

茚虫威在金银花中的残留动态研究及安全性评价

姚杰¹, 刘传德^{1*}, 柳璇¹, 兰丰¹, 周先学¹,
鹿泽启¹, 王志新¹, 李晓亮¹, 邵月华², 韩圣谦²

(1. 山东省烟台市农业科学研究院, 农业农村部果品质量安全风险评估实验室(烟台), 烟台 265500;

2. 烟台赛普特检测服务有限公司, 烟台 265500)

摘要 为了探明茚虫威在金银花中的残留特性和安全性,对茚虫威在金银花中的消解动态及最终残留进行了研究。样品经乙腈提取,超高效液相色谱-串联质谱(UPLC-MS/MS)检测,外标法定量。运用所建立的方法对茚虫威在山东泰安、河北邢台、浙江杭州、湖南邵阳、广东湛江和重庆九龙坡6个试验点的金银花中的残留消解动态和最终残留进行了研究。试验结果表明:茚虫威残留量在金银花中随时间延长而递减,符合一级反应动力学方程,消解速度较快,半衰期为1.5~2.2 d,属易消解型农药。参照中国制定的茶叶中茚虫威的最大残留限量(MRL)5 mg/kg,15%茚虫威悬浮剂按推荐使用剂量90 g/hm²,施药1次,施药后7 d,所采收的金银花中的茚虫威残留量低于5 mg/kg。研究结果可为茚虫威在金银花上的合理使用及其最大残留限量制定提供参考。

关键词 茚虫威; 金银花; 消解动态; 最终残留

中图分类号: S 481.8 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019338

Residue dynamics and safety evaluation of indoxacarb in honeysuckle

YAO Jie¹, LIU Chuande^{1*}, LIU Xuan¹, LAN Feng¹, ZHOU Xianxue¹, LU Zeqi¹,
WANG Zhixin¹, LI Xiaoliang¹, SHAO Yuehua², HAN Shengqian²

(1. Yantai Academy of Agricultural Sciences in Shandong Province, Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Fruit (Yantai), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yantai 265500, China; 2. Yantai Saipute Analyzing Service co., Ltd, Yantai 265500, China)

Abstract In order to investigate the residual characteristic and safety of indoxacarb in honeysuckle, to set up standard procedure for the safe use of indoxacarb in honeysuckle, an analytical method was developed for the determination of indoxacarb residue in honeysuckle. Samples were extracted with acetonitrile, and then analyzed by UPLC-MS/MS. Residual dissipation dynamics and final residue levels of indoxacarb in honeysuckle from six experimental sites (Taian in Shandong province, Xingtai in Hebei province, Hangzhou in Zhejiang province, Shaoyang in Hunan province, Zhanjiang in Guangdong province and Jiulongpo in Chongqing municipality) were determined. The results showed that the dissipation of indoxacarb in honeysuckle were rapid, with half-lives of 1.5—2.2 d. The residual contents of indoxacarb in honeysuckle decreased according to the first-order kinetics equation, indicating that indoxacarb is an easily degradable pesticide. When 15% indoxacarb SC was sprayed once at the recommended dose 90 g/hm², indoxacarb residues in harvested honeysuckle after 7 days were below 5 mg/kg, indicating it was relatively safe according to the maximum residue limits(MRL) of indoxacarb in tea in China (5 mg/kg). The results provide a reference for the rational use and the MRL standard development of indoxacarb in honeysuckle.

Key words indoxacarb; honeysuckle; dissipation dynamics; final residue

茚虫威(indoxacarb),化学名称为7-氯-2,3,4a,5-四氢-2-[甲氧基羰基(4-三氟甲氧基苯基)氨基甲酰基]茚并[1,2-e][1,3,4-]噁二嗪-4a-羧酸甲酯。

茚虫威是由美国杜邦公司发现、开发和生产的兼具噁二嗪结构的氨基甲酸酯类杀虫剂,具有独特的作用机理,其在昆虫体内被迅速转化为N-去甲氧羰基

收稿日期: 2019-07-04

修订日期: 2019-07-16

基金项目: 农业行业标准制定和修订项目[农财发(2018)46](181821301092372063)

