

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2020.10.021

丘陵山区茶园自动喷药装置研制

叶芙蓉¹, 王天昱², 张延尊¹, 邓兴旭¹, 罗书强¹

1. 西南大学 工程技术学院, 重庆 400716; 2. 东南大学 机械工程学院, 南京 211189

摘要:为解决丘陵山区茶园喷药技术落后、药液利用率低、农药大量浪费的问题,设计了一种丘陵山区茶园自动喷药装置.装置采用水平可调节式支架,可通过齿轮齿条平行轴传动机构,使支架水平方向可调节范围达 900~1 900 mm.控制系统以主控芯片 STM32F103 为核心,使用 C 语言编程实现对喷杆喷药距离的采集与处理以及对电机、电磁阀的控制,实现自动化喷药.实验结果表明:喷头到茶树冠表层的距离为 400 mm、喷头压力为 0.35 MPa 时喷药效果最佳;在该喷药距离下,空气阻力对喷头参数不造成影响;该喷药条件下喷雾角为 102.6°,雾滴粒径为 89.784 μm ,小于 100 μm 容易被植物叶面吸收,液量分布变异系数值均小于标准中规定的 50%,满足国家标准对机动喷雾机作业质量的要求.

关键词:丘陵山区;茶树;自动喷药;喷雾性能

中图分类号: S224.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2020)10-0164-10

我国西南地区是茶树的原产地,但西南地区的地形以丘陵山区居多,独特的地形限制了对茶园的自动化管理.茶树的病虫害防护在茶树的日常管理中尤为重要,传统的喷杆式喷药装置无法实现高效、精准、低污染的喷药,导致了农药的浪费和土地的污染. F Solanelles, Viktor Jejić 和 Aljaž Osterman^[1-3] 等人通过使用传感器及改良算法实现了喷雾器的精准对靶, A. Melese Endalew 和 M. Lesnik^[4-5] 等人通过构建 CFD 模型,通过风场分析改善风送装置,提高了喷雾附着效果.但国外研究人员对精准对靶和风送装置的研究仍在大中型拖拉机上展开的,而大中型拖拉机无法进入丘陵山区进行作业.国内研究人员姜红花^[6] 等人将物联网技术引入喷雾机中,进一步提高了喷药质量, Cai Jichen^[7] 等人运用网格划分的方法实时提取果树的几何特征,改善了喷药精度.我国在喷药领域的研究起步较晚,近几年数量显著增加,但是机械结构和算法复杂,无法广泛应用于丘陵山区.针对丘陵山区茶园喷药的管理,本文研制出自适性自动喷药装置,该装置机械结构紧凑、简单且能进入丘陵山区作业,该装置的控制系統主要由信息采集模块和执行器模块组成,通过软件控制来适应丘陵山区茶园不同地形及茶树形状,完成自动化喷药.

1 喷药装置结构与工作原理

1.1 支架设计与喷头布置

通过对重庆地区茶园进行实地勘察,茶树平均高度为 0.6 m,茶园茶垄宽度为 1~1.5 m,茶垄间距 0.5~0.55 m.茶毛虫、茶黑毒蛾等多种茶园害虫栖息比较隐蔽,其低龄幼虫多在茶树中下部成熟老叶的背面取食^[8],因此本文采用水平喷药和侧面喷药两种模式同时进行喷射,防治病虫害的危害.

根据对茶园实地勘察的结果,对可调支架进行机械结构设计,可调支架主要由底座、水平支架、侧面支架和传动装置组成.底座长度为 900 mm,齿条长度为 1 000 mm,侧面支架长度设为 750 mm.支架

收稿日期: 2020-02-20

基金项目: 重庆市社会民生科技创新专项项目(cstc2016shmszx80007).

作者简介: 叶芙蓉(1996—),女,硕士研究生,主要从事农业机械设计研究.

通信作者: 罗书强,博士,副教授,硕士研究生导师.

整体结构如图 1 所示. 在底座布置两个喷头, 喷头间隔 500 mm, 两侧面支架分别布置 1 个喷头. 喷头布置如图 2 所示.

低容量喷雾适用于防治农作物页面病虫害, 根据《NY/T650~2013 喷雾机作业质量》规定, 低容量喷雾机每公顷施液量应小于 450 L, 扇形喷头 VP110-02 在车速 8 km/h 下的理论喷液量为 98 L/hm², 满足低容量要求, 本文选用扇形喷头 VP110-02 用于茶树树冠方向和茶树侧面方向上的喷药.

