

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.02.012

# 密闭空间药雾质量浓度分布试验\*

邱白晶<sup>1</sup> 李成泉<sup>1</sup> 汤伯敏<sup>2</sup> 张振磊<sup>1</sup>

(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】** 运用改进后的大气采样器对棚室内距地面 1.5 m 高水平面上不同位置采样, 将采样后得到的药雾质量浓度采用三次样条函数插值法建立药雾质量浓度分布曲面。对分布曲面分析表明: 沿棚室长度方向上, 喷头前方 10~12 m 区间中药雾质量浓度最大, 烟雾机作业的有效区域为喷头后方 10 m、前方 32 m, 共 42 m; 宽度方向上, 药雾质量浓度中间低, 两侧高。

**关键词:** 密闭空间 药雾质量浓度 三次样条插值 可视化

**中图分类号:** S491 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)02-0058-04

## Research on Visualization of Pesticide Mass Concentration in Airtight Awning Space

Qiu Baijing<sup>1</sup> Li Chengquan<sup>1</sup> Tang Bomin<sup>2</sup> Zhang Zhenlei<sup>1</sup>

(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

In order to solve the problem of mass concentration of pesticide fog after application in airtight space, an improved container collecting the air samples was used at different locations in the level of 1.5 m from ground, and curved surface of mass concentration of pesticide fog was established based on cubic spline interpolation. It was showed that the pesticide mass concentration attains maximum at 10~12 m in the front of the nozzle, and the effective regional of cold aerosol sprayer is 42 m, from 10 m in the back of the nozzle to 32 m in the front of the nozzle, in length; and the pesticide mass concentration was lower in the middle of airtight space than the sides of it, in width.

**Key words** Airtight space, Mass concentration, Cubic spline interpolation, Visualization

### 引言

对烟雾机施药后药雾的空间运动、分布规律以及喷雾效果、施药安全性开展研究<sup>[1-3]</sup>, 不仅可提高病虫害防治效果、确保施药安全、减少环境污染和保护生态环境, 而且可为实现施药作业的技术创新奠定基础。

目前对于大面积密闭空间药雾质量浓度场分布研究无论采用何种试验方法所取得的信息都是离散

的, 其信息量也不足以形成对药雾质量浓度场的连续表达。因此, 除采用传统的数值模拟方法外, 还需要采用更科学、直观的方法来表述药雾质量浓度场的分布情况。科学计算可视化的目标就是把由数值计算或试验获得的大量数据转换为人的视觉可以直接接受的计算机图像<sup>[4]</sup>, 通过图像展示数据所表现的内容及相互关系。

本文采用改进的大气采样器对密闭棚室中不同位置的药雾进行采样, 用分光光度计检测计算出各

收稿日期: 2009-03-20 修回日期: 2009-05-07

\* 国家自然科学基金资助项目(30571240)和国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2008AA100905, 2006AA10A305-3)

作者简介: 邱白晶, 教授, 博士生导师, 主要从事农业工程及自动化研究, E-mail: qbj@ujs.edu.cn

点处空气中的药雾质量浓度后,通过 Matlab 三次样条插值将棚室内离散的、数量较少的药雾质量浓度采样数据以三维的形式直观表现药雾的空间运动、分布规律和喷雾效果。

## 1 试验设备与试验设计

### 1.1 设备

#### 1.1.1 雾化设备

试验雾化设备采用日本有光工业株式会社生产的 LVH-15DX 型常温烟雾机。该设备使用 220 V 单相交流电,工作压力约为 0.2 MPa,药箱容积为 10 L,适用于面积为 300~1 000 m<sup>2</sup> 的棚室。清水作业时机具的平均喷雾量约为 80 mL/min。采用质量分数 10% 模拟药液作业时的平均喷雾量要在试验前实时测量,并以此作为确定该次试验总体棚室喷雾时间的依据。

#### 1.1.2 样本采集设备

常温烟雾机在密闭棚室内雾化作业时,由于雾滴极细小,平均粒径约为 20 μm,且目前市场上的大气采样器采气流量普遍偏小,很难在较短时间内收集到足够的药雾进行后续分析。所以本文中以常规大气采样器 DQ-1A 型为原型,将其改进为 DQ-1B 型,如图 1 所示。改进后的采样器最大采气流量从原来的 1 L/min 增加至 5 L/min,且采样流量为 0.1~5 L/min 连续可调,采样时间为 0~999 min 可调,流量计的精度为 ±2.5%。

