

基于数字孪生的乡村振兴可视化平台

谭昊然, 任菊慧, 林良钊, 崔侯枫

上海电机学院电子信息学院, 上海

收稿日期: 2024年12月17日; 录用日期: 2025年1月10日; 发布日期: 2025年1月17日

摘要

本研究针对XX市XX镇农业发展面临的劳动力缺失和成本高的问题, 构建了一个集自动灌溉、墒情监测、病虫害监控、气象数据采集、三维预警和GIS于一体的智慧农业大数据平台。通过物联网、大数据分析、GIS等技术, 实现了农业生产的自动化和精细化, 降低了生产成本, 提高了农业效益。研究结果表明, 该平台能有效促进乡村振兴战略的实施。

关键词

智慧农业, 大数据, 物联网, GIS, 乡村振兴

Digital Twin-Based Rural Revitalization Visualization Platform

Haoran Tan, Juhui Ren*, Liangzhao Lin, Yufeng Cui

School of Electronic and Information, Shanghai Dianji University, Shanghai

Received: Dec. 17th, 2024; accepted: Jan. 10th, 2025; published: Jan. 17th, 2025

Abstract

This study addresses the issues of labor shortage and high costs faced by agricultural development in XX Town, XX City, by constructing a smart agriculture big data platform that integrates automatic irrigation, soil moisture monitoring, pest and disease control, meteorological data collection, 3D early warning, and GIS. Through technologies such as the Internet of Things, big data analysis, and GIS, this platform achieves automation and refinement in agricultural production, reduces production costs, and enhances agricultural benefits. The research results indicate that the platform can effectively promote the implementation of the rural revitalization strategy.

*通讯作者。

文章引用: 谭昊然, 任菊慧, 林良钊, 崔侯枫. 基于数字孪生的乡村振兴可视化平台[J]. 建模与仿真, 2025, 14(1): 680-689. DOI: 10.12677/mos.2025.141064

Keywords

Smart Agriculture, Big Data, Internet of Things, GIS, Rural Revitalization

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着党的二十大明确提出了全面建设社会主义现代化国家的战略目标，农村地区的发展被赋予了前所未有的重要性。根据《中共中央国务院关于做好 2023 年全面推进乡村振兴重点工作的意见》，文件特别强调了加强党的领导在“三农”工作中的核心地位，并重申了坚持农业农村优先发展的原则，同时指出了科技创新与制度创新对于实现乡村振兴的关键作用。该意见还具体提出要加强高标准农田的建设，改善土壤质量、完善灌溉排水设施，推广高效节水灌溉技术，并建立长效维护机制。

在此背景下，本文对现有的乡村振兴可视化平台进行了深入调研，发现了一系列亟待解决的问题[1]-[3]：首先是数据孤岛现象显著，核心技术自主研发能力不足，以及数据获取、处理、应用和共享方面存在的短板，这极大地限制了数据资源的价值发挥；其次是数智乡村建设项目中普遍存在资源管理混乱的情况，不同地区的数字化水平参差不齐，缺乏一个能够统筹协调各方面资源的有效平台；再次是农村地区的信息利用效率较低，加上融资渠道有限及市场监管力度不够，导致创业者面临较高的交易成本，从而削弱了农民参与创业的积极性；最后，在数字乡村建设过程中还存在技术支持不够充分、线上服务与线下实际情况脱节等问题，迫切需要增强数字基础设施建设和提升公众的数字技能。

面对上述挑战，本文认识到传统的基于大数据的乡村振兴可视化平台已经难以满足当前的需求。因此，本文将目光转向了数字孪生技术这一前沿领域。数字孪生是利用大数据、人工智能和深度学习等技术构建数字模型，实现对实体系统的仿真和优化[4][5]。尽管目前这项技术在乡村振兴领域的应用尚处于初步探索阶段，但已有研究显示其巨大潜力——例如王武英等人[6]利用集成传感器技术和物联网技术实现了农业环境信息的全面采集，并结合 AI 算法提供了实时反馈功能。

为此，本文选取了 XX 市 XX 镇正在实施的一个覆盖面积达 8000 亩的高标准农田项目作为试点案例。在此基础上打造了一个试点范围内的集自动灌溉、墒情、监控、虫情、气象数据、三维预警、GIS 等为一体的基于数字孪生的乡村振兴可视化平台。该项目不仅提升了当地农业生产效率和服务水平，同时能够为全国范围内的智慧农业发展树立典范。

