

植保无人机飞防助剂与杀虫剂配伍方式对 其防治稻纵卷叶螟效果的影响



资 乐^{1,2,3} 瞳 禹⁴ 黄俊浩^{1,2,3} 包瑞峰^{1,2,3} 周志艳^{1,2,3*}

(1. 华南农业大学工程学院, 广东省农业人工智能重点实验室, 广州 510642; 2. 广东省农业航空应用工程技术研究中心, 广州 510642; 3. 华南农业大学, 南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642;
4. 广州商学院信息技术与工程学院, 广州 511363)

摘要: 为探究不同类型飞防助剂与杀虫剂配伍方式对其防治稻纵卷叶螟*Cnaphalocrocis medinalis* 效果的影响, 以杀虫剂、飞防助剂和施药液量为因素设计3因素4水平的正交试验, 通过方差分析 (analysis of variance, ANOVA) 对各因素的显著性水平进行分析, 确定对稻纵卷叶螟具有理想防效的配伍方式。结果表明, 杀虫剂和飞防助剂对防治稻纵卷叶螟的效果均有极显著影响, 施药液量对防治稻纵卷叶螟的效果无显著影响。施药后第15天, 杀虫剂选择10% 甲维·茚虫威悬浮剂、飞防助剂选择有机硅、施药液量选择30.0 L/hm²的配伍方式对稻纵卷叶螟的防效较好, 达84.32%。飞防助剂并非对所有杀虫剂都具有同等增效, 其中聚合物助剂对5% 氯虫苯甲酰胺悬浮剂的增效显著高于对其他3种杀虫剂的增效, 植物油助剂对12% 甲维·虫螨腈悬浮剂的增效显著低于对其他3种杀虫剂的增效, 有机硅助剂对4种杀虫剂的增效均较好。

关键词: 植保无人机; 稻纵卷叶螟; 飞防助剂; 杀虫剂; 配伍方式; 防效; 增效

Influence of adjuvants and pesticides on the control efficacy against rice caseworm *Cnaphalocrocis medinalis* using crop protection unmanned aircraft system

Zi Le^{1,2,3} Zang Yu⁴ Huang Junhao^{1,2,3} Bao Ruiheng^{1,2,3} Zhou Zhiyan^{1,2,3*}

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Agricultural Artificial Intelligence, College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong Province, China; 2. Guangdong Engineering Research Center for Agricultural Aviation Application, Guangzhou 510642, Guangdong Province, China; 3. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong Province, China; 4. School of Information technology and Engineering, Guangzhou College of Commerce, Guangzhou 511363, Guangdong Province, China)

Abstract: In order to explore the influence of different types of adjuvants and pesticides on the control efficacy against rice caseworm *Cnaphalocrocis medinalis*, this study designed a three-factor, four-level orthogonal experiment on pesticides, adjuvants and spray volume. Analysis of variance (ANOVA) was conducted to analyze the effects of each factor. The results showed that both pesticides and adjuvants had highly significant effects on the control efficacy against *C. medinalis*, while spray volume had no significant effects. On the fifteenth day after the spraying, 10% emamectin benzoate·indoxacard SC and organosilicon adjuvant at 30.0 L/hm² spray volume had better control efficacy, reaching 84.32%. Adju-

基金项目: 广东省乡村振兴战略专项(2020KJ261), 吉安市科技计划重点项目(吉财教指[2020]83号, 20211-055316), 广东省科技计划项目(2021B1212040009), 广东省基础与应用基础研究基金(2020A1515110214)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: zyzhou@scau.edu.cn

收稿日期: 2021-04-30

vants were not equally synergistic to all pesticides. The synergistic effect of the polymer adjuvant on 5% chlorantraniliprole SC was significantly higher than that on the other three pesticides. The synergistic effect of the plant oil adjuvant on 12% emamectin benzoate·chlorfenapyr SC was significantly lower than that on the other three pesticides, and the organosilicon adjuvant had the best synergies on the four pesticides.

Key words: crop protection unmanned aircraft system; *Cnaphalocrocis medinalis*; adjuvants; pesticides; compatibility method; control efficacy; synergia

稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 是水稻生产中常见的一种迁飞性害虫(杨帆等,2013),在我国大部分地区均有分布,曾在江苏、湖南、湖北、福建和广西等省区大规模暴发(郭炜,2010;郑雪松,2011)。该虫幼虫会为害水稻分蘖期和孕穗期的嫩叶与剑叶(Chhavi et al., 2017),造成20%~30%的产量损失,严重时产量损失可达50%以上,甚至绝收(陈伟,2013)。因此,有效防治稻纵卷叶螟可以在一定程度上避免水稻因虫害而减产。

