

# 喷雾参数与飘移相关性分析

祁力钧, 胡锦涛, 史 岩, 傅泽田

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

**摘 要:** 飘移是评价液体农药喷洒质量的重要指标。在影响喷雾飘移的因素中, 喷头类型、喷头的大小(流量)和风速都有重要影响。分析它们对飘移的影响对于合理选择喷头和喷雾条件有重要意义。该文在试验的基础上, 应用数学建模方法分析不同喷雾参数与飘移量之间的相关关系, 并通过回归分析, 确定它们对飘移量的作用程度, 从而分离主要参数, 为参数优化提供依据。研究结果说明, 喷头类型、喷头大小和风速都对飘移有显著的影响, 但作用强度不同, 由强到弱依次为风速、喷头类型和大小。

**关键词:** 飘移; 喷雾参数; 相关性

中图分类号: S491

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)05-0122-04

## 0 引 言

液体农药的喷洒是一个复杂的物理过程, 影响喷雾质量的因素错综复杂。飘移是影响雾滴到达预定目标、造成农药浪费和环境污染的重要因素, 也是衡量喷雾质量的主要指标之一。

国内外许多文献<sup>[1-6]</sup>都论述过风速、温度、湿度、喷头类型、喷雾压力、喷头离目标的高度和雾滴直径等因素与喷雾飘移性能之间的关系, 但这些研究主要集中在单因素对飘移影响的试验分析, 对不同因素对飘移影响程度的比较分析及影响因素之间的交互作用研究较少。本文运用已有的飘移试验数据, 分析不同影响因素与飘移之间的相关程度, 并在定量分析的基础上运用数学建模的方法分析它们对雾滴飘移的作用强度, 从而为喷雾参数优化和控制喷雾飘移提供依据。

在影响雾滴飘移的诸多因素中, 有些是相关的, 有些是相互独立的。喷头类型及大小(喷孔直径)和喷雾压力决定了喷头的流量和雾滴的大小。由于标准喷头所适用的喷雾压力已限定了范围, 并且不同压力下的流量也是一定的, 所以在分析中以喷头的推荐压力为准, 将喷

头大小、喷雾压力、流量看成是一个独立的变量, 在对优化结果赋值时再根据喷头所适用的压力范围进行调整, 使多参数问题简化。不同影响因素与飘移性能的相关程度有很大的不同, 由于篇幅限制, 本文只分析喷头类型、大小、以及风速与飘移的相关性, 其它因素, 如喷头的高度、温度、湿度等对飘移的影响将在后续文章中加以分析。

## 1 标准扇形喷头喷雾参数及风速与飘移性能的相关性

表 1 是标准扇形喷头在风洞实验室测试飘移性能的结果(试验条件见参考文献[7])。由于试验中不同大小的喷头所采用的喷雾压力是喷头生产厂家推荐的标准压力范围的中值, 喷头型号与压力一一对应, 所以在该试验中与飘移性能相关的独立参量只有喷头型号和风速。为了便于区别, 这里特别说明本文中“喷头类型”是指不同类型的喷头, 如标准扇形喷头、防飘移喷头、转子喷头等; “喷头型号”是指同类型喷头, 但大小不同, 如 01-F110、02-F110 等。

表 1 不同大小标准压力喷头在不同风速下的飘移量(% 喷头流量)

Table 1 Drift from different nozzles under various wind speeds (% of spray rate)

喷头	压力 /kPa	流量 $L \cdot min^{-1}$	风速 $/m \cdot s^{-1}$									
			2		3		4		5			
			取样距离 /m	2	3	2	3	2	3	2	3	
01-F110	450	0.5		22.42	11.73	33.64	23.76	42.87	32.06	48.25	38.32	
02-F110	350	0.88		10.43	4.45	18.82	12.41	24.32	16.98	26.28	19.72	
03-F110	300	1.22		6.35	2.78	10.69	7.25	14.45	9.90	17.76	12.13	
04-F110	250	1.52		4.11	1.44	8.18	5.21	11.48	7.75	14.08	9.75	
06-F110	200	2.04		2.70	0.95	5.63	3.34	7.77	5.01	9.51	6.27	