2. 可行性分析

2.1. 建设可行性

本项目是 XX 市 XX 镇人民政府高标准农田建设完善的重点项目，对于新时期新阶段 XX 市 XX 镇人民政府高标准农田建设具有里程碑意义，将现代化智慧农业理念引入到高标准农田的建设中，从技术的可获得性、实施的合理性考虑，本项目将融合物联网、互联网、大数据、空间地理信息等技术，开发本系统，从而建立农业大数据库，搭建农业物联网大数据应用系统和可视化平台。本项目的实施将实现 XX 市 XX 镇人民政府农业大数据的可视化，也将实现真正意义上的智慧农业，初步建成智慧农田大数据平台系统。项目完成后，必将对启东市北新镇人民政府高标准农田建设、构建智慧农业体系等多方面起到

无可估量的作用。

2.2. 技术可行性

数字孪生、物联网数据可视化和 GIS 技术共同构成了智慧农业管理的关键技术支柱。数字孪生技术通过创建物理农田的虚拟对应模型，实现了对作物生长过程的全方位模拟和预测，而物联网数据可视化技术则通过实时采集和分析农作物生长环境数据，为农业生产提供了科学依据。GIS 技术则负责地图数据的渲染和管理，使得农业数据的地理分布和空间分析变得直观高效。这些技术的综合应用不仅提高了农业管理的智慧化水平，而且确保了农业生产过程的精准性和效率。

从技术可行性角度来看，这些技术均已成熟并在农业领域展现出良好的应用前景。数字孪生技术能够为农业生产提供全息映射和智能决策支持，物联网数据可视化技术通过实时监测和预警系统提升了农作物的管理效率，而 GIS 技术则通过强大的地图功能模块增强了农业数据的可读性和实用性。尽管存在实施难点和技术障碍，但通过合理规划和技术创新，这些技术完全能够在农业管理中发挥重要作用，推动农业向智能化、精准化发展。

2.3. 经济可行性

高标农田可视化平台的初期建设涉及显著的资本投入，涵盖了硬件设施的购置、可视化软件的开发、以及系统的集成等关键环节。这些初期投资虽大，但它们是基础性的，为后续农业生产提供了坚实的技术支撑和可视化管理能力。

高标农田可视化平台的建设和运用将明显增强农业生产的效率，减少劳动力成本，并提升农产品的品质及市场竞争力。从长远角度来看，该平台带来的经济回报是可观的，并且与国家倡导的高效农业种植政策相契合。例如，利用该平台的智能灌溉可视化功能，可以显著节约水资源并降低灌溉成本；通过病虫害监测的可视化系统，可以减少农药使用，降低成本；借助大数据的可视化分析，可以优化农业生产管理，从而提高作物产量和品质。

国家和地方政府对智慧农业，特别是高标农田可视化平台的发展给予了极大的支持，推出了多项优惠政策和资金扶持措施。这些政策和支持为高标农田可视化平台的建设和推广提供了强有力的保障，确保了智慧农业技术的顺利实施和广泛应用。

3. 平台实现方案

3.1. 平台总体设计

本文系统通过应用先进的数字孪生与数据可视化技术，实现了对农业生产的全方位支持和优化。该平台不仅提供了三维地图可视化展示、实时监控查询、作物 3D 生长动画可视化、病虫害监测可视化、土壤墒情展示分析、实时天气查询显示、数字地块分析、数据中心展示、智慧农业大数据分析展示和产量估计等功能，还允许对外界环境进行远程操控，实现了乡村农业智慧化管理。本系统从功能上可以划分为数字地块、大数据中心、农业物联、农作物生长周期展示四大模块(如图 1 所示)，具体如下：

