

3种喷头雾滴输运沉积参数的试验与分析*

陆军 李萍萍 贾卫东 邱白晶

(江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部/江苏省重点实验室, 镇江 212013)

【摘要】 为了研究在感应荷电状态下高电压对雾滴输运沉积参数的影响, 选用3种德国 Lechler 公司生产的不同流量的 TR80-01c、TR80-02c、TR80-03c 型喷头, 在相同的喷雾压力和液体介质条件下进行试验。利用显微图像结合数字图像处理技术对荷电雾滴输运沉积面积、覆盖率、沉积密度、分布均匀性等状态参数进行取样和分析。试验结果表明: 随着输运距离的增加, 3种喷头的雾滴覆盖率 δ 先上升后下降, 最高峰值分别达到 52.04%、54.89% 和 57.31%; 而雾滴沉积密度 ρ 先下降后上升, 最低值分别为 241、268、283 个/mm²。随着静电电压的增大, 3种喷头的雾滴沉积区域面积随之增大, 最大值分别达到 4 462.7 170、8 280 cm²; 而雾滴分布均匀性有所下降, 最低值分别为 33.23%、31.91% 和 30.47%。根据具体喷雾施药场合, 调节适当的电压, 是增加药液沉积和分布均匀的重要措施。

关键词: 荷电雾滴 图像处理 沉积面积 雾滴覆盖率 沉积密度 雾滴分布均匀性

中图分类号: S49 **文献标识码:** A

Experiment and Analysis on Droplets Motion and Deposition Parameters of 3 Nozzles

Lu Jun Li Pingping Jia Weidong Qiu Baijing

(Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education & Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

To study the effect of high voltage on the parameters of droplets motion and deposition in the state of induction charge, charged droplet's move-motional and depositional process of 3 nozzles were tested under the same condition of spray pressure and liquid medium. By using micrograph combining with digital image processing technology, the parameters of spraying deposition were calculated and analyzed. The results showed that with the increasing distance, droplet spraying coverage rises firstly and then declines, but the droplets density is of the opposite trend; with the increasing voltage, area of deposition increases obviously, but spraying uniformity declines. The appropriate voltage depends on the practical occasions of electrostatic spraying application, and adjusting charged voltage is an important measure for adding droplet deposition and spray uniformity.

Key words Charged droplets, Image processing, Area of deposition, Spraying coverage, Droplets density, Spraying uniformity

引言

高压静电喷雾施药技术具有诸多优势, 已在国

内外农业工程, 尤其是植保领域得到较多的应用^[1]。感应荷电雾滴的输运沉积状态和分布规律是影响农药利用率和防治效果的重要因素^[2]。要

收稿日期: 2008-10-20 修回日期: 2008-12-15

* 国家“863”高新技术研究发展计划资助项目(2008AA100904)、国家自然科学基金资助项目(50975125)、江苏省自然科学基金资助项目(BK2008229)、现代农业装备与技术省部共建教育部/江苏省重点实验室开放基金资助项目(NZ200701)、江苏省普通高校研究生科研创新计划资助项目(CX09B_207Z)和镇江市农业科技计划资助项目(NY2008050)

作者简介: 陆军, 博士生, 主要从事精确施药技术研究, E-mail: lujun@ujs.edu.cn

通讯作者: 李萍萍, 教授, 博士生导师, 主要从事农业生态保护及设施农业技术研究, E-mail: lipingping@ujs.edu.cn

使喷施农药能够充分发挥效用,则增加药液沉积并使其能够在喷雾目标区域内均匀分布就显得非常重要^[3]。

静电电压能明显改善农药沉积的均匀性,它是影响荷电雾滴输运沉积的主要因素之一^[4-5]。由于静电电压对感应荷电雾滴的作用机理复杂,同时缺乏规范的试验方法,以往研究中重复试验多,但试验结果的可比性差。本文运用显微图像技术,通过测试不同电压下3种喷头产生的雾滴在喷施过程中的输运沉积和分布情况,分析它们对类似喷雾目标的适应性。试验数据和结论可为高电压喷雾施药器械的设计与应用提供参考依据。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置

