

红火蚁防治区农药残留动态规律研究*

于 鑫** 王 磊 曾鑫年 曾 玲***

(华南农业大学红火蚁研究中心, 广州, 510642)

摘 要 【目的】红火蚁 *Solenopsis invicta* 目前的主要防治方法为化学防治, 了解红火蚁防治常用的药剂在绿地环境中的残留动态将有助于我们合理使用药剂。【方法】应用气相色谱建立了红火蚁常用药剂残留的测定方法, 并测定了不同施用类型药剂防治草坪上的红火蚁种群后, 药剂在土壤和草样中的残留动态。

【结果】结果表明 4.5% 高效氯氰菊酯乳油 2 000 倍液在土壤中的原始沉积量分别是 1.903 mg/kg, 草坪草上的沉积量为 7.806 mg/kg。在土壤中的半衰期为 6.31 d, 在草样中的半衰期为 4.86 d。0.096% 氟虫腈粉剂 30 g/巢在土壤中的原始沉积量分别是 0.073 mg/kg, 草坪草上的沉积量为 0.135 mg/kg; 在土壤中的半衰期为 5.57 d, 在草样中的半衰期为 2.96 d。0.015% 多杀菌素 35 g/巢施用后, 未检测出土壤中有杀菌素的残留。【结论】残留测定结果表明高效氯氰菊酯乳油和 0.096% 氟虫腈粉剂在施用后, 一段时间内会在草坪上有残留, 从而导致对草坪上的非靶标节肢动物造成伤害, 而施用 0.015% 多杀菌素药剂则不会对节肢动物群落产生较大的影响。

关键词 红火蚁, 高效氯氰菊酯, 氟虫腈, 多杀菌素, 残留

Residual half-life of pesticides used to control *Solenopsis invicta*

YU Xin** WANG Lei ZENG Xin-Nian ZENG Ling***

(Red Imported Fire Ant Research Centre, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract [Objectives] To assess the persistence in the environment of the residues of pesticides used to control *Solenopsis invicta*. [Methods] A method was developed for analyzing the residues of β -cypermethrin, fipronil and spinosad in soil and grass based on gas chromatography. [Results] The half-life of β -cypermethrin in soil and grass were 6.31 and 4.86 days, respectively, whereas the half-life of fipronil was 5.57 days and 2.96 days, respectively. Spinosad couldn't be detected one day after application. [Conclusion] Fipronil and spinosad are safe to use on lawns.

Key words *Solenopsis invicta*, β -cypermethrin, fipronil, spinosad, residue

红火蚁 *Solenopsis invicta*, 是一种重要的入侵生物, 可以对入侵区域内的农林业生产、人体健康、公共安全和生态环境等方面造成严重威胁。2003 年在中国台湾和 2004 年底在中国大陆发现其危害后, 红火蚁在我国的为害区域呈扩大态势, 目前已入侵了广东、广西、海南、福建、台湾、香港、澳门、云南、四川、重庆、江西、湖南等 12 个省份 (地区) 的累计 156 个县级区域 (陆永跃等, 2014)。

化学防治是目前红火蚁防过程中最常见, 灭杀速度最快的方法 (Williams *et al.*, 2001)。采用的方法主要有毒饵法、撒施粉剂和灌巢等, 以及将毒饵法与其他几种方法结合使用的“二阶段处理法”。目前用于灌巢的药剂主要为高效氯氰菊酯、毒死蜱等, 用于粉剂撒施的药剂有氟虫腈、乙酰甲胺磷等, 用于毒饵诱杀的主要有多杀菌素、茚虫威等。虽然药剂对红火蚁种群有很好控制作用, 但是药剂的使用可能对生境中其他节肢

* 资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金项目 (305712427)

**第一作者 First author, E-mail: 27763967@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: zengling@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2015-11-02, 接受日期 Accepted: 2015-11-12

动物产生不同程度的影响(刘杰等, 2006), 因此评价与监测红火蚁防治的常用药剂在施药区域内土壤及附近植物上的残留动态及使用后的降解规律, 对于合理使用这些药剂有效防控红火蚁, 保护非靶标生物具有重要意义。