收稿日期: 2004-02-18 修订日期: 2004-03-18

基金项目: 农业部“948”项目(991066)

作者简介: 祁力钧, 男, 博士, 研究领域为农药施用技术。北京 中国农业大学工学院, 151 信箱, 100083。Email: qilijun@cau.edu.cn

分别考察表 1 中喷头型号和风速与飘移性的相关关系<sup>[8]</sup>, 得表 2 和表 3 的结果。分析中以不同型号喷头的流量代表喷头型号。

表 2 不同风速下和不同取样距离处测得的飘移量与喷头型号之间的相关性

Table 2 Correlation of drift and nozzle type with different sampling spaces and wind speeds								
风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	2		3		4		5	
取样距离/ $\text{m}$	2		3		3		3	
相关系数 $r$	- 0.89	- 0.87	- 0.91	- 0.91	- 0.92	- 0.91	- 0.91	- 0.90

表 3 在不同型号喷头下测得的飘移量与风速的相关关系

Table 3 Correlation of drift and wind speed measured with different types of nozzles					
喷头型号	01-F110	02-F110	03-F110	04-F110	06-F110
相关系数 $r$	0.98	0.96	0.99	0.99	0.99

从两个表的结果看,就喷头型号和风速与喷雾飘移性的关系而言,风速对飘移量的影响更为直接。风速与飘移量几乎呈直线相关关系。另外从不同风速下喷头型号与飘移量的相关系数变化和用不同型号喷头时风速与飘移量的相关系数分析,喷头型号和风速之间对飘移性能还有交互影响。为此,可假设飘移量 $Q$ 与喷头型号 $T$ 、风速 $S$ 之间存在如下关系

$$Q = f(S, T)$$

为了进一步说明 $S$ 、 $T$ 与 $Q$ 的关系,将它们与 $Q$ 的关系分别考察。图 1 是不同型号喷头和风速与飘移量的关系曲线。图 2 说明飘移量随喷头型号变化的趋势。

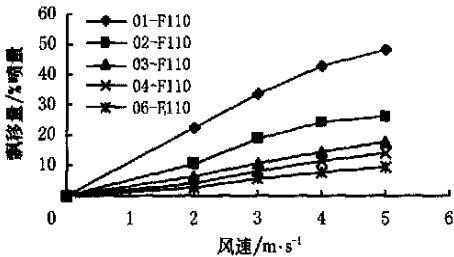


图 1 标准扇形喷头风速对飘移量的影响

Fig 1 Effect of wind speed on drift produced by standard fan nozzles

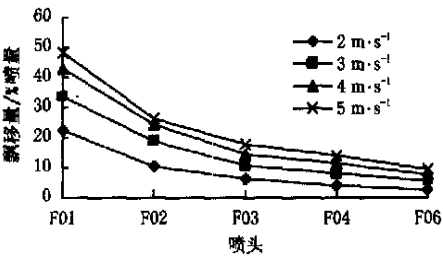


图 2 不同风速下喷头型号与飘移量的关系

Fig 2 Effect of nozzle type on drift under different wind speeds

从两个图的曲线形状看,风速和喷头型号都与飘移量有较好的线性关系,那么哪一个变量对飘移量的影响更大呢?为了考察它们对飘移量的影响程度,假设如下方程来回归求出两个变量各自的权重。

$$Q_F = \alpha T + \beta S + c$$

式中  $\alpha$   $\beta$ ——系数;  $c$ ——常数。

表 4 中的样本参数来自表 1。表 5 是表 4 的标准化值,以消除因各参数单位不同而影响它们之间的比较。

标准化公式为  $\frac{x_i - \bar{X}}{\sqrt{S_{ii}}}$ ; 其中  $S_{ii} = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{X})^2$  为变量的方差。

表 4 回归参数样本

Table 4 Samples and related parameters										
$Q/\%$ 喷量	22.4	10.43	6.35	4.11	2.7	33.64	18.82	10.69	8.18	5.63
$S/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
$T/^\circ\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$	0.5	0.88	1.22	1.52	2.04	0.5	0.88	1.22	1.52	2.04
$Q/\%$ 喷量	42.87	24.32	14.45	11.48	7.77	48.25	26.28	17.76	14.08	9.51
$S/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5
$T/^\circ\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$	0.5	0.88	1.22	1.52	2.04	0.5	0.88	1.22	1.52	2.04