感应荷电喷雾试验装置如图1所示。该装置主要由使喷头产生雾化压力和供给电极电能的高压电源两部分组成。液泵将液体加压,调压阀调整到0.2 MPa的喷雾工作压力。电极环直径25 mm,置于喷头前方10 mm处,接上高压电源对雾滴荷电。高电压由高压静电发生器产生,经调压器调整输出电压。图像采集与检测装置由XTL-1型显微镜、数字摄像头和计算机等硬件设备组成。

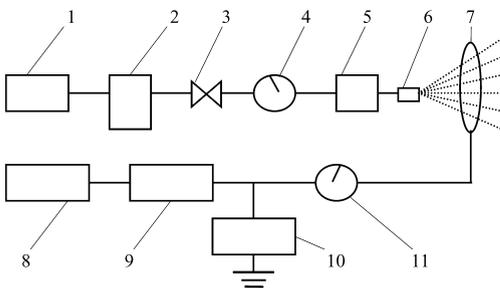


图1 静电喷雾试验系统框图

Fig.1 Block diagram of electrostatic spray system

1. 蓄液箱 2. 液泵 3. 压力调节阀 4. 压力表 5. 控制电磁阀
6. 喷头 7. 组合电极 8. 电压调节阀 9. 高压静电发生器
10. 高压电压表 11. 电流表

试验采用3种德国Lechler公司生产的TR80系列的空心锥雾喷头(图2),3种喷头的具体参数如表1所示。该系列喷头在低喷雾压力条件下,能产生细小的雾滴粒谱范围,具有较好的覆盖性能及穿透性能。适用于低量喷洒、喷幅宽度不大,但种植密度较高、需要一定穿透力的棚室栽种作物。

1.2 采样与计算方法

1.2.1 采样方法

试验数据采集点布置如图3所示,喷头位置设在图示坐标的原点处。对沉积区域形态的测量,采用颜料水喷射定性滤纸,将滤纸上最外圈有雾滴沉

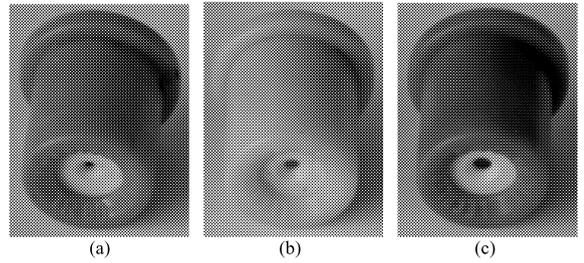


图2 试验用3种喷头的照片

Fig.2 Photograph of 3 nozzles for spraying test

(a) TR80-01c (b) TR80-02c (c) TR80-03c

表1 试验用3种喷头的参数

Tab.1 Parameters of 3 nozzles in spraying test system

参数	喷头1 (TR80-01c型)	喷头2 (TR80-02c型)	喷头3 (TR80-03c型)
喷孔直径 ($2x_0, 2y_0$)/mm	(0.57, 1.53)	(0.80, 2.20)	(1.12, 2.40)
流量/ $\text{mL}\cdot\text{s}^{-1}$	3.61	4.92	6.53
压力/kPa	300	300	300
喷雾锥角/ $^\circ$	80	80	80
材料	陶瓷	陶瓷	陶瓷

积的位置点通过曲线拟合来确定沉积区域的边界;对雾滴样本的收集与沉积参数的测量,采用采样卡取样的方法,用包有塑料薄膜的纸卡接收充分沉积的雾滴,采样卡尺寸25 mm×45 mm。

