

三氟苯嘧啶种衣剂对褐飞虱控制效果研究*

马明勇** 吴生伟 彭兆普***

(湖南农业科学院植物保护研究所, 长沙 410125)

摘 要 【目的】明确三氟苯嘧啶种衣剂对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 的防控效果, 为利用三氟苯嘧啶种衣剂防控褐飞虱提供试验数据。【方法】2019-2021 年, 通过田间小区试验, 调查三氟苯嘧啶种衣剂不同剂量下对褐飞虱若虫和成虫始见期和种群动态的影响, 研究各处理条件下三氟苯嘧啶种衣剂对褐飞虱的防治效果。【结果】三氟苯嘧啶种衣剂能滞后田间褐飞虱成虫和若虫的始见期, 50.0 ga.i./hm² 种子及以上剂量的三氟苯嘧啶种衣剂处理后, 褐飞虱成虫和若虫的始见期分别滞后 19 d 和 25 d 以上。在三氟苯嘧啶种衣剂各剂量条件下, 六(4)代和七(5)代褐飞虱种群数量均未超过防治指标。三氟苯嘧啶种衣剂对褐飞虱防治效果表现出较好的速效性和持效性, 各剂量在播后 53 d 之内对褐飞虱防控效果均超过 94%, 50.0 ga.i./hm² 种子及以上剂量处理播种后 102 d 对褐飞虱防控效果依然达 94% 以上。【结论】三氟苯嘧啶种衣剂能达到用药一次连续防控褐飞虱六(4)代和七(5)代的效果, 实现减少化学药剂用量, 轻简化栽培的目的。

关键词 种衣剂; 三氟苯嘧啶; 褐飞虱; 控制效果

Dressing seeds with triflumezopyrim controls the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål)

MA Ming-Yong** WU Sheng-Wei PENG Zhao-Pu***

(Plant Protection Institute of Hunan Academy of Agriculture Sciences, Changsha 410125, China)

Abstract [Objectives] To determine the effectiveness of dressing seeds with triflumezopyrim as a means of controlling the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål). [Methods] The population dynamics of *N. lugens* adults and nymphs were surveyed in paddy fields after host plant seeds had been dressed with triflumezopyrim between 2019 and 2021. [Results] Dressing seeds with ≥ 50.0 ga.i./hm² (grams active ingredient per ha) doses of triflumezopyrim delayed the first appearance of both adults and nymphs by ≥ 19 days and 25 days, respectively. Population density decreased substantially in all plots treated with triflumezopyrim, indeed, there was not a single day on which the population density in triflumezopyrim treated plots reached the control threshold. The level of control achieved by dressing seeds with triflumezopyrim exceeded 94% over 53 days. Even when the survey was extended to 102 days, control still exceeded 94% at dosages of ≥ 50.0 ga.i./hm². [Conclusion] Dressing seeds with ≥ 50.0 ga.i./hm² triflumezopyrim can effectively control the sixth and the seventh generations of *N. lugens*, thereby reducing pesticide use and simplifying cultivation.

Key words seed dressing; triflumezopyrim; *Nilaparvata lugens* (Stål); control effects

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 是我国水稻主产区最主要的害虫之一, 每年随着迁飞习性, 从中南半岛进入我国海南和两广地区, 后续阶梯式推进危害至江浙地区, 更甚者可跨海迁飞至日

本危害当地水稻生产(全国褐稻虱科研协作组, 1981), 2020 年农业农村部将其列入《一类农作物病虫害名录》。湖南省水稻种植面积居全国前列, 稻飞虱是湖南省水稻最主要害虫之一, 其中

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划(2021YFD1401100)

**第一作者 First author, E-mail: mmyinsect@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: hnzbpeng@163.com

收稿日期 Received: 2022-06-01; 接受日期 Accepted: 2022-07-29

褐飞虱对中稻和晚稻危害尤为严重, 常年造成区域性“虱烧”情况发生(彭兆普等, 2012)。褐飞虱繁殖力强, 在合适条件下易落地成灾, 在对其综合防控的策略下, 化学防控依然是防治褐飞虱等水稻害虫的快速有效的方法(吴孔明, 2018)。早期虫源基数是褐飞虱暴发成灾的重要前提条件, 扼杀早期迁入虫源是控制褐飞虱种群发展的一项重要举措(Hu *et al.*, 2014)。

近几年褐飞虱对市场常用化学药剂, 如烯啶虫胺、呋虫胺和吡蚜酮等产生较强的抗药性,(肖汉祥等, 2017; Wu *et al.*, 2018), 具有新颖作用机理的杀虫剂三氟苯嘧啶对褐飞虱防控起到了重要作用(Cordova *et al.*, 2016)。三氟苯嘧啶是一种新型介离子类或两性离子类烟碱乙酰胆碱受体拮抗剂, 作用于靶标害虫烟碱型乙酰胆碱受体正位结合位点(Cordova *et al.*, 2016), 2016 年获得我国首次登记。三氟苯嘧啶具有活性高、持效期长、对环境友好和内吸性强等优点(Suri and Makkar, 2018; 韦世训等, 2018)。已有研究表明, 三氟苯嘧啶采用人工喷雾和植保无人机作业方法对褐飞虱防效均超过 90%(韦世训等, 2018; 张国等, 2019b), 且超长持效期(药后 60 d)后依然表现出非常优异的防治效果(韦世训等, 2018); 不仅如此, 三氟苯嘧啶复配溴氰虫酰胺和氯虫苯甲酰胺等其他化学药剂, 实现多靶标协同防控的目的(唐涛等, 2016)。

