

基于声音和图像分析的西瓜成熟度检测装置的研究与设计

徐锦春, 张俊, 王晓宇

南昌大学共青学院, 江西 共青城 332020

DOI: 10.61369/TACS.2026060010

摘 要 : 西瓜作为我国广泛种植的经济型水果, 其成熟度直接决定口感、品质及商品价值, 精准检测西瓜成熟度对规范采摘时机、提升产业经济效益具有重要意义。通过声音和图像分析的西瓜成熟度检测装置, 结合声学特性与机器视觉技术, 能够实现西瓜成熟度的无损、快速、精准检测。基于此, 本文针对西瓜成熟度检测装置展开研究, 分析西瓜成熟过程中的生理生化特性, 构建科学的成熟度评价指标体系, 设计基于声音分析和图像分析的检测对策, 旨在为西瓜成熟度检测提供可靠的技术支撑与实用方案。

关 键 词 : 西瓜成熟度; 声音分析; 图像分析; 无损检测; 检测装置

Research and Design of a Watermelon Maturity Detection Device Based on Sound and Image Analysis

Xu Jinchun, Zhang Jun, Wang Xiaoyu

Gongqing College of Nanchang University, Gongqingcheng, Jiangxi 332020

Abstract : As an economically important fruit widely cultivated in China, watermelon maturity directly determines its taste, quality and commercial value. Accurate detection of watermelon maturity is of great significance for standardizing the picking time and improving the economic benefits of the industry. The watermelon maturity detection device based on sound and image analysis, combining acoustic characteristics and machine vision technology, can realize non-destructive, rapid and accurate detection of watermelon maturity. On this basis, this paper studies the watermelon maturity detection device, analyzes the physiological and biochemical characteristics during watermelon ripening, establishes a scientific evaluation index system for maturity, and designs detection strategies based on sound and image analysis, aiming to provide reliable technical support and practical solutions for watermelon maturity detection.

Keywords : watermelon maturity; sound analysis; image analysis; non-destructive detection; detection device

引言

随着人们生活水平的提升, 消费者对西瓜品质的要求日益提高, 而成熟度是决定西瓜口感、甜度、风味的核心因素。人工检测方法高度依赖检测人员经验, 主观性极强, 且效率低下, 难以满足规模化种植需求, 同时易对西瓜造成机械损伤, 制约了西瓜产业高质量发展。声音分析技术通过检测西瓜受激振动的声波信号判断成熟度, 图像分析技术通过提取西瓜外观特征实现可视化识别, 二者结合可弥补单一检测方法的局限性。因此, 开展基于声音和图像分析的西瓜成熟度检测装置的研究与设计, 具有重要意义。

一、西瓜成熟度检测的相关基础

(一) 西瓜成熟过程的生理生化特性

西瓜的成熟过程是多种生物化学变化的过程, 包括糖类转化、色泽形成、细胞壁破坏以及呼吸作用等因素, 这些均影响到西瓜外观品质、内在品质和音色品质, 成为衡量其成熟度的重要

基础性理论知识。就糖来说, 未熟透的西瓜富含大量淀粉但含糖量少, 所以口感很硬; 随着果实逐渐成熟, 淀粉在淀粉酶和转化酶作用下水解成葡萄糖及果糖, 总糖含量大于10%, 并基本稳定; 过熟后, 会导致含糖量降低, 味道偏酸, 并易形成空心, 这是区别熟度的重要特征; 在色泽方面, 生瓜表皮含有较多叶绿素呈现青色, 而成熟后叶绿素会降解转化为更多类胡萝卜素, 这样

