第40卷　第3期　　植　物　保　护　学　报　　Vol. 40　No. 3
2013年　6　月　　ACTA PHYTOPHYLACICA SINICA　　June　2013

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

薛新宇　秦维彩　孙　竹　张宋超　周立新　吴　萍

（农业部南京农业机械化研究所，南京 210014）

摘要：为了阐明喷洒药械N-3型无人直升机(N-3 UAV)对稻飞虱和稻纵卷叶螟的防治效果及应用前景,进行了飞机不同作业高度和不同喷洒浓度的田间药效试验。结果表明,在水稻分蘖后期,飞机每公顷喷洒48%毒死蜱·锐劲特EC 432 g（有效成分,下同）,施药后3、5、10 d对稻飞虱的防治效果为96.93%、92.21%、88.12%,对稻纵卷叶螟的保叶效果为63.29%、54.00%、58.33%,均优于传统担架式喷雾机喷洒防治效果。在水稻孕穗期,无人机在3 m和5 m的作业高度下,每公顷喷洒25%吡蚜酮SC 75 g,施药后10 d对稻飞虱的防治效果与每公顷喷洒60 g和52.5 g时防治效果无显著差异;每公顷施用40%二嗪·辛硫磷EC 480 g和384 g防治稻纵卷叶螟,施药后10 d,3 m作业高度下的杀虫效果均达90.90%,优于5 m和7 m的杀虫效果。

关键词：无人直升机；水稻；稻飞虱；稻纵卷叶螟；防治效果

Effects of N-3 UAV spraying methods on the efficiency of insecticides against planthoppers and *Cnaphalocrocis medinalis*

Xue Xinyu　Qin Weicai　Sun Zhu　Zhang Songchao　Zhou Lixin　Wu Ping

(Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, Jiangsu Province, China)

Abstract: The efficacy and applications of N-3 unmanned aerial vehicle (UAV) were determined against rice pests in paddy field tests at different flight heights and different spraying concentrations. The result of field test showed that under a dosage of 432 g/hm^2(ai) of 48% chlorpyrifos · regent EC at late rice tillering, the efficacy of 3, 5 and 10 days after treatment with N-3 UAV spraying was as high as 96.93%, 92.21% and 88.12%, respectively in terms of rice planthoppers. On *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée, 63.29%, 54.00% and 58.33% rice leaves could be kept healthy, those are both superior to the efficacy of spraying with stretcher mounted sprayer. The N-3 UAV worked at the height of 3 and 5 meters under a dosage of 75 g/hm^2 of 25% pymetrozine SC at the rice heading stage, the efficacy of 10 days after treatment has no significantly different with a dosage of 60 g/hm^2 and 52.5 g/hm^2 of 25% pymetrozine SC. On *C. medinalis*, the efficacy of 10 days after treatment with N-3 UAV spraying at the 3 meters height was as high as 90.90% under a dosage of 480 g/hm^2 or 384 g/hm^2 of 40% diazinon · phoxim EC. It is better than the efficacy of the N-3 UAV working flight at 5 meters or 7 meters height.

Key words: unmanned aerial vehicle (UAV); rice; planthopper; *Cnaphalocrocis medinalis*; efficiency

基金项目：公益性行业(农业)科研专项(201203025)

作者简介：薛新宇,女,1969年生,研究员,研究方向为植保与环境工程技术，E-mail：735178312@qq.com

收稿日期：2012－12－11

水稻是我国的主要粮食作物,种植面积广、病虫种类多,其中稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée)和稻飞虱(planthoppers)是水稻生长后期重要害虫。稻纵卷叶螟为害水稻中部叶片,造成卷叶;稻飞虱则群集于水稻中下部刺吸植株,造成大面积“冒穿”,水稻生长后期株叶茂盛,常规喷洒,药液很难达到水稻中下部,导致其危害日趋严重甚至暴发成灾[1],严重影响水稻高产、稳产[2]。由于水田特殊的行走条件,地面行走机具无法下田作业,在防治上以担架式喷雾机常规喷洒为主,在田间作业时行走困难、劳动强度大,大容量喷洒不仅浪费农药,还对施药人员和生态环境造成严重危害[3]。而且对暴发性病虫害缺乏应急防治能力,从而延误时机,造成严重损失。

