doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.S0.026

设施固定管道式二相流常温烟雾系统雾滴沉积试验

李　雪[1,2]　吕晓兰[1,2]　张美娜[1]　雷晓晖[1]

(1.江苏省农业科学院农业设施与装备研究所,南京 210014;2.农业部长江中下游设施农业工程重点实验室,南京 210014)

摘要:针对缺乏设施专用高效施药机具,现有机具雾化性能差,农药有效利用率低,人员受毒害严重等问题,设计了设施固定管道式二相流常温烟雾系统,并结合推车式常温烟雾机,进行了喷雾性能对比试验,同时以结果期苏椒 5 号为试验对象,研究了作物冠层对二相流烟雾系统雾滴沉积分布的影响。试验设置二相流烟雾系统的工作气压为 0.3 MPa,液压为 0.05 MPa,施药流量为 2 L/min;常温烟雾机放置在温室中间位置距离前方采集区域 2 m 处,风筒与水平地面呈 15°倾角,向正前方喷雾,施药流量为 1.5 L/min,总施药时间为 5 min。结果表明,二相流烟雾系统每个采集区域的沉积量最大值均出现在喷头喷射方向前方约 1 m 处(采样点 4 或 5,与喷头喷射方向有关),C_{V_1}稳定在 25% ~35% 之间,反映出横向各采样点雾滴沉积量的差异和分布规律的一致性;常温烟雾机雾滴沉积量在前、中、后各区域内的变异系数分别为 70%、29% 和 0,导致前方(7 ~9 m)各采样点雾滴沉积量变异系数高达 70% 的原因是雾滴集中沉积在烟雾机前方的固定区域(采样点 3 ~6),而在两侧的沉积量过低,后方(41 ~43 m)沉积量变异系数为 0,是因为烟雾机风送距离有限导致后方各采样点无雾滴沉积。从沉积量的区间分布特性看,与常温烟雾机相比,二相流烟雾系统各采集区域雾滴沉积量的变异系数仅为 13%。以上结果说明,二相流烟雾系统能够实现整个棚室的无人施药作业,且雾滴沉积分布均匀性较好;棚室内作物的存在有利于雾滴在周围叶片上聚集,雾滴沉积量在竖直高度和不同区域的分布无显著差异,变异系数不大于 13%。综上所述,二相流烟雾系统工作性能稳定,雾滴分布均匀,可明显提升对病虫害的防治效果,能够实现人药分离作业。

关键词:温室;常温烟雾系统;二相流;固定管道;喷雾;雾滴沉积

中图分类号:S491;S625.5　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2018)S0-0199-06

Droplet Distribution and Deposition of Fixed Pipes Cold Fogging System in Greenhouse

LI Xue[1,2]　LÜ Xiaolan[1,2]　ZHANG Meina[1]　LEI Xiaohui[1]

(1. *Institute of Agricultural Facilities and Equipment*, *Jiangsu Academy of Agricultural Sciences*, *Nanjing* 210014, *China*
2. *Key Laboratory of Agricultural Engineering in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River*, *Nanjing* 210014, *China*)

Abstract: Sprayers used in greenhouse have poor atomization performance with low efficiency of pesticides and workers were poisoned badly, as a result, a fixed pipes cold fogging system was designed. In order to evaluate the performance of the fogging system, a comparison test between the system and trolley sprayer was carried out, meanwhile, peppers in fruiting period were chosen to explore the influence of crop canopy on droplet distribution of fogging system. In the test, the air pressure of fogging system was 0.3 MPa, the hydraulic pressure was 0.05 MPa, and the application rate was 2 L/min. The trolley sprayer was placed at a distance of 2 m from the front collection area, in the middle of the greenhouse, and the air cylinder and the horizontal ground had an angle of 15°, spraying forward, the application rate was 1.5 L/min. The total application time was 5 min. The results showed that different from the trolley sprayer, the droplet deposition coefficient of variation of fogging system among different collection areas was only 13%, indicating that the fogging system can achieve unmanned pesticide application throughout the greenhouse with good uniformity of droplet distribution; the presence of peppers in the greenhouse was conducive to droplets gather on surrounding leaves, droplet deposition in

收稿日期:2018-07-05　修回日期:2018-08-20

基金项目:农业部长江中下游设施农业工程重点实验室开放项目和江苏省农业自主创新资金项目(CX(16)1002、CX(14)5076)

作者简介:李雪(1987—),女,助理研究员,博士,主要从事植保机械与施药技术研究,E-mail:leexue99@qq.com

通信作者:吕晓兰(1980—),女,研究员,主要从事植保机械与施药技术研究,E-mail:lxlanny@126.com

the vertical height in different regions had no significant difference, with coefficient of variation no more than 13%. In summary, the fogging system had stable working performance and uniform droplet distribution, obviously improving the control efficiency of pests and diseases, realizing the separation work between human and the fogging system, having wide prospect in application.

