网络首发时间：2026-02-03 17:00:29　网络首发地址：https://link.cnki.net/urlid/12.1282.S.20260203.1059.011

第 33 卷　第 1 期　　天 津 农 学 院 学 报　　Vol. 33，No. 1
2026 年 2 月　　Journal of Tianjin Agricultural University　　February，2026

文章编号：1008-5394（2026）01-0065-06　　DOI：10.19640/j.cnki.jtau.2026.01.012

基于改进 YOLOv7-tiny 的草莓生长阶段检测研究

徐新[1]，景韩愈[2]，张天健[1]，王丽[1]，刘建波[1]，通信作者

（1. 天津农学院 工程技术学院，天津 300392；2. 中北大学 软件学院，太原 030051）

摘　要：为解决草莓采摘过程中机器人对草莓识别精准度低、模型运行速度慢的问题，同时为了减小模型的尺寸，便于模型的搭载，本研究提出了一种基于改进 YOLOv7-tiny 模型的草莓生长阶段检测算法。首先，为提高模型的鲁棒性，采用数据增强技术，将原有数据进行扩张；其次，使用 K-Means++算法对模型的真值盒进行重新聚类，以获得更适合检测草莓生长阶段的视野；为提高模型精度，在原有的网络框架下，增加了 6 个 SimAM 轻量级注意力机制模块。相较原有模型精度提高了 5%，运行速度提高 22.1 帧/s，而模型尺寸并未明显提升，符合 SimAM 轻量级设计的要求。

关键词：草莓；生长阶段；YOLOv7-tiny；目标检测

中图分类号：S126；TP18　　**文献标识码：**A

Strawberry growth stage detection based on improved YOLOv7-tiny

Xu Xin[1], Jing Hanyu[2], Zhang Tianjian[1], Wang Li[1], Liu Jianbo[1], Corresponding Author

（1. College of Engineering and Technology, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300392, China; 2. School of Software, North University of China, Taiyuan 030051, China）

Abstract: In order to solve the problems of low accuracy of strawberry recognition and slow running speed of the model by the robot in the process of strawberry picking，and to reduce the size of the model to facilitate the mounting of the model, this study proposes a strawberry growth stage detection algorithm based on the improved YOLOv7-tiny model. Firstly, in order to improve the robustness of the model, data enhancement techniques are used to expand the original data; secondly, the K-Means++ algorithm is used to re-cluster the model's anchors to obtain a more suitable field of view for strawberry growth stage detection; in order to improve the model accuracy, six SimAM lightweight attention mechanism modules are added under the original network framework; compared to the original model the accuracy was improved by 5 percentage points, and the running speed FPS was increased by 22.1, while the model size was not significantly improved, which is in line with the SimAM lightweight design.

Key words: strawberry; growth stage; YOLOv7-tiny; target detection

草莓是一种优质水果，具有较高的营养价值和美味的口感[1]。全国草莓种植量逐年增多，自 2016 年到 2022 年其产量增长 44%，已经成为某些地区主要的经济作物[2]。然而草莓成熟期分散，人工采收成本极高，在消费升级的背景下消费者对水果品质的要求日益提高[3-4]，研究机械化管理、采收具有重要的经济价值[5]。

当前，草莓机械化采摘一般是先通过机器视觉技术判断草莓的成熟度[6]，再控制机械臂进行采摘[7]。如 XIONG 等[8]基于深度学习算法，提出一种改进的障碍物分离方法，可以将障碍物与目标分离，草莓机械从采摘的成功率提高了 36.8%，但仍有一些故障未能处理。FAN 等[9]基于 YOLOv5 结合暗通道增强方法，提出一种增强算法，可在不同光照条件下识别成熟草莓，但训练的准确率仅为 85%，仍有提高的空间。这些研究表明深度学习在果实识别领域具有很高的可行性和研究价值，但在精度、检测速度、模型大小的协调性方面仍存在问题。

机器视觉作为一种简单、可靠、无损、经济的检测方法[10]，近年来已成功地将基于深度学习的目标检测技术应用于各个领域。WANG 等[11]证明机器视觉可用于玉米含水率的无损检测；WANG 等[12]采用改进的 YOLO-X 模型用于对硬蛤幼虫进行生物学特性的鉴定和计数，效果良好；YU 等[13]提出的 MobileNetv2-YOLOv5 模型可用于检测甘蔗茎节点，精确度达到 92.1%，检测速率

