

# 灭线磷在稻田土壤和田水中的降解动态和残留分析

陈小军<sup>1,2,3</sup>, 徐汉虹<sup>2,3</sup>, 杨益众<sup>1</sup>, 徐建祥<sup>1</sup>, 张志祥<sup>2,3\*</sup>, 曹洪恩

1. 扬州大学园艺与植物保护学院, 江苏 扬州 225009; 2. 华南农业大学//天然农药与化学生物学教育部重点实验室, 广东 广州 510642;

3. 华南农业大学昆虫毒理研究室, 广东 广州 510642

**摘要:** 采用气相色谱法研究了 10%灭线磷 GR (颗粒剂, 下同) 中灭线磷在广东省、湖北省两地水稻田土壤和田水中的残留降解动态和最终残留量。研究结果表明灭线磷在土壤和田水中的添加回收率分别为 82.85%~93.70%和 85.03%~98.17%。灭线磷在稻田土壤和田水中降解动态符合一级动力学指数模型, 在广东省和湖北省稻田土壤中的半衰期分别为 9.73 d、10.70 d, 田水中的半衰期分别为 0.83 d、0.85 d。10%灭线磷 GR 以 (1 800 g (a.i.)·hm<sup>-2</sup> 和 2 700 g (a.i.)·hm<sup>-2</sup> 两个剂量施药后, 灭线磷在广东省土壤中的最终残留质量分数为 0.002 3~0.003 4 mg·kg<sup>-1</sup>; 2 700 g (a.i.)·hm<sup>-2</sup> 施药后, 灭线磷在湖北省土壤中的最终残留质量分数为 0.001 7 mg·kg<sup>-1</sup>, 1 800 g (a.i.)·hm<sup>-2</sup> 施药后, 在土壤中未检测出灭线磷。

**关键词:** 灭线磷; 土壤; 田水; 降解; 残留

中图分类号: 131.3

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 06-2151-05

灭线磷是一种非内吸性、无熏蒸作用的杀线虫剂和土壤杀虫剂, 对害虫具有触杀作用; 可用于防治根结线虫、短体线虫、刺线虫、基线虫、剑线虫、毛刺线虫等多种线虫。适用的作物包括: 烟草、花生、甜菜、大豆、柑橘、香蕉、菠萝、草莓、多种蔬菜等经济作物、果蔬作物及观赏植物。对栖息于土壤中的一些鳞翅目、鞘翅目、双翅目害虫的幼虫亦有防治效果<sup>[1-6]</sup>。

灭线磷对动物无致畸、致突变、致癌作用, 但急性毒性较高。灭线磷由法国安万特作物科学公司于 1992 年开始在我国登记。近年来灭线磷用于防治稻瘿蚊效果好, 现在我国登记的益舒宝 10%、5%颗粒剂主要用来防治水稻稻瘿蚊, 益农特 10.33%颗粒剂 (益舒宝+5%锐劲特复配), 主要用来防治水稻稻瘿蚊、二化螟、三化螟等<sup>[1-2]</sup>。由于农药残留是影响农产品质量安全与农业生产环境安全的因素之一, 关于灭线磷的一些环境行为、在作物及土壤中的残留动态等也有一些研究和报道<sup>[7-16]</sup>, 但灭线磷在水稻稻田植株的残留动态和最终残留研究尚未见报道, 近几年, 农民普遍使用 10%颗粒剂来防治水稻稻瘿蚊等害虫, 并且防治效果良好。因此, 探讨灭线磷在水稻植株中的残留降解动态和水稻植株、稻米和米糠的最终残留量, 可为稻米生产中灭线磷残留的控制提供科学依据, 具有较大的生产指导意义。现将研究结果报道如下。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试药剂及试验地点

