

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.04.013

黄瓜叶片喷雾药液持留量试验*

陆军 贾卫东 邱白晶 李萍萍

(江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室/江苏省重点实验室, 镇江 212013)

【摘要】 为研究喷雾药液在靶标植株黄瓜叶片上的流失点与最大稳定持留量,以炮塔式压力雾化轴流风送高压静电喷雾系统为试验平台,采用微称量法对其进行了测量。引用润湿方程的基本理论,对影响持留量的因素(喷雾距离、雾滴叶面接触角及施药量)进行了分析,探讨各因素对药液持留量的影响规律。试验结果表明:随着喷雾距离的增加,药液在黄瓜叶片上的流失点和最大稳定持留量先上升后下降,最大值均出现在距离喷头 125 cm 处;药液雾滴在黄瓜叶片上的接触角 θ 、粘附张力 β 、粘附功 W_a 和临界表面张力 γ_0 的稳定值分别为 85.07° 、 6.17 mN/m 、 77.97 mJ/m^2 、 61.23 mN/m ;黄瓜叶片持留量在施药量为 $1.26 \sim 3.36 \text{ kL/hm}^2$ 范围内出现峰值,超过该范围后持留量随着施药量的增加而减少并逐渐趋于稳定。

关键词: 高压静电喷雾 流失点 最大稳定持留量 接触角 施药量

中图分类号: S481 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)04-0060-05

Experiment on Retention of Spray Liquid on Cucumber Leaves

Lu Jun Jia Weidong Qiu Baijing Li Pingping

(Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education & Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

With the aim to study the point of run-off and the maximum retention of spray liquid on cucumber leaves in greenhouse, the spraying experiment was performed with various charged voltage and spray volume. Taking the barrette model pressure atomization axial-flow air-carried high-voltage electrostatic spraying system as the experiment platform, the retention volume on cucumber leaves surface was measured by micro-weighing method. The factors on the retention volume were analyzed based on basic theory of Young's equation, including spray distance, droplet contact angle and spray volume. The results show that with the increasing distance, point of run-off and maximum retention rises firstly and then declines; the contact angle θ , adhesion force β , adhesion work W_a , critical surface tension γ_0 is 85.07° , 6.17 mN/m , 77.97 mJ/m^2 , 61.23 mN/m , respectively; the retention volume reaches the peak in spray volume range from 1.26 kL/hm^2 to 3.36 kL/hm^2 , and then reduces and gradually stabilizes with the increasing spray volume.

Key words High-voltage electrostatic spray, Point of run-off, Maxium retention, Contact angle, Spray volume

引言

作物叶面所能承载的药液量有一个饱和点,超

过这一点,就会发生药液自动流失现象,这一点称为流失点。发生流失后,药液在植物叶面达到最大稳定持留量^[1-2]。药液在植物叶片的持留量是由药液

收稿日期: 2009-06-01 修回日期: 2009-07-16

* 国家自然科学基金资助项目(50975125)、国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2008AA100904)、江苏省自然科学基金资助项目(BK2008229)和江苏省普通高校研究生科研创新计划资助项目(CX09B_207Z)

作者简介: 陆军, 博士生, 主要从事精确施药技术研究, E-mail: lujun@ujs.edu.cn

通讯作者: 李萍萍, 教授, 博士生导师, 主要从事农业生态保护研究, E-mail: lipingping@ujs.edu.cn

的物化特性、施药方法、雾滴谱、雾滴运行速度、叶片表面结构、作物株冠层结构等多方面的因素决定的^[3-4]。药液在植物叶片上的沉积持留量决定其在病虫害防治中的生物效果,因此研究喷雾药液在植株叶面上的持留量,可为喷雾过程中根据靶标对象特征,选择施药方法、控制施药量、减少药液流失等提供科学指导,以达到高效精准使用农药、降低农药环境污染的目的。