目前,植保无人机施药技术具有巨大的发展空间(龚艳和傅锡敏,2008;兰玉彬等,2019)。植保无人机飞行时产生的下旋气流吹动叶片,有利于雾滴沉积于目标作物叶片正反面,从而提高作业质量(廖娟,2017)。其作业效率是传统人工施药的10~20倍,且不受作物长势限制,能进行作物生长中后期植保工作,对作物损伤小,尤其适应于种植面积大且地面积机械难以作业的地区和作物(伏安良,2020;闫晓静等,2021)。因此,利用植保无人机施药对防治稻纵卷叶螟有重要意义。但由于植保无人机作业速度快、作业高度高,其喷施的药液雾滴易受旋翼风场和自然风的影响(Guo et al., 2019),导致雾滴沉积区域不稳定,极易发生飘移现象(陈盛德,2018)。加上水稻叶片具有疏水性(Kirkwood, 1999),植保无人机喷施的药液雾滴难以润湿水稻叶片,易发生滚落、滑落和弹跳等现象(周召路,2018; Chen et al., 2020)。因此,提高药液雾滴在作物表面的有效沉积量是药效发挥的关键(Song et al., 2021)。

飞防助剂是航空植保中使用的专用喷雾助剂(张春华等,2020),添加飞防助剂可以改变药液理化性质来增强药液的渗透、沉积和防飘移等性能(Appah et al., 2020; 陈奕璇等,2021),从而提高农药对病虫害的防效。张靖(2015)在探究6种飞防助剂对10%硝磺草酮乳油除草效果的影响时发现植物油助剂GY-Tmax对植物叶片有亲和性,促进了植物叶片对药液的吸收;张夕林(2010)在探索百湿露和Break-Thru Vibrant对48%毒死蜱乳油防治稻纵卷

叶螟效果的影响时发现这2种助剂均能显著提高杀虫剂对水稻的保叶效果和对稻纵卷叶螟的防效,其中Break-Thru Vibrant助剂的效果更优;柴方堃(2012)为提高阿维菌素对稻纵卷叶螟的防效,在1.8%阿维菌素乳油中分别加入4种助剂,发现W-16助剂对阿维菌素增效作用最佳且稳定。

不同杀虫剂理化性质不一,飞防助剂对其改善的侧重和程度不同(王腾飞,2012),且航空施药质量还与药液施用量有关(张靖,2015),施药液量会直接影响药液浓度和雾滴密度,进而影响其对病虫害的防效(袁会珠等,2000; Nahiyoon et al., 2020)。目前,大多研究只针对某一种杀虫剂进行多种飞防助剂的增效对比试验,而未考虑到飞防助剂对不同杀虫剂的增效差异,忽略了飞防助剂、杀虫剂和施药液量的配伍方式对防效的影响。因此,本研究通过正交试验和统计学方法分析飞防助剂类型、杀虫剂种类和施药液量3因素对杀虫剂防治稻纵卷叶螟效果的影响,以期为提高植保无人机施药作业对稻纵卷叶螟的防效提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试水稻:水稻品种为野香优莉丝,2020年4月15日机插秧,生长至孕穗期供试,平均株高150 cm。试验田位于广东省云浮市郁南县河头村,前茬作物为水稻,肥力均匀,排灌条件良好。试验田中主要害虫是稻纵卷叶螟,世代重叠严重。

供试杀虫剂:10%甲维·茚虫威(emamectin benzoate·indoxacard)悬浮剂,东莞市瑞德丰生物科技有限公司;12%甲维·虫螨腈(emamectin benzoate·chlorfenapyr)悬浮剂、5%氯虫苯甲酰胺(chlorantraniliprole)悬浮剂,深圳诺普信农化股份有限公司;10%四氯虫酰胺(tetrachlorantraniliprole)悬浮剂,沈阳化工研究院(南通)化工科技发展有限公司。

供试飞防助剂:聚合物类助剂(红雨燕),深圳雨燕智能科技有限公司;植物油类助剂(农博士),广西

田园生化股份有限公司;有机硅类助剂(全丰),安阳全丰生物科技有限公司。

供试机械:T16植保无人机,深圳市大疆创新科技有限公司;施药时最大作业速度为10 m/s,喷幅宽度为4.0~6.5 m,最大系统工作流量为3.6 L/min。

1.2 方法

1.2.1 田间试验方法

试验采用T16植保无人机进行飞防喷施作业,飞行喷幅为5 m,飞行速度为4.5 m/s,无人机距水稻冠层高度为1.8 m。施药前于2020年6月17日8:00—11:40调查虫害发生情况,施药时间为当日17:00—19:30,气温为25.5~30.1 °C,相对湿度为62%~70%,无持续风向≤2 m/s,符合作业条件。

