

喷头和施药液量对水稻植株上农药沉积和药剂防治效果的影响

徐德进^{1,2} 徐广春¹ 许小龙¹ 徐 鹿¹ 顾中言^{1*} 邱白晶²

(1. 江苏省农业科学院植物保护研究所, 南京 210014; 2. 江苏大学,
现代农业装备与技术教育部重点实验室, 镇江 212013)

摘要:为明确喷头及施药液量对水稻植株上农药沉积及药剂防治效果的影响,采用丽春红-G示踪法测定了4种喷头ST11001、ST11002、TR8001、TR8002在不同施药液量条件下喷雾农药在水稻植株上的沉积分布特性,并比较了4种喷头施用相同剂量的40%氯虫苯甲酰胺·噻虫嗪WDG对水稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 和褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 的防治效果。结果表明,选择ST11002和TR8001喷头,在施药液量300 L/hm²条件下喷雾,单株水稻上的丽春红-G沉积量分别达到27.55 μg和28.16 μg;选择ST11001和TR8002喷头,在施药液量900 L/hm²条件下喷雾,单株水稻上的丽春红-G沉积量仅分别为12.27 μg和14.86 μg。喷头和施药液量的改变不影响水稻植株上农药沉积分布特性,均为上层沉积量>中层沉积量>下层沉积量。当施药液量从300 L/hm²增加到900 L/hm²,4种喷头ST11001、ST11002、TR8001、TR8002喷雾在水稻基部的雾滴密度分别增加了8.21、8.54、7.79和9.69倍;但在相同施药液量下,4种喷头在水稻基部的雾滴密度没有显著差异。同一剂量下,喷头和施药液量不同组合的防治效果间差异显著。表明针对稻田不同防治对象,选择合适的喷头及施药液量将有助于提高农药沉积及防治效果。

关键词: 喷头; 施药液量; 沉积; 雾滴密度; 防治效果

Influence of spray nozzle and spray volume on pesticide deposition and control effect in rice

Xu Dejin^{1,2} Xu Guangchun¹ Xu Xiaolong¹ Xu Lu¹ Gu Zhongyan^{1*} Qiu Baijing²

(1. Institute of Plant Protection, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, Jiangsu Province, China;
2. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education; Jiangsu University,
Zhenjiang 212013, Jiangsu Province, China)

Abstract: In order to clarify the influence of the spray nozzle and spray volume affect the deposition of pesticides and the biological effects of pesticides on rice plants, trace method was used. Four types of spray nozzles, ST11001, ST11002, TR8001 and TR8002, were compared. The control efficiency against *Cnaphalocrocis medinalis* and *Nilaparvata lugens* were compared by spraying the same dose 40% chlorantraniliprole·thiamethoxam WDG with four spray nozzles. The results showed that the deposition of ponceau-G on a single rice plant reached 27.55 μg and 28.16 μg respectively with ST11002 and TR8001 spray nozzles spraying at 300 L/hm² with the same amount of ponceau-G. The depositions of ponceau-G on a single rice plant were 12.27 μg and 14.86 μg respectively with ST11001 and TR8002

基金项目: 国家自然科学基金(31401786), 国家重点研发计划(2017YFD0200305), 江苏大学江苏省现代农业装备与技术重点实验室开放基金(NZ201302)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: guzy@jaas.ac.cn

收稿日期: 2017-12-29

spray nozzles spraying at 900 L/hm². The change of spray nozzles and spray volume did not affect the trend of pesticide deposition on rice plants, namely, upper layer>middle layer>lower layer. There was no significant difference in droplet density at the base of the rice by four spray nozzles with the same spray volume. If the spray volume increased from 300 L/hm² to 900 L/hm², the droplet density at the base of the rice by four spray nozzles increased 8.21, 8.54, 7.79 and 9.69 times respectively. Under the same dose condition, there was a significant difference of the control effect with the different combinations of the spray nozzles and spray volumes. The results indicated that in the control of different rice pests and diseases, choosing suitable spray nozzles and using proper spray volume would contribute to better pesticide deposition and control effects.

Key words: spray nozzle; spray volume; deposition; droplet density; control effect

水稻是中国3大主粮作物之一,全国60%以上的人口以稻米为主食,目前水稻仍是所有粮食作物中病虫害发生最严重的主粮作物,通过防治挽回比例占挽回总粮食比例的55.18%,但病虫害造成的损失仍占水稻产量的33.67%(刘万才等,2016)。应用化学农药是防治水稻病虫害的主要手段,但因为施药技术落后,农户单季水稻自防自治的次数可达7~8次,即使统防统治次数也常在5次左右,部分地区农药用量超过19.46 kg/hm²,造成了严重的资源浪费和环境污染风险(蔡书凯和李靖,2011;韩洪云和蔡书凯,2011;应瑞瑶和徐斌,2017)。

