

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.04.007

“Π”型循环喷雾机设计*

宋坚利 何雄奎 张京 刘亚佳 曾爱军
(中国农业大学理学院, 北京 100193)

【摘要】 针对篱壁式种植葡萄缺乏病虫害防治专业施药机具,农药利用率低等问题,设计了能够将未沉积在靶标上的农药雾滴截留回收再利用的“Π”型循环喷雾机,并测试了该喷雾机的药液回收率与冠层中药液沉积分布状态。结果显示:两侧喷杆交错喷雾和喷头上仰能够提高药液回收率 44.0% 和 18.4%,并能够增加冠层内部与叶片背面药液沉积量。栅格端面罩盖能够有效改变气流方向,提高药液回收率 10% 以上。

关键词: 循环喷雾机 沉积 药液回收率 设计
中图分类号: S491 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)04-0031-06

Design of Π-type Recycling Tunnel Sprayer

Song Jianli He Xiongkui Zhang Jing Liu Yajia Zeng Aijun
(College of Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract

Aiming at the shortcomings of specialized plant protection machinery for trellised vine and the low-level efficiency of pesticide application, a Π-type recycling tunnel sprayer for the liquid that was not retained by the leaves was developed. Spray recycling and deposit in canopy were measured. Results showed that it could increase chemical recovery rate up to 44.0% and 18.4% respectively and increase the deposition on the underside of leaves and leaved inside canopy by assembling booms interlaced and turning nozzles upward. Grid end shield could deflect air direction effectively to increase chemical recovery rate more than 10%.

Key words Recycling tunnel sprayer, Deposition, Chemical recovery rate, Design

引言

在葡萄生产管理环节中,喷施化学农药进行病虫害防治仍然是主要的防治手段。害虫和病原菌存在于冠层的内部和外部,叶片的正面与反面。因此,在施药过程中需要保证整个冠层的各个部分与叶片正、反面都有足够的药液沉积,如此才能够保证良好的农药防治效果。目前,在我国缺乏葡萄病虫害防治专业化施药机具,往往采用高压喷枪进行大容量喷雾,农药利用率仅为 15% ~ 20%^[1],大量农药以流失和飘失的方式而损失,对人身安全、食品安全、环境安全造成巨大危害。新型的果园植保机械应该

能够实现农药的低喷量、精喷洒、少污染、高工效和高防效喷洒,满足越来越高的环保要求^[2]。我国对果园植保机械的研究主要集中在果园风送喷雾机,山东农业大学、中国农业大学、南京农业大学等单位研制了果园风送喷雾机,并对风机参数优化、药液搅拌和自动对靶等技术进行了研究^[1,3-10]。目前,在欧美发达国家使用的果园喷雾机中,以装配轴流风机的传统果园风送喷雾机与导流式果园风送喷雾机作为主体,随着农药安全使用要求的不断提高,多风管定向风送喷雾机、循环喷雾机和自动对靶喷雾机等新型喷雾机被越来越广泛的应用,其中循环喷雾机能够利用药液回收装置拦截并收集未沉积的药

收稿日期: 2011-05-20 修回日期: 2011-08-22
* 国家自然科学基金资助项目(30800728,30971940)和国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2008AA100904)
作者简介: 宋坚利,讲师,主要从事高效施药技术与机具研究,E-mail: songjianli170@163.com
通讯作者: 何雄奎,教授,博士生导师,主要从事高效施药技术与机具研究,E-mail: xiongkui@cau.edu.cn

液,将其回收再利用,可节约 30%,减少飘失 90%,是目前最能满足环境友好喷雾作业要求的机型之一^[11~12]。循环喷雾机有多种形式^[13~14],较为常见的是采用“Π”型罩盖收集拦截未沉积药液,此类循环喷雾机也被称为“Π”型循环喷雾机或隧道式循环喷雾机。

本文针对我国篱壁式种植葡萄的特点,研制一种“Π”型循环喷雾机,并对药液回收率、雾滴在冠层中的沉积特性进行研究。

1 总体设计

1.1 整机结构

“Π”型循环喷雾机采用牵引式作业,通过传动轴连接拖拉机后动力输出轴驱动液泵,拖拉机液压输出端口与喷雾机油缸液路连接,驱动罩盖宽度调节油缸。“Π”型循环喷雾机液泵所需驱动功率大约 5.15 kW,药箱 600 L,加满药后喷雾机自重大约 1 500 kg,田间作业速度不大于 7 km/h,可以与中小功率轮式拖拉机配套。因此,确定“Π”型循环喷雾机的配套动力为 20 kW 以上的轮式拖拉机,要求配置有后动力输出轴与液压输出端口。