(1) 数字地块

展示了高标准农田的具体情况，包括近年来的产量统计、土壤肥力变化等信息。这些数据可以帮助农民更好地了解自己的土地状况，从而制定更有效的种植策略。

(2) 大数据中心

包含了农作物标准体系、指标体系库等关键信息。这些数据对于分析和预测农作物的生长趋势至关重要，有助于提高农业生产效率和质量。

(3) 农业物联

实现了对病虫害的实时监测和对土壤墒情的智能灌溉控制。通过传感器和其他设备收集的数据，可以自动调整灌溉系统，确保作物得到适量的水分，同时减少浪费。

(4) 农作物生长周期展示

提供了作物生长过程的动态可视化表示，使人们能够直观地看到作物的生长发育情况。这对于研究和教育目的都非常有价值，也可以帮助农民做出更好的决策。

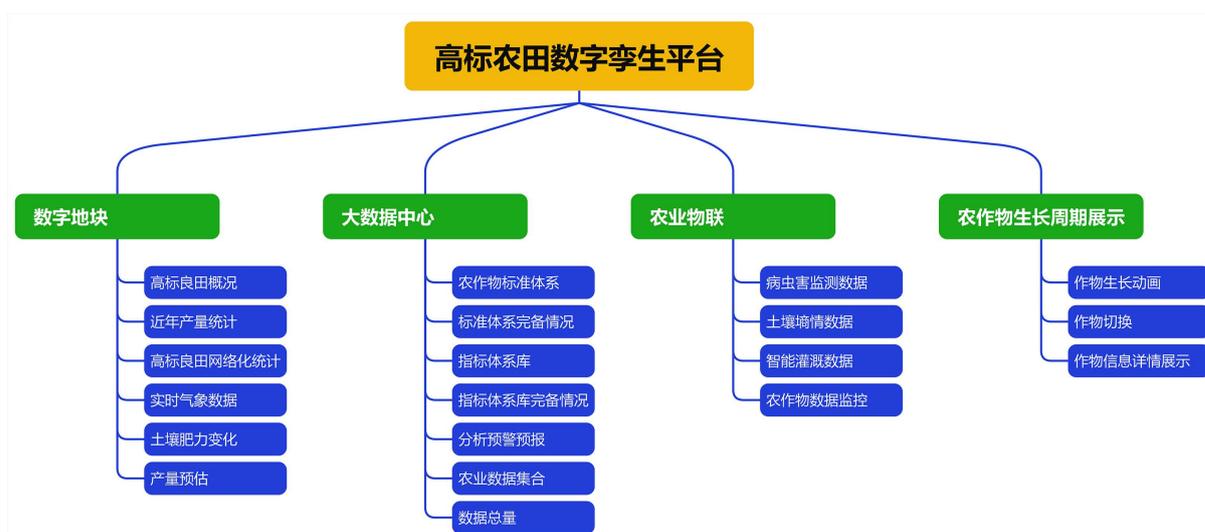


Figure 1. System functional framework diagram

图 1. 系统功能框架图

3.2. 平台数据中心建设方案

平台中部分数据来源于现有系统和业务部门现有的数据文件，因此采集方式有文件和现有系统共享的文件，以及与现有系统的接口对接、和数据采集。因数据涉密，这里将介绍本平台中的大数据中心所涵盖的数据类型，具体如下：

(1) 农作物标准体系库数据

该数据用于规范和评估农作物生产的各个方面，以确保最终产品的质量、安全性和可追溯性。这一体系涵盖了从种子和种苗质量的标准、生产过程的管理、到最终农产品的质量检测和认证的全面内容。其中包括土壤管理、施肥、病虫害防治、灌溉等生产管理标准，以及农产品的外观、营养成分、农药残留和重金属含量等质量标准。可追溯性标准确保了生产过程和产品的追溯性，使得产品的来源和流通都能够清晰可考。此外，环境友好标准强调有机农业和环境保护，促进农业的可持续发展，为生产者、消费者和整个社会提供了更可靠的农产品质量保障。

(2) 农业中的指标体系库数据

该数据集成多项关键参数和性能指标的综合性数据库，用于评估和监测农业生产系统的各个方面。该库涵盖了种植、养殖、灌溉、施肥、病虫害防治等各个农业环节的关键指标，旨在为农业决策者、研究人员和从业者提供科学依据。这一综合性的指标体系库不仅有助于实时监测农业生产状况，提高生产效率，同时也支持可持续农业发展，促进农业系统的优化与创新。

(3) 农业物联数据

该数据通过物联网技术连接农业设备、传感器和信息系统，实时采集、传输和分析农田中的各类数

据。这包括土壤湿度、温度、气象条件、作物生长状况等多方面信息。这些实时数据通过物联网平台整合，为农业生产提供了精准的监测和控制手段，使农民和农业专业人员能够实时了解农田状况，精确调控灌溉、施肥等农事活动，从而提高农业生产效益、资源利用效率，促进农业可持续发展。农业物联网数据的应用将农业转变为更智能、高效的系统，为决策者提供科学依据，推动现代化农业的不断进步。