随着农村劳动力的大量转移及家庭农场、新型农业经济主体和种植大户越来越多,传统的一种植保机械一种喷头“包治百病”已经不符合现代农业的发展趋势。作业效率高、适用范围广、节水节药、用工少的大中型植保机械正快速发展。喷头是植保机械和喷雾系统中的基础部件,其性能的优劣直接影响喷雾质量及药剂防治效果(樊荣等,2014)。目前,针对喷头喷雾的研究主要集中在提高喷雾压力、调整喷头安装偏转角、对雾滴施加静电、改变喷头作业高度及安装间距等方面(徐亚辉等,2018)。喷头类型是影响雾化性能、药液沉积及雾滴漂移的主要因素(Heidary et al., 2014)。秦维彩等(2016)在相同施药液量条件下比较了不同型号扇形喷头喷雾在黄瓜叶片上的农药沉积量,发现F110015喷头喷雾的沉积量最高;Foqué & Nuyttens(2010)研究显示,4种喷头TXA8003、ID9002、TVI8002和XR8003喷雾盆栽常春藤,发现不同部位叶片正反面的沉积量有显著差异;杨希娃等(2012)从沉积量、覆盖率、地面损失和防治效果4个方面比较了德国Lechler公司生产的LU12002、AD12002及IDK12002喷头对麦田农药沉积和麦蚜防效的影响,发现AD型喷头显著优于其它喷头;Kaminski & Fidanza(2009)研究了5种

喷头TTJ1104、AI11004、TT11003、XR11004、XR11003对百菌清和丙环唑防治草坪币斑病效果的影响,发现药剂作用方式和喷头之间存在显著互作效应。

水稻病虫害防治正由传统背负式喷雾器向现代植保机械如自走式喷杆喷雾机及植保无人机发展。关于稻田不同作业机械的防治效果及农药雾滴沉积分布特性等已开展了大量验证性研究(唐会联等, 2000;唐涛等,2010;周奋启等,2017)。本研究选择4种不同流量的扇形喷头ST11001、ST11002和圆锥形喷头TR8001、TR8002,通过室内喷雾模拟,测定不同施药液量条件下喷头对水稻植株上农药分布沉积特性及水稻基部雾滴密度的影响,并以兼治水稻冠层及基部害虫的氯虫苯甲酰胺·噻虫嗪为供试药剂,探讨喷头及施药液量与药剂防治效果的关系,以期建立稻田农药减施增效技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试水稻及昆虫:水稻品种为南粳11,正常育秧移栽于内径25 cm、高40 cm的塑料钵中,每钵3穴,每穴栽插2株稻苗,培育至分蘖期进行试验。水稻褐飞虱*Nilaparvata lugens*为2016年10月采自南京市高淳区稻田的田间种群,室内用南粳11水稻苗饲养,饲养条件为温度28±1℃、光照时间14 h、光照强度>3 000 lx、相对湿度75%。试验前用无虫无卵的新鲜稻苗供褐飞虱成虫产卵,产卵48 h后移去成虫,根据试验要求选择合适虫龄的褐飞虱若虫。稻纵卷叶螟*Cnaphalocrocis medinalis*为2017年7月采自江苏省农业科学院溧水植物科学基地水稻田的田间种群,选择成虫供试。

试剂及仪器:40%氯虫苯甲酰胺·噻虫嗪(chlorantraniliprole·thiamethoxam)WDG,先正达(苏州)作物保护有限公司;指示剂丽春红-G(pon-

ceau-G),北京恒业中远化工有限公司;水敏纸,北京蕾茜纳环保技术发展有限公司。UV-9100紫外可见分光光度计,北京瑞利分析仪器厂;HP G4050型扫描仪,美国惠普公司;3WP-2000型行走式喷雾塔,农业部南京机械化研究所;扇形雾喷头 ST11001、ST11002 和圆锥雾喷头 TR8001、TR8002,北京蕾茜纳环保技术发展有限公司。

1.2 方法

1.2.1 行走式喷雾塔喷雾参数的确定

4 种喷头 ST11001、ST11002、TR8001、TR8002

在 0.2 MPa 喷雾压力下的流量分别为 0.32、0.65、0.32、0.65 L/min,对应的雾滴粒径 Dv_{50} 分别为 153.50、170.81、159.70 和 184.25 μm 。试验设计 3 个施药液量 300、600、900 L/hm²。喷幅和行走距离分别设置为 40 cm 和 120 cm。根据公式确定不同喷头模拟不同施药液量喷雾塔喷雾罐中的加液量及喷雾塔控制系统的对应喷雾时间、行走速度和转速(表 1)。每公顷施药液量=(喷雾罐加液量×10 000)/(喷幅×行走距离);机器转速=(行走距离×喷头流量×1 000)/(喷雾罐加液量×0.09)。

表 1 行走式喷雾塔内模拟不同施药液量参数设置

Table 1 Parameter settings of different spray volumes in the walking spray tower

喷头 Spray nozzle	流量 Flow rate (L/min)	施药液量 Spray volume (L/hm ²)	喷雾罐加液量 Add volume of spray tank (mL)	对应喷雾时间 Corresponding spray time (s)	行走速度 Rate of travel (m/s)	转速 Rotational speed (r/min)
ST11001	0.32	300	14.40	2.70	0.44	296
	0.32	600	28.80	5.40	0.22	148
	0.32	900	43.20	8.10	0.15	99
ST11002	0.65	300	14.40	1.33	0.90	602
	0.65	600	28.80	2.66	0.45	301
	0.65	900	43.20	3.99	0.30	201
TR8001	0.32	300	14.40	2.70	0.44	296
	0.32	600	28.80	5.40	0.22	148
	0.32	900	43.20	8.10	0.15	99
TR8002	0.65	300	14.40	1.33	0.90	602
	0.65	600	28.80	2.66	0.45	301
	0.65	900	43.20	3.99	0.30	201