“Π”型循环喷雾机由机架、药箱、喷雾系统和药液回收系统组成,如图 1 所示。喷雾系统包括液泵、分配阀、竖直喷杆和管路等部件;药液回收系统由壁面罩盖、栅格端面罩盖、平板端面罩盖、顶部弹性遮挡、罩盖宽度调节油缸和药液回收器等部件组成。壁面罩盖、栅格端面罩盖、平板端面罩盖与顶部弹性遮挡形成一个隧道式的“Π”型罩盖,喷雾系统的竖直喷杆固定在壁面罩盖内部,作业时“Π”型罩盖跨在篱架型作物上,形成一个封闭空间,喷雾作业在这个封闭空间中进行。“Π”型罩盖宽度可以根据冠层尺寸进行调节,壁面罩盖由两个竖直壁面组成,靠近机身一侧的壁面固定,另一侧与罩盖宽度调节油缸一端联接,通过控制罩盖宽度调节油缸,调整“Π”型罩盖开度。端面罩盖安装在壁面罩盖两端,用于遮挡“Π”型壁面与篱架型作物冠层之间的空隙,壁

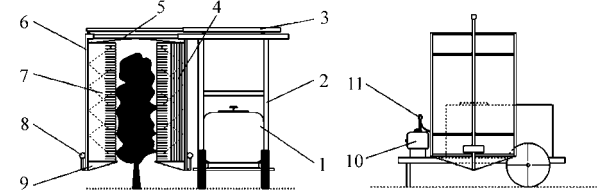


图 1 “Π”型循环喷雾机结构示意图

Fig. 1 Structural configuration of recycling tunnel sprayer

1. 药箱 2. 机架 3. 罩盖宽度调节油缸 4. 栅格端面罩盖
5. 顶部弹性遮挡 6. 壁面罩盖 7. 平板端面罩盖 8. 药液回收器 9. 承液槽 10. 液泵 11. 分配阀

面罩盖顶部安装弹性遮挡,能够防止雾滴从“Π”型罩盖顶部逃逸。“Π”型罩盖拦截脱离靶标区的雾滴,收集在承液槽中,然后通过药液回收器吸取承液槽中的药液回收至药箱。承液槽为漏斗状,固定在壁面罩盖底部,药液回收器吸液管安装在承液槽最底部,承液槽上端开口处安装有滤网,防止树叶等杂物堵塞药液回收器。药液回收器应用文丘里原理,利用负压吸取承液槽中的回收药液,为了防止药液倒流,在药液回收器吸液管底端安装有单向阀。

1.2 药液回收系统

“Π”型循环喷雾机液路系统如图 2 所示。药液从药箱流出,经液泵加压供液,一部分药液经过节流阀进入药液回收器主管路产生负压,使药液回收器吸入承液槽中的回收药液重新回到药箱,回流部分回到药箱对药液进行搅拌。另一部分药液通过分配阀调压分流,调压后的药液进入喷杆喷雾。喷雾管路系统在药箱加药口、液泵进口前和喷头前设置 3 级过滤,以保证液泵、阀门及喷头不被堵塞。

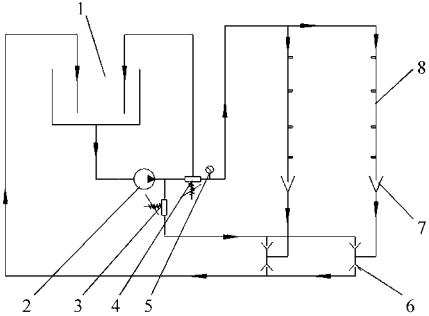


图 2 “Π”型循环喷雾机液路系统示意图

Fig. 2 Configuration of liquid recycling system in recycling tunnel sprayer

1. 药箱 2. 液泵 3. 节流阀 4. 分配阀 5. 压力表 6. 药液回收器 7. 承液槽 8. 喷杆

2 主要部件设计

2.1 液泵选择

液泵采用隔膜泵,这种泵工作时药液不与精密运动件接触,使用可靠性好,且具备可以短时间脱水运转的优点。

根据总体设计方案,“Π”型循环喷雾机安装有 8 个喷头,可以安装 01 ~ 05 号的扇形雾喷头、空心圆锥雾喷头和防飘喷头等,每个喷头的喷雾量为 0.50 ~ 2.48 L/min (0.5 MPa 压力下),总喷雾量为 6 ~ 20 L/min。考虑到药箱内药液搅拌的需要,一般搅拌流量为药箱容量的 5% ~ 10%。由于所选的药箱底部为圆形,有利于搅拌,因此确定搅拌流量为药箱容积的 5%。药箱容积为 600 L,所需搅拌流量为 30 L/min。

