

· 研究论文 ·

DOI: 10.16801/j.issn.1008-7303.2019.0043

无人机施药对棉蚜的防治效果及经济效益分析

王 喆¹, 冯宏祖¹, 马小艳^{1,2}, 王 兰^{*1}, 武 刚³, 苟长青¹

(1. 塔里木大学 植物科学学院/新疆农业有害生物综合治理兵团重点实验室/农业部阿拉尔作物有害生物科学观测实验站/新疆特色果树高效优质栽培与深加工技术国家地方联合工程实验室, 新疆维吾尔自治区 阿拉尔 843300;
2. 中国农业科学院 棉花研究所, 河南 安阳 455000; 3. 新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所, 新疆维吾尔自治区 阿拉尔 843300)

摘 要: 为探讨采用无人机防治新疆南部地区棉蚜的可行性并筛选防治效果好的杀虫剂及具有增效作用的杀虫剂助剂, 研究了采用大疆 MG-1S 型无人机喷施不同的杀虫剂+助剂对棉蚜的防治效果, 并对无人机飞防的经济效益进行了分析。结果表明: 采用 MG-1S 型无人机喷施 22% 氟啶虫胺胍悬浮剂 (SC) 225 mL/hm² (制剂量, 下同) 时对棉蚜的防治效果最好, 优于喷施 70% 吡虫啉水分散粒剂 (WG) 30 g/hm² 和 70% 啶虫脒 WG 60 g/hm²。在添加助剂方面, 以分别在 70% 啶虫脒 WG 60g/hm² 和 70% 吡虫啉 WG 30g/hm² 中添加 15 mL/hm² 的高工效通用助剂的防治效果最好, 其次为聚合物类助剂和飞防增效剂; 而在 22% 氟啶虫胺胍 SC(150 mL/hm²) 中, 以添加 150 mL/hm² 的飞防增效剂的效果最好, 其次为矿物源类、有机硅类和聚合物类助剂。采用无人机施药, 在施药后 3 d 和 5 d 的防治效果与采用机械+人工拖管施药相比均无显著性差异, 但无人机田间作业施药液量减少 1/3, 工作效率提高 3 倍, 机械作业费减少 60 元/hm², 可满足现代农业高效、节药和降低成本的需要。

关键词: 无人机; 施药; 棉蚜; 杀虫剂; 助剂; 防治效果; 经济效益

中图分类号: S252.3 文献标志码: A 文章编号: 1008-7303(2019)03-0366-06

Efficacy of insecticide spray drone on *Aphis gossypii* control and the benefit evaluation

WANG Zhe¹, FENG Hongzu¹, MA Xiaoyan^{1,2}, WANG Lan^{*1}, WU Gang³, GOU Changqing¹

(1. College of Plant Science, Tarim University/Corps Key Laboratory of Agricultural IPM in South Xinjiang/Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pests in Alar, Ministry of Agriculture, China/The National and Local Joint Engineering Laboratory of High Efficiency and Superior-Quality Cultivation and Fruit Deep Processing Technology of Characteristic Fruit Trees in South Xinjiang, Alar 843300, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China; 2. Institute of Cotton Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Anyang 455000, Henan Province, China; 3. Xinjiang Construction Corps First Division Agricultural Science Research Institute, Alar 843300, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China)

Abstract: Field experiments were conducted to evaluate cotton aphids (*Aphis gossypii* Glover) control efficacy of insecticides spray drone, MG-1S unmanned aerial vehicle (UAV). The results showed that control efficacy of 22% sulfoxaflo SC at 225 mL/hm² was better than 70% acetamiprid WG at 60 g/hm²

收稿日期: 2018-09-27; 录用日期: 2019-03-10.

基金项目: 新疆生产建设兵团科技攻关与成果转化计划项目 (2016AC004); 中央级公益性科研院所基本科研业务专项 (1610162016019); 师域发展创新支持计划 (2016AF003).

