

网络出版时间:2018-04-20 16:29

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2018.09.019

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180420.1628.038.html

果园风送喷雾机的改进设计与 喷雾高度调控模型构建

翟长远^{1,2},徐 莎¹,John Long³,李瀚哲¹,张 波¹,朱瑞祥¹

(1 西北农林科技大学 机械与电子工程学院,陕西 杨凌 712100;2 农业部农业物联网重点实验室,陕西 杨凌 712100;

3 Department of Biosystems and Agricultural Engineering, Oklahoma State University, Stillwater, OK, USA 74078)

【摘 要】【目的】针对第一代果园喷雾机存在的风箱角度不能电动控制且调节精度不高、传动装置设计欠合理和体积偏大等问题进行改进,并建立喷雾高度调控模型,为新一代果园喷雾机的设计提供参考。【方法】对喷雾机导流风箱的固定方式、传动方案和通过性能进行了改进,并通过喷雾沉积分布试验及数学方程拟合,建立沉积分布重心高度、喷雾宽度与风箱角度之间的数学模型。【结果】与改进前相比,该喷雾机不仅支持风箱角度电动精确调控,而且其理论功耗还减少了 8%,长度尺寸减小了 32.6%。风箱旋转角度对喷雾机尺寸影响的测试结果表明,旋转角度对风箱组宽度有一定的影响,旋转角度为最大值 30°时风箱组宽度最大,为 0.95 m,但仍然小于喷雾机轮距 1.0 m;风箱旋转角度对喷雾机高度基本没有影响。改进后的喷雾机喷雾沉积分布试验表明,风箱与铅垂线夹角分别为 0°,15°和 30°时,喷雾沉积分布重心高度分别为 1.14,1.55 和 2.20 m,70.7% 的药量分别垂直集中分布于 0.72~1.56,1.15~1.94 和 1.71~2.69 m,拟合得到的沉积分布重心高度、喷雾宽度和风箱角度之间的数学方程均为线性方程,其 R^2 值分别为 0.982 和 0.996。【结论】改进后喷雾机支持喷雾高度电动精确调节;所建立的喷雾高度智能调控模型可为果园喷雾机的改进完善提供支持。

【关键词】 风送喷雾机;风箱旋转角;喷雾高度;调控模型;果园

【中图分类号】 S23

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2018)09-0148-07

Optimization design of orchard air-assisted sprayer and mathematical model for spray height control

ZHAI Changyuan^{1,2}, XU Sha¹, John LONG³, LI Hanzhe¹, ZHANG Bo¹, ZHU Ruixiang¹

(1 College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Key Laboratory of Agricultural Internet of Things, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3 Department of Biosystems and Agricultural Engineering, Oklahoma State University, Stillwater, OK 74078, USA)

Abstract: 【Objective】The first generation orchard sprayer with manually adjustable spraying height has shortcomings such as the air-assisted bellow rotation mechanism can not support an automatic control system, the adjustment accuracy of the air-assisted bellow is low, the design of the transmission is not very advisable, and the sprayer size is not small enough. In this study, an optimized orchard sprayer was developed, and a mathematical model for spray height control was established to support new precision sprayer design. 【Method】The air-assisted bellow rotation mechanism, transmission mechanism, and pass ability were improved. The relationship equations between the deposition height of spray orthocenter, the spray

〔收稿日期〕 2017-06-01

〔基金项目〕 国家自然科学基金项目(31201128);陕西省青年科技新星项目(2017KJXX-54);陕西省科技统筹创新工程计划项目(2016KTCQ02-14);西北农林科技大学海外提升计划项目

