

山地管道恒压喷雾中喷雾压力和孔径对雾滴粒径的影响

代秋芳^{1,3}, 洪添胜^{1,2*}, 宋淑然^{1,3}, 薛秀云³, 郑君彬³

(1. 南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642;

2. 华南农业大学工程学院, 广州 510642; 3. 华南农业大学电子工程学院, 广州 510642)

摘要 为提高农药利用率, 研究山地果园管道恒压喷雾系统中喷雾压力和孔径对雾滴粒径参数的影响, 利用激光粒度仪, 测量3种孔径空心圆锥雾喷头在8种压力下的6种雾滴粒径参数数据, 分析各粒径级雾滴的分布情况, 给出雾滴粒径大小及其随压力和孔径的变化趋势, 进行了雾滴参数的多元线性回归, 建立基于压力的雾滴参数模型。结果表明: 粒径大于100 μm 的雾滴(小于0.3%)和粒径为0~20 μm 的雾滴(小于0.5%)可忽略不计, 雾滴粒径主要分布于20~40 μm (79.5%~92.8%); 雾滴均较细小, 全部为气溶胶; 孔径越小, 压力越大, 雾滴越细小; 6种雾滴粒径参数与孔径和压力均有良好的二元线性关系(R^2 分别为0.928、0.956、0.949、0.949、0.889和0.815); 6种雾滴粒径参数均随压力呈二次多项式变化规律, 决定系数 R^2 均达到了0.894以上。研究结果对山地果园管道恒压喷雾中喷头的选型、喷雾压力的调整及喷雾效果的优化有重要参考意义。

关键词 山地果园; 管道恒压喷雾; 雾滴粒径参数; 喷雾压力; 孔径

中图分类号: S 491 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2016.04.008

Influences of spray pressure and pore diameter on droplet diameter of pipeline constant pressure spray in mountains

Dai Qiufang^{1,3}, Hong Tiansheng^{1,2}, Song Shuran^{1,3}, Xue Xiuyun³, Zheng Junbin³

(1. Key Laboratory of Key Technology for South Agricultural Machinery and Equipment, Ministry of Education, Guangzhou 510642, China; 2. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3. College of Electronic Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract In order to increase the pesticide usage efficiency and study the influences of spray pressure and nozzle pore diameter on droplet diameter parameters of pipeline constant pressure spray in mountainous orchards, five important aspects were researched with laser particle analyzer through measuring six types of droplet diameter parameters for three types of pore diameters under eight types of pressures. The droplet distribution of different droplet diameter classes was analyzed; the variation tendencies of droplets with different pressures and nozzle pore diameters were measured; multiple linear regression of droplet diameter parameters was conducted, and droplet diameter parameter models were built based on pressure. The results showed that droplets with diameters more than 100 μm (<0.3%) and 0–20 μm (<0.5%) could be neglected, and the main droplet diameters were 20–40 μm (79.5%–92.8%). Droplets were all tiny, and the major type was aerosol. The smaller the pore diameter of the nozzle, the higher the pressure, and the tinier the droplets. Six types of droplet diameter parameters influenced by pressure and pore diameter could all meet the binary linear equations (R^2 was 0.928, 0.956, 0.949, 0.949, 0.889 and 0.815); meanwhile, the relationships between six types of droplet diameter parameters and pressure could all be described by quadratic polynomial equations (R^2 were all more than 0.894). The results provide

收稿日期: 2015-12-11 修订日期: 2016-01-14

基金项目: 广东省自然科学基金(2015A030310398); 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-27); 公益性行业(农业)科研专项(201203016); 广东省“扬帆计划”引进创新创业团队专项(201312G06); 广东省科技计划项目(2015B090901031)

* 通信作者 E-mail: tshong@scau.edu.cn

valuable references for selecting nozzle, adjusting spray pressure and optimizing spray effect of pipeline constant pressure spray in mountainous orchards.

Key words mountainous orchard; pipeline constant pressure spray; droplet diameter parameter; spray pressure; pore diameter

雾滴粒径参数是反映雾滴大小的主要指标^[1-2], 直接影响雾滴的飘移^[3]、沉积^[4-7]和药效的发挥^[8], 从而影响农药的利用率^[9]和喷雾效果^[10-11]。国内外学者采用各种方法对雾滴粒径进行测量^[12], 用图像处理技术对雾滴进行显微识别^[13], 利用高速摄像机结合数字图像处理技术对雾滴粒径分布和雾滴的运动进行分析^[14-15], 利用激光粒度仪测量雾滴谱^[16], 同时对影响喷头雾滴粒径参数的各种因素进行了分析^[17-18]。但这些研究多为测量在较低压力喷雾时喷头的雾滴, 大多集中在单因素对雾滴粒径的影响分析, 而对适合果园需求的高压力喷雾时喷头的雾滴大小研究较少, 主要影响因素与雾滴大小之间的相关关系研究也较少。