作者简介: 王喆, 男, 硕士, 研究方向为植物病理学, E-mail: 1978683148@qq.com; *王兰, 通信作者 (Author for correspondence), 女, 教授, 主要从事植物保护教学与研究, E-mail: wang-lan95@163.com

and 70% imidacloprid WG at 30 g/hm². The adjuvant Gaogongxiao at 15 mL/hm² was recommended for optimum cotton aphid control in combination with 70% acetamiprid WG at 60 g/hm² and 70% imidacloprid WG at 30 g/hm². Flight control synergist at 150 mL/hm² could be co-applied with 22% sulfoxaflor SC at 150 mL/hm², following by the adjuvants of mineral oil, silicone and polymer additives. There was no significant difference between UAV spraying and tractor machine and manual tow spraying on the control efficacy of cotton aphid at the 3rd and 5th days after the application. However, UAV field application could decrease the spray volume of pesticides by 1/3, increase work efficiency by 3 times, and reduce the labor cost by 60 yuan/hm². UAV could meet the needs of modern agriculture and achieve efficiency increasing, pesticide saving and cost reduction.

Keywords: unmanned aerial vehicle; spraying; *Aphis gossypii*; pesticides; adjuvant; efficacy; benefit evaluation

0 引言

棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 是一种世界性棉花害虫, 属同翅目蚜科, 在中国各棉区广泛分布, 每年为害造成棉花减产 15%~30%^[1]。新疆作为中国最大的棉花生产区, 2016 年种植面积达到 180.5 万 hm², 总产量达 359.4 万 t, 占全国棉花总产量的 67.3%。然而, 近年来随着新疆种植业结构的调整以及气候条件的变化, 棉田有害生物进入了重发期和频发期, 棉蚜在新疆大面积暴发, 严重制约了棉花的优质、高效生产^[2]。

棉蚜属暴发性害虫。长期以来, 对棉蚜的防治主要依赖以吡虫啉、啉虫脒等新烟碱类杀虫剂为主的化学农药, 但随着施药剂量及施药频率的增加, 棉蚜抗药性逐年增加^[3-4], 防治难度加大, 成本不断提高。研究表明, 在杀虫剂中添加适当的助剂, 可提高药液的附着性并促进植物吸收, 杀虫剂的防治效果明显提高^[5-6]; 同时, 施药方式不同, 对棉蚜的防治效果也存在差别。因此, 通过添加适当的助剂^[7]或改变施药方式^[8]以提高杀虫剂的田间防治效果是解决目前新疆棉蚜危害重、防治难的有效途径。

目前, 棉田防治蚜虫的植保机械以手动和小型机(电)动喷雾机为主^[9], 用水量大, 农药利用率偏低, 且防治过程中易受药械、人力、物力和财力等条件的限制, 难以达到短期普遍防治的要求。无人机低空施药是一项适应现代农业、现代植保需求的新型技术, 具有作业效率高、效果好、适用性广、成本低以及应对突发危害能力强等特点^[10]。随着精准农业技术的应用, 农业航空

发展空间更为广阔, 病虫害管理和农药使用更加合理, 对环境影响更小^[11-13]。因此, 无人机施药技术将会在植物病虫害防治作业中发挥重要作用。目前, 中国在无人机航空喷洒系统、低空低量喷洒、远程控制施药等技术上取得了突破性进展^[14-17], 但主要集中在小麦、玉米和水稻等作物病虫害无人机施药技术的研究, 有关无人机在新疆棉田棉蚜防治效果研究较少。

MG-1S 型八旋翼无人机在飞控系统方面采用 A3 飞控, 可使无人机在药液晃动时保持飞行平稳; 其环境感知系统通过高精度毫米波雷达, 可预先探测地形并精准定高; 其喷洒系统配备两台水泵, 可使喷洒更加精准并提高药液的沉降效果。鉴于此, 本研究采用 MG-1S 型八旋翼无人机研究了不同杀虫剂对棉蚜的防治效果, 同时筛选了对杀虫剂具有增效作用的助剂, 并对无人机施药的经济效益进行了分析, 旨在为该型无人机在新疆棉蚜防治技术的推广应用方面提供理论依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试棉花: 新陆中 37、新陆中 38 和 J206-5, 由新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所提供。

供试药剂: 70% 啉虫脒水分散粒剂 (acetamiprid WG)(标冠) 和 70% 吡虫啉水分散粒剂 (imidacloprid WG)(惊世), 东莞瑞德丰生物科技有限公司生产; 22% 氟啉虫脒悬浮剂 (sulfoxaflor SC)(特福力), 美国陶氏益农公司生产。

供试助剂: 有机硅类助剂扩展王 (有效成分:

乙氧基改性聚三硅氧烷), 桂林集琦生化有限公司生产; 飞防增效剂迈飞, 北京广源益农化学有限责任公司生产; 聚合物类助剂红雨燕 (多聚缩合物 30%、脂肪醇乙氧基化物 10% 和多元醇 30%), 深圳诺普信农化股份有限公司; 矿物源类喷雾增效剂迈道, 中国化工集团公司生产; 航空植保专用助剂高工效通用助剂, 广西田园生化股份有限公司生产。

1.2 仪器设备

大疆 MG-1S 型八旋翼无人机 (见图 1), 深圳大疆创新科技有限公司生产, 控制模式分为手动控制和自动控制, 根据作业要求控制作业高度及速度。搭载药箱 10 L, 施药液量 15 L/hm², 喷头数量 4 个, 雾化粒径 130~250 μm, 作业高度为距离棉株 2.5 m, 喷幅 4.5 m, 作业速度 4 m/s。每小时作业量可达到 2.5~4 hm², 工作效率是人工喷洒的 40 倍。手持农业气象监测仪, 郑州欧柯奇仪器制造有限公司生产; 电子天平, 沈阳龙腾电子有限公司生产。



图 1 大疆 MG-1S 型无人机

Fig. 1 MG-1S unmanned aerial vehicle(UAV)

1.3 田间药效试验

田间药效试验于新疆生产建设兵团第一师十团二连棉田进行。

1.4 试验方法

1.4.1 无人机施药对棉蚜的防治效果 试验共设 3 组, 以清水为对照。第 1 组为喷施 70% 啶虫脒 WG 60 g/hm² (制剂量, 下同), 添加不同助剂, 分别为扩展王 4.8 mL/hm²、迈飞 150 mL/hm²、红雨燕 150 mL/hm²、迈道 75 mL/hm² 及高工效通用助剂 15 mL/hm², 以不添加助剂者为对照; 第 2 组为喷施 70% 吡虫啉 WG 30 g/hm², 添加不同助剂, 助剂品种及用量同第 1 组, 以不添加助剂者为对

照; 第 3 组为喷施 22% 氟啶虫胺胍 SC 150 mL/hm², 添加不同助剂, 助剂品种及用量同第 1 组, 以不添加助剂喷施 22% 氟啶虫胺胍 SC 150 mL/hm² 和 225 mL/hm² 为对照。667 m² 棉田用水量 1 L, 每处理 3 次重复, 小区面积 360 m², 随机区组排列, 小区间设保护行。另设置机械+人工拖管喷施 22% 氟啶虫胺胍 SC 为施药方式对照处理, 药箱为 2 t, 施用有效剂量为 150 mL/hm², 施药液量 750 L/hm², 试验小区面积均为 0.11 hm²。施药前, 每小区采取五点法取样, 每点随机调查 5 株棉花, 记录棉株上棉蚜数量。于施药后 1、3、5 d 用相同方法调查各小区棉蚜数量, 计算虫口减退率和校正防效^[18]。

试验于 2017 年 6 月 24 日进行, 棉花生育时期为蕾期。施药当天晴, 平均气温 29 ℃, 相对湿度 37%, 风力小于 4 级。

1.4.2 无人机与机械+人工拖管施药的效益分析比较 从喷施效率、用药量、药剂费用、机械施药费用及防治费用等方面分别对无人机作业防治棉蚜的技术与机械+人工拖管施药技术进行系统评价, 以综合分析其推广应用前景。具体是以 1.4.1 节中第 3 组的处理: 无人机和机械+人工拖管分别喷施 22% 氟啶虫胺胍 SC 150 mL/hm² 添加助剂迈飞的试验, 在施药时对处理区的施药时间、用药量、药剂费用、机械施药费用、防治费用等方面逐一记录, 对得到的数据进行分析。

1.5 统计分析

用 SPSS 统计分析软件对调查结果进行 Duncan 差异显著性分析, 评价不同处理对棉蚜的防效。

2 结果与分析

2.1 无人机施药对棉蚜的防治效果

三种杀虫剂在不同剂量及不同施药方式下对棉蚜的防治效果见表 1。结果表明: 采用无人机低空喷施 3 种供试杀虫剂, 药后 1 d, 以 22% 氟啶虫胺胍 SC 施药液量为 225 mL/hm² 的处理防治效果 (73.1%) 最好; 其次是 22% 氟啶虫胺胍 SC 150 mL/hm² 和 70% 吡虫啉 WG 30 g/hm², 二者无显著性差异 ($P < 0.05$); 啶虫脒的效果最差。施药后 3 d, 各处理的防治效果均达到 70.0% 以上, 处理间无显著性差异。药后 5 d, 氟啶虫胺胍 225 mL/hm² 的防治效果最好, 达 92.5%, 氟啶

