

阿维菌素·虫螨腈在青菜上的残留特性及其 膳食摄入风险评估

李晓贝, 赵晓燕*, 李健英, 陈 磊, 周昌艳, 何香伟

(上海市农业科学院/农产品质量标准与检测技术研究所, 上海 201403)

摘 要: **目的** 研究阿维菌素·虫螨腈复配剂在青菜上的残留特性, 评估其膳食摄入风险。**方法** 对上海市松江区冬季与夏季不同生长季节及露地与大棚不同种植环境下青菜上进行阿维菌素·虫螨腈残留试验, 通过串联质谱法检测有效成分在青菜上阿维菌素·虫螨腈的残留量, 并对其膳食摄入风险进行评估。**结果** 阿维菌素及虫螨腈在青菜上的降解趋势符合一级动力学方程, 原始沉积量平均值分别为 0.315 ~ 0.418 mg/kg、1.422 ~ 3.446 mg/kg, 消解半衰期分别为 0.88 ~ 2.30 d、4.36 ~ 5.02 d。最后一次施药 3 d 后阿维菌素及虫螨腈最终残留量均低于相应最大残留限量值。各类人群通过青菜摄入阿维菌素及虫螨腈的风险商最大值均远低于 1, 风险概率均低于 100%。**结论** 消解时间、环境因素及施药浓度均对虫螨腈的残留有显著影响($P < 0.05$), 而影响阿维菌素消解残留的主要因素为消解时间。在推荐使用浓度下(45~60 g a.i/hm²), 20%阿维菌素·虫螨腈在青菜上的安全间隔期为 5 d。

关键词: 青菜; 阿维菌素; 虫螨腈; 残留; 大棚; 露地; 风险评估

Residue behavior and dietary intake risk assessment of abamectin and chlorfenapyr in pakchoi (*Brassica chinensis* L.)

LI Xiao-Bei, ZHAO Xiao-Yan*, LI Jian-Ying, CHEN Lei, ZHOU Chang-Yan, HE Xiang-Wei

(Institute for Agri- Food Standards and Testing Technology, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China)

ABSTRACT: Objective To study the residual characteristics of avermectin and chlorfenapyr on pakchoi, and evaluate their dietary intake risk assessment. **Methods** Abamectin and chlorfenapyr residue tests were carried out on pakchoi in Songjiang district of Shanghai under different growing seasons in winter and summer and under different planting conditions in open field and greenhouses. The residual amount of abamectin and chlorfenapyr in pakchoi was detected by tandem mass spectrometry and the dietary intake risk was evaluated. **Results** Field experiments showed that the dissipation dynamics of abamectin and chlorfenapyr in pakchoi exhibited a first-order kinetic decline, and their initial residues were 0.315–0.418 mg/kg and 1.422–3.446 mg/kg, while half-lives were 0.88–2.30 d and 4.36–6.60 d, respectively. The final residues of abamectin and chlorfenapyr after the last application for 3 d were lower than the corresponding maximum residue limits. The risk assessment showed that maximal hazard

基金项目: 上海市科技兴农推广项目[沪农科推字(2017)第 4-3 号]

Fund: Supported by Shanghai Agriculture Applied Technology Development Program (Grant No. T20170403)

*通讯作者: 赵晓燕, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量与安全。E-mail: cindy8119@163.com

*Corresponding author: ZHAO Xiao-Yan, Associate Professor, Quality and Safety of Agri-Products, No. 1000 Jinqi Road, Shanghai 201403, China. E-mail: cindy8119@163.com

quotient (HQ) of abamectin and chlorfenapyr for different groups consuming pakchoi was far below 1, and highest risk probability (RP) was below 100%. **Conclusion** Digestion time, environmental factors and application concentration all have significant effects on chlorfenapyr residue ($P<0.05$), while the main factor affecting abamectin digestion residue is digestion time. At the recommended concentration (45-60 g a.i./hm²), the safe interval of 20% abamectin and chlorfenapyr on green vegetables is 5 days.

