

# 基于图像处理的雾滴检测技术<sup>\*</sup>

祁力钧 胡开群 莽璐 王洪涛 冀荣华

(中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

**【摘要】** 通过模拟田间实际喷雾情况,利用图像采集系统采集雾滴图像,对其进行增强和分割等预处理,并对粘连雾滴提出用改进的分离粘连雾滴算法进行了分离处理。基于相同样本,用图像处理方法获得的雾滴粒径分布及覆盖率等参数与激光粒度仪测量结果的对比分析表明,利用图像处理技术检测雾滴分布参数,其测量误差在6%以内。

**关键词:** 雾滴 图像处理 分布

**中图分类号:** TP391.41; TP206<sup>+</sup>.1

**文献标识码:** A

## Droplet Detection Based on Image Processing

Qi Lijun Hu Kaiqun Mang Lu Wang Hongtao Ji Ronghua

(College of Information & Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

### Abstract

The droplet size distribution is evaluated by image processing. The traces of the captured droplet on water-sensitive papers are detected by a camera and then sent for segment and evaluation by a specially developed program. An improved GLV algorithm is used to separate the conglutinated droplets and compute their size data comparing to the discrete droplets. Comparison experiments are conducted to measure the droplet size distribution by a laser particle size analyzer. The evaluation result shows that the error between the data set given by image process and the data set from laser analyzer is less than 6%.

**Key words** Droplet, Image processing, Distribution

## 引言

植保机械的喷雾质量主要从雾滴的分布均匀性、飘移性和覆盖率3方面进行评价。准确测量雾滴尺寸、掌握喷雾雾滴尺寸分布规律,对更好地控制喷雾过程具有重要意义<sup>[1~2]</sup>。

传统的雾滴尺寸测量主要有基于光学和基于试样2种方法。光学直接测量方法,是采用高速摄影、激光全息、激光图像化等光学技术,特点是测量精度高、范围大,但仪器价格昂贵,体积庞大,适应环境能力差,不适合野外测量<sup>[3~7]</sup>。试样测量方法是利用雾滴碰撞取样介质而在其表面留下印痕,然后利用

显微镜进行雾滴尺寸测定;这种测量方法工作强度大且精度不高<sup>[8~10]</sup>。

本文提出通过模拟田间喷雾实际情况,以水敏纸收集雾滴,利用图像处理技术测量雾滴分布参数的检测方法。

## 1 雾滴图像采集及预处理

### 1.1 雾滴图像采集

用水敏纸收集雾滴后用如图1所示的图像采集系统采集雾滴图像。

其中,A为带有图像采集卡的计算机;B为光学镜头和摄像机;光学镜头选择日本精工 SE5018,焦

收稿日期: 2009-07-10 修回日期: 2009-07-28

<sup>\*</sup> “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2007BAD89B04)和国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2008AA100905)

作者简介: 祁力钧,教授,主要从事农业植保机械研究,E-mail: qilijun@cau.edu.cn

通讯作者: 冀荣华,讲师,主要从事图像处理、模式识别研究,E-mail: jessic1212@cau.edu.cn

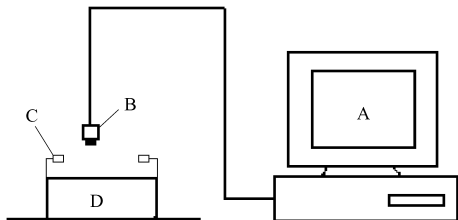


图1 雾滴图像采集系统

Fig.1 Droplet image acquisition system

距为 50.0 mm, 孔径为 F1.8 - C; 摄像机选用德国 BASLER A622f 数字摄像机; C 为照明系统, 采用 LED 作为光源; D 为载物平台, 用来摆放收集雾滴的水敏纸。

## 1.2 雾滴图像预处理

为了提高图像质量以便进一步测量雾滴分布参数, 对雾滴图像进行分段线性灰度变换以增强图像清晰度。分析雾滴图像的灰度分布直方图, 发现其灰度分布直方图呈现明显的双峰性质, 即雾滴斑痕与水敏纸背景有着明显灰度差别。

为了有效提取雾滴区域, 采用分块阈值法分割雾滴图像。分块阈值法是将图像分为若干子图像, 对每幅子图像分别进行最佳阈值分割。为保证每个子图像上都会有雾滴, 把雾滴图像分为  $3 \times 3$  个子图像。图 2 列出了雾滴原始图像及增强和分割后的图像。

