

# 喷雾技术参数对雾滴飘移特性的影响\*

吕晓兰<sup>1</sup> 傅锡敏<sup>1</sup> 宋坚利<sup>2</sup> 何雄奎<sup>2</sup>

(1. 农业部南京农业机械化研究所, 南京 210014; 2. 中国农业大学理学院, 北京 100193)

**【摘要】** 为了研究不同技术参数对雾滴飘移特性的影响,在可控风洞环境条件下测试了不同型号喷头在不同喷雾技术参数下的抗飘失能力,结果表明:喷头型号变小、喷雾压力和风速增大都增加了飘失对于喷雾高度变化的敏感程度,LU喷头的敏感程度大于ID喷头;改变喷雾方向角对雾滴飘失的影响相对于风速、喷头型号并不显著。

**关键词:** 喷雾 参数 雾滴 漂移指数 风洞

**中图分类号:** S49 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)01-0059-05

## Influence of Spray Operating Parameters on Spray Drift

Lü Xiaolan<sup>1</sup> Fu Ximin<sup>1</sup> Song Jianli<sup>2</sup> He Xiongkui<sup>2</sup>

(1. Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China

2. College of Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

### Abstract

In order to do the research on the influences of the parameters on spray drift, measurements of the drift potential under different wind tunnel conditions were made for different typical nozzles. The results showed that smaller type nozzle, larger spray pressure and wind speed could enhance the drift sensitivity along with the change of spray height, and the sensitivity of LU nozzles was more obvious than ID nozzles. Relative to the wind speed and nozzle type, the spray orientation has an inapparent influence on spray drift.

**Key words** Spray, Parameters, Droplet, Drift index, Wind tunnel

### 引言

农药雾滴飘移是造成环境污染、农药流失、农药有效利用率低的一个重要原因,由于人们对环保的日益关注,控制农药漂移一直是植保机械及施药技术领域的研究重点<sup>[1-3]</sup>。影响雾滴飘失的相关因素很多,系统的归类有:①药液特性,主要包括:制剂类型、药液粘度、表面张力和挥发性等。②施药机具和使用技术,如喷头型号、喷雾高度、喷雾压力、喷头位姿等。③气象因素:风速、风向、温度、相对湿度等。④操作者的操作技能<sup>[4-10]</sup>。

在喷头喷雾时,由于运动雾滴与周围气流的共同作用,在喷雾区域中存在夹带气流,这股气流可以

看作为空气射流,夹带气流的运动方向与雾滴的运动方向一致,气流由雾滴运动引起,同时又压迫细小雾滴向下运动,所以能够帮助减小飘失。当外界气流速度大于夹带气流速度时,外界气流对雾滴的影响大,易将细小的雾滴吹出喷雾区域形成飘失,反之则不会发生飘失<sup>[11]</sup>。喷雾区域内小雾滴飘失主要受喷雾技术参数的影响,如喷头性能、喷雾高度、行驶速度、喷雾压力、喷雾角度,而这些参数是人为可控的,因此在风洞条件下测试研究喷雾技术参数对雾滴飘失的影响,不仅可为防飘施药技术的研究提供理论依据,也可用于指导植保机械的实际应用<sup>[12]</sup>。

本文按照联邦德国作物栽培研究中心(JKI)测

收稿日期: 2010-05-07 修回日期: 2010-06-25

\* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2008AA100903)和江苏省自然科学基金资助项目(BK2010123)

作者简介: 吕晓兰,助理研究员,博士,主要从事植保机械与施药技术研究, E-mail: lxlanny@126.com

通讯作者: 傅锡敏,研究员,主要从事植保机械与施药技术研究, E-mail: fuximin@263.net

试准则,在可控风洞环境条件下研究不同型号喷头在不同喷雾技术参数下的抗飘失能力,从而进一步研究不同技术参数对雾滴漂移特性的影响。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验安排