我国南方果园多为山地果园, 多采用低矮密植型种植模式, 移动式喷雾机械很难进入^[19-20], 为此笔者所在团队研究了果园管道恒压喷雾控制系统。由于管道喷雾无需机具在果园中移动, 具有省力、省工、喷雾效果好等优点, 适合山地果园使用^[21]。管道喷雾依靠液泵形成的较高压力, 将药液在喷头处进行雾化并施向靶标, 但管道内药液的压力随作业人数的不同会产生波动, 同时, 药液在管道中流动时会出现压力损失, 导致整个管网系统药液压力不稳定且各点压力各不相同。管道恒压控制装置可根据管道中压力的实际值与设定值间的误差及误差变化趋势, 在线调整模糊 PID 的参数, 经带有变速积分、微分先行优化算子的增量式 PID 算法计算, 获得控制量以控制管道中药液的压力^[22]。因此压力成为影响管道喷雾系统中喷头雾滴参数的重要因素之一。除压力外, 在喷头类型选定后, 喷头孔径也是影响雾滴粒径参数的重要因素。然而到目前为止, 还未见有文献对管道恒压喷雾系统中应如何设置喷雾压力及如何选择喷头的孔径进行研究。

本文通过改变压力和孔径, 利用激光粒度仪采集雾滴粒径参数数据, 研究压力和孔径对果园用空心圆锥雾喷头雾滴大小的影响, 掌握雾滴大小随压力和孔径的变化规律, 可以根据喷施对象的所需雾滴大小设置管道恒压喷雾控制装置的压力, 选择合适的喷头类型, 从而提高喷雾效果。

1 描述雾滴粒径的参数

(1)VMD: 体积中值粒径 (volume median diameter, VMD)。指取样雾滴的体积按雾滴大小顺序进行累计, 其累计值为取样雾滴体积总和的 50% 所对应的雾滴直径。根据雾滴群 VMD 的大小将雾滴分为 4 类: ①粗雾: $VMD \geq 400 \mu\text{m}$; ②细雾: $100 \mu\text{m} \leq VMD < 400 \mu\text{m}$; ③弥雾: $50 \mu\text{m} \leq VMD < 100 \mu\text{m}$; ④气溶胶: $VMD < 50 \mu\text{m}$ 。

(2)VAD: 体积平均粒径 (volume average diameter, VAD)。指取样雾滴平均体积所对应的直径。

(3)S/V: 体积比表面积。指单位体积雾滴的表面积。

(4)SMD: 表面积平均粒径 (superficial area median diameter, SMD)。指粒径对表面积的加权平均。

(5)NAD: 数量平均粒径 (number average diameter, NAD)。指取样雾滴群的直径之和与雾滴群个数之和的比值。

(6)NMD: 数量中值粒径 (number median diameter, NMD)。指取样雾滴的个数按雾滴大小顺序进行累计, 其累计值为取样雾滴个数总和的 50% 所对应的雾滴直径。

$$VAD = \frac{\sum V_i * D_i}{\sum V_i} = \frac{\sum N_i * D_i^4}{\sum N_i * D_i^3} \quad (1)$$

$$S/V = \frac{\sum S_i}{\sum V_i} = \frac{\sum N_i * D_i^2}{4 * \sum N_i * D_i^3} \quad (2)$$

$$SMD = \frac{\sum S_i * D_i}{\sum S_i} = \frac{\sum N_i * D_i^3}{\sum N_i * D_i^2} \quad (3)$$

其中: N_i 、 D_i 、 S_i 和 V_i 分别为第 i 种粒径雾滴的数目、直径、面积和体积, 雾滴按从小到大排列。

2 数据获取

雾滴粒径参数数据通过激光粒度仪获取。激光粒度仪通过测量颗粒群的散射谱, 散射谱的强度与被测颗粒群的大小有关, 并经透镜再次汇聚后, 被位于透镜后焦面上的光电阵列探测器所接收, 转换成

电信号后经放大和 A/D 转换经通讯口送入计算机, 进行反演运算和数据处理后, 即可给出被测颗粒群的雾滴粒径参数。

2.1 试验设备

2.1.1 喷雾性能综合试验平台

喷雾性能综合试验平台主要由机械结构、电气控制和数据采集处理 3 部分组成。可提供本试验中所需雾滴并测量雾滴粒径参数。

2.1.2 激光粒度仪

Winner318B 激光粒度仪可测定雾滴粒径参数。该仪器采用信息光学原理, 通过测量颗粒群的散射谱, 来分析雾滴粒径大小。其准确性误差 < 3%; 重复性误差 < 3%; 绿色激光器, 波长 532 nm, 功率 30 mW; 量程为 15~711 μm。

2.1.3 拉丝模孔径测量仪

拉丝模孔径测量仪可测量喷头孔径。测量仪将光学与数码、软件相结合, 在软件中对孔径进行测量, 可得出圆孔的直径。测量仪的分辨率为 0.1 μm; 重复精度为 ±0.5 μm; 测量范围为 0.05~30 mm; 变倍方式为连续变倍, 最大倍率为 800 倍。

2.2 试验对象

对 Lechler TR80 系列 3 种型号 TR80-01C、TR80-02C 和 TR80-03C 喷头的雾滴粒径参数进行测量, 喷头内部结构图如图 1 所示。该系列喷头压力范围为 0.3~2.0 MPa, 是一种带陶瓷芯的空心圆锥雾喷头, 高耐磨, 耐化学药剂, 有极细雾滴谱, 适用于压力要求较高的山地果园管道喷雾系统。

该系统在果园埋下塑料管网, 管网进液端配有药池、恒压喷药控制系统, 埋设的管道每隔一段距离就安装上升至地面的立式管, 每个立管在打药时再与软管、喷枪相连接, 使用电动机带动药泵加压, 把药液输送到果树旁, 人工逐株打药, 适合多人同时打药, 如图 2 所示。恒压喷药控制系统由变频器、变频电动机、药泵、压力变送器、恒压控制箱组成, 可使出水口压力保持恒定, 出水口压力可根据本文研究成果进行合理设定。

