



基于电子控制单元的大豆液肥施肥机变量施控系统

张继成¹, 孟繁峰¹, 郑 萍¹, 侯守印², 纪文义²

(1. 东北农业大学 电气与信息学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 东北农业大学 工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要: 针对我国农业生产中肥料利用率相对较低的现状, 以实现减肥增效为目标, 设计基于电子控制单元 (electronic control unit, ECU) 的大豆液肥施肥机精确变量施控系统。该系统包括电子控制单元 ECU、信号采集系统和变量施肥系统, 以 Raspberry Pi 微型计算机作为电子控制单元, 采用北斗 + GPS 双重定位技术。系统依据作业区域内处方施肥数据、作业机具行进速度等信息, 并通过实时监测施肥量数据和作业状态数据, 建立闭环反馈环节; 依据变量施控系统的作业流程, 生成施控指令, 向基于压力调节阀的液肥施肥系统下达作业指令, 施肥装置根据作业指令调整压力调节阀的开度, 实现液肥按需变量施入的目的。结果表明: 基于 ECU 的施控系统, 各组成部分工作状态稳定可靠, 工作流程设计合理, 响应速度快, 系统从开启到施入流速稳定所需时间一般在 7 s 以内, 试验台和田间试验的施肥精度不低于 97.3%, 各喷药口实际流速的平均差较小, 均分器效果显著。该变量施控系统可行性强, 能满足变量施肥作业精度需求, 适合当前农业生产中的农艺需求, 为我国农业精确生产和实现减肥增效提供一种实现手段。

关键词: 液肥; 施控系统; 电子控制单元; 变量施肥

Variable Rate Control and Fertilization System of Liquid Fertilizer Applicator Based on Electronic Control Unit

ZHANG Ji-cheng¹, MENG Fan-feng¹, ZHENG Ping¹, HOU Shou-yin², JI Wen-yi²

(1. College of Electrical and Information, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Engineering College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Fertilization is an important process of agricultural production, which directly affects the yield of crops, and reasonable and effective use of chemical fertilizer can not only improve the yield of crops, but also reduce water and soil contamination. At present, the mechanization level of fertilization according to needs is very low in China, and the utilization rate of fertilizer has to be raised up. Variable rate fertilization (VRF) for crop is an effective way to outperform uniform rate fertilization (URF). A control and fertilization system of fertilizer applicator based on electronic control unit (ECU) was designed and experimented in this paper. It included ECU as the control system, signal collection system and fertilization system. ECU used the Raspberry Pi microcomputer to improve the response and steady performance of system. BeiDou/GPS dual-mode point positioning module was applied in the system to insure the positioning and velocity measurement of applicator and query accuracy of prescription map. ECU was responsible for collecting the signals of theoretical fertilization data from prescription map, the applicator speed, the input rate of fertilization measured and operation state data, and for generating fertilization instructions for fertilization system. The fertilization mechanism adjusted the openness of the pressure valve to response these instructions from ECU. This work flow fulfilled VRF based on the agronomic requirements and quantitatively. The experiment data showed that the control and fertilization system based on ECU could provide a reasonable and real-time control of every component. It generally took no more than 7 s from system open to steady flow. The fertilization precision were more than 97.3% both in experimental bench test and field test. The mean difference of flow rate of every fertilization sprayer was low that benefited from liquid separating and sharing device. The control and fertilization system was feasible and can meet the requirement of variable fertilization precision, and it was suitable for agricultural production in current agricultural production, and provided a means for agricultural precision production and reducing fertilization while increasing efficiency in agriculture in our country.

Keywords: Liquid fertilizer; Control and fertilization system; Electronic control unit; Variable rate fertilization

加强农业面源污染治理是转变农业发展方式、推进现代农业建设、实现农业可持续发展的重要任务。我国力争到 2020 年农业面源污染加剧的趋势得到有效遏制, 实现“一控两减三基本”。其中“两减”, 即减少化肥和农药使用量, 实施化肥、农药零

增长行动, 确保测土配方施肥技术覆盖率达 90% 以上, 农作物病虫害绿色防控覆盖率达 30% 以上, 肥料、农药利用率均达到 40% 以上, 全国主要农作物化肥、农药使用量实现零增长。将信息技术用于作物田间精准管理是精准农业的核心技术思想, 也是

收稿日期: 2018-08-29

基金项目: 2018 年国家重点研发计划 (2018YFD0201001)。

第一作者简介: 张继成 (1980 -), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事农用机械自动化控制技术研究。E-mail: zhangjicheng@neau.edu.cn。

通讯作者: 纪文义 (1970 -), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事现代农业装备研究。E-mail: jwy730306@163.com。