〔作者简介〕 翟长远(1982—),男,河南上蔡人,博士,副教授,主要从事智能农业装备技术研究。E-mail: zhaichangyuan@163.com

〔通信作者〕 朱瑞祥(1956—),男,陕西三原人,教授,主要从事农业机械化工程技术研究。E-mail: zrxjdxxy2006@sohu.com

width and the bellow angle were obtained by spray deposition distribution tests and mathematical equations fitting. 【Result】 Compared with the sprayer before optimization, the theoretical power consumption of the new sprayer was reduced by 8%, the length was decreased by 32.6%, and the adjustment of the bellow's angle was more accurate. The test of the sprayer size influenced by bellows rotation showed that the size of the sprayer would change when the bellows were rotated. The width of the sprayer was the biggest when the bellows were rotated by the largest angle of 30°. The biggest width was 0.95 m, less than the sprayer wheel distance of 1.0 m. The rotation angle of bellows almost had no effect on the height of the sprayer. The experiment of spraying deposition of the sprayer showed that when the bellow angles were 0°, 15° and 30°, the deposition centers were 1.14, 1.55 and 2.20 m, and 70.7% deposition was located at the heights of 0.72—1.56, 1.15—1.94, and 1.71—2.69 m, respectively. The fitting relationship equations between deposition height of spray orthocenter and bellow angle, and between spray width and bellow angle were linear with R^2 values of 0.982 and 0.996, respectively. 【Conclusions】 The optimized sprayer can support automatic control of its spraying deposition. The equations can be used as for automatic control of bellows angle to support orchard sprayer improvement.

Key word: air-assisted sprayer; rotatable bellows' angle; spray height; control model; orchard

果园中最主要的管理作业是病虫害防治,其工作量约占果树管理总工作量的 30% 左右^[1-3],而喷药作业质量和效果的优劣对保证果品质量、提高产值和降低生产成本等都有直接影响^[4-7]。风送喷雾是联合国粮农组织推荐的一种先进高效的施药技术,风送喷雾机是该技术最重要的装备,由于雾滴被风机吹出的气流强制性的吹向靶标,可有效地抵御自然风的干扰,提高雾滴穿透能力^[8-9]。

国外学者针对风送喷雾技术以及以风送喷雾装备为基础的对靶喷雾装备开展了大量研究。早在 2005 年, Giles 等^[10]研发了基于超声传感的对靶喷雾机,并在不同季节进行了一系列田间试验,结果表明对靶喷药能节省 15%~45% 的农药。随后多位研究者针对橄榄园、葡萄园、梨园和苹果园研究了风送喷雾技术,并研发了果园对靶风送喷雾机,田间试验结果表明风送对靶喷雾机在减少靶标外喷雾的同时还能增加果园靶标膛内药液的沉积量^[11-17]。随后国内的科研人员对于风送喷雾技术也做了大量的研究,内容主要集中在喷雾参数和外部环境对风送喷雾效果的受影响^[18-23]、风送喷雾机果园对靶喷雾探测及控制方法、对靶喷雾机的设计^[24-27]和针对我国果园实际情况的风送喷雾机创新性研制等方面^[28-30]。本课题组徐莎等^[30]设计了喷雾高度可调的果园风送喷雾机,该喷雾机可以根据实际喷雾需求通过改变风箱角度调节喷雾宽度,大大增强了喷雾机的通用性,但尚存在风箱调节机构不支持电动调控且调节精度不高、体积偏大、通过性差、传动设计不太合理、功耗较高等缺点,还有进一步改进完善

的必要。为此,本研针对果园风送喷雾机第一代样机存在的问题进行改进设计,通过试验获得喷雾重心高度和喷雾宽度的调节范围,并探寻喷雾重心高度、喷雾宽度和风箱角度之间的数学关系,旨在为喷雾高度可调式对靶风送喷雾机的改进和研发提供理论支持。

1 果园风送喷雾机的改进设计

1.1 第一代果园风送喷雾机样机

第一代果园风送喷雾机样机整机结构主要包括机架、药箱、行走轮、传动系统、风送系统和药液输送系统等部分^[30],其实物如图 1 所示,主要结构参数见表 1。



图 1 第一代果园风送喷雾机实物图
Fig. 1 Photo of first generation prototype air-assisted sprayer

表 1 第一代果园风送喷雾机的结构参数

Table 1 Structural parameters of first generation prototype sprayer

参数 Parameter	参数值 Value	参数 Parameter	参数值 Value
机体外形尺寸(长×宽×高) Sprayer size(Length width height)	2 150×900×1 600	轮胎宽度 Wheel width	100
轮距 Wheel base	1 100	轮胎外径 Wheel outer diameter	350
最小离地间隙 Min ground clearance	160		

1.2 果园风送喷雾机的改进设计

针对第一代果园风送喷雾机风箱角度不支持电
动控制且调节精度不高、体积偏大、通过性差、传动
设计不太合理、功耗较高等问题,进行了结构、尺寸
和材料等方面的改进设计,并完成了新型果园风送
喷雾机研发。