2.3 试验方法

试验用水为清水; 用喷雾性能综合试验平台调节压力在 0.70~1.40 MPa 间变化, 每次步进 0.10 MPa; 用拉丝模孔径测量仪对喷头孔径进行测量, 测得 TR80-01C 的喷嘴孔径为 1.0 mm, TR80-02C

为 1.4 mm, TR80-03C 为 1.8 mm; 用激光粒度仪对喷头中轴线上距喷嘴 15 cm 处的雾滴颗粒群的散射谱进行测量, 得到雾滴能谱数据, 再将能谱数据转换为雾滴粒径参数数据。

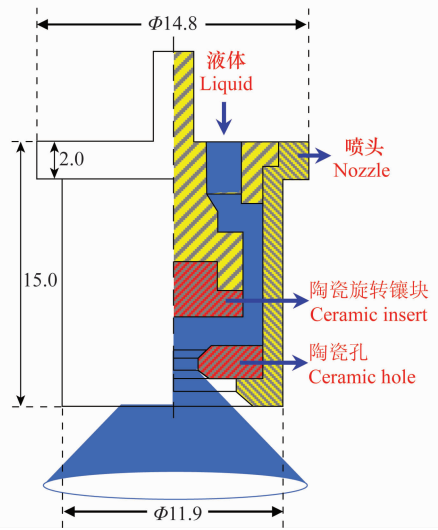


图 1 喷头内部结构图

Fig. 1 Internal structure of nozzles

试验前用标准物质(直径为 25 μm)对激光粒度仪进行标定。每次测量前先进行背景测试, 背景测试累计 10 次后再进行样品测试以去除背景光的影响。每条样品测试数据为某个时刻样品的雾滴参数。本试验在每种工况下对样品连续测量 100 次得到 100 条测试数据, 100 条测试数据取平均值后作为每种工况下样品的测试数据。

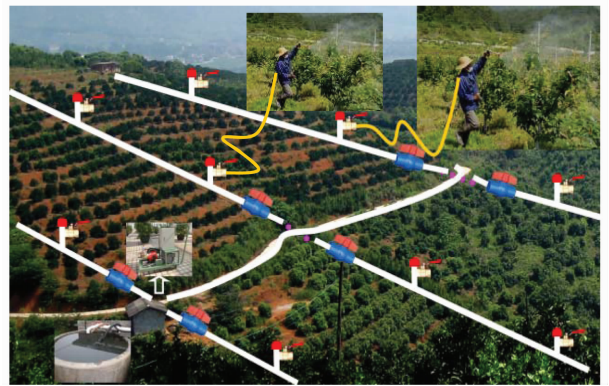


图 2 管道恒压喷雾设施示意图

Fig. 2 Sketch map of pipeline constant pressure spray facilities

3 数据处理与分析

首先将试验获得的能谱数据转换为雾滴粒径数据, 然后分析各粒径级雾滴的分布情况, 分析雾滴粒径大小, 给出雾滴参数随压力和孔径的变化趋势, 并

对雾滴参数进行多元线性回归,最后建立基于压力的雾滴参数模型。

能谱数据向雾滴粒径数据转换时产生的计算误差称拟合误差。本试验拟合误差均小于 0.012,符合试验要求。

本试验利用 Origin 9.0 进行绘图及曲线拟合,利用 SPSS 16.0 对试验数据进行多元线性回归分析,利用 Excel 2007 进行数据处理。

3.1 各粒径级雾滴的分布情况

根据 3 种喷头 8 种压力下雾滴的粒径分布数据,绘制各粒径级雾滴百分比的分布如图 3 所示。由于粒径 $D \geq 100 \mu\text{m}$ 的雾滴很少,均少于 0.3%,可

忽略不计,所以仅绘制 0~100 μm 范围内雾滴的分布情况。可以看出:

(1) 雾滴均较细小。粒径为 0~20 μm 的雾滴比例均少于 0.5%,可以忽略不计;主要是粒径为 20~40 μm 的雾滴,其比例均多于 79.5%;粒径为 40~60 μm 的雾滴较少,其比例均少于 10.6%;粒径为 60~80 μm 的雾滴较少,其比例均少于 7.4%;粒径为 80~100 μm 的雾滴较少,其比例均少于 2.1%。