减肥增效的有效途径之一。在准确获取作物病虫害及长势信息的前提下,通过决策支持系统形成定位作业处方图,最终实现精准作业,达到最大限度提高资源利用率、获得经济、环境等方面最高回报的目的^[1]。美国、欧盟和日本等国家采用信息化精准管理,结合智能化机械施肥技术,肥料利用率高,单位面积化肥用量只有中国的1/3^[2],这主要是因为我国施肥机作业缺乏对施肥状态监测、排肥变速调节及故障信息监测等质量控制技术,易产生施肥精度不高、作业可靠性难以保证等问题^[3-4],使得我国的化肥利用率较低。国内有很多研究机构已经开始了变量施肥机具的研究。中国农机院研制的2F-6-BP1型变量配肥施肥机具有现场检测控制器模块,能够根据土壤N、P、K含量不同,按需进行配肥施肥,称重系统的最大称量误差为0.65%,固体肥施肥精度可达95%以上^[5];北京农林科学院研制的2F-VRT1型变量施肥机可根据用户设置施肥量结合GPS位置信号及机组速度信号,自动调整排肥轴驱动系统转速,实现实时变量作业^[6];东北农业大学设计与轮式拖拉机配套的SYJ2型三点悬挂式液肥变量施肥机以单片机作为核心处理器,关键部件为内腔式旋转扎穴机构,田间试验结果表明,施肥深度为地表12~15 cm,施肥精度为99.1%,满足液态变量施肥作业要求^[7]。从以上变量施肥机施肥试验效果来看,按处方图变量施肥地块能够实现精确的变量施肥^[8-10],提高化肥的利用效率,对提

高生产力降低成本有重要的作用。

通过对比已有变量施肥机的监测和控制特点,本文设计集施肥机车速、施肥量监测、施肥量信息读取、北斗+GPS定位和施肥状态监测为一体的大豆液肥施肥机自动施控系统。该系统采用Raspberry Pi微型计算机作为控制器,与单片机的控制系统相比,系统更加稳定,响应时间更短,整体性能进一步提高。采用北斗+GPS定位导航模块,提高定位精度,克服定位信息在关键时刻受限制的缺点,也可以解决使用单一定位系统定位不准确的问题,更可为未来变量施肥机的自动驾驶提供技术基础^[11]。

1 系统结构与流程设计

本研究设计了一套基于ECU的大豆液肥施肥机变量施控系统,系统主要包括ECU、信号采集系统和施肥系统3个部分。其中电子控制单元选用Raspberry Pi 3 Model B+,配备1.4 GHz的64位四核处理器,理论最大吞吐量为300 MB·s⁻¹,能够缩短控制系统响应时间、增加通讯和数据读取的稳定性。信号采集系统用于汇总北斗+GPS定位模块数据和车速数据、存储器中处方图施肥信息、肥料流量计和肥料压力变送器等的输入信号。施肥系统通过响应ECU的输出信号,自动调节压力和调节阀开度控制液态肥的施入量,具有自主知识产权,已申请专利(CN201310266071.1)。系统整体结构框图如图1所示。

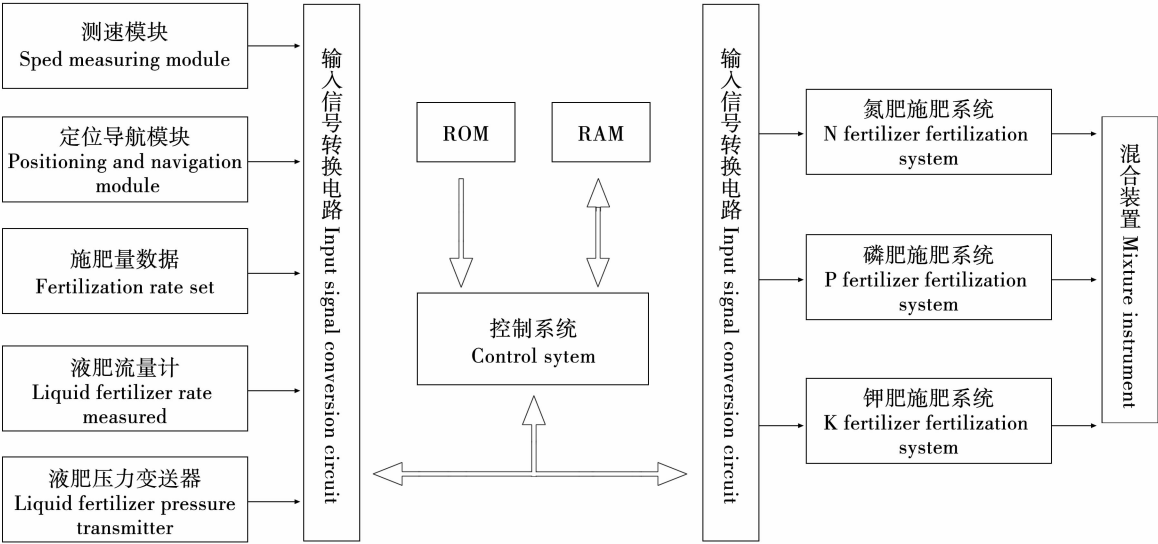


图1 基于ECU的变量液肥施控系统框图

Fig. 1 Block diagram of control and variable fertilization system based on ECU

ECU通过输入信号转换电路汇总来自北斗+GPS定位模块数据和车速数据、存储器中处方图施肥信息、肥料流量计和肥料压力变送器等的输入信

号,分析处理后通过输出信号转换电路,下达命令给液肥施肥系统,并进行作业状态实时监测和作业状态信息上传等功能。它展现了车载控制系统

ECU 与测速、定位、施肥量读取、流速监测和施肥状态监测模块的响应关系,各模块通过输入、输出信号转换电路与控制系统 ECU 以 CAN 总线相连,并将输出信号传给施肥系统^[12-13]。

