

喷嘴喷施不同生物农药雾滴特性研究

肖丽萍¹ 刘木华¹ ZHU Heping² 蔡金平¹ 林金龙¹ 欧鸣雄³

(1. 江西农业大学工学院, 南昌 330045; 2. 美国农业部农业应用技术研究, 伍斯特 OH 44691;

3. 江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 镇江 212013)

摘要: 为了研究不同类型和大小的液压喷嘴、不同生物农药喷雾样本对雾滴特性的影响,采用激光粒度分析仪、喷幅宽度测定装置等对美国 Teejet 公司的平面扇形喷嘴 XR8004、XR11004 和中空锥形喷嘴 TXA8002、TXVK8004 等 4 种常规喷嘴和 7 种不同喷雾样本(普通自来水和 6 种美国 Bioworks 公司的生物农药),分别对相同和不同喷雾压力、相同喷雾高度和相同喷雾环境下的雾滴粒径大小分布,以及相同喷雾压力和相同喷雾高度下喷幅宽度等特性进行了对比试验研究,并对结果进行分析。结果表明:在分别与水以一定比例混合后,原液状生物农药的雾滴粒径与水的雾滴粒径大小差异不显著,但比原粉末状生物农药雾滴粒径尺寸大;生物农药在同一喷嘴喷雾下,雾滴粒径随喷雾压力增大而减小;在相同喷雾压力情况下,雾滴粒径大小分布均匀度随喷嘴喷量速率的增大而减小,喷量速率越大,其粒径尺寸越分散、越不集中;喷嘴喷幅宽度的大小随喷雾角度增大而增大,不同类型生物农药的喷雾样本对喷幅宽度影响不大。因此,根据以上喷嘴和生物农药的喷雾特性,对于不同的农作物选择适当的喷嘴型号、喷量流速和喷雾压力来喷施农药,可以提高农药的喷雾效率和有效性。

关键词: 生物农药; 雾滴特性; 雾滴粒径; 喷幅宽度; 喷嘴

中图分类号: S491 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)02-0100-07

Spray Droplet Size Characteristics of Different Biological Pesticides with Different Hydraulic Nozzles

XIAO Liping¹ LIU Muhua¹ ZHU Heping² CAI Jinping¹ LIN Jinlong¹ OU Mingxiong³

(1. College of Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China

2. USDA/ARS Application Technology Research Unit, Wooster OH 44691, USA

3. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: In order to study the effects of different biological pesticides samples on the droplet characteristics with different types and size hydraulic nozzles, a particle/droplet laser image analysis system and a portable spray pattern analyzing system were used to investigate the spray droplet characteristics of biological pesticides with hydraulic nozzles. Spray parameters included the spray droplet size distributions and spray pattern widths. Seven different spray samples (water and six types of biological pesticides manufactured by Bioworks Inc.) were tested with two Teejet flat fan nozzles (XR8004 and XR11004) and two Teejet hollow cone nozzles (TXA8002 and TXVK8004) under laboratory conditions. Droplet size distribution was evaluated at the same and different spray pressures separately and the same spray height. In addition, the spray pattern width was determined at the same spray pressure and the same spray height. The results showed that there was no significant difference between the droplet size of the liquid biological pesticide after mixing with water in a certain proportion and the droplet size of water, and the droplet size of the liquid biological pesticides was higher than that of the powdery biological pesticide mixture with water. The droplet size of biological pesticide sprayed was decreased as the spray pressure increase for the same nozzle; the droplet size distribution uniformity was decreased as the increase of the nozzle flow rate, and the larger the spray flow rate was, the more dispersed the particle size was. The spray pattern width was increased as the increase of the spray angle,

收稿日期: 2017-05-12 修回日期: 2017-07-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(31601676)、江西省水稻产业技术体系项目(JXARS-02)和江西省百人远航工程项目(9028205652)

作者简介: 肖丽萍(1978—),女,副教授,主要从事农业装备工程研究,E-mail: applexlp42@163.com

通信作者: 刘木华(1969—),男,教授,主要从事农作物生产机械研究,E-mail: 714874481@qq.com

and different biological pesticide samples had little effect on the spray pattern width. Therefore, proper selection of nozzle types, spray pressure and flow rate was necessary for discharging particular biological products to achieve optional spray application efficiency and effectiveness.