(2) 按雾滴所占百分比从大到小排列为 20~40 μm > 40~60 μm > 60~80 μm > 80~100 μm 。

(3) 压力越大,孔径越小,雾滴粒径分布越集中,雾滴越细小。

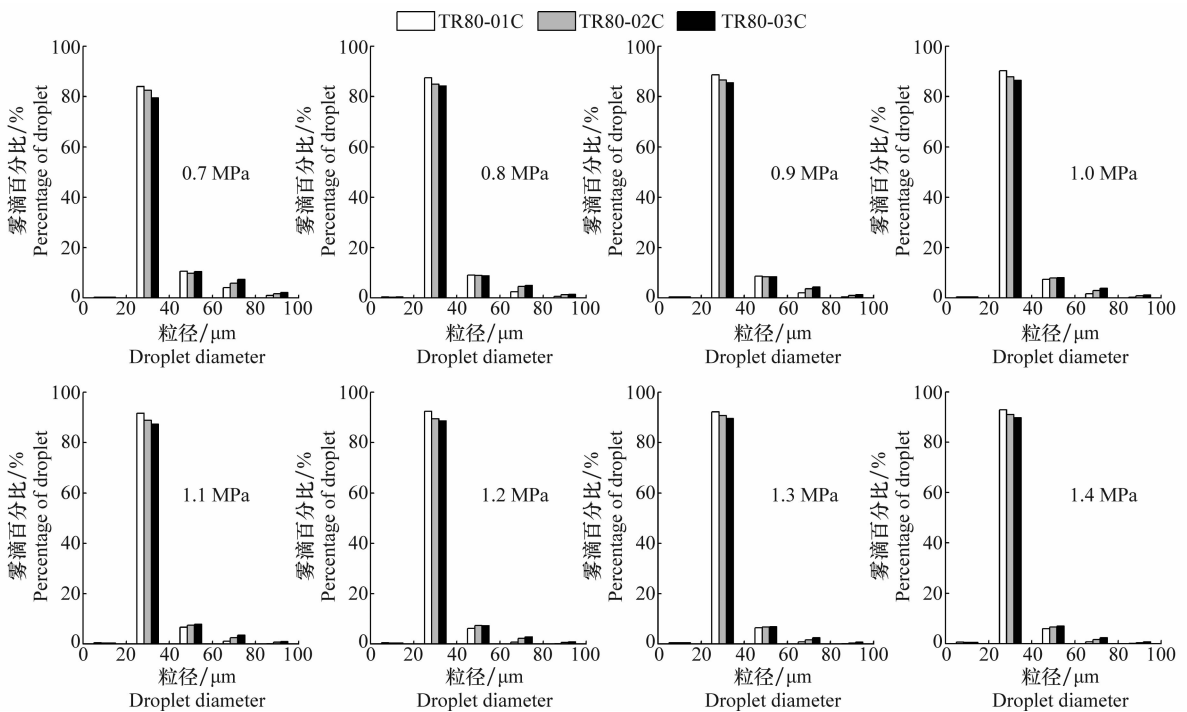


图 3 各粒径级雾滴所占百分比

Fig. 3 Droplet percentages for different droplet diameter classes

3.2 雾滴粒径参数随压力和孔径的变化

为详细了解雾滴粒径参数的变化趋势,分别绘制出 6 种雾滴粒径参数 VMD 、 VAD 、 S/V 、 SMD 、 NAD 和 NMD 随压力和孔径变化的曲线,如图 4 所示。

从图 4 可以看出:

(1) 压力在 0.70~1.40 MPa 变化时,TR80-01C、TR80-02C 和 TR80-03C 的 VMD 变化范围分别为 30.6~31.9 μm 、30.9~32.0 μm 和 31.0~32.317 μm 。说明在试验压力范围内,雾滴均较细小且全部为气溶胶。

(2) 孔径不变、压力越大, VMD 、 VAD 、 SMD 、 NAD 和 NMD 越小, S/V 越大。说明压力越大,雾滴的粒径越小。原因是压力越大,液体流出喷孔的初速度就越大,喷孔中液体扰动程度及喷出喷孔后所受到的空气介质阻尼也越大,雾滴更易破碎。

(3) 压力不变,孔径越小, VMD 、 VAD 、 SMD 、 NAD 和 NMD 越小, S/V 越大,即雾滴的粒径越小;原因是喷孔直径越小,液体喷出喷孔时会受到更大的节流,喷孔内扰动增加,雾滴更易破碎。