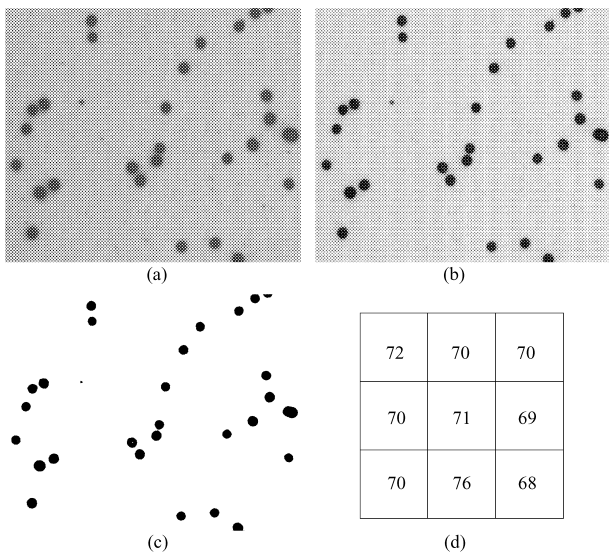


图2 雾滴原始图像及处理后图像

Fig.2 Original and processed droplet images

(a) 原始雾滴图像 (b) 增强后图像  
(c) 分割后图像 (d) 子图像阈值

## 2 粘连雾滴分离和雾滴参数计算

### 2.1 粘连雾滴分离

收集在水敏纸上的雾滴, 经常会出现雾滴粘连现象, 为了正确统计雾滴的相关参数, 必须分离粘连

雾滴。

正常单个雾滴形状接近圆形, 而粘连雾滴形状变得不规则。圆形度是计算物体形状复杂程度的特征量。假设雾滴轮廓周长为  $L$ , 面积为  $A$ , 则雾滴的圆形度为

$$E = \frac{4\pi A}{L^2} \quad (1)$$

分别计算了 25 个正常的和 25 个粘连的雾滴的圆形度, 其分布情况如图 3 所示。正常雾滴的圆形度大部分集中在 0.8 附近, 个别雾滴的圆形度较小, 在 0.6 附近, 为形状不规则的雾滴; 而粘连雾滴的圆形度均小于 0.5。因此本文以圆形度等于 0.5 为阈值来判断雾滴是否粘连。

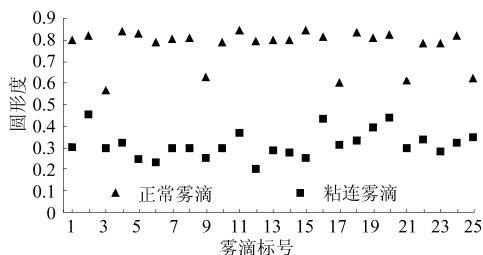


图3 雾滴圆形度分布

Fig.3 Distribution of droplet roundness

判断出雾滴是否粘连后, 需要将粘连雾滴有效分离。Guimaraes L V<sup>[11]</sup> 针对重叠红细胞, 提出寻找分离点对的算法。此算法分割重叠红细胞时, 较容易寻找到分割点, 计算量小, 但这一算法的分离限制条件限制了分离精度。改进的分离算法提出了更为精确的分离限制条件, 降低了误分离概率, 提高了分离准确率。改进的分离粘连雾滴算法是以假设雾滴是圆形的并且粘连雾滴的分离点出现在长轴两侧为基础的。

### 2.2 雾滴参数的测量

主要对雾滴个数、面积(平面上投影面积)、周长、圆形度、覆盖率等参数进行测量统计。其中雾滴个数利用区域标记法统计; 雾滴面积利用图像中雾滴区域内像素数表示; 雾滴周长用轮廓线上像素间距离和表示; 雾滴覆盖率利用图像中雾滴面积和与整幅图像面积的百分比表示。雾滴尺寸可以用很多种方法表示。如算术平均直径、数量中径、体积中径、面积中径和质量中径等, 本文主要利用测得的数据计算雾滴的算术平均直径、数量中径和体积中径, 用以衡量雾滴尺寸。

