

# 利用风洞评价助剂对杀虫剂航空喷雾 雾滴飘移的影响\*

高赛超<sup>1\*\*</sup> 周晓欣<sup>1</sup> 秦维彩<sup>2</sup> 韩鹏<sup>3</sup>  
闫晓静<sup>1</sup> 薛新宇<sup>2</sup> 袁会珠<sup>1\*\*\*</sup>

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193; 2. 农业部南京农业机械化研究所,  
南京 210014; 中国农业大学植物保护学院, 北京 100193)

**摘要** 【目的】研究不同剂型农药以及不同类型喷雾助剂对航空喷雾防治柑橘木虱 *Diaphorina citri* Kuwayama 的雾滴飘移的影响, 探究如何减少雾滴飘移, 以为无人机低空低容量喷雾技术在防治柑橘木虱中的应用提供指导。【方法】选取登记用于防治柑橘木虱的两种杀虫剂和 3 种助剂, 通过采用风洞试验室内模拟田间, 风速设定为 2 m/s 和 4 m/s, 采用示踪剂法测定距喷头不同距离的药剂飘移沉积情况。【结果】当风速为 2 m/s, 添加倍达通和 Y-20079 两种助剂添加量为 1% 时, 药剂在垂直与水平方向沉积均相对减少; 添加 806 助剂后, 添加量为 0.5% 时垂直与水平方向沉积均减少; 当风速为 4 m/s 时, 助剂 Y-20079 添加量为 1%, 可减少药剂在垂直与水平方向沉积; 100 g/L 吡丙醚乳油 (稀释 200 倍) 和 20% 噻虫胺悬浮剂 (稀释 40 倍) 相比, 风速为 2 m/s 和 4 m/s 时, 垂直和水平方向药剂沉积量均明显减少。【结论】采取低空低容量喷雾技术时, 农药的乳油制剂相比于悬浮剂更容易飘失; 通过添加倍达通、806 和 Y-20079 等助剂, 可减少雾滴的飘移。

**关键词** 柑橘木虱, 杀虫剂, 风洞试验, 喷雾助剂, 飘移

## Using a wind tunnel test to evaluate the effect of spray adjuvant on droplet drift during aerial low volume insecticide spraying

GAO Sai-Chao<sup>1\*\*</sup> ZHOU Xiao-Xin<sup>1</sup> QIN Wei-Cai<sup>2</sup> HAN Peng<sup>3</sup>  
YAN Xiao-Jing<sup>1</sup> XUE Xin-Yu<sup>2</sup> YUAN Hui-Zhu<sup>1\*\*\*</sup>

(1. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China; 3. China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract** 【Objectives】To evaluate the effects of different insecticide formulations and spray adjuvants on spray droplet drift during aerial application, and provide instructions on aerial, low volume spraying for the control of *Diaphorina citri* Kuwayama. 【Methods】Two insecticide formulations and three spray adjuvants were tested. The deposition of spray droplets on polyethylene rope at different distances from the spray nozzle was measured at simulated wind speeds of 2 m/s and 4 m/s respectively, in a wind tunnel. 【Results】At a simulated wind speed of 2 m/s, droplet deposition decreased both vertically and horizontally after adding the spray adjuvants Beidatong or Y-20079 at a concentration of 1%, or the adjuvant 806 at a concentration of 0.25%. At a simulated wind speed of 4 m/s, spray droplet deposition decreased both vertically and horizontally after the addition of 1% Y-20079. At simulated wind speeds of both 2 m/s and 4 m/s, low volume aerial spraying of 100 g/L pyriproxyfen EC produced noticeably less vertical and horizontal droplet deposition than 20% thiamide SC. 【Conclusion】Spray drift during low volume aerial spraying is affected by insecticide formulation and can be reduced by adding the adjuvants Beidatong, 806 and Y-20079.