(4) VMD 和 VAD 随压力和孔径的变化趋势较 NAD 和 NMD 更明显。说明:侧重反映体积的粒径

参数比例重反映数量的粒径参数随压力和孔径的变化趋势更明显。

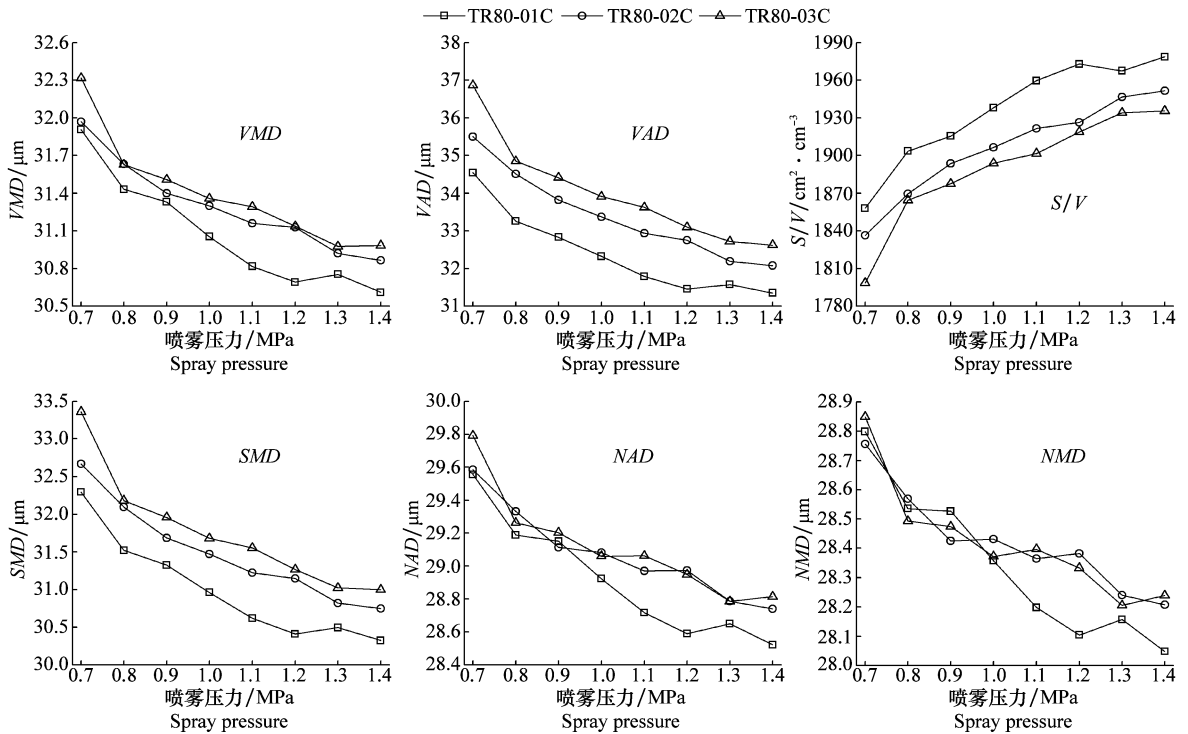


图 4 压力和孔径对喷头雾滴粒径参数的影响

Fig. 4 Effects of pressure and pore diameter on droplet diameter parameters of nozzles

3.3 基于压力和孔径的多元回归统计模型

雾滴的粒径大小与压力和孔径密切相关。从图 4 可以看出,6 种雾滴粒径参数的变化趋势与压力和孔径的变化趋势基本一致,具有很强的相关性。其中,压力取值范围为 0.80~1.40 MPa,步进 0.10 MPa;孔径取值范围为 1.0~1.8 mm,步进 0.4 mm。分析结果如表 1~3 所示,可以看出:

(1) 每种雾滴参数多元回归统计模型如表 1 所示,其中: y 为各种雾滴粒径参数, x_1 为喷头孔径(单位为 mm), x_2 为喷雾压力(单位为 MPa)。模型的复相关系数 R 、决定系数 R^2 、调整决定系数 R_c^2 均较高,其中 VMD 、 VAD 、 S/V 、 SMD 和 NAD 的决定系数 R^2 分别为 0.928、0.956、0.949、0.949、0.889 和 0.815。说明回归方程拟合优度较高,符合拟合要求。

(2) 由 F 检验可知,所有雾滴参数均有显著值 $P=0.000 < 0.01$,表明 VMD 、 VAD 、 S/V 、 SMD 、 NAD 及 NMD 与孔径和压力之间均存在极显著的线性回归关系(见表 2)。

(3) 由 t 检验可知, VMD 、 VAD 、 S/V 、 SMD 及 NAD 的回归系数 b_0 、 b_1 和 b_2 均有显著值 $P=0.000 < 0.01$,表明方程的回归系数 b_0 项(常数项)、 b_1 项(孔

径系数)和 b_2 项(压力系数)影响均极显著; NMD 的回归系数 b_0 、 b_2 均有显著值 $P=0.000 < 0.01$, b_1 有显著值 $P=0.032 < 0.05$,表明方程的回归系数 b_0 项和 b_2 项影响均极显著,回归系数 b_1 项影响显著(见表 3)。

综上,回归通过了 F 检验和 t 检验,且拟合优度较高,说明本文建立的雾滴粒径参数与压力和孔径的多元回归模型是准确的。

3.4 雾滴粒径参数与压力的关系

经曲线回归依次分析 VMD 、 VAD 、 S/V 、 SMD 、 NAD 及 NMD 随压力的变化规律。在进行多项式回归时,同时利用线性函数、指数函数、对数函数和幂函数进行了回归分析,这些函数的相关系数均比多项式回归的相关系数要小,故采用多项式表示各雾滴参数随压力的变化规律(见表 4)。以喷雾压力(单位 MPa)为横坐标,雾滴参数为纵坐标,得 3 种型号喷头的 6 种雾滴参数与喷雾压力(0.80~1.40 MPa)的拟合曲线如图 5 所示。从表 4 和图 5 可以看出,雾滴参数随压力的变化规律均能用二次多项式表示,且回归均具有较高的决定系数, R^2 均达到了 0.894 以上。

表 1 雾滴粒径参数回归方程拟合

Table 1 Regression equation fitting summary of droplet diameter parameters

参数 Parameters	多元回归模型 Multiple regression model	R	R ²	R _c ²	参数 Parameters	多元回归模型 Multiple regression model	R	R ²	R _c ²
VMD	$y=31.893+0.392x_1-1.264x_2$	0.963	0.928	0.920	SMD	$y=132.285+0.895x_1-2.112x_2$	0.974	0.949	0.944
VAD	$y=34.343+1.904x_1-3.710x_2$	0.978	0.956	0.951	NAD	$y=29.666+0.249x_1-0.972x_2$	0.943	0.889	0.877
S/V	$y=1857.598-55.354x_1+129.641x_2$	0.974	0.949	0.944	NMD	$y=28.884+0.105x_1-0.631x_2$	0.903	0.815	0.795

表 2 雾滴粒径参数回归方程方差分析及 F 检验

Table 2 Analysis of variance and F inspection of droplet size parameter regression equation