选取杀虫剂、飞防助剂和施药液量为影响因素设计3因素4水平的正交试验,正交试验方案设计L₁₆(4⁵)正交表,共设置17个药液配伍方式,分别对应17个小区,不设重复,每个小区大小为10 m×53 m,顺序排列,与空白对照之间设立10 m宽的隔离带。其中,处理1~16为杀虫剂(10%甲维·茚虫威悬浮剂、12%甲维·虫螨腈悬浮剂、5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂和10%四氯虫酰胺悬浮剂,分别对应杀虫剂的水平1、2、3和4)、飞防助剂(无助剂、聚合物类助剂、植物油类助剂和有机硅类助剂,分别对应飞防助剂的水平1、2、3和4)和施药液量(15.0、19.5、24.0和30.0 L/hm²,分别对应施药液量的水平1、2、3和4)的正交试验设计方案;处理17为空白对照,未施用任何药剂。10%甲维·茚虫威悬浮剂、5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂和10%四氯虫酰胺悬浮剂的施用剂量均为600 mL/hm²,12%甲维·虫螨腈悬浮剂施用剂量为450 mL/hm²,飞防助剂添加量为1%溶液体积比。

施药前及施药后第3、6和15天各调查1次虫情,每个小区按对角线9点取样,每点调查5丛水稻,记录总叶片数和卷叶数,并计算防效。同时,观察水稻是否产生药害,即是否出现斑点、灼烧、枯萎和畸形等症状。卷叶率=卷叶数/调查总叶数×100%;卷叶减退率=(施药前卷叶率-施药后卷叶率)/施药前卷叶率×100%;防效=(处理区卷叶减退率-对照区卷叶减退率)/(100%-对照区卷叶减退率)×100%。

1.2.2 药液配伍方式中各因素的显著性分析

为了分析药液配伍方式中各个因素对其防治稻纵卷叶螟效果的显著性,采用Duncan氏新复极差法分别对杀虫剂、飞防助剂和施药液量因素与防效进行单因素方差分析。*P*值和*F*值是方差分析里对模型及其系数进行显著性检验的主要统计指标,*P*值

表示同一因素各水平有显著差异时出现误差的概率,*P*值越小,表示该因素各水平间的差异越显著;*F*值为组间平均方差与组内平均方差的比值,*F*值越大,说明该因素的影响越显著(郑启帅等,2018)。

1.2.3 飞防助剂对杀虫剂的增效分析方法

不同飞防助剂通常会对杀虫剂产生不同的增效(王腾飞,2012),为了优选本研究中各个杀虫剂的最佳配伍飞防助剂,以各小区施药后第3、6和15天的防效均值为各处理的防效代表值,计算不同飞防助剂对各杀虫剂的增效,增效=(添加助剂处理的防效-无助剂处理的防效)/无助剂处理的防效×100%。

1.2.4 药液配伍方式的优选方法

为了优选防治稻纵卷叶螟效果较好的药液配伍方式,对杀虫剂、飞防助剂和施药液量3个因素与施药后第15天防效(药效较稳定)进行多重比较分析。多重比较子集越大,说明水平越好,分别选取3个因素中子集最大的水平进行组合,该组合为防效较好的药液配伍方式。

1.3 数据分析

采用Excel 2018和SPSS 23.0软件对试验数据进行统计分析,应用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 各配伍方式对稻纵卷叶螟的防效

施药后第3天,各配伍方式处理对稻纵卷叶螟的防效在42.65%~81.89%之间,不同配伍方式对稻纵卷叶螟防效的差异较大;施药后第6天,各配伍方式处理对稻纵卷叶螟的防效在56.80%~84.48%之间,从施药后第3天到第6天,平均防效提升了7.65%;施药后第15天,各配伍方式处理对稻纵卷叶螟的防效在61.21%~84.32%之间,施用10%甲维·茚虫威悬浮剂和12%甲维·虫螨腈悬浮剂的平均防效从施药后第6天到第15天分别下降了0.79%和3.11%,而施用5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂和10%四氯虫酰胺悬浮剂的平均防效从施药后第6天到第15天分别提升了4.86%和10.58%(表1)。所有小区水稻生长正常,无药害现象。

2.2 药液配伍方式中各因素的显著性分析结果

施药后第3、6和15天,杀虫剂和飞防助剂对防治稻纵卷叶螟的效果均有极显著影响(*P*<0.01),施药液量对防治稻纵卷叶螟的效果无显著影响。施药后第3、6和15天,各因素*F*值从大到小的顺序均为杀虫剂>飞防助剂>施药液量,说明各因素影响防效