2 系统硬件构成

2.1 ECU 芯片

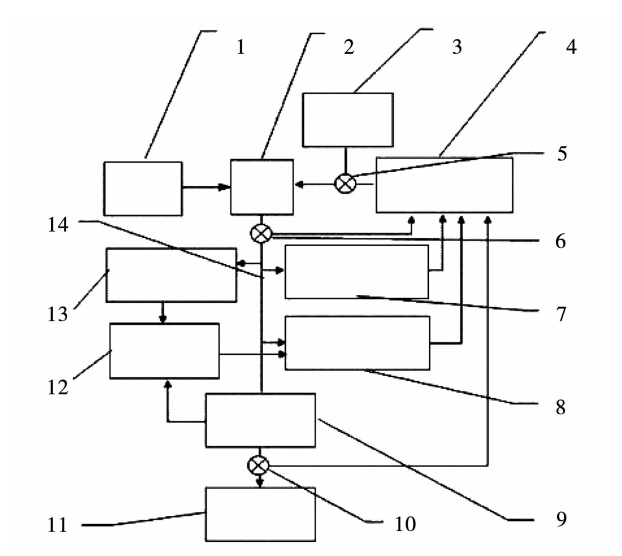
为了满足系统通用性、稳定性以及通讯等要求,通过比较目前流行的单片机系统,选择最新款 Raspberry Pi 3 Model B + (<https://www.raspberrypi.org/blog/raspberry-pi-3-model-b-plus-sale-now-35/>) 作为本系统的 ECU。Raspberry Pi 3 Model B + 配备 1.4 GHz 的 64 位四核处理器,新增 4Pin 的 PoE 供电引脚,提供新的电源解决方案,独立 PoE 以太网供电,双频 2.4 GHz/5.0 GHz 无线低功耗蓝牙 4.2,使用千兆以太网 Microchip LAN7515 芯片,理论最大吞吐量为 300 MB·s⁻¹。

2.2 北斗 + GPS 导航定位模块

北斗卫星导航系统是中国自行研制的全球卫星导航系统,是继美国全球定位系统、俄罗斯格洛纳斯卫星导航系统之后第三个成熟的卫星导航系统^[14]。北斗卫星导航系统除了具有定位功能之外,还具有报文通讯功能。将北斗卫星的导航功能和 GPS 定位互补使用,可以解决定位信息在关键时刻受限的缺点,也可以解决使用单一定位系统定位不确定的问题。为此,研究选用的北斗 + GPS 双模卫星定位模块是东莞泰斗微电子科技有限公司的型号为 TD3020C 的北斗 + GPS 双模导航定位模块,能够支持 DB2 B1、GPS L1 和两者混合工作模式,内置低噪声放大器,具有高精度、高灵敏度、低功耗、小尺寸等显著特点。

2.3 基于电动压力调节阀的变量施液态肥施肥系统

施肥系统以柴油发动机为施液态肥系统动力输出装置,以车载电源为液态肥变量控制系统动力输出装置,与液态肥施肥作业机具系统配套使用,采用电磁换向阀、溢流阀、电动调压阀、流量变送器和压力变送器组合式液肥变量控制结构,实现液肥施肥实时变量调节,具有结构简单、调节精度高、自动化程度高、实用性强的特点。施肥系统主要部件有柴油发动机、液肥泵、加肥口、液肥箱、电磁转向阀和电动调压阀。信号感应部件有压力变送器和流量计。本系统实现了液肥施肥量实时变量调节,具有设计合理、结构简单、调节精度高、作业可靠、易于维护保养的特点^[15]。基于压力调节阀的变量液态系统总体配置结构如图 2 所示。



1:柴油发动机;2:液肥泵;3:加肥口;4:液肥箱;5:电磁转向阀 A;6:电磁转向阀 B;7:溢流阀;8:电动调压阀;9:流量变送器;10:电磁转向阀 C;11:液态肥出口;12:电子控制单元;13:压力变送器;14:中心管路(电磁转向阀 A 为常开;电磁转向阀 B 和电磁转向阀 C 为常闭)。

1: Diesel engine; 2: Liquid fertilizer pump; 3: Fertilizer input port; 4: Liquid fertilizer box; 5: Electromagnetic steering valve A; 6: Electromagnetic steering valve B; 7: Overflow valve; 8: Electric pressure regulating valve; 9: Flow transmitter; 10: Electromagnetic steering valve C; 11: Liquid fertilizer outlet; 12: Electronic control unit; 13: Pressure transmitter; 14: Central pipeline (Valve A is normally open; Valve B and valve C are normally closed).

