

3WPZ-4型风送式葡萄喷雾机设计与试验

董祥¹ 张铁¹ 燕明德¹ 杨学军¹ 严荷荣² 孙星²

(1. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083; 2. 现代农装科技股份有限公司, 北京 100083)

摘要:为解决施药作业过程中劳动强度大、农药利用率低、流失严重,成本高等问题,结合超声波靶标探测、多柔性出风管风送与气流辅助式精量施药、精量喷雾控制等核心技术,设计与PT-115型多功能自走式底盘配套使用的3WPZ-4型葡萄喷雾机,该喷雾机喷药葡萄行距2.5~3.5 m,喷雾行数4行,作业速度4.0~6.0 km/h,药箱容量1 600 L,额定喷雾压力0.5~1.0 MPa。4年生酿酒葡萄园施药作业结果表明,3WPZ-4型风送式葡萄喷雾机在额定喷雾压力时,喷雾量为37.4~78.7 L/min,雾滴体积中径为132.1~251.1 μm 。为测试开发的施药系统喷雾性能,将精准对靶系统关闭,使用1.2 mm喷嘴,喷雾压力1.0 MPa,无风送时,施药量为801.2 L/hm²,药液沉积率最低为53.24%,地面流失率最大为15.53%,飘移率最高为31.23%;使用1.5 mm喷嘴,喷雾压力1.0 MPa,有风送时,施药量为1 005.4 L/hm²,药液沉积率最高为71.90%,飘移率最低为15.68%;使用1.2 mm喷嘴,喷雾压力0.5 MPa,有风送时,施药量为408.4 L/hm²,药液地面流失率最低为10.77%;无辅助风时药液平均沉积率为58.83%,平均地面流失率为14.48%,平均飘移率为26.69%,有辅助风时药液平均沉积率为68.94%,平均地面流失率为12.08%,平均飘移率为18.98%,使用辅助风使药液平均沉积率提高了17.2%,平均地面流失率降低了16.56%,平均飘移率降低了28.87%。启动精准对靶系统,试验中精准对靶系统喷雾量平均误差2.90%,药液平均沉积率为65.76%,平均地面流失率为13.40%,平均飘移率为20.84%。

关键词: 葡萄喷雾机; 风送式; 设计; 试验

中图分类号: S49 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2018)S0-0205-09

Design and Experiment of 3WPZ-4 Type Air-assisted Grape Sprayer

DONG Xiang¹ ZHANG Tie¹ YAN Mingde¹ YANG Xuejun¹ YAN Herong² SUN Xing²

(1. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China

2. Modern Agricultural Equipment Co., Ltd., Beijing 100083, China)

Abstract: To reduce labor intensive, increase pesticides availability and decrease loss and other issues, the 3WPZ-4 type grape sprayer matching on model PT-115 multifunctional self-propelled chassis was developed, which contained the technology of ultrasonic target probe, flexibility discharge pipes air-assisted precision spray and integrated control. The 3WPZ-4 type air-assisted grape sprayer with 1 600 L tank can operate for four rows wine grape at the same time and the designed spray pressure was form 0.5 MPa to 1.0 MPa which adapted to 2.5~3.5 m wine grape row spacing. Four years wine grape pesticides application test showed that the spray water volume of 3WPZ-4 type air-assisted grape sprayer was from 37.4 L/min to 78.7 L/min, droplet median volume diameter was form 132.1 μm to 251.1 μm . Without precision target system and no air-assisted, using 1.2 mm nozzle at 1.0 MPa spray pressure, the minimum pesticides deposition rate was 53.24%, the maximum loss rate was 15.53% and drift rate was 31.23% at spray water volume of 801.2 L/hm². With air-assisted, using 1.5 mm nozzle at 1.0 MPa spray pressure, the maximum deposition rate was 71.90%, and the minimum drift rate was 15.68% at spray water volume of 1 005.4 L/hm². Using 1.2 mm nozzle at 0.5 MPa spray pressure with air-assisted, the minimum loss rate was 10.77% at spray water volume of 408.4 L/hm². Without air-assisted, average pesticides deposition rate was 58.83%, average loss rate was 14.48%, and the average drift rate was 26.69%. With air-assisted, average pesticides deposition rate was 68.94%, average loss rate was 12.08%, and average drift rate was 18.98%. With air-assisted, average pesticides deposition rate was

收稿日期: 2018-07-12 修回日期: 2018-08-16

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0700903)、国家国际科技合作专项(2013DFA71130)和国家自然科学基金项目(51405496)

作者简介: 董祥(1982—),男,高级工程师,博士,主要从事施药装备与施药技术研究,E-mail: dx314@hotmail.com

increased by 17.2%, average loss rate was reduced by 16.56%, and average drift rate was lowered by 28.87%. When using precision target system, the average spray water volume error was 2.90%, average pesticides deposition rate was 65.76%, average loss rate was 13.40%, and average drift rate was 20.84%.

Key words: grape sprayer; air-assisted; design; experiment

0 引言

风送喷雾是联合国粮农组织推荐的高效施药技术之一,风送式喷雾机是果园植保机械的主力军^[1-5]。欧美国家的果园喷雾机大多采用风送式喷雾机,雾流穿透性好,作业效率高^[6-7]。20世纪末开始,随着越来越严厉的环境保护政策,为减少雾滴飘移、提高农药利用率,在欧美国家,风速高、飘移现象严重的半圆周、漫射型送风方式逐渐被针对靶标的定向送风方式所取代,特别是酿酒葡萄,因葡萄架高度较低且均匀一致,具有多个柔性出风管、实现有针对性定向送风和喷雾的喷雾机被广泛应用。此外,能够将未沉积在植物枝叶(靶标)上而飘移在空气中的雾滴回收利用的循环式喷雾机一度成为发展热点,但近几年,受到回收药液中可能携带病原微生物等因素的影响,循环式喷雾机的发展势头受到抑制^[8-13]。

