

玉米精密播种粒距在线监测与漏播预警系统研究

杨 硕¹ 王 秀² 高原源³ 陈立平² 翟长远² 窦汉杰²

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 北京农业智能装备技术研究中心, 北京 100097;
3. 江苏大学农业工程学院, 镇江 212013)

摘要: 针对玉米精密播种粒距偏差导致播量分布不均匀的问题, 设计了玉米精密播种粒距在线监测与漏播预警系统。该系统主要由车载计算机、排种监测 ECU 及相关传感器组成, 设计了上位机监测软件和基于移动平均粒距在线监测的下位机程序, 通过监测玉米精密播种作业过程中的粒距及其误差, 完成漏播预警。首先, 设计并进行了排种计数监测精度试验, 结果表明, 在模拟车速 3 ~ 12 km/h 范围内, 以 1 km/h 递增变化的 10 个车速下, 系统对指夹式排种器和气吸式排种器的排种计数监测平均准确率分别为 99.12%、99.71%, 标准差分别为 0.52%、0.44%, 总体排种计数监测误差平均值小于 1%。其次, 基于高速摄像的播种粒距测量试验台进行了实验室环境下的粒距监测精度试验, 采用指夹式排种器进行排种, 目标粒距为 25 cm, 在车速 3 ~ 12 km/h 范围内, 以 1 km/h 为间隔的 10 个车速下, 系统对粒距监测误差绝对值的平均值为 2.34 cm, 标准差为 2.56 cm。针对试验结果存在较多的随机异常点问题, 采用移动平均滤波对监测粒距进行分析, 得出粒距监测误差绝对值的平均值为 0.79 cm, 标准差为 0.62 cm, 单车速下对应的粒距监测误差绝对值的平均值最大为 1.69 cm, 标准差为 0.23 cm, 经移动平均滤波处理后, 粒距误差异常点明显减少, 系统粒距监测误差小于 2.00 cm。最后, 基于气吸式玉米精密播种机设计了试验样机, 设置播种车速为 5.49、8.49 km/h, 目标粒距为 25 cm, 进行了田间播种粒距监测精度试验, 分别采集 350 个连续的出苗粒距进行对比分析, 结果表明, 与出苗粒距移动平均值相比, 系统粒距监测误差的平均值分别为 1.84、2.22 cm, 标准差分别为 1.61、2.13 cm, 粒距监测值曲线与出苗粒距移动平均值曲线的变化趋势基本相同。

关键词: 玉米; 精密播种; 播种粒距监测; 漏播预警; 播种均匀性

中图分类号: S24; S223.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2021)03-0017-08

OSID:



Design of On-line Seed Spacing Monitoring and Miss Seeding Warning System for Maize Precision Planting

YANG Shuo¹ WANG Xiu² GAO Yuanyuan³ CHEN Liping² ZHAI Changyuan² DOU Hanjie²

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. Beijing Research Center of Intelligent Equipment for Agriculture, Beijing 100097, China
3. School of Agricultural Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: Aiming to solve the problem of that the seed spacing error of corn precision planting caused the seed rate distribution nonuniformity, an online seed spacing monitoring and miss seeding warning system of maize precision planting was designed. The system was mainly composed of an onboard computer, a seeding monitoring electronic control unit (ECU) and related sensors. The corresponding host computer monitoring software and a slave computer program based on an online moving average seed spacing monitoring algorithm were designed for the purpose of achieving seed missing warning according to the seed spacing and its error monitoring on the process of maize precision planting. Firstly, the precise seed dropping monitoring was the premise of seed spacing monitoring, thus a seed count accuracy experiment was designed. The results showed that the 10 simulated travel speeds increased from 3 km/h to 12 km/h at an interval of 1 km/h, the average seed count accuracy of a finger pick-up seed meter and an air suction seed meter was 99.12% and 99.71%, with standard deviation of 0.52% and 0.44%, respectively. The average error of the whole seed count monitoring was less than 1%. Secondly, under the condition of

收稿日期: 2020-11-17 修回日期: 2021-01-11

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0700500-2017YFD0700502)

作者简介: 杨硕(1990—), 男, 博士生, 主要从事农业智能装备研究, E-mail: yangshuosjz@163.com

通信作者: 王秀(1965—), 男, 研究员, 主要从事农业智能装备研究, E-mail: wangx@nrcita.org.cn

laboratory environment, a system seed spacing monitoring precision experiment based on a high-speed photogrammetry seed spacing test-bed was designed. The target seed spacing was set to 25 cm, the travel speeds increased from 3 km/h to 12 km/h at an interval of 1 km/h, and the finger pick-up seed meter as the test object. The experimental results showed that the average of absolute seed spacing monitoring error was 2.34 cm with standard deviation of 2.56 cm. However, there were many seed spacing monitoring outliers. To solve the above problem, a moving average program was designed to analyze the monitoring seed spacings, the results showed that the average absolute of seed spacing monitoring error was 0.79 cm with standard deviation of 0.62 cm, the maximum of the average seed spacing monitoring error at any travel speed was 1.69 cm with standard deviation of 0.23 cm. The seed spacing outliers were significantly reduced after moving average processing, and the seed spacing monitoring error was less than 2.00 cm. Finally, a test prototype was designed based on an air-suction maize precision planter, and a seed spacing monitoring performance experiment was done in field. In the test, the travel speeds was 5.49 km/h and 8.49 km/h, respectively, the target seed spacing was set to 25 cm, and then 350 continuous emergence spacings were collected. The test results indicated that compared with the emergence moving average spacings, the average seed spacing monitoring error was 1.84 cm and 2.22 cm, with standard deviation of 1.61 cm and 2.13 cm, respectively, at the travel speed of 5.49 km/h and 8.49 km/h. The curve of seed spacing monitoring values were basically coincident with the curve of the emergence moving average spacings values. The online seed spacing monitoring was implemented, and the monitoring precision of the seed spacing uniformity was improved. The results can give a reference to achieve the precise online monitoring system of the maize precision planting uniformity.