图 2 基于电动压力调节阀的液肥变量施肥系统
Fig. 2 Variable fertilization system for liquid fertilizers by using electric pressure valve

2.4 控制系统供电电源

电源是控制器系统的动力源,其供电性能的好坏直接决定控制器系统的工作稳定性表现。本控制系统的作业环境是在田间,无法使用常规的 220 V 交流电。因此本研究利用车载电瓶对控制器系统的主要部件进行连续供电。由拖拉机带动车载发电机给车载蓄电池供电,输出 12 V 的直流电压,通过电源逆变电器,即将直流 12 V 电源直接与北斗 + GPS 模块、控制器、电机驱动适配器连接,达到不间断供电的目的。

电源逆变器能够将 DC24 V 或 DC12 V 直流电压转换为控制器系统能直接使用的电压,并通过稳压电路直接与用电器件相连,具有过压、过载、超温、短路时的自动保护功能。

3 流程设计

ECU 总体负责施控信息的实时计算发送、传递、管理与存储,包括系统的开机自检,启动施控系统 & 装置、施控系统工作状态的实时监测、定位数

据的实时获取、施肥信息的读取、施肥量的计算、指令的生成与发送、施控系统及装置异常情况报警与应急处理、人机交互、数据存储等功能。具体流程如下^[16]：

(1)ECU 与设备初始化:控制系统在“开机”命令后,开始对 ECU 和设备进行初始化检测。其中系统板检测包括串并行接口、微处理器等。设备初始化重点对定位模块、施肥系统、处方图的存储状态进行检测。

(2)结束作业信息获取:ECU 在每次执行作业时,将会对上次结束时的信息进行提取,以供操作人员判断是否应接续上次结束信息进行施肥作业。如果上次作业正常结束,则显示上次关机状态信息,此时可以关机,也可以继续载入当前信息进行施肥作业。如果上次作业非正常结束,则显示中断时保存的信息,并进行中断原因提示,此时可以关机。

(3)变量施肥作业执行:控制系统通过实时读取定位信息,查询出处方图内相应的施肥量信息;将施肥量信息与施肥机速度进行计算,生成控制信号;将控制信号传递给单元控制系统完成变量施肥作业。

(4)异常情况处理:当执行变量施肥作业时,可能会出现一些突发的意外情况。如果肥料箱检测某种肥料剩余量接近临界值,提示报警。操作人员

可以结束作业,选择关机,停止施肥;操作人员也可以忽略该信息,继续施加其它肥料,但系统需将该信息保留,以便操作人员下次补充肥料继续施肥。系统也会出现定位信号故障、处方图连接故障等,则需操作人员关机调试,系统也会保留关机信息,等待重新开机显示。

(5)关机:系统当执行关机命令时,将会对此次开机作业进行统计,以便操作人员参考,做出下次施肥状况判断。

4 系统测试与分析

4.1 室内试验台测试

室内试验台测试所需的仪器设备有:液态肥箱及支架、施肥泵及支架、刚体支架平台、三项异步电动机、手动调压阀、电动调压阀、压力变送器、流量计。将连有流量计的下肥管接入整理箱,如同对 4 个苗带进行施肥测试(图 3)。

试验台分上下两层,上层安放为三项异步电动机、施肥泵及液态肥箱,下层安放为各控制装置。首先由动力输出设备为施肥泵提供动力源;通过手动调压阀调整管路内压力达到设定值;控制系统依据处方信息通过改变电动调压阀的开度,从而改变流经主管路的液体肥料的流量,实现变量施肥;流量计、压力变送器组成反馈信号,调整施肥状态^[17]。



图 3 试验台照片

Fig. 3 The photo of experiment bench

采用二因素五水平二次回归正交旋转中心组合优化试验方法^[18],进行不同压力环境下,控制系统从启动到稳定预定施肥量(±10%)的响应时间试验,以理论施入速度(X)、系统压力(Y)为影响因素,以系统响应时间(Z)为目标函数,选取 13 组试验,其中零水平试验 5 组。应用 Design-Expert 6.0.10 软件进行数据处理分析,根据预试验及变量施肥装置的实际工作状态确定各因素水平(表 1),3 次重复的均值作为试验结果。试验结果表明,响应时间 Z 回归方程中各项回归系数在信度 $\alpha = 0.05$

下经 F 检验,回归方程为: $Z = 1.344\ 65 + 0.366\ 42X - 0.583\ 3Y$ 。随着设定施肥速度和系统压强的增大,响应时间具有较均匀的上升趋势,当施肥速度一定时,提高系统压力能有效缩短响应时间(表 2)。例如,空载情况下电动调压阀从起始状态到完全打开需时 7 s。变频器工作频率在 40 Hz,系统压力在 2 MPa 时,系统流速由 $10\ \text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ 调整到 $20\ \text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ 需时 3 s,由 $20\ \text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ 到 $30\ \text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ 需时 7 s,达到稳定状态。表 3 试验数据表明,室内试验台施肥精度在 97.2% 以上。