* 通信作者 E-mail:13583577321@163.com

代谢物,由 *N*-去甲氧羰基代谢物作用于昆虫神经细胞失活态电压门控钠离子通道,不可逆地阻断和破坏昆虫体内的神经冲动传递,导致害虫运动失调,不能进食,麻痹并最终死亡^[1-4]。作为一种低毒、高效杀虫剂,茚虫威应用广泛,可有效防治粮、棉、果、蔬等作物上的多种害虫^[5-7]。茚虫威虽然属于低毒杀虫剂,但是使用不当,也会造成作物中残留量过高,从而对人体健康造成危害,研究证实,茚虫威在单一高剂量口服情况下,可导致人体出现痉挛、颤抖和动作不协调等诸多症状^[8]。中国和国际食品法典委员会(CAC)等国家和机构规定了茚虫威在茶叶、甘蓝等多种作物中的最大残留限量(MRL)^[9-11],如我国 GB 2763 规定茶叶中茚虫威的 MRL 为 5 mg/kg,但尚未见到金银花中茚虫威的 MRL 值。国内外已报道了茚虫威在水稻、甘蓝、豇豆和棉花等作物上的残留分析和安全性评价研究^[12-16],前处理大多采用丙酮、甲醇、石油醚等试剂提取,液液萃取或固相萃取柱净化,相对来说前处理比较繁琐,主要由气相色谱仪(ECD 检测器)或液相色谱仪(PDA 检测器)进行检测,目前,尚未见有关茚虫威在金银花等相关中药材作物上的残留分析方法及残留研究报告。金银花具有消炎退肿、清热解毒、抑菌和抗病毒等功效,是常用的大宗中药材之一,在种植过程中虫害比较严重,而茚虫威在金银花上使用较常见,主要用于防治尺蠖,中国尚未规定茚虫威在金银花中的 MRL 值,因此,建立茚虫威在金银花上残留的分析方法并研究其在金银花中的消解规律和最终残留有重要意义。

为了明确茚虫威在金银花中的残留状态,评价茚虫威在金银花上的使用安全性,笔者利用液相色谱串联质谱法测定金银花中茚虫威残留,2018 年通过对山东泰安、河北邢台、浙江杭州、湖南邵阳、广东湛江和重庆九龙坡 6 地田间试验样品的检测分析,评价茚虫威在金银花中的消解趋势和残留水平情况,旨在确保茚虫威在金银花上的安全使用,为制定其安全合理使用准则和限量标准提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 仪器与药剂

岛津 LCMS 8040,岛津(中国)有限公司;KQ-500DB 超声波清洗机,昆山市超声仪器有限公司;MX-F 快速混匀器,美国 SCILOGEX;TD5A-WS 高速离心机,上海卢湘仪。

茚虫威(indoxacarb)标准品(上海安谱实验科技股份有限公司):100 $\mu\text{g/mL}$ 。用甲醇分别稀释成

0.001、0.01、0.1、0.2、0.5、1 $\mu\text{g/mL}$ 的标准溶液;15%茚虫威悬浮剂(美国杜邦公司);色谱纯甲醇及分析纯乙腈和氯化钠;试验用水为重蒸馏水。

1.2 田间试验

按照《农药登记残留田间试验标准操作规程》^[17]进行。根据农药登记残留试验区域指南和作物实际生长状况于 2018 年在山东泰安(最终残留)、河北邢台(消解动态和最终残留)、浙江杭州(消解动态和最终残留)、湖南邵阳(最终残留)、广东湛江(最终残留)和重庆九龙坡(最终残留)6 个试验点进行茚虫威在金银花上残留动态的田间试验。试验药剂为 15%茚虫威悬浮剂,厂家推荐用量:有效成分剂量 45~90 g/hm²(制剂量 20~40 g/667 m²)。

1.2.1 消解动态试验

施药剂量为推荐最高剂量的 1.5 倍:135 g/hm²(制剂量 60 g/667 m²),试验小区面积 60 m²,于金银花初花期施药 1 次,均匀喷雾。处理间留保护带,另设空白对照区。分别于施药后 2 h、1、3、5、7、10、14、21 d 采样,在试验小区内随机采集无病虫害的金银花,每次采集 3 份重复样品,每份样品不少于 200 g,装入样本容器中,包扎妥当。

1.2.2 最终残留试验

设 2 个施药剂量:低剂量按推荐的最高剂量 90 g/hm²(制剂量 40 g/667 m²),高剂量按推荐最高剂量的 1.5 倍 135 g/hm²(制剂量 60 g/667 m²),每个剂量分别施药 1 次和 2 次,于金银花初花期首次施药,施药间隔期 7 d,每处理 3 次重复,小区面积 30 m²,于最后一次施药后 5、7、10 d 取样。同时设清水空白对照。金银花样品的采集同 1.2.1。

