



孙艳超, 寇弘儒, 夏孟婧, 董兆克, 张志勇. 苹果园噻虫嗪表土残留及其对地表节肢动物的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (2): 359–366.

苹果园噻虫嗪表土残留及其对地表节肢动物的影响

孙艳超¹, 寇弘儒², 夏孟婧¹, 董兆克³, 张志勇^{1*}

(1. 北京农学院农业应用新技术北京市重点实验室, 北京 102206; 2. 中国科学院农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101; 3. 青岛农业大学植物医学学院, 山东青岛 266109)

摘要: 为了进一步评估苹果园施用噻虫嗪的生态风险, 本研究利用 QuEChERS 技术改进前处理方法检测噻虫嗪在苹果园土壤中的残留, 并监测了其对蜘蛛目、鞘翅目、双翅目和弹尾目等节肢动物种群数量及多样性特征的影响。结果表明, 噻虫嗪在土壤中的添加回收率为 90.11% ~ 95.03%, 变异系数为 3.4% ~ 6.63%, 最小检出量均为 0.1 ng, 最低检出质量浓度均为 0.02 mg/L。该方法缩小取样体积、节约试剂, 提高了工作效率, 适用于苹果园土壤噻虫嗪残留分析。噻虫嗪施用后在苹果园土壤中能够快速消解, 消解动态满足一级动力学方程 $C = 2.3421e^{-0.11t}$, 其半衰期为 6.36 d。苹果园施用噻虫嗪防治苹果蚜虫类害虫, 表土节肢动物代表类群的生物多样性指数短期内会受到影响而降低, 28 d 后趋于恢复; 对土壤蜘蛛类、甲虫的种群数量在 5 d 内有显著抑制作用, 对地表双翅目、弹尾目的种群数量抑制作用较小。

关键词: 噻虫嗪; 土壤残留; 消解动态; 节肢动物

中图分类号: Q965.9; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 02-359-08

Detection of thiamethoxam residues and its effect on surface soil arthropods in apple orchard

SUN Yan-Chao¹, KOU Hong-Ru², XIA Meng-Jing¹, DONG Zhao-Ke³, ZHANG Zhi-Yong^{1*}

(1. Beijing Key Laboratory of New Technology in Agricultural Application, Plant Science and Technology College, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; 2. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. College of plant health & Medicine of Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, Shandong Province, China)

Abstract: In order to further evaluate the ecological risk of thiamethoxam spraying in apple orchard, this study used QuEChERS technology to improve the pretreatment method to detect thiamethoxam residue dynamic, and its side effect on soil arthropod populations and diversities such as Arachnid, Coleoptera, Diptera and Collembola. The results showed that the recovery rate of thiamethoxam in soil was 90.11% ~ 95.03%, the coefficient of variation was 3.4% ~ 6.63%, the LOD was 0.1 ng, and the LOQ was 0.02 mg/L. This method reduces the sampling volume, saves reagents, and improves work efficiency. It is suitable for thiamethoxam residue analysis in apple orchard soil. Thiamethoxam can be rapidly degraded in apple orchard soil after application, and the degradation dynamics satisfies the first-order kinetic

基金项目: 国家重点研发计划课题 (2017YFD0200307); 北京市科技创新服务能力建设-高精尖学科建设项目 (PXM2019_014207_000032)

作者简介: 孙艳超, 女, 硕士研究生, 研究方向为农药残留风险评估研究工作, E-mail: 1948403974@qq.com

* 通信作者 Author for correspondence: 张志勇, 博士, 教授, 研究方向为农产品安全技术与昆虫资源保护利用, E-mail: zzy@bua.edu.cn

收稿日期 Received: 2020-12-03; 接受日期 Accepted: 2021-02-22

equation $C = 2.3421e^{-0.11t}$, and its half-life is 6.36 d. The diversity and evenness index of arthropods significantly were reduced in a short period and they recovered 28 days after application when spraying thiamethoxam in apple orchard to against apple aphids. The populations of spiders and beetles were significantly inhibited within 5 days but less to the populations of Diptera and Collembola in the surface soil layer.

Key words: Thiamethoxam; soil residue; digestion dynamics; arthropods

苹果在世界经济作物中占有重要的地位, 我国的苹果产量和面积位居世界前列 (任婷等, 2012; 黄晶淼等, 2020)。目前施用化学农药防治苹果园病虫害是我国最常用的高产技术, 但长期不合理的使用化学农药对苹果园环境产生了一定的副作用 (冯佳, 2017; 李德强和孟香玲, 2020)。噻虫嗪 (Thiamethoxam) 是第二代烟碱类高效低毒杀虫剂, 对害虫具有胃毒、触杀及内吸活性 (赵云, 2016)。虽然 2012 年瑞士公司在我国登记了 21% 噻虫嗪悬浮剂, 至今并未登记在苹果生产中施用, 但实际上该药已被广泛应用于防治苹果园蚜虫、叶蝉等害虫 (谭丽超等, 2020)。目前, 关于噻虫嗪的残留及其安全性已受到关注, 在蔬菜 (汤富彬等, 2008; Gong *et al.*, 2012; Karmakar *et al.*, 2012; 蒋梦云, 2018)、甘蔗 (Abdel *et al.*, 2016; 邹志博等, 2018)、西瓜 (Valente *et al.*, 2019)、马铃薯 (Kumar *et al.*, 2014)、小麦 (吴绪金, 2014; 陈国峰, 2018)、葡萄 (张怡等, 2015) 等多种作物上已有相关研究报道, 本课题组对该药对苹果膳食风险也进行了初步评估 (戈文学等, 2015)。