会使表皮颜色变深,并且条纹类型会变得更明显;同时原坐瓜面部分将变为黄斑区。而随着番茄红素的形成,果肉色也相应地由浅粉向红转变,最终可转为较暗甚至黑色。在细胞壁降解阶段,在相应酶的作用下,纤维素及果胶被降解使得果肉由硬变软,并且其声学特征也发生相应的改变:不熟西瓜的果肉较紧实,受激励后振动频率较高;熟西瓜是适中;而过熟西瓜的果肉则比较松弛,振动频率低而且衰减快。西瓜为呼吸跃变型果实,在未成熟前呼吸速率较低,成熟后果实的呼吸速率达到最高值,并逐渐降低,呼吸速率可反映果实的成熟度及贮藏时间^[1]。

(二) 西瓜成熟度的评价指标体系

结合农业行业标准与本文研究技术,将西瓜成熟度评价指标分为内在品质、外在特征、声学特征三大类,明确各等级阈值,为检测装置设计提供量化依据。内在品质指标核心包括:可溶性糖含量(成熟 $\geq 10\%$ 、未成熟 $< 6\%$)、淀粉含量(成熟 $\leq 5\%$ 、未成熟 $\geq 15\%$)、含水率(成熟 $90\%—92\%$)、果肉硬度(成熟 $8—12\text{N}$ 、未成熟 $\geq 15\text{N}$ 、过熟 $< 8\text{N}$),直接反映西瓜品质与成熟度。外在特征指标包括:果皮颜色(色调、饱和度、亮度)、纹理(成熟清晰均匀、未成熟模糊、过熟可能开裂)、果形指数(成熟 $0.9—1.1$)果蒂(成熟凹陷、未成熟凸起)、卷须(成熟 70% 以上干枯),可通过图像技术精准提取。声学特征指标包括:频率(未成熟 $> 150\text{Hz}$ 、成熟 $80—120\text{Hz}$ 、过熟 $< 80\text{Hz}$)、幅值(未成熟大、成熟适中、过熟小)、衰减系数(未成熟小、成熟适中、过熟大)、频谱质心(未成熟大、成熟适中、过熟小),是声音检测的核心指标。

(三) 声音、图像与西瓜成熟度的关联机理

西瓜在成熟过程中,生理及生化变化会引起声学特性和外观特征的变化,这是设计检测装置的重要依据。通过观察瓜果振动频率与其内部结构的关系可以得出,不同成熟度下的瓜果因其质地的不同会相应地发生共振频率上的变化。如生瓜果因密度高,故其频率较高声音清脆;相反,随着成熟度的增加,这种频率逐渐降低并变得更加深沉。此外,还需要考虑到外部因素如果皮厚度和果型对结果的影响。从视觉上看,成熟状态下的水果通常会有颜色的转变,这是因为色素合成和细胞壁分解。这些变化可以被捕捉到,例如用颜色(HSV分量)、文本(Texture)(LBP算法)或者形状(Morphology)(果形指数)来表征,形成一种复合型熟度判别模式;同时一个测试方法难以做到尽善尽美,需将声图两方面信息结合起来增强测定准确性和可靠性^[2]。

二、基于声音分析的西瓜成熟度检测对策

(一) 西瓜声学特性的优化分析方案

为提升检测准确性,优化声波采集、参数分析与个体差异处理方案,解决信号采集不精准、参数提取不全面等问题。优化声波采集方案:选用压电式加速度传感器,采用橡胶敲击头(直径 5mm),敲击力度 $0.5—1\text{N}$ 、位置为西瓜赤道部位,设置采样频率 44.1kHz 、精度 16bit 、时长 0.5s ,确保信号完整清晰。优化声学参数分析:选取频率、幅值、衰减系数、频谱质心为核心参

数,采用时域(提取幅值、衰减系数)与频域(FFT提取基频、频谱质心)结合的方法,全面提取信号特征。个体差异优化:引入品种与大小校正系数,建立常见品种声学参数数据库,根据西瓜横径校正参数,消除个体差异影响,提升检测通用性。

