

支持故障报警的果园对靶变量排肥系统*

翟长远 杨 硕 张 波 李瀚哲 朱瑞祥

(西北农林科技大学机械与工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 针对果园条开沟连续施肥造成肥料浪费,而挖穴施肥作业过程繁琐的问题,基于普通条开沟施肥机具设计了果园对靶变量排肥系统,该系统主要包括果园穴施肥精量排肥器和对靶变量施肥控制器。利用高速摄影技术获得了不同排肥口截面积排肥下落时间,使用间歇旋转机构实现定量穴排肥,提出了扇叶旋转落肥感知方法并设计了排肥故障监测装置,进而设计了果园穴施肥精量排肥器。使用光电传感器实时感知果树树干以获得排肥位置,利用接近开关感知地轮转速计算行进速度,以 STC12C5A60S2 单片机为核心设计了对靶变量施肥控制器。搭建了试验平台,进行了实验室试验,结果表明,1~5 排肥量挡位下,平均排肥量与理论排肥量最大误差为 10 g,最大变异系数为 4.6%;平均排肥长度为 20.2~40.9 cm;偏移距离绝对值最大为 5.5 cm,最小为 0.6 cm,偏移距离标准差平均值为 4.26 cm;单次排肥故障监测装置最少感知落肥通断信号次数为 2 次,故障监测准确率达到 100%。果园试验表明,针对 100 棵枸杞树进行对靶施肥,其排肥准确率为 97%。该系统实现了果园靶标实时探测、对靶精量排肥控制和排肥故障报警功能,达到了条开沟对靶穴施肥的果园作业要求。

关键词: 果园施肥 对靶施肥 变量施肥 故障报警 排肥器

中图分类号: S147.2; TP274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)10-0016-08

Orchard Toward-target Variable-rate Fertilizer
System Supporting Fault Alarming

Zhai Changyuan Yang Shuo Zhang Bo Li Hanzhe Zhu Ruixiang

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

Abstract: Recently, ditching continuous fertilization and digging fertilization are the two main approaches for orchard fertilization in China. However, orchard ditching continuous fertilization always wastes a large proportion of fertilizer while digging fertilization manually is backbreaking work. Based on common ditching fertilizer devices, an orchard toward-target variable-rate fertilizer system was designed, which mainly included an orchard hole fertilization precision fertilizer feeder and a toward-target variable-rate fertilizer controller. Fertilizer ejecting times of ejectors with different sectional areas were obtained by using a high speed photography, and quantitative hole fertilization was realized through using grooved wheel mechanism. A new fertilizer ejecting monitoring method using a horizontal rotating fan was put forward, and a monitoring device was designed. Then the orchard hole fertilization precision fertilizer feeder was designed and developed. The toward-target variable-rate fertilizer controller was developed based on a microcontroller STC12C5A60S2, a photoelectric sensor used to detect orchard tree trunk was adopted to obtain fertilizer ejecting position, and an approach switch sensor was used to acquire speed by detecting wheel rotation. Laboratory experiments were carried out by using self-made test platform. The results showed that when the application setting was one of the 1~5 grades, the maximum error between the average amount of ejected fertilizer and theoretical amount was 10 g, with maximum variation coefficient of 4.6%; the range of average fertilizer length was 20.2~40.9 cm; the maximum and

收稿日期: 2015-08-10 修回日期: 2015-09-09

* 国家自然科学基金资助项目(31201128)、西北农林科技大学海外提升计划资助项目和西北农林科技大学资助项目(00900-Z101021501)

作者简介: 翟长远, 副教授, 博士, 主要从事农机装备智能化技术研究, E-mail: zhaichangyuan@163.com

minimum fertilizer position offset errors were 5.5 cm and 0.6 cm, respectively, with average standard deviation of 4.26 cm; in each fertilizer ejecting process, the monitoring device could get the on-off signal two times at least, and the accuracy of fault alarm was 100%. Field experiments showed that the accuracy of fertilizer ejecting was 97% in selected 100 wolfberry trees. This system could control fertilizer seeder based on real-time orchard tree detection, monitor fertilizer ejecting for fault alarm, and meet the need of orchard ditching fertilization with toward-target fertilizer ejecting requirement.