的主次顺序为杀虫剂>飞防助剂>施药液量(表2)。由此可知,杀虫剂和飞防助剂是影响防效的主要因素,施药液量是影响防效的次要因素。

表1 不同配伍方式正交试验方案及其对稻纵卷叶螟的防效

Table 1 Orthogonal experimental scheme of different compatibility methods and their control efficacies against *Cnaphalocrocis medinalis*

配伍方式 Compatibility method	杀虫剂 Pesticide	飞防助剂 Adjuvant	施药液量 Spray volume/ (L/hm ²)	防效 Control efficacy/%		
				3 d	6 d	15 d
1	10% 甲维·茚虫威悬浮剂	无助剂 Null	15.0	65.52±1.79 g	73.61±2.36 g	71.88±3.44 e
2	10% emamectin benzoate	聚合物助剂 Polymer	19.5	67.03±2.20 h	69.89±2.28 f	69.41±3.64 d
3	indoxacard SC	植物油助剂 Plant oil	24.0	68.97±3.90 i	79.88±2.10 j	79.11±2.79 h
4		有机硅助剂 Organosilicon	30.0	81.89±2.57 k	84.48±3.03 k	84.32±1.60 i
5	12% 甲维·虫螨腈悬浮剂	无助剂 Null	19.5	54.61±2.98 d	63.59±3.42 c	61.98±3.23 a
6	12% emamectin benzoate	聚合物助剂 Polymer	15.0	59.84±4.31 e	64.72±1.32 cd	61.21±4.49 a
7	chlorfenapyr SC	植物油助剂 Plant oil	30.0	55.41±1.20 d	66.97±2.20 e	64.12±3.45 b
8		有机硅助剂 Organosilicon	24.0	62.68±3.21 f	75.51±4.95 h	71.06±2.48 e
9	5% 氯虫苯甲酰胺悬浮剂	无助剂 Null	24.0	55.30±5.36 d	58.86±2.70 b	66.30±2.49 c
10	5% chlorantraniliprole SC	聚合物助剂 Polymer	30.0	61.81±4.14 f	65.51±4.86 d	73.27±3.53 f
11		植物油助剂 Plant oil	15.0	59.22±3.28 e	68.06±2.53 e	71.21±1.88 e
12		有机硅助剂 Organosilicon	19.5	76.58±2.41 j	78.58±4.23 i	79.66±4.81 h
13	10% 四氯虫酰胺悬浮剂	无助剂 Null	30.0	42.65±2.90 a	56.80±4.70 a	68.28±2.71 d
14	10% tetrachlorantranili-	聚合物助剂 Polymer	24.0	44.86±2.14 b	59.46±1.58 b	68.28±0.54 d
15	prole SC	植物油助剂 Plant oil	19.5	49.09±2.40 c	59.36±2.38 b	71.14±4.50 e
16		有机硅助剂 Organosilicon	15.0	61.74±3.70 f	64.37±3.64 cd	74.58±2.47 g
17	空白对照 Blank CK					

表中数据为平均数±标准差。同列数据后不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。Data in the table are mean±SD. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$)。

表2 各配伍因素对防治稻纵卷叶螟效果的方差分析结果

Table 2 Results of ANOVA on the control efficacy against *Cnaphalocrocis medinalis*

因素 Factor	施药后第3天防效 Control efficacy on the 3rd day after the spraying			施药后第6天防效 Control efficacy on the 6th day after the spraying			施药后第15天防效 Control efficacy on the 15th day after the spraying		
	F	P	显著性 Significance	F	P	显著性 Significance	F	P	显著性 Significance
杀虫剂 Pesticide	37.370	0.000	**	15.911	0.003	**	13.576	0.004	**
飞防助剂 Adjuvant	23.443	0.001	**	10.200	0.009	**	12.484	0.005	**
施药液量 Spray volume	1.470	0.314	NS	0.050	0.984	NS	0.793	0.541	NS

**表示经Duncan氏新复极差法检验差异极显著($P<0.01$)；NS表示经Duncan氏新复极差法检验无显著差异($P>0.05$)。
** indicates significant difference by Duncan's new multiple range test ($P<0.01$); NS indicates no significant difference by Duncan's new multiple range test ($P>0.05$)。

2.3 不同飞防助剂对杀虫剂的增效

聚合物类助剂对5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂的增效为11.14%,显著高于对其他3种杀虫剂的增效;植物油类助剂对12%甲维·虫螨腈悬浮剂的增效为3.51%,显著低于对其他3种杀虫剂的增效,对10%甲维·茚虫威悬浮剂、5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂和10%四氯虫酰胺悬浮剂的增效分别为8.02%、9.97%

和7.06%;有机硅类助剂对5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂的增效为30.10%,显著高于对其他3种杀虫剂的增效(表3)。由此可知,飞防助剂并非对所有杀虫剂都产生相同的增效,因此需要对每种杀虫剂单独优选配伍飞防助剂。经优选后发现,相比其他飞防助剂,有机硅类助剂对于本研究所选4种杀虫剂的增效更佳。

