

孟华岳, 郑淑琼, 文英杰, 等. 滴灌施用噻虫胺防治柑橘木虱研究[J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(2): 47-52.
MENG Huayue, ZHENG Shuqiong, WEN Yingjie, et al. Control of *Diaphorina citri* by applying clothianidin through a drip irrigation system[J]. Journal of South China Agricultural University, 2019, 40(2): 47-52.

滴灌施用噻虫胺防治柑橘木虱研究

孟华岳, 郑淑琼, 文英杰, 张志祥, 徐汉虹

(亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室/天然农药与化学生物学教育部重点实验室/

华南农业大学农学院, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】明确滴灌施药防治柑橘木虱 *Diaphorina citri* Kuwayama 的可行性, 为田间控制柑橘黄龙病传播提供新的手段。【方法】通过室内模拟滴灌施用噻虫胺, 测定了噻虫胺在土壤中的分布以及柑橘叶片中含量, 研究了滴灌施药对柑橘木虱防治效果。通过田间试验, 检测分析了柑橘叶片中噻虫胺含量。【结果】在室内条件下, 一次滴灌施药对柑橘木虱的防治效果可长达 4 个月; 噻虫胺在土壤中以滴头为起始点在土壤中呈半圆形迁移分布, 当柑橘叶片中噻虫胺质量分数大于 0.64 mg·kg⁻¹ 时, 对柑橘木虱的防治效果均高于 80%。田间试验表明, 在药后 7~63 d 柑橘上部叶片中噻虫胺的质量分数大于 0.64 mg·kg⁻¹。【结论】滴灌施用噻虫胺能有效防治柑橘木虱, 是田间控制柑橘黄龙病传播的有效手段。

关键词: 柑橘黄龙病; 柑橘木虱; 滴灌施药; 噻虫胺; 防治效果
中图分类号: S433.3; S474.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2019)02-0047-06

Control of *Diaphorina citri* by applying clothianidin through a drip irrigation system

MENG Huayue, ZHENG Shuqiong, WEN Yingjie, ZHANG Zhixiang, XU Hanhong

(State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropical Agro-bioresources/Key Laboratory of Natural Pesticide and Chemical Biology, Ministry of Education/ College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: 【Objective】 To study the control effect of clothianidin on citrus psyllid(*Diaphorina citri*) under drip irrigation, and provide a new way for controlling Huanglongbing (HLB) spread. 【Method】 An indoor simulation drip irrigation experiment was conducted for clothianidin. The distribution of clothianidin in soil and the content in citrus leaves were tested, and the clothianidin efficacy was studied under laboratory condition. The content of clothianidin in citrus leaves was detected and analyzed in field experiment. 【Result】 The control effect of single drip irrigation could be as long as four months in greenhouse. The migration distribution of clothianidin was a semicircle with a drop head as a starting point in soil, and the control effects of *D. citri* were more than 80% when clothianidin contents of citrus leaves were greater than 0.64 mg·kg⁻¹. Under field condition, the contents of clothianidin in upper leaves were also greater than 0.64 mg·kg⁻¹ from 7 to 63 days after applying clothianidin. 【Conclusion】 Clothianidin application through a drip irrigation system exhibits excellent efficacy against citrus psyllid, which provides an effective measure for prevention and control of HLB.

Key words: Huanglongbing; *Diaphorina citri*; drip irrigation; clothianidin; control effect

