

基于电机驱动的定位施肥控制系统设计与试验

赵 硕^{1,2} 宗 泽^{1,2} 刘 刚^{1,2}

(1. 中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083;
2. 中国农业大学农业农村部农业信息获取技术重点实验室, 北京 100083)

摘要: 在准确的位置投入适量的肥料是满足农田精细施肥作业的基本需求。为了实现以玉米苗期根部位置为依据的定位施肥作业,设计了一种基于电机驱动的定位施肥控制系统,该系统硬件部分主要由上位机、下位机处理器、电机和驱动器组成。分析了定位施肥过程中的迟滞现象,建立了施肥位置滞后模型;将滞后距离作为提前量,实时置入控制系统,提出了阈值控制算法;最后,通过试验平台对该控制系统稳定性和准确性进行验证。试验结果表明,该控制系统在电机转速 50 ~ 201 r/min 的范围内运行稳定,平均系统响应时间为 0.8 s。

关键词: 定位施肥; 控制系统; 电机驱动; 设计; 试验

中图分类号: S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2019)S0-0091-05

Design and Test on Position Fertilization Control System Based on Motor Drive

ZHAO Shuo^{1,2} ZONG Ze^{1,2} LIU Gang^{1,2}

(1. Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Key Laboratory of Agricultural Information Acquisition Technology, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Appropriate amount of fertilization in an accurate position is the basic requirement for meeting the precise fertilization operation in the field. The domestically used ground-wheel-driven fertilizer applicator can not be controlled in real time to meet the requirements of fertilization accuracy. The outer-groove wheel fertilizer has a simple structure to be controlled by a motor easily. In order to realize the positioning and fertilization operation based on the root position of the corn seedling stage, a position fertilization control system was designed based on a motor drive, which mainly included the master computer, the slave computer processor, the motor and the driver. The problem of fertilization lag was widespread in fertilization research, which was effectively solved. The factors causing the delay time were analyzed and the lag model of the fertilization position was established, the stability of the control system was improved and the error was reduced. A threshold control algorithm was proposed for placing the lag distance as the advance amount into the control system. The stability and accuracy of the control system were verified by a test platform. The test results show that the control system can control the speed of the fertilizing motor in the range of 50 ~ 201 r/min stably, and complete the position fertilization with an average response time of 0.8 s. The results of this study can reduce the delay of fertilization and improve the accuracy of fertilization positioning.

Key words: position fertilization; control system; motor driven; design; test

0 引言

玉米是我国重要粮食作物之一,适当的施肥方

式可以保证玉米稳产高产^[1]。目前玉米施肥机械仍普遍采用化肥条施的方式进行施肥,容易造成肥料浪费和环境污染^[2-5]。为进一步提高肥料利用

收稿日期: 2019-04-15 修回日期: 2019-05-27
基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0200600-2016YFD0200605)
作者简介: 赵硕(1995—),男,硕士生,主要从事电子与通信技术和精准施肥技术研究,E-mail: 18813075591@163.com
通信作者: 刘刚(1966—),男,教授,博士生导师,主要从事精细农业及其支持技术研究,E-mail: pac@cau.edu.cn

率,需开展精细施肥作业研究,并将肥料连续条施改为定位点施。

文献[6]对中耕施肥机进行追肥作业时常用的几种排肥器结构和性能进行了阐述,其中,外槽轮式排肥器结构简单,便于控制,可以稳定排放流动性较好的颗粒肥^[7]。施印炎等^[8]基于离散元法研究排肥器开度和排肥轴转速对排肥性能的影响,通过控制排肥轴转速可以改善施肥效果。使用地轮驱动式外槽轮排肥器的施肥机在我国应用较为广泛,但这种施肥机不便对排肥轴进行转速控制^[9],无法满足定位施肥的控制精度要求。

文献[10-12]建立了变量施肥控制系统的数学模型,采用PID反馈法等控制策略,提高了施肥量的准确性和控制系统稳定性。文献[13-19]将施肥机具的实际行进速度和施肥处方信息相结合,通过控制排肥轴的开度和转速实现了变量施肥。已有变量施肥研究中,施肥滞后现象普遍存在,但相关文献并未对此进行深入研究。孟志军等^[20-21]对施肥位置滞后量进行了试验测定,为修正施肥作业中施肥位置的滞后提供了理论依据,但未对控制系统中各部分的响应延迟作进一步分析,使系统对施肥位置滞后后距离的获取存在误差。