试验在 JKI(原 BBA)进行,其风洞为封闭式气体循环风洞,温、湿度、风速、喷雾压力准确稳定,精确可调。工作区长 10 m,截面宽 2.5 m,高 1.6 m,温度调节 10 ~ 30℃,相对湿度调节范围 40% ~ 80%,风速调节 0.3 ~ 15 m/s,喷雾压力 0 ~ 8 MPa,其结构如图 1 所示<sup>[13]</sup>。

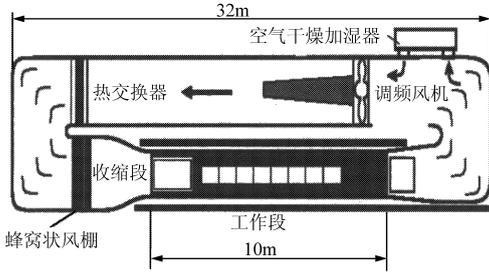


图1 风洞结构示意图

Fig. 1 Schematic of wind tunnel

试验按照德国 JKI 的风洞中喷头飘失测试方法进行<sup>[12]</sup>,确定测试时温度 20℃,相对湿度 80%,采用直径为 1.98 mm 的聚乙烯软管收集飘失的雾滴。试验布置如图 2 所示,喷头垂直悬挂在风洞中央,距地面 70 cm。收集线布置在喷头下风向 2 m 处,为消除地面对喷雾扇面的影响设置一虚拟地面,虚拟地面距风洞地板 20 cm,喷雾高度即为喷头距虚拟地面的高度 50 cm。收集线从虚拟地面开始水平布置,间隔 5 cm,共 7 根。采用质量分数为 0.1% 的可溶性 BSF 荧光剂溶液喷雾。试验开始时启动液泵,使药箱中的溶液充分搅拌均匀,启动风机,调整温度和相对湿度,待风洞中的温度和相对湿度稳定后,调

整喷雾压力,然后布置雾滴收集装置。喷雾时间 5 s,喷雾结束待雾滴收集装置上的雾滴干燥后收集,用超声波洗涤收集装置上的荧光剂,然后通过 KONTRON SFM-25 型荧光分析仪测定荧光剂含量。每个试验重复 3 次取平均值进行飘失计算。

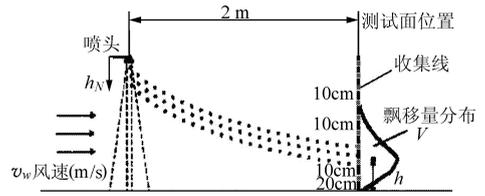


图2 试验布置示意图

Fig. 2 Experimental arrangement in wind tunnel

### 1.2 试验参数设置

在 JKI 建立的风洞飘失测试系统中有 3 个重要的参数:  $V$ 、 $h$ 、 $D_i$ ,  $V$  表示药液的相对体积飘失量,  $V$  值越大说明飘失量越大;  $h$  表示药液飘移量分布的重心高度(特征高度),  $h$  越大说明飘失药液距离地面越高,飘失的距离越远;  $D_i$  是  $h$  和  $V$  的综合指数,称为飘失指数(drift index),  $D_i$  值越大意味着飘失越严重<sup>[14]</sup>。飘失指数定义为

$$D_i = \frac{h^a V^b}{h_{st}^a V_{st}^b} \times 100\%$$

式中  $h_{st}$ 、 $V_{st}$ ——参考喷头(Hardi LD110-025 型喷头)在 0.3 MPa 条件下的特征高度和相对体积飘移量

$a$ 、 $b$ ——回归系数,由风洞试验与田间试验回归分析得, $a$ 、 $b$  取值为 0.88 和 0.78

因此,试验中使用几种在同样喷雾压力下雾滴谱有差别的德国 LECHLER 公司生产的标准扇型雾喷头 LU120-02、LU120-03、LU120-04 和防飘射流喷头 ID120-03,测试在不同风速、不同喷雾压力、不同喷雾高度、不同喷雾角度的  $V$ 、 $h$  和飘失指数  $D_i$ ,从而测定不同参数对飘失的影响,具体的试验参数如表 1 所示。

