

气液两相感应式静电喷头性能试验*

张京¹ 官帅² 宋坚利¹ 周继中¹ 何雄奎¹

(1. 中国农业大学理学院, 北京 100193; 2. 山西省农科院植保所, 太原 030032)

【摘要】对研制的气液两相感应式静电喷头进行了性能试验研究。结果表明:与常规喷雾相比,雾滴在叶片正面的沉积量和覆盖率分别增加了 43.03% 和 22.07%,且在叶片背面覆盖率达 30.95%;当气体流量为 1.4 m³/h, 喷量为 60 mL/min,电压为 1 000 V 时,荷质比可以达到 3.2 mC/kg,可以有效增加荷电沉积;最优工作参数组合为气液比 0.18、喷雾角度 0°、电压 1 000 V。

关键词: 感应式静电喷头 气液两相 荷质比 沉积覆盖率

中图分类号: S491 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)12-0107-04

Performance of Two-phase Gas-liquid Electrostatic Induction Nozzle

Zhang Jing¹ Gong Shuai² Song Jianli¹ Zhou Jizhong¹ He Xiongkui¹

(1. College of Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China

2. Institute of Plant Protection, Shanxi Academy of Agricultural Science, Taiyuan 030032, China)

Abstract

The performance research on a two-phase gas-liquid electrostatic induction nozzle was carried out in the lab. The results showed that the droplets deposition and coverage ratio on the upper leaf surfaces achieved by electrostatic spraying were increased by 43.03% and 22.07%, respectively. The coverage ratio on the down leaf surfaces was up to 30.95%; when gas flow rate was 1.4 m³/h, liquid flow rate was 60 mL/min, voltage was 1 000 V, charge-to-mass ratio could reach to 3.2 mC/kg, which was high enough for electrostatic spraying. The optimum work parameters were: gas-liquid ratio of 0.18, spraying angle of 0°, and voltage of 1 000 V.

Key words Electrostatic induction nozzle, Two-phase gas-liquid, Charge-to-mass ratio, Deposition coverage ratio

引言

常规的农药喷施方法,只有 20% ~ 30% 农药能沉积在植物叶片上,直接降落在靶标害虫上的药量仅在 1% 以内,只有不足 0.03% 的药剂能发挥杀虫作用,其余的农药,则以流失、挥发、飘移等各种形式散失^[1-2]。这样既浪费了大量农药、人力,又造成了环境污染。静电喷雾技术在雾化过程中利用高压静电使雾滴荷电,带电的雾滴在静电场力的作用下,快速均匀地定向运动到植物茎叶表面和隐蔽部位并被

吸附,雾滴穿透力强,靶标命中率高,与常规喷雾方式相比极大提高了在作物表面的雾滴沉积率、增加了雾滴分布均匀性、减少了雾滴的飘失^[3-6]。

静电喷雾的 3 种充电方式中,接触充电方式的雾滴充电最充分、效果最佳,感应充电次之。在实际应用中,接触充电装置由于高压会出现一些安全问题,而感应充电需要的荷电电压比较小、危险性小、能耗少、电压适用性比较好^[7-9]。

目前,国内研发的感应式静电喷头的雾化区在喷头体内,在感应环附近药液成雾滴形式,感应环

收稿日期: 2010-10-27 修回日期: 2010-12-20

* 国家自然科学基金资助项目(30971940)、国家国际科技合作资助项目(2010DFA34570)和中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2010JS044)

作者简介: 张京,博士后,主要从事植保机械与施药技术研究,E-mail: zj810515@163.com

通讯作者: 何雄奎,教授,博士生导师,主要从事植保机械与施药技术研究,E-mail: xiongkui@cau.edu.cn

容易打湿,造成漏电或无法荷电^[10];国外感应式静电喷雾技术成熟,但是造价极高,不适合在我国进行大面积推广应用^[11]。针对这些问题本文自行研制气液两相感应式静电喷头,对其进行性能试验研究,并通过正交试验确定其最优工作参数。

1 材料与方法

1.1 试验装置

试验采用自行研制的气液两相感应式静电喷头(图1),它是在气力雾化的基础上增加感应荷电,气流起到雾化和输送雾滴两个作用。液体从内芯前的尖状口喷出,而高压气流沿着内芯和外套的间隙喷出。高压电直接加在喷头口的铜环上,当液柱流经感应铜环时,根据感应原理液柱上会荷上与感应电极相反的等量电荷,同时液柱在此雾化,雾滴因此荷电。喷头雾化区的气体环将雾滴与感应环隔开,保持电极环干燥,即使有少许雾滴被电极环吸附,也会在瞬间被高速气流携带走。