按照上述两部分流量的要求,所需隔膜泵排量为 36 ~ 50 L/min。循环喷雾机的药液回收装置通过回流药液在回收器内部产生负压以吸取承液槽中的回收药液,如果喷施药液的 90% 被回收,需要回收药液 5.4 ~ 18.0 L/min。药液回收器的主管流量与回收药液流量比约为 4:1,药液回收器主管流量为 21.6 ~ 72.0 L/min,因此选用的液泵排量需要满足 122 L/min,最终选用意大利 ANNOVI REVERBERI 公司生产的 AR135 型隔膜泵,该泵最大工作压力 2 MPa,工作转速 350 ~ 550 r/min,当工作转速 550 r/min、工作压力 1 MPa 时液泵排量为 127 L/min,能够满足设计要求,液泵所需驱动功率为 3.68 kW。

2.2 喷杆喷雾系统

对于采用篱壁种植方式的葡萄冠层而言,冠层从根部到顶部宽度均匀,所以可以将葡萄冠层看作是竖直平面作物,根据葡萄冠层结构特点决定采用喷杆喷雾系统。喷杆长 1 600 mm、喷头 4 个、喷头间距 500 mm。喷杆竖直安装在罩盖内部两侧壁面上,相向喷雾,顶端供液,底端安装截止阀用于清洗喷杆内的药液。喷头位姿可调,能够在水平和竖直 2 个平面上调整喷头上、下和前、后的喷雾角度。

“Ⅱ”型循环喷雾机中喷杆的安装位置会影响罩盖中流场,改变雾滴运动轨迹和沉积状态,从而影响药液回收率、药液沉积效果、药液飘失量和生物效果等,所以确定喷杆的安装位置十分重要。本研究中通过测试药液回收率与冠层中的药液沉积,以确定喷杆安装位置。

竖直喷杆的安装位置有两种方案,如图 3 所示。一种方案是竖直喷杆安装在壁面罩盖中心位置,朝向对面壁面中心喷雾;另一种方案是一个喷杆的安装位置靠近壁面罩盖前边缘,另一喷杆的安装位置靠近另一壁面罩盖的后边缘,相对交错喷雾,喷头雾流方向朝向对面壁面罩盖中心位置。

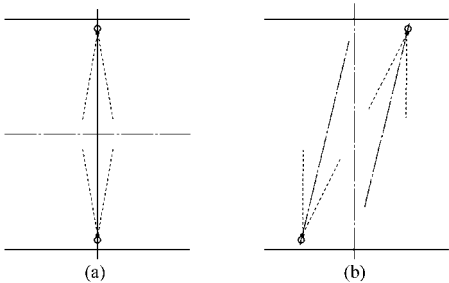


图 3 喷杆安装方案

Fig.3 Installing scheme of vertical booms

(a) 喷杆相对喷雾 (b) 喷杆交错喷雾

方案采用试验方法确定。“Ⅱ”型循环喷雾机药液回收率测试与冠层中药液沉积测试在北京长阳果园中进行,果园中葡萄行距 3 m、冠层高 2 m、冠层宽

度 0.50 m、距离地面 0.30 m 以下没有枝叶不需要喷雾。在喷杆供液管路上安装电子流量计测试试验过程中的喷雾量 Q_s ,用 2 个自吸泵吸取药液收集槽中的回收药液,用量筒测量回收药液量 Q_r ,以此计算药液回收率 $R = \frac{Q_r}{Q_s} \times 100\%$ 。测试时启动拖拉机、调整压力,先喷雾一段时间,将罩盖和收集槽润湿,并开动自吸泵吸取收集槽中的药液,使测试系统在每次测试时处于相同条件以确保测量精度。当收集槽内没有药液时开始测试,同时开动自吸泵吸液,喷雾结束后记录流量计流量,并用量筒测量回收药液量,计算 R 。