Key words: corn; precision planting; seed spacing monitoring; miss seed warning; planting uniformity

0 引言

目前玉米主要种植方式为精密播种,依据最优播量均匀播种是保证玉米产量的首要环节^[1-2]。受排种器类型^[3-4]、排种驱动方式^[5-6]、播种作业速度^[7-8]等因素影响,玉米精密播种机需根据播量变化调整播种速率,从而引起播种均匀性能的改变。播种作业时种子位于土壤层下,这给播种均匀性评估带来困难。玉米精密播种均匀性监测技术为上述问题提供了解决方案^[9]。

根据应用环境差别,播种均匀性监测主要包括实验室静态排种器监测^[10-11]和田间车载在线监测^[12-14]。实验室静态排种器监测主要通过图像处理和排种监测传感器探测加以实现。该方法效果直观、粒距测量准确,比较有代表性的是黑龙江省农业机械工程科学研究院研制的JPS-12型排种器试验台^[15]。由于需要对裸露在传送带上的种子图像进行采集,导致排种测试平台体积较大,使田间在线作业的发展前景受限。学者们开始利用传感器探测种子在导种管内落种状态或排种盘上的种子位置,对排种品质进行间接评价,典型的有Precision Planting公司生产的MeterMax型排种器检测仪^[16]和中国农业大学研制的玉米精量排种器自动检测仪^[17-18]。播种监测传感器体积小,易于在车载精密播种机上实施。为了对玉米精密播种机播种品质进行在线监测,文献[19]对玉米精密播种机故障报警系统进行了研究,田间试验得出,系统对漏播粒数的监测准确

率大于92.11%;文献[20]通过优化探头分布和布置形式,对播种监测传感器进行了改进,系统对漏播量的平均监测准确率为95.1%;文献[21]设计了采集排种转速的光电编码器和监测气吸排种器吸种信息的光电传感器,提高了漏播量的监测精度,系统监测值与真实值相对误差平均值为3.87%;文献[22]通过压电传感器监测落种状态,对漏播监测准确率达到96.1%,并运用远程信息传输技术实现了对播种质量的远程监测。

目前,针对漏播指数、合格指数和重播指数的监测研究解决了条段漏播监测问题,而合格指数作为一个宏观指标,无法对处于合格粒距范围内的粒距偏差进行精准评价^[23]。玉米精密播种机播量分布不准确对产量的影响较大,根据GB/T 6973—2005标准,合格粒距范围在0.5~1.5倍标准粒距之间,处于合格粒距范围内的粒距偏差,对播量的影响仍然较大。为监测粒距情况,传统方法是播种前由有经验的农机作业者进行试播种,播种后将种子覆土拨开,测量连续几组粒距,根据目标粒距与真实值的偏差对播种机播种粒距设置进行调整。该方法无法解决在线粒距偏差的监测问题,从而造成了播种均匀性差异,影响了产量^[24]。

针对上述问题,本文设计玉米精密播种机播种粒距在线监测系统,通过落种监测传感器探测落种时间间隔,与实时作业速度相融合,在线获得播种粒距,通过优化算法提高播种粒距在线监测精度并对播种作业过程中的粒距误差进行试验验证,以期提

高玉米精密播种均匀性监测精度,实现漏播预警。

1 系统总体设计

1.1 控制系统硬件设计

为实现车载在线玉米精密播种粒距等播种重要参数监测,针对气吸式玉米精密播种机,设计了播种粒距在线监测系统(图 1)。该系统主要由排种监测 ECU(Electronic control unit)、车载计算机和相关传感器组成,各部分通过通信线、信号线和电源线进行电气连接,完成信息交换。其中,电源线用于对各设备供电连接,电源为 DC12V 车载蓄电池,排种监测 ECU 内部集成基于 LM2596S 芯片的 DC12V 转 DC5V 的稳压模块;为防止开断电时电压峰波对车载计算机供电稳定性的影响、保证排种监测传感器的电压的稳定性,单独搭建 XW-1224-5 型宽压稳压模块进行供电;其余传感器通过 DC12V 车载蓄电池直接供电。通信线采用 CAN 通信网络,参照 ISO 11783 进行协议设计,利于系统扩展^[25];信号线主要包括气压传感器通信线、落种监测传感器信号线以及车速编码器信号线,信号由排种监测 ECU 进行集中解算;排种监测 ECU 基于 STM32F105RBT6 芯片设计,通过串口转 RS485 模块与气压传感器通信,获取风机出口压力,针对压力异常进行报警;落种监测传感器采用红外对射的原理,通过落种改变对射光路,使得红外接收端接收光强发生变化,经信号放大处理后形成脉冲信号,控制器通过 PC817 型光耦隔离芯片读取基于红外对射的落种监测传感器信号,获取稳定的落种脉冲信号,计算排种参数;通过中断输入端口读取安装于地轮上的车速编码器信号,计算车速;接收 CAN 网络报文,对播种粒距、播种压力、车速等信息进行融合,依据既定协议传输至



图 1 系统总体示意图
Fig. 1 System general diagram

CAN 网络。

车载计算机采用 Win7 系统,用于运行粒距在线监测与预警软件,通过 USB2.0 接口与 USB/CAN 转换模块连接至总线,与总线搭载的下位机进行通信,对播种机播种粒距状态进行显示、记录,当气压下降异常、播种粒距异常等状况发生时,向用户进行报警。通过上述硬件组成、线束设计,使系统能够满足车载稳定作业的要求,进而通过软件设计实现对气吸式玉米精密播种机粒距误差的监测及漏播预警。