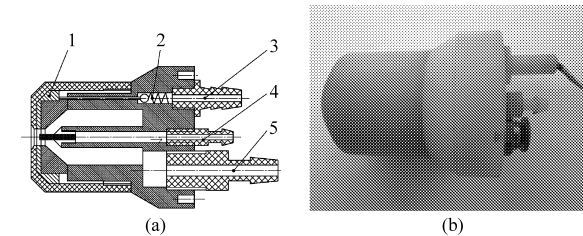


图1 气液两相感应式静电喷头剖面图及实物图
Fig.1 Section plan and actual product picture of gas-liquid two-phase inducing electrostatic nozzle
(a) 剖视 (b) 实物
1. 感应电极(铜环) 2. 弹簧 3. 高压电源线入口
4. 内芯 5. 高压气体入口

1.2 试验方法

1.2.1 荷质比测定

荷质比是静电喷雾装置的重要评价指标之一,雾滴荷质比越大,其荷电性能及充电效果越好。

本研究采用多层筛网法测量荷质比,这是在法拉第筒法的基础上简化而来的^[12~14](图2),在直径为40 cm、高60 cm的圆柱形筒内从上到下分别布置25目、30目、35目的3层筛网,最底部一层筛网与整个测量装置绝缘,以此来验证电流是否被完全收集。绝缘筛网未在图中标示,微安表连接在筛网的最后一层,显示为雾滴云总电流。上部再加一个由一层纱网做成的筒盖以防止雾滴在气流的作用下飞溅出去。

调节喷头距筛网垂直距离为50 cm,电压为恒定的1 000 V,喷液流量60 mL/min,通过气泵气压调节阀调整气压为0.1、0.2、0.3、0.4 MPa。将气流表

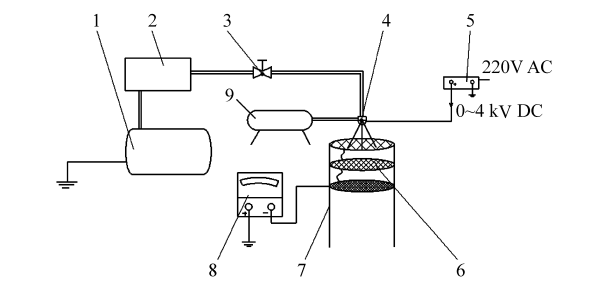


图2 荷质比测试装置示意图
Fig.2 Test instrument of charge-to-mass ratio
1. 药箱 2. 液泵 3. 调压阀 4. 静电喷头 5. 高压电源 6. 网状目标荷质比测量装置 7. 绝缘支架 8. 微安表 9. 空气压缩机

与空气压缩机出气口处连接并测量单位时间内通过的气体流量;将筛网与电流表相连,通过电流表测量其通过筛网的电流值;利用秒表和量筒测量单位时间内的喷液流量;测量3次取平均值,根据测量结果计算气液比与荷质比。并以美国ESS静电喷雾器(XT-3型)的电极嵌入式静电感应喷头在相同条件下作对比试验。

1.2.2 沉积分布测定

试验在中国农业大学药械与施药技术研究中心的德国HD10/2型匀速喷雾天车下方进行,调节喷头与靶标的垂直距离为500 mm、雾化气压为0.3 MPa、喷头流量为60 mL/min。将滤纸a和水敏纸b作为测试雾滴沉积量与覆盖率的收集介质分别布置在雾滴接收装置上的正、反面(图3),用于模拟作物叶片的正、反面。调节喷雾天车匀速行进速度为0.5 m/s,静电喷头电压为1 000 V,用体积分数为0.1%的BSF溶液代替农药进行喷雾试验。待雾滴自然风干后,将滤纸和水敏纸分别装入自封袋中。在装有滤纸的自封袋中加入10 mL去离子水,在振荡器上振荡15 min,使沉积在滤纸上的BSF洗脱下来,最后使用LS-2型荧光分析仪测定液体中的荧光值。使用镊子将水敏纸从自封袋中取出,布置在光线较好的平面上拍照,用雾滴分析软件计算图片雾滴覆盖率。