Key words: Orchard fertilization Toward-target fertilization Variable-rate fertilization Fault alarming Fertilizer feeder

引言

果园肥料对果品保质增产有重要作用^[1],而按需精准定点施肥是保障肥料高效利用,降低肥料对土壤果品污染的关键。人工定量穴施肥虽能提高肥料利用率,但其劳动强度大与劳动力季节性短缺的矛盾突出;果园机械化或半机械化开沟连续施肥,可以大大提高作业效率,但果树间肥料利用率低下,造成严重浪费和环境污染。国内外学者在果园智能化对靶精准施肥技术实现肥料最大化利用方面开展了大量的研究工作,研究重点主要集中在果园靶标在线探测方法、精量排肥控制技术与系统和施肥机研发和试验研究。在靶标在线探测方法方面,目前学者主要采用红外、超声和激光等探测技术,获取果树靶标位置、树冠轮廓和叶面积指数等信息^[2-9],但秃枝间隙较大时,采用探测树冠的方式很难就果树位置进行精确定位,而采用红外传感器探测果树主干的方法能够很好地完成果树定位^[10]。在精量排肥控制技术与系统方面,主要围绕确定目标位置处施肥信息,控制排肥机构进行准确排肥^[11-14]。陈立平等借助 GPS/GIS 处方图上位机,设计了变量施肥控制器和基于电液比例阀的液压马达排肥驱动系统^[15],而果园果树靶标突出、施肥成穴明显、排肥量大的特点,与大田施肥区域性变量施肥的特点有所不同,需要开展更深入的研究。在施肥机研发和试验研究方面,针对大田作物的变量施肥机的研发较多^[16-18]。王秀等研制的精准变量施肥机能够对大田作物的单一肥料进行变量施肥^[19];伟利国等研制的 2F-6-BP1 型变量配肥施肥机实时采集肥箱内肥料质量变化信息,并计算 N、P、K 肥料的配比,进行 3 种肥料分施作业^[20],而针对适应果园的变量施肥机的研究相对较少,且上述施肥机鲜有对作业过程中准确地监测排肥故障信息并向用户发出报警的研究,施肥机发生故障而用户未察觉将造成资源的浪费。

本文基于普通条开沟施肥机具,以枸杞果园试验田进行催芽追肥为对象,设计精量排肥器、排肥故

障监测装置和对靶变量控制器,采用红外传感器探测主干的方法确定果树位置,手动设置肥量挡位确定排肥量,进而设计支持故障监测的果园对靶变量排肥系统,以提高施肥机智能化水平,实现对靶按需排肥。

1 材料与方法

1.1 果园对靶排肥系统总体设计

针对枸杞果园施肥需求,基于普通条开沟施肥机具设计了一种果园对靶变量排肥系统,如图 1 所示。施肥机具主要包括拖拉机、肥箱、排肥器、开沟铲和地轮。果园对靶变量排肥系统主要由靶标探测传感器、速度传感器、穴施肥精量排肥器、对靶变量控制器组成,其中靶标探测传感器固定于肥箱前段,用于实时探测果树靶标位置信息,速度传感器通过感知地轮转速获得施肥机行进速度。工作时,拖拉机牵引条开沟施肥机具进行条状开沟,地轮跟随机具行进,地轮旋转带动螺旋推进器将肥箱内颗粒肥推到排肥器入肥口的位置等待排肥;对靶变量控制器根据果树靶标位置信息、机具行进速度信息和肥量档位设置信息,控制排肥器的运行状态,实现条开沟对靶穴施肥。

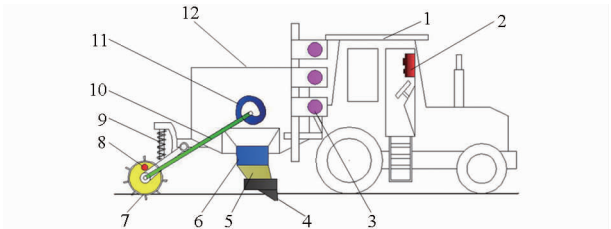


图 1 果园变量施肥机示意图

Fig. 1 Structural diagram of orchard variable-rate fertilizer
1. 拖拉机 2. 控制器 3. 靶标探测传感器 4. 开沟铲 5. 导肥管 6. 排肥器 7. 地轮 8. 速度传感器 9. 减震器 10. 传动轴 11. 螺旋推进器 12. 肥箱

根据枸杞果园单株施肥量变化范围 0~1.0 kg,将肥量挡位旋钮设置为 5 挡,为 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 kg/株。控制器供电电源为 DC 12 V 车载电瓶。控制器操控面设有肥量挡位旋钮、左侧故障报警灯、