10%灭线磷 GR (颗粒剂, 下同) 由江苏丰山集团有限公司提供, 其中灭线磷质量分数为 10%。

灭线磷在水稻上的残留试验为一年两地, 试验时间为 2006 年。试验地块选择为: 广东省试验地为广东省广州市农业科学研究所试验水稻田; 湖北省试验地为湖北省潜江市广华监狱农场水稻田。广东省所栽种的水稻品种为“丰优 998”, 湖北省所栽种的水稻品种为桂香粘; 两地的水稻全生育期均在 110 天左右。

### 1.2 试验设计<sup>[17-21]</sup>

#### 1.2.1 降解动态试验

灭线磷在水稻上的降解动态试验设计如下: 试验区面积 240 m<sup>2</sup>, 平均分为两个区, 分别用于 10%灭线磷 GR 处理和空白对照, 每个处理面积各 120 m<sup>2</sup>, 用田基相隔, 周围设保护区, 进行独立排灌。

施药处理时间是水稻的分蘖高峰期。施药前田间先灌入 5~7 cm 水层, 随后堵塞所有的排灌口。

施药方法: 将 10%灭线磷 GR 与化肥 (300 kg·hm<sup>-2</sup>) 充分混合后均匀撒施, 试验剂量是 1 800 g (a.i.)·hm<sup>-2</sup>, 药后田水不排不灌。另设空白对照 (CK), 空白对照仅施化肥, 每处理 4 次重复。

分别于药后 2 小时, 1、3、5、7、14、21 和 28 天, 定时采集分析样本。采用对角线 5 点取样法取样, 每个点内多点采集, 取样量约 2 kg, 样本写上标签和包装好后, 当天运回实验室, 切碎

基金项目: 农业部农药残留试验 (2006); 扬州大学高层次人才引进基金资助

作者简介: 陈小军 (1980 年生), 男, 讲师, 博士, 主要从事农药学教学和科研工作。E-mail: cxj@yzu.edu.cn

\*通讯作者

收稿日期: 2009-09-30

混合均匀,称量留取 500 g,写上标签装保鲜袋,放入 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温冰箱,待处理分析用。

土壤:将泥土转入瓷盆中,放入恒温箱 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干后,用土壤粉碎机粉碎,过 40 目筛,混匀后称量留取 500 g,写上标签装入保鲜袋,放入 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温冰箱,待处理分析。

田水:混合均匀,沉淀过滤后量取 2 000 mL,写上标签装入胶罐中,放入 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存,待处理分析。

### 1.2.2 最终残留试验

将最终残留试验区分成 3 个区组,每个区组划分成 4 个小区,区组间和小区间均构筑宽 $\times$ 高 $=15\times 20\text{ cm}$ 小田基相间隔,并在试验区四周设置保护行,进行独立排灌。

试验田耙平并构筑小区后,分别进行移植,株行距为 $15\times 18\text{ cm}$ ,每穴插 5~8 株。稻株在分蘖的高峰期施药,分别施药,田内灌入 5~7 cm 的水层,堵封所有进出水口。10%灭线磷 GR 试验剂量分别是 $1800\text{ g (a.i.)}\cdot\text{hm}^{-2}$ (常规剂量)和 $2700\text{ g (a.i.)}\cdot\text{hm}^{-2}$ (高剂量),另设空白对照(CK),共 3 个处理,每处理 4 次重复,各个处理随机排列。采用药肥混合法施药,方法是将 10%灭线磷 GR 与化肥( $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )充分混合后,均匀撒施,空白对照仅施化肥,施药后保留水层约 7 天,以后按照高产栽培技术进行正常的田间管理。于水稻完全成熟时,按如下方法在田间进行取样。

土壤:采用对角线 5 点取样法,每点又多点采集 0~5 cm 表土层的表土,每小区采样约 2 kg,取回实验室后,在玻璃网室内自然风干,粉碎过 40 目筛,称量留取 500 g,写上标签,装保鲜袋放入 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温冰箱,待处理测定用。

