

飞防助剂对植保无人飞机喷施除草剂雾滴分布的影响

陶 波*, 张宇航, 田丽娟, 郑彩月, 李松宇, 孔令伟

(东北农业大学农学院, 哈尔滨 150030)

摘要 通过仪器分析结合田间试验方法,研究了不同飞防助剂对3种剂型除草剂沉积率、雾滴粒径、物理指标及田间药效,系统地分析飞防助剂对植保无人飞机喷施除草剂的增效作用及增效机理。结果表明,4种飞防助剂均有显著的增效作用。其中迪翔对3种除草剂的作用效果最为显著,可降低雾滴谱相对宽度至0.62,使雾滴均匀分布;增加沉积率,可最多增加32.2个百分点;同时可显著降低3种除草剂的药液表面张力,增加药液黏度及扩展直径,延长其干燥时间。迈飞对乳油作用效果较好,在增加药液扩展直径方面优于其他3种飞防助剂。总体比较4种飞防助剂对除草剂的增效作用,大小依次为迪翔>迈飞>烈鹰>Greenwet 3710;3种剂型除草剂中,飞防助剂对乳油增效作用最显著,增效可达23个百分点。

关键词 植保无人飞机; 除草剂; 飞防助剂; 雾滴粒径; 沉积率

中图分类号: S 482.92 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019558

Effects of adjuvants on spray droplet distribution of herbicides sprayed by plant protection UAV

TAO Bo*, ZHANG Yuhang, TIAN Lijuan, ZHENG Caiyue, LI Songyu, KONG Lingwei

(College of Agronomy, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract The instrumental analysis combined with the field test were performed to investigate the deposition coverage, droplet size, physical index and field efficacy of different adjuvants of three dosages of herbicides, and systematically analyze the synergistic effect and synergistic mechanism of adjuvants of herbicides sprayed by plant protection drone. The results showed that all the four adjuvants had significant synergistic effects. Among them, Dixiang had the most significant effect on the three herbicides, and reduced the relative width of the mist droplet spectrum to 0.62, making droplets evenly distributed, increasing the deposition rate by 32.2 percentage points; at the same time, it significantly reduced the surface tension, increased the viscosity of the liquid and expanded the diameter, and prolong the drying time of herbicides. Maifei had a better effect on the emulsifiable concentrate and was superior to the other three kinds of adjuvants in increasing the diameter of the liquid expansion. By comparing the synergistic effects of four adjuvants of herbicides, their synergistic effects were as followed: Dixiang>Maifei>Liejing>Greenwet 3710. The adjuvants had the most significant synergistic effect on the emulsifiable concentrates, with a synergism up to 23 percentage points.

Key words plant-protection unmanned aerial vehicle; herbicide; anti-aircraft adjuvants; droplet size; deposition rate

植保无人飞机作为一种新兴的农用施药器械,近几年来得到了迅速的发展,目前我国植保无人飞机市场保有量已位居世界第一^[1-2]。植保无人飞机作为植保喷施的高效手段,采用低容量或超低容量

喷雾,人工作业的施药液量为其30~60倍,现已成为减少农药用量、降低农药残留和提升农药药效的新型有力手段^[3],可有力地解决传统手动、小型喷药器械所带来的效率低、残留超标及危害操作人员身

体健康等负面问题^[4-5]。

影响植保无人机茎叶喷雾防效的因素包括雾滴粒径、覆盖密度及施药量。液滴经过喷雾器械雾化部件的作用而分散,并非均匀一致,而是呈一定分布^[6]。Hewitt 等^[7]研究指出农业喷雾中的雾滴运输和喷雾分布在一定程度上取决于雾滴粒径分布,雾滴飘移、在靶标上的沉积率和农药药效都受雾滴粒径大小影响。通过改良喷雾器械喷头、改善药剂性状等,使其达到最易被特定生物体捕获的最佳粒径,并产生有效的致毒作用,才能取得最佳的防治效果。Knoche^[8]指出在一定施药液量的情况下,不论在何种雾滴粒径范围之内,防治效果都会随着雾滴粒径的降低而增加。姚伟祥等^[9]指出雾滴粒径在 200 μm 以下的雾滴更容易发生飘移,所以植保无人机更易产生小雾滴喷洒飘失以及在靶标上流失等问题。袁会珠等^[10]研究表明保持单位面积内具有一定的雾滴覆盖密度就可以达到理想的防治效果,因此需要采用专用超低容量且具备防飘移、沉积性能好等特点的药剂或添加具有防飘移效果的喷雾助剂,才可尽量保证植保无人机对杂草的防治效果。

喷雾助剂是指施药前与农药药液混,可增强药液在靶标植物叶片上的润湿、附着、展布与渗透等界面特性的一类助剂^[11]。合理地添加喷雾助剂可降低药液的表面张力,增加药液的黏度,降低药液喷雾雾滴粒径,提高雾滴的铺展系数,降低除草剂使用量及提高除草剂药效^[12-16]。目前国内外对大型直升机飞防应用较多,而植保无人机对除草剂茎叶喷雾还处于发展阶段,针对植保无人机施药专用农药制剂及助剂的研究正在进行中,因此对植保无人机超低容量喷雾专用药剂及助剂的研究已成为充分发挥植保无人机对农作物病虫害防治优势的重要任务^[17]。

本试验采用仪器分析结合田间药效试验的方法,通过测定不同飞防助剂对氟磺胺草醚、烟嘧磺隆、五氟磺草胺 3 种剂型除草剂雾滴粒径、沉积率、表面张力、黏度、扩展直径以及干燥时间等指标分析飞防助剂的增效作用及增效机理,为进一步推广植保无人机在除草剂茎叶喷雾中的应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试仪器

SCI100C 型表面张力系统,JC2000D3 型接触角测量仪,上海中晨数字技术设备有限公司;DNJ-9S 型数字黏度测定仪,上海平轩科学仪器有限公司;TY-1091 双光束紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;Winner 318C 分体式喷雾激光粒度仪,济南微纳颗粒仪器股份有限公司;WS-18D 型喷雾器,山东卫士植保机械有限公司(喷头型号:vp110-02、喷雾压力 0.15~0.4 MPa);YH-4-10 型植保无人机,山东宇航航空科技有限公司(旋翼:4,最大功率:1 933 W,载重量:10 L,喷头型号:XR11001VS,喷雾压力:0.1~0.6 MPa)。

