

新烟碱类杀虫剂在苹果果实不同部位中的残留

卢海博^{1,2}, 魏东², 龚学臣², 黄智鸿², 高宝嘉^{*1}

(1. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000; 2. 河北北方学院 河北省农产品食品
质量安全分析检测重点实验室, 河北 张家口 075000)

摘要: 为了明确噻虫嗪、烯啶虫胺、吡虫啉、啉虫脒、噻虫胺和呋虫胺 6 种新烟碱类杀虫剂在苹果果实不同部位中的迁移转化规律, 以 10 年生红富士苹果树为试材, 分别于蚜虫发生期 (7 月 10 日) 和果实采收前 1 d (9 月 25 日) 通过整株喷雾施药, 随机取样, 采用高效液相色谱仪测定, 外标法定量, 分析各杀虫剂在生长期套袋果实和不套袋果实及储藏期果实不同部位中的残留量及迁移规律。结果表明: 在果实套袋情况下, 施药后 72 h 内果实不同部位各新烟碱类杀虫剂的含量均呈现先逐渐上升而后下降的趋势, 且在果皮中的残留量最低 (均低于 0.08 mg/kg), 其中烯啶虫胺和吡虫啉在果皮中的残留量低于最低检测浓度, 而在果柄和果肉中的残留量明显高于果皮中的, 表明套袋果实中药剂主要来源于枝叶运输, 经果柄进入果实后易向果肉累积; 在果实未套袋情况下, 施药后 72 h 6 种杀虫剂在果肉中的含量均高于套袋果实果肉中的, 分别是套袋果实果肉中含量的 7.75、3.52、3.36、6.57、2.92 和 3.06 倍, 表明套袋可有效降低果实中该类药剂的残留量。储藏试验结果表明: 直接向果面喷施 6 种新烟碱类杀虫剂后, 药剂主要存在于果皮中, 施药后 14 和 21 d 在果肉中的含量均低于最低检测浓度, 表明储藏期果皮为该药剂的主要残留部位, 且不易向果肉中转移。

关键词: 新烟碱类杀虫剂; 苹果; 套袋果实; 残留; 迁移转化; 噻虫嗪; 烯啶虫胺; 吡虫啉

中图分类号: S482.3; TQ450.263

文献标志码: A

文章编号: 1008-7303(2019)04-0500-06

Residues of neonicotinoids insecticides in different parts of apple fruits

LU Haibo^{1,2}, WEI Dong², GONG Xuechen², HUANG Zhihong², GAO Baojia^{*1}

(1. Forestry College, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei Province, China; 2. Hebei North University, Hebei Key Laboratory of Quality & Safety Analysis-Testing for Agro-Products and Food, Zhangjiakou 075000, Hebei Province, China)

Abstract: To investigate the transformation of neonicotinoids insecticides (thiamethoxam, nitenpyram, imidacloprid, acetamiprid, clothianidin, dinotefuran) in different parts of apple fruits, the selected 10 years old apple trees were sprayed with 6 neonicotinoids insecticides on leaves during the period of the aphid outbreak (July 10th) and the maturation stage before harvest 1 d (September 25th), respectively. The residues and characteristics of 6 neonicotinoids insecticides distribution in different tissues of bagged apple, non-bagged apple and fruits in storage were analyzed by HPLC and external standard method. The results showed that contents of the 6 neonicotinoids insecticides in different tissues of the fruits tended to increase first and the decrease gradually in 72 h after the spraying under the fruit bagged

收稿日期: 2019-01-10; 录用日期: 2019-05-08.

基金项目: 河北省教育厅项目 (QN2016264).