### 1.3 仪器设备与试剂

Agilent 6890 气相色谱仪(NPD 检测器、自动进样器、化学工作站);BS210S 型电子天平(1/万):德国 Sartorius 公司;FT-103 型土壤粉碎机:黄骅市振兴电器厂;DF-15 型粉碎机:温岭市大德中药机械有限公司;DS-1 高速组织捣碎机:上海标本模型厂;S.C.101 型烘箱:上海实验仪器厂 73-2 型出糙机:浙江温岭粮仪厂;SB-1000 型旋转蒸发器:日本 Eyela 公司,THZ-82A 型振荡机:江苏富华仪器有限公司。

灭线磷标准样( $w=98.1\%$ ):购自美国 chemservice 公司;无水硫酸钠(A.R, $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘 2 h,贮于干燥器中备用)、丙酮(A.R)、氯化钠(A.R)、石油醚(A.R, $60\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 重蒸馏,收集 $60\sim 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 馏分):广州市化学试剂厂;活性炭(层析用,过 30~60 目筛):承德鹏程活性炭有限责任公司;

弗罗里硅土(过 60~100 目筛, $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘 2 h,冷却后贮于干燥器中,使用前在 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘 4 h,加入 5%蒸馏水充分混匀,放置 24 h 后使用):上海润捷化学试剂有限公司;助滤剂 celite 545:UNI CHEM Chemical reagents,中性氧化铝(A.R):过 100~200 目筛,上海五四化学试剂有限公司。

### 1.4 添加回收率与变异系数

在一定量的空白土壤和田水对照样本中,分别添加 3 个不同浓度的灭线磷标准品,每个浓度 4 个重复。方法的准确度以全过程标准添加回收率来衡量,方法的精确度以测定结果的变异系数来衡量。

### 1.5 样品的制备及净化

#### 1.5.1 土样

称取 20.0 g 土样,加入 80 mL 丙酮,超声波振荡提取 15 min 后减压抽滤,并用 40 mL 丙酮洗涤土壤滤渣,合并滤液,转入 500 mL 分液漏斗中,加入 2%无水硫酸钠水溶液 150 mL,每次用 50 mL 石油醚萃取 3 次,弃去水相,有机相经无水硫酸钠脱水后用真空旋转蒸发器蒸发近干,用石油醚定容至 5 mL,柱层析净化。每个样品重复 4 次。

在层析柱中依次填入 2 cm 厚的无水硫酸钠、5.0 g 中性氧化铝、0.5 g 活性炭和 2 cm 厚的无水硫酸钠,先用 20 mL 石油醚预淋洗,再用 50 mL 丙酮、正己烷混合液(1:9, V/V)混合液淋洗,收集淋洗液,浓缩至近干,用石油醚定容至 5 mL,待测。

#### 1.5.2 水样

用布氏漏斗两层滤纸减压抽滤,供提取。量取水 100 mL,转入 500 mL 分液漏斗中,加入 2%无水硫酸钠水溶液 150 mL,每次用 50 mL 石油醚萃取 3 次,弃去水相,有机相经无水硫酸钠脱水后用真空旋转蒸发器蒸至近干,用石油醚定容至 5 mL,待测。

### 1.6 色谱条件<sup>[12-13,15]</sup>

色谱柱:DB-1701,  $30\text{ m}\times 0.32\text{ mm (id)}\times 1.0\text{ }\mu\text{m}$  石英毛细管柱;检测器:氮磷检测器(NPD),检测器温度:柱温初始温度 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,保持 4 分钟,以 $40\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升至 $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,再以 $30\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升至 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,保持 4 min,进样口温度 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,检测温度 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;气体流量:氮气(纯度 99.99%) $2.0\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,氢气 $3.0\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,空气 $60\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,分流进样,分流比 3:1;进样量 1  $\mu\text{l}$ ;

### 1.7 计算

农药降解反应动力学方程按一级动力学方程计算:

$$w_t = w_0 e^{-Kt}, \quad t_{1/2} = \frac{\ln 2}{K}$$

式中： $t_{1/2}$  为光解半衰期， $K$  为光降解速率常数， $w_0$  为灭线磷的初始浓度， $w_t$  为  $t$  时刻灭线磷的残存浓度。

