

灭线磷在水稻上的降解动态和残留分析

陈小军^{1 2} 徐汉虹¹ 张志祥^{1*} 杨益众² 徐建祥² 王爽²

(1. 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; 2. 扬州大学 园艺与植物保护学院 江苏 扬州 225009)

摘要:采用气相色谱法研究 w (灭线磷) = 10% GR (颗粒剂) 在广东省、湖北省两地水稻植株的降解动态和植株、稻米和米糠中最终残留量。结果表明,灭线磷在水稻植株、稻米和米糠中的添加回收率分别为 82.60% ~ 92.24% 83.29% ~ 91.60% 和 83.74% ~ 90.57%。灭线磷在植株中降解动态符合一级动力学指数模型,在广东省和湖北省水稻植株茎叶的半衰期分别为 6.01 d 和 5.91 d。 w (灭线磷) = 10% GR 以有效成分 2 700 g/hm² 和 1 800 g/hm² 两个剂量施药后,在广东省和湖北省两地水稻植株中均未检出灭线磷;以有效成分 2 700 g/hm² 剂量施药后,广东省和湖北省两地稻米中的灭线磷的残留量分别为 0.004 7 mg/kg 和 0.004 1 mg/kg,而以有效成分 1 800 g/hm² 剂量施药后,广东省和湖北省两地稻米中均没有检测出灭线磷;以有效成分 2 700 g/hm² 和 1 800 g/hm² 两个剂量施药后,广东省的米糠中均未检测出灭线磷。

关键词:灭线磷;水稻;降解;残留

中图分类号:S482.3⁺3;TS207.5⁺3 文献标识码:A 文章编号:1000-2286(2010)01-0067-06

Degradation Dynamics and Residue Analysis of Ethoprophos in Rice Plant

CHEN Xiao-jun^{1 2}, XU Han-hong¹, ZHANG Zhi-xiang^{1*},
YANG Yi-zhong², XU Jian-xiang², WANG Shuang²

(1. The Key Lab of Natural Pesticide and Chemical Biology, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: Degradation dynamics and terminal residue of ethoprophos of 10% ethoprophos GR in rice plant in Guangdong Province and Hubei Province in 2006 were investigated by gas chromatography. The results showed that the recoveries of ethoprophos from rice plant, rice grain and rice bran were 82.60% ~ 92.24%, 83.29% ~ 91.60% and 83.74% ~ 90.57%, respectively. The degradation dynamic equations of ethoprophos in rice plant were based on the first-order reaction dynamic equations. The half-life periods of degradation of ethoprophos were 6.01 d and 5.91 d in rice plant in Guangdong Province and Hubei Province, respectively. Ethoprophos was not detected in rice plant in Guangdong Province and Hubei Province after using 10% ethoprophos GR with dosages of 1 800 g/hm² (a. i.) and 2 700 g/hm² (a. i.). The final residues of ethoprophos in the rice grain in Guangdong Province and Hubei Province were 0.004 7 and 0.004 1 mg/kg after using 10% ethoprophos GR with dosage of 2 700 g/hm² (a. i.), while ethoprophos was not detected in rice grain in Guangdong Province and Hubei Province after using of 10% ethoprophos GR with a dosage of 1 800 g/hm² (a. i.).

收稿日期:2009-10-16 修回日期:2009-12-10

基金项目:农业部农药残留试验项目(2006)和扬州大学高层次人才引进基金(2009~2010)资助项目

作者简介:陈小军(1980-),男,讲师,博士,主要从事农药学研究, E-mail:cxj@yzu.edu.cn; * 通讯作者:张志祥。

Ethoprophos was not detected in rice bran in Guangdong Province after using 10% ethoprophos GR with dosages of 1 800 g/hm² (a. i.) and 2 700 g/hm² (a. i.), while the final residue of ethoprophos in rice bran in Hubei Province after using 10% ethoprophos GR with a dosage of 2 700 g/hm² (a. i.) and ethoprophos was not detected in rice bran in Hubei Province after using 10% ethoprophos GR with a dosage of 1 800 g/hm² (a. i.).