在果园中选择地势平坦,土壤类型及施肥等栽培条件一致,葡萄长势均匀的地块进行沉积试验。喷头为德国 LECHLER 公司生产的 ST110-03 型扇形雾喷头、喷雾压力 0.5 MPa、水平喷雾、机组前进速度 0.98 m/s 和喷量 690 L/hm²。试验区域长度 50 m,为防止处理间相互影响,每个处理区间隔两行。试验时正值葡萄成熟期,叶片宽大、冠层稠密。使用质量分数为 0.1% 的荧光示踪剂 BSF 水溶液代替农药喷雾,在每个处理行上间隔 10 m 选择一个布点区域。每个区域的布点如图 4 所示。葡萄冠层从上到下分为 4 层,每层又分外层和中间共 3 部分,总共 12 个点。每点选择 3 片叶子在正、反两面布置直径为 7 cm 的圆盘滤纸,用以收集沉积在叶子正、反两面的药液。待滤纸干后收集,用含酒精 6 mol/L 的去离子水洗脱,然后用荧光仪测试溶液中的 BSF 含量,计算滤纸上单位面积沉积量。

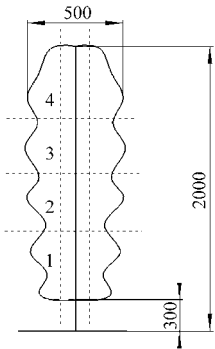


图 4 沉积布点示意图

Fig.4 Schematic diagram of deposition samples

喷杆相对喷雾和交错喷雾时冠层中药液沉积情况如表 1 所示。测试时风速 0 m/s、温度 16.9℃和相对湿度 81.7%。从表中数据能够发现,对于 2 种安装方案,叶子正面的药液沉积量都大于叶子反面的沉积量,冠层外侧叶子正面的沉积量大于冠层内层叶子正面的沉积量,冠层下部的沉积量大于冠层上部的沉积量。对比喷杆相对喷雾和交错喷雾

得到的药液沉积总量,喷杆相对喷雾时冠层上药液沉积总量略高于交错喷雾。数据显示,交错喷雾能够明显改善冠层内部叶子背面的沉积效果,冠层内部叶子背面的沉积量合计为 22.1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$,高于两侧沉积量 18.0 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 和 18.4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$,而相对喷雾时雾流在罩盖中间相撞,削弱了雾滴向内部冠层中的运动能力,使冠层内部沉积较少。比较两种喷雾方案时冠层叶子正面和叶子背面的沉积量的变异系数,双喷杆交错喷雾时叶片正、反面变异系数分别为 34.7% 和 24.7%;双喷杆相对喷雾时叶片正、反面变异系数分别为 44.4% 和 35.9%。交错喷雾变异系数小于相对喷雾,说明交错喷雾时冠层中药液沉积均匀性要好于相对喷雾。沉积试验过程中,交错喷雾和相对喷雾的回收率分别是 12.4% 和 8.6%,交错喷雾与相对喷雾相比提高药液回收率 44.0%。

表 1 冠层中 BSF 沉积量						
Tab.1 Deposition of BSF in canopy		$\mu\text{g}/\text{cm}^2$				
位置	双喷杆交错喷雾			双喷杆相对喷雾		
	左	中	右	左	中	右
叶子正面	层 1	12.9	10.7	16.5	17.0	18.2
	层 2	16.0	10.9	13.3	18.8	11.7
	层 3	11.7	10.6	12.5	16.0	7.0
	层 4	5.4	3.4	8.7	3.5	6.2
合计		46.0	35.6	51.0	55.3	43.1
叶子背面	层 1	4.9	7.7	5.4	8.0	5.7
	层 2	5.0	6.5	4.0	4.3	5.8
	层 3	3.9	4.0	3.9	3.2	2.9
	层 4	4.2	3.8	5.1	4.5	2.2
合计		18.0	22.0	18.4	20.0	16.6
总计		191.0			206.7	

比较喷杆交错喷雾和相对喷雾时的药液回收率和药液沉积效果看出,虽然交错喷雾时冠层上药液沉积总量略小于相对喷雾,但是差距不大,而交错喷雾较相对喷雾能够显著提高回收率,并且能够增加冠层中药液沉积均匀性,改善冠层内部、叶子背面沉积效果,所以综合分析确定双喷杆交错喷雾的方案最优。最终确定“Ⅱ”型循环喷雾机喷雾系统安装方案为双喷杆交错配置。