## 2 结果与分析

### 2.1 标准曲线绘制

准确称取标准品灭线磷，用石油醚 II 溶解并定容成工作母液。用石油醚 II 配制成 0.797 0、0.398 5、0.199 3、0.099 6、0.024 9 和 0.012 5  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  系列浓度标准液，在上述色谱操作条件下分别进样 1.0  $\mu\text{L}$ ，以灭线磷质量 (ng) 为  $x$  轴、峰面积为  $y$  轴，绘出标准曲线，灭线磷剂量在 0.012 5~0.797 0 ng 之间呈线性关系，线性方程为  $y=562\,211x+11\,588$ ，相关系数为 0.993 2。

根据气相色谱仪系统产生噪音信号的 3 倍，所检测的灭线磷的最低检出量为 0.01 ng。

以样本的取样量土壤 20 g，经过提取和柱层析后定容 1 mL，取田水 100 mL，经过提取后定容至 5 mL，气相检测时所有处理进样量均为 1.0  $\mu\text{L}$ ，土壤和田水中灭线磷的最低检出浓度分别 0.000 5 和 0.000 5  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。按以上分析条件测定，灭线磷的相对保留时间约 9.06 min。

### 2.2 添加回收率与变异系数

土壤和田水各样本中灭线磷的添加回收率是 82.85%~93.70% 和 85.03%~98.17% (见表 1)。结果表明，各样本的添加回收率和变异系数在允许范围内，符合农药残留分析的要求。

表 1 灭线磷的添加回收率

Table 1 The recovery of ethoprophos from paddy soil and paddy water

样品	添加浓度/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	平均回收率/%	标准偏差	变异系数/%
土壤	0.1	93.70	2.75	2.93
	0.01	85.95	2.81	3.27
	0.001	82.85	3.77	4.55
田水	0.1	98.17	3.08	3.14
	0.01	92.69	2.74	2.96
	0.001	85.03	3.66	4.30

表内数字是 4 次重复平均值。

### 2.3 灭线磷在土壤和田水中的降解动态

#### 2.3.1 灭线磷在土壤中的降解动态

灭线磷在土壤消解动态结果表明：广东省土壤中的灭线磷原始附着量是 0.047 2  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ， $w_t=0.085\,3e^{-0.0712t}$ ，半衰期  $t_{1/2}=9.73$  天， $r=0.977\,5$ 。灭线磷在广东省土壤中的消解动态见图 1。湖北省土壤中的灭线磷原始附着量是 0.052 2  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ， $w_t=0.072\,7e^{-0.0648t}$ ，半衰期  $t_{1/2}=10.70$  天， $r=0.988\,4$ 。灭线磷在湖北省土壤中的消解动态见图 2。

#### 2.3.2 灭线磷在田水中的消解动态结果

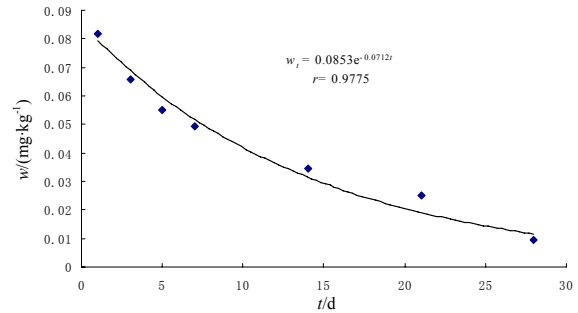


图 1 灭线磷在土壤中的降解动态 (广东省)  
Fig.1 Degradation dynamics of ethoprophos in paddy soil (Guangdong province)