1.3 实验室样品制备与保存

消解动态样品(鲜样):将采集的样品混匀,四分法缩分后取 100 g,于 -20℃ 保存,待测;最终残留样品(干样):将采集的样品 50~60℃ 烘干 10 h 后,四分法缩分后取 100 g,于 -20℃ 保存,待测。

1.4 分析方法

1.4.1 样品前处理

1.4.1.1 金银花干样

称取 5 g 试样(精确至 0.01 g)于 50 mL 塑料离心管中,加 10 mL 水涡旋混匀,静置 30 min;再加入 15 mL 0.1%乙酸乙腈溶液超声提取 30 min,然后加入含 6 g 无水硫酸镁和 1.5 g 醋酸钠的盐包,盖上离心管盖,剧烈振荡 1 min 后 4 000 r/min 离心 5 min;移取上清液 10 mL 到内含 1.5 g 硫酸镁和 500 mg PSA 的 15 mL 塑料离心管中,涡旋混匀 1 min,4 000 r/min

离心 2 min;准确吸取 1 mL 上清液于 15 mL 离心管中,加 1 mL 水涡旋混合均匀,过微孔滤膜,待测。

1.4.1.2 金银花鲜样

称取 10 g 试样(精确至 0.01 g)于 50 mL 塑料离心管中,加入 15 mL 0.1%乙酸乙腈溶液超声提取 30 min;然后加入含 6 g 无水硫酸镁和 1.5 g 醋酸钠的盐包,剧烈振荡 1 min 后 4 000 r/min 离心 5 min;移取上清液 10 mL 到内含 1.5 g 硫酸镁和 500 mg PSA 的 15 mL 塑料离心管中,涡旋混匀 1 min,4 000 r/min 离心 2 min;准确吸取 1 mL 上清液于 15 mL 离心管中,加 1 mL 水涡旋混合均匀,过微孔滤膜,待测。

1.4.2 仪器分析条件

色谱条件:岛津 Shim-pack GIST 色谱柱(2 μm C₁₈,2.1 mm×100 mm);柱温:40℃;流速:0.4 mL/min;进样量:5 μL;流动相 A:0.1%,5 mmol 乙酸铵甲酸水,流动相 B:乙腈;梯度洗脱程序:1.0 min 20%B,3.0 min 90%B,6.0 min 90%B,6.01 min 20%B;质谱条件:ESI+电离模式;多反应监测(MRM)扫描,定性离子:528.00>293.00,528.00>218.10,定量离子:528.00>249.10;加热模块温度 400℃;DL 管温度 250℃;干燥气流速 15 L/min,检测器电压:1.82 kV。己唑醇保留时间为 5.5 min 左右。

1.5 膳食摄入风险评估

长期膳食摄入风险评估根据规范残留试验中值(STMR,supervised trials median residue)计算其国家估算每日摄入量(NEDI,national estimated daily intake),按公式(1)和(2)进行计算。

$$NEDI = (\sum STMR_i \times F_i) / bw \tag{1}$$

$$RQ = NEDI / ADI \tag{2}$$

式(1)中,NEDI 为国家估算每日摄入量,单位 μg/(kg·d);STMR_i 指 i 级农产品中的规范残留试验中值,单位 mg/kg;F_i 为不同人群对 i 级农产品的膳食消费量,单位 g。式(2)中,RQ 为风险商值;ADI 为每千克体重的农药日允许摄入量,单位 mg/kg;bw 为我国人均体重,单位 kg,一般按照 63 kg 计。