收稿日期：2024-07-11

基金项目：天津市技术创新引导专项基金（23YDTPJC00620）；天津市教委科研计划重点项目（2023ZD002）；天津农学院青年科技人才发展基金项目（2025QNKJ13）。

作者简介：徐新（1998—），男，硕士在读，研究方向为食品机械设计与装备。E-mail：xuxin2141@163.com。

通信作者：刘建波（1988—），男，讲师，博士，主要研究方向为机器视觉与智能控制、机械装备智能设计与集成应用。E-mail：qingzhoujianbo@126.com。

为 4.4 ms，其研究成果可用于甘蔗机械化采收。另外，葡萄[14]、樱桃[15]的视觉识别研究也均有进展。尽管已有一些研究实现了草莓生长阶段的检测[6]，但精度和速度仍有提升空间。黄家才等[6]基于 YOLOv5s 改进算法，虽然获得了较高的草莓识别精度，但识别速率仅有 44 帧/s，仍有提升空间。

本研究首先对目前主流的轻量级深度学习算法进行对比，结果发现 YOLOv7-tiny 算法不仅检测精度最高，且检测速率快，轻量级的特性即可满足移动端的搭载要求。在此基础上，本文对 YOLOv7-tiny 模型进行改进，采用 K-means++算法对原有的 YOLOv7-tiny 模型进行聚类，使其更加适应草莓生长阶段的检测，同时，引入 6 个轻量级 3D 注意力机制模块，进一步提高模型的检测精度。

1 材料与数据

1.1 试验数据采集

本试验所用图片拍摄于天津农学院草莓种植园，在距草莓垄的不同距离下手持拍照，采集草莓不同生长阶段的分辨率为 2 992×2 992 像素/幅的高清图片 1 280 幅，涉及草莓的花期、未成熟期及成熟期。

1.2 数据集构建

采用 YOLOv5 官方推荐的 Make Sense 在线标注工具对所采集的图像进行标注，标注分为花期（*FL*）、未成熟期（*Im*）和成熟期（*Ma*）三类，标注后的图像以 TXT 格式保存。

本文采用 CutMix、Rotate、对比度增强等技术对全部图像进行数据增强，增大数据集，从而提高算法的鲁棒性[16]，原有的 1 280 幅图片在数据增强后共得到 5 120 幅图片；利用 K-mean++算法对数据集的 anchors（真值盒）进行聚类，获取适合检测草莓生长阶段的锚点。将所有数据进行分配，其中 80%分配为训练集，10%分配为验证集，10%分配为测试集。

2 模型训练

2.1 实验环境

本实验基于 PyTorch 深度学习框架，硬件平台为 NVIDIA GeFore RTX 3060，操作系统为 Windows 10 Professional，Anaconda Python3.8 在使用 Intel（R）Core（TM）I7-11800 CPU @2.30 GHz 处理器和 NVIDIA GeForce RTX 3060 Laptop GPU 的个人计算机上训练算法。

2.2 YOLOv7-tiny 网络结构

YOLO 系列算法是一种直接从图像中预测目标边界框和类别的算法，以实现检测精度和速度之间的平衡而闻名[12]。其中，台湾地区的中央研究院信息科学研究所开发的 YOLOv7 系列在识别速度和精度上都超过了已知的目标检测器[17]。图 1 是 YOLOv7 系列中参数最少的 YOLOv7-tiny 的整体网络结构，其在保持较高检测精度的同时降低了模型的计算量和内存占用，通过优化网络结构和参数，YOLOv7-tiny 在速度和精度之间达到了良好的平衡。网络结构主要由输入层、特征提取层、检测层和输出头部四个部分组成。