Key words: greenhouse; cold fogging system; twin fluid; fixed pipes; spray; droplets deposition

0 引言

作为世界第一蔬菜出口国,我国设施蔬菜产量占蔬菜总产量的 35% 以上[1-3]。但设施蔬菜生产的特点,以及设施内利于滋生病虫害的封闭和温湿环境,导致蔬菜病害多发,施药量远高于农田用量,而农药利用率不足 30%[4-6]。

我国缺乏高效的设施病虫害防治专用装备,普遍使用成本较低,易于维修的背负式喷雾器和机动喷枪进行大容量淋洗式喷雾作业,这种喷雾方式由于技术水平不高,导致机具的雾化性能较差,雾滴粒径偏大,雾滴穿透性较差,药液流失严重。另一方面,由于人力操作,导致喷雾效果依赖植保作业人员的经验和技术,容易造成作业人员受到药剂毒害,据统计我国每年有近 10 万植保作业人员深受毒害[7]。20 世纪 80 年代我国引进了常温烟雾技术,基于此技术研发的常温烟雾机雾化性能有所提升,能够减少作业人员与农药接触的时间,一定程度上降低人员毒害[8],但是由于射程问题依旧无法脱离人员操作。目前,国内学者为了改善设施生产植保环节现状,进行了相关机具的研发,王士林等[9]研制了电动背负式风送喷雾器;管春松等[10]研制了温室大棚用导风管式烟雾机;汤根法等[11]针对温室大棚研制了小型推车式喷雾机;石建业等[12]研制了智能遥控拉移动式温室专用喷雾机;祁力钧等[13]研制了具有喷头变速摇摆功能和自动进、排药功能的温室摇摆式变量弥雾机。以上机具或者可以提高雾滴的穿透性、沉积分布的均匀性,或者可以提高雾滴的有效覆盖面积,降低作业人员与药液的接触时间,但是总体上看,目前的设施雾化植保机具依旧存在雾滴尺寸偏大、穿透能力差、喷雾不均匀、农药利用率低等问题[14-17]。常温烟雾机在进行面积较大棚室作业时射程受限问题无法解决。近期,也有学者尝试研究自动化程度较高的喷雾机具,祁力钧等[18]开发了一种基于 GPRS 通信技术和集散控制原理的远程控制自动施药系统;贾卫东等[19]设计了载有无线遥控及自适应行走的实时运动控制系统的喷雾机;邱威等[20]研制了一种移动式温室风幕静电施药平台;江煌[21]研制了基于 Kinect 的温室喷雾机器人。通过试验分析,与传统的施药机具相比,智能机具能一定程度提高农药利用率,并且避免人员毒害,但是由于成本较高,维护复杂,对设施生产管理要求较高,并不适用于我国目前设施生产现状。