1.2.1 喷雾机传动机构的改进 在第一代风送喷

雾机传动机构的设计中,采用前后 2 个传动箱、1 个
传动主轴和 1 组带传动实现主要动力传递。前传动
箱由 1 对锥齿轮和传动轴组成,后传动箱由 6 个直
齿轮组成(其中包括 3 个过度齿轮),整个传动系统
理论计算功率为 5.25 kW。为了降低整个传动系统
的功耗,减小喷雾机体积,对传动系统进行改进,
改进前后喷雾机传动方案对比如图 2、3 所示。

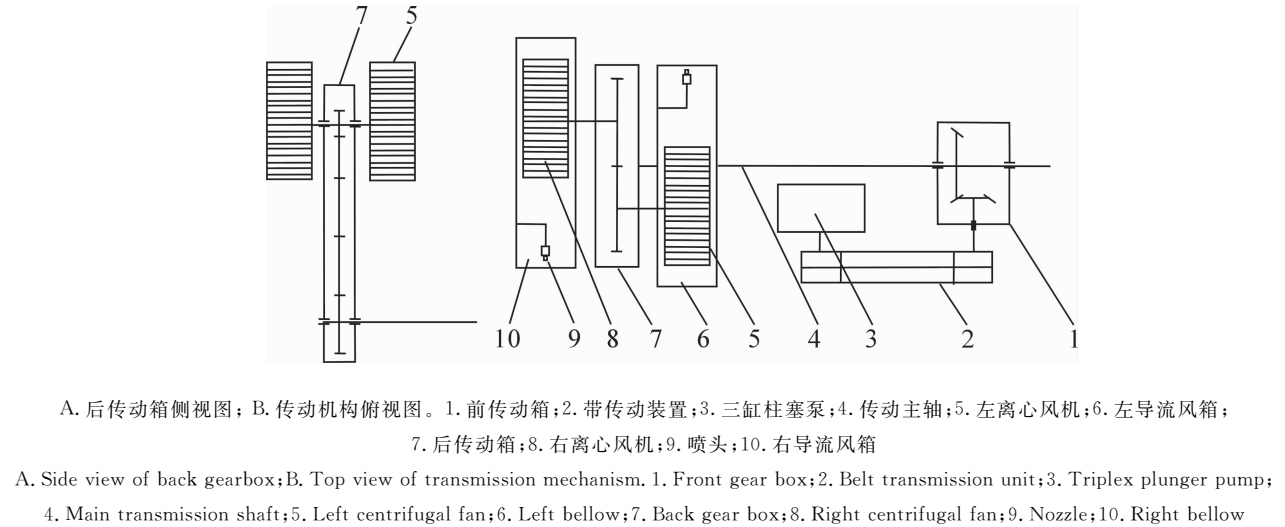


图 2 改进前果园风送喷雾机一代样机的传动机构

Fig. 2 Transmission mechanism of the optimized air-assisted sprayer before optimization