节肢动物在果园生态系统中普遍存在, 是重要的授粉者或食物链传递者, 对果园生态平衡的维系有着重要作用, 其中地表植被及土壤表层中的双翅目 Diptera、弹尾目 Collembola、膜翅目 Hymenoptera 昆虫和蜘蛛目 Araneae 等蜘蛛类节肢动物对新烟碱类农药比较敏感, 受到此类农药影响, 其繁殖能力通常下降甚至大量死亡, 常常被作为果园生态安全的指示生物加以研究 (Henry *et al.*, 2012)。由于这些非靶标生物主要生活在土壤表层或地表植被中, 研究地表土层中农药的沉积和残留对这些生物的影响是多数农药生态安全评估的重要切入点 (张淑花等, 2015)。前人的研究表明, 高效液相色谱法 (王多娇等, 2014)、超高压液相色谱串联质谱法 (Xiao *et al.*, 2013)、液相色谱串联质谱法 (万超超等, 2018) 均适合于噻虫嗪的残留分析, 但样品前处理不同的方法对

结果影响较大。QuEChERS 技术 (Quick、Easy、Cheap、Effective、Rugged、Safe) 是近年来发展的一种快速前处理技术, 该方法利用乙腈等有机试剂和 NaCl 等盐析剂进行提取, 促使目标物转移至有机相中, 能够减少分析时间和有毒溶剂使用量。虽然该方法具有简单、灵敏、高效的特点, 适用于土壤基质中农药残留检测的前处理, 但因土壤表层组分受不同成分理化性质和植被的影响, QuEChERS 技术条件在实践中通常需要优化 (贺泽英等, 2020)。

为了研究北京地区苹果园使用噻虫嗪可能存在的风险, 本文采用 QuEChERS 技术优化了噻虫嗪土壤样品的前处理条件, 建立了检测土壤中噻虫嗪残留的分析方法, 并据此测定了噻虫嗪在苹果园土壤中的残留动态, 同时观察了苹果园地表的双翅目、膜翅目和蜘蛛目等节肢动物种群数量及多样性变化, 以期为该药剂在北京地区苹果园中应用的生态风险评估提供进一步科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试剂药品: 噻虫嗪标准品 (纯度 99.6%), CATO 公司; 色谱纯甲醇, CNW 公司; 色谱纯乙腈, CNW 公司; 21% 噻虫嗪悬浮剂, 江苏辉丰农化股份有限公司; 其余试剂均为分析纯。

仪器设备: Agilent 1200 液相色谱仪 (DAD 检测器, Agilent 色谱工作站), 美国安捷伦公司; SHB-III 型循环水式多用真空泵, 郑州长城科工贸有限公司; LABOROTA 4001 efficient 旋转蒸发仪, 德国 Heidolph 公司; 3wBD-16 型背负式电动喷雾器, 台州市路桥明辉电动喷雾器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 大田试验

试验地条件: 田间试验在北京市昌平区南口镇南口农场果园进行。试验地土壤为砂壤土, 肥力中等; 土壤 pH 值 7.0 左右, 供试苹果园品种为

红富士。该果园在此试验之前此未施用过噻虫嗪。

小区设计: 按照 NY/T 788-2004 《农药残留试验准则》(刘光学等, 2004) 和 《农药登记残留田间试验标准操作规程》(王运浩, 2007), 于 2019 年 6 月进行。以喷雾方式施用推荐剂量的 21% 噻虫嗪悬浮剂 1 次, 设置清水对照, 共两个处理, 每处理 3 个小区, 每个小区 100 m², 苹果树株距 3 m、行距 4 m, 每个小区 8 棵苹果树, 小区之间设置保护行, 施药剂量为 31.5 g a. i. /ha。

消解动态试验: 采用 1 次施药多次采样的方法, 施药剂量为 31.5 g a. i./ha (推荐剂量) 土壤处理小区在药后的 1、3、5、7、10、14、21、28 d 及收获期采集土壤样品去除石砾和枯枝落叶。土壤样品采集方法参照 《农药登记残留田间试验标准操作规程》(王运浩, 2007)。