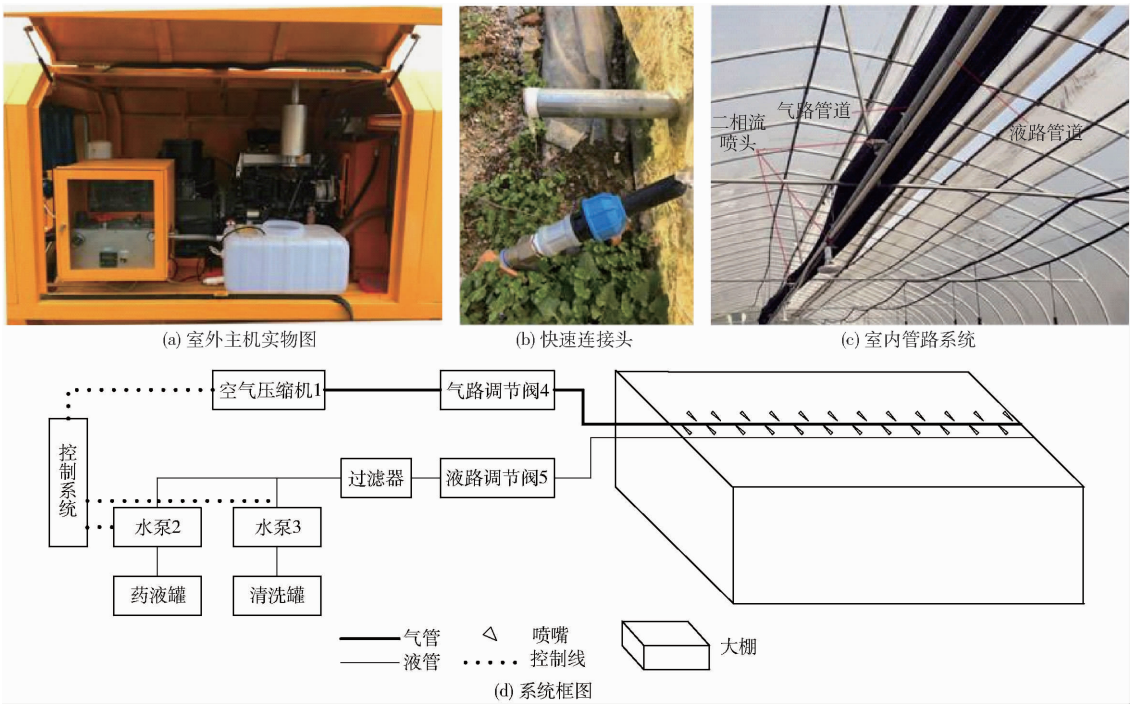
近年来,国外开始将设施烟雾降温系统应用于施药作业,该系统能够产生烟雾级别的雾滴,雾滴平均体积中径(VMD)在 2 ~ 60 μm 之间,常用的烟雾降温系统有 3 种:高压系统、低压系统和气液两相系统,其中气液两相系统最适合应用于施药作业[22-24],该系统利用二相流喷头将适当压力的空气和液体在喷嘴内部混合后以气雾流的形式喷射出去,喷口相对较大,不易堵塞,气流的存在也有利于喷头的清洁,避免液体滴落。与传统喷雾机具相比,该烟雾系统可实现人药分离作业,雾化质量高,并且能保证雾滴覆盖面积不受设施规模和种植制度限制。然而,国内对于气液两相烟雾降温系统的设计和设施施药的应用并未见报道。

本文设计一套设施固定管道式二相流常温烟雾系统,通过对比试验分析比较该烟雾系统与常温烟雾机的雾化性能和作业效果,分析设施内作物冠层对该系统雾滴沉积分布的影响。

1 试验设计与方法

1.1 试验场地及设备

试验于 2017 年 9 月在江苏省农业科学院农业设施与装备研究所南北方向单栋大棚(50 m × 8 m × 3.5 m)内进行。试验时棚室内环境温度约为 22.3℃,相对湿度约为 52%。试验机具为设施固定管道式二相流常温烟雾系统和推车式常温烟雾机。二相流烟雾系统主要由两部分组成,集成了气路输出单元、液路输出单元和控制系统室外可移动式主机和室内管路系统(图 1),室外主机与室内管路通过快速接头链接,气路管路位于液路管路的正上方,气液管路安装在棚室中间位置距离地面 2.5 m 处,共配有 25 个喷头,喷头间距 2 m,交叉反向安装,系统的相关技术参数如表 1 所示,试验气压为 0.3 MPa,液压为 0.05 MPa,施药流量为 2 L/min。推车式常温烟雾机(图 2)的雾化原理为离心雾化,其技术参数如表 2 所示,试验时常温烟雾机放置在温室中间位置距离第 1 采集区域 2 m 处,风筒与水平地面呈 15°倾角,向正前方喷雾,施药流量为 1.5 L/min,施药时间为 5 min。



(a) 室外主机实物图　(b) 快速连接头　(c) 室内管路系统　(d) 系统框图

图 1　设施固定管道式二相流常温烟雾系统

Fig. 1　Fixed pipes cold fogging system in greenhouse

表 1　固定管道式二相流常温烟雾系统技术参数

Tab. 1　Technical parameters of clod fogging system

装置	参数	数值
红五环 JAC30A 型空气压缩机	工作气压/MPa	0.3 ~ 0.6
欧维尔 AS－15 型隔膜泵	工作液压/MPa	0.05 ~ 0.1
外机	长 × 宽 × 高/(mm × mm × mm)	2 500 × 1 450 × 1 500
二相流喷头	气体消耗量/(L·min^{-1})	115
	液体消耗量/(L·h^{-1})	7
	施药流量/(L·min^{-1})	0 ~ 4
	雾滴体积中径/μm	30 ~ 50
	喷雾射程/m	4 ~ 5
	喷雾高度/m	2.5
	喷嘴间距/m	2



