◆ 药效与应用 ◆

膜下滴灌结合无人机茎叶喷雾施药技术对豇豆蓟马的田间防治效果

刘妤玲[1]，吴静妮[1]，罗金仁[1]，李　胜[1]，芮昌辉[2*]

（1.广西田园生化股份有限公司，南宁　530007；2.中国农业科学院植物保护研究所，北京　100193）

摘要：结合膜下滴灌给药和无人机茎叶喷雾，开发出一种高效、省力的防治豇豆主要害虫蓟马的施药技术。试验结果表明，通过膜下滴灌触杀，内吸性药剂和地上无人机茎叶喷施高效、低毒且以触杀、渗透、杀卵等作用为主的药剂，不仅能够有效控制土壤表层的若虫，还能对豇豆茎叶上的蓟马起到良好的控制效果。药后7 d防效高达88.68%，药后14 d防效高达89.49%，均显著高于常规喷雾7 d、14 d的防效。本施药防治技术相比于常规喷雾具有更优异的持效性，且对环境更安全，对天敌伤害小，明显省工省力。

关键词：豇豆蓟马；膜下滴灌；无人机喷雾；施药技术；田间防效

中图分类号：S 274.2；S 436.4+3　　**文献标志码**：A　　**doi**：10.3969/j.issn.1671-5284.2020.04.009

Field Control Efficacy of Insecticide Application Technique by Combining Drip Irrigation under Film and Drone Spray on Cowpea Thrips

LIU Yuling[1], WU Jingni[1], LUO Jinren[1], LI Sheng[1], RUI Changhui[2*]

(1. Guangxi Tianyuan Biochemical Co. Ltd., Nanning, 530007, China; 2. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, 100193, China)

Abstract: An insecticide application technique by conbining drip irrigation under film and drone spray was developed for efficiently and labor-savingly controlling cowpea thrips (*Megalurothrips usitatus* (Bagrall)). The results showed that contact and systemic pesticides through drip irrigation under film,combining with drone spraying pesticides with high efficiency, low toxicity, and with the functions of contact, penetration, or ovicidal action can not only control the nymph on the soil surface, but also achieve good control effect on thrips on the stem and leaves of cowpea thrips. The control effect was as high as 88.68% after 7 d and 89.49% after 14 d after application, respectively, which were significantly higher than those of conventional sprays at 7 d and 14 d after application. The technique has more excellent persistence, safe for the environment, less damage to natural enemies and obviously labor- saving, compared with the conventional spray.

Key words: cowpea thrips; drip irrigation under film; drone spray; insecticide application technique; feild efficacy

蓟马属缨翅目蓟马科（Thysanoptera：thripidae）昆虫，体形微小，繁殖速度快且在田间不易被发现，很容易因出现虫口密度突增而造成较大的经济损失。蓟马可为害各种豆类作物、瓜类作物、茄科蔬菜、花生、柑橘等多种作物。成虫有分散有聚集，若虫多聚集分布，对温度、湿度均敏感[1]。豇豆是人们日常喜爱的重要蔬菜，在全国各地均有种植，广西北海和海南三亚因其得天独厚的环境、气候等资源优势，形成了两大优势豇豆产区，市场供不应求。豇豆纯收益5 000～10 000元/亩，相对于当地其他农作物，效益高出2～5倍，早已成为两大产区农民主要的收入来源，对农民脱贫致富发挥着重要的

收稿日期：2020-06-01
基金项目：国家重点研发计划（2017YFD0200304）；广西科技重大专项（桂科 AA17204041）
作者简介：刘妤玲（1986—），女，甘肃白银人，推广硕士，农艺师，主要从事植物保护相关工作。E-mail：lyl02250215@163.com
通信作者：芮昌辉（1964—），男，湖南永州人，博士，研究员，主要从事农药毒理学研究。E-mail：huirch@163.com