常规喷头在相同工作参数条件下做相同试验,

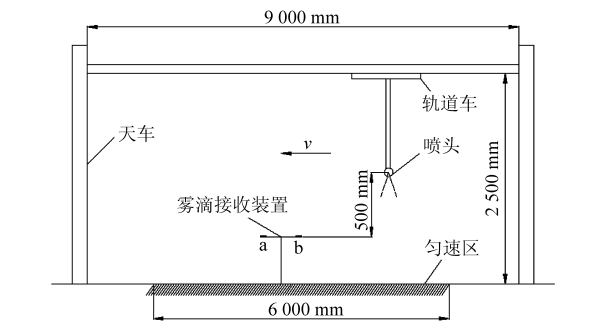


图3 雾滴接收试验台
Fig.3 Droplets receiving instrument

以比较 2 种喷头沉积分布的差异。每次试验重复 3 次,取平均值。

1.2.3 最优工作参数测定

根据前期试验结果,选定对气液两相感应式静电喷头喷雾效果影响显著的气液比、电压与喷雾角度^[11]作为试验因素(图 4),选择气液比(进入喷头的喷液流量与气体流量之比)为 0.18、0.20、0.28、0.30;电压为 1 000、1 200、1 500 V;喷雾角度为 15°、0°、-15°,设计混合正交试验,并以雾滴在冠层的上、中、下部的沉积量作为评价指标。

将株高 65 cm 的模拟作物按株距 30 cm、行距30 cm 放置,构成一个 0.8 m × 1.5 m 的模拟冠层结构,使冠层结构上部叶片相互交错,尽量等同于作物生长后期封行后的生长阶段。雾滴接收台分置 3 层,分别距地面高度为 20、40、60 cm,用来测试雾滴在冠层的上、中、下的沉积分布,并将雾滴接收台置于冠层内部(图 5)。



图 5 试验布置
Fig.5 Experiment layout

使用气液两相感应式静电喷头,按照在 1.2.2 中的试验步骤进行正交试验。每次试验重复 3 次,取平均值。

2 结果与分析

2.1 荷质比

美国 ESS 公司生产的感应式静电喷雾器采用气力雾化,产生的雾滴小,体积中径(VMD)约为 50 μm,气流量大、荷质比高,强大的气流又可以使雾滴很好地穿透冠层,提高沉积量至少 1 倍,测得其气液比为 0.8、荷质比为 1.5 mC/kg。气液两相感应式静电喷头当气体流量为 1.4 m³/h,喷量为 60 mL/min,电压为 1 000 V 时,荷质比可以达到 3.2 mC/kg(表 1),比 ESS 静电喷雾器增加了 113%。

表 1 气液两相感应式静电喷头的气液比与荷质比(电压 1 000 V)

Tab.1 Gas-liquid ratio andcharge-to-mass ratio of electrostatic nozzle (voltage of 1 000 V)				
气压 /MPa	喷液流量 /mL·min ⁻¹	气体流量 /m ³ ·h ⁻¹	气液比	荷质比 /mC·kg ⁻¹
0.1	60	0.8	0.27	0.3
0.2	60	1.0	0.34	1.0
0.3	60	1.2	0.41	1.9
0.4	60	1.4	0.48	3.2

2.2 沉积分布

从表 2 可以很明显看出,常规喷头只能将药液喷洒到植株叶片的正面,背面几乎没有沉积;而静电喷雾可使靶标的正、反面均有沉积。对于正面的沉积量来说,静电喷雾效果也优于常规喷雾。

静电喷雾雾滴在靶标背面的覆盖率是正面覆盖率的 64.2%,背面的沉积量也可达到正面沉积量的 61.2%。而常规喷雾时在背面几乎没有雾滴的覆盖。与常规喷雾相比,雾滴在叶片正面沉积量增加了 43.03%,覆盖率增加了 22.07%。

表 2 静电喷头与常规喷头作业时雾滴的沉积量与覆盖率
Tab.2 Droplets deposition and coverage ratio of electrostatic nozzle and conventional nozzle

喷头类型	沉积量/μg·cm ⁻²		覆盖率/%	
	正面	背面	正面	背面
静电喷头	3.716	2.276	48.18	30.95
常规喷头	2.598	0.376	39.47	5.11

2.3 最优工作参数

根据正交试验表,完成了 16 组试验,试验结果如表 3 所示。

分别以上部、中部与下部的沉积量作为评价指标,计算三因素方差与极值,结果表明三因素的影响作用从大到小依次为:气液比、喷雾角度、电压,且最优工作参数组合为气液比 0.18、喷雾角度 0°(喷头与地面垂直)、电压 1 000 V。

3 结论

(1)气液两相感应式静电喷头,当气体流量为 1.4 m³/h,喷量为 60 mL/min,电压为 1 000 V 时,荷质比可以达到 3.2 mC/kg,比美国 ESS 静电喷雾器增加了 113%。