KEY WORDS: pakchoi; abamectin; chlorfenapyr; residue; greenhouse; open field; risk assessment

1 引言

阿维菌素(abamectin)是一种大环内酯双糖类化合物,通过引导或激活无脊椎动物的谷氨酸门控氯离子通道(glutamate-gated chloride channels, GluCl)以及动物体 γ -氨基丁酸受体(γ -aminobutyric acid receptor, GABAR)引起神经中毒而致其死亡,具有广谱、高效的杀虫杀螨特性,1985年即应用于农业害虫防治中^[1,2]。但由于广泛的应用,部分鳞翅目害虫已对阿维菌素类药物产生了抗性^[3]。虫螨腈(chlorfenapyr)是一种芳基取代吡咯类化合物,通过作用于昆虫体内的多功能氧化酶来干扰其呼吸链电子传递以影响昆虫体内能量转化,主要通过胃毒及触杀、内吸作用杀死害虫,对小菜蛾、甜菜夜蛾等防治效果良好,且持效期较长^[4]。两者复配后有明显的增效作用,20%阿维·虫螨腈悬乳剂已在甘蓝上登记防治斜纹夜蛾^[5,6]。

青菜是上海市主产蔬菜,2020年1月上海郊区青菜在田面积超过7万亩(排名第一)^[7]。甜菜夜蛾是青菜上的主要虫害,目前直接登记可用于青菜上甜菜夜蛾防治的农药主要为甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、虫螨腈和高效氯氟氰菊酯3种^[5],阿维菌素及虫螨腈复配药物在青菜上的残留特性及使用准则报道鲜少。研究发现光照、温度、气候、种植环境等对农药在蔬菜上的残留量及消解半衰期都有影响^[8,9],而上海地区大棚及露地青菜均有种植,且四季均可生产。为明确阿维菌素、虫螨腈在青菜上的残留特性,本研究于2018~2019年在上海市松江区进行20%阿维·虫螨腈悬乳剂在冬季与夏季不同生长季节及露地与大棚不同种植环境下青菜上的残留试验,并对其膳食摄入风险进行评估,为制定阿维·虫螨腈复配药剂在青菜上的安全使用准则提供科学依据。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

Triple Quad™ 5500 液相色谱-串联质谱仪(Waters UPLC+AB 5500)(美国 Waters 及 AB Sciex 公司);TSQ8000 气相色谱-串联质谱仪、Sorval ST 16R 高速离心机(美国 Thermo Fisher 公司);998B 全营养破壁料理机(欧斯麦电器集团(香港)实业有限公司)。

20%阿维·虫螨腈悬乳剂(上海悦联化工有限公司);阿维菌素(1000 mg/kg)、虫螨腈(1000 mg/kg)标准品(农业农村部环境保护科研监测所);甲醇、乙腈(色谱级,上海安谱公司);甲酸(优级纯,美国安捷伦公司);提取盐包、SinCHERS 固相萃取柱(上海润恩珀商贸有限公司);Waters 120-C₁₈ 色谱柱(100 mm×2.1 mm, 1.7 μ m, 美国 Waters 公司)。

2.2 农药残留田间试验

青菜品种:华王。

实验地点:上海松江区新浜镇。

实验药剂:20%阿维·虫螨腈悬乳剂(有效成分为阿维菌素 2%, 虫螨腈 18%)。

在同一生产基地,于2018年11~12月(冬季大棚)及2019年7~8月(夏季大棚和露地)青菜上施用同种药剂,在相同施药浓度、施药次数及同一采收间隔期等条件下进行对比试验。参照农药残留实验准则要求设置试验小区(3次重复,1个空白)^[10],在各试验小区内随机采集正常生长的青菜,每次每个小区采集1 kg以上可食用样本,采集后匀浆装瓶,并置于-20℃冰箱中贮存待测。上海属于典型的亚热带季风性湿润气候,夏季高温多雨、冬季低温少雨,2018年11~12月日气温为0~23℃,2019年7~8月日气温为20~37℃。

2.2.1 残留消解动态试验

药剂以112.5 g a.i./hm²(最高推荐剂量的1.5倍)的剂量施用1次,施药后0(2 h)、1、2、3、4、5、7、10、14、21、30 d连续采集青菜样品,测定青菜中阿维菌素、虫螨腈残留量。

2.2.2 最终残留试验

药剂以低剂量75 g a.i./hm²(最高推荐剂量)和高剂量112.5 g a.i./hm²2个施药浓度,分别施药2次、3次,施药间隔期7 d。分别于最后一次施药3、5、7 d后采集青菜样品,测定青菜中阿维菌素、虫螨腈残留量。