作者简介: 卢海博, 女, 副教授, 研究方向为农药残留, E-mail: nkx1hb@163.com; *高宝嘉, 通信作者 (Author for correspondence), 男, 教授, 研究方向为昆虫生态学, E-mail: baojiagao@163.com

condition. The residues in apple peel were all lower than 0.08 mg/kg, while the residues in pulp and carpodium were significantly higher than that in the peel. The residues of nitenpyram and imidacloprid in peel were lower than the quantity limit. The results indicated that the neonicotinoids insecticides in bagged fruits derived from the transportation in the branches and leaves, and it went into the fruits via the carpodium and tended to accumulate in the pulp. 72 h after the spraying, the neonicotinoids insecticide contents in the pulp of then on-bagged fruits was 7.75, 3.52, 3.36, 6.57, 2.92 and 3.06 times higher than those of the bagged fruits, respectively. The fruits bagging could lower down the neonicotinoids insecticide residues in the fruits significantly. After spraying on the fruits at the maturation stage before harvest, the residues were mainly in apple peel. 14 d and 21d after spraying, there was no residue detected in apple pulp. The neonicotinoids insecticide residues mainly remained in the peel, which did not tend to diffuse to the pulp during storage.

Keywords: neonicotinoids; apple; bagged fruit; residue; transformation; thiamethoxam; nitenpyram; imidacloprid

新烟碱类杀虫剂具有高效、安全、选择性好及对哺乳动物毒性低等特点, 在国内外市场销量很大。目前, 商品化的新烟碱类杀虫剂产品有吡虫啉、噻虫嗪、烯啶虫胺、啶虫脒、呋虫胺、噻虫胺、噻虫啉和环氧虫啉^[1-2]。该类杀虫剂的靶标为烟碱型突触后膜乙酰胆碱受体 (nAChRs), 主要作用于昆虫中枢神经系统, 既可有效防治蚜虫、粉虱、叶蝉、飞虱、蓟马和蜡等刺吸式害虫, 也可防治一些鳞翅目和鞘翅目害虫^[3-4]。该类杀虫剂虽然在苹果生产中大量使用, 但关于其残留水平的研究主要集中在小麦^[5]、茶叶^[6]、韭菜^[7]、豇豆^[8-9]、烟草^[10-11]、番茄^[12]和菠菜^[13]等作物上, 其在苹果中残留的相关研究鲜有报道。鉴于此, 本研究选择在苹果树上常用的上述新烟碱类药剂中的 6 种, 研究其在苹果果实中的吸收传导特性及迁移转化规律, 以期该类药剂在苹果上的安全使用和制定其在苹果上残留标准提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 药剂与仪器

试验于 2016 年在河北省张家口市涿鹿县栾庄村果园中进行, 供试品种为 10 年生红富士苹果, 栽培密度为 4 m × 6 m。选取树形、枝量和长势基本一致的果树。

烯啶虫胺 (nitenpyram)、噻虫嗪 (thiamethoxam)、啶虫脒 (acetamiprid)、呋虫胺 (dinotefuran)、吡虫啉 (imidacloprid) 和噻虫胺 (clothianidin) 标准品 (纯度 ≥ 99.8%), 北京德威钠生物技术有限公司。10.0% 烯啶虫胺水剂 (AS), 北京三浦百草绿色植物制剂有

限公司; 25% 噻虫嗪水分散粒剂 (WG), 先正达作物保护有限公司; 5% 啶虫脒乳油 (EC), 海利尔药业集团股份有限公司; 20% 呋虫胺可湿性粉剂 (WP)、10% 吡虫啉 (WP) 和 20% 噻虫胺悬浮剂 (SC), 河北威远生化农药有限公司。

岛津 SPD-20A 高效液相色谱仪, Shimadzu; H2050R 台式高速冷冻离心机, 湖南湘仪离心机仪器有限公司; Vortex Genie 2 涡旋仪, 北京智杰方远科技有限公司; 工农-16 型背负式喷雾器, 原阳县田帮手农用机械有限公司; JJ2 组织捣碎匀浆机, 金坛市郎博仪器制造有限公司。

1.2 试验设计

为增强试验效果, 研究新烟碱类农药在套袋果实中的运输及分布规律时, 按照 6 种农药制剂推荐剂量的 2 倍施药, 施用浓度 (有效成分) 10% 烯啶虫胺 AS 1 320 mg/L, 25% 噻虫嗪 WG 1 760 mg/L, 5% 啶虫脒 EC 1 760 mg/L, 20% 呋虫胺 WP 266 mg/L, 10% 吡虫啉 WP 1 334 mg/L, 20% 噻虫胺 SC 400 mg/L。

