

50%异菌脲·腐霉利悬浮剂在设施和露地番茄上的 残留与安全性评价

张正辉^{1,2}, 贺敏^{2*}, 赵尔成², 余革中², 颜振敏¹, 吴艳兵^{1*}

(1. 河南科技学院资源与环境学院, 新乡 453003; 2. 北京市农林科学院植物保护研究所, 北京 100097)

摘要: **目的** 开展50%异菌脲·腐霉利悬浮剂在设施和露地番茄上的残留试验, 评价其在番茄上使用的安全性。**方法** 2021年在北京、辽宁、甘肃、山西、山东、浙江、河南、江苏、贵州、河北、湖南和重庆的番茄主产区开展了田间试验, 番茄样品用乙腈涡旋提取, N-丙基乙二胺、石墨化碳黑和十八烷基碳混合分散吸附剂净化, 超高效液相色谱分离, 三重四极杆串联质谱检测, 基质标准曲线-外标法定量。**结果** 设施番茄中异菌脲和腐霉利的降解半衰期分别为11.5和12.3 d, 露地番茄中异菌脲和腐霉利的降解半衰期分别为6.9和7.8 d。50%异菌脲·腐霉利悬浮剂在番茄上按最高剂量525 g a.i./hm²施药3次后, 安全间隔期7 d时, 设施番茄中异菌脲的最终残留量为0.10~0.73 mg/kg, 腐霉利的最终残留量为0.14~1.67 mg/kg, 露地番茄中异菌脲的最终残留量为<0.01~0.25 mg/kg, 腐霉利的最终残留量为<0.01~0.58 mg/kg。**结论** 依据GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》中规定的异菌脲和腐霉利的最大残留限量标准, 收获的番茄食用是安全的。本研究结果为50%异菌脲·腐霉利悬浮剂在设施和露地番茄上的安全使用、农药残留量控制和农产品安全提供理论和技术支持。

关键词: 异菌脲; 腐霉利; 番茄; 超高效液相色谱-串联质谱法; 农药残留

Residue and safety evaluation of 50% iprodione and procymidone suspension on greenhouse and open field tomatoes

ZHANG Zheng-Hui^{1,2}, HE Min^{2*}, ZHAO Er-Cheng², YU Ping-Zhong²,
YAN Zhen-Min¹, WU Yan-Bing^{1*}

(1. School of Resourced and Environment, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China; 2. Institute of Plant Protection, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the residual levels and evaluate the residue safety of 50% iprodione and procymidone suspension on tomatoes, carry out the greenhouse test and field test. **Methods** Field experiments were conducted in the main tomato producing areas in Beijing, Liaoning, Gansu, Shanxi, Shandong, Zhejiang, Henan,

基金项目: 国家自然科学基金项目(31701822)、河南省科技攻关计划项目(212102110456)、农药残留登记试验项目(IPEP-NC-2109)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31701822), the Key Scientific and Technological Projects of Henan Province (212102110456), and the Pesticide Residue Registration Test Project (IPEP-NC-2109)

***通信作者:** 贺敏, 副研究员, 主要研究方向为农药残留与农产品安全。E-mail: hemin800420@163.com

吴艳兵, 副教授, 主要研究方向为农药残留与环境毒理。E-mail: wybhist@126.com

***Corresponding author:** HE Min, Associate Professor, Institute of Plant Protection, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, No.9, Shuguang Garden Road, Haidian District, Beijing 100097, China. E-mail: hemin800420@163.com

WU Yan-Bing, Associate Professor, School of Resources and Environment, Henan Institute of Science and Technology, No.90, Hualan Road, Hongqi District, Xinxiang 453003, China. E-mail: wybhist@126.com

Jiangsu, Guizhou, Hebei, Hunan and Chongqing in 2021, the tomato samples were vortex extracted with acetonitrile, purified with the mixed and dispersed adsorbent of N-propylethylenediamine, graphitized carbon black and octadecyl carbon, separated by ultra performance liquid chromatography, detected by triple quadrupole tandem mass spectrometry, and quantified by the matrix standard curve-external standard method. **Results** The degradation half-lives of iprodione and procymidone in greenhouse tomatoes were 11.5 and 12.3 d, respectively, and those of iprodione and procymidone in open field tomatoes were 6.9 and 7.8 d, respectively. After the maximum dose of 50% iprodione and procymidone suspension was applied to tomatoes for 3 times at the highest dose of 525 g a.i./hm², and when the safety interval was 7 d, the final residual amount of iprodione in greenhouse tomato was 0.10–0.73 mg/kg, the final residual amount of procymidone was 0.14–1.67 mg/kg, and the final residual amount of iprodione in open field tomato was <0.01–0.25 mg/kg, the final residue of procymidone was <0.01–0.58 mg/kg. **Conclusion** According to GB 2763—2021 *National food safety standard-Maximum residue limit of pesticides in food*, the harvested tomatoes are safe to eat. The results of this study provide theoretical and technical support for the safe use, pesticide residue control and agricultural product safety of 50% iprodione and procymidone suspension on greenhouse and open field tomatoes.