2.3 农药残留检测方法

2.3.1 样品前处理

(1)提取:称取(10±0.05) g匀浆后的样品置于50 mL离心管中,放入-20℃冰箱预冷20~30 min。加入10 mL乙腈,手摇快速震荡约30 s后加入提取盐包,手摇快速震荡混匀约1 min后于室温下4000 r/min离心5 min。

(2) 净化: 将 SinCHERS 固相萃取柱插入离心管中, 缓慢下压使离心管内的上层有机提取液穿过阻水滤片并通过净化填料净化后进入到储液槽内, 取柱内净化后的有机相根据实际情况适当稀释, 涡旋混匀后过 0.22 μm 滤膜, 分别装入进样小瓶中进行液相色谱串联质谱法(liquid chromatography tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)及气相色谱串联质谱法(gas chromatography tandem mass spectrometry, GC-MS/MS)分析。

2.3.2 LC-MS/MS 条件

(1) 色谱条件: Waters 120-C₁₈ 色谱柱(100 mm×2.1 mm, 1.7 μm); 柱温为 40 °C; 进样量为 3 μL; 梯度洗脱条件如下表 1 所示。

表 1 梯度洗脱程序 Table 1 Procedure of gradient elution			
时间 /min	流速/(mL/min)	流动相	
		V 甲醇/%	V 0.1%甲酸水/%
0.0	0.35	30	70
1.0	0.35	30	70
2.5	0.35	90	10
3.0	0.35	30	70
4.0	0.35	30	70

(2) 质谱条件: 电喷雾离子源(ESI); 正离子模式; 毛细管电压为 5500 V; 雾化气压力为 38 psi; 碰撞气为氩气; 鞘气温度为 500 °C; 鞘气流速为 50 L/min; 检测方式为多重反应监测(multi reaction monitor, MRM)。阿维菌素的定量离子对为 895.6/751.6(*m/z*), 定性离子对 895.6/449(*m/z*), 碰撞能量分别为 55 eV 及 63 eV。

2.3.3 GC-MS/MS 条件

(1) 色谱条件: 色谱柱: HP-5MS 毛细管柱(30 m×250 μm×0.25 μm); 进样口温度 250 °C; 载气 He, 流速 1.2 mL/min;

升温程序: 起始温度 60 °C, 以 40 °C/min 升至 225 °C, 继续以 10 °C/min 升至 280 °C, 保持 2 min; 进样量 1.0 μL。

(2) 质谱条件: 电子轰击电离源(electron impact ion source, EI), 电离电压 50 eV, 离子源温度 300 °C, 传输线温度 300 °C, 碰撞气为氩气, 选择反应监测模式(select reaction monitoring, SRM)。虫螨腈定性离子对为 136.9/102 (*m/z*), 定量离子对 246.9/227 (*m/z*), 碰撞能量均为 15 eV。

2.4 膳食暴露评估

通过农药日暴露量与其每日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI)和急性参考剂量(acute reference dose, ARfD)的比较对其长期慢性摄入风险和急性摄入风险进行评估, 由公式(1)~(3)计算^[11,12]。

$$EED = \frac{C \times FI}{BW}$$

(1)

$$RQ = EED / ADI$$

(2)

$$RP\% = EED / ARfD$$

(3)

式(1)中: *EED* 为青菜上农药残留的日估计暴露量, mg/(kg bw·d); *C* 为试验中获得的青菜中阿维菌素或虫螨腈残留量, mg/kg, 计算慢性风险时使用残留中值, 计算急性风险时使用残留最大值; *FI* 为人体每日食物摄入量, kg/d, 来源于上海地区居民膳食调研, 计算慢性风险时使用平均消费量, 计算急性风险时使用 *P*_{97.5} 高消费量(表 2); *BW* 为居民平均体重, kg^[13]。

式(2)中 *RQ* 为风险商, 用以评价长期慢性摄入风险。*RQ*<1 时, 表示没有风险; 当 *RQ*>1 时, 表明有风险, 且数值越大, 风险也越大。

式(3)中 *RP* 为风险概率, 用以评价急性摄入风险。*RP*%<100 时, 风险可接受; *RP*%>100 时, 风险不可接受。

2.5 数据分析

所得数据由 IBM SPSS Statistics 19 软件通过一般线性模型单变量多因素方差分析(general linear model-Univariate, GLM- Univariate)进行显著性分析, 分析方法为邓肯多重范围检验(Duncan's multiple range tests), 显著性水平为 *P*<0.05。

