

DOI: 10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2024.08.018

柳军, 孔杰, 皮杰, 等. 果蔬分拣设备研究现状及发展趋势[J]. 中国农机化学报, 2024, 45(8): 120–125

Liu Jun, Kong Jie, Pi Jie, et al. Research status and development trend of fruit and vegetable sorting equipment [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2024, 45(8): 120–125

果蔬分拣设备研究现状及发展趋势^{*}

柳军^{1, 2}, 孔杰¹, 皮杰², 周成钢¹

(1. 江苏大学农业工程学院, 江苏镇江, 212013;

2. 江苏省农业科学院农业设施与装备研究所, 南京市, 210014)

摘要: 果蔬商品化产后处理能力较低导致我国的果蔬在国际市场上核心竞争力不足, 其中后处理最主要的步骤就是果蔬分拣, 而果蔬分拣设备能够有效的提高分拣效率, 解放劳动力。分别从市场和科研两方面阐述国内外果蔬分拣设备的现状, 分析现有果蔬分拣设备存在的问题, 讨论未来果蔬分拣的研究趋势, 提出人工智能与机器视觉相结合的果蔬外部品质分拣技术和近红外光谱分析的内部品质分拣技术将是近期的研究热点, 同时对易损果蔬采后分拣场景提出一种机械臂抓取式分拣设备方案, 为后期解决娇嫩易损、精品果蔬的分拣问题提供参考。

关键词: 果蔬分拣设备; 发展趋势; 机器视觉; 近红外光谱; 机械臂

中图分类号: TP242.6; S37 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-5553 (2024) 08-0120-06

Research status and development trend of fruit and vegetable sorting equipment

Liu Jun^{1, 2}, Kong Jie¹, Pi Jie², Zhou Chenggang¹

(1. College of Agricultural Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, 212013, China;

2. Institute of Agricultural Facilities and Equipment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing, 210018, China)

Abstract: The low post-production processing capacity of fruits and vegetables leads to the lack of core competitiveness of fruits and vegetables in the international market. The most important step of post-processing is fruit and vegetable sorting, and the fruit and vegetable sorting equipment can effectively improve the sorting efficiency and liberate the labor force. This paper expounds the current situation of fruit and vegetable sorting equipment at home and abroad from the market and scientific research, and also analyzes the problems existing in the current fruit and vegetable sorting equipment, discusses the research trend of fruit and vegetable sorting in the future, and points out that the external quality sorting technology of fruit and vegetable combined with artificial intelligence and machine vision and the internal quality sorting technology of near-infrared spectrum analysis will be the recent research focus. At the same time, a mechanical arm grabbing sorting equipment scheme is proposed for the post-harvest sorting scene of vulnerable fruits and vegetables, which provides a reference for solving the sorting problem of delicate, vulnerable and high-quality fruits and vegetables in the later stage.

Keywords: fruit and vegetable sorting equipment; development trends; machine vision; near-infrared spectrum; robotic arm

0 引言

《中国统计年鉴(2021年)》数据显示, 我国人均GDP从2000—2021年增长超过9倍, 总增幅达到919.6%, 超过世界人均GDP水平。人民生活水平的提高促使人们对精品果蔬的需求量增大, 这就对果蔬

分拣设备及技术提出了更高的要求。近年来, 我国正进行从人口红利向工程师红利的供给结构转变, 劳动力成本迅速提高, 因此传统人工分拣也因成本高、效率低等原因, 已经不能满足精准、高效的市场分拣要求, 高度自动化、智能化果蔬分拣设备研发迫在眉睫。

据国家统计局年度数据统计, 截至2021年, 我国果

收稿日期: 2023年2月22日 修回日期: 2023年6月19日

^{*} 基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金(CX(21)1007)

第一作者: 柳军, 男, 1984年生, 南京人, 硕士, 副研究员; 研究方向为智能控制与传感器技术。E-mail: liujun@jaas.ac.cn

蔬种植面积共计达 $3.52 \times 10^{11} \text{ m}^2$,水果产量 $2.96 \times 10^{12} \text{ kg}$,蔬菜产量 $7.82 \times 10^{12} \text{ kg}$,体量世界第一,但在国际市场上,我国水果出口量和销售额却不容乐观。考察发达国家果蔬销售案例,果蔬的产值大多与其产后处理及加工水平相关,其中后处理最主要的部分就是果蔬的分拣,然而我国果蔬后处理技术相较于国外有一定差距。