KEY WORDS: iprodione; procymidone; tomatoes; ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry; pesticide residue

0 引言

番茄是我国的主要栽培作物,在设施和露地中均可种植,其在花期和结果期极易发生灰霉病,严重时可导致减产 50%,甚至绝产^[1-2]。异菌脲和腐霉利属于二甲酰亚胺类杀菌剂,对番茄灰霉病具有良好的防治效果,是目前生产上的主要防治药剂^[3-4],异菌脲主要抑制菌体的蛋白激酶,作用方式以触杀为主^[5-6],腐霉利主要是抑制菌体内甘油三酯的合成,有触杀和内吸作用^[7-8]。异菌脲或腐霉利的单一成分分析^[9-10]、残留和消解^[11-15]、膳食摄入安全^[16-20]的文献已有报道。50%异菌脲·腐霉利悬浮剂对番茄灰霉病的防治效果比单剂更好,关于该混剂产品在设施和露地番茄上的残留和安全性评价未见报道。设施和露地番茄的生产模式与季节不同,开展设施和露地番茄上农药的残留差异分析,能更好地指导农药的安全使用,保障农产品安全。徐秋生等^[21]利用液相色谱法在番茄上建立了腐霉利和异菌脲的多残留分析方法,但是未开展番茄样品的检测分析。腐霉利和异菌脲在蔬菜和水果中相关的气相色谱法^[22]、气相色谱-串联质谱法^[23-25]、液相色谱-串联质谱法^[26-27]检测也有报道,但关于异菌脲和腐霉利在设施和露地番茄上的残留差异的研究鲜见报道。因此,本研究在已有文献报道的基础上,利用超高效液相色谱-串联质谱法(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)在番茄上建立了腐霉利和异菌脲的多残留分析方法,并于 2021 年以北京、辽宁、甘肃、山西、山东和浙江 6 地的设施番茄和重庆、湖南、贵州、江苏、河南、河北 6 地的露地番茄为研究对象,开展了 50%异菌脲·腐霉利悬浮剂在设施和露地番茄上的消

解和最终残留试验,评估了异菌脲和腐霉利的残留安全性,为 50%异菌脲·腐霉利悬浮剂的安全合理使用提供科学依据,为农药残留量控制和农产品安全管控提供支持。

1 材料与方法

1.1 试剂与仪器

异菌脲标准品(纯度 99.25%)、腐霉利标准品(纯度 99.64%)(德国 Dr. Ehrenstorfer 公司); 50%异菌脲·腐霉利悬浮剂(异菌脲的有效成分 15%,腐霉利的有效成分 35%,广东颐地丰生物科技有限公司); 甲酸(色谱纯,百灵威公司); 乙腈(色谱纯,美国赛默飞世尔科技公司); 氯化钠、无水硫酸镁(分析纯,北京格瑞恩科技发展有限公司); 纯净水(杭州娃哈哈集团有限公司); 0.22 μm 滤膜(美国 Waters 公司); 2 mL 净化剂管(含无水硫酸镁 150 mg、乙二醇-N-丙基硅烷化硅胶 25 mg、十八烷基碳 25 mg、石墨化碳黑 25 mg,天津博纳艾杰尔科技有限公司)。

Acquity-XevoTQD 超高效液相色谱-三重四极杆质谱(配备 MassLynx V 4.1 数据采集和处理系统)、Acquity UPLC BEH C₁₈ 色谱柱(100 mm×2.1 mm, 1.7 μm)(美国 Waters 公司); 2094 样品均质机(丹麦福斯仪器有限公司); ME155DU 型十万分之一电子天平(瑞士梅特勒-托利多集团); JY2002 型百分之一电子天平(上海舜宇恒平科学仪器有限公司); UMV-2 多管漩涡混合器(北京优晟联合科技有限公司); H1650-W 高速离心机、TDZ5-WS 台式低速离心机(湖南湘潭仪器有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 田间试验设计

试验设计参照 NY/T 788—2018《农药残留试验准则》

进行, 50%异菌脲·腐霉利悬浮剂在番茄上的残留试验地点、时间、土壤类型、pH 和有机质含量见表 1。在番茄灰霉病发病初期进行施药, 按照最高施药剂量(525 g a.i/hm²)兑水进行全株喷雾, 施药 3 次, 每次施药间期 7 d, 最终残留试验于最后 1 次施药后 7、10 d 采集番茄样品。消解试验在北京和贵州 2 地开展, 于最后 1 次施药后 2 h、1、3、7、10、14 d 采集番茄样品。采用随机取样的方法, 从不少于 12 株上至少采集 24 个生长正常、无病害的番茄果实(至少 2.0 kg), 将番茄沿纵向均匀切成 4 块, 每个番茄对角线取 2 块, 加干冰粉碎后四分法缩分, 取不少于 200 g 样品 2 份装入样本容器中待检测分析。