表 2 不同人群的体重和青菜摄入量 Table 2 Body weight of the subpopulation and dietary intake of pakchoi							
人群类别	调研人群数量	消费人群数量	平均体重/kg	小白菜日均摄入量/(kg/d)*			
				均值	<i>P</i> ₅₀ [#]	<i>P</i> _{97.5}	最大值
未成年	832	491	39.8	0.119	0.078	0.129	1.116
成年人	1834	1336	63.9	0.096	0.070	0.101	1.062

*仅统计消费人群; [#] *P*₅₀ 为 50 百分位数, 即把变量值按大小顺序排列, 居于全部变量个数的 50%位置的数值, *P*_{97.5} 同理。

3 结果与分析

3.1 方法的线性范围、回收率、精密度、检出限及定量限

将阿维菌素、虫螨腈标准溶液用空白基质提取液稀释配制 5 个浓度梯度的系列标准溶液。以标准溶液的浓度为横坐标(X), 相应峰面积的丰度值为纵坐标(Y)绘制标准曲线。

在青菜空白样品中, 添加 0.01、0.1、1.0 mg/kg 3 个浓度水平的阿维菌素·虫螨腈标准溶液, 进行添加回收率实验, 每个添加浓度重复 5 次, 考察方法的精密度。以 3 倍信噪比($S/N=3$)计算方法的检出限(limit of detection, LOD), 满足添加回收率范围及相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)的最低添加浓度为定量限(limit of

quantitation, LOQ)^[14]。在 0.01~1.0 mg/kg 的添加浓度范围内, 阿维菌素、虫螨腈在青菜中的添加回收率为 83.1%~116%, RSD 为 0.9%~6.9%, 可满足检测需求。结果见表 3。

3.2 阿维·虫螨腈在青菜上的残留消解动态

以 20%阿维·虫螨腈悬乳剂 1.5 倍最高推荐剂量(112.5 g a.i/ hm²)在青菜上喷雾 1 次, 不同种植环境下阿维菌素、虫螨腈在青菜上的降解趋势符合一级动力学方程 $C_t=C_0 e^{-kt}$ (见表 4), 残留量均随时间延长逐渐降低(图 1)。阿维菌素的原始沉积量(药后 2 h 残留量)平均值为 0.315~0.418 mg/kg, 消解半衰期为 0.88~2.30 d, 5 d 以后消解率均高于 90%。虫螨腈的原始沉积量平均值为 1.422~3.446 mg/kg, 消解半衰期为 4.36~5.02 d, 整体上冬季残留量高于夏季、大棚残留量高于露地, 消解速率无显著差异, 露地略高于大棚。

表 3 方法的线性范围、回归方程、线性相关系数、添加回收率、检出限及定量限($n=5$)
Table 3 Linear ranges, regression equations, correlation coefficients, recovery, LODs and LOQs ($n=5$)

化合物名称	线性范围/(mg/L)	回归方程	相关系数	回收率/%			检出限/(mg/kg)	定量限/(mg/kg)
				0.01 mg/kg	0.10 mg/kg	1.0 mg/kg		
阿维菌素	0.00~0.10	$Y=6083X+4402$	0.9969	96.4±6.9	83.1±2.4	84.8±4.9	0.0001	0.01
虫螨腈	0.00~1.00	$Y=1.073e4X+7.110e5$	0.9930	116±4.7	97.1±0.9	106±3.2	0.0027	0.01