国内目前的工作主要集中在评估药剂对红火蚁的毒理, 药剂施用后的降解和残留动态研究还较少。沈鹏等(2008)研究了可用于红火蚁防治的药剂硫氟磺酰胺在红火蚁防治区土壤中的残留动态。研究发现, 农药降解速度受到环境因子的影响, 如土壤理化性质和土壤中有机质含量等。郭敏等(2008)发现氟虫腈在东北黑土、江西红壤和太湖水稻土中的半衰期差异显著, 同时土壤中的微生物对其降解起到主要作用。目前对农药降解的研究环境主要集中在农田生态系统, 而对于红火蚁主要为害的城市绿地报道较少。城市绿地是人们休闲娱乐的主要场所, 因此评估市场上红火蚁防治常用的药剂在绿地环境中的残留动态将有助于我们合理使用药剂, 在控制红火蚁为害的同时, 保障人民群众的健康。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点是在广州市番禺区大学城外环路的草坪, 施药时间为2007年9月12日。试验地距离校园较远, 受到人为干扰较小, 环境隔离较好、生境基本一致。植被为细叶结缕草(又名台湾草) *Zoysia tenuifolia*, 每块面积约为3 000 m², 红火蚁蚁巢密度为每100 m²为4~5个。试验小区面积不小于200 m², 包含活动蚁巢数10个以上。药剂处理前用红色小旗标记已清点的蚁巢, 每个小区间设置隔离带10 m以上, 整个试验区设置10 m的隔离带。

1.2 试验药剂及田间使用量

根据红火蚁化学防治的3种方法, 我们分别选择常用于灌巢的高效氯氰菊酯乳油、市场出售的撒施粉剂0.096%氟虫腈粉剂和毒饵0.015%多杀菌素饵剂为研究对象。

4.5%高效氯氰菊酯(绿福乳油, 广东省江

市大光明农化有限公司), 按推荐使用量先将蚁巢周围施出一条20 cm宽的药带, 其余药液向蚁巢的中心迅速灌入, 每巢使用20 L, 使用量为2 000倍。

0.096%氟虫腈(“红蚁净”粉剂, 广东省昆虫研究所), 施用前先破坏红火蚁蚁巢, 然后按推荐使用量将粉剂均匀施撒在涌出的红火蚁工蚁体表, 每巢用量30 g。

0.015%多杀菌素(“正舒”饵剂, 广东省珠海瑞农植保技术有限公司), 按推荐使用量环施在距离蚁巢中心30~50 cm处, 每巢35 g。

1.3 残留检测土样及草样采集方法

在施药后的1 h、1 d、3 d、5 d、7 d、10 d、14 d、19 d和25 d分别取土壤和细叶结缕草样品测定。土壤采用五点取样法, 以蚁巢为中心, 在蚁巢的范围内取0~30 cm深的土壤, 每巢取50 g左右, 每次取相同的10巢, 带回试验室常温风干, 采用四分法取100 g, 过40目筛, 储存于-20℃冰箱中, 待检。因多杀菌素饵剂有环施在蚁巢周围, 首先用标志旗记录该药剂施用的具体地点, 然后按样品采集时间对施药点进行取样。用剪刀剪取蚁巢范围内的细叶结缕草, 每巢取3 g左右, 每次取相同的10巢, 带回试验室常温风干混匀, 储存于-20℃冰箱中, 待检。

1.4 样品制备方法

1.4.1 仪器设备与试剂 仪器设备: HP6890N气相色谱仪(配有电子检测器(63Ni-ECD)、Agilent 7683自动进样器)、GC6890气相色谱工作站、hp-1701石英毛细管柱(30 m×0.32 mm×0.25 μm)、hp-5石英毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm); HP1100液相色谱仪(可变波长紫外检测器)、C18不锈钢柱(250 mm×4.6 mm×5 μm); 旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂)、BF2000-M氮吹仪(北京八方世纪科技有限公司)、AHYQ恒温振荡器、超声波振荡器、组织粉碎机、200~1 000 μL的移液管, 250 mL分液漏斗、10 mL容量瓶、40目分样筛、250 mL圆底烧瓶, 250 mL三角瓶。