表 1 试验地点、时间、土壤类型、pH 和有机质含量 Table 1 Experimental site, time, soil type, pH and organic matter content				
试验地点	时间	土壤类型	pH	有机质/(g/kg)
北京市顺义区	05/06~06/03	壤土	6.2	17.1
辽宁省辽阳市	07/07~08/04	壤土	6.9	31.0
甘肃省白银市	05/10~06/07	粉沙壤土	7.8	25.5
山西省太原市	07/23~08/16	壤土	7.8	15.8
山东省潍坊市	05/31~06/24	粉壤土	6.4	7.4
浙江省杭州市	06/25~07/19	粘土	4.6	49.5
河南省郑州市	06/12~07/10	粘壤土	7.2	23.9
贵州省贵阳市	07/16~08/13	粘壤土	6.5	24.0
江苏省镇江市	06/21~07/19	粘土	6.8	20.0
河北省保定市	07/09~08/02	壤土	6.5	9.0
湖南省长沙市	06/07~07/01	壤土	6.2	29.0
重庆市北碚区	05/06~05/30	粘土	6.8	25.0

1.2.2 异菌脲和腐霉利的检测分析

(1)样品的提取和净化

称取 10.0 g 番茄样品(准确至 0.01 g)置于 50 mL 聚四氟

乙烯试管中, 加入乙腈溶液 25.0 mL, 涡旋振荡提取 5.0 min, 再加入 4.0 g 氯化钠和 1.0 g 无水硫酸镁, 漩涡振荡 1.0 min, 4000 r/min 离心 5.0 min。移取 1.5 mL 离心后的上清液, 转入 2.0 mL 分散净化管中, 漩涡振荡 1.0 min, 12000 r/min 离心 3.0 min, 取 1.5 mL 上清液转入 2 mL 净化管中, 涡旋 1 min, 12000 r/min 离心 3 min, 过 0.22 μm 滤膜, 移入预切口进样小瓶待 UPLC-MS/MS 分析。

(2)检测条件

液相色谱条件: Acquity UPLC BEH C₁₈ 色谱柱 (100 mm×2.1 mm, 1.7 μm), 柱温 40℃, 流速 0.3 mL/min, 进样量 3.0 μL。流动相 A 为乙腈, 流动相 B 为 0.1%的甲酸水溶液。流动相梯度洗脱程序: 0~2.0 min, 流动相 A 由 20%线性增至 95%; 2.0~5.0 min, 流动相 A 保持 95%; 5.0~8.0 min, 流动相 A 由 95%线性降至 20%。

质谱条件: 电喷雾离子源(electron spray ionization, ESI), 正离子模式, 毛细管电压 2.5 kV, 离子源温度 150℃, 去溶剂温度 400℃; 去溶剂气和锥孔气均为高纯液氮, 去溶剂气流速为 700 L/h, 锥孔反吹气流速为 150 L/h; 碰撞气为高纯氩气; 采用多反应离子对监测模式。具体质谱参数见表 2。

1.2.3 标准曲线和添加回收率试验

分别准确称取 0.01259 和 0.01255 g 异菌脲和腐霉利标准品于 25 mL 容量瓶中, 用乙腈溶解定容配制成 500 mg/L 异菌脲和腐霉利标准溶液。分别取一定量的异菌脲和腐霉利标准母液, 配制成质量浓度为 5.0 mg/L 的混合标准溶液, 再用系列稀释法配制成质量浓度为 0.002、0.005、0.010、0.020、0.050、0.100、0.200、0.500、1.000、2.000 mg/L 的标准工作溶液。取空白番茄样品, 按照 1.2.2 (1)的方法制备番茄基质溶液, 用番茄基质稀释异菌脲和腐霉利母液, 将其配制成质量浓度为 0.002、0.005、0.010、0.020、0.050、0.100、0.200、0.500、1.000、2.000 mg/L 的番茄基质标准溶液。称取空白番茄样品, 添加一定量的异菌脲和腐霉利标准溶液, 设定 0.01、0.50、2.00 mg/kg 3 个添加水平, 每个添加水平设置 5 个重复, 另设空白对照样品, 按照 1.2.2 所述方法检测异菌脲和腐霉利的浓度, 计算回收率和相对标准偏差。