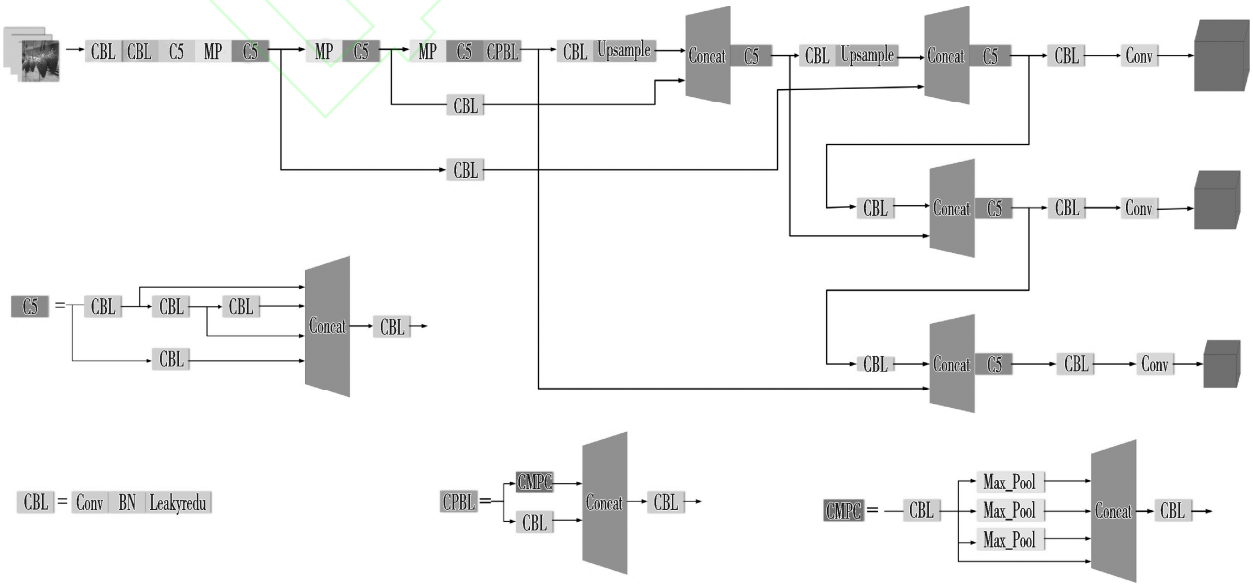


图 1 YOLOv7-tiny 网络结构图

2.3　改进YOLOv7-tiny模型

首先使用k-mean++聚类算法对数据集重新聚类，得到适合检测草莓生长阶段的锚点，从而获得更好的训练视野。图2为改进后的YOLOv7-tiny网络结构。

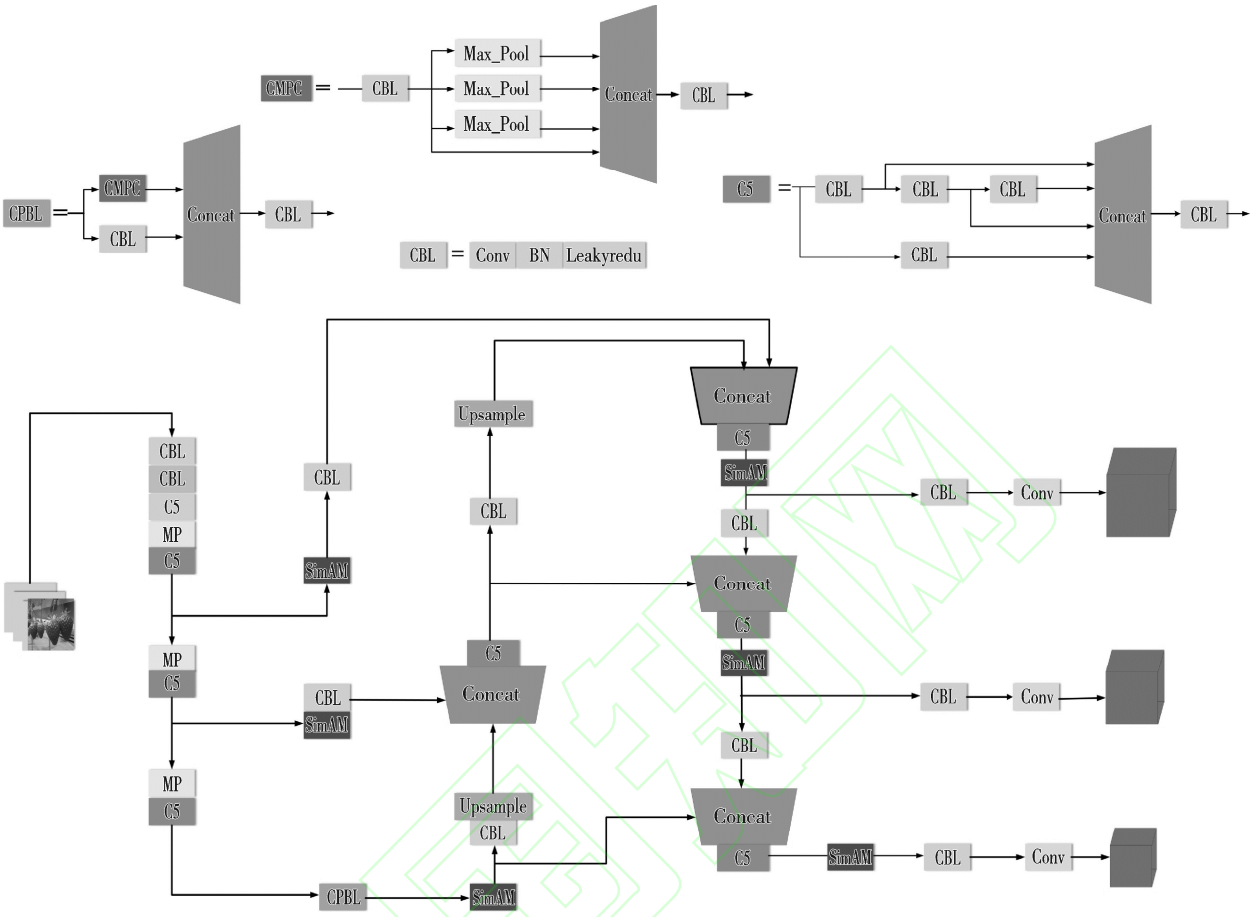
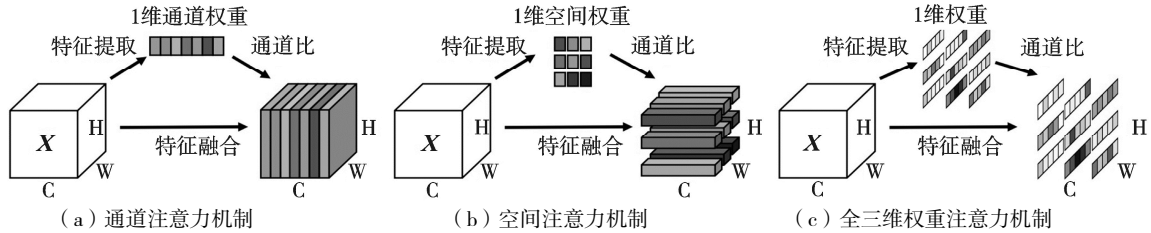


图 2　改进的 YOLOv7-tiny 网络结构

在 YOLOv7-tiny 原网络基础上，在如图 2 所示的位置增加了 6 个 SimAM 注意力机制模块[18]，以提升模型性能。SimAM（卷积注意力机制模块）是一个概念简单但非常有效的注意力机制模块。如图 3 所示，在特征提取时通道注意力机制模块（如 SE）只能提取一维通道权重，空间注意力机制模块（如 CBAM）只能提取二维空间权重；遵循全三维权重注意力机制，SimAM 注意力机制模块融合了通道与空间注意力机制的特点，可以在不向原始网络添加参数的情况下推断出层特征映射的三维注意力权重。在改进 YOLOv7-tiny 网络模型时，采用 SimAM 注意力机制对模型原有结构的破坏性更小，该注意力机制模块进一步推导了能力函数的快速封闭解，并表明该解可以在不到十行的代码中实现。这种轻量级的模块可以大大降低模型训练的复杂度和时间成本。SimAM 注意力机制的另一个优点是，大多数算子都是根据定义的能量函数解来选择，避免了过多的结构调整工作[18]。对各种视觉任务的定量评估表明，该模型灵活有效地提高了许多卷积神经网络的表示能力。