药品试剂: 乙酸乙酯、苯、乙腈、二氯甲烷、

无水硫酸钠、丙酮、正己烷、石油醚(30~60℃,使用前用无水硫酸钠脱水处理)、无水硫酸钠(使用前650℃灼烧2 h活化)、氯化钠均为分析纯。药剂标准品氟虫腈(99.7%)和高效氯氰菊酯(99.8%)购于国家标准物质研究中心,多杀菌素(98.1%),四川药检所提供。

1.4.2 高效氯氰菊酯残留样品制备方法 土样:称取风干后,过40目筛的土壤样品20 g放于250 mL的三角瓶中,加入氟虫腈,添加水平分别为1、0.1、0.01 mg/kg。加入丙酮与水混合淋洗液($V_{\text{丙酮}}:V_{\text{水}}=80:20$)120 mL,超声波振荡1 h,抽滤,将滤液浓缩至10 mL。以下步骤同草样的提取方法。每个处理3个重复。

草样:准确称取5.0 g草样放入匀浆机中,加入50.0 mL乙腈,在匀浆机中高速匀浆2 min后用滤纸过滤,滤液收集到装有5~10 g氯化钠的100 mL具塞量筒中,收集滤液40~50 mL,盖上塞子,剧烈震荡1 min,在室温下静止10 min,使乙腈相和水相分层,每个处理3次重复(周世萍等,2006;刘承兰等,2007)。

净化:从100 mL具塞量筒中吸取10.00 mL乙腈溶液,放入150 mL烧杯中,将烧杯放在水浴锅上加热,杯内缓缓通入氮气或空气流,蒸发近干,加入2.0 mL正己烷,盖上铝箔待检测。将弗罗里矽柱依次用5.0 mL混合溶剂($V_{\text{丙酮}}:V_{\text{正己烷}}=10:90$)、5.0 mL正己烷预淋,当溶剂液面到达柱吸附层表面时,立即倒入样品溶液,用15 mL刻度离心管接收洗脱液,用5.0 mL混合溶剂($V_{\text{丙酮}}:V_{\text{正己烷}}=10:90$)淋洗烧杯后淋洗弗罗里矽柱,并重复1次。将盛有淋洗液的离心管置于氮吹仪上,在水浴温度50℃条件下,氮吹蒸发至近干,用正己烷准确定容至5.0 mL待测。

1.4.3 氟虫腈残留样品制备方法 土样和草样:将过40目筛的土壤样品20 g和剪成约5 cm长的细叶结缕草5.0 g,分别放于250 mL三角瓶中,加入氟虫腈,添加水平为1、0.1、0.01 mg/kg。加入丙酮150 mL,匀浆3 min,抽滤。滤液用旋转蒸发器(水浴温度为45℃)缩至10 mL,移入装有4%NaCl水溶液100 mL的分液漏斗中,依

次用50、30和30 mL二氯甲烷萃取3次。合并萃取液,通过无水硫酸钠层脱水,再用旋转蒸发器浓缩至2 mL(水浴温度为45℃),用氮吹仪吹干,用乙酸乙酯定容至2 mL,待测。每个处理3次重复(何芝兵,2000;陆贻通和周培,2001;罗公树等,2005)。

1.4.4 多杀菌素残留样品制备方法 “正舒”饵剂属于颗粒状饵剂,基本不会粘在草坪草上,而是直接滑落到下面的土壤中,所以多杀菌素的残留动态只研究其在土壤中的残留动态。提取:准确称取土壤20 g,放入250 mL具塞三角瓶中,加100 mL提取液A(甲醇:5%NaCl:1 mol/L NaOH=65:27:8),超声波提取5 min,振荡60 min,过滤,滤液转移到250 mL烧杯中,用提取液A洗涤三角瓶,将洗涤液过滤到烧杯中,并定容至140 mL。取70 mL于分液漏斗中,加30 mL酸性盐溶液(0.16 mol/L HCl+5% NaCl),将PH值调至约为2,加50 mL石油醚萃取,静置2 min待分层,弃石油醚相,保留水相。向分液漏斗中加3 mL 1 mol/L NaOH使PH=14~12,3×50 mL石油醚萃取,石油醚相过无水Na₂SO₄收集,再用15 mL石油醚冲洗Na₂SO₄,旋转蒸发浓缩至干(水浴45℃)。10 mL正己烷溶解残留物,待净化(李增梅等,2006)。