1.1.2 供试药剂

除草剂:25% 氟磺胺草醚(fomesafen)水剂,青岛润生农化有限公司;4% 烟嘧磺隆(nicosulfuron)可分散油悬浮剂,合肥久易农业开发有限公司;15% 硝磺草酮(mesotrione)可分散油悬浮剂,先正达有限公司;90% 莠去津(atrazine)水分散粒剂,浙江中山化工集团股份有限公司;2.5% 五氟磺草胺(penoxsulam)乳油,美国陶氏益农公司。指示剂:85% 诱惑红,湖北裕盈生物科技有限公司。飞防助剂:全丰烈鹰飞防助剂,安阳全丰生物科技有限公司;迈飞飞防专用增效剂,北京广源益农化学有限责任公司;Greenwet 3710,北京格林泰姆科技有限公司;迪翔飞防助剂,哈尔滨银禾农业发展有限公司。

1.2 方法

将 25% 氟磺胺草醚水剂、4% 烟嘧磺隆可分散油悬浮剂、2.5% 五氟磺草胺乳油分别按照有效成分用量 300、60、20 g/hm²,喷液量为 300 L/hm²,配制 5 L 药液,每种除草剂取 5 份各 1 L 置于烧杯中,设置不加助剂对照,其余每烧杯中分别加入 4 种飞防助剂 3 mL 搅拌均匀待用。

1.2.1 不同飞防助剂对除草剂雾滴飘移量的影响

利用喷雾器结合鼓风机,模拟室外环境,进行测定不同飞防助剂对除草剂飘移量影响的研究。如图 1 所示,将喷雾器固定于离地面高 1 m 处,将鼓风机固定于喷雾器喷嘴后方 0.5 m 处,风速仪固定于其前方

1 m 处,与喷嘴等高,确定鼓风机保持风速稳定于 2 m/s。设置距地面 0.2、0.4、0.6、0.8 m 垂直雾滴采集带,以收集空中飘移雾滴;在距地面 0.2 m 高度上设置水平雾滴采集带,位于距离喷雾器喷嘴正下方 0、1、2、3、5、7、10 m 处,分别将水敏试纸和滤纸夹于采集带上,每条采集带上设置 3 处采集点。在上述待测药液中加入荧光指示剂诱惑红 0.2 g/L,标准曲线为 $y=0.024\ 3x+0.004\ 9$ (y : 541 nm 波长下吸光值, x : 诱惑红浓度),决定系数 $R^2=0.991\ 8$ 。试验时首先打开鼓风机,使风速保持稳定,再利用喷雾器进行喷药,喷洒保持开启 5 s,关闭喷洒后,待水敏试纸干燥后收集,所收集滤纸用去离子水洗脱诱惑红,通过紫外分光光度计测定洗脱液在 541 nm 波长下的吸光值确定雾滴沉积量,对比不同距离农药雾滴沉积率,分析不同飞防助剂对农药雾滴飘移量的影响。试验重复 3 次,根据公式计算农药雾滴沉积率。计算公式:

$$\text{沉积量}(\text{mg}/\text{cm}^2)=(\text{洗脱液浓度}\times\text{洗脱液体积})/\text{滤纸面积};$$
$$\text{沉积率}=\text{沉积量}/\text{喷液量}\times100\%;$$
$$\text{飘移率}=\text{飘移区沉积量}/\text{喷液量}\times100\%。$$

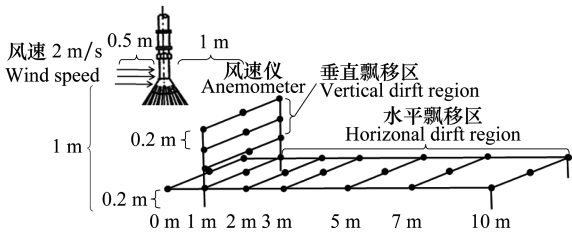


图 1 模拟室外环境条件测定除草剂飘移量示意图
Fig. 1 Sketch of outdoor environmental conditions for determining the amount of herbicide drift

1.2.2 不同飞防助剂对除草剂雾滴大小的影响
利用激光粒度仪(粒径测试范围 4.6~2 000 μm , 精度 $\pm 0.3\%$)测定不同飞防助剂对氟磺胺草醚、烟嘧磺隆、五氟磺草胺雾滴粒径的影响,选用植保无人机适用扇形喷头 XR11001VS,压力为 0.3 MPa,喷雾 10 s,每个处理重复测试 3 次,通过统计低于该直径的雾滴体积之和的 10%、50%、90% 即 D_{V10} 、 D_{V50} 、 D_{V90} 的平均值计算雾滴相对粒谱宽度(R_s),分析飞防助剂对 3 种除草剂雾滴粒径大小的影响。根据美国农业工程学会(American Society of Agricultural Engineers, ASAE)S-572 号标准(S-572 spray tip classification by droplet size)^[18],以雾滴体积中径(volume

median diameter, VMD)表示,一般将雾滴分成 5 类,如表 1 所示。

$$\text{雾滴相对粒谱宽度}(R_s)=\frac{D_{V90}-D_{V10}}{D_{V50}}。$$

表 1 雾滴大小、类型及使用范围
Table 1 Droplet size, type and scope of use

雾滴体积中径/ μm Volume median diameter	雾滴类型 Droplet type	使用范围 Scope of use
<100	细小雾滴	超低容量喷雾
100~175	小雾滴	超低容量喷雾
176~250	中等雾滴	低容量喷雾
251~375	较大雾滴	高容量喷雾(常规喷雾)
376~450	大雾滴	高容量喷雾(常规喷雾)
>450	超大雾滴	高容量喷雾(常规喷雾)

1.2.3 不同飞防助剂对除草剂物理指标的影响

取加入助剂后的混合药液各 100 mL,用界面张力仪测定其表面张力,重复 3 次,结果取平均值。用微量进样器分别取上述药液每种 15 μL ,每次取 5 μL 滴在载玻片上,用接触角测量器分别测定药液液滴的扩展直径,每组药剂重复 3 次,取平均值。用微量移液枪取 10 μL 待测液滴于玉米叶片上,静置,用秒表测量液滴干燥时间,重复 3 次。