图 2　推车式常温烟雾机

Fig. 2　Trolley cold fogger

表 2　推车式常温烟雾机技术参数

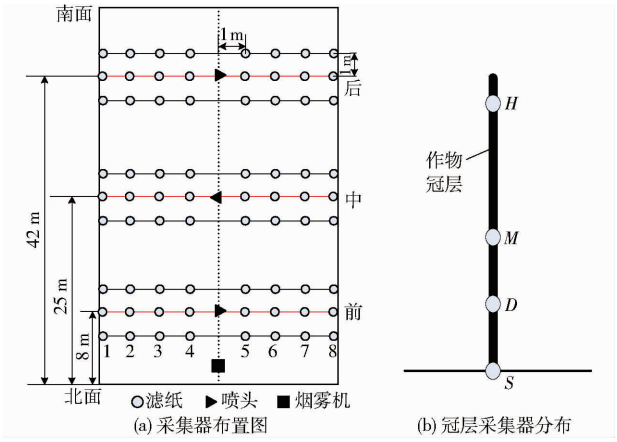
Tab. 2　Technical parameters of trolley

参数	数值
整机质量/kg	25
风机转速/(r·min^{-1})	2 000
额定功率/kW	3
雾滴平均粒径/μm	70 ~ 90
药箱容量/L	50
施药流量/(L·min^{-1})	0 ~ 1.5
作业效率/(hm^2·h^{-1})	0.13

1.2　采样方法及采集卡布置

试验配置质量分数为 0.1% 的 BSF 荧光示踪剂(德国)作为喷雾液,采用直径 7 mm 的滤纸作为采集卡,测试后将滤纸收集于自封袋中避光存放,随后将滤纸放入 30 mL 蒸馏水中浸泡并避光摇晃 20 s,采用 LS55 型荧光光谱仪(德国珀金埃尔默仪器公司)检测荧光示踪剂洗脱液的荧光值。

在机具雾滴沉积分布对比试验中,以大棚入口为参照,滤纸在大棚中的 3 个区域(前、中、后),同一种高度(地面 *S*)下进行布置,每个区域均布置 3 行采集卡作为重复,每行标定 8 个点,行与行之间、标定点与标定点之间间距均为 1 m,采集卡布置方式如图 3a 所示。在进行作物冠层对烟雾系统雾滴沉积分布影响研究时,滤纸按 3 区域、3 高度(*DS* 为 20 cm,*MS* 为 40 cm,*HS* 为 80 cm)布置(图 3b),试验作物是处于结果期的苏椒 5 号,作物平均株高为 1.2 m,在每株植物冠层外侧布置采集卡。



(a) 采集器布置图 (b) 冠层采集器分布

图 3 试验采集器布置

Fig. 3 Arrangement of droplets collectors

1.3 数据处理

采用 SPSS 19.0 对数据进行显著性分析,利用 Duncan 法进行多重比较;采用 Excel 2007 和 Surfer 13.0 进行制图和制表。

2 数据分析

2.1 固定管道式二相流常温烟雾系统与推车式常温烟雾机雾滴沉积对比

雾滴的沉积分布均匀性是评价喷雾机具喷雾效果的重要参考。因此,对二相流常温烟雾系统和推车式常温烟雾机进行了相关研究。表 3 为不同施药机具雾滴在不同采集区域平均沉积量的变化。由表 3 可知,二相流常温烟雾系统雾滴在各采集区域的沉积量显著高于常温烟雾机的雾滴沉积量,前方和中部采集区域的雾滴沉积量分别是常温烟雾机的 1.7 倍和 1 倍。二相流常温烟雾系统雾滴在区域间的平均沉积量差异并不显著,说明整体来看雾滴在棚室内的沉积分布较为均匀,区域间变异系数 C_{V_2} 仅为 13%,而常温烟雾机雾滴区域间的平均沉积量呈现中间高、前后少的特点,沉积量在纵深方向分布差异性显著,C_{V_2} 高达 95%。

