

飞防助剂和施药液量对植保无人飞机喷施雾滴沉积和棉花蓟马防效的影响

方治豪, 窦泽晨, 韩小强*, 刘亚朋, 温明恺,
别克宝·哈德力拜克, 张东海*

(石河子大学农学院, 新疆绿洲农业病虫害治理与植保资源利用重点实验室, 石河子 832003)

摘要 为明确飞防助剂和施药液量对植保无人飞机喷施在棉花冠层的雾滴沉积和对棉花上蓟马防效的影响, 选择倍达通、功倍、杰效丰和迈丝4种飞防助剂, 设置3种施药液量, 通过田间试验研究了植保无人飞机喷施25%噻虫嗪水分散粒剂后其在棉花冠层的雾滴密度、覆盖率、沉积量和雾滴均匀性以及棉花上蓟马的防效。结果表明, 4种飞防助剂和3种施药液量对植保无人飞机喷施的雾滴沉积和蓟马防效均有显著影响。增加施药液量可显著增加雾滴在棉花冠层的密度与覆盖率, 添加飞防助剂对雾滴密度的提升效果显著。4种助剂对农药雾滴在棉花冠层上、中、下部的覆盖率的影响趋势较为一致, 与棉花冠层上部相比, 对中、下部位覆盖率的影响较低。施药液量为2 L/667 m²时, 添加倍达通、功倍、杰效丰、迈丝及无助剂对照的雾滴穿透性分别为46.0%、49.1%、33.6%、36.1%和44.3%, 该施药液量下各处理雾滴穿透性均较好。随着施药液量增加, 药后1、3、7 d对棉花蓟马的防效也显著提升。在相同施药液量下, 25%噻虫嗪水分散粒剂药液中添加飞防助剂倍达通和杰效丰相较于功倍和迈丝, 对棉花蓟马具有更高的防治效果。试验结果为植保无人飞机防治棉花蓟马提供了科学依据。

关键词 飞防助剂; 施药液量; 植保无人飞机; 雾滴沉积; 棉花蓟马

中图分类号: S 433 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2021672

Effects of spray adjuvants and spray volumes on droplet deposition by plant protection UAV and the control efficacy against cotton thrips

FANG Zhihao, DOU Zechen, HAN Xiaoqiang*, LIU Yapeng, WEN Mingkai,
BIEKEBAO Hadlibek, ZHANG Donghai*

(College of Agriculture, Key Laboratory of Oasis Agricultural Pest Management and Plant Protection Resources Utilization, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract In order to clarify the effects of spray adjuvants and spray volumes on droplet deposition by plant protection unmanned aerial vehicles (UAV) and the control efficacy against cotton thrips, four kinds of aviation spray adjuvants (Beidatong, Gongbei, Jiexiaofeng and Maisi) and three spray volumes (1, 1.5, 2 L) were selected. Field experiments were conducted to study the droplet density, coverage, deposition and droplet uniformity of thiamethoxam 25% WG sprayed by plant protection UAV, as well as their control effects on thrips in cotton fields. The results showed that the four spray adjuvants and the three spray volumes had significant effects on droplet deposition by plant protection UAV and the control efficacy against cotton thrips. The increase of spray volume could significantly increase the droplet density and coverage in the cotton canopy. Spray adjuvants had more effect on droplet density and less impact on droplet coverage and deposition. The influence trend of the four adjuvants on droplet coverage was relatively consistent, but the influence on droplet coverage in middle and lower canopy of cotton was lower compared with the upper canopy. When the spray volume was 2 L/667 m², the penetration of droplets for the treatments of Beidatong, Gongbei, Jiexiaofeng, Maisi and non-adjuvants was

收稿日期: 2021-11-30

修订日期: 2022-01-04

基金项目: 现代农业产业技术体系棉花岗位体系专家(CARS-15-22)

* 通信作者 E-mail: 韩小强 hanshz@shzu.edu.cn; 张东海 1691252795@qq.com

46.0%, 49.1%, 33.6%, 36.1% and 44.3%, respectively. The control efficacy against cotton thrips on day one, three and seven after treatment significantly increased with increasing spray volume. Under the same spray volume, adding Beidatong and Jiexiaofeng showed higher control efficacy than adding Gongbei and Maisi. The results provide a scientific basis for the control of cotton thrips by plant protection UAV.

Key words spray adjuvants; spray volume; plant protection UAV; droplet deposition; cotton thrips

棉花作为一种天然纤维,是纺织工业的主要原料,也是世界上重要的经济作物之一^[1]。新疆是我国棉花种植面积和产量最大的地区,2021 年新疆棉区棉花种植面积占全国的 82.76%,产量占全国总产量的 89.50%^[2]。在新疆棉花面积和产量稳步提升的同时,病虫草害也在不断侵袭和阻碍棉花的安全生产。近年来,蓟马(烟蓟马 *Thrips tabaci* Lindeman 和花蓟马 *Frankliniella intonsa* Trybom)逐渐成为新疆棉花的主要害虫^[3]。蓟马在棉花苗期造成植株生长点枯死,产生“无头棉”“多头棉”等症状,影响棉花正常生长。在棉花生长中后期,蓟马为害花蕾和棉铃,造成僵铃或裂铃,严重影响棉花产量与品质。然而,由于新疆密植栽培的模式,棉花生长中后期地面施药器械施药时会使大量棉花受到机械损伤,极大地影响棉花的长势和产量^[4]。