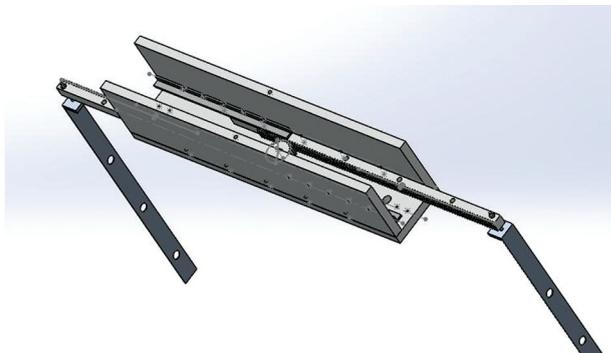


图 1 支架整体结构

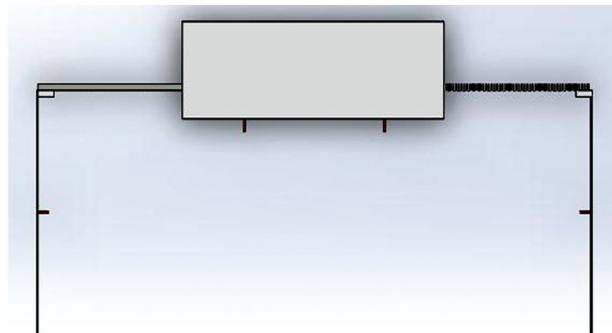


图 2 喷头布置示意图

1.2 喷药回路系统性能参数

本文所选扇形喷头 VP110-02 的最大流量为 0.4 L/min 且使用压力不低于 0.3 MPa, 喷药装置一共设有 4 个喷头, 因此电动泵的流量不小于 1.6 L/min, 且需提供的压力不低于 0.3 MPa, 电磁阀使用压力不低于 0.3 MPa.

查阅《农业机械设计手册》^[9], 得到估算药箱有效容积公式:

$$\Delta = \frac{3QL}{50v} \quad (1)$$

式中: Q 为常用喷量(L/min), v 为机组平均作业速度(km/h), 扇形喷头 VP110-02 在 $v=8$ km/h 下的常用喷量 $Q=0.4$ L/min, 茶园一条茶树垄的距离约为 20 m, 设定喷药作业一个周期内工作 100 个来回, 则工作 100 个来回的总行程 $L=4\ 000$ m. 即药箱的有效容积为 $\Delta=43$ L.

为满足喷药流量和压力的要求, 喷药回路系统主要由 24 V 蓄电池、DHE-7501 直流电动泵、供药管路、43 L 药箱、CJV23-C12A1 电磁阀及扇形喷头 VP110-02 组成. 喷药回路系统主要技术参数如表 1 所示.

表 1 喷药回路系统主要技术参数

部件名称	型号	工作电压/V	使用压力/MPa	最大流量/(L·min ⁻¹)	功率/W
电动泵	DHE-7501	DC12	0.5	1.8	20
电磁阀	CJV23-C12A1	DC12	0.8	—	5
蓄电池	BT-HSE-5-24/HL	24	—	—	—
扇形喷头	VP110-02	—	0.3	0.4	—

1.3 齿轮齿条传动设计

本文设计的传动为平行轴传动, 利用齿轮齿条相互紧密配合, 通过步进电机驱动, 使得喷药支架同步移动, 步进电机型号 57HB113-401A, 转矩 3.6 N·m, 额定电流 4A. 初选齿轮齿条参数如表 2 所示.

表 2 齿轮齿条初选参数

参 数	齿轮	齿条	参 数	齿轮	齿条
材料	16MnR	Q235	分度圆直径(d)/mm	72	—
模数(m)/mm	3	3	齿顶高(h_a)/mm	3	3
齿数(z)	24	60	齿根高(h_f)/mm	3.75	3.75
压力角(α)/°	20	20	齿距(p)/mm	3 π	3 π
齿宽(b)/mm	25	20	齿厚(s)/mm	1.5 π	1.5 π

将建立的三维齿轮齿条模型导入 Simulation 中, 根据表 2 设定材料属性, 进行网格划分, 齿轮网格单元大小为 10 mm, 齿条网格单元大小为 12 mm. 选取齿轮齿条的相接触面组, 采用无穿透接触, 对两齿条施加固定几何体约束, 齿轮施加固定铰链约束. 确定齿轮的加载方式为扭矩 $T=3.24 \text{ N} \cdot \text{m}$. 运行分析后得到齿面接触疲劳强度分析结果如图 3 所示, 材料 Q235 常温下的最大许用应力为 235 MPa, 齿轮齿条接触面最大应力为 88.077 MPa, 小于 235 MPa, 满足设计要求.