作用。但在其整个生长期可遭受多种害虫的为害，其中蓟马是豇豆最主要的害虫。为害豇豆的主要为普通大蓟马［*Megalurothrips usitatus*（Bagrall）］，可在豇豆全生育期发生为害。蓟马成虫和若虫均以锉吸式口器锉伤植物表皮，吸食汁液，从而影响豇豆的正常生理活动，进而导致苗期叶片皱缩卷曲，生长点发育受阻，花器腐烂、凋落以及造成豇豆果荚“黑头黑尾”现象，严重影响豇豆产量和外观品质。此外，蓟马还能够传播豇豆（Tobacco streak virus，TSV）病毒等[2]。

目前豇豆蓟马的防治主要依赖化学农药，其中多杀菌素、乙基多杀菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐等是近几年防治蓟马的主流产品[3-5]。在防治技术上多以蓟马发生期喷雾用药为主。由于蓟马在豇豆全生育期发生为害，喷雾用药模式下往往需要多次、大量用药。不可避免地出现用药量多、农药浪费严重、工作强度大等缺陷。近年来，农药施药技术得到了长足发展，如借鉴膜下滴灌施肥技术开发的膜下滴灌施药技术防治害虫。李强等[6]通过使用螺虫乙酯和吡虫啉滴灌施药，对香蕉黄胸蓟马取得了较好的防效。而植保无人机施药相比传统人工背负式喷雾更具有5大优势：① 工效高，节水省力[7-10]；② 精准施药，安全系数高[11]；③ 穿透强，无死角；④ 浓度高，触杀力强，效果好[12]；⑤ 便于统防统治，农药减施等。

鉴于豇豆蓟马的化学防治对施药技术发展的需要，笔者根据蓟马的生活习性和发生为害特点，即蓟马成虫主要聚集在幼嫩的顶端和花果上危害，而蓟马若虫主要栖息在植株中下部及地表，老熟若虫主要在土层1 cm深处化蛹，设计开发了无人机飞防药剂茎叶喷雾与膜下滴灌给药相结合的药剂防治方案。通过膜下滴灌和无人机飞防两种省力化的施药方式相结合，既发挥了无人机施药的优势，又通过膜下滴灌施药弥补无人机施药对隐藏于土层中的害虫防效不足的缺陷，探索一种省工、省时、省力的用药方式，以期为高效、省力化防控豇豆蓟马提供理论依据和技术支撑。

1　材料与方法

1.1　试验药剂

药剂：2%噻虫·氟氯氰颗粒剂（全水溶）（PD20182488）、10%噻虫·氟氯氢悬浮剂（自行配制）、2%多杀霉素微乳剂（PD20182892）、5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐微乳剂（PD20120532）。

助剂：滴灌专用助剂（TY-NRD）用于降低药剂在土壤中的降解速度，增强药效；经作飞防专用助剂（F-600）用于保持药剂高浓度混配体系的稳定及喷雾时快速沉降、铺展等。

以上药剂和助剂均由广西田园生化股份有限公司研发中心提供。

1.2　试验仪器

小型电动单旋翼无人机-XY8D，广西田园生化股份有限公司；离心式转盘喷头（容量10 L）；人工背负式电动喷雾器（3WBD-20）。

1.3　试验条件

试验地选在广西北海市铁山港区兴港镇大树岭村（109.503505E、21.596354N，海拔27 m）。田块面积约2 700 m^2。土壤类型为黏性沙壤土。豇豆品种为农丰5号，处于开花结果盛期（叶积指数最大时期），株高2 m左右，配套膜下滴灌设施。防治对象为豇豆普通大蓟马（*Megalurothrips usitatus*），低龄若虫盛发期，有世代重叠。