Key words: biological pesticides; droplet characteristics; spray droplet size; spray pattern width; nozzle

0 引言

生物农药(又称天然农药)通过使用天然存在的活生物体来控制或抑制病虫害,包括微生物、细菌、植物提取物或其他代谢物,具有毒性低、残留量低、持久性好等特点。生物农药相比于常规化学农药更安全,可快速分解而不产生耐药性,且具有较长的产品生命周期,以无毒友好机制防治病虫害^[1-4]。生物农药活性成分不同,其种类繁多,可以生产出植物源、动物源或微生物等产品,所以在使用过程中,需要不同的喷雾技术去满足生物农药施用的需要,因此造成生物农药的费用昂贵和某些应用技术的困难^[5-6]。目前,世界范围内大概销售有约1 400种生物农药产品^[7-8]。

使用生物农药防治农作物病虫害是一种必然的趋势,且使用传统喷雾技术喷施生物农药,不仅方便,也可降低使用的费用。液压喷嘴通常用于将农药输送到目标区域进行病虫害防治,正确选择喷头对农药的喷雾效果具有较大影响。不同的喷头产生的雾滴直径和幅宽不同,喷雾液滴粒径尺寸、体积若过大发生重叠而浪费,而液滴尺寸太小、太轻容易发生漂移损失,所以雾滴粒径大小分布和幅宽直接影响到雾滴在空间的运动轨迹及与植株靶标界面的相互作用关系,从而影响喷雾覆盖率和沉积质量^[9-11]。对于化学农药,文献[12-16]对不同液压喷嘴的喷雾雾滴性能均做了大量的实验,得出大量的比较数据,对化学农药喷雾喷嘴的选择提供了参考数据。目前对于生物农药采用传统喷雾技术的应用较少,HIDALGO等^[17]对真菌剂的应用进行了比较,认为中空锥形液压喷嘴比旋转电喷嘴更适合。GOULIA等^[18]同样也认为平面扇形喷嘴可以更好地为温室植物提供真菌剂生物农药的喷施效果。GAN-MOR等^[19]开发了用于食用油的现场乳化的Chico喷雾器,具有利用静电改进沉积量的能力。

目前国内外还没有一系列关于生物农药应用方法的标准。本文对几种生物农药采用不同类型喷嘴喷雾的雾滴粒径和喷幅宽度等进行分析,为选择具有高质量生物农药喷雾效果的喷嘴提供参考数据,更有效地对病虫害进行生物控制。液压喷嘴是农药的典型应用设备,不同的喷嘴孔径、不同的喷雾压力和喷雾高度等对喷雾效果有不同的影响^[20-21]。本

文在实验室条件下对4种喷嘴、6种生物农药和水的喷雾雾滴粒径尺寸分布、喷幅宽度等特性进行对比试验分析,以期生物农药的喷雾应用技术提供理论依据。

1 材料和方法

试验于2016年10月—2017年2月期间在美国俄亥俄州农业研究与发展中心(Ohio agricultural research & development center, OARDC)农业部农业应用技术研究所实验室完成。

1.1 试验材料

喷雾样本是美国BioWorks公司的Suffoil-X(植物油)、Cease(细菌类)、Milstop(矿物类)、Molt-X(昆虫生长调节剂)、BotaniGard ES和BotaniGard 22WP(真菌类)等6种生物农药与水以一定比例的混合物,同时与普通水来进行对比试验。这6种生物农药在美国本地大型温室种植中使用较为普遍,其中除了Cease用于农作物病毒防治,其余均用于农作物虫害防治^[22],且Milstop和BotaniGard 22WP是粉末状,其它均为液体状。

用于试验的喷嘴是美国Teejet公司的平面扇形喷嘴80°XR8004和110°XR11004以及中空锥形喷嘴TXA8002和TXVK8004等4种喷嘴。平面扇形喷嘴多在105~420 kPa的喷雾压力下各种喷杆式喷雾机上广泛使用,而中空锥形喷嘴多用于果园或特殊农作物的风送式喷雾^[23]。在喷雾压力为276 kPa时,80°XR8004和110°XR11004的喷量速率为1.5 L/min, TXA8002和TXVK8004的喷量速率分别为0.76 L/min和0.25 L/min;在喷雾压力为621 kPa时, TXVK8004的喷量速率为0.36 L/min。

1.2 试验装置

喷雾液滴粒径分布分析试验装置如图1所示。该装置由激光粒度分析仪(Oxford lasers VisiSize 6.403)和三维空间机械手(Velmex)两部分组建而成。激光粒度分析仪由喷雾系统、激光器、高速摄像机和粒度分析系统组成,其中,喷雾系统由气压产生系统、电磁阀、喷管、喷杆、压力表和喷头组件等部分组成。三维空间机械手由控制部分和执行部分组成,其运动空间在1 800 mm × 1 300 mm × 1 300 mm之间。激光发射器与高速摄像机安装在同一水平线上,喷头置于激光束上方50 cm处。测试时,使平面

扇形喷雾液滴层面与激光束垂直,如图 2a 所示。对于中空锥形喷雾液滴层,则调整喷雾角度,使锥形液滴层锥面与激光束垂直,如图 2b 所示。每一次试验中,安装在机械手上的喷头随机手从测试中心沿幅宽一侧方向 0 ~ 35 cm 之间匀速往复运动,以测试半个幅宽上液滴直径分布。

