

# 基于小麦养分快速诊断的施肥决策与控制系统设计

李新伟<sup>1</sup>, 田 敏<sup>2</sup>, 肖 新<sup>1\*</sup>

(1. 安徽科技学院资源与环境学院, 安徽 凤阳 233100; 2. 石河子大学信息科学与技术学院, 新疆 石河子 832003)

**摘 要:**为实现小麦关键生育期的精准变量施肥, 本文在利用主动遥感光谱仪 GreenSeeker 对小麦氮素营养诊断的基础上, 通过构建的定量推荐施肥模型开发了小麦施肥专家决策系统和远程精量控制系统。结果表明: 建立的施肥推荐模型为变量追肥提供了理论依据; 施肥决策和变量控制系统的设计能够将小麦氮营养诊断、施肥推荐和施肥自动控制等功能有效地集成; 基于 GSM 网络的无线传输、电磁阀远程控制以及自动配料施肥装置的设计、运行和测试, 使施肥决策系统响应时间和施肥控制精度分别达到平均 3.6 s ( $\leq 5$  s) 和 3.62% ( $< 5.0\%$ ), 满足了远程变量控制施肥的精度要求。基于小麦养分快速诊断的施肥决策与控制系统的设计, 实现了小麦实时诊断、追肥智能推荐和远程变量施肥一体化的精准施肥管理。

**关键词:** 冬小麦; 施肥模型; 决策系统; 施肥控制

中图分类号: S512.1

文献标志码: A

文章编号: 2096-5877(2019)02-0023-05

## Design of Wheat Fertilization Decision-Making and Control System Based on Quick Diagnosis

LI Xinwei<sup>1</sup>, TIAN Min<sup>2</sup>, XIAO Xin<sup>1\*</sup>

(1. College of Resource and Environment, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100; 2. College of Information Science and Technology, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

**Abstract:** In order to achieve the accurate variable fertilization during the critical growth period of wheat, the active remote sensing spectrometer named GreenSeeker was used based on nitrogen nutrition diagnosis for wheat, then the fertilization expert decision system and precision fertilization control system of wheat was explored by established the quantitative recommend fertilization model. The results indicated that the established fertilization recommendation model provided the theoretical evidences for variable fertilizer. The design for fertilizer recommendation system and variable control system could integrate the wheat nitrogen nutrition diagnosis, fertilization recommendation as well as the fertilization control with automatic functions effectively. On the basis of the design, running, and test of the GSM network wireless transmission and the electromagnetic valve remote control as well as the automatic batching and fertilization device, which made the response time of fertilization decision-making system and the fertilizer control accuracy reached to average 3.6s ( $\leq 5$ s) and 3.62% ( $< 5.0\%$ ) separately, therefore, the accuracy requirement for the remote variable controlled fertilization was achieved. Through the design of wheat fertilization decision-making and control system based on quick diagnosis, the real-time diagnosis and the intelligent recommendation as well as the remote variable fertilization of wheat was achieved.

**Key words:** Winter wheat; Fertilization model; Decision-making system; Fertilization control

收稿日期: 2018-10-28

基金项目: 安徽省科技重大专项计划项目(16030701102); 安徽高校自然科学研究重点项目(KJ2016A173); 安徽科技学院校级质量工程项目(x2016058)

作者简介: 李新伟(1987-), 男, 讲师, 博士, 主要从事精准农业和信息农业研究。

通讯作者: 肖 新, 男, 博士, 教授, E-mail: xiaox@ahstu.edu.cn

小麦作为我国最重要粮食作物之一<sup>[1]</sup>, 研究小麦的施肥技术对调控小麦的生长特性、品质和产量尤为重要<sup>[2]</sup>。农业遥感技术<sup>[3-5]</sup>、农业信息技术<sup>[6-7]</sup>和施肥装备<sup>[8-9]</sup>在施肥技术上的应用为实现小麦的科学、定量施肥提供了可能<sup>[10]</sup>。