(2)气液两相感应式静电喷头喷雾时,雾滴在靶标背面的覆盖率是正面的覆盖率的 64.2%,背面的沉积量也可达到正面沉积量的 61.2%。

表 3 正交试验结果
Tab.3 Orthogonal experiment results

试验序号	气液比	电压/V	喷雾角度/(°)	上部沉积量/ $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$	中部沉积量/ $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$	下部沉积量/ $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$
1	0.20	1 000	0	4.949	2.120	2.045
2	0.20	1 200	15	3.760	1.858	1.498
3	0.20	1 000	15	4.052	1.801	1.576
4	0.20	1 500	-15	3.951	1.828	1.527
5	0.18	1 500	15	4.969	2.737	1.826
6	0.18	1 000	15	5.304	2.736	2.056
7	0.18	1 000	0	6.352	3.107	2.291
8	0.18	1 200	-15	4.865	2.689	2.179
9	0.30	1 000	15	4.833	2.466	1.613
10	0.30	1 200	0	5.501	2.366	1.670
11	0.30	1 000	-15	4.666	2.466	1.807
12	0.30	1 500	15	4.592	2.138	1.545
13	0.28	1 200	15	4.377	2.071	1.519
14	0.28	1 000	-15	4.387	2.246	1.966
15	0.28	1 000	15	3.749	1.856	1.488
16	0.28	1 500	0	3.848	1.990	1.536

(3)影响静电喷头作业效果的三因素的作用从大到小依次为:气液比、喷雾角度、电压,最优工作参数组合为气液比 0.18、喷雾角度 0°(喷头与地面垂直)、静电电压 1 000 V。

参 考 文 献

1 杨叶,吴智彪,黄圣明. 农药发展中的问题及前景[J]. 华南热带农业大学学报, 2003,9(2):26~31.
Yang Ye, Wu Zhibiao, Huang Shengming. Problems and prospect of developing pesticides[J]. Journal of South China University of Tropical Agriculture, 2003, 9(2):26~31. (in Chinese)

2 何雄奎. 改变我国植保机械和施药技术严重落后的现状[J]. 农业工程学报, 2004,20(1):13~15.
He Xiongkui. Improving severe draggling actuality of plant protection machinery and its application techniques[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004,20(1):13~15. (in Chinese)

3 Law S E. Agricultural electrostatic spray application;a review of significant research and development during the 20 century [J]. Journal of Electrostatics,2001, 51(2):25~42.

4 朱和平,冼福生,高良润. 静电喷雾技术的理论与应用研究综述[J]. 农业机械学报,1989,20(2):53~57.
Zhu Heping, Xian Fusheng, Gao Liangrun. Summary of research on electrostatic spraying technique theory and its application [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1989,20(2):53~57. (in Chinese)

5 舒朝然,熊惠龙,陈国龙,等. 静电喷药技术应用研究的现状与发展[J]. 沈阳农业大学学报, 2001,33(3):211~214.
Shu Chaoran, Xiong Huilong, Chen Guolong, et al. Current situation and development of the research and application of the electrostatic spraying-dusting technique [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2001, 33(3):211~214. (in Chinese)

6 沈从举,贾首星,汤智辉,等. 农药静电喷雾研究现状与应用前景[J]. 农机化研究,2010,32(4):10~13.
Shen Congju, Jia Shouxing, Tang Zhihui, et al. Research actuality and application prospects of pesticide electrostatic spraying [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010,32(4):10~13. (in Chinese)

7 余扬. 超低量静电喷雾机具的充电效果研究[J]. 云南农业大学学报,1995,10(3):202~206.
Yu Yang. Studies on the charging effect of ultra-low volume electrostatic charging spray machine[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 1995,10(3):202~206. (in Chinese)

8 叶五梅,杨超珍. 静电喷雾中的雾滴荷电特性研究[J]. 农机化研究,2009,31(12):15~18.
Ye Wumei, Yang Chaozhen. The analysis of the droplets charging characteristics in electrostatic spraying[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009,31(12):15~18. (in Chinese)

9 Laryea G N. Development of electrostatic pressure-swirl nozzle for agricultural applications [J]. Journal of Electrostatics, 2003,57(2):129~142.

