

荆旭全,蔡德楠,丁文翰,等. 精准施肥大数据系统的研究与应用[J]. 江苏农业科学,2018,46(24):256-262.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.24.070

精准施肥大数据系统的研究与应用

荆旭全,蔡德楠,丁文翰,徐剑波

(华南农业大学资源环境学院,广东广州 510642)

摘要:精准施肥具有提高肥料利用率和经济效益、减少肥料对环境不良影响的作用。广东省自 2005 年开展测土配方施肥工作以来,积累了大量的数据成果。利用这些成果建立广东省施肥大数据库,实现精准施肥并在全省推广应用,成为提高精准施肥信息化的关键技术之一。随着大数据技术、地理信息系统(geographi information system,简称 GIS)技术以及移动互联网的快速发展,大数据技术与 GIS 技术的融合为建立精准施肥系统提供了可能,为大数据应用与管理、精准施肥决策、农技推广等提供新的解决方案和思路。根据广东省施肥大数据实际情况,采用大数据和 Web GIS 等技术,开发一套精准施肥大数据系统及相应的信息服务应用平台,集施肥决策、农技推广、施肥数据可视化等于一体,并在广东省开展应用示范。

关键词:精准施肥;大数据;GIS;广东省

中图分类号: S126 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)24-0256-06

从传统农业转变到智慧农业,我国农业信息化的步伐未曾止步^[1-3]。农业数据由于具有来源广泛、类型多样、结构复杂等特点,更需要大数据技术支持^[3-5]。农业大数据是智慧农业发展的关键所在。测土配方数据成果形式多样、数据量庞大,其数据规模给数据存储、管理及分析带来巨大的挑战。通过运用大数据技术对上述测土配方大数据进行处理与分析,实现基于数据驱动的科学决策^[6-10],对获得可靠专业的决策结果具有重要的促进作用。在精准施肥应用中结合大数据技术和网络地理信息系统(web geographic information system,简称 WebGIS)技术,开发一套基于精准施肥的大大数据系统及相应的信息服务平台,能够有效解决精准施肥大数据成果充分应用及信息不对称等问题,深入挖掘施肥价值,为精准施肥科学决策提供新的决策工具和思路^[11-17],大数据手段的运用对促进广东省农业发展具有重要意义^[18-21]。

1 理论与技术路线

通过对数据进行预处理以及批量标准化调整,利用 ArcMap 10.2 软件对广东省施肥大数据(耕地质量评价单元、地类图斑、行政区划等)进行定制化(整饰、配色、出图),生成各县域测土配方图件及整个广东省的全图数据,通过 ArcSDE 建立数据集并导入 SQL Server 空间数据库中,进而发布 Web 地图服务(web map service,简称 WMS),以供终端访问。同时建立大数据分布式集群服务器平台,利用数据库导入工具,将

SQL Server 数据库中的数据导入到 Hadoop 平台中^[22-23],使用 Hadoop 平台对数据进行分析运算。通过 IntelliJ IDEA 开发平台,配置应用程序编程接口(application programming interface,简称 API),将所有系统集成开发打包,并上线至生产服务器,部署至 Tomcat 服务器,用户通过互联网地址或二维码形式等渠道访问该系统。

在深入研究已有先进成熟技术的基础上,参考并借鉴先进的大数据架构和 WebGIS 的设计思想与理念,深入了解广东省施肥大数据系统建设的需求,根据已知的系统数据源,提出一套可行性建库方案,建立广东省施肥大数据库及数据仓库,采用前后端分离的 RESTful 设计架构与分布式集群架构,建立元数据管理系统,从而实现施肥大数据的空间数据和非空间数据的一体化管理。在数据需求与数据流分析的基础上,采用自顶向下的设计模式对系统框架进行设计,整合多元数据资源,建立广东省施肥大数据标准体系(包括全省 96 个农业县土地利用数据、土壤养分数据、主要作物农田分布体系以及主要作物施肥指标体系和精准化作物施肥模型等)。在设计上保证数据便于维护、可更新、安全加密、海量及跨平台资源共享。

该系统主要功能建设包括施肥决策支持子系统、大数据管理子系统、专家答疑服务子系统、知识库管理子系统、用户管理子系统、施肥数据可视化子系统及辅助子系统,以数据驱动的方式联动系统功能建设,进而保证系统使用的高效与快捷(图 1)。

2 系统分析与设计

2.1 目标用户与需求分析

通过对系统的目标用户与系统功能需求进行分析,并经过充分调研发现,系统的目标用户主要分为 3 类:第 1 类用户为整体文化水平较低,施肥观念滞后,获取施肥服务有效手段匮乏的种植大户或农场主;第 2 类用户为具备一定农业服务技能,但基层农技推广效率不高的基层农技人员和农业专家