表 1 试验因素水平
Table 1 Experimental factor level

因素 Factor	水平 Level	设定施入流速 X	系统压强 Y
		Input rate set $/(L \cdot \min^{-1})$	System pressure $/MPa$
上星号臂 Upper star arm	2	28	5.0
上水平 Upper level	1	25	4.3
零水平 Zero level	0	20	3.0
下水平 Lower level	-1	15	1.7
下星号臂 Lower star arm	-2	13	1.0

表 2 试验台影响响应时间试验数据
Table 2 The influence factor of response time
in experimental bench test

编码 Code	试验因素 Experimental factor		目标函数 Objective function
	X	Y	Z
	设定施肥流速 Input rate set $/(L \cdot \min^{-1})$	系统压强 System pressure $/MPa$	响应时间 Response time $/s$
1	15	2	5
2	25	2	9
3	15	4	5
4	25	4	8
5	13	3	5
6	28	3	9
7	20	1	8
8	20	5	6
9	20	3	7
10	20	3	6
11	20	3	6
12	20	3	7
13	20	3	7

表 3 试验台施肥精度测试数据
Table 3 Test data on fertilization precision
of experimental bench test

系统压力 System pressure $/MPa$	设定施入流速 Input rate set $/(L \cdot \min^{-1})$	实际施入流速范围 Input rate range measured $/(L \cdot \min^{-1})$	施肥精度 Fertilization precision $\%$
1.15	10	9.9 ~ 10.1	≥ 99.0
1.59	15	14.9 ~ 15.1	≥ 99.3
2.55	20	19.9 ~ 20.3	≥ 98.5
4.14	25	25.5 ~ 25.7	≥ 97.2
5.16	30	29.5 ~ 30.8	≥ 97.3

4.2 田间试验

试验在黑龙江省哈尔滨市香坊区东北农业大学试验田内,模拟建立处方图,进行施控系统性能稳定性测试。田间试验选择作业幅宽 15.6 m,下含 24 个苗带的变量施液态肥机,行进速度 2.5 ~ 10.0 km·h⁻¹。

为保证机具正常作业,配套动力为常州联凯动力机械有限公司生产的 CLF2110 型柴油机,拖拽机械为择纽芬兰 700 型拖拉机。施肥泵为浙江省金华市百信泵业有限公司生产的 MB4100-3.0 型、MB6215-3.0 型、MB4160-3.0 型 3 种隔膜泵,分别对应氮、磷、钾 3 种液态肥料(图 4)。控制装置为斯普瑞喷雾系统有限公司生产的 3/4 手动调压阀、BC44BRL-24-03D 型电动调压阀、801 型流量计。电磁阀为余姚市三叶阀门科技有限公司生产的 2T 型电磁阀。压力变送器为上海亭山仪表厂生产的 TS-800-F 型压力变送器。

试验过程:利用北斗 + GPS 定位试验区域,ECU 根据施肥机速度信息以及需肥量计算出当前应施氮、磷、钾 3 种液态肥的流速,控制施肥系统流量阀开度,进行流速自动控制。控制系统将采集的相关数据通过串口上传 ECU,将数据进行分析。