1.2.4 定量分析方法

采用基质标准曲线-外标法定量^[28], 异菌脲或腐霉利的残留量、基质效应、农药的消解趋势和半衰期(t_{1/2})计算参考文献[29-30]的方法进行。

表 2 异菌脲和腐霉利的质谱检测参数 Table 2 Mass spectrometry detection parameters for iprodione and procymidone					
名称	保留时间/min	定性离子对(m/z)	定量离子对(m/z)	锥孔电压/V	碰撞电压/eV
异菌脲	2.76	330.0/174.0	330.0/244.9	30	24
		330.0/244.9		30	16
腐霉利	2.79	284.0/67.0	284.0/256.0	36	34
		284.0/256.0		36	16

基质效应(matrix effect, ME)计算公式如式(1):

$$ME = \frac{B - A}{A} \times 100\%$$
 (1)

式中: *B* 表示基质标准曲线的斜率; *A* 表示溶剂标准曲线的斜率。当|ME|<10%时基质效应可以忽略, 用溶剂标准曲线定量即可; 当 10%<|ME|<50%时, 有基质效应增加或减弱现象, 用基质标准曲线定量可适当消除基质效应对定量结果的影响。

1.2.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2021 软件对数据进行处理与作图。

2 结果与分析

2.1 标准曲线与基质效应

异菌脲和腐霉利在 0.002~2.000 mg/L 范围内均呈现出良好的线性关系, 相关系数大于 0.999, 具体数据见表 3。异菌脲和腐霉利在番茄基质中的基质效应分别为-12.6%和-18.3%, 在±20%之间, 选择用基质标准曲线定量。其中以 *Y* 为定量离子峰面积, *X* 为标准溶液浓度(mg/L)。

表 3 异菌脲和腐霉利在不同基质中的线性方程
Table 3 Linear equations of iprodione and procymidone in different matrices

化合物	基质	线性方程
异菌脲	乙腈	$Y=394.49X+10477$
	番茄	$Y=344.92X+2336.3$
腐霉利	乙腈	$Y=1147.3X+74066$
	番茄	$Y=937.25X-5183.4$

2.2 方法的准确度和精密度

异菌脲和腐霉利在番茄中的添加回收率数据见表 4。结果表明, 异菌脲和腐霉利在番茄中的添加水平分别为 0.01、0.50、2.00 mg/kg 时, 异菌脲在番茄中的平均回收率在 96.7%~104.1%之间, 相对标准偏差为 5.1%~8.8%; 腐霉利在番茄中的回收率在 85.2%~105.1%之间, 相对标准偏差为 4.6%~12.7%, 满足农药残留分析的试验要求。

表 4 异菌脲和腐霉利在番茄中的添加回收率和相对标准偏差(*n*=5)
Table 4 Recoveries and relative standard deviations of iprodione and procymidone on tomatoes (*n*=5)

化合物	添加水平/(mg/kg)	平均回收率/%	相对标准偏差/%
异菌脲	0.01	98.8	8.8
	0.50	96.7	7.0
	2.00	104.1	5.1
腐霉利	0.01	100.7	12.7
	0.50	105.1	4.6
	2.00	85.2	6.1

2.3 异菌脲和腐霉利在设施和露地番茄上的消解动态

如图 1 所示, 施药 2 h 后, 异菌脲在设施番茄上的原始沉积量为 0.49 mg/kg, 消解方程为 $C=0.4214e^{-0.060x}$, 相关系数 $r=0.8787$, 14 d 后设施番茄中异菌脲的残留浓度为 0.19 mg/kg, 半衰期 $t_{1/2}=11.5$ d。腐霉利在设施番茄上的原始沉积量为 0.67 mg/kg, 消解方程为 $C=0.5760e^{-0.056x}$, 相关系数 $r=0.8704$, 14 d 后设施番茄上腐霉利的残留浓度为 0.27 mg/kg, 半衰期 $t_{1/2}=12.3$ d。施药 2 h 后, 异菌脲在露地番茄上的原始沉积量为 0.24 mg/kg, 消解方程为 $C=0.3232e^{-0.100x}$, 相关系数 $r=0.7839$, 14 d 后露地番茄的残留浓度为 0.05 mg/kg, 半衰期 $t_{1/2}=6.9$ d。腐霉利在露地番茄上的原始沉积量为 0.38 mg/kg, 消解方程为 $C=0.4246e^{-0.089x}$, 相关系数 $r=0.8662$, 14 d 后露地番茄上腐霉利的残留浓度为 0.11 mg/kg, 半衰期 $t_{1/2}=7.8$ d。

本研究中异菌脲和腐霉利在设施番茄上的原始沉积量均高于露地番茄, 可能是因为设施空间相对露地要封闭, 空气流通较为缓慢, 喷洒时农药在空中漂移的范围相对露地要小。此次实验的研究结果与卢琦等^[31]的文献报道一致, 其文献中也报道了吡虫啉农药在设施和露地上使用后, 设施上的原始沉积量高于露地。设施番茄中异菌脲和腐霉利的半衰期均大于露地番茄上异菌脲和腐霉利的半衰期; 王丽梅等^[32]报道了腐霉利在设施和露地黄瓜上的消解, 得到同样的结果。设施与露地的温度、湿度、光照等存在很大差异, 农药在设施环境中使用后, 其残留情况与露地差异较大, 应该更多地关注设施蔬菜上农药的合理使用。