一般来说,RQ≤1 时,才认为因膳食摄入所产生的农药对特定人群的健康影响处于可接受水平,RQ 越小,风险越低。

2 结果与分析

2.1 标准曲线和线性范围

在 0.001~1.0 μg/mL 范围内,茛虫威的质量浓度与对应的峰面积间呈现良好的线性关系,线性方

程为 $y=300\,000x+52\,389$,相关系数 $r=0.998\,5$,谱图见图 1。

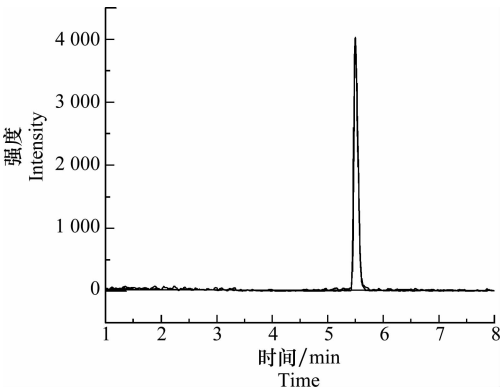


图 1 金银花中添加 0.01 mg/kg 茛虫威超高效液相色谱-串联质谱图

Fig. 1 UPLC-MS/MS chromatogram of honeysuckle spiked with 0.01 mg/kg indoxacarb

2.2 添加回收率和定量限

分别在空白金银花(干)和金银花(鲜)中添加茛虫威标准溶液,添加水平分别为 0.01、0.1、1.0 mg/kg 和 5.0 mg/kg,同时设空白对照,每个添加水平重复 5 次。结果见表 1;在 0.01、0.1、1.0 mg/kg 和 5.0 mg/kg 4 个添加水平下,茛虫威在金银花(干)和金银花(鲜)中平均回收率分别为 77%~84%和 88%~104%,相对标准偏差分别为 3.0%~7.3%和 3.1%~4.2%。金银花中茛虫威残留的定量限为 0.01 mg/kg。该方法的准确度和精密度符合 NY/T 788-2018《农作物中农药残留试验准则》的要求^[18]。

表 1 金银花中茛虫威的平均添加回收率及相对标准偏差(n=5)

Table 1 Average recoveries and RSDs of indoxacarb in honeysuckle(n=5)

样品 Sample type	添加水平/ mg·kg ⁻¹ Spiked level	平均回收率/% Average recovery	相对标准 偏差/% RSD
金银花(干) Honeysuckle(dry)	0.01	77	3.4
	0.1	81	3.3
	1.0	80	7.3
	5.0	84	3.0
金银花(鲜) Honeysuckle(fresh)	0.01	100	3.1
	0.1	104	4.2
	1.0	88	3.1
	5.0	91	3.8

2.3 消解动态试验结果

使用 15%茛虫威悬浮剂对金银花喷雾施药,河

北邢台和浙江杭州 2 个试验点金银花中的原始沉积量分别为 4.45 mg/kg 和 4.79 mg/kg(表 2),残留量随时间的推移而逐渐降低。上述两地金银花中茛虫威消解动态均符合一级动力学方程式: $C=4.45e^{-0.477T}$ ($r=-0.998\ 8$,河北)和 $C=4.79e^{-0.313T}$ ($r=-0.964\ 2$,浙江),其降解半衰期分别为 1.5 d 和 2.2 d。残留动态结果显示,茛虫威在金银花中降解迅速。施药后 7 d,茛虫威在金银花中的消解率均在 96.5%以上。

2.4 最终残留量试验结果

按茛虫威在金银花上的推荐使用最高剂量(90 g/hm²)和推荐高剂量的 1.5 倍(135 g/hm²),施药 1~2 次,于最后一次施药后 5、7 d 和 10 d 取样。试验结果见表 3,茛虫威在 1 年 6 地金银花中的最终残留量分别为 5 d: <0.01~8.8 mg/kg; 7 d: <0.01~6.4 mg/kg, 10 d: <0.01~6.7 mg/kg。总体来说,在相同的施药次数和施药剂量下,随采样间隔期延长,各试验点金银花中茛虫威的残留量均随之下降。其中,湖南试验点最后一次施药后 5、7、10 d 最终残留量均明显小于其他 5 地,了解到湖南试验点

最后一次施药后持续下雨,这说明天气条件对农药降解也有较大的影响。

表 2 茛虫威在金银花上的消解动态
Table 2 Dissipation dynamics of indoxacarb in honeysuckle

施药间隔 时间/d Sampling interval	河北邢台 Xingtai, Hebei		浙江杭州 Hangzhou, Zhejiang	
	残留量/ mg · kg ⁻¹ Residue	消解率/% Dissipation rate	残留量/ mg · kg ⁻¹ Residue	消解率/% Dissipation rate
0.083	4.51	—	10.60	—
1	2.39	47.0	5.44	48.7
3	1.19	73.3	1.42	86.7
5	0.405	91.0	0.781	92.6
7	0.160	96.5	0.246	97.7
10	0.037	99.2	0.171	98.4
14	<0.01	>99.8	0.034	99.7
21	<0.01	>99.8	0.015	99.9
消解方程 Dissipation dynamics equation	$C=4.45e^{-0.477T}$		$C=4.79e^{-0.313T}$	
r	-0.998 8		-0.964 2	
半衰期/d Half-life	1.5		2.2	