图 4 田间测试
Fig. 4 Field test

结果显示:在肥料亩施入量一定的情况下,大豆液肥的施入流速与机具行驶速度成正比。施肥系统从启动到施入流速稳定状态,一般时间在 7 s

以内。如果施入流速较大,稳定所需时间略长;反之,稳定所需时间略短(图 5)。

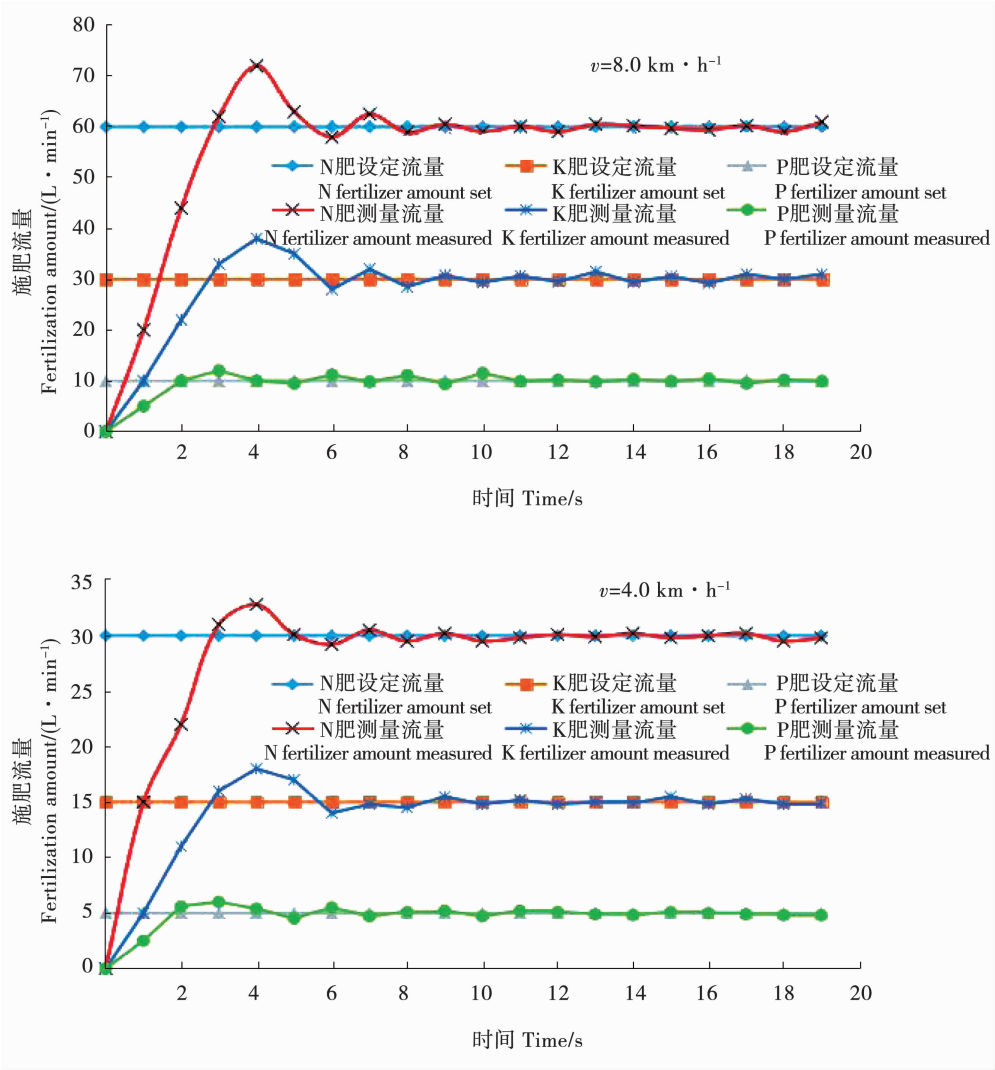


图 5 不同速度下施肥系统响应时间曲线
Fig. 5 Fertilization system response time curve of different velocity

为测试施控系统的实际工作性能,在不同压力情况下,设定液肥流速,使用流量计测量喷药口的工作流量,并计算流速精度,结果如表 4 所示,表明压力范围为 1.41 ~ 3.40 MPa,将流速设置 15 ~ 120 L·min⁻¹,流速精度 > 97.3%,与试验台施肥精度一致。

表 4 田间试验施肥精度测试数据
Table 4 Test data on fertilization precision of field experiment

编号 No.	设定压力 System pressure set/MPa	测量压力 System pressure measured/MPa	设定流速 Flow rate set /(L·min ⁻¹)	测量流速 Flow rate measured /(L·min ⁻¹)	施肥精度 Fertilization precision/%
1	1.41 ~ 1.55	1.41 ~ 1.52	15	15.24 ~ 15.40	≥97.3
2	1.57 ~ 1.81	1.60 ~ 1.80	40	40.21 ~ 40.54	≥98.7
3	2.18 ~ 2.40	2.20 ~ 2.40	80	80.51 ~ 80.75	≥99.1
4	2.50 ~ 2.70	2.60 ~ 2.75	100	100.55 ~ 101.20	≥98.8
5	2.80 ~ 3.40	2.86 ~ 3.43	120	120.60 ~ 121.98	≥98.3

田间试验选择作业幅宽 15.6 m, 下含 24 个苗带的变量施液态肥机。24 个苗带, 随机选取 6 个喷药口进行流速精度测试。表 5 为施肥机达到稳定状态后, 持续 176 s 施肥量的测试数据。这 6 个喷药口实际流量的平均差为 0.035 kg, 表明施肥系统液肥均分器工作状态良好。在 176 s 内, 6 个喷药口喷药合计 92.04 kg, 由此推算 24 个喷药口喷药合计 368.16 kg; 以下按照混合液肥密度为 $1.005\text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$ 计算, 6 个喷药口实际流速 $31.22\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, 推算 24 个喷药口液肥流速合计 $124.88\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

表 5 喷药口流速均匀度测试数据

Table 5 Test data on the uniformity of the nozzle flow rate

苗带 Seeding strip	带皮重 Total weight /kg	皮重 Tare weight /kg	净重 Net weight /kg	实际流速 Flow rate calculated /($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)
1	16.78	1.24	15.54	5.27
2	16.68	1.25	15.43	5.23
3	16.65	1.29	15.36	5.21
4	16.65	1.33	15.32	5.20
5	16.53	1.44	15.09	5.12
6	16.75	1.45	15.30	5.19