采用植保无人飞机(unmanned aerial vehicles, UAV)喷施作业能够提高农药在靶标作物上的沉积量,同时能够解决地面机具作业对作物的机械损伤,实现了人机分离,避免了操作员农药中毒,极大地提高了作业效率^[5],已经在小麦、水稻、玉米、果树、茶叶、棉花等作物上广泛应用。近年来,植保无人飞机应用于棉田的基础理论和技术方法受到广泛关注。植保无人飞机喷施棉花脱叶催熟剂相关研究发展迅速,主要集中在作业参数优化^[6]、脱叶剂及助剂筛选^[7-8]、雾滴沉积特性^[9]等方面。赵冰梅等研究了植保无人飞机喷施 50%氟啶虫酰胺水分散粒剂对棉花蚜虫的防治效果^[10]。沙帅帅等对植保无人飞机防治棉花蚜虫的作业参数和药剂进行了筛选^[11]。Lou 等以诱惑红为示踪剂,研究了多旋翼植保无人飞机不同作业高度对雾滴沉积和棉花蚜虫、棉叶螨防治效果的影响,发现作业高度为 2.0 m 时雾滴沉积效果较好,但对棉蚜和棉叶螨防治效果不及喷杆喷雾机^[12]。蓟马作为近年来棉花新晋的主要害虫,对其研究主要集中在生物学特性及常规防治方面。陈巧玲等使用植保无人飞机防治荷花蓟马,取得了较好的效果^[13]。王龙江等研究了助剂对植保无人飞机喷施 2.3%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐微乳剂防治辣椒蓟马

的雾滴沉积和防效,发现添加助剂后,药液在辣椒冠表层的雾滴密度、沉积量均有显著提升,且药后 5 d 对蓟马的防效由 31.18% 提高到 91.67%^[14]。刘好玲等研发出膜下滴灌结合植保无人飞机茎叶喷雾防治豇豆蓟马的技术,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 和 14 d 的防效^[15]。为探究植保无人飞机喷施作业对棉花蓟马的防治效果,本研究以 25%噻虫嗪水分散粒剂为供试药剂,选取 4 种喷雾助剂,设置 3 种施药液量进行植保无人飞机防控棉花蓟马田间试验,通过雾滴沉积和防效的评价,筛选适合植保无人飞机喷施作业防治棉花蓟马的喷雾助剂和喷液量,以期为棉花蓟马的高效防治提供指导。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试药剂:25%噻虫嗪水分散粒剂(WG),辽宁省葫芦岛凌云集团农药化工有限公司;倍达通(BDT),植物油类助剂,河北明顺农业科技有限公司;功倍(GB),矿物油类助剂,迈图高新材料有限公司;杰效丰(JXF),聚醚改性硅烷类助剂,迈图高新材料有限公司;迈丝(MS),植物油类助剂,北京广源益农化学有限公司。

供试植保无人飞机:大疆 T30 植保无人飞机,大疆创新科技有限公司,药箱容量为 30 L,长×宽×高为 2 858 mm×2 685 mm×790 mm,喷头数量 16 个,型号为扇形喷头 SX11001VS。试验时植保无人飞机喷幅设置为 5 m,飞行速度为 5 m/s,飞行高度距作物 2 m,试验时棉花株高为 62~65 cm。

供试仪器:FileScan 2500 型号扫描仪,上海市中晶科技有限公司;水敏纸长 5 cm,宽 3 cm,重庆六六山下植保科技有限公司;NK5500 手持气象站,美国尼尔森-凯勒曼公司。

1.2 试验方法

1.2.1 田间施药

试验地位于新疆石河子市石河子大学教学实验场二连(44°20'N, 85°59'E),前茬作物为棉花,已连

续种植多年。供试棉花品种为‘新陆早 52 号’,采用宽窄行种植模式,一膜 6 行,行距宽行 60 cm,窄行 10 cm,株距为 10 cm,种植密度约 18 万株/hm²。播种日期为 2021 年 4 月 19 日,4 月 24 日灌水出苗。

使用大疆 T30 植保无人机进行施药,施药时间为 2021 年 7 月 26 日,环境温度 21~37℃,相对湿度 22.5%,风力西北风 2 级,施药期间无降水。25%噻虫嗪 WG 制剂用量为 15 g/667m²。根据生产中可能的应用情况设置了 1、1.5 L/667m² 和 2 L/667m² 3 个施药液量,并设置添加不同用量的倍达通(60 mL/667m²)、功倍(15 mL/667m²)、杰效丰(2 mL/667m²)和迈丝(15 mL/667m²) 4 种飞防

助剂。以不添加助剂为对照。试验小区采用随机区组设计,每处理重复 3 次(小区),每个小区宽 15 m,长 100 m。

1.2.2 雾滴沉积测定

为了更好地模拟田间施药时的真实情况,植保无人机采用多喷幅作业方式,雾滴沉积测定试验在中间喷幅开展。施药前在垂直于植保无人机航线的喷幅范围内布置 5 个雾滴信息采样点,每点间隔 1 m,样点布置重复 3 次,相邻 2 个重复间相隔 20 m(图 1a);每个采样点布置一个采样杆,采样杆垂直于地面,使用双头夹将水敏纸分别固定在距地面 20、40 cm 和 60 cm 处来获取棉花冠层上雾滴的沉积情况(图 1b)。

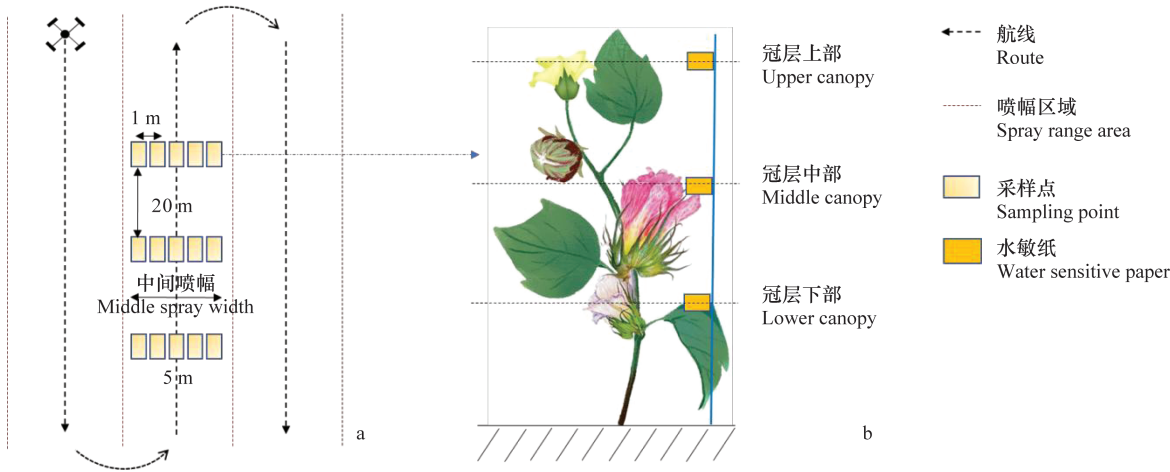


图 1 植保无人机棉田喷雾雾滴沉积测定试验示意图

Fig. 1 Schematic diagram for determination of droplet deposition of pesticide sprayed by UAV in the cotton field