目前,我国在果蔬分拣领域上广泛使用的仍然是结构较为简单、分拣较为粗糙的分拣设备^[1],这些分拣机主要是根据果蔬尺寸大小进行分拣,分拣参数单一,精度较差,且果蔬与分拣设备金属材料直接接触,容易损伤果蔬。国外农业机械化起步较国内更早,其广泛使用的分拣设备则能够综合果蔬表皮瑕疵、尺寸大小、内部品质参数进行分拣,分拣更加精细,并且分拣抓取方式相对更加柔和。本文将从国内外果蔬分选设备的市场现状、研究现状等方面进行综述分析,研究存在的共性及个性问题,提出对应的解决方法。

1 国外果蔬分拣设备现状及发展

1.1 国外市场现状

早在20世纪80年代,国外的果蔬分拣设备已经在市场上出现,此时分拣设备大多通过果蔬外部参数分拣,如日本的自由果斗式果蔬重量分拣机及美国的Decco型分级机^[2,3],其通过固定天平杠杆原理来对果蔬进行重量分级,当果蔬达到一级重量标准,则通过天平倾斜落入一级果袋,低于该重量则传送至下一天平称重,这两种设备主要用于分拣柑橘、土豆等表皮略厚、质地较硬、不易产生磕碰伤的果蔬。

此外,日本的传送带渐扩孔式果蔬分拣机(辊带式分拣机原型)也是通过果蔬外部参数分拣的代表设备,其原理是通过在传送带上设置不同直径的孔,孔径往前由小变大,果蔬小于孔径则落入相应集果箱,这种分拣设备的好处是传送带方便更换,可通过更换传送带实现对不同果蔬的分拣。至1995年,美国的Merling则是通过识别苹果外观瑕疵来进行分拣的果蔬分拣设备,其分拣速率能达到 40 t/h ^[4],极大程度上减轻了人工分拣的压力。与此同时,国外深入研究了果蔬内部品质的检测技术^[5],并对多种果蔬分拣手段进行整合,研究出对果蔬外部参数和内部品质进行综合分拣的果蔬分拣设备,如Spectrim设备以及Inspectra2设备,前者通过其高精度传感器和高清相机根据果蔬的形状、尺寸、颜色、重量等参数识别综合分拣果蔬,其可识别果蔬表面的虫斑、压碰伤等外观缺陷,并以此作为分拣的标准之一,后者采用近红外技术,不用切开果蔬即可通过不同波段的光谱全面分析果蔬内部果肉质量并以

此来分拣。

1.2 国外研究现状

国外市面上果蔬分拣设备不断更新迭代,其背后是无数科研人员对果蔬无损分拣技术的深入研究。Blasco等^[6]针对果蔬分拣设备视觉识别技术在使用前需要经过大量图片训练问题,提出了一种面向区域的分割算法,大幅度降低视觉训练所需要的数据量,其用于检测柑橘类水果常见的果皮缺陷,检测准确性能够达到95%。Kondo等^[7]提出一种机械手抓取式分选设备,该设备由两台果蔬供应机器人和一台果蔬分拣机器人组成,通过12只吸盘抓取果蔬并旋转 270° ,使12台彩色相机采集果蔬图像分析尺寸及瑕疵以此来分拣果蔬,解决了果蔬分拣过程中碰撞损伤等问题。Costa等^[8]利用光电子技术和椭圆傅里叶分析以果蔬形状特征组合分类,更为复杂但也更为稳定;Zou^[9]、Esehaghbeygi^[10]等基于HIS模型分别对苹果和桃子进行颜色和形状特征分选,准确度达到90%。ELMasry等^[11]发现圆度和范围以及傅里叶性状描述子在分类规则和不规则土豆时有效,据此开发出一套快速准确的机器视觉识别系统,其依据土豆的形状、大小分拣土豆,准确率达到96%。Dubey等^[12]提出了颜色相干矢量、泽妮克矩和完全局部二进制模式的组合,其准确率为95.94%。Nandi等^[13]提出了一种基于机器视觉的芒果分级技术。在该技术中,先提取几个特征,然后进行向量回归,最后使用模糊增量学习算法,准确率接近87.00%。Zhang等^[14]提出了一种基于生物地理学的优化和前馈神经网络的分类方法,结果通过精细折叠分层交叉验证,总体准确率为89.11%。Naik等^[15]在分类Langdo芒果时,由于该品种芒果颜色无法区分其成熟度,因此采用 $L^*a^*b^*$ 颜色空间和FLIR one热像仪来预测芒果成熟度从而进行分类,单个芒果分拣所需时间为2.3 s,准确率为89%。Meshram等^[16]为降低视觉识别果蔬的分类误差,提出了一种名为“MNet:合并网络”的新的图像分类模型框架,不仅提高了果蔬分类的准确性,而且解决了误分类问题。Ihtisham等^[17]针对果蔬分拣问题,提出一种低复杂度卷积神经网络(CNN)模型,并在Raspberry Pi4的模块下帮助下部署到机械臂上,实现在传送带上检测、定位、分拣芒果,分类新鲜芒果准确度达到98.08%,腐烂芒果分类准确率达到95.75%。同年,Sabzi等^[18]为检测苹果成熟度提出一种可预测硬度、可溶性固形物含量、淀粉含量、酸度和可滴定酸度的智能算法,利用混合人工神经网络差分进化方法,选取1个纹理特征和5个颜色特征来评价苹果的物理和化学特性,以此判断苹果成熟度,最终