柑橘黄龙病 (Huanglongbing, HLB) 是一种具有毁灭性和传染性的全株系统性病害,严重影响柑橘果实的品质和产量^[1-3]。目前没有能够根治黄龙病的方法^[4-5]。柑橘木虱 *Diaphorina citri* Kuwayama 隶属半翅目 Hemiptera 木虱科 Psyllidae,是已知田间传播柑橘黄龙病最重要的虫媒,加强对木虱的防治是控制或降低黄龙病发病与蔓延的关键^[6-7]。目前,我国防治柑橘木虱最常用的方法为化学防治。由于木虱在柑橘的整个生长期都有发生风险,国内柑橘种植区每年喷药防治柑橘木虱的次数少则 12 次、多达 20 次^[8],农药使用次数和使用量的加大,必然会带来严重的抗药性和环境污染等一系列问题。农药减量增效是我国农业可持续发展的重要保障,新的导向施药方式的推广和应用能够有效降低农药使用量和农药对环境的影响。滴灌施药作为一种导向的施药方式,将农药定向施于植物根部区域进而防治病虫害。有研究表明,将水溶性熏蒸剂滴灌施用于草莓园,能有效防治土壤害虫,增加了农药有效利用率,并且更加安全环保^[9]。滴灌施用氯虫苯甲酰胺经作物根部吸收,通过木质部转运至地上部,能够有效防治棉铃虫,并且一次滴药的效果优于多次喷雾施药^[10]。目前,滴灌技术在柑橘园的应用日益普及,但国内滴灌施药防治柑橘木虱研究鲜见报道^[11]。本文通过滴灌施药方式,研究了噻虫胺对柑橘木虱的防治效果,以明确滴灌施药防治柑橘木虱的可行性,为柑橘木虱防治提供新的有效手段。

1 材料与方法

1.1 供试材料

柑橘品种为年橘 *Citrus reticulate* cv. Nianju, 购自广东省惠州市惠东县人民政府水果生产办公室。植株为种植袋中生长 1 年的年橘苗,株高 (96.40±2.99) cm,冠幅直径 (53.80±2.82) cm,径粗 (9.40±0.40) mm;种植袋大小为上径 38 cm,下径 27 cm,高 30 cm。室内试验在华南农业大学资源环境学院楼顶的网室内进行,水肥管理按照正常水平。柑橘木虱采自华南农业大学茶山区住宅楼下的九里香 *Murraya exotica* L.上,置于人工气候箱中饲养,饲喂健康九里香叶片,饲养条件:温度 (26±1) °C,相对湿度 70%~80%,光照时间 14 h 光:10 h 暗。50% 噻虫胺水分散粒剂,由江苏腾龙生物药业有限公司提供;色谱级有机溶剂购自北京迈瑞达科技有限公司;其余试剂均为国产分析纯。

1.2 室内模拟滴灌施药试验

1.2.1 施药方式 采用输液器和塑料瓶模拟滴灌

装置,调节流速为 2 L·h⁻¹。按照田间已有的噻虫胺推荐用量,将 0.2 g 噻虫胺 (有效成分) 溶于 400 mL 清水中,通过滴灌方式进行施药。以清水为对照,每个处理重复 3 次。

1.2.2 生测试验 采集药后 2、4、6、8、10、20、30、40、60、80、100、120 d 的柑橘叶片。每株采集 2 片大小基本一致的叶片,每处理组采集 3 株。用清水将叶片冲洗干净,擦干水。叶柄插入含 1.5 mL 水的离心管中,封口膜封好离心管口,然后将叶片放入 50 mL 尖底离心管中,每个离心管中接入 10 头木虱成虫。将离心管放入人工气候箱中,与饲养木虱的条件一致,以 96 h 的校正死亡率作为防治效果^[12]。

1.2.3 叶片、土壤样品采集 取药后 10、20、30、40、60、80、100 和 120 d 的柑橘上部叶片进行噻虫胺含量分析。土壤样品为药后 2 和 45 d 采集距离滴头水平方向和垂直方向均为 0~15 cm 的土壤,间隔距离为 5 cm,土壤样品采集示意图见图 1。对土壤样品进行缩分,剔除土壤中的石块和杂草后过筛混合均匀,装入自封袋中,于-20 °C 保存,待测。

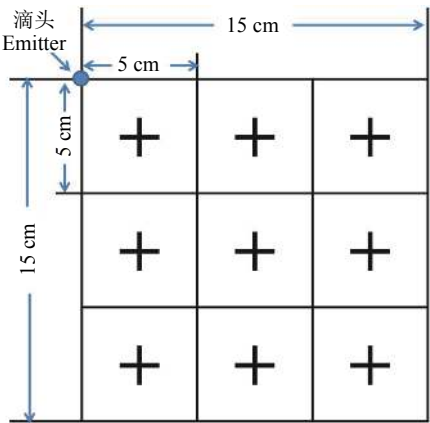


图 1 土壤样品采集示意图

Fig. 1 The schematic diagram of collecting soil samples

1.3 田间滴灌施药试验

试验地点为广东省惠州市龙门县永汉镇柑橘种植园 (N23°34'6.92", E113°58'24.59")。植株为种植 1.5 年的年橘,冠幅直径 151.79 cm,株高 143.71 cm,种植密度约 1 650 株·hm⁻²。药剂为 w=50% 的噻虫胺水分散粒剂,每株柑橘用药量为 1.0 g 噻虫胺,田间水肥管理按照常规方式进行。每个小区 6 株柑橘树,重复 3 次。试验时间为 2016 年 9 月至 2017 年 1 月。