喷雾结束后,待水敏纸表面的雾滴干燥,收集各采样点的水敏纸,按照顺序标记后装于自封袋内密封,带回实验室进行分析。使用扫描仪对各采样点的水敏纸进行扫描,获得 600 dpi 的灰度图像后,使用 ImageJ 1.38X 软件(美国国立卫生研究院)分析每张水敏纸上药液的雾滴密度、覆盖率和沉积量。在同一处理中,计算相同冠层间雾滴密度的变异系数来表征雾滴分布的均匀性,计算同一采样点不同冠层间雾滴密度的变异系数来表征雾滴穿透性,变异系数越小雾滴分布的均匀性与穿透性越好。变异系数 CV 按式(1)和(2)计算。

$$CV=\frac{S}{\bar{X}}\times 100\% \tag{1}$$

$$S=\sqrt{\sum_{i=1}^n(X_i-\bar{X})^2/(n-1)} \tag{2}$$

式中:S 为标准差;CV 为变异系数; X_i 为每张雾滴采集卡的雾滴密度; $\bar{X}$ 为雾滴密度的平均值; n

为棉株不同部位雾滴采集卡的总数。

1.2.3 棉花蓟马防效测定

试验于棉花盛花期进行,为避免棉花败落对调查产生影响,每次调查时每小区五点取样,每点随机采集冠层上、中、下部棉花各 2 朵(共 30 朵),分别于施药前、施药后 1、3、7 d 和 10 d 调查花内棉花蓟马虫口数,计算防治效果。

虫口减退率=(施药前虫数-施药后虫数)/施药前虫数 $\times 100\%$;

防治效果=(处理区虫口减退率-空白对照区虫口减退率)/(1-空白对照区虫口减退率) $\times 100\%$ 。

1.3 数据分析

试验数据采用 Microsoft Excel 2019 软件进行整理、分析与制图。采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析,并使用邓肯氏新复极差法进行统计分析后,标记显著性关系。

2 结果与分析

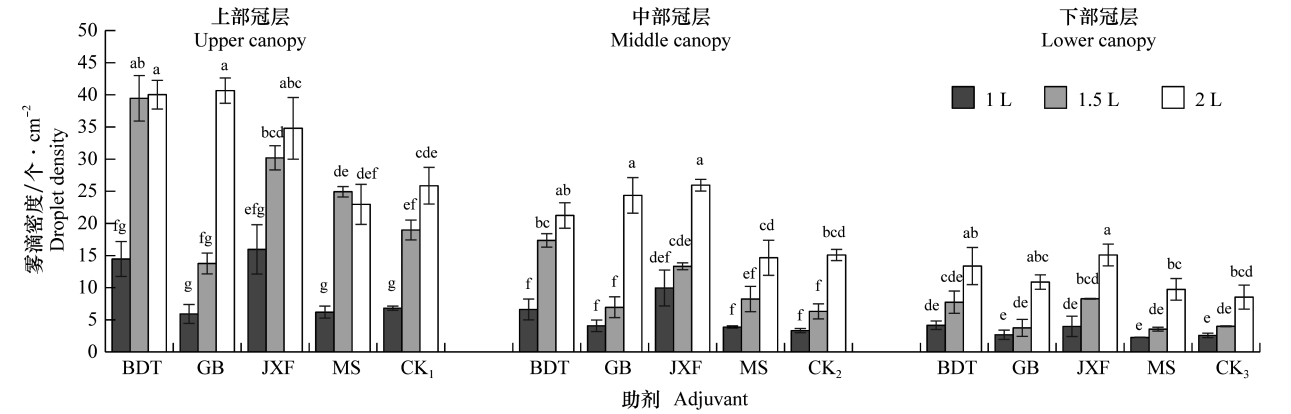
2.1 飞防助剂和施药液量对植保无人飞机喷施作业雾滴密度的影响

植保无人飞机施药后雾滴沉积结果见图 2。对上部冠层,施药液量为 1.5、2 L/667m² 时添加倍达通处理的雾滴密度分别为 39.47 个/cm² 和 40.03 个/cm²;添加杰效丰处理的雾滴密度分别为 30.21 个/cm² 和 34.81 个/cm²,相较于无助剂 CK₁ 的 18.97 个/cm² 和 25.87 个/cm²,添加倍达通,施药液量为 1.5 L/667m² 和 2 L/667m² 时,添加杰效丰,施药液量为 1.5 L/667m²,添加功倍,施药液量为 2 L/667m² 时可显著提升冠层上部的雾滴密度(图 2)。添加迈丝时,3 种施药液量处理在冠层上部的雾滴密度相较于无助剂 CK₁ 无显著提高。

对中部冠层,添加倍达通时,施药液量 1.5 L/

667m² 处理的雾滴密度为 17.36 个/cm²,相较于无助剂 CK₂ 的 6.31 个/cm² 有显著提升。添加功倍和杰效丰时,施药液量 2 L/667m² 处理的雾滴密度分别为 24.37 个/cm² 和 25.95 个/cm²,相较于无助剂 CK₂ 的 15.09 个/cm² 有显著提升。添加倍达通、功倍和杰效丰的其他施药液量处理以及迈丝的 3 种施药液量处理都对冠层中部的雾滴密度影响不显著。

对下部冠层,添加杰效丰时,施药液量 2 L/667m² 处理的雾滴密度为 15.09 个/cm²,相较于无助剂 CK₃ 的 8.55 个/cm² 有显著提升,其他处理在冠层下部的雾滴密度均无显著提升。综上所述,4 种助剂在不同冠层间对雾滴密度的影响趋势较为一致,并且随着冠层的深入,对雾滴密度的影响逐渐降低,施药液量为 1 L/667m² 时,4 种助剂对棉花冠层的雾滴密度均无显著影响。