右侧故障报警灯、电源开关和保险座,连接端面设有电源接口、左右两侧靶标探测接口、速度接口、故障监测接口和左右两侧电动机接口。枸杞果园第1次追肥时果树主干明显,离地面30 cm左右基本无杂枝,种植行距大多在2~3 m之间,探测方式选用红外开关传感器探测果树主干,获取果树位置,靶标探测模块选用检测距离为2 m的漫反射FKB30E23NPK型光电开关传感器。地轮上安装有凸起的固定螺丝,速度探测传感器选用E2E-X10ME1-Z型接近开关传感器,通过感应凸起的安装螺丝,获取机具行进速度。排肥故障监测装置通过旋转感应开关将肥料下落感应扇叶的旋转运动转换为DC 5 V高低电平信号变化。稳压模块用于将车载DC 12 V电平转换为DC 5 V电平为单片机供电。如图2所示,控制系统以STC12C5A60S2单片机为核心,主要用于接收靶标探测信号、计算施肥机行进速度、接收故障监测信号,进行排肥报警,并根据预先排肥量设置,控制直流电动机驱动模块,进而控制90ZYT-05型直流电动机带动排肥器排肥。

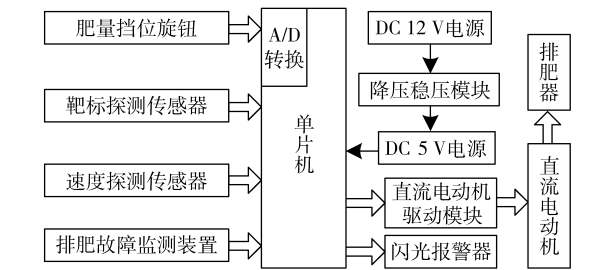


图2 果园对靶变量排肥系统框图
Fig.2 Block diagram of orchard toward-target variable-rate fertilizer system

1.2 排肥器设计

针对枸杞果园的施肥要求,设计一种排肥量可控、肥量变化最小单位约200 g的穴排肥器,如图3所示。排肥器需要保证充肥饱满、排肥彻底,同时无流肥现象发生。本设计将排肥槽轮设置为6个排肥槽,将排肥器内部空间均分为6等份,各有2个排肥槽对应着入肥口和出肥口的扇形空间,其余2个排肥槽作为入肥和出肥的隔离区,以避免流肥现象的发生。为了实现排肥槽轮快速转动定点排肥,设计60°间歇槽轮作为传动机构,实现电动机整圈控制带动排肥槽轮60°精确间歇转动,根据前人间歇槽轮设计方法^[21],将间歇槽轮与拨盘的安装中心距缩小为30 mm,以使机构更加紧凑。

为了实现最小肥量变化单位约为200 g的目的,随机称取了3种常用有机颗粒肥(颗粒直径5 mm以内),得出有机颗粒肥的平均容积密度约为1 g/cm³,进而得出排肥槽的容积应为200 cm³。并

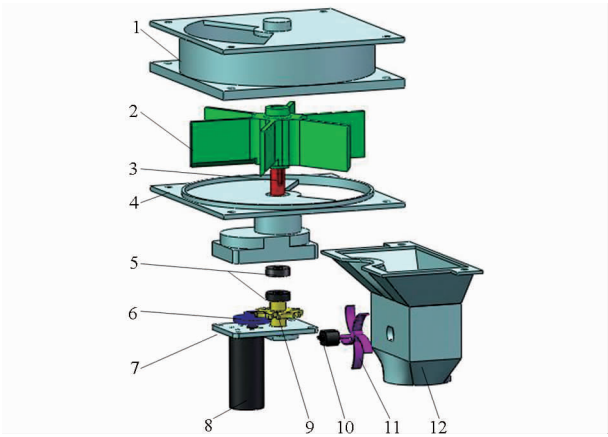


图3 排肥器结构示意图

Fig.3 Structural diagram of fertilizer feeder

- 1. 排肥器固定上盖 2. 排肥槽轮 3. 主动轴 4. 排肥器固定下盖
- 5. 轴承 6. 拨盘 7. 电动机固定板 8. 直流电动机
- 9. 间歇槽轮 10. 旋转感应开关 11. 扇叶 12. 导肥口

通过高速摄影技术,进行了肥料下落速度试验,确定了排肥槽轮横截面积和高度。排肥器工作时,颗粒肥从排肥器固定上盖的120°扇形入肥口进入,将排肥槽轮的2个60°扇形槽充满,电动机通过60°间歇槽轮机构,带动排肥槽轮以单个排肥槽为单位进行间歇转动,颗粒肥下落过程中触动扇叶旋转,旋转感应开关感应旋转动作产生高低电平变化的信号,并将信号传送给控制器。