1.2 播种粒距监测程序设计

玉米精密播种的在线粒距获取程序主要由排种监测 ECU 完成。通过间隔落种时间与作业车速 2 个因素对粒距进行在线监测。首先,获取玉米精密播种的作业车速,为了满足播种粒距的准确在线测量,车速的测量需要更新频率快、数值准确。通过地轮测速的方式测量车速 v ,更新频率为 2 Hz,车速编码器选择较高分辨率 1 024 p/r,同时,为了尽可能消除地轮直径测量误差、滑移率等的影响,引入校核系数,计算公式为

$$v = \frac{3.6\pi\mu QD}{F\Delta T} \tag{1}$$

式中 μ ——校核系数

Q ——车速编码器脉冲累计数

D ——地轮直径, m

F ——车速编码器分辨率, p/r

ΔT ——车速更新周期, s

μ 的确定方法为:针对新的作业地块,使玉米精密播种机带动地轮转动作业一定距离 l_A (m),记录距离 l_A 内车速编码器输出的脉冲数 Q_i ,计算公式为

$$\mu = \frac{Fl_A}{\pi Q_i D} \tag{2}$$

落种监测传感器将落种状态转换为脉冲信号,系统通过监测脉冲信号的上升沿,对 2 个相邻脉冲时间 Δt_k (s) 进行计时(图 2)。玉米精密排种器正常工作时,具有随机的单粒漏播现象,使得通过单一粒距的监测来反映播种粒距的方法存在粒距异常值,而出现误报警。

为了消除异常值,更好地预测播种粒距的变化趋势,对系统监测的播种粒距进行移动平均处理,则粒距监测值计算公式为

$$G_m = \frac{100 \sum_{k=1}^n v_k \Delta t_k}{3.6n} \tag{3}$$

式中 G_m ——粒距监测值, cm

n ——移动平均处理周期数

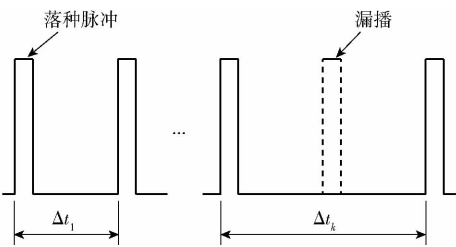


图 2 落种脉冲计时示意图

Fig. 2 Schematic of seeding pulse timing

v_k ——对应脉冲间隔内车速, km/h

依据 n , 程序对监测到的落种脉冲时间间隔进行更新, 剔除旧值, 本文确定 n 取 10。此外, 为达到漏播快速监测, 由前期试验得出, 玉米精密排种器正常播种时, 连续漏播的粒数一般小于等于 3 粒, 当满足

$$v_k \Delta t_k > \frac{3G_t \times 3.6}{100} \quad (4)$$

式中 G_t ——目标粒距, cm

程序停止移动平均处理, 令 $G_m = 3G_t$, 直至不满足式(4)的条件, 解除报警, 继续对粒距进行移动平均处理。气体压力读取通过串口发送读取指令, 气压传感器通信遵循标准 Modbus RTU 协议, 接收到读取压力指令后自动反馈, 排种监测 ECU 通过解析压力指令获取压力。完成上述计算后, 排种监测 ECU 将粒距监测值、车速、气压、排种粒数, 按照 1 Hz 的频率上传至 CAN 网络, 由车载计算机接收。

1.3 播种粒距预警程序设计

系统对播种粒距误差的预警主要通过玉米精密播种粒距在线监测软件实现, 通过对播种粒距的在线监测, 获得播种粒距误差, 在漏播发生之前, 提前发现播种粒距的异常状态, 实现对播种漏播的预警, 保证玉米精密播种作业过程中播种量的均匀性。该软件依托车载计算机运行, 采用 VS2010 软件 MFC 框架编写, 软件主界面如图 3 所示。

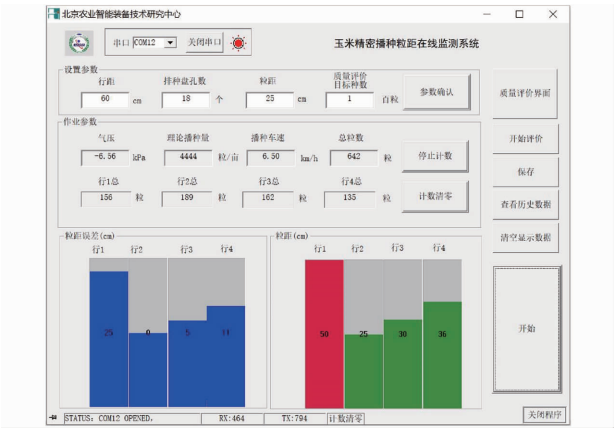


图 3 软件操作界面

Fig. 3 Software operation interface

软件界面依据功能可划分为通信串口号设

置、作业参数设置、作业参数监测和粒距分析 4 个区域。其中, 通信串口号设置区用于设备通信时工作串口号的选择、开闭。参数设置区用于对播种行距、排种盘孔数、目标粒距 G_t 等参数进行设置, 参数设置完成后, 点击“参数确定按钮”, 系统将设置参数保存至本地“InitValue. txt”文件, 系统每次启动时即对初始设置参数进行读取。作业参数监测包括气压、车速、目标播量、单行排种量和总排种量。其中, 气压用于监测气吸式播种机气吸管路的压力, 当压力低于工作压力时进行报警, 及时排除故障; 单行排种量对比可以显示出各行播种单体差异, 用于对各行播种单体的播种粒数的一致性进行监测; 总排种量用于对播种机的整体排种粒数监测。粒距分析区域包括粒距误差和实时粒距。实时粒距显示排种监测 ECU 传输的 G_m , 当出现漏播时, 对应进度条颜色由绿色变为红色。粒距误差 ΔG (cm) 计算公式为

$$\Delta G = G_m - G_t \quad (5)$$

粒距误差有正负, 数值为正, 表示粒距偏大, 反之, 则偏小。通过观察玉米精密播种过程中粒距误差方向, 若粒距误差持续为正, 则说明粒距偏大, 应增加对应车速下的排种速率, 反之, 则减小对应车速下的排种速率。粒距误差越大, 说明实际播种粒距偏移目标粒距越远, 则播量误差也较大。通过上述方法, 实现漏播、播种粒距分布不准确的在线监测。