BDT: 倍达通; GB: 功倍; JXF: 杰效丰; MS: 迈丝; CK: 清水。图中数据为平均值±标准误。同一冠层的不同小写字母表示在该冠层不同处理间经Duncan氏新复极差法检验在0.05水平差异显著。下同
BDT: Beidatong; GB: Gongbei; JXF: Jiexiaofeng; MS: Maisi; CK: Water. The data in the chart are mean ± standard error. Different lowercase letters for the same canopy indicate significant differences at the level of 0.05 level among different treatments by Duncan's new multiple range test. The same applies below

图 2 喷雾助剂和施药液量对植保无人飞机喷施 25%噻虫嗪水分散粒剂雾滴密度的影响

Fig. 2 Effects of spray adjuvants and spray volumes on the droplet density of thiamethoxam 25% WG sprayed by UAV

2.2 飞防助剂和施药液量对植保无人飞机喷施作业雾滴覆盖率的影响

植保无人飞机施药后,各处理的雾滴覆盖率随着棉花冠层的深入呈下降趋势(图 3)。对上部冠层,添加助剂倍达通时,施药液量 1.5 L/667m² 处理的雾滴覆盖率为 8.77%,相较于无助剂 CK₁ 的 4.70%有显著提高。添加助剂功倍时,施药液量 1、1.5 L 和 2 L 处理的雾滴覆盖率为 4.10%、4.56%和 8.33%,相较于无助剂 CK₁ 差异不显著。添加杰效丰时,施药液量 1.5 L/667m² 处理

的雾滴覆盖率(7.26%)与无助剂 CK₁ 差异显著。添加迈丝时,3 种施药液量处理在冠层上部的雾滴覆盖率均与无助剂 CK₁ 无显著差异。随着施药液量的增加,各助剂处理雾滴覆盖率虽有增加,但不显著。

对中部冠层,4 种助剂在施药液量 1、1.5 L/667m² 和 2 L/667m² 时的雾滴覆盖率相较于无助剂 CK₂,只有杰效丰在 2 L/667m² 施药液量下有显著提升。添加相同助剂时,各施药液量处理均无显著差异。

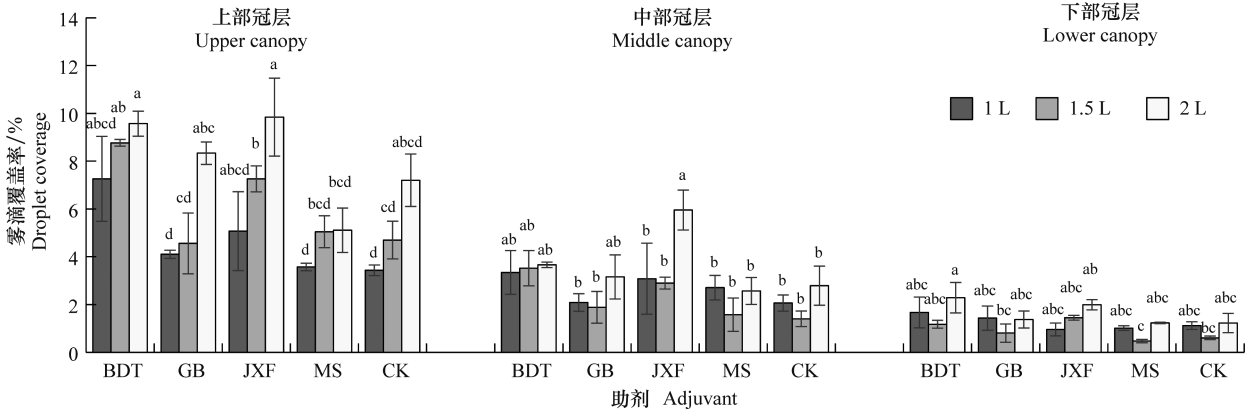


图 3 喷雾助剂和施药量对植保无人机喷施 25% 噻虫嗪水分散粒剂雾滴覆盖率的影响

Fig. 3 Effects of spray adjuvants and spray volumes on the droplet coverage of thiamethoxam 25% WG sprayed by UAV

对下部冠层,4 种助剂的 3 种施药量处理的雾滴覆盖率相较于无助剂 CK₃ 均无显著差异。以上结果表明,4 种助剂在冠层上部对雾滴覆盖率的影响最大,随着冠层的深入,对雾滴覆盖率的影响降低。

2.3 飞防助剂和施药量对植保无人机喷施作业雾滴沉积量的影响

植保无人机施药后雾滴沉积量结果见图 4。对上部冠层,添加助剂倍达通时,施药量 1.5 L/667m²

和 2 L/667m² 处理的雾滴沉积量为 0.71 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ 和 0.81 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$,相较于无助剂 CK₁ 的 0.40 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ 和 0.53 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ 有显著提高。添加杰效丰时,施药量 1、1.5 L 和 2 L 处理的雾滴沉积量为 0.35、0.60 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ 和 0.90 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$,其中施药量 2 L/667m² 处理的雾滴沉积量相较于无助剂 CK₁ 有显著增加。添加功倍和迈丝时,3 种施药量处理在冠层上部的雾滴沉积量均与无助剂 CK₁ 无显著差异。