（a）通道注意力机制　（b）空间注意力机制　（c）全三维权重注意力机制

图 3　不同注意力机制对比

2.4　模型评价指标

采用6个评价指标对模型性能进行完全覆盖和无偏差分析：精确度（Precision，P），召回率（Recall，R），平均精度（Average Precision，AP），F_1为精确率和召回率的调和平均值，可以辅助评估模型的性能。检测速度（Frames per second，FPS）和均值平均精度（Mean average precision，mAP）分别如公式（1）～公式（6）所示。

$$P=\frac{TP}{TP+FP}\times 100\% \quad (1)$$

$$R=\frac{TP}{TP+FN}\times 100\% \quad (2)$$

$$AP=\frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}\times 100\% \quad (3)$$

$$F_1=\frac{2P\times R}{P+R}\times 100\% \quad (4)$$

$$FPS=\frac{1}{Nms+Inf} \quad (5)$$

$$mAP=\frac{\sum_{i=1}^{N}AP_i}{N} \quad (6)$$

在公式（3）～公式（5）中，TP表示真正例，即被正确分类的正例；TN表示真反例，即被正确分类的负例；FP表示假正例，即本来是负例，被错分为正例；FN表示假反例，即本来是正例，错分为负例；公式（5）中Inf为推理速度，Nms为后处理时间，mAP表示整合注意力机制前后的均值平均精度。

3　结果与分析

3.1　模型改进前后的对比

图4描述了整合注意力机制前后的均值平均精度（Mean average precision，mAP）的PR曲线。其中，“FL”表示花期、“Im”表示未成熟期、“Ma”表示成熟期。从曲线中可以看出，对草莓花期的识别精度从88.9%提升到93.3%，改进的模型对草莓成熟段的识别远好于原模型（与坐标轴包住的面积更大），而整体模型的精度提高了7%。证明本试验对YOLOv7-tiny模型的改进对草莓生长阶段的识别具有重要意义。

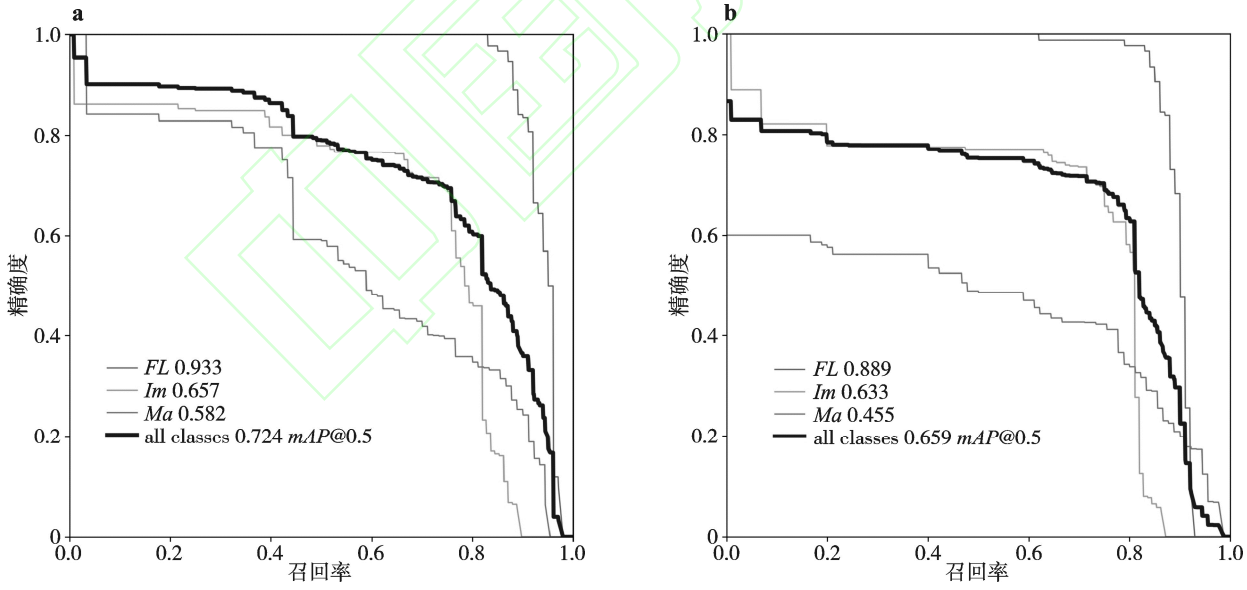


图4　网络修改前后模型PR曲线的对比

注：a为增加6个注意力机制的模型；b为未修改的网络模型

3.2　与经典模型的对比

为了提供全面的性能评估，本文将所提出的模型与其他流行的目标检测网络（包括YOLOv3-tiny、YOLOv4、YOLOv5s、YOLOv5l和未改进的YOLOv7-tiny）进行比较。每个网络训练180次，以确保最大的收敛。这些模型的P-R（Precision-Recall）曲线如图5所示。