5 结论与讨论

本文研究基于 ECU 的大豆液肥施肥机精确变量施控系统, 采用 Raspberry Pi 微型计算机作为电子控制单元, 依据北斗 + GPS 双重定位、施肥量处方数据、施肥机车速, 实时施肥量数据和施肥机作业状态监测数据, 生成对基于压力调节阀的施控装置的工作指令, 调整压力调节阀的开度实现施肥机的按需变量作业。通过对试验台和田间试验的结果分析:

- (1) 电子控制单元性能稳定, 响应效果良好。系统以 Raspberry Pi 3 Model B + 为控制核心, 采用稳定、可靠的 CAN 总线通信方式, 设计液肥施肥机精确变量施控系统的作业流程, 能满足变量施肥作业低速、实时处方图读取、高施肥精度的需求。
- (2) 施肥响应时间与施肥量和系统压力关系密切, 当施肥量一定时, 提高系统压力能有效缩短响应时间。例如, 空载情况下电动调压阀从起始状态到完全打开需时 7 s。变频器工作频率在 40 Hz, 系统压力在 2 MPa 时, 系统流速由 $10\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 调整到 $20\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 需时 3 s, 由 $20\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 到 $30\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 需时 7 s, 达到稳定状态。
- (3) 变量施肥精度高。从试验台和田间试验结果分析, 在不同压力 and 不同设定液肥流速下, 系统压力测量值波动范围不大, 喷药口流速精度均大

于 97.3%。

(4) 施肥系统液肥均分器工作状态良好。在喷药口均一性试验中, 随机选取 24 个喷药口中的 6 个进行流量测定, 平均差为 0.035 kg。在 176 s 内, 6 个喷药口喷药合计 92.04 kg, 由此推算 24 个喷药口喷药合计 368.16 kg; 6 个喷药口实际流速 $31.22\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, 推算 24 个喷药口液肥流速合计 $124.88\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

参考文献

[1] 张继成, 陈海涛, 郑萍, 等. 基于 ArcGISDesktop 的大豆田间处方图生成方法的研究[J]. 大豆科学, 2013, 32(6):797-800. (Zhang J C, Chen H T, Zheng P, et al. Research on prescription generation method of soybean production based on ArcGIS desktop[J]. Soybean Science, 2013, 32(6):797-800.)

[2] 罗锡文, 廖娟, 邹湘军, 等. 信息技术提升农业机械化水平[J]. 农业工程学报, 2016, 32(20):1-14. (Luo X W, Liao J, Zou X J, et al. Enhancing agricultural mechanization level through information technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(20): 1-14.)

[3] 金鑫, 李倩文, 苑严伟, 等. 2BFJ-24 型精量播种变量施肥机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2018, 49(5):84-92. (Jin X, Li Q W, Yuan Y W, et al. Design and test of 2BFJ-24 type variable fertilizer and precision seed sowing machine[J]. Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(5): 84-92.)

[4] 施印炎, 陈满, 汪小昆, 等. 稻麦精准变量施肥机排肥性能分析与试验[J]. 农业机械学报, 2017, 48(7): 97-103. (Shi Y Y, Chen M, Wang X C, et al. Analysis and experiment of fertilizing performance for precision fertilizer applicator in rice and wheat fields[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(7): 97-103.)

[5] 伟利国, 张小超, 苑严伟, 等. 2F-6-BP1 型变量配肥施肥机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7):14-18. (Wei L G, Zhang X C, Yuan Y W, et al. Design and experiment of 2F-6-BP1 variable rate assorted fertilizer applicator[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(7): 14-18.)

[6] 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 X, Zhao C J, Meng Z J, et al. Design and experiment of variable rate fertilizer applicator[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(5):114-117.)

[7] 王金武, 潘振伟, 周文琪, 等. SYJ-2 型液肥变量施肥机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2015, 46(7):53-58. (Wang J W, Pan Z W, Zhou W Q, et al. Design and test of SYJ-2 Type liquid variable fertilizer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(7):53-58.)

[8] 孟志军, 赵春江, 刘卉, 等. 基于处方图的变量施肥作业系统设计及实现[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2009, 30(4): 338-342. (Meng Z J, Zhao C J, Liu H, et al. Development and performance assessment of map-based variable rate granule application system[J]. Journal of Jiangsu university (Natural Science Edition), 2009, 30(4):338-342.)