参数 Parameters	方差来源 Source of variance	均方差 Mean square	F	P	参数 Parameters	方差来源 Source of variance	均方差 Mean square	F	P
VMD/ μm	回归 Regression	0.843	116.176	0.000	SMD/ μm	回归 Regression	2.769	168.702	0.000
	残差 Residual	0.007				残差 Residual	0.016		
VAD/ μm	回归 Regression	9.841	194.082	0.000	NAD/ μm	回归 Regression	0.466	72.273	0.000
	残差 Residual	0.051				残差 Residual	0.006		
S/V/ $\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$	回归 Regression	10490.618	169.148	0.000	NMD/ μm	回归 Regression	0.179	39.753	0.000
	残差 Residual	62.020				残差 Residual	0.005		

表 3 雾滴粒径参数拟合的回归系数及 t 检验

Table 3 Fitted regression coefficients and t inspection of droplet diameter parameters

参数 Parameters	未标准化系数 Unstandardized coefficient	标准差 Standard error	t	P	参数 Parameters	未标准化系数 Unstandardized coefficient	标准差 Standard error	t	P
VMD/ μm	$b_0=31.983$	0.131	244.204	0.000	SMD/ μm	$b_0=32.285$	0.197	163.918	0.000
	$b_1=0.392$	0.057	6.886	0.000		$b_1=0.895$	0.086	10.450	0.000
	$b_2=-1.264$	0.093	-13.599	0.000		$b_2=-2.112$	0.140	-15.106	0.000
VAD/ μm	$b_0=34.343$	0.346	99.212	0.000	NAD/ μm	$b_0=29.666$	0.123	240.247	0.000
	$b_1=1.904$	0.150	12.654	0.000		$b_1=0.249$	0.054	4.648	0.000
	$b_2=-3.710$	0.246	-15.101	0.000		$b_2=-0.972$	0.088	-11.088	0.000
S/V/ $\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$	$b_0=1857.598$	12.106	153.442	0.000	NMD/ μm	$b_0=28.884$	0.103	279.693	0.000
	$b_1=-55.354$	5.262	-10.520	0.000		$b_1=0.105$	0.045	2.331	0.032
	$b_2=129.641$	8.593	15.087	0.000		$b_2=-0.631$	0.073	-8.606	0.000

表 4 雾滴粒径参数的曲线拟合

Table 4 Curve fitting for droplet diameter parameters

参数 Parameters	喷头 Nozzle	拟合曲线 Fitting curve	R ²	参数 Parameters	喷头 Nozzle	拟合曲线 Fitting curve	R ²
VMD/ μm	TR80-01C	$y=2.034x^2-5.897x+34.89$	0.958	SMD/ μm	TR80-01C	$y=3.134x^2-8.967x+36.75$	0.969
	TR80-02C	$y=0.679x^2-2.719x+33.34$	0.978		TR80-02C	$y=1.716x^2-5.955x+35.71$	0.985
	TR80-03C	$y=0.482x^2-2.208x+33.09$	0.980		TR80-03C	$y=1.009x^2-4.306x+34.99$	0.987
VAD/ μm	TR80-01C	$y=5.408x^2-15.14x+41.98$	0.979	NAD/ μm	TR80-01C	$y=1.364x^2-4.191x+31.72$	0.944
	TR80-02C	$y=3.398x^2-11.46x+41.45$	0.990		TR80-02C	$y=0.371x^2-1.725x+30.43$	0.945
	TR80-03C	$y=2.184x^2-8.698x+40.44$	0.992		TR80-03C	$y=0.125x^2-1.092x+30.06$	0.947
S/V/ $\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$	TR80-01C	$y=-190.8x^2+550.0x+158.1$	0.968	NMD/ μm	TR80-01C	$y=0.877x^2-2.807x+30.26$	0.929
	TR80-02C	$y=-94.77x^2+341.4x+165.9$	0.985		TR80-02C	$y=-0.029x^2-0.472x+28.93$	0.898
	TR80-03C	$y=-53.61x^2+243.6x+170.2$	0.986		TR80-03C	$y=-0.051x^2-0.365x+28.82$	0.894