种衣剂提前将内吸性较强的化学药剂包裹于种子表面, 待种子萌发和生长过程中将化学药剂吸收, 起到防虫抗病的“疫苗”作用(陈泽南等, 2018)。种衣剂技术已成为减少化学农药使用、预防病虫害早期发生、降低病虫害基数及实现“预防为主”防治策略的一项重要技术(甘林等, 2021), 在粮食作物病害防控方面起到了重要作用(汪芳琳等, 2019)。但受困于化学药剂产品特性, 利用种衣剂防控水稻害虫的研究较少。研究表明以吡蚜酮、吡虫啉、丁硫克百威和噻虫嗪等为药剂的种衣剂在白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 和灰飞虱 *Laodelphax striatellus* 防控方面具有防治效果好和持效期长等优点(何忠雪等, 2012; 李伟群等, 2014; 纪祥龙等, 2017), 张国等(2019a)研究了不同种

植方式下 10%三氟苯嘧啶悬浮剂拌种水稻后对稻飞虱的田间防治效果及对天敌蜘蛛和水稻的安全性, 但是利用种衣剂防控水稻褐飞虱方面研究较少。为有效降低褐飞虱早期虫口基数, 减少化学药剂用量, 研究三氟苯嘧啶种衣剂对褐飞虱的防治效果具有重要意义。本文旨在研究不同剂量的三氟苯嘧啶种衣剂对褐飞虱的防控效果和持效期, 为利用三氟苯嘧啶种衣剂防控褐飞虱提供试验数据和理论参考。

1 材料与方法

1.1 调查圃

2019-2021 年调查圃均位于湖南省长沙市长沙县春华镇龙王庙村, 该地水稻连片种植面积超百公顷, 常年稻飞虱和二化螟等主要水稻害虫发生较重。供试水稻品种为当地种植面积较大的优质常规稻黄华占, 3 年均采用直播的方法, 用种量为 4 kg/667 m², 种子经催芽后于 6 月中旬撒播。整个试验期间肥料、除草剂和杀菌剂按当地常规农事操作进行, 杀虫剂仅使用 25%乙基多杀菌素水分散粒剂防治鳞翅目害虫二化螟 *Chilo suppressalis* 和稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*, 禁用防治稻飞虱类杀虫剂。

1.2 供试药剂

供试种衣剂为科迪华农业科技(上海)有限公司提供的 50%三氟苯嘧啶种衣剂, 对照药剂 30%噻虫嗪种衣剂和 60%吡虫啉种衣剂均为市售产品。

1.3 试验处理

2019 年种衣剂处理设置每公顷水稻种子包衣三氟苯嘧啶有效成分 35.0、50.0、65.0 和 75.0 ga.i./hm² 种子; 2020 年设置 50%三氟苯嘧啶种衣剂 40.0、50.0、60.0 和 70.0 ga.i./hm² 种子梯度; 在 2019 年和 2020 年研究基础上, 2021 年设置 50%三氟苯嘧啶 50.0 和 70.0 ga.i./hm² 种子梯度种子处理, 同时设置 30%噻虫嗪种衣剂 4 mL/kg 种子和 60%吡虫啉 4 mL/kg 种子处理。种子包衣时, 将计算好的供试药剂用清水配置成 25 mL/kg

干种子的药浆, 然后将药浆与所需种子量混合, 放入包衣盒内充分搅拌 3-5 min, 直至包衣盒内壁无明显药剂和种子均匀着色为止。包衣完毕后的种子阴凉风干后按常规浸种催芽的方法即可播种。2019 年和 2020 年试验各小区面积 30 m², 2021 年试验各小区 100 m², 均以未包衣的处理为对照, 各处理设置 3 次重复。

1.4 调查方法

采用盆拍法 (白瓷盘, 33 cm×45 cm) 调查田间稻飞虱发生情况。各小区调查 5 点, 每点调查 0.25 m², 自播种后各小区每隔 7 d 进行一次调查, 直至水稻黄熟期止。调查时将白瓷盘依靠稻丛基部, 上端与稻株呈 45°左右夹角, 快速拍打稻株基部 2-3 下, 记录盆中褐飞虱若虫和成虫数量。

1.5 数据处理

褐飞虱若虫和成虫数据换算成每平米虫量后, 再经对数转换通过 Origin 6.0 进行制图。

种衣剂对褐飞虱 (成虫与若虫之和) 防治效果计算公式如下:

$$\text{防治效果 (\%)} = \frac{\text{对照虫量} - \text{处理区虫量}}{\text{对照虫量}} \times 100。$$

采用 SPSS 160.0 软件先将防治效果数据进行平方根反正弦转换, 然后经 Duncan's 新复极差 (DMRT) 法对 2019 年至 2021 年各处理防治效果进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 褐飞虱成虫和若虫始见期

2019 年 50%三氟苯嘧啶种衣剂 35.0、50.0、65.0 和 75.0 ga.i./hm² 种子处理区褐飞虱成虫始见期分别为 8 月 12 日、8 月 20 日、8 月 25 日和 8 月 26 日 (图 1), 分别为播后 53、61、66 和 67 d 出现; 若虫始见期分别为 8 月 26 日、8 月 26 日、9 月 2 日和 9 月 2 日, 分别在播后的 67 d 和 74 d 出现。空白处理区褐飞虱成虫和若虫始见期分别为 7 月 4 日和 7 月 12 日, 分别在播后的 14 d 和 22 d 出现。相较于空白处理, 50%三氟苯嘧啶种衣剂 35.0、50.0、65.0 和 75.0 ga.i./hm² 种子处理区褐飞虱成虫始见期分别滞后 39、47、52 和 53 d, 若虫始见期分别滞后 45、45、52 和 52 d。