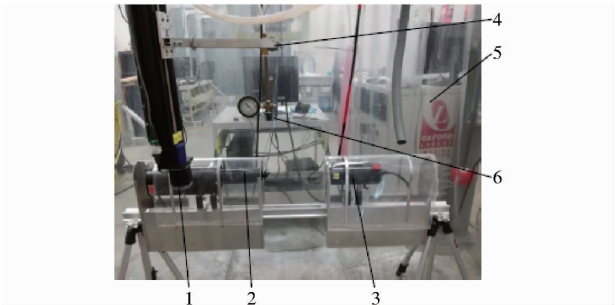


图 1 雾滴粒径分布测定试验装置

Fig. 1 Experimental equipment for droplet size analysis

1. 机械手 2. 高速摄像机 3. 激光器 4. 喷雾系统 5. 粒度分析系统 6. 喷头

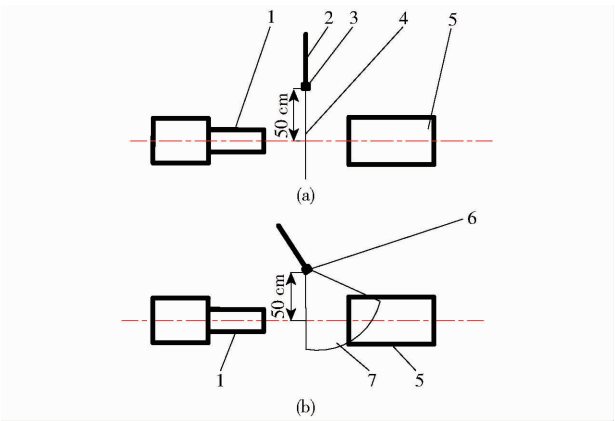


图 2 雾滴粒径测定工作示意图

Fig. 2 Schematic of droplet size distribution measurement

1. 高速摄像机 2. 喷杆 3. 扇形喷头 4. 平面扇形喷雾层面 5. 激光器 6. 中空锥形喷头 7. 锥形喷雾层面

图 3 是喷幅宽度测定装置。该装置由水箱、液滴收集板、挡板、动力装置箱、喷杆组合和亚克力管等组成。水箱和动力装置箱并列置于水平试验桌上;由 20 个等宽 5.8 cm 的三角凹槽组成的液滴收集板固定于水箱上,总宽 116 cm,并与水平面前后方向呈 6° 夹角,便于喷洒在凹槽上的液滴向前流动;挡板用于防止喷雾时的液体飞溅;喷头安装于收集板上方 50 cm 处;压力表控制喷嘴的喷雾压力。通过动力装置和喷杆组合将水箱中喷雾样本在 276 kPa 压力下向下喷洒在收集板上,然后分别用 20 个亚克力管在限定时间内(XR11004 收集 20 s,其余 40 s)收集每个凹槽中的液体,并分别测出液体体积。对于幅宽小于 116 cm 的喷头,安装于喷杆中间位置,测试其整个喷幅宽度;对于幅宽大于 116 cm 的喷

头,安装于喷杆靠边位置,测试其半个幅宽,然后求其 2 倍值得到整个幅宽。

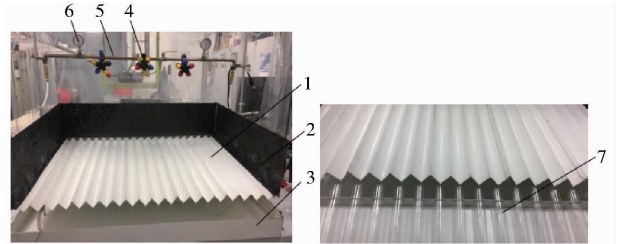


图 3 喷雾幅宽测定装置

Fig. 3 Experimental equipment for spray pattern width measuring

1. 液滴收集板 2. 挡板 3. 水箱 4. 喷头组合 5. 喷杆组合 6. 压力表 7. 亚克力管

1.3 试验方法

雾滴直径直接关系到雾滴喷雾覆盖率和沉积的质量,由于测试样本较多,为避免数据繁多不易比较,本试验在无任何外界因素影响的实验室环境下进行。采用 4 种不同喷嘴在相同压力 276 kPa 条件下和相同喷雾高度 50 cm 下,对 7 种不同喷雾样本的喷雾液滴的直径分布和喷幅宽度,以及同一喷嘴 2 种不同压力(276、621 kPa)条件下和相同喷雾高度 50 cm 下对 7 种不同喷雾样本的喷雾液滴直径分布进行分析。每一种生物农药用 4 种喷头分别喷雾 3 次,取平均值。