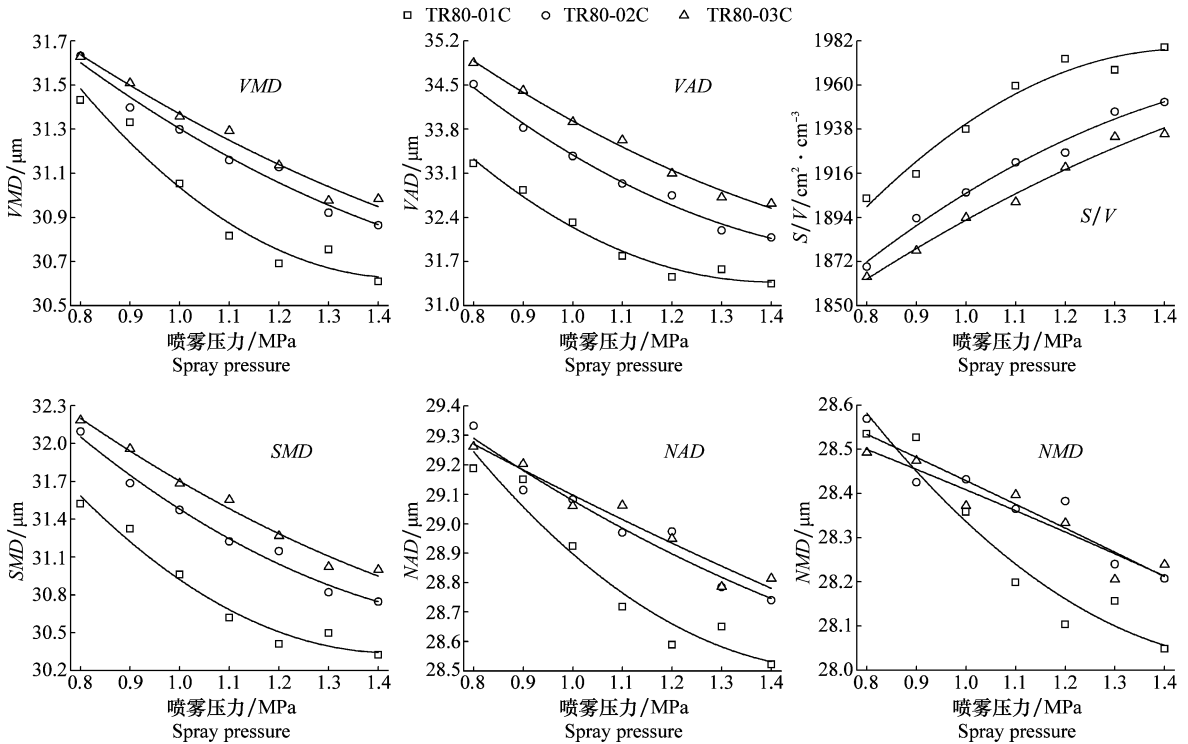


图5 喷头雾滴粒径参数随压力的变化规律

Fig. 5 Variation of droplet diameter parameters of nozzles with different pressures

4 结论

Lechler TR80 - 01C、TR80 - 02C 和 TR80 - 03C 型喷头在 0.70~1.40 MPa 压力下, 粒径 $D \geq 100 \mu\text{m}$ 的雾滴均少于 0.3%, 粒径为 0~20 μm 的雾滴均少于 0.5%, 可忽略不计, 按雾滴所占百分比从大到小排列 20~40 μm > 40~60 μm > 60~80 μm > 80~100 μm ; 主要是粒径为 20~40 μm 的雾滴 (79.5%~92.8%); VMD 为 30.6~32.3 μm , VAD 为 31.3~36.9 μm , 雾滴均较细小, 全部为气溶胶; 压力越大, 孔径越小, 雾滴粒径越小。

VMD、VAD、S/V、SMD、NAD 及 NMD 与孔径和压力均有较好的二元线性关系, 建立了这 6 个雾滴参数的二元线性模型, 模型决定系数 R^2 分别为 0.928、0.956、0.949、0.949、0.889 和 0.815。

VMD、VAD、S/V、SMD、NAD 及 NMD 均随压力呈二次多项式变化规律, 建立了这 6 个雾滴参数的二次多项式模型, 决定系数 R^2 均达到了 0.894 以上。

不同测试点雾滴粒径参数的变化规律有待进一步研究; 其他因素对雾滴粒径的影响有待进一步研究。

参考文献

- [1] Fife J P, Ozkan H E, Derksen R C. Viability of a biological pest control agent through hydraulic nozzles [J]. Transactions of the ASAE, 2005, 48(1): 45 - 54.
- [2] Dorr G J, Hewitt A J, Adkins S W, et al. A comparison of initial spray characteristics produced by agricultural nozzles [J]. Crop Protection, 2013, 53(11): 109 - 117.
- [3] 吕晓兰, 傅锡敏, 宋坚利, 等. 喷雾技术参数对雾滴飘移特性的影响 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(1): 59 - 63.
- [4] 袁会珠, 王忠群, 孙瑞红, 等. 喷雾部件及喷雾助剂对担架式喷雾机在桃园喷雾中的雾滴沉积分布的影响 [J]. 植物保护, 2010, 36(1): 106 - 109.
- [5] 贾卫东, 胡化超, 陈龙, 等. 风幕式静电喷杆喷雾喷头雾化与雾滴沉积性能试验 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(7): 53 - 59.
- [6] 吕晓兰, 傅锡敏, 吴萍, 等. 喷雾技术参数对雾滴沉积分布影响试验 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 70 - 75.
- [7] 杨希娃, 代美灵, 宋坚利, 等. 雾滴大小、叶片表面特性与倾角对农药沉积量的影响 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 70 - 73.
- [8] 徐德进, 顾中言, 徐广春, 等. 雾滴密度及大小对氯虫苯甲酰胺防治稻纵卷叶螟效果的影响 [J]. 中国农业科学, 2012, 45(4): 666 - 674.
- [9] 袁会珠, 杨代斌, 闫晓静, 等. 农药有效利用率与喷雾技术优化 [J]. 植物保护, 2011, 37(5): 14 - 20.
- [10] 陈丹, 任广伟, 王秀芳, 等. 4 种喷雾器在茶树上喷雾效果比较