净化:采用SiO₂固相微萃取柱(SPE),依次加入10 mL二氯甲烷:甲醇(75:25),10 mL乙腈,10 mL二氯甲烷及20 mL正己烷(待前一种溶液完全流出时,再加入后一种溶液)。加入待净化样品,用2×10 mL正己烷洗涤烧杯转入SPE柱,弃去流出的正己烷,2×5 mL二氯甲烷加于SPE柱,弃去流出溶剂;2×4 mL乙腈加于SPE柱,再将2×8 mL混合溶液(二氯甲烷:甲醇=75:25)加于SPE柱,收集淋洗液,真空浓缩至干(水浴45℃),加入1 mL甲醇-乙腈-2%乙酸铵(1:1:1)充分溶解残留物,溶液过滤转移于HPLC样品瓶中,供HPLC测定。

1.5 样品检测方法与条件

1.5.1 高效氯氰菊酯残留样品检测方法 HP6890N气相色谱仪, hp-5石英毛细管柱,采

用程序升温法,进样口温度 260 ,柱温起始 100 ,以 15 /min 上升至 270 ,保持 15 min;检测器温度 320 ,载气 N₂ 流速 1.3 mL/min,进样量为 1 μ L,进样不分流,尾吹每分钟 30 mL。

1.5.2 氟虫腈残留样品检测方法 HP6890N 气相色谱仪, hp-1701 石英毛细管柱,采用程序升温法,进样口温度 250 ,柱温起始 130 ,保持 1 min;以 10 /min 上升至 260 ,保持 8 min,检测器温度 270 ,载气 N₂ 流速 3 mL/min,进样量为 1 μ L,进样不分流,尾吹 30 mL/min。

1.5.3 多杀菌素残留样品检测方法 HP1100 液相色谱仪,测试温度为 25 ,流动相为甲醇+乙腈+2%乙酸铵(体积比为 44:45:11);流速为 0.8 mL/min 紫外可变波长检测器选为 250 nm,进样量为 20 μ L。

1.5.4 残留定量方法 样品中农药残留量 $C = \frac{S_X \times V}{Q \times W}$ 其中 C 为样品中农药含量(mg/kg), S_X

为被测样液的峰高在标准曲线上查得的农药绝对量(mg), V 为样品净化后定容体积(mL), Q 为样品进样量(1 μ L), W 为样品质量(g)。

2 结果与分析

2.1 高效氯氰菊酯在土壤和草样中的残留动态

在 20 g 土壤和 5 g 草样中添加不同浓度的高效氯氰菊酯标准品,重复 5 次,测定结果见表 1。从表 1 中数据可知高效氯氰菊酯在土壤和草样的平均添加回收率为 87.55%~95.39%,变异系数为 2.68%~4.09%。根据《农药残留试验准则》要求,添加浓度>0.1 mg/kg 时,回收率要在 80%~110%、相对标准偏差<10%;添加浓度在 0.01~0.1 mg/kg 时,回收率要求在 70%~110%、相对标准偏差<20%,以上结果均可以达到《农药残留试验准则》所规定的要求。

通过气相色谱法测定,得到高效氯氰菊酯的标样色谱图,空白土壤和空白草样色谱图以及土壤和草样添加色谱图。土壤最低检测浓度为 1.9×10^{-4} mg/kg;在草样中的最低检出浓度为 2.5×10^{-4} mg/kg。高效氯氰菊酯的出峰时间为

表 1 高效氯氰菊酯的添加回收率和变异系数
Table 1 Recovery rates and variation coefficient of β -cypermethrin

样品 Samples	添加浓度(mg/kg) Added concentration	回收率(%) Recovery rates	变异系数 C.V.
土样 Soil samples	0.05	89.24 $\pm$ 1.235	2.770
	0.50	87.55 $\pm$ 1.228	2.813
	1.00	90.22 $\pm$ 1.847	4.091
草样 Weed samples	0.05	95.39 $\pm$ 1.391	2.912
	0.50	91.36 $\pm$ 1.474	3.226
	1.00	93.58 $\pm$ 1.244	2.685

表中的数据为 mean $\pm$ SE。下表同。

Data are mean $\pm$ SE. The same below.