1.2.2 水稻植株上农药沉积量的测定

以生物染料丽春红-G作为农药示踪剂,将水稻植株上丽春红-G的洗脱量作为农药沉积量。首先制定丽春红-G的标准曲线,称取丽春红-G 100 mg,用蒸馏水将其溶解并定容至 10 mL,配成质量浓度为 1 g/L 的母液。分别用移液枪移取一定量母液配制成系列质量浓度为 1 000.00、500.00、250.00、125.00、62.50、31.25、15.63、7.81、3.91 mg/L 的丽春红-G 水溶液。然后利用 UV-9100 紫外可见分光光度计,在 510 nm 处测定各溶液吸光度值,绘制丽春红-G 质量浓度与吸光度的标准曲线。

确定行走式喷雾塔喷雾压力为 0.2 MPa,分别采用 4 种喷头 ST11001、ST11002、TR8001、TR8002 在 3 个设计施药液量条件下完成喷雾作业,共 12 个处理,每个处理取 4 盆分蘖期水稻植株,放置于喷雾塔内喷头行进路线上。喷雾塔喷雾罐内按 1.2.1 确定的体积加入浓度为 2 g/L 的丽春红-G 溶液。为保证喷幅为 40 cm,经预试验测试,ST11001、ST11002 喷头喷雾高度为 94 cm,TR8001、TR8002 喷头喷雾高度为 104 cm,此时喷头相对于水稻冠层的高度分

别约为 14 cm 和 24 cm。喷雾完成后每盆水稻随机选择 4 株水稻单株,每株水稻自上而下均分为 3 段,分别代表水稻上层、中层、下层。剪好后的水稻植株分别用 100 mL 去离子水洗脱丽春红-G,将洗脱液在 510 nm 处测定吸光度值,计算农药沉积量。

1.2.3 水稻基部农药雾滴的收集及密度分析

利用自制的农药雾滴收集装置,并参考董玉轩等(2012)的方法收集不同喷雾条件下的雾滴。首先将 76 mm×26 mm 的水敏纸粘贴在载玻片上,将载玻片插入收集架,放置于距离盆栽水稻植株基部 20 cm 处收集农药雾滴。试验处理与农药沉积量试验相同。喷雾完成后将收集的载玻片放置到盛有硅胶颗粒的载玻片盒中密封保存,待雾滴固定后,扫描输入电脑。用 DepositScan 软件进行雾滴密度分析。

1.2.4 药剂防治效果的测定

以 40% 氯虫苯甲酰胺·噻虫嗪 WDG 为供试药剂分析喷头和施药液量对药剂防治效果的影响。试验设 12 个处理,供试药剂制剂用量固定为 75 g/hm²,分别采用 4 种喷头 ST11001、ST11002、TR8001、TR8002 在模拟施药液量分别为 300、600、900 L/hm²

条件下喷雾防治水稻纵卷叶螟和褐飞虱。防治稻纵卷叶螟试验参考徐德进等(2012)方法,预先在盆栽水稻植株上接入稻纵卷叶螟成虫,每盆水稻植株接入配对雌雄成虫10对,待虫卵发黑孵化时进行喷雾防治试验,喷雾后10 d调查保叶效果。保叶效果=(对照组卷叶率-处理组卷叶率)/对照组卷叶率 $\times$ 100%。防治褐飞虱试验方法是在试验前1 d每盆水稻植株上接入200~300头3日龄的水稻褐飞虱若虫,喷雾试验前调查褐飞虱基数,喷雾后7 d调查统计存活褐飞虱,并计算各处理的死亡率及防治效果。防治效果=(对照组死亡率-处理组死亡率)/对照组死亡率 $\times$ 100%。

1.3 数据分析

采用DPS 16.05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 丽春红-G标准曲线的绘制

以丽春红-G溶液的质量浓度为横坐标,以不同

浓度丽春红-G溶液在510 nm处吸光度值为纵坐标绘制标准曲线,获得线性回归方程为 $y=2.6615x-0.0452$,相关系数 R^2 为0.9992,表明丽春红-G溶液浓度与吸光度值之间具有良好的线性关系。

2.2 喷头和施药液量对农药沉积及分布的影响

施药液量为300 L/hm²时,采用ST11002和TR8001喷头喷雾,单株水稻植株上的丽春红-G总沉积量分别为27.55 μ g和28.16 μ g,显著高于ST11001和TR8002喷头处理。施药液量为600 L/hm²时,采用TR8001喷头喷雾,单株水稻植株上的丽春红-G总沉积量为22.62 μ g,显著高于其它3种喷头。施药液量为900 L/hm²时,采用ST11002和TR8001喷头喷雾,单株水稻植株上的丽春红-G总沉积量分别为17.44 μ g和20.47 μ g,显著高于ST11001和TR8002喷头处理的12.27 μ g和14.86 μ g(图1)。比较所有施药液量条件下各种喷头喷雾沉积量结果,发现ST11002和TR8001喷头在300 L/hm²施药液量条件下喷雾,水稻植株上的丽春红-G沉积量显著高于其它喷头和施药液量组合。

