

基于 AI 视觉与数字孪生的广西水果病虫害监测及产量预测研究

马泽凤 覃春茹 田金链 廖家壹 邱怡*

广西职业师范学院

DOI:10.32629/as.v9i5.3988

[摘要] 本文针对广西亚热带水果产区病虫害频发、传统人工监测时效性差、产量预测缺乏动态性的突出问题,系统分析了AI视觉(以卷积神经网络为核心)与数字孪生技术的核心原理及农业领域应用逻辑,提出了面向广西柑橘、芒果等特色水果的“AI视觉识别—数字孪生监测—产量预测”三阶段闭环框架。该框架有效解决了现有研究区域针对性不足、技术融合不深入、监测与预测协同性弱的痛点,旨在为广西水果病虫害智慧防控、产量精准预测提供可靠理论支撑,助力区域水果产业数字化转型与高质量发展。

[关键词] AI视觉; 数字孪生; 广西水果; 病虫害监测; 产量预测

中图分类号: TS255 文献标识码: A

Research on Pest and Disease Monitoring and Yield Prediction of Guangxi Fruits Based on AI Vision and Digital Twin

Zefeng Ma Chunru Qin Jinlian Tian Jiayi Liao Yi Qiu*

Guangxi Vocational Normal University,

[Abstract] Aiming at the prominent problems of frequent pests and diseases in Guangxi's subtropical fruit-producing areas, poor timeliness of traditional manual monitoring, and lack of dynamism in yield prediction, this paper systematically analyzes the core principles of AI vision (with convolutional neural networks as the core) and digital twin technology, as well as their application logic in the agricultural field. A three-stage closed-loop framework of "AI vision recognition – digital twin monitoring – yield prediction" is proposed for characteristic fruits such as citrus and mango in Guangxi. This framework effectively addresses the pain points of existing research, including insufficient regional specificity, lack of deep technological integration, and weak synergy between monitoring and prediction. It aims to provide reliable theoretical support for intelligent pest and disease control and accurate yield prediction of Guangxi fruits, thereby facilitating the digital transformation and high-quality development of the regional fruit industry.

[Key words] AI vision; digital twin; Guangxi fruits; pest and disease monitoring; yield prediction

1 引言

广西是我国亚热带水果核心产区,柑橘、芒果、荔枝、龙眼等特色水果产量居全国前列。据广西壮族自治区水果技术指导站数据,2025年全区园林水果种植面积稳定在2100万亩以上,总产量突破3500万吨,连续八年居全国第一,其中柑橘产量占比约53.32%。受亚热带季风气候影响,当地果树病虫害常年呈中等偏重发生态势,柑橘黄龙病、红蜘蛛、炭疽病等频繁发生,严重制约产量与品质提升。传统监测依赖人工田间巡查,存在时效性差、覆盖不足、误判率高等问题;产量预测多基于历史数据趋势外推,缺乏动态机理,难以满足果园精细化管理需求。

在智慧农业加速发展背景下,AI视觉与数字孪生技术为病虫害监测及产量预测带来新可能。AI视觉技术,尤其是卷积神经

网络(CNN),可从海量图像中自主学习病虫害视觉特征,实现快速高精度识别。已有综述系统梳理了CNN在农业病虫害识别中的应用成果,指出该方法识别速度快、精度高,并讨论了其局限性和发展趋势^[1]。数字孪生技术通过构建虚拟镜像,实时映射作物生长状态并模拟环境交互,为产量预测提供动态模拟工具。二者融合有望实现病虫害早期识别、扩散模拟及产量推演的系统性突破。

2 AI视觉与数字孪生相关理论及广西水果病虫害监测基础

2.1 广西水果产业与病虫害发生特征

广西亚热带主栽水果具有周年生长、喜温喜湿特性,受区域高温高湿气候影响,病虫害呈现季节性高发、复合侵染、快速传

播的发生规律, 各类病虫害具备典型危害特征与侵染机制。传统病虫害监测以人工调查、经验判断、时序统计为理论依据, 存在预警滞后、诊断主观性强、覆盖范围有限等理论短板, 与精准防控需求存在差距。依据广西果树重大病虫害“预防为主、综合防治、全程管控”的防控理论, 亟需以新一代信息技术完善监测预警理论体系, 提升病虫害管控的科学性与时效性。

2.2 AI视觉技术原理与农业应用

机器视觉以光学感知、图像数字化处理与目标特征解析为核心理论, 通过模拟生物视觉系统完成对象信息提取。深度学习识别依托多层神经网络实现病害特征自主学习与分类决策, 摆脱人工特征工程限制。在病虫害识别领域, AI视觉遵循图像输入、特征学习、病害判定、结果输出的理论路径, 为快速、客观、标准化识别提供理论支撑。数字孪生技术与智能视觉的融合应用, 已成为智慧农业病虫害精准管控的重要理论方向, 为全域监测与智能决策提供了新的理论范式^[2]。