1.2.4 不同飞防助剂的增效作用及防飘移的增强效果

试验应用植保无人机进行喷雾施药,研究不同飞防助剂对除草剂的增效作用以及烟·硝·莠混合药液雾滴防飘移的增强效果。玉米、大豆试验田设在东北农业大学向阳农场,供试土壤为黑土(有机质含量 4%,pH=6.75);水稻试验田设在哈尔滨市通河县农机推广中心试验田,供试土壤为黑钙土(有机质含量 2.8%,pH=6.8)。供试药剂为 25%氟磺胺草醚水剂、4%烟嘧磺隆可分散油悬浮剂、2.5%五氟磺草胺乳油分别按照有效成分用量 300、60、20 g/hm²,喷液量为 15 L/hm² 配制,混剂烟·硝·莠分别按照 3 种除草剂有效成分用量为 60、60、800 g/hm² 混合,喷液量为 15 L/hm² 配制。每个试验小区设计如图 2 所示,植保无人机起飞后保持喷雾高度 1 m,飞行速度 5 m/s,喷液流量 1 800 mL/min,进行喷药,在起飞施药 10 m 后选取 15 m $\times$ 20 m 作为喷药区,距喷药区 1 m 处选取 15 m $\times$ 10 m 作为飘移区,在飘移区内摆放水敏试纸用于承接农药雾滴,水敏试纸分别放置于无人机航线正下方记为 0 m 处;飘移区内距离喷雾区边界 1、2、3、5、7、10 m 处。水敏试纸放置于距地面高 20 cm 处,同一距离处,每两张水敏试纸间隔 5 m 放置,每个小区

设 3 次重复,雾滴分布试验室外环境为:温度 23℃、湿度 39%、风速 1.1 m/s。喷药结束,待水敏试纸干燥后,将其按放置位置编号并收集,装入自封袋中。水敏试纸在接触喷雾液滴部位显示蓝色,未接触液滴部位不显色。ArcGIS 软件可用于分析图形面积,利用该软件对扫描获得的水敏试纸图像进行二值化处理,统计不同区域面积,可计算出农药雾滴沉降及飘移情况,施药后第 15 天调查除草剂防效。

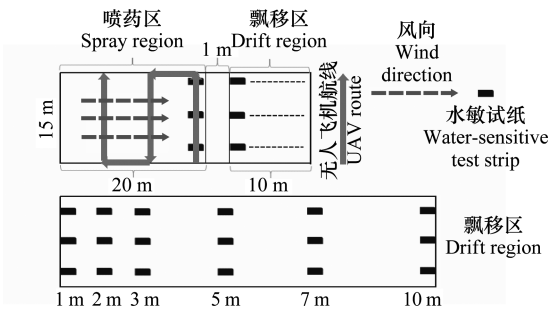


图 2 飞防助剂的增效作用及防飘移试验效果图

Fig. 2 Diagram for the synergistic effects of additives and anti-drift test

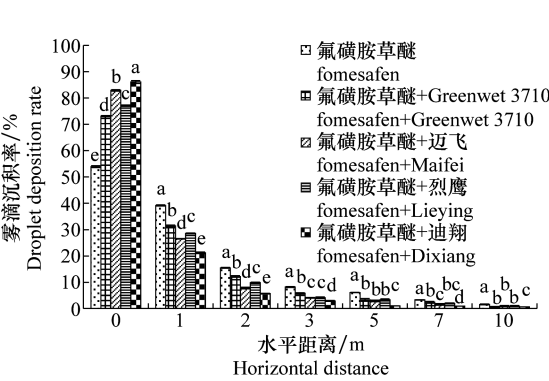


图 3 不同飞防助剂对氟磺胺草醚雾滴沉积率的影响

Fig. 3 Effects of different adjuvants on droplet coverage rate of fomesafen

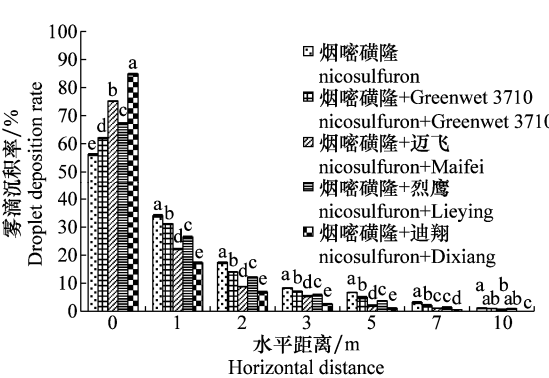


图 4 不同飞防助剂对烟嘧磺隆雾滴沉积率的影响

Fig. 4 Effects of different adjuvants on droplet coverage rate of nicosulfuron

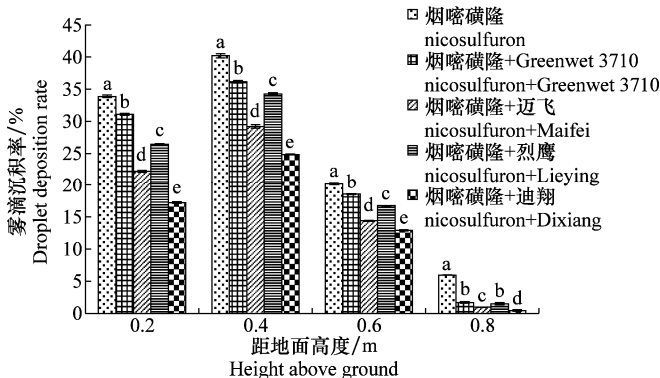
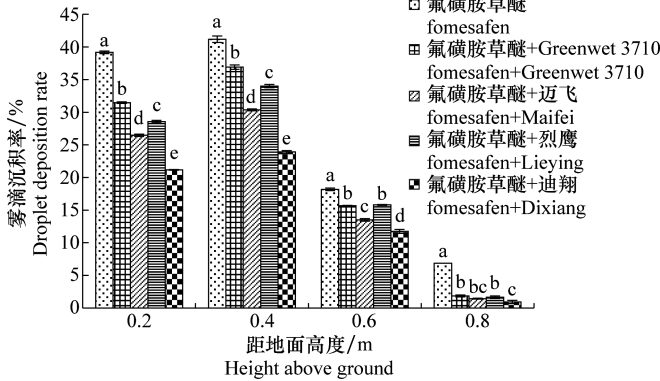
1.3 数据分析