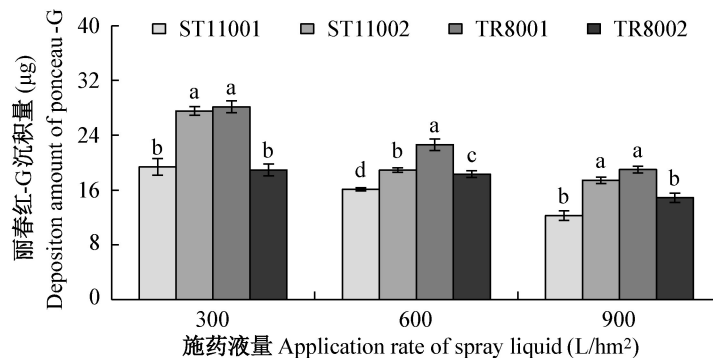


图1 不同施药液量条件下4种喷头喷雾丽春红-G在水稻植株上的总沉积量

Fig. 1 The total deposition weight of ponceau-G on the rice plants of the four spray nozzles under different spray volume

图中数据为平均数 $\pm$ 标准误。同一施药液量条件下不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean $\pm$ SE. Different letters in the same spray volume indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

施药液量为300、600、900 L/hm²时,采用ST11001、ST11002、TR8001、TR8002喷头喷雾,丽春红-G在水稻植株上层的沉积量均显著高于中层和下层。施药液量为300 L/hm²时,中层的沉积量大于下层,但差异不明显,当施药液量增加到600 L/hm²时,除TR8002喷头外,其余3种喷头喷雾处理的中层沉积量显著大于下层,当施药液量为900 L/hm²,4种喷头喷雾处理中,中层沉积量均显著高于下层(表2)。

2.3 喷头和施药液量对水稻基部雾滴密度的影响

试验得到4种喷头ST11001、ST11002、TR8001、TR8002在300、600、900 L/hm²施药液量时喷雾距离

水稻植株基部30 cm处的雾滴密度图,发现施药液量为900 L/hm²时的蓝色斑点明显多于施药液量为300 L/hm²和600 L/hm²时(图2)。当施药液量为300 L/hm²时4种喷头在水稻基部的雾滴密度均低于8.48个/cm²;施药液量增加到600 L/hm²时,TR8001喷头喷雾水稻基部的雾滴密度数量显著增加,达到35.28个/cm²;施药液量增加到900 L/hm²时,4种喷头喷雾水稻基部的雾滴密度均显著增加,与300 L/hm²时相比,ST11001、ST11002、TR8001、TR8002喷头的喷雾雾滴密度分别增加了8.21、8.54、7.79和9.69倍(表3)。

表2 施药液量和喷头对丽春红-G在水稻层间分布的影响

Table 2 The effect of spray volume and spray nozzle on the distribution of ponceau-G in rice different rice layers

施药液量 Spray volume (L/hm ²)	喷头 Sprayer	沉积量 Deposition weight of ponceau-G (μg)		
		上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Base layer
300	ST11001	11.07±1.18 a	4.68±0.41 b	3.62±0.32 b
	ST11002	14.12±0.61 a	7.39±0.75 b	6.05±0.39 b
	TR8001	14.92±1.30 a	8.24±0.82 b	5.01±0.81 b
	TR8002	9.48±0.86 a	6.23±0.73 b	3.22±0.31 c
600	ST11001	7.72±0.22 a	5.11±0.33 b	3.28±0.09 c
	ST11002	9.16±0.22 a	6.71±0.58 b	4.46±0.21 c
	TR8001	10.46±0.58 a	7.34±0.48 b	4.82±0.17 c
	TR8002	9.55±0.41 a	5.08±0.47 b	3.68±0.31 b
900	ST11001	6.40±1.21 a	3.59±0.25 b	2.28±0.69 c
	ST11002	8.99±0.62 a	5.28±0.33 b	3.17±0.48 c
	TR8001	9.36±0.87 a	6.29±0.84 b	3.33±0.51 c
	TR8002	7.15±0.87 a	5.08±0.50 b	2.64±0.69 c

表中数据为平均数±标准误。同行不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same row indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan’s new multiple range test.