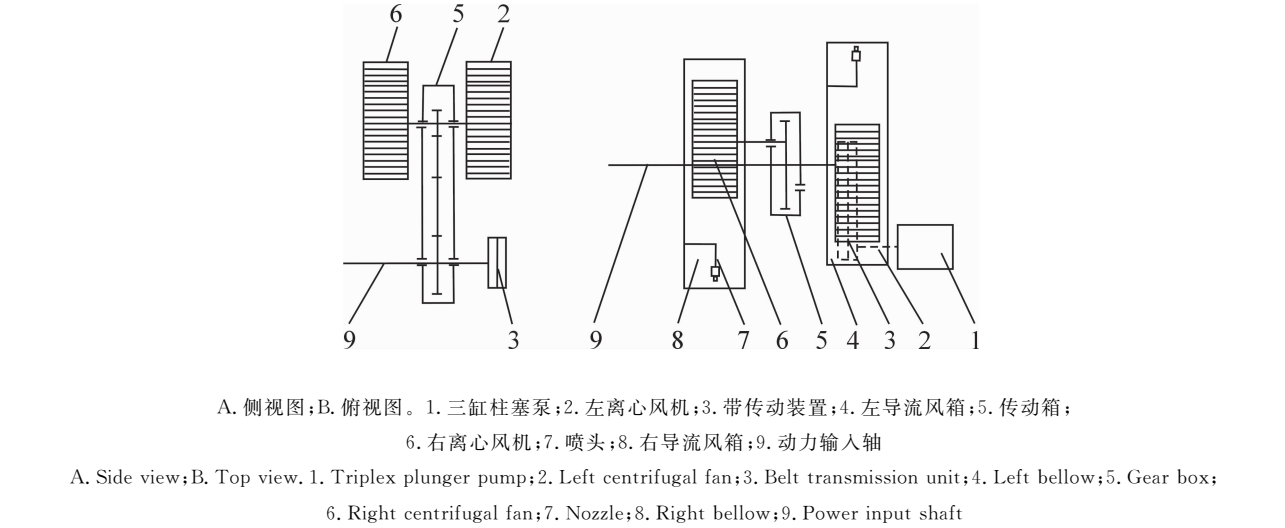


图 3 改进后果园风送喷雾机的传动机构

Fig. 3 Transmission mechanism of the optimized air-assisted sprayer after optimization

由图 2、3 可见,与改进前的传动机构相比,改进 后果园风送喷雾机的整个风送系统进行了前置,舍

弃了第一代喷雾机的中圆锥齿轮传动箱和传动主轴,缩短了整个动力传递路线,并在后传动箱中减少了 1 个过渡齿轮,改进后传动系统的理论功耗为 4.83 kW,较改进前降低了 8%,节约了材料,降低了传动机构的质量。

1.2.2 喷雾机导流风箱固定方式的改进 针对风箱调整角度精度较差的问题,对风箱固定方式进行了改进,结果如图 4 所示。

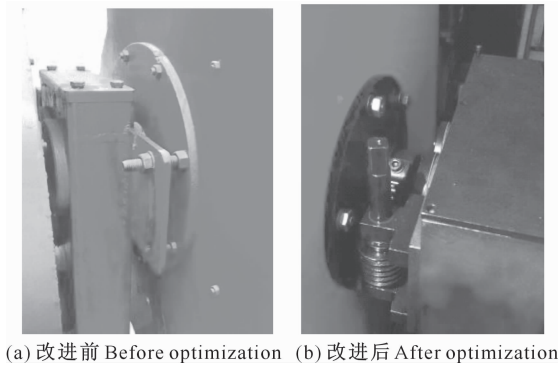


图 4 改进前后果园风送喷雾机风箱旋转机构的对比
Fig. 4 Air-assisted bellow rotation mechanism before and after optimization

第一代风送喷雾机的设计中,导流风箱通过法兰盘套筒安装在风机轴的端盖上并可绕其转动,法兰盘上安装有紧固螺栓和螺母,在后传动箱的上端边沿焊接有弧形槽吊耳,在导流风箱转动的过程中,法兰盘上的紧固螺栓在弧形槽中运动,当导流风箱旋转至工作位置时,旋紧螺母,固定导流风箱。在实际操作过程中,由于导流风箱自身较重,在旋转的过程中较难准确地控制风箱旋转的角度。改进后的风箱旋转机构蜗杆固定在传动箱的两侧,蜗轮固定在导流风箱的法兰盘上,在调整导流风箱的喷雾角度时,旋转蜗杆即可,且蜗轮蜗杆传动机构具有自锁的特点,故在旋转的过程中可减少由导流风箱自重而引起的摆动,使导流风箱的角度调整更加精确。

1.2.3 喷雾机通过性能的改进 风送喷雾机一代样机的药箱长度决定了喷雾机长度尺寸,其导流风箱的高度决定了整个喷雾机的高度尺寸。一代样机所选药箱体积为 200 L,安装尺寸长×宽×高为 1 000 mm×500 mm×500 mm,采用纵向安装方式,并设计了较长的传动主轴以实现动力由前传动箱向后传动箱的传递。这不仅加长了整个喷雾机的整机尺寸,提高了传动主轴对结构设计和材料的要求,而且增加了整个喷雾机的功率损耗。改进后的果园喷雾机,药箱容量为 150 L,其安装尺寸长×宽×高为

700 mm×500 mm×500 mm,另外为了缩小喷雾机整体体积,药箱采用横向安装的方式,与原有的设计相比,改进后喷雾机的长度缩减了 500 mm。此外,喷雾机一代样机导流风箱和药箱之间预留的安装空隙为 200 mm,在整个喷雾机样机完成整机装配之后,导流风箱与药箱之间仍有空间,对这一部分结构也进行改进,使得喷雾机在不影响各个部件安装的情况下结构更加紧凑合理。喷雾机改进后的长度尺寸为 1 450 mm,较改进前的 2 150 mm 缩小了 700 mm,减小了 32.6%。