2.3 数字孪生技术核心架构与农业价值

数字孪生的核心内涵是构建物理实体的全周期虚拟映射, 实现物理空间与虚拟空间的虚实交互与协同演进。其理论架构包含感知层、虚拟层、分析层、决策层与反馈层, 具备实时映射、迭代优化、虚实互动、智能决策等理论特征。在农业场景中, 数字孪生以果园物理实体为对象, 通过虚拟镜像承载生长与环境信息, 支撑状态研判、风险推演与智能调控, 为农业全域数字化管理提供理论框架。

2.4 AI视觉与数字孪生融合可行性

AI视觉与数字孪生具备理论融合可行性与应用互补性。AI视觉为数字孪生提供高精度感知与病害识别能力, 保障虚拟体数据真实性; 数字孪生为AI视觉提供全域应用场景与决策闭环, 提升识别结果的应用价值。二者融合遵循“前端感知识别—全域虚拟映射—智能分析决策—闭环调控反馈”的逻辑, 形成一体化理论体系。该融合模式可有效弥补传统监测短板, 提升病虫害监测预警精度与管控效率, 为广西水果病虫害智能监测模型构建提供坚实理论基础。

3 AI视觉与数字孪生融合的水果病虫害监测及产量预测理论模型构建

3.1 基于AI视觉的广西水果病虫害识别理论模型构建

我们考虑到广西湿热气候的特殊性, 这里的病虫害形态复杂而且会复合发生, 于是构建了一套适配性的AI视觉识别理论模型。这套模型由CNN视觉感知理论为基础, 核心是想模拟植保专家看病虫害的过程——从局部病斑入手, 延伸整株植株的全面解析。模型理论框架大致分三层: 形态特征感知层, 大量依据广西常见的柑橘溃疡病、芒果炭疽病等病虫害的叶片特征, 汇总柑橘主产区的实测数据, 建立起标准化的语义表征规则; 上下文特征关联层, 主要是广西雨季的时候多种病虫害容易同时出现, 就是这个原因特征间的空间共生关系图谱被我们构建, 它靠注意力机制给不同尺度的特征分配不同权重; 至于判别决策层, 简单来说通过构建多标签分类边界把不同种类的病虫害区分

开。它识别逻辑遵循“由粗到精”的级联模式通常结合广西砂糖橘果园的实际情况, 先搞清楚果园整体场景由此定位病斑, 再进一步做细粒度分类。另外模型还有几个优化方向, 比如说引入抗光照变异机制适配当地多变的天气, 设计微小病斑重建逻辑避免柑橘黄龙病早期漏检, 最后嵌入广西特有病虫害的先验知识模块这样就可以提升模型的地域适配性。

现有相关研究也给这个模型提供了不少支撑, 王庆成在相关研究中就提到, AI视觉技术能提取病虫害的形态、颜色、纹理等关键特征, 快速区分不同类型的病虫害, 这也为复杂田间环境下的病虫害精准检测, 提供了重要的理论支持^[3]。

3.2 基于数字孪生的监测及产量预测理论模型构建

我们团队构建了一个能和真实果园实时同步的虚拟镜像系统, 把它当成数字孪生监测和产量预测的核心载体。这个系统以数字孪生“虚实映射、实时联动”理论为指导, 实现了果园“实体—虚拟”的双向映射。我们特意以广西百色芒果果园为试点, 把果园里每一棵果树都抽象成独立的数字实体, 和真实植株一一对应, 形成虚拟空间结构。病虫害动态监测用的是事件驱动机制, 我们把病虫害看作果园生长的扰动因子, 根据它的时空扩散规律, 再结合广西湿热的气象条件, 精准模拟它在虚拟空间里的传播过程。产量预测框架是结合广西水果“花—果—熟”的生长规律来做的, 包含生长态势推演、病虫害胁迫量化、环境耦合三个核心子模块, 还针对芒果的生长特性优化了相关参数。这个模型的核心机制很简单, 就是不断对比虚拟预测数据和真实果园的反馈数据, 根据差异调整模型参数, 最终实现产量的精准预估。陈青等人也表示, 数字孪生技术能构建高精度的果园模型, 给产量预测提供有效的技术路径^[4]。

3.3 AI视觉与数字孪生融合的理论体系构建

我们还构建了AI视觉与数字孪生深度融合的理论体系, 以数据融合理论为支撑, 算是实现了从能“看见”病虫害, 到能“预知”产量的跨越。二者的融合路径其实就三步: 一是数据同化, 让AI视觉识别的数据和虚拟网格场实时同步; 二是模型耦合, 把AI视觉特征层和孪生模型的参数节点建立精准的数学映射; 三是因果推断, 通过模拟不同干预措施对产量的影响, 给果园生产决策提供参考。最终形成的“识别—监测—预测”一体化体系, 能适配广西砂糖橘、芒果等特色果园, 核心功能就是确认病虫害种类、推演扩散趋势、预估产量区间, 还有风险预警。