表1 试验参数设置

Tab. 1 Testing parameters

参数	设定值							
喷头型号	LU120-02	LU120-03	LU120-04	ID120-03				
风速/ $m \cdot s^{-1}$	2	3	4					
喷雾角度/ $^\circ$	0	$\pm 15$	$\pm 30$					
喷雾压力/MPa	0.2	0.3	0.4	0.5				
喷雾高度/cm	20	25	30	35	40	45	50	

## 2 结果与讨论

### 2.1 喷雾高度、压力对飘失的影响

由图 3 可知,随着喷雾高度的增加,飘失重心高

度  $h$ 、飘失量  $V$  和飘失指数  $D_i$  也在增加,但是在不同的喷雾压力下,不同型号喷头变化趋势不尽相同。图 3a 中显示, ID 喷头与 LU 喷头的飘失重心高度  $h$  变化趋势一致,在同一压力下, LU 喷头飘失重心略

高于 ID 喷头。增大压力时, 飘失重心高度  $h$  有所降低, 这说明, 增大喷雾压力的同时增大了雾滴向下飞行速度, 有利于雾滴沉降减少飘失; 图 3b、3c 中显示 LU 喷头飘失量、飘失指数  $D_i$  随喷雾高度增加呈显著增加趋势, 而 ID 喷头的变化要平缓得多, 这是由于 ID 喷头产生的雾滴尺寸比较大, 产生的小雾滴比例小, 所以其飘失随喷雾高度的变化不敏感。然而增大压力时, LU 喷头飘失量、飘失指数急剧增大, 在喷雾高度大于 35 cm 时, 较高喷雾压力下的飘失量大于较小压力下的飘失量, 这是由于雾滴飘失是与雾滴的动能相关的, 压力增加会增加雾滴运动初速度, 有利于沉积, 但是雾滴尺寸减小, 易受外界气流的影响, 增加飘失。

由图 3 可以看出, 不论是 LU 喷头还是 ID 喷头, 当喷雾高度不大, 增加喷雾压力会减少飘失, 随着喷雾高度增加, 飘失减少的程度逐渐减少, 在到达某一高度后飘失增加。这是由于喷雾压力的增加增大了雾滴的初速度, 同时也增加了夹带气流的初速度, 在喷雾高度小即距离喷头较近位置的气流速度大于未增加喷雾压力时的速度, 在这个区域中雾滴向下运动的动能很大, 所以飘失少, 由于夹带气流速度沿喷头轴线衰减很快, 所以随喷射的距离增加雾滴增加的动能逐渐减少, 沉积能力减少, 因此与低压力喷雾时的飘失差距减少, 当到达一定距离, 夹带气流衰减到一定程度, 由于喷雾压力增加会减小雾滴尺寸, 此时雾滴的动能将小于低压力时此处的动能,

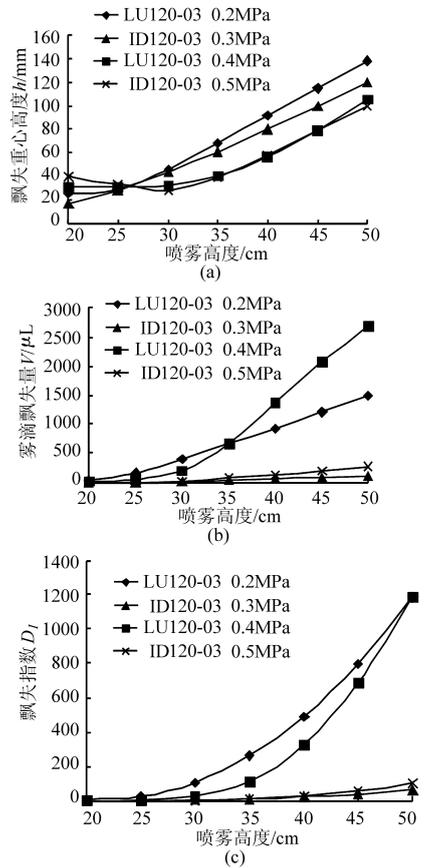


图 3 2m/s 风速、不同压力条件下  $h$ 、 $V$ 、 $D_i$  随喷雾高度的变化

Fig. 3  $h$ ,  $V$ ,  $D_i$  along with different spray heights under different spray pressures at 2 m/s wind condition