一代果园风送喷雾机的性能试验表明,喷雾机的转弯半径较大,转向性能较差。为进一步提高喷雾机在果园中的作业效果,对其进行了改进。本研究所设计的果园风送喷雾机是由小型山地履带拖拉机牵引并提供工作动力,在履带式拖拉机车身长度和转向角固定的条件下,果园风送喷雾机的转向半径取决于铰接点至喷雾机行走轮固定轴的距离,故为了减小喷雾机的转向半径,需缩小铰接点至喷雾机行走轮固定轴的距离。改进前的一代样机铰接点至喷雾机行走轮固定轴的距离为 1 600 mm,而改进后的距离为 1 100 mm,转弯半径减小了 15.6%。

为了保证果园风送喷雾机一代样机的整体高度,选用了直径为 350 mm 的行走轮,行走轮固定轴安装于机架下方。性能试验结果表明,喷雾机一代样机在越过较大障碍物时仍存在一定的困难。改进后的果园风送喷雾机选用了直径为 500 mm 的充气轮胎,但为了不改变喷雾机机架的离地间隙,将行走轮的固定轴固定于喷雾机机架上方,根据车轮直径变化可以计算出改进后的喷雾机越障能力提高了 42.9%。

1.2.4 改进后的喷雾机整机及其试验 改进后的果园风送喷雾机结构参数如表 2 所示,喷雾机实物图见图 5。

表 2 改进后果园风送喷雾机的结构参数
Table 2 Structural parameters of the sprayer

after optimization		mm
参数 Parameter	参数值 Value	
机体外形尺寸(长×宽×高) Sprayer size(Length×width×height)	1 450×700×1 600	
轮距 Wheel base	1 000	
最小离地间隙 Min ground clearance	160	
轮胎宽度 Wheel width	120	
轮胎外径 Wheel outer diameter	500	



图 5 改进后的果园风送喷雾机实物图
Fig. 5 Photo of the optimized air-assistant sprayer

风箱旋转会改变风箱组的横向尺寸,进而会影响整个喷雾机的尺寸。为了获得旋转角度对喷雾机尺寸影响关系,测量了不同旋转角度下喷雾机风箱组宽度和喷雾机高度,结果如表 3 所示。从表 3 来看,旋转角度对风箱组宽度有一定影响,旋转角度为最大值 30°时风箱宽度最宽,为 0.95 m,但仍然小于喷雾机轮距 1.0 m;风箱旋转角度对喷雾机高度基本没有影响。

表 3 风箱旋转角度对果园风送喷雾机尺寸的影响
Table 3 Air-assistant sprayer size alteration at different bellow angles

旋转角度/(°) Bellow angle	风箱组宽度/m Bellows width	喷雾机高度/m Sprayer height
0	0.63	1.60
10	0.76	1.65
20	0.87	1.67
30	0.95	1.68

2 喷雾高度调控模型

为给喷雾高度自动调控的对靶喷雾机提供控制模型支持,需要获得沉积分布重心高度、喷雾宽度和风箱角度之间的数学模型。针对改进后的果园风送喷雾机,在西北农林科技大学机械与电子工程学院拖拉机实验室前进行了风送喷雾垂直沉积分布试验。雾滴收集采用比利时 AAMS 植保机械公司生产的 AAMS 垂直雾滴分布测量仪,该仪器在耐腐蚀的合金框架上的树状结构中安装了 20 个收集器,收集器按照自上而下的高度顺序依次编号,每个收集器长 0.2 m、宽 0.22 m,1 号收集器对应的沉积分布高度为 0.7~0.9 m,2~20 号收集器依次分别沿垂直轴间隔 0.2 m 交替分布在吸收墙两侧的横向支架上,收集器均设有底座和拦截液体排出口,其与沿测量仪延伸的收集管相连,每个收集器连接到与之编号相对应的 100 mL 量杯内,以便于读取试验结果,