收稿日期:2017-08-08

基金项目:国家自然科学基金(编号:41061024);国家科技支撑计划(编号:2013BAJ13B05);广东省广州市科技计划(编号:201604046004)。

作者简介:荆旭全(1993—),男,山东烟台人,硕士研究生,主要从事地理信息系统应用与开发研究。E-mail:409147568@qq.com。

通信作者:徐剑波,博士,副教授,主要从事地理信息系统应用与农业遥感研究。E-mail:xujianbo@scau.edu.cn。

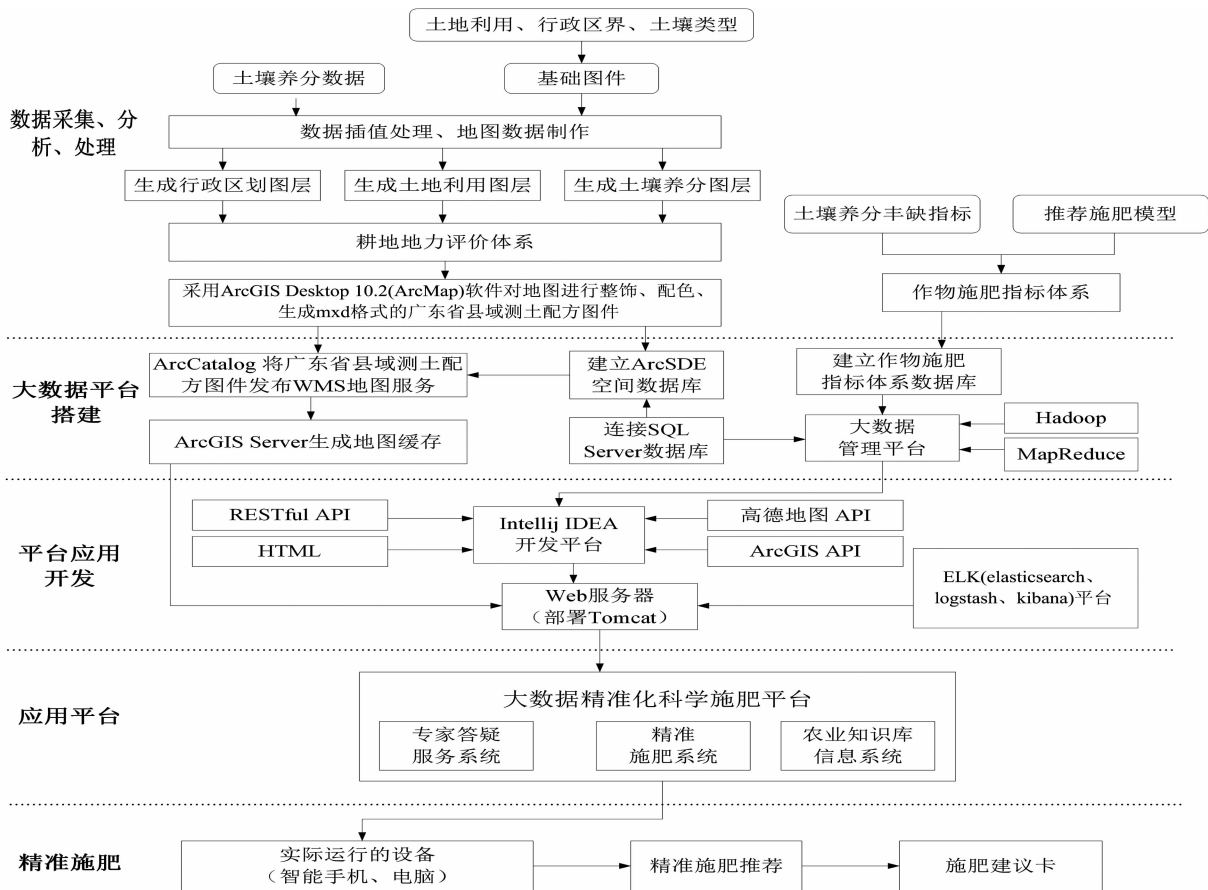


图1 技术路线

等;第3类用户为与农民紧密联系的肥料生产企业和农资店等农业服务商。针对目标用户的特性,研究设计一套针对多种类型用户可高效运行的大数据平台,指导农业种植生产和科学施肥,以达到增产增优、减少农业污染等目的。