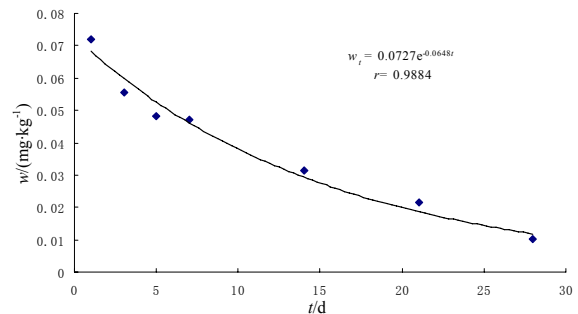


图 2 灭线磷在土壤中的降解动态 (湖北省)  
Fig.2 Degradation dynamics of ethoprophos in paddy soil (Hubei province)

灭线磷在田水中消解动态结果表明：广东省稻田田水中的灭线磷原始附着量是 2.897 5  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ， $w_t=1.5801e^{-0.8307t}$ ，半衰期  $t_{1/2}=0.83$  天， $r=0.988\,2$ 。灭线磷在广东省田水中的消解动态见图 3。湖北省稻田田水中的灭线磷原始附着量是 3.456 3  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ， $w_t=1.790\,5e^{-0.810\,9t}$ ，半衰期  $t_{1/2}=0.85$  天， $r=0.986\,3$ 。灭线磷在湖北省田水中的消解动态见图 4。

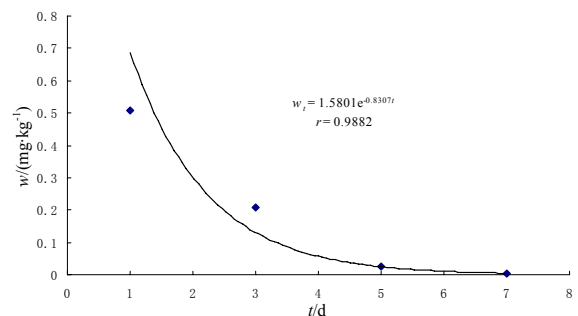


图 3 灭线磷在田水中的降解动态 (广东省)  
Fig.3 Degradation dynamics of ethoprophos in paddy water (Guangdong province)

### 2.4 灭线磷在土壤中最终残留测定结果

10%灭线磷 GR 以 1 800 g (a.i.) $\cdot\text{hm}^{-2}$  和 2 700 g (a.i.) $\cdot\text{hm}^{-2}$  两个剂量施药，灭线磷在广东省土壤中的最终残留质量分数为 0.002 3~0.003 4  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ；2 700 g (a.i.) $\cdot\text{hm}^{-2}$  施药后，灭线磷在湖北省土壤中

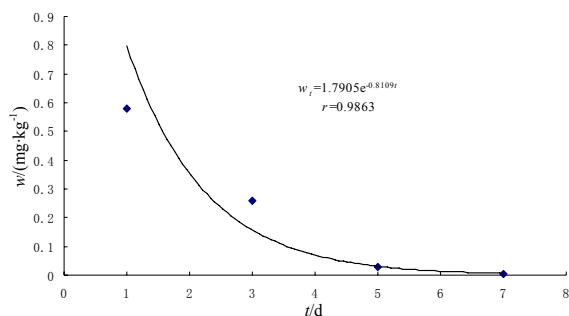


图4 灭线磷在田水中的降解动态(湖北省)

Fig.4 Degradation dynamics of ethoprophos in paddy water (Hubei province)

的最终残留质量分数为  $0.00117 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,  $1800 \text{ g (a.i.)}\cdot\text{hm}^{-2}$  施药后, 土壤中未检测出灭线磷。灭线磷在两地土壤中的最终残留结果见表 2。

表2 灭线磷在稻田土壤中最终残留量

Table 2 The final residual of ethoprophos in the paddy soil

施药剂量( $\text{g(a.i.)}\cdot\text{hm}^{-2}$ )	灭线磷残留量( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	
	广东省	湖北省
1 800	0.002 3	未检出
2 700	0.003 4	0.001 7
CK	未检出	未检出