**Key words** *Diaphorina citri* Kuwayama, insecticide, wind tunnel, spray adjuvant, droplet drift

\*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2018YFD0201502): 柑橘木虱监测预警及绿色高效防控关键技术; 国家重点研发计划 (2016YFD0200703): 农业航空低空低容量喷雾技术

\*\*第一作者 First author, E-mail: gaosc1993@163.com

\*\*\*通讯作者 Corresponding author, E-mail: hzyuan@ippcaas.cn

收稿日期 Received: 2018-07-02, 接受日期 Accepted: 2018-07-27

近年来,我国植保无人机发展迅速,无人机低空低容量喷雾技术在很多作物上得到了推广应用,但是航空喷雾技术需要克服雾滴飘移问题,避免雾滴飘移导致的药害或环境污染(刘秀娟等,2005;张盼等,2016;何玲等,2017;王国民等,2017)。本研究旨在研究不同剂型农药以及不同类型喷雾助剂对航空喷雾防治柑橘木虱的雾滴飘移的影响,探究如何减少雾滴飘移,以期对无人机低空低容量喷雾技术在防治柑橘木虱中的应用提供指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验条件

试验风洞的长×宽×高为 8 m×1.2 m×1.8 m,可设定风速范围为 0-10 m/s,喷雾压力可调。试验时温度为 (21 ± 2.74) ,相对湿度为 45% ± 4.00%。

### 1.2 供试农药和助剂

100 g/L 吡丙醚乳油(上海生农生化制品股份有限公司),20% 噻虫胺悬浮剂(河北威远生物化工有限公司),倍达通(河北明顺农业科技有限公司),806(迈图高新材料集团),Y-20079(迈图高新材料集团),85%示踪剂诱惑红(浙江吉高德色素科技有限公司)。

### 1.3 试验设计与方法

本试验均采用 Teejet11001 喷头,压力为 0.3 MPa,喷雾时间为 10 s,药液中添加诱惑红为示踪剂,添加量为所配制药液的 2%。用聚乙烯绳子收集药液沉积分布试验部分,风速分别为 2 m/s 和 4 m/s,各处理见表 1。

喷头在中心线正上方,距风洞地面 1 m。置聚乙烯绳于距喷头 2 m 处垂直布置 5 根,间距为 10 cm,第一根距风洞地面 10 cm(依次记为 H<sub>0.1</sub>, H<sub>0.2</sub>, H<sub>0.3</sub>, H<sub>0.4</sub> 和 H<sub>0.5</sub>);水平方向分别距喷头 3、4、5、6、7 m(分别记为 L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub>, L<sub>5</sub>, L<sub>6</sub> 和 L<sub>7</sub>) 共布置 5 根(间隔为 1 m,距地面 10 cm),具体布置如图 1。

### 1.4 数据分析

采用超声波洗脱,酶标仪测定,得到数据并进相应计算转换(茹煜等,2014;王潇楠等,2015;张慧春等,2015)。

喷雾雾滴在聚乙烯绳上的沉积量 A<sub>d</sub> 表示,公式如下:

$$A_d = d_i \times \frac{S}{W} \quad (1)$$

式中: d<sub>i</sub> 为第 i 根收集线上示踪剂沉积 (μg); S 为收集线间距离 (m); W 为收集线直径 (m)。

$$T_a = V \times C \quad (2)$$

式中: T<sub>a</sub> 为喷施示踪剂总量 (μg); V 为喷雾体积 (mL); C 为示踪剂浓度 (μg/mL)。

表 1 试验设计  
Table 1 Experimental design

| 编号 No. | 药剂 Insecticide                           | 稀释倍数 Dilution | 助剂 Adjuvant      | 助剂添加量 (%)<br>Concentration | 风速 (m/s) Wind speed |
|--------|--|---------------|------------------|----------------------------|---------------------|
| 1      | 100 g/L 吡丙醚乳油<br>100 g/L Pyriproxyfen EC | 200           | -                | -                          | 2&4                 |
|        |  |               | 倍达通<br>Beidatong | 0.5                        | 2&4                 |
|        |  |               |                  | 1                          | 2&4                 |
|        |  |               | 806              | 0.1                        | 2&4                 |
|        |  |               |                  | 0.25                       | 2&4                 |
|        |  |               | Y-20079          | 0.5                        | 2&4                 |
|        |  |               |                  | 1                          | 2&4                 |
| 2      | 20% 噻虫胺悬浮剂<br>20% Thiamide SC            | 40            | -                | -                          | 2&4                 |