表3 不同杀虫剂对稻纵卷叶螟的防效和飞防助剂对其的增效

Table 3 The control efficacies of different pesticides against *Cnaphalocrocis medinalis* and the synergia of adjuvants %

杀虫剂 Pesticide	指标 Index	无助剂 Null	聚合物助剂 Polymer	植物油助剂 Plant oil	有机硅助剂 Organosilicon
10% 甲维·茚虫威悬浮剂	防效 Control efficacy	70.34±3.48	68.77±1.25	75.98±4.97	83.56±1.18
10% emamectin benzoate·indoxacard SC	增效 Synergia	-	-2.23 a	8.02 a	18.79 a
12% 甲维·虫螨腈悬浮剂	防效 Control efficacy	60.06±3.91	61.92±2.05	62.17±4.92	69.75±5.32
12% emamectin benzoate·chlorfenapyr SC	增效 Synergia	-	3.10 b	3.51 b	16.13 b
5% 氯虫苯甲酰胺悬浮剂	防效 Control efficacy	60.16±4.58	66.86±4.78	66.16±5.08	78.27±1.27
5% chlorantraniliprole SC	增效 Synergia	-	11.14 c	9.97 c	30.10 c
10% 四氯虫酰胺悬浮剂	防效 Control efficacy	55.91±10.48	57.53±9.66	59.86±9.01	66.90±5.54
10% tetrachlorantraniliprole SC	增效 Synergia	-	2.90 d	7.06 d	19.66 d

-: 无数据。表中防效数据为平均数±标准差。同列增效数据后不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。-: No data. Control efficacy data in the table are mean±SD. Different lowercase letters in the same column (synergia) indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$).

2.4 防治稻纵卷叶螟的优选药液配伍方式

施药后第15天药效较稳定,杀虫剂的水平1防效较好,水平优劣顺序为10%甲维·茚虫威悬浮剂>5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂>10%四氯虫酰胺悬浮剂>12%甲维·虫螨腈悬浮剂;飞防助剂的水平4防效较好,水平优劣顺序为有机硅类助剂>植物油类助

剂>聚合物类助剂>无助剂;施药液量的4个水平之间差异不显著,但水平4效果相对较好(表4)。因此,杀虫剂选择10%甲维·茚虫威悬浮剂、飞防助剂选择有机硅类和施药液量选择30.0 L/hm²的药液配伍方式对稻纵卷叶螟的防效较理想,在施药后第15天达到了84.32%(表1)。

表4 基于施药后第15天防效对不同配伍因素的Duncan多重比较

Table 4 Duncan multiple mean comparison based on control efficacy on 15 d after spraying

个案数 No. of cases	杀虫剂(水平) Pesticide (level)	子集 Subset	飞防助剂(水平) Adjuvant (level)	子集 Subset	施药液量(水平) Spray volume (level)/(L/hm ²)	子集 Subset
4	12% 甲维·虫螨腈悬浮剂(2)	64.59±	无助剂(1)	67.11±	15.0 (1)	69.72±
	12% emamectin benzoate·chlorfenapyr SC (2)	3.89 a	Null (1)	3.57 a		5.07 a
4	10% 四氯虫酰胺悬浮剂(4)	70.57±	聚合物助剂(2)	68.04±	19.5 (2)	70.55±
	10% tetrachlorantraniliprole SC (4)	2.59 b	Polymer (2)	4.36 a		6.29 a
4	5% 氯虫苯甲酰胺悬浮剂(3)	72.61±	植物油助剂(3)	71.39±	24.0 (3)	71.19±
	5% chlorantraniliprole SC (3)	4.79 bc	Plant oil (3)	5.30 a		4.87 a
4	10% 甲维·茚虫威悬浮剂(1)	76.18±	有机硅助剂(4)	77.40±	30.0 (4)	72.50±
	10% emamectin benzoate·indoxacard SC (1)	5.90 cd	Organosilicon (4)	5.03 b		7.56 a

表中数据为平均数±标准差。同列数据后不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。Data in the table are mean±SD. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$).