黄瓜是我国和世界主要的温室栽培作物之一,为防治病虫害需要经常使用化学农药,但由于国内喷雾机具落后、施药方法和施药量使用不当,往往药液不能在叶面充分滞留而大量流失^[5]。近年来国内外已有一些文献报道了喷雾药液在黄瓜叶片上持留量的研究^[6-8],但这些研究大多采用常规喷雾方法,针对温室静电喷雾机具的试验研究尚未见报道。本文以江苏大学农业工程研究院自行设计的炮塔式压力雾化轴流风送高压静电喷雾系统为试验平台,在农药对靶喷雾过程中通过调节静电电压及施药量,研究药液在叶片上的粘附机理及流失规律,探讨分析影响黄瓜叶片持留量的理化因素。试验结果可为温室黄瓜的精确施药量提供参考,同时也为高压静电喷雾机的设计和应用提供理论依据与技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料与装置

黄瓜叶片,生长期45 d(江苏大学农业工程研究院玻璃温室种植);FA-H200型电子天平,称量范围0.001~200.000 g(上海分析天平厂);微量注射器,量程为1 μL(上海佳安公司);LI-3000型叶面积测量仪(LI-COR公司);SMZ1000型带有CCD照相机的变焦体视显微镜,像素分辨率1280×960(日本尼康公司);SCHOTT-KL1500 LCD型卤素灯(德国SCHOTT公司);TES-1332A型照度计(台湾泰仕公司);炮塔式压力雾化温室轴流风送高压静电喷雾系统(江苏大学农业工程研究院自主研制)。

喷雾试验平台由高压静电喷雾装置和轴流风送装置两部分组成,如图1所示。工作原理的系统框图如图2所示。高压静电喷雾装置主要由压力雾化部分和高压电源部分组成。空气压缩机对储液罐内的液体加压,通过压力调节阀和流量计调整到合适的喷雾工作压力和流量,射流经喷头从喷嘴喷出,在喷口附近形成锥状雾束。高电压由高压静电发生器产生,通过电压调节阀调整输出工作电压。电极置于喷头的前方,接上高压电源,对雾滴荷电。轴流风机置于风扇罩内,在喷头后方对荷电雾滴进行风送。

喷头、轴流风机、空气压缩机、高压静电发生器等主要装置的技术指标如表1所示。

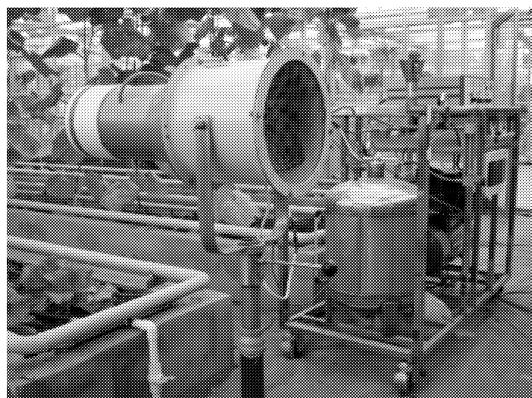


图1 炮塔式压力雾化轴流风送高压静电喷雾系统
Fig. 1 Barrette model pressure atomization axial-flow air-carried high-voltage electrostatic spraying system

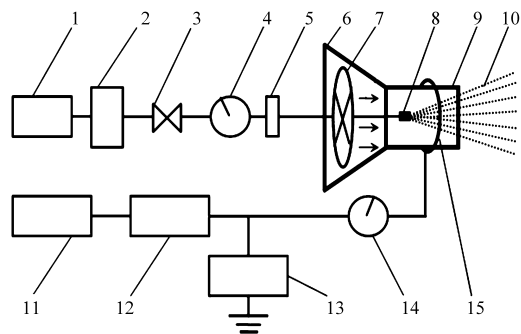


图2 轴流风送高压静电喷雾系统框图

Fig. 2 Block diagram of axial-flow air-carried high-voltage electrostatic spray system

1. 空气压缩机 2. 储液罐 3. 压力调节阀 4. 压力表 5. 流量计
6. 风扇罩 7. 轴流风机 8. 喷头 9. 喷雾圆筒罩 10. 荷电雾滴
11. 电压调节阀 12. 高压静电发生器 13. 电压表
14. 电流表 15. 组合电极