2 试验平台搭建

2.1 试验台

为了探究系统对不同型式排种器排种测量精度, 选用指夹式排种器和气吸式排种器进行排种粒数测量精度试验, 见图 4。通过调整落种监测传感器与排种口的垂直距离, 可以实现对 2 粒种子重播的监测^[16], 将落种监测传感器固定于距排种器落种口垂直高度 225 mm 的位置。排种器通过总线电动机驱动排种系统进行驱动^[25], 其中, 指夹式排种器排种盘有 18 指, 排种驱动电动机型号为 JCF76R-1280-60R, 排种盘稳定转速范围为 8~42 r/min; 气吸式排种器排种盘孔数为 26 孔, 排种驱动电动机型号为 AQMD3608BLS, 配行星齿轮减速器, 减速比为 18:1, 排种盘稳定转速范围为 8~55 r/min。试验时, 设定目标粒距 25 cm、行距 60 cm, 模拟车速在 3~12 km/h, 间隔 1 km/h, 每个模拟车速下获取 100 粒左右种子进行验证, 试验重复 3 次, 分析系统播种计数监测精度。

在此基础上, 由于车速由总线报文获取, 粒距监

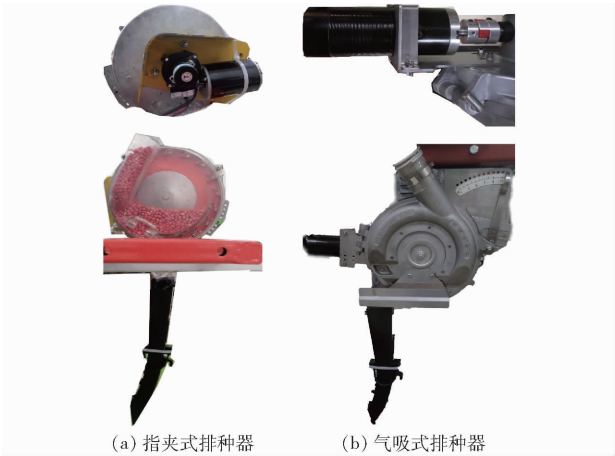


图 4 排种粒数测量准确率试验装置

Fig.4 Experimental objects of seed count accuracy test

测值的精度主要取决于对落种时间间隔 Δt 的监测准确性。为了对系统测定的落种时间间隔准确性进行验证,利用高速摄像机 (SVSI GigaView 系列 GVC M08-B05 型) 搭建了实验室试验台 (图 5)。试验台选用指夹式排种器,选用的玉米种子为郑单 958;通过排种驱动电动机进行排种;利用作业速度模拟器 (输出 1~150 kHz) 模拟车速编码器信号;利用 A4 纸打印水平线,放置于与导种管出口垂直距离 70 mm 的位置,用于模拟水平地面;收集盒内铺设防震气泡膜,防止下落的玉米种子过度弹跳对高速摄像造成影响;计算机处理软件为 GigaView 软件,对高速摄像帧率设定为 900 f/s,采集时间为 12.451 s。试验时,目标粒距 25 cm、行距 60 cm,模拟车速在 3~12 km/h,以 1 km/h 递增变化,通过系统捕获 20 组落种间隔数值,并传送至 CAN 网络,通过控制系统捕获落种的时间,使与高速摄像启动记录时间保持一致。由高速摄像视频

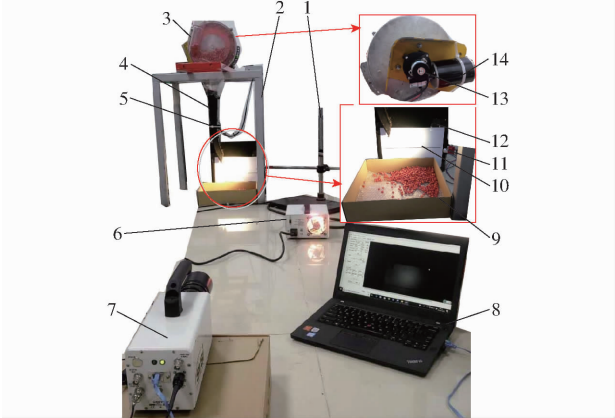


图 5 实验室试验台

Fig.5 Laboratory test platform

1. 光源固定架 2. 支架 3. 指夹式排种器 4. 导种管 5. 落种监测传感器 6. 光源发生器 7. 高速摄像机 8. 计算机 9. 收集盒 10. 水平线标志纸 11. 光源探头 12. 背景板 13. 电动机转速编码器 14. 排种驱动电动机

回放确定相邻 2 粒种子下落至水平位置标志线时的时间间隔,结合模拟车速,获得粒距真实值,与系统粒距监测值对比,分析系统在实验室环境下,对排种粒距监测精度。

2.2 田间试验样机

为了对系统在田间的播种粒距监测精度进行验证,基于 2BFQ-6 型气吸式玉米精密播种机单体,设计了田间试验样机 (图 6)。将车载计算机、排种监测 ECU 固定至播种机上,通过线束连接。落种监测传感器安装在气吸排种器的导种管上,距离落种口的垂直距离与实验室设置时保持一致。气压传感器 (CYYZ31-40-RS-14-B-G 型) 量程为 -20~20 kPa,安装于风机出风管连接处。车速编码器 (GK80K25G100BMC526 型) 分辨率为 100 p/r,安装于地轮转轴上,与地轮同步转动。气吸排种器排种盘孔数为 26 孔,采用直流无刷电动机 (AQMD3608BLS) 加装减速器 (减速比为 18:1) 进行驱动,通过总线电动机驱动排种系统进行控制^[25]。试验于 2019 年 7 月 26 日在河北省石家庄市栾城区麦茬旋耕地进行,选用郑单 958 玉米种子进行播种,设定播种目标粒距 25 cm、行距 60 cm,选择行进方向最左侧单体作为测试单体,通过 CAN 分析仪监听总线播种车速、经移动平均处理的粒距监测值报文,依次根据时间节点进行存储,获得粒距监测值。首先,对车速校核系数 μ 进行标定,最终确定 μ 为 1.24。选取 2 个播种车速,通过车速计算得 2 个车速平均值分别为 5.49、8.49 km/h,标准差分别为 0.11、0.29 km/h。



