

吡蚜灵在棉花叶片及土壤中的残留和消解动态

节梦蕾¹, 韩冯阳¹, 高有华², 时英爽¹, 景伟文^{1*}

(1. 新疆农业大学化学工程学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆农业大学农学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要:本研究测定干旱地区环境和种植条件下, 15% 吡蚜灵乳剂叶面喷施后在棉花叶片和根系土壤中的残留和消解动态。试验采用4个施药水平处理(450~1 125 mL·hm⁻²), 各喷施1次, 于施药后14 d间隔期内不同时间采集棉花上叶及根系土壤样品, 采用QuEChERS方法结合高效液相色谱法对样品进行分析。根据所建立的分析方法, 在450~1 125 mL·hm⁻²剂量范围内, 施药后棉花叶片中吡蚜灵的原始沉积量为1.11~2.03 mg·kg⁻¹, 消解半衰期为1.35~1.47 d; 土壤中的原始沉积量为0.26~0.56 mg·kg⁻¹, 消解半衰期为2.39~2.92 d, 14 d后完全消解, 表明吡蚜灵在本地区属于易降解农药, 大大降低了施用后的环境安全风险。

关键词: 吡蚜灵; 残留; 棉花叶片; 土壤

中图分类号: S433

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2025)04-0055-07

Residue and Dissipation Dynamics of Pyridaben in Cotton Leaves and Soil

JIE Menglei¹, HAN Fengyang¹, GAO Youhua², SHI Yingshuang¹, JING Weiwen^{1*}

(1. College of Chemical Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052;

2. College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: This study determined the residue and dissipation dynamics of pyridaben in cotton leaves and root soil under arid environmental conditions and local planting systems after foliar application of 15% pyridaben emulsion. Four application rates(450-1 125 mL/ha) were set, with one spray application per treatment. Cotton upper leaves and root soil samples were collected at different times within 14 days after application. Samples were analyzed using the QuEChERS method combined with high-performance liquid chromatography (HPLC). According to the established analytical method, within the application rate range of 450-1 125 mL/ha, the initial deposition of pyridaben in cotton leaves after application was 1.11-2.03 mg·kg⁻¹, with a dissipation half-life of 1.35-1.47 days. In soil, the initial deposition was 0.26-0.56 mg·kg⁻¹, with a dissipation half-life of 2.39-2.92 days. Pyridaben was completely dissipated in soil after 14 days. These results indicate that pyridaben is an easily degradable pesticide in this region, which significantly reduces the environmental safety risk after application.

Key words: Pyridaben; Residual; Cotton leaf; Soil

棉花(*Gossypium spp.*)是我国主要经济作物之一, 新疆棉花的总产量占全国60%以上^[1]。在棉花的生长过程中, 伴随着病虫害的侵入, 农药的施用是不可避免的^[2]。然而, 农药使用不当导致的滥施问题带来很多负面影响^[3]。据统计, 我国杀虫剂类农药的施用量占农药总施用量的3/4^[4], 是国外杀虫剂施用量的3倍。农药的过量施用不仅造成农药使用浪费, 且对环境造成了污染^[5], 还会使害虫对农药产生抗药性^[6], 达不到防治效果,

从而导致更加严重的滥施现象。所以, 需确定科学合理的施药剂量来避免此类问题。

棉叶螨(*Tetranychus cinnabarinus*)又名红蜘蛛, 是影响新疆棉花生产的三大害虫之一, 尤其是在生长季节初期时感染螨虫, 会降低棉花产量和棉绒质量^[7]。棉叶螨在棉叶背面刺吸汁液, 导致光合速率、气孔导度、蒸腾效率和叶绿素含量等严重降低。随着病虫害加重, 棉叶卷曲, 直至脱落, 最后棉株枯死。新疆高温低湿的气候条件非常利于棉叶螨的生长发育, 因此棉叶螨在整个棉花生长期都会发生, 导致螨在新疆棉区发生较为普遍且近年来日益严重^[8]。杀螨剂一类的化学农药是目前针对棉叶螨最有效的防控手段, 生产

收稿日期: 2024-12-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0200207-3)