1.2.2 地表节肢动物的调查

陷阱法: 将深度为 13 cm, 口径为 6 cm 的杯埋在苹果园地面, 杯口与地面平齐, 内装有少量的 75% 酒精和洗涤灵混合液。每个处理区设立 8 个样点, 每个样点各埋设 1 个杯, 噻虫嗪处理区和对照区共设置 16 个陷阱。在药后 1、3、5、7、14、21、28 d 进行调查取样, 提前一点设置采样陷阱杯, 1 d 后回收样本, 将样本转入 95% 乙醇溶液的 20 mL 离心管中保存, 供进一步鉴定(李依林, 2008)。

地表节肢动物鉴定根据 《中国土壤动物检索图鉴》(尹文英等, 1998) 《中国昆虫生态大图鉴》(张巍巍等, 2011) 等, 在立体显微镜下对收集到的节肢动物标本带回室内进行分类鉴定与统计以“目”为单位进行统计分析。

1.3 土壤中噻虫嗪残留样本及制备

1.3.1 方法一

准确称取过 20 目筛的土壤样品 5.00 g, 分别添加 0.1、0.5、1.0 mg/L 的标准溶液, 置于 50 mL 离心管中, 吸取 25.0 mL 分析纯乙腈、称取 6.0 g 氯化钠, 涡旋 2 min, 超声振荡提取 30 min, 4 000 r/min 离心 10 min, 准确吸取上清液 10.0 mL 置于 50 mL 圆底烧瓶中, 减压浓缩 (40℃) 至干, 用 2.0 mL 甲醇重新溶解后过 0.45 μm 有机滤膜, 待测(邹志博等, 2018)。

1.3.2 方法二

改进 1.3.1 的前处理方法, 称取过 20 目筛的土壤样品称取 1.00 g, 分别添加 0.1、0.5、1.0 mg/L 的标准溶液, 置于 15 mL 离心管中, 6 mL 分析纯

乙腈提取, 加入 1 g NaCl 盐析, 涡旋 2 min, 10 000 r/min 离心 5 min。取上清 5 mL, 旋转蒸发仪 (40℃) 浓缩近干。吸取 1 mL 乙腈溶解, 过 0.45 μm 滤膜, 待测。

1.4 样品分析

1.4.1 标准曲线的建立

称取 0.1000 g 噻虫嗪标准品, 用色谱纯甲醇配成 1 000 mg/L 的标准储备液冷藏备用。所有试剂在 -4℃ 冰箱中保存。将噻虫嗪储备液用色谱纯甲醇稀释成 0.1、0.2、0.5、1、2、5、10、20 mg/L 标准液, 在稳定的色谱条件分别进样 5 μL, 得到噻虫嗪各进样浓度及相应峰面积, 以此得出线性关系。

1.4.2 色谱的检测条件

Agilent 1200 高效液相色谱仪 (二极管阵列检测器及 Agilent 化学工作站) 和 XDB-C₁₈ (250 mm × 4.6 mm, 5 μm) 色谱柱, 流动相比率为乙腈: 水 = 15:85, 流速为 1.0 mL/min, 柱温 30℃, 进样量 5 μL, 检测波长为 254 nm。

1.4.3 方法验证

为了验证噻虫嗪在苹果园土壤中的液相分析方法的可靠性, 本试验从准确度与精密度进行检测。

准确度: 添加回收率是衡量农药残留量检测方法准确度的重要指标。在土壤空白样品中添加质量分数为 0.1、0.5、1.0 mg/L 的噻虫嗪标准液, 每个添加浓度重复 5 次, 然后按照前处理方法提取净化并定容。按照 1.3 分析方法, 计算添加回收率和相对标准偏差。

精密度: 在上述稳定的色谱条件下, 待仪器稳定后, 连续对添加浓度 1 mg/L 噻虫嗪标准溶液的同一样品进行 6 次平行测定。

1.5 数据处理

数据处理分析主要采用 Excel、SPSS 24.0 软件进行。采用如下公式对节肢动物多样性指数进行分析 (Adans, 1985)。

1.5.1 Shannon-Wiener 多样性指数 H' , 计算公式:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

1.5.2 Pielou 均匀度指数群落 J , 计算公式:

$$J = \frac{H'}{\ln s}$$

式中 N 为群落中所有种类的个体总数, n_i 为第 i 各类群的个体数量, $P_i = n_i/N$, s 为群落类群数。

2 结果与分析

2.1 标准曲线及线性范围

将色谱纯甲醇配置 100 mg/L 的噻虫嗪标准储备液, 稀释至 0.1、0.2、0.5、1.0、2.0、5.0、10.0、20.0 mg/L 的标准溶液。在稳定的色谱条件下分别进样 5 μ L, 得到噻虫嗪各进样浓度及相应峰面积。根据不同进样浓度和相应峰面积大小得出的标准曲线图 1 所示。线性方程为 $y = 17.129x - 0.453$, 相关系数 $r = 0.9997$ ($n = 8$), 在 0.1 ~ 20 mg/L 范围内, 标准曲线呈良好的线性关系。