长期以来,我国果园种植标准化程度低,没有考虑到大型施药机具作业的需要,病虫害防治主要采用手动喷雾器、小型机动喷雾机,作业效率低,劳动强度大。近几年,风送式喷雾机开始得到推广应用,但主要还是半圆周、漫射型的风送式喷雾机,与国外先进产品存在较大差距^[14-20]。

我国酿酒葡萄栽培面积逐年增加,为解决施药作业过程中劳动强度大、农药利用率低、流失严重、成本高等问题,本文在对国外葡萄喷雾机分析对比的基础上,确定酿酒葡萄喷雾机的总体技术方案,对液压驱动的多个柔性出风管风送式系统、精量喷雾系统等关键技术装置进行研究,结合超声靶标探测、多柔性出风管风送与气流辅助式精量施药、精量喷雾控制等核心技术,设计与PT-115型多功能自走式底盘配套的3WPZ-4型葡萄喷雾机。

1 总体设计与工作原理

采用多柔性出风管的风送式喷雾、基于超声波探测的精准施药、机电液控制等关键技术设计的3WPZ-4型葡萄喷雾机(图1),与PT-115型多功能自走式底盘(图2)配套使用。葡萄喷雾机由喷雾机架、风机、液泵、药液箱、喷雾装置的折叠式安装架和精量喷雾系统等组成,搭载在多功能自走式底盘上,通过连接板、连接销与多功能底盘的纵梁固定在

一起。多功能自走式底盘作为动力平台,为3WPZ-4型葡萄喷雾机提供作业所需要的液压、电力等动力源。多个柔性出风管与风机出风口相通,利用气流将安装于柔性出风管出口处的喷头雾化形成的雾滴向葡萄吹送,可同时对多行葡萄进行喷雾。



图1 3WPZ-4型风送式葡萄喷雾机

Fig. 1 Model 3WPZ-4 air-assisted grape sprayer



图2 PT-115型多功能自走式底盘

Fig. 2 Model PT-115 multifunctional self-propelled chassis

PT-115型多功能自走式底盘参数详见表1,3WPZ-4型葡萄喷雾机参数详见表2。

表1 PT-115型多功能自走式底盘参数

Tab. 1 Parameters of model PT-115 multifunctional self-propelled chassis

参数	数值/方式
配套功率/kW	84
发动机转速/($r \cdot \min^{-1}$)	2 400
驱动方式	四驱/前轮转向
轮距/mm	前轮 2 130/后轮 2 280
轴距/mm	2 530
地隙高度/mm	2 100 ~ 2 600
行驶速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	低挡:0 ~ 10, 高挡:0 ~ 20
最小转向半径/mm	3 950
外形尺寸/($\text{mm} \times \text{mm} \times \text{mm}$)	4 000 × 2 400 × 3 800
整机净质量/kg	5 250

表2 3WPZ-4型风送式葡萄喷雾机参数

Tab.2 Parameters of 3WPZ-4 air-assisted grape sprayer

参数	数值/型式	
喷雾行数/行	4	
适应葡萄行距/m	2.5~3.5	
药箱容量/L	800×2	
喷雾液泵	额定转速/(r·min ⁻¹)	540
	额定流量/(L·min ⁻¹)	250
喷雾风机	型式	离心式风机
	额定转速/(L·min ⁻¹)	3 000
	风量/(m ³ ·h ⁻¹)	6 000
	风压/Pa	7 600
喷头	型式	空心圆锥雾防滴喷头
	喷孔直径/mm	1.2/1.5
	数量/个	48
	喷头喷雾量/(L·min ⁻¹)	1.32(Φ1.2 mm)/1.65(Φ1.5 mm)
额定喷雾压力/MPa	0.5~1.0	
外形尺寸/(mm×mm×mm)	4 100×3 450×2 850	
整机净质量/kg	1 850	

2 关键部件及主要参数

2.1 喷雾机架

如图3所示,喷雾机架由钢管、钢板等材料焊接而成,其上设有药箱托架、用于固定药液箱的平板、风机、液流系统中的液泵、清洁水箱、加药箱、加药箱升降架、电动推杆等零部件,并设有喷杆连接板,用于固定中间喷杆升降杆、升降油缸和升降框架。机架上还设有底盘连接板和外侧喷杆支撑架,分别用于与多功能底盘连接固定及支撑折叠状态的左、右侧喷杆。支腿通过支腿插销固定在机架上,用于喷雾机非工作状态时平稳摆放。当喷雾机搭载在多功能底盘上进行喷雾作业时,拆下支腿,以改善喷雾机在果树行间的通过性。

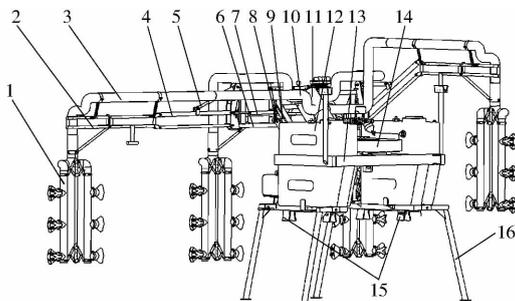


图3 机架及风送装置示意图

Fig.3 Sketch of frame and air-assisted system

1. 风送式喷雾装置
2. 右外侧喷杆
3. 外侧送风管
4. 外侧喷杆提升杆
5. 喷杆提升油缸
6. 中间喷杆
7. 外侧喷杆折叠油缸
8. 中间喷杆升降杆
9. 中间喷杆升降油缸
10. 内侧送风管
11. 送风分配管
12. 药液箱
13. 机架
14. 风机
15. 底盘连接板
16. 支腿

2.2 喷杆结构

根据我国酿酒葡萄2.5~3.5 m行距,设计葡萄

喷雾机的桁架式喷杆长度12 m,喷杆向前折叠,共分为3节,包括中间段喷杆和左右两侧的喷杆。中间段喷杆位于喷雾机正后方。两侧喷杆采用液压折叠方式,喷杆展开如图4所示。