图 6 试验样机

Fig.6 Test prototype

1. 测试单体 2. 排种监测 ECU 3. 车载计算机 4. 气压传感器 5. 车速编码器 6. 落种监测传感器

设定试验区域,地块长度 150 m,上述 2 个车速下的有效播种粒距采集距离为 120 m,用卷尺测量每个试验区域内连续的 350 个播后 14 d 的出苗粒距 (图 7)。通过车速与时间的累加获得距离,使得粒距监测值与出苗粒距的位置相互对应,分析在田间环境下,系统对播种粒距的监测精度。

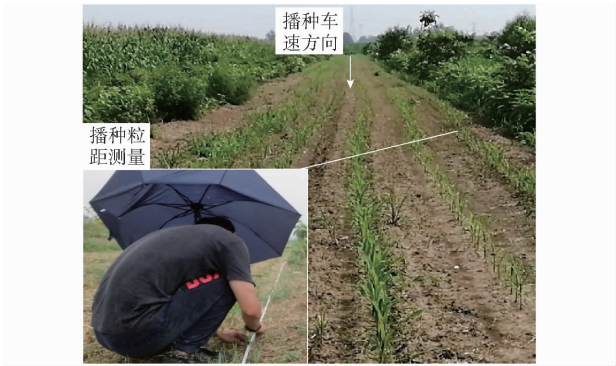


图7 田间数据采集
Fig.7 Field data acquisition

3 试验与结果分析

3.1 排种计数监测精度试验

系统对指夹式排种器、气吸式排种器的播种计数监测精度如图8所示。由试验结果可得,模拟车速为3~12 km/h,以1 km/h为间隔,系统对指夹式排种器排种计数监测平均准确率为99.12%,标准差为0.52%;系统对气吸式排种器排种计数监测平

均准确率为99.71%,标准差为0.44%。系统对上述2种类型排种器排种计数监测准确率总体平均值为99.42%,标准差平均值为0.48%,说明系统对玉米精密播种的落种监测具有较好精度,总体排种计数监测误差平均值小于1%。

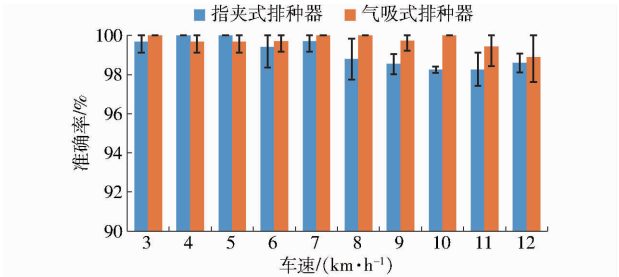


图8 排种计数监测精度试验结果
Fig.8 Results of seed count accuracy test

3.2 实验室排种粒距监测精度试验

利用图5所示试验台,对系统排种粒距在实验室环境下的监测准确性进行试验。通过高速摄像机捕获一段时间内排种器落种情况,采集相邻落种图像如图9所示。

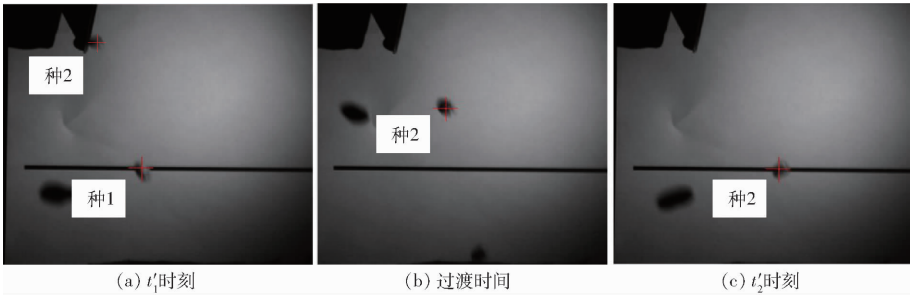


图9 相邻落种高速图像
Fig.9 High-speed photography of adjacent seeding

设相邻落种中心点到达水平标志线的时刻为 t'_1 (图9a),经排种过渡时间(图9b),种2中心点到达水平标志线的时刻为 t'_2 (图9c),则相邻落种之间的时间间隔 $\Delta t'$ 为

$$\Delta t' = t'_2 - t'_1 \tag{6}$$

根据测定的时间间隔,乘以车速获得基于高速摄像测定的粒距,并将该值记为粒距真实值。根据系统CAN网络监测的20组相邻落种之间的时间间隔,乘以车速,获得粒距监测值。将粒距真实值与粒距监测值相减,获得粒距监测误差,试验结果如图10所示。

由图10可得,在模拟车速3~12 km/h范围内,以1 km/h为间隔变化时,系统对粒距监测误差绝对值的平均值为2.34 cm,标准差为2.56 cm,波动较大,且具有较多的异常点。