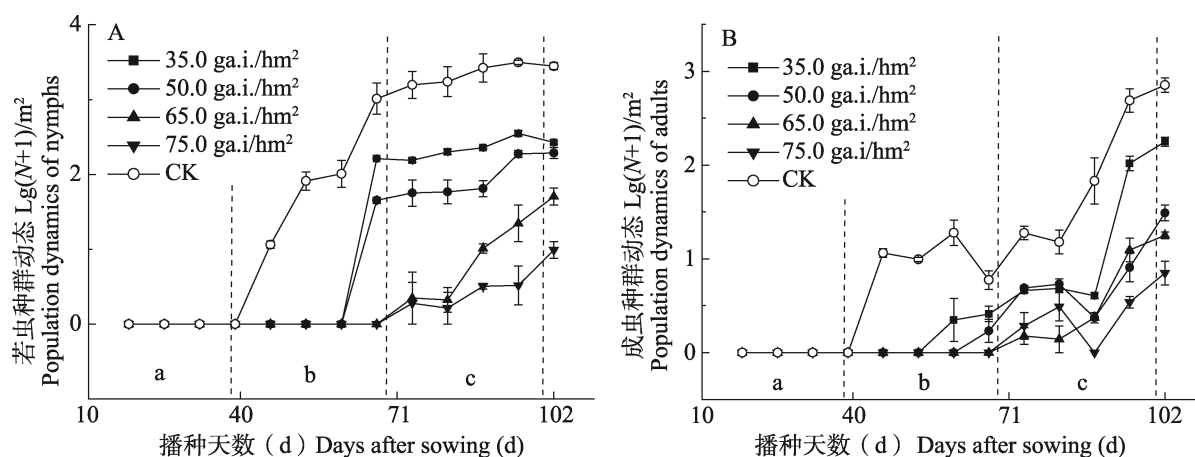


图 1 2019 年褐飞虱若虫 (A) 和成虫 (B) 在 50%三氟苯嘧啶种衣剂处理下种群动态

Fig. 1 Population dynamics of *Nilaparvata lugens* nymphs (A) and adults (B) by seed dressing with triflumezopyrim in 2019

a: 五 (3) 代褐飞虱; b: 六 (4) 代褐飞虱; c: 七 (5) 代褐飞虱, 括号内的数字表示褐飞虱在湖南省发生的代数。图 2, 图 3 同。

a: The fifth generation of *N. lugens* in China; b: The sixth generation of *N. lugens* in China; c: The seventh generation of *N. lugens* in China. Arabic numbers in brackets mean generation of *N. lugens* in Hunan province. The same as Fig. 2 and Fig. 3.

2020 年 50%三氟苯嘧啶种衣剂 40.0、50.0、60.0 和 70.0 ga.i./hm^2 种子处理区褐飞虱成虫始见期分别为 7 月 21 日、7 月 24 日、8 月 6 日和 8 月 15 日 (图 2), 分别在播后 37、40、53 和 62 d 出现; 若虫始见期分别为 8 月 1 日、8 月 7 日、8 月 13 日和 8 月 28 日, 分别在播后的 48、54、60 和 75 d 出现; 空白处理区褐飞虱成虫和若虫始见期分别为 7 月 5 日和 7 月 13 日, 分别在播后的 21 d 和 29 d 出现。与空白对照比较, 50%三氟苯嘧啶种衣剂 40.0、50.0、60.0 和 70.0 ga.i./hm^2 种子处理区褐飞虱成虫始见期分别滞后 16、19、32 和 41 d, 若虫始见期分别滞

后 19、25、31 和 46 d。

2021 年 50%三氟苯嘧啶种衣剂 50.0 ga.i./hm^2 种子和 70.0 ga.i./hm^2 种子处理区褐飞虱成虫始见期均为 7 月 21 日 (播后 45 d), 比空白处理推迟 23 d 出现, 且整个调查期内未见褐飞虱若虫出现。30%噻虫嗪和 60%吡虫啉处理区褐飞虱成虫始见期分别为 6 月 27 日 (播后 21 d) 和 6 月 28 日 (播后 22 d), 若虫始见期分别为 7 月 11 日 (播后 35 d) 和 7 月 13 日 (播后 37 d)。空白处理区褐飞虱成虫和若虫始见期分别为 6 月 28 日和 7 月 11 日, 分别为播后的 22 d 和 35 d (图 3)。