图4 喷杆展开图

Fig.4 Sketch of boom of air-assisted grape sprayer

中间段喷杆通过中间喷杆升降杆、中间喷杆升降油缸、中间喷杆升降框架与机架悬挂连接;分别与左、右喷杆连接架连接。中间喷杆升降杆、中间喷杆升降油缸和中间喷杆升降框架的一端与机架连接,另一端与中间喷杆连接。中间喷杆上方横梁上安装有液流系统中的电动喷雾控制阀、流量传感器和压力传感器等零部件;中间喷杆升降框架上固定送风分配管。当操作中间喷杆升降油缸升降中间喷杆时,电动喷雾控制阀、流量传感器、压力传感器和送风分配管随之一起升降。

2.3 风送式喷雾装置

风送式喷雾装置(图5)由可伸缩的三通软管、出风管、出风管夹板、出风口、喷头固定板、喷头、中间连接管、支撑管和支撑板等组成。中间连接管上设有多个与滑套连接用的连接孔,并设有连接板,用以连接支撑板。中间连接管上的固定架将喷雾装置固定在右侧喷杆、中间喷杆和左侧喷杆上。出风管用出风管夹板和支撑管固定在中间连接管上;出风管上固定有多个出风口,从出风口喷出的气流将从喷头处喷出的药液雾滴向果树上吹送。每个出风管内设有2个喷头,喷头固定在喷头固定板上,喷雾软管沿着送风管路布置,连接在喷头上。支撑板的一端与连接板连接,另一端连接在支撑管上;支撑管的一端与出风管夹板连接,另一端连接在滑套上;滑套空套在中间连接管上,采用螺栓、螺母在中间连接管上定位连接。2个支撑管和2个支撑板构成平行四边形结构,改变滑套在中间连接管上的固定位置,可以改变两根出风管之间的距离,从而可以根据果树树冠直径或篱架宽度的需要改变相邻两组喷雾装置上喷头之间的距离。

2.4 风送系统

葡萄喷雾机的风送系统包括安装在机架上的风机,驱动马达以及多个柔性出送风管,风管包括内侧送风管和外侧送风管,分别通过送风分配管与风机连接并通过送风管固定座安装支撑在喷杆上,出风

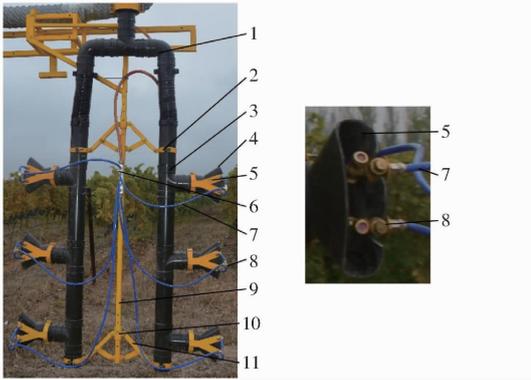


图5 风送式喷雾装置

Fig. 5 Air-assisted sprayer unit

1. 三通软管 2. 出风管夹板 3. 出风管 4. 出风口 5. 喷头固定板 6. 药液分配器 7. 喷药管路 8. 喷头 9. 中间连接管 10. 支撑管 11. 支撑板

管分别连接在送风管上,喷雾管路为喷雾软管,喷雾软管沿着送风管内部穿行并与喷头连接。出风管采用出风管夹板和支撑管固定在中间连接管上;出风管上固定有多个出风口,从出风口喷出的气流将由喷头处喷出的药液雾滴向果树上吹送。

如图6所示,将风送式喷雾装置输出风场简化为梯形,风量按置换原则计算^[16],即

$$Q_w = nvk(h_1 + h_2)W \quad (1)$$

式中 Q_w ——所需风量, m^3/s

n ——喷雾行数

h_1 ——风送式喷雾装置高度, m

h_2 ——葡萄冠层高度, m

W ——葡萄冠层边缘到中心的平均距离, m

v ——喷雾机作业时前进速度, m/s

k ——气流衰减系数和沿途损失系数

其中, $n=4$, $h_1=1.2\text{ m}$, $h_2=2.0\text{ m}$, $W=0.6\text{ m}$, $v=0.8\sim 1.4\text{ m}/\text{s}$, $k=1.1$, 计算获得 $Q_w=6.75\sim 11.83\text{ m}^3/\text{s}$ 。选取北京风机二厂 G4-73 型风机, 额定风量 $45\,965\text{ m}^3/\text{h}$, 全压 $1\,485\text{ Pa}$, 所需功率 22 kW 。

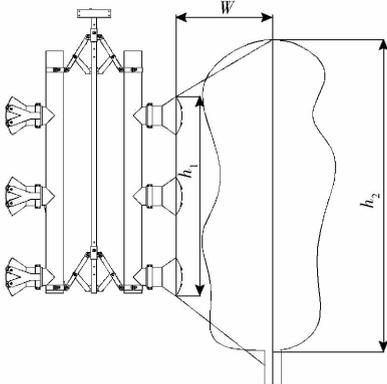


图6 风量与出风口计算示意图

Fig. 6 Air displacement diagram of air-assisted sprayer unit

风机驱动马达和风机安装在机架的平板上,风

机驱动马达的动力输出轴通过减速器与风机的叶轮轴连接传递动力。风机驱动马达的液压源由配套底盘的液压输出装置提供,驱动马达和液压输出装置之间采用高压软管连接。当风机驱动马达驱动风机高速转动时,产生强大的气流,经过风机出风管、出风连接软管和外侧送风管、内侧送风管的输送,到达喷雾装置的出风管,从出风口喷出,将喷头雾化形成的雾滴吹送到果树枝叶上,达到防治果树病虫害的目的。

2.5 喷雾液流系统

图7为风送式葡萄喷雾机的喷雾液流系统原理图。喷雾液流系统主要包括射流搅拌喷头、吸水过滤器、电动吸水换向阀、加药控制阀、液泵、出水过滤器、搅拌控制阀、电动调压阀、电动回水换向阀、流量传感器、压力传感器、电动喷雾控制阀、压力表、速度传感器、喷雾控制器、喷头、喷雾软管及其他各种三通、软管等。药液箱2个,左右对称布置,内设射流搅拌喷头,利用电动调压阀的回水对药液箱内部的药液进行搅拌,防止药剂分层或沉淀,保证药液均匀性。药液箱底部设有排放阀,用于排放作业完成后剩余的药液以及药液箱内部清洗后的液体。液泵固定在机架上,由液压马达驱动,液压源由配套底盘的液压输出装置提供。电动吸水换向阀和电动回水换向阀用于控制吸水和回水的方向,从左侧药液箱中吸水时,回水也回到左侧药液箱中。当左侧药液箱