将建立的三维齿轮模型导入 Simulation 中, 同样根据表 2 设定材料属性, 进行网格划分, 齿轮网格单元大小为 10 mm. 对齿轮施加固定几何约束, 确定齿轮的加载方式为力, 水平方向分力大小为 42.5N, 竖直方向分力大小为 15.5 N, 运行分析后得到齿轮应力分布云图如图 4 所示, 材料 16MnR 常温下的最大许用应力为 325 MPa, 齿根处弯曲应力最大值为 3.86 MPa, 小于 325 MPa, 满足设计要求.



图 3 齿面接触疲劳强度分析结果

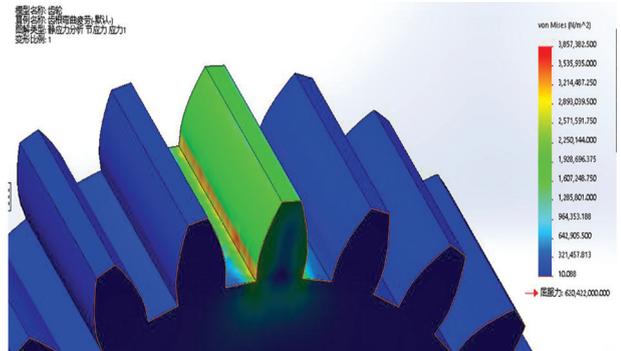
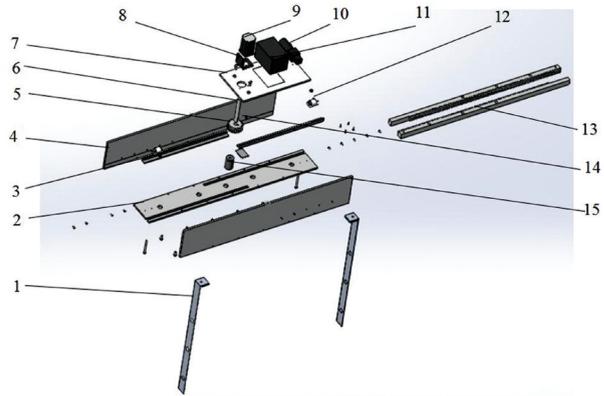


图 4 轮齿应力分布云图

1.4 喷药装置结构组成

该装置主要由可调支架和自动控制系统两部分组成. 喷药装置机械结构爆炸图如图 5 所示, 喷药装置实物图如图 6 所示.



- 1. 竖直杆; 2. 底座; 3. 固定块; 4. 滑块挡板; 5. 齿轮; 6. 传动轴;
- 7. 薄板; 8. 电机支架; 9. 步进电机; 10. 蓄电池; 11. 电动泵; 12.
- 电磁阀; 13. 齿条; 14. 键; 15. 联轴器.

图 5 喷药装置机械结构爆炸图



图 6 喷药装置实物图

1.5 工作原理

茶园喷药机械进入茶园后, 喷药装置主控电路驱动超声波发射电路发射信号, 超声波信号经过茶树冠树层的漫反射被超声波接收电路接收, 转化成电压传回主控电路, 主控芯片通过软件对采集的数据进行处理, 判断喷头是否在喷药规定范围内, 若在规定范围内, 驱动电路打开电磁阀, 若不在规定范围内, 主控电路驱动步进电机, 步进电机通过传动装置调节支架宽度, 使得喷杆在规定范围内, 再驱动电路打开电磁阀, 完成自动喷药.

2 控制系统设计

控制系统包括信息采集模块和执行器模块, 本文以 STM32F103 作为微控制器, 控制系统各模块间通过 CAN 总线进行通讯. 信息采集模块通过速度传感器与超声波传感器对茶园管理机行走速度和喷药杆与茶树之间的距离进行采集. 执行器模块主要实现对电动机和电磁阀的控制. 该控制系统硬件组成框图如图 7 所示, 控制系统硬件实物如图 8 所示.

2.1 信息采集模块

超声波具有振幅小、波长短、方向性集中等优点, 一般用于外型轮廓的探测^[10]. 超声波模块测距是通过 IO 触发测距, 给控制端口(Trig)一个大于等于 $10 \mu\text{s}$ 的高电平信号, 模块自动发射 8 个 40 kHz 的方波, 自动检测信号返回, 有信号返回通过 IO 输出高电平, 高电平持续的时间就是超声波从发射到接收的时间. 所测距离即

$$d = (t * u) / 2 \quad (2)$$

u : 声速 $340(\text{m/s})$; t : 高电平持续时间(ms).

