

烟雾机雾滴沉积分布的空间解析^{*}

邱白晶¹ 张振磊¹ 汤伯敏² 赵晓丽¹ 李成泉¹

(1. 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;

2. 农业部南京农业机械化研究所, 南京 210014)

【摘要】 提出了一种雾滴沉积分布的空间解析方法, 并利用该方法对棚室内常温烟雾机雾滴的当量直径、覆盖率和沉积密度等参数进行了分析研究。试验结果表明: 雾滴当量直径和覆盖率在棚室的两侧大, 中轴线小, 而沉积密度正好相反; 雾滴当量直径和覆盖率在距棚室入口 25 m 处的两侧皆出现峰值, 沉积密度在棚室中轴线上距入口 13、35 和 52 m 处出现峰值。表明采用空间解析方法比单曲线分析方法更能反映雾滴在棚室内沉积分布的状况。

关键词: 烟雾机 雾滴 沉积分布 空间解析

中图分类号: S491 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)04-0065-04

Spatial Analysis of Droplets Deposition Distribution

Qiu Baijing¹ Zhang Zhenlei¹ Tang Bomin² Zhao Xiaoli¹ Li Chengquan¹

(1. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education &

Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

2. Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China)

Abstract

A new method for spatial analysis of droplet deposition was presented, by which the parameters of spraying deposition in greenhouse were analyzed, including droplets equivalent diameter, spraying coverage and droplets density. The experimental results showed that the droplets equivalent diameter and spraying coverage is larger in both sides than central axis of the greenhouse, while droplets density is opposite. The peak value of droplets equivalent diameter and spraying coverage respectively appears in both sides of the greenhouse 25 m away from entrance, and three peak values of droplets density occur in central axis of the greenhouse with the distance of 13, 35 and 52 m from entrance, respectively. The results also indicated that the method of spatial analysis can more objectively reflect the droplets deposition distribution in greenhouse by contrast to simple curve analysis.

Key words Fogging machine, Droplet, Deposition distribution, Spatial analysis

引言

在植保机械的喷雾研究中, 雾滴的沉积分布是影响农药利用率和病虫害防治效果的重要因素, 其参数主要包括雾滴直径、覆盖率和沉积密度等^[1-6]。

已有对喷雾结束后雾滴在棚室内沉积分布状态的分析研究^[7-10], 得出了雾滴的沉积密度和覆盖率

在棚室长度方向的变化曲线, 初步揭示了雾滴在棚室内的分布状况。但此类方法只得出了沿棚室长度方向的一条变化曲线, 不能完全反映雾滴在整个棚室空间的实际分布状况。针对此问题, 本文对雾滴的当量直径、覆盖率和沉积密度 3 个参数进行空间曲面图分析, 更加清晰地反映雾滴在整个棚室空间内的沉积分布状况。

1 试验

1.1 场地及设备

试验场地为农业部南京农业机械化研究所的一栋 $56\text{ m} \times 6\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ 东西方向的塑料大棚。施药机具为:农业部南京农业机械化研究所研制的中农 3YC-100 型常温烟雾机。

常温烟雾机喷出的雾滴平均粒径只有 $30\text{ }\mu\text{m}$, 雾滴颗粒细小并且数量庞大。针对这一情况,运用三目显微镜采集采样卡上的雾滴图像。具体图像采集系统由 ZOOM 645S 三目连续变倍体视显微镜、数字摄像头和计算机等设备构成。

1.2 采样方法及采样卡布置

试验采用喷有白漆的载玻片作为采样卡,大小为 $25\text{ mm} \times 76\text{ mm}$ 。

沿棚室长度方向每隔 5 m 布置一个采样卡,宽度方向每隔 1 m 布置一个采样卡,沿轴向对称分布。距地面高 0.4 m 和 0.8 m 处分两层分别放置采样卡。为了方便进出棚室以及放置其他试验设备,上层的轴线上均不放置采样卡,棚室中共布置了 108 个采样卡,具体布置如图 1 所示。