本试验所有数据均采用 Microsoft Excel 2010、DPS 7.05 软件进行分析处理,差异显著性采用 Duncan 氏新复极差法。

2 结果与分析

2.1 不同飞防助剂对除草剂雾滴飘移量的影响

4 种飞防助剂均可显著提高除草剂沉积率,降低除草剂雾滴飘移。如图 3~5 所示,4 种飞防助剂中,迪翔对 3 种剂型除草剂沉积率增效最为显著,0 m 处雾滴沉积率最高增加 32.2 百分点,飘移率最多可降低 43.3%,飘移距离在 10 m 处雾滴沉积率最多降低 1.5 百分点,悬浮剂和乳油在 10 m 处无飘移雾滴。随着距地面高度的增加,雾滴飘移率呈先上升后下降趋势,3 种除草剂均在距地面高度为 0.4 m 时,达到最高飘移率,其中迪翔对雾滴沉降效果最为显著;总体比较 4 种助剂对除草剂雾滴沉积率增效大小依次为迪翔>迈飞>烈鹰>Greenwet 3710;3 种剂型除草剂中,飞防助剂对水剂的防飘移增效作用最为显著,其次为乳油,最差为悬浮剂。



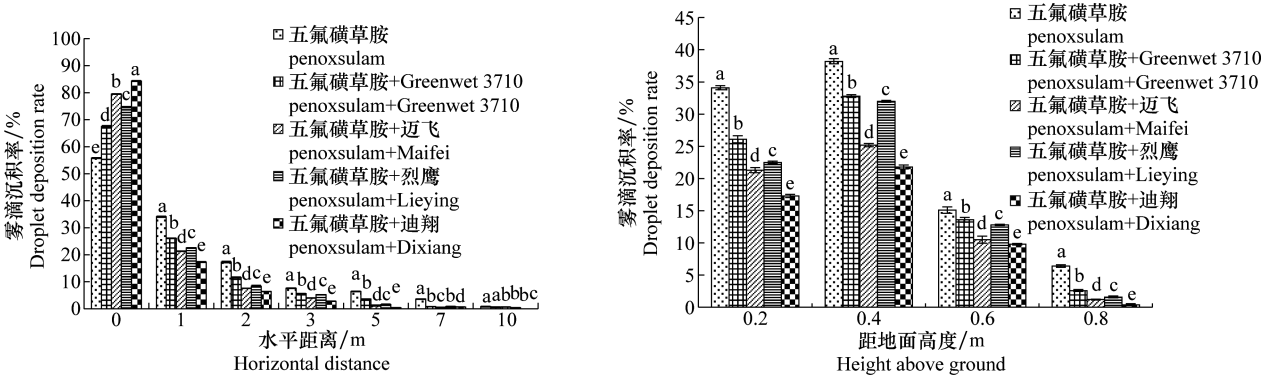


图 5 不同飞防助剂对五氟磺草胺雾滴沉积率的影响

Fig. 5 Effects of different adjuants on droplet coverage rate of penoxsulam

2.2 不同飞防助剂对除草剂雾滴大小的影响

飞防助剂可在一定程度上显著降低除草剂雾滴谱相对宽度。如图 6~8 所示,4 种飞防助剂可不同程度降低除草剂细小雾滴占比,对雾滴粒径大小影响程度为迪翔>迈飞>Greenwet 3710>烈鹰。3 种除草剂在加入助剂时,雾滴谱宽度降低,与对照相比,雾滴分布更为均匀。添加迪翔对细小雾滴的占比降低效果较为显著,迪翔 D_{V10} 最低为 $90.47\text{ }\mu\text{m}$,与对照相比,增加了 $21.75\text{ }\mu\text{m}$, D_{V50} 保持在 $125\sim 137\text{ }\mu\text{m}$,波动值较为稳定, D_{V90} 相对变化不显著,雾滴谱宽度最多降低 0.23;3 种除草剂中,助剂对五氟磺草胺雾滴粒径影响最为显著,雾滴谱宽度降低 0.23;助剂虽在一定程度上降低了除草剂的雾滴谱宽度,但雾滴谱宽度保持在 $0.62\sim 0.85$,雾滴粒径

分布较为均匀,且雾滴粒径基本分布在 $100\sim 175\text{ }\mu\text{m}$ 之间,符合无人飞机施药时的喷雾标准,喷雾效果较为理想。

2.3 不同飞防助剂对除草剂物理指标的影响

飞防助剂可显著降低 3 种除草剂药液的表面张力,增加药液黏度,增加扩展直径,延长干燥时间。如图 9~12 结果所示,4 种飞防助剂对 3 种除草剂表面张力、黏度及干燥时间作用效果显著性为迪翔>迈飞>烈鹰>Greenwet 3710,与对照相比,添加 4 种助剂的除草剂药液表面张力最多可降低 17.3 mN/m ,其中烈鹰与 Greenwet 3710 对 3 种除草剂表面张力影响差异不显著;但每种助剂对除草剂药液黏度作用效果均差异显著,3 种除草剂中黏度最多可增加 $10.3\text{ MPa}\cdot\text{s}$;4 种飞防助剂在延长除草剂干燥时间方