本文设计一种基于电机驱动的定位施肥控制系统,建立施肥滞后距离的数学模型,并结合阈值控制算法,提高定位施肥位置精度。

1 系统设计

1.1 系统总体设计

定位施肥控制系统由上位机计算机、下位机处理器、步进电机驱动器及配套步进电机、排肥轴和外槽轮式排肥器组成。上下位机通过UART通信进行落肥指令的发送和施肥执行的反馈。上位机发出排肥轴转动角信号,下位机将接收到的转动角信号转换为脉冲信号,驱动步进电机带动排肥轴转动相应角度,颗粒状肥料随肥槽转动流出外槽轮,实现了一次完整的定位施肥过程。

1.2 硬件设计

控制系统硬件框图如图1所示。其中下位机选用搭载STM32F407处理器芯片的TPYBoard开发板,该开发板自带9组(2个一组)共18个可进行UART通信的引脚,通过USB转UART接线与上位机的USB端口相连实现双向数据传输。下位机通过改变引脚电平高低,生成脉冲信号,驱动电机转动带动排肥轴,实现对施肥过程的稳定控制。

57BYG250D型步进电机输出轴和排肥轴通过单膜片联轴器进行连接,步进电机与排肥轴的传动

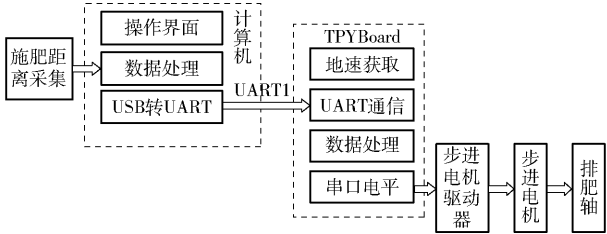


图1 控制系统硬件框图

Fig.1 Hardware block diagram of control system

比为1:1。该款步进电机步距角小,精度高,由TB6600型步进电机驱动器进行驱动。该型号驱动器可通过六位拨码开关进行7种细分模式和8挡输出电流的选择。通过细分控制方式减弱电机低频振动,使电机运行更平稳,控制效果更好。在断电情况下对驱动器细分数进行选择,可改变步进电机的步距角。

1.3 控制算法设计

在施肥过程中,只需沿施肥机前进方向进行落肥,即可满足苗期玉米生长要求。因此在对施肥位置精度进行分析时,只考虑在施肥机前进方向上的施肥距离误差。控制系统流程如图2所示。

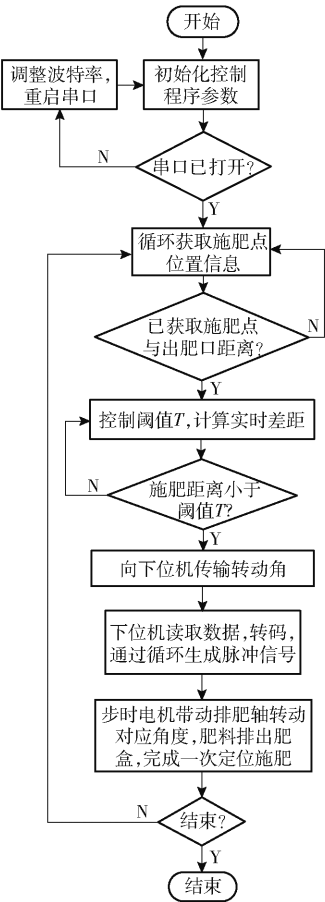


图2 控制系统流程图

Fig.2 Flow chart of control system

分析控制系统各环节产生的时间延迟,结合实时地速信息,建立施肥位置滞后距离的数学模型。

提出阈值控制算法,进一步减小施肥位置误差。

1.3.1 施肥滞后模型

施肥机通过机器视觉技术获取目标施肥位置与出肥口的实时相对距离 L_0 。在计算施肥位置距离的这段时间内,施肥机前进所产生的施肥位置滞后量为

$$L_1 = vt_1 \tag{1}$$

式中 v ——施肥机实时行进速度,m/s
 t_1 ——计算施肥距离所需时间,s
 L_1 ——施肥位置获取滞后量,m

上位机向下位机处理器发送转动角信息,下位机进行数据转换,这段时间内施肥机前进所产生的施肥位置滞后量为

$$L_2 = vt_2 \tag{2}$$

式中 t_2 ——上、下位机通信所需时间,s
 L_2 ——通信滞后量,m

颗粒状肥料在外槽轮顶部槽内等待排出,下位机生成脉冲信号驱动步进电机转动,带动外槽轮内肥料随排肥轴转动对应角后流出出肥口。排肥轴转动时,施肥机前进所产生的施肥位置滞后量为