为了消除异常点,解决因排种器随机单粒漏播、重播造成的粒距突变对系统粒距测量精度的影响,对粒距监测值进行移动平均滤波处理,结果如图11

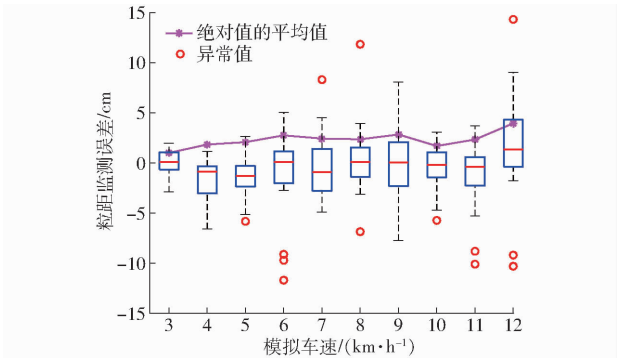


图10 粒距监测误差试验结果
Fig.10 Results of seed spacing monitoring error test

所示。由试验结果可得,粒距监测误差经移动平均处理后,异常值明显减少,粒距监测误差绝对值的平均值为0.79 cm,标准差为0.62 cm。在试验设定的10个车速下,单车速下对应的粒距监测误差绝对值的平均值最大为1.69 cm,标准差为0.23 cm。试验结果表明,经移动平均滤波处理后,系统粒距监测误差小于2.00 cm。

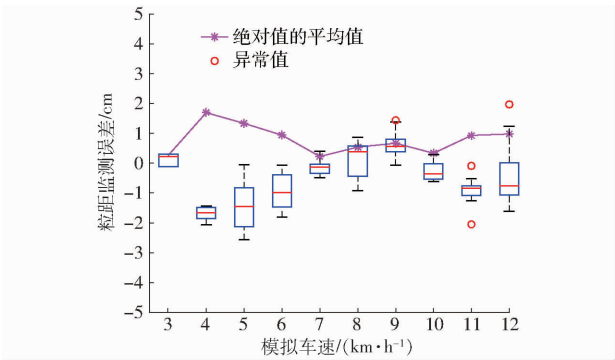


图 11 移动平均处理粒距监测误差结果

Fig. 11 Results of seed spacing monitoring error by moving average

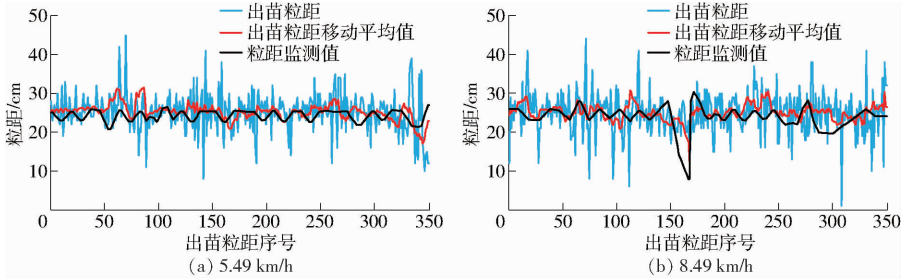


图 12 不同车速下的出苗粒距与粒距监测结果曲线

Fig. 12 Results of emergence spacing values and seed spacing monitoring values at different travel speeds

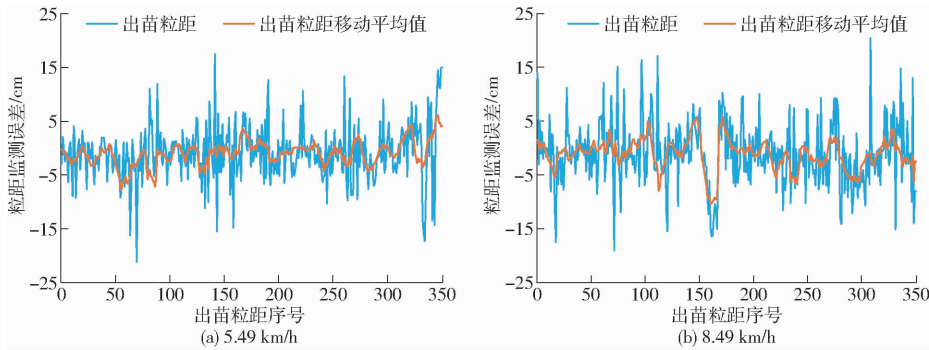


图 13 不同车速下的粒距监测误差结果曲线

Fig. 13 Results of seed spacing monitoring error at different travel speeds

变化趋势基本一致,在车速 5.49、8.49 km/h 下,平均值差值分别为 1.00、1.20 cm。

由图 13 可得,车速分别为 5.49、8.49 km/h 时,与出苗粒距移动平均值相比,系统粒距监测误差的平均值分别为 1.84、2.22 cm,标准差分别为 1.61、2.13 cm,粒距监测误差平均值增加 0.38 cm;而与出苗粒距相比,系统粒距监测误差平均值分别为 3.88、4.64 cm,标准差分别为 3.59、4.01 cm,粒距监测误差平均值增加 0.76 cm。

结果说明,车速增大时,系统粒距监测误差增大,在车速 5.49、8.49 km/h 下,采用出苗粒距移动平均值计算的粒距监测误差平均值分别降低 2.04、2.42 cm,标准差分别降低 1.98、1.88 cm,系统粒距监测值曲线与出苗粒距移动平均值曲线更接近。综

3.3 田间播种粒距监测精度试验

为了对系统田间粒距监测精度进行验证,选取 2 个播种机常用工作车速,进行了粒距监测精度试验,试验结果如图 12、13 所示。由图 12 可得,车速分别为 5.49、8.49 km/h 时,出苗粒距平均值分别为 25.20、24.88 cm,标准差分别为 5.00、5.49 cm;出苗粒距移动平均滤波的平均值分别为 25.28、25.02 cm,标准差分别为 2.07、2.06 cm;粒距监测平均值分别为 24.28、23.82 cm,标准差分别为 1.24、3.06 cm。

系统粒距监测值曲线与出苗粒距曲线相比,消除了粒距尖波的数据点。与出苗粒距曲线相比,出苗粒距移动平均值曲线与粒距监测值曲线更接近,

上结果可得,经移动平均处理后,系统粒距监测值曲线更加平滑,消除了随机播种粒距跳跃变化的影响;系统粒距监测值与出苗粒距移动平均值变化趋势基本相同;车速增大时,系统粒距监测精度降低。