(二) 声音信号特征提取的优化对策

针对声波信号中的噪声与特征冗余,设计“预处理-特征提取-验证优化”三步对策,提升检测准确率。声波预处理:采用均值滤波(窗口 5)去除随机噪声,自适应阈值去噪消除脉冲噪声,归一化处理(幅值 $[0,1]$)消除敲击力度差异,确保信号纯净可比。特征提取与优化:提取四大核心特征后,采用PCA算法降维,通过标准化、协方差矩阵求解,选取特征值 > 1 的主成分作为最终特征向量,减少冗余与计算量。特征验证:选取未成熟、成熟、过熟西瓜各 50 个,采用SVM算法分类识别,优化后特征向量识别准确率提升 $8\%—10\%$,为装置设计提供支撑。

(三) 声音分析检测的干扰防控对策

针对环境噪声、敲击干扰、个体差异等问题,设计针对性防控对策,确保检测稳定准确。环境噪声防控:设置隔音罩包裹采集模块,采用陷波滤波去除噪声频率成分,设置噪声阈值,超标时自动暂停检测。敲击干扰防控:采用电机驱动自动敲击装置,精准控制力度、速度与位置,设置橡胶缓冲垫,同一西瓜敲击 3 次取平均值,降低误差。个体与环境干扰防控:清洁果皮污渍,设置温湿度传感器并建立校正模型,建立多品种特征阈值库,自动调用对应阈值,提升通用性^[3]。

三、基于图像分析的西瓜成熟度检测对策

(一) 西瓜图像特征的精准分析对策

图像检测模块的核心是对西瓜图像的特征信息作出精准判断,依据西瓜成熟过程中出现的颜色、纹理及形态上的变化,提取相关特征并构建特征值与成熟度之间的对应关系来完成对西瓜成熟度的识别。第一,确定主控图像特征,根据西瓜成熟后外观变化规律,以颜色特征、纹理特征以及形状特征为主要分析对象。颜色特征最直观也最重要,包括表皮颜色的色相值、饱和度值以及亮度值等内容,成熟西瓜的果皮在色相和饱和度上会有一定的取值范围;纹理特征主要包括果皮纹理的紧密程度、细致程度及粗糙程度;形状特征,包括了果形指数数值、果蒂凹陷深度及卷须干枯状况,体现了成熟西瓜果形指数逐步趋于稳定的特点^[4]。第二,优化图片特征检测方法。针对彩色信息,采用HSV颜色空间进行描述,因为该颜色空间比较接近人眼的颜色感知系统,可区分不同熟度的西瓜间的颜色差异性。将图像中西瓜区域的HSV分量分离出来,并求出H值、S值、V值均值,以上便是提取的颜色特征参数;对于具有条纹图案的西瓜,可以进一步计算出条纹及背景之间的颜色差值来辅助颜色特性分析^[5]。针对纹理特征,采用的是LBP(Local Binary Pattern,局部二值模式)特征提取方法,LBP方法是一种有效地描述图像局部纹理特征的方法,此外,具有较强的抗光变化能力。形状特征需要借助于图像分割来得到西瓜外轮廓,再求出其长轴与短轴的长度即可得到果

形指数。第三，进行精确融合匹配。单一图像特征的识别能力有限，将颜色、纹理以及形状特征相融合形成多种异构特征特殊向量可以提升识别准确率。采用加权融合的方式，并根据不同特征之间的可分离度确定相应权重；建立多阶段成熟度西瓜图像的特征数据库，然后用所提取出来的特异性向量对比本库中其他样本的特点进行相似度分析从而判断西瓜的成熟度^[6]。

（二）图像信号预处理与特征提取对策

针对图像模糊、噪声和背景复杂的问题进行预处理和特征提取方法的优化，保证特征提取的有效性及准确性。第一，进行图像采集及预处理，采用1280×720的高清晰度工业相机，固定拍摄参数及拍摄角度，利用otsu法对背景进行二值化分离并经过形态学运算保证了整个西瓜区域的完整性；并对图像进行双边滤波降噪以及自适应直方图均衡化增强处理，进而提高特征区分度^[7]。第二，改进特征提取方法：在颜色特征方面获取hsv分量的均值和标准差信息；对于纹理特征使用lbp提取其中包含的4个统计参数；采用canny运算可以得到形状特征的边缘图像以及果实形状因子、果蒂及卷须长度参数。第三，应用遗传算法进行特征提取可以求出最优解的特征子集，该方法可将维度压缩在30%以上并提高检测速度20%，且能确保识别率的稳定性^[8]。