$$L_3 = \frac{vn_0}{r_0} \tag{3}$$

式中 n_0 ——排肥轴转动角,(°)
 r_0 ——排肥轴转速,r/min
 L_3 ——排肥轴转动滞后量,m

当颗粒状肥料离开出肥口后将进行自由落体运动,根据肥料离开出肥口时的实时地速和出肥口距地面高度,可计算肥料由于惯性在空中前进的距离为

$$L_4 = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}} \tag{4}$$

式中 v_0 ——肥料排出前施肥机前进速度,m/s
 h ——出肥口距地面高度,m
 L_4 ——肥料下落过程前进距离,m

根据式(1)~(4),控制系统各部分响应时间和机械运动所产生的施肥位置滞后总量为

$$L_d = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 \tag{5}$$

式中 L_d ——施肥滞后总量,m

根据施肥位置滞后模型,结合地速信息,计算得肥口距目标施肥位置实时距离,将实时滞后距离作为施肥控制提前量,提前该施肥滞后位置发出施肥指令,执行施肥操作,实现精准定位施肥。

1.3.2 阈值控制算法

控制系统通过计算求得实时滞后距离,在出肥口距目标施肥点为该距离时,“提前”发送施肥指令,理想情况下可实现高精度定位施肥。但实际施

肥过程中因为地形或程序本身的不稳定性会产生误差。如随着施肥机械行进距离的累积,系统微小的反应延迟所造成的滞后效果逐渐累加;不平整的田间地形造成地速的剧烈变化,影响定位施肥精度。

提出一种阈值控制方法,将阈值 T 作为实时滞后距离的对照量置入控制系统,当实时滞后距离小于或等于阈值 T 时,上位机发出落肥指令。即通过控制 T 值,实现实际落肥位置的前后移动。

每发出一次施肥指令前, T 值都会根据当前地速信息、与目标施肥点的距离、已完成施肥指令的次數和系统结构参数等数据进行动态变化,保证每一次定位施肥的位置精度。本文考虑到尚未对农田试验进行标定分析,故暂将本文试验中的平均误差距离作为阈值 T 置入系统,进行准确性验证。

1.4 软件设计

控制系统的软件部分采用模块化设计思想,基于 Python 语言进行编程,由数据处理模块、串口通信模块、下位机程序模型 3 个模块构成。

1.4.1 数据处理模块

结合施肥位置信息和施肥机结构参数获取目标施肥位置与出肥口距离;结合实时地速信息和施肥滞后距离模型,准确计算向下位机发送施肥指令的时间。

1.4.2 串口通信模块

串口通信模块使用 Python 语言自带的 serial 库函数进行编程,采用 UART 串口通信协议,可实现打开串口、串口开闭检测和串口数据读写等功能。通过端口选择和设置波特率进行通信初始化。通过测试得出,下位机串口波特率和上位机串口波特率的比例保持在 2:3 才能进行准确数据传输。当数据处理模块向下位机施肥执行指令时,调用此模块向串口写入步进电机转动角信息。

1.4.3 下位机程序模块

下位机选用搭载 STM32F407 芯片的 TPYBoard 开发板,该模块基于 Python 语言进行编程。对 UART 通信引脚进行初始化后,循环读引脚信息等待接收上位机数据,将接收到的数据进行解码并转换为 float 格式,通过循环控制输出引脚的电平高低,生成脉冲信号,驱动电机转动实现排肥控制。

2 试验

2.1 室内试验平台搭建

搭建了定位施肥试验平台,如图 3 所示。对程序稳定性和算法准确性进行试验,对排肥轴转速和系统响应时间进行标定。

试验台由开关电源(AC220V-DC24V)供电,上



图3 定位施肥试验平台

Fig. 3 Diagram of test platform

1. 肥箱 2. 外槽轮排肥器 3. 步进电机驱动器 4. 彩色工业相机及镜头 5. TPYBoard 开发板 6. 步进电机及联轴器 7. 开关电源 8. 计算机