(4) 总作物产量预估数据

作物产量预测是通过整合多源数据，包括气象、土壤、植被指数等，应用先进的数据分析和机器学习技术，建立数学模型来估计未来特定农田或区域内农作物的产量水平。这一预测过程不仅考虑自然环境因素，还综合了农业管理措施、生长阶段等因素，提供了对农作物生产潜力的全面洞察。农作物产量预测的准确性有助于农业从业者做出更明智的决策，包括优化灌溉、施肥策略，应对气候变化，最终提高农田产量并确保食品安全。

本文系统实现了农作物产量预测，使用了机器学习模型 BP(神经网络)、SVM(支持向量机)和 RF(随机森林)，对于作物产量预估并生成图形进行可视化显示。本平台主要是进行大数据的可视化，因为农作物产量预测直接基于 Python 调用了现有的模型实现的，因此这里不做具体说明。

3.3. 基于数字孪生的农作物生长周期建模方案

本文构建了一个高效、实时的数字孪生模型，以实现 XX 市 XX 镇试点区域的全面监控和管理。采用了无人机倾斜摄影、物联网技术、人工智能以及地理信息系统(GIS)技术，以确保模型的精确性和实时性。以下是具体的基于数字孪生的农作物生命周期建模方案：

(1) 数据采集

利用无人机倾斜摄影技术和物联网技术，对 XX 市 XX 镇试点区域进行全面数据采集。采集的数据包括地理信息、土壤肥力、实时气象条件、病虫害监测和土壤湿度等。

(2) 数据预处理

采集完成后，对数据进行了去噪、校正和格式转换等预处理操作，以确保数据的质量与一致性。

(3) 三维模型构建

利用 ArcGIS Reality Studio 平台，基于采集的数据精细构建了物理实体的三维模型。这一过程包括几何结构、运行机制、接口、软件和控制算法等多维度信息的精确建模。

(4) 模型部署

将构建的三维模型与物联网层的数据进行了深度融合，确保虚拟模型能够实时映射物理实体的动态状态。同时，引入人工智能技术增强数据处理能力及模型精确度。通过 ArcGIS Server 平台对三维模型进行渲染处理，转化为可视化图像，并确保数据的即时传输与交互。此外，本文保障了网络的稳定性与数据的实时性，以支持数字孪生在全生命周期内的状态同步更新。最终，将构建完毕的数字孪生模型部署至 ArcGIS Server 平台，并进行持续的维护与更新。

3.4. 物联网数据可视化方案

在本研究中，本文构建了一个全面、高效的数据处理与可视化框架，以支持农业生产管理、环境监测和决策支持。以下是具体的方案：

(1) 数据采集

本文采用了先进的物联网设备，并遵循 MQTT、HTTP 等特定协议，确保数据的顺利接入。此步骤对于确定数据格式、维度、尺寸、分辨率和精确度等关键参数起到了决定性作用。

(2) 数据预处理

鉴于原始数据中可能存在的噪声和不完整信息，本文进行了数据清洗，包括去除噪声、填补缺失值、

标准化数据格式等, 以保障数据的质量与一致性。

(3) 数据存储

本文将预处理后的数据存储于合适的数据库中, 以便进行后续的分析 and 可视化。选用了 InfluxDB、TDengine 等数据库, 以高效处理时序数据。

(4) 数据处理与变换

对存储的数据进行了处理与变换, 以适应可视化需求。涉及数据的聚合、过滤、投影等操作, 旨在提取有用信息并降低数据复杂性。

(5) 可视化映射

可视化映射阶段是流程的核心, 本文在此将处理后的数据映射至不同的视觉通道, 如位置、形状、大小和颜色等, 从而使数据背后的现象和规律得以直观展现, 具体的效果会在下面的小节介绍。

4. 平台展示与分析

4.1. 平台功能展示

(1) 数字地块

基于 GIS 技术, 对选定良田按照网格进行数字化管理, 在每个网格建立数字模型(如图 2 所示), 以三维可视化形式展示地块信息(名称、位置、面积、作物类型)、土壤肥力(氮磷钾含量、肥力等级)、生态长势(生长周期、生长状态)、产量预估信息(预计成熟期、产量)、实时天气查询显示(如天气、空气质量、温度、湿度、风向和 PM_{2.5} 等)。