综合对目标用户行为特征的分析,并结合当前广东省测土配方施肥技术推广和地域特色等实际情况,分析确定本研究系统平台的功能需求。精准施肥大数据系统主要借助现有成熟的大数据技术优势,通过对数据进行处理、清洗、转换与存储,建立统一标准的海量数据库及数据仓库,并基于Hadoop架构实现海量数据的存储、分析与应用,发挥地域特色,解决施肥大数据管理与应用难题,为农户提供快速科学施肥决策服务。主要功能需求包括农业大数据需求、精准施肥指导服务需求、农业技术推广需求等。

2.2 系统设计

系统设计包括系统的总体用例设计与系统的总体结构设计。按照数据统一性和安全性、高效性和易用性、可维护性和扩展性原则进行设计。

2.2.1 系统的总体用例设计 根据“2.1”节的需求分析和调研分析,本系统主要涉及到以下用例:大数据分析与管理、精准施肥决策、农业知识库管理、专家在线咨询、系统用户管理等(图2)。

2.2.2 系统的总体结构设计 针对精准施肥核心环节,建立精准施肥大数据系统及相应的信息服务平台,集成大数据管理与应用、精准施肥决策、农技推广、施肥数据可视化等功能

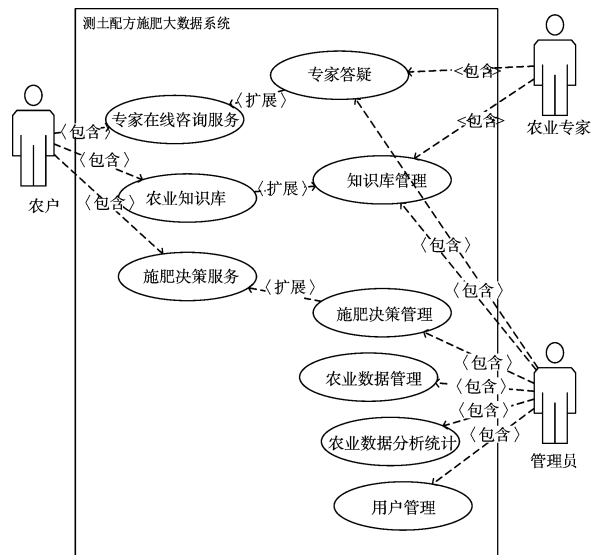


图2 系统总体用例

应用。利用大数据技术、WebGIS 技术等现代信息技术在农业生产中的应用,收集并整合相关资源,将农户、农业技术人员、种植专家、政府各级农业相关人员统一接入到服务系统内,帮助农户学习农业技术,通过测土配方技术实现精确定位施肥,从而减少盲目施肥和过度施肥所带来的农业污染和农业资源浪费。相关技术人员通过大数据分析,挖掘出其中的数据价值,为农户提供相关农业指导性意见(图3)。