1.2 试验方法

试验在江苏大学玻璃温室内进行,试验条件为室内密闭、无自然风,温室内环境温度25℃,相对湿度76%,大气压为101.28 kPa。根据对靶施药技术规范要求,在布置好的靶区内,对黄瓜叶片(靶标)进行施药。调节喷头距离地面高度65 cm,空气压缩机设定喷雾压力为0.55 MPa,喷雾流量调节至800 mL/min,调节充电电压为0~40 kV,每10 kV为一个喷雾流场测量工况。用清水替代农药进行喷雾,每种工况均重复测量3次。

1.2.1 试验布置

在温室400 cm×63 cm的土槽内共布置8个靶区和分布16个靶标,如图3所示。其中,靶标为温室种植生长45 d叶龄相近、大小一致的黄瓜叶片。

1.2.2 测定方法与计算

(1) 流失点和最大稳定持留量测定

根据文献[2]的测量方法,由双面胶粘贴黄瓜

表1 喷雾装置的技术指标

Tab.1 Parameters and specifications of spray system

装置	参数	技术指标
旋流式空心雾化喷头	材料	铜
	喷孔直径/mm	1.5
	流量/L·min ⁻¹	0.5~3.0
	压力/MPa	0.15~2.5
	喷雾锥角/(°)	60~135
T35-11型轴流风机	叶轮直径/mm	280
	叶轮圆周速度/m·s ⁻¹	42.5
	叶片角/(°)	35
	流量/m ³ ·h ⁻¹	3202
	全压/Pa	232
	全压效率	0.86
	主轴转速/r·min ⁻¹	2900
	电动机功率/kW	0.25
	匹配功率/kW	0.75
	额定排气压力/MPa	0.8
空气压缩机	公称容积流量/m ³ ·min ⁻¹	0.036
	转速/r·min ⁻¹	1050
高压静电发生器	电压调节范围/kV	0~50

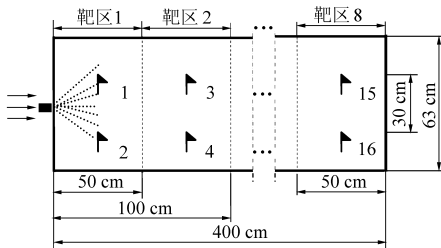


图3 靶区布置与靶标分布

Fig.3 Distribution of leaves target in target district

叶片的自制载物台通过连接杆与分析天平托盘相连,用玻璃管将连接杆与喷雾器喷出的雾滴隔开。叶片布置好后,开始静电喷雾,直到药液从叶片滴落,记录雾滴沉积过程中电子天平的最大读数,即为流失点。停止喷雾,等到药液不再从叶片流淌,天平显示数字稳定,记录读数,即为最大稳定持留量。用叶面积仪测定叶片面积,计算出单位面积叶片的药液持留量。重复3次,计算平均值,折算1 cm²的持留量。

(2) 接触角 θ 与临界表面张力 γ_0 测定

用微量注射器移取0.5~10.0 μL 药液滴加于黄瓜叶片上,室内25 $^{\circ}\text{C}$ 恒温下,待液滴形成120 s达到平衡后,由卤素灯照射液滴,液滴经显微镜放大30倍,由CCD照相机拍摄。拍摄的液滴图像传输到计算机,用Matlab图像处理方法提取三相接触点处液滴轮廓,再拟合多项式函数与像素数计算生成

接触角^[9]。根据Zisman提出的测定植物临界表面张力方法^[10],用不同表面张力的液体滴于黄瓜叶片表面,以测量得到接触角的 $\cos\theta$ 对液体表面张力作图,得到一条直线,将直线外延至 $\cos\theta = 1$ 处,对应的液体表面张力值即为黄瓜的临界表面张力 γ_0 。

(3) 粘附张力 β 与粘附功 W_a 的计算

在温室恒温25 $^{\circ}\text{C}$ 条件下,用表面张力仪测定药液的表面张力 γ ,重复3次取平均值,根据润湿方程的基本理论^[11]按下式进行计算

$$\beta = \gamma \cos\theta \quad (1)$$

$$W_a = \gamma(\cos\theta + 1) \quad (2)$$

式中 β ——药液的粘附张力, mN/m

W_a ——药液的粘附功, mJ/m²

θ ——液滴在叶片上的接触角, ($^{\circ}$)