标准测量装置的总高度为 4 m,总质量为 80 kg。合金框架上的树状结构在标准配置的 1.70 m 长轨道上可以往复直线运动。

针对行距 5 m 左右的现代果园,将雾滴分布测量仪平行布置于风箱左侧,使用 8.8 kW 履带式拖拉机为喷雾机提供动力,开启全部左侧喷头,调节回流管道上的流量调节阀,使喷雾管道上的喷雾压力稳定在 0.5 MPa。调节导流风箱的旋转角度分别为 0°,15°和 30°,进行果园风送喷雾机的垂直沉积分布试验,每次测量计时 30 s,读取各个量筒的沉积量,结果如图 6 所示。试验过程中风速为 0.2~0.8 m/s,温度为 19~20 ℃。

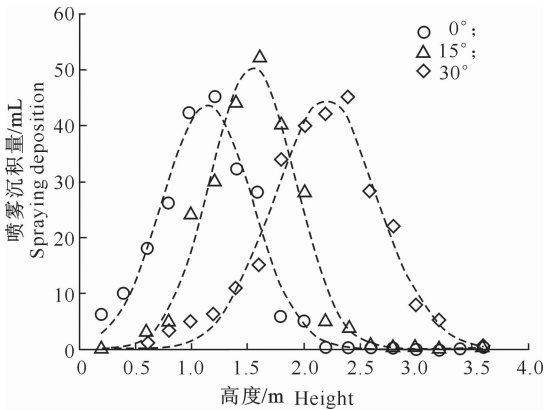


图 6 不同风箱角度果园风送喷雾机喷雾量的垂直沉积分布
Fig. 6 Vertical deposition distribution at different bellow angles of air-assistant sprayer

图 6 显示,在不同风箱角度下,果园风送喷雾机喷雾沉积的垂直分布均以中间沉积量大,两端沉积量较少,该喷雾机适宜于纺锤型果树果园的喷雾作业。随着风箱角度的增大,喷雾沉积高度提高,使用 Matlab 软件,通过 Gaussian 高斯曲线拟合获得风箱角度为 0°,15°和 30°时喷雾量的沉积分布方程分别为:

$$DPT_0 = 43.42e^{-(\frac{h-1.14}{0.566})^2}, \tag{1}$$

$$DPT_{15} = 50.28e^{-(\frac{h-1.55}{0.534})^2}, \tag{2}$$

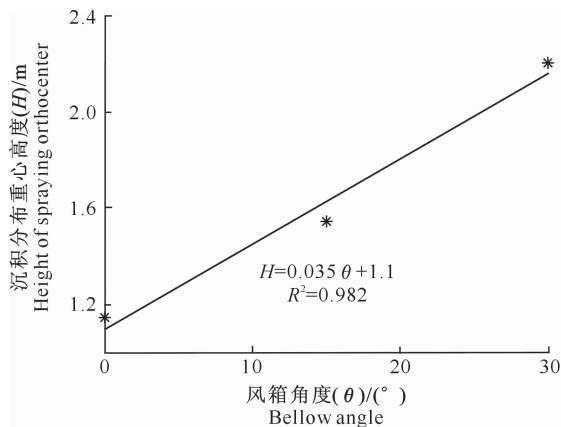
$$DPT_{30} = 44.58e^{-(\frac{h-2.20}{0.66})^2}. \tag{3}$$

式中: DPT_0 、 DPT_{15} 和 DPT_{30} 分别为风箱角度为 0°,15°和 30°时的喷雾沉积量,mL; h 为高度,m。

确定喷雾沉积量自下而上累积达到喷雾总量 50%的高度,对果园风送喷雾机喷雾的沉积分布描述具有重要意义,本研究将该高度定义为沉积分布重心高度。由公式(1)、(2)、(3)可求得风箱角度为 0°,15°和 30°时的沉积分布重心高度分别为 1.14,

1.55 和 2.20 m。以沉积分布重心高度为中心,通过积分可以获得风送角度为 0°,15°和 30°时,70.7%的药量垂直分布分别集中于 0.72~1.56,1.15~1.94 和 1.71~2.69 m 高度。对不同风箱角度喷雾沉积分布重心高度和喷雾宽度进行拟合,结果(图 7)得到其数学模型分别为:

$$H=0.035\theta+1.1, \quad (4)$$



$W=0.045\theta+1.3$. (5)
式中: H 为喷雾重心高度,m; θ 为风箱角度,(°); W 为喷雾宽度,m。喷雾沉积分布重心高度和喷雾宽度拟合直线的 R^2 值分别为 0.982 和 0.996,可见拟合效果良好,该模型可为喷雾高度和宽度的智能调控提供理论支持。