相对于传统的基于田间土壤取样和室内分析

调查<sup>[11]</sup>,学者们更青睐于在遥感数据进行作物长势监测和营养诊断的基础上建立依据决策系统自动远程控制施肥装置,从而实现实时在线变量施肥<sup>[12]</sup>。首先,利用光学遥感传感器的近红外波段(NIR)和可见光波段(R、G、B)确定小麦叶片的植被指数实现长势监测和氮素诊断,依据施肥效应函数建立施肥模型<sup>[13-14]</sup>;其次,将传感器的实时监测数据传输到有模拟模型、专家知识库、推理算法和信息通讯技术组成的施肥决策系统<sup>[15]</sup>,完成施肥的定量推荐;最后,针对不同区域推荐的施肥量,依靠无线通讯技术、自动化控制技术控制输出控制指令控制施肥装置配肥和注肥<sup>[16]</sup>。本文依据课题组前期滴灌精量控制施肥装置的优化,针对施肥推荐信息不可靠、施肥决策与施肥控制系统不能有效集成等问题,在冬小麦氮素营养诊断的基础上建立诊断指标体系和施肥模型,将监测数据、施肥决策和控制命令在开发的安卓施肥决策系统和控制系统中集成,再通过系统运行测试和田间施肥效果验证,改善决策信息的准确性、系统的稳定性和装置的易控性,实现滴灌条件下冬小麦决策和控制一体化的变量施肥管理。

## 1 施肥决策与控制系统设计

### 1.1 系统总体设计

#### 1.1.1 系统总体架构

整个系统架构设计如图1所示,分成监测层、决策层、传输层与控制层,主要包括监控计算机、自动控制施肥装置、可编程控制器、决策安卓手机终端、GreenSeeker光谱仪和GSM模块等6个部分组成。首先,由GreenSeeker将实时监测小麦冠层的归一化植被指数值(Normalized difference vegetation index, NDVI)输入到安卓手机,安卓手机接收NDVI值后,经过得到的施肥模型计算出施肥量,进行推荐施肥;其次,将推荐的施肥量以短信的形式发送到远端施肥监控计算机;最后,由监

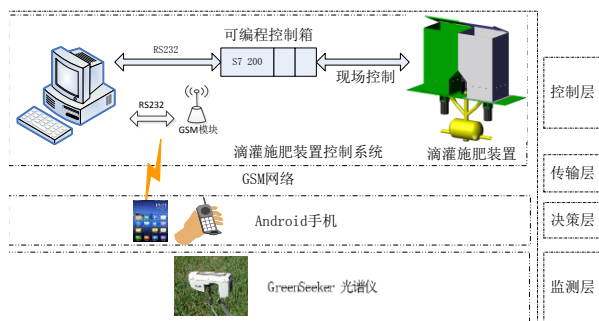


图1 施肥管理系统总体框架

控计算机将施肥控制命令发送到可编程控制系统,控制施肥装置进行定量施肥。本系统采用服务器/客户机架构,服务器上位机采用VB编写。安卓手机决策平台开发,具有小麦养分数据显示、诊断、定位与决策等功能;远程监控计算机通过GSM短信的方式,利用自定义的通信协议与手机进行通信,实现冬小麦的施肥决策和远程自动控制定量施肥。

#### 1.1.2 数据库设计

数据库构建主要功能是对知识库方法库或模型库进行保存、修复、优化、输入和输出等。数据库采用嵌入式的数据库SQLite。SQLite数据库由用户管理数据、知识信息数据、决策信息数据和模型运算数据组成。首次运行时,数据库存在会打开相应数据库,否则执行创建数据库的onCreate方法,并调用execSQL方法创建数据表格。与基于桌面的高级编程语言相同,安卓系统通过SQL语句来实现SQLite数据库中数据的增加、删除和优化(分别使用INSERT、DELETE和UPDATE语句)等操作。通过系统的保存与查询功能中Override方法来获取数据。

### 1.2 施肥决策系统功能模块设计

基于Android智能手机的冬小麦施肥决策系统实现的主要功能有用户管理、系统维护管理、决策信息(图2)、监测决策和信息查询等功能组成,监测决策模块是本系统的核心。本决策系统主要针对获得的NDVI值、目标区信息(位置信息和属性数据信息等)实现决策,并将决策信息存储和无线传输,通过施肥控制系统接收、实现施肥控制。

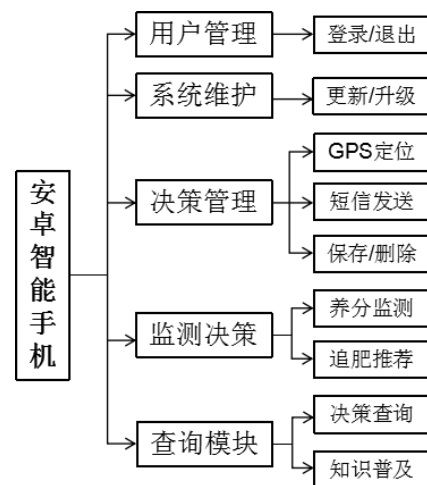


图2 施肥决策系统功能结构图

### 1.3 施肥控制系统功能模块设计

#### 1.3.1 自动控制系统硬件功能

利用合作研发的基于 GSM 的精准控制施肥自动控制装置系统,系统硬件结构如图 3 所示,可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC)含有脉冲伺服装置,通过数字控制模块中编程语言,实现数字量控制(24 个数字量 I/O 点,2 输入/1 输出 3 个模拟量点)。采用通径 32 mm 的二位二通膜片电磁阀(承压 20 kg);采用电压 24 V、功率 20 W 和行程 200 mm 的注肥电机;短信模块选用 GTM900B 开发板,频段:EGSM900/GSM1800 双频;GSM 标准 AT 命令。

