

## 3WFXM-400 型风送式果园喷雾机喷雾性能试验研究

王利源,殷梦杰,汪 强,李建平,王鹏飞,杨 欣\*

河北农业大学 机电工程学院, 河北 保定 071001

**摘要:** 我国苹果产业已经成为农民致富的重要途径之一, 近年来随着苹果矮砧密植宽行栽培技术的推广, 防治病虫害的果园植保机械等果园农事作业机械在果园应用率逐年提高。本文对 3WFXM-400 型风送式果园喷雾机的喷雾性能在苹果园试验示范站进行了施药液量误差率、药箱药液残留率、药液附着率和雾滴沉积密度试验研究。结果表明: 风送式果园喷雾机在额定工况下作业时, 平均施药液量误差率为 6.24%, 平均药箱药液残留率为 0.67%, 平均药液附着率达 83.0%, 雾滴沉积密度均值为 90 粒/cm<sup>2</sup>, 满足风送式果园喷雾机的作业质量要求。

**关键词:** 果园; 风送式喷雾机; 喷雾; 试验

**中图分类号:** S491

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2324(2017)04-0587-05

## Experimental Study on the Performance of 3WFXM-400` Orchard Sprayer

WANG Li-yuan, YIN Meng-jie, WANG Qiang, LI Jian-ping, WANG Peng-fei, YANG Xin\*

College of Mechanical and Electrical Engineering/Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China

**Abstract:** Apple industry in China has become an important way for farmers to get rich, in recent years, with the promotion of Dwarf Rootstock Wide Row Intensive Planting and Cultivation Mode for Apple, orchard plant protection machinery for pest control and orchard farming machinery in the orchard application rate increased year by year. In this paper, 3WFXM-400 air-assisted orchard sprayer conduct spray performance experiment in the orchard demonstration station, including determination error rate of pesticide dosage, residual rate of liquid medicine, liquid attraction rate and droplet deposition density. The results showed that the air-assisted orchard sprayer in operation under the rated conditions, the average dose rate error was 6.24%, the average the medicine bucket liquid residue rate was 0.67%, the average number of droplets was 83%, the droplet deposition density was 90 grain /cm<sup>2</sup>, meeting the requirements of the operation quality of the air-assisted orchard sprayer.

**Keywords:** Orchard; air-assisted sprayer; spraying; experiment

中国是世界上最大的水果出产国, 居全球 13 个产量超 1000 万 t 的国家之首; 水果总面积和总产量一直稳居世界第一, 水果的质量与产业化水平也在不断发展和提高<sup>[1]</sup>。2015 年末, 中国水果种植总面积 12816.67 千 hm<sup>2</sup>, 水果总产量达到 27375.03 万 t<sup>[2]</sup>。其中, 苹果种植面积 2328.53 千 hm<sup>2</sup>, 占水果种植总面积的 18.17%; 苹果产量达到 4261.29 万 t, 占水果总产量的 15.57%。而近年来中国在苹果种植模式上学习并推广了国际先进的苹果矮砧密植宽行栽培栽培模式, 为风送式果园喷雾机等果园机械的应用提供了场所, 减轻了人工喷雾作业的劳动强度、降低了药液对施药人员的伤害。

国外果园施药机械已经普遍应用风送喷雾技术, 美、日等发达国家已将农机与农艺相结合。与发达国家果园施药技术相比, 中国在农药应用方面还有很大差距, 果园施药器械存在有效喷幅偏窄, 喷雾精度较低, 雾滴的吸附、沉淀性不高和雾滴的穿透力不强等问题<sup>[4-6]</sup>, 且部分喷雾机械不适用于近年来中国采用矮砧密植宽行栽培模式建成的现代型果园; 但随着国家对现代化果园扶持力度的增大, 果园机械化施药技术取得很大进步<sup>[3]</sup>。针对矮砧密植宽行栽培模式果园的种植及管理需求, 本文对 3WFXM-400 型风送式果园喷雾机的药箱药液残留率、施药液量误差率、药液附着率和雾滴沉积密度在苹果园试验示范站进行测定试验。