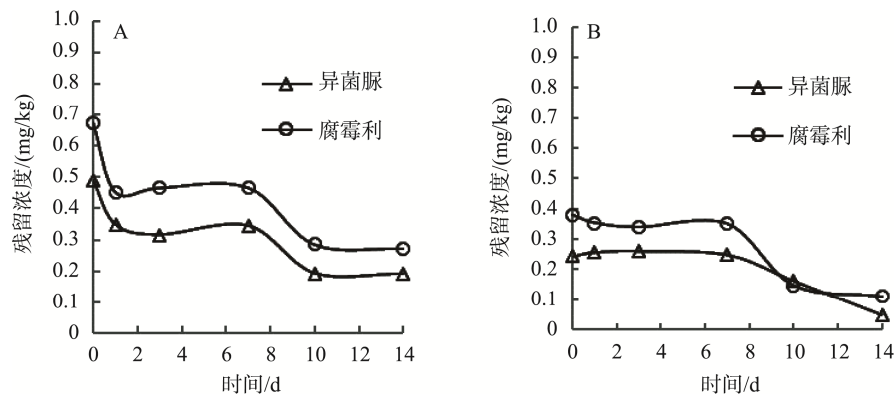
2.4 异菌脲和腐霉利在设施和露地番茄中的最终残留量

异菌脲和腐霉利在设施和露地番茄上的最终残留浓度见表 5。50%异菌脲·腐霉利悬浮剂按照最高施药剂量 525 g a.i/hm² 在番茄上喷雾施用, 安全间隔期 7 d 时, 设施番茄中异菌脲的最终残留量为 0.10~0.73 mg/kg, 腐霉利的最终残留量为 0.14~1.67 mg/kg, 露地番茄中异菌脲的最终残留量为 <0.01~0.25 mg/kg, 腐霉利的最终残留量为 <0.01~0.58 mg/kg。在番茄的种植过程中, 因为种植的模式、番茄的品种、土壤质地、降雨、光照、有机质含量、微生物群落等影响因素, 导致不同试验地点的番茄样品中异菌脲和腐霉利的最终残留量不同, 这是符合实际情况的^[33]。GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》中规定异菌脲在番茄上的最大残留限量(maximum residue limit, MRL)为 5.0 mg/kg, 腐霉利在番茄上的 MRL 为 2.0 mg/kg, 依据此标准, 本研究中获得的所有异菌脲和腐霉利的残留数据均低于食品安全限量标准, 收获时的番茄是安全的。

采收间隔期 7、10 d 时, 异菌脲和腐霉利在设施番茄上的最高残留浓度和残留浓度中值均高于露地番茄(见图

2)。50%异菌脲·腐霉利悬浮剂在相对封闭的设施环境中使用后, 降雨对农药残留量的影响较小^[34]。陈妍等^[35]也开展相关研究, 表明设施蔬菜中农药残留浓度高于露地。雨水对露地番茄残留量的影响较大, 湖南、河南、江苏 3 地的

露地番茄试验, 施药期和采样期内多次出现降雨天气, 最终样品中异菌脲和腐霉利的残留量较低, 而贵州、重庆和河北 3 地的露地番茄, 施药期内均未发生降雨, 仅采样期内出现降雨天气, 残留浓度比湖南、河南、江苏 3 地高。



注: A: 设施番茄; B: 露地番茄。
图 1 异菌脲和腐霉利在设施和露地番茄上的消解曲线(n=4)
Fig.1 Digestion curves of iprodione and procymidone on greenhouse and open-field tomatoes (n=4)

		残留量平均值/(mg/kg)			
种植模式	试验地点	异菌脲		腐霉利	
		7 d	10 d	7 d	10 d
设施番茄	辽宁	0.22	0.17	0.51	0.28
	山东	0.73	0.69	1.67	1.25
	北京	0.34	0.19	0.47	0.28
	浙江	0.24	0.23	0.24	0.23
	甘肃	0.10	0.22	0.14	0.40
	山西	0.13	0.09	0.37	0.17
	重庆	0.08	0.10	0.57	0.61
露地番茄	湖南	0.07	<0.01	0.12	0.08
	河北	0.17	0.16	0.58	0.63
	贵州	0.25	0.16	0.35	0.15
	江苏	<0.01	<0.01	0.12	0.16
	河南	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

