

张美娜, 吕晓兰, 雷晓晖. 可移植的对靶喷雾控制系统设计与试验[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(5): 1182-1187.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2017.05.034

可移植的对靶喷雾控制系统设计与试验

张美娜, 吕晓兰, 雷晓晖

(江苏省农业科学院农业设施与装备研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 为解决果园传统风送喷雾机连续喷雾在果树间空隙引起无效喷雾的缺点, 本研究设计了一种可移植的对靶喷雾控制系统, 该系统采用 3 个单激光传感器探测靶标, PLC 控制器依据传感器信号的逻辑运算控制相应的电磁阀通断, 实现对靶喷雾、间隙不喷雾的功能。由于激光传感器光束较细, 树冠内空洞和枝叶间空隙会导致单点对靶喷雾系统中电磁阀频繁开启, 为此, 本研究提出线性对靶喷雾控制方法。同时, 在喷雾系统延时时间基础上引入提前延后时间, 保证雾滴完全覆盖靶标。以主干形靶标为探测对象, 以 3WGF-300C 型果园风送喷雾机为搭载平台进行试验, 靶标株距为 1.5 m, 喷雾压力为 1×10^5 Pa, 喷雾机行驶速度为 0.48 m/s 时, 试验结果表明, 相对连续喷雾作业方式, 单点对靶喷雾作业方式能够节省 55% 的喷雾量, 线性对靶喷雾作业方式能够节省 37% 的喷雾量; 单点对靶喷雾作业上、中、下区域电磁阀分别平均通断 44 次、57 次与 40 次, 线性对靶喷雾作业各电磁阀平均通断 20 次。综合考虑系统喷雾量和系统稳定性, 线性对靶喷雾作业方式在节约 37% 用药量的前提下大大减少了电磁阀的通断次数, 能够降低系统故障率。

关键词: 果园; 喷雾机; 对靶喷雾; 精准施药

中图分类号: S491

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2017)05-1182-06

Design and testing on a transplantable target spraying control system for the spraying machine

ZHANG Mei-na, LYU Xiao-lan, LEI Xiao-hui

(Institute of Agricultural Facilities and Equipment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: Spraying continually is the traditional working mode of spraying machine in orchard. Spraying in the gap leads to pesticides waste and environment pollution especially for the small trees or the sparse trees. This study designed a transplantable target spraying control system, including three DT35 laser sensors, a PLC (Programmable Logic Controller), a touch panel and six solenoid valves. The function of the system was spraying on the target and stopping spraying in the gap. The thinner laser beam would lead the solenoid valves open many times during the working process. So a linear target spraying control method was proposed to avoid the disadvantage of the laser sensor. Meanwhile, an ahead or delay time was brought base on the delay time of the spraying system in order to make the target be covered completely by the droplets. The prototype was a 3WGF-300C air-assisted spraying machine fixed on the target spraying control system. Taking the central leader training trees as the target, the test was implemented in the condition of orchard trees distance was 1.5 m, spraying pressure was $1 \times$

收稿日期: 2017-04-25

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(15)1023]; 国家梨产业技术体系机械岗位项目(CARS-29-18); 江苏省农业科学院基本科研业务费专项[ZX(16)3006]

作者简介: 张美娜(1986-), 女, 内蒙古通辽人, 博士, 助理研究员, 主要从事精准变量施药控制系统研究。(E-mail) zmn122@163.com

通讯作者: 吕晓兰, (E-mail) lxlan@126.com

gap spraying control method was proposed to avoid the disadvantage of the laser sensor. Meanwhile, an ahead or delay time was brought base on the delay time of the spraying system in order to make the target be covered completely by the droplets. The prototype was a 3WGF-300C air-assisted spraying machine fixed on the target spraying control system. Taking the central leader training trees as the target, the test was implemented in the condition of orchard trees distance was 1.5 m, spraying pressure was $1 \times$

10^5 Pa and velocity of spraying machine was 0.48 m/s. Compared with the continual spraying mode, point to point spraying mode saved 55% pesticides and linear spraying mode saved 37% pesticides. The switching number of the solenoid valves was respectively 44 times (upside), 57 times (middle part) and 40 times (bottom) in the point to point spraying mode, while, the switching number of the solenoid valves were all 20 times from top to bottom in the linear spraying mode. Considering the volume of spray and the system stability, linear spraying mode decreased the switching times of solenoid valves greatly when the dosage of pesticide was cut down by 37%, it is benefit for decreasing failure rate.