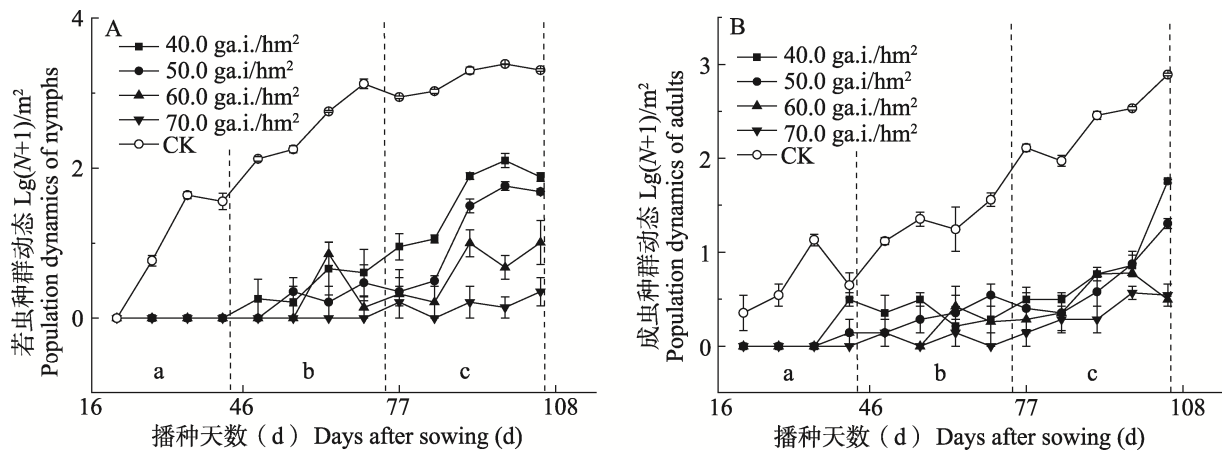


图 2 2020 年褐飞虱若虫 (A) 和成虫 (B) 在 50%三氟苯嘧啶种衣剂处理下种群动态

Fig. 2 Population dynamics of *Nilaparvata lugens* nymphs (A) and adults (B) by seed dressing with triflumezopyrim in 2020

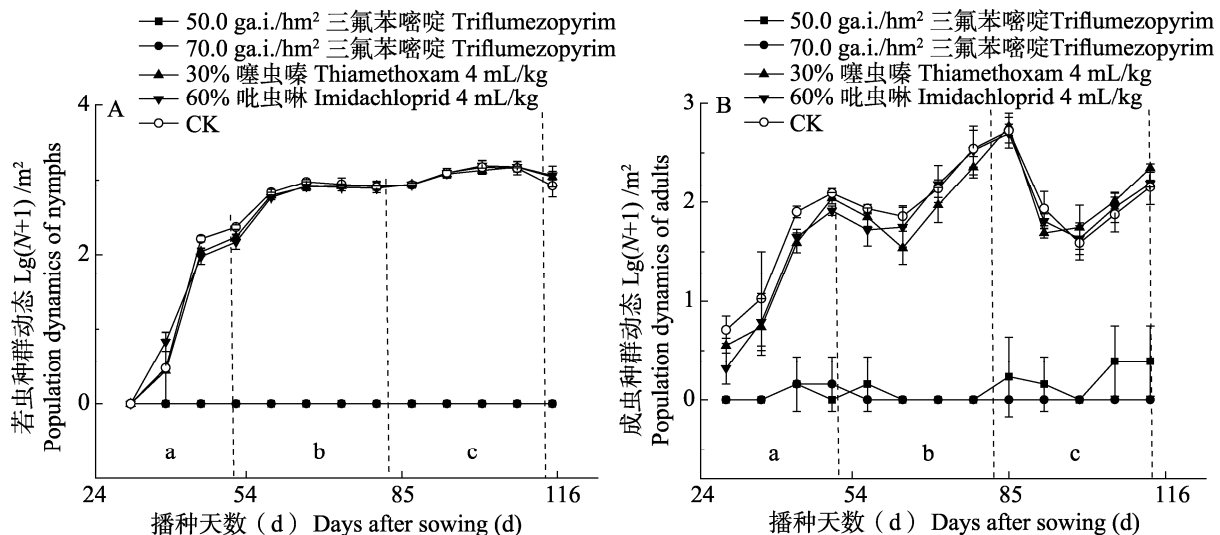


图 3 2021 年褐飞虱若虫 (A) 和成虫 (B) 在 3 种种衣剂处理下种群动态

Fig. 3 Population dynamics of *Nilaparvata lugens* nymphs (A) and adults (B) by three seed dressings in 2021

2.2 褐飞虱成虫和若虫种群动态

2019 和 2020 年调查期间褐飞虱若虫和成虫在 50%三氟苯嘧啶种衣剂处理下均呈上升趋势, 但各剂量处理下褐飞虱种群数量均未超过防治指标。2019 年 50%三氟苯嘧啶种衣剂 35.0 ga.i./hm²种子和 50.0 ga.i./hm²种子处理区褐飞虱若虫和成虫均从六(4)代开始缓慢增长, 65.0 ga.i./hm²种子和 75.0 ga.i./hm²种子处理区褐飞虱若虫和成虫均从七(5)代开始缓慢增长。2019 年 50%三氟苯嘧啶种衣剂 35.0、50.0、65.0 和 75.0 ga.i./hm²种子处理区褐飞虱, 若虫最大发生量为 386 (9 月 23 日)、267 (9 月 30 日)、61 (9 月 30 日) 和 13 头/m² (9 月 30 日), 成虫最大发生量为 211、43、20 和 11 头/m² (9 月 30 日); 空白处理区七(5)代褐飞虱若虫和成虫最大发生量分别为 3 777 头/m² (9 月 16 日) 和 961 头/m² (9 月 30 日)。2020 年 50%三氟苯嘧啶种衣剂 40.0、50.0 和 60.0 ga.i./hm²种子处理区褐飞虱成虫均从五(3)代开始呈增长趋势, 而若虫均从六(4)代开始缓慢增长。2020 年 50%三氟苯嘧啶种衣剂 40.0、50.0、60.0 和 70.0 ga.i./hm²种子处理区褐飞虱若虫最大发生量分别为 191、68、22 和 3 头/m² (9 月 20 日), 成虫最大发生量为 61、23、5 和 5 头/m² (9 月 27 日); 空白处理区七(5)代褐飞虱若虫和成虫最大发生量分别为 2483 头/m² (9 月 20 日) 和 817 头/m² (9 月 27 日)。2021 年 50%三氟苯嘧啶种衣剂 50.0 ga.i./hm²种子和 70.0 ga.i./hm²种子处理区褐飞虱发生量均很小, 整个调查期内未见褐飞虱若虫, 成虫发生量不到 5 头/m²。30%噻虫嗪和 60%吡虫啉处理区褐飞虱若虫发生量均迅速增加, 9 月 15 日七(5)代褐飞虱最大发生量分别为 1 522 头/m² 和 1 808 头/m²; 成虫最大发生量出现在六(4)代褐飞虱羽化期, 分别为 730 头/m² 和 638 头/m²。空白处理区七(5)代褐飞虱若虫和成虫最大发生量分别为 1 870 头/m² (9 月 15 日) 和 812 头/m² (9 月 1 日)。