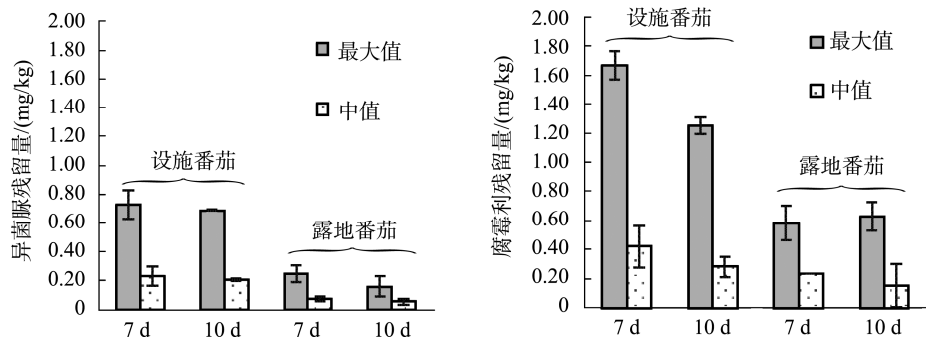


图 2 不同间隔期异菌脲和腐霉利在番茄上的最高残留量和残留中值(n=5)
Fig.2 Maximums and medians of iprodione and procymidone residues on tomatoes at different intervals (n=5)

3 结 论

本研究建立了异菌脉和腐霉利在番茄上的超高效液相色谱-串联质谱分析方法,方法满足农药残留分析的要求。在全国番茄主产区开展了 50%异菌脉·腐霉利悬浮剂的消解和最终残留试验,研究结果表明,异菌脉和腐霉利在设施番茄中最终残留浓度分别为 0.10~0.73、0.14~1.67 mg/kg,降解半衰期分别为 11.5、12.3 d。露地番茄异菌脉和腐霉利残留浓度为<0.01~0.25、<0.01~0.58 mg/kg,降解半衰期分别为 6.9、7.8 d。设施番茄中异菌脉和腐霉利残留浓度均高于露地番茄,露地番茄中异菌脉和腐霉利的半衰期均短于设施番茄。50%异菌脉·腐霉利悬浮剂防治番茄灰霉病,施药剂量最高为 525 g a.i./hm²时,于病害发生初期喷雾施药 3 次,施药间隔 7 d,安全间隔期 7 d 时,露地和设施番茄中异菌脉和腐霉利的残留浓度均低于规定的 MRL 值,采收的番茄食用是安全的。