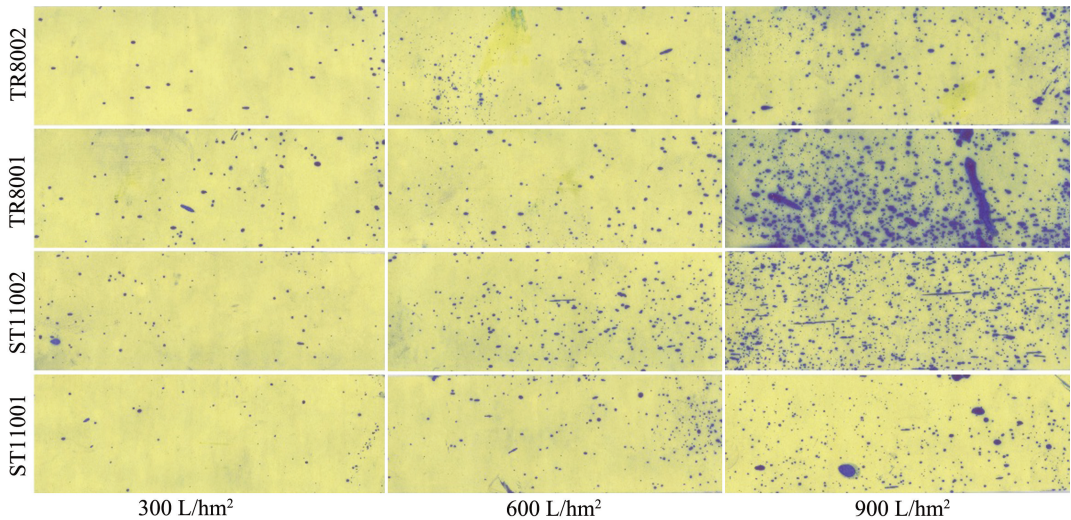


图2 4种喷头在3个施药液量条件下喷雾水稻基部的雾滴密度图

Fig. 2 Droplet density map in rice base space of four spray nozzles under three spray volumes

表3 施药液量和喷头对水稻基部雾滴密度的影响

Table 3 The effect of spray nozzle and spray volume on the droplet density in rice base space

施药液量 Spray volume (L/hm ²)	喷头 Spray nozzle	雾滴密度 Droplet density (droplet/cm ²)
300	ST11001	6.70±1.01 e
	ST11002	7.73±1.35 e
	TR8001	8.48±0.83 e
	TR8002	4.53±1.02 e
600	ST11001	15.25±6.91 de
	ST11002	22.45±3.11 cde
	TR8001	35.28±11.42 bcd
	TR8002	29.33±5.78 bcde
900	ST11001	55.00±11.20 ab
	ST11002	66.05±11.34 a
	TR8001	66.03±12.91 a
	TR8002	43.90±13.18 abc

表中数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan’s new multiple range test.

2.4 喷头和施药液量对药剂防治效果的影响

40% 氯虫苯甲酰胺·噻虫嗪 WDG 使用剂量固定为 75 g/hm², 用 4 种喷头在不同施药液量条件下喷雾防治稻纵卷叶螟和褐飞虱, 其中 ST11002、TR8001、TR8002 喷头喷雾防治水稻褐飞虱时, 3 个施药液量 9 个处理间的防治效果没有显著差异, 均高于 66.81%。ST11001 喷头在施药液量 300 L/hm²

时对褐飞虱的防治效果仅为 54.56%, 显著低于其余所有处理。4 种喷头 ST11001、ST11002、TR8001、TR8002 在施药液量 300、600 L/hm² 时喷雾防治稻纵卷叶螟, 防治效果均可达到 94.66% 以上; 但在施药液量为 900 L/hm² 时对稻纵卷叶螟的防治效果下降, 其中 ST11001 喷头喷雾处理的防治效果仅为 80.35%, 显著低于所有 300、600 L/hm² 处理(表 4)。

表 4 40% 氯虫苯甲酰胺·噻虫嗪 WDG (75 g/hm²) 对褐飞虱和稻纵卷叶螟的防治效果

Table 4 The control effect of 40% chlorantraniliprole·thiamethoxam WDG at 75 g/hm² on rice plant hopper and leaf roller

喷头 Sprayer	施药液量 (L/hm ²) Spray volume	药后 7 d 对褐飞虱的防治效果 (%) Control effect on rice plant hopper after 7 d	药后 10 d 对稻纵卷叶螟的防治效果 (%) Control effect on rice leaf roller after 10 d
ST11001	300	54.56±6.61 b	97.88±1.35 a
	600	71.83±4.70 a	95.98±1.62 ab
	900	71.79±1.82 a	80.35±6.62 c
ST11002	300	67.94±4.60 ab	95.21±1.81 ab
	600	73.84±1.34 a	95.82±2.66 ab
	900	72.88±2.48 a	86.44±3.51 bc
TR8001	300	70.08±1.42 a	94.66±2.58 ab
	600	75.48±3.41 a	94.86±2.60 ab
	900	76.93±4.34 a	87.44±2.14 bc
TR8002	300	66.81±6.80 ab	95.78±1.93 ab
	600	71.93±8.73 a	95.63±1.57 ab
	900	70.34±4.26 a	84.90±6.22 c

表中数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

3 讨论

雾滴沉积量、雾滴沉积率及沉积分布变异系数是衡量喷雾效果的主要指标(Heidary et al., 2014; 邱威等, 2015)。喷头性能的优劣对药液雾化及雾滴输运沉积有显著效应(王潇楠等, 2015)。喷头的合理选择主要依据 4 个因素, 即施药液量、均匀性、靶标覆盖率及漂移性。选择错误喷头易导致农药用量不足或超量使用, 影响农药使用效果。农药喷雾中的常用喷头主要是扇形喷头和圆锥形喷头。扇形喷头喷雾形成狭窄、椭圆形边缘的倒 V 型雾滴场, 沉积量从喷头的中心向边缘减少。锥形喷头有空心 and 实心 2 类, 空心锥形喷头形成指环状雾滴场, 实心锥形喷头形成实心圆状雾滴场。喷杆喷雾器上一般选择的是扇形喷头, 通过调节喷头间距及喷雾高度形成相对均一、连续的雾滴覆盖。本研究结果显示, 应用扇形喷头 ST11002 喷雾, 水稻植株上农药沉积量、茎基部雾滴密度及防治效果都比较理想。研究中还发现实心圆锥形喷头 TR8001 在水稻植株上使用时, 也具有与 ST11002 喷头相当的效果, 但喷雾高度要比 ST11002 喷头高 10 cm, 这为水稻生长后期喷杆接近于水稻穗部并影响扇形喷头雾化时提供了新的解决