表 5 回归参数样本标准值

Table 5 Standard values of sample parameters										
$Q_f/\%$ 喷量	1.51	0.29	- 0.13	- 0.36	- 0.50	2.66	1.15	0.32	0.06	- 0.20
$S_f/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74
$T_f/^\circ\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$	0.11	0.79	1.40	1.94	2.88	0.11	0.79	1.40	1.94	2.88
$Q_f/\%$ 喷量	2.28	0.95	0.25	0.03	- 0.23	2.67	1.09	0.48	0.22	- 0.11
$S_f/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	6.64	6.64	6.64	6.64	6.64	8.54	8.54	8.54	8.54	8.54
$T_f/^\circ\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$	0.11	0.79	1.40	1.94	2.88	0.11	0.79	1.40	1.94	2.88

求出的回归参数和回归方程的显著性结果如表 6。  
表 6 回归参数值和显著性

Table 6 Regression parameters and their p rom inence			
	参数值	t 值	显著性 p
$\alpha$	- 0.80	- 7.85	< 0.001
$\beta$	0.42	4.14	0.0007
c	1.81E - 08	1.82E - 07	-

则所求回归方程为

$$Q_f = 1.81 \cdot 10^{-8} + 0.42 S_f - 0.80 T_f$$

回归方程的  $r^2 = 0.82, p = 10^{-5}$ , 总体回归效果十分显著。

从表 6 看出, 参数  $\alpha$  和  $\beta$  的  $p$  均小于 0.05, 所以参数的回归效果显著, 参数  $S$  和  $T$  对  $Q$  都有重大的影响。另外, 由于  $\alpha$  的  $t$  值大于  $\beta$  的  $t$  值, 可见就标准扇形喷头而言, 喷头型号对飘移的影响大于风速的影响。常数  $c$  在参数分析中没有实际意义。

2 喷头类型在喷雾飘移影响因素中的权重

标准扇形喷头在喷头型号、风速两因素试验中, 喷头型号变化对飘移影响的程度大于风速的变化, 那么对于不同类型的喷头, 喷头的大小又会在影响喷雾飘移的因素中占居怎样一个位置呢? 表 7 为不同类型喷头、同一类型中不同型号喷头和风速的多因素飘移试验结果。

表 7 不同类型喷头的飘移量随风速的变化 (% 喷量) [2]

Table 7 Variations of drift with wind speeds produced by different nozzles								
喷头	压力 /kPa	流量 /L · min <sup>-1</sup>	风速/m · s <sup>-1</sup>					
			1	2	3	4	5	
015-F110	300	0.6	3.1	15.7	23.4	31.8	40.4	
02-F110	300	0.8	2.7	9.6	15.5	21.1	27.6	
04-F110	300	1.6	1.3	3.0	7.5	10.8	13.0	
DG015	300	0.59	2.6	7.0	13.5	19.6	25.9	
DG02	300	0.79	2.4	5.1	9.8	15.9	19.6	
DG04	300	1.58	1.2	2.9	4.7	7.0	10.0	
A1015	300	0.59	1.3	2.1	4.3	6.5	8.0	
A102	300	0.79	1.2	1.9	3.1	4.7	6.0	
A104	300	1.58	0.8	1.2	2.9	3.5	5.1	
M1C5000	12	0.24	20.0	31.3	80.4	92.4	100.0	
M1C3500	60	0.48	2.0	6.4	31.18	62.0	84.8	
M1C2000	60	0.48	1.5	2.1	5.5	18.5	39.5	

注: 2 m 下风处取样。

表 7 中所列的 4 种喷头分别是 F 类标准压力喷头、DG 类低飘移喷头、A I 类气滴喷头和 M 1C 转子喷头。文献 [2] 对这几种喷头的飘移性能作过详细分析, 已知这 4 种喷头中转子喷头的抗飘移能力最差, 依次是 F 类扁扇喷头、DG 类低飘移喷头、A I 气滴喷头的抗飘移性能最好。在众多类型的喷头中, 这 4 类喷头非常有代表性, 特别是在飘移性能方面, 能够覆盖大多数类型喷头的飘移特性。