参考文献

- [1] 魏林,梁志怀,唐炎英.番茄灰霉病的发生规律及其综合防治[J].长江蔬菜,2020,(7):54-55.
WEI L, LIANG ZH, TANG YY. Occurrence laws and comprehensive control of *Botrytis cinerea* on tomato [J]. J Changjiang Veget, 2020, (7): 54-55.
- [2] 张体敏,高霞,田瑞新,等.番茄灰霉病的防治研究进展[J].园艺与种苗,2022,42(2):28-29,68.
ZHANG TM, GAO X, TIAN RX, et al. Research progress on control of tomato gray mold disease [J]. Horticult Seed, 2022, 42(2): 28-29, 68.
- [3] 陈丽萍,张怡,徐笔奇,等.6种杀菌剂对番茄灰霉病菌的室内毒力测定[J].浙江农业科学,2019,60(12):2270-2272.
CHEN LP, ZHANG Y, XU BQ, et al. Toxicity determination of six fungicides to *Botrytis cinerea* on tomato [J]. Zhejiang Agric Sci, 2019, 60(12): 2270-2272.
- [4] 贤小勇,林珊宇,邓晓连,等.9种杀菌剂对番茄灰霉病的田间防治效果[J].农业研究与应用,2021,34(2):22-25.
XIAN XY, LIN SY, DENG XL, et al. Field efficacy of nine fungicides against tomato *Botrytis cinerea* [J]. Agric Res Appl, 2021, 34(2): 22-25.
- [5] 程冰峰.异菌脉环境行为及在油菜体系中的残留分布研究[D].南京:南京农业大学,2018.
CHENG BF. Study on the environmental behavior and residual distribution of iprodione in rape system [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2018.
- [6] 曹彦卫.农药异菌脉在水果、蔬菜中的残留研究综述[J].河北林业科技,2021,(3):42-46.
CAO YW. Review on residue of iprodione in fruits and vegetables [J]. J Hebei Forest Sci Technol, 2021, (3): 42-46.
- [7] 李泳,吴委林,颜尘栋,等.生物质热解液和腐霉利混配防治番茄灰霉病的防病作用及机理研究[J].延边大学农学报,2020,42(1):28-35,75.
LI Y, WU WL, YAN CD, et al. Studies on the preventive effect and mechanism of biomass pyrolysis solution and procymidone mixed for mixed for tomato Gray mold [J]. J Agric Sci Yanbian Univ, 2020, 42(1): 28-35, 75.
- [8] 李娟,高华,陈海元,等.苹果中腐霉利残留快检测定及方法评估[J].现代食品,2022,28(2):172-174.
LI J, GAO H, CHEN HY, et al. Evaluation of rapid detection method for procymidone residue in apples [J]. Mod Food, 2022, 28(2): 172-174.
- [9] SUN T, MO XX, LI XZ, et al. Qualitative detection of procymidone in edible vegetable oils by near infrared spectroscopy and variable selection methods [J]. Spectrosc Spect Anal, 2016, 36(12): 3915-3919.
- [10] CHEN L, LI XS, WANG ZQ, et al. Residue dynamics of procymidone in leeks and soil in greenhouses by smoke generator application [J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2010, 73(1): 73-77.
- [11] BIAN YL, WANG J, LIU FM, et al. Residue behavior and removal of iprodione in garlic, green garlic and garlic shoot [J]. J Sci Food Agric, 2020, 100(13): 4705-4713.
- [12] 邵燕,王良贵,韦祥庆.异菌脉在大白菜和土壤中的残留消解动态[J].浙江农业科学,2017,58(8):1425-1428.
SHAO Y, WANG LG, WEI XQ. Residual degradation dynamics of iprodione in cabbage and soil [J]. Zhejiang Agric Sci, 2017, 58(8): 1425-1428.
- [13] 颜丽菊,蒋芯,李学斌,等.异菌脉在杨梅果实中的残留消解动态研究[J].中国农学通报,2017,33(9):150-153.
YAN LJ, JIANG X, LI XB, et al. Residual degradation dynamics of iprodione in *Myrica rubra* fruits [J]. Chin Agric Sci Bull, 2017, 33(9): 150-153.
- [14] 毛春玲,刘洋,赵薇薇,等.平菇和榆黄蘑及培养料中腐霉利的残留动态研究[J].食用菌,2014,36(4):72-73.
MAO CL, LIU Y, ZHAO WW, et al. Dynamic study on the residue of procymidone in oyster mushroom and pleurotus citrinopileatus and culture materials [J]. Edible Fungi, 2014, 36(4): 72-73.
- [15] 杨倩文.异菌脉在油菜上的沉积规律及代谢研究[D].南京:南京农业大学,2019.
YANG QW. Study on the deposition rules and metabolism of iprodione in rape [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2019.
- [16] DI SS, WANG YH, XU H, et al. Comparison the dissipation behaviors and exposure risk of carbendazim and procymidone in greenhouse strawberries under different application method: Individual and joint applications [J]. Food Chem, 2021, 354: 129502.
- [17] ABE J. Researches on the evaluation of pesticide safety in humans using a pharmacokinetic approach [J]. J Pestic Sci, 2021, 46(3): 290-296.
- [18] 韩永涛,张艳峰,王会利.异菌脉在葱上的残留行为及长期膳食风险评估[J].农药学报,2020,22(6):1033-1039.
HAN YT, ZHANG YF, WANG HL. Residue behavior and long-term dietary risk assessment of iprodione in shallot [J]. Chin J Pestic Sci, 2020, 22(6): 1033-1039.
- [19] PARK DW, YANG YS, LEE YU, et al. Pesticide residues and risk assessment from monitoring programs in the largest production area of leafy vegetables in South Korea: A 15-year study [J]. Foods, 2021, 10(2): 425-430.
- [20] LIN S, TANG T, CANG T, et al. The distributions of three fungicides in vegetables and their potential health risks in Zhejiang, China: A 3-year study (2015-2017) [J]. Environ Pollut, 2020, 267: 115481.
- [21] 徐秋生,贺慧琳,朱吕,等.高效液相色谱法测定番茄中腐霉利和异菌脉的残留量[J].食品安全质量检测学报,2017,8(2):486-490.
XU QS, HE HL, ZHU L, et al. Determination of procymidone and