### 1 试验机结构及工作原理

**收稿日期:** 2017-06-05

**修回日期:** 2017-06-22

**基金项目:** 国家重点研发计划专项(2016YFD0201100);现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-28)

**作者简介:** 王利源(1994-),男,硕士研究生.主要从事机械装备设计与性能分析. E-mail:2629265210@qq.com

**\*通讯作者:** Author for correspondence. E-mail:yangxin@hebau.edu.cn

3WFXM-400 型风送式果园喷雾机由机架、药箱、隔膜泵、净水桶、喷头、导流罩及风机等部件构成, 如图 1 所示。

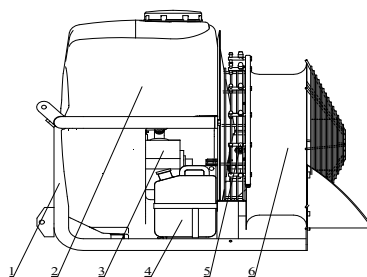


图 1 3WFXM-400 型风送式果园喷雾机

Fig.1 3WFXM-400 wind-driven orchard sprayer

1. 机架 Frame; 2. 药箱 Medicine barrel; 3. 隔膜泵 Diaphragm pump; 4. 净水桶 Net bucket; 5. 喷头 Blow head; 6. 导流罩 Deflector

拖拉机的悬挂装置与 3WFXM-400 型风送式果园喷雾机的机架连接, 形成悬挂式作业机组。喷雾机工作前, 将可溶性的药物溶于水中形成药液; 喷雾作业时, 拖拉机后置动力输出轴输出的动力经联轴器传递至喷雾机的隔膜泵, 再通过隔膜泵与风机变速箱间的联轴器传递至风机变速箱, 驱动隔膜泵和风机作业。药箱中药液经隔膜泵加压后, 除一部分药液回流到药箱起搅拌作用外, 其余药液经液管输送至喷头雾化喷出; 风机变速箱将动力传递至风机, 风机高速旋转形成的高压高速气流将喷头喷出的雾滴二次雾化, 并将雾滴风送至果树叶片和枝干上; 同时, 高压高速气流还能翻动果树枝叶, 使雾滴均匀覆盖于果树叶片的叶面与叶背。

3WFXM-400 型风送式果园喷雾机的主要参数如表 1 所示。

表 1 3WFXM-400 型风送式果园喷雾机主要参数

Table 1 3WFXM-400 wind-driven orchard sprayer major parameter

参数 Parameter	单位 Unit	数值 Value
整机尺寸	(长×宽×高)mm <sup>3</sup>	1050×1140×1200
配套功率	kW	30~44
喷头型号		ARAG F20002A
喷头数量	个	12
工作压力	MPa	0.3~2.5
风机形式		轴流式
风机转速	r/min	2200
风机叶轮直径	mm	710
水平射程(单边)	m	≥6
液泵类型		隔膜泵
药箱容积	L	400
隔膜泵排量	L/min	≥75

## 2 果园试验

### 2.1 试验环境

果园喷雾性能试验于 2016 年 08 月 18 日在河北农业大学唐县丹凤山试验示范站进行, 果园种植模式为矮砧密植宽行栽培, 行距 3.5 m~4.0 m、株距 1.2 m~2.0 m, 树冠呈现细长纺锤形或者圆柱状, 成形后树冠冠幅小而细高, 平均冠幅 1.0 m~1.5 m, 树高 3.5 m~4.0 m, 主干高 0.8 m~0.9 m<sup>[7]</sup>。试验条件为: ①环境温度 15 °C; ②环境湿度 45%; ③环境风速 1~2 级; ④作业速度 8.8 km/h。

### 2.2 试验前准备

2.2.1 试验仪器 本次试验仪器有水敏纸、带刻度的量杯、放大镜和卷尺等器具。考虑试验技术要求与实际情况, 将购买的 2.5 cm×7.5 cm 水敏纸裁剪成 2.5 cm×2.5 cm, 在水敏纸反面粘贴双面胶。为了避免带刻度的量杯出现破碎、携带方便, 选择塑料材质; 考量杯的用途多样性和可重复利用性, 选择容积为 1000 mL、2000 mL 和 5000 mL 的带刻度量杯, 分度值为 10 mL。卷尺选择长度为 25 m 和 50 m, 分度值为 0.01 m。放大镜选择 10 倍手持放大镜。