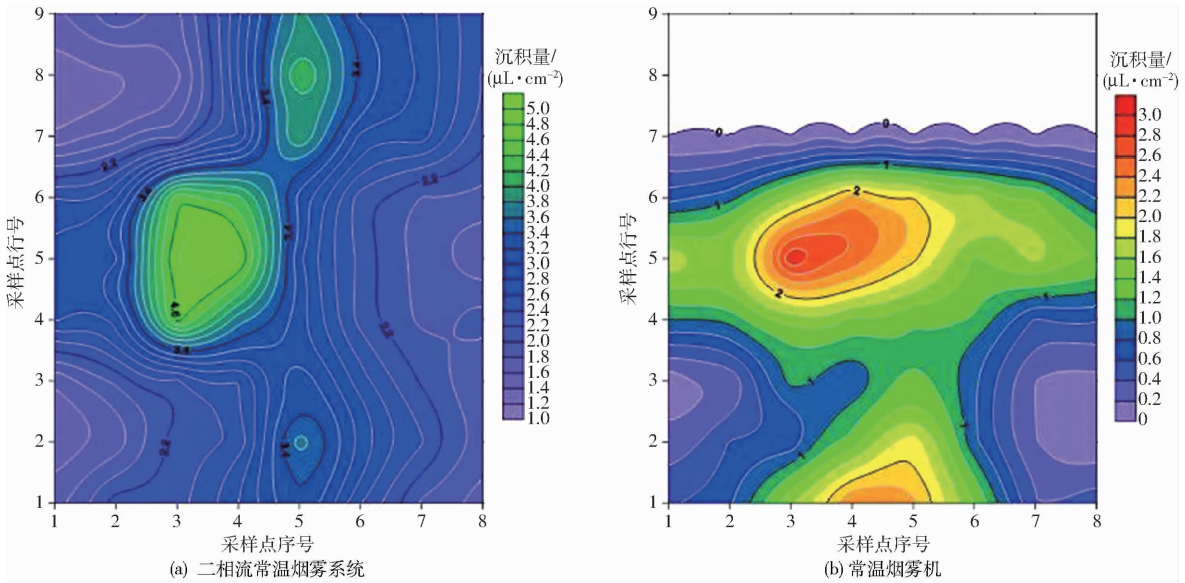
表 3 不同施药机具雾滴沉积分布情况

Tab. 3 Droplets distribution of different applicators

施药机具	采集区域	平均沉积量/(μL·cm^{-2})	同区域内变异系数 C_{V_1}/%	区域间变异系数 C_{V_2}/%
二相流常温烟雾系统	前	(2.35 ± 0.34)^{aA}	25	13
	中	(2.98 ± 0.58)^{aA}	34	
	后	(2.50 ± 0.50)^{a}	35	
推车式常温烟雾机	前	(0.86 ± 0.35)^{bB}	70	95
	中	(1.47 ± 0.35)^{aB}	29	
	后	0^{c}	0	

注:a、b、c 表示相同施药机具各区域间沉积量差异显著,A、B 表示不同施药机具相同区域沉积量差异显著,$p < 0.05$。

图 4 给出的是两种机具采集区域雾滴沉积量分布等势图,结合图 4 和表 3 的 C_{V_1} 能够体现出雾滴沉积量的横向分布情况,可以发现二相流烟雾系统每个采集区域的沉积量最大值均出现在喷头喷射方向前方约 1 m 处(采样点 4 或 5,与喷头喷射方向有关),C_{V_1} 稳定在 25% ~35% 之间,反映出横向各采



(a) 二相流常温烟雾系统 (b) 常温烟雾机

图 4 不同施药机具雾滴沉积量拼接等势图

Fig. 4 Isopotential maps of different applicators

样点雾滴沉积量的差异和分布规律的一致性，常温烟雾机雾滴沉积量在前中后各区域内的变异系数分别为70%、29%和0，前方(7～9 m)各采样点雾滴沉积量变异系数高达70%的原因是雾滴集中沉积在烟雾机前方的固定区域(采样点3～6)而在两侧的沉积量过低，后方(41～43 m)沉积量变异系数为0，是因为烟雾机风送距离有限导致后方各采样点无雾滴沉积。由图4可知，与推车式常温烟雾机相比，二相流常温烟雾系统雾滴沉积量在采集区域的整体分布是相对均匀的，说明它能够在棚室内部无人状态下较好的完成施药作业，具有推广应用价值。