4 结论

(1) 基于 CAN 总线通信网络设计了玉米精密播种粒距在线监测与漏播预警系统,设计了基于移动平均滤波算法的播种粒距在线监测程序,通过对播种粒距及其误差的在线监测,实现了对播种漏播的预警。该系统通过车载电源提供电能,实现了车载计算机与排种监测 ECU 的总线通信。

(2) 搭建了系统实验室性能试验台,通过车速的变化获得了系统在实验室环境下对排种计数的监

测精度和对排种粒距的监测精度。选取指夹式精密排种器和气吸式精密排种器,在设定粒距 25 cm、行距 60 cm,以及在车速 3 ~ 12 km/h 范围内,以 1 km/h 为间隔的 10 个模拟车速下,系统对 2 种排种器排种计数监测准确率总体平均值为 99.42%,标准差平均值为 0.48%;以指夹式排种器为排种对象,经移动平均滤波处理后,系统粒距监测误差总体小于 2.00 cm,单车速下对应的最大粒距监测误差绝对值的平均值为 1.69 cm,标准差为 0.23 cm。

(3) 基于气吸式玉米精密播种机研制了田间

试验样机,通过粒距监测值与出苗粒距的对比分析,获得了系统在田间作业环境下对播种粒距的监测精度。设置 2 个车速 5.49、8.49 km/h,目标粒距为 25 cm、行距为 60 cm,采集连续的 350 个出苗粒距数据进行分析,结果表明,与出苗粒距移动平均值相比,系统粒距监测误差的平均值分别为 1.84、2.22 cm,标准差分别为 1.61、2.13 cm。经移动平均滤波处理后,粒距监测值曲线与出苗粒距移动平均值曲线的变化趋势基本相同,能够较准确地反映粒距变化。

参 考 文 献

- [1] 杨丽,颜丙新,张东兴,等. 玉米精密播种技术研究进展[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(11):38-48.
YANG Li, YAN Bingxin, ZHANG Dongxing, et al. Research progress on precision planting technology of maize[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(11):38-48. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20161106&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.11.006. (in Chinese)
- [2] 苑严伟,白慧娟,方宪法,等. 玉米播种与测控技术研究进展[J/OL]. 农业机械学报,2018,49(9):1-18.
YUAN Yanwei, BAI Huijuan, FANG Xianfa, et al. Research progress on maize seeding and its measurement and control technology[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(9):1-18. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180901&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2018.09.001. (in Chinese)
- [3] 颜丙新,张东兴,崔涛,等. 排种盘和负压腔室同步旋转气吸式玉米精量排种器设计[J]. 农业工程学报,2017,33(23):15-23.
YAN Bingxin, ZHANG Dongxing, CUI Tao, et al. Design of pneumatic maize precision seed-metering device with synchronous rotating seed plate and vacuum chamber[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(23):15-23. (in Chinese)
- [4] 刘忠军,刘立晶,杨学军,等. 指夹式玉米免耕精密播种机的设计与试验[J]. 农业工程学报,2016,32(增刊2):1-6.
LIU Zhongjun, LIU Lijing, YANG Xuejun, et al. Design and experiment of no-till precision planter for corn[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(Sup. 2):1-6. (in Chinese)
- [5] HE Xiantao, DING Youqiang, ZHANG Dongxing, et al. Design and evaluation of PID electronic control system for seed meters for maize precision planting[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(17):28-33.
- [6] 杨硕,王秀,高原源,等. 支持转速现场标定的玉米精密排种器电驱控制系统研究[J/OL]. 农业机械学报,2020,51(1):47-55.
YANG Shuo, WANG Xiu, GAO Yuanyuan, et al. Investigation on motor-driving maize precision seed meter system supporting on-site calibration of rotate speed of seed plate[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(1):47-55. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20200105&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2020.01.005. (in Chinese)
- [7] LIU Q W, HE X T, YANG L, et al. Effect of travel speed on seed spacing uniformity of corn seed meter[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2017, 10(4):98-106.
- [8] 丁友强,杨丽,张东兴,等. 基于 GPS 测速的电驱式玉米精量播种机控制系统[J/OL]. 农业机械学报,2018,49(8):42-49.
DING Youqiang, YANG Li, ZHANG Dongxing, et al. Control system of motor-driving maize precision planter based on GPS speed measurement[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(8):42-49. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180805&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2018.08.005. (in Chinese)
- [9] 张景,纪超,陈金成,等. 精量播种机排种质量电子监测技术研究现状[J]. 新疆农机化,2018(2):15-18,19.
ZHANG Jing, JI Chao, CHEN Jincheng, et al. Research status of electrical seeding quality monitoring technology for precision seeder[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization, 2018(2):15-18,19. (in Chinese)
- [10] CAY A, KOCABIYIK H, KARAASLAN B, et al. Development of an optoelectronic measurement system for planter laboratory tests[J]. Measurement, 2017, 102:90-95.
- [11] DEVIN L M, AJAY S, DANIEL F, et al. Development of high-speed camera hardware and software package to evaluate real-time electric seed meter accuracy of a variable rate planter[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2017, 142:314-325.
- [12] KOSTIC M, RAKIC D, RADOMIROVIC D, et al. Corn seeding process fault cause analysis based on a theoretical and experimental approach[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2018, 151:207-218.
- [13] DU R C, GONG B C, LIU N N, et al. Design and experiment on intelligent fuzzy monitoring system for corn planters[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2013, 6(3):11-18.
- [14] YIN Y X, CHEN L P, MENG Z J, et al. Design and test of precision seeding monitoring system for maize planter[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2018, 11(4):186-192.
- [15] 吴泽全,徐冬,程睿,等. 排种器试验台检测系统的设计与试验[J]. 农机化研究,2011,33(2):65-69.
WU Zequan, XU Dong, CHENG Rui, et al. The detection system design and experimental of seed metering test-bed[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(2):65-69. (in Chinese)
- [16] 刘广玉,胡和兴,杨丽娜,等. MeterMax 精密排种器试验台简介[J]. 农业机械,2011(25):102-104.