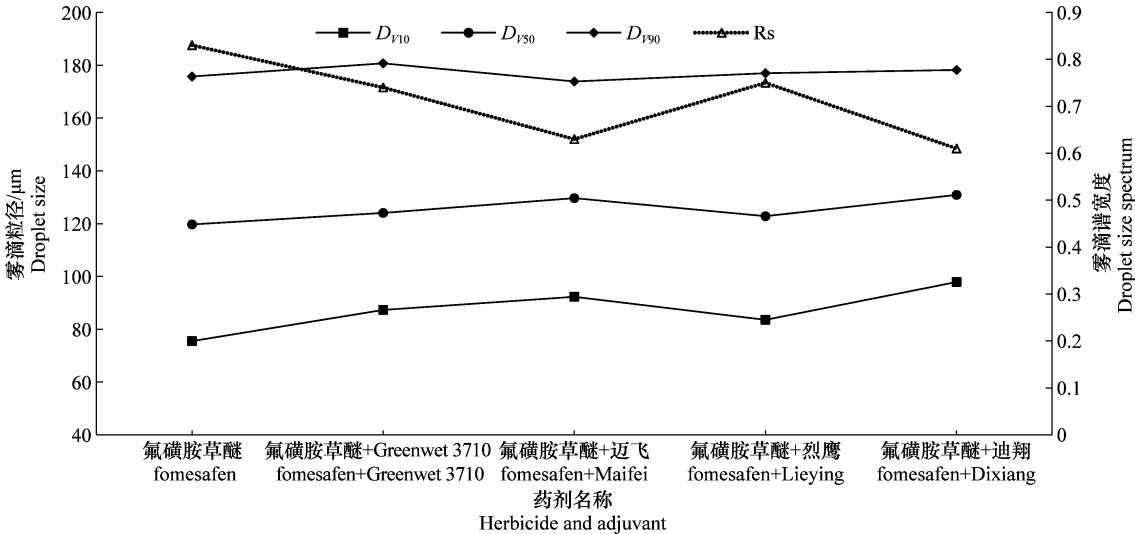


图 6 不同飞防助剂对氟磺胺草醚药液雾滴粒径的影响

Fig. 6 Effects of different adjuants on droplet size of fomesafen

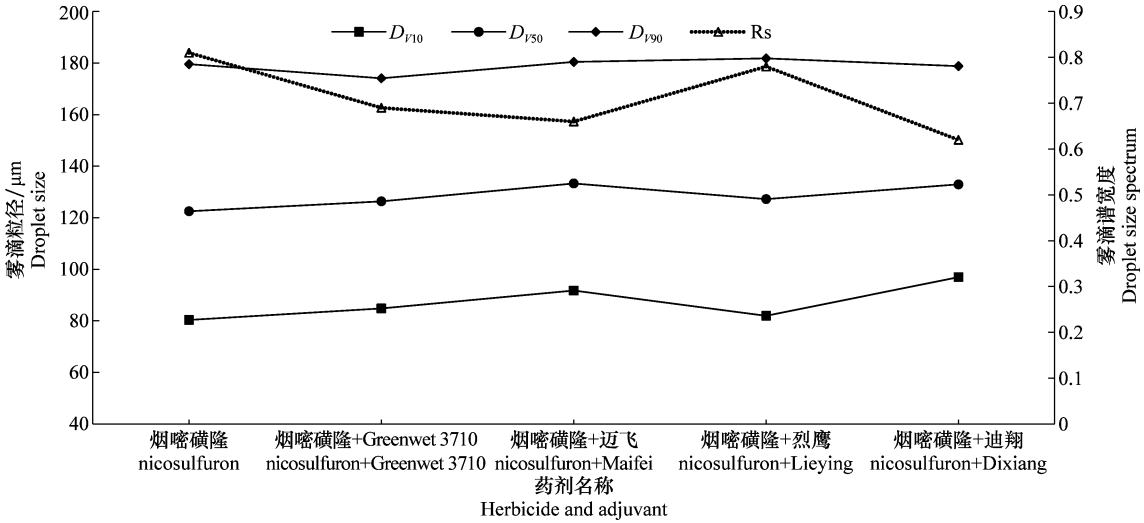


图 7 不同飞防助剂对烟嘧磺隆药液雾滴粒径的影响

Fig. 7 Effects of different adjuvants on droplet size of nicosulfuron

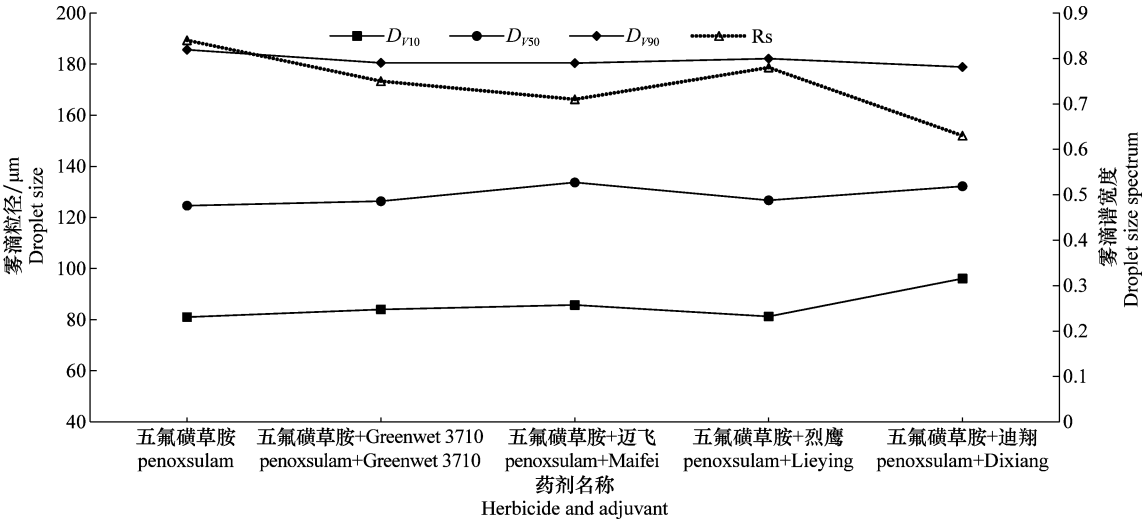


图 8 不同飞防助剂对五氟磺草胺药液雾滴粒径的影响

Fig. 8 Effects of different adjuvants on droplet size of penoxsulam

面作用效果差异显著,延长时间最长可增加130.6 s; 4种助剂对水剂和悬浮剂药液扩展直径的作用效果相同,显著性依次为迪翔>迈飞>烈鹰>Greenwet 3710,两种药液扩展直径最多分别增加5.4 mm和4.9 mm,迈飞则对五氟磺草胺药液扩展直径作用效果最为显著,其次为迪翔、烈鹰、Greenwet 3710,扩展直径最多可增加4.7 mm。总体比较助剂对3种剂型除草剂物理指标的作用效果,药剂表面张力作用效果最显著的为悬浮剂,黏度和干燥时间增效最显著的为乳油,扩展直径增效最多的为水剂。

