

光谱成像技术在葡萄检测上的应用

傅雪平¹, 董如愿², 杨小峰¹, 孙一叶^{1*}

¹温州大学, 浙江 温州

²温州市学生实践学校, 浙江 温州

收稿日期: 2022年7月23日; 录用日期: 2022年8月23日; 发布日期: 2022年8月30日

摘要

随着现代光电传感技术的快速发展,特别是多/高光谱成像技术,已广泛在农业领域展开研究。由于光谱成像技术同时具有获取对象的光谱信息与图像信息,能同时以光谱反映物质内部品质和图像反映物质外部品质,以及具有无污染、快速、简便等特点,是一项非常可靠的农产品无损检测技术。本文以多/高光谱成像技术在葡萄检测上的应用进行概述及对未来的展望。

关键词

光谱成像技术, 葡萄, 无损检测

Application of Spectral Imaging Technology in Grape Detection

Xueping Fu¹, Ruyuan Dong², Xiaofeng Yang¹, Yiye Sun^{1*}

¹Wenzhou University, Wenzhou Zhejiang

²Wenzhou Student Practical School, Wenzhou Zhejiang

Received: Jul. 23rd, 2022; accepted: Aug. 23rd, 2022; published: Aug. 30th, 2022

Abstract

With the rapid development of modern photo-electric sensing technology, especially the multi/hyper-spectral imaging technology, it has been widely studied in the agricultural field. Because spectral imaging technology can simultaneously obtain the spectral and image information of object, it can reflect the internal and external quality of object by spectroscopic and image components at the same time. This technology characterized with none pollution, quick and simple is

*通讯作者。

regarded as a reliable nondestructive determination technology for the development of modern agricultural products. In this paper, the application of multi/hyper-spectral imaging technology in grape detection is summarized and the prospect for the future is presented.

Keywords

Spectral Imaging Techniques, Grape, Non-Destructive Testing

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来, 光谱成像技术不断发展, 已经应用到生产生活的各个方面, 尤其在农产品检测上更是发挥着重大的作用。光谱成像技术应用在葡萄上, 不仅检测方便, 准确度高, 而且成本低可以快速精准地完成葡萄内部和外部品质的检测。而作为农产品的葡萄, 它的安全以及质量是消费者一直所关注的问题。光谱成像技术的不断进步发展, 不仅为葡萄检测提供了巨大的帮助, 也在其它各类农产品的检测上应用广泛[1]。

多光谱成像技术是通过把图像和光谱信息相结合来得到一种多维度信息的技术。结合机器视觉这项技术不仅仅可以在图像当中反映出实验葡萄样品的外部特性, 例如表皮颜色、颗粒大小、果穗尺寸; 同时还可以在光谱当中, 反映出实验葡萄样品的内部特性, 如其它的一些化学信息, 目前多光谱成像技术应用在农业上已经非常普遍, 而且也已经成为快速无损检测的一个重要手段发展的, 也是越来越准确精细化。

高光谱成像技术是在原有光谱仪的基础上再开发出来的一个成像光谱系统, 它的成像装置虽然比普遍多光谱成像装置贵很多, 但是它拍摄出的不是只有一幅图像, 而是一个立体矩阵, 相当于在每个图像的二维基础上再多增加光谱的维度高光谱在每一个立体矩阵中, 它的每一个像素都具有独立的光谱分布, 同时也可以对不同通道的图像通过融合, 从而分辨出有差异的地方, 这是它与多光谱成像技术相比的更大优势。对葡萄样品的辨识定量与定性分析有很好的作用, 也正成为近些年的研究热点。

2. 多光谱成像技术在葡萄当中的研究

近年来, 随着计算机技术的迅速发展和化学计量学方法应用的不断深入, 多光谱成像技术被越来越多地应用于医药、化工、农业、食品等相关行业领域。它具有无污染、低消耗、非破坏性, 可以实现对被测样品的内部品质和外部品质同时测定及分析速度快等优点。利用多光谱成像分析技术进行农产品的无损检测已有较多的研究应用, 如测定苹果、梨等水果的成熟度、可溶性固形物、硬度等内部品质。有研究以阳光玫瑰葡萄为例, 应用基于滤波片的多光谱成像技术通过检测分析葡萄品质。用图像分析方法快速扫描、拍摄葡萄表面, 观测是否腐烂, 同时观测葡萄的穗形是否合格, 通过所测得的果穗形状、大小、颜色等来判断各果品外部质量差异是否过大。同时借助多谱段视觉成像技术来分析阳光玫瑰葡萄颗粒的内部品质信息, 检测糖度、酸度等重要品质指标。如图 1 为阳光玫瑰葡萄的成串 NIR 图像和 RGB 图像。如图 2 为阳光玫瑰葡萄的颗粒 NIR 图像和 RGB 图像。通过多图像融合, 将 NIR 和 RGB 图像叠加融合, 构成多光谱图像信息来判断葡萄的品质信息。