方案。

固定有效剂量条件下, 施液量决定了有效成分浓度和雾滴的密度(徐德进等, 2015)。何玲等(2017)关于植保无人机喷施的试验结果显示, 增加施液量可显著提高水稻冠层的雾滴沉积密度; 袁会珠和王国宾(2015)的田间试验结果表明, 施液量对雾滴沉积密度有显著影响, 并且随着施液量的增加, 雾滴沉积密度呈增加趋势, 而雾滴沉积密度与病虫害的防治效果有关。一般触杀性药剂的防治效果随着雾滴沉积密度的增加而增加。剂量一定时, 施药液量增加, 雾滴密度增加, 但植株上的沉积量一般呈减少趋势。朱金文等(2004)采用 ST11002 喷头喷雾, 发现施液量在 170~1 360 L/hm² 范围内, 毒死蜱在水稻叶片上的沉积量随着施药液量增加而减少。本研究结果显示, 随着施药液量的增加, 药剂在水稻基部的雾滴密度显著增加, 但 4 种喷头间并无显著差异。

水稻冠层对农药雾滴的阻挡导致水稻群体内农药分布极不均匀。采用机动弥雾机在水稻分蘖期、孕穗期和扬花期进行叶面喷雾, 在叶片正面的沉积量占农药总沉积量的 66.3%、85.1% 和 84.9%, 而因水稻冠层的阻挡, 其中 38.7%、42.2% 和 45.6% 的药

量集中在植株上部20 cm以上部位的叶片正面,叶背和茎秆部位的沉积量只占33.7%、14.9%和15.1%,植株基部一些部位的药剂沉积量趋于0(徐德进等,2014)。水稻纵卷叶螟和螟虫产卵于冠层并从冠层开始为害,稻飞虱和纹枯病均发生在基部,这与农药的分布形成落差,需要加大药液用量来增加20 cm以下部位,尤其是叶背和茎秆部位的雾滴沉积量,同时需要加大农药用量确保药剂浓度,但水稻冠层对农药雾滴的截留不会改善中层及底层水稻植株上农药沉积。在按距地面40 cm以上、20~40 cm之间、5~20 cm之间对水稻植株进行分层采样时,上层水稻植株截留百分比与地面雾滴损失及中层、底层水稻植株雾滴沉积百分比之间呈线性负相关,上层截留对中层沉积的影响作用明显强于对底层沉积的影响(宋淑然等,2003)。因此,设法增加水稻基部的农药沉积及雾滴密度是提高稻田农药利用率的关键途径。选择合适的喷头能够有效增加雾滴的穿透性。本研究选择的4种喷头在施药液量为300~900 L/hm²条件下喷雾,水稻不同层间的沉积量都呈现上层>中层>下层的分布特性,增加施药液量,水稻下层的农药沉积量并没有显著增加,但基部的雾滴密度与施药液量呈显著正相关。

水稻生长后期常采用900 L/hm²以上的大容量喷雾技术,造成植株上部药液超出水稻最大持液量而大量流失(袁会珠等,2000)。大容量喷雾技术是增加稻田农药用量的主要推手(徐广春等,2014)。但施药液量过低,靶标空间内密度太小,也直接影响药剂的防治效果。本试验中应用低于常规推荐剂量的氯虫苯甲酰胺·噻虫嗪防治稻纵卷叶螟和褐飞虱,在300 L/hm²施药液量时防治水稻冠层害虫稻纵卷叶螟,4种喷头都取得了94.66%以上的防治效果,但在900 L/hm²施药液量时,参试4种喷头防治效果均低于87.44%。在防治褐飞虱时,4种喷头在3个施药液量下的防治效果均低于76.93%,但施药液量增加时对褐飞虱的防治效果呈上升趋势。本试验结果进一步证明了雾滴密度与防治效果的相关性。喷头对农药雾滴输运沉积分布的影响,还与喷雾压力、药液理化特性等因素密切相关(何雄奎等,2012)。水稻有害生物分布特点、药剂作用方式与喷头选择的相关性及其优化尚待进一步研究。

参 考 文 献 (References)