表 3 不同时期金银花中茛虫威的平均残留量(n=3)
Table 3 The average residue amount of indoxacarb in different period honeysuckle (n=3)

施药剂量/ g • (hm ²) ⁻¹ Application dose	施药次数 Application times	采样距末次施药 间隔时间/d Sampling interval time after last application	茚虫威残留量/mg • kg ⁻¹ Residue amount of indoxacarb					
			山东 Shandong	河北 Hebei	浙江 Zhejiang	湖南 Hunan	重庆 Chongqing	广东 Guangdong
90	1	5	4.20	1.70	2.10	<0.01	<0.01	<0.01
		7	1.60	0.55	0.17	<0.01	<0.01	<0.01
		10	0.34	0.34	0.15	<0.01	<0.01	<0.01
	2	5	5.90	2.90	0.58	<0.01	0.16	2.7
		7	2.00	1.30	0.24	<0.01	0.19	2.2
		10	0.88	0.60	0.10	<0.01	0.27	2.6
135	1	5	7.10	2.90	0.86	0.013	0.30	2.8
		7	1.90	1.40	0.26	<0.01	0.38	2.4
		10	0.72	0.75	0.13	<0.01	0.51	2.8
	2	5	8.80	4.50	0.58	<0.01	0.97	6.1
		7	2.30	3.20	0.26	<0.01	1.1	6.4
		10	1.40	2.10	0.11	0.060	1.5	6.7
对照 CK	5	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
	7	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
	10	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	

2.5 膳食摄入风险评估结果

通过中国农药信息网^[10]查询,茛虫威在中国登记使用的农作物水稻、棉花、甘蓝、豇豆、茶叶等 8 种

作物。茛虫威在采收间隔期为 7 d 时金银花中的残留中值(STMR)为 0.55 mg/kg。GB 2763 规定茛虫威的 ADI 值为 0.01 mg/kg^[9]。结合以上数据,以我

国不同人群的膳食结构为基础^[19], 根据式(1)和(2)计算国家估算每日摄入量(NEDI)及风险商值(RQ), 从而判断其膳食摄入风险水平。结合茚虫威在不同食物中的 MRL 值及本研究规范残留试验 STMR, 显示茚虫威在不同食物中的 NEDI 值为 $2.59 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$, RQ 为 0.259, 小于 1, 其中金银花(代表食盐)的贡献率为 1.0%, 这表明, 茚虫威在金银花的膳食摄入风险较低。

3 讨论

目前, 未见有关茚虫威在金银花上的残留消解动态方面的研究报道。15% 茚虫威悬浮剂在金银花上用于防治尺蠖, 笔者于 2018 年在 6 个试验点进行了茚虫威在金银花上的残留消解动态田间试验, 对茚虫威在金银花上的残留分析方法进行了研究, 样品经乙腈提取, 用 PSA 净化, 通过 UPLC-MS/MS 进行检测, 采用 MRM 模式, 灵敏度高, 添加回收率均在 70%~110% 之间, 准确度、灵敏度、相对标准偏差及定量限均符合农药残留分析的要求^[18]。研究结果表明, 茚虫威在金银花中的消解速率较快, 半衰期为 1.5~2.2 d, 己唑醇在河北和浙江两地金银花中的消解半衰期存在一定差异, 可能与金银花的品种(生长速度)和施药时的天气条件有一定关系。目前, 未见茚虫威在相关中药材上的消解动态研究, 有在蔬菜及其他作物中的消解研究报道。李畅方等^[13]、杨淑娟等^[14]、赵学平等^[15]和董丰收等^[16]分别研究了茚虫威在甘蓝、豇豆、小白菜和棉花上的残留消解动态, 结果表明, 茚虫威在甘蓝、豇豆、小白菜和棉叶上的半衰期分别为 3.8~5.7、2.8、1.2~1.4 d 和 6.0~7.4 d, 这显示同一种农药在不同作物中消解速率存在一定差异, 可能与天气条件、生长系数等因素有关, 但总体上茚虫威在上述作物中降解均较快, 半衰期均较短, 属于易降解农药。刘清浩等^[20]和王玉洁等^[21]分别研究了吡虫啉和氟啶虫酰胺在金银花上的残留规律, 吡虫啉和氟啶虫酰胺在金银花上的半衰期分别为 1.52~4.65 d 和 1.55~1.81 d, 由上看出, 上述农药在金银花上半衰期有一定差异, 但都属于易降解农药。