位计算机通过机器视觉部分获取目标施肥位置与出肥口的实时相对距离后,计算机向下位机 TPYBoard 开发板发送施肥指令,下位机对数据进行处理并驱动步进电机和排肥轴转动对应的角度,从而实现对排肥外槽轮转动的控制。

2.2 排肥轴转速标定试验

作为施肥滞后模型的参数之一,排肥轴转速不仅对模型准确性产生影响,如测量不准确会导致施肥精度下降;排肥轴转速过慢或过快还会造成排肥槽振动,导致施肥效果不佳。为了提高定位施肥的准确性,减少排肥轴转动时产生的振动和磨损,利用室内定位施肥试验平台(图3)进行了排肥轴转速标定试验。

试验过程中,在肥箱中装满颗粒状肥料,调整程序相关工作参数,输入模拟目标施肥距离、模拟地速、排肥轴转动角等信息。电机上电后,通过程序打开串口,外槽轮排肥器进入排肥等待状态,输入施肥距离并经过延迟时间后,排肥轴转动一定角度完成施肥,根据每次落肥的排肥轴转动角和对应转动时间,求出排肥轴平均转速。改变步进电机驱动器细分后重复进行试验,得出在不同细分模式(表1),排肥轴转动角和转动时间的关系如图4所示。

表1 细分模式和排肥轴转速

Tab.1 Subdivision-mode and fertilization axle speed

细分模式	排肥轴转速/($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	振动情况
1	201.0	无
2	99.8	小
4	50.0	振动明显

由表1可知,系统在电机转速为50~201 r/min 的范围内稳定运行,电机驱动器细分数越大则排肥轴转速越慢,振动越明显。在实际施肥控制时驱动器选用细分模式2,可对排肥轴进行稳定可靠的控制,

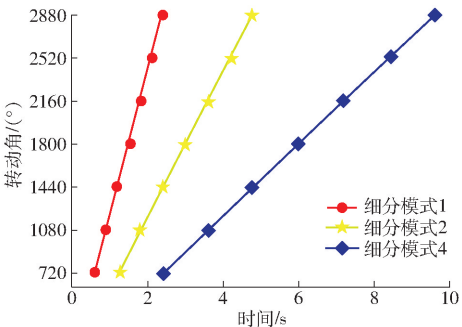


图4 排肥轴转速曲线

Fig. 4 Curves of fertilization axle rotation speed

实现精准定位施肥作业。

2.3 施肥滞后模型标定试验

施肥滞后模型中各部分响应时间对控制系统准确性产生重要影响,因此需对施肥滞后模型部分参数进行标定。其中,机器视觉部分作为本研究的数据来源,已经做了大量前期研究,得到本部分平均响应时间为1.5 s。通过重复计算从上位机发出指令到排肥轴开始转动的时间,得到上、下位机通信所需平均响应时间为0.8 s。

步进电机驱动器选用细分模式2,根据排肥轴转速标定试验可得,排肥轴平均转速为99.8 r/min,单次施肥所需排肥轴转动角为120°时,可求得排肥轴转动响应时间为0.2 s。

根据出肥口实际距地面高度可求得肥料运动延迟时间。当出肥口距地面高度为1 m时,肥料从出肥口落到地面所需延迟时间为0.45 s。

各部分相加可得定位施肥控制系统总延迟时间平均为2.95 s,将其作为提前量置入施肥位置滞后模型,结合实时地速信息,可获取施肥滞后距离,根据该距离进行提前落肥,可提高施肥位置准确性。

2.4 施肥位置误差模拟试验

在室外进行了模拟试验,利用仿真玉米苗和简易的施肥装置,模拟施肥机沿前进方向进行落肥,施肥示意图如图5所示。

田间试验时,测量肥料形心与目标施肥位置的



图5 施肥试验示意图

Fig. 5 Sketch of fertilization test

距离,该距离即为定位施肥控制系统的距离误差。通过进行多次试验可获取控制系统的平均施肥距离误差。

3 结论

(1)设计了一种基于电机驱动的定位施肥控制系统,该系统可实现实时获取地速信息和施肥位置信息,并通过控制电机驱动排肥轴进行稳定施肥作

业,实现肥料精准定位点施。

(2)建立了施肥滞后距离的数学模型,提出了阈值控制算法,该算法可满足控制系统对定位施肥位置精度的要求。

(3)对影响施肥准确性的参数进行了标定,定位施肥控制系统平均响应时间为 0.8 s,总施肥延迟时间平均为 2.95 s。该系统在排肥轴转速 50 ~ 201 r/min 范围内运行稳定。