4 模型在广西水果产业中的应用可行性与优化路径

4.1 应用可行性分析

AI视觉与数字孪生融合模型契合广西水果产业发展需求, 应用具备坚实基础。广西作为全国水果产量第一大省, 柑橘、芒果等种植面积大, 但70%以上是山地丘陵, 湿热气候导致病虫害爆发快、难监测。传统的人工巡查太慢且有主观性, 产量预测也常依赖历史数据, 缺乏动态性。相关研究已证实机器视觉技术在农作物病虫害监测领域的可行性与优越性, 可为水果病虫害监测提供技术支撑^[5]。该模型利用AI视觉捕捉病虫害特征, 结合数字孪生构建果园虚拟场景, 能实现病虫害的实时感知和产量的

动态预测。理论上,它能适应广西复杂的地形和多变的生长周期,满足精准防控需求,也符合国家智慧农业的政策导向,具备在广西多品类推广的基础。

4.2存在的理论短板

模型应用仍存在三大理论短板:一是融合深度不足, AI视觉与数字孪生的时空耦合逻辑未打通,难以分析病虫害与环境的动态关联;二是区域适配性弱,广西自北向南分为三个气候带,山地地形、湿度波动及多品种套种特征显著,模型对这些地域特性刻画不够系统;三是可解释性差,复杂场景下,模型无法清晰阐释特征提取与产量预测的内在逻辑,尤其难以量化病虫害胁迫对产量的具体影响,与植物生理学机理结合不够紧密。

4.3理论优化路径

结合技术趋势与广西地域特点,从三方面优化模型:一是深化跨模态融合,构建视觉、环境与孪生场景的统一映射框架,打通时空耦合逻辑,提升复杂场景适应力;二是完善区域适配体系,嵌入广西不同气候带、地形及种植模式参数,建立分区域、分品类适配标准;三是融合机理与数据驱动,结合植物生理学中抗病与生长的关联知识,明确病虫害与产量的内在关联,增强模型可解释性。

4.4模型的突破与价值

相较于传统监测预测体系,本模型实现三大突破:空间与时间上,突破“单点静态”局限,实现病虫害传播与果树生长全过程动态推演;监测方式上,突破“经验判断”主观性,实现病虫害标准化识别监测;预测周期上,突破“短期预测”限制,构建全周期产量预测体系。该模型为广西水果产业数字化转型提供理论范式,可接入产业数字化平台,支撑全产业链智慧治理,助力破解产业痛点,应用前景广阔,契合广西“10+3+N”现代特色农业产业体系发展需求。

5 结语

研究围绕广西水果病虫害监测及产量预测的现实需求,以AI视觉与数字孪生技术为工具开展分析。在梳理AI视觉技术、数

字孪生技术及其农业应用相关文献的基础上,构建了面向广西水果病虫害的AI视觉识别框架、基于数字孪生的动态监测与产量预测框架,以及“识别—监测—预测”一体化的整合框架,并从技术层面分析了框架的适用条件与优化方向。研究成果初步建立了具有广西水果产业针对性的病虫害监测与产量预测技术分析框架,丰富了AI视觉与数字孪生技术在区域特色农业领域融合应用的分析思路,为后续研究和技术落地提供了参考。

[参考文献]

- [1]李子涵,周省邦,赵戈,等.基于卷积神经网络的农业病虫害识别研究综述[J].江苏农业科学,2023,51(07):15-23.
- [2]张萌,李道亮.数字孪生与机器视觉融合的作物病虫害智能监测理论与应用[J].农业机械学报,2024,55(2):1-12.
- [3]王庆成.基于AI视觉识别的林果病虫害精准检测与靶向施药技术[J].中国农机装备,2025,(08):24-26.
- [4]陈青,李海锋,吕晓兰,等.果园数字孪生技术研究现状与发展趋势[J].林业工程学报,2026,11(02):11-26.
- [5]周志艳,罗锡文,李庆,等.基于机器视觉的农作物病虫害监测技术研究进展[J].农业机械学报,2020,51(8):1-18.

作者简介:

马泽凤(2004--),女,壮族,广西崇左人,本科,单位:广西职业技术学院,研究方向:应用电子技术教育。

覃春茹(2004--),女,壮族,广西百色人,本科,单位:广西职业技术学院,研究方向:应用电子技术教育。

田金链(2005--),女,汉族,广西河池人,本科,单位:广西职业技术学院,研究方向:应用电子技术教育。

廖家壹(2004--),女,壮族,广西河池人,本科,单位:广西职业技术学院,研究方向:应用电子技术教育。

*通讯作者:

邱怡(1987--),女,汉族,广西藤县人,研究生,广西职业技术学院,研究方向:人工智能、教育技术、物联网技术。