## 3 试验

### 3.1 试验环境

构建用于模拟田间实际喷雾情况的试验环境, 采集雾滴, 利用上述图像处理技术测量雾滴参数, 并

与利用激光粒度仪测量结果进行对比分析。模拟试验环境如图4所示。

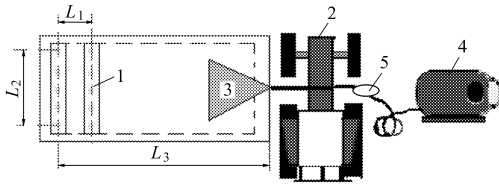


图4 试验环境示意图

Fig.4 Schematic diagram of experiment environment

图4中,1为摆放水敏纸的10个支架,两个支架之间的距离 $L_1$ 均为0.25 m,每个支架上均匀摆放5张水敏纸,两端的水敏纸间距 $L_2$ 为0.5 m;2为电动车,用来模拟田间作业,速度为1.5 m/s;3为喷雾系统,采用All Man200型喷雾系统,其中喷头分别选取TeeJet公司生产的XR11001、XR11004、XR11008型3种扁扇型喷头,喷头距地面1 m,与

最远支架的距离 $L_3$ 为2.5 m;4为施药泵;5为压力表。

### 3.2 试验方法

试验在室内进行,室内温度为15℃,相对湿度为30%。3种型号喷头分别在1.0、2.5、4.0 kPa的压力下工作,共有9种喷雾方式。每种组合方式进行3次重复试验。每次试验采集其中50个水敏纸样本。利用上述图像处理技术对水敏纸上雾滴测量并计算雾滴尺寸。

为将测量结果转换为实际结果,对摄像机进行标定。根据标定结果,图像中每个像素代表实际长度为23.02  $\mu\text{m}$ ,以此为换算关系,计算出雾滴参数的实际值。

### 3.3 试验结果与分析

通过雾滴图像检测系统测得3种喷头在不同压力下的雾滴平均覆盖率,如表1所示。图5为

表1 不同工况下的雾滴覆盖率

Tab.1 Different locations droplet coverage with different nozzle under different pressure

采样点距喷头的距离/m	XR11001			XR11004			XR11008		
	1.0 kPa	2.5 kPa	4.0 kPa	1.0 kPa	2.5 kPa	4.0 kPa	1.0 kPa	2.5 kPa	4.0 kPa
0.25	0.243 8	0.254 2	0.271 5	0.243 6	0.288 7	0.236 7	0.184 5	0.162 7	0.200 2
0.50	0.055 0	0.088 2	0.156 3	0.340 6	0.333 0	0.284 8	0.314 9	0.303 9	0.282 9
0.75	0.006 9	0.014 3	0.088 7	0.236 6	0.368 7	0.328 3	0.432 0	0.352 7	0.342 8
1.00	0.001 8	0.009 1	0.053 2	0.122 3	0.252 6	0.377 2	0.171 1	0.467 8	0.427 6
1.25	—	0.006 7	0.025 1	0.063 1	0.118 1	0.252 5	0.142 8	0.320 8	0.460 1
1.50	—	—	0.004 9	0.021 9	0.057 3	0.120 8	0.111 9	0.186 6	0.222 9
1.75	—	—	—	0.015 0	0.034 1	0.073 1	0.073 6	0.126 3	0.166 1
2.00	—	—	—	0.006 8	0.010 5	0.034 1	0.026 9	0.082 2	0.134 5
2.25	—	—	—	—	—	0.015 5	0.004 2	0.055 6	0.070 8
2.50	—	—	—	—	—	—	—	0.003 7	0.003 1

注:其中“—”表示样本上未见雾滴或可以忽略不计。

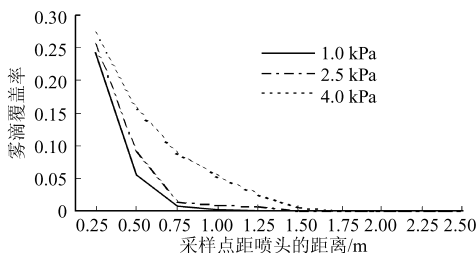


图5 XR11001型喷头的覆盖率分布

Fig.5 Distribution droplet coverage of XR11001 nozzle

XR11001型喷头覆盖率分布情况。

可以发现:同一型号喷头在不同压力下工作,其曲线坡度基本一致。随着压力增加,雾滴覆盖率的峰值向后移动,数值增大;相同压力下,不同型号喷头在同一采样位置的雾滴覆盖率有明显的差别;雾滴离开喷头后,粒径较小的雾滴落在离喷头较近的

采样纸上,而粒径较大的雾滴则落在离喷头较远的采样纸上。

### 3.4 对比试验

由于雾滴在重力作用下的扩散效应,雾滴斑痕会比实际尺寸大。雾滴扩展方程<sup>[12]</sup>的修正式为

$$D_A = 0.535\ 493\ 06 D_S - 0.000\ 084\ 839 D_S^2 \quad (2)$$

式中  $D_A$ ——雾滴的实际直径, $\mu\text{m}$

$D_S$ ——雾滴在水敏纸上所形成斑痕直径, $\mu\text{m}$

根据式(2)将测量的雾滴直径转换为雾滴实际直径。为对比测量精度,本文利用激光粒度仪进行了对比试验。基于图像处理的雾滴体积中径计算结果和激光粒度仪所测体积中径结果以及两者误差,如表2所示。