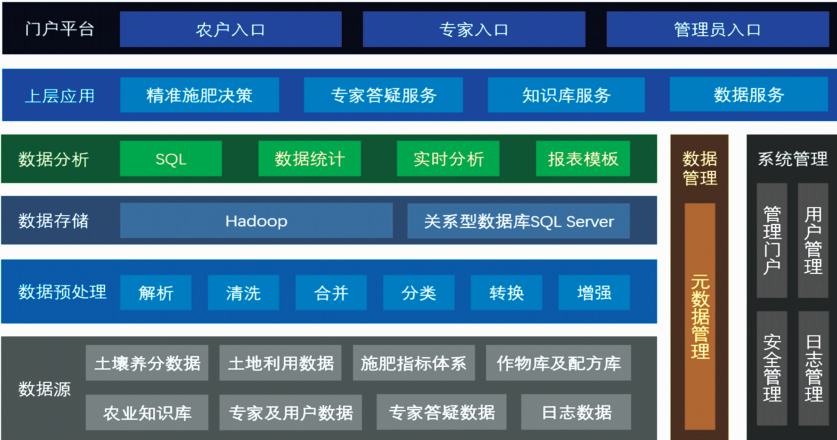


图3 系统总体结构

2.3 数据库设计

大数据精准施肥系统存储着海量数据,数据作为系统最核心的部分,是系统正常运行的先要条件。数据库是数据管理的中心,其设计的好坏将直接影响系统的可用性和稳定性。按照规范化、可扩展性、开放性与安全性、稳定性等原则对数据库进行设计。系统数据构成与分类如下:(1)土壤养分数据,包括全省 96 个农业县的农田分布数据、2 千多万个地块数据、50 万条土壤采样化验数据以及 200 万多项土壤指标数据(包括氮含量、磷含量、钾含量、有机质含量、pH 值以及铁、硫、硅、锰、铜、硼、锌、钼等中微量元素含量)。(2)土地利用数据,包括全省 96 个农业县的耕地地力评价单元数据、耕地土壤类型数据、行政区划以及线状地物、地类图斑数据,此外还包括座落名称、地貌类型、地面坡度、田面坡度、坡向、常年降水量、通常地下水量、地类编码、图斑面积、评价分级等指标数据。(3)施肥指标体系数据,包括豆角、瓜果、柑橘橙、花生、苦瓜、糖蔗、龙眼、荔枝、马铃薯、茄果、水稻、果蔗、甜玉米、香蕉、叶菜、柚子等 16 种广东省主要地域特色作物施肥指标。(4)作物库和配方库数据(包括每个农业县的主要作物分布数据,包括粮食作物、蔬菜、水果、瓜类等作物生长期推荐施肥品种、数量、方法、配方肥配比、施用方法等)。(5)农业知识库数据,包括种植管理、栽培技术、病虫害防治、良种繁育、土壤改良等图文数据及多媒体数据。(6)专家答疑服务数据,包括专家与用户之间互动交流记录等图文数据以及用户最近询问专家记录、匹配推荐专家等数据。(7)专家及用户数据,包括专家姓名、头像、性别、职称、擅长领域、手机号码、专家答疑次数、工作单位等数据以及用户注册数据。(8)系统日志数据,包括用户行为收集数据、系统运行访问数据、性能数据、错误日志等。

2.3.1 空间数据库的设计 精准施肥空间数据库的原始数据为耕地地力评价成果更新数据,比例尺为 1 : 50 000,坐标系为北京 54 坐标系,包括各县域耕地地力评价单元数据、各县域耕地土壤调查采样点分布数据(每年更新的历史数据)、各县域耕地土壤类型数据、各县域耕地土壤养分数据等专题地理数据以及地类图斑、线状地物、行政区界线、行政区等基础地理数据。

空间数据库作为地理信息系统在计算机物理存储介质上存储的与应用相关的地理空间数据的总和,一般以一系列相

互关联的特定结构文件的形式组织在存储介质之上,存储着空间数据(以点、线、面为同一类型同一时段的空间描述对象的分层、分组织储存的实体)和属性数据(如人口面积)。数据库具有数据量庞大、高可访问性、空间数据模型复杂、属性数据和空间数据联合管理、时空多尺度性等特点,支持空间查询和空间分析等方法,在 GIS 领域中发挥着最基础和最核心的作用。

通过数据预处理、数据更新和插值、构建数据库与发布专题地图、构建分析数据库对精准施肥空间数据进行标准化处理。

2.3.2 配方施肥模型库构建 精准施肥大数据系统的核心是施肥模型的构建。模型库由一些评价和预测模型组成,是按照已确立的各种特性因子,并结合肥料学、土壤学、植物营养学等知识和专家经验建立的模型。施肥模型主要是在指定区域和作物种类(包括设定目标产量)已选定的情况下,通过对施肥量和施肥配比及时期的运筹,得出最优的施肥配比和施肥方案。目前,该系统已有的作物配方施肥模型包括豆角、瓜果、柑橘橙、花生、苦瓜、糖蔗、龙眼、荔枝、马铃薯、茄果、水稻、果蔗、甜玉米、香蕉、叶菜、柚子等,本研究以此为基础搭建施肥配方服务接口。

以水稻为例,水稻的施肥推荐模型须要根据不同区域采用不同的回归模型,同时还应考虑各个地区籽粒养分吸收量的不同,以及不同地区肥料利用率的不同。首先根据土壤养分计算出相对产量,其次根据目标产量和地力提供产量计算得出肥料须提供产量,再次考虑籽粒养分吸收量和肥料利用率,最终求出该地区该目标产量下的水稻养分推荐施肥量,表 1 为水稻养分推荐施氮量模型。

表 1 水稻养分推荐施氮量模型

区域	推荐施氮模型
广东省	$y = -0.039\ 3x + 14.07, r = -0.459^{**}, n = 447$
粤北地区	$y = -0.037\ 2x + 14.69, r = -0.469^{**}, n = 190$
潮汕平原高产区	$y = -0.042\ 9x + 17.12, r = -0.331^{**}, n = 70$
粤西地区	$y = -0.040\ 0x + 14.21, r = -0.542^{**}, n = 131$
珠江三角洲	$y = -0.033\ 9x + 12.63, r = -0.391^{**}, n = 56$