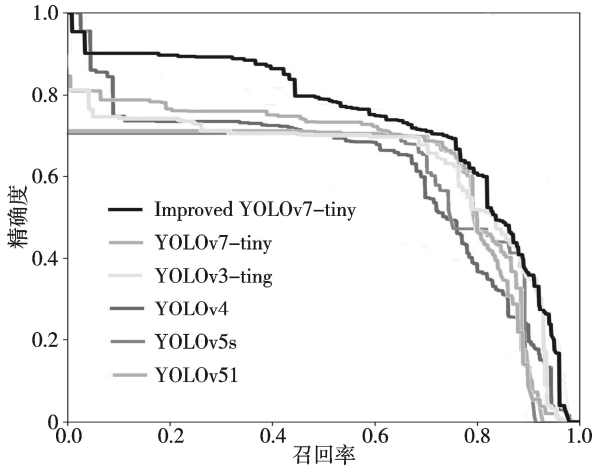


图 5　不同模型的 *PR* 曲线对比

从图 5 中可以直观地看出改进的 YOLOv7-tiny（Improved YOLOv7-tiny）的 *PR* 曲线和坐标轴包围的面积最大，表明其均值平均精度（Mean average precision，*mAP*）最高[19]。

不同模型在不同照片中的部分检测结果如图 6 所示。从图中可以看出，改进的 YOLOv7-tiny 模型具有更高的置信度，且没有漏检现象，未改进的 YOLOv7-tiny 模型和其他模型（如 YOLOv5s）反而均存在漏检和错检情况。



图 6　不同图片在不同模型下的检测效果

注：改进的 YOLOv7-tiny 为改进模型；YOLOv7-tiny 为改进前模型；YOLOv3-tiny、YOLOv4 和 YOLOv5s 为其他版本模型

表 1 给出了针对 6 种不同的网络模型性能的检测结果。与其他 5 种模型相比，改进的 YOLOv7-tiny 模型在识别速度（*FPS*）方面表现良好。在 F_1 分数、召回率（*R*）和均值平均数（*mAP*）等性能指标方面，改进的 YOLOv7-tiny 模型也优于 YOLOv3-tiny、YOLOv4、YOLOv5s、YOLOv5l 和未改进的 YOLOv7-tiny 这 5 种网络模型。这表明改进的 YOLOv7-tiny 网络模型具有更好的识别速度与精度，性能得到了显著提高。可见，YOLOv7-tiny 模型在查全率、整体准确率和模型识别率方面都达到了较高的水平，而且模型的尺寸与未改进的 YOLOv7-tiny 模型相同，这与 SimAM 的轻量级相关。

表 1　不同模型训练结果参数对比

方法	召回率			F_1	*FPS*	*mAP*/%	*Size*/MB
	FL	*Im*	*Ma*				
YOLOv3-tiny	89.2	62.4	38.6	0.71	200.3	65.3	16.6
YOLOv4	81.2	59.3	39.6	0.64	61.1	60.0	100.0
YOLOv5s	90.2	53.2	42.0	0.72	115.6	62.0	13.7
YOLOv5l	89.2	57.6	39.4	0.71	94.2	62.3	89.4
YOLOv7-tiny	90.5	63.3	45.5	0.70	221.2	65.9	11.7
改进的 YOLOv7-tiny	93.3	65.7	58.2	0.78	242.3	72.4	11.7

