

A review of strawberry disease identification algorithm based on deep learning

Qian Zhao Gang Fang

Chongqing Three Gorges University, Chongqing, 404100, China

Abstract

This article aims to explore strawberry disease recognition methods based on deep learning technology, and systematically review the research progress and application status in this field. In recent years, deep learning has shown broad application prospects in agricultural disease recognition due to its powerful feature extraction and pattern recognition capabilities. This article reviews the architectural evolution of deep learning models, with a focus on summarizing the specific applications of deep learning methods based on convolutional neural networks, transfer learning, and multimodal data fusion in strawberry disease recognition in China. Through comparative analysis, the problems of high model complexity and poor real-time performance in current research were revealed, and future development directions were proposed towards model lightweighting, multi-source information fusion, and the construction of intelligent diagnostic systems.

Keywords

deep learning; Strawberry disease identification; Convolutional neural network; Transfer learning; multimodal fusion

基于深度学习的草莓病害识别算法研究综述

赵芃 方刚

重庆三峡学院, 中国·重庆 404100

摘要

本文旨在探讨基于深度学习技术的草莓病害识别方法, 系统梳理该领域的研究进展与应用现状。近年来深度学习凭借其强大的特征提取和模式识别能力, 在农业病害识别中展现出广阔的应用前景。本文回顾了深度学习模型的架构演进, 重点总结了国内基于卷积神经网络、迁移学习及多模态数据融合等深度学习方法在草莓病害识别中的具体应用。通过对比分析, 揭示了当前研究中模型复杂度高、实时性差等问题, 并提出未来发展方向可以朝着模型轻量化、多源信息融合及智能诊断系统的构建。

关键词

深度学习; 草莓病害识别; 卷积神经网络; 迁移学习; 多模态融合

1 引言

草莓作为全球广泛栽培的高附加值浆果作物, 已成为现代农业中极具经济价值的产业之一。从全球范围来看, 中国、美国、西班牙等国是主要的草莓生产国, 其中我国草莓种植面积常年稳定在 20 万公顷以上, 年产量超 300 万吨, 占全球总产量的 40% 以上^[1]。然而, 在草莓产业规模化发展的过程中, 病害问题始终是制约其产量提升与品质保障的核心瓶颈。

草莓生长周期中易受到多种病原微生物的侵袭, 常见病害包括灰霉病、白粉病、炭疽病及根腐病等。在适宜的温湿度条件下, 病害可在 7-10 天内蔓延至整个棚室, 导致果

实腐烂、叶片枯萎, 严重时可造成 30%-50% 的产量损失, 部分重茬种植园区损失甚至超过 70%^[2]。病害还会降低草莓的商品性, 染病果实出现畸形、斑点或腐烂, 加剧种植户的经济损失; 为控制病害扩散, 传统种植中存在过度使用化学农药的现象, 不仅增加生产成本, 还可能导致农药残留超标, 威胁食品安全与生态环境^[3]。

当前草莓病害识别主要依赖人工目视、PCR/酶联免疫及光谱法等传统技术^[4], 但这些方法在实际应用中难以满足设施草莓产业对病害快速、精准、高效识别的需求。随着人工智能技术的快速发展, 深度学习方法为草莓病害精准、高效识别提供了新的解决方案。通过构建多层神经网络, 能够自动从大量病害图像中提取深层次的特征, 显著提升了病害识别的智能化水平^[5]。

2 深度学习模型架构演进

卷积神经网络 (CNN) 作为农业视觉领域的“奠基性

【作者简介】赵芃 (1997-), 女, 中国四川绵阳人, 硕士, 从事计算机视觉研究。

架构”，通过卷积层、池化层的堆叠实现局部特征提取，在草莓病害识别中应用最为广泛^[6]。

Transformer 架构凭借自注意力机制对长距离依赖关系的强大捕捉能力，在复杂背景下的病害识别中展现优势。针对草莓病害多发生于叶片、果实等局部区域且易受土壤、杂草干扰的问题，VisionTransformer (ViT) 通过将图像分割为 patches 并计算全局注意力，能有效区分“病斑特征”与“背景噪声”，识别准确率较传统 CNN 提升 3%-5%，尤其在病害早期微小病斑识别中表现突出^[7]。