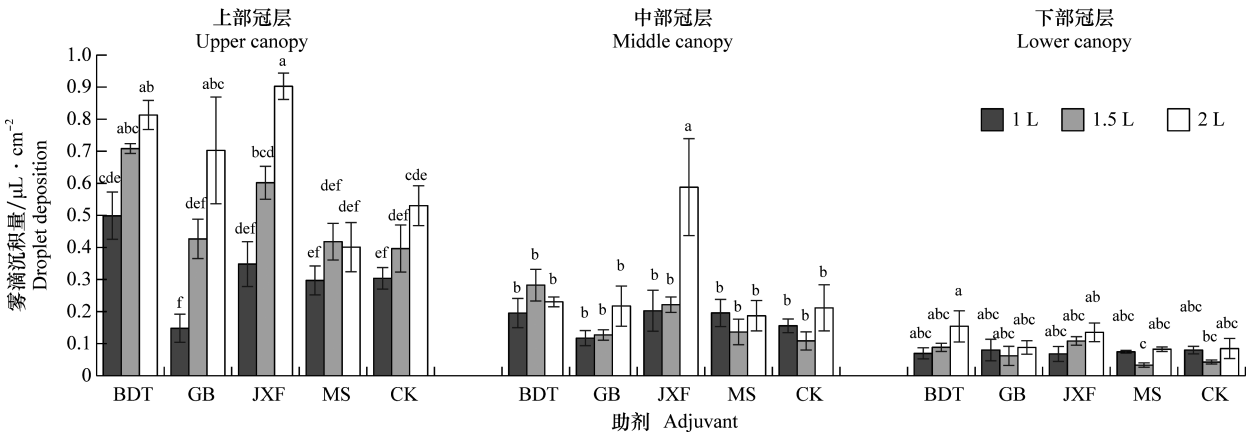


图 4 喷雾助剂和施药量对植保无人机喷施 25% 噻虫嗪水分散粒剂雾滴沉积量的影响

Fig. 4 Effects of spray adjuvants and spray volumes on the droplet deposition of thiamethoxam 25% WG sprayed by UAV

对中部冠层,添加助剂杰效丰时,3 种施药量处理的雾滴沉积量为 0.20、0.22 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ 和 0.59 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$,无助剂 CK₂ 的雾滴沉积量为 0.16、0.11 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ 和 0.21 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$,杰效丰在 2 L/667m² 施药量下雾滴沉积量有显著提升,其他 3 个助剂的 3 种施药量处理的雾滴沉积量均与无助剂 CK₂ 无显著差异。添加相同助剂时,各施药量处理均无显著差异。

对下部冠层,4 种助剂施药量 1、1.5 L/667m² 和 2 L/667m² 处理的雾滴沉积量相较于无助剂 CK₃ 的 0.08、0.04 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ 和 0.09 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ 均无显著差异。

以上数据表明,4 种助剂对冠层上部雾滴沉积量的影响较大。随着冠层的深入,对雾滴沉积量的影响逐渐降低。除了迈丝,其余助剂处理,施药量 2 L/667m² 相较于 1 L/667m²,棉花上部冠层雾滴沉

积量均有显著提升;施药液量 1.5 L/667m² 相较于 1 L/667m²,棉花各冠层雾滴沉积量有提升但不显著。

2.4 飞防助剂和施药液量对植保无人飞机喷施作业雾滴均匀性与穿透性的影响

通过相同冠层不同采集卡之间雾滴密度的变异系数来探究各处理中的雾滴均匀性(表 1)。施药液量为 1 L/667m² 时,添加倍达通后各冠层雾滴密度变异系数在 29.9%~46.7%。添加功倍后上、下冠层雾滴密度的变异系数低于 60%,但冠层中部为 62.7%,均匀性相对较差。添加杰效丰和迈丝后各冠层雾滴密度的变异系数都小于 60%(37.7%~

49.5%)。而不添加助剂的对照的棉花冠层上部的雾滴均匀性较差(变异系数 71.3%),中、下冠层均匀性较好(变异系数 30.1%~49.0%)。

施药液量为 1.5 L/667m² 时,添加倍达通后在棉花上、中、下冠层的雾滴密度变异系数分别为 34.2%、47.6%和 79.4%。添加功倍后棉花上、中、下冠层的雾滴密度变异系数均高于 60%,分别为 69.4%、80.9%和 82.0%,均匀性低于无助剂处理。添加杰效丰后在棉花各冠层雾滴密度的变异系数在 44.8%~63.4%。添加迈丝后在棉花上、中、下冠层雾滴密度的变异系数均大于 70%,分别为 70.6%、76.5%和 77.8%。

表 1 喷雾助剂和施药液量对植保无人飞机喷施 25%噻虫嗪水分散剂雾滴均匀性及穿透性的影响

Table 1 Effects of spray adjuvants and spray volumes on the uniformity and penetration of thiamethoxam 25% WG sprayed by UAV

施药液量/ L·(667 m ²) ⁻¹ Spray volume	添加助剂 Adjuvant	相同冠层雾滴密度变异系数(均匀性)/% Variation coefficient of droplet density for same canopy			不同冠层雾滴变异 系数(穿透性)/% Variation coefficient of droplet density for different canopy
		冠层上部 Upper canopy	冠层中部 Middle canopy	冠层下部 Lower canopy	
1	倍达通	29.9	46.7	44.4	52.8
	功倍	56.2	62.7	35.7	30.4
	杰效丰	41.2	48.0	44.4	71.8
	迈丝	49.2	49.5	37.7	38.0
	无助剂 CK ₁	71.3	49.0	30.1	44.5
1.5	倍达通	34.2	47.6	79.4	62.7
	功倍	69.4	80.9	82.0	55.1
	杰效丰	44.8	61.7	63.4	124.2
	迈丝	70.6	76.5	77.8	76.8
	无助剂 CK ₂	45.0	69.2	52.5	68.3
2	倍达通	51.4	61.4	80.2	46.0
	功倍	69.7	63.2	96.5	49.1
	杰效丰	57.8	74.3	66.4	33.6
	迈丝	68.9	81.1	106.8	36.1
	无助剂 CK ₃	82.8	86.1	66.7	44.3

施药液量为 2 L/667m² 时,添加倍达通、功倍、杰效丰和迈丝等 4 种助剂的雾滴均匀性均随着冠层的深入而呈下降趋势,雾滴密度变异系数分别为倍达通 51.4%~80.2%,功倍 63.2%~96.5%,杰效丰 57.8%~74.3%,迈丝 68.9%~106.8%。对照则与之相反,随着冠层的深入雾滴均匀性有所增加,雾滴密度变异系数从 82.9%降为 66.7%。综合来看,植保无人飞机喷施作业施药液量低时,雾滴均匀性较好。