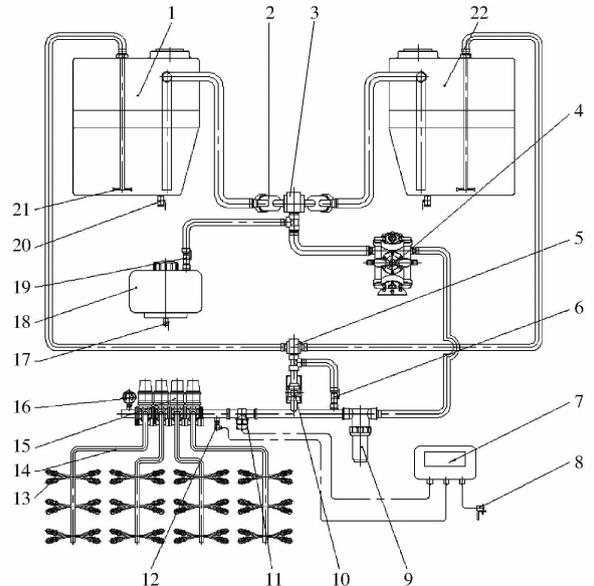


图7 葡萄喷雾机液流系统原理图

Fig. 7 Diagram of liquid fluid system of grape sprayer

- 1、22. 药箱 2. 吸水过滤器 3. 电动吸水换向阀 4. 液泵 5. 电动回水换向阀 6. 搅拌控制阀 7. 喷雾控制器 8. 速度传感器 9. 出水过滤器 10. 流量传感器 11. 电动调压阀 12. 压力传感器 13. 喷头 14. 喷雾软管 15. 压力表 16. 电动喷雾控制阀 17. 排放阀 18. 加药箱 19. 加药控制阀 20. 排放阀 21. 射流搅拌喷头

中的药液喷完后,同时切换电动吸水换向阀和电动回水换向阀的方向,更换为从右侧药液箱中吸水,回水也回到右侧药液箱中。搅拌控制阀用于对药液箱内的药液进行单独搅拌,搅拌控制阀开启时,由于流通面积大、阻力小,液泵排出的药液全部从搅拌控制阀流回到药液箱进行搅拌;喷雾作业时,搅拌控制阀处于关闭状态,液泵排出的液体经过电动调压阀调压,一部分药液经过电动喷雾控制阀输送到安装在喷雾装置的喷头处雾化形成雾滴,另一部分药液流回到药液箱进行搅拌。

2.6 精准施药控制系统

葡萄喷雾机的精准施药控制系统如图 8 所示,

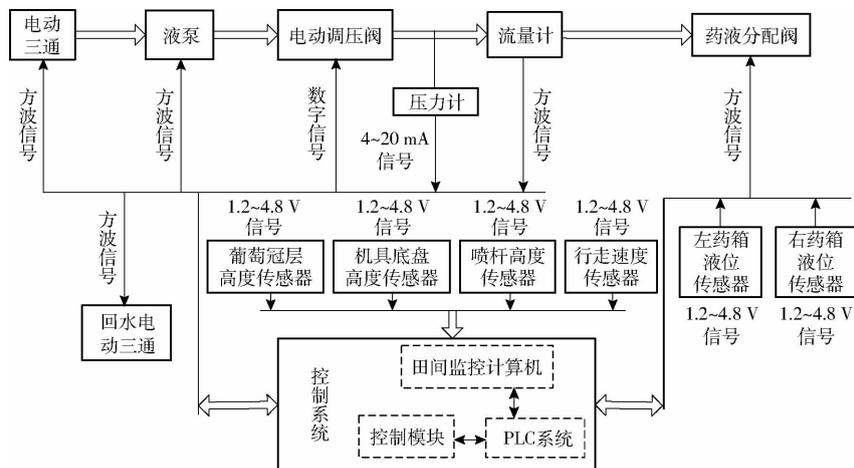


图 8 精准施药控制系统框图

Fig. 8 Block diagram of precision spray system

$$q_c = \frac{6Q_p v n D h}{1000 \bar{h}} \quad (2)$$

式中 q_c ——喷雾量, L/min

Q_p ——单位面积喷雾量设定值, L/hm²

D ——植株行距, m

h ——植株实测高度, m

\bar{h} ——作业区域植株平均高度, m

变量喷雾控制采用闭环控制,行走速度决定当前喷头喷雾流量,而喷雾量则由施药行数、植株行距、高度决定。其中植株行距、施药行数在喷雾前由用户输入,行走速度、植株高度由传感器测得,植株平均高度为作业区域植株平均高度人工测量值。每个喷头均设置电磁阀,可以根据植株高度控制喷雾开关。机具前进时调节流量阀开口,控制当前的喷雾量,实现变量喷雾,减少农药使用量。

2.7 液压控制系统

液压系统根据施药系统参数控制喷药机动作,主要完成中间喷杆升降、外侧喷杆折叠,喷药液泵及风机马达驱动。除液压齿轮泵、液压油箱、过滤器外,喷杆液压控制系统(图 9)主要由多路换向阀、液

使用超声波传感器通过对地面位置、葡萄藤高度、喷杆高度、左右药箱液位高度、行走速度信息采集,信息信号调制系统通过 RS232 通讯采集植被覆盖率,并将其转换成 RS485 信号输出到 PLC 控制系统中; PLC 控制系统作为系统的控制核心实现流量、压力、行走速度等参数的采集处理,并通过计量泵、调压阀等执行机构控制实际喷雾量的变量输出;田间监控计算机通过应用软件设置系统工作参数(如系统最大喷雾量),并可用于控制系统的实时工作状态。