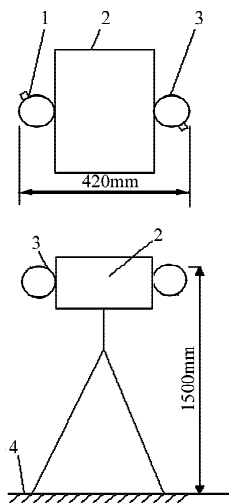


图 1 采样器示意图

Fig. 1 Chart of sampling instrument

1. 采气进口 2. 采样器主机 3. 采样吸气瓶 4. 地面

#### 1.1.3 样本分析设备

采集到空气样本后,运用 721B 型光栅分光光度计对其进行透光率分析,并由此获得药液质量浓度。分析之前要针对样本的性质、质量浓度通过标

定试验确定分析波长。标定试验采用 Lambda 15 型紫外可见分光光度计,按单色光波长递增的顺序依次照射喷雾所用的食品添加剂黑色素模拟药液,测量每一波长处的吸光度,得出其吸收曲线,经分析吸收峰值处对应的波长为 628.4 nm,所以最终采用的分析波长为 628.4 nm。

在分析波长 628.4 nm 条件下,对不同质量浓度试液使用 721B 型光栅分光光度计测定其透光率  $T$ ,建立标准质量浓度值  $C$  与相应透光率  $T$  的关系曲线,如图 2 所示。在决定系数  $R^2 = 0.9995$  条件下

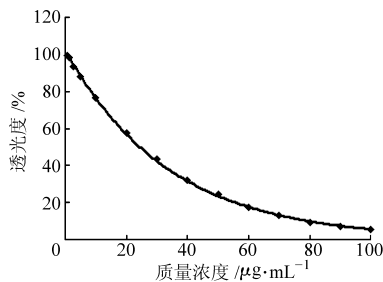


图 2 标准质量浓度曲线

Fig. 2 The curve of standard mass concentration

用指数曲线拟合得出了标准质量浓度曲线的解析式为

$$T = 102.57e^{-0.0295C} \quad (1)$$

式中  $T$ ——透光率, %

$C$ ——标准试液质量浓度, μg/mL

## 1.2 试验设计

### 1.2.1 棚室内采样器及雾化设备的设置

试验在农业部南京农业机械化研究所一栋单跨钢管结构塑料大棚(56 m × 6 m × 2.5 m)内进行。大棚结构尺寸以及雾化设备、采样器的设置如图 3 所示。试验时常温烟雾机喷头放置在距入口 16 m 处中心轴线位置,喷嘴距地面 1.5 m。大气采样器吸收瓶管口距地面 1.5 m。

### 1.2.2 试验喷雾时间的确定

试验时棚室内的气温、气压等气象条件参照环保行业相关规定修正到标准状况,平均喷雾量折算到标准状态(4.5 mL/m<sup>2</sup>)<sup>[1]</sup>。烟雾机的实际喷雾时间为

$$t = \frac{4.5A}{L} \quad (2)$$

式中  $A$ ——试验棚室面积, m<sup>2</sup>

$L$ ——试验前质量分数为 10% 药液的测试喷雾量, mL/min

试验棚室面积  $A = 56 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 336 \text{ m}^2$ ,喷雾试验之前,采用质量分数 10% 的药液检测烟雾机的喷雾量为 68 mL/min,并以此作为确定该次试验总体棚室喷雾时间,经计算得出喷雾时间约为 22 min。