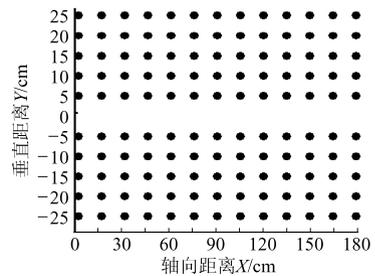


图3 试验采集点布置图

Fig.3 Distribution of droplets sampling cards

1.2.2 显微图像解析方法

据预试验选用目镜放大10倍、物镜放大5倍,总放大50倍的显微镜。CCD图像的光路为图像经物镜再到达CCD摄像头。先对采集到的雾滴图像进行预处理,包括对图像灰度化、灰度均衡、最佳阈值二值化等^[6]。滤去由于雾滴图像不清晰、光照不均匀及周围干扰等所产生的伪雾滴,在统计雾滴个数时忽略粒径小于 $5\mu\text{m}$ (约4个像素)的雾滴^[7]。再对图像采集系统进行标定,以确定采集到的雾滴图像中的像素与实际尺寸之间的关系。采用带有网格背景的纸卡作为标定标准,纸卡尺寸40 mm×60 mm,网格为1 mm×1 mm。在总放大50倍的条件下读取标定纸卡,取3次读卡的样本的平均值进行标定,

得到雾滴图像像素与实际尺寸的标定因子 $\eta = 674$ 像素/mm。

1.2.3 计算方法

(1) 雾滴沉积面积

沉积区域不是一个规则的几何形状,因此将沉积区域划分成若干个小区域,并将小区域近似为梯形来计算其沉积面积^[8]。区域划分如图 4 所示,将沉积区域划分为若干个高为 h 的梯形,则沉积区域的面积为

$$A_{cj} =$$

$$\frac{h}{2} \sum_{i=0,1,2,\dots,n} (|a_i| + |a'_i| + |a_{i+1}| + |a'_{i+1}|) \quad (1)$$

式中 A_{cj} ——雾滴沉积区域的面积, cm^2

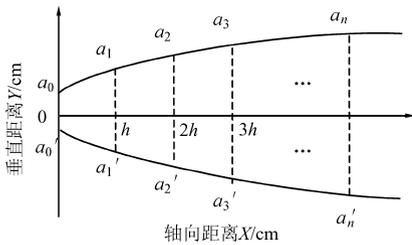


图 4 雾滴沉积面积计算区域示意图

Fig. 4 Calculation of area for droplet's deposition

(2) 雾滴覆盖率

采样卡雾滴覆盖率可以通过图像中分析区域雾滴的像素个数与图像的分析区域之比求得^[9],其计算式为

$$\delta = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N f(i, j)}{MN} \times 100\% \quad (2)$$

式中 M, N ——分析区域的宽度、高度(像素)

$f(i, j)$ ——图像分析区域中像素相对坐标为 (i, j) 处的像素灰度值标志,若像素为黑色,则 $f(i, j) = 1$, 否则 $f(i, j) = 0$

(3) 雾滴沉积密度

雾滴沉积密度是在单位面积上沉积的雾滴数^[10]。其计算式为

$$\rho = \frac{\eta^2 K}{MN} \quad (3)$$

式中 ρ ——沉积密度, 个/ mm^2

K —— $M \times N$ (像素)图像上雾滴个数

(4) 雾滴分布均匀性

采用变异系数 λ 作为雾滴分布均匀性的度量^[11],变异系数计算式为

$$\lambda = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\% \quad (4)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

其中

式中 S ——标准差 n ——采样卡总数

X_i ——采样卡单位面积的雾滴数, 个/ mm^2

\bar{X} ——采样卡单位面积平均雾滴数, 个/ mm^2

1.3 试验方案

(1) 采样流程: 喷雾前在室内采集点放置采样卡, 喷雾结束待雾滴充分沉积后, 将采样卡收回并在显微镜下读取, 通过数字摄像头将雾滴图像传输给计算机, 运用图像分析软件对雾滴图像进行统计分析。