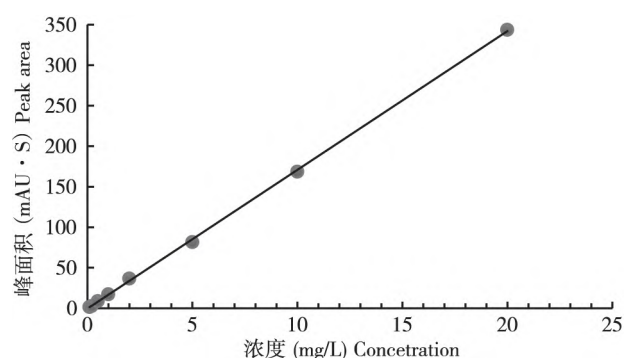


图 1 噻虫嗪标准曲线

Fig. 1 Standard curve of thiamethoam

2.2 方法的准确度、精密度

2.2.1 方法准确度

在土壤样品中, 添加质量分数为 0.1、0.5、1.0 mg/L 的噻虫嗪标准溶液, 然后按照上述两种方法提取、净化、定容, 其检测结果见表 1。

两种前处理方法中, 方法一中不同添加水平下噻虫嗪的平均添加回收率为 103.17% ~ 108.03%, 变异系数为 3.17% ~ 6.49%, 方法二中不同添加水平下噻虫嗪的平均添加回收率为 92.03% ~ 94.18%, 变异系数为 2.91% ~ 6.04%, 两种方法均满足残留分析的要求。

方法二根据 QuEChERS 原理, 改取土壤样品的用量为 1.0 g, 在减少样品用量的同时, 还减少了乙腈与氯化钠的用量; 利用涡旋与离心促使农药更充分地溶解并与土壤样品分层; 取消振荡提取 30 min, 用 10 000 r/min 离心 5 min 代替 4 000 r/min 离心 10 min, 既节省时间又实现了明显分层。

2.2.2 仪器的精密度

在上述稳定的色谱条件下, 待仪器稳定后, 连续对浓度 1 mg/L 的噻虫嗪标准溶液进行 6 次平行测定 (表 2 所示), 噻虫嗪峰面积平均值为 16.67 mAU · s, 变异系数为 1.24%, 表明该方法重现性好。

表 1 两种前处理方法的添加回试验的比较

Table 1 Comparison of two pretreatment methods

方法 Method	添加水平 (mg/L) Spiking level	回收率 (%) Recovery					平均回收率 (%) Average recovery	变异系数 (%) CV
		I	II	III	IV	V		
1	0.1	115.42	106.18	115.42	101.56	101.56	108.03	6.49
	0.5	102.01	103.20	110.32	105.20	107.56	105.66	3.17
	1.0	98.78	102.83	101.09	103.40	109.76	103.17	3.97
2	0.1	92.57	86.97	98.16	86.97	98.16	92.57	6.04
	0.5	93.15	88.95	90.35	88.95	98.74	92.03	4.48
	1.0	95.26	97.97	91.17	94.58	91.86	94.18	2.91

注: 表中数据为 5 次平均值。Note: The data in the table was 5 times average.

表 2 仪器精密度测定

Table 2 Analytical precision of HPLC

进样编号 Sampling serial number	I	II	III	IV	V	VI
峰面积 (mAU · s) Peak area	16.9	16.5	16.9	16.4	16.6	16.7
峰面积平均值 (mAU · s) Average peak area	16.67					
变异系数 (%) CV	1.24					

2.3 噻虫嗪在土壤中的消解动态及最终残留量

噻虫嗪在苹果冠层下的土壤中的残留最大值及其出现时间、消解动态方程、相关系数和消解半衰期见图 2。在喷施推荐剂量噻虫嗪（有效成分 31.5 g a. i. /ha）后，噻虫嗪在土壤中的前期消解速率较快，常规推荐剂量下的动力学方程为 $C = 2.3421e^{-0.11t}$ ($r = 0.9489$)，消解半衰期为 6.36 d。在消解动态试验中，推荐剂量的初始残留量分别为 2.44 mg/kg，药后 7 d 的残留量为 1.13 mg/kg，即药后 21 d，消解率均超过 88%，28 d 之后，土壤样品未检测到噻虫嗪残留。