果园装有滴水灌溉系统,沿着柑橘树种植方向,在柑橘树两侧滴水线位置各铺设一条滴灌带,每棵树的两侧各有 2 个滴头,滴灌带直径 1.5 cm,滴头流量为 2 L·h⁻¹。以电动喷雾器模拟小型施药池,电动喷雾器的喷头经过改装后与滴灌带连接,

调整喷雾器的出水压力。每组处理用 72 L 的水溶解稀释药剂, 药剂在塑料桶中溶解搅拌均匀后倒入电动喷雾器中, 进行滴灌施药。在滴灌施药前每个小区先滴清水 100 L, 然后进行滴灌施药, 药后滴清水 50 L 冲洗管道。

采集药后 1、3、7、14、21、35、49、63、77 和 91 d 柑橘树上、中、下部的叶片, 沿着柑橘树东南西北的每个方位各取 2 个嫩梢, 每组随机选择 4 株柑橘树进行采样, 检测叶片中噻虫胺的含量。

1.4 噻虫胺含量的分析方法

1.4.1 叶片样品 称取样品 2 g(精确到 0.01 g) 于 50 mL 带塞离心管中, 加入 2 mL 水润湿, 再加入 5 mL 乙腈, 涡旋提取 2 min, 加入 0.5 g 氯化钠和 2 g 无水硫酸镁, 立即手摇震荡混匀, 涡旋 1 min。3 500 r·min⁻¹ 低速离心 5 min。吸取上清液 1 mL 至装有 20.0 mg MWCNTs+50.0 mg PSA+150.0 mg 无水硫酸镁的 2 mL 塑料离心管中, 涡旋 20 s, 高速离心 1 min 后, 上清液经 0.22 μm 滤膜过滤, 待测。

采用 TSQ-Quantum Ultra 液相色谱串联三重四级杆质谱仪检测叶片中噻虫胺含量。条件: Hypersil GOLD 色谱柱, 流动相为 $V(\text{乙腈}):V(\text{含体积分数 } 0.1\% \text{ 甲酸的水})$, 采用梯度洗脱 (30:70, 0~2.0 min; 30:70 变化至 90:10, 2.0~3.0 min; 90:10, 3.0~4.5 min, 由 90:10 变化至 30:70, 4.5~4.6 min; 30:70, 4.6~6.5 min), 流速为 0.4 mL·min⁻¹, 进样量为 5 μL, 柱温为 30 ℃。

质谱条件: 喷雾电压为 3 500 V, 传输毛细管温度为 300 ℃, 雾化温度为 300 ℃, 碰撞气压力为 1.2 mTorr, 鞘气压力为 35 bar, 辅助气压力为 15 bar, 电离方式为电喷雾离子化 (ESI), 正离子模式。扫描方式为选择反应监测扫描 (SRM)。噻虫胺保留时间 1.29 min, 母离子 (m/z)250.0, 子离子 (m/z)169.1。

线性相关性测定: 将噻虫胺用基质配制成 15、12、5、1、0.5、0.1、0.05、0.01 mg·L⁻¹ 的标准溶液, 经 LC-MS/MS 测定, 噻虫胺的标准曲线符合方程 $y=401\,550x-91\,187$, $R^2=0.999\,8$, 相关性好, 满足定量分析要求。

1.4.2 土壤样品 称取样品 10 g(精确到 0.01 g) 于 100 mL 离心管中, 加入 5 mL 去离子水润湿, 再加入 40 mL 乙腈, 涡旋振荡 3 min, 超声 20 min, 于 4 000 r·min⁻¹ 的转速下离心 5 min, 取上清液于装有 4 g 氯化钠的 50 mL 离心管中, 涡旋振荡 5 min, 静置 30 min 使乙腈和水分层, 取 30 mL 乙腈在 45 ℃ 左右旋转蒸干, 加入 2 mL 色谱乙腈洗脱。取 1 mL 洗脱液至装有 100.0 mg PSA+100.0 mg C₁₈+