1.2.1 药剂在生长期苹果果实中的运输及分布 于苹果园中蚜虫发生期 (7 月 10 日), 在每株供试树上选取大小一致、无损伤的苹果果实, 一半果实套袋, 用保鲜膜将果柄处缠严, 用胶带封口, 以防药液沿着果柄流入或从袋口处进入。采用整株喷雾的方式喷施 6 种供试杀虫剂的混合药液, 每株果树用药液量 5 L。分别于施药后 2、12、24 和 72 h 随机采样, 每次取 10 个苹果, 分为果柄、果皮和果肉 3 部分, 各处理匀浆后分别于 -20 °C 保存, 待测。以施药处理前采集的苹果作为空白

对照。随机区组设计, 每小区 2 株, 重复 3 次。

1.2.2 药剂在储藏期苹果果实中的残留量 于果实成熟期在采收前 1 d (9 月 25 日) 按照 6 种农药制剂推荐剂量在果面喷施 6 种药剂的混合药液, 待药液干后, 按照东南西北和上中下部随机采集苹果 30 个, 于常温 (25 ± 2 °C) 下储藏, 分别于施药后 7、14 和 21 d 随机取样, 每次取 10 个苹果, 其中 5 个将果皮和果肉分开, 另外 5 个切块后用于测定全果中的药剂含量。将各处理匀浆后分别于 -20 °C 保存, 待测。

1.3 样品前处理及高效液相色谱检测条件

1.3.1 样品前处理 分别取 10 g 匀浆后的样品 (全果、果肉、果皮或果柄) 于 50 mL 离心管中, 加入 10 mL 乙腈, 3 g 氯化钠, 涡旋 2 min, 于 15 000 r/min、4 °C 下离心 15 min; 取 1 mL 上清液至 10 mL 离心管中, 加入 10 mg 石墨化碳黑 (GCB), 涡旋 2 min, 于 5 000 r/min 下离心 10 min; 取上清液过 0.22 μ m 微孔滤膜, 待分析。

1.3.2 高效液相色谱检测条件 SPD-20A 岛津高效液相色谱仪, Agilent TC-18 色谱柱 (250 mm \times 4.6 mm, 5 μ m), 柱温 26 °C, 梯度洗脱, 流速 1.0 mL/min, 进样量 20 μ L。流动相 A 相为乙腈, B 相为体积分数 0.3% 甲酸水溶液, 检测波长 260 nm。梯度洗脱程序: 0~1 min, 5% A; > 1~15 min, 5%~40% A; > 15~20 min, 40%~50% A; > 20~23 min, 50%~5% A; > 23~25 min, 5%~5% A。在此条件下, 6 种药剂的保留时间分别为: 呋虫胺 12.754 min, 烯啶虫胺 13.381 min, 噻虫嗪 15.067 min, 噻虫胺 16.006 min, 吡虫啉 16.417 min, 啶虫脒 16.754 min。

1.4 标准溶液的配制及标准曲线的绘制

采用外标法定量, 以保留时间确定每种待测物。准确称取 6 种药剂标准品各 0.01 g (精确至 0.000 1 g), 用乙腈溶解并定容至 10 mL, 配成 1 000 mg/L 的混合标准溶液, 再逐级稀释为 0.01、

0.05、0.1、0.2、0.6、1.2 和 2.4 mg/L 的系列混合标准工作溶液, 按 1.3.2 节条件测定, 重复 5 次。以每种药剂的质量浓度为横坐标, 对应的峰面积为纵坐标绘制标准曲线。

1.5 添加回收试验

在苹果全果、果肉、果皮和果柄的空白样品中分别添加 0.05、0.5 和 1.0 mg/kg 3 个水平的混合标准工作溶液, 按 1.3 节方法提取、净化及测定, 每个添加水平重复 5 次, 计算平均添加回收率及相对标准偏差 (RSD)。

1.6 数据分析

用 Excel 和 DPS 软件对试验数据进行处理、制图及差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 线性范围及方法灵敏度

结果表明: 在 0.01~2.4 mg/L 范围内, 6 种药剂的峰面积与对应的质量浓度间呈良好的线性关系 (表 1)。表明 6 种药剂的标准曲线精度很高, 可以用于样品中 6 种新烟碱类药剂的检测。