作者简介: 节梦蕾(1996-), 女, 工程师, 硕士, 从事环境化学研究。

通信作者: 景伟文, E-mail: 479218061@qq.com

应用多且效果好的杀螨剂有哒螨灵、噻螨酮等^[9-11]。哒螨灵(Pyridaben)属哒嗪酮类杀螨剂,是一种新型的广谱杀螨剂,具有高效性和低毒性等特点,无内吸、传导和熏蒸作用,对不同生长期的卵、幼螨、若螨和成螨都具有较好的触杀作用,适用于棉花农作物^[12-14]。

为明确哒螨灵在新疆地区种植条件下对作物病虫害防治的最佳(低)有效施用剂量,达到安全、合理、高效用药的目的,有必要弄清哒螨灵在作物施用后的残留消解动态以及不同的施药水平与最终残留量的关系。药剂施用后在叶表的残留水平与植物种类、栽培情况、药剂施用情况尤其是与环境条件有关。目前关于哒螨灵残留消解的研究较多,但是在新疆地区的研究尚不多见。新疆绿洲地区属于典型的干旱半干旱型气候,降水量少,气候干燥,日照充分而强烈,由此形成较大面积的宜(次宜)植棉区和特殊的种植栽培制度、习惯,如膜下滴灌和一年一熟的栽培与耕作方式等^[15-16]。这些因素既与虫害的发生情况有关,也会影响棉田害虫防治的具体方法和策略。因此,开展新疆地区特殊气候、环境和种植体系下棉花作物受药后药剂的沉积、残留消解规律的测定工作可为药剂区域性最佳(低)有效使用剂量的确定提供参考数据,长远来看,更是实现农药减施增效,保障棉花产业可持续发展的必不可少的基础工作之一^[17]。因此,本研究在新疆乌鲁木齐试验点进行哒螨灵的残留试验,明确该试验条件下不同剂量哒螨灵的残留和消解动态,为该药剂在新疆地区条件下最佳(低)有效使用剂量的确定提供基础数据,同时也为干旱区环境条件下哒螨灵药剂残留消解动态的研究提供具体参考。

1 材料与方 法

1.1 试验田基本情况

试验地位于新疆乌鲁木齐市新疆农业大学三坪试验田。试验田的土壤类型为黄土质棕钙土。

1.2 施药方法

残留试验参考《农药残留试验准则》(NY/T 788-2004)^[18]进行。棉花品种为“新陆早49”,哒螨灵为15%乳剂(江苏克胜集团股份有限公司),6~8叶期开始施药。试验小区每处理面积为15 m²,4个重复,处理间设保护带。采用AGROLEX HD-400型背负式手动喷雾器(新加坡利农有限责任公司)进行叶面喷施。设定使用剂量(有效成分,下同)为450、600、900、1 125 mL·hm⁻²(分别用A~D代

表,厂家推荐剂量为600~900 mL·hm⁻²)共4个处理,用水量为900 L·hm⁻²,施药1次。于2018年7月15日(晴朗无风,29℃)进行喷施,同时设置不施药的清水对照。药后2 h和1、3、5、7、10、14 d进行取样。

1.3 采样方法

每小区随机采集适量棉花上部叶片及根系表土样品。每小区随机选取10株生长情况中等的植株采集叶片样品。土壤样品用取土器采集,采用对角线法则确定10个采样点采集土壤样品。土壤样品自然风干、磨细,过孔径420 μm筛。上述样品经四分法缩分留样后用自封袋密封,自封袋内外均使用标签纸标注,低温贮存备测。

1.4 样品的提前处理

采用QuEChERS方法进行。称取10.00 g样品(用搅拌机搅碎的棉花叶片)于50 mL具塞离心管中,加入20 mL乙腈溶剂提取后振荡15 min,加入萃取盐析材料,手动摇匀,振荡5 min后超声3 min,在6 000 r·min⁻¹下离心5 min,取2 mL上清液快速加入装有净化材料的离心管中,快速振摇多次,静置后取上清液过0.22 μm有机微孔滤膜过滤后待测。每个样品做3份平行试验,结果取平均值。