1.4　试验设计

试验设5个处理，1个对照。具体见表1，其中处理1、3、4、5所用药剂的原药成本相同，均为10.38元，主要比较不同施药方式下各处理的防效差异。每个处理设4个重复，共24个小区。考虑到无人机施药，在处理1～4中，每处理的4个重复连片，面积约510 m^2，长、宽为25 m×20.4 m，各处理间设3.4 m宽隔离带。处理5和对照的各小区随机区组排列，小区面积约42.5 m^2，长、宽为12.5 m × 3.4 m。有膜下滴灌的处理，均配施滴灌专用助剂；有无人机喷雾的处理，均配施经作飞防专用助剂。

表 1　试验药剂和剂量

处理	第一次施用药剂	制剂用量/(mL·667 m^{-2})	第一次施药方式	第二次施用药剂	制剂用量/(mL·667 m^{-2})	第二次施药方式
1	2%噻虫·氟氯氰GR	500	膜下滴灌	2%多杀霉素ME＋5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐ME	72+24	无人机喷雾
2		1000			72+24	
3		1000			54+18	
4	10%噻虫·氟氯氢SC	100	无人机喷雾		72+24	
5		100	传统人工背负式喷雾		72+24	传统人工背负式喷雾
对照						

1.5 施药方法

膜下滴灌用水量为1 000 L/667 m²，药剂二次稀释后随滴灌带施入植株根部，每株约200 mL药水；无人机喷雾用药水量为2.5 L/667 m²，飞行高度为距离豇豆冠层顶端1.5 m左右，飞行速度1.6 m/s。传统人工背负式喷雾，用药水量为45 L/667 m²。于2020年4月2日上午8—10点第一次施药，多云，27℃/22℃，微风；于2020年4月9日上午8—10点第二次施药，阴天，24℃/19℃，微风；试验期间，田块除了人工除草外无其他处理。

1.6 调查时间和方法

1.6.1 调查时间

于2020年4月2日药前进行蓟马基数调查，第二次药后7 d、14 d分别调查1次，共调查3次。

1.6.2 调查方法及药效计算

每小区随机五点取样，使取样点分布在不同的行或不同的面，每点调查连续的5株，每株调查4朵正在盛开的花，记录蓟马发生的花朵个数，按下述式(1)和式(2)计算虫口发生率和防治效果。

$$\text{虫口发生率/\%}=\frac{\text{有虫花朵数}}{\text{花朵总数}}\times 100 \tag{1}$$

$$\text{防效/\%}=(1-\frac{CK_0\cdot PT_1}{CK_1\cdot PT_0})\times 100 \tag{2}$$

式中：CK_0、CK_1分别为对照区药前、药后虫害发生率；PT_0、PT_1分别为处理区药前、药后虫害发生率。

使用DPS统计分析软件中的Duncan's新复极差法对各处理间防效进行方差分析。

2 结果与分析

蓟马药效试验结果见表2。第二次药后7 d，对蓟马防效最好的为处理2和处理4，防效分别为88.68%、87.28%，二者防效相当，且显著高于其他处理；处理5、处理3、处理1的防效分别为80.12%、79.20%、76.36%，三者差异不显著。

第二次药后14 d，处理2对蓟马的防效最高，为89.49%，显著高于其他处理；其次为处理4、处理3，防效分别为83.75%、82.93%，二者差异不显著，但显著高于处理1和处理5；处理5和处理1对蓟马也有较好的防效，防效分别为74.75%、71.32%。

结合两次调查结果来看，处理2对蓟马防效最高，持效期长，药后14 d的防效不仅没有比7 d降低，还略有提高；处理3的14 d防效比7 d也明显要高，具有优异的持效性；处理4的两次结果均显著高于处理5和处理1，但持效性不及处理2和处理3；处理5的防效高于处理1，但是差异不显著。