表内数字是4次重复平均值。

### 3 讨论

灭线磷在水稻稻田土壤、田水中降解速率是有差别的, 灭线磷的降解动态符合一级动力学指数模型。灭线磷在广东和湖北水稻稻田土壤中的半衰期分别为 9.73 d、10.70 d; 灭线磷在广东省和湖北省水稻田水中的半衰期分别为 0.83 d、0.85 天。 $10\%$ 灭线磷 GR 以  $1800 \text{ g (a.i.)}\cdot\text{hm}^{-2}$  和  $2700 \text{ g (a.i.)}\cdot\text{hm}^{-2}$  两个剂量施药, 灭线磷在广东省土壤中的最终残留质量分数为  $0.0023\sim 0.0034 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;  $2700 \text{ g (a.i.)}\cdot\text{hm}^{-2}$  施药后, 灭线磷在湖北省土壤中的最终残留质量分数为  $0.00117 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;  $1800 \text{ g (a.i.)}\cdot\text{hm}^{-2}$  施药后, 土壤中未检测出灭线磷。

由于灭线磷是防治水稻稻瘿蚊的良好药剂,  $10\%$ 灭线磷 GR 在实际应用时, 建议使用剂量是  $1800\sim 2700 \text{ g (a.i.)}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 在此使用剂量下灭线磷对水稻苗及环境是安全的。我国制定的灭线磷在大米、花生、马铃薯中的最高残留限量 (MRL) 是  $0.02 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ <sup>[22]</sup>。我国、欧盟食品安全局、FAO/WHO 规定灭线磷的每日允许摄入量 (ADI) 分别为  $0.005 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 、 $0.005 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$  和  $0.003 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$  也是科学合理的。

### 4 结论

采用气相色谱法研究了  $10\%$ 灭线磷 GR 中灭线磷在广东省、湖北省两地水稻田土壤和田水中

的残留降解动态和最终残留量。研究结果表明灭线磷在稻田土壤和田水中降解动态符合一级动力学指数模型, 在广东省和湖北省稻田土壤中的半衰期分别为 9.73 d、10.70 d, 田水中的半衰期分别为 0.83 d、0.85 d。 $10\%$ 灭线磷 GR 以  $1800 \text{ g (a.i.)}\cdot\text{hm}^{-2}$  和  $2700 \text{ g (a.i.)}\cdot\text{hm}^{-2}$  两个剂量施药后, 灭线磷在广东省土壤中的最终残留质量分数为  $0.0023\sim 0.0034 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;  $2700 \text{ g (a.i.)}\cdot\text{hm}^{-2}$  施药后, 灭线磷在湖北省土壤中的最终残留质量分数为  $0.00117 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,  $1800 \text{ g (a.i.)}\cdot\text{hm}^{-2}$  施药后, 在土壤中未检测出灭线磷。

致谢: 欧阳素焕、何启泳和邓妙贞同学为本研究提供帮助, 特此致谢!