2.3 端面罩盖

端面罩盖的作用是减小通过“Ⅱ”型壁面与篱架型作物冠层之间空隙的气流对喷雾雾流的影响,达到减少飘失的目的。设计了 2 种端面罩盖,一种是平板端面罩盖,另一种是栅格端面罩盖。

2.3.1 平板端面罩盖

葡萄冠层宽度 0.5 m、喷头与壁面安装距离 0.1 m、作业时罩盖开度 1.5 m、每侧喷头距离冠层 0.40 m,所以设计平板端面罩盖宽度 0.5 m,紧靠壁面垂直安装,能够遮挡从喷头到冠层之间的所有空间。平板罩盖采用带有弹性的透明 PVC 薄板材制成,高 1.9 m,为了既能阻挡气流又不对枝叶造成损害,将平板罩盖外边缘设计为宽 500 mm,长 200 mm 的柔性指状遮挡,如图 5 所示。

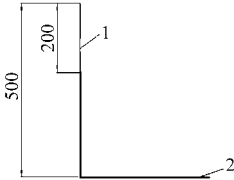


图 5 平板端面罩盖

Fig.5 Schematic diagram of flat end shield

1. 柔性指状遮挡 2. 罩盖壁面

2.3.2 栅格端面罩盖

栅格端面罩盖由栅格部分与柔性指状遮挡部分构成,总宽度 500 mm,栅格部分宽度 300 mm、高度 1.9 m,罩盖整体紧靠壁面垂直安装,如图 6 所示。栅格部分由 6 片宽 70 mm 的铝合金板材组成,栅格间距 50 mm、与框架夹角 30°。多片栅格形成偏转通道,能够改变通过风道的外界气流,使其运动方向与喷头喷雾方向一致,增加雾滴朝向冠层运动的动能,达到增加雾滴沉积、减少飘失的作用。柔性指状遮挡组成作用同平板端面罩盖相同。

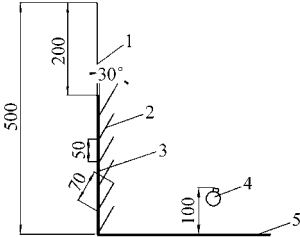


图 6 栅格端面罩盖示意图

Fig.6 Schematic diagram of grid end shield

1. 柔性指状遮挡 2. 栅格 3. 栅格罩盖 4. 喷头 5. 罩盖壁面

平板罩盖和栅格罩盖在喷雾机上的安装形式有多种,如图 7 所示。图 7a 中罩盖前、后都安装平板端面罩盖,这是目前商品化“Ⅱ”型循环喷雾机普遍采用的方式。图 7b 中迎风面安装栅格罩盖,背风面安装平板罩盖,栅格罩盖导流方向相对。图 7c 中安装方式与图 7b 类似,不同的是栅格罩盖导风方向一致,与雾流运动方向相同。图 7d 中迎风面和背风面安装形式相同,靠近喷头一侧安装栅格罩盖,栅格导风方向与雾流运动方向相同,另一侧安装平板罩盖。选定回收率 R 作为评价标准以确定端面罩盖安装

的最佳形式。为了消除冠层对结果的影响,回收率测试在一空旷无作物遮挡地区进行。喷头型号为 ST110-03,喷雾压力 0.5 MPa,水平喷雾,罩盖壁面间距 1.5 m,机组前进速度 0.98 m/s,喷雾机运动方向与风向相同,分别测试顺风 and 逆风时的回收率。