1.3 落肥感知方法与排肥故障监测装置

排肥监测需要能够灵敏地感知微量肥料下落的同时消除施肥机前后、左右、上下方向振动的影响,还需要把排肥信息实时转换为电信号。本设计使用水平放置的扇叶将肥料下落运动转换成了旋转运动,而该旋转运动不受施肥机其他方向振动的影响,同时克服了常用的光电排肥监测装置易受肥料污染失效的缺点,如图4所示。扇叶的转动通过旋转感应开关转换为信号高低电平的变化,旋转感应开关轴向截面如图5所示,转轴1和4两区域相互绝缘,对应扇形角度分别为120°和240°,通断片与2个铜片接触,在转轴转动1圈的过程中,铜片电极a和铜片电极b在0°~60°、180°~240°时导通,60°~180°、240°~360°时断开,从而在两铜片电极之间产生通断状态变化。铜片电极a与DC 5 V电源相连,另一端铜片电极b作为信号端接入单片机I/O口,铜片电极的通断状态会转换为信号高低电平的变化,单片机可以根据信号电平的变化判断是否正在排肥。

1.4 控制算法设计

施肥机每行进一定距离,速度探测传感器会产生一个速度脉冲,通过对脉冲间隔进行计时,计算得

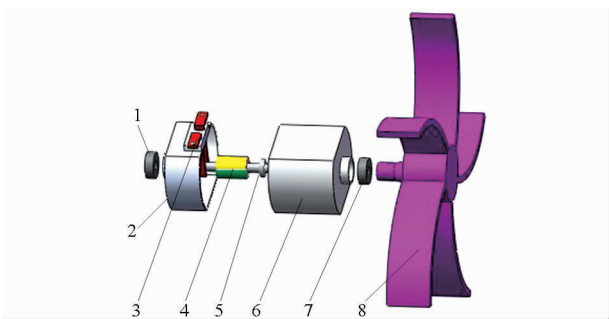


图 4 排肥故障监测装置结构示意图

Fig. 4 Schematic diagram of fertilizer ejecting fault monitoring device

1. 底端轴承 2. 底座 3. 铜片 4. 旋转感应开关 5. 转轴
6. 外壳 7. 顶端轴承 8. 扇叶

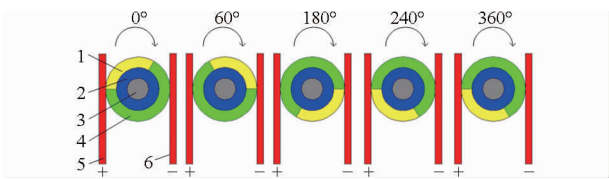


图 5 旋转感应开关轴向截面示意图

Fig. 5 Schematic diagram of rotation induction conversion device in axial direction section

1. 导电区 a 2. 绝缘区 3. 转轴 4. 导电区 b 5. 铜片电极 a
6. 铜片电极 b

出施肥机瞬时行进速度 v 为

$$v = \frac{L}{t_1} \quad (1)$$

式中 L ——两个脉冲之间施肥机行进距离, m

t_1 ——两个脉冲之间的时间间隔, s

v ——施肥机行进速度, m/s

当探测到靶标后,启动电动机和停止电动机的延迟时间主要受机具行进速度、红外传感器探头距排肥器的水平距离、肥料下落时间和排肥时间的影响,延迟时间可以通过单片机定时中断延时脉冲数表征,启动电动机的延时脉冲数 n_1 和停止电动机的延时脉冲数 n_2 为

$$n_1 = \frac{t_2}{T_1} \quad (2)$$

$$t_2 = \frac{L_1}{v} - T_2 \quad (3)$$

$$n_2 = \frac{t_3}{T_1} + n_1 \quad (4)$$

式中 t_2 ——探测到靶标至开始排肥的延时时间, s

T_1 ——单片机中断定时时间, s

L_1 ——红外传感器探头距排肥器出肥口的水平距离, m

T_2 ——肥料从排肥器出肥口下落至施肥位置的时间, s

t_3 ——排肥器排肥时间, s

红外传感器探头距排肥器出肥口的水平距离需要满足 $L_1 > vT_2$, 否则导致 $t_2 < 0$, 控制器无法做出正确响应。

排肥量由排肥时间 t_3 进行控制, 电动机每转动一周, 经 60° 间歇槽轮机构传动, 实现电动机整圈转动控制排肥槽轮 60° 间歇转动, 则排肥时间 t_3 与排肥量的关系为