- Cai SK, Li J. 2011. Pesticide application intensity by farmers and its influences: based on the investigation data of farmers from major grain producing areas. *Scientia Agricultura Sinica*, 44(11): 2403–2410 (in Chinese) [蔡书凯, 李靖. 2011. 水稻农药施用强度及其影响因素研究——基于粮食主产区农户调研数据. *中国农业科学*, 44(11): 2403–2410]
- Dong YX, Gu ZY, Xu DJ, Xu GC, Xu XL. 2012. Influence of droplet densities and spray methods on the efficiency of chlorpyrifos against brown planthopper. *Journal of Plant Protection*, 39(1): 75–80 (in Chinese) [董玉轩, 顾中言, 徐德进, 徐广春, 许小龙. 2012. 雾滴密度与喷雾方式对毒死蜱防治褐飞虱效果的影响. *植物保护学报*, 39(1): 75–80]
- Fan R, Shi SB, Yang FZ, Zhao YL, Liu ZJ, Huang FG. 2014. Research status and development trends on nozzles used in plant protection machinery. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 6(6): 6–9 (in Chinese) [樊荣, 师帅兵, 杨福增, 赵有亮, 刘志杰, 黄发光. 2014. 我国植保机械常用喷头的研究现状及发展趋势. *农机化研究*, 6(6): 6–9]
- Foqué D, Nuytens D. 2010. Effects of nozzle type and spray angle on spray deposition in ivy pot plants. *Pest Management Science*, 67(2): 199–208
- Han HY, Cai SK. 2011. Study on the health cost of pesticide application and its determining factors: an empirical study based on a field survey of rice households in Anhui Province. *Journal of China Agricultural University*, 16(5): 163–170 (in Chinese) [韩洪云, 蔡书凯. 2011. 农药施用健康成本及其影响因素研究——基于粮食主产区农户调研数据. *中国农业大学学报*, 16(5): 163–170]
- He L, Wang GB, Hu T, Meng YH, Yan XJ, Yuan HZ. 2017. Influences of spray adjuvants and spray volume on the droplet deposition distribution with unmanned aerial vehicle (UAV) spraying on rice. *Journal of Plant Protection*, 44(6): 1046–1052 (in Chinese) [何玲, 王国宾, 胡韬, 蒙艳华, 闫晓静, 袁会珠. 2017. 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. *植物保护学报*, 44(6): 1046–1052]
- He XK, Zeng AJ, He J. 2002. Effect of wind velocity from orchard sprayer on droplet deposit and distribution. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 18(4): 75–77 (in Chinese) [何雄奎, 曾爱军, 何娟. 2002. 果园喷雾机风速对雾滴的沉积分布影响研究. *农业工程学报*, 18(4): 75–77]
- Heidary MAI, Douzals JP, Sinfort C, Vallet A. 2014. Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: a literature review. *Crop Protection*, 63: 120–130
- Kaminski JE, Fidanza MA. 2009. Dollar spot severity as influenced by fungicide mode of activity and spray nozzle. *HortScience*, 44(6): 1762–1766
- Liu WC, Liu ZD, Huang C, Lu MH, Liu J, Yang QP. 2016. Statistics and analysis of crop yield losses caused by main diseases and insect pests in recent 10 years. *Plant Protection*, 42(5): 1–9, 46 (in Chinese) [刘万才, 刘振东, 黄冲, 陆明红, 刘杰, 杨清坡. 2016. 近10年农作物主要病虫害发生危险情况的统计和分析. *植物保护*, 42(5): 1–9, 46]
- Qin WC, Qiu BJ, Gu W, Chen C. 2016. Influence of nozzle types on pesticide deposition on cucumber leaves and their inhibitive ef-