2.3 种衣剂对褐飞虱防治效果

2019-2021 年期间, 三氟苯嘧啶种衣剂各剂

量处理区在播后 53 d 之内对褐飞虱防控效果均超过 97% (图 4)。2019 年 50%三氟苯嘧啶种衣剂 35.0 ga.i./hm²种子处理 67 d (8 月 26 日) 对褐飞虱防治效果显著低于 50.0、65.0 和 75.0 ga.i./hm²种子处理 ($P<0.05$), 而 50.0、65.0 和 75.0 ga.i./hm²种子对第六(4)代褐飞虱防效均达 94% 以上, 且三者之间无显著性差异 ($P>0.05$); 随着七(5)代褐飞虱陆续孵化, 50.0 ga.i./hm²种子处理播后 95 d (9 月 23 日) 开始对七(5)代褐飞虱防效显著低于 65.0 ga.i./hm²和 75.0 ga.i./hm²种子处理 ($P<0.05$), 但防效依然高达 94.62%, 而 65.0 ga.i./hm²种子和 75.0 ga.i./hm²种子直至播后 102 d (9 月 30 日) 对褐飞虱防效依然均高于 97.93%。2020 年 50%三氟苯嘧啶种衣剂 40.0、50.0、60.0 和 70.0 ga.i./hm²种子处理对六(4)代褐飞虱防效均高于 98%; 播后 84 d (9 月 6 日) 低剂量处理 40.0 ga.i./hm²种子对七(5)代褐飞虱防治效果显著低于其他处理 ($P<0.05$), 播后 98 d (9 月 20 日) 开始 50.0 ga.i./hm²种子处理防治效果显著低于 65.0 ga.i./hm²种子和 75.0 ga.i./hm²种子处理 ($P<0.05$), 但是播后 105 d (9 月 27 日) 50%三氟苯嘧啶种衣剂 40.0、50.0、60.0 和 70.0 ga.i./hm²种子处理对七(5)代褐飞虱防效均高于 95%。2021 年 30%噻虫嗪和 60%吡虫啉对六(4)代和七(5)代褐飞虱防治效果均显著低于 50%三氟苯嘧啶种衣剂 50.0 ga.i./hm²种子和 70.0 ga.i./hm²种子处理 ($P<0.05$), 播后 115 d (9 月 29 日) 50%三氟苯嘧啶种衣剂 50.0 ga.i./hm²种子和 70.0 ga.i./hm²种子处理对褐飞虱防治效果依然超过 99%。

3 结论与讨论

褐飞虱是一种迁飞性害虫, 兼具 r 生殖策略, 因此早期褐飞虱迁入时间和虫源数量对其种群定殖与发展至关重要 (Hu *et al.*, 2014), 有效控制早期褐飞虱虫源基数, 并滞后田间褐飞虱下一代出现时间是控制褐飞虱种群危害的一项重要措施。在直播稻面积依然占据一部分比例的水稻栽培模式下, 种衣剂通过带药随种子下田的“疫苗”机理, 在作物病虫害防控中起到重要作用