所以此时的飘失量大于低压力喷雾时的飘失量。

表 2 不同压力下飘失指数  $D_i$  二次多项式拟合公式

Tab. 2 Fitted regression of quadratic equation of drift index ( $D_i$ ) under different spray pressures

喷头型号	喷雾压力/MPa	回归公式	$R^2$	导数未知量系数
LU120-03	0.2	$y = 1.4774x^2 - 64.403x + 706.4$	0.9999	3
LU120-03	0.4	$y = 2.1107x^2 - 110.52x + 1406.1$	0.9937	4.2
ID120-03	0.3	$y = 0.0904x^2 - 4.2865x + 50.647$	0.9985	0.18
ID120-03	0.5	$y = 0.1855x^2 - 9.7257x + 123.84$	0.9936	0.38

由表 2 可知, 对  $D_i$  数据进行二次多项式回归分析, 对公式求导会发现数据的变化趋势逐渐增大, 但在不同处理时的变化趋势不同, 这表明距离喷头越远, 飘失对喷雾高度越敏感, 喷雾压力越大这种敏感程度越大, LU 喷头的敏感程度大于 ID 喷头。

### 2.2 风速对飘失的影响

由图 4a 可知, 随着风速的增大, 雾滴飘失量明显增加, 飘失重心升高, 增大飘失危险性。由图 4b 可知, 在同一风速, 同一喷雾压力下, LU120-04 (大流量) 喷头的飘失指数较 LU120-02 (小流量) 喷头

小, 当喷雾高度 50 cm, 风速从 2 m/s 增大到 4 m/s 时, LU120-02 喷头的飘失指数从 2 525.2 增大到 6 172.7, 而 LU120-04 喷头飘失指数从 442.3 增大到 2 600.8, 其飘失指数均增大 2.4 倍以上。

对数据进行二次多项式回归分析, 结果如表 3 所示, 数据分布按照二次多项式分布。对多项式求导后发现相同风速不同喷头时的变化趋势和使用相同喷头不同风速时的变化趋势都不同。喷头型号变小 (即喷头流量和雾滴尺寸变小) 和风速增加都会增加飘失对喷雾高度变化的敏感程度。

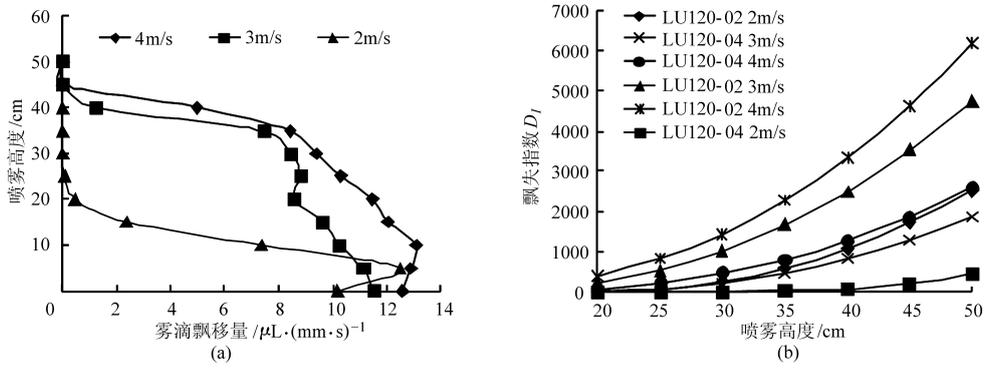


图4 0.3 MPa 喷雾压力下风速变化对飘失的影响

Fig. 4 Influence of wind speed on drift under 0.3 MPa spray pressure

(a) LU120-03 (b) LU120-02 和 LU120-04

表3 不同风速下飘失指数  $D_f$  二次多项式拟合公式Tab.3 Fitted regression of quadratic equation of drift index ( $D_f$ ) at different wind speeds