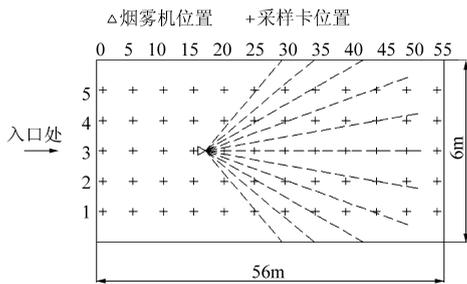


图 1 温室内采样卡分布示意图

Fig. 1 Distribution of droplets sampling cards in greenhouse

1.3 方法及材料

常温烟雾机喷头放置在距入口 17 m 处,距地面高 1.25 m 。试验材料(喷雾试液)采用食品添加剂(黑色)水溶液(质量分数为 10%)。

喷雾前在棚室内放置好采样卡,喷雾结束待雾滴充分沉积后,将采样卡收回并用 ZOOM 645S 三目连续变倍体视显微镜进行拍摄,放大倍数为 50 倍。拍摄时为减小统计误差,每张采样卡随机拍摄 3 处,图像格式为 24 位图,大小为 $1\,280 \times 1\,024$ 。采用自行开发的雾滴图像处理软件对雾滴图像进行分析处理,该软件的开发平台为 Visual C++ 6.0,可得到雾滴的当量直径、覆盖率和沉积密度 3 个参数。这种方法与传统的人工统计方法相比不仅提高了工作效率,降低了劳动强度,而且定量分析的客观性可以消除主观因素的影响,从而保证检测结果的正确性。

1.4 试验条件

试验开始前,测得棚室的干球温度 $35\text{ }^\circ\text{C}$,湿球温度 $34\text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度 93% ,大气压 103.25 kPa 。由于距电源较远,为保证常温烟雾机正常工作,在末端对电压进行调节,调压器的输出端电压 220 V ,空气压缩机的压力 0.22 MPa 。施药量为 1.42 L ,喷雾时间 12 min 。喷雾结束后雾滴沉积 3 h 。收取采样卡时,测得棚室的干球温度 $15\text{ }^\circ\text{C}$,湿球温度 $14\text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度 74% 。

2 雾滴图像处理

2.1 预处理

ZOOM 645S 三目连续变倍体视显微镜标准配置光源为环形人工光源,这导致拍摄的图像中间区域亮度较大,边缘区域亮度较小,如图 2a 所示。如果对雾滴图像直接进行二值化,将造成图像的中间区域雾滴减少,边缘噪声增多,如图 2b 所示。由于 ZOOM 645S 三目连续变倍体视显微镜没有光照均匀的光源可供选配,本文采用光线均匀化处理算法^[11]对雾滴的原始图像进行处理,处理后的雾滴图像如图 2c 所示。然后再对图 2c 进行迭代阈值二值化处理,处理后的结果如图 2d 所示。

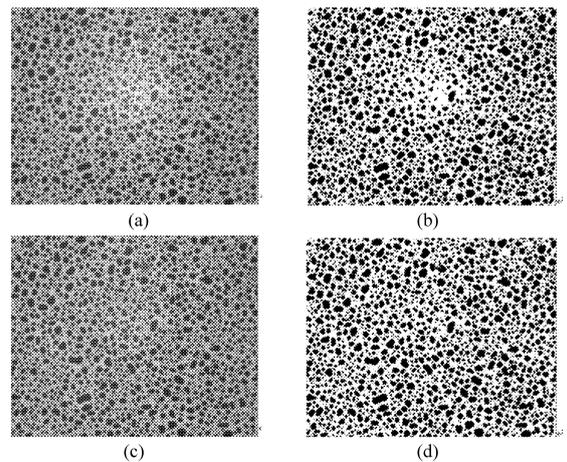


图 2 雾滴图像的预处理

Fig. 2 Preconditioning of digital image

(a) 原始图 (b) 直接二值化 (c) 光线均匀化处理 (d) 光线均匀化处理后二值化

2.2 标定

为了得到雾滴图像中的像素与实际尺寸之间的对应关系,需对图像采集系统进行标定。采用带有网格背景的标准纸卡作为标定基准,标准纸卡网格为 $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$,如图 3 所示。

在显微镜放大倍数为 50 倍的条件下读取标准纸卡,然后采用像素坐标差值的方法获取 1 mm 长度内的像素数目,即图 3 中 a、b 两点之间的水平距

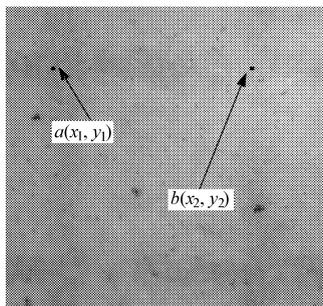


图 3 图像的标定

Fig. 3 Calibration of digital image

离,从而得像素与实际尺寸之间的比例系数

$$\eta = |x_2 - x_1| \quad (1)$$

式中 x_1, x_2 —— a, b 点的横坐标

η ——1 mm 内的像素数目

为减小随机误差,取 3 次读卡结果并求其平均值作为标定参数,得到 $\eta = 402$ 像素/mm。

2.3 分析

雾滴图像经过预处理后,对雾滴进行统计分析,分析雾滴沉积效果的参数为:雾滴当量直径、单位面积雾滴覆盖率和沉积密度,其具体计算公式如下^[12]:

(1) 雾滴当量直径

雾滴当量直径 D (μm) 为图像中单个雾滴的面积用相同面积的圆表示时圆的直径,其计算公式为

$$D = 2000 \sqrt{\frac{N}{\pi}} / \eta \quad (2)$$

式中 N ——单个雾滴所包含的像素数目

(2) 单位面积雾滴覆盖率

采样卡雾滴覆盖率为图像中分析区域雾滴的像素数与图像分析区域总像素数之比,其计算公式为

$$\delta = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N f(i, j)}{MN} \times 100\% \quad (3)$$

式中 M, N ——分析区域的宽度和高度,像素

$f(i, j)$ ——图像分析区域中的灰度值为零(雾滴)的像素

(3) 单位面积雾滴沉积密度

单位面积雾滴沉积密度为 1 mm^2 的面积上沉积的雾滴数。其计算公式为

$$k = \frac{\eta^2 K}{MN} \quad (4)$$

式中 K ——图像上的雾滴点数

3 试验结果与分析

对获取的每个雾滴图像进行统计分析,得到棚室内每个采样点上的雾滴当量直径、覆盖率和沉积密度 3 个参数,求出上、下层的平均值,再采用径向

基函数法进行插值,生成的空间分布曲面图如图 4 所示,图中长度轴的 0 m 处对应图 1 中的入口处。

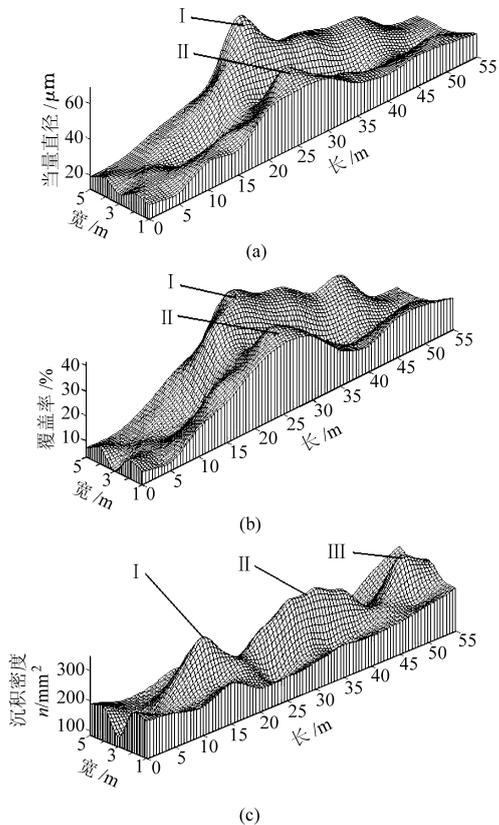


图 4 喷雾参数空间分布图

Fig. 4 Spatial distribution of spray parameters

(a) 当量直径 (b) 覆盖率 (c) 沉积密度

3.1 雾滴当量直径

从图 4a 中可以看出雾滴当量直径集中在 $20 \sim 50 \mu\text{m}$ 之间,在棚室第 25 m 处的两侧(对应图中的 I 和 II 处)有 2 个明显的峰值,向前和向后逐渐减小。在棚室中轴线上的雾滴当量直径变化较为平缓,但都小于两侧的雾滴当量直径,形成一个明显的波谷。

3.2 雾滴覆盖率

雾滴覆盖率的分布如图 4b 所示,从图中可以看出,雾滴的覆盖率变化规律与当量直径的变化规律相似,在棚室第 25 m 处的两侧(对应图中的 I 和 II 处)有 2 个明显的峰值,向前和向后逐渐减小。棚室中轴线上的雾滴覆盖率小于两侧的雾滴覆盖率。覆盖率的大小主要分布在 $10\% \sim 40\%$ 之间。