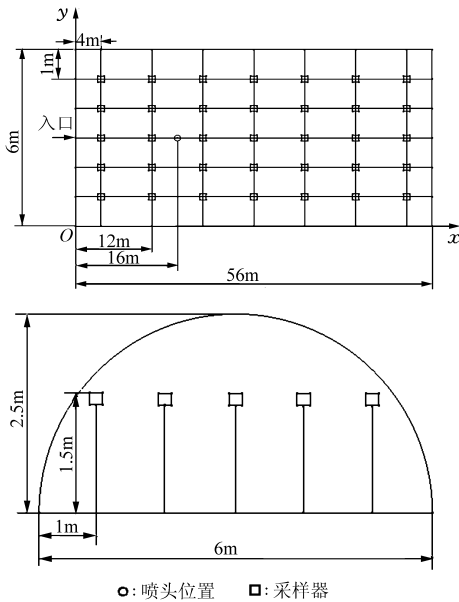


图3 棚室结构及设备布置

Fig. 3 Structure of shed room and locations of instruments

### 1.2.3 试验条件

采用大气采样器进行喷雾后棚室药雾质量浓度采样分析主要受两方面因素的影响。其一是环境因素,如大气压、温度等,试验中大气压为 102.0 kPa,气温为 15℃,相对湿度为 90%;其二是大气采样器采样的开始时间以及采气流量。喷雾结束后轴流风机继续吹风 1 min,然后采样器开始采样。采样器的采气流量为 5 L/min,采样时间为 5 min<sup>[5]</sup>。试验中喷头压力为 0.18 MPa,轴流风机风速以离喷头正前方 1 m 处的风速来表征<sup>[6]</sup>,其值为 12 m/s。

喷雾介质选用模拟药剂即食品添加剂黑色素<sup>[7]</sup>,药液质量分数为 10%。采样液使用纯净蒸馏水,每个采样瓶用量为 10 mL。

## 2 试验数据处理

将试验分析得到的棚室内各点处的样本透光度代入标准质量浓度曲线的解析式(1)中,得出相应的采样液质量浓度数据,然后将其换算到棚室内各点空气中药雾质量浓度,如表 1 所示。

表 1 棚室内各点处药雾质量浓度分布

Tab.1 Spraying mass concentration of pesticide fog  
μg/L

宽度 /m	长度/m						
	4	12	20	28	36	44	52
1	28.32	39.43	42.83	43.49	39.43	34.42	25.79
2	27.54	38.05	39.60	41.52	38.61	34.09	25.84
3	27.70	36.99	37.45	39.67	38.05	34.17	26.02
4	27.45	38.72	38.85	40.96	38.95	34.34	25.98
5	28.01	39.80	42.17	42.39	39.31	34.68	26.07

由于试验所得数据主要来源于实际观测点采集的样本,这些数据是有限的、离散的,且分布不规则,而棚室内质量浓度场的实际分布是连续的,因此无法通过表 1 中的数据直接描述质量浓度场的分布状况,这就需要使用可视化来直观地反映质量浓度场的分布状况。

## 3 药雾质量浓度场可视化

可视化是指利用计算机图形学和图像处理技术,将数据转换成图形或图像并在屏幕上显示出来的理论、方法和技术。

通过三次样条函数插值,建立起棚室长度、宽度与药雾质量浓度场的映射关系。由于三次样条插值函数不仅光滑性好,而且能够保证拟合曲线一阶、二阶导数的连续性,因此拟合得到的曲面更接近实际药雾质量浓度场的分布特性。棚室内药雾质量浓度分布由棚室长度  $x$  坐标和宽度  $y$  坐标共同决定,坐标  $x$ 、 $y$  如图 3 所示。质量浓度分布函数为

$$C = f(x, y) \quad (3)$$

首先,通过 Matlab 绘制出药雾质量浓度分布曲面,然后分别用平面  $y_1 = 1 \text{ m}$ ,  $y_2 = 3 \text{ m}$ ,  $y_3 = 5 \text{ m}$  截取该曲面,得到沿棚室长度  $x$  方向上药雾的质量浓度分布曲线,如图 4 所示。

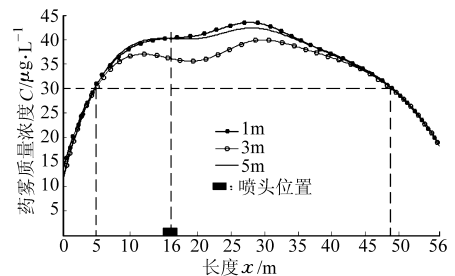


图 4 药雾质量浓度沿长度方向上的分布

Fig. 4 Mass concentration of pesticide fog in length

由图 4 中可以直观看出,药雾质量浓度在沿棚室长度方向距入口 26~28 m 区间内达到最大,即药雾质量浓度在常温烟雾机喷头(16 m)前方 10~12 m 这一区间中最大;在喷头前方 2~3 m 区间中,药雾质量浓度出现一个极小值;喷头后方虽然没有直接喷射药雾,但由于受轴流风机的搅拌作用,使得棚室内的空气发生流动,药雾可以随气流向烟雾机喷头后方扩散。根据田间实际喷洒农药的需要,将空气中药雾质量浓度大于 30 μg/L 的区域作为烟雾机喷洒农药的有效区域<sup>[8-9]</sup>,因此烟雾机喷头后方 10 m、前方 32 m 为有效作业区域。