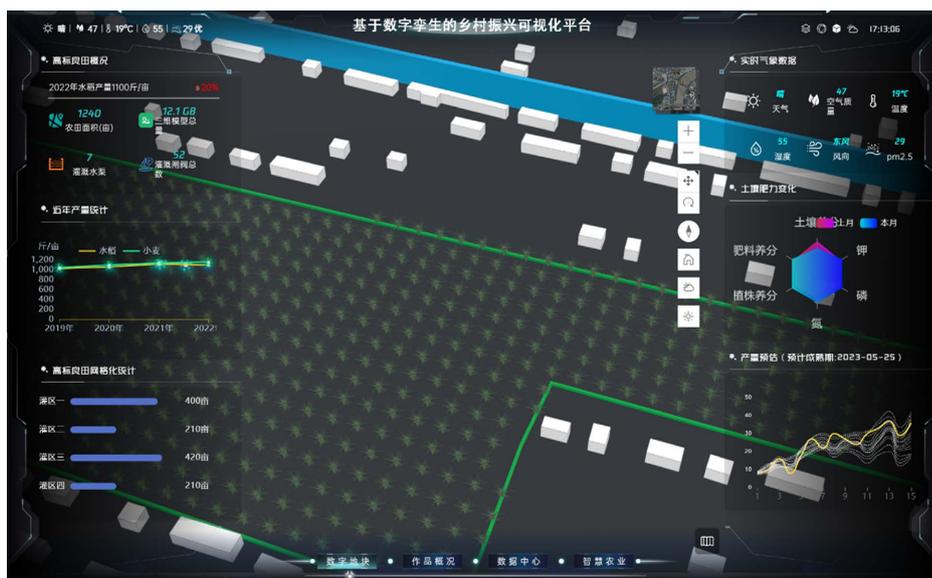


Figure 2. Digital parcel display
图 2. 数字地块展示图

(2) 大数据中心

本文系统大数据中心展示的信息如图 3~5 所示, 包括: 1) 农作物标准体系; 2) 指标体系库(基础数据库、环境数据库、种植管理数据库、数据模型库、日常管理数据库、产品销售及市场分析数据库等)及完备情况; 3) 农业数据资源的数据整合; 4) 分析预警预报和数据总量折线图; 5) 农田实时监控显示; 6) 农作物产量预估展示。

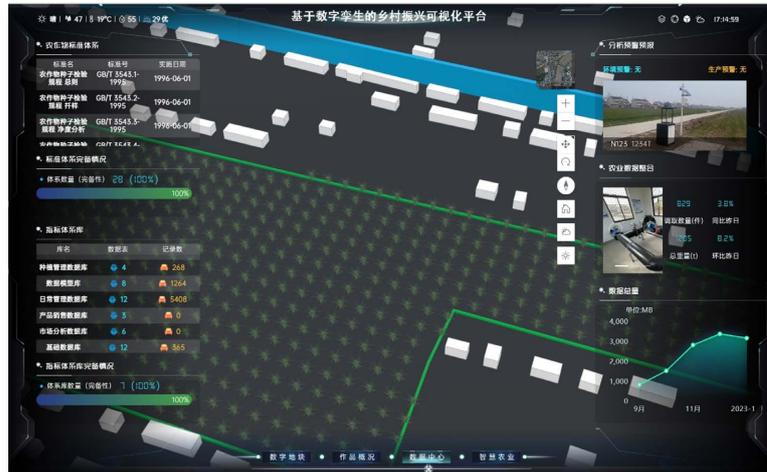


Figure 3. Data center page
图 3. 数据中心展示图



Figure 4. Video surveillance page
图 4. 视频监控画面图



Figure 5. Crop yield prediction using machine learning methods
图 5. 机器学习预测近年产量折线图

(3) 农业物联

基于物联技术, 实现了农业物联数据的实时显示, 如图 6 所示, 可以在左侧实时查看病虫害监测数据、土壤墒情数据以及灌溉设备数据等, 在右侧可以实时查看作物长势(小麦生长发育状态、水稻生长发育状态、农田作物长势)、产量预测和预测模型。