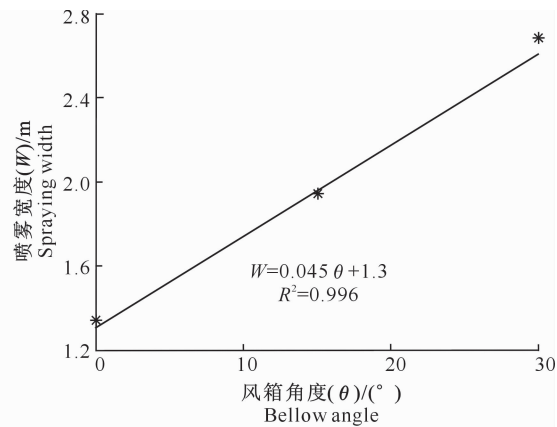


图 7 果园风送喷雾机风箱角度与喷雾沉积分布重心高度和喷雾宽度的关系

Fig. 7 Center and width of deposition at different bellow angles of air-assistant sprayer

3 结 论

1)改进后的果园风送喷雾机较改进前理论功耗减少 8%,长度尺寸减小了 32.6%,导流风箱的旋转角度调节更加精确。

2)风箱旋转角度对风箱组宽度有一定的影响,旋转角度为最大值 30°时风箱宽度最宽,为 0.95 m,但仍然小于喷雾机轮距 1.0 m;风箱旋转角度对喷雾机高度基本无影响。

3)喷雾垂直沉积分布试验结果表明,在导流风箱与铅垂线分别成 0°,15°和 30°的条件下,喷雾沉积量重心高度分别为 1.14,1.55 和 2.20 m,70.7%的药量垂直分布分别集中于 0.72~1.56,1.15~1.94 和 1.71~2.69 m 高度内。

4)获得了沉积重心高度、喷雾宽度与风箱角度之间的数学模型,2 个模型均为线性方程,其 R^2 值分别为 0.982 和 0.996,可为喷雾高度智能调控提供理论支持。

[参考文献]

[1] 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.
Li L, Song J L, He X K. Design and application of crop automatic target detection device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(7): 54-56.

[2] 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 C, Zhan X H, Jiang J H, et al. Development and experiment of riser air-blowing sprayer in vineyard [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(4): 71-78.
[3] 邱 威,丁为民,傅锡敏,等.果园喷雾机圆环双流道风机的设计与试验[J].农业工程学报,2012,28(12):3-17.
Qiu W, Ding W M, Fu X M, et al. Design and experiment of ring double-channel fan for spraying machine in orchard [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(12): 3-17.
[4] Lee W S, Alchanatis V, Yang C, et al. Sensing technologies for precision specialty crop production [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 74(8): 2-33.
[5] Piche M, Panneton B, Theriault R. Reduced drift from air-assisted spraying [J]. Canadian Agricultural Engineering, 2000, 42(3): 117-122.
[6] Nuytens D, Baetens K, De S M, et al. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics [J]. Biosystems Engineering, 2007, 97(3): 333-345.
[7] 吕晓兰,傅锡敏,宋坚利,等.喷雾技术参数对雾滴飘移特性的影响[J].农业机械学报,2011,42(1):59-63.
Lv X L, Fu X M, Song J L, et al. Influence of spray operating parameters on spray drift [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2011, 42(1): 59-63.
[8] 孙道宗,宋淑然,洪添胜,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.
Sun D Z, Song S R, Hong T S, et al. Effect of fan power supply