回响电平输出与所测距离成正比. 超声波测距受环境影响小、精度高、价格廉价, 综合考虑传感器成本及使用环境^[11-12], 本文选用 HC-SR04 超声波测距模块如图 9 所示, 束波角 15° , 上下各 7.5° , 测量范围 $20 \sim 4\,500 \text{ mm}$.



图 8 控制系统硬件实物图

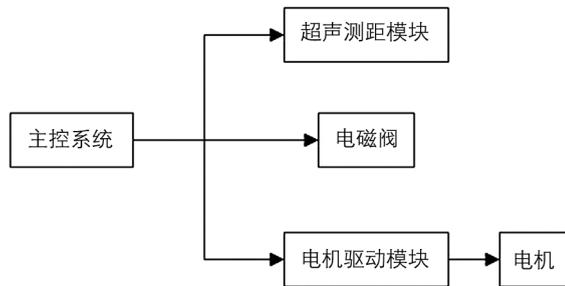


图 7 控制系统硬件组成框图



图 9 超声测距模块

2.2 执行器模块

2.2.1 电动机驱动电路

装置选用 DM542 电机驱动器, 步进脉冲信号输入接口 PUL 和方向电平信号输入接口 DIR 采用共阴极接法, 使能脚 ENA+ 与 ENA- 悬空, 通过改变 PUL 和 DIR 端口的高低电平实现电机的正反转.

超声波测距模块将数据传给 MUC, MUC 通过软件分析比较, 控制电机的正反转.

2.2.2 电磁阀驱动电路

本文采用常闭式两位两通直动式直流电磁阀控制喷头的开闭. 电磁阀的驱动电路利用 L298N 芯片的开关特性, 含两个 H 桥的高电压大电流全桥式驱动器, 具有独立双通道使能端, 实现对两个电磁阀的控制.

3 控制系统软件设计

控制系统软件在 uVision4 开发平台上用 C 语言开发, 分为信息采集和处理模块、电磁阀调节器模块和

电机控制模块.

3.1 信息采集和处理

超声波模块的控制端口 Trig 和接收端口 Echo 分别与单片机的外部中断口 P3.2 和 P3.3 连接, 通过定时和中断计数的方法获取距离. 外部中断判断回波电平, 定时器中断用作超声波测距计时. 系统时钟为 1/8 晶振, 定时器为 12 分频. 测量结果的高 8 位与寄存器的低 8 位合成 16 位数据 distance_data, 据超声波测距原理 $Y(m) = (X * 344) / 2$, 即 $X(s) = (2 * Y) / 344 = 0.0058 * Y$, 从上述关系式中可得到定时器得到的定时时间(us)除以 580 等于所测距离(mm), 所以测量距离为:

$$(distance_data * 12) / 580$$

测距程序如下:

```
distance_data=outcomeH;
distance_data<<=8;
distance_data=distance_data|outcomeL;
distance_data*=12;
distance_data/=580;
```

3.2 电机控制

本文所选步进电机 60HB102-401A 为二相四线型, 即该步进电机基本步距角为 1.8° , 电机转一圈需要给步进电机驱动器 $360^\circ / 1.8^\circ = 200$ 个脉冲. 本文所设计的齿轮齿条传动机构中, 齿轮的分度圆直径为 72 mm, 则电机转一圈齿条的行程为 $72 \times 3.14 \times 1 = 226$ mm. 设定每次给步进电机 100 个脉冲, 齿条对应的行程为 113 mm.

当接口 PUL=1 时, 电机正转, 缩短齿条行程; 当接口 PUL=0 时, 电机反转, 增加齿条行程. 电机的正反转由喷杆的位置决定, 设定超声波测距模块所测距离在 300~500 mm 内时为检测到茶树信号; 若超声波测距模块所测距离 < 300 mm, 给步进电机 100 个脉冲信号, 接口置 0 驱动电机反转半圈后, 再采集超声波测距模块距离与 300 mm 比较; 若超声波测距模块所测距离 > 500 mm, 给步进电机 100 个脉冲信号, 接口置 1 驱动电机正转转半圈后, 再采集超声波测距模块距离并与 500 mm 比较. 直到超声波测距模块所测距离在 300~500 mm 范围内时, 为检测到茶树信号, 打开电磁阀开始喷药.