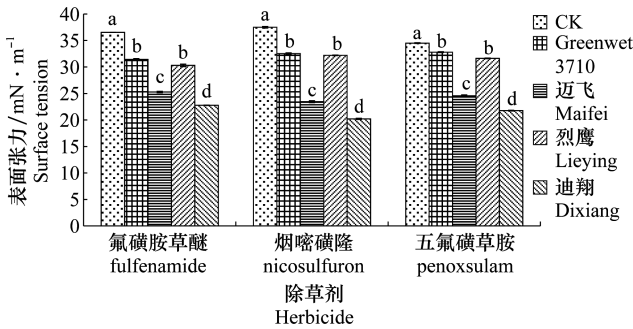


图 9 不同飞防助剂对除草剂药液表面张力的影响

Fig. 9 Effects of different adjuvants on surface tension of herbicide liquid

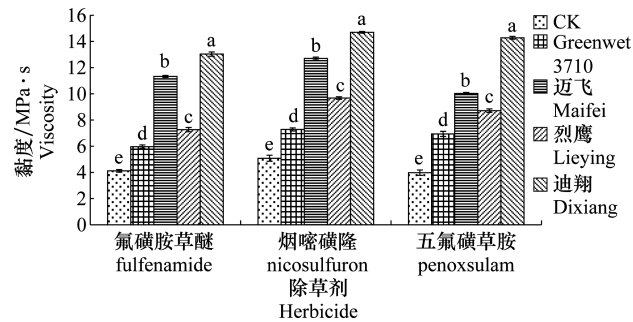


图 10 不同飞防助剂对除草剂药液黏度的影响

Fig. 10 Effects of different adjuvants on the viscosity of herbicide liquid

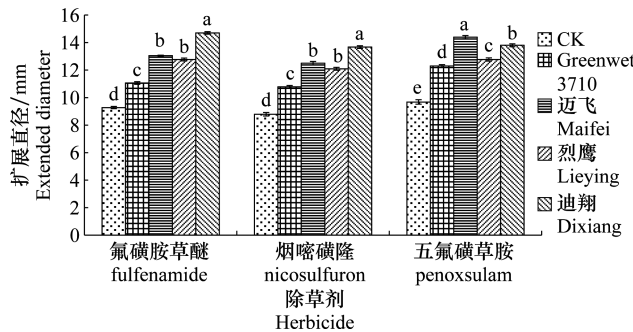


图 11 不同飞防助剂对除草剂药液扩展直径的影响

Fig. 11 Effects of different adjuvants on the extended diameter of herbicide liquid

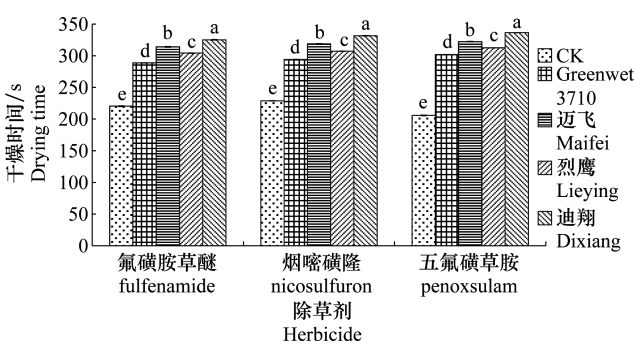


图 12 不同飞防助剂对除草剂药液干燥时间的影响

Fig. 12 Effects of different adjuvants on drying time of herbicide liquid

2.4 不同飞防助剂对除草剂的增效作用及防飘移的增强效果

飞防助剂对除草剂具有明显的增效作用,也可较大程度上增强植保无人飞机喷施除草剂的防飘移效果。如表 2 所示,4 种飞防助剂均可显著提高除草剂的防效,其中增效作用最显著的助剂为迪翔,依次为迈飞、烈鹰、Greenwet 3710,最多可增加药效 23 百分点,3 种除草剂中,助剂对五氟磺草胺增效最为显著;单施除草剂对杂草防效较低,为提高防效,通常将除草剂混用来达到更好的防除效果。表 3、4

表 2 不同飞防助剂对除草剂的增效作用¹⁾

Table 2 Synergistic effects of different adjuvants on herbicides

处理 Treatment	氟磺胺草醚 fomesafen			烟嘧磺隆 nicosulfuron			五氟磺草胺 penoxsulam		
	株防效/% Plant control effect	鲜重防效/% Fresh weight control effect	总防效/% Total control effect	株防效/% Plant control effect	鲜重防效/% Fresh weight control effect	总防效/% Total control effect	株防效/% Plant control effect	鲜重防效/% Fresh weight control effect	总防效/% Total control effect
CK	(55.7±1.5)e	(60.2±1.3)e	(59.6±1.6)e	(50.5±1.1)e	(56.3±0.9)e	(55.9±2.1)e	(71.3±2.1)e	(72.0±0.9)e	(71.4±2.1)e
Greenwet 3710	(65.6±2.1)d	(67.4±0.8)c	(65.6±1.8)d	(62.5±1.5)d	(63.1±1.0)d	(62.9±1.5)d	(78.3±1.7)d	(77.5±1.1)d	(78.7±1.8)d
迈飞 Maifei	(70.3±1.8)b	(71.9±0.7)b	(70.7±1.4)b	(69.6±1.4)b	(71.5±0.7)b	(71.0±1.7)b	(90.3±1.0)b	(92.6±1.1)b	(90.3±1.6)b
烈鹰 Lieying	(67.3±1.5)c	(65.8±1.1)d	(66.5±1.1)c	(65.5±1.7)c	(63.7±0.7)c	(64.2±2.1)c	(79.7±2.1)c	(81.4±1.0)c	(81.2±1.6)c
迪翔 Dixiang	(72.9±1.7)a	(73.7±0.8)a	(73.3±0.9)a	(71.4±1.2)a	(73.0±0.6)a	(72.7±1.2)a	(94.3±1.1)a	(95.1±0.9)a	(94.4±1.3)a

1) 同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。
Values followed by different lowercase letters indicate significant difference at $P<0.05$ within the same column. The same below.