近年来,随着农用无人直升机(unmanned aerial vehicle,UAV)的出现,航空植保机械领域得到快速发展。与传统田间人工施药作业相比,无人直升机作业效率高、喷洒药液量少、劳动强度大幅降低,且机动性好、无需专用起降机场,为快速有效防控水田暴发性病虫草害和促进水稻规模化植保技术升级换代提供了作业平台[4]。但是,航空喷雾技术作为新兴技术,在农业病虫害防治中,还存在喷雾装置喷出的雾滴均匀度,以及雾滴沉积和飘失与气流场的关系等一系列问题。针对以上问题,国内外进行了一些探索[5-7]。2007 年,Kirk[8] 对航空喷雾非靶标区的雾滴沉积进行了试验,通过建立飞行速度、喷嘴大小、喷雾压力与雾滴粒径和雾滴沉积效果之间的模型研究影响航空喷雾沉积效果的重要因素。2009 年,Huang 等[9] 开发了无人机植保作业系统,并对雾滴粒径和喷雾流量进行了研究,研究表明喷雾流量与雾滴粒径密切相关,雾滴粒径的大小对雾滴的沉积分布有较大的影响。张京等[10] 用农药模拟物研究了 WPH642 型无人驾驶直升机在不同作业高度和不同飞行速度时对雾滴沉积分布的影响,结果表明施药方式对靶标区域的雾滴沉积密度有显著影响。高圆圆等[11] 研究了 Af-811 型无人机在小麦田的雾滴沉积分布及对小麦吸浆虫的防治效果,在低容量喷洒时对小麦吸浆虫的防治效果达到了 81.6%。但关于无人直升机在水稻田间的施药液量与施药方式对虫害防治效果的影响尚未见报道。为此,作者进行了 N-3 型无人直升机在不同作业高度和不同喷洒浓度条件下对水稻稻飞虱和稻纵卷叶螟的防治试验,以期为无人机田间施药作业提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

供试药剂:40%二嗪·辛硫磷(diazinon·phoxim)EC,山东绿丰农药有限公司;25% 吡蚜酮(pymetrozine)SC,山东绿霸化工股份有限公司;48% 毒死蜱·锐劲特(chlorpyrifos·regent)EC,陶氏益农上海有限公司。

作物及害虫:水稻品种武云粳 23,4 月 18 日插秧,插秧密度为 12.5 cm×15.5 cm, 每穴插 4 苗,生育期为孕穗期;武育梗三号,4 月 24 日插秧,插秧密度为 13.5 cm×16.5 cm,生育期为分蘖后期。害虫:稻飞虱和稻纵卷叶螟。

仪器:Elitech BT-2 数字温湿度表和 8901 风速测量仪,深圳市万仪通仪器仪表商行。

1.2 方法

1.2.1 试验设置

本试验在江苏省吴江市同里镇北联村和黎里镇雄峰村田内实施,田块分 12 个小区,小区形状为矩形(20 m×60 m),周围没有建筑物和树木。参考周立新等[12] 适用于 N-3 型无人直升机航空喷雾所用离心喷头的流量、雾滴体积中径等喷洒参数。喷头类型:转盘式离心式雾化喷头(农业部南京农机所);喷头个数:2 个;喷头流量:850 mL/min;雾滴体积中径:300 μm;N-3 UAV 喷幅:7 m,行驶速度:10.8 km/h;药箱容量:20 L;施药液量:15 L/hm^2。

用数字温湿度表每隔 60 s 记录 1 次离作物高 1m 和 2 m 处的空气温度、湿度,环境的平均温度 28 ℃,平均相对湿度 56%;用风速测量仪每隔 60 s 记录 1 次离作物高 1、2 m 的风速,以及 2.5 m 处的风向,测得平均风速不大于 4 m/s,符合作业条件。

1.2.2 飞机喷洒方式和施药量

N-3 型无人直升机喷幅为 6 m,沿着小区长轴方向飞行,采用全球定位系统(global position system,GPS)对每个小区进行精确定位,保证喷幅的精确对接,避免重喷和漏喷。