15.754 min。

通过对样品中高效氯氰菊酯按照时间序列测定的结果(表 2),得到在土壤中的降解方程为 $Y=1.415e^{-0.2823x}$, $R^2=0.9804$,高效氯氰菊酯在土壤中的累计降解率方程为 $Y=41.948\ln(x)-2.876$, $R^2=0.9931$;草样中的降解方程为 $Y=8.8555e^{-0.5909x}$, $R^2=0.9733$,高效氯氰菊酯在草样中的累计降解率方程为 $Y=50.46\ln(x)-5.2968$, $R^2=0.9672$;通过残留动态方程得出高效氯氰菊酯在土壤中的半衰期为 6.31 d,在草样中的半衰期为 4.86 d。

2.2 氟虫腈在土壤和草样中的残留动态

在 20 g 土壤和 5 g 草样中添加不同浓度的氟虫腈标准品,测定结果见表 3。通过气相色谱法测定得出,氟虫腈在草样中添加回收率为 90.12%~96.44%,土壤中添加回收率为 92.07%~95.54%之间,结果均达到《农药残留试验准则》所规定的要求,因此,所采用的前处理和检测方法符合试验标准。

通过气相色谱法测定,得到氟虫腈的标样色谱图,空白土壤和空白草样色谱图,土壤和草样添加色谱图。氟虫腈土壤中最低检测浓度为 2.2×10^{-3} mg/kg;在草样中的最低检出浓度为 1.3×10^{-3} mg/kg。氟虫腈的出峰时间为 19.235 min。

通过对样品中氟虫腈按照时间序列测定的结果,得到在土壤中的降解方程为 $Y=$

表 2 高效氯氰菊酯在草坪土壤和草样中的残留动态
Table 2 Degradation dynamics of β -cypermethrin in lawn

施药后天数 Days after application	土壤样品 Soil sample		草样 Grass sample	
	残留量 (mg/kg) Residues	降解率 (%) Degradation rate	残留量 (mg/kg) Residues	降解率 (%) Degradation rate
1/24	1.348±0.0132	0	5.278±0.043	0
1	1.060±0.0097	21.255±0.277	4.447±0.036	15.743±0.201
3	0.879±0.0180	45.200±0.562	2.493±0.020	52.768±0.695
5	0.712±0.0165	53.428±0.697	1.711±0.013	67.582±0.883
7	0.566±0.0152	64.504±0.812	1.169±0.030	77.833±1.024
10	0.389±0.0236	74.261±0.969	0.419±0.014	92.051±1.234
14	0.311±0.0128	76.845±1.003	0.196±0.012	96.292±1.205
19	0.189±0.0117	85.917±1.321	0.143±0.021	97.284±1.289
25	0.137±0.0113	89.715±1.151	0.049±0.001	99.054±1.310

表 3 氟虫腈添加回收率和变异系数 Table 3 Recovery rates and variation coefficient of fipronil			
样品 Samples	添加浓度(mg/kg) Added concentration	回收率 (%) Recovery rates	变异系数 C.V.
土样 Soil samples	0.01	90.12±1.255	2.793
	0.10	93.58±1.694	3.624
	1.00	96.44±1.323	2.926
草样 Weed sample	0.01	92.07±1.273	3.126
	0.10	94.39±1.304	2.768
	1.00	95.54±1.521	3.182

$0.1215e^{-0.32543x}$, $R^2=0.9655$, 氟虫腈在土壤中的累计降解率方程为 $Y=38.572\text{Ln}(x)+10.274$, $R^2=0.9886$; 草样中的降解方程为 $Y=0.1948e^{-0.318x}$, $R^2=0.9749$, 氟虫腈在草样中的累计降解率方程为 $Y=42.093\text{Ln}(x)+0.4934$, $R^2=0.9977$; 通过残留动态方程得出氟虫腈在土壤中的半衰期为 5.57 d, 在草样中的半衰期为 2.96 d。