$$t_3 = \frac{F}{m} T_3 \quad (5)$$

式中 F ——排肥挡位设定排肥量, kg

m ——单位排肥槽轮的排肥量, kg

T_3 ——电动机转动一圈所需时间, s

支持故障监测的果园对靶排肥控制系统对左、右两侧进行独立的控制, 控制流程相同, 单侧控制系统流程如图 6 所示。程序初始化开始后, 通过 A/D 转换为设定排肥量 F 赋值。根据探测到的速度脉冲, 计算瞬时速度 v , 每获得一个速度脉冲信号 v 值更新一次; 计算出启动电动机的延时脉冲数 n_1 和停止电动机的延时脉冲数 n_2 。如果探测到靶标, 将 n_1 、 n_2 分别存入暂存数组 `startcount[5]`、`stopcount[5]` 中第 i 位上, 并将 i 循环后移一位。根据故障监测启动标志 `Monitor` 和监测信号计数 `MonitorCount` 判断是否出现排肥故障, 当 `Monitor` 等于 1 且 `MonitorCount` 大于设定值, 判断为排肥故障, 并启动报警灯报警。其中监测信号计数 `MonitorCount` 在未监测到排肥信号时自动增加, 监测到排肥信号时自动置零。如果 T1 定时器产生中断, 首先对数组 `startcount[5]`、`stopcount[5]` 每一位进行减 1 赋值操作, 对 `startcount[i]`、`stopcount[i]` 进行判断, 当 `startcount[i] = 0` 时, 说明到达开始施肥的位置, 令电动机启动标志 `MOpen = 1`; 当 `startcount[i] < 0` 时, 令 `startcount[i] = -1`, 防止该位长时间递减溢出; 当 `stopcount[i] = 0` 时, 说明到达停止施肥的位置, 令电动机停止标志 `MStop = 1`; 当 `stopcount[i] < 0` 时, 令 `stopcount[i] = -1`。判断电动机启动标志 `MOpen` 是否等于 1, 若等于 1, 启动电动机进行排肥, 并令故障监测启动标志 `Monitor = 1`, 对故障监测时间计数变量 `MonitorCount` 进行累加。若 `MOpen` 不等于 1, 则进入电动机停止标志 `MStop` 判断函数。当 `MStop = 1`, 停止电动机转动, 令故障监测启动标志 `Monitor = 0`; 当 `MStop` 不等于 1 时, 说明未到达停止电动机时刻, 退出中断, 返回主程序。

1.5 试验平台搭建

为了模拟果园施肥环境, 同时对果园对靶排肥系统的性能进行试验, 搭建了试验平台, 如图 7 所示。支架长、宽、高分别为 100、68、88 cm, 支架底部

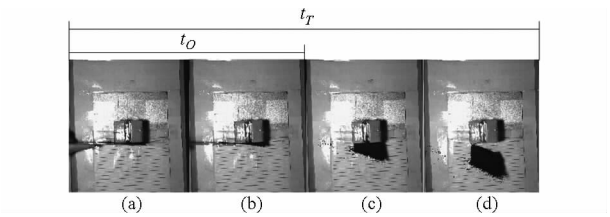


图 8 高速摄影排肥流速试验

Fig. 8 Fertilizer ejecting flow rate experiment by using high speed photography
(a) 遮挡板末端进入出口口 (b) 遮挡板末端离开出口口
(c) 肥料下落中 (d) 肥料刚好完全驶离出肥装置

时间; t_T 为排肥过程所用总时间; v_s 为排肥流速,
$$v_s = \frac{200}{t_T}; Q \text{ 为 } 0.72 \text{ s 内的流量, } Q = 0.72 v_s。$$

表 1 高速摄影排肥流速试验结果

Tab.1 Results of fertilizer ejecting flow rate experiment by using high speed photography					
H /cm	S /cm ²	t_O /s	t_T /s	v_s /(g·s ⁻¹)	Q /g
2	100	0.032 0	0.096 0	2 093	1 507
3	66.7	0.030 5	0.107 8	1 858	1 338
4	50	0.028 0	0.112 3	1 782	1 283
5	40	0.020 5	0.113 0	1 773	1 277
6	33.3	0.017 2	0.128 2	1 561	1 124
7	28.6	0.019 3	0.142 8	1 401	1 009
8	25	0.015 7	0.167 8	1 191	858
9	22.2	0.013 5	0.171 2	1 169	842
10	20	0.013 0	0.185 0	1 082	779

由试验结果可知,在 200 cm³ 的单位体积下,横截面积大于 28.6 cm²时,能够实现 0.72 s 内的排肥量大于 1 kg。同时,考虑到截面积越大,导致排肥扇叶越细长,实际使用过程中容易变形,最终选择 200 cm³单位体积下,横截面积为 40 cm²,高度为 5 cm 的单位排肥槽轮容积。