2.2 方法的准确度及精密性

结果 (表 2) 表明: 在 0.05、0.5 和 1.0 mg/kg 3 个添加水平下, 6 种药剂在苹果果实中的平均回收率在 77%~109% 之间, RSD 在 5.2~11% ($n=5$) 之间, 定量限 (LOQ) 为 0.05 mg/kg, 低于中国规定的苹果中新烟碱类药剂的最大残留限量值 (MRL)^[14], 可满足农药残留检测的要求^[15]。

2.3 新烟碱类杀虫剂在套袋苹果果实不同部位中的残留量

结果 (表 3) 表明: 施药后苹果果实各部位中各供试杀虫剂残留量随时间推移呈现先逐渐上升而后下降的趋势。具体表现为: 施药后 2 h, 药剂主要存在于果柄中, 其中噻虫嗪和烯啶虫胺的残留量分别为 3.43 和 3.24 mg/kg, 显著高于其

表 1 新烟碱类杀虫剂的线性回归方程和相关系数

Table 1 The linear regression equation and correlation coefficient of neonicotinoids

杀虫剂 Insecticide	线性范围 Linear range/(mg/L)	回归方程 Regression equation	相关系数 r
烯啶虫胺 nitenpyram	0.01~2.4	$y = 16219x + 994.18$	0.999 6
噻虫嗪 thiamethoxam	0.01~2.4	$y = 38172x + 2858.6$	0.998 7
啶虫脒 acetamiprid	0.01~2.4	$y = 34324x + 292.11$	0.999 5
呋虫胺 dinotefuran	0.01~2.4	$y = 33978x + 568.25$	0.996 0
吡虫啉 imidacloprid	0.01~2.4	$y = 37254x + 254.21$	0.999 7
噻虫胺 clothianidin	0.01~2.4	$y = 44006x + 1645.7$	0.999 7

表 2 新烟碱类杀虫剂在苹果不同部位中的添加回收率和相对标准偏差

Table 2 The recoveries and relative standard deviations of 6 neonicotinoids in different parts of apple fruits

杀虫剂 Insecticide	添加水平 Spiked level/ (mg/kg)	全果 Whole apple		果肉 Pulp		果皮 Peel		果柄 Carpodium	
		回收率 Recovery/%	RSD/%	回收率 recovery/%	RSD/%	回收率 recovery/%	RSD/%	回收率 recovery/%	RSD/%
烯啶虫胺 nitenpyram	0.05	77	5.4	82	6.6	88	7.8	98	6.5
	0.5	100	9.8	89	8.6	98	7.4	85	8.6
	1.0	80	6.5	76	5.6	76	8.6	85	9.2
噻虫嗪 thiamethoxam	0.05	108	7.2	98	8.2	102	9.4	88	6.8
	0.5	88	10	82	6.7	80	8.6	83	7.9
	1.0	102	7.8	99	7.5	98	5.6	88	9.4
啶虫脒 acetamiprid	0.05	106	7.2	88	5.5	88	6.9	88	8.6
	0.5	109	8.9	108	8.5	89	8.8	92	8.5
	1.0	108	7.8	109	9.5	102	7.6	99	5.6
呋虫胺 dinotefuran	0.05	98	10	84	5.2	88	6.7	98	5.3
	0.5	99	8.8	100	11	108	8.9	99	10
	1.0	79	7.6	81	8.9	86	5.8	85	9.6
吡虫啉 imidacloprid	0.05	89	6.4	99	5.5	99	4.5	88	9.4
	0.5	98	11	97	8.8	87	7.2	87	6.8
	1.0	98	9.8	90	5.9	90	4.8	89	6.5
噻虫胺 clothianidin	0.05	98	8.5	78	8.8	102	5.7	100	5.4
	0.5	82	9.7	80	9.8	98	8.7	89	9.8
	1.0	98	8.9	92	8.9	98	6.8	103	9.7