Key words: orchard; spraying machine; target spraying; precision spraying

果园传统风送式喷雾机作业方式为恒定连续喷雾,树龄较小或种植稀疏的果园树冠之间存在较大空隙,果树间空隙引起的无效喷雾导致大量农药浪费,造成环境污染、人畜中毒等严重问题。对靶变量喷雾技术是解决上述问题的有效途径之一,其关键在于无损、快速、精准地检测靶标的有无或特征变化。

靶标探测传感器涵盖红外光传感器^[1-3]、超声波传感器^[4-7]、立体视觉^[8-10]以及二维激光雷达扫描传感器^[11-14]。Rosell^[15]详细分析了上述传感器的优缺点,指出二维激光雷达扫描传感器能够获得树冠的三维模型,精度较高,是最具发展潜力的应用技术,但其成本高、应用较复杂,短期内无法满足市场需求;超声波传感器成本较低、应用简单,比较适合农业领域应用。Schumann等^[4], Gil等^[5], Llorens等^[6], 俞龙等^[7]分别应用10个、3个、3个、4个超声波传感器探测果树,基于传感器返回的距离值计算树冠体积,靶标喷施区域体积的变化控制喷雾系统变量施药。但超声波传感器的缺点在于超声波束较大的发散角限制了测量系统的分辨率和精度,且相邻超声波传感器之间存在相互干扰的问题。许林云等^[16]对超声波和激光2种传感器进行了静态识别间距测试与分析,认为超声波传感器识别间距超过800 mm,不能满足果园精确对靶喷雾控制要求,而激光传感器静态识别间距只有20 mm,具有工作稳定、响应快速、方向性好的特点。

本研究设计一种可移植的对靶喷雾控制系统,采用3个激光传感器探测靶标,采用比单片机更加稳定可靠的可编程逻辑控制器(Programmable logic controller, PLC)作为控制中心,通过控制策略解决系统中激光束较细引起电磁阀频繁开启的问题,喷雾系统电磁阀通断延时匹配系统参数的问题以及靶标边缘全覆盖问题。

1 对靶喷雾控制系统设计

1.1 硬件设计

对靶喷雾控制系统硬件结构如图1所示。

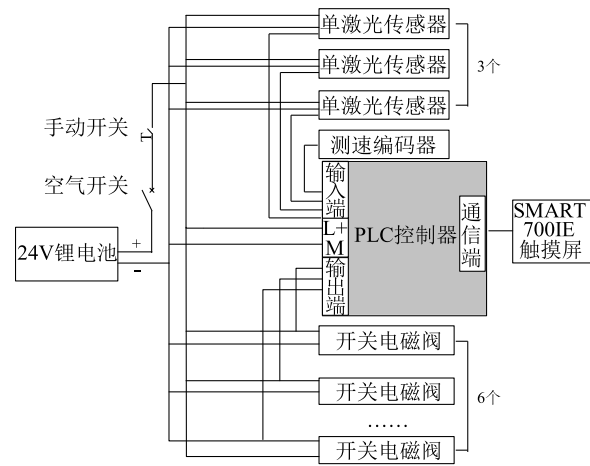


图1 对靶喷雾控制系统结构

Fig.1 Structure of the target spraying control system

系统由3个DT35单激光传感器探测果树靶标,以S7-200微型PLC控制器为控制中心,以6个开关型电磁阀为执行机构,以SMART700 IE触摸屏为系统人机交互界面,测速编码器测量喷雾机行驶速度,辅助电气设备包括24 V锂电池,空气开关和手动开关,用于供电、过流保护和控制系统开关。

DT35激光传感器为基于光学方法无接触测量物体距离的光电传感器,距离测量范围为50~12 000 mm,测量精度为 ± 10 mm,响应时间为1~32 ms,光斑尺寸为15 mm \times 15 mm(2 m处),具有响应迅速,方向性好的特点。喷雾机行驶速度由E6B2-CWZ6C型增量式旋转编码器测量,编码器分辨率为每旋转1圈输出1 000个脉冲,测量精度为0.36°。