3 讨论

本研究在水稻孕穗期使用T16植保无人机对水稻进行喷施作业,通过正交试验研究了杀虫剂、飞防助剂和施药液量的不同配伍方式对防治稻纵卷叶螟效果的影响,结果表明施药后第15天,施用10%甲维·茚虫威悬浮剂和12%甲维·虫螨腈悬浮剂的平均防效较施药后第6天略有下降,而施用5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂和10%四氯虫酰胺悬浮剂的平均防效有一定程度提升,说明与10%甲维·茚虫威悬浮

剂和12%甲维·虫螨腈悬浮剂相比,5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂和10%四氯虫酰胺悬浮剂具有更长的持效期,与季正文(2010)研究发现酰胺类杀虫剂具有持效长的特点一致。推测可能是因为氯虫苯甲酰胺与四氯虫酰胺具有一定的内吸性(吴玉娥等,2017;谭海军,2019)。此外,10%甲维·茚虫威悬浮剂和5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂对稻纵卷叶螟的防效在施药后第15天差异不显著,说明10%甲维·茚虫威悬浮剂的速效性优于5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂。

聚合物类助剂对5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂的增

效显著优于其他3种杀虫剂,植物油类助剂对12%甲维·虫螨腈悬浮剂的增效显著低于其他3种杀虫剂,有机硅类助剂对4种杀虫剂的增效均较好,说明不同类型的飞防助剂对本研究所使用的4种杀虫剂的增效亦不同,这与杀虫剂本身的理化性质及飞防助剂的特性有关(张靖,2015)。其中,有机硅类助剂对4种杀虫剂的增效显著高于聚合物类助剂和植物油类助剂。究其原因可能是有机硅类助剂具有超延展性,能显著降低药液雾滴与作物表面的接触角(Guo et al., 2020),使药液雾滴平铺在靶标表面,其润湿铺展能力是普通无硅飞防助剂的40倍以上(陈杰和何亮,2012),在难以润湿的水稻叶片上具有明显优势(Naue et al., 2018),能显著提高药液雾滴沉积量。

施药液量对防治稻纵卷叶螟的效果无显著影响,原因可能是在本研究设定的施药液量范围内(15.0~30.0 L/hm²),施药液量增加时,虽然药液雾滴密度增大且致死中浓度降低,但同时导致了药液浓度降低和致死中密度增大,在雾滴沉积率满足植保要求的条件下,杀虫剂对害虫的有效杀伤力变化不大(王国宾,2016),因此施药液量未引起杀虫剂对稻纵卷叶螟防效的显著变化。另一方面,当施药液量过高时,植保无人机的作业效率会显著下降,当施药液量过低时,形成的雾滴密度较低,防效不理想(袁会珠和王国宾,2015)。因此在进行药液配伍时,施药液量的选择应综合考虑作业效率和防效。3个因素对防治稻纵卷叶螟效果的影响顺序为杀虫剂>飞防助剂>施药液量,因此,在防治稻纵卷叶螟时可根据操作方便和经济效率等条件选取合适的施药液量水平。

参 考 文 献 (References)