他 4 种药剂; 施药后 12 h, 各药剂在果柄中的残留量均达最高值, 同时在果皮和果肉中也检测到农药残留, 说明套袋果实中的药剂主要来自枝叶运输, 各药剂在果肉中的残留量高于果皮中的。张莹等^[16]研究了毒死蜱在梨果实不同部位的残留, 结果表明, 施药后 12 h 毒死蜱主要存在于果皮中。可见农药在各部位的残留受农药特性的影响。施药后 24 h, 苹果柄和果皮中的农药残留量逐渐降低, 而果肉中的农药残留量继续升高; 施药后 72 h, 各药剂在果皮中残留量均低于 0.08 mg/kg, 其中烯啶虫胺和吡虫啉残留量低于定量限 (0.05 mg/kg), 而在果柄和果肉中的残留量明显高于果皮中的。从上述结果可以看出, 新烟碱类杀虫剂从苹果枝

叶至果实中表现出内吸传导性, 套袋后果实各部位中新烟碱类杀虫剂来源于枝叶运输, 药剂经过果柄进入果实后容易向果肉积累。

2.4 套袋对苹果果肉中新烟碱类杀虫剂的影响

结果 (表 4) 表明: 各药剂在未套袋苹果果肉中的含量显著高于套袋处理的。施药后 72 h, 未套袋苹果果肉中烯啶虫胺、噻虫嗪、啶虫脒、呋虫胺、吡虫啉和噻虫胺的含量分别是套袋果实果肉中含量的 7.75、3.52、3.36、6.57、2.92 和 3.06 倍, 表明苹果套袋后减少了药剂与果实的直接接触, 从而减少了农药残留量的积累。与施药后 24 h 相比, 72 h 后套袋苹果中各药剂含量降低, 而未套袋苹果中含量均有所升高。

表 3 新烟碱类杀虫剂在套袋苹果果实各部位中的残留量

Table 3 Residue of neonicotinoids in different tissues of bagged apple

杀虫剂 Insecticide	果皮 Peel/(mg/kg)				果肉 Pulp/(mg/kg)				果柄 Carpodium/(mg/kg)			
	2 h	12 h	24 h	72 h	2 h	12 h	24 h	72 h	2 h	12 h	24 h	72 h
烯啶虫胺 nitenpyram	<LOQ	0.86 b	0.42 b	<LOQ	<LOQ	0.34 c	1.05 d	1.06 b	3.24 a	7.53 a	3.22 c	1.05 c
噻虫嗪 thiamethoxam	<LOQ	1.02 a	0.23 c	0.08 a	<LOQ	2.96 a	3.56 a	2.05 a	3.43 a	7.02 b	4.62 b	4.05 a
啶虫脒 acetamiprid	<LOQ	0.45 c	0.25 c	0.06 a	<LOQ	2.88 a	3.21 a	2.12 a	2.65 b	7.02 b	5.65 a	2.05 b
呋虫胺 dinotefuran	<LOQ	0.46 c	0.19 c	0.08 a	<LOQ	1.72 b	2.34 c	1.08 b	1.86 c	5.34 c	2.24 c	0.96 c
吡虫啉 imidacloprid	<LOQ	0.88 b	0.54 a	<LOQ	<LOQ	1.89 b	3.03 b	2.08 a	2.58 b	6.68 b	3.89 a	2.08 b
噻虫胺 clothianidin	<LOQ	0.43 c	0.26 c	0.05 a	<LOQ	1.68 b	2.34 c	1.98 a	2.13 b	4.32 d	3.12 b	1.05 c

注: 表中同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: The different letters following the value in the same column indicate significant difference at the 0.05 level.

表 4 套袋对苹果果肉中新烟碱类杀虫剂的影响

Table 4 The effect of bagging on the residues of neonicotinoids in the apple pulp

杀虫剂 Insecticide	残留量 Amount of residue in pulp/(mg/kg)			
	套袋 24 h Bagging for 24 h	未套袋 24 h Non-bagging for 24 h	套袋 72 h Bagging for 72 h	未套袋 72 h Non-bagging for 72 h
烯啶虫胺 nitenpyram	1.05	5.25*	1.06	8.22*
噻虫嗪 thiamethoxam	3.56	5.31*	2.05	7.21*
啶虫脒 acetamiprid	3.21	5.42*	2.12	7.12*
呋虫胺 dinotefuran	2.34	5.22*	1.08	7.10*
吡虫啉 imidacloprid	3.03	5.18*	2.08	6.08*
噻虫胺 clothianidin	2.34	5.19*	1.98	6.09*

注: *表明套袋与不套袋间 t 检验差异显著 ($P < 0.05$).