分蘖后期稻飞虱、稻纵卷叶螟防治试验,用 48% 毒死蜱·锐劲特 EC,剂量为每公顷用 432 g,施药液量每公顷 15 L,以担架式喷雾机常规喷洒每公顷 432 g、施药液量每公顷 750 L 为对照,并设不喷洒

农药为空白对照。飞机作业高度距离地面 5 m,小区面积为 0.06 hm^2,小区之间有隔离带,以防止雾滴飘移。于 8 月 28 日施药,施药时田间保持水层 5 cm,并保持 10 d。施药后 3、5、10 d 调查药效。

水稻孕穗期稻飞虱防治试验,用 25% 吡蚜酮 SC,剂量分别为每公顷 75、60、52.5 和 45 g (有效成分,下同),以担架式喷雾机常规喷洒每公顷75 g为对照,并设空白对照。水稻孕穗期稻纵卷叶螟防治试验,用 40% 二嗪・辛硫磷 EC,剂量分别为每公顷 480、384、336 和 288 g,施药液量每公顷 15 L,以担架式喷雾机常规喷洒每公顷 480 g、施药液量每公顷 750 L 为对照,并设空白对照。飞机作业高度距离地面 3、5、7 m,小区面积为 0.12 hm^2,共 12 个小区,每个药剂用量处理按 3、5、7 m 飞行高度各飞 1 个小区。小区之间有隔离带,以防止雾滴飘移。于 8 月 27 日施药,施药时田间保持水层 5 cm,并保持 10 d。施药后 5、10 d 调查药效。

1.2.3 调查方法

稻飞虱:每小区采用平行跳跃法调查药前虫口基数,第 2 次施药后 7 d 和 15 d 调查每个处理稻飞虱数量。调查时用 3 cm × 40 cm 白瓷盘每小区随机拍 15 盘,每盘拍 2 丛稻,每小区共查 30 丛。不区分稻飞虱种类和虫龄,计算总稻飞虱防效。稻飞虱的调查、记载参考农药田间药效试验准则[13]。根据各小区施药前和施药后调查的活虫数,计算虫口减退率和防效。虫口减退率(%)=(施药前活虫数 - 施药后活虫数)/ 施药前活虫数 ×100;校正防效(%)=(施药区虫口减退率 - 对照区虫口减退率)/(100 - 对照区虫口减退率)×100。

稻纵卷叶螟:当对照明显发病时开始调查,药后 5 d 第 1 次调查防治效果,药后 10 d 第 2 次调查防治效果。每小区随机调查 5 个点,每个点 5 穴,共 25 穴。调查、记录总叶片数和卷叶数,计算卷叶率和相对防效。调查时采下所有虫苞,带回实验室检查残留活虫数。计算虫口下降率和活虫防效。稻纵卷叶螟的调查、记载参考农药田间药效试验准则[14]。保叶效果(%)=(对照区虫苞数 - 防治区虫苞数)/对照区虫苞数 ×100;防治效果(%)=(对照区活虫数 - 施药区活虫数)/ 对照区活虫数 ×100。

1.3 数据统计分析

数据用 Microsoft Excel 2007 和 SAS 9.2 软件进行统计分析。田间试验数据以平均数 ± 标准误表示,Duncan 氏新复极差法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 分蘖后期飞机喷雾的防治效果

施药后 3、5、10 d,担架式喷雾机对稻飞虱防治效果为 82.19%、67.50%、26.65%,从施药后第 3 天到第 10 天,防治效果下降了 55%;对稻纵卷叶螟的保叶效果分别为 42.56%、44.67%、34.72%,杀虫效果从施药后第 3 天到第 10 天下降了近 30%。而N-3型无人直升机对稻飞虱防治效果分别为 96.93%、92.21%、88.12%,从施药后第 3 天到第 10 天,防治效果下降了 8%,与担架式喷雾机相比,下降幅度明显减少;对稻纵卷叶螟的保叶效果为 63.29%、54.00%、58.33%,杀虫效果在79.98% ~ 88.24%之间,防治效果、持效期和保叶效果都明显高于担架式喷雾机的施药效果(表 1 - 2)。