结合图 4a 及图 4b,可以看出雾滴当量直径和覆盖率在棚室两侧大,中轴线上小,在棚室长度方向第 25 m 处中轴线的两侧都出现 2 个峰值,这一现象的原因是:当雾滴从喷头喷出后,由于喷头后方轴流风机的作用将雾滴吹向棚室的两侧,从而造成了棚室两侧的雾滴当量直径和覆盖率大于棚室的中轴线,并且由于直径较大的雾滴受重力作用迅速沉降,

导致当量直径和覆盖率在喷头前方左右两侧各出现一个峰值。

3.3 雾滴沉积密度

雾滴沉积密度的空间分布如图4c所示,从图中可以看出,雾滴的沉积密度基本上集中在150~250个/mm²之间,在棚室的整个长度方向上波动较大,分别在棚室中轴线上的第15 m、35 m和52 m处(对应图中的I、II和III处)出现3个峰值。

与当量直径和覆盖率不同,雾滴的沉积密度是中轴线上大于棚室两侧,其原因为棚室两侧沉降下来多为直径相对较大的雾滴,在棚室中轴线附近沉降下来的多为直径相对较小的雾滴(图4a)。

图4c中I处的峰值是由于此处为常温烟雾机喷头后方轴流风机的进风口,在棚室密闭的环境中,由气流的循环作用将一些细小的雾滴带至此处;II处的峰值是由于一些中等粒径(图4a)的雾滴在

此处集中沉降造成的;III处的峰值是由于在此处沉降了大量的细小雾滴。

4 结论

(1)采用曲面图对雾滴的沉积分布进行空间解析的方法,能够清晰地显示雾滴在棚室内的沉积分布情况。

(2)常温烟雾机的雾滴当量直径较小,主要集中在20~50 μm之间;覆盖率主要在10%~40%之间;沉积密度较大,可达150~250个/mm²。

(3)由于轴流风机的作用及雾滴大小的差异,导致雾滴当量直径和覆盖率在棚室两侧较大,中轴线较小,而雾滴沉积密度刚好相反;雾滴当量直径和覆盖率在棚室第25 m处的两侧各出现一个峰值,而雾滴的沉积密度在棚室中轴线上的第15、35和52 m处各出现一个峰值。

参 考 文 献

- 邱白晶,史春建,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.
Qiu Baijing, Shi Chunjian, 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)
- Ramalingan N, Ling P P, Derksen R C. Dynamic segmental for automatic spray deposits analysis on uneven leaf surfaces[J]. Transactions of the ASAE,2003,46(3):893~900.
- Jiang C, Derksen R C. Morphological image processing for spray deposit analysis[J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(5):1581~1591.
- Panneton B, Piche M. Integration between application volume, airflow, and spray quality in air-assisted spraying[J]. Transactions of the ASABE, 2005, 48(1):37~44.
- Smith D B. Uniformity and recovery of broadcast spray using fan nozzles[J]. Transactions of the ASAE,1992,35(1):39~44.
- 高雄,毛利建太郎ほか. 静電気が常温煙霧機の微粒化性能と拡散性能に及ぼす影響[J]. 農業生産技術管理学会誌, 2002,9(別冊):45~46.
Gao Xiong, Kentaro Mohri. Effect of electrostatic spraying on the atomization performance and diffusibility of cold aerosol sprayer[J]. Journal of Japanese Society of Agricultural Technology Management,2002,9(Supp.):45~46. (in Japanese)
- 湯伯敏,毛利建太郎,門田充司,等. 温室における煙霧流の測定と解析[J]. 岡山大学農学部学術報告,2009,98,39~45.
Tang Bomin, Kentaro Mohri, Mitsuji Monta, et al. Measurement and analysis of fog flow in plastic greenhouse[J]. Scientific Reports of the Faculty of Agriculture, Okayama University,2009,98:39~45. (in Japanese)
- 汤伯敏,梁建,杨德水,等. 塑料温室内的雾滴沉积分布研究[J]. 农业机械学报,2004,35(3):72~75.
Tang Bomin, Liang Jian, Ynag Deshui, et al. Distribution of droplets deposition in plastic greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004,35(3):72~75. (in Chinese)
- 汤伯敏,梁建,吴萍,等. 内燃机驱动常温烟雾机及其施药技术[J]. 中国农机化,2005(5):58~60.
Tang Bomin, Liang Jian, Wu Ping, et al. Fogger in normal temperature, driven by internal combustion engine and its applying pesticide technology[J]. Chinese Agricultural Mechanization,2005(5):58~60. (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):55~58.
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):55~58. (in Chinese)
- 沙俊炎. 常温烟雾机雾化性能的图像检测[D]. 镇江:江苏大学,2007.
Sha Junyan. Research on measurement for atomization performance of cold aerosol sprayer based on micrograph [D]. Zhenjiang: Jiangsu University,2007. (in Chinese)