表 2 不同处理对豇豆蓟马的防治效果

处理	药前平均虫口发生率/%	药后7 d		药后14 d	
		平均虫口发生率/%	平均防效/%	平均虫口发生率/%	平均防效/%
1	16.25	10.75	76.36 b	19.75	71.32 c
2	16.25	5.25	88.68 a	7.50	89.49 a
3	12.75	7.50	79.20 b	9.25	82.93 b
4	18.00	6.50	87.28 a	12.50	83.75 b
5	16.50	9.25	80.12 b	17.75	74.75 c
对照	17.50	49.75		75.50	

注：表中数据为平均值，同列数据后不同小写字母为0.05水平下差异显著。

3 讨 论

蓟马若虫大部分时间栖息在植株中下部及地表，若虫老熟后自然掉落或主动爬到土表1 cm深处化蛹。常规的茎叶喷雾方式，即使会有部分雾滴自然沉降，但由于地膜的阻碍，药剂无法到达土表层。而膜下滴灌可以使药剂集中在根区，控制根区包括土表层及周围的害虫，达到精准控杀害虫的目的，本文处理2膜下滴灌结合无人机茎叶喷雾防效优异，处理3膜下滴灌与无人机减少25%的药量喷雾后的防效仍然比较理想，尤其是持效性很好。可见膜下滴灌结合无人机茎叶喷雾防治豇豆蓟马是可行的。

本文处理2，两倍量膜下滴灌结合无人机常量喷雾，药剂成本比其他处理略高，但效果显著好于其他处理，而且相比于常规喷雾和单独的无人机喷雾，节省了至少一次喷雾的人力，对于更重视防治效果和经济效益的农户来说，是很好的选择。

处理3与处理4相比较，药剂成本相等，虽然膜下滴灌处理药后7 d效果不及无人机喷雾效果，但处理14 d二者效果相当，相比无人机喷雾的器械和人工成本，膜下滴灌更有成本优势。

处理3与处理5比较，药后7 d防效相当，药后14 d膜下滴灌结合无人机喷雾的防效显著好于常规喷雾，从效果和人力物力等成本综合来讲，膜下滴灌无疑更具优势。

目前，豇豆蓟马的防治主要依赖人工喷药，蓟马多在花、果、叶背等隐蔽部位为害，农户喷药时需要上下翻转喷头，费时费力，防治难度大[13]。相比于单独以茎叶喷雾处理在药后14 d效果明显下降的情况下，膜下滴灌处理在药后14 d防效比药后7 d略高，体现了良好的持效性，说明膜下滴灌相比于传

统药剂茎叶喷雾防治技术，在省力化和持效性方面，有重大的开发价值。

整体来看，膜下滴灌结合茎叶飞防在防治豇豆蓟马上具有优异的防效，适合对防治效果要求高但对成本不太敏感的种植户。而两倍量膜下滴灌结合茎叶减少25%药量的飞防，具有更佳的性价比，适合对成本更敏感的种植户。

试验结果表明膜下滴灌和茎叶飞防的用药模式是一种省力、高效的防治蓟马的方法。无人机飞防能够节省大量的人工和成本，搭配滴灌使用后又能进一步提升防效，有潜能替代当前的常规用药方式，成为未来经济作物的主要施药方式。但目前农业无人机飞防主要集中在水稻、小麦、玉米、甘蔗、棉花、马铃薯、油菜等作物上，而其在果树、蔬菜及其他高经济价值的作物上的应用推广速度比较缓慢。这有赖于地方政府政策性引导，科研单位与企业联合攻克关键技术并推广应用，助力高价值经济作物大面积种植，形成地方优势特色。

参考文献

[1] 黄伟康, 孔祥义, 柯用春, 等. 普通大蓟马的研究进展[J].中国蔬菜, 2018(2): 21-27.

[2] SHUKLA S, KALYANI G，KULKARNI N, et al. Mechanism of transmission of tobacco streak virus by *scirtothrips dorsalis*, *frankliniella schultzei* and *megalurothrips usitatus* in groundnut, *Arachis hypogaea* L[J]. Journal of Oilseeds Research, 2005(22): 215-217.