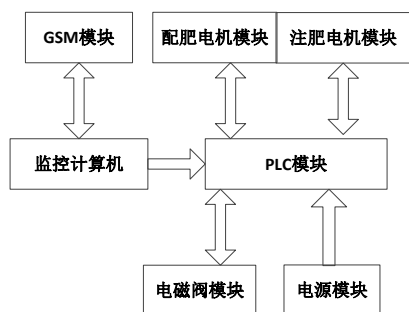


图 3 施肥控制硬件结构图

精量配肥自动控制装置是控制系统的核心硬件,组成如图 4 所示,由容料箱、选料盘、配肥电机、混肥箱、灌肥电机、脉冲电磁阀和背压阀等构成。

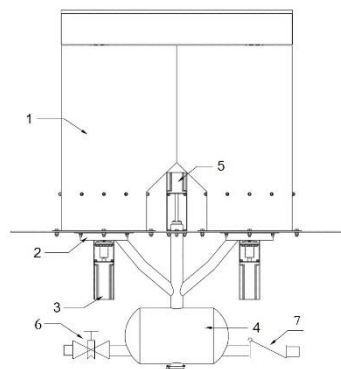


图 4 施肥装置结构图

- 1-容料箱 2-选料盘 3-配肥电机 4-混肥箱  
5-灌肥电机 6-脉冲电磁阀 7-背压阀

### 1.3.2 自动控制系统软件功能

施肥控制系统的设计实现了对施肥装置的无线远程控制和施肥量控制,监控计算机系统软件如图 5,主要功能如下:

(1)传输功能模块:通过 GSM 模块与手机相连,实现从施肥监控系统到手机的施肥决策信息传输功能。监控端系统能够判断、接收、提示和提取短信信息的施肥信息。

(2)控制功能:根据决策平台推荐的施肥信息以及目标施肥面积,计算施肥总量。根据配肥盘的规格,计算配肥次数与配肥时间,精确地控制施肥进度。自动控制方式完全以 PLC 设定程序自动执行配肥电机控制肥箱的配肥,送料至配肥料仓,注肥和混肥,淋湿肥料;控制电磁阀开闭和肥随水入等一系列操作。

计算施肥量的方法如下:

施肥总量=(推荐施肥量/亩)×亩数

配肥次数=取整[施肥总量/配肥盘规格]+1

施肥时间=单次配肥时间×配肥次数

其中,配肥盘规格为 0.3 kg、0.4 kg、0.5 kg、0.6 kg 等。单次配肥时间由配肥电机的转动时间、电磁阀开启关闭时间、配肥盘接肥与下肥时间、肥溶解时间、注肥电机提起与密封时间以及单次配肥间隔组成。配肥电机转动时间与单次配肥间隔通过程序控制,其余时间固定。

配肥电机为步进电机,PLC 控制电机速度方式是通过 Q1.0 或 Q1.1 发送脉冲方式,即控制脉冲频率,计算方法如下:

步进电机转速=脉冲频率×60/((360/T)×x)