再次用  $x_1 = 10 \text{ m}$ ,  $x_2 = 20 \text{ m}$ ,  $x_3 = 30 \text{ m}$ ,  $x_4 = 40 \text{ m}$ ,  $x_5 = 50 \text{ m}$  截取药雾质量浓度分布曲面,得到沿棚室宽度  $y$  方向上药雾的质量浓度分布曲线,如

图5所示。

由图5可以看出,宽度方向上药雾质量浓度呈现两侧高,中间低,出现一个凹形,此现象距离喷头越近越明显。出现这种情况主要有两方面原因:①受轴流风机的影响,轴流风机在棚室中间轴向上风速较大,喷出的药雾随风向远处飘散,而在两侧靠近棚室边缘处风速较小,药雾流动性差。②由于药雾雾滴触及棚室墙后反弹造成局部药雾质量浓度变大,从而也可能造成药雾质量浓度两侧高,中间低。

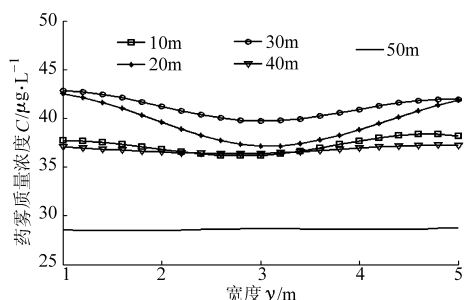


图5 药雾质量浓度沿宽度方向上的分布

Fig.5 Mass concentration of pesticide fog in width

而随着远离烟雾机喷头,轴向风速越来越小,药雾质量浓度逐渐趋于均匀。

## 4 结论

(1) 烟雾机作业时,长度方向上,空气中药雾质量浓度在喷头前方10~12 m区间最大;在喷头前方2~3 m区间,药雾质量浓度出现一个极小值。烟雾机作业的有效区域为喷头后方10 m、前方32 m,共42 m,超出这一区域后,药雾质量浓度急剧下降。

(2) 宽度方向上,主要受轴流风机的影响,喷头附近空气中药雾质量浓度两侧高、中间低现象较明显;而随着远离烟雾机喷头,此现象越来越不明显,药雾质量浓度逐渐趋于均匀。

(3) 从喷雾效果上来看,就目前国内种植大棚宽度大多为6 m,采用常温烟雾机作业时,只需考虑长度方向上的药雾喷洒是否达到均匀要求;对于宽度方向上农药喷洒比较均匀,无需考虑。

## 参 考 文 献

- 1 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, Yang Deshui, et al. Distribution of droplets deposition in plastic greenhouses[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(3): 72~75. (in Chinese)
- 2 Ammons R, Thistle H, Barry J. Optimized pesticide application[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2000, 75(2):155~166.
- 3 汤伯敏,林光武,高崇义,等. 二相流喷雾技术的研究[J]. 农业工程学报,2001,17(5):59~62.  
Tang Bomin, Lin Guangwu, Gao Chongyi, et al. Study on two-phase flow spraying technique[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(5): 59~62. (in Chinese)
- 4 唐泽圣. 三维数据场可视化[M]. 北京:清华大学出版社,1999.
- 5 邱白晶,吴昊,汤伯敏,等. 密闭空间药雾浓度测量的试验方法研究[J]. 农业工程学报,2007,23(12):18~23.  
Qiu Baijing, Wu Hao, Tang Bomin, et al. Experimental study on the measurement of pesticide concentration in sealed interspace[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(12): 18~23. (in Chinese)
- 6 汤伯敏,毛务本,梁建,等. 二相流喷雾测试试验台的研制[J]. 农业工程学报,2005,21(11):85~89.  
Tang Bomin, Mao Wuben, Liang Jian, et al. Research and development of test-bed for two-phase flow spraying technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(11): 85~89. (in Chinese)
- 7 Pergher G. Recover rate of tracer dyes used for spray deposit assessment[J]. Transactions of the ASAE, 2001, 44(4):787~794.
- 8 Giles D K, Welsh A, Steinke W E, et al. Pesticide inhalation exposure, air concentration, and droplet size spectra from greenhouse fogging[J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(5):1321~1326.
- 9 Gil Y, Sinfort C. Emission of pesticides to the air during sprayer application: a bibliographic review[J]. Atmospheric Environment, 2005, 39(28):5183~5193.
- 10 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, 111.  
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, 111. (in Chinese)