2 结果与分析

2.1 分析方法

2.1.1 净化剂的优化

农残检测中常用的净化剂有N-丙基乙二胺(PSA)、十八烷基硅烷(C18)、石墨化炭黑(GCB)。PSA去除脂肪酸效果较好,对农药的吸附作用较小^[19];C18吸附剂具有疏水性,适用于反相萃取,能够有效去除脂肪酸和色素;GCB除色素、维生素、甾醇的能力较好^[20]。选择PSA、C18和GCB 3种净化剂进行组合(①PSA+C18;②PSA+GCB;③PSA+C18+GCB),以期达到较好较优的净化效果。由表1可知,采用组合②处理棉花叶片时效果最好,组合①在处理土壤时效果最好。

2.1.2 标准工作曲线及基质效应

在优化的色谱条件下测定质量浓度范围在0.01~10.00 mg·L⁻¹的系列标准溶液,用选定的定量峰面积(y)对质量浓度(x)绘制标准曲线。线性回归方程为 $y=147\ 356.1x+5\ 142.9$, $R^2=0.999\ 8$,结果表明,在0.10~10.00 mg·L⁻¹范围内哒螨灵呈现出良好的线性关系。将溶剂标准工作溶液和基质匹配标准工作溶液分别进行测定,按照浓度和相应的峰面积建立线性方程,计算基质效应,结

表1 净化剂的优化
Table 1 Optimization of purification agents

样品名称 Sample name	添加水平/ mg·L ⁻¹ Additive concentration	组合①回收 率/% Recovery rate for combination ①	相对标准偏 差/(n=6) Relative stan- dard deviation	组合②回收 率/% Recovery rate for combination ②	相对标准偏 差/(n=6) Relative stan- dard deviation	组合③回收 率/% Recovery rate for combination ③	相对标准偏 差/(n=6) Relative standard de- viation
棉花叶片	0.10	85.45±1.99	2.34	93.76±2.00	2.14	83.68±3.64	4.35
	1.00	86.89±1.40	1.74	91.12±1.24	1.36	81.14±1.76	2.16
	10.00	92.24±1.05	1.05	98.34±0.65	0.67	87.06±1.43	1.43
土壤	0.10	90.51±2.10	2.33	78.69±2.73	3.48	75.42±2.24	2.98
	1.00	90.28±1.28	1.28	85.53±1.36	1.63	78.87±1.62	2.05
	10.00	95.50±0.95	1.00	90.35±1.25	1.38	82.87±1.17	1.41

果表明,棉花叶片的基质效应为+0.054%,土壤的基质效应为+0.018%。

2.1.3 回收率与精密度的测定

在空白对照小区随机采取棉花叶片及根系土壤,哒螨灵标准溶液的添加水平分别为1.00、5.00、10.00 mg·L⁻¹,每个添加水平设6个重复,按前述的方法对样品进行分析,测定相关指标如表2所示。结果表明,哒螨灵在棉花叶片和土壤中的回收率分别为89.79%~106.50%、92.47%~95.80%,相

对标准偏差为0.48%~1.09%、0.67%~1.17%。

在仪器上的响应值为基础,以3倍信噪比所对应的浓度为方法测定检出限(加标水平为0.10 mg·L⁻¹,取6个独立样品进行测试),结果得出哒螨灵在棉花叶片和土壤中的检出限分别为0.012、0.016 mg·kg⁻¹;以10倍信噪比所对应的浓度为方法的定量限,结果得出定量限分别为0.034、0.046 mg·kg⁻¹。从上述结果可以看出,该方法可用于棉花叶片和土壤中哒螨灵的残留分析测定。

表2 哒螨灵的回收率及相对标准偏差
Table 2 Recovery rate and relative standard deviation of imidacloprid

样品名称 Sample name	添加水平/mg·L ⁻¹ Additive concentration	加标回收率/% Spike recovery	相对标准偏差/(n=6) Relative standard deviation
棉花叶片	1.00	89.79±0.98	1.09
	5.00	106.50±0.54	0.51
	10.00	104.72±0.50	0.48
土壤	1.00	92.47±1.08	1.17
	5.00	95.80±0.69	0.72
	10.00	93.15±0.62	0.67