2.4 噻虫嗪地表沉积对地表节肢动物群落多样性的影响

苹果园喷施噻虫嗪后不同时间地表节肢动物的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数

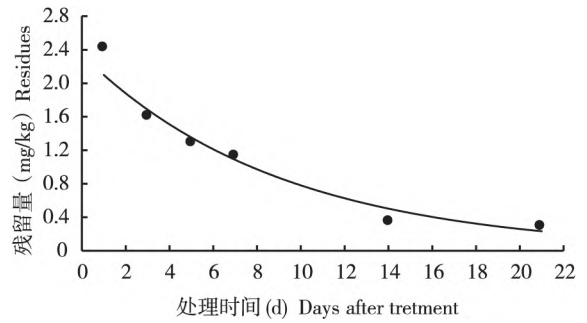


图 2 噻虫嗪的最终残留动态

Fig. 2 Residual dynamics of thiamethoxam in soil

见图 3。苹果冠层喷施噻虫嗪在地表的沉积后，21 d 内对节肢动物多样性的影响较为明显，Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数两个指标施药后变化趋势一致，且施药区一直低于对照区，直到 28 d 后趋于恢复。

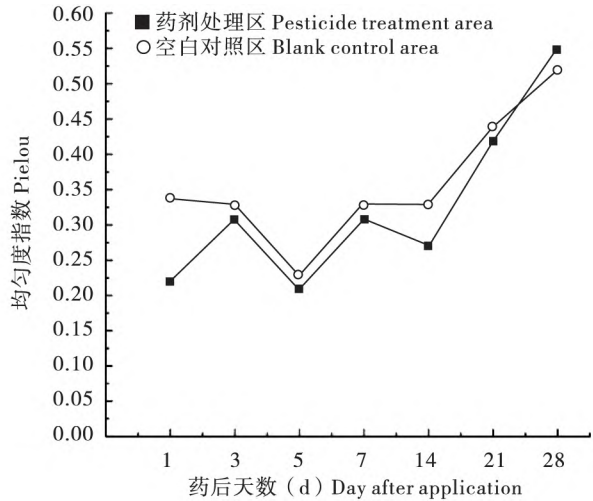
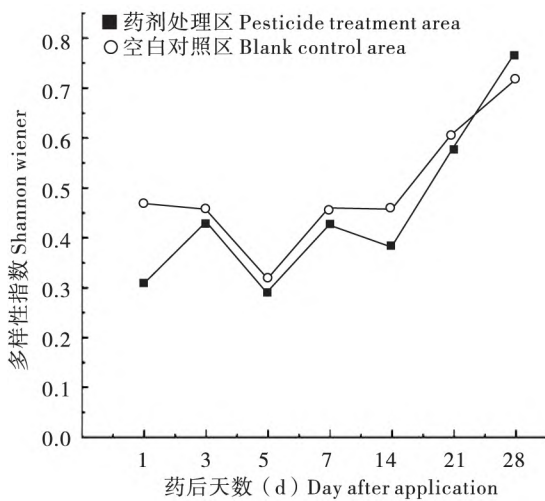


图 3 喷施噻虫嗪后不同时间对节肢动物群落多样性

Fig. 3 Effects of diversity index of arthropod community in different periods after thiamethoxam application

2.5 药后沉积对地表典型节肢动物种群数量的影响

施药后噻虫嗪对地表典型节肢动物蜘蛛目、鞘翅目、双翅目、弹尾目等类群数量的影响见图 4。在药后 1 d 对蜘蛛种群数量有显著的抑制作用，药后 3 d 开始药剂处理区与空白对照区的类群数量均差异不显著；鞘翅目甲虫类群数量在药后 3 d 药剂处理显著低于空白对照区，从药后第 5 天开始其它时间药剂处理区与对照区的类群数量

均差异不显著；双翅目和弹尾目跳虫的类群数量在施药后 1 d 开始药剂处理区并不显著低于空白对照区。其中药后 1 d 弹尾目跳虫的类群数量还略高于空白对照区，表明施药对跳虫影响不大。