1.2 软件设计

对靶喷雾控制系统软件由 PLC 程序与触摸屏程序两部分组成。

PLC 程序基于 STEP7 MicroWIN V4.0 SP9 软件开发,采用梯形图进行编程,对传感器信号进行逻辑运算。触摸屏显示界面基于 SIMATIC WinCC flexible 2008 软件设计开发,PLC 与触摸屏之间的通讯通过设置相同的通讯连接参数实现,波特率统一设置为 9 600 Bps。

触摸屏显示界面如图 2 所示,操作人员通过触摸屏上的指示灯可实时了解传感器输出信号状态与电磁阀的通断状态,同时,作业结束后可显示各电磁阀的开关次数。

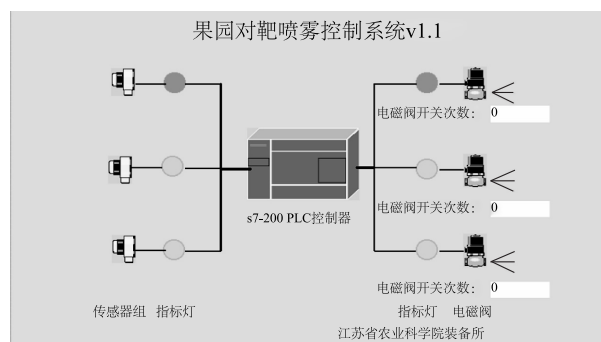


图 2 对靶喷雾控制系统软件界面

Fig.2 Software interface of the target spraying control system

1.3 对靶喷雾控制系统移植方法

对靶喷雾控制系统可向传统果园风送式喷雾机移植。尽管各类果园风送式喷雾机外部机械结构不尽相同,但如发动机、药箱、风机、泵、管路、喷头等核心部件基本一致,为此,移植关键在于借助机体机械结构辅助安装对靶喷雾控制系统。对靶喷雾控制系统的移植主要包括系统硬件安装和载体喷雾系统管路改造 2 个方面。

1.3.1 硬件安装 由于对靶喷雾系统是先由激光传感器探测靶标,再通过电磁阀控制喷头是否喷雾,因此,激光传感器通过云台辅助安装在喷头前方的机械外壳上,激光传感器通过快装板旋钮固定于云台支架上,位置关系如图 3 所示。

图 3 中, d 为喷头与激光传感器之间距离的最小值; D 为喷头距喷雾方向树冠最远端平面之间的距离; θ 为喷雾锥角($^{\circ}$)。激光传感器可位于图中满

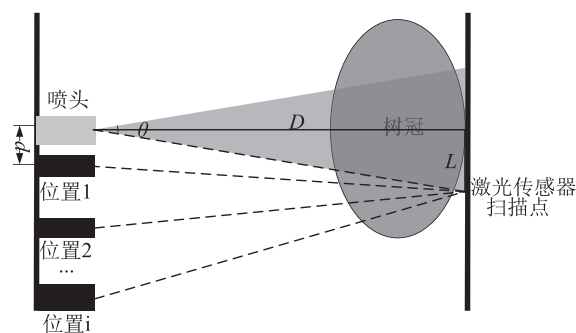


图 3 喷头与激光传感器位置示意图

Fig.3 Position of the spray nozzles and the laser sensors

足 $d \geq 0$ 的 i 处 ($i=1,2,3,\dots,n$),通过调节云台球体结构调节快装板角度,改变激光传感器扫描点方位,调节方法如下:

(1) 激光传感器垂直方向调节以靶标树冠高度信息为基准,通常将靶标树冠等分为上中下 3 部分,3 个激光传感器分别对应各部分中线高度位置。

(2) 激光传感器水平方向调节要使扫描点与喷头位置垂线与靶标树冠最远端平面的交点保持大于等于 L 的距离,这是为了避免雾滴按喷头雾锥角发散而引起干扰。距离 L 的计算方法如公式(1)所示:

$$L = D \tan(\theta/2) \quad (1)$$

每个激光传感器的反馈信息控制 2 路喷雾管路,共计 6 路喷雾管路。蓄电池、PLC 控制器、触摸屏、手动开关等设备安装于喷雾机前部侧面位置,既避免水体污染又方便人员操作。