100.0 mg 无水硫酸镁的 2 mL 离心管中, 涡旋振荡 1 min, 在 13 000 r·min⁻¹ 的转速下离心 5 min, 吸取上清液过 0.22 μm 有机滤膜, 待测。

采用 Agilent 1100 高效液相色谱检测土壤中噻虫胺的含量。TC-C₁₈ 反相色谱柱, 流动相为 $V(\text{乙腈}):V(\text{水})=25:75$, 检测波长为 254 nm, 流速为 1.0 mL·min⁻¹, 进样量为 10 μL, 柱温为 30 ℃。

线性相关性测定: 将噻虫胺用色谱乙腈配制成 100、50、25、10、5、2.5、1、0.5 mg·L⁻¹ 的标准溶液, 经液相色谱测定, 噻虫胺的标准曲线符合方程 $y=37.978x-14.937$, $R^2=0.999\,9$, 满足色谱分析定量要求。

1.4.3 添加样品回收试验 称取空白叶片样品 2 g(精确到 0.01 g) 于 50 mL 带塞离心管中, 向样品中添加噻虫胺的标准溶液, 添加质量分数分别为 2.500、0.250、0.025 mg·kg⁻¹, 5 个重复。按照上述处理步骤进行提取、净化和液质检测。

称取空白的土壤样品 10 g(精确到 0.01 g) 于 100 mL 离心管中, 向样品中添加噻虫胺的标准溶液, 添加质量分数为 25.00、5.00、0.50 mg·kg⁻¹, 5 个重复。按照上述处理步骤进行提取、净化和液相检测。

1.5 数据处理

采用 SPSS 20.0 软件和 Microsoft Office Excel 2010 软件处理数据, 差异显著性分析采用 Duncan's 法, 使用 Origin 9.0 制作图形。

2 结果与分析

2.1 添加回收率

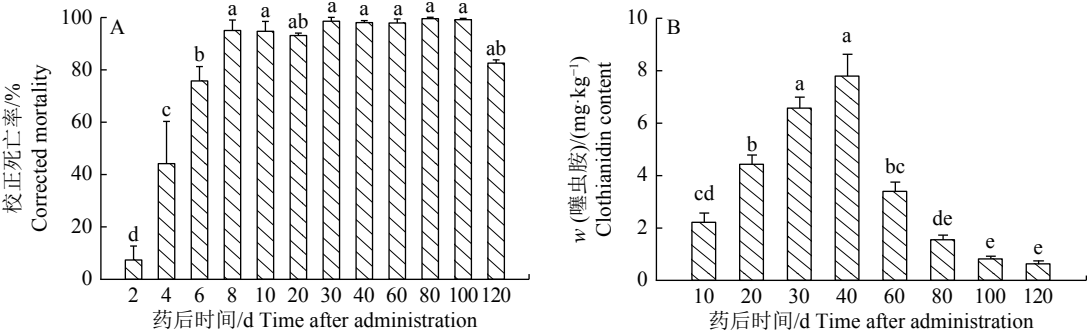
由表 1 可知, 当空白叶片样品中噻虫胺的添加质量分数为 0.025、0.250 和 2.500 mg·kg⁻¹ 时, 噻虫胺的平均回收率为 89.94%、96.72% 和 104.17%, RSD 分别为 16.75%、2.89% 和 1.54%。当空白土壤样品中噻虫胺的添加质量分数为 0.5、5.0 和 25.0 mg 时, 噻虫胺的平均回收率为 82.97%、84.48% 和 92.15%, RSD 分别为 6.02%、2.67% 和 7.59%。表明噻虫胺的分析方法均符合农药残留分析的要求。

2.2 室内滴灌施用噻虫胺试验结果

2.2.1 防治效果 采集药后柑橘上部叶片饲喂柑橘木虱, 结果见图 2A。滴灌施药后, 柑橘木虱的校正死亡率逐渐升高, 药后 6 d, 噻虫胺对柑橘木虱的防效为 75.70%±9.05%; 药后 8~100 d 噻虫胺对木虱的防效均大于 90%; 药后 120 d, 柑橘木虱的校正死亡率开始降低, 防效为 82.45%±1.30%。表明在室内条件下, 一次滴灌施用噻虫胺对柑橘木虱的防治效果可达 4 个月。