目前, 国内外尚未制定茚虫威在金银花上的 MRL 值, 我国规定, 茚虫威在茶叶中的 MRL 为

5 mg/kg^[7], 考虑到作物风险评估归类时, 茶叶和金银花都归类到食盐当中, 暂以此为依据, 评价茚虫威在金银花施用后的残留风险。茚虫威在金银花上施药剂量为 90 g/hm² 和 135 g/hm², 1~2 次施药, 金银花中茚虫威残留量为 5 d: <0.01~8.8 mg/kg; 7 d: <0.01~6.4 mg/kg, 10 d: <0.01~6.7 mg/kg。其中, 5、7、10 d 的最大残留量均高于 5 mg/kg, 这可能与施药次数多有关系, 说明增加施药次数, 存在一定的用药风险。按照推荐剂量(90 g/hm²), 施药 1 次的情况下, 金银花中茚虫威残留量为 5 d: <0.01~4.2 mg/kg, 7 d: <0.01~1.6 mg/kg, 10 d: <0.01~0.34 mg/kg, 5、7、10 d 的残留量均低于中国茶叶中茚虫威的限量值 5 mg/kg, 表明按照推荐的施药次数和施药剂量, 末次施药后 7 d, 采收的金银花相对安全。全膳食暴露风险评估结果显示, 茚虫威的全膳食摄入 RQ 为 0.283, 小于 1, 表明在金银花初花期按照有效剂量 90~135 g/hm² 喷施试验药剂 1~2 次, 茚虫威在收获期金银花中的膳食摄入风险为可接受水平。

4 结论

茚虫威在金银花上防治尺蠖, 在施药剂量 90 g/hm² 和 135 g/hm², 1 次施药, 7 d 后, 金银花中茚虫威残留量均未超过我国制定的茶叶中茚虫威的最大残留限量 5 mg/kg, 采收的金银花均相对安全, 推荐 15% 茚虫威悬浮剂在金银花上使用安全间隔期为 7 d。从膳食摄入和风险分析来看, 茚虫威金银花上按照推荐剂量施药, 收获期的金银花膳食摄入风险较低。本研究结果探明了茚虫威在金银花上的消解规律及最终残留, 为茚虫威及其制剂在金银花上使用后的食用安全性和 MRL 值制定提供了科学依据。

参考文献

- [1] 班华卓, 张大永. 新颖高效手性杀虫剂茚虫威的研究进展[J]. 农药, 2018, 57(12): 864-869.
- [2] 王建军, 董红刚. 新型高效杀虫剂茚虫威毒理学研究进展[J]. 植物保护, 2009, 35(3): 20-22.
- [3] 李富根, 艾国民, 李友顺, 等. 茚虫威的作用机制与抗性研究进展[J]. 农药, 2013, 52(8): 558-560.
- [4] 刘长令. 新型高效杀虫剂茚虫威[J]. 农药, 2003, 42(2): 42-44.