2.3 多杀菌素在土壤的残留动态

在 20 g 土壤中添加不同浓度的多杀菌素标准品, 测定结果见表 5。通过液相色谱法测定得

表 4 氟虫腈在草坪的土壤和草样中的残留动态
Table 4 Degradation dynamics of fipronil in lawn

施药后天数 Days after application	土壤样品 Soil sample		草样 Grass sample	
	残留量 (mg/kg) Residues	降解率 (%) Degradation rate	残留量 (mg/kg) Residues	降解率 (%) Degradation rate
1/24	0.073±0.0029	0	0.135±0.0016	0
1	0.062±0.0018	26.795±0.3497	0.094±0.0013	30.473±0.3977
3	0.046±0.0006	36.342±0.4632	0.070±0.0016	48.117±0.6602
5	0.036±0.0014	43.324±0.5427	0.056±0.0027	58.257±0.7291
7	0.028±0.0020	49.175±0.6575	0.045±0.0013	66.601±0.8692
10	0.021±0.0043	60.415±0.7824	0.032±0.0008	75.790±0.9891
14	0.013±0.0012	69.152±0.9076	0.026±0.0012	80.534±1.0510
19	0.009±0.0031	83.342±1.0703	0.013±0.0012	90.714±1.1844
25	0.004±0.0011	87.857±1.1468	0.009±0.0021	92.819±1.2114

表 5 多杀菌素添加回收率和变异系数
Table 5 Recovery rates and variation coefficient of spinosad

样品 Samples	添加浓度 (mg/kg) Added concentration	回收率 (%) Recovery rates	变异系数 C.V.
土样 Soil samples	0.005	88.32±2.146	3.428
	0.025	92.28±1.462	1.975
	0.05	94.76±2.056	2.644

出, 多杀菌素在土壤中添加回收率为 88.32%~94.76%之间, 结果均达到《农药残留试验准则》所规定的要求, 因此, 所采用的前处理和检测方法符合试验标准。

通过液相色谱法测定, 得到多杀菌素的标准曲线色谱图、空白土壤色谱图和多杀菌素土壤添加色谱图。多杀菌素 A 土壤中最低检测浓度为 1.92×10^{-3} mg/kg; 多杀菌素 A 的出峰时间为 15.023 min, 多杀菌素 D 的出峰时间为 16.336 min。

通过对土样中多杀菌素按照时间序列测定的结果表明, 土壤中多杀菌素的残留量很低, 在施用的第 1 天残留浓度就低于检出限。主要原因是施用的饵剂对红火蚁有较强的引诱作用, 大部分药剂被红火蚁搬运回蚁巢, 而剩余部分量较小; 此外, 多杀菌素在“正舒”饵剂中的含量仅为 0.015%, 也是未检出的原因之一。

3 讨论

对高效氯氟菊酯和氟虫腈在土壤和细叶结缕草上的残留动态测定结果表明, 高效氯氟菊酯 2 000 倍液处理后的土壤上的原始沉积量为 1.348 mg/kg, 在细叶结缕草上的原始沉积量为 5.278 mg/kg。氟虫腈 30 g/巢处理后, 其在土壤和细叶结缕草上的原始沉积量分别为 0.073 mg/kg 和 0.135 mg/kg。在本实验的土壤测试中, 高效氯氟菊酯的半衰期为 6.31 d; 略短于在北京和云南苜蓿田土壤中的 8.4~11.2 d (代雪芳等, 2014) 和在郑州郊区的土壤中的 8.3~13.4 d (马婧玮等, 2009)。氟虫腈在土壤中的半衰期为 5.57 d, 短于东北黑土、江西红壤和太湖水稻土中降解半衰期 165、267 和 42 d。刘同金等 (2014) 研究发

现 8%氟虫腈悬浮种衣剂在土壤中的半衰期为 2.7~3.9 d; 而占绣萍 (2007) 研究发现氟虫腈在浙江省泰顺县土壤中的半衰期分别为 23.7 d。以上结果说明土壤是影响高效氯氟菊酯和氟虫腈降解的重要因素。而造成本实验中两种药剂的半衰期短于其他研究调查的原因可能是, 在华南典型红壤条件下, 有利于高效氯氟菊酯和氟虫腈的降解。同时城市绿地定期灌溉, 使得试验地点土壤具有较高的含水量, 一方面有利于农药随土壤水分蒸发而挥发到空气中, 另一方面较高的土壤湿度适合微生物生长, 进而促进农药的生物降解。