表 1 噻虫胺在柑橘叶片和土壤中的添加回收率

Table 1 Recovery rates and relative standard deviations (RSD) of clothianidin in citrus leaves and soil								n=5
样品 Sample	噻虫胺添加量/(mg·kg ⁻¹) Added clothianidin	回收率/% Recovery rates						RSD/ %
		1	2	3	4	5	平均 Average	
叶片 Leaf	2.500	104.26	103.01	102.55	104.34	106.67	104.17	1.54
	0.250	96.35	93.04	98.89	95.32	100.01	96.72	2.89
	0.025	72.90	89.43	114.27	87.49	85.60	89.94	16.75
土壤 Soil	25.0	96.59	90.72	87.85	84.01	101.59	92.15	7.59
	5.0	85.14	82.74	84.27	82.31	87.95	84.48	2.67
	0.5	81.88	81.02	83.80	77.30	90.83	82.97	6.02



各图中柱子上方的不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$, Duncan's 法)
Different lowercase letters on the bar of each figure indicated significant difference ($P<0.05$, Duncan's method)

图 2 噻虫胺对柑橘木虱的防治效果及在柑橘叶片中的含量变化

Fig. 2 The control efficacy of clothianidin on citrus psyllid and clothianidin content in citrus leaves

2.2.2 叶片中噻虫胺的含量 为明确防治效果与叶片中药剂含量之间的关系,检测分析了柑橘叶片中的噻虫胺含量,结果见图 2B。在药后 10~120 d,噻虫胺在叶片中的含量总体呈先升高后降低趋势。在药后 40 d,叶片中噻虫胺质量分数达到最高,为 (7.78 ± 0.84) $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;随后逐渐降低,药后 120 d 叶片中噻虫胺质量分数为 (0.64 ± 0.11) $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。由防效结果(图 2A)可知,在药后 10~120 d 噻虫胺对

柑橘木虱的防治效果均高于 80%,结合叶片中的药剂含量,表明滴灌施药后当叶片中的含量大于 $0.64\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,能够有效防治柑橘木虱。

2.2.3 噻虫胺在土壤中的分布 为明确滴灌后噻虫胺在土壤中的分布,采集了药后 2 h 和 45 d 的土壤样品进行检测分析,结果见表 2。在药后 2 h 噻虫胺主要分布在距离滴头水平和垂直方向均为 0~10 cm 的土壤范围内,迁移速率相差不大。在药后 45 d,噻

表 2 离滴头不同距离的土壤中噻虫胺的分布¹⁾

Table 2 The distribution of clothianidin in soil at different distance from emitter				
药后时间 Time after treatment	土壤深度/cm Soil depth	w(噻虫胺)不同距离/(mg·kg ⁻¹) Clothianidin content at different distance		
		0~5 cm	5~10 cm	10~15 cm
2 h	0~5	24.90±6.73aA	21.32±3.44aA	5.50±0.31aB
	5~10	25.04±8.67aA	17.16±1.42aA	4.38±0.35bB
	10~15	6.52±1.78bA	6.95±0.36bA	0.83±0.42cB
45 d	0~5	0.38±0.03cC	1.14±0.16bAB	1.74±0.43aA
	5~10	2.84±0.27bA	3.81±0.76aA	0.41±0.13bB
	10~15	4.08±0.55aA	1.01±0.12bB	0.28±0.10bB

1) 相同施药时间、同列数据后的不同小写字母表示差异显著,同行数据后不同大写字母表示差异显著($P<0.05$, Duncan's 法)
1) Different lowercase letters in the same column and time indicated significant difference, different capital letters in the same row indicated significant difference ($P<0.05$, Duncan's method)