Note: *indicates significant difference between bagging and non-bagging with t -test ($P < 0.05$).

2.5 新烟碱类杀虫剂在储藏期苹果果实不同部位中的残留量

于采收前 1 d 施药, 采收后随着储藏时间的延长, 果皮、果肉和全果中的药剂残留量均呈逐渐降低的趋势。对于同一个取样点, 药剂主要存在于果

皮中, 果肉中只在施药后 7 d 发现有烯啶虫胺、噻虫嗪、啶虫脒和呋虫胺少量检出, 施药后 14 d 和 21 d 均没有药剂检出 (表 5)。表明在储藏期间果皮为药剂主要残留部位, 且不易向果肉转移。

表 5 新烟碱类杀虫剂在储藏期苹果果实中的残留量

Table 5 The residues of neonicotinoids in apple fruits during storage

杀虫剂 Insecticide	果皮 Peel/(mg/kg)			果肉 Pulp/(mg/kg)			果柄 Carpopedium/(mg/kg)		
	7 d	14 d	21 d	7 d	14 d	21 d	7 d	14 d	21 d
烯啶虫胺 nitenpyram	6.89	4.33	2.23	1.16	<LOQ	<LOQ	1.67	1.53	<LOQ
噻虫嗪 thiamethoxam	5.33	3.01	2.65	0.35	<LOQ	<LOQ	1.05	<LOQ	<LOQ
啶虫脒 acetamiprid	7.52	4.12	2.54	0.21	<LOQ	<LOQ	1.06	<LOQ	<LOQ
呋虫胺 dinotefuran	6.34	4.98	2.43	0.16	<LOQ	<LOQ	1.86	0.62	<LOQ
吡虫啉 imidacloprid	15.54	7.70	4.81	<LOQ	<LOQ	<LOQ	2.42	1.33	<LOQ
噻虫胺 clothianidin	13.45	9.56	3.45	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1.21	0.89	<LOQ

3 讨论

农药在果实中的残留存在 2 种方式: 一是附着于果实表面; 二是内吸性农药通过在植物体内循环达到植株各部位^[17]。果实表面通常附有一层蜡质, 具有较强的疏水性, 从而能阻挡亲水性污染物进入果实内部。张莹等^[16]研究表明, 毒死蜱由于其亲脂性较强, 在梨树上施用后主要存在于果皮中, 果肉中残留很少; 汪志威^[18]和汤宇恋^[19]的研究表明, 毒死蜱更倾向分布于富含蜡质的果皮中; 黄玉南等^[17]研究表明, 吡虫啉在梨果实上的残留也主要分布在果皮部位, 削皮后可去除果实上的绝大部分残留。本试验结果表明, 6 种新烟碱类杀虫剂在储藏期苹果果实中的残留也主要分布在果皮中, 果肉中较少, 说明苹果表皮的蜡质层对收获后的苹果阻挡残留农药向内部侵蚀同样有效。

前期试验结果表明, 新烟碱类药剂施用后主

要通过枝叶运输, 药剂经过果柄进入果实后易向果肉积累。套袋后果实药剂主要来源于枝叶运输。本研究结果表明, 施药后 24 h, 套袋果实果肉中各药剂残留达到最高值, 72 h 各药剂的残留量有所降低; 未套袋果实果肉上的药剂主要来源于枝叶运输和果皮上药剂残留, 表现为 72 h 后残留量高于 24 h 的。出现上述结果主要是该类药剂内吸性较强的原因所致。

姚安庆等^[20]的研究表明, 药剂的传导性是一个具有范围性或者特异性的概念, 无论何种结构的农药均可以在多种植物上或同种植物的不同部位表现出不同程度的传导性。张莹等^[16]关于毒死蜱在梨果中的残留研究结果表明, 毒死蜱在施药初期主要存在于套袋梨的果柄中, 且在施药后 72 h 内套袋果实果肉、果芯和果洼中毒死蜱的浓度随时间推移呈现先逐渐上升后下降的过程, 推测毒