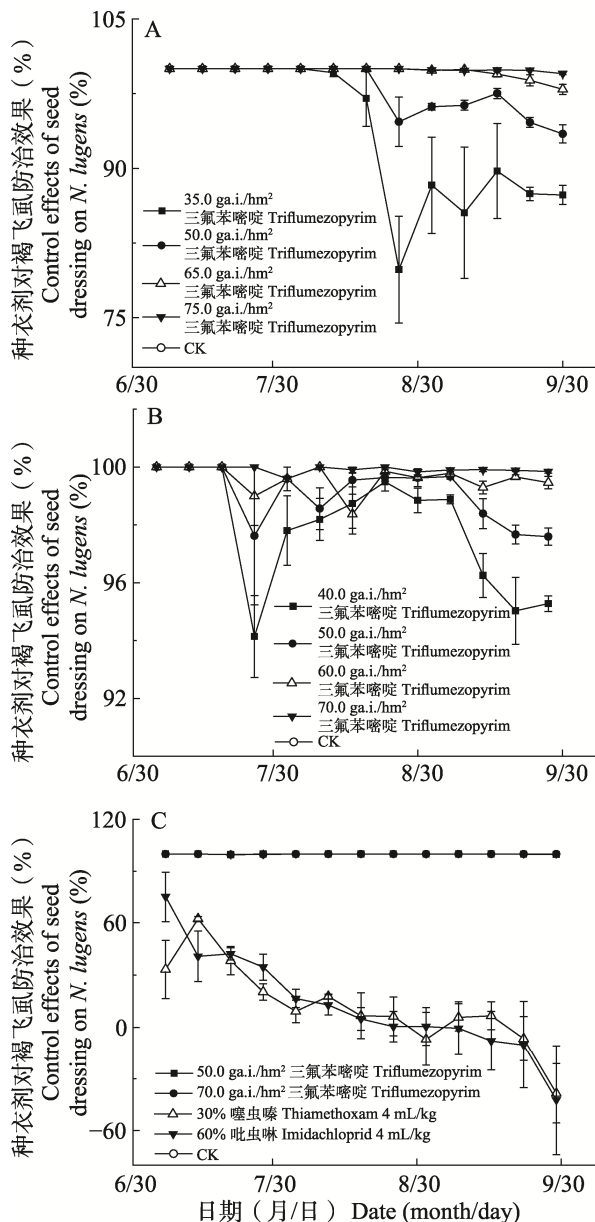


图4 2019 (A)、2020 (B) 和
2021 年 (C) 种衣剂对褐飞虱防治效果
Fig. 4 Control effects of seed dressings against
Nilaparvata lugens in 2019 (A), 2020 (B) and 2021 (C)

(陈泽南等, 2018)。2019 年三氟苯嘧啶种衣剂 35.0 ga.i./hm² 种子低剂量处理区成虫出现时间为播种 53 d 以后, 较空白处理区滞后 39 d 出现, 高剂量处理区更是在 2 个月以后; 而褐飞虱在种衣剂处理区成功定殖后, 下一代若虫出现较空白处理区滞后 45 d 以上; 2020 年三氟苯嘧啶种衣剂处理区褐飞虱成虫和若虫较空白处理区晚 16 d 和 19 d 以上出现, 表明三氟苯嘧啶种衣剂

能滞后田间褐飞虱始见期, 起到降低前期褐飞虱虫源基数的作用。调整剂量后, 2021 年 50% 三氟苯嘧啶种衣剂 50.0 ga.i./hm² 种子和 70.0 ga.i./hm² 种子处理区褐飞虱成虫始见期较空白处理区滞后 24 d, 且田间始终未见下一代褐飞虱若虫出现, 表明适宜剂量条件下, 三氟苯嘧啶种衣剂不仅能滞后田间褐飞虱始见期, 还有阻断褐飞虱成功定殖与繁衍可能性。六 (4) 代或七 (5) 代多为褐飞虱主要发生区域的主害代 (全国褐稻虱科研协作组, 1981; 彭兆普等, 2012), 控制主害代褐飞虱种群数量是防控褐飞虱危害的关键。本研究中, 2019-2021 年空白处理区褐飞虱发生高峰期均为七 (5) 代, 若虫峰值数量超过 1 870 头/m² (2021 年), 2019 年若虫最大发生量达到 3 777 头/m², 成虫最高虫量超过 812 头/m² (2021 年), 但是三氟苯嘧啶种衣剂处理区褐飞虱种群数量均未超过防治指标。研究结果表明三氟苯嘧啶种衣剂防治方法能为解决水稻主要害虫褐飞虱防控难题提供新的角度和策略。

研究表明褐飞虱对市场主要化学药剂均产生不同程度的抗药性, 如烟碱类的吡虫啉、噻虫嗪、烯啶虫胺和呋虫胺等 (肖汉祥等, 2017; Wu *et al.*, 2018), 吡啶杂环类的吡蚜酮 (Wu *et al.*, 2018) 等。目前市场上针对防治刺吸式口器害虫的种衣剂主要有噻虫嗪和吡虫啉, 但是本研究中该 2 种种衣剂对褐飞虱防控效果均较差, 可能与其抗性较高有关。三氟苯嘧啶自 2018 年在中国上市以来, 以其对稻飞虱高敏感性和优异的持效期成为业界研究的重点。研究表明三氟苯嘧啶对褐飞虱比较敏感 (Xu *et al.*, 2019), 其致死中剂量在 0.045-1.139 g/L 之间 (张国等, 2019a; 吴帅等, 2022), 因此在田间防控褐飞虱方面表现优异。张国等 (2019a) 研究表明三氟苯嘧啶对褐飞虱药后 14 d 的防治效果超过 90%, 药后 35 d 防治效果超过 97%; 吴帅等 (2022) 研究也表明三氟苯嘧啶对褐飞虱田间防治效果超过 95%; 韦世训等 (2018) 利用植保无人机施药技术下, 研究发现三氟苯嘧啶对褐飞虱药后 7 d 和 60 d 防治效果依然达到 97% 以上。三氟苯嘧啶除常规茎叶喷雾施药方法外, 也可用于拌种处理, 研究发现 10% 三氟苯嘧啶悬浮剂拌种使用剂