2.2 哒螨灵在棉花叶片中的残留和消解动态

如图1所示,大田条件下施用15%哒螨灵乳油后,棉花叶片上哒螨灵的原始沉积量在450、600、900、1 125 mL·hm⁻²剂量下分别为1.11、1.48、1.71、2.03 mg·kg⁻¹,原始沉积量随喷施剂量增加而增加。之后,哒螨灵的残留量随时间推移逐步降低,消解率逐渐增大。各个剂量在棉花叶片中的变化趋势相同。药后第3天,各个剂量的哒螨灵

消解率均接近50%,第5天各个剂量哒螨灵的消解率均在87%以上,表明哒螨灵的消解主要在喷施后0~5 d。药后5~11 d,哒螨灵消解速率逐渐放慢,11 d后哒螨灵残留水平为原始沉积量的99%,14 d后哒螨灵在叶片中基本消解完全。对残留数据进行拟合,发现其消解动态符合一级动力学方程(表3),消解半衰期为1.35~1.47 d。

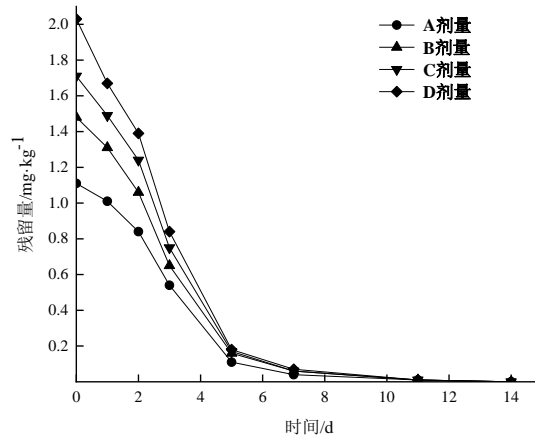


图1 啞蟞灵在棉花叶片上的残留消解动态

Fig. 1 Residual degradation dynamics of imidacloprid in cotton leaves

表3 4种不同剂量啞蟞灵的一级动力学方程和消解半衰期(棉花叶片)

Table 3 First order kinetic equations and degradation half lives of four different doses of imidacloprid(cotton leaves)

	剂量 Dose			
	A	B	C	D
方程	$C_1=1.5388e^{-0.473t}$	$C_1=2.0923e^{-0.487t}$	$C_1=2.4508e^{-0.504t}$	$C_1=2.8417e^{-0.514t}$
R ²	0.9716	0.9846	0.9825	0.9848
T _{1/2} /d	1.47	1.42	1.38	1.35

2.3 啞蟞灵在根系土壤中的残留消解动态

如图2所示,施药后根系土壤中啞蟞灵的原始沉积量在450、600、900、1125 mL·hm⁻²剂量下分别为0.26、0.36、0.44、0.56 mg·kg⁻¹,原始沉积量亦随喷施剂量增加而增加。各个剂量在土壤中的残留量也随着时间的延长而逐渐减少。施药后第3天各个剂量的啞蟞灵消解速率接近50%,0~5 d消解速率较快,第7天各个剂量的啞蟞灵消解率均在87%以上,7~11 d啞蟞灵消解速率逐渐减慢,

11 d后其残留量水平较低,已达到检测不出的水平,表明喷施后0~7 d是啞蟞灵的主要消解期。就啞蟞灵在土壤中的残留与消解动态来看,14 d的间隔期已使啞蟞灵在土壤中基本消解完全。对数据进行拟合,结果如表4所示,土壤中啞蟞灵的消解动态符合一级动力学方程,消解半衰期为2.39~2.92 d,表明啞蟞灵在土壤中的消解速率比叶片中慢。