注:x 表示土壤碱解氮含量;y 表示推荐施氮量。

2.3.3 系统功能模块设计 依据系统的分析和设计,本系统的总体功能模块设计见图 4。针对不同类型的用户进行拆

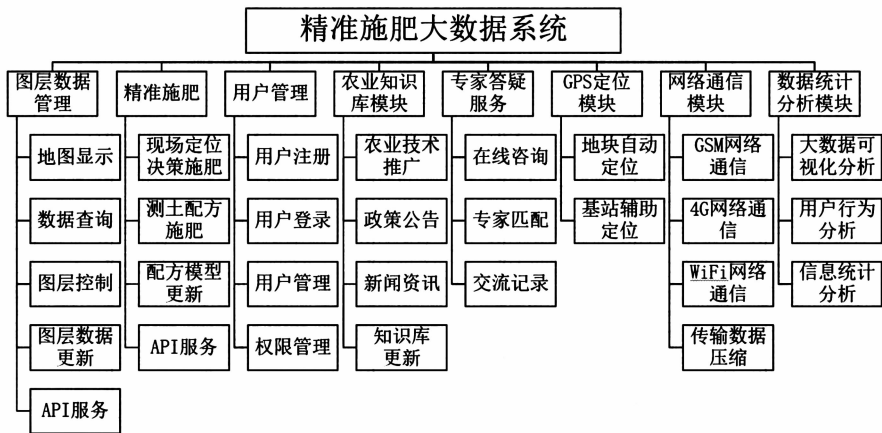


图4 系统总体功能模块设计

分,其中,数据统计分析模块和业务更新部分仅面向管理员用户类型开放。

3 系统实现

3.1 用户管理模块的实现

该平台用户主要分成农户、专业人员、农业部门管理员等3类。农业部门管理员通过PC端进入用户管理模块后,可以查看各类用户列表及详情,并可根据统一模板批量导入专家数据,对专家用户信息进行编辑和删除,添加用户,查看用户列表。农户和专业人员在移动端网页入口进入、注册或登录访问。

3.2 测土配方施肥模块的实现

3.2.1 测土配方施肥系统 通过对(市—区—村)逐级进行选择,向服务器发送请求获得所选村的地图服务,然后进入所选村的地图;在地图上进行操作,将地图中心点放在绿色的地块上,与后台交互获取土壤养分数据,弹出 Callout 窗体,点击该窗体,进入测土配方参数设置。地图显示功能时序见图5。除显示该地块必要土壤养分元素外,用户可设置不同的作物及目标产量。设置完毕,点击确定,发送请求至服务器,服务器通过计算相应的县域配方模型获得施肥建议卡,并将施肥建议卡以网页的形式显示到用户界面。该施肥建议卡可通过微信、QQ、微博等形式实现分享。生成配肥方案时序见图6。

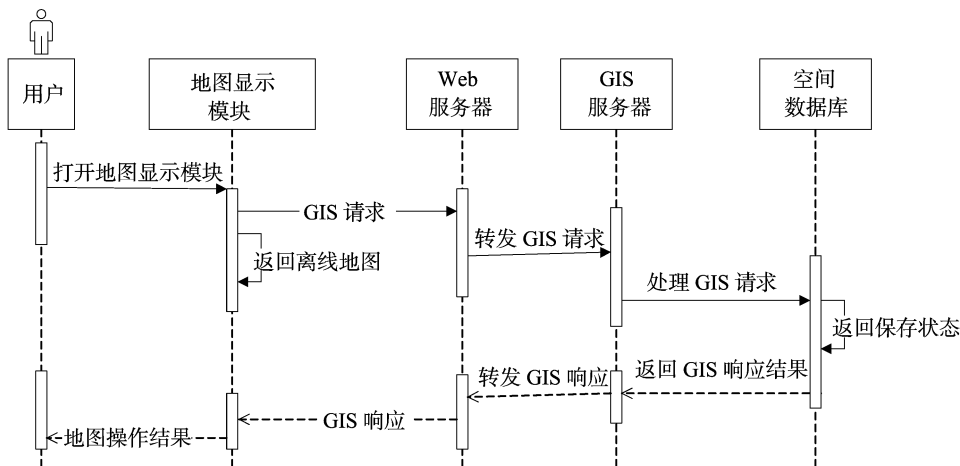


图5 地图显示功能时序

3.2.2 现场决策施肥 现场决策的流程与测土配方施肥基本一致,只是该流程第1阶段并不需要通过访问地图来获得土壤养分数据。只须开启手机端全球定位系统(global positioning system,简称GPS),获得当前的经纬度坐标,调用服务接口,经坐标系转换以及Query查询,并设置范围与容差,即可获得该坐标下的土壤养分数据。然后再选择作物,得到施肥建议卡。

3.2.3 配方模型更新 作物模型与目标产量的设置通过服务器获得更新,调用SharedPreferencesUtil工具类以离线的方式存储至手机端。以定期更新的形式获得最新数据表。配方施肥模型的计算方案由后台进行更新。