3.3 电磁阀控制

单片机的输出控制口 P1.0 和 P1.2 与电磁阀驱动电路芯片 L298 的 IN1 和 IN3 端口连接. 系统初始化后检测 P1.0 口的状态, 超声测距信号传给单片机 P1.0 口, 若测量距离在设定范围内, 则 P1.0=0, 根据单片机信号处理, 将 P1.1 与 P1.2 口置 0, 电磁阀打开, 喷头工作; 若测量距离在设定范围外, 则 P1.0=1, 单片机将 P1.1 与 P1.2 口置 1, 电磁阀关闭, 喷头停止工作.

4 实验与结果分析

4.1 实验条件

喷雾性能综合试验台, 黑龙江省农业机械工程科学研究院研制, 型号 WFS-II, 液体体积测量精度 ± 2 mL, 喷杆上下移动范围 300~700 mm, 喷雾角测量精度 $\pm 1^\circ$, 雾滴直径准确性误差 < 3%, 集雾槽间距 50 ± 0.5 mm, 配套动力 7 kW, 水箱容积 280 L. 在田间测试喷雾机的喷雾性能时喷头的压力与流量、喷雾角、喷洒的均匀性无法有效并精准测量, 而在试验室内的喷雾性能综合试验台上利用计算机视觉图像处理技术、超声波精确测距技术、传感器耦合技术和计算机综合控制技术, 可以自动并精确地测量各个数据.

实验主要包括对扇形喷头的参数、雾滴粒径大小和喷雾均匀性测试. 本文定义喷头到茶树冠表面的距离为喷药距离, 喷药距离和流量压力是影响实验数据的两因素, 本文采用两因素方差分析法, 并考虑两因素之间的交互作用对实验数据进行统计处理. 实验平台如图 10 所示, 喷杆上安装两个扇形喷头 VP110-02, 如图 11 所示, 两喷头之间的距离为 500 mm.



图 10 喷雾性能综合实验平台



图 11 喷雾性能综合实验平台喷头位置图

4.2 喷头参数测定

实验采用工业黑白数字摄像头, 分辨率: 640 × 480 60FPS, 定焦镜头焦距: 8 mm. 用量角器在闪光摄影图片上进行测量, 测量在不同高度(h)下雾化微喷头的喷射范围, 喷药半径(r)与喷射角度(θ). 摄像机所采集到的图片如图 12 所示, 实验测得数据如表 3 所示.

表 3 喷头参数数据

序号	h/cm	r/cm	$\theta/^\circ$
1	20	24.4	102.6
2	23	26.3	97.6
3	26	28.0	94.3
4	30	30.7	91.4
5	34	32.5	87.5
6	38	34.7	84.8
7	42	36.8	82.5
8	48	39.9	79.5



图 12 闪光摄影喷雾角图

对每一个液滴进行受力分析, 液滴水平方向上仅受到空气阻力 f_x , 竖直方向上受到向下的重力 mg 以及向上的空气阻力 f_y . 由牛顿第二定律可得

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} = -k \frac{dx}{dt} \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} = mg - k \frac{dy}{dt} \end{cases} \quad (3)$$

对公式进行分离变量, 两边同时积分后带入初始条件即水平方向初速度 $V_x = V_0, V_y = 0$, 得到速度随时间的变化规律, 将速度变换为坐标对时间的积分, 可得位置随时间的变化为

$$\begin{cases} x = \frac{mv_0}{k} \left[1 - \exp\left(-\frac{k}{m}t\right) \right] \\ y = \frac{mg}{k}t + \frac{m^2 g}{k^2} \left[\exp\left(-\frac{k}{m}t\right) - 1 \right] \end{cases} \quad (4)$$

由式(4), 通过 matlab 中的 solve 函数将参数方程化为 y 关于 x 的函数, 运行程序后即可得到实际喷药过程中喷洒范围坐标函数关系为

$$y = -\frac{mg}{kv_0}x - \frac{m^2 g}{k^2} \ln\left(1 - \frac{k}{mv_0}x\right) \quad (5)$$