- [5] SILVER K S, SODERLUND D M, Action of pyrazoline-type insecticides at neuronal target sites [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2005, 81(2): 136–143.
- [6] LAPIED B, GROLLEAU F, SATTELLE D B. Indoxacarb, an oxadiazine insecticide, blocks insect neuronal sodium channels [J]. British Journal of Pharmacology, 2001, 132(2): 587–595.
- [7] 严仪宽. 安打(茚虫威)在蔬菜害虫上的防治应用[J]. 新农药, 2005(5): 47–48.
- [8] 吴霞. 拟除虫菊酯、氟虫腈和茚虫威作用机制的最新进展[J]. 世界农药, 2002, 24(2): 29–34.
- [9] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 中华人民共和国农业农村部, 国家市场监督管理总局. 食品中农药最大残留限量: GB 2763—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [10] 农业部农药检定所. 中国农药信息网农药综合查询系统[DB/OL]. (2018-12-24)[2019-07-04]. <http://www.chinapesticide.gov.cn/>.
- [11] 食品伙伴网. 食品数据库-日本肯定列表查询[DB/OL]. (2019-03-21)[2019-07-04]. <http://db.foodmate.net/kending/>.
- [12] 廖丹. 茚虫威在水稻中的残留及其光降解研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2014.
- [13] 李畅方, 何强, 徐伟松, 等. 茚虫威在甘蓝和土壤中的残留量及消解动态研究[J]. 农药科学与管理, 2005, 26(12): 8–11.
- [14] 杨淑娟, 郭建辉, 蔡恩兴, 等. 茚虫威在豇豆中残留动态及安全使用技术研究[J]. 亚热带植物科学, 2008, 37(2): 46–49.
- [15] 赵学平, 袁玉伟, 胡秀卿, 等. 茚虫威和毒死蜱在小白菜中的残留及其膳食暴露评估[J]. 浙江农业学报, 2010, 22(6): 784–789.
- [16] 董丰收, 郑永权, 沙宪英, 等. 茚虫威 15% 悬浮剂在棉花和土壤中的残留动态研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(5): 1027–1031.
- [17] 农业部农药检定所. 农药登记残留田间试验标准操作规程[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [18] 农业农村部种植业管理司. 农作物中农药残留试验准则: NY/T 788—2018[S]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
- [19] 吴永宁, 李筱薇. 第四次中国总膳食研究[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015: 63.
- [20] 刘清浩, 刘新涛, 倪霞霞, 等. 吡虫啉在金银花及土壤中的残留动态研究[J]. 植物保护, 2011, 37(1): 90–92.
- [21] 王玉洁, 薛健, 金红宇, 等. 金银花中氟啶虫胺腈的残留规律及膳食风险评估[J]. 中成药, 2017, 39(7): 1534–1536.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 41 页)

- [5] 刘万才, 邵振润, 姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究总结报告[M]//刘万才, 邵振润, 姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [6] 周益林, 盛宝钦, 肖悦岩. 小麦白粉病预测预报的研究[M]//赵美琦. 麦田植保系统工程的研究. 北京: 北京农业大学出版社, 1994: 52–56.
- [7] 邵振润, 刘万才, 姜瑞中, 等. 豫北麦区小麦白粉病中期测报技术研究[J]. 植物保护, 1996, 22(6): 11–14.
- [8] TE BEEST D E, PAVELEY N D, SHAW M W, et al. Disease-weather relationships for powdery mildew and yellow rust on winter wheat [J]. Phytopathology, 2008, 98(5): 609–617.
- [9] 肖悦岩. 预测预报准确度评价方法的研究[J]. 植保技术与推广, 1997, 17(4): 3–6.
- [10] 刁春友, 沈龙元. 江苏省小麦白粉病预测预报技术研究[M]//刘万才, 邵振润, 姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [11] 沈丽, 刘牛, 廖华明, 等. 四川省小麦白粉病中期预测模型初探[M]//刘万才, 邵振润, 姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 李金锁. 南阳盆地小麦白粉病中期测报技术研究[M]//刘万才, 邵振润, 姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] 李彤霄. 河南省小麦白粉病综合发生等级预测技术研究[J]. 河南农业科学, 2015, 44(9): 54–57.
- [14] 杨万海, 董礼涛, 王光宝, 等. 山东省小麦白粉病中长期预报技术研究[M]//刘万才, 邵振润, 姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究. 北京: 中国农业出版社, 2000.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 46 页)

- [19] SHI Xiaobin, TANG Xin, ZHANG Xing, et al. Transmission efficiency, preference and behavior of *Bemisia tabaci* MEAM1 and MED under the influence of *Tomato chlorosis virus* [J/OL]. Frontiers in Plant Science, 2018, 8: 2271. DOI: 10.3389/fpls.2017.02271.
- [20] MARKHAM P G, BEDFORD I D, LIU Shusheng, et al. The transmission of geminiviruses by *Bemisia tabaci* [J]. Pest Management Science, 1994, 42(2): 123–128.
- [21] 李娇娇, 张秀霞, 周仙红, 等. 日光温室番茄褪绿病毒病的发生规律及其与 Q 型烟粉虱种群动态关系[J]. 植物保护学报, 2017, 44(5): 746–752.
- [22] 张友军, 吴青君, 王少丽, 等. 我国蔬菜重要害虫研究现状与展望[J]. 植物保护, 2013, 39(5): 38–45.
- [23] ORFANIDOU C G, DIMITRIOU C, PAPAYIANNIS L C, et al. Epidemiology and genetic diversity of criniviruses associated with tomato yellows disease in Greece [J]. Virus Research, 2014, 186: 120–129.

(责任编辑: 田 喆)