表 2 雾滴体积中径测量结果

Tab.2 Diameter droplet size measurements

压强 /kPa	体积中径/ $\mu\text{m}$		测量 误差/%
	图像处理	激光粒度仪	
1.0	220.55	213.94	3.08
2.0	181.96	173.44	4.91
3.0	170.28	161.92	5.16
4.0	163.02	154.49	5.52

基于图像处理检测的雾滴中径较激光粒度仪所测结果略大,但误差在 6% 范围内。原因在于图像处理过程中,微小雾滴按噪声被处理掉,影响了雾滴

中径的测量精度。

#### 4 结束语

本文模拟田间实际喷雾,采用水敏纸收集雾滴,利用图像处理技术检测雾滴参数。分别测量了 3 种不同型号喷头在不同压力下的雾滴覆盖率,所测结果符合雾滴覆盖率变化规律。将试验结果与激光粒度仪的测量结果对比表明,基于图像处理测量的雾滴体积中径较激光粒度仪所测结果略大,但误差小于 6%;两者所测雾滴直径的分布规律相一致。对比试验说明基于图像处理技术可以较为准确地获得雾滴径谱分布。

#### 参 考 文 献

- 李英,张晓辉,孔庆勇,等. 雾滴分类及其测量方法研究现状[J]. 农业装备技术,2003,29(4):34~36.
- 傅泽田,祁力钧,王秀. 农药喷施技术的优化[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2002.
- Sudheer K P, Panda R K. Digital image processing for determining drop sizes from irrigation spray nozzles[J]. *Agricultural Water Management*, 2000, 45(2):159~167.
- 黄银娣. 应用激光全息术对柴油雾化机理和喷雾特性的研究[J]. 南京林业大学学报,1997,21(4):23~27.  
Huang Yindi. A study on atomisation mechanism of diesel fuel and spray characteristics by using laser holography[J]. *Journal of Nanjing Forestry University*, 1997,21(4):23~27. (in Chinese)
- 许锋,齐国荣,周经纬,等. 用高速摄影对比分析伞喷与 HL 喷雾特性[J]. 大连理工大学学报,1998,38(5):562~566.  
Xu Feng, Qi Guorong, Zhou Jingwei, et al. Macro characteristics of conical spray and HL spray[J]. *Journal of Dalian University of Technology*, 1998,38(5):562~566. (in Chinese)
- 段树林. 应用激光显微摄影对柴油机喷雾粒度分布的测量研究[J]. 大连铁道学院学报,1997, 18(3):61~64.  
Duan Shulin. The investigation of measurement of diesel spray droplet distribution with the method of laser microphotograph[J]. *Journal of Dalian Railway Institute*, 1997, 18(3):61~64. (in Chinese)
- 郑加强. 计算机辅助激光成像雾滴尺寸测量系统[J]. 计算机自动测量与控制,2000,8(6):16~20.  
Zheng Jiaqiang. Computer-aided laser imaging droplet sizing system[J]. *Computer Automated Measurement & Control*, 2000,8(6):16~20. (in Chinese)
- 邱景,郑加强,周宏平,等. 雾滴尺寸测定及处理方法综述[J]. 林业机械与木工设备,1999(7):10~12.  
Qiu Jing, Zheng Jiaqiang, Zhou Hongping, et al. Summarization of droplet size determination and treatment methods[J]. *Forestry Machinery & Wood Working Equipment*, 1997(7):10~12. (in Chinese)
- Derksen R C, Jiang C. Automated detection of fluorescent spray deposits with a computer vision system[J]. *Transactions of the ASAE*,1995,38(6):1 647~1 653.
- 史春建. 植保机械雾化性能的图像检测方法研究[D]. 镇江:江苏大学,2005.
- Guimaraes L V, Suzim A A, Maeda J. A new automatic circular decomposition algorithm applied to blood cells image[C]// *Proceedings of IEEE International Symposium on Bio-Informatics and Biomedical*, 2000:277~280.
- Wolf R E. Assessing the ability of dropletscan to analyze spray droplets from a ground operated sprayer[J]. *Applied Engineering in Agriculture*,2003,19(5): 525~530.