系统中实施变量喷雾作业的关键是对喷雾机行走速度及植被高度信息的实时采集。其与喷雾量的关系可以表示为

控单向阀、节流阀、同步阀、油缸等组成。

喷杆操控由 5 路换向阀完成,喷杆动作分别由外侧喷杆升降油缸,外侧喷杆折叠油缸,喷杆升降油缸完成。其液压油由单路稳定分流阀由 5 路换向阀供给。中间段喷杆不需折叠,左右两侧的喷杆均需折叠。喷杆升降油缸使用两个单作用油缸,使喷杆离地间隙在 50 ~ 1 000 mm 范围内可调,可以满足酿酒葡萄作物在不同生长期的喷雾要求。喷杆锁定油缸与内侧喷杆动作油缸同步动作,配合机械结构,使喷杆在处于折叠状态时升降油缸有机机构将其锁住,防止车辆运输过程中由于液压系统失灵引起喷杆跌落而造成意外伤害。同时在内侧喷杆动作油缸和外侧喷杆动作油缸的控制油路中使用了同步阀和节流阀,通过对节流阀开度的调节,可以控制喷杆折叠动作的速度,保证喷杆动作的平稳性。到达油缸的液压油最终通过同步阀,使油缸动作同步,保证喷杆折叠的同步性。

风机与水泵由液压马达驱动,各马达单向旋转,由 PT-115 型多功能自走式底盘提供液压动力,液压油经过马达直接与底盘油箱接通,马达效率为 0.9,马达所需液压油流量为

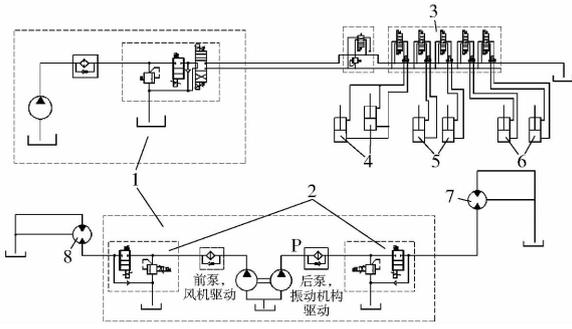


图9 葡萄喷雾机液压系统示意图

Fig.9 Sketch of hydraulic system of air-assisted grape sprayer

1. 底盘液压系统 2. 比例控制阀 3. 路换向阀 4. 喷杆升降油缸 5. 喷杆展臂油缸 6. 喷杆抬臂油缸 7. 水泵驱动马达 8. 风机驱动马达

$$q_v = \frac{60P}{\Delta p \eta_v} \quad (3)$$

式中 q_v ——液压马达流量, L/min

P ——负载所需功率, kW

Δp ——液压系统工作压力, MPa

η_v ——液压马达效率

按风机与喷药液压泵所需动力, 液压系统最大负载工作所需排量计算液压泵的流量, 即

$$q = \frac{\sigma q_{vi} n_p}{n_{vimax}} \quad (i=1, 2) \quad (4)$$

式中 q_{vi} ——各个马达所需流量, L/min

n_{vimax} ——各马达的最大转速, r/min

σ ——泄露系数, 取 1.1

n_p ——液压泵转速, r/min

液压泵与发动机曲轴直连, 全油门转速 2 200 r/min。将数值代入式(4)得液压泵最大流量为 64.53 L/min, PT-115 型多功能自走式底盘自带的齿轮泵排量 66 L/min, 额定压力 25 MPa, 能够满足系统要求。

按施药作业要求, 通过精准施药控制系统, 调节底盘液压驱动系统的液压比例控制阀, 能够控制输出液压油的流量, 从而改变喷雾药泵及风机的转速已适应喷雾要求。

3 田间试验

3.1 试验地点与材料

2017 年 10 月, 在河北张家口市怀来县盛唐葡萄庄园有限公司对 4 年生葡萄种植园进行了 85 hm² 酿酒葡萄喷药作业试验。

试验时, 环境温度在 16℃, 风力 2 级。试验仪器、设备包括台秤、照相机、风速仪、量杯、量筒、皮尺、秒表、风速仪、DT-2234A+ 型手持式转速表、Modulus TM 型荧光分析仪、CI-202 型叶面积仪、搅拌器等。试验前对设备、仪器、仪表应进行检定、标

定或校正。

3.2 试验方法

参照 GB/T 32244—2015《植物保护机械 乔木和灌木作物 喷雾量分布田间测定》规定的方法进行^[21]。根据喷雾机药箱容积配制试验介质, 取定量的罗丹明 B(Alfa Aesar) 荧光示踪剂, 用清洁水稀释成浓度 0.1% 的荧光剂水溶液。用深颜色容器留取适量试验液并妥善保存, 以便在试验室内测定所配制的试验液荧光量对应标准浓度的函数关系。在试验果园作业区域选取 5 个测点, 根据测量葡萄藤高度 1.8 m, 按照每米葡萄高度 200 ~ 600 L/hm² 施药液量确定试验施药量范围 360 ~ 1 080 L/hm²。在试验区域内随机选取 3 棵葡萄树, 人工计数每棵葡萄树上所有叶片数量, 取平均值作为试验果园内单棵葡萄树的叶片数量。在试验区域内随机摘取 10 个叶片, 用叶面积仪测出每个叶片的叶面积, 取平均值作为试验果园内单个葡萄叶片的面积。根据葡萄行距、株距, 计算被试葡萄园中酿酒葡萄的叶面积指数(LAI)为 4.3。

冠层靶标(尼龙网 2 500 目 50 mm × 50 mm); 采用区域采样方案, 在每一行酿酒葡萄枝叶茂密的冠层区域, 在垂直平面内从下往上每隔 30 ~ 50 cm 设置一个水平采样层(共 4 ~ 5 层), 在冠层的两侧外部和内部各布置 1 个雾滴收集器。如图 10 所示, 在每一行葡萄树下方及行中间的地面设置雾滴收集器, 总收集面积大于或等于 500 cm², 用于测量喷雾药液在地面上的流失量。