- complete fluidic sprinkler[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(11):51~54. (in Chinese)
- 2 Tang F M, Kang Z H. Fluidic sprinkler for irrigation with stepwise rotation[C]//Harade M. Fluid Control and Measurement, Tokyo, Japan: Pergamon Press, 1986: 415~420.
 - 3 黄志斌,张世芳. 自反馈式射流喷头的设计[J]. 江苏大学学报:自然科学版,1985,6(2):35~38.
Huang Zhibin, Zhang Shifang. Designment in fluidic sprinkler feedback by itself [J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 1985, 6(2):35~38. (in Chinese)
 - 4 朱兴业,袁寿其,李红,等. 全射流喷头的原理及实验研究[J]. 排灌机械,2005,23(2):23~26.
Zhu Xingye, Yuan Shouqi, Li Hong, et al. Theory and experimental research of fluidic sprinkler[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2005, 23(2): 23~26. (in Chinese)
 - 5 袁寿其,朱兴业,李红,等. 全射流喷头重要结构参数对水力性能的影响[J]. 农业工程学报,2006,22(10):113~116.
Yuan Shouqi, Zhu Xingye, Li Hong, et al. Effects of complete fluidic sprinkler on hydraulic characteristics based on some important geometrical parameters[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(10): 113~116. (in Chinese)
 - 6 李世英. 喷灌喷头理论与设计[M]. 北京:兵器工业出版社,1995.
 - 7 朱兴业,袁寿其,李红. 全射流喷头与摇臂式喷头的对比实验[J]. 农业机械学报,2008,39(2):70~72,184.
Zhu Xingye, Yuan Shouqi, Li Hong. Compared experiments between complete fluidic sprinkler and impact sprinkler[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(2): 70~72, 184. (in Chinese)
 - 8 JB/T 7867—1997 旋转式喷头[S].
 - 9 Han W T, Fen H, Wu P T, et al. Evaluation of sprinkler irrigation uniformity by double interpolation using cubic splines[C] //Proceedings of International Conference on Effective Utilization of Agricultural Soil & Water Resources and Protection of Environment, 2007: 250~255.
 - 10 Sourell H, Faci J M, Playán E. Performance of rotating spray plate sprinklers in indoor experiments[J]. J. Irrig. Drain. Eng., 2003, 129(5): 376~380.
 - 11 Hendawi M, Molle B, Folton C, et al. Measurement accuracy analysis of sprinkler irrigation rainfall in relation to collector shape[J]. J. Irrig. Drain. Eng., 2005, 131(5): 477~483.
 - 12 Tarjuelo J M, Montero J, Valiente M, et al. Irrigation uniformity with medium size sprinklers, part I: characterization of water distribution in no-wind conditions[J]. Trans. ASAE, 1999, 42(3): 665~675.
 - 13 Christiansen J E. Irrigation by sprinkling[R]. California Agricultural Experiment Station Bull. 670, California University, Berkeley, October, 124,1942.

(上接第 68 页)

- 12 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.
Shi Chunjian. Research on measurement for atomization performance of crop protection machinery based on image processing [D]. Zhenjiang: Jiangsu University,2005. (in Chinese)
- 13 陆军,李萍萍,贾卫东,等. 温室轴流风送药雾靶标沉积试验[J]. 农业机械学报,2009,40(12):88~92.
Lu Jun, Li Pingping, Jia Weidong, et al. Experiment of axial-flow air-carried toward-target pesticide deposition in greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(12):88~92. (in Chinese)
- 14 陆军,李萍萍,贾卫东,等. 3种喷头雾滴输运沉积参数的试验与分析[J]. 农业机械学报,2009,40(10):53~57.
Lu Jun, Li Pingping, Jia Weidong, et al. Experiment and analysis on droplets motion and deposition parameters of 3 nozzles [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(10):53~57. (in Chinese)
- 15 祁力钧,赵亚青,王俊,等. 基于CFD的果园风送式喷雾机雾滴分布特性分析[J]. 农业机械学报,2010,41(2):62~67.
Qi Lijun, Zhao Yaqing, Wang Jun, et al. CFD simulation and experimental verification of droplet dispersion of air-assisted orchard sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(2):62~67. (in Chinese)