转子喷头由于工作原理不同, 从表 7 的数据也能看出它的飘移量随风速的变化要比其它 3 类剧烈的多, 如果把它也作为一种类型纳入样本, 势必大大加强喷头类

型在影响飘移性因素中的权重, 而不能真实地反映压力喷头各因素之间的关系。所以样本分析时, 暂不考虑转子喷头。

从试验数据看, 不同类型喷头的飘移量随风速的变化呈现了比较好的线性, 所以仍然以多因素线性回归的办法求出它们各自对飘移性能的影响程度。如果回归效果不理想, 可再考虑剔除其它不显著因素并多次回归或采用非线性回归。

在模型中, 除风速和飘移量用测量值外, 同类型不同型号的喷头仍然用它们的流量值来代表, 不同类型但大小相同的喷头在相同压力下的流量相近或相等, 如 015-F110 的流量为 0.6 L /m in, DG015 的流量为 0.59 L /m in, A 1015 的流量也为 0.59 L /m in, 为此为每一类型不同的 3 种型号取值时统一取为 0.6、0.8 和 1.6。3 种不同类型的喷头用类型标记代表, 分别取值 1, 2, 3。

用与上一节相同的方法建立回归模型, 并将数据标准化后得出如下回归结果 (表 8)。

表 8 喷头类型、型号、风速与飘移量的回归结果

Table 8 Regression results of wind speed, nozzles type, size and drift			
	系数	t 值	显著性 p
常数 R	- 5.001E - 09	- 6.646E - 08	—
风速 S	0.60	7.87	< 0.001
型号 T	- 0.37	- 4.88	< 0.001
类型 X	- 0.52	- 6.77	< 0.001

得回归方程 (忽略常数项)

$$Q = 0.6S - 0.37T - 0.52X$$

回归方程的  $r^2 = 0.76, p < 0.001$ , 总体显著。

与上一节所得结果不同的是, 风速对飘移的作用大于同类型不同型号对飘移所造成的差异。估计这是由于加入不同类型的喷头所致。从表 7 中的数据也可看出, 从 F 类扇形喷头到 A I 类气滴喷头, 不同型号之间抗飘移性能的差别减小, 这使得总体样本中型号这一参数的权值减小。为了证实这一点, 对 A I 类型喷头再做一次飘移量、风速和型号的回归分析。表 9 中的样本值取自表 7。

表 9 A I 气滴喷头飘移量与风速、喷头型号之间的回归样本

Table 9 Regression parameters of A I nozzles, nozzle size and wind speed								
喷头	压力 /kPa	流量 /L · min <sup>-1</sup>	风速/m · s <sup>-1</sup>					
			1	2	3	4	5	
A 1015	300	0.59	1.3	2.1	4.3	6.5	8.0	
A 102	300	0.79	1.2	1.9	3.1	4.7	6.0	
A 104	300	1.58	0.8	1.2	2.9	3.5	5.1	

经标准化并回归分析得 (表 10)。

从  $t$  值上看出, 风速对飘移量的影响程度比型号的影响程度高出 3 倍, 致使型号在总体样本中的影响力减小。

经上面的分析可知, 不同类型的喷头参与试验时,

类型对风速和型号在总体样本中的权重都会产生影响。为了考察类型对另外两个参数权重不同的影响程度, 做如下方程变换, 用非线性回归的方法分析它们之间的关系。

表 10 气滴喷头型号、风速与飘移量的回归结果

Table 10 Regression results of nozzle type, wind speed and drift

	系数	t 值	显著性 p
常数	- 1. 527E- 08	- 1. 943E- 07	—
风速	0. 91	11. 20	< 0. 001
型号	- 0. 30	- 3. 71	< 0. 001