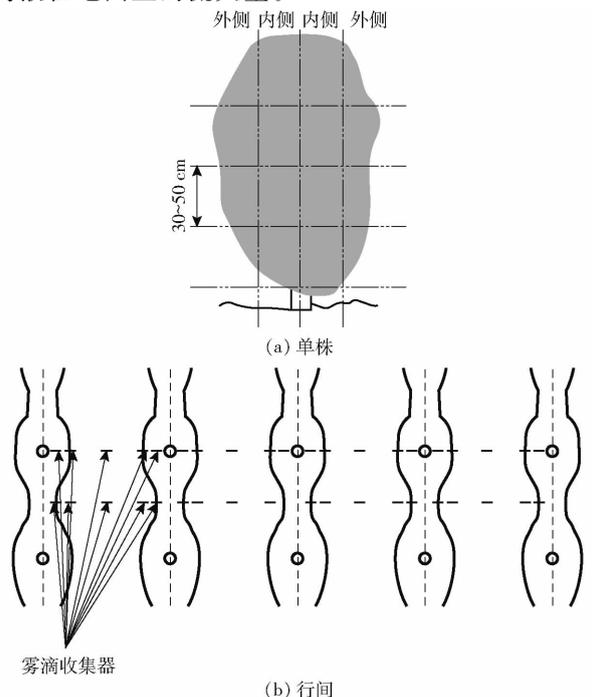


图10 植株靶标布置示意图

Fig.10 Schematic diagrams of target located in grape canopy

喷雾机内加入适量的试验液,以常用的喷雾压力和作业速度进行喷雾,测定喷雾机行走距离及喷出的药液量。分别收集布置在葡萄各层及地面上的雾滴收集器,保存在不透光的密闭容器中,做好标记。在试验室内使用搅拌器和定量的去离子水或其他清洗液将各雾滴收集器清洗 0.5 h,将荧光剂从收集器上完全洗脱,使用荧光分析仪测定洗出液的荧光量,确定其浓度,并计算出各雾滴收集器上沉积的荧光剂量。各层收集器上的荧光剂量按单位面积计算后取平均值。根据雾滴收集器面积、试验区域作物的总叶面积和地块面积,计算出沉积到作物叶面上和降落到地面的荧光剂量。

沉积在试验区域内作物叶面上的有效物质(农药或荧光剂)量与试验区域内喷洒的有效物质总量之比为

$$\eta_L = \frac{m_1}{m} \times 100\% \quad (5)$$

式中 η_L ——农药有效利用率, %

m_1 ——沉积在试验区域内作物叶面上的有效物质量, g

m ——试验区域内喷洒出的有效物质总量, g

流失到地面(土壤)中的有效物质量与试验区域内喷洒的有效物质总量之比为

$$d_s = \frac{m_2}{m} \times 100\% \quad (6)$$

式中 d_s ——流失率, %

m_2 ——试验区域内降落到地面的有效物质量, g

飘失到空气中的有效物质量与试验区域内喷洒出的有效物质总量之比为

$$d_a = \frac{m_3}{m} \times 100\% \quad (7)$$

其中 $m_3 = m - m_1 - m_2$ (8)

式中 d_a ——飘移率, %

m_3 ——试验区域内飘失到空气中的有效物质量, g

精准对靶系统喷雾量误差为实际喷雾量与设置喷雾量的相对误差与设置喷雾量相比,即

$$\delta = \frac{|Q_p - Q_r|}{Q_p} \times 100\% \quad (9)$$

式中 Q_r ——单位面积喷雾量实测值, L/hm²

3.3 试验结果与分析

关闭自动喷雾系统,手动调节喷雾压力,用容器接软管收集到的液体,分别测定喷雾机 $\Phi 1.2$ mm、 $\Phi 1.5$ mm 的喷头在 0.5、1.0 MPa 下的实际喷雾量,并使用激光雾滴粒谱仪测定雾滴直径。试验 3 次,

取平均值,测定结果见表 3。3WPZ-4 型风送式葡萄喷雾机共 48 个喷头,全部使用时,在额定喷雾压力 0.5~1.0 MPa 时,喷雾量为 37.4~78.7 L/min,雾滴体积中径范围为 132.1~251.1 μm 。

表 3 喷头喷雾试验结果

Tab.3 Results of single nozzle pesticide application rate

喷孔直径/ mm	喷雾压力/ MPa	试验结果	
		单喷头喷雾量/ (L·min ⁻¹)	雾滴体积中径 $D_{v50}/\mu\text{m}$
1.2	0.5	0.78	194.3
	1.0	1.53	132.1
1.5	0.5	1.02	251.1
	1.0	1.64	223.8

为测试开发的施药系统喷雾性能,将精准对靶系统关闭,在酿酒葡萄种植园对喷药机各喷雾工况进行试验研究。试验喷雾机作业速度为 5.0 km/h,测试时喷雾机上有 48 个喷头对 4 行葡萄藤同时进行喷雾作业,分别使用 1.2、1.5 mm 两种孔径的喷嘴,喷雾压力分别为 0.5、1.0 MPa,测试了有辅助风和无辅助风 2 种工况。表 4 为喷药机作业速度 5.0 km/h 时,施药喷雾系统各工况喷雾试验结果,试验中喷雾单位面积施药量为 408.4~1 005.4 L/hm²。试验中,使用 1.2 mm 喷嘴、喷雾压力 1.0 MPa、无风送时,施药量为 801.2 L/hm²,药液沉积率最低为 53.24%,地面流失率最大为 15.53%,飘移率最高为 31.23%;使用 1.5 mm 喷嘴、喷雾压力 1.0 MPa、有风送时,施药量为 1 005.4 L/hm²,药液沉积率最高为 71.90%,飘移率最低为 15.68%;使用 1.2 mm 喷嘴、喷雾压力为 0.5 MPa、有风送时,施药量为 408.4 L/hm²,药液地面流失率最低为 10.77%;无辅助风时药液平均沉积率为 58.83%,平均地面流失率为 14.48%,平均飘移率为 26.69%,有辅助风时药液平均沉积率为 68.94%,平均地面流失率为 12.08%,平均飘移率为 18.98%,使用辅助风使药液平均沉积率提高了 17.2%,平均地面流失率降低了 16.56%,平均飘移率降低了 28.87%。