设 $a = -\frac{mg}{kv_0}, b = -\frac{m^2 g}{k^2}, c = -\frac{k}{mv_0}$, 则式(5)可化为

$$y = ax + b \ln(1 + cx) \quad (6)$$

式(6)为考虑空气阻力时液滴在空中运动的轨迹,即喷雾距离(y)与喷药半径(x)关系实际模型,使用 MATLAB 软件将表 4 中的喷头参数数据进行拟合运算,在 95% 的置信区间内拟合结果为

$$y = -93.334x - 460 \ln(1 - 0.2029x) \quad (7)$$

统计结果见表 4。

表 4 实际模型拟合统计结果

方差	决定系数	校正后的决定系数	标准差
7.615e-05	0.998 8	0.998 6	0.003 562

将样本点、理想曲线与实际曲线表现在一张图中,如图 13 所示。

从图 13 中得出结论:当喷射距离(喷头距茶树冠层表面的距离)在 0~10 m 范围内,空气阻力对喷射半径的影响可以忽略不计,即同一高度下理想喷射半径和实际喷射半径相同;当喷射高度超过 10 m 时,受空气阻力的影响,同一高度下实际喷射半径比理想喷射半径小。

4.3 雾滴粒径大小测定

喷雾机械喷出的药液呈雾滴状态。雾滴的类型可根据雾滴粒径的大小分为烟雾滴(小于 20 μm)、弥雾滴(50~100 μm)、细雾滴(101~200 μm)和中等雾滴(201~400 μm)等。在喷杆上装上扇形喷头 VP110-02,由控制台控制扇形喷头 VP110-02 左右移动,喷头最大移动速度 3 m/s,实验时使喷头通过采样皿上方一次,通过 Winner 激光粒度仪(济南微纳颗粒仪器股份有限公司,型号 Winner319B,电源 AC220V 50HZ)逐个数出所有采样皿的相同区域内雾滴的数量,并测定雾滴的粒径。实验所得数据处理结果如表 5 所示。

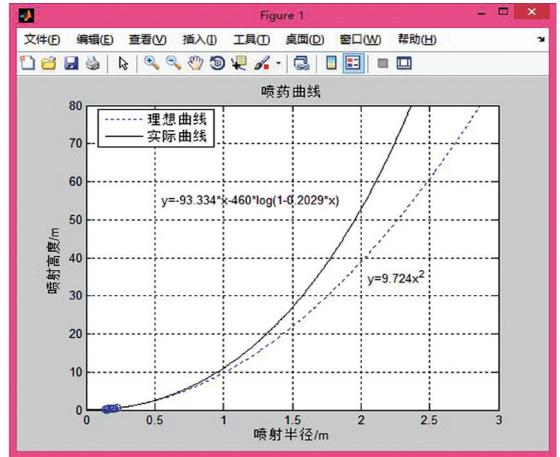


图 13 拟合曲线示意图

表 5 雾滴粒径测量结果

压力/MPa	0.15	0.25	0.35
X10/ μm	51.669	49.782	43.840
X50/ μm	146.884	101.198	89.784
X90/ μm	175.592	162.708	152.708
NMD/ μm	109.888	89.182	84.306
VMD/ μm	146.884	101.198	89.784
DR	0.748	0.881	0.939
SMD/ μm	103.709	87.028	76.622
S/V(cm^2/cm^3)	689.434	683.065	578.542
拟合误差	0.010	0.010	0.009

注: X10: 按直径大小排列,体积累积达到总体积的 10% 时的雾滴直径; X50: 按直径大小排列,体积累积达到总体积的 50% 时的雾滴直径,也称体积中径; X90: 按直径大小排列,体积累积达到总体积的 90% 时的雾滴直径; NMD: 数量中径,按雾滴数量累积达到全部雾滴数的 50% 的雾滴直径; VMD: 体积中径,按直径大小排列,体积累积达到总体积 50% 的雾滴直径,也就是 X50; SMD: 某一直径雾滴的体积与表面积之比等于全部取样雾滴的体积之和与表面积之和的比,则此雾滴的直径即为雾滴群的沙脱平均直径; DR: $DR = NMD/VMD$,即扩散比。

从表中数据可以得出结论:雾滴的体积中径随着压力的增大而变小,扩散比随着压力的增大而变大。因为雾滴粒径小于 100 μm 时,更容易被植物吸收, $DR > 0.67$, DR 越接近 1 时,雾滴的粒径越均

匀, 所以本文设定喷头压力为 0.35 MPa, 喷头压力为 0.35 MPa 时的 VMD(体积中径)为 89.784 μm , 小于 100 μm , 利于植物叶面的吸收.