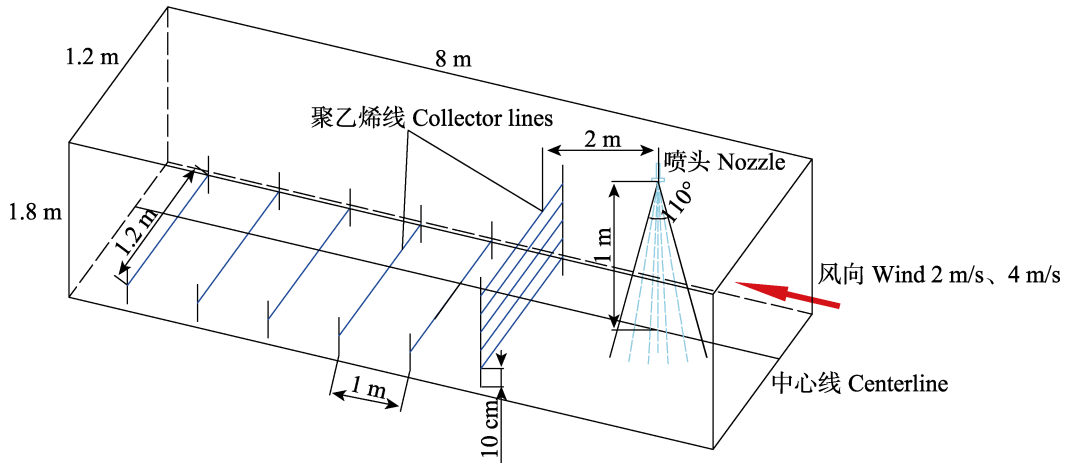


图 1 搭建不同收集线的风洞试验系统原理图

Fig. 1 Wind tunnel measuring layout chart with different collector lines

$$S_d = \frac{A_d}{T_a} \times 100\% \quad (3)$$

式中 : $S_d$  为收集到雾滴沉积占喷头输出的百分比。

## 2 结果与分析

### 2.1 3 种喷雾助剂对 100 g/L 吡丙醚 EC 喷雾飘移的影响

如图 2 (A) 所示, 风速设定为 2 m/s 时, 植物油助剂倍达通添加量为 0.5%,  $H_{0.1}$ ,  $H_{0.2}$  和  $H_{0.3}$  处均有所增加,  $H_{0.4}$  和  $H_{0.5}$  处与对照持平, 添加量为 1% 时均有所减少; 有机硅助剂 806 添加量为 0.1%,  $H_{0.1}$ ,  $H_{0.2}$ ,  $H_{0.3}$ ,  $H_{0.4}$  和  $H_{0.5}$  处均有所增加, 添加量为 0.25% 时均有所减少; 非离子表面活性剂 Y-20079 添加量为 0.5%,  $H_{0.1}$ ,  $H_{0.2}$ ,  $H_{0.3}$ ,  $H_{0.4}$  和  $H_{0.5}$  处均有所增加, 添加量为 1% 时均有所减少。

如图 (B) 所示, 风速设定为 4 m/s 时, 植物油助剂倍达通添加量为 0.5% 和 1% 时,  $H_{0.1}$  处绳子沉积量随添加量增加有所增加,  $H_{0.2}$ ,  $H_{0.3}$ ,  $H_{0.4}$  和  $H_{0.5}$  处沉积均小于对照; 有机硅助剂 806 添加量为 0.1% 和 0.25% 时,  $H_{0.1}$ ,  $H_{0.2}$ ,  $H_{0.3}$ ,  $H_{0.4}$  和  $H_{0.5}$  处均有所增加; 非离子表面活性剂 Y-20079 添加量为 0.5% 和 1% 时,  $H_{0.1}$ ,  $H_{0.2}$ ,  $H_{0.3}$ ,  $H_{0.4}$  和  $H_{0.5}$  处均有所减少。

如图 3 (A) 所示, 风速设定为 2 m/s 时, 植物油助剂倍达通添加量为 0.5%,  $L_3$  和  $L_4$  处沉积均有所增加,  $L_5$ ,  $L_6$  和  $L_7$  处均有所减少, 添加

量为 1% 时各测定点均有所减少; 有机硅助剂 806 添加量为 0.1%,  $L_3$ ,  $L_4$ ,  $L_5$ ,  $L_6$  和  $L_7$  处均有所增加, 添加量为 0.25% 时均有所减少; 非离子表面活性剂 Y-20079 添加量为 0.5%,  $L_3$  和  $L_4$  处均有所增