为测试精准对靶系统性能,启动精准对靶系统,在酿酒葡萄种植园对喷药机各喷雾工况进行试验研究。试验喷雾机作业速度为 5.0 km/h,测试时喷雾机上有 48 个喷头对 4 行葡萄藤同时进行喷雾作业,使用 1.2、1.5 mm 两种孔径的喷嘴,在有辅助风的条件下分别设置单位面积施药量 400、700、1 000 L/hm²。精准对靶系统各工况喷雾试验结果如表 5 所示,试验中精准对靶系统喷雾量平均误差 2.90%,药液平均沉积率为 65.76%,平均地面流失率为 13.40%,平均飘移率为 20.84%。

表4 施药喷雾系统各工况喷雾试验结果

Tab.4 Conditions of spraying operation

喷头 孔径/ mm	喷雾 压力/ MPa	辅助风	试验结果							
			植株叶面平 均沉积量/ ($\mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-2}$)	地面平均 流失量/ ($\mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-2}$)	单位面积 施药量/ ($\text{L}\cdot\text{hm}^{-2}$)	单位面积 沉积量/ ($\text{L}\cdot\text{hm}^{-2}$)	单位面积地 面流失量/ ($\text{L}\cdot\text{hm}^{-2}$)	沉积率/ %	飘移率/ %	地面流失 率/%
1.2	0.5	无风送	0.565	0.581	408.4	242.95	58.1	59.48	26.29	14.22
	0.5	有风送	0.625	0.440	408.4	268.75	44.0	65.80	23.43	10.77
	1.0	无风送	0.992	1.244	801.2	426.56	124.4	53.24	31.23	15.53
	1.0	有风送	1.276	1.046	801.2	548.68	104.6	68.49	18.46	13.06
1.5	0.5	无风送	0.793	0.845	534.1	340.99	84.5	63.84	20.34	15.82
	0.5	有风送	0.864	0.645	534.1	371.52	64.5	69.56	18.36	12.08
	1.0	无风送	1.374	1.241	1 005.4	590.82	124.1	58.77	28.89	12.34
	1.0	有风送	1.681	1.249	1 005.4	722.83	124.9	71.90	15.68	12.42

表5 精准对靶施药喷雾系统在酿酒葡萄园喷雾试验结果

Tab.5 Results of precision spray system pesticide application rate

喷头 孔径/ mm	单位面积 施药量/ ($\text{L}\cdot\text{hm}^{-2}$)	试验结果								
		植株叶面平 均沉积量/ ($\mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-2}$)	地面平均 流失量/ ($\mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-2}$)	实测单位面 积施药量/ ($\text{L}\cdot\text{hm}^{-2}$)	喷雾量 误差/%	单位面积 沉积量/ ($\text{L}\cdot\text{hm}^{-2}$)	单位面积地 面流失量/ ($\text{L}\cdot\text{hm}^{-2}$)	沉积率/ %	飘移率/ %	地面流失 率/%
1.2	400	0.604	0.488	414.4	3.47	259.72	48.8	62.70	25.55	11.78
	700	1.044	0.896	731.1	4.25	448.90	89.6	61.40	26.34	12.26
	1 000	1.511	1.040	988.9	1.12	649.73	104.0	65.70	23.78	10.52
1.5	400	0.649	0.622	411.1	2.70	279.07	62.2	67.90	16.99	15.13
	700	1.140	1.123	720.1	2.79	490.20	112.3	68.10	16.33	15.60
	1 000	1.651	1.562	1 031.5	3.05	709.93	156.2	68.80	16.03	15.14

4 结论

(1) 设计了与 PT-115 型多功能自走式底盘配套使用的 3WPZ-4 型葡萄喷雾机, 结合超声波靶标探测、多柔性出风管风送与气流辅助式精量施药、精量喷雾控制等核心技术, 葡萄行距 2.5 ~ 3.5 m, 喷雾行数 4 行, 设计作业速度 4.0 ~ 6.0 km/h, 药箱容量 1 600 L, 额定喷雾压力 0.5 ~ 1.0 MPa。

(2) 在额定喷雾压力 0.5 ~ 1.0 MPa 时, 对单喷头进行了测试试验, 得喷雾量 37.4 ~ 78.7 L/min, 雾滴体积中径范围 132.1 ~ 251.1 μm 。

(3) 以 4 年生高度 1.8 m, 叶面积指数 4.3 酿酒葡萄为对象, 分别对有、无风送和精准施药各工况下进行喷雾田间试验。试验结果显示, 精准对靶系统关闭, 使用 1.2 mm 喷嘴, 喷雾压力 1.0 MPa, 无风送时, 施药量为 801.2 L/hm², 药液沉积率最低为

53.24%, 地面流失率最大为 15.53%, 飘移率最高为 31.23%; 使用 1.5 mm 喷嘴, 喷雾压力 1.0 MPa, 有风送时, 施药量为 1 005.4 L/hm², 药液沉积率最高为 71.90%, 飘移率最低为 15.68%; 使用 1.2 mm 喷嘴, 喷雾压力 0.5 MPa, 有风送时, 施药量为 408.4 L/hm², 药液地面流失率最低为 10.77%; 无辅助风时药液平均沉积率为 58.83%, 平均地面流失率为 14.48%, 平均飘移率为 26.69%, 有辅助风时药液平均沉积率为 68.94%, 平均地面流失率为 12.08%, 平均飘移率为 18.98%, 使用辅助风使药液平均沉积率提高了 17.2%, 平均地面流失率降低了 16.56%, 平均飘移率降低了 28.87%。启动精准对靶系统, 试验中精准对靶系统喷雾量平均误差 2.90%, 药液平均沉积率为 65.76%, 平均地面流失率为 13.40%, 平均飘移率为 20.84%。

参 考 文 献

- 何雄奎, 严荷荣, 储金字, 等. 果园自动对靶静电喷雾机设计与试验研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 78-80.
HE Xiongkui, YAN Herong, CHU Jinyu, et al. Design and testing of the automatic target detecting, electrostatic, air assisted, orchard sprayer[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(6): 78-80. (in Chinese)
- 李超, 张晓辉, 姜建辉, 等. 葡萄园风送式喷雾机的设计与仿真分析[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2012, 43(4): 555-558.