喷头型号	风速/ $m \cdot s^{-1}$	回归公式	$R^2$	导数未知量系数
LU120-02	2	$y = 3.0715x^2 - 131.45x + 1416.4$	1	6.2
LU120-04	2	$y = 0.9365x^2 - 52.938x + 713.6$	0.9611	1.8
LU120-02	3	$y = 3.6171x^2 - 102.91x + 834.27$	0.9999	7.2
LU120-04	3	$y = 2.1126x^2 - 86.226x + 888.54$	1	4.2
LU120-02	4	$y = 4.4663x^2 - 120.3x + 1010.3$	1	9.0
LU120-04	4	$y = 2.3407x^2 - 79.831x + 731.36$	0.9999	4.6

### 2.3 喷雾角度对飘失的影响

设喷头喷雾扇面中轴线与重力方向的夹角为喷雾方向角  $\alpha$ , 当扇面中轴线垂直地面时的喷雾方向角  $\alpha$  为  $0^\circ$ ; 旋转喷头使其喷射方向与前进方向一致, 及迎风喷射时, 角度为正, 反之则为负, 共设  $\pm 30^\circ$ 、 $\pm 15^\circ$ 、 $0^\circ$  5 个  $\alpha$  值, 如图 5a 所示。

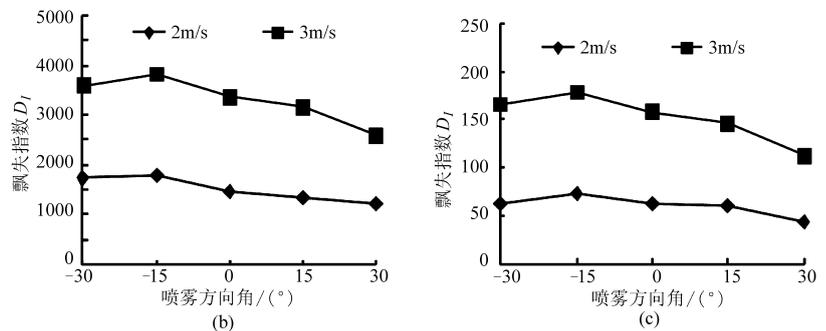
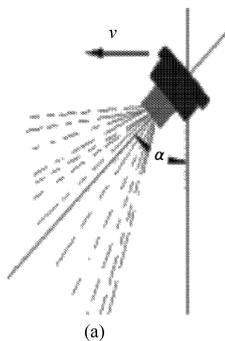


图5 0.3 MPa 喷雾压力下喷雾角度变化对飘失的影响

Fig. 5 Influence of nozzle orientation on drift under 0.3 MPa spray pressure

(a) 喷雾方向角 (b) LU120-03 (c) ID120-03

表4 不同喷雾方向角的飘失指数  $D_f$  对比Tab.4 Comparison of drift index ( $D_f$ ) at different spray orientations

风速 / $m \cdot s^{-1}$	LU120-03					ID120-03				
	$-30^\circ$	$-15^\circ$	$0^\circ$	$15^\circ$	$30^\circ$	$-30^\circ$	$-15^\circ$	$0^\circ$	$15^\circ$	$30^\circ$
2	20.57	+23.56	0	-6.00	-15.03	-0.11	+16.33	0	-5.31	-31.98
3	6.12	+12.84	0	-6.07	-23.34	5.29	+13.59	0	-7.47	-28.92

\* “+”表示飘失增加; “-”表示飘失减少。

虽然改变喷雾方向角能在一定程度上影响飘失,但是与风速对飘失的影响对比并不显著,而且自然界中的风速不稳定,喷雾作业时的风速波动可达1~2 m,所以想通过改变喷雾方向角减少飘失比较困难。不过改变雾流方向角可以改变雾滴初速度运动方向,可以改变雾滴沉积到靶标上的角度,改变药液沉积状态。