量超过 22.5 ga.i./hm² 种子时, 98 d 后在直播粳稻和杂交稻上对稻飞虱防治效果均超过 90%, 且 112 d 后在机插粳稻和杂交稻上对稻飞虱防治效果均超过 90% (张国等, 2019a)。同时张国等 (2021) 研究发现 10% 三氟苯嘧啶悬浮剂对种子进行干拌、湿拌和药剂浸种处理, 播种后 100 d, 对稻飞虱的防治效果均超过 90%。进一步研究表明, 三氟苯嘧啶悬浮剂拌种种子后, 能诱导提升水稻草酸、黄酮类、酚类和胍脂质等抗褐飞虱物质的水平, 同时延长褐飞虱口器非刺探水稻叶鞘时间等方式影响褐飞虱正常取食, 并降低褐飞虱雌虫产卵能力, 从而达到降低褐飞虱田间种群数量的目的 (Wu *et al.*, 2021)。本研究结果表明试验期间三氟苯嘧啶种衣剂各剂量对五 (3) 代和六 (4) 代褐飞虱表现出较好的防治效果, 除 2020 年因田间褐飞虱成虫迁入量较大导致防治效果降低以外 (94.14%), 在播后 53 d 之内对褐飞虱防控效果均超过 97%。本研究结果发现, 在褐飞虱发生较严重年份, 如 2019 年褐飞虱田间虫量高于 2020 年和 2021 年, 50% 三氟苯嘧啶种衣剂 75.0 ga.i./hm² 种子及以下剂量对六 (4) 代和七 (5) 代褐飞虱防治效果有下降趋势, 其结果也表明在褐飞虱大发生年份使用 50% 三氟苯嘧啶种衣剂防控褐飞虱需加强后期田间褐飞虱的监测。但是, 2019-2021 年试验结果表明使用 50% 三氟苯嘧啶种衣剂在 50.0 ga.i./hm² 种子及以上剂量条件下, 对六 (4) 代和七 (5) 代褐飞虱表现出优异的防控效果, 即使播后 102 d 防治效果均超过 94%。因此, 综合以上结果表明三氟苯嘧啶作为种衣剂使用, 同样能够达到三氟苯嘧啶经喷雾作业方式防治褐飞虱所体现的速效性和持效性。

综上所述, 三氟苯嘧啶种衣剂处理方法不仅具有省时省工和“疫苗”优点, 同时能实现用药一次防控褐飞虱 2 个主害代六 (4) 代和七 (5) 代的效果, 达到减少化学药剂用量和轻简化栽培的目的。

参考文献 (References)

Chen ZN, Zou T, Wang ZW, Liang SH, Chu X, Cai YP, Sun XW, 2018. Research progress on preventing plant diseases and insect

pests of seed coating formulation. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 46(32): 10–13. [陈泽南, 邹甜, 王志伟, 梁少华, 楚箫, 蔡雁平, 孙小武, 2018. 种衣剂防病虫害的研究进展. 安徽农业科学, 46(32): 10–13.]

Cordova D, Benner EA, Schroeder ME, Holyoke CW Jr, Zhang WM, Pahutski TF, Leighty RM, Vincent DR, Hamm JC, 2016. Mode of action of triflumezopyrim: A novel mesoionic insecticide which inhibits the nicotinic acetylcholine receptor. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 74: 32–41.

Gan L, Zhang Y, Zou CJ, Qiu LM, Liao CJ, Li X, He YX, Lu HD, Yang XJ, 2021. Efficacies of nine seed coating agents for disease control and safety for fresh consumption of maize. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 36(5): 564–571. [甘林, 张扬, 邹成佳, 邱良妙, 廖长见, 李晓, 何玉仙, 卢和顶, 杨秀娟, 2021. 9 种种衣剂对鲜食玉米草地贪夜蛾、顶 (茎) 腐病的防效及其安全性评价. 福建农业学报, 36(5): 564–571.]

He ZX, Lu JP, Liu JJ, Pan HR, Chen LL, Long YN, Wang ZC, Yu DD, Tan XF, 2012. A preliminary discussion on prevention and control technology of *Sogatlla furcifera* (Horvath) and southern rice black streaked dwarf virus disease using 5 seed dressings containing pymetrozine in Guizhou province. *Agrochemicals Research & Application*, 16(3): 8–12. [何忠雪, 陆金鹏, 刘家驹, 潘化仁, 陈丽莉, 龙玉宁, 王贞超, 于丹丹, 谈孝凤, 2012. 吡蚜酮等 5 种拌种剂防治贵州白背飞虱和南方水稻黑条矮缩病的技术初探. 农药研究与应用, 16(3): 8–12.]

Hu G, Lu F, Zhai BP, Lu MH, Liu WC, Zhu F, Wu XW, Chen GH, Zhang XX, 2014. Outbreaks of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) in the Yangtze River Delta: Immigration or local reproduction. *PLoS ONE*, doi: 10.1371/journal.pone.0088973.

Ji XL, Wei LL, Guo PJ, Gao JP, Feng SY, 2017. Control efficacy of thiamethoxam suspension seed coating agent against *Laodelphax striatellus* and maize rough dwarf disease in corn fields. *Biological Disaster Scienc*, 40(1): 19–22. [纪祥龙, 韦岚岚, 郭排军, 高俊平, 冯世勇, 2017. 噻虫嗪悬浮种衣剂对玉米田灰飞虱及玉米粗缩病的防治研究. 生物灾害科学, 40(1): 19–22.]

Li WQ, Liu XL, Huang XZ, Chen W, Shang ZF, Xian ZH, 2014. Safety evaluation of 30% pymetrozine FSC on rice and controlling rice planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål). *Journal of Southern Agriculture*, 45(11): 1976–1980. [李伟群, 刘晓亮, 黄秀枝, 陈伟, 尚战峰, 贤振华, 2014. 30% 吡蚜酮悬浮种衣剂对水稻的安全性及对稻飞虱的防控效果. 南方农业学报, 45(11): 1976–1980.]