2.2 孕穗期飞机喷雾的防治效果

稻飞虱:担架式喷雾机每公顷喷洒25% 吡蚜酮 SC 75 g 防治稻飞虱,施药后 5 d 的杀虫效果为 76.20%;施药后 10 d 的杀虫效果为 94.80%。N-3 型无人直升机每公顷喷洒 25% 吡蚜酮 SC 75 g 防治稻飞虱,施药后 5、10 d,3 m 作业高度下的杀虫效果达 95.20%、96.60%,优于 5 m 作业高度下的杀虫效果 90.50%、89.70% 和 7 m 作业高度下的杀虫效果 83.30%、65.30%;在每公顷喷洒 60 g 和 52.5 g 时,3 m 和 7 m 作业高度下,施药后 10 d 的杀虫效果仍能达到 85% 以上;而在作业高度分别为 3、5、7 m,当每公顷喷洒 25% 吡蚜酮 SC 45 g 时,施药后 5、10 d,3 m 和 5 m 作业高度下的杀虫效果显著高于 7 m 作业高度下的杀虫效果。N-3 型无人直升机在作业高度为 3 m、每公顷用药量 45 g 时与传统担架式喷雾机施药每公顷用药量 75 g 作业相比,在施药后 10 d 的防治效果差异不明显;3 m 和 5 m 飞行高度防治效果优于 7 m 时的防治效果(表 3)。说明 N-3 型无人直升机每公顷喷洒 25% 吡蚜酮 SC 45 g,作业高度为 3 m 和 5 m 时,防治稻飞虱效果显著。

稻纵卷叶螟:N-3 型无人直升机在 3、5、7 m 不同的作业高度下喷洒 40% 二嗪・辛硫磷 EC 防治稻纵卷叶螟,每公顷喷洒登记药量 480 g 和 384 g 即登记药量减少 20% 时,施药后 5 、10 d,3 m 作业高度下的杀虫效果分别为 83.33% 和 90.90%,优于 5 m 和 7 m 的杀虫效果。在每公顷喷洒 336 g、作业高度为 3 m和5 m时,施药后10 d的防治效果相当,为 72.68%,但施药后5 d在作业高度为3m的防治效

表 1 分蘖后期 N-3 型无人直升机施药对稻飞虱的防治效果

Table 1 The control efficiency for rice planthoppers by N-3 UAV at late rice tillering

施药方式 Spray method	药剂 Insecticide	剂量(ai) Dose (g/hm^2)	基数(ind.) Base number	施药后天数 Day after treatment (d)	活虫数(ind.) Surviving insect	杀虫效果 Insecticidal effect (%)	校正防效(%) Correction control efficiency
N-3 型无人直升机 N-3 UAV	48%毒死蜱·锐劲特 EC Chlorpyrifos·regent	432	92.33	3	2.67	96.43 ± 4.57 a	96.93 ± 4.16 a
				5	4.33	94.90 ± 5.59 a	92.21 ± 8.54 a
				10	3.33	95.70 ± 3.07 a	88.12 ± 8.49 a
担架式喷雾机 Stretcher mounted sprayer	48%毒死蜱·锐劲特 EC Chlorpyrifos·regent	432	83.67	3	16.00	80.43 ± 4.39 b	82.19 ± 3.99 b
				5	17.67	78.71 ± 1.65 b	67.50 ± 2.52 c
				10	21.67	73.82 ± 2.79 c	26.65 ± 7.71 d
空白对照 CK	—	—	97.67	3	107.30	0.00 ± 0.00 d	0.00 ± 0.00 e
				5	64.00	0.00 ± 0.00 d	0.00 ± 0.00 e
				10	35.33	0.00 ± 0.00 d	0.00 ± 0.00 e

注:活虫数为 25 穴水稻叶片上的平均数量。表中数据为平均数 ± 标准误。同列数据后不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Note: Surviving insects were averagely counted from the leaves of 25 hills. The data in the table are mean ± SD. Different small letters in the same column are significantly different among different treatments at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

表 2 分蘖后期 N-3 型无人直升机施药对稻纵卷叶螟的防治效果

Table 2 The control efficiency for *Cnaphalocrocis medinalis* by N-3 UAV at late rice tillering