混合网络架构结合 CNN 的局部特征提取优势与

Transformer 的全局依赖建模能力，成为新的技术方向^[8]。例如，毛万菁^[14]基于 CNN 基础模型，设计融合 ResNet34 和 SwinTransformer 的 Swin-ResNet 识别网络，该网络在草莓叶片病害识别准确率达 95.875%。

3 各深度学习模型在草莓病害识别中的应用分析

3.1 CNN 及其改进模型

近年来针对 CNN 及其改进模型的研究有许多显著成果，本文汇总了这些改进模型如表 1 所示：

表 1 CNN 及其改进模型汇总表

研究者	基础模型	核心改进	实验核心结果
杨晋丹 ^[9]	卷积神经网络(CNN)	1. 从网络深度、卷积核尺寸、池化方法三方面优化，设计 9 种网络结构；2. 研究图像旋转、混合扩充两种数据扩充方法	1. 混合池化的 CNN-9 (5 次卷积+混合卷积核) 识别率达 98.61%；2. 数据扩充较原始库误差 0.25%-1.69%，旋转适配少数数模型、混合适配多数数模型，均在混合卷积核+混合池化模型误差低
翁月娟 ^[10]	卷积神经网络	针对生长环境影响识别准确性问题，整合深度可分离膨胀卷积模块与 SA 注意力模块，构建 DSDnet 模型	DSDnet 对草莓病害识别准确率达 97.96%，优于大型、轻量型 CNN 及其他注意力模型
杨国峰 ^[11]	卷积神经网络	1. 设计新颖注意力机制+迁移学习，构建细粒度微调分类模型；2. 提出自监督多网络协作模型(定位+反馈+分类网络)，无需人工标注边界框	1. 注意力机制平均提升分类准确率 1.06%；2. 自监督模型在 SCDID 准确率 92.48%，优于对比模型且可通用其他作物
黄铝文 ^[12] 等	ResNet18	1. 提出 DOPConv (金字塔卷积+深度超参数化卷积)；2. 设计双重池化通道增强模块；3. 替换原 3×3 卷积为 DOPConv 并加入通道增强模块，构建 CEM-DOPConv-ResNet18	1. 准确率达 97.867% (较原 ResNet18 提升 3.045%)；2. 内存占用下降 16.6%；3. DOPConv 优化收敛且兼容通道增强模块
洪腾蛟 ^[13] 等	AlexNet、Googlenet、ResNet50、Vgg16、InceptionV3	以四类草莓病害图像为数据(8:1:1 划分训练/测试/验证集)，在五种 CNN 模型中应用迁移学习技术	迁移学习提升收敛速度与准确率，AlexNet、Vgg16 准确率最高达 97.50%

3.2 Transformer 及混合模型

毛万菁^[14]针对草莓叶片病害快速准确分类需求，设计融合 ResNet34 和 SwinTransformer 的 Swin-ResNet 识别网络，在 ResNet34 中引入通道和空间注意力 (CBAM) 模块提升特征感知能力，添加空间分组增强模块强化复杂图像空间特征表达，采用结合 KL 散度与交叉熵的损失函数提高分类准确度；实验显示该网络草莓叶片病害识别准确率达 95.875%，优于其他经典深度学习分类网络。

3.3 YOLO 系列模型

近年来针对 YOLO 系列模型的优化探索持续推进，本文汇总了这些改进模型及应用效果，如表 2 所示。

3.4 轻量化模型

本文针对轻量化模型的优化研究及其应用进行了汇总，如表 3 所示：

3.5 多模态模型

李松青^[25]针对传统卷积神经网络单模态模型仅关注图像信息、需人工标注检测点问题，开展了基于多模态端到端的草莓病害识别方法研究。以多模态大模型的 imagecaption