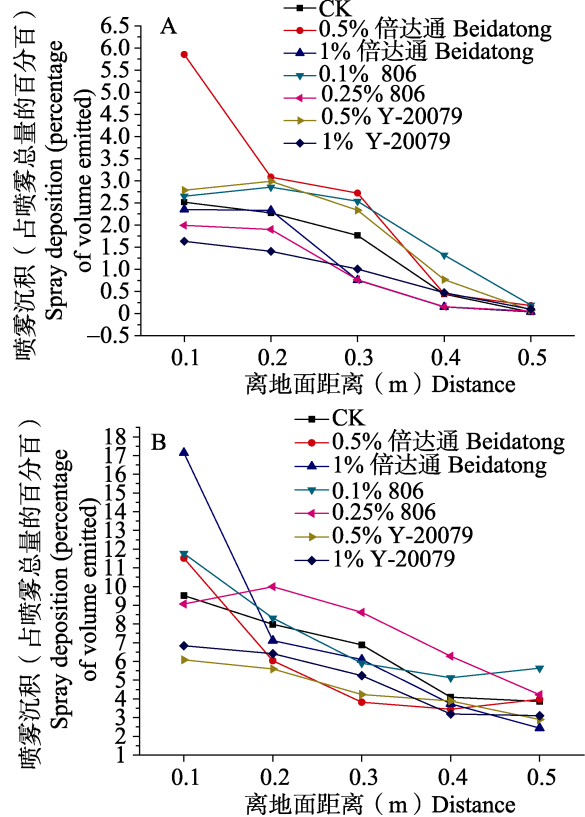


图 2 垂直方向喷雾沉积

Fig. 2 Droplet deposition along vertical direction

A. 风速 2 m/s; B. 风速 4 m/s.

A. 2 m/s wind speed; B. 4 m/s wind speed.

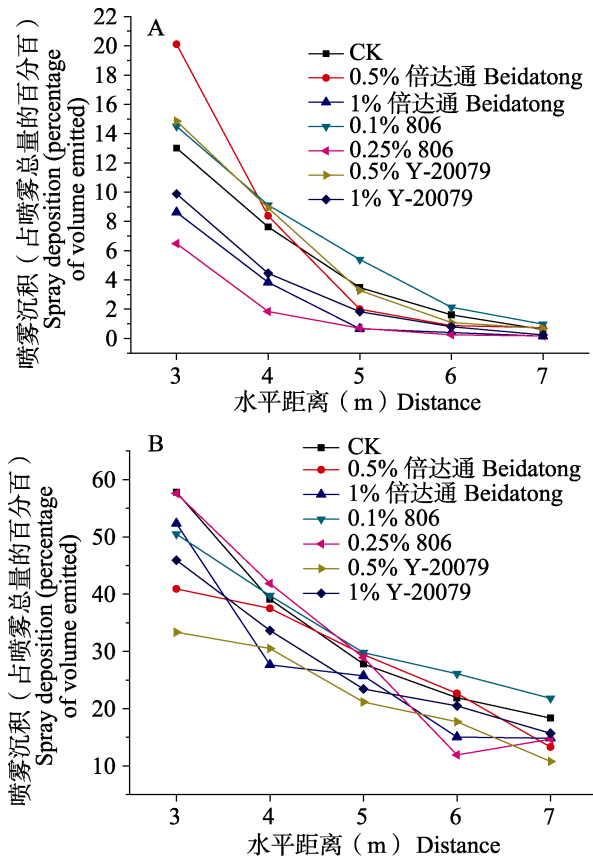


图3 水平方向喷雾沉积

Fig. 3 Droplet deposition along horizontal direction

A. 风速 2 m/s; B. 风速 4 m/s.

A. 2 m/s wind speed; B. 4 m/s wind speed.

加,  $L_5$ ,  $L_6$  和  $L_7$  处均与对照基本持平, 添加量为 1% 时均有所减少。

如图 3 (B) 所示, 风速设定为 4 m/s 时, 植物油助剂倍达通添加量为 0.5% 时,  $L_3$  处绳子沉积量与对照相比减少, 但  $L_4$ ,  $L_5$ ,  $L_6$  和  $L_7$  处与对照基本持平, 添加量为 1% 时均有所减少; 有机硅助剂 806 添加量为 0.1% 时,  $L_3$  处绳子沉积量与对照相比减少, 但  $L_4$ ,  $L_5$ ,  $L_6$  和  $L_7$  处与对照相比有所增加, 添加量为 0.25% 时  $L_3$ ,  $L_4$  和  $L_5$  处与对照基本持平,  $L_6$  和  $L_7$  处均有所减少; 非离子表面活性剂 Y-20079 添加量为 0.5% 和 1% 时,  $L_3$ ,  $L_4$ ,  $L_5$ ,  $L_6$  和  $L_7$  处均有所减少。