虫胺逐渐向远离滴头的方向迁移, 噻虫胺在距离滴头水平方向 0~5 cm、垂直方向 0~15 cm(即第一纵列) 和距离滴头水平方向 0~15 cm、垂直方向 0~5 cm(即第 1 横行) 的范围内其含量逐渐升高。噻虫胺在上、中、下 3 层土壤中噻虫胺质量分数最大值分别为 1.74、3.81 和 4.08 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 且三者所在的位置在土壤中呈一斜线, 即以滴头为起始点, 噻虫胺在土壤中呈半圆形迁移分布。

2.3 田间滴灌施药叶片中噻虫胺的含量

柑橘园对柑橘木虱的治理以预防为主。对柑橘园进行滴灌施药, 采集柑橘树上、中、下部的叶片, 检测噻虫胺在叶片中的含量, 结果如图 3 所示。在田间条件下, 噻虫胺在植株叶片中的分布整体趋势为上部叶>中部叶>下部叶。滴灌施药后 35 d 内, 噻虫胺在叶片中的含量逐渐升高, 上、中、下部叶片中噻虫胺质量分数最大值分别为 2.04、1.26 和 0.98 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($df=8$, $F=7.169$, $P=0.048$)。在药后 35~91 d 噻虫胺在叶片中的含量逐渐降低, 在药后 91 d 上、中、下部叶片中噻虫胺质量分数分别降至 0.40、0.12 和 0.08 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($df=8$, $F=25.462$, $P=0.005$), 分别为最大值的 19.61%、9.52% 和 8.16%。在药后 7~63 d, 上部叶片中噻虫胺质量分数为 0.61~2.04 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。室内模拟滴灌试验表明, 当叶片中噻虫胺质量分数大于 0.64 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时, 对柑橘木虱的防治效果达 80% 以上, 因此在田间条件下进行滴灌施药防治或预防柑橘木虱是可行的。

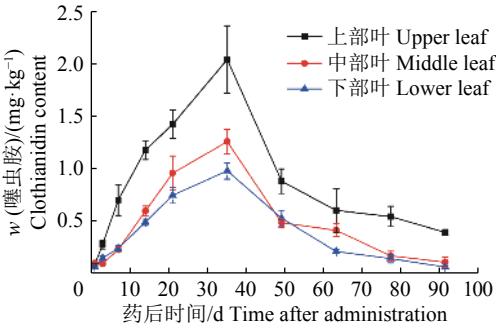


图 3 噻虫胺在田间柑橘植株叶片中的分布
Fig. 3 The distribution of clothianidin of citrus leaves in field

3 讨论与结论

柑橘木虱喜取食柑橘、九里香的嫩梢, 在柑橘树上相对聚集度较高, 雌虫多将卵产于嫩芽的缝隙中, 传统喷雾药剂难以有效接触^[13-14]; 另外, 柑橘木虱在柑橘的整个生长期都有发生风险, 而柑橘木虱的种群动态与嫩梢的生长密切相关, 抽梢越多柑橘木虱密度越大^[15-16]。目前柑橘园通常采用多次大量

喷施杀虫剂防控柑橘木虱的发生, 这必然引起对天敌昆虫的杀伤、木虱抗药性以及农药残留超标等一系列问题。本研究表明, 在室内一次滴灌施药, 8 d 后防治效果能达到 90%, 并能够实现对柑橘木虱长达 4 个月的防治效果。

在田间滴灌施药条件下, 噻虫胺在药后 63 d 内叶片中的含量可有效预防柑橘木虱的发生, 且上部叶中的含量高于中下部叶, 这一现象对化学防治柑橘木虱具有重要生物学意义。造成这一现象的原因可能是: 1) 由于柑橘上部叶片生命力旺盛, 需要更多的养分和水分, 形成了一个较强的库; 同时, 上部叶片具有更好的光照和通风条件, 有利于叶片的蒸腾作用, 从而使得上部叶片药剂含量较高。有文献报道, 吡虫啉和久效磷通过树干注射后, 其在植物体内上部叶含量明显高于下部叶^[17-18]。2) 具有韧皮部输导性的农药分子能够在植物体内进行再分配, 从而向上部幼嫩部位积累。例如, 叶片施用 2, 4-D 和草甘膦后, 在蚕豆和蓖麻上表现出明显的顶端积累^[19-20]。