### 3 结论

(1) 喷雾高度越大,即距离喷头越远,飘失对喷

雾高度越敏感;喷雾压力越大、喷头流量越小,这种敏感程度越大,LU喷头的敏感程度大于ID喷头。

(2) 在相同风速不同喷头型号条件下的飘失指数 $D_i$ 变化趋势和相同喷头型号不同风速条件下的 $D_i$ 变化趋势各不相同。喷头型号变小和风速增加会增加飘失对高度变化的敏感程度。

(3) 改变喷雾方向角能在一定程度上影响飘失,但是相对于风速、喷头型号对飘失的影响并不显著。

### 参 考 文 献

- 刘秀娟,周宏平,郑加强. 农药雾滴飘移控制技术研究进展[J]. 农业工程学报,2005,21(1):186~190.  
Liu Xiujuan, Zhou Hongping, Zheng Jiaqiang. Research advances of the technologies for spray drift control of pesticide application[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(1):186~190. (in Chinese)
- 吴罗罗,李秉礼,何雄奎,等. 雾滴飘移试验与几种喷头抗飘失能力的比较[J]. 农业机械学报,1996,27(增刊):120~124.  
Wu Luoluo, Li Bingli, He Xiongkui, et al. The nature of drift loss and the anti-drifting ability of different nozzles [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1996,27(Supp.): 120~124. (in Chinese)
- 曾爱军,何雄奎,陈青云,等. 典型液力喷头在风洞环境中的漂移特性试验与评价[J]. 农业工程学报,2005,21(10):78~81.  
Zeng Aijun, He Xiongkui, Chen Qingyun, et al. Spray drift potential evaluation of typical nozzles under wind tunnel conditions [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(10):78~81. (in Chinese)
- Franz E, Bouse L F, Carlton J B, et al. Aerial spray deposit relations with plant canopy and weather parameters [J]. Transactions of the ASAE, 1998, 41(4): 959~966.
- Hoffmann W C, Salyani M. Spray deposition on citrus canopies under different meteorological conditions[J]. Transactions of the ASAE, 1996, 39(1): 17~22.
- Horst Gohlich. Assessment of spray drift in sloping vineyards [J]. Crop Protection,1983, 2:37~49.
- Miller D R, Stoughton T E, Steinke W E, et al. Atmospheric stability effects on pesticide drift from an irrigated orchard [J]. Transactions of the ASAE, 2000, 43(5): 1 057~1 066.
- Murphy S D, Miller P C H, Parkin C S. The effect of boom section and nozzle configuration on the risk of spray drift [J]. Agric. Eng. Res., 2000, 75: 127~137.
- Ozkan H E, Miralles A, Sinfort C, et al. Shields to reduce spray drift [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1997, 67(4):311~322.
- Salyani M, Cromwell R P. Spray drift from ground and aerial applications [J]. Transactions of the ASAE, 1992, 35(4): 1 113~1 120.
- Antoni Szweczyk, Deta Luczycka, Grzegorz Wilczok. The influence of air movement velocity and droplet size on spray coverage obtained on the target surface [J]. Annual Review of Agricultural Engineering, 2005, 4(1):341~346.
- 傅泽田,祁力钧. 风洞实验室喷雾漂移试验[J]. 农业工程学报,1999,15(1):109~112.  
Fu Zetian, Qi Lijun. Wind tunnel spraying drift measurements[J]. Transactions of the CSAE, 1999, 15(1):109~112. (in Chinese)
- Herbst A. A method to determine spray drift potential from nozzles and its link to buffer zone restrictions[C]. ASAE Paper 011047, 2001.
- Helck C, Herbst A. Drift-potential-index—a new parameter for the evaluation of agricultural nozzles concerning their drift potential [J]. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd, 1998, 50(9): 225~232.
- 张京,杨雪玲,何雄奎,等. 改进双圆弧罩盖减少雾滴飘失试验[J]. 农业机械学报,2009,40(7):67~71.  
Zhang Jing, Yang Xueling, He Xiongkui, et al. Improved double-foil shield for reducing spray drift[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(7):67~71. (in Chinese)