其中:x 为电机细分倍数,T 为固有步进角度。

(3)监控功能:系统对施肥各部件工作监测及诊断。

(4)动态数据发布:对施肥时间、施肥量、施

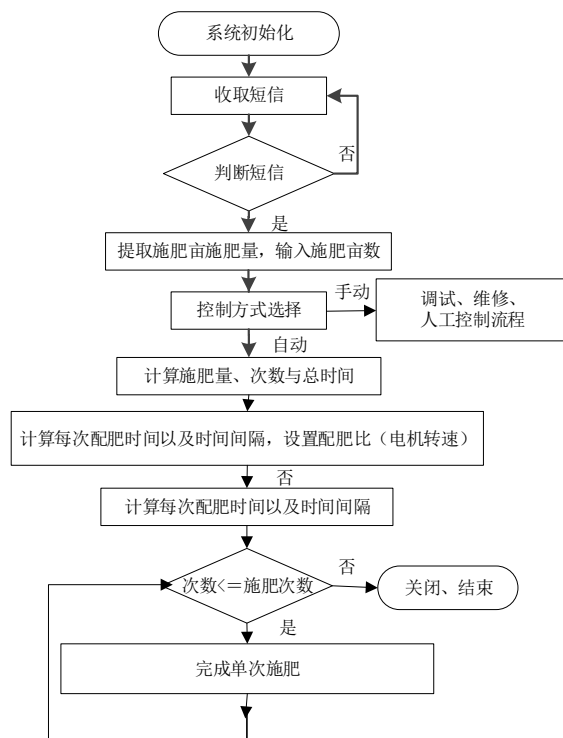


图 5 监控系统的工作流程

肥状态等数据实时发布。

2 施肥决策与控制系统运行与测试

2.1 施肥决策系统运行与测试

2.1.1 客户端操作运行流程

施肥决策系统采用含有用户界面和应用程序的 Android 手机操作系统(开源 Linux 平台)。客户端开发运行环境为: Android SDK+Java JDK 7+ Eclipse 4.1,适用于 Android 4.0 以及以上智能触屏

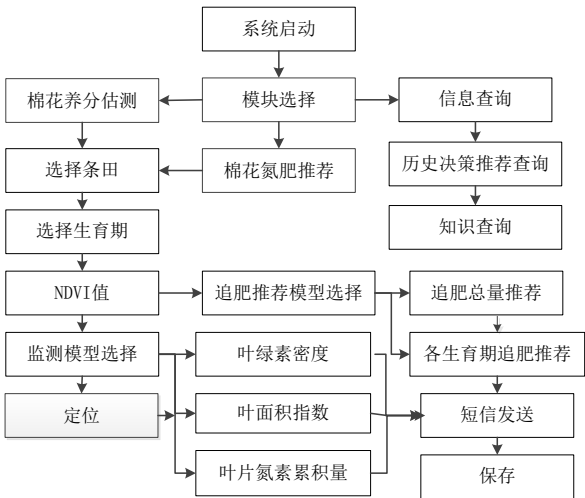


图6 决策系统操作运行流程

手机。客户端系统操作运行流程如图6所示。

2.1.2 客户端操作运行测试

本系统的测试及应用:客户端采用华为智能手机,其硬件配置为:型号,Huawei/C8816; Android 4.3 版本;处理器,四核;运行内存 1GB。SMS 短信为中国移动 GSM 网络。施肥决策系统的客户端经编译打包形成一个 .APK 格式的文件,在手机中安装后,会在手机桌面建立应用程序图标,手指触控该图标即可启动,主要测试内容见图7。

2.2 施肥控制系统运行与测试

2.2.1 控制系统运行流程

测试过程如图8所示,通过手动模式、自动控

制模式和定时控制模式可实现对系统中硬件和软件有效控制;通过参数设置可对施肥时间和施肥



(a)施肥推荐界面 (b)信息输出界面

图7 主要功能运行界面

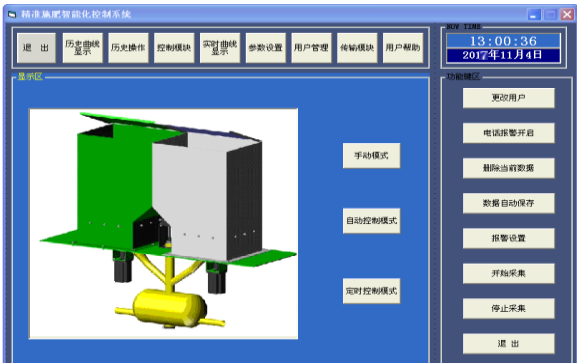


图8 监控系统运行界面

量等控制。

2.2.2 施肥效果田间试验

试验在安徽省当涂县塘南镇安徽盛农农业园区稻麦轮作试验区(31°22'23"N, 118°43'49"E)进行。本区域处于丹阳湖附属南北圩之南圩地区,姑溪河西通长江,东连石臼湖,属于北亚热带季风气候,年均温度 15.8℃,年均降雨量 1 087 mm,无霜期 232 d。

2017 年 3 月 14 日(小麦拔节期),对施肥系统进行肥效田间试验,先使用 GreenSeeker 获取随机选择 5 个小区的 NDVI 值,然后使用安卓施肥决策