Figure 1. NIR image and RGB image of bunches of Sunny Rose grapes
图 1. 阳光玫瑰葡萄的成串 NIR 图像和 RGB 图像

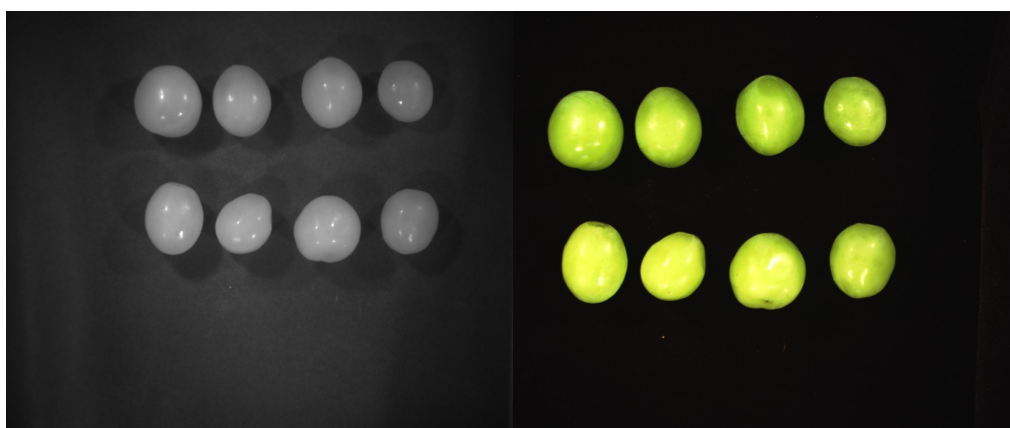


Figure 2. NIR image and RGB image of Sunny Rose grapes grain
图 2. 阳光玫瑰葡萄的颗粒 NIR 图像和 RGB 图像

近些年，国内外对葡萄品种的探究不断深入，不同品种的葡萄产量不同、抗病虫害能力不一、营养物质含量区别巨大。曹芬等[2]通过使用可见/近红外光谱技术在特定波段下，对不同的葡萄品种进行判别分析，取得很好的判别效果。葡萄内部的糖度、酸度等含量是决定风味的关键因素，袁雷明等[3] [4]利用可见/近红外光谱系统研究了巨峰葡萄糖度、酸度以及感官偏好等级，比较了漫反射和透射两种光谱采集方式对模型精确度的影响，结果表明，采用透射光更能表征巨峰葡萄内部品质信息，采集装置如图 3 所示。对于不同用处葡萄的成熟度判别分析也是检测葡萄品质的重要指标。

Roemi Fernández 等[5]提出了一种基于 K-means 方法的顺序掩蔽算法，该算法结合了 RGB 和多光谱图像，在非结构化的自然环境中区分赤霞珠葡萄元素，不需要在树冠后面放置任何屏障，也不需要到葡萄园进行任何前期准备。他提出的方法适用于精确葡萄栽培的产量估算、水分和养分需求估算、喷洒和收获等诸多任务。Carlos Zúñiga Espinoza 等[6]研究表明低空多光谱和热成像数据评价灌溉技术和植物水分胁迫相对程度具有一定的潜力。此外，他的研究结果为我们的假设提供了可行性分析，即热红外图像可以作为一个快速评估叶片气孔导度的工具，反映葡萄园的空间变化是至关重要的，因为这些数据将为酿酒葡萄生产中更好的灌溉管理、调度提供近实时的作物胁迫评估。白粉病是葡萄及其他重要特种作物的一种主要真菌病害，对葡萄酒或产品质量造成严重损害，包括产量损失和贬值。根据日历对葡萄园