仍然用  $Q$  代表飘移量,  $S$  代表风速,  $T$  代表型号,  $X$  代表类型。则非线性回归方程形式如下:

$$Q = C_1 + C_2[1 + \alpha X]S + C_3[1 + \beta X]T + C_4X$$

回归结果见表 11。

表 11 不同类型喷头的型号、风速与飘移量的回归系数与检验

Table 11 Regression results of nozzle type, wind speed and drift

	系数	标准差 s	t 值	显著性 p
$C_1$	- 5. 569E- 09	0. 047	- 1. 133E- 07	—
$C_2$	0. 60	0. 048	12. 51	< 0. 001
$C_3$	- 0. 37	0. 048	- 7. 76	< 0. 001
$C_4$	- 0. 52	0. 048	- 10. 75	< 0. 001
$\alpha$	- 0. 50	0. 090	- 5. 56	< 0. 001
$\beta$	- 0. 66	0. 156	- 4. 25	< 0. 001

方程的总体回归效果:  $r^2 = 0. 91, p < 0. 001$ 。

回归方程:

$$Q = 0. 6(1 - 0. 5X)S - 0. 37(1 - 0. 66X)T - 0. 52X$$

这个方程的意义在于表达了喷头类型对风速、同类型不同型号两个参数在总体样本中作用的影响( $\alpha, \beta$ ), 而且对风速的影响大于对型号的影响。这个结果说明了在考察不同类型的喷头、同类型不同大小的喷头和风速对飘移的共同作用时, 不同参数对飘移量的影响程度, 同时也说明不同参数参加试验时它们之间存在交互影响。

以上分析了风速、喷头类型和型号与飘移性能之间的相关关系。从分析的结果看, 以上几个参数均对飘移性能有显著影响, 但影响程度不同, 它们依次是风速、类

型、型号。

3 结 论

飘移是评价液体农药喷施质量的重要指标, 相关性分析可用于确定喷雾参数与飘移性的相关程度, 而回归分析可确定不同因素(参数)对目标函数的权重, 从而确定不同参数对飘移性能的影响程度。

对于平面目标喷雾, 风速、喷头类型、喷头大小是影响飘移性的重要因素。经分析知道, 它们与飘移性均有密切的相关关系。在以上因素中, 对飘移性的影响程度由强到弱依次为: 风速、喷头类型、喷头大小。

[参 考 文 献]

[1] 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]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2000, 75: 127- 137.

[2] 祁力钧, 傅泽田. 影响农药施药效果的因素分析[J]. 中国农业大学学报, 1998, 3(2): 80- 84.

[3] Reichard D L, Zhu H, Fox R D, et al. Wind tunnel evaluation of a computer program to model spray drift [J]. Transactions of the ASAE, 1992, 35(3): 755- 758.

[4] Reichard D L, Zhu H, Fox R D, et al. Computer simulation of variables that influence spray drift [J]. Transactions of the ASAE, 1992, 35(5): 1401- 1407.

[5] Elbanna H, Rashed M I I, Ghazi M A. Droplets from liquid sheets in an airstream [J]. Transactions of the ASAE, 1984, 27(3): 677- 579.

[6] Fox R D, Reichard D L, Brazee R D, et al. Downwind residues from spraying a semi-dwarf apple orchard [J]. Transactions of the ASAE, 1993, 36(2): 333- 340.

[7] 傅泽田, 祁力钧. 转子式喷头喷雾漂移性能试验和分类[J]. 农业机械学报, 1999, 30(2): 43- 48.

[8] 安希忠, 林秀梅. 实用多元统计方法[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1992.

[9] Salyani M, Cromwell R P. Spray drift from ground and aerial application [J]. Transactions of the ASAE, 1992, 35(4): 1113- 1120.

[10] Saputro S, Smith D B, Shaw D R. Expert system for agricultural aerial spray drift [J]. Transactions of the ASAE, 1991, 34(3): 764- 772.

Correlative analysis of drift and spray parameters

Q i L i jun, Hu J inrong, Shi Yan, Fu Z e t ian

(Engineering College, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Spray drift is one of the most important indexes evaluating spray quality. Among spray parameters, nozzle type, size and wind speed are those most closely relating to drift. Investigation of their correlative features to drift would provide basic data for parameter optimization. The work involving in this study was the analysis of the correlation between drift and spray parameters by statistic method. Regression was used to weigh the degree of spray variables affecting drift. The study indicated that nozzle type, nozzle size and wind speed were all strong factors affecting drift, but wind was the strongest one, nozzle type was next and then was the nozzle size.

**Key words:** spray drift; spray parameters; correlation