Key words: ethoprophos; rice plant; degradation; residue

灭线磷(ethoprophos)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^[1-6]。

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,现在我国登记的主要用来防治水稻稻瘿蚊;益农特主要用来防治水稻稻瘿蚊、二化螟、三化螟等^[1-2]。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^[7-16],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 w (灭线磷)=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。

1 材料与方 法

1.1 供试药剂及试验地点

w (灭线磷)=10% GR(颗粒剂)由江苏丰山集团有限公司提供。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: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;两地水稻的全生育期均为110 d左右。

1.2 试验设计^[17-21]

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 m²,平均分为两个区,分别用于 w (灭线磷)=10% GR处理和空白对照,每个处理面积各120 m²,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 w (灭线磷)=10% GR与化肥(300 kg/hm²)充分混合后均匀撒施,试验剂量是1 800 g/hm²(有效成分,全文中试验剂量均以有效成分计),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 h及1 3 5 7 14 21 28 d,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,切碎混合均匀,称量留取500 g,写上标签装保鲜袋,放入-20℃低温冰箱,待处理分析。水稻植株:切碎混合均匀,称取500 g,写上标签装保鲜袋,放入-20℃低温冰箱,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×高=15 cm×20 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,分别进行移栽,株行距为15 cm×18 cm,每穴5~8株。稻株在分蘖高峰期施药,施药前,田内灌入5~7 cm的水层,堵封所有进出水口。 w (灭线磷)=10% GR试验剂量分别是1 800 g/hm²(常规剂量)和2 700 g/hm²(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 w (灭线磷)=10% GR与化肥(300 kg/hm²)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 d,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。植株及稻谷:采用对角线5点取样法,每点又多点收割地上水稻全株,每小区收割水稻全株约3 kg,分别用密封袋包装好后运回实验室,脱粒,将稻谷和植株分开。植株切碎,混匀后进行缩分称量留取约500 g,写上标签,装保鲜袋放入-20℃低温冰箱中保存,待

处理测定用。稻谷在玻璃网室中自然晒干,然后进行筛选,剔除空粒和不饱满的籽粒,余下饱满的谷粒进行缩分,保留约 500 g,写上标签,装保鲜袋放入 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温冰箱中保存,待处理测定用。米糠:谷粒先用小型出糙机脱壳,将谷壳和糙米分开,然后用粉碎机分别把谷壳和糙米粉碎成米糠和糙米粉,称取米糠供提取。

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)公司;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;SC-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。

灭线磷标样 [$w(\text{灭线磷}) = 98.1\%$]: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, $30\sim 60$ 目):承德鹏程活性炭有限责任公司;弗罗里硅土($60\sim 100$ 目, $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘 2 h, 冷却后贮于干燥器中,使用前在 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘 4 h, 加入体积分数 $\varphi(\text{蒸馏水}) = 5\%$ 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): $100\sim 200$ 目, 上海五四化学试剂有限公司。

1.4 添加回收率与变异系数

在一定量的空白植株、米糠和稻米对照样本中,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 植株 将水稻植株用洁净的刀切成小片,再用组织捣碎机捣碎,称取 10.0 g 水稻植株样品置于 250 mL 具塞三角瓶中,加入 80 mL 丙酮浸泡过夜,超声波振荡 15 min 后减压抽滤,并用 80 mL 丙酮分 3 次洗涤水稻滤渣,合并滤液,转入 500 mL 分液漏斗中。加入 $\rho(\text{无水硫酸钠}) = 2\%$ 水溶液 200 mL,用 50、50、50 mL 石油醚萃取 3 次,弃取水相,有机相经无水硫酸钠脱水后用真空旋转蒸发器蒸至 5 mL,待柱层析净化。每个样品重复 3 次。水稻植株样品须经过玻璃层析柱,依次加入 2 g 无水硫酸钠、6 g 弗罗里硅土和 0.5 g 活性炭组成的混合吸附剂,轻微振实后以 2 g 无水硫酸钠封顶。将样品定量转移上柱后,先用 50 mL 石油醚淋洗,弃去淋洗液,用体积分数 $\varphi(\text{二氯甲烷}) = 15\%$ 的石油醚 120 mL 洗脱,收集洗脱液先蒸至近干,再用氮气流吹干,用石油醚定容至 1 mL,待测。