综上所述，改进的 YOLOv7-tiny 检测算法在准确识别草莓生长阶段方面具有优势，在高准确性、减少遗漏检测和错误识别等方面均优于其他模型。

4 结论

本文基于改进的 YOLOv7-tiny 网络模型对草莓生长阶段的花期、未成熟期及成熟期进行了在线识别研究。采用数据增强扩充原有数据集从而增大了模型的鲁棒性，使用 K-mean++算法对图像数据集进行重新聚类，获得了最适合识别草莓生长阶段的真值盒，进而获得了更好的训练视野；通过添加轻量级三维注意力机制模块（SimAM），进一步提高了模型的识别精度，从而提高了机械化采摘草莓的效率，降低了采摘成本。结果表明，在被改进的 YOLOv7-tiny 所训练的模型中各项参数均优于未改进模型，精度提高了 5%，运行速度提高 22.1 帧/s，而模型尺寸并未明显提升；在提高精度与速度的同时，计算量和模型大小均未有增加，更便于模型的搭载与使用；识别精度和速度的提高为草莓机械化采摘提供了更好的研究基础和实用价值。

参考文献：

[1] 李鹏，王志强，刘凤之，等. 6 个草莓品种果实香气组分分类及育种方向分析[J]. 中国果树，2023（6）：38-45，53，142.

[2] 国家统计局. 中华人民共和国 2022 年国民经济和社会发展统计公报[J]. 中国统计，2023（3）：12-29.

[3] PANG X L，SUN Y Q，KONG F Y，et al. Advances and perspectives in research of volatile flavor quality of agricultural products[J]. Scientia Agricultura Sinica，2019，52（18）：3192-3198.

[4] WANG H，SARKAR A，RAHMAN A，et al. Research on the industrial upgrade of vegetable growers in Shaanxi：A cross-regional comparative analysis of experience reference[J]. Agronomy，2022，12（1）：38.

[5] 赵春江. 智慧农业的发展现状与未来展望[J]. 华南农业大学学报，2021，42（6）：1-7.

[6] 黄家才，赵雪迪，高芳征，等. 基于改进 YOLOv5s 的草莓多阶段识别检测轻量化算法[J]. 农业工程学报，2023，39（21）：181-187.

[7] 苏文芝. 基于视觉交互技术的采摘机器人系统设计[J]. 农机化研究，2023，45（8）：228-230，234.

[8] XIONG Y，GE Y，FROM P J. An improved obstacle separation method using deep learning for object detection and tracking in a hybrid visual control loop for fruit picking in clusters[J]. Computers and Electronics in Agriculture，2021，191：106508.

[9] FAN Y，ZHANG S，FENG K，et al. Strawberry maturity recognition algorithm combining dark channel enhancement and YOLOv5[J]. Sensors，2022，22（2）：419.

[10] XU X，LIU J，XU Q， et al. Recent developments on detection technology for the drying processes of agricultural products[J]. Technology in Agronomy，2025，5（1）：e013. [A1]

[11] WANG R，HAN F，JIN Y，et al. Correlation between moisture content and machine vision image characteristics of corn kernels[J]. International Journal of Food Properties，2020，23（1）：319-328.

[12] WANG Y，WU H，HUA X，et al. Biological characters identification for hard clam larva based on the improved YOLOX-s[J]. Computers and Electronics in Agriculture，2023，212：108103.

[13] YU K，TANG G，CHEN W，et al. MobilNet-YOLOv5s：An improved lightweight method for real-time detection of sugarcane stem nodes in complex natural environments[J]. IEEE Access，2023，11：104070-104083.

[14] CHEN J，MA A，HUANG L，et al. GA-YOLO：A lightweight YOLO model for dense and occluded grape target detection[J]. Horticulturae，2023，9（4）：443.

[15] GAI R，CHEN N，YUAN H. A detection algorithm for cherry fruits based on the improved YOLO-v4 model[J]. Neural Computing and Applications，2023，35（19）：13895-13906.

[16] YUE X，WANG Q，HE L，et al. Research on tiny target detection technology of fabric defects based on improved YOLO[J]. Applied Sciences，2022，12（13）：6823.

[17] WANG C Y，BOCHKOVSKIY A，LIAO H M. YOLOv7：Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors[C]//2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition（CVPR）. Vancouver，BC，Canada. IEEE，2023：7464-7475.

[18]YANG L X，ZHANG R Y，LI L D，et al. SimAM：A simple，parameter-Free Attention Module for convolutional neural networks[C]//International Conference on Machine Learning，2021.

[19] XU X，LIU J，ZHANG T，et al. Online detection of potato drying stages based on improved YOLOv7-tiny model[J]. Drying Technology，2025，43（4）：679-689.

责任编辑：桂枝