1.3.1 液滴直径分布测定方法

激光束照射在液滴层面因不能穿透液滴而形成液滴阴影,高速摄像机以 20 f/s 左右速度拍摄阴影,图片立即传输到计算机,图 4 所示为拍摄的液滴阴影图片。当收集 10 000 个左右雾滴后,拍摄自动停止,配套 VisiSize 软件会在去除拍摄面内边缘处不完整液滴阴影后分析计算出液滴粒径尺寸分布情况。根据美国农业与生物工程学会(ASABE)和美国国家标准局 572.1 标准^[24],喷雾液滴粒径以 $D_{v0.1}$ 、 $D_{v0.5}$ 和 $D_{v0.9}$ 来标定,分别表示直径小于 $D_{v0.1}$ 、 $D_{v0.5}$ 和 $D_{v0.9}$ 的液滴分别占拍摄雾滴液体总体积的 10%、50% 和 90%,通常以中径 $D_{v0.5}$ 来表达液滴直径平均分布情况。

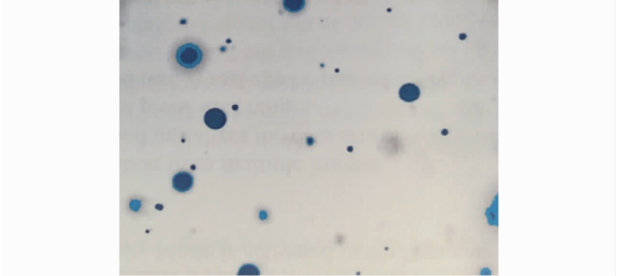


图 4 喷雾雾滴阴影

Fig. 4 Shadow of spray droplet size

1.3.2 喷幅宽度测定方法

按顺序测量给定时间内收集了凹槽中喷雾液体的亚克力管内样本体积,依次记录,并将数据标准化,然后根据整个喷幅内体积总量的 99% 来计算喷幅宽度,如图 5 所示。若 20 个亚克力管中只有 19 个收集到液体,将该 19 个亚克力管中的液体量出体积后,计算每一个管中液体体积占总体积的百分比(标准化),然后去除边缘占总体积量近 1% 的亚克力管数量,剩余的数量乘以 5.8 cm 为该喷嘴的喷幅宽度。

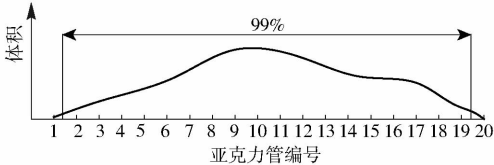


图 5 喷幅宽度计算示意图

Fig. 5 Schematic of spray pattern width calculation

2 试验结果与分析

2.1 相同喷雾压力下不同生物农药的喷雾雾滴粒径分布

表 1 给出了 4 种喷嘴和 7 种喷雾样本 (BE 为 BotaniGard ES, SX 为 Suffoil - X, MX 为 Molt - X, C 为 Cease, W 为 Water, MS 为 Milstop, BW 为 BotaniGard 20WP) 在相同喷雾压力下的喷雾液滴中径 $D_{v0.5}$ 平均值,且利用 SAS 软件对同一种喷头不同喷雾样本的喷雾液滴中径进行多因素差异性分析的结果(显著性水平 $\alpha = 0.05$)。结合图 6 可知,生物农药与水的雾滴粒径分布之间,真菌类 BotaniGard ES 的中径尺寸最大,其次是植物油类 Suffoil - X 和油性昆虫生长调节剂类 Molt - X,尺寸最小的是真菌类 BotaniGard 20WP 和矿物类 Milstop,细菌类 Cease 和水的雾滴中径尺寸处于中间。由此可见,雾滴粒径大小与喷雾样本的存在形式有关,液态与

表 1 相同喷雾压力下喷雾液滴中径 $D_{v0.5}$ 平均值

Tab.1 Average $D_{v0.5}$ for seven spray samples with four nozzles at the same spray pressure μm

喷雾 样本	喷嘴型号			
	XR8004	TXA8002	XR11004	TXVK8004
BE	328 ^a	196 ^a	197 ^a	180 ^a
SX	267 ^b	188 ^b	192 ^a	166 ^{bc}
MX	242 ^c	187 ^b	184 ^b	172 ^{ab}
C	228 ^d	186 ^b	163 ^c	159 ^{cd}
W	235 ^{cd}	171 ^c	161 ^c	156 ^d
MS	113 ^e	86 ^d	86 ^e	79 ^e
BW	83 ^f	89 ^d	87 ^e	83 ^e