参 考 文 献

- [1] 韦俊能. 玉米施肥技术与施肥机械研究现状及趋势[J]. 农业与技术,2017,37(16):107-108.
WEI Junneng. Current status and trends of corn fertilization technology and fertilizing machinery [J]. Agriculture and Technology, 2017,37(16):107-108. (in Chinese)
- [2] 付宇超,袁文胜,张文毅,等. 我国施肥机械化技术现状及问题分析[J]. 农机化研究,2017,39(1):251-255,263.
FU Yuchao, YUAN Wensheng, ZHANG Wenyi, et al. Present situation and problem analysis of the technology of fertilizer mechanization in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017,39(1):251-255,263. (in Chinese)
- [3] 李坤,袁文胜,张文毅,等. 玉米施肥技术与施肥机械的研究现状及趋势[J]. 农机化研究,2017,39(1):264-268.
LI Kun, YUAN Wensheng, ZHANG Wenyi, et al. Research status and development trend of corn fertilizing technology and fertilizing machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017,39(1):264-268. (in Chinese)
- [4] 陈金,赵斌,衣淑娟,等. 我国变量施肥技术研究现状与发展对策[J]. 农机化研究,2017,39(10):1-6.
CHEN Jin, ZHAO Bin, YI Shujuan, et al. Research on present situation and the development counter measures of variable rate fertilization technology in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017,39(10):1-6. (in Chinese)
- [5] 唐汉,王金武,徐常塑,等. 化肥减施增效关键技术研究进展分析[J]. 农业机械学报,2019,50(4):1-19.
TANG Han, WANG Jinwu, XU Changsu, et al. Research progress analysis on key technology of chemical fertilizer reduction and efficiency increase[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019,50(4):1-19. (in Chinese)
- [6] 国委文. 中耕施肥机常用排肥器类型及性能研究[J]. 农业科技与装备,2015(2):27-29.
GUO Weiwen. Research on types and performance of commonly used fertilizer feeders in intertillage fertilizer applicator[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2015(2):27-29. (in Chinese)
- [7] 汪博涛,白璐,丁尚鹏,等. 外槽轮排肥器关键工作参数对排肥量影响的仿真与试验研究[J]. 中国农机化学报,2017,38(10):1-6,23.
WANG Botao, BAI Lu, DING Shangpeng, et al. Simulation and experimental study on impact of fluted-roller fertilizer key parameters on fertilizer amount[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2017,38(10):1-6,23. (in Chinese)
- [8] 施印炎,陈满,汪小岳,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 Yinyan, CHEN Man, WANG Xiaochan, 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. (in Chinese)
- [9] 李秋国,张秀平. 地轮驱动式固体有机肥撒施机的研究[J]. 河北农机,2014(3):54-55.
LI Qiuguo, ZHANG Xiuping. Research on solid ground wheel driven machine organic fertilizer applicator[J]. Hebei Agricultural Machinery, 2014(3):54-55. (in Chinese)
- [10] 梁春英,衣淑娟,王熙,等. 变量施肥控制系统 PID 控制策略[J]. 农业机械学报,2010,41(7):157-162.
LIANG Chunying, YI Shujuan, WANG Xi, et al. Strategy of the variable rate fertilization control system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(7):157-162. (in Chinese)
- [11] 苑严伟,张小超,吴才聪,等. 玉米免耕播种施肥机精准作业监控系统[J]. 农业工程学报,2011,27(8):222-226.
YUAN Yanwei, ZHANG Xiaochao, WU Caicong, et al. Precision control system of no-tillage corn planter[J]. Transactions of the CSAE, 2011,27(8):222-226. (in Chinese)
- [12] 李宜汀,张富贵,卢剑锋,等. 基于数字 PI 算法的精准施肥控制系统设计及仿真[J]. 农机化研究,2017,39(10):108-112,118.
LI Yiting, ZHANG Fugui, LU Jianfeng, et al. Design and simulation of precision fertilization control system based on digital PI algorithm[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017,39(10):108-112,118. (in Chinese)
- [13] 张书慧,齐江涛,廖宗建,等. 基于 CPLD 的变量施肥控制系统开发与应用[J]. 农业工程学报,2010,26(8):200-204.
ZHANG Shuhui, QI Jiangtao, LIAO Zongjian, et al. Research and application of control system for variable rate fertilizer applicator based on CPLD[J]. Transactions of the CSAE, 2010,26(8):200-204. (in Chinese)