表 1 施肥效果的验证

| 测试编号 | 施肥面积<br>(m <sup>2</sup> ) | 常规施氮量<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 推荐施氮量<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 实际施氮量<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 施肥控制误差<br>(%) | 施肥响应时间<br>(s) |
|------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| 1    | 325                       | 280.2                          | 259.4                          | 253.2                          | 2.4           | 4             |
| 2    | 415                       | 270.5                          | 258.1                          | 246.2                          | 4.8           | 2             |
| 3    | 358                       | 245.6                          | 226.9                          | 219.8                          | 3.2           | 3             |
| 4    | 425                       | 264.2                          | 249.8                          | 240.5                          | 3.9           | 5             |
| 5    | 298                       | 290.7                          | 272.3                          | 262.4                          | 3.8           | 4             |

系统推荐施氮量,最后再使用施肥控制系统进行施肥。施肥测试时实际精度质量采用量1 L量杯测量方式获得,施肥测试结果见表1。施肥决策与控制系统中施肥推荐量均比常规施肥量要少4%~8%,施肥系统响应时间 $\leq 5$  s。推荐的施氮量在变量施肥装置中肥料洒落及肥料水溶液流失、滴灌接口水溶液流失和电磁阀控制不灵敏等,会造成实际施氮量低于推荐的施氮量,经分析本系统施肥控制误差平均为3.62%(施肥控制精度误差 $< 5.0\%$ ),满足变量施肥的要求。

### 3 结论与讨论

本系统集成养分快速监测、施肥决策、无线传输和自动控制施肥的关键技术,实现了基于SQLite的模型库建立,基于Android智能手机的决策专家系统设计,基于GSM网络控制电磁阀的无线传输与控制,以及滴灌模式下的自动配料施肥装置的设计等。系统运行与测试表明:安卓决策系统实用性强,普及性广,操作界面友好,数据发送和传输稳定;通过对施肥控制系统的稳定性和施肥精度调试,施肥系统响应时间( $\leq 5$  s)和施肥控制精度( $< 5.0\%$ )均满足精准施肥的要求,节约了施肥的肥料成本、劳动力成本,也对农田的生态环境保护有积极的意义。

#### 参考文献:

- [1] 姚盟,张玲丽,冯毅,等.黄淮麦区小麦新品系主要农艺性状变异分析[J].种子,2015,34(9):66-70.
- [2] 曹寒冰,王朝辉,赵护兵,等.基于产量的渭北旱地小麦施肥评价及减肥潜力分析[J].中国农业科学,2017,50(14):2758-2768.
- [3] 陈仲新,任建强,唐华俊,等.农业遥感研究应用进展与展

望[J].遥感学报,2016,20(5):748-767.

- [4] Chen J, Chen J, Liao A P, et al. Global land cover mapping at 30 m resolution: a POK-based operation-alapproach[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2015, 103: 7-27.
- [5] Mkhabela M S, Bullock P, Raj S, et al. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2011, 151: 385-393.
- [6] 李道亮,杨昊.农业物联网技术研究进展与发展趋势分析[J].农业机械学报,2018,49(1):1-20.
- [7] Yao Xinfeng, Yao Xia, Jia Wenqing, et al. Comparison and intercalibration of vegetation indices from different sensors for monitoring above-ground plant nitrogen uptake in winter wheat[J]. Sensors, 2013, 13(3): 3109-3130.
- [8] 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.
- [9] 汪小岳,陈满,孙国祥,等.冬小麦变量施肥机控制系统的设计与试验[J].农业工程学报,2015,31(增刊2):88-92.
- [10] 葛佳琨,刘淑霞.数字农业的发展现状及展望[J].东北农业科学,2017,42(3):58-62.
- [11] CHEN Dongyi, ZI Fangju, CHEN Xiaoren, et al. The agricultural technology for manuring and sowing simultaneously applied to summer corn "Jinzhengda"[J]. Agricultural Science & Technology, 2017, 18(1): 110-113.
- [12] 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.
- [13] 李新伟,余炳凤,吕新,等.不同氮水平下棉花冠层NDVI分析与产量估测[J].农业机械学报,2014,45(7):231-236.
- [14] 李新伟,吕新,张泽,等.棉花氮素营养诊断与追肥推荐模型[J].农业机械学报,2014,45(12):209-214.
- [15] 贾良良,杨军芳,孙彦铭,等.小麦养分专家系统推荐施肥对河北省冬小麦产量、养分效率和环境效应的影响[J].中国土壤与肥料,2017(5):51-55.
- [16] 石河子大学.一种应用在滴灌上的精量控制施肥配肥装置:中国,ZL201220219942.5[P]. 2013-01-16.