表 1 无人机航空施药对棉蚜的防治效果

Table 1 The efficacy of insecticides spray drone on the control of *Aphis gossypii*

杀虫剂 Insecticide	剂量(有效成分) Dosage (a.i.)/(g/hm ²)	助剂及用量 Adjuvants and dosage/ (mL/hm ²)	校正防效 Corrective efficacy/%		
			药后 1 d 1 d after application	药后 3 d 3 d after application	药后 5 d 5 d after application
70% 啉虫脒 WG 70% acetamiprid WG	60	扩展王 Silicone additives (4.8)	55.3 ± 11.2 ab	76.1 ± 7.3 a	73.8 ± 4.9 ab
		迈飞 Flyanti-synergist (150)	70.6 ± 5.1 ab	84.8 ± 3.9 a	87.0 ± 3.8 a
		红雨燕 Polymer additives (150)	60.7 ± 17.7 ab	83.4 ± 8.0 a	87.8 ± 4.3 a
		迈道 Mineral oil (75)	56.2 ± 15.5 ab	80.5 ± 2.5 a	67.7 ± 7.1 b
		高工效 Gaogongxiao (15)	80.9 ± 8.0 a	90.3 ± 3.1 a	85.5 ± 4.0 a
		/	40.3 ± 6.0 b	74.4 ± 7.5 a	75.6 ± 5.1 ab
70% 吡虫啉 WG 70% imidacloprid WG	30	扩展王 Silicone additives (4.8)	38.0 ± 10.7 b	76.3 ± 0.8 a	69.1 ± 10.6 a
		迈飞 Flyanti-synergist (150)	55.5 ± 10.9 ab	77.1 ± 8.7 a	79.8 ± 4.4 a
		红雨燕 Polymer additives (150)	60.8 ± 15.0 a	79.0 ± 10.2 a	81.6 ± 7.8 a
		迈道 Mineral oil (75)	50.7 ± 7.7 ab	73.8 ± 9.6 a	77.7 ± 4.7 a
		高工效 Gaogongxiao (15)	67.8 ± 9.8 a	84.1 ± 8.4 a	85.3 ± 4.4 a
		/	51.4 ± 6.3 ab	76.7 ± 5.8 a	76.0 ± 3.4 a
22% 氟啶虫胺胍 SC 22% sulfoxaflor SC	150	扩展王 Silicone additives (4.8)	59.5 ± 3.5 a	84.7 ± 3.1 a	86.5 ± 4.4 a
		迈飞 Flyanti-synergist (150)	69.9 ± 11.1 a	87.0 ± 6.1 a	89.0 ± 1.4 a
		红雨燕 Polymer additives (150)	54.0 ± 0.9 a	77.2 ± 0.9 a	85.6 ± 1.2 a
		迈道 Mineral oil (75)	66.4 ± 5.4 a	86.6 ± 3.5 a	89.1 ± 3.2 a
		高工效 Gaogongxiao (15)	34.5 ± 23.0 b	62.9 ± 22.5 a	79.4 ± 4.8 a
	225	/	51.7 ± 17.2 ab	73.2 ± 12.9 a	80.6 ± 7.5 a
		/	73.1 ± 6.9 a	88.8 ± 4.7 a	92.5 ± 2.6 a
		/	83.6 ± 6.0 a	91.6 ± 4.8 a	95.2 ± 1.2 a

注：表中同列数据后不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。“**”表示采用机械+人工拖管喷施施药。“/”表示未添加助剂。

Note: Different letters in the same column indicated significant difference at $P < 0.05$ level by Duncan’s new multiple range test. “**” indicates the insecticide spray by tractor machine and manual tow. “/” indicates no adjuvant.