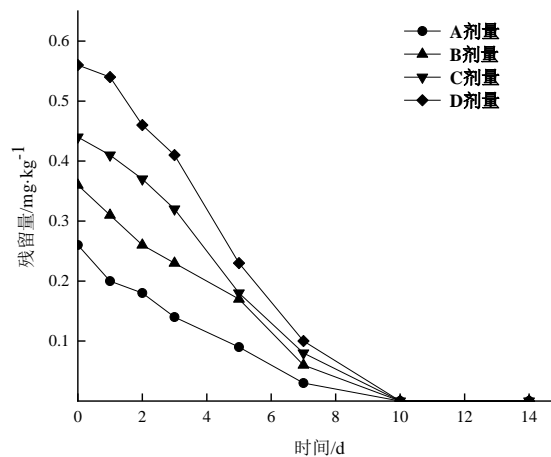


图2 啞蟞灵在根系土壤中的残留消解动态

Fig. 2 Residual degradation dynamics of imidacloprid in root soil

表4 4种不同剂量吡螨灵的一级动力学方程和消解动态(棉花根系土壤)

Table 4 First order kinetic equations and degradation half-life of four different doses of pyridaben(cotton root soil)

	剂量 Dose			
	A	B	C	D
方程	$C_t=0.2948e^{-0.290t}$	$C_t=0.4109e^{-0.237t}$	$C_t=0.5400e^{-0.244t}$	$C_t=0.6944e^{-0.247t}$
R ²	0.9399	0.9055	0.9293	0.9287
T _{1/2} /d	2.39	2.92	2.84	2.81

3 讨论与结论

农药残留问题在国际社会受到广泛关注,在农药残留分析中,由于农药种类繁多、化学结构和性质不同、样品基质较为复杂,且残留农药含量低等特点,样品前处理方法要求尽量完全地将残留的农药从样品中提取出来,充分降低或去除杂质干扰,准确检测农药残留^[21-22]。QuEChERS方法以乙腈等溶剂作为提取剂,提取样品时,在提取液中加入适量的固体净化剂,如PSA、C18、GCB等,可达到除去基质中的干扰物以及对目标组分的提取和净化目的^[23],被广泛应用于水果和蔬菜(叶类)以及多种农药残留等方面的测定^[24]。为了解吡螨灵在大田棉花和土壤中喷施后的残留和消解动态,本研究在选定的分析条件下验证了方法的线性范围、线性方程、检出限、定量限、加标回收率及相对标准偏差等性能参数,得到了比较满意的分析条件和方法。

吴绪金等^[25]研究10%吡螨灵微乳剂112.50、168.75 g·hm⁻²剂量下在棉花和土壤中的残留及消解动态,吡螨灵在棉花叶中的消解半衰期为0.84~2.5 d,土壤中的消解半衰期为5.7~7.3 d;LIU等^[26]研究40%吡螨灵粉剂202.5 g·hm⁻²剂量下在甘蓝中的消解和残留,表明吡螨灵在甘蓝中迅速消散,半衰期为2.8~3.5 d,收获期吡螨灵的最终残留量为0.01~0.80 mg·kg⁻¹,因此推荐剂量的吡螨灵在甘蓝中的残留不会对环境 and 人体造成危害。与本研究的结果对比,一致的是吡螨灵在叶片消解速率较快,相比在土壤中消解较慢,这主要是因为叶片受温度、湿度、光照、风速等环境因素的影响较大^[27];与上述研究差异在于喷施的剂型和剂量不同,造成残留及消解动态的差异。由于该地区气候干燥,光照时间长且强度大,故该地区吡螨灵消解速率更快。

关于剂量与半衰期的关系,李文明等^[28]在不

同剂量条件下对噻苯隆和敌草隆在棉叶上的消解动态进行了研究,发现在高剂量和低剂量两种不同施药剂量条件下,施药剂量的不同仅仅对噻苯隆和敌草隆在棉叶上的原始沉积量有一定影响,与其在棉叶上的半衰期无关,各剂量下的半衰期基本相同。王璞^[29]采用不同浓度的吡虫啉喷施于小麦上,测定其降解半衰期为0.92~2.19 d,且浓度越大,降解越快,14 d后消解完全,表明在该实验条件下,各剂量间消解差异不大。本研究的相关结果与其近似,可能因为剂量越高受环境影响越大。