表 3 不同飞防助剂对烟·硝·莠混剂雾滴覆盖率的影响

Table 3 Effects of different adjuvants on droplet coverage rate of nicosulfuron+mesotrione+atrazine mixture

处理 Treatment	不同飘移距离处除草剂雾滴覆盖率/% Herbicide droplet coverage rate at different drift distances						
	0 m	1 m	2 m	3 m	5 m	7 m	10 m
CK	(67.8±0.3)e	(36.1±0.3)a	(21.6±0.1)a	(14.9±0.2)a	(8.6±0.3)a	(5.9±0.1)a	(3.2±0.1)a
Greenwet 3710	(72.1±0.2)d	(33.7±0.2)b	(17.9±0.3)b	(13.2±0.4)b	(9.6±0.1)a	(4.9±0.2)a	(2.4±0.2)b
迈飞 Maifei	(86.0±0.3)b	(28.9±0.2)d	(14.2±0.3)c	(9.8±0.1)d	(4.7±0.2)c	(2.2±0.1)bc	(1.0±0.1)c
烈鹰 Lieying	(77.1±0.2)c	(30.9±0.4)c	(15.1±0.2)c	(11.9±0.1)c	(6.8±0.2)b	(3.2±0.2)b	(2.1±0.1)b
迪翔 Dixiang	(91.1±0.3)a	(23.6±0.1)e	(10.8±0.4)d	(7.6±0.2)e	(2.8±0.2)d	(1.2±0.1)c	(0.4±0.0)d

表 4 不同飞防助剂对烟·硝·莠混剂药效影响

Table 4 Effects of different adjuvants on the efficacy of nicosulfuron+mesotrione+atrazine mixture

处理 Treatment	株防效/% Plant control effect	增效比/% Efficiency ratio	鲜重防效/% Fresh weight control effect	增效比/% Efficiency ratio	总防效/% Total control effect	增效比/% Efficiency ratio
CK	(74.3±2.4)d	—	(75.8±1.3)d	—	(74.7±2.0)d	—
Greenwet 3710	(78.5±1.7)c	5.4	(77.4±0.9)cd	2.1	(77.4±1.8)cd	3.6
迈飞 Maifei	(89.3±1.5)b	20.2	(90.2±1.1)b	19.0	(90.6±1.5)b	21.3
烈鹰 Lieying	(82.2±1.8)c	10.8	(79.7±1.5)c	5.2	(80.6±2.0)c	7.9
迪翔 Dixiang	(95.4±1.8)a	28.3	(96.0±0.7)a	26.7	(95.9±1.9)a	28.4

结果表明,飞防助剂对玉米田除草剂烟·硝·莠混剂增效作用较为显著,增效作用大小依次为迪翔>迈飞>烈鹰>Greenwet 3710,与对照相比,雾滴沉积率最多可增加 24.3 百分点,总防效最多可增加 21.2 百分点,由此表明,4 种飞防助剂可显著降低雾滴飘移量并同时达到提高药效的目的。

3 讨论

植保无人机作为低容量喷雾器械,具有用水量低、雾滴粒径细、作业效率高及劳动强度低等特点^[19],现已被广泛应用于植物病虫害防治中,研究表明,应用植保无人机防治水稻纹枯病无论是否添加助剂与人工施药相比都具有显著增效作用,添加飞防助剂增效更显著^[20-21]。张淑玲等^[22]的研究表明,植保无人机防治小麦蚜虫时添加迈丝+迈飞喷雾助剂农药减量 20%,可与常规喷雾达到相同的防治效果。岳德成等^[23]研究了植保无人机在玉米田茎叶除草剂的喷施,结果表明,利用植保无人机喷施茎叶除草剂+喷雾助剂的混用配方,可达到药剂减量、药效提高、对作物安全性好等效果,可在玉米生产上推广应用。但除草剂的飘移对作物安全影响较大,所以植保无人机施用除草剂除需考虑药效之外,更应注意防止药液飘移。

本文研究了不同飞防助剂对不同剂型除草剂雾滴沉积率、雾滴大小的影响及其增效作用与增效机理,结果表明,4 种飞防助剂对 3 种除草剂雾滴沉积率的影响显著性均为迪翔>迈飞>烈鹰>Greenwet 3710,其中迪翔对氟磺胺草醚水剂雾滴沉积率增加效果最显著,可提高 32.2 百分点;飞防助剂迪翔与迈飞均可降低除草剂细小雾滴占比,使雾滴均匀分布, D_{V50} 稳定于 125~137 μm ,雾滴谱宽度降低 0.20~0.23,而其余两种助剂作用效果不显著;飞防助剂通过降低除草剂药液表面张力、增加药液黏度和扩展直径、延长干燥时间等达到增效的效果,其中迪翔对 3 种除草剂表面张力、黏度、干燥时间作用效果最显著,其余依次为迈飞、烈鹰、Greenwet 3710,但对

乳油扩展直径作用效果最为显著的助剂为迈飞;4 种飞防助剂不仅对除草剂单剂均具有显著增效作用,还可显著增加玉米田除草剂烟·硝·莠混剂的药效,且具有防飘移作用,其中迪翔对五氟磺草胺水剂增效最显著,防效增加了 23 百分点,对混剂的增效作用可提高 21.2 百分点,雾滴沉积率增加 24.3 百分点,总体比较作用效果显著性依次为迪翔>迈飞>烈鹰>Greenwet 3710。飞防助剂的添加虽可显著提高植保无人机喷施茎叶除草剂的药效,使其达到更高的防治效果,但施药时应避免高温干旱、风速较高天气,并建议无人机在飞行高度 1 m,飞行速度 5 m/s,喷液流量 1 800 mL/min 时作业有助于除草剂药效的发挥^[24],至于飞防助剂对除草剂的抗蒸发能力还有待进一步研究。

参考文献

[1] 赵立波,庄顺龙,马鑫,等. 青岛市植保无人机应用现状[J]. 农业科技通讯,2019(8):62-63.

[2] 邱小雷,张羽,张小虎,等. 从植保无人机经验探析我国精准农业发展路径[J]. 江苏农业科学,2019,47(16):30-33.

[3] 陈盛德,兰玉彬,李继宇,等. 航空喷施与人工喷施方式对水稻施药效果比较[J]. 华南农业大学学报,2017,38(4):103-109.

[4] 郭永旺,袁会珠,何雄奎,等. 我国农业航空植保发展概况与前景分析[J]. 中国植保导刊,2014,34(10):78-82.

[5] 邓巍,丁为民,何雄奎. 变量喷施技术及其雾化特性评价方法综述[J]. 中国农业大学学报,2009,14(3):94-102.

[6] 袁会珠,徐映明,芮昌辉. 农药应用指南[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2011.