1.5.2 稻米 谷粒先用小型出糙机脱壳后,将谷壳和稻米分开,然后用粉碎机分别把谷壳和稻米粉碎成米糠和稻米。称取 20.0 g 水稻稻米样品置于 250 mL 具塞三角瓶中,加入 80 mL 丙酮浸泡过夜,超声波振荡 15 min 后减压抽滤,并用 80 mL 丙酮分 3 次洗涤水稻滤渣,合并滤液,转入 500 mL 分液漏斗中,加入 $\rho(\text{无水硫酸钠}) = 2\%$ 水溶液 200 mL,用 50、50、50 mL 石油醚萃取 3 次,弃取水相,有机相经无水硫酸钠脱水后用真空旋转蒸发器蒸至 5 mL,待柱层析净化。每个样品重复 4 次。使用同 1.5.1 的方法净化处理、待测。

1.5.3 米糠 称取 10 g 水稻米糠样品置于 250 mL 具塞三角瓶中,加入 80 mL 丙酮浸泡过夜,超声波振荡 15 min 后减压抽滤,并用 80 mL 丙酮分 3 次洗涤米糠滤渣,合并滤液,转入 500 mL 分液漏斗中,加入 $\rho(\text{无水硫酸钠}) = 2\%$ 水溶液 200 mL,用 50、50、50 mL 石油醚萃取 3 次,弃取水相,有机相经无水硫酸钠脱水后用真空旋转蒸发器蒸至 5 mL,待柱层析净化。每个样品重复 4 次。使用同 1.5.1 的方法净化处理、待测。

1.6 色谱条件^[12-13,15]

色谱柱:DB-1701 $30\text{ m} \times 0.32\text{ mm}(\text{id}) \times 1.0\text{ }\mu\text{m}$ 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 min,以 $40\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 $230\text{ }^{\circ}\text{C}$,再以 $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$,保持 4 min,进样口温度 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$,检测温 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$;气体流量:氮气(纯度 99.99%) $2.0\text{ mL}/\text{min}$,氩气 $3.0\text{ mL}/\text{min}$,空气 $60\text{ mL}/\text{min}$,分流进样,分流比 3:1;进样量 $1\text{ }\mu\text{L}$ 。

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:

$$C_t = C_0 e^{-Kt} \quad (1)$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{K} \quad (2)$$

式中: $T_{1/2}$ 为光解半衰期; K 为光降解速率常数; C_0 为灭线磷的初始浓度; C_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、0.012 5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 系列质量浓度标准液, 在上述色谱操作条件下分别进样 1.0 μL , 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 呈线性关系, 线性方程为 $y = 562\,211x + 11\,588$, 相关系数为 0.993 2。

以样本的取样量植株 10 g、米糠 10 g、稻米 20 g 经过提取和柱层析后定容 1 mL, 气相检测时所有处理进样量均为 1.0 μL 。植株、米糠和稻米中灭线磷的最低检出质量分数分别是 0.001、0.001、0.000 5 mg/kg。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

水稻植株、稻米和米糠中添加一定质量的灭线磷标准品, 各样本的添加回收率和变异系数分别是 82.60% ~ 92.24%、83.29% ~ 91.60% 和 83.74% ~ 90.57%。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)。

表 1 灭线磷在水稻植株、稻米和米糠中的添加回收率

Tab. 1 The recoveries ethoprophos from rice plant, rice grain and rice bran

样品 Sample	添加浓度 / ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Added concentration	平均回收率 / % Average recovery	标准偏差 Standard deviation	变异系数 / % Coefficient of variation
植株 Rice plant	0.100	92.24	2.94	3.19
	0.010	85.79	3.12	3.64
	0.001	82.60	2.98	3.61
稻米 Rice grain	0.100	91.60	2.92	3.19
	0.010	83.28	2.67	3.21
	0.001	83.29	4.34	5.21
米糠 Rice bran	0.100	90.57	2.88	3.18
	0.010	86.75	2.81	3.24
	0.001	83.74	4.20	5.01

表内数字是 4 次重复平均值。Mean value of four replicates.