依据《化学农药环境安全评价试验准则》中农药在土壤中的降解划分等级,半衰期小于1个月的属于极易降解农药,因此吡螨灵属于极易降解农药。本试验,根据所建立的分析方法所得结果,15%吡螨灵乳剂在450、600、900、1125 mL·hm⁻²剂量下,叶片中的原始沉积量分别为1.11、1.48、1.71、2.03 mg·kg⁻¹,土壤中的原始沉积量分别为0.26、0.36、0.44、0.56 mg·kg⁻¹,4种剂量的消解趋势相似,在棉花叶片和根系土壤中的消解均符合一级动力学模型,消解半衰期与剂量没有明显的对应关系。测定结果表明,按照推荐剂量施药,吡螨灵在棉花叶片和土壤中10 d后残留量均小于检出限0.1 mg·kg⁻¹,表现出易消解性,从而大大减少了施用后的环境风险。

参考文献:

- [1] 田景山,张煦怡,虎晓兵,等.新疆产棉区高强棉纤维形成的纤维素累积特征及适宜温度[J].中国农业科学,2018,51(22):39-50.
TIAN J S, ZHANG X Y, HU X B, et al. Characteristics of cellulose accumulation and suitable temperature for the formation of high-strength cotton fibers in Xinjiang cotton-producing areas [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(22): 39-50. (in Chinese)
- [2] 赵雪蛟.农药化肥施用对我国农产品安全影响的思考[J].南方农业,2019(15):164-165.
ZHAO X J. Reflections on the impact of pesticide and fertilizer