2.2　作物对二相流常温烟雾系统雾滴沉积空间分布的影响

为了进一步分析二相流常温烟雾系统的雾滴沉积特性，结合作物冠层进行了对比试验。由表4可知，无论作物是否存在，各区域间的雾滴平均沉积量差异均不显著，变异系数(Coefficient of variation，C_V)不大于15%，雾滴在整个棚室能够均匀分布，但作物的存在显著增加了各区域的雾滴平均沉积量，根据吸附原理可知，这一现象可能因为细小雾滴受到范德华力[25]的作用，易向周围固体表面附着，此现象的存在对提高烟雾系统病虫害防治效果十分有利。

表4　各区间雾滴平均沉积量分布

Tab.4　Average droplets deposition of different collecting areas of fogging system

采集区域	沉积量/(μL·cm^{-2})	
	无作物	有作物
前	$(2.29 \pm 0.08)^{aB}$	$(3.44 \pm 0.10)^{aA}$
中	$(2.52 \pm 0.02)^{aB}$	$(3.78 \pm 0.08)^{aA}$
后	$(2.44 \pm 0.10)^{aB}$	$(3.66 \pm 0.13)^{aA}$
变异系数/%	15	13

注：a表示相同处理各区域间沉积量差异不显著，A、B表示不同处理相同区域沉积量差异显著，$p<0.05$。

表5描述的是试验采集区域竖直高度上的雾滴平均沉积量情况。由表可知，无论有无作物的存在，雾滴平均沉积量在竖直高度方向并无显著差异，变异系数不大于17%。

表6给出了试验采集区域水平采样点的雾滴平均沉积量情况。以喷头喷雾方向为基准，可以发现雾滴沉积量沿喷头喷射方向呈先缓慢增加后缓慢降低的趋势，变异系数范围为33%～44%，虽然变异系数相对较大，但是沉积量变化稳定，具有规律性。由表4～6可知，二相流常温烟雾系统在进行有作物喷雾时可以实现高效均匀的无人作业。

表5　各区间不同竖直高度沉积量分布

Tab.5　Average droplets deposition of different collecting areas of fogging system in vertical direction

采集区域	无作物				有作物			
	沉积量/(μL·cm^{-2})			变异系数/%	沉积量/(μL·cm^{-2})			变异系数/%
	H 点	*M* 点	*D* 点		*H* 点	*M* 点	*D* 点	
前	$(2.14 \pm 0.25)^{a}$	$(2.31 \pm 0.37)^{a}$	$(2.42 \pm 0.39)^{a}$	16	$(3.21 \pm 0.30)^{a}$	$(3.47 \pm 0.33)^{a}$	$(3.63 \pm 0.38)^{a}$	13
中	$(2.51 \pm 0.36)^{a}$	$(2.50 \pm 0.35)^{a}$	$(2.55 \pm 0.29)^{a}$	11	$(3.77 \pm 0.31)^{a}$	$(3.75 \pm 0.34)^{a}$	$(3.83 \pm 0.29)^{a}$	12
后	$(2.36 \pm 0.37)^{a}$	$(2.31 \pm 0.34)^{a}$	$(2.64 \pm 0.44)^{a}$	17	$(3.54 \pm 0.28)^{a}$	$(3.47 \pm 0.25)^{a}$	$(3.96 \pm 0.39)^{a}$	11

注：a表示相同处理相同区域间不同竖直高度雾滴沉积量差异不显著，$p<0.05$。

表6　各区间水平方向各采样点沉积量分布

Tab.6　Average droplets deposition of different collecting areas of fogging system in horizontal direction