- fects on *Sphaerotheca fuliginea* in greenhouses. Journal of Plant Protection, 43(3): 501–506 (in Chinese) [秦维彩, 邱白晶, 顾伟, 陈晨. 2016. 喷头类型对棚室黄瓜叶片的药液沉积和白粉病防治效果的影响. 植物保护学报, 43(3): 501–506]
- Qiu W, Gu JB, Ding WM, Sun CD, Li YN, Zhao SQ. 2015. The droplet deposition distribution in fruit canopy using air assisted sprayer. Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition), 36(2): 68–72 (in Chinese) [邱威, 顾家冰, 丁为民, 孙诚达, 李毅念, 赵三琴. 2015. 果园风送式施药雾滴在冠层内沉积分布规律. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 36(2): 68–72]
- Song SR, Wang WX, Hong TS, Wang P, Luo XW, Sinfort C, Tisseyre B, Sevilla F. 2003. Testing research on effects of top layer rice fog drop interception on pesticide spraying distribution in rice fields. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 19(6): 114–117 (in Chinese) [宋淑然, 王卫星, 洪添胜, 王平, 罗锡文, Sinfort C, Tisseyre B, Sevilla F. 2003. 水稻田农药喷雾上层植株雾滴截留影响的试验研究. 农业工程学报, 19(6): 114–117]
- Tang HL, Liu NX, Zhao YX, Liu CM. 2000. An experimental research on spray distribution volume in paddy fields by different insecticide-spreading instruments. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 26(5): 368–371 (in Chinese) [唐会联, 刘年喜, 赵玉祥, 刘慈明. 2000. 不同药械在稻田喷洒分布量的研究. 湖南农业大学学报(自然科学版), 26(5): 368–371]
- Tang T, Peng MJ, Li ZL, Liu XY, Liu DC, Wei CG. 2010. Impacts of insecticide-spraying instrument, usage volume of water and adjuvant: control efficacies of chlorantraniliprole · thiamethoxam against rice stem borers. Chinese Agricultural Science Bulletin, 26(13): 335–338 (in Chinese) [唐涛, 彭孟军, 李忠良, 刘雪源, 刘都才, 魏昌贵. 2010. 药械、用水量与助剂对氯虫·噻虫嗪防治水稻螟虫的效果影响. 中国农学通报, 26(13): 335–338]
- Wang XN, He XK, Song JL, Herbst A. 2015. Effect of adjuvant types and concentration on spray drift potential of different nozzles. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 31(22): 49–55 (in Chinese) [王潇楠, 何雄奎, 宋坚利, Herbst A. 2015. 助剂类型及浓度对不同喷头雾滴飘移的影响. 农业工程学报, 31(22): 49–55]
- Xu DJ, Gu ZY, Xu GC, Xu XL. 2014. Influence of spray method on the deposit and distribution of spray droplets in rice field. Scientia Agricultura Sinica, 47(1): 69–79 (in Chinese) [徐德进, 顾中言, 徐广春, 许小龙. 2014. 喷雾方式对农药雾滴在水稻群体内沉积分布的影响. 中国农业科学, 47(1): 69–79]
- Xu DJ, Gu ZY, Xu GC, Xu XL, Dong YX. 2012. Effects of droplet density and droplet size on control efficiency of chlorantraniliprole against *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée). Scientia Agricultura Sinica, 45(4): 666–674 (in Chinese) [徐德进, 顾中言, 徐广春, 许小龙, 董玉轩. 2012. 雾滴密度及大小对氯虫苯甲酰胺防治稻纵卷叶螟效果的影响. 中国农业科学, 45(4): 666–674]
- Xu DJ, Xu GC, Xu XL, Gu ZY. 2015. Spray parameter optimization based on the amount of pesticide deposition and its biological effect on cabbage diamondback moth. Journal of Plant Protection, 42(5): 755–762 (in Chinese) [徐德进, 徐广春, 许小龙, 顾中言. 2015. 基于沉积量和生物效果的甘蓝小菜蛾防治喷雾参数优化. 植物保护学报, 42(5): 755–762]
- Xu GC, Gu ZY, Xu DJ, Xu XL. 2014. Characteristics of rice leaf surface and droplets deposition behavior on rice leaf surface with different inclination angles. Scientia Agricultura Sinica, 47(21): 4280–4290 (in Chinese) [徐广春, 顾中言, 徐德进, 许小龙. 2014. 稻叶表面特性及雾滴在倾角稻叶上的沉积行为. 中国农业科学, 47(21): 4280–4290]
- Xu YH, Xu LY, Zhou HP, Lin H, Yin Y. 2018. Droplet deposition effect of the combined nozzles of boom sprayer based on function model. Journal of Forestry Engineering, 3(1): 117–122 (in Chinese) [徐亚辉, 许林云, 周宏平, 林欢, 殷悦. 2018. 基于函数模型的喷杆式组合喷头雾滴沉积效果研究. 林业工程学报, 3(1): 117–122]
- Yang XW, Zhou JZ, He XK, Herbst A. 2012. Influences of nozzle types on pesticide deposition and insecticidal effect to wheat aphids. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 28(7): 46–50 (in Chinese) [杨希娃, 周继中, 何雄奎, Herbst A. 2012. 喷头类型对药液沉积和麦蚜防效的影响. 农业工程学报, 28(7): 46–50]
- Ying RY, Xu B. 2017. Effects of regional pest control adoption on pesticides application. China Population Resources and Environment, 27(8): 90–97 (in Chinese) [应瑞瑶, 徐斌. 2017. 农作物病虫害专业化防治服务对农药施用强度的影响. 中国人口·资源与环境, 27(8): 90–97]
- Yuan HZ, Qi SH, Yang DB. 2000. Study on the point of run-off and the maximum retention of spray liquid on crop leaves. Chinese Journal of Pesticide Science, 2(4): 66–71 (in Chinese) [袁会珠, 齐淑华, 杨代斌. 2000. 药液在作物叶片的流失点和最大稳定持留量研究. 农药学报, 2(4): 66–71]
- Yuan HZ, Wang GB. 2015. Effect of droplets 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]
- Zhou FQ, Yuan LZ, Kang XX, Chen YF, Geng Y, Zuo X, Pan ZW, Xu L, Li Q, Qu SY. 2017. Research on control effect of rice diseases and pests using different machinery spray pesticides. Hubei Agricultural Sciences, 56(2): 268–272, 287 (in Chinese) [周奋启, 袁林泽, 康晓霞, 陈银凤, 耿跃, 左希, 潘志文, 徐蕾, 李群, 瞿世艳. 2017. 不同植保机械施药对水稻病虫害防治效果的研究. 湖北农业科学, 56(2): 268–272, 287]
- Zhu JW, Wu HM, Sun LF, Zhu GN. 2004. Influence of leaf incline angle, droplet size and spray volume on deposition of chlorpyrifos on rice plants. Journal of Plant Protection, 31(3): 259–263 (in Chinese) [朱金文, 吴慧明, 孙立峰, 朱国念. 2004. 叶片倾角、雾滴大小与施药液量对毒死蜱在水稻植株沉积的影响. 植物保护学报, 31(3): 259–263]

(责任编辑:李美娟)