Figure 6. Smart agriculture page
图 6. 智能农业展示图

(4) 作物生长周期展示

基于数字孪生技术, 本文成功构建了一个高效、实时的数字孪生虚拟模型, 实现了物理实体与虚拟模型之间的实时映射与动态交互。图 7~9 展示了建模得到的农作物不同生长阶段的效果图。这些研究成果为农业生产管理、环境监测和决策支持提供了强有力的技术支持, 展现了数字孪生技术在智慧农业领域的应用潜力。

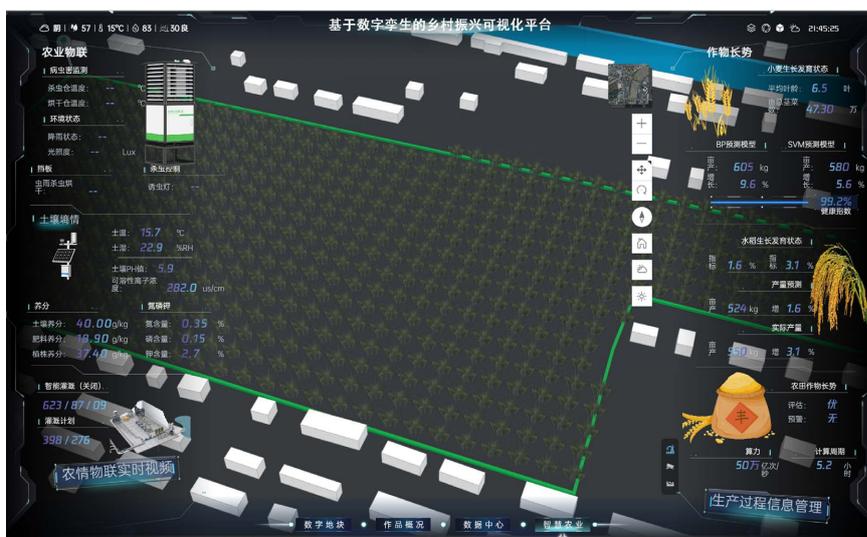


Figure 7. Initial growth stage of crops
图 7. 农作物生长初期展示图



Figure 8. Mid-stage of crop growth
图 8. 农作物生长中期

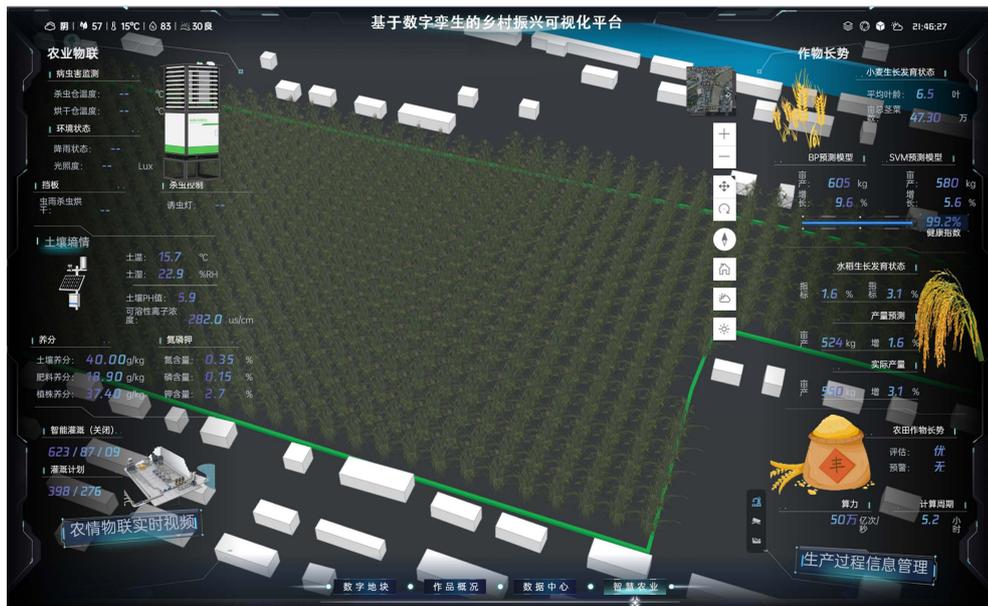


Figure 9. Maturation period of crop growth
图 9. 农作物生长成熟期

4.2. 结果分析

本文中的平台系统运用先进的农业和应用软件技术，以数据采集、网络通信、数据存储管理和应用支撑平台为基础，以业务流程为主线，安全、科学农业监测为目的，通过数学模型、自动控制、地理信息系统等技术手段，构建智慧农田项目大数据平台的业务应用系统。本项目的意义重大，具体如下：