2.3 灭线磷在植株中的降解动态

试验结果表明: 灭线磷在广东省植株中的原始附着量是 0.047 8 mg/kg, 降解动力学方程为 $C_t = 0.182\,9e^{-0.1154t}$, 半衰期 $T_{1/2} = 6.01$ d, $r = 0.988\,0$ 。灭线磷在植株中的降解动态见图 1 (以时间 t 为横坐标, 灭线磷的残留浓度 C_t 为纵坐标)。灭线磷在湖北省植株中的原始附着量是 0.052 9 mg/kg, 降解动力学方程为 $C_t = 0.212\,3e^{-0.1172t}$, 半衰期 $T_{1/2} = 5.91$ d, $r = 0.986\,0$, 灭线磷在植株中的降解动态见图 2。

2.4 灭线磷在植株、稻米和米糠中最终残留测定结果

2.4.1 灭线磷在植株中最终残留测定结果 w (灭线磷) = 10% GR 以 1 800 g/hm^2 和 2 700 g/hm^2 两个剂量施药后, 在广东省和湖北省两地水稻植株中均未检出灭线磷, 结果见表 2。

2.4.2 灭线磷在稻米中最终残留测定结果 w (灭线磷) = 10% GR 以 1 800 g/hm^2 和 2 700 g/hm^2 两个剂量施药后, 在 2 700 g/hm^2 时在广东省和湖北省稻米中的灭线磷的残留量分别为 0.004 7 mg/kg 和 0.004 1 mg/kg; 1 800 g/hm^2 在广东省和湖北省两地均没有检测出灭线磷, 结果见表 3。

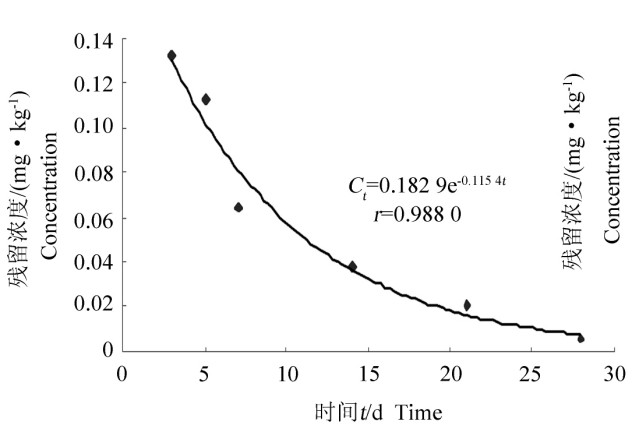


图 1 灭线磷在植株中的降解动态 (广东省)
Fig. 1 Degradation dynamics of ethoprophos in rice plant (Guangdong Province)

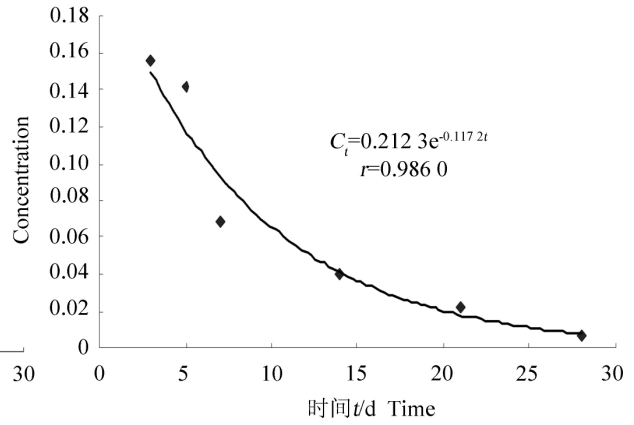


图 2 灭线磷在植株中的降解动态 (湖北省)
Fig. 2 Degradation dynamics of ethoprophos in rice plant (Hubei Province)

表 2 灭线磷在水稻植株中最终残留量

Tab. 2 The final residual of ethoprophos in the rice plant

施药剂量 / (g · hm ⁻²) Application dose	灭线磷残留量 / (mg · kg ⁻¹) Final residual of ethoprophos	
	广东省 Guangdong Province	湖北省 Hubei Province
1 800	未检出 not detected	未检出 not detected
2 700	未检出 not detected	未检出 not detected
CK	未检出 not detected	未检出 not detected

表内数字是 4 次重复平均值。Mean value of four replicates.