- Appah S, Jia WD, Ou MX, Wang P, Asante EA. 2020. Analysis of potential impaction and phytotoxicity of surfactant-plant surface interaction in pesticide application. *Crop Protection*, 127: 104961
- Chai FK, Zhang HF, Li W, Wu HM, Wei Q. 2012. The control efficiency of the mixture of booster and abamectin on *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée. *Journal of Agricultural Catastrophology*, 2(4): 17–19 (in Chinese) [柴方堃, 张慧芳, 李雯, 武红梅, 魏卿. 2012. 不同增效剂与阿维菌素混用对稻纵卷叶螟的防治效果. *农业灾害研究*, 2(4): 17–19]
- Chen J, He L. 2012. Application of organosilicon surfactant in pesticide. *Journal of Jilin Institute of Chemical Technology*, 29(9): 29–31 (in Chinese) [陈杰, 何亮. 2012. 有机硅表面活性剂在农药中的应用. *吉林化工学院学报*, 29(9): 29–31]
- Chen SD. 2018. Research on droplet deposition mechanism and operating parameters of plant protection UAV for rice. PhD thesis. Guangzhou: South China Agricultural University (in Chinese) [陈盛德. 2018. 植保无人机在水稻喷施中的雾滴沉积机理及作业参数研究. 博士学位论文. 广州: 华南农业大学]
- Chen SD, Lan YB, Zhou ZY, Ouyang F, Wang GB, Huang XY, Deng XL, Cheng SN. 2020. Effect of droplet size parameters on droplet deposition and drift of aerial spraying by using plant protection UAV. *Agronomy*, 10(2): 195
- Chen W. 2013. The resistance monitoring of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée and its physiological and biochemical differences research in different areas of Guangxi Province. Master thesis. Nanning: Guangxi University (in Chinese) [陈伟. 2013. 广西不同地区稻纵卷叶螟抗药性监测及其生理生化差异研究. 硕士学位论文. 南宁: 广西大学]
- Chen YX, Shi X, Qin GL, Guo YW, Yan XJ, Yuan HZ. 2021. The mechanism and effect of the vegetable oil adjuvant Aero-mate 320 in improving the deposition utilization rate of pesticides applied by plant protection unmanned aerial vehicles in rice field. *Journal of Plant Protection*, 48(3): 510–517 (in Chinese) [陈奕璇, 石鑫, 覃贵亮, 郭永旺, 闫晓静, 袁会珠. 2021. 植物油助剂 Aero-mate 320 对植保无人机稻田低容量喷雾沉积利用率的提升效果及其机理分析. *植物保护学报*, 48(3): 510–517]
- Chhavi, Poonia AS, Sharma PK. 2017. Assessment of yield losses of rice caused by paddy leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée. *Agricultural Science Digest*, 37(1): 72–74
- Fu AL. 2020. The advantages, existing problems and countermeasures of plant protection drones. *Qinghai Agro-Technology Extension*, (4): 57–58 (in Chinese) [伏安良. 2020. 植保无人机的施药优势、存在问题及对策建议. *青海农技推广*, (4): 57–58]
- Gong Y, Fu XM. 2008. Airborne pesticide application technology in modern agriculture. *Agricultural Equipment & Technology*, 34(6): 26–29 (in Chinese) [龚艳, 傅锡敏. 2008. 现代农业中的航空施药技术. *农业装备技术*, 34(6): 26–29]
- Guo LX, Bai YY, Zhang DL, Wang GY. 2020. Synthesis and properties of a glucono- δ -lactone-modified silicone surfactant from high-amino-value amodimethicone. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*, 195(5): 392–398
- Guo S, Li JY, Yao WX, Zhan YL, Li YF, Shi YY. 2019. Distribution characteristics on droplet deposition of wind field vortex formed by multi-rotor UAV. *PLoS ONE*, 14(7): e0220024
- Guo W. 2010. The studies of monitoring on resistance and control of rice leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée in Hunan Province. Master thesis. Changsha: Hunan Agricultural University (in Chinese) [郭炜. 2010. 湖南省稻纵卷叶螟抗药性监测及防治研究. 硕士学位论文. 长沙: 湖南农业大学]
- Ji ZW. 2010. Evaluation of control effect of chlorantraniliprole on *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) and its influence on rice growth. Master thesis. Yangzhou: Yangzhou University (in Chinese) [季正文. 2010. 氯虫苯甲酰胺对稻纵卷叶螟防效评价及其对水稻生长发育的影响. 硕士学位论文. 扬州: 扬州大学]
- Kirkwood RC. 1999. Recent developments in our understanding of the plant cuticle as a barrier to the foliar uptake of pesticides. *Pest*