(2) 试验设计: 喷雾试液采用模拟农药, 为混合有质量 10% 的黑色素水溶液。喷头安装在距地面 50 cm 的高度, 目标采集距离确定为 180 cm。充电电压选 5~15 kV。根据现行喷雾施药机具的要求, 射流压力确定为 0.2 MPa。为充分反映雾滴沉积效果, 喷施模拟农药时间确定为 15 min, 采样卡取样时间约定为 20 min。

(3) 工况条件: 室内为密闭、无风条件, 温度为 23.7°C, 相对湿度 79%, 大气压为 101.34 kPa。

2 试验结果与分析

2.1 沉积区域形态

沉积区域形态受流场的影响, 在不同的流场下得到不同的沉积区域形态。图 5 给出了在不同静电电压条件下 3 种不同流量喷头的雾滴沉积区域的边界拟合曲线。从图 5a 可以看到, 在压力恒定、静电电压为 0 kV 时, 3 种喷头沉积雾化锥角相差不大, 流量大的喷头 3, 其沉积雾化锥角也稍微大些。图 5 可以明显看出普通喷雾与静电喷雾沉积雾化锥角的变化, 普通喷雾在不带电的情况下, 沉积雾化锥角均小于 180°, 而静电喷雾在图中虽然为 180°, 但实际情况却都是大于 180°。

从沉积区域形态图可以明显看出, 当喷雾从普通喷雾转为静电喷雾后(即静电电压从 0 kV 增加到 5 kV), 雾滴沉积区域面积大幅度增加, 在恒定压力条件下接近或大于普通喷雾的 2 倍。当静电电压从 5 kV 增加到 15 kV 时, 雾滴沉积区域面积基本上是递增的, 但增加的量没有静电电压从 0 kV 增加到 5 kV 时的多。

2.2 雾滴覆盖率与沉积密度

在同一轴向距离布置的 13 个采集点上, 统计 3 组试验数据求取平均值, 经计算并绘制出不同静电电压下雾滴覆盖率和沉积密度沿轴向距离的变化曲

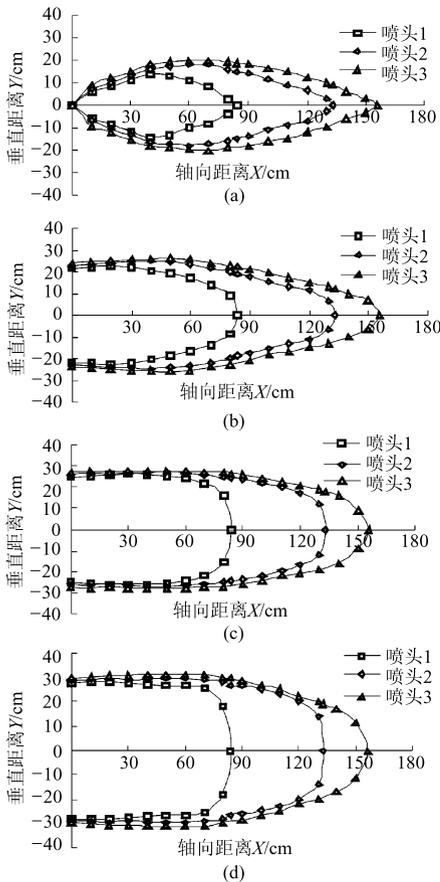


图5 沉积区域形态图

Fig. 5 Region of the spraying droplets density
(a) 0 kV (b) 5 kV (c) 10 kV (d) 15 kV

线图,如图6所示。

从图6a可以看出,在无静电电压条件下各喷头雾滴覆盖率随着距离的增加分别呈单峰曲线变化趋势,最高峰值分别出现在轴向距离34、56、67 cm处。而随距离的增加,沉积密度先下降后上升,变化趋势与雾滴覆盖率正好相反,各喷头沉积密度的最小值与雾滴覆盖率的最高峰值出现在同一轴向距离处。