任务和 Queryprompt 指令模块为基础，形成病害图像与多条参考文本组成的图像文本，助力模型多角度学习病害特征；提出 Queryprompt 模型，以多模态大模型为框架，加入 Queryprompt 指令模块强化视觉感知与语言表达的协同作用及上下文理解能力，提升病害特征描述的语言丰富度与准确性。实验结果表明，Queryprompt 模型在草莓病虫害检测中表现优异，在 CIDEr 和 SPICE 评估中分别取得 12.77% 和 17.62% 的优势。

4 基于深度学习的草莓病害识别算法面临的挑战

基于深度学习的草莓病害识别虽取得进展，但在数据、模型、系统层面等仍存在挑战。数据层面包括类别不平衡问题突出、细粒度标签获取难度大、跨域迁移能力弱等问题。模型层面面临小目标与大背景极端比例，导致识别难度大；Transformer 模型计算复杂度高，边缘部署成本高。系统层面包括多模态数据融合 pipeline 尚未成熟，数据对齐与特征融合难度大；联邦学习在农业场景中的隐私保护与法规适配等问题。

表 2 YOLO 系列模型优化汇总表

研究者	基础模型	核心改进内容	实验核心结果
乔珠峰 ^[15] 等	YOLOv5	1. 引入高效通道注意力 (ECA) 机制; 2. 结合嵌入式与软件工程技术, 研发草莓病害智能识别终端	1. 相较于原始 YOLOv5, AP0.5 : 0.95、AP0.5、AP0.75、APM、APL 均大幅提升
刘苏杭 ^[16] 等	YOLOv5	1. 将 C3 模块替换为 C2f 模块; 2. 增加 SimAM 注意力机制; 3. 增设检测层; 4. 针对草莓植株叶、花、果, 检测病害及养分状况	1. 平均检测精度 (mAP@0.5) 达 97.9%, 较原始 YOLOv5 提升 13.6%、较 YOLOv8 提升 10.3%; 2. 识别图像传输帧率较原 YOLOv5 提升 22f/s
邱畅 ^[17] 等	YOLOv5 (CSPDarknet 为主干)	1. 引入 EIOULoss 损失函数与 K-means 聚类算法; 2. 增加 CBAM 注意力机制;	1. 验证集总体平均精度达 96.52%, 平均检测时间 27.52ms; 2. 精度优于 YOLOv4、YOLOv4-Tiny、FasterR-CNN
靳程晔 ^[18]	1.YOLOv5; 2. 扩散模型	1.SD-YOLO: 替换聚焦模块、引入可变形卷积与 Efficient-RepGFPN 结构、实施卷积滤波器剪枝; 2.SD-SegNet: 整合预训练扩散模型与 CLIP 文本引导扩散技术	1.SD-YOLO: 平均精度均值 63.2%, 推理耗时 7.1ms, 优于 4 种对比网络; 2.SD-SegNet: 交并比 77.82%、像素准确率 77.65%、F1 得分 76.76%、平均准确率 76.45%, 分割效果更优
梁冬悦 ^[19]	1.ConSinGAN; 2.YOLOv7	1. 改进 ConSinGAN: 鉴别器头部加 CBAM 注意力; 2.YOLOv7_FSU: 换 Head 层 ELAN_H 为 FocalNeXt、Backbone 加 SE 注意力、修改损失函数	1. 改进 ConSinGAN: SIFID 值降约 0.2, 生成图像质量提升; 2.YOLOv7_FSU: 体积 67.1MB, mAP@0.5 达 94.4% (较原 YOLOv7 提升 9.6%)
轩亚恒 ^[20]	YOLOv7	1.ELAN 部分换 PConv 网络 (轻量化); 2. 加 SE 注意力; 3. 骨干 SPPF 换 BasicRFB	识别准确率 83.6%、召回率 75.9%、mAP@0.582.7%;
孙健 ^[21]	YOLOv8	1. 类别权重平衡机制; 2. 改进型损失函数	优化后模型在测试集的平均检测精度 (mAP) 达 92.3%, 显著提升小目标病害区域识别精度