虫胺胍 150 mL/hm² 次之，但二者无显著性差异。采用机械+人工拖管喷施 22% 氟啶虫胺胍 SC (150 mL/hm²)，施药后 1 d 对蚜虫的防治效果显著高于同等剂量下的无人机施药，但施药后 3 d 和 5 d，二者之间无显著差异。

由表 1 可见，无人机喷施添加不同助剂的药剂后对棉蚜的防治效果存在差异。啉虫脒添加助剂后，药后 1 d，添加高工效的防治效果 (80.9%) 最好，比对照提高了 50.6%；药后 3 d，各处理组的防治效果均达到 75% 以上，效果最好的为啉虫脒+高工效，防效达到 90.3%；药后 5 d，啉虫脒+红雨燕的防治效果最好，达 87.8%，其次是啉虫脒添加迈飞和高工效，三者无显著性差异。吡虫啉添加助剂后对棉蚜的防治效果为，药后 1 d，添加高工效的防治效果 (67.8%) 最好，比对照提高了 16.4%；药后 3 d 和 5 d，效果最好的均为吡虫

啉+高工效，防效分别为 84.1% 和 85.3%，其次是添加红雨燕和迈飞。氟啶虫胺胍添加助剂后对棉蚜的防治效果，药后 1 d，氟啶虫胺胍+迈飞的防治效果最好，达到 69.9%，比对照提高了 18.2%，其次是添加迈道；药后 3 d，防治效果最好的是迈飞，达 87.0%，其次是迈道，防效达 86.6%；药后 5 d，添加不同助剂的氟啶虫胺胍对棉蚜的防治效果从高到低的顺序依次为迈道、迈飞、扩展王、红雨燕和高工效 (表 1)。

2.2 采用不同施药方式田间作业的效益分析

分别采用无人机和机械+人工拖管喷施田间作业的效益分析结果 (表 2) 表明：以 8 h 为一天工作时间，植保无人机的喷施效率是机械+人工拖管喷施的 3 倍左右，作业效率高，且用药量低、机械施药费用低，最终导致防治成本降低，可以满足现代农业高效、节药和降低成本的需要。

表 2 无人机与机械+人工拖管喷施喷洒氟啶虫胺胍的效益分析

Table 2 Benefit comparison of sulfoxaflor application between UAV and tractor machine and manual tow

施药器械 Equipment application	喷施效率 Efficiency (667 m ² /d)	用药量 Dosage/ (mL/667 m ²)	药剂费用 (元/667 m ²) Insecticides cost (RMB/667 m ²)	机械施药费用 (元/667 m ²) Cost for application (RMB/667 m ²)	防治费 (元/667 m ²) Cost for control (RMB/667 m ²)	防治效果* Efficacy* (A/B) /%
无人机 (A) UAV(A)	480	20	10.6	8	18.6	-14.6
机械+人工拖管喷施 (B) Tractor machine and manual tow (B)	160	60	13	12	25	—

注：*药后 5 d 的防治效果。
Note: *Indicates the control efficacy after 5 d application.

3 结论与讨论

通过采用 MG-1S 型无人机喷施不同杀虫剂及助剂研究其对棉蚜的防治效果，并通过经济效益比较分析，筛选出了适合 MG-1S 型无人机作业的杀虫剂和助剂。结果表明：在供试的 3 种杀虫剂中，采用无人机施药对棉蚜防治效果最佳的是 22% 氟啶虫胺胍 SC(制剂量 225 mL/hm²)，并且速效性和持效性也优于 70% 吡虫啉 WG(30 g/hm²) 和 70% 啉虫脒 WG(60 g/hm²)，这与李琳琳^[19] 和曲春鹤等^[20] 的研究结果一致。无人机施药与机械+人工拖管喷施相比，施药后 1 d，无人机对棉蚜的防治效果低于机械+人工拖管喷施，但施药后 3 d 和 5 d，二者均无差异性显著，但田间作业效率提高 3 倍，施药液量减少 1/3，机械作业费减少 60 元/hm²；后期机械+人工拖管喷施作业进地不便，施药过程中对棉花造成机械损伤，而无人机可以避免棉株损伤，因此可满足现代农业高效、节药和降低成本的需要。但从防效上看，无人机还应从田间作业参数、农药剂型、助剂的混配及用药量等方面进一步研究和改进，以满足生产的要求。

已有的研究表明，助剂有降低表面张力，减少挥发、飘移，增加渗透性等作用，在药液中添加适当的助剂后，农药雾滴更容易在植株叶片上滞留，提高药液附着性能，增加沉积量，促进吸收，减少损失，从而提高药效^[6]。由无人机喷施药剂+助剂对棉蚜防治试验结果可见：助剂可提高杀虫剂对棉蚜的防治效果，不同助剂的增效程度有所不同，其中在啉虫脒和吡虫啉中分别添加高工效、红雨燕和迈飞的防治效果最好；而氟啶虫胺胍中添加迈飞的防效最好，其次为迈道、扩展王和红雨燕，这与高圆圆等^[21] 及丁新华等^[22] 的研究结果吻合。药剂与不同助剂混配后的防效有所不