表明:蝗虫对光谱色光照和偏振光光照的趋光响应敏感临界点决定了蝗虫对光谱光照和偏振光光照趋光响应的优先性和响应程度;蓝光偏振光光照强度决定了蝗虫对偏振光场趋光定向响应的敏感性,非偏振光光谱色和其光照强度对蝗虫的光刺激程度决定了蝗虫对非偏振光趋光响应率;光源光照度相同条件下,蓝光偏振光光照强弱、蝗虫对光谱光照的敏

感程度决定了蝗虫对蓝光偏振光和光谱光照的趋光响应敏感性及响应率,结果显示,蝗虫对紫光光照的趋光响应相对于蓝光偏振光最优,绿紫蓝光次之,而白光最差。利用本文的试验结果,可以有效的在LED 诱导灯源研制时进行诱导光照特性因子的确定以及诱导光场的筛选。

参 考 文 献

1 周强,徐瑞清,程小桐. 昆虫的生物光电效应与虫害治理应用[J]. 现代生物医学进展,2006,6(4):70~72.
Zhou Qiang, Xu Ruiqing, Cheng Xiaotong. Bio-photo-electro effect of insects and its application in pest control[J]. Progress in Modern Biomedicine, 2006, 6(4): 70~72. (in Chinese)

2 Farrow R A. A modified light-trap for obtaining large samples of night-flying locusts and grasshoppers[J]. Australian Journal of Entomology, 1974,13(4):357~360.

3 Michiyo K, Keram P, Uwe H. Spectral properties of identified polarized-light sensitive interneurons in the brain of the desert locust *Schistocerca gregaria*[J]. The Journal of Experimental Biology,2007,210(8):1 350~1 361.

4 Uwe H. Surgical lesion of the anterior optic tract abolishes polarotaxis in tethered flying locusts, *Schistocerca gregaria*[J]. Journal of Comparative Physiology A, 2007,193(1):43~50.

5 Vishnevskaya T M, Cherkasov A D. Spectral sensitivity of photoreceptors in the compound eye of the locust [J]. Neurophysiology, 1986,18(1):54~60.

6 Bailey E V, Harris M O. Visual behavior of the migratory grasshopper, *Melanoplus sanguinipes* F. [J]. Journal of Insect Behavior,1991,4(6):707~726.

7 Uwe H, Stefan W. Movement-sensitive, polarization-sensitive, and light-sensitive neurons of the medulla and accessory medulla of the locust, *Schistocerca gregaria*[J]. The Journal of Comparative Neurology,1997, 386(3):329~346.

8 Jander, Barry. The phototactic push-pull-coupling between dorsal ocelli and compound eyes in the phototropotaxis of locusts and crickets[J]. Zeitschrift für Vergleichende Physiologie, 1968, 57(4): 432~458.

9 Mappes M, Homberg U. Behavioral analysis of polarization vision in tethered flying locusts[J]. Journal of Comparative Physiology A, 2004,190(1): 61~68.

10 刘启航,周强. 诱导光源光照梯度对蝗虫趋光响应的影响[J]. 农业机械学报,2011,42(10):105~109,140.
Liu Qihang, Zhou Qiang. Influence of trapping light source illuminance gradient on locusts' phototactic effect [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(10):105~109,140. (in Chinese)

(上接第 110 页)

10 辛太国,李研. 感应充电气力式静电喷头的分析探讨[J]. 农业机械,2010(7):102~104.

11 Maskia D, Durairaj D. Effects of electrode voltage, liquid flow rate, and liquid properties on spray chargeability of an air-assisted electrostatic-induction spray-charging system[J]. Journal of Electrostatics,2010,68(2):152~158.

12 茹煜,郑加强,周宏平,等. 航空双喷嘴静电喷头的设计与试验[J]. 农业机械学报,2007,38(12):58~61.
Ru Yu, Zheng Jiaqiang, Zhou Hongping, et al. Design and experiment of double-nozzle of aerial electrostatic sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(12):58~61. (in Chinese)

13 Law S E, Bowen H D. Effects of liquid conductivity upon gaseous discharge of droplets[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1989,25(6):1 073~1 080.

14 杨超珍,吴春笃,陈翠英,等. 静电喷雾突变特性的分析和试验[J]. 农业机械学报,2007, 38(1):72~75.
Yang Chaozhen, Wu Chundu, Chen Cuiying, et al. Analysis and experiment of drastic characteristics in electrostatic spraying[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(1):72~75. (in Chinese)

15 刘春景,郑加强,王科元. 静电喷头雾化特性预测模型[J]. 农业机械学报,2009,40(4):63~68.
Liu Chunjing, Zheng Jiaqiang, Wang Keyuan. Prediction model for atomization performance of electrostatic spraying nozzle [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(4):63~68. (in Chinese)