图6b~6d中可以看到增加静电电压后雾滴覆盖率与沉积密度的变化,两者都随电压的增加有着不同程度的增加,并且单峰曲线的峰值的位置都有向远距离移动的趋势。当静电电压达到15 kV时,雾滴覆盖率曲线和沉积密度曲线出现峰值的轴向距离分别移到了43、64、93 cm处。

2.3 沉积面积与雾滴分布均匀性

表2给出了各喷头在不同静电电压下的沉积面积与雾滴分布均匀性的计算值。因采用变异系数 λ 作为雾滴分布均匀性的度量,而变异系数是由均值和标准差决定,为判断沉积区域的雾滴分布是否均匀,需对均值和方差分别进行假设检验。

经检验,结果表明在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 条件下,雾滴分布均匀性无显著差异。从表2可以看出,静电电压的增加使沉积区域变大但雾滴分布将变得

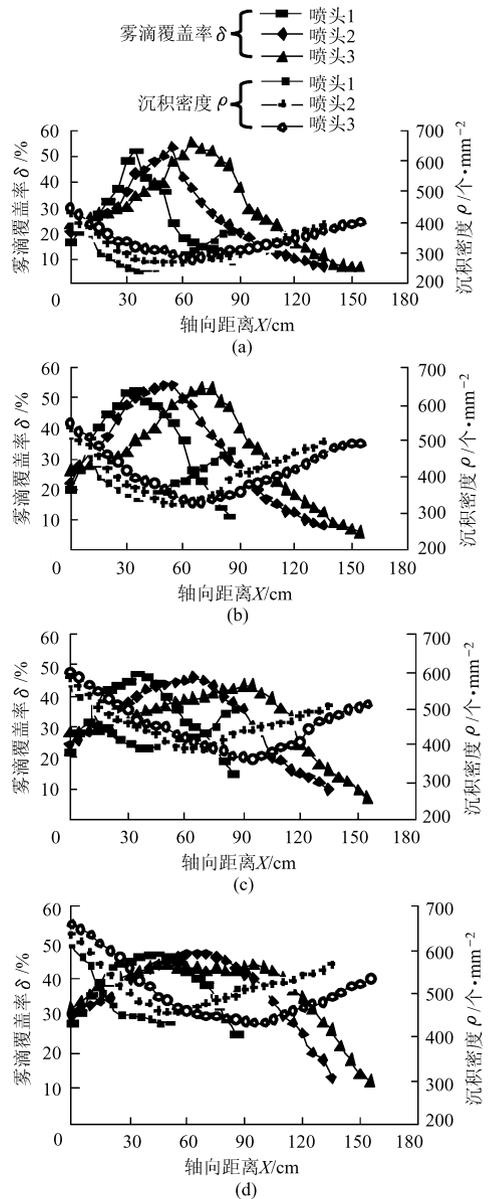


图6 雾滴覆盖率和沉积密度变化曲线

Fig. 6 Curves of spraying coverage and droplets density
(a) 0 kV (b) 5 kV (c) 10 kV (d) 15 kV

表2 沉积面积与雾滴分布均匀性

Tab. 2 Area of deposition and spraying uniformity

喷头 型号	电压 /kV	沉积面积 /cm ²	雾滴分布 均匀性/%
	0	1 472	25.06
喷头 1 (TR80-01c 型)	5	3 170	26.34
	10	4 072	29.57
	15	4 462	33.23
	0	2 878	21.86
喷头 2 (TR80-02c 型)	5	5 256	24.85
	10	6 360	27.32
	15	7 170	31.91
	0	4 246	19.74
喷头 3 (TR80-03c 型)	5	6 282	22.52
	10	7 414	24.78
	15	8 280	30.47