## 2.2 两种杀虫剂剂型对喷雾雾滴沉积分布的影响

100 g/L 吡丙醚乳油(稀释 200 倍)和 20% 噻虫胺悬浮剂(稀释 40 倍)相比, 风速设定为 2 m/s

和 4 m/s 时, 垂直方向沉积分布如图 4 所示, 100 g/L 吡丙醚 EC,  $H_{0.1}$ ,  $H_{0.2}$ ,  $H_{0.3}$ ,  $H_{0.4}$  和  $H_{0.5}$  处沉积少于 20% 噻虫胺 SC。水平方向沉积分布如图 5 所示, 100 g/L 吡丙醚 EC,  $L_3$ ,  $L_4$ ,  $L_5$ ,  $L_6$  和  $L_7$  处沉积少于 20% 噻虫胺 SC。

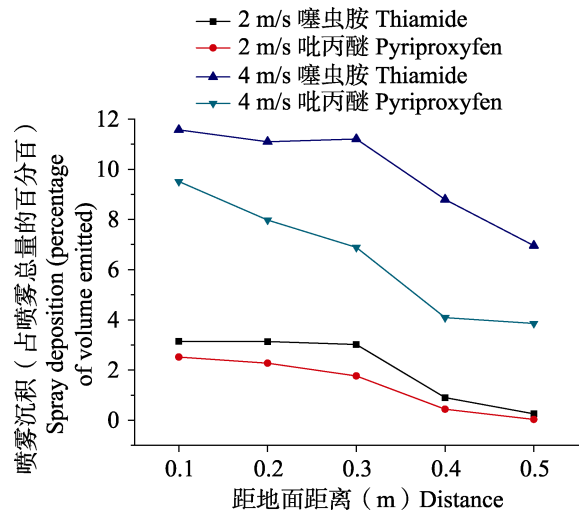


图4 垂直方向喷雾沉积

Fig. 4 Droplet deposition along vertical direction

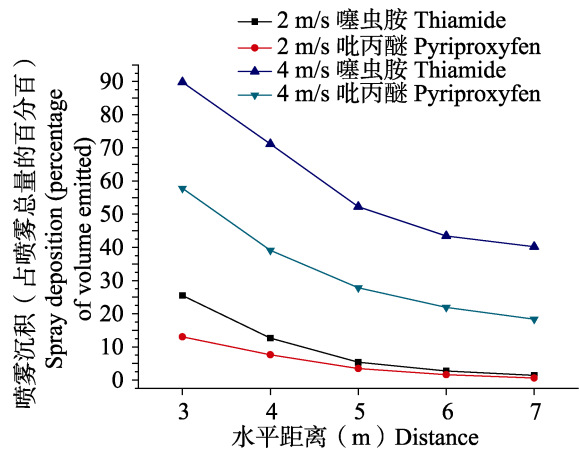


图5 水平方向喷雾沉积

Fig. 5 Droplet deposition along horizontal direction

## 3 讨论

农药喷雾助剂种类较多, 主要为植物油、矿物油、有机硅、高分子聚合物等, 不同类型助剂以及添加浓度的不同对喷雾雾滴的抗飘移性影响不一。不同农药剂型因其理化特性差异, 航空低容量喷雾时雾滴飘移风险也有差异。