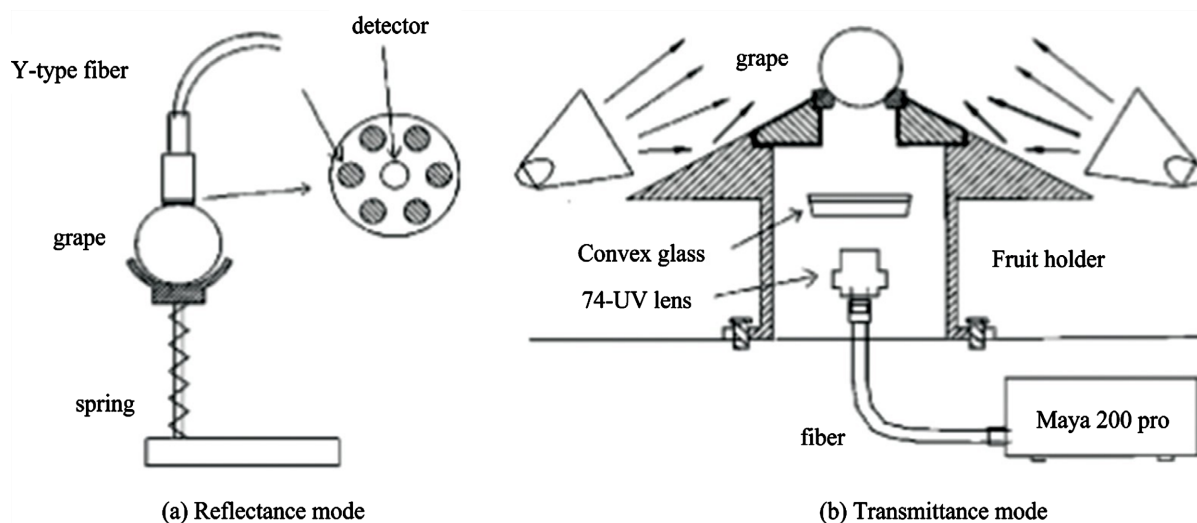


Figure 3. Schematic diagram of the self-made experimental platform

图 3. 自制实验平台示意图

喷洒农药可彻底控制该病，在几个葡萄种植区喷洒 10~15 种杀菌剂即可。由于原发性感染局限于离散病灶，而不是均匀扩散，因此，开发能够检测初始感染病灶并进行靶向治疗的系统，而不是目前的同质性和非选择性喷洒，具有很好的作用。近端光学传感技术是葡萄和其他特种作物白粉病病原鉴定的首选技术，但由于真菌结构的小维度、低密度和空间排列，在早期和中期对症状的检测灵敏度在很大程度上有限的结果。Roberto Oberti 等[7]探讨了如何提高检测灵敏度(即系统正确识别的病变组织的部分)，特别是通过从一个角度而不是垂直于叶片表面进行的传感测量来提高早期和中期症状的检测灵敏度。为了达到这个目的，对 35 片葡萄叶片(10 片用作校准，25 片作为验证样本)采用多光谱成像方法，这些叶片从 0 度(相机垂直于叶片表面)到 75 度的 5 个不同视角进行成像。将两种光谱指标结合的算法应用于验证图像，评价检测灵敏度。所使用的算法在图像标定集的基础上进行单独训练，总体结果表明检测灵敏度一般随着视角的增加而增加，在 60 度处获得的图像有一个峰值。特别是对有早中期症状的组织，该算法的灵敏度从 0 度时的 9% 大幅提高到 60 度时的 73%。如果所采用的训练系统能够获得较为均匀的叶片定向，那么这些结果表明，用于检测葡萄白粉病初始焦点的田间传感系统能够提供在 40~60 范围内从视角测量冠层的能力，可以达到更好的效果。

3. 高光谱成像技术在葡萄当中的应用

高光谱成像系统主要包括成像光谱仪、镜头、光源以及高光谱数据采集软件等部件组成，在对葡萄样品进行实验之前，通常将高光谱成像系统进行组装，让高光谱的摄像镜头垂直于葡萄实验样品，目的是使得摄像设备能够准确完整地拍摄获取葡萄实验样本的图像数据信息。在图像数据信息获取前的准备工作：需要提前开通机器并预热 30 分钟，目的是为了流过高清 CCD 相机的电流稳定，并且此项操作还可以使得系统自带发出的光源平稳照射，减少由于实验仪器设备对高光谱获取的图像信息产生影响。在获取收集每一个实验葡萄样本的高光谱图像后，还需要获取收集纯色黑板与纯色白板的图像信息，使得后期的黑白校正更加准确无误。

其成像系统示意图如图 4 所示。新鲜的葡萄样本在由高光谱成像系统收集数据后，为了防止葡萄样品因放置时间太长而腐坏，故应该以最快且准确的化学方法测定葡萄内部品质的理化值。比如测得葡萄的可溶性固形物和总酸的数据值，进行下一步分析。