- application on the safety of agricultural products in China[J]. South China Agriculture, 2019(15): 164-165. (in Chinese)
- [3] 蔡冬清, 吴正岩, 吴丽芳, 等. 化肥与农药控失技术研发及产业化[J]. 科技促进发展, 2019, 15(4): 351-356.
- CAI D Q, WU Z Y, WU L F, et al. Fertilizer and pesticide loss control technology and industrialization[J]. Science and Technology for Development, 2019, 15(4): 351-356. (in Chinese)
- [4] 李肖. 浅析农药使用对环境的影响[J]. 现代农村科技, 2019(6): 104.
- LI X. Analysis of the impact of pesticide use on the environment [J]. Modern Rural Science and Technology, 2019(6): 104. (in Chinese)
- [5] 段入心, 孟雷, 王宁新. 昆虫共生菌介导的抗药性研究进展[J]. 生物技术通报, 2019, 35(9): 29-34.
- DUAN R X, MENG L, WANG N X, et al. Research advances in insect symbiotic bacteria-mediated insecticide resistance[J]. Biotechnology Bulletin, 2019, 35(9): 29-34. (in Chinese)
- [6] 闫泽涛. 推进中国经济绿色发展的体系构建[J]. 华东经济管理, 2016, 30(12): 47-52.
- YAN Z T. Promoting the system construction for green development of China's economy[J]. East China Economic Management, 2016, 30(12): 47-52. (in Chinese)
- [7] WILSON L T, TRICHILO P J, GONZALEZ D. Spider mite (Acari: Tetranychidae) infestation rate and initiation: effect on cotton yield[J]. Journal of Economic Entomology, 1991, 84(2): 593-600.
- [8] 李进步, 吕昭智, 王登元, 等. 新疆棉区主要害虫的演替及其机理分析[J]. 生态学杂志, 2005, 24(3): 261-264.
- LI J B, LYU Z Z, WANG D Y, et al. Succession of major pests in Xinjiang cotton fields and its mechanism analysis[J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(3): 261-264. (in Chinese)
- [9] REDDALL A, SADRAS V O, WILSON L J, et al. Physiological responses of cotton to two-spotted spider mite damage[J]. Crop Science, 2004, 44(3): 835-846.
- [10] 黄有竹. 棉花病虫害综合防治技术探讨[J]. 农民致富之友, 2017(10): 74, 52.
- HUANG Y Z. Discussion on integrated control technology of cotton diseases and insect pests[J]. NONGMIN ZHIFUZHUYOU YUEKAN, 2017(10): 74, 52. (in Chinese)
- [11] 胡桂萍, 石旭平, 张国彪, 等. 哒螨灵亚致死浓度对茶橙瘿螨种群的影响[J]. 农学学报, 2016, 6(8): 29-32.
- HU G P, SHI X P, ZHANG G B, et al. Effect of sub-lethal concentrations of pyridaben on the population of acaphylla theae[J]. Journal of Agricultural Sciences, 2016, 6(8): 29-32. (in Chinese)
- [12] 朱宏庆. 哒螨灵的合成研究[J]. 江苏化工, 1999, 27(3): 21-22.
- ZHU H Q. Study on the synthesis of pyridaben[J]. Jiangsu Chemical Industry, 1999, 27(3): 21-22. (in Chinese)
- [13] 王慎苓, 于丽, 李安荣, 等. QuEChERS方法在果蔬农药多残留检测中的应用[J]. 食品与药品, 2019, 21(3): 231-234.
- WANG S L, YU L, LI A R, et al. Application of QuEChERS method in the detection of pesticide multiresidues in fruits and vegetables[J]. Food and Drug, 2019, 21(3): 231-234. (in Chinese)
- nese)
- [14] 陈晓兰, 邓全道, 陈娟, 等. 哒螨灵在罗汉果中的残留分析及降解动态[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(20): 222-225.
- CHEN X L, DENG Q D, CHEN J, et al. Residue analysis and degradation dynamics of pyridaben in siraitia grosvenorii[J]. Food Research and Development, 2018, 39(20): 222-225. (in Chinese)
- [15] 杨莲梅, 关学锋, 张迎新. 亚洲中部干旱区降水异常的大气环流特征[J]. 干旱区研究, 2018, 35(2): 249-259.
- YANG L M, GUAN X F, ZHANG Y X. Atmospheric circulation characteristics of precipitation anomalies in the arid zone of Central Asia[J]. Arid Zone Research, 2018, 35(2): 249-259. (in Chinese)
- [16] 马琼, 王雅鹏. 新疆棉花生产的外部环境成本评估[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(6): 63-68.
- MA Q, WANG Y P. Assessment of external environmental costs of cotton production in Xinjiang[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, 29(6): 63-68. (in Chinese)
- [17] 时英爽, 高有华, 蔡超, 等. 新疆棉田吡虫啉残留动态及其防治棉蚜田间用药量确定[J]. 中国棉花, 2019, 46(10): 25-29, 37.
- SHI Y S, GAO Y H, CAI C, et al. Imidacloprid residue dynamics in cotton fields of Xinjiang and determination of field application rates for cotton aphid control[J]. China Cotton, 2019, 46(10): 25-29, 37. (in Chinese)
- [18] NY/T 788-2004, 农药残留试验准则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- Guideline on pesticide residue trials(NY/T 788-2004)[S]. Beijing: Standards Press of China, 2004. (in Chinese)
- [19] 张雪莲, 张耀海, 焦必宁. 气相色谱-串联质谱法结合 QuEChERS方法快速检测柑橘中52种农药多残留[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 152-155.
- ZHANG X L, ZHANG Y H, JIAO B N. Rapid determination of 52 pesticide residues in citrus by gas chromatography-tandem mass spectrometry coupled with QuEChERS[J]. Food Science, 2013, 34(6): 152-155. (in Chinese)
- [20] 邱世婷, 蒲凤琳, 侯雪, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定9种绿叶类蔬菜中36种农药多残留的基质效应[J]. 农药学报, 2018, 20(5): 661-667.
- QIU S T, PU F L, HOU X, et al. Determination of matrix effects of 36 pesticide multi-residues in 9 green leafy vegetables by ultra-high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2018, 20(5): 661-667. (in Chinese)
- [21] 张燕, 陈丹, 李苓, 等. QuEChERS样品制备技术在烟草农药残留检测中的研究进展[J]. 东北农业科学, 2018, 43(3): 43-46.
- ZHANG Y, CHEN D, LI L, et al. Research progress of QuEChERS sample preparation technology in tobacco pesticide residue detection[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2018, 43(3): 43-46. (in Chinese)
- [22] 李芳, 张静, 杨中, 等. QuEChERS/液质联用法测定蔬菜中17种农药残留[J]. 吉林农业科学, 2013, 38(3): 93-96.