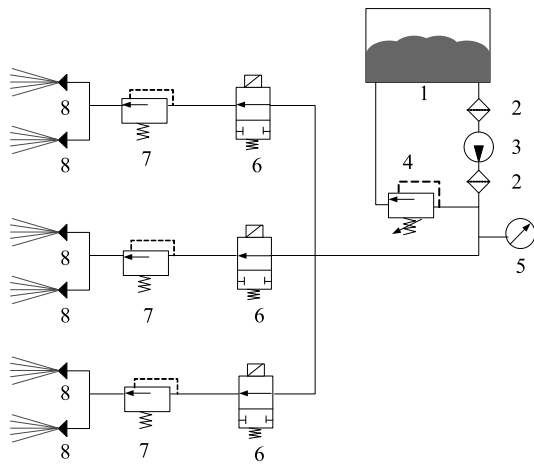
测速编码器通常安装在喷雾机后轮,车轮中心需焊接与编码器匹配的轴,再通过联轴器连接编码器的轴,编码器外壳借助配套支架固定安装在喷雾机后侧机架上。

1.3.2 载体喷雾系统管路改造 喷雾机喷雾系统管路改造主要是在原喷雾系统的基础上增加电磁阀,以控制相应喷雾管道的通断。喷雾系统结构如图 4 所示,核心部件包括水箱、过滤器、泵、稳压器、压力表、电磁阀、防滴阀和喷头。

3WGf-300C 果园风送式喷雾机体积小,通过性能好,性价比高,是目前推广应用较多的一款喷雾机机型。以 3WGf-300C 果园风送式喷雾机为载体移植对靶喷雾控制系统,实物图如图 5 所示。

1.4 喷雾系统控制方法

喷雾系统控制策略是根据靶标树形的不同对 3



1:水箱;2:过滤器;3:泵;4:稳压器;5:压力表;6:电磁阀;7:防滴阀;8:喷头。

图4 喷雾机喷雾系统结构

Fig.4 Structure of the spraying system on the sprayer



图5 移植对靶喷雾控制系统的喷雾机实物图

Fig.5 Picture of the sprayer with the target spraying control system

个传感器输出数据进行逻辑运算实现的。本研究提出单点对靶喷雾与线性对靶喷雾2种控制策略。

单点对靶喷雾方式是3个激光传感器分别独立控制2路喷雾管路,时序图如图6所示。这种方式对靶标树形的适应性较好,但是由于激光传感器光束较细,树冠内空洞和枝叶间间隙会导致喷雾系统

中电磁阀频繁开启。

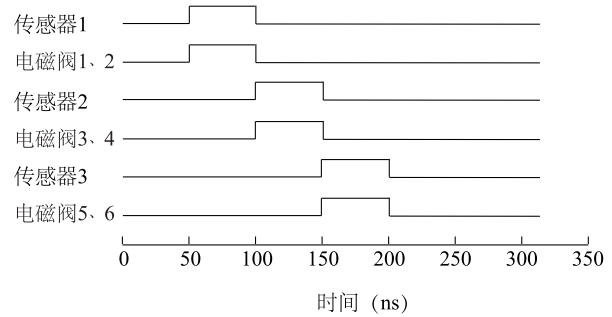


图6 单点对靶喷雾方式时序图

Fig.6 Sequence diagram of the point to point spraying method

线性对靶喷雾控制方式是将3个激光传感器输出信号进行“或运算”同时控制6路喷雾管路,时序图如图7所示。这种方式能够提高探测系统的可靠性,解决电磁阀频繁开启的问题,主要适用于主干形果树。

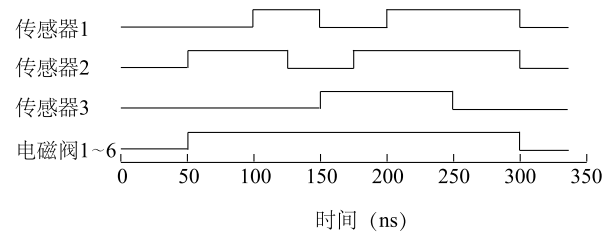


图7 线性对靶喷雾方式时序图

Fig.7 Sequence diagram of the linear spraying method

1.5 提前延时喷雾策略

由于激光传感器扫描点与喷雾系统喷头之间有一定距离,因此,探测传感器输出信号延时一定时间之后电磁阀才开始动作。激光传感器探测到靶标到电磁阀开启之间的延时时间记为 t_{open} ,激光传感器探测离开靶标到电磁阀关闭之间的延时时间记为 t_{close} ,为保证探测区域边界的雾滴全覆盖,引入提前延后时间 Δt ,则

$$\begin{cases} t_{open} = L/v - \Delta t \\ t_{close} = L/v + \Delta t \end{cases} \quad (2)$$