- LI Chao, ZHANG Xiaohui, JIANG Jianhui, et al. Design of air-assisted vineyard sprayer and simulation analysis[J]. Journal of Shandong Agricultural University(Natural Science), 2012, 43(4):555-558. (in Chinese)
- 3 金鑫, 董祥, 杨学军, 等. 3WGZ-500型喷雾机对靶喷雾系统设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(7):21-27. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160704&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.07.004.
- JIN Xin, DONG Xiang, YANG Xuejun, et al. Design and experiment of target spraying system of 3WGZ-500 sprayer[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(7):21-27. (in Chinese)
- 4 王荣, 党革荣, 祁正梅, 等. 葡萄园喷雾机风机蜗壳结构改进与性能试验[J]. 农机化研究, 2015, 37(8):170-173.
- WANG Rong, DANG Gerong, QI Zhengmei, et al. Structure improving and performance experimenting of sprayer fan for vineyard orchard[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(8):170-173. (in Chinese)
- 5 李超, 张晓辉, 姜建辉, 等. 葡萄园立管风送式喷雾机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(4):71-78.
- LI Chao, ZHANG Xiaohui, JIANG Jianhui, et al. Development and experiment of riser air-blowing sprayer in vineyard[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(4):71-78. (in Chinese)
- 6 HONG S, ZHAO Lingying, ZHU Heping. CFD simulation of airflow inside tree canopies discharged from air-assisted sprayers[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2018, 149:121-132.
- 7 BURGIO G, MARCHESINI E, REGGIANI N, et al. Habitat management of organic vineyard in Northern Italy: the role of cover plants management on arthropod functional biodiversity[J]. Bulletin of Entomological Research, 2016, 106(6):759-768.
- 8 GIL E, ESCOLA A, ROSELL J R, et al. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors[J]. Crop Protection, 2007, 26(8):1287-1297.
- 9 GIL E, ESCOLA A. Design of a decision support method to determine volume rate for vineyard spraying[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2009, 25(2):145-151.
- 10 SHEN Yue, ZHU Heping, LIU Hui, et al. Development of a laser-guided embedded-computer-controlled air-assisted precision sprayer[J]. Transactions of the ASABE, 2017, 60(6):1827-1838.
- 11 宋坚利, 何雄奎, 张京, 等. “II”型循环喷雾机设计[J/OL]. 农业机械学报, 2012, 43(4):31-36. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20120407&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.04.007.
- SONG Jianli, HE Xiongkui, ZHANG Jing, et al. Design of II-type recycling tunnel sprayer[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(4):31-36. (in Chinese)
- 12 ZHU Heping, LIU Hui, SHEN Yue, et al. Spray deposition inside multiple-row nursery trees with a laser-guided sprayer[J]. Journal of Environmental Horticulture, 2017, 35(1):13-23.
- 13 宋淑然, 洪添胜, 孙道宗, 等. 风机电源频率对风送式喷雾机喷雾沉积的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1):153-159.
- SONG Shuran, HONG Tiansheng, SUN Daozong, et al. Effect of fan power supply frequency on deposition of air-assisted sprayer[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1):153-159. (in Chinese)
- 14 丁素明, 傅锡敏, 薛新宇, 等. 低矮果园自走式风送喷雾机研制与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(15):18-25.
- DING Suming, FU Ximin, XUE Xinyu, et al. Design and experiment of self-propelled air-assisted sprayer in orchard with dwarf culture[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(15):18-25. (in Chinese)
- 15 祁力钧, 赵亚青, 王俊, 等. 基于CFD的果园风送式喷雾机雾滴分布特性分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(2):62-67.
- QI Lijun, ZHAO Yaqing, WANG Jun, et al. CFD simulation and experimental verification of droplet dispersion of air-assisted orchard sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(2):62-67. (in Chinese)
- 16 李龙龙, 何雄奎, 宋坚利, 等. 果园仿形变量喷雾与常规风送喷雾性能对比试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(16):56-63.
- LI Longlong, HE Xiongkui, SONG Jianli, et al. Comparative experiment on profile variable rate spray and conventional air assisted spray in orchards[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(16):56-63. (in Chinese)
- 17 PASCUZZI S, CERRUTO E, MANETTO G. Foliar spray deposition in a “tendone” vineyard as affected by airflow rate, volume rate and vegetative development[J]. Crop Protection, 2017, 91:34-48.
- 18 邱威, 丁为民, 汪小昆, 等. 3WZ-700型自走式果园风送定向喷雾机[J/OL]. 农业机械学报, 2012, 43(6):63-67, 146. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20120612&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.06.012.
- QIU Wei, DING Weimin, WANG Xiaochan, et al. 3WZ-700 self-propelled air-blowing orchard sprayer[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6):63-67, 146. (in Chinese)
- 19 邱威, 顾家冰, 丁为民, 等. 果园风送式喷雾机防治效果试验[J]. 农业机械学报, 2015, 46(1):94-99.
- QIU Wei, GU Jiabing, DING Weimin, et al. Experiment on control effect of different pesticide concentration using air-assisted sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(1):94-99. (in Chinese)
- 20 曲峰, 盛希宇, 李熙, 等. 3WZF-400A型果园风送喷雾机改进设计[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(增刊):15-21. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2017s003&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.S0.003.
- QU Feng, SHENG Xiyu, LI Xi, et al. Improved design of 3WZF-400A orchard air-assisted sprayer[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(Supp.):15-21. (in Chinese)
- 21 GB/T 32244—2015 植物保护机械 乔木和灌木作物 喷雾量分布田间测定[S]. 2015.