注:同列数值后相同字母表示同一列数值差异性不显著,不同字母表示差异显著($\alpha = 0.05$),下同。

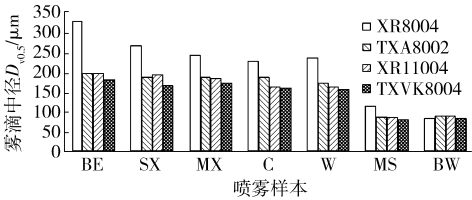


图 6 相同喷雾压力下不同生物农药样本与水的喷雾液滴中径平均值

Fig. 6 Average droplet size for six bio-pesticides and water at the same spray pressure

粉末状生物农药的喷雾液滴尺寸具有较大差异,液态比粉末状雾滴尺寸大;细菌类与水的雾滴尺寸差异不显著。

2.2 相同喷雾压力下不同喷嘴的喷雾雾滴直径分布

相同喷雾压力下不同喷嘴的雾滴直径分布如图 7 所示, XR8004 喷雾液滴直径尺寸较大,其他 3 个喷嘴的液滴直径尺寸没有较大差异。无论是从喷嘴尺寸大小来看,还是从流量速率来看,由于是多种喷雾样本,试验的 4 种喷嘴的喷雾雾滴直径目前还未出现规律性分布。

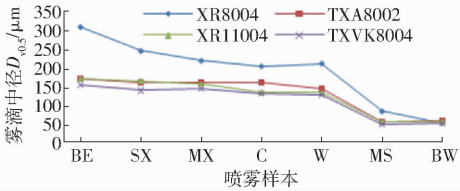


图 7 相同喷雾压力下不同喷嘴的喷雾液滴中径平均值

Fig. 7 Average droplet size with different nozzles at the same spray pressure

2.3 相同喷雾压力下雾滴粒径分布均匀度

考虑到更能全面地分析雾滴直径尺寸,本试验分析比较了 6 种生物农药和水的可表明液滴粒径分布均匀性的直径相对跨度,且利用 SAS 软件进行了全面的差异性分析(显著性水平 $\alpha = 0.05$),数据如表 2 所示。相对跨度 $R = \frac{D_{v0.9} - D_{v0.1}}{D_{v0.5}}$, 根据标准, R 越小说明雾滴直径分布越集中,越均匀。从表 2 中可知,不同喷嘴之间的液滴直径相对跨度的差异性较大,喷嘴 XR11004 和 XR8004 的 R 值比 TXA8002 和 TXVK8004 大,说明中空锥面喷雾比扇形平面雾滴直径分布更集中、均匀。而从不同喷雾样本来分析,除 TXA8002 中各样本喷雾液滴差异性不大,其它均存在较大差异,表明其它 3 种喷嘴下的喷雾样本的雾滴直径分布均匀性并不相同。

对于喷雾装置制造公司来说,其喷嘴成品的好坏测试大部分是用水作为测试样本。图 8a 更清晰表达了各生物农药与水的相对跨度的变化趋势,从图中可知,6 种生物农药的液滴直径相对跨度的变

表 2 相同喷雾压力下 4 种喷嘴、6 种生物农药样本与水的喷雾液滴直径相对跨度

Tab. 2 Average relative span for six bio-pesticides and water with four nozzles at the same spray pressure

喷雾 样本	喷嘴型号			
	XR11004	XR8004	TXA8002	TXVK8004
BW	1.52 ^{bc}	1.28 ^c	0.67 ^a	0.53 ^a
BE	1.24 ^d	1.15 ^d	0.64 ^{ab}	0.45 ^c
C	1.64 ^a	1.48 ^a	0.58 ^b	0.51 ^{ab}
MS	1.42 ^c	1.31 ^{bc}	0.66 ^a	0.50 ^{abc}
MX	1.43 ^c	1.38 ^b	0.66 ^a	0.46 ^{bc}
SX	1.57 ^{ab}	1.36 ^b	0.64 ^{ab}	0.50 ^{abc}
W	1.60 ^{ab}	1.47 ^a	0.65 ^{ab}	0.48 ^{bc}

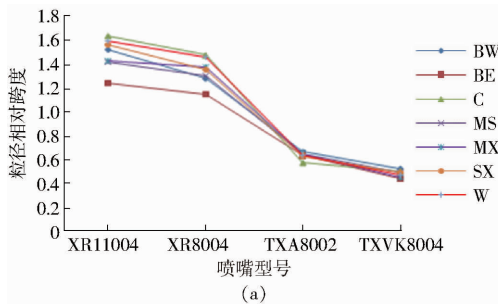


图 8 相同喷雾压力下不同喷嘴的雾滴粒径相对跨度比较图

Fig. 8 Average relative span comparisons for six bio-pesticides and water with different nozzles at the same spray pressure