（三）图像分析检测的优化提升对策

对光照、种类、匹配误差以及检测速度等方面进行了针对性的设计及改进，提高了装置的应用性与稳定性。一是消除光照影

响。采用led补光灯并根据环境光线强度自动控制其明暗变化以及应用灰度归一化和颜色恒常性方法来降低光照因素对颜色特性的影响^[9]。二是改进品种差异。建立多样性的图像特征库及专用识别模型，自动判别品种，并设置相应阈值，利用迁移学习减少样本采集量以增强通用性。三是减小匹配误差。采用改进knn算法（k=5），利用欧式距离权重计算得出成熟度，并设置80%的信任度，若置信度不高，则结合声音监测数据共同分析^[10]。四是提升速度。采用图像金字塔算法降低计算量并结合gpu加速将单张图片的处理时间由0.5s降至0.1s，适应大范围探测需求。

四、结语

综上所述，西瓜是葫芦科西瓜属一年生蔓生草本植物，在我国农业生产中占据重要地位。本研究围绕西瓜成熟度检测的实际需求，结合声音分析与图像分析技术，开展了西瓜成熟度无损检测装置的研究与设计，系统分析了西瓜成熟过程的生理生化特性，构建了包含内在品质、外在特征、声学特征的成熟度评价指标体系，分别优化了声音与图像检测的信号采集、特征提取及干扰防控对策。在后续工作中，相关部门应注重完善多品种特征数据库，结合深度学习技术优化检测算法，实现西瓜成熟度的实时在线检测，进一步推动西瓜产业高质量发展。

参考文献

[1] 王颖,刘琰昕,毛璐宇,等.基于特征融合与改进TDNN的西瓜成熟度识别[J].农业科技与信息,2024,(12):80-86+97.DOI:10.15979/j.cnki.cn62-1057/s.2024.12.001.

[2] 李帅.适合小果型西瓜嫁接的多抗南瓜砧木组合配制与评价[D].华中农业大学,2024.DOI:10.27158/d.cnki.ghznu.2024.001729.

[3] 杨育霖.基于全透射近红外光谱技术的西瓜内部品质在线无损检测方法研究[D].华中农业大学,2024.DOI:10.27158/d.cnki.ghznu.2024.001053.

[4] 王贺功.西瓜内部品质移动式近红外光谱检测设备研究[D].新疆农业大学,2024.DOI:10.27431/d.cnki.gxnyu.2024.000468.

[5] 李闪闪.西瓜综合品质可见/近红外光谱评价模型的建立及验证[D].河南工业大学,2024.DOI:10.27791/d.cnki.ghegy.2024.000662.

[6] 柯洋洋.基于深度学习的西瓜成熟度无损检测方法研究[D].东华理工大学,2023.DOI:10.27145/d.cnki.ghddc.2023.000386.

[7] 严忠伟.西瓜成熟度和可溶性固形物含量在线无损检测模型研究[D].广西大学,2023.DOI:10.27034/d.cnki.ggxu.2023.002513.

[8] 王翔宇.改进声阵列去噪算法及其在西瓜成熟度检测中的应用[D].湖南大学,2023.DOI:10.27135/d.cnki.gहुdu.2023.003433.

[9] 王成.滦平盆地白垩系西瓜园组上段沉积特征及石油地质意义[D].中国地质大学(北京),2022.DOI:10.27493/d.cnki.gzdzy.2022.001979.

[10] 霍艳琴.滦平盆地西瓜园组火山活动对有机质富集的影响研究[D].中国地质大学(北京),2022.DOI:10.27493/d.cnki.gzdzy.2022.000695.