farm in Cameron highlands, Malaysia. Water, Air and Soil Pollution: Focus, 2005, 5: 125-136
- [23] Collins C, Fryer M, Grosso A. Plant uptake of non-ionic organic chemicals. Environmental Science and Technology, 2006, 40: 45-52

## UPTAKE AND TRANSLOCATION OF CHLORPYRIFOS RESIDUES IN SOIL BY *BRASSICA CHINENSIS*

Zhang Zhiyong<sup>1</sup> Zhong Guiqin<sup>2</sup> Yu Xiangyang<sup>1</sup> Wang Donglan<sup>1</sup> Zhang Cunzheng<sup>1</sup> Liu Xianjin<sup>1\*</sup>

(1 Key Laboratory of Food Safety and Quality of Jiangsu Province/Key Laboratory of Food Safety Monitoring and Management of Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China)

(2 Jiangwang Middle School of Yangzhou, Yangzhou, Jiangsu 225000, China)

**Abstract** A pot experiment with fortified soils was carried out exploring effect of chlorpyrifos on growth of *Brassica chinensis*, degradation rate of the pesticide in different culture soils, and its uptake and translocation in the plant, so as to provide a theoretical basis for risk assessment of its residue in vegetables and production of safety vegetables. Results show that chlorpyrifos high in concentration ( $>50.0 \text{ mg kg}^{-1}$ ) inhibited significantly growth of the plant, as compared to control. Chlorpyrifos differed in half-life in soil between treatments, ranging from 23.03 to 77.43 d, and its residue in the soils could be absorbed by the roots of *Brassica chinensis* and translocated to shoots. With



the pesticide in the soil rising in concentration, its residue in vegetable root, stem and leaf increased, being the highest in the roots and the least in the leaf. Amount of chlorpyrifos residues in root was the maximum, but in leaf was minimum. The residues of chlorpyrifos in vegetable root, stem and leaf displayed a significant positive linear relationship with the primary residue in the soil, which could be expressed in the following equations:  $C_{\text{root}} = 0.0251C_{\text{soil}} - 0.2358$ ,  $C_{\text{stem}} = 0.0123C_{\text{soil}} - 0.0517$  and  $C_{\text{leaf}} = 0.0007C_{\text{soil}} + 0.0115$ . To realize end-to-end control of pesticide residue in vegetables from field to table, and to ensure production and supply of hazard-free safety vegetables, it is critical to monitor pesticide residues in the soils of the production bases for control at the source.

**Key words** *Brassica chinensi*; Soil; Chlorpyrifos; Phytotoxicity; Absorption and translocation