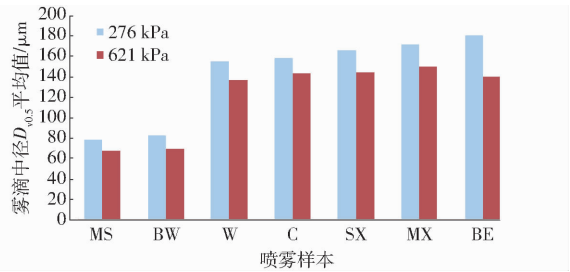


图 9 不同喷雾压力下相同喷嘴的喷雾液滴中径平均值

Fig. 9 Average droplet size with the same nozzles at different spray pressures

雾液滴中径 $D_{v0.5}$ 平均值比较情况。从图中可以看出,7 种喷雾样本在喷雾压力 621 kPa 下的雾滴粒径均比喷雾压力 276 kPa 下的粒径小,可见随着压力的增大,生物农药雾滴的粒径会减小。

2.5 相同喷雾压力下不同生物农药幅宽上喷量分布

从喷雾机行走方向上看,整个喷嘴喷幅层面上不同位置的喷雾量不同,图 10 为亚克力管收集的喷嘴 XR8004 的喷雾量,类似正态分布,中间多两边少。所以为了在实际田间喷雾中整个喷杆上喷雾量均匀,需要使两临近喷头的边缘喷雾层重叠一部分,这就取决于喷头的安装间距,而喷幅宽度确定了喷头安装间距的选择。

测量每一次试验的亚克力管中的液体体积,并百分比标准化,取平均值,得到每一种喷雾样本的不

化趋势与水的变化趋势没有较大差异,可见,虽然前面分析不同喷嘴的喷雾雾滴时,发现不同喷嘴的雾滴直径分布没有规律,但随着喷量速率的增大,喷雾雾滴直径分布的均匀度减小。图 8b 是喷嘴 XR8004 的雾滴直径分布图,其雾滴粒径有大有小,非常明显,不集中。图 8c 为喷嘴 TXVK8004 的雾滴直径分布图,其雾滴粒径虽小,但分布非常均匀。

2.4 相同喷嘴不同喷雾压力下生物农药雾滴粒径分布

图 9 给出了采用喷嘴 TXVK8004 对 7 种喷雾样本在 2 种不同喷雾压力(276 kPa 和 621 kPa)下的喷

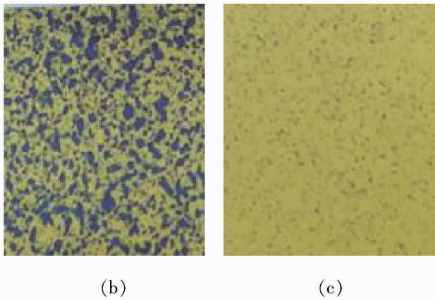


图 10 亚克力管收集的喷雾量分布

Fig. 10 Spray volume distribution for Acrylic tubes collection

同喷嘴的幅宽上喷量的标准百分比,如图 11 所示。从图中可知,平面扇形喷嘴幅宽上的喷量呈类似正态分布,中间多两边少,所以适合喷杆式喷雾机上使用。中空锥面喷嘴幅宽上的喷量凹凸形,两边缘和中间喷量少,其他部分喷量较多,所以该喷嘴不适合喷杆式喷雾机上使用,喷雾不均匀,适合在风送式果园喷雾机上使用。

2.6 相同喷雾压力下不同生物农药的喷幅宽度比较

除去幅宽上喷量正态分布的边缘数据,取标准值的 99% 的量作为喷幅宽度来计算,结果如图 12 所示。从图可知,对于同一个喷嘴的不同喷雾样本,喷幅宽度的差异性较小;而对于同一种喷雾样本不同喷嘴来说,喷幅宽度的差异性较大,XR11004 的幅宽最大,超过 116 cm,而其他 3 种喷嘴的幅宽均小于 116 cm,可见角度 110° 的喷嘴幅宽明显比 80° 的大。