表 3 对靶排肥性能实验室试验

Tab.3 Laboratory performance test of toward-target fertilizer ejecting										
肥量挡位	行进速度 /(km·h ⁻¹)	理论排肥量/g	平均排肥量/g	排肥量标准差/g	排肥量变异系数/%	平均偏移距离/cm	偏移距离标准差/cm	平均排肥长度/cm	排肥长度标准差/cm	排肥长度变异系数/%
1	1.15	212	220	10.0	4.6	-5.2	3.9	20.2	1.7	8.3
2	1.17	424	427	6.2	1.4	-4.3	3.9	29.5	2.6	8.9
3	1.04	636	639	12.8	2.0	-4.0	3.7	33.8	2.3	6.7
4	0.83	848	850	5.2	0.6	-5.5	3.6	39.1	1.1	2.8
5	0.81	1 060	1 050	15.1	1.4	-0.6	6.2	40.9	2.1	5.1

注:平均偏移距离的“+”、“-”分别表示沿试验小车行进方向,排肥中心点超前或滞后于靶标中心点。

由试验数据可知,平均排肥量与理论排肥量的最大误差为 10 g,排肥量标准差最大为 15.1 g,最小为 5.2 g,不同排肥量挡位下的平均排肥量变异系数最大为 4.6%,实现了按肥量挡位控制排肥量的准

2.2 速度试验

为了对速度探测准确性进行试验,搭建 LCD1602 显示电路,用于记录和显示 50 m 内的各瞬时速度,用秒表记录试验小车行走时间。根据系统设计要求施肥过程中速度不超过 2 km/h,记录了人工推动试验小车在 1.08 ~ 3.21 km/h 的速度下的速度,速度试验结果如表 2 所示。

表 2 速度试验

Tab.2 Speed experiment		
实际速度 /(km·h ⁻¹)	系统计算速度 /(km·h ⁻¹)	相对误差/%
1.08	1.10	1.85
1.73	1.71	1.16
2.50	2.46	1.60
3.21	3.22	0.31

其中,实际速度为 50 m 内的平均速度,系统计算速度为每次试验过程中 LCD 显示各瞬时速度所得平均值。由速度试验结果可得,速度测量的最小相对误差为 0.31%,最大相对误差为 1.85%,平均相对误差为 1.23%,速度测量的精度较高。

2.3 对靶排肥性能实验室试验

实验室试验的目的是为了验证变量排肥控制器在 5 个肥量挡位设置下,排肥量、排肥位置和排肥长度的准确性。使用搭建的试验平台,以直径为 40 cm 的 PVC 管作为靶标,颗粒肥选用粒状过磷酸钙(容积密度 1.06 g/cm³)进行试验。每个肥量挡位设置 10 个靶标,对每个靶标施肥量用称重仪(LQ 系列,五鑫衡器有限公司)称量,用米尺测量排肥中心点距靶标中心点的偏移距离和排肥长度。施肥机果园作业时速度基本维持在 1 km/h 左右,试验过程中人工推动小车在 1 km/h 左右的速度下运行,试验结果如表 3 所示。

确性要求。试验小车行进速度在 0.81 ~ 1.17 km/h 的范围内变化时,偏移距离绝对值最大为 5.5 cm,最小为 0.6 cm,偏移距离标准差平均值为 4.26 cm,实现了在一定的速度变化范围内进行精准对靶施肥

的设计要求。排肥长度基本在 40 cm 以内,不同排肥量挡位下平均排肥长度标准差最大为 2.6 cm,平均排肥长度变异系数最大为 8.9%,满足果园穴排肥长度要求。

2.4 排肥故障监测装置性能试验

为了对排肥故障监测装置性能进行研究,将排肥故障监测装置与 DC 5 V 电源、发光二极管通过导线串联形成回路,在排肥过程中,故障监测装置若监测到肥料下落会产生通断变化,使回路导通或断开,表现为发光二极管闪烁,闪烁的状态表示是否感知到肥料下落,闪烁的次数表示每次排肥产生高低电平变化的次数。排肥器由控制器控制,从低排肥量挡位到高排肥量挡位依次进行穴排肥试验,各排肥挡位重复进行 10 次穴排肥,数据如表 4 所示。

表 4 排肥故障监测装置性能试验
Tab.4 Performance test of fertilizer ejecting fault monitoring device

肥量挡位	平均闪烁次数	闪烁次数标准差	最小闪烁次数
1	4.2	1.4	2
2	5.8	0.6	5
3	8.2	1.0	7
4	10.0	0	10
5	14.7	2.8	11