死蟀可能是通过果柄运输进入果实。汪志威^[18]发现, 毒死蟀可以从番茄果柄进入番茄内部。本研究表明, 施药后初期, 在套袋情况下, 药剂主要存在于苹果果柄内, 随着时间推移在施药后 72 h, 药剂在果柄、果肉中较多, 而在果皮中残留较少或检测不到, 与黄玉南等^[17]报道的吡虫啉主要存在于未套袋梨的果皮中的结果不一致, 其原因可能是套袋阻挡了药剂与果皮的接触, 果肉中的药剂主要来源于枝叶吸收后通过传导进入果内。可见不同药剂的传导特性决定了其残留部位。本研究结果还表明, 储藏期苹果中的药剂主要存在于果皮中, 这是由于果实脱离植株后, 药剂的内吸传导性得不到发挥, 从而表现出了和生长期施药不一致的结果。

参考文献 (References):

- [1] 张敏恒, 赵平, 严秋旭, 等. 新烟碱类杀虫剂市场与环境影响[J]. 农药, 2012, 51(12): 859-862.
ZHANG M H, ZHAO P, YAN Q X, et al. The market and environmental impact of the neonicotinoid insecticides[J]. *Agrochemicals*, 2012, 51(12): 859-862.
- [2] 范银君, 史雪岩, 高希武. 新烟碱类杀虫剂吡虫啉和噻虫嗪的代谢研究进展[J]. *农药学报*, 2012, 14(6): 587-596.
FAN Y J, SHI X Y, GAO X W. Research progresses on the metabolism of neonicotinoids imidacloprid and thiamethoxam[J]. *Chin J Pestic Sci*, 2012, 14(6): 587-596.
- [3] 潘文亮, 党志红, 高占林, 等. 几种蚜虫对吡虫啉抗药性的研究[J]. *农药学报*, 2000, 2(4): 85-87.
PAN W L, DANG Z H, GAO Z L, et al. Studies on resistance of 3 species of aphids to imidacloprid[J]. *Chin J Pestic Sci*, 2000, 2(4): 85-87.
- [4] 郭天凤, 马野萍, 丁荣荣, 等. 新疆主要植棉区棉蚜对吡虫啉和啶虫脒的抗性评价[J]. *中国棉花*, 2012, 39(12): 4-5.
GUO T F, MA Y P, DING R R, et al. Resistance of the *Aphis gossypii* populations from main cotton area in Xinjiang to imidacloprid and acetamiprid[J]. *China Cotton*, 2012, 39(12): 4-5.
- [5] 吴绪金, 李萌, 张军锋, 等. 小麦和土壤中噻虫嗪残留及消解动态分析[J]. *麦类作物学报*, 2014, 34(7): 1010-1017.
WU X J, LI M, ZHANG J F, et al. Analysis on residues and dissipation dynamics of thiamethoxam in wheat and soil under field conditions[J]. *J Triticeae Crop*, 2014, 34(7): 1010-1017.
- [6] 赵秀霞, 张正竹, 胡祎芳, 等. 噻虫嗪在茶叶及绿茶加工过程中的残留消解动态研究[J]. *安徽农业大学学报*, 2011, 38(3): 439-443.
ZHAO X X, ZHANG Z Z, HU Y F, et al. Dissipation of thiamethoxam residue in tea and green tea processing[J]. *J Anhui Agric Univ*, 2011, 38(3): 439-443.
- [7] 罗梅梅, 铁柏清, 贺敏, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法检测韭菜中噻虫嗪及其代谢物噻虫胺[J]. *农药*, 2014, 53(7): 494-496.
LUO M M, TIE B Q, HE M, et al. Simultaneous determination of thiamethoxam and clothianidin in leek by UPLC-MS/MS[J]. *Agrochemicals*, 2014, 53(7): 494-496.
- [8] 任红, 柯用春, 许如意, 等. 大棚和露地条件下 3 种农药在冬种豇豆上的残留消解动态[J]. *南方农业学报*, 2012, 43(11): 1688-1691.
REN H, KE Y C, XU R Y, et al. Degradation dynamics of three pesticides in winter cowpea planted in greenhouse and open field[J]. *J South Agric*, 2012, 43(11): 1688-1691.
- [9] 赵瑶瑶. XDE-175在甘蓝和豇豆上的残留检测及消解动态研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2008.
ZHAO Y Y. Study on the residual detection and degradation dynamics of XDE-175 in cabbage and cowpea[D]. Tianjin: Tianjin University of Technology, 2008.