公式(2)中, v 为喷雾机行驶速度。

1.6 喷雾机行使速度测量

喷雾机行驶速度的计算采用 M/T (计数/定时)法,设置时间间隔 $\Delta T = 10 \text{ ms}$,PLC 控制器通过高速计数器测得这段时间内编码器的脉冲数为 N ,则

$$v = \frac{N \times 2\pi R}{n \times \Delta T} \quad (3)$$

公式(3)中, R 为车轮的半径; n 为编码器旋转一圈输出的脉冲数, $n=1\ 000$ 。

2 结果与分析

栽植主干形果树的果园适合机械化作业,为此,以 10 棵主干形仿真树为靶标进行对靶喷雾控制系统试验,如图 8 所示。

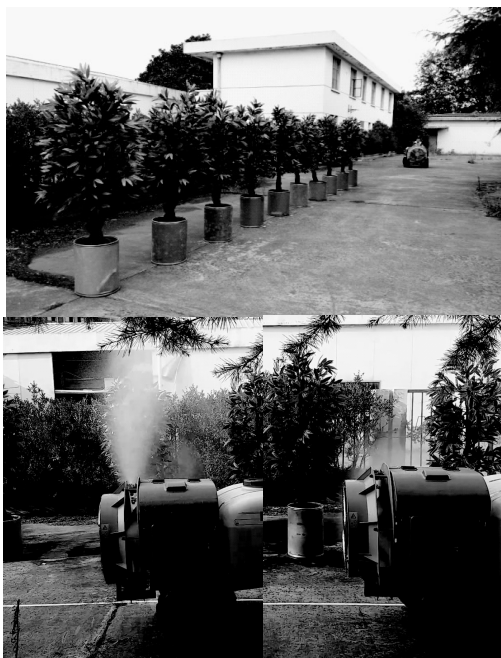


图 8 对靶喷雾控制系统试验

Fig.8 Test of the target spraying control system

2.1 试验参数

靶标株距为 1.5 m, 靶标平均高度为 2.2 m, 靶标平均宽度为 0.7 m, 靶标之间空隙平均为 0.7 m (以靶标树冠最宽处为基准), 树冠底部距地面平均高度为 0.7 m。

3 个激光传感器扫描点垂直方向的对靶标定高度分别为距地面 0.95 m, 1.45 m 和 1.95 m 处。喷头距喷雾方向树冠最远端平面之间的距离 $D=1.7$ m, 喷头喷雾锥角 $\theta=15^\circ$, 由公式(1)可计算 $L=0.45$ m, 即激光传感器水平方向调节要使扫描点与喷头位置垂线与靶标树冠最远端平面的交点距离为 0.45 m。

设定提前延后时间 Δt 为 0.1 s, 由公式(2)与公

式(3)可实时计算 t_{open} 与 t_{close} 的值。 t_{open} 与 t_{close} 在系统中通过 PLC 程序模块 TON 通电延时计时器与 TOF 断电延时计时器分别实现。

喷雾机进行单侧喷雾, 喷雾压力为 1×10^5 Pa。

2.2 喷雾量分析

对比分析连续喷雾、单点对靶喷雾与线性对靶喷雾 3 种作业方式条件下喷雾机的喷雾量。喷雾量测量方法为: 利用蛇皮软管外接在各喷头上, 雾滴流入塑料桶容器中, 再用量杯测量喷雾量, 统计结果如表 1 所示。

表 1 喷雾量

Table 1 Statistical table of the capacity of the pesticides application

作业次数	喷雾量 (ml)		
	连续喷雾	单点对靶喷雾	线性对靶喷雾
第 1 次	3 800	1 800	2 400
第 2 次	3 500	1 500	2 200
第 3 次	3 700	1 600	2 300
平均值	3 667	1 633	2 300

相同作业方式下, 喷雾量的变化是由喷雾系统压力在设定值上下浮动引起的。

由表 1 可知, 在设定的试验条件下, 连续喷雾、单点对靶喷雾以及线性对靶喷雾作业方式下, 3 次作业平均喷雾量为 3 667 ml、1 633 ml 与 2 300 ml。与连续喷雾作业方式相比, 单点对靶喷雾作业方式能够节省 55% 的喷雾量, 线性对靶喷雾作业方式能够节省 37% 的喷雾量。