YANG Li, YAN Bingxin, ZHANG Dongxing, et al. Research progress on precision planting technology of maize[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(11): 38-48. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20161106&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.11.006. (in Chinese)

[20] 贾洪雷, 马成林, 李慧珍, 等. 基于美国保护性耕作分析的东北黑土区耕地保护[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10): 28-34.

JIA Honglei, MA Chenglin, LI Huizhen, et al. Tillage soil protection of black soil zone in northeast of China based on analysis of conservation tillage in the United States[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10): 28-34. (in Chinese)

[21] MCCARTHY J R, PFOST D L, CURRENCE H D. Conservation tillage and residue management to reduce soil erosion. Agricultural Publication G-1650[M]. Missouri: University of Missouri, 1993.

[22] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.

[23] 赵宏波, 何进, 郑智旗, 等. 少免耕播种机条带型行间侧抛清结防堵装置研究[J/OL]. 农业机械学报, 2020, 51(12): 24-34.

ZHAO Hongbo, HE Jin, ZHENG Zhiqi, et al. Strip tillage inter-row residue side-throwing device of no/minimum-till seeder for anti-blocking and seedbed-cleaning[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(12): 24-34. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20201203&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2020.12.003. (in Chinese)

[24] 付卫强. 玉米免耕精密播种质量控制关键技术研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2019.

[25] 王金武, 唐汉, 王金峰, 等. 悬挂式水田单侧修筑埂机数值模拟分析与性能优化[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(8): 72-80.

WANG Jinwu, TANG Han, WANG Jinfeng, et al. Numerical analysis and performance optimization experiment on hanging unilateral ridger for paddy field[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(8): 72-80. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170807&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.08.007. (in Chinese)

[26] 方会敏. 基于离散元法的秸秆-土壤-旋耕刀相互作用机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2016.

[27] 任露泉. 试验设计及其优化[M]. 北京: 科学出版社, 2009.

[28] 任露泉. 回归设计及其优化[M]. 北京: 科学出版社, 2009.

[29] 中国国家标准化管理委员会. 玉米免耕播种机作业质量: NY/T 1628—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[30] 中国国家标准化管理委员会. 免耕播种机质量评价技术规范: NY/T 1768—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

[31] 中国国家标准化管理委员会. 旱地玉米机械化保护性耕作技术规范: NY/T 1409—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.

[32] KUSHWAHA R L, VAISHNAV A S, ZOERB G C. Performance of powered-disc coulters under no-till crop residue in the soil bin[J]. Canadian Agricultural Engineering, 1986, 28(2): 85-90.

[33] FIAZ A, DING Weimin, DING Qishou, et al. Comparative performance of various disc-type furrow openers in no-till paddy field conditions[J]. Sustainability, 2017, 9(7): 1143.

(上接第24页)

[17] 和贤桃, 郝永亮, 赵东岳, 等. 玉米精量排种器排种质量自动检测仪设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(10): 19-27.

HE Xiantao, HAO Yongliang, ZHAO Dongyue, et al. Design and experiment of testing instrument for maize precision seed meter's performance detection[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(10): 19-27. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20161003&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.10.003. (in Chinese)

[18] HAO Y, CUI T, BORA G, et al. Development of an instrument to measure planter seed meter performance[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2017, 33(1): 31-40.

[19] QI Jiangtao, JIA Honglei, YANG Li, et al. Design and test of fault monitoring system for corn precision planter[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2015, 8(6): 13-19.

[20] 纪超, 陈学庚, 陈金成, 等. 玉米免耕精量播种机排种质量监测系统[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(8): 1-6.

Ji Chao, CHEN Xuegeng, CHEN Jincheng, et al. Monitoring system for working performance of no-tillage corn precision seeder[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(8): 1-6. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160801&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.08.001. (in Chinese)

[21] 贾洪雷, 路云, 齐江涛, 等. 光电传感器结合旋转编码器检测气吸式排种器吸种性能[J]. 农业工程学报, 2018, 34(19): 28-39.

JIA Honglei, LU Yun, QI Jiangtao, et al. Detecting seed suction performance of air suction feeder by photoelectric sensor combined with rotary encoder[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(19): 28-39. (in Chinese)

[22] 黄东岩, 朱龙图, 贾洪雷, 等. 基于GPS和GPRS的远程玉米排种质量监测系统[J]. 农业工程学报, 2016, 32(6): 162-168.

HUANG Dongyan, ZHU Longtu, JIA Honglei, et al. Remote monitoring system for corn seeding quality based on GPS and GPRS[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(6): 162-168. (in Chinese)

[23] 郭慧, 王刚, 赵佳乐, 等. 种子纵向分布均匀性指标及空间分布均匀性评价方法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2020, 50(3): 1120-1130.

GUO Hui, WANG Gang, ZHAO Jiale, et al. Seed longitudinal distribution uniformity index and seed spatial distribution uniformity evaluation method[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2020, 50(3): 1120-1130. (in Chinese)

[24] YANG Lu, ZHANG Xiyi, CHEN Suying, et al. Increasing the planting uniformity improves the yield of summer maize[J]. Agronomy Journal, 2017, 109(4): 1463-1475.

[25] 杨硕, 王秀, 高原源, 等. 电动机驱动玉米气吸排种器总线控制系统设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(2): 57-67.

YANG Shuo, WANG Xiu, GAO Yuanyuan, et al. Design and experiment of bus control system for corn vacuum seed meter[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(2): 57-67. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190207&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2019.02.007. (in Chinese)