检测准确率达到 97.86%。Noutfia 等^[19]通过图像分析和传统的机器学习技术开发了一种通过纹理和颜色区分椰枣果的模型,Subir 等^[20]利用能够处理深度学习图像分析的现代化传感器和智能设备开发了一台自动果蔬分拣机器人,其配备定制的轻量级 CNN 模型“SortNet”,在对柑橘类水果进行分拣时计算时间更短。

目前国外的果蔬分拣设备发展方向倾向于大规模、商业化、高度自动化,其较为完善的果蔬分拣设备能够整合进料、表皮处理、果蔬分拣、装箱多步骤对果蔬进行后处理。因此,虽然部分国家果蔬种植面积与产量远不足我国,但其果蔬出口率和贸易量却毫不逊色。

2 国内果蔬分拣设备现状及发展

2.1 国内市场现状

同样是 20 世纪 80 年代,我国学者在国外市面上已出现果蔬分拣设备之后也开始研究学习果蔬分拣技术,1984 年,谢和生^[21]综合国内各省果蔬分拣经验以及国外多种果蔬分拣机特点,研制了 FJ-1 型柑桔水果分拣设备,该设备为国内可追溯到的最早的成制式水果分拣设备,其制造成本低、小巧灵活、对比人工分拣经济效益更好。而后至 2000 年前,光电色选分拣设备和果蔬内部品质分拣设备相继出现。21 世纪后,由于我国农业经济形式总体上仍然是分散的小农经济,因此,大型、昂贵、复杂的果蔬分拣设备在国内农业市场上很难流通,我国市面上普遍存在的是机械式、小型化的果蔬分拣设备。如沙糖桔分拣设备,该设备属于辊带式选果机,可分选沙糖桔、柠檬、山楂、圣女果、冬枣等圆形或椭圆形果蔬,通过硅胶带行走,当果蔬运输到两滚杠之间,其间距大于果蔬外形尺寸时,果蔬则落入输出轨道皮带上被输出,从而达到分级目的。

近年,我国也研发了一系列智能化、高度自动化果蔬分拣设备,如脐橙水果分选机,其能够根据水果内糖度、酸度、尺寸大小、重量综合分选,分拣规模较大。AI 果蔬分选机器人如图 1 所示,能够综合果蔬重量、果径、糖度、酸度、霉心病、内部缺陷等内外部品质进行分选,其分选损伤率小于 5%,重量分选精度 $\pm 2\text{ g}$,准确率大于 95%。这些设备面向于中大型果蔬生产销售企业,并不适合小型果蔬生产商、果农个体经营户使用。