3 结论

(1) 雾滴粒径大小与喷雾样本的原存在状态有

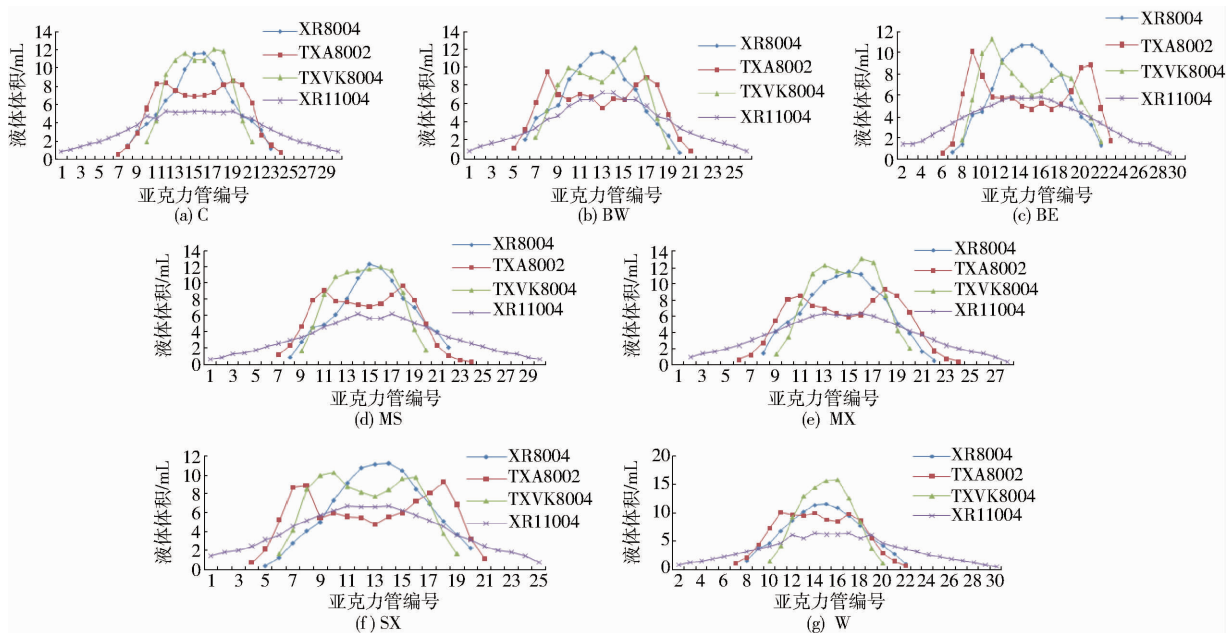


图 11 亚克力管收集的不同生物农药喷雾量标准化平均值
Fig. 11 Spray volume distributions for Acrylic tubes collection

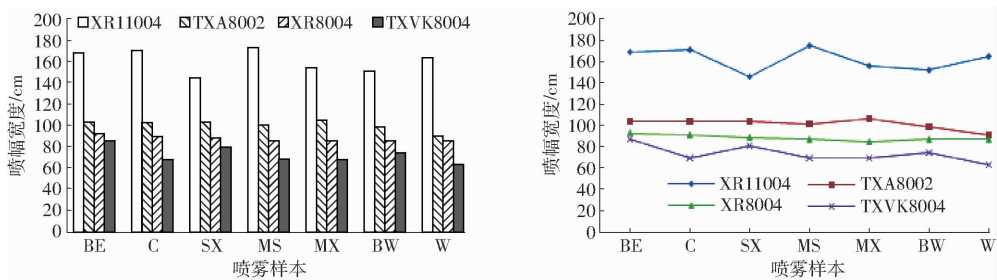


图 12 喷幅宽度比较

Fig. 12 Spray pattern width comparisons for seven spray samples with four nozzles

关,液态与粉末状生物农药的喷雾液滴尺寸具有较大差异,液态比粉末状雾滴尺寸大。生物农药的雾滴粒径大小随喷雾压力的增大而减小。

(2)随着喷嘴喷量速率的增大,喷雾雾滴粒径分布的均匀度减小。

(3)平面扇形喷嘴幅宽上的喷量中间多两边少,适合喷杆式喷雾机上使用。中空锥面喷嘴幅宽上的喷量凹形,两边缘和中间喷量少,而其余位置喷量较多,适合在风送式果园喷雾机上使用。

(4)喷嘴的喷雾角度大,则喷雾幅宽也大。角

度为 110°的喷嘴幅宽大于 116 cm,而角度为 80°喷嘴的幅宽小于 116 cm。

(5)研究了在避免田间现场许多无法控制的变量条件下的喷嘴喷雾质量特性,结论可能不完全适用于各种田间条件下的喷雾性能,但是该研究结果表明不同喷嘴类型、不同喷雾样本的喷雾性能,可作为根据喷雾样本或喷嘴标签上喷雾粒径和幅宽要求的选择基准,也可以作为比较田间现场条件下喷嘴与农作物数据的测试依据。

参 考 文 献

1 SUDAKIN D L. Biopesticides[J]. Toxicological Reviews, 2003,22(2):83-90.
2 MEHROTRO S,KUMAR S,ZAHID M,et al. Principles and applications of environmental biotechnology for a sustainable future [M]. Springer Link,2017;273-292.
3 GUPTA S,DIKSHIT A K. Biopesticides;an ecofriendly approach for pest control [J]. Journal of Biopesticides,2010,3(1):186-188.
4 MARTIN L,MARQUES J L,COLOMA A G,et al. Supercritical methodologies applied to the production of biopesticides: a review [J]. Phytochemistry Reviews, 2012(11):413-431.
5 GLARE T,CARADUS J,GELERNTER W,et al. Have biopesticides come of age [J]. Trends in Biotechnology,2012,30(5):250-258.
6 GLARE T R,MORAN-DIEZ R L. Biopesticides;methods and protocols · methods in molecular biology[M]. New Delhi:Spinger India,2016;211-221.