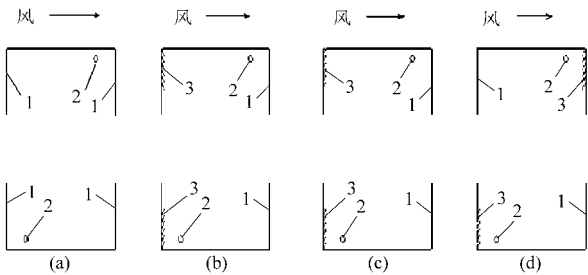


图 7 端面罩盖布置方式
Fig. 7 Installing scheme of end shields
1. 平板罩盖 2. 喷头 3. 栅格罩盖

表 2 为 4 种安装方式以及无端面罩盖喷雾时的药液回收率。测试时风速 2.3 m/s,温度为 18℃,相对湿度 72%。数据显示,增加端面罩盖后能够显著提高药液回收率,在使用栅格端面罩盖的 3 个方案中,图 7d 方案最优,同没有使用栅格端面罩盖的图 7a 方案对比,顺风与逆风时药液回收率分别提高 12% 和 10%。栅格端面罩盖确实能够有效改变气流方向,对雾滴进行输送,加速雾滴使其加速运动到对面罩盖壁面上,被拦截收集。因此,“Π”型循环喷雾机最终采用图 7d 方案。

2.4 喷头上仰角度

喷头上仰角度是指在竖直平面内,喷头朝向顶端或底端偏转的角度 θ 。喷头上仰角度的变化会影

表 2 不同罩盖安装形式时的药液回收率

Tab.2 Chemical recovery rate with different installing scheme of end shields %

风向	方案(a)	方案(b)	方案(c)	方案(d)	无罩盖
逆风	26.57	23.78	28.86	29.27	2.07
顺风	45.04	43.28	47.18	50.57	3.50

响雾滴运动初速度方向,使雾滴运动轨迹、雾滴与靶标撞击角度等发生变化,从而影响药液回收和沉积。设定喷头水平喷雾时 θ 为 0° ,向顶端偏转为正角,向底端偏转为负角。试验主要测试喷头上仰角度分别为 0° 、 $\pm 15^\circ$ 时的冠层中药液沉积分布、药液回收率 R 。试验时喷头型号为 ST110-03,喷雾压力 0.5 MPa、机组前进速度 0.98 m/s、喷量 690 L/hm²,“Π”型循环喷雾机喷杆相对交错喷雾,安装端面罩盖。药液回收率 R 、药液沉积分布测试方法同上,试验时为葡萄成熟期,叶片宽大,冠层稠密。

喷头上仰角为 15° 、 0° 和 -15° 时药液回收率分别为 28.3%、23.9% 和 22.2%,喷头上仰较水平喷雾能够增加药液回收率 18.4%。

喷头仰角不同时冠层中的药液沉积量如表 3 所示。从表中数据能够发现,随着 θ 增加冠层中药液沉积总量、叶子正面沉积量和叶子背面沉积量都随之增加。叶子正面沉积均匀性随 θ 增加而逐渐改善。叶子背面沉积均匀性在 θ 等于 15° 和 0° 时基本相同, θ 等于 -15° 时均匀性最差。所以综合分析,当 θ 等于 15° 时冠层中药液沉积均匀性最好。将喷头向上偏转后,冠层上部的药液沉积情况被改善, θ

表 3 喷头仰角不同时冠层中 BSF 沉积量

Tab.3 Deposition of BSF in canopy with different nozzle deflected angle

		15°				0°				-15°				μg/cm ²
位置		左	中	右	合计	左	中	右	合计	左	中	右	合计	
叶子正面	层 1	4.5	2.8	8.0	15.3	6.2	3.8	5.5	15.5	3.0	2.7	3.9	9.6	
	层 2	4.8	2.6	4.8	12.2	3.6	2.6	4.8	11.0	5.1	2.8	6.0	13.9	
	层 3	2.9	3.1	5.0	11.0	2.6	3.0	4.8	10.4	3.2	0.8	3.8	7.8	
	层 4	2.4	2.1	4.3	8.8	1.6	1.4	2.0	5.0	1.5	1.0	2.0	4.5	
	合计	14.6	10.6	22.1	47.3	14.0	10.8	17.1	41.9	12.8	7.3	15.7	35.8	
变异系数/%		42.20				44.80				52.40				
叶子背面	层 1	2.0	1.8	1.7	5.5	1.2	1.4	1.4	4.0	2.4	1.3	2.2	5.9	
	层 2	1.8	2.3	2.3	6.4	1.7	1.4	2.5	5.6	1.1	0.9	1.4	3.4	
	层 3	1.8	3.1	2.0	6.9	2.1	1.5	1.9	5.5	1.3	1.5	1.5	4.3	
	层 4	1.4	0.9	1.0	3.3	1.1	0.8	1.1	3.0	0.4	0.6	0.5	1.5	
	合计	7.0	8.1	7.0	22.1	6.1	5.1	6.9	18.1	5.2	4.3	5.6	15.1	
变异系数/%		32.10				31.50				48.20				
总计		69.4				60.0				50.9				