- [10] 杨红, 章维华, 黄丽琴, 等. 吡虫啉在烟草中的残留动态研究[J]. *南京农业大学学报*, 1999, 22(3): 80-82.
YANG H, ZHANG W H, HUANG L Q, et al. Study on residues of Imidacloprid in tobacco[J]. *J Nanjing Agric Univ*, 1999, 22(3): 80-82.
- [11] 罗华元, 王绍坤, 常寿荣, 等. 12 种农药在烟叶中残留及烟气中转移试验初报[J]. *云南农业大学学报(自然科学版)*, 2010, 25(5): 636-641.
LUO H Y, WANG S K, CHANG S R, et al. Determination of 12 pesticides residues in tobacco leaf and shifting to smoke[J]. *J Yunnan Agric Univ (Nat Sci)*, 2010, 25(5): 636-641.
- [12] 李明立, 宋姝娥, 嵇位, 等. 噻虫嗪在番茄上的残留消解动态[J]. *农药*, 2007, 46(7): 477-478.
LI M L, SONG S E, JI J, et al. Dynamics and terminal residue of thiamethoxam on tomato (*Lycopersicon esculentum* mill.)[J]. *Agrochemicals*, 2007, 46(7): 477-478.
- [13] 刘宾, 郭栋梁, 毛江胜, 等. 菠菜中噻虫嗪的残留检测与消解动态[J]. *农药*, 2009, 48(9): 667-668.
LIU B, GUO D L, MAO J S, et al. Residue detection and degradation of thiamethoxam in spinach[J]. *Agrochemicals*, 2009, 48(9): 667-668.
- [14] 食品中农药最大残留限量: GB2763—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
Maximum residue limits for pesticides in food: GB2763—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [15] 农药残留试验准则: NY/T 788—2004[S]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
Guideline on pesticide residue trials: NY/T 788—2004[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2004.
- [16] 张莹, 师校欣, 杜国强, 等. 毒死蟀在梨果实不同部位的残留及消解动态[J]. *农药学报*, 2017, 19(2): 231-237.
ZHANG Y, SHI X X, DU G Q, et al. Residue and dissipation of chlorpyrifos in different tissues of *Pyrus bretschneideri* Rehd. fruits[J]. *Chin J Pestic Sci*, 2017, 19(2): 231-237.
- [17] 黄玉南, 张绍铃, 方金豹, 等. 吡虫啉在梨果实中的残留动态分析[J]. *果树学报*, 2010, 27(3): 453-456.
HUANG Y N, ZHANG S L, FANG J B, et al. Study on residue trends of imidacloprid in pear fruit[J]. *J Fruit Sci*, 2010, 27(3): 453-456.
- [18] 汪志威. 百菌清和毒死蟀在设施作物上的动态分布、迁移特征和果实中农药去除方法的研究 [D]. 杭州: 浙江工业大学, 2013.
WANG Z W. Dynamic distribution, movement in greenhouse plants and pesticide removal method in fruits of chlorothalonil and chlorpyrifos[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2013.
- [19] 汤宇恋. 百菌清和毒死蟀在设施作物中的分布与消解研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2011.
TANG Y L. Distribution and dissipation of chlorothalonil and chlorpyrifos in greenhouse crops[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2011.
- [20] 姚安庆, 杨健. 农药在植物体内的传导方式和农药传导生物学[J]. *中国植保导刊*, 2012, 32(10): 14-18.
YAO A Q, YANG J. Conduction mode of pesticides in plant and pesticide-conduction biology[J]. *China Plant Prot*, 2012, 32(10): 14-18.

(责任编辑: 曲来娥)