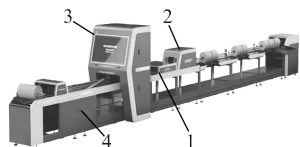


图 1 AI 果蔬分选机器人

Fig. 1 AI Fruit and vegetable sorting robot

1. 传感侧重系统 2. 内部品质检测装置 3. 面阵视觉扫描系统
4. 静音传动系统

2.2 国内研究现状

我国一直是农业大国,却不是农业强国,其原因之一在于我国工业起步相较于农业强国(日本、美国、以色列等)较晚,我国农业自动化程度较低,因此,截至目前,我国在果蔬分拣领域较为成熟的仍然是传统机械式果蔬分拣技术,其主要针对果蔬的形状尺寸大小来进行分拣,分拣精度不高并且易对果蔬造成损伤。2000 年以来,我国越来越重视农业机械自动化、智能化发展,我国科研人员不断探索研究果蔬分拣智能化技术。2008 年,邹小波等^[22]利用傅里叶展开降低图像边缘点维数,提出一种新的用于组织特征参数的遗传程序,以此开发了一个完整的图像数据采集系统,该系统能够从不同角度对果蔬进行检测,极大地提高了分类率,并具有良好的非线性逼近能力,识别成功率高。2018 年,王干^[23]在研究脐橙分级装置时,提出椭圆拟合法检测脐橙外部尺寸,通过圆台法计算缺陷面积,分级综合精度达到 91.43%。2021 年,Yu 等^[24]团队研究了基于图像处理的水果分拣机器人的目标定位和分类策略,通过机器人视觉识别果蔬,并以识别出的果蔬成熟度作为果蔬分拣标准,设计出水果分拣机器人的程序流程,并通过试验验证可行性。

我国农业经济形式决定国内果蔬分拣机最主要的方向是小型化、自动化、智能化。少数大型果蔬公司使用大规模的综合进料、清洗、分拣、装箱等多功能的果蔬分选一体化设备,但大多数果农仍然选择的是分拣手段参数单一、结构简单的机械式果蔬分拣设备,其满足果农所需要的价格低廉、操作简单、结实耐用等要求。

3 果蔬分拣设备存在问题







国内农业机械化在科技兴农政策大力支持下蓬勃发展,截至目前国内果蔬分拣设备在机械结构、分拣手段上已经相对完善,仅在分拣效率、分拣精度上存在一定差距,因此国内外分拣设备总体上所面临的问题是基本一致的,其具体问题如下。

1) 视觉分拣设备获取到的果蔬外壁图像信息存在缺失、失真情况。市面上大部分视觉分拣设备在每道分选线上的相机只有 1~3 个,如表 1 所示。分别列举单条分选线不同个数相机拍摄时摆放位姿,单相机位于果蔬正上方拍摄,双相机则成 45°夹角对果蔬两侧进行拍摄,3 个相机则对果蔬上、左、右三侧方向拍摄;忽略拍摄的图像信息重叠部分,将球型果蔬规则化为球体,果蔬在传送带上传送速度过快,在通过相机拍摄范围时位姿固定,即使 3 个相机同时拍摄,其获取的表面积图像信息也只能覆盖到 75%。如若通过镜面反射

采集果蔬外壁图像,虽然能够得到更加完整的外壁图像,但该图像信息背景混乱,且极其容易出现畸变、失真,对分拣造成误差。

表 1 视觉检测拍摄角度示意

Tab. 1 Schematic diagram of visual inspection shooting angle

相机数	相机摆放位姿	图片示例	图像占比/%
1			25
2			50
3			75

2) 利用近红外光谱技术分析果蔬糖度的模型适用性较差。糖度是评价部分果蔬内部品质的重要指标,糖度差别在 2°Birx 以上,水果的口感差距将变得明显^[25],在果蔬内部品质近红外光谱检测技术中,果蔬自身的尺寸大小、成分分布、成熟度、产地等因素都会对糖度检测结果造成不同程度的影响,现有的果蔬糖度检测模型往往基于同一品种的果蔬,在检测不同产地、不同大小的同类果蔬会产生一定的误差。

3) 可通过分拣设备分拣的果蔬种类具有局限性,一般为质地偏硬、不易磕碰损伤的球型果蔬。按照分拣果蔬类型的不同,对国内外著名企业的果蔬分拣设备数量进行统计,如表 2 所示。

表 2 不同企业果蔬分拣设备数量按分拣果蔬类型统计

Tab. 2 Statistical table of the number of fruit and vegetable sorting equipment by sorting fruit and vegetable type in different enterprises

企业	易损果蔬	耐磕碰果蔬	其他(坚果、果干等)	种
TOMAR	3	13	10	
Buhler	0	0	3	
Duravan	1	2	2	
Ellips	1	13	1	
Greefa	1	9	0	
Raytec Vision	2	11	5	
Aweta	0	8	1	
绿萌	2	18	1	
道创智能	3	5	2	
开浦科技	1	4	1	
沅江兴农	0	8	0	
金果缘	0	1	3	
合计	14	92	29	