同，啉虫脒和吡虫啉两种水分散粒剂与多元醇类助剂混配效果极佳，与矿物油类助剂混配则效果较差，氟啶虫胺胍悬浮剂与主要成分为聚氧乙烯醚改性三硅氧烷化合物的助剂混配效果最好，这与张忠亮等^[23] 的研究结果一致。本研究结果表明，采用 MG-1S 型无人机防治棉蚜优先选择 22% 氟啶虫胺胍 SC，并与助剂迈飞混配，可达到理想的防治效果。

参考文献 (Reference):

[1] 张海娜, 钱玉源, 刘祎, 等. 蚜虫防治研究概况及在棉花上的应用[J]. 农学学报, 2015, 5(8): 36-39.
ZHANG H N, QIAN Y Y, LIU Y, et al. Research survey on aphid control and its application in cotton[J]. J Agric, 2015, 5(8): 36-39.

[2] 冯志超, 王永安, 程国荣. 新疆北部棉区棉蚜大发生原因及综合防治[J]. 新疆农业科学, 2005, 42(4): 265-268.
FENG Z C, WANG Y A, CHENG G R. Analysis on the reason of serious occurrence of *Aphis gossypii* in the cotton area of the North Xinjiang[J]. Xinjiang Agric Sci, 2005, 42(4): 265-268.

[3] 石绪根. 棉蚜对吡虫啉抗性机理的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012.
SHI X G. Studys on the mechanisms of imidacloprid resistance in Cotton aphid, *Aphis gossypii* (Glover)[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2012.

[4] 梁彦, 张帅, 邵振润, 等. 棉蚜抗药性及其化学防治[J]. 植物保护, 2013, 39(5): 70-80.
LIANG Y, ZHANG S, SHAO Z R, et al. Insecticide resistance in and chemical control of the Cotton aphid, *Aphis gossypii*(Glover)[J]. Plant Prot, 2013, 39(5): 70-80.

[5] FAUSEY J C, PENNER D, RENNER K A. Adjuvant effects on CGA-248757 and flumiclorac efficacy and crop tolerance[J]. Weed Technol, 1999, 13(4): 783-790.

[6] HOLLOWAY P J, BUTLER ELLIS M C, WEBB D A, et al. Effects of some agricultural tank-mix adjuvants on the deposition efficiency of aqueous sprays on foliage[J]. Crop Prot, 2000, 19(1): 27-37.

[7] 刘保友, 栾炳辉, 王英姿, 等. 新型农用有机硅喷雾助剂在苹果上的安全性研究[J]. 北方园艺, 2012(8): 24-26.
LIU B Y, LUAN B H, WANG Y Z, et al. Study on the safety of new type organosilicone spray adjuvants on apple[J]. North Hortic, 2012(8): 24-26.

[8] 尚春雨, 蔡建法, 黄思健, 等. 我国农用植保无人机应用现状与前景分析[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(30): 193-195, 217.
SHANG C Y, CAI J F, HUANG S J, et al. Application status and prospect analysis of agricultural UAVs in China[J]. *J Anhui Agric Sci*, 2017, 45(30): 193-195, 217.

[9] 刘剑君, 贾世通, 杜新武, 等. 无人机低空施药技术发展现状与趋势[J]. *农业工程*, 2014, 4(5): 10-14.
LIU J J, JIA S T, DU X W, et al. Development status quo and trends of low-altitude unmanned aerial vehicles spraying technology[J]. *Agric Eng*, 2014, 4(5): 10-14.

[10] 张彦彦, 兰玉彬, 陈立平, 等. 中国农业航空施药技术研究进展与展望[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(10): 53-59.
ZHANG D Y, LAN Y B, CHEN L P, et al. Current status and future trends of agricultural aerial spraying technology in China[J]. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 2014, 45(10): 53-59.

[11] 周志艳, 臧英, 罗锡文, 等. 中国农业航空植保产业技术创新发展战略[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(24): 1-10.
ZHOU Z Y, ZANG Y, LUO X W, et al. Technology innovation development strategy on agricultural aviation industry for plant protection in China[J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2013, 29(24): 1-10.