[7] HEWITT A J, MEGANASA T. Droplet distribution densities of a pyrethroid insecticide within grass and maize canopies for the control of *Spodoptera exempta* larvae [J]. Crop Protection,1993,12(1):59-62.

[8] KNOCHE M. Effect of droplet size and carrier volume on performance of foliage-applied herbicides [J]. Crop Protection,1994,13(94):163-178.

[9] 姚伟祥,兰玉彬,王娟,等. AS350B3e 直升机航空喷施雾滴飘移分布特性[J]. 农业工程学报,2017(22):83-91.

[10] 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,2015,41(6):9-16.

- [11] 王金信, 鲁梅. 除草剂助剂的研究进展[J]. 世界农药, 2008, 30(1): 34-39.
- [12] 马晓峰. 提高农药利用率的技术[J]. 植物医生, 2018, 31(4): 49-51.
- [13] 肖晓华. 农药利用率的影响因子及其应对措施[J]. 南方农业, 2017, 11(7): 5-7.
- [14] 邵振润, 张帅. 提高我国农药利用率的主要措施与对策[J]. 农药, 2014, 53(5): 382-385.
- [15] 王奕, 杜凤沛. 提高农药利用率是农药减量的核心技术[J]. 营销界(农资与市场), 2016(6): 57-59.
- [16] 何玲, 王国宾, 胡韬, 等. 喷雾助剂及施液量对植保无人机喷雾雾滴在水稻冠层沉积分布的影响[J]. 植物保护学报, 2017, 44(6): 1046-1052.
- [17] 兰玉彬, 陈盛德, 邓继忠, 等. 中国植保无人机发展形势及问题分析[J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(5): 217-225.
- [18] ASAE. Spray tip classification by droplet size: S-572 [S].
- ~~~~~
- (上接 67 页)
- [9] JOHNSON C G. Migration and dispersal of insects by flight [M]. London: Methuen, 1969: 745-763.
- [10] JOHNSON S J. Migration and the life history strategy of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in the Western Hemisphere [J]. International Journal of Tropical Insect Science, 1987, 8(4/5/6): 543-549.
- [11] DAY R, ABRAHAMS P, BATEMAN M, et al. Fall armyworm: impacts and implications for Africa [J]. Outlooks on Pest Management, 2017, 28(5): 196-201.
- [12] 刘刚. 全国农技中心通报 我国及周边国家草地贪夜蛾发生为害情况[J]. 农药市场信息, 2019(9): 59.
- [13] 杨学礼, 刘永昌, 罗茗钟, 等. 云南省江城首次发现迁入我国西南地区的草地贪夜蛾[J]. 云南农业, 2019(1): 72.
- [14] 吴秋琳, 姜玉英, 吴孔明. 草地贪夜蛾缅甸虫源迁入中国的路径分析[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 1-6.
- [15] 郭井菲, 赵建周, 何康来, 等. 警惕危险性害虫草地贪夜蛾入侵中国[J]. 植物保护, 2018, 44(6): 1-10.
- [16] BROUFAS G D, PAPPAS M L, KOVEOS D S. Effect of relative humidity on longevity, ovarian maturation, and egg production in the olive fruit fly (Diptera: Tephritidae) [J]. Annals of the Entomological Society of America, 2009, 102(1): 70-75.
- [17] RIDGWAY R L, GYRISCO G G. Effect of temperature on the rate of development of *Lygus lineolaris* (Hemiptera: Miridae) [J]. Annals of the Entomological Society of America, 1960, 53(5): 691-694.
- [18] 仵均祥. 农业昆虫学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 23.
- [19] BARTEKOVA A, PRASLICKA J. The effect of ambient temperature on the development of cotton bollworm (*Helicoverpa armigera* Hübner, 1808) [J]. Plant Protection Science, 2016, 42: 135-138.
- [20] 何莉梅, 葛世帅, 陈玉超, 等. 草地贪夜蛾的发育起点温度、有效积温和发育历期预测模型[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 18-26.
- [21] 张红梅, 尹艳琼, 赵雪晴, 等. 草地贪夜蛾在不同温度条件下的生长发育特性[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(1): 52-59.
- [22] 秦誉嘉, 蓝帅, 赵紫华, 等. 迁飞性害虫草地贪夜蛾在美国的潜在地理分布[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 43-47.
- [23] 卢辉, 唐继洪, 吕宝乾, 等. 草地贪夜蛾的生物防治及潜在入侵风险[J]. 热带作物学报, 2019, 40(6): 1237-1244.
- [24] 葛世帅, 何莉梅, 和伟, 等. 草地贪夜蛾的飞行能力测定[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 28-33.
- [25] 郭井菲, 何康来, 王振营. 草地贪夜蛾的生物学特性、发展趋势及防控对策[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(3): 361-369.
- [26] HOFFMANNA A, SØRENSEN J G, LOESCHCKE V. Adaptation of *Drosophila* to temperature extremes: bringing together quantitative and molecular approaches [J]. Journal of Thermal Biology, 2003, 28(3): 175-216.
- [27] CUI Xuhong, WAN Fanghao, XIE Ming, et al. Effects of heat shock on survival and reproduction of two whitefly species, *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia tabaci* biotype B [J]. Journal of Insect Science, 2008, 8(24): 1-10.
- [28] SCHLEMMER M. Effect of temperature on development and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [D]. Evanston: North-West University, 2018.
- [29] RAMIREZ G, BRAVO M, LLANDERAL C. Development of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) under different conditions of temperature and humidity [J]. Agrociencia, 1987(67): 161-171.
- [30] 姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 等. 2019 年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 10-19.
- [31] 林昌善. 粘虫生理生态学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1990: 518-526.
- [32] 李光博, 王恒祥, 胡文绣. 粘虫季节性迁飞为害假说及标记回收试验[J]. 植物保护学报, 1964, 3(2): 101-110.
- [33] 杨普云, 朱晓明, 郭井菲, 等. 我国草地贪夜蛾的防控对策与建议[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 1-6.
- [34] 吴秋琳, 姜玉英, 胡高, 等. 中国热带和南亚热带地区草地贪夜蛾春夏两季迁飞轨迹的分析[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 1-9.
- [35] 吴孔明. 中国草地贪夜蛾的防控策略[J]. 植物保护, 2020, 46(2): 1-5.

(责任编辑: 田 喆)

(责任编辑: 田 喆)