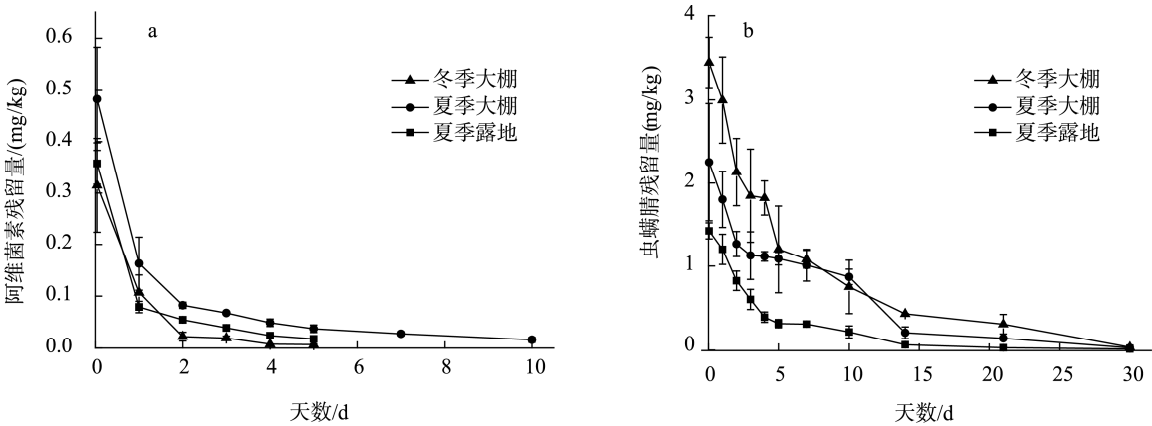


图 1 不同种植环境下阿维菌素(a)和虫螨腈(b)在青菜中的残留消解动态曲线($n=3$)
Fig.1 Residue dynamics of abamectin (a) and chlorfenapyr (b) in pakchoi under different planting environments($n=3$)

表 4 阿维菌素和虫螨腈在青菜中残留消解动态回归方程及相关参数
Table 4 Regression equation and relevant parameters of degradation dynamics of abamectin and chlorfenapyr in pakchoi

药物	试验条件	消解动态方程*	相关系数 r^2	半衰期 $T_{1/2}/d$
阿维菌素	大棚/冬	$C=0.2115e^{-0.542t}$	0.8900	1.28
	大棚/夏	$C=0.2196e^{-0.302t}$	0.8539	2.30
	露地/夏	$C=0.2143e^{-0.784t}$	0.9201	0.88
虫螨腈	大棚/冬	$C=3.035e^{-0.138t}$	0.9644	5.02
	大棚/夏	$C=2.112e^{-0.140t}$	0.9641	4.95
	露地/夏	$C=0.9786e^{-0.159t}$	0.9511	4.36

*式中 C_t 为阿维菌素及虫螨腈随时间变化的残留量, t 为施药后天数, k 为消解速率常数, 消解半衰期 $T_{1/2}=\ln 2/k$ 。

3.3 阿维·虫螨腈在青菜中最终残留量

20%阿维·虫螨腈悬乳剂以低剂量(75 g a.i/ hm²)和高剂量(112.5 g a.i/ hm²)施用后在青菜上的最终残留结果如表 5 所示。GB 2763-2019 规定阿维菌素、虫螨腈在青菜上的最大残留限量值(maximum residue limit, MRL)分别为为 0.05、10 mg/kg^[15]。最后一次施药 3 d 后各种植条件下阿维菌素在青菜上残留量均低于 0.05 mg/kg, 虫螨腈残留量均远低于 10 mg/kg, 无超标风险。阿维菌素冬季最终残留量显著高于夏季, 大棚与露地无显著差异($P>0.05$)。虫螨腈冬季残留量显著高于夏季、大棚显著高于露地($P<0.05$), 两年

的残留实验数据表明, 残留量与施药浓度基本成正相关, 与施药次数无显著相关性。

3.4 膳食摄入风险评估

将阿维菌素及虫螨腈最终残留的数据及其它相关暴露参数代入公式(1)~(3), 分别计算 2 类人群经青菜摄入阿维菌素及虫螨腈的风险, 评估结果如表 6 所示。膳食评估结果显示青菜中阿维菌素及虫螨腈残留对 2 类人群的风险商均远小于 1、风险概率均低于 100%, 未成年人群风险相对高于成年人群, 慢性和急性摄入风险均可接受。

表 5 阿维菌素和虫螨腈在青菜中的最终残留量($n=3$)
Table 5 Final residue of abamectin and chlorfenapyr in pakchoi($n=3$)