表 3 轻量化模型优化汇总表

研究者	基础模型	核心改进内容	实验核心结果
王晶 ^[22] 等	MobileNetv3-Small	1. 基于 Inception_A 设计部分卷积权重共享的多尺度卷积结构, 提取不同尺度病害特征; 2. 网络深层引入 ULSAM 轻量级子注意力机制, 构建高层次病害特征; 3. 用 CondConv 卷积替换深度可分离卷积的第 2 个 PW 卷积, 形成 PDC 结构, 减少参数量并克服局部感受野局限	1. 模型准确率达 98.62%, 较原模型 (94.91%) 提升 3.71 个百分点; 2. 参数量减少 0.04M; 3. 优于同级轻量化模型, 且以远低于 ResNet18 的参数量实现更优特征提取
李高强 ^[23]	1.Transformer; 2.FasterNet	1.SCSA-Transformer: 结合空间卷积与自注意力机制, 提取全局/局部病害信息, 用空间卷积替代多头自注意力模块降参; 2. 改进 FasterNet: 用部分卷积替代标准卷积 (抑制背景干扰), 引入视觉注意力机制构建判别式特征提取模块	1.SCSA-Transformer 准确率 99.10%; 2. 改进 FasterNet 参数量仅 3.6M, 准确率仍达 99.01%
李智宇 ^[24]	1. 单阶段目标检测模型; 2. 轻量级卷积神经网络 (CNN)	1.SGSNet: 通过多模块优化, 实现草莓全生长周期精准监测; 2.BerryNet-Lite: 结合多种策略, 聚焦细微病害识别	1.SGSNet 精度与效率显著优于主流目标检测模型; 2.BerryNet-Lite 病害识别准确率 99.45%、F1 值 97.93%

5 未来草莓病害识别发展方向

基于深度学习的草莓病害识别未来发展可聚焦三大核心方向, 以突破现有瓶颈、实现高效智能病害管理: 通过自监督预训练技术, 利用海量未标注图像和对比学习、掩码重建策略, 让模型自主学习草莓特征, 降低标注成本并提升泛化能力与早期病斑识别能力; 依托农业通用视觉大模型, 结合小样本 prompt 学习, 以少量新病害样本构建提示词, 引导模型快速迁移学习, 无需全量微调即可应对病害多样性与突发性; 结合物联网、仿真技术构建数字孪生果园闭环系统, 实现“监测-预警-防控-反馈”全链条管理, 变被动应对

为主动预防, 最大程度降低病害损失、提升产业智能化水平。

6 结语

深度学习模型架构历经 CNN、Transformer 到混合模型的演进, YOLO 系列以“高精度+高实时性”成田间主流。现有研究在数据增强、模型优化和嵌入式系统落地形成成熟范式, 但仍面临数据类别不平衡、小目标识别难、多模态融合不成熟等问题。未来需聚焦自监督预训练降标注依赖、大模型-小样本 prompt 学习应对新病害、数字孪生果园构建防控闭环, 推动技术产业化, 为草莓产业提质增效、智能化