3.3 农业知识库模块的实现

在移动端部分,用户点击“知识库”模块,进入知识库,可以查看农作物品种、农业技术、农资信息等相关图文内容,为科学农业生产提供知识支撑,通过阅读、浏览、学习提升用户知识水平。点击搜索框,可以选择知识库分类以及搜索相关的关键词。

3.4 数据分析模块的实现

数据分析模块包括大数据可视化分析、用户行为分析和信息统计分析。该模块功能面向管理员级别,由后台管理系统提供服务,方便管理员进行决策分析,为后续工作提供指导基础。

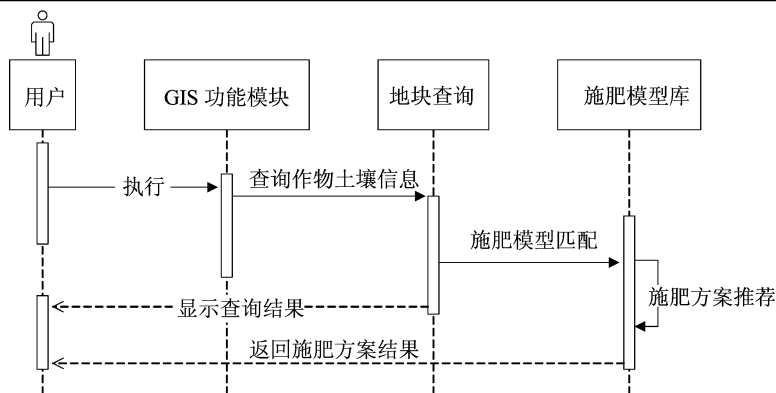


图6 生成配肥方案时序

3.4.1 大数据可视化分析 空间数据可视化是大数据可视化的重要构成部分。该模块结合 GIS 大数据与 Hadoop 技术,搭建 Hadoop 大数据分析平台,利用 GIS Tools for Hadoop 工具将施肥大数据转化为 JSON 数据并导入到 Hadoop 平台中,提交到 MapReduce 程序中,经空间分析运算将分析结果转化为要素类显示至地图中,可有效节省运算时间,解决单机执行效率有限问题。另外,开发了 1 套基于 Python 自动化数据处理

工具的系统,对原始数据进行标准化处理(统一字段、检查坐标系、统一属性值)后,批量导出广东省范围的土壤数据和底图数据,导入至空间数据库,并发布地图切片服务。

该模块以市、县为单元维度,对大数据进行实时更新统计分析,如对县域维度的土壤数据平均值、最大值、最小值进行统计分析等。可将数据处理结果以报表形式导出用于查阅(图 7)。

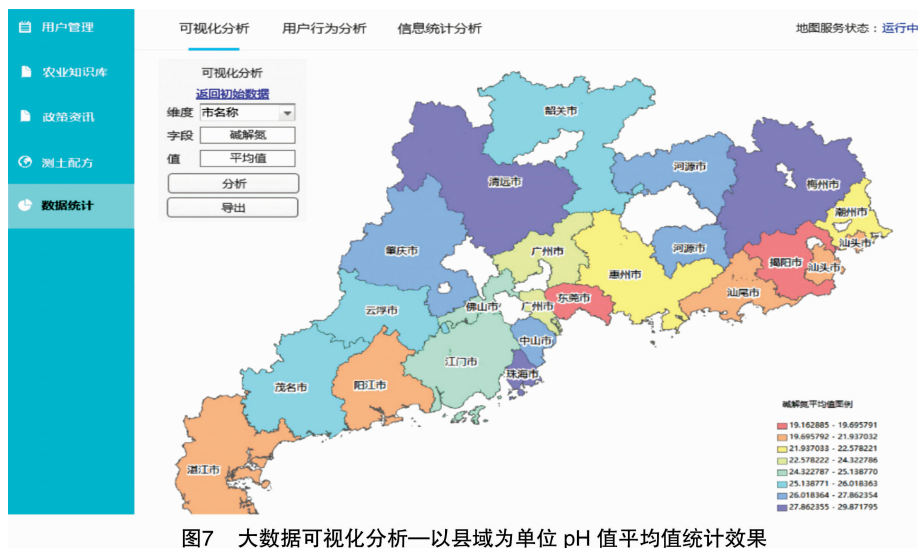


图7 大数据可视化分析—以县域为单位 pH 值平均值统计效果

3.4.2 用户行为分析 移动端设计各类行为埋点,如施肥建议卡生成次数、阅读单个文章次数、点击单个 Activity 次数以及访问时间、用户评论互动指标等,根据这些行为埋点分析用户行为,获得相关的反馈,进而优化 App 核心功能(图 8)。