通过相同采样点、不同冠层之间雾滴密度的变异系数来探究雾滴的穿透性(表 1)。施药液量为 1 L/667m² 时,添加倍达通、功倍、杰效丰、迈丝 4 种

助剂处理和无助剂 CK₁ 的雾滴穿透性分别为 52.8%、30.4%、71.8%、38.0%和 44.5%,添加功倍和迈丝可增加雾滴的穿透性。施药液量为 1.5 L/667m² 时,添加 4 种助剂处理和无助剂 CK₂ 的雾滴穿透性分别为 62.7%、55.1%、124.2%、76.8%和 68.3%。施药液量为 2 L/667m² 时,添加 4 种助剂处理和无助剂 CK₃ 的雾滴穿透性分别为 46.0%、49.1%、33.6%、36.1%和 44.3%,该施药液量下各处理的雾滴穿透性均较好。

2.5 飞防助剂和施药液量对植保无人飞机喷施作业防治棉花蓟马效果的影响

如表 2 所示,施药液量为 1 L/667m² 时,药后

1 d 和 3 d 对棉花蓟马防效最优的是倍达通(46.3%和 57.5%),其次为杰效丰(43.1%和 52.6%)、迈丝(41.0%和 45.4%)、功倍(40.6%和 49.4%),添加倍达通和杰效丰后防效显著高于无助剂 CK₁。施药液量为 1.5 L/667m² 时,药后 1 d 对棉花蓟马防效最优的是杰效丰(49.2%),其次为倍达通(48.6%)、迈丝(46.0%)、无助剂 CK₂(45.1%)和功倍

(43.7%),添加杰效丰的防效显著高于无助剂 CK₂;药后 3 d 对棉花蓟马防效最优的是倍达通(61.3%),其次为杰效丰(58.6%)。施药液量为 2 L/667m² 时,药后 1 d 对棉花蓟马防效最优的是杰效丰(52.9%),其次为倍达通(51.9%),除功倍外各处理间无显著差异;而药后 3 d 对棉花蓟马防效最优的是迈丝(60.9%),其次为倍达通(60.7%)。

表 2 喷雾助剂和施药液量对植保无人机喷施 25%噻虫嗪水分散粒剂防治棉花蓟马效果的影响¹⁾
Table 2 Effects of spray adjuvants and spray volumes on the control efficacy of thiamethoxam 25%

		WG sprayed by UAV against cotton thrips			
施药液量/ L • (667 m ²) ⁻¹ Spray volume	助剂 Adjuvant	防治效果/% Control efficacy			
		1 d	3 d	7 d	10 d
1	倍达通	(46.3±4.0)cde	(57.5±2.1)ab	(64.5±4.3)bcde	(38.9±6.6)abcd
	功倍	(40.6±3.9)fg	(49.4±3.2)de	(60.3±3.7)ef	(33.1±5.9)d
	杰效丰	(43.1±2.8)ef	(52.6±2.7)cde	(67.7±2.8)abc	(35.7±8.6)bcd
	迈丝	(41.0±4.6)fg	(45.4±0.8)f	(58.8±3.2)fg	(35.7±1.8)bcd
	无助剂 CK ₁	(38.1±3.1)g	(43.8±4.5)g	(54.2±4.1)g	(34.7±5.2)cd
1.5	倍达通	(48.6±2.6)bcd	(61.3±2.3)a	(67.7±3.9)abc	(37.4±10.3)abcd
	功倍	(43.7±4.2)ef	(55.9±4.6)bc	(59.9±2.0)ef	(35.7±7.0)bcd
	杰效丰	(49.2±1.9)abc	(58.6±3.0)ab	(64.6±2.5)bcde	(39.9±6.8)abc
	迈丝	(46.0±2.7)cde	(50.7±5.2)de	(61.1±5.2)def	(42.0±4.4)a
	无助剂 CK ₂	(45.1±4.2)de	(49.1±2.5)f	(60.1±4.2)ef	(33.1±4.2)d
2	倍达通	(51.9±3.0)ab	(60.7±3.5)a	(71.6±1.8)a	(41.9±5.8)a
	功倍	(45.7±4.1)cde	(53.3±2.7)cd	(63.7±1.7)cdef	(35.7±9.1)bcd
	杰效丰	(52.9±1.6)a	(59.3±4.8)ab	(70.0±3.6)ab	(41.0±10.4)ab
	迈丝	(50.6±4.7)ab	(60.9±2.0)a	(66.9±7.5)abc	(37.3±5.5)abcd
	无助剂 CK ₃	(51.2±5.3)ab	(57.4±2.5)ab	(66.2±1.8)abc	(37.0±3.8)abcd

1) 表中数据为平均值±标准误。同列不同小写字母表示不同处理经 Duncan 氏新复极差法检验在 0.05 水平差异显著。
The data in the table are mean±standard error. Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among different treatment at 0.05 level by Duncan’s new multiple range method.

药后 7 d,各处理防效达到峰值,施药液量为 1 L/667m² 时,棉花蓟马防效最优的是杰效丰(67.7%),其次为倍达通(64.5%),添加倍达通、功倍和杰效丰的防效均显著高于无助剂 CK₁;施药液量为 1.5 L/667m² 时,对棉花蓟马防效最优的是倍达通(67.7%),其次为杰效丰(64.6%);施药液量为 2 L/667m² 时,对棉花蓟马防效最优为倍达通(71.6%),其次为杰效丰(70.0%)。施药后 10 d 各处理防效大幅降低。

综合药后 1、3、7 d 的防效,增加施药液量或添加倍达通和杰效丰可提升对棉花蓟马的防效。

3 结论与讨论

在喷施农药时添加喷雾助剂能够改变药液的理

化性质,促进靶标植物或者昆虫对药剂的吸收,增加药液的滞留量,进而提高农药利用率^[16]。喷雾助剂还能够有效减缓农药雾滴的蒸发和飘移,并可以改变雾滴粒径,从而达到理想的雾化效果^[17]。陶波等比较了不同飞防助剂对 3 种剂型除草剂沉积率、雾滴粒径、物理指标及田间药效,发现 4 种助剂对除草剂的增效作用大小依次为迪翔>迈飞>烈鹰>Greenwet 3710^[18]。陈晓等采用大疆 MG-1P 型电动四旋翼植保无人机研究了喷雾助剂于田间棉花生长中期进行喷雾施药处理对农药雾滴在棉花植株叶片上沉积分布的影响,结果表明 3 种助剂(倍达通、ND-800 和 G2801)均可使棉花冠层上、中、下部叶片正面的雾滴密度显著提高^[19]。王龙江等研究发现添加植物油助剂后,药液在冠表层雾