- cide Science, 55(1): 69–77
- Lan YB, Chen SD, Deng JZ, Zhou ZY, Ouyang F. 2019. Development situation and problem analysis of plant protection unmanned aerial vehicle in China. Journal of South China Agricultural University, 40(5): 217–225 (in Chinese) [兰玉彬, 陈盛德, 邓继忠, 周志艳, 欧阳帆. 2019. 中国植保无人机发展形势及问题分析. 华南农业大学学报, 40(5): 217–225]
- Liao J. 2017. Quality evaluation and parameter optimization of cotton defoliant spraying on multi-rotor electric unmanned helicopter. PhD thesis. Guangzhou: South China Agricultural University (in Chinese) [廖娟. 2017. 多旋翼电动无人直升机喷施棉花脱叶剂作业质量评价与参数优选. 博士学位论文. 广州: 华南农业大学]
- Nahiyoon SA, Cui L, Yang DB, Yan XJ, Rui CH, Yuan HZ. 2020. Bio-cidal radiuses of cycloexaprid, imidacloprid and lambda-cyhalothrin droplets controlling against cotton aphid (*Aphis gossypii*) using an unmanned aerial vehicle. Pest Management Science, 76(9): 3020–3029
- Naue JA, Policello GA, Brown WL. 2018. New organosilicon- and lecithin-based adjuvant: effect of lecithin HLB on adjuvant properties. Pesticide Formulation and Delivery Systems: 37th Volume, Formulations with Ingredients on the EPA's List of Minimal Concern. West Conshohocken: ASTM International, pp. 43–62
- Song YY, Huang GZ, Zheng L, Huang QL, Cao LD, Li FM, Zhao PY, Zhang L, Cao C. 2021. Polymer additives regulate the deposition behavior of pesticide droplets on target plants. Polymer Testing, 93: 106958
- Tan HJ. 2019. New anthranilic diamide insecticide tetrachlorantraniliprole. World Pesticides, 41(5): 60–64 (in Chinese) [谭海军. 2019. 新型邻甲酰氨基苯甲酰胺类杀虫剂四氯虫酰胺. 世界农药, 41(5): 60–64]
- Wang GB. 2016. Study on pesticide droplet size and deposition density with the control effect of wheat aphids. Master thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (in Chinese) [王国宾. 2016. 杀虫剂雾滴大小及覆盖密度与麦蚜防效关系研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院]
- Wang TF. 2012. Spray additives will become a new bright spot in pesticide application technology. Pesticide Market News, (13): 49 (in Chinese) [王腾飞. 2012. 喷雾助剂将成农药应用技术新亮点. 农药市场信息, (13): 49]
- Wu YE, Li J, Zheng KM, Wang DP, Wang XB, Zhang YP, Xue W, Hu DY. 2017. The systemic properties of chlorantraniliprole in rice plant by UPLC-HRMS. Agrochemicals, 56(3): 176–179 (in Chinese) [吴玉娥, 李静, 郑坤明, 王德飘, 王晓斌, 张钰萍, 薛伟, 胡德禹. 2017. UPLC-HRMS法探究氯虫苯甲酰胺在水稻植株中的内吸传导特性. 农药, 56(3): 176–179]
- Yang F, Zheng DB, Shi JJ, Hu G, Zhang XX, Zhai BP. 2013. Observations on migratory behavior of *Cnaphalocrocis medinalis*: when will they take-off? Chinese Journal of Applied Entomology, 50(3): 592–600 (in Chinese) [杨帆, 郑大兵, 史金剑, 胡高, 张孝羲, 翟保平. 2013. 稻纵卷叶螟的起飞日龄观测. 应用昆虫学报, 50(3): 592–600]
- Yan XJ, Chu SH, Yang DB, Yuan HZ. 2021. Agriculture on the wings of science and technology: plant protection unmanned aerial vehicle (UAV) low-volume spraying technology reduces pesticide use and boosts control efficacy. Journal of Plant Protection, 48(3): 469–476 (in Chinese) [闫晓静, 褚世海, 杨代斌, 袁会珠. 2021. 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. 植物保护学报, 48(3): 469–476]
- Yuan HZ, Chen WQ, Yang DB, Qi SH, Qin QM. 2000. Relationship between the efficacy of wheat aphids control and the omethoate concentration, droplets density. Chinese Journal of Pesticide Science, 2(1): 58–62 (in Chinese) [袁会珠, 陈万权, 杨代斌, 齐淑华, 秦庆明. 2000. 药液浓度、雾滴密度与氧化乐果防治麦蚜的关系研究. 农药学报, 2(1): 58–62]
- Yuan HZ, Wang GB. 2015. Effects of droplet size and deposition density on field efficacy of pesticides. Plant Protection, 41(6): 9–16 (in Chinese) [袁会珠, 王国宾. 2015. 雾滴大小和覆盖密度与农药防治效果的关系. 植物保护, 41(6): 9–16]
- Zhang CH, Zhang ZJ, Yao DF, Lu ZL, Li XL. 2020. Contribution of spray adjuvant to the development of aviation plant protection industry. World Pesticides, 42(1): 22–24 (in Chinese) [张春华, 张宗俭, 姚登峰, 卢忠利, 李小龙. 2020. 飞防助剂对航空植保产业发展的贡献. 世界农药, 42(1): 22–24]
- Zhang J. 2015. Research on mechanism of enhancing deposition and synergistic effect of the spray adjuvants on pesticide. Master thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University (in Chinese) [张婧. 2015. 喷雾助剂提高农药对靶沉积性能与增效作用研究. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学]
- Zhang XL. 2010. Field efficacy of two kinds of adjuvants mixed with pesticides to control *Cnaphalocrocis medinalis*. Pesticide Market News, (9): 42 (in Chinese) [张夕林. 2010. 两种助剂与农药桶混防治水稻纵卷叶螟的田间药效. 农药市场信息, (9): 42]
- Zheng QS, Cen HY, Fang H, Wu JJ, Xiao SP, He Y. 2018. Research on wettability of spraying droplet with unmanned aerial vehicle. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 44(4): 407–413 (in Chinese) [郑启帅, 岑海燕, 方慧, 吴剑坚, 肖舒裴, 何勇. 2018. 植保无人机喷施液滴润湿性探究. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 44(4): 407–413]
- Zheng XS. 2011. Determining insecticide susceptibility and laboratory screening for combined insecticide to leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée. Master thesis. Nanjing: Nanjing Agricultural University (in Chinese) [郑雪松. 2011. 稻纵卷叶螟对杀虫剂敏感性测定及防治混剂筛选. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学]
- Zhou ZL. 2018. Study on the effects of pesticide adjuvant on the evaporation, deposition and rebouncing for droplet on typical biointerface. Master thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (in Chinese) [周召路. 2018. 农药助剂调控雾滴在典型作物上的蒸发、沉积及弹跳行为研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院]

(责任编辑:李美娟)