综上所述，苹果园喷施噻虫嗪防治苹果蚜虫类害虫，对土壤蜘蛛、鞘翅目甲虫类群数量 5 d 内有显著抑制作用；对双翅目、弹尾目类昆虫种群数量抑制作用较小。

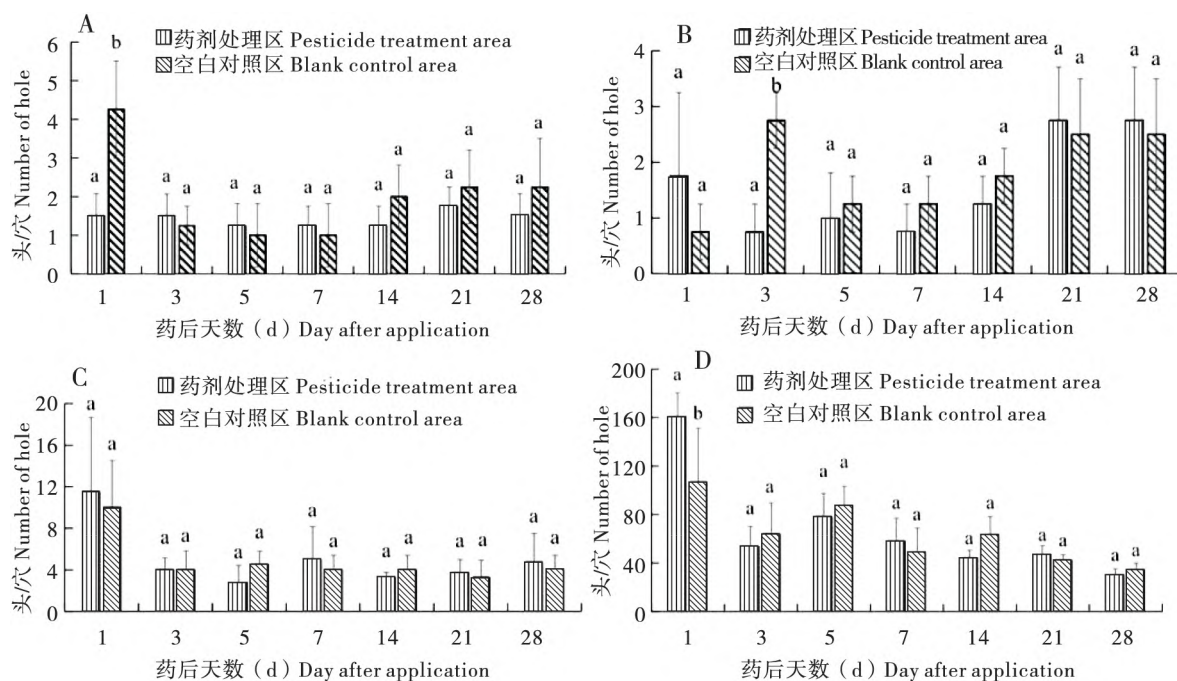


图4 噻虫嗪对节肢动物的影响

Fig. 4 Effects of thiamethoxam on arthropods

注: A, 蜘蛛目; B, 鞘翅目; C, 双翅目; D, 弹尾目。同一时间样本结果字母不同者表示处理区和空白对照区存在显著统计差异。Note: A, Araneae; B, Coleoptera; C, Diptera; D, Collembola. Means with different letters at the same time were statistically significant differences in the treatment area and the control area.

3 结论与讨论

利用 QuEChERS 原理改进的前处理方法通过缩小取样体积、节约试剂,缩短了提取时间,提高了实验效率,适合高效液相色谱分析。实验结果说明由此建立的噻虫嗪土壤残留分析方法适用于苹果园噻虫嗪土壤残留的分析,能够达到相关分析标准的要求。

苹果园喷雾施用噻虫嗪后该药沉降到地表,在土壤中能够快速消解,其残留动态符合一级动力学模型。前人报道在甘蔗园中土壤的半衰期为 6.22 d (郇志博等,2018),在茶园土壤中的半衰期 5.5 d (吴小毛等,2013),在小麦田土壤中的半衰期 5.3 d (陈国峰等,2018),在葡萄园土壤中的半衰期为 7~10 d (张怡等,2015),本研究测得噻虫嗪在北京地区苹果园土壤中的半衰期为 6.36 d,其降解趋势与前人有关研究也基本一致。但也不难看出,噻虫嗪在不同植被的土壤中降解速率存在一定差异,这些差异的成因与不同植被、不同土壤理化性质以及不同植物根际微生物群系有关。

在北京地区,噻虫嗪于苹果园的用药时间在 5-6 月份,冠层喷雾 28 d 后地表土壤中的残留即难以检出,此时距苹果采收期远超 50 d。虽然对于苹果果品而言,噻虫嗪应用的膳食风险应在可控范围,但此时正值天敌昆虫、传粉昆虫及其它非靶标生物大量发生季节,其生态安全风险尚需进一步评估。

苹果园地表存在丰富的节肢动物种类,是稳定苹果园生态系统的重要成员,也是苹果园农药生态安全风险评估的重要指标。侯有明、张淑花等研究报道杀虫剂对蜘蛛和鞘翅目甲虫、双翅目、弹尾目类群的影响尤为明显(侯有明等,2001;张淑花等,2015)。李冠楠等研究报道玉米田中吡虫啉导致节肢动物群落多样性和均匀度下降(李冠楠等,2018)。本研究结果表明,苹果园施用噻虫嗪对地表典型节肢动物的生物多样性指数在 28 d 内有降低作用,对蜘蛛、鞘翅目甲虫等种群数量施药后 3~5 d 的短期内也存在显著的影响,表明这些节肢动物对噻虫嗪短期内比较敏感;噻虫嗪本身在苹果园表土层中也会较快降解,半衰期后的较低残存量对监测的节肢动物影响不大,这些

现象值得果园施用此类农药风险评估的高度重视。

在试验中还发现, 苹果园地表跳虫类及双翅目昆虫受局部环境湿度影响较大, 对这两类节肢动物的采样精度带来一定影响, 值得今后调查中注意。

致谢: 在试验过程中农业应用新技术北京市重点实验室杨柳老师、王进忠老师、李春娜、李成和孙鹏远同学帮助, 特此致谢!