- LI F, ZHANG J, YANG Z, et al. Determination of 17 pesticide residues in vegetables by QuEChERS/liquid chromatography-mass spectrometry[J]. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 2013, 38(3): 93-96. (in Chinese)
- [23] ANASTASSIADES M, LEHOTAY S J, STAJNBAHER D, et al. Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and "dispersive solid-phase extraction" for the determination of pesticide residues in produce[J]. *Journal of AOAC International*, 2003, 86(2): 412-431.
- [24] GONZALEZ-CURBELO M A, SOCAS-RODRIGUEZ B, HERRERA-HERRERA A V, et al. Evolution and applications of the QuEChERS method[J]. *Trends in Analytical Chemistry*, 2015, 71: 169-185.
- [25] 吴绪金, 马欢, 马婧玮, 等. 啞蟊灵在棉花和土壤中的残留及消解动态研究[J]. *现代农药*, 2014, 13(1): 37-40.
- WU X J, MA H, MA J W, et al. Study on residue and degradation dynamics of pyridaben in cotton and soil[J]. *Modern Agrochemicals*, 2014, 13(1): 37-40. (in Chinese)
- [26] LIU C Y, LU D H, WANG Y C, et al. Residue and risk assessment of pyridaben in cabbage[J]. *Food Chemistry*, 2014, 149: 233-236.
- [27] 徐晓英. 地下滴灌技术在新疆地区棉花种植中的应用[J]. *吉林农业*, 2018(21): 73.
- XU X Y. Application of sub-surface drip irrigation technology in cotton planting in Xinjiang region[J]. *Jilin Agriculture*, 2018(21): 73. (in Chinese)
- [28] 李文明, 王林, 乔成奎, 等. 不同施药剂量条件下啞苯隆和敌草隆在棉叶上的残留动态研究[J]. *农药科学与管理*, 2014, 35(5): 33-37.
- LI W M, WANG L, QIAO C K, et al. Residue dynamics of thidiazuron and diuron on cotton leaves under different application doses[J]. *Pesticide Science and Administration*, 2014, 35(5): 33-37. (in Chinese)
- [29] 王璞. 啞虫啉在小麦中的残留动态及其环境行为的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
- WANG P. Residue dynamics of pymetrozine in wheat and its environmental behavior[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012. (in Chinese)

(责任编辑:王 昱)

(上接第 42 页)

- [48] MATTS J, JAGADEESWARAN G, ROE B A, et al. Identification of microRNAs and their targets in switchgrass, a model biofuel plant species[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2010, 167(11): 896-904.
- [49] GAO X, DU Z, HAO K, et al. ZmmiR398b negatively regulates maize resistance to sugarcane mosaic virus infection by targeting ZmCSD2/4/9[J]. *Molecular Plant Pathology*, 2024, 25(5):e13462.
- [50] SUN Q, LIU X, YANG J, et al. MicroRNA528 affects lodging resistance of maize by regulating lignin biosynthesis under Nitrogen-Luxury conditions[J]. *Molecular Plant*, 2018, 11(6): 806-814.
- [51] HONG Z, XU H, SHEN Y, et al. Bioengineering for robust tolerance against cold and drought stresses via co-overexpressing three Cu-miRNAs in major food crops[J]. *Cell Reports*, 2024, 43(10): 114828.
- [52] DIVEKAR PA, NARAYANA S, DIVEKAR BA, et al. Plant secondary metabolites as defense tools against herbivores for sustainable crop protection[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, 23(5):2690.
- [53] WANG H, SONG S, GAO S, et al. The NLR immune receptor ADR1 and lipase-like proteins EDS1 and PAD4 mediate stomatal immunity in *Nicotiana benthamiana* and *Arabidopsis*[J]. *Plant Cell*, 2024, 36(2):427-446.
- [54] WAN D, LI R, ZOU B, et al. Calmodulin-binding protein CBP60g is a positive regulator of both disease resistance and drought tolerance in *Arabidopsis*[J]. *Plant Cell Reports*, 2012, 31(7): 1269-1281.

(责任编辑:范杰英)