2.2.2 水敏纸布置方法 参考农药喷雾机(器)田间操作规程及喷洒质量评定标准<sup>[8]</sup>中的方法在果树上布置水敏纸。将选定的每株果树按方位分为东、西、南、北四个方向;按距树干的距离分为外膛、中膛与内膛;按垂直高度分为上层、中层与下层,共36点进行观察,如图2所示。在喷雾作业机组药液覆盖的范围内按等高平面的位置选取叶片,将2.5 cm×2.5 cm大小的水敏纸固定在叶片的叶面与叶背<sup>[8-10]</sup>。

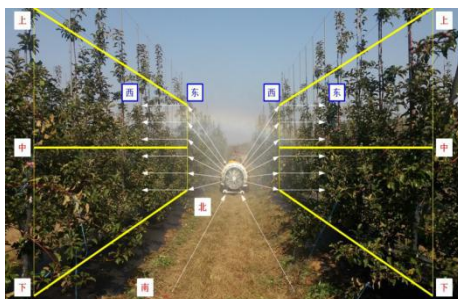


图2 测点布置及作业机组试验情况

Fig.2 Measuring point arrangement and operation unit test situation

### 2.3 试验安排

为了确保试验时3WFXM-400型风送式果园喷雾机工作稳定,试验前在苹果园中进行试喷作业,确保喷雾机在稳定工作的情况下进行试验;试验介质为水。

2.3.1 施药液量误差率测定试验 在苹果园中选定一块苹果树林,以果树枝最外端为边,用卷尺测量该块苹果树林的长宽,计算出该苹果树林地块面积;每666.67 m<sup>2</sup>预定施药液量23 L。

每次喷雾前往水箱中加入水,水面与药箱上50 L刻度齐平时停止加水。调节拖拉机与喷雾机各项参数值,达到稳定工作状态后,拖拉机以8.8 km/h匀速向前前行,喷雾机工作压力为2.0 MPa,风机以2200 r/min转速工作,当喷雾机进入苹果园时,打开喷雾开关,进行喷雾作业;药液喷洒完成后,用带刻度的量杯重新将药液箱装满到相同水平的位置上,由加入量测定实际施药液量,按式(1)计算出施药液量误差率<sup>[8,9]</sup>。

$$u = \frac{q - q_0}{q_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中, $u$ 为施药液量误差率,%; $q$ 为实际施药液量,L/min; $q_0$ 为预定施药液量,L/min。

2.3.2 药箱药液残留率测定试验 药箱药液残留率试验分别在静止状态与运动状态进行。试验过程中记录药箱容积(L)、药液灌注量(L)、药箱残留量(L),并计算出药箱药液残留率(%),试验过程如下:

(1) 静止状态药箱药液残留率试验。首先往药箱中加入100 L水,喷雾机不移动,打开拖拉机后置动力输出轴使风机转动,当风机达到2200 r/min转速且喷雾机工作压力为2.0 MPa时,再打开喷雾开关,药液喷雾完成后,灵活运用不同带刻度的量杯接出药箱内剩余水,如剩余过多可分多次取出,重复试验3次,按式(2)计算出药箱药液残留率;

(2) 运动状态药箱药液残留率试验。首先往药箱中加入100 L水,打开拖拉机后置动力输出轴使风机转动,当风机达2200 r/min转速且喷雾机工作压力为2.0 MPa时,拖拉机直线移动,当速度达到8.8 km/h后,匀速前进,再打开喷雾开关。药液喷雾完成后,灵活运用不同带刻度的量杯接出药箱内剩余水分,如剩余过多可分多次取出,重复试验3次,按式(2)计算出药箱药液残留率;

(3) 计算出两种状态下药箱药液残留率的平均值。

$$\mu = \frac{p}{v} \times 100\% \quad (2)$$

式中, $\mu$ 为药箱药液残留率,%; $p$ 为药箱残留量,L; $v$ 为药箱容积,L。

2.3.3 药液附着率与雾滴沉积密度测定试验 选定药液喷洒工作区,在药液喷洒工作区域随机选择有

代表性(果树枝叶茂盛)的 3 株果树,按照 2.2.2 中提到的方法在每株苹果树上布置水敏纸。调节拖拉机与喷雾机各项参数值,达到稳定工作状态后,拖拉机以 8.8 km/h 匀速向前前行,喷雾机工作压力为 2.0 MPa,风机以 2200 r/min 转速工作,打开喷雾开关,药液喷洒完成后,在水敏纸未干燥前,用 10 倍手持放大镜迅速观察水敏纸,读取水敏纸上的雾滴数量并记录药液附着分级(0 级、1 级、2 级、3 级和 4 级)情况,按式(3)计算出药液附着率<sup>[8]</sup>。