(1) 通过数字化、网络化、智能化设备对土壤、大气环境、水环境状况进行实时动态监控，使之符合农业生产环境标准，生产各环节严格按照技术标准和规范要求生产，保障农产品符合质量标准。

(2) 通过各种传感器和无线传输设备的使用, 农田信息能够实时自动传输到农业管理人员的眼前, 实现了农民和农田的有机互联, 同时农田信息的获取和联网还能够实现自然灾害监测预警, 方便区域管理, 实现高度的信息共享和农业自动化。有利于基层队伍实力的整体提升, 利用先进的信息技术手段缓解基层工作压力, 解放劳动力, 打造复合型人才。

(3) 依托物联感知建设和资源整合的采集设备通过各个应用设备的灵活构建, 可以为镇政府不同的部门提供高效、清晰、智能的监测设备, 有效提升高标准农田监管的能力, 强化标准化采集、科学化决策、智能化指挥和人性化设备能力。

(4) 以社会效益为主, 兼顾经济效益。通过项目的实施可对高标准农田的建设过程进行监控, 推动绿色农田的健康和快速发展, 保证粮食产量, 减少经济损失和由此引发的公共卫生问题, 保障整个农农业的健康化、智能化、现代化发展, 对现代化数字时代的建设具有重要意义。

5. 总结与展望

5.1. 总结

本作品打造一个试点范围内的集自动灌溉、墒情、监控、虫情、气象数据、三维预警、GIS 等为一体的智慧农业大数据平台。利用实时、动态的农业物联网信息采集系统, 实现快速、多维、多尺度的试验田信息实时监测, 根据自动监测信息结合耕种作物属性实现农田的智能灌溉, 突破农业信息获取困难与智能化程度低等技术发展瓶颈, 实现智慧化农业耕种。

对小麦(或水稻)的生长周期进行动画显示, 作物动画切换功能以及当前生长状态的三维可视化, 以及三维地图可视化展示实现三维地图的底图切换、放缩与平移, 视角切换, 默认视角切换、天气模拟与渲染、日照模拟与渲染以及三维地图中房屋、农田、河流、农作物(小麦等)和灌溉区的建模与渲染, 实现农作物生长的模拟与渲染。

5.2. 展望

本作品并未完全实现倾斜摄影的功能, 考虑到农户及耕地面积等问题, 采用无人机倾斜技术进行乡村空间规划。随着倾斜摄影技术的快速发展, 利用低空无人机作为倾斜摄影载体, 进行三维实景建模的方法成为当前三维模型发展的一个重要方向。这种方法能快速构建三维模型, 同时还具有操作方便、成本低、数据处理周期短等特点。利用倾斜摄影可以对乡村空间进行三维建模, 便于进行村庄简介、介绍用地类型的展示, 以及在民意反馈的办结事件中将处理前和处理后的图片上传进行对比, 便于乡村管理者后续的整理以及存档。

参考文献

- [1] 郭朝先, 苗雨菲. 数字经济促进乡村产业振兴的机理与路径[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2023, 23(1): 98-108.
- [2] 赵佳佳, 魏娟, 刘天军. 数字乡村发展对农民创业的影响及机制研究[J]. 中国农村经济, 2023(5): 61-80.
- [3] 巫丽君, 刘祖云. 数字乡村的理论进展与研究进路[J]. 中共宁波市委党校学报, 2022, 44(2): 62-71.
- [4] 陶飞, 张贺, 戚庆林, 张萌, 刘蔚然, 程江峰, 马昕, 张连超, 薛瑞娟. 数字孪生十问: 分析与思考[J]. 计算机集成制造系统, 2020, 26(1): 1-17.
- [5] 李欣, 刘秀, 万欣欣. 数字孪生应用及安全发展综述[J]. 系统仿真学报, 2019, 31(3): 385-392.
- [6] 王武英, 魏霖静. 基于数字孪生的智慧农业环境监测系统设计与实现[J]. 智能计算机与应用, 2023, 13(4): 181-185.