需求。如果豆油价格上升,居民会转向菜籽油、花生油、玉米油等的消费。如果猪肉价格上升,居民可以增加料肉比低的鸡鸭等禽肉的消费。而且猪肉的脂肪含量高,不利居民身体健康,因此,政府也可以加大宣传,鼓励居民消费高蛋白、低脂肪的鸡肉、鱼肉等肉类。

3.6 深化贸易布局,布局全球产业链

从长远看,要在全球化浪潮中保证中国大豆和相关产业安全,重点需要打造一批具有国际竞争力的跨国农业企业。通过中国农业企业“走出去”,拓展中国农业发展空间,提升中国农业的全球竞争力、资源配置力、市场控制力和国际影响力,保障中国油料植物油产业。首先,要统筹考虑和综合利用国际、国内两个市场、两种资源、两类规则,积极落实“一带一路”战略部署,加快实施农业“走出去”战略,加大境外农业投资和国际农业合作。然后,通过大型跨国农业企业布局全球农业产业链,促进中国和东道国农业的合作共赢,保障国家大豆和相关产业持续、稳定、安全、有效供给,构建高效、持续的全球油料植物油供需统筹网络和农业科技与资源的全球配置网络。

参考文献

[1] 郭天宝. 中国大豆生产困境与出路研究[D]. 长春:吉林农业大学,2017. (Guo T B. Study on dilemma and way out of China's soybean production [D]. Jilin: Jilin Agricultural University, 2017.)

[2] 张少春,闵师,马瑞. 城市化、食物消费转型及其生态环境影响[J]. 城市发展研究,2018,25(3):13-20. (Zhang S C, Min S, Ma R. Urbanization, food consumption transformation and its impact on ecological environment [J]. Urban Development Studies, 2018, 25(3): 13-20.)

[3] 郑志浩,高颖,赵股钰. 收入增长对城镇居民食物消费模式的影响[J]. 经济学,2016,15(1):263-288. (Zheng Z H, Gao Y, Zhao Y Y. Impact of income growth on food consumption patterns in urban China [J]. China Economic Quarterly, 2016, 15(1): 263-288.)

[4] 杨树果,何秀荣. 中国大豆产业状况和观点思考[J]. 中国农村经济,2014(4):32-41. (Yang S G, He X R. Thinking on the status and viewpoint of China's soybean industry [J]. Chinese Rural Economy, 2014(4): 32-41.)

[5] 魏浩. 中国反制美国大豆进口的应对战略与启示[J/OL]. 人民论坛·学术前沿:1-6[2018-08-25]. (Wei H. China's resistance of US soybeans and its insight [J/OL]. Frontiers: 1-6 [2018-08-25].)

(上接第 117 页)

[9] 侯顺艳,王秀,薛绪掌,等. 土壤精准管理变量施肥地理信息系统的研究[J]. 河北大学学报(自然科学版),2003,23(2):193-197. (Hou S Y, Wang X, Xue X Z, et al. Development of GIS application system for variable rate fertilization in soil precise management [J]. Journal of Hebei University (Natural Science Edition), 2003, 23(2):193-197.)

[10] 梁春英,衣淑娟. 液体肥变量施用控制系统性能的试验研究[J]. 农机化研究,2010,32(8):117-120. (Liang C J, Yi S J. Study of variable rate liquid fertilizer applicator control system based on fuzzy pid controller[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(8):117-120.)

[11] 刘碧贞,黄华,祝诗平,等. 基于北斗/GPS 的谷物收割机作业综合管理系统[J]. 农业工程学报,2015,31(10):204-210. (Liu B Z, Huang H, Zhu S P, et al. Integrated management system of grain combine harvester based on Beidou & GPS [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(10): 204-210.)

[12] Zhang J C, Hou S Y, Wang R T, et al. Design of variable-rate liquid fertilization control system and its stability analysis[J]. International Journal of Agricultural & Biological Engineering, 2018, 11(1): 109-114.

[13] 杨柳,罗婷婷,程新荣,等. 基于 Raspberry Pi 的拖拉机通用自动驾驶系统[J]. 农业工程学报,2015,31(21):109-115. (Yang L, Luo T T, Cheng X R, et al. Universal autopilot system of tractor based on Raspberry Pi [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(21): 109-115.)

[14] 刘兴科,张之孔. “北斗一号”车辆监控管理系统的设计[J]. 测绘与空间地理信息,2012(6):26-29. (Liu X K, Zhang Z K. Design of vehicle supervision and management system according to 'Beidou I' [J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2012(6): 26-29.)

[15] 张继成,王丹,郑萍,等. 用电调压阀控制的液肥变量施肥系统, CN201310266071.1 [P]. 2013. (Zhang J C, Wang D, Zheng P, et al. Liquid fertilizer variable rate fertilization system using electronic pressure valve. CN 201310266071.1 [P]. 2013.)

[16] 张英姿. 基于处方图的变量施液态肥控制系统关键技术研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2015. (Zhang Y Z. Key technology study on the variable-rate fertilizer control system based on prescription [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013.)

[17] 张继成. 基于处方图的变量施肥系统关键技术研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2013. (Zhang J C. Research on the key technology of variable rate fertilization system based on prescription map [D]. Northeast Agricultural University, 2013.)

[18] 陈树人,段建,姚勇,等. 环模式成型机压缩水稻秆成型工艺参数优化[J]. 农业工程学报,2013,29(22):32-41. (Chen S R, Duan J, Yao Y, et al. Optimization of technique parameters of annular mould briquetting machine for straw briquette compressing [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(22): 32-41.)