滴灌施药是将农药溶于灌溉水, 借助现有的滴水灌溉系统进行施药的方式。目前滴灌施药应用越来越广泛^[21]。与叶面喷雾和浇灌相比, 滴灌施药不仅可以代替叶面施药或减少用药量, 而且可以降低对非靶标生物的影响, 在浇水、施肥的同时将农药定向均匀地施于作物根部, 实现了水肥药一体化, 从而大大降低农业生产的投入成本, 省时省力^[22]。药剂的理化性质影响滴灌后农药在土壤中的迁移分布, 决定农药是否能够到达靶标区域, 进而对农药的使用效果产生影响^[23]。本研究结果表明, 噻虫胺随着水分在土壤中迁移, 以滴头为起点呈半圆形分布。柑橘的根系呈球形分布, 须根分布在外围, 噻虫胺在土壤中的分布特点有利于柑橘须根系对药剂的吸收。

噻虫胺属于新烟碱类农药, 具有优越的内吸性, 可防治半翅目、鞘翅目和某些鳞翅目害虫, 尤其对刺吸式害虫具有低剂量高防效的特点, 现已有登记产品将其进行灌根、喷淋、撒施或拌种等用于防治田间害虫^[24]。Langdon 等^[25]报道噻虫胺对柑橘木虱的胃毒活性 LC_{50} 为 0.09 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 LC_{90} 为 9.35 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。本研究叶片中噻虫胺的质量分数为 0.64 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时对柑橘木虱的防效大于 80%, 此药剂浓度位于 Langdon 等^[25]报道的 LC_{50} 和 LC_{90} 之间。在我国, 有报道将 30% 噻虫胺·除虫脲悬浮剂通过喷雾能有效防治柑橘木虱 15 d 以上^[26]; 而国外有研究表明将噻虫胺进行浇灌, 在药后 10 d 柑橘木虱的死亡率达

到 80%，在温室内持效期可达 90 d^[27]。本研究中噻虫胺通过滴灌施药在室内防治柑橘木虱能够持续 120 d。新烟碱类农药会对蜜蜂等传粉昆虫产生影响，使得其在某些国家和地区已经被禁用或限用，也有研究表明噻虫胺不会对蜜蜂产生不利影响^[28]。因此，滴灌施用噻虫胺后，其在柑橘花粉和果实中的含量以及对蜜蜂的影响值得进一步深入研究。

致谢：广东省农业科学院果树研究所吴文研究员以及华南农业大学园艺学院陈杰忠教授给予指导，谨致谢意！

参考文献：

[1] DENG X L, GAO Y D, CHEN J C, et al. Current situation of “*Candidatus Liberibacter asiaticus*” in Guangdong, P. R. China, where citrus Huanglongbing was first described[J]. *J Integr Agr*, 2012, 11(3): 424-429.

[2] 张培, 关磊, 刘蕤, 等. 砂糖橘红鼻子果与韧皮部杆菌感染相关性研究[J]. *热带作物学报*, 2011, 32(4): 738-742.

[3] BOINA D R, BLOOMQUIST J R. Chemical control of the Asian citrus psyllid and of Huanglongbing disease in citrus[J]. *Pest Manag Sci*, 2015, 71(6): 808-823.

[4] XU M R, LIANG M D, CHEN J C, et al. Preliminary research on soil conditioner mediated citrus Huanglongbing mitigation in the field in Guangdong, China[J]. *Eur J Plant Pathol*, 2013, 137(2): 283-293.

[5] BOVE J M. Huanglongbing: A destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus[J]. *J Plant Pathol*, 2006, 88: 7-37.

[6] CEN Y J, YANG C L, HOLFORD P, et al. Feeding behaviour of the Asiatic citrus psyllid, *Diaphorina citri*, on healthy and Huanglongbing-infected citrus[J]. *Entomol Exp Appl*, 2012, 143(1): 13-22.

[7] WU F N, HUANG J Q, XU M R, et al. Host and environmental factors influencing “*Candidatus Liberibacter asiaticus*” acquisition in *Diaphorina citri*[J/OL]. *Pest Manag Sci*, 2018. (2018-05-03). <https://doi.org/10.1002/ps.5060>. doi: 10.1002/ps.5060.

[8] 余继华, 黄振东, 张敏荣, 等. 亚洲柑橘木虱带菌率的周年变化动态[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2017, 43(1): 89-94.