γ ——药液的表面张力, mN/m

2 试验结果与分析

2.1 流失点与最大稳定持留量

不同电压条件下流失点随距离的变化如图4所示。由图可知,随着轴向距离的增加,黄瓜叶片流失点先上升后下降。流失点最高峰值出现在距离喷头125 cm处。这主要是因为距离喷头较近处,细小雾滴容易被植物叶片捕获,而在距离喷头较远处,由于大雾滴所具有的动量大,撞击叶片时容易脱落而造成流失。因此,喷雾药液在黄瓜叶片上的流失点是受雾滴粒径和雾滴速度综合作用影响的结果。轴流风送喷雾药液受气流速度影响较大,细小雾滴容易发生飘失,而较大粒径的雾滴以较高速度撞击作物叶片时,由于动量大,雾滴在作物叶片上持留量减少。雾滴在撞击植株靶标界面的过程中因动能的增加而降低了粘附界面的性能^[12-14],同时大雾滴的药液在靶标叶片上重复沉积^[15],易造成药液流失。

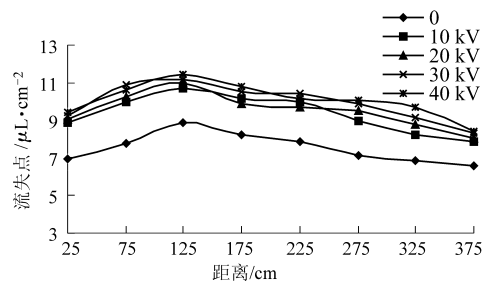


图4 不同电压下黄瓜叶片上的流失点分布

Fig.4 Distribution of point of run-off of drops on cucumber leaves

不同电压条件下最大稳定持留量随距离的变化如图5所示。由图可知,黄瓜叶片的最大稳定持留量随着轴向距离的增加,先增大后减小,最大值(7.72 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$)出现在距离喷头125 cm处。这主要

是因为在距离喷头较近处,雾滴粒径较小,随着喷雾距离的增大,雾滴碰撞凝并机率加大从而导致雾滴粒径增大。雾滴粒径会直接影响雾滴在靶标叶片上的覆盖密度和分布均匀性,进而影响到其在作物靶标上的持留量。在不加电压情况下距离为 125 cm 处的最大稳定持留量是距离为 375 cm 处的 1.37 倍。施加电压后,距离喷头同一位置处的最大稳定持留量差异较大。这是由于施加电压后,荷电雾滴在电场力的作用下快速飞向靶标,从而提高了雾滴的命中率,并且由于雾滴带有相同电荷,彼此间产生较大的斥力,在空间的运动过程中互相排斥而均匀分散,所以对靶标叶片覆盖较均匀,粘附牢固,因此最大稳定持留量增多。距离为 125 cm 时 40 kV 电压下的最大稳定持留量是不加电压时的 1.56 倍。

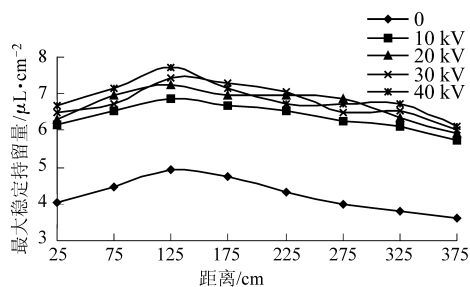


图 5 不同电压下黄瓜叶片上的最大稳定持留量分布
Fig. 5 Distribution of maximum retention of drops on cucumber leaves

2.2 雾滴接触角与表面张力

药液的表面张力和接触角是判断农药雾滴在叶片上沉积持留及各种润湿数据的重要参数指标。农药雾滴在作物叶片上的沉积是变液-气界面和固-气界面为固-液界面的过程,属于粘湿过程,药液表面张力 γ 越大,粘湿过程越容易进行。图 6 为不同体积的液滴在黄瓜叶片表面的参数值。由图可知,当液滴体积大于 10 μL 时,药液在叶片上的接触角 θ 、粘附张力 β 和粘附功 W_a 都各自趋于一个稳定值。这说明黄瓜叶片表面的物理和化学特征是决定药液在其表面润湿展布的固有的内在因素,黄瓜叶面的表面特征和形态结构对药液雾滴的持留量影响很大。测量得到药液滴在黄瓜叶片上的稳定接触角 θ 为 85.07° ,由式(1)和式(2)计算得到液滴在黄瓜叶