### 参考文献:

- [1] 周学良, 朱良天. 精细化学品大全(农药卷)[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2000.  
ZHOU Xueliang, ZHU Liangtian. Fine Chemical Encompassing (pesticide section)[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 2000.
- [2] 张敏恒. 新编农药商品手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.  
ZHANG Minheng. New Edition Pesticide Commodity Manual[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [3] 张广民, 朱汉城, 于金凤, 等.  $10\%$ 灭线磷防治番茄根结线虫病试验[J]. 农药, 2002, 41(2): 29-30.  
ZHANG Guangmin, ZHU Hancheng, YU Jinfeng, et al. Testing of controlling tomato root knot nematode disease by  $10\%$  ethoprophos[J]. Agrochemicals, 2002, 41(2): 29-30.
- [4] 李云珍, 周秀莹.  $10\%$ 灭线磷颗粒剂防治水稻稻瘿蚊试验[J]. 农资科技, 2003, 2: 22-23.  
LI Yunzhen, ZHOU Xiuying. Test of controlling rice gall midge by  $10\%$  ethoprophos granules[J]. Agricultural Science and Technology, 2003, 2: 22-23.
- [5] 钱省, 史明武, 华小平, 等.  $5\%$ 灭线磷颗粒剂防治番茄根结线虫病试验[J]. 上海蔬菜, 2007, 5: 115.  
QIAN Sheng, SHI Mingwu, HUA Xiaoping, et al. Testing of controlling tomato root knot nematode by  $5\%$  ethoprophos granules[J]. Shanghai Vegetables, 2007, 5: 115.
- [6] ROBERT J A, JULIUS F. Uptake of ethoprop (mopap) by ten vegetables grown in soil treated for control of nematodes[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1978, 26(1): 42-45.
- [7] HUNT T W, LEIDY R B, SHEETS T J, et al. Residues of ethoprop in eight vegetables[J]. Bulletin of Environment Contamination and Toxicology, 1981, 27: 84-89.
- [8] ALFONSO D M, PATRIZIA P, IVANO CAMONI, et al. Selective, solid-matrix dispersion extraction of organophosphate pesticide residues from milk[J]. Journal of Chromatography A, 1996, 754: 497-506.
- [9] DWIGHT E, ROBINSON U, AJAI M, et al. Fate and transport of ethoprophos in the Jamaican environment[J]. The Science of the Total Environment, 1999, (237/238): 373-378.
- [10] DIMITRIOS G, KARPOUZAS, ALLAN W. Factors influencing the ability of *Pseudomonas putida* epl to degrade ethoprophos in soil[J].

- Soil Biology Biochemistry, 2000, 32: 1753-1762.
- [11] 吴春先, 吕潇, 慕卫, 等. 环境条件和微生物对灭线磷降解的影响[J]. 农药学报, 2002, 4(1): 45-51.  
WU Chunxian, LV Xiao, MU Wei, et al. Effect of environmental conditions and microbes on degradation of ethoprophos in soil[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2002, 4(1): 45-51.
- [12] 张世安, 慕立义, 王开运, 等. 灭线磷在土壤及甘薯中残留分析方法及残留量研究[J]. 农药, 1991, 31(4): 34-36.  
ZHANG Shian, MU Liyi, WANG Kaiyun, et al. Residue analysis methods and residues of ethoprophos in sweet potatoes and soil[J]. Agrochemicals, 1991, 31(4): 34-36.
- [13] 吴春先, 慕卫, 刘峰, 等. 番茄和土壤中灭线磷的残留动态研究[J]. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2002, 27(5): 680-684.  
WU Chunxian, MU Wei, LIU Feng, et al. Studies of the dynamics of ethoprophos residue in tomato and soil[J]. Journal of Southwest Agricultural University: Natural Science, 2002, 27(5): 680-684.
- [14] 吴春先, 慕立义, 吕潇, 等. 灭线磷在3种土壤中移动性研究[J]. 农药科学与管理, 2003, 24(4): 9-13.  
WU Chunxian, MU Liyi, LV Xiao, et al. Studies on the mobility of ethoprophos in three kinds of soil[J]. Pesticide and Administration, 2003, 24(4): 9-13.
- [15] 汪伟, 崔秀柱. 灭线磷的高效液相色谱分析[J]. 农药, 2009, 48(6): 433-434.  
WANG Wei, CUI Xiuzhu. Analysis of ethoprophos by HPLC[J]. Agrochemicals, 2009, 48(6): 433-434.
- [16] 冯育海. 灭线磷分析方法浅探[J]. 农药科学与管理, 2003, 24(10): 3-5.  
FENG Yuhai. Determination of ethoprop by GC[J]. Pesticide and Administration, 2003, 24(10): 3-5.
- [17] 农业部农药检定所. 农药残留量实用检测方法手册[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995.  
Institute for the Control of Agrochemicals, Ministry of Agriculture. Pesticide Residue Practical Detection Method Manual[M]. Beijing: China Agriculture Science and Technology Press, 1995.
- [18] 中华人民共和国农业行业标准: 农药残留试验准则 NY/T788-2004[S]. 中华人民共和国农业部.  
Agriculture Industry Standard of the People's Republic of China: Pesticide Residue Test Criterion NY/T788-2004[S]. Ministry of Agriculture of the People's Republic of China.
- [19] 杨晓云, 刘新清, 徐汉虹, 等. 苯噻草胺在水稻上的残留动态分析[J]. 华中农业大学学报: 自然科学版, 2006, 25(6): 622-625.  
YANG Xiaoyun, LIU Xinqing, XU Hanhong, et al. Dynamics analysis on residues of mefenacet in rice[J]. Journal of Huazhong Agricultural University: Natural Science, 2006, 25(6): 622-625.
- [20] 陈小军, 程东美, 徐汉虹, 等. 丁草胺在水稻上的降解动态及残留分析[J]. 华中农业大学学报: 自然科学版, 2009, 28(3): 286-290.  
CHEN Xiaojun, CHENG Dongmei, XU Hanhong, et al. Degradation dynamics and residues analysis of butachlor in rice plant[J]. Journal of Huazhong Agricultural University: Natural Science, 2009, 28(3): 286-290.
- [21] 陈小军, 程东美, 徐汉虹, 等. 苯·丁可湿性粉剂中丁草胺在稻田土壤和田水中残留动态[J]. 生态环境, 2008, 17(6): 2195-2200.  
CHEN Xiaojun, CHENG Dongmei, XU Hanhong, et al. Residues dynamics of butachlor of bensulfuron-methyl-butachlor wettable powder in paddy soil and paddy water[J]. Ecology and Environment, 2008, 17(6): 2195-2200.
- [22] 张志恒. 农药合理使用规范和最高残留限量标准[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.  
ZHANG Zhiheng. The Rational Use Norms of Pesticides and Standards for Maximum Residue Limits[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007.