National Cooperated Research Groups of Brown Planthopper, 1981. Advances in the study of the migration of brown planthopper in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 14(2): 52–59. [全国褐稻虱

- 科研协作组, 1981. 我国褐稻虱迁飞规律研究的进展. 中国农业科学, 14(2): 52–59.]
- Peng ZP, Ma MY, Fu Q, Li YB, Deng LF, 2012. Occurrence of the brown planthopper in Hunan province in recent years. *Plant Protection*, 38(4): 147–151. [彭兆普, 马明勇, 傅强, 李一波, 邓龙飞, 2012. 湖南近三年褐飞虱发生规律研究. 植物保护, 38(4): 147–151.]
- Suri KS, Makkar GS, 2018. Bio-efficacy potential of triflumezopyrim for the management of rice planthoppers. *The Bioscan*, 13(1): 245–249.
- Tang T, Ye B, Liu XY, Wang P, Fu W, Ma MY, 2016. Field evaluation of control efficacy of multi-target rice insecticides: Mixture of triflumezopyrim and other insecticides. *Plant Protection*, 42(6): 202–207. [唐涛, 叶波, 刘雪源, 王培, 符伟, 马明勇, 2016. 多靶标杀虫剂-三氟苯嘧啶混配剂对水稻害虫的田间防治效果. 植物保护, 42(6): 202–207.]
- Wang FL, Hu ZH, Liu PJ, Ding Y, 2019. Effects of four suspension seed coating agents on wheat characters and sheath blight control in Wanjiang region. *Journal of Hunan University of Arts and Science (Science and Technology)*, 31(4): 68–71. [汪芳琳, 胡祖红, 刘彭娟, 丁莹, 2019. 四种悬浮种衣剂对皖江区域小麦性状和纹枯病防治的影响. 湖南文理学院学报(自然科学版), 31(4): 68–71.]
- Wei SX, Zhou RJ, Wang XX, 2018. Field efficacy trials of spray 10% triflumezopyrim on rice planthopper control. *Biological Disaster Science*, 41(2): 97–100. [韦世训, 周荣金, 王信霞, 2018. 10%三氟苯嘧啶悬浮剂防治水稻稻飞虱大田药效试验. 生物灾害科学, 41(2): 97–100.]
- Wu KM, 2018. Development direction of crop pest control science and technology in China. *Journal of Agriculture*, 8(1): 35–38. [吴孔明, 2018. 中国农作物病虫害防控科技的发展方向. 农学学报, 8(1): 35–38.]
- Wu Q, Zhang G, Chen Y, Yu JL, Zhou YK, Shu ZL, Ge LQ, 2021. Seed dressing with triflumezopyrim controls brown planthopper populations by inhibiting feeding behavior, fecundity and enhancing rice plant resistance. *Pest Manage Science*, 77(6): 2870–2886.
- Wu S, Shi Y, Liao X, Li M, Song M, Li RY, 2022. Synergistic effects of triflumezopyrim mixed with acetamiprid on *Nilaparvata lugens*. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 44(1): 55–61. [吴帅, 石宇, 廖逊, 李明, 宋梅, 李荣玉, 2022. 三氟苯嘧啶和啉虫脒对褐飞虱的协同作用. 江西农业大学学报, 44(1): 55–61.]
- Wu SF, Zeng B, Zheng C, Mu XC, Zhang Y, Hu J, Zhang S, Gao CF, Shen JL, 2018. The evolution of insecticide resistance in the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) of China in the period 2012–2016. *Scientific Reports*, 8: 4586.
- Xiao HX, Liu MJ, Li YF, Zhang Y, Zhang ZF, Li YF, 2017. Determination of susceptibility of *Nilaparvata lugens* (Stål) to nitenpyram and dinotefuran in Guangdong. *Journal of Environmental Entomology*, 39 (6): 1369–1373. [肖汉祥, 刘明津, 李燕芳, 张扬, 张振飞, 李怡峰, 2017. 广东稻区褐飞虱对烯啶虫胺和呋虫胺的敏感性测定. 环境昆虫学报, 39 (6): 1369–1373.]
- Xu PF, Shu RH, Gong PP, Li WH, Wan H, Li JH, 2019. Sublethal and transgenerational effects of triflumezopyrim on the biological traits of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae). *Crop Protection*, 117: 63–68.
- Zhang G, Yu JL, Shu ZL, Fang JC, Wu JC, Yao KB, 2019a. Control effects on rice planthopper and safety evaluation of natural enemies by seed dressing with 10% triflumezopyrim SC. *Journal of Southern Agriculture*, 50(12): 2695–2702. [张国, 于居龙, 束兆林, 方继朝, 吴进才, 姚克兵, 2019a. 10%三氟苯嘧啶 SC拌种水稻对稻飞虱的防效及安全性评价. 南方农业学报, 50(12): 2695–2702.]
- Zhang G, Yu JL, Shu ZL, Zhang JH, Yao KB, Fang JC, Luo GH, Wu JC, Ge LQ, 2021. Control effects on rice planthopper (Hemiptera: Delphacidae) and safety evaluation of natural enemies by seed treatment with triflumezopyrim in different ways. *Journal of Environmental Entomology*, 43(2): 507–515. [张国, 于居龙, 束兆林, 张建华, 姚克兵, 方继朝, 罗光华, 吴进才, 戈林泉, 2021. 三氟苯嘧啶不同种子处理方式对稻飞虱的控制效应. 环境昆虫学报, 43(2): 507–515.]
- Zhang G, Yu JL, Zhuang YQ, Yao KB, Fang JC, Guo HF, Zhao LC, Shu ZL, 2019b. Control effect and application technology of triflumezopyrim SC on rice planthoppers. *Journal of Agriculture*, 9(4): 32–38. [张国, 于居龙, 庄义庆, 姚克兵, 方继朝, 郭慧芳, 赵来成, 束兆林, 2019b. 三氟苯嘧啶对稻飞虱的控制效果与应用技术研究. 农学学报, 9(4): 32–38.]