$$\text{药液附着率} = \frac{(1 \text{ 级叶片数} \times 1) + (2 \text{ 级叶片数} \times 2) + (3 \text{ 级叶片数} \times 3) + (4 \text{ 级叶片数} \times 4)}{\text{观察叶片总数} \times 4} \times 100\% \quad (3)$$

### 3 试验结果分析

#### 3.1 施药液量误差率

3WFXM-400 型风送式果园喷雾机在果园中进行施药液量误差率测定试验,根据累计加水量算出实际施药液量并按式(1)算出施药液量误差率,试验结果见表 2。

表 2 施药液量误差率测定试验结果

Table 2 Test result of pesticide dosage determination error rate

试验次数 Number of test	地块面积 Plot area	预定施药液量 Predetermined dosage of pesticide	工作压力 Working pressure	作业速度 Operation speed	实际施药液量 Actual application liquid	施药液量误差率 Dose rate error
1					41.15 (L/666.67m <sup>2</sup> )	7.78%
2	1104 (m <sup>2</sup> )	23 (L/666.67m <sup>2</sup> )	2.0 (MPa)	8.8 (km/h)	39.87 (L/666.67m <sup>2</sup> )	4.42%
3					40.67 (L/666.67m <sup>2</sup> )	6.52%
平均施药液量误差率					6.24%	

分析表 2 数据可知,3WFXM-400 型风送式果园喷雾机以 2.0 MPa 的工作压力和 8.8 km/h 作业速度即喷雾机在额定工况下对选定的苹果树林进行喷雾工作时,平均施药液量误差率为 6.24%,最高施药液量误差率为 7.78%,施药液量误差率不大于 10%,符合作业质量指标要求<sup>[8,9]</sup>。

#### 3.2 药箱药液残留率

3WFXM-400 型风送式果园喷雾机以静止状态与运动状态进行药箱药液残留率测定试验。用带刻度的量杯接出药箱内残留的药液,记录药箱残留量,按式(2)算出药箱药液残留率并算出平均药箱药液残留率,试验结果见表 3。

表 3 药箱药液残留率测定试验结果

Table 3 Test result of liquid medicine residual rate

状态 Status	试验次数 Number of test	药箱容积 Medicine barrel volume	药液灌注量 Liquid drug perfusion	药箱残留量 Medicine residue	药箱药液残留率 The medicine bucket liquid residue rate
静止	第 1 次	400 (L)	100 (L)	2.6 (L)	0.65%
	第 2 次			2.8 (L)	0.70%
	第 3 次			2.7 (L)	0.68%
运动	第 1 次			2.7 (L)	0.68%
	第 2 次			2.6 (L)	0.65%
	第 3 次			2.6 (L)	0.65%
平均药箱药液残留率				0.67%	

分析表 3 数据可知,3WFXM-400 型风送式果园喷雾机在静止和运动两种状态下,药液灌注量均为 100 L,药箱残留量均不超过 3 L,药箱药液残留率平均为 0.67%,药箱药液残留率不大于 1%,符合作业质量指标要求<sup>[11]</sup>。

#### 3.3 药液附着率与雾滴沉积密度

3WFXM-400 型风送式果园喷雾机在额定工况下进行药液附着率与雾滴沉积密度测定试验,试验记录与计算结果见表 4、表 5、表 6。表 4 为其中一株果树药液附着率与雾滴沉积密度统计表,表 5 为 3 株果树药液附着率与雾滴沉积密度并算出平均值。

分析表 4~6 数据可知,药液吸附在果树树叶的叶面与叶背,附着率均值高达 83.0%。雾滴在果树的上层、中层与下层三层的沉积粒数相差不大;东、西、南、北四个方向的沉积粒数有些差距,

但满足果树病虫害的防治;在外膛、中膛与内膛平均雾滴粒数差距也不大,说明喷雾机的穿透能力很强。雾滴沉积密度均值为90粒/cm<sup>2</sup>,药液附着率和雾滴沉积密度均符合质量指标要求<sup>[8,9]</sup>。