## Degradation dynamics and residues analysis of ethoprophos in paddy soil and paddy water

CHEN Xiaojun<sup>1,2,3</sup>, XU Hanhong<sup>2,3</sup>, YANG Yizhong<sup>1</sup>, XU Jianxiang<sup>1</sup>, ZHANG Zhixiang<sup>2,3</sup>, CAO Hongen<sup>1</sup>

1. School of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China;

2. The Key Lab of Natural Pesticide and Chemical Biology, Ministry of Education (South China Agricultural University), Guangzhou 510642, China;

3. Laboratory of Insect Toxicology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

**Abstract:** Degradation dynamics and terminal residue of ethoprophos of 10% ethoprophos GR in paddy soil and paddy water of Guangdong province and Hubei province in 2006 were investigated by gas chromatography. The results showed that the recoveries of ethoprophos from paddy soil and paddy water was 82.85% ~ 93.70% and 85.03% ~ 98.17%, respectively. Degradation dynamic equations of ethoprophos in paddy soil and paddy water was based on first-order reaction dynamic equations. The half-life of degradation of ethoprophos was 9.73 d and 10.70 d in paddy soil of Guangdong province and Hubei province, respectively. The half-life of degradation of ethoprophos was 0.83 d and 0.85 d in paddy water of Guangdong province and Hubei province, respectively. The final residual of ethoprophos in paddy soil of Guangdong province was 0.002 3~0.003 4 mg·kg<sup>-1</sup> when using dosages of 10% ethoprophos GR were 1 800 g·(a.i.)·hm<sup>-2</sup> and 2 700 g·(a.i.)·hm<sup>-2</sup> in Guangdong province. The final residual of ethoprophos in paddy soil of Hubei province was 0.001 7 mg·kg<sup>-1</sup> when using dosage of 10% ethoprophos GR was 2 700 g·(a.i.)·hm<sup>-2</sup>, while ethoprophos in paddy soil of Hubei province was not detected when using dosage of 10% ethoprophos GR was 1 800 g·(a.i.)·hm<sup>-2</sup>.

**Key words:** ethoprophos; paddy soil; paddy water; degradation; residue