2.3 电磁阀开关次数分析

对比分析单点对靶喷雾与线性对靶喷雾 2 种作业方式条件下各组电磁阀的开关次数, 统计结果如表 2 所示。

由表 2 可知, 单点对靶喷雾作业方式靶标上、中、下区域电磁阀分别平均通断 44 次、57 次与 40 次, 线性对靶喷雾作业方式各电磁阀平均通断均为 20 次。

试验结果表明, 针对主干形靶标, 单点对靶喷雾作业方式能够节省 55% 的喷雾量, 但电磁阀通断次数较多, 容易引发设备故障。而线性对靶喷雾作业方式在节约 37% 喷雾量的前提下大大减少了电磁阀的通断次数。

表 2 电磁阀开关次数

Table 2 Statistical table of the switching number of the solenoid valves

靶标冠层 区域	作业次数	电磁阀开关次数(次)	
		单点对靶喷雾	线性对靶喷雾
上	第 1 次	46	20
	第 2 次	42	20
	第 3 次	44	20
	平均值	44	20
中	第 1 次	58	20
	第 2 次	57	20
	第 3 次	56	20
	平均值	57	20
下	第 1 次	44	20
	第 2 次	40	20
	第 3 次	36	20
	平均值	40	20

3 结 论

设计开发了一种由激光传感器、PLC 控制器、触摸屏与电磁阀为主要组成部分的对靶喷雾控制系统,该系统可移植到不同型号的果园风送式喷雾机上,实现对靶喷雾,靶标空隙不喷雾的功能。

针对适合机械化作业的主干形果树靶标,提出将 3 个激光传感器输出信号进行“或运算”控制执行机构的控制策略,解决了系统中激光束较细引起电磁阀频繁开启的问题。

根据系统参数和引入的提前延后时间,确定了喷雾系统电磁阀的通、断延时时间,保证喷雾系统的有序通断与雾滴完全覆盖靶标及靶标边缘。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] SCHUMANN A W, ZAMAN Q U. Software development for real-time ultrasonic mapping of tree canopy size [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2005, 47: 25-40.
- [5] 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: 1287-1297.
- [6] LLORENS J, GIL E, LLOP J, et al. Variable rate dosing in precision viticulture: use of electronic devices to improve application efficiency [J]. Crop Protection, 2010, 29: 239-248.
- [7] 俞 龙,洪添胜,赵祚喜,等.基于超声波的果树冠层三维重构与体积测量[J].农业工程学报,2010,26(11):204-208.
- [8] 张富贵,沈明明,刘国志,等. 基于图像处理技术的果树树叶稀疏程度的检测[J]. 山地农业生物学报,2013,32(6):517-521.
- [9] 李 松,张建瓴,可欣荣,等. 果树三维外形轮廓的仿真与重建[J]. 华南农业大学学报,2009,30(1):115-120.
- [10] 肖 健.果树对靶喷雾控制系统中图像识别技术[D]. 北京:中国农业大学,2005.
- [11] GIL E, LLORENS J, LLOP J, et al.Variable rate sprayer. Part 2-Vineyard prototype: Design, implementation, and validation [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 95: 136-150.
- [12] CHEN Y, ZHU H, OZKAN H E. Development of a variable-rate sprayer with laser scanning sensor to synchronize spray outputs to tree structures[J]. Transactions of the ASABE, 2012, 55(3): 773-781.
- [13] MARTIN BÉLAND, JEAN-LUC WIDLOWSKI, RICHARD A. Fournier A model for deriving voxel-level tree leaf area density estimates from ground-based LiDAR [J]. Environmental Modelling & Software, 2014, 51: 184-189.
- [14] ARNÓ J, ESCOLÀ A, VALLÈS JM, et al. Leaf area index estimation in vineyards using a ground-based LIDAR scanner [J]. Precision Agric, 2013, 14:290-306.
- [15] ROSELL J R, SANZ R. A review of methods and applications of the geometric characterization of tree crops in agricultural activities [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 81: 124-141.
- [16] 许林云,张昊天,张海锋,等. 果园喷雾机自动对靶喷雾控制系统研制与试验[J]. 农业工程学报,2014,30(22):1-9.

(责任编辑:陈海霞)