表4 药液附着率

Table 4 Liquid attraction rate

位置 Position	外膛树叶雾滴粒数 (粒/cm <sup>2</sup> ) (叶面/叶背)				中膛树叶雾滴粒数 (粒/cm <sup>2</sup> ) (叶面/叶背)				内膛树叶雾滴粒数 (粒/cm <sup>2</sup> ) (叶面/叶背)			
	东	西	南	北	东	西	南	北	东	西	南	北
	East	West	South	North	East	West	South	North	East	West	South	North
上层	93/81	86/70	99/80	84/89	88/80	64/75	84/65	60/72	57/64	82/73	48/56	62/49
中层	76/79	93/67	105/90	75/59	72/76	83/60	92/76	91/80	76/80	80/65	62/50	82/66
下层	80/89	76/84	82/71	62/54	67/49	55/43	66/48	77/64	68/57	56/44	70/55	57/71
合格叶片	36片(一级:2片;二级:3片;三级:6片;四级:25片)											
药液附着率	87.5%											

表5 雾滴沉积密度

Table 5 The deposition density of droplet

位置 Position	外膛树叶雾滴粒数				中膛树叶雾滴粒数				内膛树叶雾滴粒数			
	东	西	南	北	东	西	南	北	东	西	南	北
	East	West	South	North	East	West	South	North	East	West	South	North
上层	840	750	490	820	330	860	630	820	400	650	890	770
中层	920	540	340	1000	670	900	480	770	550	720	760	580
下层	690	580	690	480	710	820	520	630	490	630	540	610
平均雾滴粒数	678				678				632			
雾滴沉积密度 (粒/cm <sup>2</sup> )	106											

表6 药液附着率与雾滴沉积密度均值

Table 6 Liquid attraction rate and droplet deposition density average

	第一株	第二株	第三株	平均值
	The first tree	The second tree	The third tree	average value
药液附着率	87.5%	78.6%	82.9%	83.0%
雾滴沉积密度 (粒/cm <sup>2</sup> )	106	80	84	90

## 4 结论

(1) 通过施药液量误差率、药箱药液残留率以及药液覆盖率、雾滴沉积密度试验,表明3WFXM-400型风送式果园喷雾机喷雾性能符合作业质量指标要求;

(2) 3WFXM-400型风送式果园喷雾机在额定工况下,平均施药液量误差率为6.24%,最高施药液量误差率为7.78%,药箱残留量不超过3L,药液残留率均值为0.67%,低于规定的1.0%,符合作业质量指标要求;

(3) 药液附着率与雾滴沉积密度试验结果表明,药液在叶面与叶背吸附均匀、充分,药液附着率均值达到83.0%,雾滴沉积密度均值达到90粒/cm<sup>2</sup>,喷雾性能优良。

## 参考文献

- [1] 中国产业信息网.2016年我国水果行业产量、消费量以及供需平衡表预测图[DB/OL].[2016-09-14].<http://www.chyxx.com/industry/201609/448941.html>.
- [2] 国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2016
- [3] 张佳琛,邓巍,张燕.恒压变量喷雾技术研究现状[J].农机化研究,2015,(2):257-260
- [4] 赵东,张晓辉,蔡冬梅,等.梯度风对雾滴穿透性影响的研究及试验[J].农业工程学报,2004,20(4):21-25
- [5] 吕晓兰,蔺经,常有宏,等.我国植保机械社会化服务模式的探讨[J].江苏农业科学,2015,43(11):545-547
- [6] 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
- [7] 张亮,刘俊峰,李建平,等.3WFQ-1600型牵引式风送喷雾机研制与试验[J].农机化研究,2017,39(4):62-67,72
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T17997-2008 农药喷雾机(器)田间操作规程及喷洒质量评定[S].北京:中国标准出版社,2008
- [9] 中华人民共和国农业部.NY/T992-2006 风送式果园喷雾机作业质量[S].北京:中国标准出版社,2006
- [10] 张晓辛,吕晓兰,丁素明,等.果园风送式喷雾机仿形喷雾试验研究[J].中国农机化,2011(3):68-72
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB/T18675-2002 植物保护机械农业喷雾机总残留液量的测定[S].北京:中国标准出版社,2002