施药方式 Spray method	药剂 Insecticide	剂量(ai) Dose (g/hm^2)	施药后天数 Day after treatment (d)	虫苞数 Insect bract number	活虫数(ind.) Surviving insect	杀虫效果(%) Insecticidal effect	保叶效果(%) Leaf protection rate
N-3 型无人直升机 N-3 UAV	48%毒死蜱·锐劲特 EC Chlorpyrifos·regent	432	3	25.50	1.00	86.36 ± 13.64 a	63.29 ± 9.96 a
			5	23.00	0.67	88.24 ± 10.18 a	54.00 ± 5.29 a
			10	20.00	0.67	79.98 ± 17.34 b	58.33 ± 9.55 a
担架式喷雾机 Stretcher mounted sprayer	48%毒死蜱·锐劲特 EC Chlorpyrifos·regent	432	3	36.00	3.00	59.07 ± 13.64 c	42.56 ± 1.59 b
			5	27.67	2.67	52.97 ± 10.18 c	44.67 ± 6.43 b
			10	31.00	2.33	29.93 ± 17.34 d	34.72 ± 1.20 c
空白对照 CK	—	—	3	62.67	7.33	0.00 ± 0.00 e	0.00 ± 0.00 d
			5	50.00	5.67	0.00 ± 0.00 e	0.00 ± 0.00 d
			10	48.00	3.33	0.00 ± 0.00 e	0.00 ± 0.00 d

注:虫苞数、活虫数为 25 穴水稻叶片上的平均数量。表中数据为平均数 ± 标准误。同列数据后不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Note: Insect bract number and surviving insects were averagely counted from the leaves of 25 hills. The data in the table are mean ± SD. Different small letters in the same column are significantly different among different treatments at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

果明显优于 5 m 的防治效果。担架式喷雾机每公顷喷洒40%二嗪·辛硫磷 EC 480 g 防治稻纵卷叶螟,施药后 5、10 d 的防治效果分别为 50.00% 和 63.60%,与 N-3 型无人直升机每公顷喷洒 288 g、作业高度为 5 m 时的防治效果相当,比 N-3 型无人直升机每公顷喷洒 480 g、作业高度为 3 m 时的防治效果低近 30%(表 4)。从表 4 可看出,飞机施药作业防治效果优于传统担架式喷雾机喷洒作业;作业高度为 3 m 时的防治效果优于 5 m 和 7 m;每公顷用药 288、336、384 g,作业高度为 3 m 时的防治效果均优于传统担架式喷雾机每公顷用药 480 g 的防治效果,其中 N-3 型无人直升机每公顷喷洒 40% 二嗪·辛硫磷 EC 384 g 时防治稻纵卷叶螟效果最优。

3 讨论

本试验在水稻分蘖后期、孕穗期对稻飞虱和稻纵卷叶螟的防治中初次应用 N-3 型农用无人直升机进行低空低量高浓度喷洒。试验中选择在相同作业条件下,对担架式喷雾机施药和不同的作业高度下的航空施药防治效果进行分析。结果显示:水稻分

表 3　孕穗期 N-3 型无人直升机不同作业高度下施药对稻飞虱的防治效果

Table 3　The control efficiency for rice planthoppers by N-3 UAV in different flight heights at the rice heading stage

施药方式 Spray method	药剂 Insecticide	作业高度 Flight height (m)	剂量 Dose (ai) (g/hm^2)	活虫数(ind.) Surviving insect		杀虫效果(%) Insecticidal effect	
				5 d	10 d	5 d	10 d
N-3 型无人直升机 N-3 UAV	25%吡蚜酮 SC Pymetrozine	3	75.0	7.50	5.70	95.20 ± 3.20 a	96.60 ± 1.70 a
			60.0	27.70	25.30	82.40 ± 1.80 b	84.80 ± 1.80 b
			52.5	16.30	23.00	89.50 ± 1.00 a	86.20 ± 1.50 b
			45.0	23.30	11.50	85.70 ± 1.60 b	93.10 ± 1.90 a
		5	75.0	14.80	17.20	90.50 ± 1.70 a	89.70 ± 1.90 a
			60.0	14.80	40.20	90.50 ± 2.10 a	75.90 ± 2.80 c
			52.5	21.50	23.50	86.20 ± 2.00 b	85.90 ± 3.10 b
			45.0	16.30	7.70	89.50 ± 2.60 a	95.40 ± 2.20 a
		7	75.0	26.00	57.90	83.30 ± 2.80 b	65.30 ± 1.40 c
			60.0	14.80	17.20	90.50 ± 3.40 a	89.70 ± 2.60 a
			52.5	40.70	24.20	73.80 ± 3.20 c	85.50 ± 2.70 a
			45.0	33.20	33.20	78.60 ± 3.50 bc	78.60 ± 1.30 b
担架式喷雾机 Stretcher power sprayer		—	75.0	37.00	9.00	76.20 ± 2.80 b	94.80 ± 1.70 a
空白对照 CK		—	0.0	157.00	215.00	0.00 ± 0.00 d	0.00 ± 0.00 d