[9] AJWA H A, TROUT T, MUELLER J, et al. Application of alternative fumigants through drip irrigation systems[J]. *Phytopathology*, 2002, 92(12): 1349-1355.

[10] KUHAR T P, WALGENBACH J F, DOUGHTY H B. Control of *Helicoverpa zea* in tomatoes with chlorantraniliprole applied through drip chemigation[J/OL]. *Plant Health Progress*, 2010. (2010-04-07). <http://172.16.1.72/sub/php/research/2010/tomato/tomato.asp>. doi:10.1094/PHP-2009-0407-01-RS.

[11] 彭良志, 淳长品, 江才伦, 等. 滴灌施肥对‘特罗维它’甜橙生长结果的影响[J]. *园艺学报*, 2011, 38(1): 1-6.

[12] AMMAR E, WALTER A J, HALL D G. New excised-leaf assay method to test inoculativity of Asian citrus psyllid (Hemiptera: Psyllidae) with *Candidatus*

Liberibacter asiaticus associated with citrus Huanglongbing disease[J]. *J Econ Entomol*, 2013, 106(1): 25-35.

[13] 孙桂春. 试论柑桔木虱的分布消长及综合防治技术[J]. *中国南方果树*, 1999, 28(6): 17-18.

[14] HALL D G, RICHARDSON M L, AMMAR E, et al. Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, vector of citrus Huanglongbing disease[J]. *Entomol Exp Appl*, 2013, 146(2): 207-223.

[15] 许长藩, 夏雨华, 柯冲. 柑桔木虱生物学特性及防治研究[J]. *植物保护学报*, 1994, 21(1): 53-56.

[16] 程保平, 赵弘巍, 彭埃天, 等. 柑橘黄龙病的传播介体: 柑桔木虱在广东果园的发生调查[J]. *植物保护*, 2016, 42(1): 189-192.

[17] 吴春笃, 王光亮, 沈林生. 久效磷在悬铃木植株体内动态分布的研究[J]. *农业工程学报*, 1994, 10(4): 96-101.

[18] 田鹏鹏. 树干注射吡虫啉在树体内的吸收传导分布研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.

[19] DELÉTAGE-GRANDON C, CHOLLET J F, FAUCHER M, et al. Carrier-mediated uptake and phloem system of a 350-dalton chlorinated xenobiotic with an alpha-amino acid function[J]. *Plant Physiology*, 2001, 125(4): 1620-1632.

[20] BROMILOW R H, CHAMBERLAIN K. The herbicide glyphosate and related molecules: Physicochemical and structural factors determining their mobility in phloem[J]. *Pest Manag Sci*, 2000, 56(4): 368-373.

[21] GHIDIU G, KUHAR T, PALUMBO J, et al. Drip chemigation of insecticides as a pest management tool in vegetable production[J]. *J Integr Pest Manag*, 2012, 3(3): 1-5.

[22] GHIDIU G M. Integrated pest management and pest control: Current and future tactics[M]. InTech Open Access Publisher, 2012: 173-190.

[23] WANG X, ZHU H, REDING M E, et al. Delivery of chemical and microbial pesticides through drip irrigation systems[J]. *Appl Eng Agric*, 2009, 25(6): 883-893.

[24] 张明媚, 孙克, 吴鸿飞, 等. 噻虫胺的合成[J]. *农药*, 2010, 49(2): 94-96.

[25] LANGDON K W, ROGERS M E. Neonicotinoid-induced mortality of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) is affected by route of exposure[J]. *J Econ Entomol*, 2017, 110(5): 2229-2234.

[26] 陈红, 魏盛禄, 陈伟, 等. 30% 噻虫胺除虫脲悬浮剂防治柑橘木虱的田间药效试验[J]. *农业与技术*, 2017, 37(10): 48.

[27] ICHINOSE K, BANG D V, TUAN D H, et al. Effective use of neonicotinoids for protection of citrus seedlings from invasion by *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae)[J]. *J Econ Entomol*, 2010, 103: 127-135.

[28] MOFFAT C, BUCKLAND S T, SAMSON A J, et al. Neonicotinoids target distinct nicotinic acetylcholine receptors and neurons, leading to differential risks to bumblebees[J]. *Sci Rep*, 2016. doi: 10.1038/srep24764 (2016).