[12] 茹煜, 金兰, 周宏平, 等. 航空施药旋转液力雾化喷头性能试验[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(3): 50-55.
RU Y, JIN L, ZHOU H P, et al. Performance experiment of rotary hydraulic atomizing nozzle for aerial spraying application[J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2014, 30(3): 50-55.

[13] 马小艳, 王志国, 姜伟丽, 等. 无人机飞防技术现状及在我国棉田应用前景分析[J]. *中国棉花*, 2016, 43(6): 7-11.
MA X Y, WANG Z G, JIANG W L, et al. Analysis of current status and application prospects of unmanned aerial vehicle plant protection technology in Cotton field in China[J]. *China Cotton*, 2016, 43(6): 7-11.

[14] 薛新宇. 航空施药技术应用及对水稻品质影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
XUE X Y. Applications of modern pesticide aerial application technology and the impact on rice quality[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2013.

[15] 茹煜, 贾志成, 范庆妮, 等. 无人直升机远程控制喷雾系统[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(6): 47-52.
RU Y, JIA Z C, FAN Q N, et al. Remote control spraying system based on unmanned helicopter[J]. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 2012, 43(6): 47-52.

[16] 范庆妮. 小型无人直升机农药雾化系统的研究[D]. 南京林业大学, 2011.
Fan Qingni. The research on the pesticide spray system using for the mini-unmanned helicopter[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2011.

[17] 张京, 何雄奎, 宋坚利, 等. 无人驾驶直升机航空喷雾参数对雾滴沉积的影响[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(12): 94-96.
ZHANG J, HE X K, SONG J L, et al. Influence of spraying parameters of unmanned aircraft on droplets deposition[J]. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 2012, 43(12): 94-96.

[18] 薛新宇, 秦维彩, 孙竹, 等. N-3 型无人直升机施药方式对稻飞虱和稻纵卷叶螟防治效果的影响[J]. *植物保护学报*, 2013, 40(3): 273-278.
XUE X Y, QIN W C, SUN Z, et al. Effects of N-3 UAV spraying methods on the efficiency of insecticides against planthoppers and *Cnaphalocrocis medinalis*[J]. *Acta Phytophylacica Sinia*, 2013, 40(3): 273-278.

[19] 李琳琳. 山东省不同棉蚜种群对新烟碱类杀虫剂的抗性检测和抗性生化机理研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
LI L L. Resistance detection of *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) and resistance biochemical mechanisms to neonicotinoids in Shandong[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2014.

[20] 曲春鹤, 王彭. 氟啶虫胺胍对桃蚜的室内杀虫活性及田间防治效果[J]. *农药*, 2017, 56(3): 216-218.
QU C H, WANG P. Laboratory bioassay and field efficacy of sulfoxafloor active against peach aphid(*Myzus persicae*)[J]. *Agrochemicals*, 2017, 56(3): 216-218.

[21] 高圆圆, 张玉涛, 赵西城, 等. 小型无人机低空喷洒在玉米田的雾滴沉积分布及对玉米螟的防治效果初探[J]. *植物保护*, 2013, 39(2): 152-157.
GAO Y Y, ZHANG Y T, ZHAO Y C, et al. Primary studies on spray droplet distribution and control effects of aerial spraying using unmanned aerial vehicle(UAV) against the corn borer[J]. *Plant Prot*, 2013, 39(2): 152-157.

[22] 丁新华, 王娜, 王小武, 等. 小型无人机超低量喷雾防治玉米螟田间药效评价[J]. *新疆农业科学*, 2017, 54(3): 479-488.
DING X H, WANG N, WANG X W, et al. Studies on the control effect of ultra-low volume aerial spray using unmanned aerial vehicle(UAV) against the corn borer[J]. *Xinjiang Agric Sci*, 2017, 54(3): 479-488.

[23] 张忠亮, 李相全, 王欢, 等. 六种有机硅助剂对氟磺胺草醚的增效作用及其增效机理初探[J]. *农药学报*, 2015, 17(1): 115-118.
ZHANG Z L, LI X Q, WANG H, et al. Preliminary studies on synergism and mechanisms of six organosilicon additives on fomesafen[J]. *Chin J Pestic Sci*, 2015, 17(1): 115-118.

(责任编辑: 金淑惠)