注:活虫数为 100 穴水稻叶片上的平均数量。表中数据为平均数 ± 标准误。同列数据后不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Note: Surviving insects were averagely counted from the leaves of 100 hills. The data in the table are mean ± SD. Different small letters in the same column are significantly different among different treatments at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

表 4　孕穗期 N-3 型无人直升机不同作业高度下施药对稻纵卷叶螟的防治效果

Table 4　The control efficiency for *Cnaphalocrocis medinalis* by N-3 UAV in different flight heights at the rice heading stage

施药方式 Spray method	药剂 Insecticide	作业高度 Flight height (m)	剂量 Dose (ai) (g/hm^2)	活虫数(ind.) Surviving insect		杀虫效果(%) Insecticidal effect	
				5 d	10 d	5 d	10 d
N-3 型无人直升机 N-3 UAV	40%二嗪·辛硫磷 EC Diazinon·phoxim	3	480	2.20	2.20	83.33 ± 0.57 a	90.90 ± 0.57 a
			384	2.20	2.20	83.33 ± 0.57 a	90.90 ± 0.57 a
			336	2.20	6.70	83.33 ± 0.57 a	72.68 ± 0.67 b
			288	2.20	6.70	83.33 ± 0.57 a	72.68 ± 0.67 b
		5	480	4.40	6.70	66.68 ± 0.60 a	72.68 ± 0.67 a
			384	4.40	6.70	66.68 ± 0.60 a	72.68 ± 0.67 a
			336	6.70	6.70	50.00 ± 1.00 b	72.68 ± 0.67 a
			288	4.40	8.90	66.68 ± 0.60 a	63.68 ± 0.58 b
		7	480	6.70	6.70	50.00 ± 1.00 b	72.68 ± 0.67 b
			384	4.40	6.70	66.68 ± 0.60 a	72.68 ± 0.67 b
			336	4.40	4.40	66.68 ± 0.60 a	81.80 ± 0.58 a
			288	4.40	6.70	66.68 ± 0.60 a	72.68 ± 0.58 b
担架式喷雾机 Stretcher power sprayer		—	480	6.70	8.90	50.00 ± 1.10 b	63.60 ± 0.58 b
空白对照 CK		—	0	13.30	24.40	0.00 ± 0.00 c	0.00 ± 0.00 c

注:活虫数为 100 穴水稻叶片上的平均数量。表中数据为平均数 ± 标准误。同列数据后不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Note: Surviving insects were averagely counted from the leaves of 100 hills. The data in the table are mean ± SD. Different small letters in the same column are significantly different among different treatments at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