- iprodione residues in tomato by high performance liquid chromatography [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(2): 486–490.
- [22] 董见南. 10 种有机磷杀虫剂和 8 种杀菌剂残留的代表性水果蔬菜中的储存稳定性[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
- DONG JN. Storage stability of 10 organophosphorus insecticides and 8 fungicides residue in representative fruits and vegetables [D]. Beijing: China Agricultural University, 2014.
- [23] CHU Y, TONG Z, DONG X, *et al.* Simultaneous determination of 98 pesticide residues in strawberries using UPLC-MS/MS and GC-MS/MS [J]. *Microchem J*, 2020, 156: 104975.
- [24] 潘虎. 气相色谱-串联质谱法测定蔬菜、土壤和水中异菌脲及其代谢产物的残留量[J]. *西藏农业科技*, 2022, 44(1): 60–65.
- PAN H. Determination of iprodione and its metabolites residues in vegetables, soil and water by gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Tibet J Agric Sci*, 2022, 44(1): 60–65.
- [25] 张群, 吴南村, 张月, 等. 气相色谱-串联质谱法测定韭菜中的三唑酮和腐霉利残留[J]. *农药学报*, 2016, 18(3): 397–401.
- ZHANG Q, WU NC, ZHANG Y, *et al.* Determination of triadimefon and procymidone residues in *Allium tuberosum* by gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Pestic Sci*, 2016, 18(3): 397–401.
- [26] 梁林, 张爱娟, 潘金菊, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定黄瓜及番茄中异菌脲残留[J]. *农药科学与管理*, 2014, 35(4): 45–48.
- LIANG L, ZHANG AJ, PAN JJ, *et al.* Determination of iprodione residue in cucumber and tomato by UPLC-MS/MS [J]. *Pestic Sci Admin*, 2014, 35(4): 45–48.
- [27] ARAUJO EA, LARA MCR, REIS MR, *et al.* Determination of haloxyfop-methyl, linuron, and procymidone pesticides in carrot using SLE-LTP extraction and GC-MS [J]. *Food Anal Methods*, 2016, 9(5): 1344–1352.
- [28] 贺敏, 贾春虹, 王东, 等. 25%噻虫嗪水分散粒剂在青葱和大葱上的残留与安全性评价[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(2): 609–615.
- HE M, JIA CH, WANG D, *et al.* Residue and safety evaluation of 25% thiamethoxam water-dispersible granules on scallions (*Allium fistulosum* L. var. *giganteum* Makion) and leeks (*Allium ascalonicum*) [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(2): 609–615.
- [29] 朱晓丹, 贾春虹, 王东, 等. 氟啶胺在大葱和小葱上的残留与安全性评价[J]. *食品科学*, 2019, 40(21): 150–155.
- ZHU XD, JIA CH, WANG D, *et al.* Residues and safety evaluation of fluazinam in green Chinese onion and shallot [J]. *Food Sci*, 2019, 40(21): 150–155.
- [30] 刘维屏. 农药环境化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- LIU WP. Pesticide environmental chemistry [M]. Beijing: Chemical Industrial Press, 2006.
- [31] 卢琦, 陈子雷, 丁蕊艳, 等. 吡虫啉在大棚和露地蔬菜上的残留消解动态[J]. *农药*, 2021, 60(10): 747–750.
- LU Q, CHEN ZL, DING RY, *et al.* Residue dynamics of imidacloprid in water spinach under open field and greenhouse conditions [J]. *Agrochemicals*, 2021, 60(10): 747–750.
- [32] 王丽梅, 杨柳青, 陈新来, 等. 温室和露地条件下不同浓度腐霉利在黄瓜中的残留消解特性研究[J]. *现代农药*, 2015, 14(6): 38–40.
- WANG LM, YANG LQ, CHEN XL, *et al.* Degradation dynamics of procymidone in cucumber in open-field and greenhouse [J]. *Mod Pestic*, 2015, 14(6): 38–40.
- [33] 郑坤明, 陈劲星, 陈冬花, 等. 吡蚜酮在大棚和露地芥蓝上的残留消解动态[J]. *农药*, 2019, 58(8): 598–600.
- ZHENG KM, CHEN JX, CHEN DH, *et al.* Residue and dissipation of pymetrozine in Chinese kale under open field and greenhouse conditions [J]. *Agrochemicals*, 2019, 58(8): 598–600.
- [34] 丁悦, 孙星, 汪佳蕾, 等. 露地和大棚条件下啮虫脒在黄瓜和土壤中的残留及消解动态[J]. *农药学报*, 2014, 16(1): 110–114.
- DING Y, SUN X, WANG JL, *et al.* Residue and dissipation of acetamiprid in cucumber and soil under open field and greenhouse conditions [J]. *Chin J Pestic Sci*, 2014, 16(1): 110–114.
- [35] 陈妍, 刘新社. 露地和大棚条件下鱼藤酮和印楝素在黄瓜和土壤中的残留及消解动态[J]. *河南农业科学*, 2019, 48(7): 88–94.
- CHEN Y, LIU XS. Residues and degradation dynamics of rotenone and azadirachtin in cucumber and soil under open field and greenhouse conditions [J]. *Henan Pestic Sci*, 2019, 48(7): 88–94.

(责任编辑: 张晓寒 郑 丽)

作者简介



张正辉, 硕士研究生, 主要研究方向为农药残留与环境毒理。

E-mail: zhangzhenghui1128@163.com



贺 敏, 副研究员, 主要研究方向为农药残留与农产品安全。

E-mail: hemin800420@163.com



吴艳兵, 副教授, 主要研究方向为农药残留与环境毒理。

E-mail: wybhst@126.com