	采集区域	沉积量/(μL·cm^{-2})								变异系数/%
		采样点1	采样点2	采样点3	采样点4	采样点5	采样点6	采样点7	采样点8	
无作物	前	$(1.44 \pm 0.02)^{e}$	$(1.82 \pm 0.03)^{d}$	$(2.31 \pm 0.06)^{c}$	$(2.37 \pm 0.07)^{c}$	$(4.32 \pm 0.26)^{a}$	$(2.80 \pm 0.15)^{b}$	$(1.75 \pm 0.08)^{de}$	$(1.52 \pm 0.05)^{de}$	41
	中	$(2.20 \pm 0.10)^{c}$	$(2.48 \pm 0.08)^{c}$	$(3.05 \pm 0.25)^{b}$	$(4.61 \pm 0.16)^{a}$	$(2.25 \pm 0.15)^{c}$	$(1.93 \pm 0.08)^{d}$	$(1.88 \pm 0.03)^{d}$	$(1.73 \pm 0.05)^{d}$	37
	后	$(1.23 \pm 0.02)^{e}$	$(1.44 \pm 0.06)^{e}$	$(2.01 \pm 0.08)^{d}$	$(2.43 \pm 0.05)^{c}$	$(4.51 \pm 0.24)^{a}$	$(3.48 \pm 0.19)^{b}$	$(2.44 \pm 0.11)^{c}$	$(1.96 \pm 0.06)^{d}$	44
有作物	前	$(2.16 \pm 0.02)^{e}$	$(2.73 \pm 0.03)^{d}$	$(3.46 \pm 0.06)^{c}$	$(3.56 \pm 0.10)^{c}$	$(6.48 \pm 0.29)^{a}$	$(4.20 \pm 0.17)^{b}$	$(2.62 \pm 0.08)^{d}$	$(2.28 \pm 0.07)^{d}$	33
	中	$(3.30 \pm 0.11)^{c}$	$(3.73 \pm 0.10)^{c}$	$(4.58 \pm 0.20)^{b}$	$(6.92 \pm 0.25)^{a}$	$(3.38 \pm 0.13)^{c}$	$(2.89 \pm 0.11)^{d}$	$(2.82 \pm 0.08)^{d}$	$(2.59 \pm 0.06)^{d}$	40
	后	$(1.85 \pm 0.02)^{e}$	$(2.16 \pm 0.06)^{e}$	$(3.02 \pm 0.06)^{d}$	$(3.65 \pm 0.08)^{c}$	$(6.76 \pm 0.25)^{a}$	$(5.21 \pm 0.19)^{b}$	$(3.66 \pm 0.13)^{c}$	$(2.94 \pm 0.06)^{d}$	43

注：a、b、c、d、e表示相同处理相同区域采样点1～8间沉积量差异显著，$p<0.05$。

3　结论

(1)常温烟雾机在前中后各区域间沉积量的变化十分显著，在距离常温烟雾机最近的前方区域(7～9 m)雾滴集中沉积在固定区域而在两侧的沉积过低，在中部区域(24～26 m)分布相对均匀，但是由于风送距离有限，后方区域(41～43 m)无雾滴沉积。

(2)与常温烟雾机相比，二相流烟雾系统能够实现整个棚室的无人施药作业，雾滴沉积分布均匀性较好，各采集区域雾滴沉积量的变异系数仅为

13%。

(3)棚室内作物的存在有利于雾滴在周围叶片上聚集,雾滴沉积量在竖直高度和不同区域无显著差异,变异系数不大于 13%。以喷头喷雾方向为基准,雾滴沉积量沿喷头喷射方向呈先增加后降低的趋势。