试验结果表明故障监测装置在小排肥量穴排肥到大排肥量穴排肥时均能准确感知肥料下落,产生高低电平变化的次数最小为 2 次,排肥监测准确率为 100%。每个肥量挡位监测的 LED 闪烁次数平均值依次为 4.2、5.8、8.2、10.0、14.7 次,闪烁次数标准差最大为 2.8 次,较好地说明了排肥故障监测装置运行稳定,工作可靠。

2.5 田间试验

田间试验的主要目的是为了验证对靶排肥的准确性。该支持故障报警的果园对靶变量排肥系统与普通条开沟施肥机配套安装(图 9),在青海省海西州德令哈市高原红枸杞种植专业合作社进行枸杞催芽追肥试验。

根据当地枸杞施肥要求,5 年枸杞果树的排肥量为 0.6~0.8 kg/棵,将肥量挡位设置为 0.6 kg 挡,记录连续工作 100 棵的对靶排肥状况。施肥机平均行进速度为 1.0 km/h,连续工作的 100 棵枸杞树中,有 97 棵进行了准确排肥;由于部分树干生长畸



图 9 田间试验

Fig.9 Field experiment

1. 拖拉机 2. 作业者 3. 控制器 4. 肥箱 5. 排肥器 6. 导肥管 7. 开沟铲 8. 红外探测传感器

形,低于靶标探测传感器的探测位置,3 棵未探测到而未排肥,排肥准确率为 97%,满足了条开沟穴排肥的果园工作要求。整个试验过程中,有 6 次排肥是由于探测到田间散落的枯枝和较大的侧枝,枯枝和较大的侧枝和树干尺寸相当,该方法无法进行区别,在果园修剪和整理过程中需要进行提前处理。

3 结论

(1) 采用树干探测方法,基于普通条开沟施肥机具设计了一种对靶变量施肥系统,该系统主要包括对靶变量控制器和精量排肥器,能够根据排肥量挡位设置,实现精准穴施肥,并具有排肥故障监测报警功能。

(2) 提出了一种落肥感知方法并设计了排肥监测装置,其能消除施肥机振动的影响,排肥监测准确率达 100%。

(3) 采用高速摄影技术,获得了合适的排肥槽轮出肥口截面积,并通过试验验证该排肥器能够实现 0~1 kg 肥量变化范围下,穴排肥长度基本控制在 40 cm 以内,具有良好的成穴效果。施肥行进速度在 0.81~1.17 km/h 内变化时,5 个肥量挡位平均排肥量与理论排肥量的最大误差为 10 g,排肥量的变异系数分别为 4.6%、1.4%、2.0%、0.6%、1.4%;偏移距离绝对值最大为 5.5 cm,最小为 0.6 cm,偏移距离标准差平均值为 4.26 cm,满足果园变量排肥的肥量控制和对靶施肥的要求。

(4) 田间试验表明,对靶排肥准确率为 97%,满足果园对靶排肥的要求。与主干尺寸相当的枯枝和下垂侧枝会引起误排肥,除果园管理时提前清除外,该对靶变量排肥系统在抗干扰能力方面也有待提高。

参 考 文 献

1 龚艳,丁素明,付锡敏.我国施肥机械化发展现状及对策分析[J].农业开发与装备,2009(9):6-9.
Gong Yan, Ding Suming, Fu Ximin. Mechanization development of China fertilizer situation and countermeasures[J]. Agricultural Development and Equipments,2009(9):6-9. (in Chinese)
2 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.