表 2 所呈现的易损果蔬分拣设备仅为企业标识可

用于番茄、水蜜桃等易损水果分选,并未实际测试真实耗损,因此,其实用性仍然有待验证。果蔬分拣设备在传动运输过程和分拣完成后收集至集果箱这两个步骤中不可避免的会产生摩擦和碰撞。相比于柑橘、猕猴桃、干果、土豆等果蔬,番茄、水蜜桃这些果皮娇嫩、质地软糯的果蔬在采用传统分拣设备分拣时,因磕碰伤导致的损耗将相当高。

4 果蔬分拣设备发展趋势

自动化、智能化的农业装备仍在不断发展,在今后很长一段时间内都将是各国的战略重点和优先发展方向。

1) 针对视觉分拣设备获取到的果蔬外壁图像信息缺失、失真问题,目前的解决方案是在分拣设备中添加特殊传动机构,如图 2 所示^[26]。

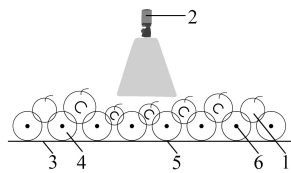


图 2 滚子式水果输送翻转机构结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the roller conveyor

1. 水果 2. 相机 3. 输送链 4. 滚子 5. 摩擦表面 6. 滚子轴

当果蔬在滚轴上运动时,由滚轴带动果蔬进行一定程度上的翻转运动,促使相机获取尽可能完整的果蔬外壁图像信息。该方案可行性较高,是目前主流的解决措施,但其存在缺陷,只有在果蔬均理想化为均质球型,且与滚轴无相对滑动的情况下,通过计算果蔬理想模型半径 R 满足式(1)条件时,才能够被相机捕捉到完整的外壁图像信息。

$$R \geq \frac{r_0 \omega_0}{\omega}$$
 (1)

式中: r_0 ——滚子半径;
 ω ——滚子的转动角速度;
 ω_0 ——水果在滚子上的转动角速度。

在实际应用中,由于果蔬形状并不规则,且无法保证均质,因此相机依旧很难采集到 100% 完整的果蔬外壁图像信息,可能会出现瑕疵部位图像信息丢失影响分拣,并且图像处理时仍需要进行无效影响分割。因此,要从根本上解决视觉分拣中图像信息缺失、失真问题,曲面立体扫描成像技术和与人工智能相结合的更智能更高速的图像数据处理算法将是未来研究的关键。

2) 针对近红外光谱技术分析果蔬糖度的模型适用性差的问题,主要有两类解决方式,其一是分段式分选,先通过尺寸分拣、视觉颜色分拣等分拣方式尽可能规避多因素对果蔬糖度的影响,而后通过近红外光谱技术利用果蔬糖度分拣模型进行二次分拣,该方式可

有效提高果蔬糖度分拣精度,降低误差,但缺陷是多次分拣较为繁琐,治标不治本。其二是利用不同果径糖度通用预测模型和波段筛选算法相结合的策略建立一种新型的混合果径模型,已验证该模型对不同果径的苹果糖度的预测分拣具有一定可行性^[27],后续研究可在此基础上推广至其他果蔬,或以此方式规避其他影响糖度分拣的因素,建立其他内部品质指标预测通用模型,这将是未来近几年解决近红外光谱以果蔬糖度分拣的主要研究方向。

3) 针对果皮娇嫩、质地软糯的易损果蔬无法通过传统分拣设备分拣问题,可改变果蔬分拣机构的抓取方式来解决。提出一种机械臂配合传送带的抓取式分拣设备,其将规避果蔬在传送带上进行长距离传送翻滚以及落入集果箱时的碰撞损伤,如图3所示。