滴密度从 84.3 个/cm² 增加到了 130.8 个/cm², 沉积量从 0.4 μ L/cm² 提高到 1.7 μ L/cm²; 内冠层雾滴密度从 52.5 个/cm² 增加到 99.1 个/cm², 沉积量从 0.1 μ L/cm² 提高到 0.8 μ L/cm²; 药后 5 d 对蓟马的校正防效由 31.18% 提高到 91.67%^[14]。白微微等研究发现, 添加 ND-800、G2801、N380 和信达通对 22% 氟啶虫胺脒悬浮剂均有增效减量作用, 其中 ND-800 的效果较好^[20]。

本研究表明, 飞防助剂和施药液量对植保无人飞机喷施作业的雾滴沉积和棉花蓟马的防效均有显著影响。本试验中, 随着施药液量的增加, 棉花冠层上部的雾滴沉积量显著增加, 但冠层下部的雾滴沉积量增长较少, 大部分处理沉积量增长率低于 20%, 个别处理增长率为负, 这可能与新疆地区气候干燥, 雾滴蒸发较快有关^[21]。具有穿透潜力的大粒径雾滴易被冠层上部拦截, 小粒径雾滴虽然可以飘落至冠层中、下部, 但蒸发和飘移的风险较大。对雾滴粒径与穿透性关系的研究结论存在不同的看法, 部分研究认为大雾滴更容易穿透到中冠层下部^[22-23], 而有的研究则认为小雾滴更容易穿透^[24]。

植保无人飞机喷施作业的 3 种施药液量下, 药后 7 d, 添加倍达通和杰效丰对棉花蓟马的防效最优, 分别为 64.5% 和 67.7% (1 L/667m²)、67.7% 和 64.6% (1.5 L/667m²)、71.6% 和 70.0% (2 L/667m²)。蓟马具有趋热趋光性, 对蓝光、黄光有较强的趋性^[25]。倍达通和杰效丰处理虽然只能显著增加冠层上部的雾滴沉积而穿透性较差, 却对棉花蓟马的防治效果较优。这是因为棉花冠层上部受阳光直射, 能吸引蓟马集中在冠层上部的花内, 冠层中下部虫口分布相对较少。功倍和迈丝处理虽然有更好的穿透性, 但对冠层上部蓟马聚集的情况缺少针对性, 所以防效略低于倍达通和杰效丰。本试验在药后 10 d 的防效显著降低, 主要是由于新旧花朵更替较快, 为棉花蓟马提供了新的生存环境。总体来说, 提高植保无人飞机喷施作业雾滴在棉花冠层上部的沉积, 将是未来棉花蓟马防治研究的重点。

参考文献

- [1] 周婷婷, 肖庆刚, 杜睿, 等. 我国棉花脱叶催熟技术研究进展[J]. 棉花学报, 2020, 32(2): 170-184.
- [2] 国家统计局关于 2021 年棉花产量的公告[N]. 中国信息报,

2021-12-15(001).

- [3] 王爱玉, 艾合买提·买买提, 杨媛雪, 等. 防治烟蓟马的生物源农药筛选及其对解毒酶活性影响[J]. 棉花学报, 2021, 33(2): 180-188.
- [4] MENG Yanhua, SONG Jianli, LAN Yubin, et al. Harvest aids efficacy applied by unmanned aerial vehicles on cotton crop [J/OL]. Industrial Crops and Products, 2019, 140: 111645. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111645.
- [5] 闫晓静, 褚世海, 杨代斌, 等. 给农业插上科技的翅膀: 植保无人机低容量喷雾技术助力农药减施增效[J]. 植物保护学报, 2021, 48(3): 469-476.
- [6] CHEN Pengchao, OUYANG Fan, WANG Guobin, et al. Droplet distributions in cotton harvest aid applications vary with the interactions among the unmanned aerial vehicle spraying parameters [J/OL]. Industrial Crops and Products, 2021, 163: 113324. DOI: 10.1016/j.indcrop.2021.113324.
- [7] XIN Fang, ZHAO Jing, ZHOU Yueting, et al. Effects of dosage and spraying volume on cotton defoliant efficacy: a case study based on application of unmanned aerial vehicles [J/OL]. Agronomy, 2018, 8(6): 85. DOI: 10.3390/agronomy8060085.
- [8] XIAO Qinggang, XIN Fang, LOU Zhaoxia, et al. Effect of aviation spray adjuvants on defoliant droplet deposition and cotton defoliation efficacy sprayed by unmanned aerial vehicles [J/OL]. Agronomy, 2019, 9(5): 217. DOI: 10.3390/agronomy9050217.
- [9] 王国宾, 王十周, 陈鹏超, 等. 植保无人机喷施不同雾滴粒径药剂对其在棉花冠层沉积、穿透及脱叶催熟效果的影响[J]. 植物保护学报, 2021, 48(3): 493-500.
- [10] 赵冰梅, 张强, 朱永玉, 等. 多旋翼植保无人机在棉蚜防治中的应用效果[J]. 中国植保导刊, 2017, 37(2): 61-63.
- [11] 沙帅帅, 王喆, 肖海兵, 等. P20 植保无人机作业参数优化及其施药对棉蚜防效评价[J]. 中国棉花, 2018, 45(1): 6-8.
- [12] LOU Zhaoxia, XIN Fang, HAN Xiaoqiang, et al. Effect of unmanned aerial vehicle flight height on droplet distribution, drift and control of cotton aphids and spider mites [J/OL]. Agronomy, 2018, 8(9): 187. DOI: 10.3390/agronomy8090187.
- [13] 陈巧玲, 王辉, 雷光富, 等. 荷花蓟马发生特点及其综合防控措施——以深圳洪湖公园应用植保无人机防治荷花蓟马为例[J]. 福建农业科技, 2016(9): 18-21.
- [14] 王龙江, 刘伟玲, 潘志萍, 等. 农药助剂对无人机施用甲维盐微乳剂的雾滴特性及蓟马防效的影响[J]. 环境昆虫学报, 2017, 39(4): 940-944.
- [15] 刘好玲, 吴静妮, 罗金仁, 等. 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[J]. 现代农药, 2020, 19(4): 52-55.
- [16] 兰玉彬, 彭瑾, 金济. 农药喷雾粒径的研究现状与发展[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(6): 1-9.
- [17] 袁会珠, 王忠群, 孙瑞红, 等. 喷洒部件及喷雾助剂对担架式

喷雾机在桃园喷雾中的雾滴沉积分布的影响[J]. 植物保护, 2010, 36(1): 106–109.