- DONG Xiangqian, SONG Jiannong, ZHANG Junkui, et al. Performance analysis and test of cone-disk granule fertilizer spreading mechanism [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(19):33–40. (in Chinese)
- [19] SOGAARD H T, KIERKEGAARD P. Yield reduction resulting from uneven fertilizer distribution [J]. Transactions of the ASAE, 1994, 37(6):1749–1752.
- [20] Procedure for measuring distribution uniform and calibrating granular broadcast spreaders:ISO ASAE S341.2:2006[S].
- [21] Equipment for distributing fertilizers-test methods—part2: fertilizer distributors in lines: ISO 5690: 1984[S].
- [22] 任露泉. 回归设计及其优化[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [23] 徐向宏,何明珠. 试验设计与 Design-Expert、SPSS 应用[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [24] 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 Shuren, DUAN Jian, YAO Yong, et al. Optimization of processing parameters of RSM compressing rice straw molding [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(22):32–41. (in Chinese)
- [25] 袁志发,周静萍. 实验设计与分析[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [26] JONES J R, LAWRENCE H G, YULE I J. A statistical comparison of international fertilizer spreader test methods—confidence in bout width calculations[J]. Powder Technology, 2008, 184(3):337–351.
- [27] 刘宇欣,肖志刚,杨庆余,等. 挤压复合酶法制备玉米多孔淀粉工艺参数优化[J]. 农业机械学报, 2013, 44(4):171–178. LIU Yuxin, XIAO Zhigang, YANG Qingyu, et al. Optimization of process parameters for the preparation of corn porous starch by extrusion complex enzyme method [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(4):171–178. (in Chinese)
- [28] 程湔湔,祁力钧,吴亚垒,等. 矮化密植果园摇摆变量喷雾机参数响应面法优化[J]. 农业机械学报, 2017, 48(增刊):22–29. CHENG Zhenzhen, QI Lijun, WU Yalei, et al. Optimization of parameter response surface method for sprayer of rolling variable in dwarf dense planting orchard [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(Supp.):22–29. (in Chinese)

(上接第 95 页)

- [14] 陈满,施印炎,汪小昆,等. 基于光谱探测的小麦精准追肥机设计与试验[J]. 农业机械学报,2015,46(5):26–32. CHEN Man,SHI Yinyan,WANG Xiaochan,et al. Design and experiment of variable rate fertilizer applicator based on crop canopy spectral reflectance [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(5):26–32. (in Chinese)
- [15] 杨硕,王秀,翟长远,等. 支持种肥监测的变量施肥系统设计与试验[J]. 农业机械学报,2018,49(10):145–153. YANG Shuo,WANG Xiu,ZHAI Changyuan,et al. Design and test on variable rate fertilization system supporting seeding and fertilizing monitoring [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(10):145–153. (in Chinese)
- [16] 戚武振,王金星,刘双喜,等. 稻麦变量施肥机控制系统设计与试验[J]. 农机化研究,2019,41(8):72–79. QI Wuzhen,WANG Jinxing,LIU Shuangxi,et al. Design and experiment of control system for rice and wheat variable rate fertilizer applicator [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2019, 41(8):72–79. (in Chinese)
- [17] LIANG Chunying. Research of PID algorithm for valve controlled hydraulic motor variable rate fertilizer control system [C] // Proceedings of 7th IFIP WG 5.14 International Conference, CCTA, 2013.
- [18] XU Taosheng. A novel variable rate fertilization system based on the Android platform [C] // Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Progress in Informatics and Computing, 2015.
- [19] CHATTHA H S, ZAMAN Q U, CHANG Y K, et al. Variable rate spreader for real-time spot-application of granular fertilizer in wild blueberry [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 100:70–78.
- [20] 孟志军,赵春江,付卫强,等. 变量施肥处方图识别与位置滞后修正方法[J]. 农业机械学报,2011,42(7):204–209. MENG Zhijun, ZHAO Chunjiang, FU Weiqiang, et al. Prescription map identification and position lag calibration method for variable rate application of fertilizer [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(7):204–209. (in Chinese)
- [21] 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与实现[J]. 江苏大学学报(自然科学版),2009,30(4):338–342. MENG Zhijun, ZHAO Chunjiang, LIU Hui, 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. (in Chinese)