发展提供关键支撑。

参考文献

- [1] 苏代发,张振荣,田云霞,等.草莓真菌和卵菌病害病原菌多样性及其生物防治研究进展[J/OL].云南大学学报(自然科学版),1-131[2025-10-15].<https://doi.org/10.7540/j.ynu.20240288>.
- [2] 宋长年,李红月,马建波,等.草莓病害及防治措施研究进展[J].现代农业科技,2023,(14):116-122+126.DOI:CNKI:SUN:ANHE.0.2023-14-032.
- [3] 姜秋同,张爽,朱洪坤,等.草莓病害的发生与防治措施[J].现代农村科技,2023,(07):49-50.DOI:CNKI:SUN:HBNK.0.2023-07-033.
- [4] 严聪文,苏代发,代庆忠,等.草莓病害的生物防治研究进展[J].生物技术通报,2022,38(12):73-87.DOI:10.13560/j.cnki.biotechbull.1985.2021-1296.
- [5] 李文琦,孙平平,张磊,等.几种草莓常见病害的防治研究[J].北方果树,2022,(06):1-4.DOI:10.16376/j.cnki.bfgs.2022.06.001.
- [6] 霍欣.草莓病害冬季防控措施[N].山东科技报,2021-12-03(002).DOI:10.28682/n.cnki.nsdkj.2021.000700.
- [7] 董景周.设施草莓病害特征与防治方法[J].河南农业,2020,(25):26.DOI:10.15904/j.cnki.hnny.2020.25.025.
- [8] 李诗利.设施草莓病虫害生物农药防治技术构建[D].新疆农业大学,2020.DOI:10.27431/d.cnki.gxnyu.2020.000650.
- [9] 杨晋丹.基于卷积神经网络的草莓叶部白粉病病害识别[D].沈阳农业大学,2019.DOI:10.27327/d.cnki.gshnu.2019.000748.
- [10] 翁月娟.基于卷积神经网络的草莓病害识别研究与系统设计[D].吉林农业大学,2023.DOI:10.27163/d.cnki.gjlnu.2023.001043.
- [11] 杨国峰.基于深度学习的草莓常见病害识别研究与应用[D].中国农业科学院,2020.DOI:10.27630/d.cnki.gznky.2020.000222.
- [12] 黄铝文,郑梁,黄煜,等.基于多尺度卷积与通道域增强的草莓病害识别方法[J].江苏农业科学,2023,51(10):202-210.DOI:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.10.028.
- [13] 洪腾蛟,黄东,丁凤娟,等.基于卷积神经网络和迁移学习的草莓病害识别[J].黑龙江工业学院学报(综合版),2025,25(04):108-112.DOI:10.16792/j.cnki.1672-6758.2025.04.016.
- [14] 毛万菁.基于CNN与注意力机制的草莓病害识别与分割算法研究[D].武汉轻工大学,2024.DOI:10.27776/d.cnki.gwhgy.2024.000040.
- [15] 乔珠峰,赵秋菊,郭建鑫,等.基于改进YOLOv5的草莓病害智能识别终端设计[J].中国农机化学报,2024,45(03):205-211.DOI:10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2024.03.028.
- [16] 刘苏杭,张华,朱婷倩,等.基于改进YOLOv5的草莓病害及养分状况识别与检测[J].安徽科技学院学报,2024,38(02):87-94.DOI:10.19608/j.cnki.1673-8772.2024.0212.
- [17] 邱畅,田光兆,赵嘉威,等.基于改进YOLOv5的草莓病害识别[J].中国农机化学报,2024,45(03):198-204.DOI:10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2024.03.027.
- [18] 靳程晖.基于深度学习的草莓病害智能检测技术研究[D].南京林业大学,2024.DOI:10.27242/d.cnki.gnjlu.2024.000605.
- [19] 梁冬悦.基于深度学习的草莓叶片病害检测研究[D].山东农业大学,2024.DOI:10.27277/d.cnki.gsdnu.2024.000603.
- [20] 轩亚恒.基于改进YOLOv7的草莓病害识别及应用[D].安徽农业大学,2024.DOI:10.26919/d.cnki.gannu.2024.000522.
- [21] 孙健.基于YOLOv8的草莓多类病害图像识别与检测方法研究[J].黑龙江科学,2025,16(18):115-117+121.DOI:CNKI:SUN:HELJ.0.2025-18-027.
- [22] 王晶,崔艳荣.基于改进MobileNetv3-Small模型的草莓病害识别方法[J].江苏农业科学,2024,52(10):225-234.DOI:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.10.031.
- [23] 李高强.基于深度学习的草莓病害识别研究[D].安徽大学,2024.DOI:10.26917/d.cnki.ganhu.2024.002540.
- [24] 李智宇.智能视觉驱动的草莓生长监测与病害识别方法研究[D].河南科技学院,2025.DOI:10.27704/d.cnki.ghnkj.2025.000264.
- [25] 李松青.基于多模态端到端的草莓病害识别方法研究[D].东北林业大学,2025.DOI:10.27009/d.cnki.gdblu.2025.000254.