在研究中显示, 高效氯氟菊酯在细叶结缕草的半衰期为 4.86 d, 与高效氯氟菊酯在小白菜中 4.2 d 的 (范素芳, 2014)、枸杞中 5.2 d 的 (张燕等, 2012) 和苜蓿中 4.2 d 半衰期相似 (代雪芳等, 2014)。氟虫腈在细叶结缕草中的半衰期为 2.96 d, 与氟虫腈在竹笋和玉米中的半衰期 5.5 d (杨瑶君等, 2008) 和 2.2~4.3 d (刘同金等, 2014) 差异不大。说明高效氯氟菊酯或氟虫腈在不同植物中的降解速度差异不大。

巴西发布 G/SPS/N/BRA/1046 通报的制定食品中高效氯氟菊酯最大残留限量在叶菜类的为 0.02 mg/kg (http://www.aqsiq.gov.cn/xxgk_13386/ywxx)。施药 25 d 高效氯氟菊酯后, 其在土壤中的残留量是 0.137 mg/kg, 在细叶结缕草上的沉积量为 0.049 mg/kg, 高于最大残留量。美国环保局(EPA)1995 年制定的氟虫腈在谷物中的最高残留限量(MRL 值), 其中植物性食品中最低的是稻米, MRL 值为 0.04 mg/kg。日本制定的氟虫腈在蔬菜、水果及谷物中的 MRL 值, 最低的为大米、马铃薯、甜菜、甘蔗、香蕉和油菜籽, MRL 均为 0.01 mg/kg, 在甘蓝中的 MRL 值为 0.05 mg/kg。氟虫腈在使用后 25 d 后在土壤和草样中的残留量分别为 0.004 和 0.009 mg/kg, 符合美日两国对氟虫腈在食物原材料上的残留量要求。而多杀菌素在使用后未在土壤中检出。因此氟虫腈和多杀菌素可以按照推荐剂量在草坪使用而不用担心对人体健康造成危害。

参考文献 (References)