3.4.3 信息统计分析 该模块用于记录核心业务的信息统计内容,包括用户数统计、农业知识库数量统计、专家答疑内容统计、生成施肥建议卡次数统计以及用户主动提供反馈的信息内容(如用户建议和投诉信息等)。另外,统计生成建议卡作物地域分布情况及满意度评价。

4 结束语

目前大数据应用在用户推荐、流量统计、系统架构等领域取得了巨大进步,然而其他具体垂直领域的大数据应用仍处于摸索阶段。本研究对精准施肥大数据系统进行分析、设计与开发,基本实现系统的核心功能,并对系统进行推广应用,

弥补了精准施肥大数据领域应用上的空缺,其技术具有一定的先进性和借鉴作用;同时进一步提升了精准施肥管理及决策水平,且具有专业化、精准化、区域化、可维护性和应用范围广等特点。首先,充分利用精准施肥大数据及相应的大数据技术,建立标准统一的精准施肥海量数据库、数据仓库及元数据管理系统,可为精准施肥提供新的决策方案和途径。其次,结合大数据技术和 WebGIS 技术,采用前后端分离的 RESTful 设计架构与分布式集群架构,开发 1 套基于精准施肥大数据系统以及相应信息服务的应用平台,为农户提供精准施肥决策指导(图 9)及农技推广服务,进而逐渐改变农户传统种植观念,提高农户知识水平,达到农作物增产增收、减少环境污染等效果。最后,系统先后于广东省各地(如开平市、罗定市等)进行推广应用,推广效果显著,并被评为“粤治—治理能力现代化”2016—2017 年优秀案例。



图8 用户行为分析效果



图9 测土配方施肥功能界面

参考文献:

- [1] 白云山. 测土配方施肥技术与应用[J]. 农业开发与装备, 2016 (5): 143.
- [2] 蔡丽霞. 基于大数据处理技术 Hadoop 平台玉米精准施肥智能决策系统的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2015.
- [3] 程学旗, 靳小龙, 杨婧, 等. 大数据技术进展与发展趋势[J]. 科技导报, 2016, 34(14): 49-59.
- [4] 褚进华, 马友华, 李英杰, 等. 触摸屏技术在测土配方施肥中研究和应用[J]. 农业网络信息, 2010(7): 12-15.
- [5] 吴吉义, 李文娟, 黄剑平, 等. 移动互联网研究综述[J]. 中国科学(信息科学), 2015, 45(1): 45-69.
- [6] 吴楠. 国外新型农业生产经营管理信息系统研究——以 Farmlogs 为例[J]. 软件导刊, 2016, 15(1): 130-132.
- [7] 谢润梅. 农业大数据的获取与利用[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(30): 383-385.
- [8] Chute C G, Ullman - Cullere M, Wood G M, et al. Some experiences and opportunities for big data in translational research[J]. Genetics in Medicine, 2013, 15(10): 802-809.
- [9] Demirkan H, Delen D. Leveraging the capabilities of service - oriented decision support systems: putting analytics and big data in cloud[J]. Decision Support Systems, 2013, 55(1): 412-421.
- [10] Robert P B. A mobile GIS application to heavily resource - constrained devices[J]. Geo - Spatial Information Science, 2004, 7(1): 50-57.
- [11] 钱亮. 对农业大数据应用的思考[J]. 中国农业信息, 2016(7): 7-8.
- [12] 光峰, 姚程宽, 王维进. 农业领域大数据的应用研究[J]. 洛阳师范学院学报, 2015, 34(8): 75-77.
- [13] 于占超. 基于 WebGIS 的测土配方施肥决策系统设计与应用[D]. 西安: 西北大学, 2013.
- [14] 苑超, 李东明, 李岩. 基于 MapReduce 的 BP 神经网络在精准施肥中的应用[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(2): 191-195.
- [15] 张栋. 关于测土配方施肥技术推广现状及对策探究[J]. 农民致富之友, 2014(24): 166.
- [16] 张贵锋. 我国到 2020 年农药使用量零增长行动方案[J]. 新农业, 2015(21): 31-35.

李晓红,陈再胜. 勾轮式大豆播种机排种机构优化设计与试验[J]. 江苏农业科学,2018,46(24):262-265.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.24.071

勾轮式大豆播种机排种机构优化设计与试验

李晓红, 陈再胜

(商丘工学院机械工程学院,河南商丘 476000)

摘要:以优化株距均匀性为目标建立数学模型,结合约束条件对排种器的安装高度 H 、播种机行驶速度 v 和投种轮半径 r_m 等工作参数进行了优化,在 STB-700 试验台上进行排种轴转速对排种器性能的影响试验,并根据显著性方程确定了符合生产需求的漏播率极小值点为 40.71 r/min,株距变异系数极小值点 39.65 r/min,重播率极小值点为 44.05 r/min,将此结果在田间进行试验,试验结果满足生产需求。