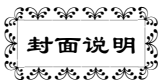
- [J]. 植物保护, 2011, 37(5): 110 - 114.
- [11] 李飞, 王相晶, 吴青君, 等. 三种药剂喷雾和灌根施药方式对西花蓟马的残留毒力[J]. 植物保护, 2013, 39(3): 173 - 177.
- [12] 王双双, 何雄奎, 宋坚利, 等. 农用喷头雾化粒径测试方法比较及分布函数拟合[J]. 农业工程学报, 2014, 30(20): 34 - 42.
- [13] Krishnan P, Evans T, Ballal K. Scanning electron microscopic studies of new and used fan nozzles for agricultural sprayers [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2004, 20(2): 133 - 137.
- [14] 毛益进, 王秀, 马伟. 农药喷洒雾滴粒径分布数值分析方法[J]. 农业工程学报, 2009, 25(S2): 78 - 82.
- [15] 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.
- [16] Santangelo P E. Characterization of high-pressure water-mist sprays: experimental analysis of droplet size and dispersion [J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2010, 34(8): 1353 - 1366.
- [17] 胡桂琴, 许林云, 周宏平, 等. 影响空心圆锥雾喷头雾滴粒径的多因素分析[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2014, 38(2): 133 - 136.
- [18] Santangelo P E. Characterization of high-pressure water-mist sprays: experimental analysis of droplet size and dispersion [J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2010, 34(8): 1353 - 1366.
- [19] 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.
- [20] 洪添胜, 杨洲, 宋淑然, 等. 柑橘生产机械化研究[J]. 农业机械学报, 2010, 41(12): 105 - 110.
- [21] 代秋芳, 洪添胜, 宋淑然, 等. 基于 PSTN 和 PLMN 的果园泵房智能监控系统[J]. 农业机械学报, 2012, 43(4): 162 - 167.
- [22] 宋淑然, 阮耀灿, 洪添胜, 等. 果园管道喷雾系统药液压力的自整定模糊 PID 控制[J]. 农业工程学报, 2011, 27(6): 157 - 161.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 47 页)

- [13] 李恒奎, 陈长军, 王建新, 等. 禾谷镰孢菌对氰烯菌酯的敏感性基线及室内抗药性风险初步评估[J]. 植物病理学报, 2006, 36(3): 273 - 278.
- [14] 赵建江, 张小风, 马志强, 等. 番茄灰霉病菌对咯菌腈的敏感性基线及其与不同杀菌剂的交互抗性[J]. 农药, 2013, 52(9): 684 - 685.
- [15] 胡伟群, 宋会鸣, 朱卫刚, 等. 噁唑酰胺与咯菌腈复配对水稻纹枯病的增效作用及田间防效[J]. 农药, 2014, 53(9): 683 - 684.
- [16] Kuang Jing, Hou Yiping, Wang Jianxin, et al. Sensitivity of *Sclerotinia sclerotiorum* to fludioxonil: *In vitro* determination of baseline sensitivity and resistance risk [J]. Crop Protection, 2011, 30(7): 876 - 882.
- [17] 纪军建, 张小风, 王文桥. 番茄灰霉病菌对咯菌腈的抗性诱变及抗药突变体的生物学特性[J]. 农药学报, 2012, 14(5): 497 - 502.
- [18] 范子耀, 孟润杰, 韩秀英, 等. 马铃薯早疫病病菌对咯菌腈的敏感性基线及其对不同药剂的交互抗性[J]. 植物保护学报, 2012, 39(2): 153 - 158.
- [19] 周明国, 王建新. 禾谷镰孢菌对多菌灵的敏感性基线及抗药性菌株生物学性质研究[J]. 植物病理学报, 2001, 31(4): 365 - 370.
- [20] Broders K D, Lipps P E, Paul P A, et al. Evaluation of *Fusarium graminearum* associated with corn and soybean seed and seedling disease in Ohio [J]. Plant Disease, 2007, 91(9): 1155 - 1160.
- [21] 叶滔, 马志强, 毕秋艳, 等. 植物病原真菌对甾醇生物合成抑制剂类(SBIs)杀菌剂的抗药性研究进展[J]. 农药学报, 2012, 14(1): 1 - 16.
- [22] 叶滔, 马志强, 牛坊胜, 等. 戊唑醇、百菌清及其复配对禾谷镰孢菌的生物活性[J]. 农药, 2012, 51(3): 225 - 227.
- [23] 毕秋艳, 马志强, 张小风, 等. 多菌灵 / 戊唑醇复配对小麦赤霉病菌抗药性菌株的活性增效作用[J]. 植物保护, 2010, 36(2): 119 - 122.
- [24] 潘以楼, 朱桂梅, 郭建. 江苏草莓灰霉病菌对 5 种杀菌剂的抗药性[J]. 江苏农业学报, 2013, 29(2): 299 - 304.

(责任编辑: 田 喆)



桑树花叶型萎缩病

桑树花叶型萎缩病(mulberry mosaic dwarf disease, MMDD)是一种困扰桑树生产长达半个多世纪以上的重要病害,其病原长时间众说纷纭,没有定论。感病桑树植株矮小,叶片呈现黄绿相间的花叶,叶缘卷曲,叶脉上有突起等症状,严重影响桑蚕产业的发展。

中国农业科学院植物保护研究所经济作物病毒病害研究组利用高通量测序结合传统的病毒学研究方法从感病桑树样品中分离到一种双生病毒,其检出率高达 92.4%,据此推测该双生病毒与花叶型萎缩病具有极大的相关关系,因此将其命名为桑花叶型萎缩病相关病毒(Mulberry mosaic dwarf associated virus, MMDaV)。

封面照片为感病桑树(a. 鲁诱 3 号, b. 陕桑 305)的症状图,2014 年 6 月拍摄于陕西省安康市。

马宇欣,李世访

(中国农业科学院植物保护研究所,北京 100193)