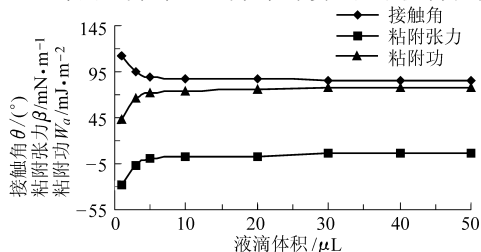


图 6 液滴在黄瓜叶片表面的参数值

Fig. 6 Parameters of drops on cucumber leaf surface

片上的粘附张力 β 和粘附功 W_a 分别为 6.17 mN/m 和 77.97 mJ/m^2 。

药液能润湿植物叶片是药液持留的基本条件。用不同表面张力的液体滴于黄瓜叶片表面,根据 Zisman 方法作图,如图 7 所示。由此测量得到黄瓜叶片的临界表面张力 γ_0 ,约为 61.23 mN/m ,小于此临界表面张力的药液可以在黄瓜叶片上润湿展布,而大于或等于该临界表面张力的药液将不易在黄瓜叶片上持留。

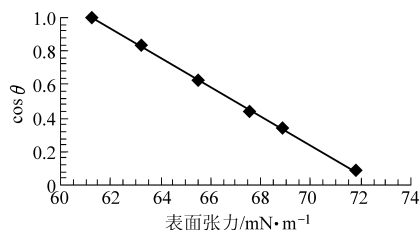


图 7 黄瓜叶片临界表面张力的 Zisman 图
Fig. 7 Zisman figure of critical surface tension of cucumber leaf

2.3 施药量

调节不同电压、控制流量和时间进行药液喷雾,不同施药量下叶片持留量如图 8 所示。由图可知,不同电压条件下,黄瓜叶片持留量在施药量 $1.26 \sim 3.36 \text{ kL/hm}^2$ 范围内均出现一个峰值。叶片持留量开始随着施药量的增加而迅速增加,当达到各自峰值(流失点)之后,施药量进一步增加而持留量却减少并渐趋于一个稳定值(最大稳定持留量)。说明当施药量超过流失点时,叶片药液持留量不会增加,过量施药只会造成流失,应严格控制施药量在流失点以下。此外,随着电压的增加,叶片持留量达到流失点时所需的施药量减少。电压 40 kV 达到流失点时所需的施药量仅为不加电压时的 37.5%。

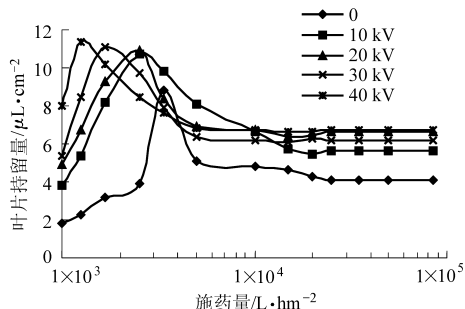


图 8 不同电压下叶片持留量随施药量的变化
Fig. 8 Retention of drops on cucumber leaves with different spray volumes

3 结论

(1) 雾滴粒径和雾滴速度是影响药液在黄瓜叶片上沉积持留的重要因素。40 kV 电压下距离喷头

为 125 cm 处黄瓜叶片的最大稳定持留量最高,达到 $7.72 \mu\text{L}/\text{cm}^2$,它是普通喷雾(不加静电)条件下的 1.56 倍。通过调节电压、风速和喷雾高度,调整雾滴粒谱分布范围及其撞击靶标叶片的速度,可以有效增加叶片持留量。

(2) 靶标植物叶片的表面特征是影响其药液持留量的内在因素。在温室喷雾时,通过调配药液含量、添加表面活性剂等措施,调整药液表面张力小于黄瓜叶片临界表面张力 $61.23 \text{ mN}/\text{m}$ 、接触角小于