参 考 文 献

1 李天来. 我国设施蔬菜科技与产业发展现状及趋势[J]. 中国农村科技, 2016(5): 75 - 77.
2 董静, 赵志伟, 梁斌,等. 我国设施蔬菜产业发展现状[J]. 中国园艺文摘, 2017, 33(1): 75 - 77.
3 宋卫堂. 设施蔬菜产业发展对机械化的需求[J]. 中国农机化学报, 2017,38(11):112 - 115.
SONG Weitang. Demands of the development of protected vegetable industry on mechanized[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2017,38(11):112 - 115. (in Chinese)
4 郭世荣, 孙锦, 束胜,等. 国外设施园艺发展概况、特点及趋势分析[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(5): 43 - 52.
GUO Shirong, SUN Jin, SHU Sheng, et al. General situations, charactics and trends of protected horticulture in foreigns[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2012, 35(5): 43 - 52. (in Chinese)
5 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.
HE Xiongkui. Improving severe draggling actuality of plant protection machinery and its application techniques[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1):13 - 15. (in Chinese)
6 祁力钧, 傅泽田, 史岩. 化学农药施用技术与粮食安全[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6):203 - 206.
QI Lijun, FU Zetian, SHI Yan. Technology of pesticide application and food security[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(6):203 - 206. (in Chinese)
7 訾薇, 孙万华, 韩莉梅,等. 保护地蔬菜病害发生动态及防治对策[J]. 现代农业科技, 2013(5): 159.
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 王士林, 宋坚利, 何雄奎,等. 电动背负式风送喷雾器设计与作业性能试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(21):67 - 73.
WANG Shilin, SONG Jianli, HE Xiongkui, et al. Design of air-assisted electric knapsack sprayer and experiment of its operation performance[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(21):67 - 73. (in Chinese)
10 管春松, 胡桧, 韩柏和,等. 温室大棚用导风管式烟雾机研究[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(1):55 - 58.
GUAN Chunsong, HU Hui, HAN Bohe, et al. Study on foggers with a film duct in greenhouse [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(1):55 - 58. (in Chinese)
11 汤根法, 贺贵金, 陶增亮,等. 小型推车式隔膜泵喷雾机的设计与试验[J]. 农业开发与装备, 2014(10):59 - 60.
12 石建业, 任生兰, 马彦霞,等. 智能遥控拉移动式温室专用喷雾机的研制[J]. 农业科技与装备, 2014(7):26 - 27.
SHI Jianye, REN Shenglan, MA Yanxia, et al. Design of intelligent remote control mobile spray machine for greenhouse[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2014(7):26 - 27. (in Chinese)
13 祁力钧, 王虎, 张建华,等. 温室轨道式弥雾机气流速度场三维模拟与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2013, 44(2): 69 - 74. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag=1&file_no=20130214&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.02.014.
QI Lijun, WANG Hu, ZHANG Jianhua, et al. 3D numerical simulation and experiment of air-velocity distribution of greenhouse air-assisted sprayer[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(2):69 - 74. (in Chinese)
14 邓敏, 邢子辉, 李卫. 我国施药技术和施药机械的现状及问题[J]. 农机化研究, 2014, 36(5):235 - 238.
DENG Min, XING Zihui, LI Wei. Actuality and problems of pesticide machinery and its application techniques in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(5):235 - 238. (in Chinese)
15 傅锡敏, 薛新宇. 我国施药技术与装备的现状及其发展思路[J]. 农业技术与装备, 2010(5):13 - 15.
16 何雄奎. 植保精准施药技术装备[J]. 农业工程技术, 2017, 37(30): 22 - 26.
17 王俊,董祥,严荷荣,等. 风幕式喷杆喷雾机玉米田间施药试验[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(7):79 - 84. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag=1&file_no=20150712&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.07.012.
WANG Jun, DONG Xiang, YAN Herong, et al. Experiment on spraying performance of air-assisted boom sprayer in corn field[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(7):79 - 84. (in Chinese)
18 祁力钧, 杜政伟, 冀荣华,等. 基于 GPRS 的远程控制温室自动施药系统设计[J]. 农业工程学报, 2016, 32(23):51 - 57.
QI Lijun, DU Zhengwei, JI Ronghua, et al. Design of remote control system for automatic sprayer based on GPRS in greenhouse [J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(23): 51 - 57. (in Chinese)
19 贾卫东, 颜杰, 欧鸣雄,等. 基于遥控的温室喷雾机自适应控制系统设计与试验[J]. 农机化研究, 2018, 40(4):62 - 67.
JIA Weidong, YAN Jie, OU Mingxiong, et al. Design and experiment of adaptive control system for greenhouse sprayer based on remote control[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2018, 40(4):62 - 67. (in Chinese)
20 邱威, 冯超, 韩如锦,等. 移动式温室风幕静电施药平台设计及试验[J]. 农业现代化研究, 2016, 37(5):1001 - 1007.
QIU Wei, FENG Chao, HAN Rujin, et al. Design and test of air-assisted electrostatics prayer in greenhouse[J]. Research of Agricultural Modernization, 2016, 37(5):1001 - 1007. (in Chinese)
21 江锃. 基于 Kinect 的温室喷雾机器人视觉导航定位系统的研究[D]. 北京:北京林业大学, 2015.
22 ARBEL A, YEKUTIELI O, BARAK M. Performance of a fog system for cooling greenhouses[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1999,72: 129 - 136.
23 LI S, WILLITS D H. Comparing low-pressure and high-pressure fogging systems in naturally ventilated greenhouses[J]. Biosystems Engineering, 2008, 101: 69 - 77.
24 SANCHEZHERMOSILLA J, PAEZ F, RINCON V J, et al. Evaluation of a fog cooling system for applying plant-protection products in a greenhouse tomato crop[J]. Crop Protection, 2013, 48(43):76 - 81.
25 VERNIER A, BROWAEYS A, BARREDO D, et al. Measurement of the van der Waals interaction between two rydberg atoms [J]. Physical Review Letters, 2013, 110(26):263201.