- 7 RAO M S, UMAMAHESWARI R, PRITI K, et al. Role of biopesticides in the management of nematodes and associated diseases in horticultural crops, plant, soil and microbes [M]. Springer International Publishing, 2016; 117 – 148.
- 8 HASSAN E, GOKCE A. Advances in plant biopesticides [M]. New Delhi: Springer India, 2014; 295 – 322.
- 9 GAN-MOR S, PALEVSKY E, MATTHEWS G A. Basic and applied aspects of biopesticides [M]. Springer Link, 2014; 333 – 343.
- 10 金鑫, 董祥, 杨学军, 等. 3WGZ – 500 型喷雾机对靶喷雾系统设计与试验 [J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(7): 21 – 27. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160704&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.07.004.
- JIN Xin, DONG Xiang, YANG Xuejun, et al. Design and experiment of target spraying system of 3WGZ – 500 sprayer [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(7): 21 – 27. (in Chinese)
- 11 刘雪美, 李扬, 李明, 等. 喷杆喷雾机精确对靶施药系统设计与试验 [J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(3): 37 – 44. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160306&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.03.006.
- LIU Xuemei, LI Yang, LI Ming, et al. Design and test of smart-targeting spraying system on boom sprayer [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(3): 37 – 44. (in Chinese)
- 12 GULER H, ZHU H, OZKAN H E, et al. Characterization of hydraulic nozzles for droplet size and spray coverage [J]. Atomization and Sprays, 2012, 22(8): 627 – 645.
- 13 GULER H, ZHU H, OZKAN H E, et al. Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-fan nozzles [J]. Transactions of the ASABE, 2007, 50(3): 745 – 754.
- 14 燕明德, 贾卫东, 毛罕平, 等. 风幕式喷杆喷雾雾滴粒径与速度分布试验 [J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(11): 104 – 110. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20141116&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.11.016.
- YAN Mingde, JIA Weidong, MAO Hanping, et al. Experimental investigation of droplet diameter and velocity distributions in air-assist boom sprays [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(11): 104 – 110. (in Chinese)
- 15 贾卫东, 闻志勇, 燕明德, 等. 风幕式喷杆喷雾雾滴特性与飘移性能试验 [J]. 农机化研究, 2017, 39(4): 162 – 167.
- JIA Weidong, WEN Zhiyong, YAN Mingde, et al. Experimental investigation of droplet characteristics and drift performance in air-assist boom sprayer [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017, 39(4): 162 – 167. (in Chinese)
- 16 FERGUSON J C, HEWITT A J, CHRIS C. Pressure, droplet size classification and nozzle arrangement effects on coverage and droplet number density using air-inclusion dual fan nozzles for pesticide applications [J]. Crop Protection, 2016, 89: 231 – 238.
- 17 HIDALGO E, BATEMAN R, KRAUSS U, et al. A field investigation into delivery systems for agents to control *Moniliophthora roreri* [J]. European Journal of Plant Pathology, 2003, 109(9): 953 – 961.
- 18 GOULIA V K, KASSA M, SKINNER B, et al. Fungal conidia distribution on chrysanthemum: varying spray parameters [J]. Arch Phytopathol Plant Prot, 2011, 44(6): 567 – 574.
- 19 GAN-MOR S, MIZRACH A, ELAD Y, et al. Development of on-site emulsifying device for production of cooking-oil based pesticides [C]//XVIIth World Congress of the CIGR and CSBE/SCGAB, 2010.
- 20 SAHAYARAJ K. Nanotechnology and plant biopesticides: an overview, advances in plant biopesticides [M]. New Delhi: Spring India, 2014; 279 – 293.
- 21 LEGGETT M, LELAND J, KELLAR K, et al. Formulation of microbial biocontrol agents- and industrial perspective [J]. Canadian Journal of Plant Pathology, 2011, 33(2): 101 – 107.
- 22 BioWork. BioWorks Int. [EB/OL] [2017 – 04 – 30] <http://www.bioworksinc.com/index.php>.
- 23 TeeJet Technologies. TeeJet Technologies Catalog 51 A [EB/OL] [2017 – 04 – 30] <http://www.TeeJet.com>.
- 24 ANSI/ASAE S572.1—2009 Spray nozzle classification by droplet spectra [S]. 2009.