85.07° ,以增加药液在黄瓜叶片上的粘附功,利于药液在黄瓜叶片上的润湿展布,将在一定程度上降低药液流失。

(3) 黄瓜叶片的持留量受施药液量的影响很大,施药量超过 $1.26 \sim 3.36 \text{ kL}/\text{hm}^2$ 范围后,药液大部分流失到地面。在农业喷雾生产中严格控制施药量在流失点以下,采用高压静电、小雾滴与较低容量喷雾,将会提高农药的有效利用率,降低农药进入环境中的量。

参 考 文 献

- Holloway P J, Butlerellis M C, Webb D A, et al. Effect of some agricultural tank-mix adjuvants on the deposition efficiency of aqueous sprays on foliage[J]. *Crop Protection*, 2000, 19(1): 27 ~ 37.
- 袁会珠, 齐淑华, 杨代斌, 等. 药液在作物叶片的流失点和最大稳定持留量研究[J]. *农药学学报*, 2000, 2(4): 66 ~ 71.
Yuan Huizhu, Qi Shuhua, Yang Daibin, et al. Study on the point of run-off and the maximum retention of spray liquid on crop leaves[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2000, 2(4): 66 ~ 71. (in Chinese)
- 屠豫钦. 农药使用技术标准化[M]. 北京: 中国标准出版社, 2001: 163 ~ 169.
- 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)
- Knoche M. Effect of droplet size and carrier volume on performance of cucumber applied herbicides[J]. *Crop Protection*, 1994, 13(3): 163 ~ 178.
- 顾中言, 许小龙, 韩丽娟. 表面活性剂在农药使用中的作用研究[J]. *现代农药*, 2003, 12(2): 21 ~ 23.
Gu Zhongyan, Xu Xiaolong, Han Lijuan. Study on the function of surfactant in the application of pesticides [J]. *Modern Agrochemicals*, 2003, 12(2): 21 ~ 23. (in Chinese)
- Moritz K, Martin J B. Effect of Triton X - 100 concentration on NAA penetration through the isolated tomato fruit cuticular membrane[J]. *Crop Protection*, 2004, 23(2): 141 ~ 146.
- Duncan A W, Peter J H, Nigel M W. Effect of some surfactants on foliar impaction and retention of monosize water droplets [J]. *Pesticide Science*, 1999, 55(3): 343 ~ 349.
- 邱白晶, 赵晓丽, 贾卫东, 等. 基于图像的植物叶面雾滴接触角稳定区间法测量[J]. *农业机械学报*, 2009, 40(5): 139 ~ 144.
Qiu Baijing, Zhao Xiaoli, Jia Weidong, et al. Stable interval method based on images to measure drop contact angles on plant leaf surfaces[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009, 40(5): 139 ~ 144. (in Chinese)
- 刘程, 张万福, 陈长明. 表面活性剂应用手册[M]. 第2版. 北京: 化学工业出版社, 1996: 28 ~ 43.
- Adamson A W, Gast A P. *Physical chemistry of surface* [M]. 6th Edition. New York: John-Wiley, 1997.
- Mao T, Kuhn D, Tran H. Spread and rebound of liquid droplets upon impact on flat surfaces[J]. *Crop Protection*, 1998, 16(7): 69 ~ 75.
- 贾卫东, 李萍萍, 邱白晶, 等. 农用高压静电喷雾场的实验[J]. *农业机械学报*, 2007, 38(12): 66 ~ 69.
Jia Weidong, Li Pingping, Qiu Baijing, et al. Measurement of agricultural high-voltage electrostatic spraying field by using PDPA[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2007, 38(12): 66 ~ 69. (in Chinese)
- Butlerellis M C, Tuck C R, Miller P C. The effect of some adjuvants on sprays produced by agricultural flat fan nozzles[J]. *Crop Protection*, 1997, 16(1): 41 ~ 50.
- 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): 101 ~ 105.
Lu Jun, Li Pingping, Jia Weidong, et al. Experiments of axial-flow air-carried toward-target pesticide deposition in greenhouse[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009, 40(12): 101 ~ 105. (in Chinese)