[3] 刘奎, 唐良德, 李鹏, 等. 几种杀虫剂对豆大蓟马的毒力测定及复配增效作用[J]. 热带作物学报, 2014, 35(8): 1615-1618.

[4] 苍涛, 司文, 方屹豪, 等. 5种杀虫剂对豇豆蓟马的田间防治效果[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(2): 261-262; 265.

[5] 姚海峰. 八节黄蓟马生物防治与化学防治技术研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.

[6] 李强. 滴灌法施药防治香蕉黄胸蓟马应用技术研究[D]. 南宁: 广西大学, 2018.

[7] 何雄奎. 我国植保无人机的研究与发展应用浅析[J]. 农药科学与管理, 2018, 39(9): 10-17.

[8] 买合吐木汗·巴拉提, 才才. 植保无人机防治色素辣椒田棉铃虫效果试验. 农村科技, 2017(11): 34-35.

[9] 周奋启, 袁林泽, 康晓霞, 等. 不同植保机械施药对水稻病虫防治效果的研究[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(2): 268-272; 287.

[10] 杨帅. 无人机低空喷雾雾滴在作物冠层的沉积分布规律及防治效果研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.

[11] 袁会珠, 王国宾. 雾滴大小和覆盖密度与农药防治效果的关系[J]. 植物保护, 2015(6): 9-16.

[12] 张龙, 陈树茂, 马金龙, 等. 多旋翼植保无人机在小麦田的雾滴分布及对小麦蚜虫的防治效果初探[J]. 农药科学与管理, 2018, 39(2): 46-52.

[13] 袁伟方, 陈川峰, 李祖莅, 等. 植保无人机防治冬春季豇豆蓟马试验初报[J]. 中国热带农业, 2017, 78(5): 60-61; 76.

（责任编辑：高蕾）

（上接第 25 页）

中，不仅产生大量的酸性废水，同时提高了废水的处理成本。此外，甲磺酰氯的分子量大于光气，市场售价也高于光气，在原材料的成本方面不如使用$COCl_2$/3-picoline催化体系廉价。

3 结　论

在反应温度为0～5℃，光气用量为2倍当量的条件下，以光气/3-甲基吡啶体系催化3-溴-1-(3-氯-2-吡啶基)-1*H*-吡唑-5-羧酸、2-氨基-5-氯-3-甲基苯甲酸进行合环反应生成恶嗪酮中间体，再与一甲胺反应生成目标产物chlorantraniliprole，目标产物经过^{1}HNMR确定结构正确，反应总收率为81.4%，高效液相纯度为96.4%。改进后的合成方法反应条件温和，反应时间短，后处理简单，原料廉价易得，三废较少，经济可行性高。

参考文献

[1] 刘长令, 杨吉春. 现代农药手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2017: 661-665.

[2] 杨桂秋, 童怡春, 李斌, 等. 新杀虫剂氯虫苯甲酰胺研究概述[J]. 世界农药, 2012, 34(1): 31-34.

[3] 陆昕豪, 高赞, 陈晓莉, 等. 氯虫苯甲酰胺的合成研究[J]. 山东化工, 2019, 48 (17): 63-64.

[4] 柏亚罗. 氯虫苯甲酰胺等双酰胺类杀虫剂市值接近20亿美元[J]. 今日农药, 2018(11): 36-40.

[5] SHAPIRO R, TAYLOR E De G, ZIMMERMAN W T. Method for preparing, *N*-phenylpyrazole-1-carboxamides: WO, 2006062978[P]. 2006-06-15.

[6] LAHM G P, SELBY T P, STEVENSON T M. Arthropodicidal anthranila-mides: WO, 2003015519[P]. 2003-02-07.

[7] 单绍军, 张红, 郑建宏. 氯虫苯甲酰胺的合成及表征[J]. 化学世界, 2012, 10: 612-614.

（责任编辑：徐娟）