Dai XF, Mao J, Song S, Zhang XY, 2014. Final residues and

- degradation dynamics of beta-cypermethrin in alfalfa and soil. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 27(2): 658–663. [代雪芳, 毛佳, 宋爽, 张雪燕, 2014. 高效氯氰菊酯在苜蓿和土壤中的残留及消解动态. 西南农业学报, 27(2): 658–663.]
- Fan SF, 2014. Study on residue behaviors of typical pesticides in six leafy green vegetables and representative commodities. Doctoral dissertation. Beijing: Chinese Agricultural University. [范素芳, 2014. 六种绿叶蔬菜中典型农药残留规律及代表作物研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学.]
- Guo M, Shan ZJ, Shi LL, 2008. Studies on the degradation characteristics of fipronil in three kinds of soils. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 10(3): 335–342. [郭敏, 单正军, 石利利, 2008. 氟虫腈在三种土壤中的降解特性研究. 农药学报, 10(3): 335–342.]
- He YB, 2000. Residue analysis method of fipronil in cabbage by GC-ECD. *Pest Management Science*, 21(3): 17–19. [何艺兵, 2000. 氟虫腈在甘蓝和土壤中的残留分析方法. 农药科学与管理, 21(3): 17–19]
- Li ZM, Wang WL, Wu HM, Liu SS, Liu YQ, Tang ZH, 2006. Detection and analysis of spinosad residue in the body fluid of *Cotesia plutellae* larvae with HPLC. *Acta Entomologica Sinica*, 49(1): 137–141. [李增梅, 王文丽, 吴慧明, 刘树生, 刘银泉, 唐振华, 2006. 高效液相色谱法检测菜蛾绒茧蜂幼虫体内多杀菌素残留. 昆虫学报, 49(1): 137–141.]
- Liu CL, Xu WN, Liu FM, Hu MY, Zhong GH, Jiang SR, 2007. Simultaneous determination of chlorpyrifos and cypermethrin residues in asparagus by SPE-CGC. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 26(1): 49–51. [刘承兰, 许文娜, 刘丰茂, 胡美英, 钟国华, 江树人, 2007. 芦笋中毒死蜱和氯氰菊酯残留的同时测定. 华中农业大学学报, 26(1): 49–51.]
- Liu J, Lv LH, Chen HY, Feng X, Zhou XM, He YR, 2006. Red imported fire ant control with fipronil mound drenches and its impact in ant community. *Guangdong Agricultural Sciences*, (5): 24–27. [刘杰, 吕利华, 陈焕瑜, 冯夏, 周小毛, 何余容, 灌巢对红火蚁的防效评价及对蚂蚁群落的影响. 广东农业科学, (5): 24–27.]
- Liu TJ, Li RJ, Yu JL, Song GC, Gao ZJ, Li RM, 2014. Residue and application safety assessment of fipronil 8% SD in corn and soil. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 30(22): 251–257. [刘同金, 李瑞娟, 于建垒, 宋国春, 高宗军, 李如美, 2014. 8%氟虫腈悬浮种衣剂在玉米和土壤中的残留研究及安全评价. 中国农学通报, 30(22): 251–257.]
- Lu YT, Zhou P, 2001. Study on the residue dynamics of fipronil in vegetable-field ecosystem. *Environmental Pollution & Control*, 23(5): 219–221. [陆贻通, 周培, 2001. 锐劲特在菜地生态系统中的残留动态研究. 环境污染与防治, 23(5): 219–221.]
- Lu YY, 2014. Long-distance spreading speed and trend prediction of red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren, in mainland China. *Guangdong Agricultural Sciences*, 41(10): 70–72. [陆永跃, 2014. 中国大陆红火蚁远距离传播速度探讨和趋势预测. 广东农业科学, 41(10): 70–72.]
- Luo GS, Li PZ, Xu J, 2005. Study on residue trends of fipronil in soil of vegetable field. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 18(6): 755–757. [罗公树, 李培征, 许静, 2005. 锐劲特在菜地土壤中的残留动态研究. 西南农业学报, 18(6): 755–757.]
- Ma JW, Zhang JF, Wu XJ, Yin HY, 2009. Residue dynamics of lambda-cyhalothrin in pakchoi and soil. *Agrochemicals*, 48(4): 278–281. [马婧玮, 张军锋, 吴绪金, 尹海燕, 2009. 高效氯氰菊酯在小白菜及土壤中的残留动态. 农药, 48(4): 278–281.]
- Shen P, Zheng YQ, Dong FS, Liu XG, Zhao XL, 2008. Residual tendency of flursulamid in soil of the red imported fire ant prevented and cured region. *Journal of Agro-environment Science*, 27(3): 1203–1207. [沈鹏, 郑永权, 董丰收, 刘新刚, 赵秀兰, 2008. 硫氟磺酰胺防控药剂在红火蚁防治区土壤中的残留动态研究. 农业环境科学学报, 27(3): 1203–1207.]
- Williams DF, Homer LC, Oi DH, 2001. An historical perspective of treatment programs and the development of chemical baits for control. *American Entomologist*, 47(3): 146–159.
- Yang JY, Zhang RJ, Gao LM, Liu C, Wang SF, Xin BF, Ni L, 2008. Degradation and determination of the residue of fipronil in bamboo shoot. *Agrochemicals*, 47(11): 826–827. [杨瑶君, 张知锦, 高立明, 刘超, 汪淑芳, 辛本华, 倪林, 2008. 氟虫腈在竹笋中的残留检测与消解动态. 农药, 47(11): 826–827.]
- Zhan XP, 2007. Degrading dynamics and residues of chlorpyrifos and fipronil in job's-tears seeds and environment. Doctoral dissertation. Hangzhou: Zhejiang University. [占绣萍, 2007. 毒死蜱、氟虫腈在薏苡仁和环境中的残留和降解动态研究. 硕士学位论文. 杭州: 浙江大学.]
- Zhang Y, Wu Y, Wang XJ, Niu Y, 2012. Residues dynamics of beta-cypermethrin in Lycium. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 28(13): 239–242. [张艳, 吴燕, 王晓菁, 牛艳, 2012. 枸杞中高效氯氰菊酯的残留动态研究. 中国农学通报, 28(13): 239–242.]
- Zhou SP, Duan CQ, Liu HC, Liu JX, Yang LB, Yang J, 2006. Degradation of cypermethrin in celery cultivated in the greenhouse. *Journal of Agro-Environment Science*, 25(2): 482–485. [周世萍, 段昌群, 刘宏程, 刘建祥, 杨利波, 杨菊, 2006. 氯氰菊酯在大棚西芹上的降解残留研究. 农业环境科学学报, 25(2): 482–485.]