不均匀。当雾滴经过电场区时因电场力的作用破碎为很多小雾滴,随着静电电压的增加,雾滴分子数在增加,但雾滴输运沉积的时间是有限的,在这段时间内并不足以使射流液体核心区的大部分雾滴分子完全发散,位于射流液体核心区相当多的雾滴分子只能沉积在相对较小的区域内,使得这个区域的雾滴沉积密度相对很大,而外围区域沉积密度却很小,进而影响了整个沉积区域沉积密度的分布并使得雾滴分布均匀性下降。

3 结论

(1) 本试验在静电喷雾情况下的沉积参数均是从轴向距离 0 cm 处开始采集的。而在实际情况下,受静电力以及同性电荷间的相互排斥作用,部分感

应荷电雾滴尤其是细小雾滴会向喷头背面运动,因此实际沉积雾化锥角均大于 180° 。

(2) 施加高压静电后,雾滴在电场力作用下沿电力线的多个方向扩散运动、同性电荷间的排斥作用以及雾滴分子破碎后的扩散运动,使得雾滴沉积区域面积增加。当静电电压从 0 kV 增加到 5 kV 时,增加量尤其显著。

(3) 随着输运距离的增加,雾滴覆盖率先上升后下降,而雾滴沉积密度的变化趋势正好相反,这是因为粒径大的雾滴在喷出后很快就在喷头前方沉降,无法到达室内距喷头较远处。

(4) 由于喷头高度的限制,雾滴输运沉积时间是有限的,静电电压增加虽然使沉积区域增大但却使雾滴分布均匀性下降。

参 考 文 献

- Edward Law S. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during the 20th century[J]. Journal of Electrostatics, 2001, 48(11): 25~42.
- Matthews. Pesticide application methods[M]. New York: Plenum Press, 1992.
- 祁力钧, 傅泽田, 史岩. 化学农药施用技术与粮食安全[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 203~206.
Qi Lijun, Fu Zetian, Shi Yan. Technology of pesticide application and food security[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(6): 203~206. (in Chinese)
- 杨学昌, 戴先崑, 刘寒松. 高效带电农药喷雾技术的研究[J]. 高电压技术, 1995, 21(3): 19~22.
Yang Xuechang, Dai Xianhui, Liu Hansong. Study on the technique of high effective and charged pesticide spraying[J]. High Voltage Engineering, 1995, 21(3): 19~22. (in Chinese)
- 高良润, 洗福生. 静电喷雾理论及其测试技术的研究[J]. 江苏工学院学报, 1986, 7(2): 1~14.
- 夏良正. 数字图像处理[M]. 南京: 东南大学出版社, 1999.
- Jiang C, Derksen R C. Morphological image processing for spray deposit analysis[J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(5): 1 581~1 591.
- Salyani M, Fox R D. Performance of image analysis for assessment of simulated spray droplet distribution[J]. Transactions of the ASAE, 1994, 37(4): 1 083~1 089.
- 史春建, 邱白晶, 汤伯敏, 等. 基于高速图像的雾滴尺寸分布统计与运动分析[J]. 农业机械学报, 2006, 37(5): 63~66.
Shi Chunjian, Qiu Baijing, Tang Bomin, et al. Analysis of droplet size distribution and movement based on high speed image processing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(5): 63~66. (in Chinese)
- 邱白晶, 史春建, 吴春笃, 等. 植保机械雾化场雾滴特征分析与二维重建[J]. 农业工程学报, 2005, 21(11): 7~10.
Qiu Baijing, Shi Chunjian, Wu Chundu, et al. Analysis of droplet characteristics in spray field for plant protection machinery and reconstruction[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(11): 7~10. (in Chinese)
- 邱白晶, 沙俊炎, 汤伯敏, 等. 密闭空间雾滴沉积状态参数的显微图像解析[J]. 农业机械学报, 2008, 39(2): 55~59.
Qiu Baijing, Sha Junyan, Tang Bomin, et al. Analysis of droplets deposition parameters based on micrograph in airtight space[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(2): 55~59. (in Chinese)