- frequency on deposition of air-assisted sprayer [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(1): 153-159.
- [9] Pai N, Salyani M, Sweeb R D. Regulating airflow of orchard air-blast sprayer based on tree foliage density [J]. Transactions of the ASABE, 2009, 52(5): 1423-1428.
- [10] Giles D K, Downey D. Reducing orchard spray rates and ground deposit by using tree sensors and sprayer control [J]. Annu Rev Agric Eng, 2005(4): 229-236.
- [11] Osterman A, Godeša T, Hocevar M, et al. Real-Time positioning algorithm for variable-geometry air-assisted orchard sprayer [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 77(98): 175-182.
- [12] Gil E, Escola A, Rosell J R, et al. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors [J]. Crop Protect, 2007, 26(8): 1287-1297.
- [13] Brown D L, Giles D K, Oliver M N, et al. Targeted spray technology to reduce pesticide in runoff from dormant orchards [J]. Crop Protection, 2008, 27: 545-552.
- [14] Perez-Ruiz M, Aguera J, Gil J A, et al. Optimization of agro-chemical application in olive groves based on positioning sensor [J]. Precision Agric, 2011, 12: 564-575.
- [15] Llorens J, Gil E, Llop J, et al. Ultrasonic and LIDAR sensors for electronic canopy characterization in vineyards: advances to improve pesticide application methods [J]. Sensors, 2011, 11(2): 2177-2194.
- [16] Jeon H Y, Zhu H, Derksen R, et al. Evaluation of ultrasonic sensor for variable-rate spray applications [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 75: 213-221.
- [17] Dekeyser D, Duga A T, Verboven P, et al. Assessment of orchard sprayers using laboratory experiments and computational fluid dynamics modeling [J]. Biosystems Engineering, 2013, 114(2): 157-169.
- [18] 董 祥, 杨学军, 严荷荣. 果园喷雾机喷雾量垂直分布测试系统 [J]. 农业机械学报, 2013, 44(4): 59-63.
Dong X, Yang X J, Yan H R. Test system of vertical spray distribution on orchard sprayer [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2013, 44(4): 59-63.
- [19] 宋淑然, 洪添胜, 孙道宗, 等. 风送式喷雾机变速喷雾雾滴沉积试验 [J]. 农机化研究, 2009(1): 166-169.
Song S R, Hong T S, Sun D Z, et al. Droplet deposition in variable-speed spraying experiment of air blast sprayer [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009(1): 166-169.
- [20] 戴奋奋. 风送喷雾机风量的选择与计算 [J]. 植物保护, 2008, 34(6): 124-127.
Dai F F. Selection and calculation of the blowing rate of air assisted sprayers [J]. Plant Protection, 2008, 34(6): 124-127.
- [21] 陈发元, 汪小昆, 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 F Y, Wang X C, Ding W M, 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.
- [22] 吕晓兰, 傅锡敏, 吴 萍, 等. 喷雾技术参数对雾滴沉积分布影响试验 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 70-75.
Lü X L, Fu X M, Wu P, et al. Influence of spray operating parameters on droplet deposition [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(6): 70-75.
- [23] 宋淑然, 夏侯炳, 卢玉华, 等. 风送式喷雾机导流器结构优化及试验研究 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 7-12.
Song S R, Xia H B, Lu Y H, et al. Structural optimization and experiment on fluid director of air-assisted sprayer [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(6): 7-12.
- [24] 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.
Zou J J, Zeng A J, He X K, et al. Research and development of infrared detection system for automatic target sprayer used in orchard [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(1): 129-132.
- [25] 李 丽, 李 恒, 何雄奎, 等. 红外靶标自动探测器的研制及试验 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(12): 159-163.
Li L, Li H, He X K, et al. Development and experiment of automatic detection device for infrared target [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(12): 159-163.
- [26] 翟长远, 赵春江, 王 秀, 等. 树型喷洒靶标外形轮廓探测方法 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 173-177.
Zhai C Y, Zhao C J, Wang X, et al. Probing method of tree spray target profile [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(12): 173-177.
- [27] 翟长远, 赵春江, 王 秀, 等. 幼树靶标探测器设计与试验 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 18-22.
Zhai C Y, Zhao C J, Wang X, et al. Design and experiment of young tree target detector [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(2): 18-22.
- [28] 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]. 农业机械学报, 2012, 43(4): 26-30, 44.
Qiu W, Ding W M, Wang X C, et al. 3WZ-700 self-propelled air-blowing orchard sprayer [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(4): 26-30, 44.
- [29] 邱 威, 丁为民, 申宝营, 等. 3WZ-700 型果园喷雾机通过性能分析 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(6): 63-67, 146.
Qiu W, Ding W M, Shen B Y, et al. Analysis on trafficability of 3WZ-700 orchard sprayer [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6): 63-67, 146.
- [30] 徐 莎, 翟长远, 朱瑞祥, 等. 喷雾高度可调的果园风送喷雾机的设计 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(11): 1-6.
Xu S, Zhai C Y, Zhu R X, et al. Design of an orchard air-assisted sprayer with adjustable spray height [J]. Journal of Northwest A&F University(Nat Sci Ed), 2013, 41(11): 1-6.