表 3 灭线磷在稻米中最终残留量

Tab. 3 The final residual of ethoprophos in the rice grain

施药剂量 / (g · hm ⁻²) Application dose	灭线磷残留量 / (mg · kg ⁻¹) Final residual of ethoprophos	
	广东省 Guangdong Province	湖北省 Hubei Province
1 800	未检出 not detected	未检出 not detected
2 700	0.004 7	0.004 1
CK	未检出 not detected	未检出 not detected

表内数字是 4 次重复平均值。Mean value of four replicates.

2.4.3 灭线磷在米糠中最终残留测定结果 w (灭线磷) = 10% GR 以 1 800 g/hm² 和 2 700 g/hm² 两个剂量施药后, 在广东省的米糠中均没有检测出灭线磷; 在 2 700 g/hm² 施药后在湖北省检测出灭线磷的浓度为 0.002 1 mg/kg, 而 1 800 g/hm² 施药后, 在米糠中未能检测出灭线磷, 结果见表 4。

3 讨论

灭线磷在两地水稻植株中的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。灭线磷在广东省和湖北省两年水稻植株茎叶的半衰期分别为 6.01 5.91 d。 w (灭线磷) = 10% GR 用 2 700, 1 800 g/hm² 两个剂量施药后, 在广东省和湖北省两地水稻植株中均未检出灭线磷; 以 2 700 g/hm² 施药后, 广东省和湖北省两地稻米中灭线磷的残留量分别为 0.004 7 0.004 1 mg/kg, 1 800 g/hm² 剂量施药后, 广东省和湖北省两地稻米中均没有检测出灭线磷; 以 2 700, 1 800 g/hm² 两个剂量施药后, 广东省的米糠中均没有检测出灭线磷, 以 2 700 g/hm² 剂量施药后, 在湖北省稻谷米糠中检测出灭线磷的浓度为 0.002 1, 1 800 g/hm² 剂量施药后, 在米糠中未能检测出灭线磷。

表 4 灭线磷在米糠中最终残留量
Tab. 4 The final residual of ethoprophos in the rice bran

施药剂量 / (g · hm ⁻²) Application dose	灭线磷残留量 / (mg · kg ⁻¹) Final residual of ethoprophos	
	广东省 Guangdong Province	湖北省 Hubei Province
1 800	未检出 not detected	未检出 not detected
2 700	未检出 not detected	0.002 1
CK	未检出 not detected	未检出 not detected

表内数字是 4 次重复平均值。Mean value of four replicates.

根据两地的试验 μ (灭线磷) = 10% GR 按常规用量 (1 800 g/hm²) 和高剂量 (2 700 g/hm²) 使用 1 次后, 灭线磷在稻米中的最终残留量仅为 0.004 1 ~ 0.004 7 mg/kg, 由于灭线磷是防治水稻稻瘠蚊的良好药剂 μ (灭线磷) = 10% GR 在实际应用时, 建议使用剂量是 1 800 ~ 2 700 g/hm² 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 mg/kg。我国、欧盟食品安全局、FAO/WHO 规定灭线磷的每日每 kg 体重允许摄入量 (ADI) 分别为 0.005 0.005 0.003 mg/kg 也是科学合理的^[22]。我国规定的农产品最大残留极限花生 0.02 mg/kg, 马铃薯 0.02 mg/kg, 大米 0.02 mg/kg^[22]; 日本规定最大残留极限橙子 0.005 mg/kg, 苹果 0.01 mg/kg, 大米 0.005 mg/kg; 美国规定最大残留极限马铃薯 0.02 mg/kg。欧盟食品安全局 (EFSA) 规定 ADI (mg/kg): 0.000 4 mg/(kg · d), FAO/WHO 规定为 0.000 3 mg/(kg · d)。

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.
- [2] 张敏恒. 新编农药商品手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 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.
- [4] 李云珍, 周秀莹. 10% 灭线磷颗粒剂防治水稻稻瘠蚊试验 [J]. 农资科技, 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.
- [6] Robert J A, Julius F. Uptake of ethoprop(mocap) 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, Karpouzias, Allan W. Factors influencing the ability of *Pseudomonas putida* epl to degrade ethoprophos in soil [J]. Soil Biology Biochemistry, 2000, 32: 1 753 - 1 762.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [18] 中华人民共和国农业部. 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]. 2004.
- [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.
- [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.
- [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.
- [22] 张志恒. 农药合理使用规范和最高残留限量标准 [S]. 北京: 化学工业出版社, 2007.