参考文献 (References)

- Abdel MF, Abdel G, Lobna A, et al. Simultaneous determination of eight neonicotinoid insecticide residues and two primary metabolites in cucumbers and soil by liquid chromatography – tandem mass spectrometry coupled with QuEChERS [J]. *Journal of Chromatography B*, 2016, 1031: 15 – 28.
- Adans J. The definition and interpretation of guild structure in ecological communities [J]. *Journal of Animal Ecology*, 1985, 54: 43 – 59.
- Chen GF, Li XR, Liu, et al. Analysis of the residues and digestion dynamics of lambda cyhalothrin, thiamethoxam and their metabolite clothianidin in wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2018, 38 (1): 119 – 125. [陈国峰, 李雪茹, 刘峰, 等. 高效氯氟氰菊酯、噻虫嗪及其代谢物噻虫胺在小麦中的残留及消解动态分析 [J]. 麦类作物学报, 2018, 38 (1): 119 – 125]
- Feng J. Discussion on pesticide pollution and control measures in the prevention and control of fruit tree diseases and insect pests [J]. *Agriculture and Technology*, 2017, 37 (24): 209 – 209. [冯佳. 谈果树病虫害防治中的农药污染及治理措施 [J]. 农业与技术, 2017, 37 (24): 209 – 209]
- Ge WX, Yang BD, Zhang ZY, et al. Degradation dynamics and dietary risk assessment of thiamethoxam in apple [J]. *Agrochemicals*, 2015, 54 (2): 115 – 118. [戈文学, 杨宝东, 张志勇, 等. 噻虫嗪在苹果上的残留消解动态及膳食风险评估 [J]. 农药, 2015, 54 (2): 115 – 118]
- Gong Y, Huang W, Zhang YF, et al. Determination of thiamethoxam residues in tomato by high performance liquid chromatography with UV detection [J]. *Asian Journal of Chemistry*, 2012, 24 (11): 5289 – 5291.
- Henry M, Béguin M, Requier F, et al. A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees [J]. *Science*, 2012, 336 (6079): 348 – 50.
- He ZY, Zhang YW, Wang WW, et al. Analysis of 227 pesticide residues in soil using QuEChERS combined with gas chromatography–triple quadrupole mass spectrometry [J]. *Environmental Chemistry*, 2020, 39 (7): 2022 – 2025. [贺泽英, 张艳伟, 王雯雯, 等. QuEChERS – 气相色谱三重四极杆串联质谱法测定土壤中 227 种农药残留 [J]. 环境化学, 2020, 39 (7): 2022 – 2025]
- Hou YM, Pang XF, Liang GW, et al. Effects of chemical pesticides on the diversity of vegetable field arthropods [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 8: 1262 – 1268. [侯有明, 庞雄飞, 梁广文, 等. 化学杀虫剂对菜田节肢动物多样性的影响 [J]. 生态学报, 2001, 8: 1262 – 1268]
- Huang JM, Liu GX, Liu PH, et al. Correlation of nutrient, pH and microorganism in rhizosphere soil of apple orchard with different cultivation years [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2020, 48 (8): 1263 – 1266. [黄晶淼, 刘国鑫, 刘佩杭, 等. 不同种植年限苹果园根际土壤养分、pH 及微生物的相关性 [J]. 山西农业科学, 2020, 48 (8): 1263 – 1266]
- Jiang MY, Gong WW, Liu QJ, et al. Residue dynamics and dietary risk assessment of thiamethoxam and its metabolites in potted peppers and soil [J]. *Agrochemicals*, 2018, 57 (9): 662 – 665. [蒋梦云, 巩文雯, 刘庆菊, 等. 噻虫嗪及其代谢产物在盆栽辣椒和土壤中的残留动态和膳食风险评估 [J]. 农药, 2018, 57 (9): 662 – 665]
- Karmakar R, Singh SB, Kulshrestha G. Water based microwave assisted extraction of thiamethoxam residues from vegetables and soil for determination by HPLC [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2012, 88 (2): 119 – 123.
- Kumar N, Srivastava A, Chauhan S, et al. Studies on dissipation of thiamethoxam insecticide in two different soils and its residue in potato crop [J]. *Plant Soil and Environment*, 2014, 60 (7): 332 – 335.
- Li DQ, Meng XL. Pesticide pollution control measures in the control of fruit tree diseases and insect pests [J]. *Xiandai Horticulture*, 2020, 4: 57 – 58. [李德强, 孟香玲. 果树病虫害防治中农药污染治理措施 [J]. 现代园艺, 2020, 4: 57 – 58]
- Liu GX, Qiao XW, Tao CJ. NY/T 788 – 2004 Pesticide Residue Test Criteria [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004. [刘光学, 乔雄梧, 陶传江. NY/T 788 – 2004 农药残留试验准则 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2004]
- Li YL. Structure and Diversity of Arthropod in Different Managed Areas in Organic Pear [D]. Beijing: Beijing University of Agriculture, 2008. [李依林. 有机化梨园节肢动物群落结构及多样性研究 [D]. 北京: 北京农学院, 2008]
- Ren T, An JM, Dong K, et al. Ecological distribution of soil animals in Linfen suburban [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2012, 47 (1): 62 – 70. [任婷, 安建梅, 董侃, 等. 山西临汾市郊土壤动物生态分布特征 [J]. 动物学杂志, 2012, 47 (1): 62 – 70]
- Tang FB, Chen ZM, Luo FJ, et al. Determination of thiamethoxam residue in cucumber and soil by HPLC [J]. *Agrochemicals*, 2007, 46 (5): 335 – 337. [汤富彬, 陈宗懋, 罗逢健, 等. HPLC 法测定黄瓜和土壤中噻虫嗪的残留量 [J]. 农药, 2007, 46 (5): 335 – 337]
- Tan LC, Cheng Y, Zhou JY, et al. Research progress of terrestrial ecological risk assessment for pesticides [J]. *Agrochemicals*, 2020, 59 (5): 322 – 327. [谭丽超, 程燕, 周军英, 等. 农药对陆生生物的生态风险评估研究进展 [J]. 农药, 2020, 59 (5): 322 – 327]
- Valente J, María R, Daniel A, et al. Impact of thiamethoxam in papaya cultivation (*Carica papaya* Linnaeus) in rotation with watermelon (*Citrullus lanatus*) crops [J]. *Agriculture*, 2019, 9 (6): 129.
- Wan CC, Ren XX, He HY. Research progress of QuEChERS sample