关键词:株距均匀性;优化;试验研究;大豆播种机;排种机构

中图分类号: S223.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)24-0262-04

大豆作为一种重要的经济作物和油料作物在国内被广泛种植,国内大豆的主要种植区域分布在东北的黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古(面积和总产均占全国的 50% 以上)以及黄淮地区的安徽、河南、山东、江苏、河北(面积和总产均占全国的 20% 以上)等省,总体种植面积为 1 058 万 hm^2 ^[1]。在东北地区,大豆的机械化生产技术已达到一定的水平,而在黄淮海及南方地区,由于其耕地连片面积相对较小,坡度较大,丘陵地区难以让大机械进地,因此,大豆生产机械化程度非常低,主要是畜力和人力作业,劳动强度大,生产效率低。为了改变这种现状,必须加快实现大豆机械精密播种的进程。

大豆机械精量播种是大豆机械化生产环节中的重要组成部分,大豆的机械化精量播种要求在播种农时内,能够准确地按照农艺要求、粒数、间距和播深,在最短时间内将大豆播入穴中,播下的种子要求每穴粒数相等且逐渐均匀,从而为保证作物的生长提供较好的生长条件。采用机械精密播种可以保证种子在田间分布合理、株距均匀、播量精确、播深一致,从而为种子的生长发育创造最佳条件,并且可以大量节省种子,减少田间间苗,保证大豆的稳产高产^[2]。

精密排种器、机架、开沟器、镇压装置是大豆精密播种机的四大机构。其中精密排种器作为大豆精密播种机械的关键部件,它的主要作用是将种子按照一定的农艺要求均匀地分配到导种管中,其分配的均匀度直接影响到作物株距。因此

要实现大豆机械精密播种符合农艺要求,排种器必须具备的性能为:(1)有较好的充种效果。良好的充种性能是保证播种均匀的前提,反之,充种性能不好则会造成重播、漏播。(2)合适的排种频率。根据农艺要求,大豆精密播种的要求株距为 5 cm,为了保证作业效率、降低油耗和机组配套的合理性,大面积播种要求播种机的作业速度不低于 8 km/h,即要求精密排种器的排种频率不小于 44 粒/s^[3]。目前,我国粒距较小的排种器排种频率大部分都比较低。(3)合适的投种高度和速度。较高投种高度会增加种子在种沟内的弹跳,从而造成落点不确定,最终会影响到其分布情况,因此,排种器高度应在可能的范围内尽量降低;投种时,应尽量使种子的绝对水平分速度为 0,即为零速投种,此时,种子的落点精度较高。

为了满足这些性能,我国科研工作者对精密排种器进行了大量的研究,之所以如此重视,正是因为排种器在作业过程中遇到了众多问题。对大豆精密播种机来说,目前没有对种子破碎率低且播种均匀度好的精密排种器,播种质量无法保证^[4]。因此,大豆精密排种器工作过程中需要解决的问题繁多而又复杂,有些大豆精密排种器方面的理论、经验和部件设计还须要进一步完善和改进。

因此,笔者结合生产中遇到的实际问题,借助排种器性能试验台,对现有的排种器进行选型,进行深入的理论分析和研究,然后对其进行优化设计和试验论证,从而使其满足实际生产的需求。

1 勾轮式大豆排种器工作参数优化

种子粒距的均匀性是衡量勾轮式大豆精密排种器播种质

收稿日期:2018-12-06

基金项目:河南省教育厅项目(编号:2018ZZJH386)。

作者简介:李晓红(1985—),女,河南叶县人,硕士,讲师,主要从事农业装备智能控制研究。E-mail:294697938@qq.com。

[17]赵林. 基于 WebGIS 的农场测土配方施肥系统研究与建立[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2014.

[18]闫旭. 浅谈 SQL Server 数据库的特点和基本功能[J]. 价值工程,2012(22):229-231.

[19]戴仕明,唐明星,刘红英. 土壤配方施肥决策专家系统[J]. 江西农业大学学报,2000,22(5):200-202.

[20]顾洪瑞,杜华婷,马利强,等. 基于云计算的测土配方施肥服务系统研究与应用[J]. 河北农业科学,2015,19(3):85-89,92.

[21]Kaur R,Garg R,Aggarwal H. Big data analytics framework to identify crop disease and recommendation a solution[J]. IEEE,2016(2):1-5.

[22]Luvisi A. Electronic identification technology for agriculture, plant, and food. A review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2016,36(1):1-13.

[23]Nugroho A P,Okayasu T,Inoue E, et al. Development of actuation framework for agricultural informatization supporting system[J]. IFAC Proceedings Volumes,2013,46(4):181-186.