4.4 分布均匀性测定

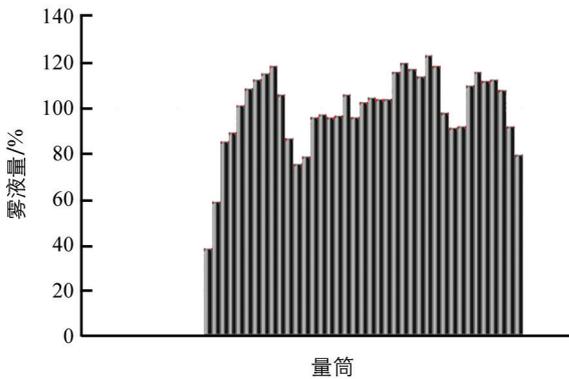
该实验使用喷杆进行实验, 喷杆上共有 2 个喷头, 喷头下方是若干个直径为 50 mm 的采样皿, 采样皿收集的液体滴入相应试管内, 如图 14 所示, 超声波液位传感系统自动读取试管内液量, 如图 15 所示, 超声波液位传感器型号 NU40A10TR-1, 测量范围 20~2 000 mm, 重复精度 0.5%+5 mm. 本文装置喷药距离为 300~500 mm, 则设置此次实验的两个变量为 300, 400, 500 mm 3 个不同高度和 0.15, 0.25, 0.35 MPa 3 个不同压力, 共绘制出 9 张液量分布图, 在 3 个不同高度中选出各自最均匀的一张图出来, 共 3 张液量分布图如图 16 所示, 由图可得出结论: 共同高度下, 压力越大的分布越均匀; 共同压力下, 喷药距离为 400 mm 时, 液量分布最为均匀.



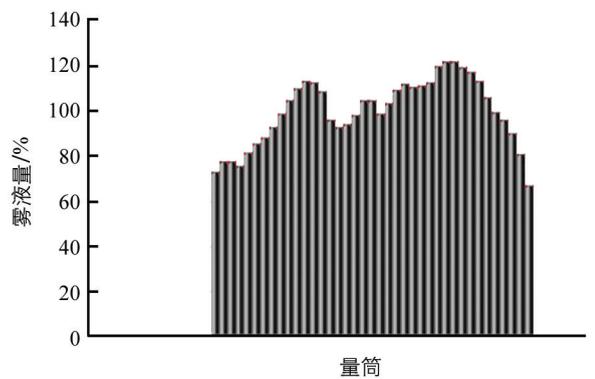
图 14 采集皿收集液体图



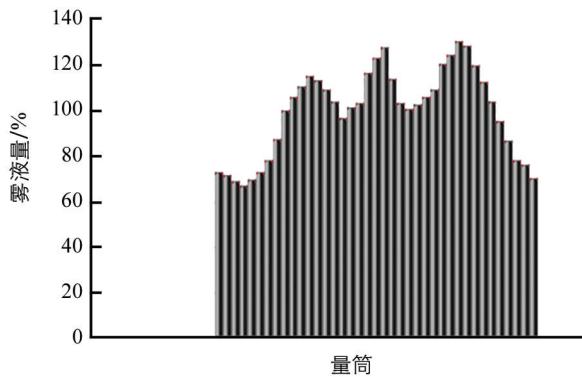
图 15 超声波液位传感器自动读取数据图



(a) 300 mm 0.35 MPa



(b) 400 mm 0.35 MPa



(c) 500 mm 0.35 MPa

图 16 不同高度和压力液量分布图

变异系数是标准差与平均数的比值,即

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}} \quad (8)$$

变异系数代表了数据的离散程度,变异系数值越小则分布越均匀,《NY/T650~2013 喷雾机作业质量》中机动喷雾机作业质量要求低容量喷雾液量分布变异系数小于 50%。将喷头不同高度和不同压力设为 a 、 b 两个变量, a 有 1(300 mm)、2(400 mm)、3(500 mm) 3 个水平, b 有 1(0.15 MPa)、2(0.20 MPa)、3(0.35 MPa) 3 个水平,每次实验记录 21 个试管的液量,9 次实验数据分析如表 6 所示。

表 6 液量分布实验结果

	个案数	平均值	标准差	变异系数
a1b1	21	117.40	19.34	0.151
a1b2	21	121.07	18.63	0.142
a1b3	21	136.94	18.23	0.124
a2b1	21	111.39	8.63	0.071
a2b2	21	124.76	8.38	0.062
a2b3	21	139.59	7.74	0.051
a3b1	21	105.43	10.87	0.094
a3b2	21	119.94	10.32	0.079
a3b3	21	131.69	12.03	0.084