- pretreatment method in forensic toxicological analysis [J]. *Chinese Journal of Forensic Medicine*, 2018, 33 (6): 608 - 612. [万超超, 任昕昕, 何洪源. QuEChERS 方法在法医毒物分析领域的研究进展 [J]. 中国法医学杂志, 2018, 33 (6): 608 - 612]
- Wang YH, Ji Y, Gong Y. Standard Operating Procedures for Field Trials of Pesticide Registration Residues [M]. Beijing: Standards Press of China, 2007: 9 - 153. [王运浩, 季颖, 龚勇. 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: 9 - 153]
- Wu XM, Yuan Y, Wang F, et al. Study on dissipation dynamics of thiamethoxam in tea and soil [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2013, 52 (17): 4214 - 4217. [吴小毛, 袁圆, 王芳, 等. 噻虫嗪在茶叶和土壤中的消解规律研究 [J]. 湖北农业科学, 2013, 52 (17): 4214 - 4217]
- Xiao Z, Yang Y, Li Y, et al. Determination of neonicotinoid insecticides residues in eels using subcritical water extraction and ultra - performance liquid chromatography - tandem mass spectrometry [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2013, 777: 32 - 40.
- Xun ZB, Luo JH, Xie DF. Residue behavior and risk assessment of thiamethoxam in sugarcane and soil [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2018, 49 (11): 2282 - 2291. [邹志博, 罗金辉, 谢德芳. 噻虫嗪在甘蔗和土壤中的残留行为及风险评估 [J]. 南方农业学报, 2018, 49 (11): 2282 - 2291]
- Yin WY, Hu SH, Shen YF. Chinese Soil Animal Retrieval Illustrated Book [M]. Beijing: Science Press, 1998. [尹文英, 胡圣豪, 沈韞芬. 中国土壤动物检索图鉴 [M]. 北京: 科学出版社, 1998]
- Zhang SH, Zhou LJ, Zheng LY, et al. Effects of low concentration pesticides on the community structure of small and medium - sized soil animals in farmland [J]. *Journal of Suihua University*, 2015, 35 (2): 142 - 145. [张淑花, 周利军, 郑丽颖, 等. 低浓度杀虫剂对农田中小型土壤动物群落结构的影响 [J]. 绥化学院学报, 2015, 35 (2): 142 - 145]
- Zhang WW, Li YS. An Illustrated Book of Chinese Insect Ecology [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2011. [张巍巍, 李元胜. 中国昆虫生态大图鉴 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2011]
- Zhang Y, Zhao YN, Jiang C, et al. Residue dynamics and risk assessment of thiamethoxam in wine grape berries and soil [J]. *Modern Agrochemicals*, 2015, 14 (6): 35 - 37. [张怡, 赵亚楠, 姜彩鸽, 等. 噻虫嗪在酿酒葡萄果实和土壤中的残留动态和风险评估 [J]. 现代农药, 2015, 14 (6): 35 - 37]
- Zhao Y, Qin XR, Xu C, et al. Advances in thiamethoxam residues [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2016, 40 (2): 75 - 79. [赵云, 秦信蓉, 徐春, 等. 杀虫剂噻虫嗪的残留研究进展 [J]. 贵州农业科学, 2016, 40 (2): 75 - 79]