- [18] 陶波, 张宇航, 田丽娟, 等. 飞防助剂对植保无人机喷施除草剂雾滴分布的影响[J]. 植物保护, 2021, 47(1): 108–116.
- [19] 陈晓, 刘德江, 王果, 等. 喷雾参数及助剂类型对植保无人机在棉花中期喷雾雾滴沉积分布的影响[J]. 农药学报, 2020, 22(2): 347–352.
- [20] 白微微, 陈晓, 丁瑞丰, 等. 植保无人机喷雾参数及助剂类型对杀虫剂防治棉蚜的增效作用[J]. 农药学报, 2020, 22(2): 333–339.
- [21] 廖娟, 臧英, 周志艳, 等. 作物航空喷施作业质量评价及参数优选方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(S2): 38–46.
- [22] DERKSEN R C, ZHU Heping, ERDAL O H, et al. Determining the influence of spray quality, nozzle type, spray volume,

and air-assisted application strategies on deposition of pesticides in soybean canopy [J]. Transactions of the ASABE, 2008, 51(5): 1529–1537.

- [23] HANNA H M, ROBERTSON A E, CARLTON W M, et al. Nozzle and carrier application effects on control of soybean leaf spot diseases [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2009, 25(1): 5–13.
- [24] KNOCH M. Effect of droplet size and carrier volume on performance of foliage-applied herbicides [J]. Crop Protection, 1994, 13(3): 163–178.
- [25] 米娜, 张起恺, 王海鸿, 等. 烟蓟马趋光规律及不同波长色板田间诱捕效果[J]. 中国农业科学, 2019, 52(10): 1721–1732.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 91 页)

- [27] ROBERT W S, GUNTER M. A climate model of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae): Implications for invasion of new regions, particularly Oceania [J]. Environmental Entomology, 2005, 34(2): 317–335.
- [28] MICHAEL S W, DARREN J K, SAMANTHA A, et al. The hosts and potential geographic range of *Dothistroma* needle blight [J]. Forest Ecology and Management, 2009, 257(6): 1505–1519.
- [29] SUTHERST R W, MAYWALD G F, BOTTOMLEY W, et al. CLIMEX version 3: User's guide [EB/OL]. [2022–02–15]. <https://www.hearne.com.au>.
- [30] 吕文刚, 沈阳, 魏霜, 等. 马铃薯木虱在中国的潜在地理分布及其入侵风险评估[J]. 植物检疫, 2020, 34(3): 69–74.
- [31] 蒋青, 梁忆冰, 王乃扬, 等. 有害生物危险性评价的定量分析

方法研究[J]. 植物检疫, 1995, 9(4): 208–211.

- [32] 钟良平. 几种外来入侵杂草在我国的潜在分布预测[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [33] Perennial ragweed [EB/OL]. [2022–03–17]. https://www.herbiguide.com.au/Descriptions/hg_Perennial_Ragweed.htm.
- [34] 中华人民共和国生态环境部. 2019 中国生态环境状况公报[EB/OL]. (2020–05–18) [2022–05–24]. <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkqb/202006/P020200602509464172096.pdf>.
- [35] 中华人民共和国海关总署. 2021 年 12 月进出口商品主要国别(地区)总值表(人民币值) [EB/OL]. [2022–05–24]. <https://www.customs.gov.cn/customs/302249/zfxgk/2799825/302274/302275/4122133/index.html>.
- [36] 李盼畔, 吴海荣, 刘明航, 等. 南沙自贸区进口货物截获杂草疫情分析[J]. 中国口岸科学技术, 2021, 3(5): 75–82.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 120 页)

- [32] KENYON L, TSAI W S, SHIH S L, et al. Emergence and diversity of begomoviruses infecting solanaceous crops in East and Southeast Asia [J]. Virus Research, 2014, 186: 104–113.
- [33] SEEPBAN C, CHAROENVILAISIRI S, WARIN N. Development and application of triple antibody sandwich enzyme-linked immunosorbent assays for begomovirus detection using monoclonal antibodies against tomato yellow leaf curl Thailand virus [J/OL]. Virology Journal, 2017, 14(1): 99. DOI: 10.1186/s12985-017-0763-2.
- [34] YULE S, CHIEMSOMBAT P, SRINIVASAN R. Detection of tomato yellow leaf curl Thailand virus transmitted by *Bemisia tabaci* Asia I in tomato and pepper [J]. Phytoparasitica, 2019, 47(5): 143–153.
- [35] BLAWID R, VAN D T, MAISS E. Transreplication of a tomato yellow leaf curl Thailand virus DNA-B and replication of a

DNA component by tomato leaf curl Vietnam virus and tomato yellow leaf curl Vietnam virus [J]. Virus Research, 2008, 136(1/2): 107–117.

- [36] SAUNDERS K, SALIM N, MALI V R, et al. Characterisation of Sri Lankan cassava mosaic virus and Indian cassava mosaic virus: evidence for acquisition of a DNA B component by a monopartite begomovirus [J]. Virology, 2002, 293(1): 63–74.
- [37] 赵丽玲, 钟静, 施章吉, 等. 复合侵染水茄的两种菜豆金色花叶病毒属病毒基因组结构特征分析[J]. 植物保护学报, 2020, 47(2): 355–364.
- [38] 郭维. 三种双生病毒及其伴随卫星 DNA 的致病性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [39] 钟静, 赵丽玲, 尹艳艳, 等. 一种侵染鳢肠的双生病毒基因组特征[J]. 植物病理学报, 2017, 47(4): 479–486.

(责任编辑: 杨明丽)