由表中数据可知 a2b3 的变异系数最小,变异系数越小则代表雾滴分布越均匀,即喷药距离为 400 mm,喷头压力为 0.35 MPa 时,液量分布最均匀。

5 结 论

本文设计的丘陵山区茶园自动喷药装置,采用水平和竖直两种喷药模式同时进行喷射,使其茶树中下部叶面背部等喷射盲区能被覆盖,通过齿轮齿条传动的方式实现对不同尺寸茶树的喷药;装置使用超声波传感器测距,通过软件控制实现自动化喷药。

通过对喷头参数、雾滴粒径大小和喷雾均匀性测试实验得出结论:喷头喷药距离为 400 mm,喷头压力为 0.35 MPa 时,喷头综合性能最好,该喷药距离下空气阻力对喷头参数不造成影响;该喷药条件下喷雾角为 102.6°,雾滴粒径为 89.784 μm ,小于 100 μm ,容易被植物叶面吸收,液量分布变异系数值 < 50%,满足国家标准中机动喷雾机的作业质量要求。

参考文献:

- [1] SOLANELLES F, ESCOLÀ A, PLANAS S, et al. An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops [J]. *Biosystems Engineering*, 2006, 95(4): 473-481.
- [2] JEJČIČ V, GODEŠA T, HOČEVAR M, et al. Design and Testing of an Ultrasound System for Targeted Spraying in Orchards [J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2011, 57(7-8): 587-598.
- [3] OSTERMAN A, GODEŠA T, HOČEVAR M, et al. Real-time Positioning Algorithm for Variable-geometry Air-assisted Orchard Sprayer [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2013, 98: 175-182.
- [4] ENDALEW A M, DEBAER C, RUTTEN N, et al. A New Integrated CFD Modelling Approach Towards Air-assisted Orchard Spraying. Part II. Validation for Different Sprayer Types [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2010, 71(2): 137-147.
- [5] LESNIK M, STAJNKO D, VAJS S. Interactions Between Spray Drift and Sprayer Travel Speed in Two Different Apple Orchard Training System [J]. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2015, 12(9): 3017-3028.
- [6] 姜红花,白鹏,刘理民,等.履带自走式果园自动对靶风送喷雾机研究 [J]. *农业机械学报*, 2016, 47(S1): 189-195.

- [7] CAI Ji-chen, WANG Xiu, SONG Jian, et al. Development of Real-time Laser-Scanning System to Detect Tree Canopy Characteristics for Variable-Rate Pesticide Application [J]. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2017, 10(6): 155-163.
- [8] 李 宇, 郑瑞震. 茶园喷药反斜并用效果更佳 [J]. *福建农业科技*, 1998(2): 45.
- [9] 陈 志. 农业机械设计手册(上册) [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 639.
- [10] 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.
- [11] 陈 魁, 李光林, 李晓东, 等. 果园喷雾机喷头自适应运动与自动喷雾控制系统研制与试验 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2017, 39(4): 178-184.
- [12] 马 驰, 李光林, 李晓东, 等. 丘陵山地柑橘果园多方位自动喷药装置研制 [J]. *农业工程学报*, 2019, 35(3): 31-41.

Development of an Automatic Spraying Device for Tea Garden Management in Hilly and Mountainous Areas

YE Fu-rong¹, WANG Tian-yu², ZHANG Yan-zun¹,
DENG Xing-xu¹, LUO Shu-qiang¹

1. School of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. Mechanical Engineering College, Southeast University, Nanjing 211189, China

Abstract: In order to solve the problems of backward spraying technology, low utilization rate of liquid medicine and waste of pesticide in tea gardens in hilly areas, an automatic spraying device was designed in a study reported in this paper. The device adopted the horizontal adjustable bracket, which could be driven by the pinion and rack parallel shaft, so that the adjustable range of the horizontal direction of the bracket was 900—1 900 mm. The control system took the main control chip STM32F103 as the core, and used C language programming to realize the collection and treatment of the spraying distance of the spray rod and the control of the motor and solenoid valve, so as to realize automatic spraying. The results of a test showed that the spraying effect was the best when the distance between the sprinkler head and the surface of the tea plant canopy was 400mm and the pressure of the sprinkler head was 0.35 mpa. Within this spraying distance, the air resistance did not affect the nozzle parameters. Under this spraying condition, the spray angle was 102.6° and the droplet diameter was 89.784 μm < 100 μm, and it was easy to be absorbed by the plant leaf surface. The coefficient of variation of liquid distribution was less than 50% as stipulated in the standard, which met the operation quality requirements of the national standard.

Key words: hilly and mountainous area; tea plant; automatic spraying; spray performance

责任编辑 汤振金