- Yu Long, Hong Tiansheng, Zhao Zuoxi, et al. 3D-reconstruction and volume measurement of fruit tree canopy based on ultrasonic sensors[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11):204–208. (in Chinese)
- 3 Alexandre Escolà, Santiago Planas, Joan Ramon Rosell, et al. Performance of an ultrasonic ranging sensor in apple tree canopies[J]. Sensors, 2011, 11(3):2459–2477.
- 4 刘华, 姚耀华. 激光测距在果树冠层三维重构中的应用[J]. 现代农业装备, 2012(7):45–47.
Liu Hua, Yao Yaohua. The application on 3-D construction of fruit tree canopy using laser ranging[J]. Modern Agricultural Equipments, 2012(7):45–47. (in Chinese)
- 5 俞龙, 黄健, 赵祚喜, 等. 丘陵山地果树冠层体积激光测量方法与试验[J]. 农业机械学报, 2013, 44(8):224–228.
Yu Long, Huang Jian, Zhao Zuoxi, et al. Laser measurement and experiment of hilly fruit tree canopy volume[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(8):224–228. (in Chinese)
- 6 邱白晶, 闫润, 马靖, 等. 变量喷雾技术研究进展分析[J]. 农业机械学报, 2015, 46(3):59–72.
Qiu Baijing, Yan Run, Ma Jing, et al. Research progress analysis of variable rate sprayer technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(3):59–72. (in Chinese)
- 7 刘金龙, 郑泽锋, 丁为民, 等. 对靶喷雾红外探测器的设计与探测距离测试[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(7):368–370.
- 8 Emilio Gil, Jordi Llorens, Jordi Llop, et al. Use of a terrestrial LIDAR sensor for drift detection in vineyard spraying[J]. Sensors, 2013, 13(1):516–534.
- 9 Sanza R, Rosella J R, Llorensb J, et al. Relationship between tree row LIDAR-volume and leaf area density for fruit orchards and vineyards obtained with a LIDAR 3D Dynamic Measurement System[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2013, 171–172:153–162.
- 10 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 Changyuan, Zhao Chunjiang, Wang Xiu, et al. Design and experiment of young tree target detector[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(2):18–22. (in Chinese)
- 11 邵利敏, 王秀, 牛晓颖, 等. 基于 PLC 的变量施肥控制系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(11):84–87.
Shao Limin, Wang Xiu, Niu Xiaoying, et al. Design and experiment on PLC control system of variable rate fertilizer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(11):84–87. (in Chinese)
- 12 乔璐, 姬长英, 任益敏, 等. 基于 CAN 总线的混合变量施肥机信息通信系统的设计[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(4):234–238.
Qiao Lu, Ji Changying, Ren Yimin, et al. Based on the CAN bus of electronic control system of mixed fertilizer applicator[J]. Journal of Chinese Agriculture Mechanization, 2013, 34(4):234–238. (in Chinese)
- 13 古玉雪, 苑进, 刘成良. 基于模糊系统的开度转速双变量施肥控制序列生成方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(11):134–139.
Gu Yuxue, Yuan Jin, Liu Chengliang. FIS-based method to generate bivariate control parameters regulation sequence for fertilization[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(11):134–139. (in Chinese)
- 14 田耕, 曲贵宝, 潘世强, 等. 基于电液马达的变量施肥机系统的研究[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(1):129–137.
Tian Geng, Qu Guibao, Pan Shiqiang, et al. Study of variable fertilizer applicator based on hydraulic motor controlled by electron[J]. Journal of Chinese Agriculture Mechanization, 2014, 35(1):129–137. (in Chinese)
- 15 陈立平, 黄文倩, 孟志军, 等. 基于 CAN 总线的变量施肥控制器设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(8):101–104.
Chen Liping, Huang Wenqian, Meng Zhijun, et al. Design of variable rate fertilization controller based on CAN bus[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8):101–104. (in Chinese)
- 16 张睿, 王秀, 赵春江, 等. 链条输送式变量施肥抛撒机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6):20–25.
Zhang Rui, Wang Xiu, Zhao Chunjiang, et al. Design and experiment of variable rate fertilizer spreader with conveyor chain[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(6):20–25. (in Chinese)
- 17 张云贵, 邱建军, 李志宏, 等. 基于施肥处方的烤烟变量施肥机设计及应用[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(3):726–736.
Zhang Yungui, Qiu Jianjun, Li Zhihong, et al. Design and testify of a self-manufactured fertilization machine for tobacco variable fertilization based on soil nutrient variation[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(3):726–736. (in Chinese)
- 18 孙国祥, 陈满, 汪小昆, 等. 变量施肥机关键技术研究现状分析[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(2):333–339.
- 19 王秀, 赵春江, 孟志军, 等. 精准变量施肥机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5):114–117.
Wang Xiu, Zhao Chunjiang, Meng Zhijun, et al. Design and experiment of variable rate fertilizer applicator[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(5):114–117. (in Chinese)
- 20 伟利国, 张小超, 苑严伟, 等. 2F-6-BP1 型变量配肥施肥机研制与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7):14–18.
Wei Liguoguo, Zhang Xiaochao, Yuan Yanwei, et al. Design and experiment of 2F-6-BP1 variable rate assorted fertilizer applicator[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(7):14–18. (in Chinese)
- 21 李雪玮. 槽轮机构的参数化设计与自动装配[J]. 包装工程, 2010, 31(7):66–69.
Li Xuewei. Parameterized design and automatic assembly of geneva mechanism[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(7):66–69. (in Chinese)