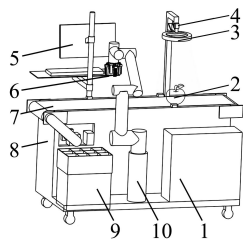


图3 机械手精品果蔬分拣设备

Fig. 3 Boutique fruit and vegetable sorting equipment with manipulator

1. 机械臂控制柜 2. 果蔬 3. 环形光源 4. 线阵相机 5. 上位机
6. 末端执行器 7. 传送带 8. PLC控制柜 9. 集果箱 10. 机械臂

当该分拣设备开始工作时,PLC控制传送带启动,并将末端执行器回归初始位置,同时机械臂归位,相机开始拍摄,当果蔬传送至相机拍摄范围,线阵相机获取图像信息,通过上位机视觉算法分析获取果蔬当前位置以及外径大小,结合传送带速度将果蔬动态位置信息传递给PLC,控制末端执行器张开适当角度配合机械臂实现动态抓取,最后分拣至集果箱中,完整操作流程如图4所示。

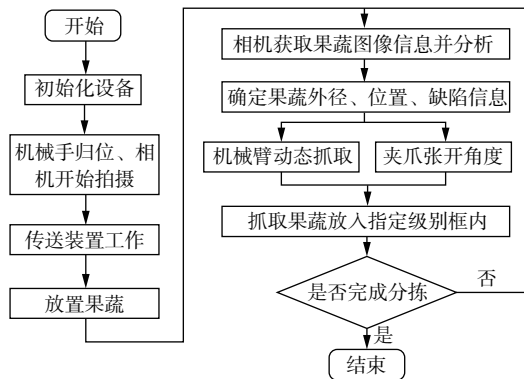


图4 机械手分拣设备工作流程

Fig. 4 Workflow diagram of robot sorting equipment

改变果蔬分拣抓取方式在短期内效率将成为一个明显短板,但在特殊场合也将有意想不到的效果,如在

果蔬采摘后直接利用机械臂配合夹爪进行分拣,实现采摘分拣一体化作业;或在一次分拣过后,对精品果蔬进行二次分拣,由将符合要求的果蔬直接抓取至包装礼盒,实现对精品果的自动化分拣和包装。

5 结语

1) 我国果蔬分拣技术经过多年发展,已逐步拉近与国外的技术差距,预测未来几年我国也能够达到果蔬分拣设备的高自动化程度,并具备一定的商业化规模。基于机器视觉和近红外光谱等技术的分拣将是未来果蔬高品质分拣设备必备功能,更高效的视觉图像处理算法和更具适应性的果蔬内部品质预测模型是未来亟待研究的热点课题。

2) 易损果蔬场景的分拣问题也会是未来果蔬分拣行业不可避免的问题之一,通过机械臂和柔性机械手抓取果蔬进行分拣的果蔬分拣设备,在采后分拣场景或精品果二次分拣场景下具有一定可行性。

参 考 文 献

- [1] 周雪青, 张晓文, 邹岚, 等. 水果自动检测分级设备的研究现状和展望[J]. 农业技术与装备, 2013(2): 9—11.
Zhou Xueqing, Zhang Xiaowen, Zou Lan, et al. Research status and prospect of fruit automatic detection and grading equipment [J]. Agricultural Technology & Equipment, 2013(2): 9—11.
- [2] 李素庭. 国外水果分选分级设备[J]. 粮油加工与食品机械, 1983(11): 1—8.
- [3] 李梅. 水果分拣技术的研究现状与发展[J]. 江苏理工大学报, 2018, 24(2): 121—124.
Li Mei. Research status and development of fruit sorting technology [J]. Journal of Jiangsu Science and Technology, 2018, 24(2): 121—124.
- [4] 白菲, 孟超英. 水果自动分级技术的现状与发展[J]. 食品科学, 2005(S1): 145—148.
Bai Fei, Meng Chaoying. Research progress and commercialization of the automatic classification technology [J]. Food Science, 2005 (S1): 145—148.
- [5] 张方明, 应义斌. 水果分级机器人关键技术的研究和发展[J]. 机器人技术与应用, 2004(1): 33—37.
Zhang Fangming, Ying Yibing. Research and development of key technologies of fruit grading robot [J]. Robot Technique and Application, 2004(1): 33—37.
- [6] Blasco J, Aleixos N, Molto E. Computer vision detection of peel defects in citrus by means of a region oriented segmentation algorithm [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 81(3): 535—543.
- [7] Kondo N. Robotization in fruit grading system [J].

- Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety, 2009, 3(1): 81–87.
- [8] Costa C, Menesatti P, Paglia G, et al. Quantitative evaluation of Tarocco sweet orange fruit shape using optoelectronic elliptic Fourier based analysis [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2009, 54 (1): 38–47.
- [9] Zou Xiaobo, Zhao Jiewen, Li Yanxiao. In-line detection of apple defects using three color cameras system [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2010, 70(1): 129–134.
- [10] Esehaghbeygi A, Ardforoushan M, Monajemi S. A. H., et al. Digital image processing for quality ranking of saffron peach [J]. *International Agrophysics*, 2010, 24 (2): 115–120.
- [11] ElMasry G, Cubero S, Molto E, et al. In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer: Based machine vision system. *Journal of Food Engineering*, 2012, 112(1–2): 60–68.
- [12] Dubey S R, Jalal A S, Apple disease classification using color, texture and shape features from images [J]. *Signal, Image and Video Processing*, 2015, 10(5): 819–826.
- [13] Nandi C S, Tudu B, Koley C. A machine vision technique for grading of harvested mangoes based on maturity and quality [J]. *IEEE Sensors Journal*, 2016(16): 6387–6396.
- [14] Zhang Y, Philips P, Wang S, et al. Fruit classification by biogeography: Based optimization and feed forward neural network [J]. *Journal of Knowledge Engineering (Wiley)*, 2016, 33(3): 239–253.
- [15] Naik S, Patel B. Thermal imaging with fuzzy classifier for maturity and size based non-destructive Mango (*Mangifera Indica* L.) grading [C]. *International Conference on Emerging Trends & Innovation in ICT*, 2017b: 15–20.
- [16] Vishal A, Kailas P, Sahadeo D. MNet: A framework to reduce fruit image misclassification [J]. *ISI*, 2021, 26(2): 159–170.
- [17] Amin M, Hafeez M, Awais Q. Rotten-fruit-sorting robotic arm: (Design of low complexity CNN for embedded system) [J]. *Engineering Proceedings*, 2022, 12(1): 109.
- [18] Sabzi S, Nadimi M, Abbaspour-Gilandeh Y. Non-destructive estimation of physicochemical properties and detection of ripeness level of apples using machine vision [J]. *International Journal of Fruit Science*, 2022, 22(1): 628–645.
- [19] Noutfia Y, Ropelewska E. Innovative models built based on image textures using traditional machine learning algorithms for distinguishing different varieties of moroccan date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.) [J]. *Agriculture-Basel*, 2023, 13(1): 26.
- [20] Subir K, Subeesh A, Kumkum D, et al. Development of an optimally designed real-time automatic citrus fruit grading-sorting machine leveraging computer vision: Based adaptive deep learning model [J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2023, 120: 105826.
- [21] 谢和生. FJ-1型水果分级机的研究[J]. *粮油加工与食品机械*, 1984(8): 36–39.
- [22] 邹小波, 赵杰文. 用遗传算法快速提取近红外光谱特征区域和特征波长[J]. *光学学报*, 2007(7): 1316–1321.
- Zou Xiaobo, Zhao Jiewen. Fast extraction of near-infrared spectral characteristic region and characteristic wavelength using genetic algorithm [J]. *Journal of Optics*, 2007 (7): 1316–1321.
- [23] 王干. 车载式脐橙采后分级设备的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2018.
- Wang Gan. Study on vehicle-mounted classification equipment for post-harvest navel orange [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2018.
- [24] Yu Jianhong, Miao Weijie, Zhang Guangben, et al. Target positioning and sorting strategy of fruit sorting robot based on image processing [J]. *Traitement du Signal*, 2021, 38(3): 797–805.
- [25] Liu Yande, Rao Yu, Sun Xundong, et al. Size effect on the near-infrared spectroscopy detection model of navel orange [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2020, 40(10).
- [26] 魏新华, 周杏鹏, 李法德, 等. 水果机器视觉分选机滚子式输送翻转机构优化设计[J]. *农业机械学报*, 2007(9): 98–102.
- Wei Xinhua, Zhou Xingpeng, Li Fade, et al. Optimum design of fruits roller conveyor of machine vision grader [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2007(9): 98–102.
- [27] 姜小刚, 朱明旺, 姚金良, 等. 基于近红外光谱技术苹果尺寸差异对糖度模型适用性的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2024, 43(1): 242–248.
- Wei XiaoGang, Zhu Mingwang, Yao Jinliang, et al. Effects of apple size on the applicability of the model for predicting the content of sugar based on near infrared spectroscopy [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2024, 43(1): 242–248.