施药剂量 (g a.i/ hm ²)	施药次数	采收距末次 施药间隔时间/d	阿维菌素残留量/(mg/kg)			虫螨腈残留量/(mg/kg)		
			大棚(冬季)	大棚(夏季)	露地(夏季)	大棚(冬季)	大棚(夏季)	露地(夏季)
75	2	3	0.022±0.001	0.008±0.001	0.008±0.003	3.500±0.037	0.874±0.159	0.543±0.103
		5	0.016±0.005	0.007±0.002	0.007±0.001	2.454±0.202	0.696±0.267	0.510±0.089
		7	0.006±0.001	0.006±0.001	0.006±0.000	2.100±0.272	0.456±0.074	0.237±0.042
	3	3	0.038±0.013	0.007±0.001	0.008±0.000	3.604±1.040	0.760±0.112	0.424±0.057
		5	0.014±0.005	0.007±0.002	0.006±0.001	2.370±0.238	0.639±0.133	0.362±0.039
		7	0.009±0.003	0.006±0.001	0.006±0.001	1.694±0.386	0.488±0.052	0.216±0.080
112.5	2	3	0.047±0.016	0.010±0.001	0.012±0.002	4.295±1.842	1.185±0.343	0.815±0.398
		5	0.037±0.015	0.010±0.001	0.010±0.004	3.140±1.245	0.904±0.057	0.509±0.080
		7	0.010±0.002	0.009±0.001	0.007±0.001	2.307±1.125	0.666±0.324	0.324±0.152
	3	3	0.044±0.006	0.017±0.005	0.016±0.007	3.569±0.967	1.401±0.435	0.938±0.308
		5	0.035±0.008	0.010±0.001	0.010±0.001	3.566±0.721	0.943±0.085	0.472±0.086
		7	0.013±0.002	0.011±0.001	0.009±0.000	2.246±0.491	0.851±0.105	0.487±0.121

表 6 青菜生长期使用阿维菌素和虫螨腈的膳食风险商和风险概率
Table 6 Dietary exposure and hazard quotient of abamectin and chlorfenapyr in pakchoi

药物	人群类别	风险商			风险概率/%		
		3 d	5 d	7 d	3 d	5 d	7 d
阿维菌素*	未成年	0.036	0.030	0.022	4.88	4.39	1.59
	成年人	0.018	0.015	0.011	2.45	2.20	0.80
虫螨腈	未成年	0.146	0.113	0.114	60.8	45.4	35.8
	成年人	0.073	0.057	0.057	30.6	22.8	18.0

*阿维菌素 ADI 为 0.001 mg/(kg bw·d), AR/D 为 0.003 mg/(kg bw·d); 虫螨腈 ADI 为 0.03 mg/(kg bw·d), AR/D 为 0.03 mg/(kg bw·d)^[16]。

4 结论与讨论

田间残留实验结果显示:不同种植环境下,阿维菌素及虫螨脲在青菜上的降解趋势符合一级动力学方程,残留量均随时间延长逐渐降低;冬季青菜上虫螨脲原始沉积量及最终残留量均高于夏季、大棚高于露地,冬季及夏季大棚消解半衰期无显著差异,露地略短于大棚;冬季青菜上阿维菌素最终残留量高于夏季,大棚和露地无显著差异。GLM 多因素方差分析($P<0.05$)结果显示消解时间、环境因素(包括种植季节及栽培环境)及施药浓度均对虫螨脲的残留有显著影响,而影响阿维菌素消解残留的主要因素为消解时间。虫螨脲水溶性较低,在土壤表面也较难光解,仅在喷施后的一段时间内会大量散发到空气中^[17]。上海夏季气温高于冬季,露地的空气流动性高于大棚,都更易于虫螨脲的初始散发导致其在夏季以及露地的原始沉积量相对更低,而沉积后由于相对稳定在不同的种植条件下消解速率的差异相对较小。阿维菌素则由于施用量较低且半衰期较短,受环境因素及施药浓度的影响相对较小。但因采样及样品前处理允许误差,导致部分结果存在一定偏差。

最后一次施药 3 d 后阿维菌素及虫螨脲在青菜上残留量均低于相应限量值,但阿维菌素 3 d 后最高残留量接近 MRL 0.05 mg/kg(0.044 mg/kg)、虫螨脲 3 d 后最高风险概率值超过 50%(60.8%),综合考虑,使用 20%阿维·虫螨脲悬乳剂防治青菜上甜菜夜蛾,用药剂量为 45~60 g a.i./hm²,间隔 7 d 施药,最多可施用 3 次,安全间隔期为 5 d。