本文通过在 2 m/s 和 4 m/s 风速下, 添加 3

种喷雾助剂以及两个浓度梯度与空白对照比较其防飘移性,以及两种不同剂型药剂的飘移情况进行对比,结果表明当风速为 4 m/s 比 2 m/s 时,各个收集线的沉积量均明显增加,且风速为 4 m/s 时在水平距离喷头 7 m 处风洞地面仍有雾滴沉积。当风速为 2 m/s,植物油助剂倍达通和非离子表面活性剂 Y-20079 两种助剂添加量为 1% 时,药剂在垂直与水平方向沉积均相对减少;添加有机硅助剂 806 后,添加量为 0.5% 时垂直与水平方向沉积均减少;当风速为 4 m/s 时,助剂 Y-20079 添加量为 1%,可减少药剂在垂直与水平方向沉积。当风速达 4 m/s 时添加喷雾助剂对药剂抗飘移性能影响较小,在低风速下 2 m/s,通过添加倍达通、806 和 Y-20079 等助剂,可减少雾滴的飘移。因此在田间作业时,选择适宜天气或设置安全间隔区,并可通过添加适宜喷雾助剂及添加量来减少飘移。

通过 100 g/L 吡丙醚乳油(稀释 200 倍)和 20% 噻虫胺悬浮剂(稀释 40 倍)相比,不同剂型其飘移情况差异明显,因此在采用飞防防治柑橘木虱过程中应选取适宜药剂剂型。

## 参考文献 (References)

He L, Wang GP, Hu T, Meng YH, Yan XJ, Yuan HZ, 2017. Influences of spray additives and spray volume on the droplet deposition distribution with unmanned aerial vehicle spraying on rice. *Journal of Plant Protection*, 44(6): 1046–1052. [何玲, 王国宾, 胡韬, 蒙艳华, 闫晓静, 袁会珠, 2017. 喷雾助剂及施液量对植保无人机喷雾雾滴在水稻冠层沉积分布的影响. *植物保护学报*, 44(6): 1046–1052.]

Liu XJ, Zhou HP, Zheng JQ, 2005. Research advances of the technologies for spray drift control of pesticide application. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 45(1): 186–190. [刘秀娟, 周宏平, 郑加强, 2005. 农药雾滴飘移控制技术研究进展. *农业工程学报*, 45(1): 186–190.]

Ru Y, Zhu CY, Bao R, 2014. Spray drift model of droplets and analysis of influencing factors based on wind tunnel. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 45(10): 66–72. [茹煜, 朱传银, 包瑞, 2014. 风洞条件下雾滴飘移模型与其影响因素分析. *农业机械学报*, 45(10): 66–72.]

Wang GM, Zou WD, Yin YM, Zeng XY, Kang ZQ, Xu XM, 2017. Evaluation report on the efficacy of *Diaphorina citri* Kuwayama by aircraft in Xinfeng. *Basic Level Agro-technology Extension*, 5(9): 46–49. [王国民, 邹卫东, 殷玉明, 曾小秋, 康志强, 徐小明, 2017. 信丰县飞机防治柑橘木虱药效评估报告. *基层农技推广*, 5(9): 46–49.]

Wang XN, He XK, Song JL, Andreas H, 2015. Effect of adjuvant types and concentration on spray drift potential of different nozzles. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(22): 49–55. [王潇楠, 何雄奎, 宋坚利, Andreas Herbst, 2015. 助剂类型及浓度对不同喷头雾滴飘移的影响. *农业工程学报*, 31(22): 49–55.]

Zhang P, Lu Q, Yi SL, Liu Y, He SL, Xie RJ, Zheng YQ, Pan HY, Deng L, 2016. Evaluation of spraying effect using small unmanned aerial vehicle(uav) in citrus orchard. *Journal of Fruit Science*, 33(1): 34–42. [张盼, 吕强, 易时来, 刘颖, 何绍兰, 谢让金, 郑永强, 潘海洋, 邓烈, 2016. 小型无人机对柑橘园的喷雾效果研究. *果树学报*, 33(1): 34–42.]

Zhang HC, Gary D, Zheng JQ, Zhou HP, Yun J, 2015. Wind tunnel test and regression model of spray drift. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(3): 94–100. [张慧春, GaryDorr, 郑加强, 周宏平, 于君, 2015. 喷雾飘移的风洞试验和回归模型. *农业工程学报*, 31(3): 94–100.]