蘖后期飞机喷雾防治稻飞虱、稻纵卷叶螟的杀虫、保叶效果均优于常规喷药，特别是 10 d 后防治效果尤为显著；在水稻孕穗期飞机喷雾防治稻飞虱，施药后 5 d的杀虫效果优于常规喷洒；施药后10 d的杀虫效果与常规喷洒相比差异不明显；飞机喷雾防治稻纵卷叶螟的效果均优于传统施药作业。不同剂量的处理对病虫害的防治虽有一定的差异，但在每公顷用药量比常规用药量减少 20% 时也能有较好的防效，说明低容量、高浓度的航空施药作业，增加了药液在水稻上的沉积，减少了农药在非靶标区的流失，与傅锡敏等[15]的 3WKY-40 型高效宽幅远射程喷雾机施药液量为 442.2 ~ 582.8 L/hm^2 相比，对于农药减量具有积极意义。飞机作业高度对稻飞虱和稻纵卷叶螟防治效果的影响显示，3 m > 5 m > 7 m，在同一飞行作业高度，施药量与防治效果成正比，但从节约农药与药效的角度出发，作业高度 3 ~ 5 m 时，防治效果最好。3 m 作业高度时，施药效果较好，说明 N-3 型无人直升机在超低量喷洒时，形成的小雾滴具有水平方向分速度大、弥漫性能好的特点，螺旋桨产生的下旋气流使雾滴更具穿透性。而 7 m 作业高度，下旋气流对雾滴的作用减弱，侧风对雾滴的作用相对增强，导致雾滴飘失增多，防治效果相对较差。综上所述，基于 GPS 的 N-3 型无人直升机采用低空、低量、高浓度喷洒技术，具有较强的雾滴穿透性，提高了在水稻生长中后期对水稻中、下部病虫害的防治效果，基本上解决了水稻中下部病虫害的防治问题，有效地提高了航空植保作业质量。

小型无人机施药效率高、效果好、不损伤作物和劳动强度低，是一种重要且及时有效的施药机具，但是利用无人机开展农药喷洒作业的研究在国内还处在探索阶段，我国航空喷洒设备的性能相比于日本、美国还有一定的差距，无论是雾化系统还是专用于航空喷洒的药剂剂型，都还需要进一步优化。

参 考 文 献(References)

[1] 盛承发，宣维健，焦晓国，等. 我国稻螟暴发成灾的原因、趋势及对策. 自然灾害学报，2002，11(3)：103 - 108

[2] 王艳青. 近年来中国水稻病虫害发生及趋势分析. 中国农学通报，2006，22(2)：343 - 343

[3] 华小梅，江希流. 我国农药环境污染与危害的特点及控制对策. 环境科学研究，2000，13(3)：40 - 43

[4] 薛新宇，梁建，傅锡敏. 我国航空植保技术的发展前景. 中国农机化，2008(5)：72 - 74

[5] Richardson B, Thistle H W. Measured and predicted aerial spray interception by a young *Pinus radiata* canopy. Transactions of the ASABE, 2006, 49(1): 15 - 23

[6] 薛新宇，兰玉彬. 美国农业航空技术现状和发展趋势分析. 农业机械学报，2013，44(5)：194 - 199

[7] Tsai M Y, Elgethun K, Ramaprasad J, et al. The Washington aerial spray drift study: Modeling pesticide spray drift deposition from an aerial application. Atmospheric Environment, 2005, 39: 6194 - 6203

[8] Kirk I W. Measurement and prediction of atomization parameters from fixed-wing aircraft spray nozzles. Transactions of the ASABE, 2007, 50(3): 693 - 703

[9] Huang Y, Hoffmann W C, Lan Y, et al. Development of a spray system for an unmanned aerial vehicle platform. Applied Engineering in Agriculture, 2009, 25(6): 803 - 809

[10] 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. 农业机械学报，2012，43(12)：94 - 96

[11] 高圆圆，张玉涛，张宁，等. 小型无人机低空喷洒在小麦田的雾滴沉积分布及对小麦吸浆虫的防治效果初探. 作物杂志，2013(2)：139 - 142

[12] 周立新，薛新宇，孙竹. 航空喷雾用电动离心喷头试验研究. 中国农机化，2011(1)：107 - 111

[13] 中华人民共和国农业部农药检定所. GB/T 17980.4-2000 农药田间药效试验准则(一)杀虫剂防治水稻飞虱. 北京：中国标准出版社，2000

[14] 中华人民共和国农业部农药检定所. GB/T 17980.2-2000 农药田间药效试验准则(一)杀虫剂防治稻纵卷叶螟. 北京：中国标准出版社，2000

[15] 傅锡敏，吴萍，龚艳，等. 高效宽幅远射程机动喷雾机稻后期防治药液沉积分布试验研究. 农业装备技术，2005，31(3)：15 - 17

(责任编辑：谢小帆)