参考文献

- [1] Xu ZF, Hu Y, Hu J, *et al.* The interaction between abamectin and RDL in the carmine spider mite: A target site and resistant mechanism study [J]. *Pestic Biochem Phys*, Available online 23 January 2020.
- [2] Wolstenholme AJ. Recent progress in understanding the interaction between avermectins and ligand-gated ion channels: Putting the pests to sleep [J]. *Invertebr Neurosci*, 2010, 10: 5–10.
- [3] 车午男, 李新宇, 李修伟, 等. 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐的抗性机理研究进展[J]. *农药*, 2018, 57(8): 551–554.
Che WN, Li XY, Li XW, *et al.* Research progress on resistance mechanism of emamectin benzoate [J]. *Agrochemicals*, 2018, 57(8): 551–554.
- [4] 伍灿. 虫螨脲环境安全性评价[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016.
Wu C. Environmental safety evaluation for chlorfenapyr [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2016.
- [5] 中国农药信息网 - 行业数据 [EB/OL]. [2020-03-13]. <http://www.chinapesticide.org.cn/hysj/index.jhtml>.
China pesticides information network- industry data [EB/OL]. [2020-03-13]. <http://www.chinapesticide.org.cn/hysj/index.jhtml>.
- [6] 王怡, 田体伟, 郭线茹. 阿维菌素与虫螨脲混配对甜菜夜蛾的室内活性测定[J]. *华中昆虫研究*, 2014, 10: 90–93.
Wang Y, Tian TW, Guo XR. Toxicity analysis of avermectins and chlorfenapyr as well as their mixtures on *Spodoptera exigua* [J]. *Entomol Res Central China*, 2014, 10: 90–93.
- [7] 上海地产蔬菜 2020 年 1 月产销月报 [EB/OL]. [2020-02-10].

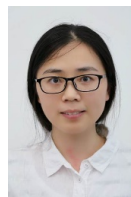
<https://www.shsjx.org/11959>

CBU-Autostats of local vegetables in shanghai in January 2020 [EB/OL]. [2020-02-10]. <https://www.shsjx.org/11959>

- [8] Wu LP, Zhou XL, Zhao DY, *et al.* Seasonal variation and exposure risk assessment of pesticide residues in vegetables from Xinjiang Uygur Autonomous Region of China during 2010–2014 [J]. *J Food Compos Anal*, 2017, 58: 9036–9044.
- [9] 黄兰淇, 马琳, 占绣萍, 等. 露地和大棚条件下噻虫嗪和啮虫脲在青菜中的残留及消解动态[J]. *农药*, 2018, 57(1): 42–45.
Huang LQ, Ma L, Zhan XP, *et al.* Residue and decline study of thiamethoxam and acetamiprid in pakchoi under open field and greenhouse conditions [J]. *Agrochemicals*, 2018, 57(1): 42–45.
- [10] NY/T 788-2004 农药残留试验准则[S].
NY/T 788-2004 Guideline on pesticide residue trials [S].
- [11] 钱永忠, 李耘. 农产品质量安全风险评估—原理、方法和应用[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
Qian YZ, Li Y. Risk assessment for quality and safety of agro-foods: principles, methodologies and applications [M]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [12] 吴永宁, 刘沛, 孙金芳, 等. 膳食暴露评估技术与总膳食研究[M]. 北京: 化学工业出版社, 2019.
Wu YN, Liu P, Sun JF, *et al.* Dietary exposure assessment and total diet study [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2019.
- [13] 2014 年国民体质监测公报[EB/OL]. [2015-11-25]. <http://www.sport.gov.cn/n315/n329/c216784/content.html>
Bulletin of fitness and health monitoring of Chinese citizen in 2014 [EB/OL]. [2015-11-25]. <http://www.sport.gov.cn/n315/n329/c216784/content.html>
- [14] EU SANTE/11945/2015 Guidance document on analytical quality control and method validation procedures for pesticides residues analysis in food and feed. directorate- general for health and food safety [S].
- [15] GB 2763-2019 食品安全国家标准食品中农药最大残留限量[S].
GB 2763-2019 National food safety standard- Maximum residue limits for pesticides in food [S].
- [16] Inventory of evaluations performed by the Joint Meeting on Pesticide Residues (JMPR) [EB/OL]. [2020-03-13]. <http://apps.who.int/pesticide-residues-jmpr-database/Home/Range/G-I>
- [17] Romeh AA, Saber R. Green nano-phytoremediation and solubility improving agents for the remediation of chlorfenapyr contaminated soil and water [J]. *J Environ Manag*, 2020, 260: 110104.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



李晓贝, 研究实习员, 主要研究方向为农产品质量与安全。
E-mail: lixiaobei212@sina.com



赵晓燕, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量与安全。
E-mail: cindy8119@163.com