等于 15° 时水平 4 中叶子正面和背面沉积总量分别是 $8.8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 和 $3.3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, 都高于其他两种情况。对比冠层外侧和中间部分的沉积量能够发现当 θ 等于 15° 时冠层中间部分的叶子背面药液沉积量大于两侧沉积量, 证明将喷头向上偏转能够改变冠层内部的沉积量。

3 结论

(1) 研制的“ Π ”型循环喷雾机在实际生产中,

能够适应篱壁式葡萄植保生产要求。

(2) 两侧喷杆相对交错喷雾, 能够提高药液回收率 44.0%, 增加冠层内部以及叶片背面的沉积量。

(3) 栅格端面罩盖能够有效改变气流方向, 加速雾滴沉积, 提高药液回收率 10% 以上。

(4) 喷头上仰能够提高药液回收率 18.4%, 改善冠层中的药液沉积分布均匀性, 并增加冠层内部与叶片背面药液沉积量。

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 Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(6): 78 ~ 80. (in Chinese)
- 傅锡敏, 吕晓兰, 丁为民, 等. 我国果园植保机械现状与技术需求[J]. 中国农机化, 2009(6): 10 ~ 13, 17. Fu Ximin, Lü Xiaolan, Ding Weimin, et al. Present state and technical requirement about orchard plant protection machinery in China [J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2009(6): 10 ~ 13, 17. (in Chinese)
- 张晓辉, 郭清南, 李法德, 等. 3MG-30 型果园弥雾机的研制与试验[J]. 农业机械学报, 2002, 33(3): 30 ~ 33. Zhang Xiaohui, Guo Qingnan, Li Fade, et al. Development of 3MG-30 orchard mist sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(3): 30 ~ 33. (in Chinese)
- 陈艳巧, 张晓辉, 常金丽, 等. 轻型电动弥雾机喷头的设计[J]. 农业机械学报, 2007, 38(5): 58 ~ 61. Chen Yanqiao, Zhang Xiaohui, Chang Jinli, et al. Nozzle design for electric mist sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(5): 58 ~ 61. (in Chinese)
- 陈发元, 汪小岳, 丁为民, 等. 果树喷雾用圆盘风扇三维气流速度场数值模拟与验证[J]. 农业机械学报, 2010, 41(8): 51 ~ 55. Chen Fayuan, Wang Xiaochan, Ding Weimin, et al. Numerical simulation and experimental verification of 3-D air-velocity field of disk fan used in orchard sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(8): 51 ~ 55. (in Chinese)
- 赵东, 张晓辉, 蔡冬梅, 等. 基于弥雾机风机参数优化的雾滴穿透性和沉积性研究[J]. 农业机械学报, 2005, 36(7): 44 ~ 49.
- 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)
- 何雄奎, Kleisinger S. 喷雾机搅拌模型构建与应用[J]. 农业机械学报, 2007, 38(11): 36 ~ 39, 51. He Xiongkui, Kleisinger S. Agitation model for field sprayer and application[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(11): 36 ~ 39, 51. (in Chinese)
- 邹建军, 曾爱军, 何雄奎, 等. 果园自动对靶喷雾机红外探测控制系统的研制[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1): 129 ~ 132.
- 李丽, 宋坚利, 何雄奎. 农作物喷雾靶标自动探测器设计与应用[J]. 农业机械学报, 2010, 41(7): 54 ~ 56, 63. Li Li, Song Jianli, He Xiongkui. Design and application of crop automatic target detection device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(7): 54 ~ 56, 63. (in Chinese)
- Grzegorz D, Ryszard H. Environmentally friendly spray techniques for tree crops[J]. Crop Protection, 2000, 19(9): 617 ~ 622.
- Dirk R. Drift reducing sprayers—testing and listing in Germany[C] // 2003 ASAE Annual International Meeting, Paper 031095, 2003.
- Theriault R, Salyani M, Panneton B. Spray distribution and recovery in citrus application with a recycling sprayer[J]. Transactions of the ASAE, 2001, 44(5): 1 083 ~ 1 088.
- Ade G, Molari G, Rondelli V. Recycling tunnel sprayer for poesticide dose adjustment to the crop environment[J]. Transactions of the ASABE, 2007, 50(2): 409 ~ 413.