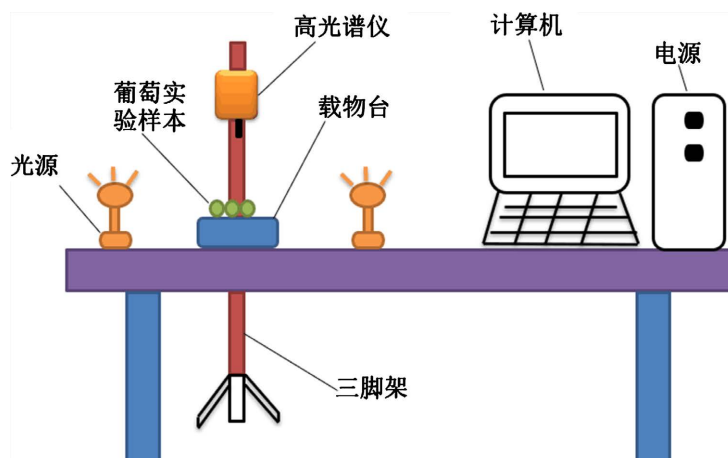


Figure 4. Hyperspectral imaging system
图 4. 高光谱成像系统

对于葡萄内部中的可溶性固形物含量测量方法：在室温恒定 22℃ 的温控下进行，把实验的葡萄果实样品置于碎汁机中捣碎葡萄样品，并对其进行榨汁处理，采取专业葡萄过滤纸对葡萄汁进行过滤处理，再采用 PAL-1 数字折光仪对过滤后的实验样品葡萄汁进行可溶性固形物测量。每组样本的测量实验重复 3 次，取其平均值作为葡萄可溶性固形物含量的实际值。

Berta Baca-Bocanegra 等[8]研究表明近红外高光谱成像是预测可提取总酚含量在 0~65 mg/g 范围内的一种有吸引力的策略，从葡萄酒部门使用的木材质量保证的角度来看，这具有很大的相关性。近红外高光谱成像技术是通过快速测定可提取的生物活性分子(如多酚)来提高配合物副产物价值的可行方法。这对葡萄酒上的应用是非常值得关注的。Antonietta Baiano 等[9]探讨了利用高光谱成像技术预测鲜食葡萄某些理化和感官指标的可能性。研究了 7 个栽培葡萄品种。利用高光谱成像系统获取了浆果的反射率光谱。按照常用的方法，对相同的浆果进行 pH 值、总酸度和可溶性固形物含量的分析。定量描述感官分析由训练有素的小组进行。采用偏最小二乘回归(PLSR)模型来寻找光谱信息与每个理化指标之间的相关性。各理化指标均与光谱信息有较好的相关性。可滴定酸度，白葡萄和红/黑葡萄的测定系数分别为 0.95 和 0.82，可溶性固形物含量的相对值分别为 0.94 和 0.93，pH 为 0.80 和 0.90。光谱信息与感官数据不相关，导致属性感知难以预测。葡萄黄化是影响世界各地葡萄栽培区严重的植物浆源性病害。欧洲部分国家已知两种主要侵染葡萄的制剂：黑色葡萄树和葡萄黄。疾病管理主要以预防措施为基础，因为没有现场治疗方法。在这种情况下，基于传感器的疾病检测可能是一个有用的工具。Nele Bendel 等[10]利用 400~2500 nm 的高光谱成像技术，对田间采集的温室植物和枝条进行了鉴定。应用径向基函数网络方法成功地建立了两种白葡萄品种感染 BN 和 PGY 的温室植株病害检测模型。对有症状的和健康的葡萄植株进行鉴别，其分类准确率高达 96%。然而，对感染了氮化硼但无症状的藤本植物的鉴定是困难的，需要进一步的研究。对于田间采集的不同红白品种的嫩枝，采用多层感知器网络进行分析，正确分类率可达 100%。因此，高光谱成像是一种有前途的方法来检测不同的 GY。此外，为每种疾病检测方法确定了 10 个最重要的波长，其中许多波长可以在 400~700 nm 之间和短波红外区域(1585、2135 和 2300 nm)找到。这些波长可以进一步用于开发多光谱系统。

4. 发展前景

不仅对于葡萄而言，同时对于玉米、大豆、小麦、水稻等农产品，应用多/高光谱功能可以高精度检测。让植保作业更加精细，更加轻松，方便实现既定的目标。通过无人机的大量使用结合多/高光谱成像

技术来对农作物生长监测具有非常大的推广意义。可以减轻农业耕作者由于经验误判而主观地分析农产品的长势带来的影响。利用多/高光谱影像,生成农作物的植被图可以不间断地监控观察农作物的生长周期以及农作物的健康状况,得知农作物是否发生病变,根据实际情况做出相应的措施。并且由于现在光电传感器发展迅猛,可在无人机上集合光电传感器,捕获太阳光照辐射的不同,观察农产品生长趋势,可以根据每天太阳光照不同的时候获得准确的判断。通过智能多光谱设备定点监测,农产品农作物的生长,智慧农业就会不断地在新时代当中进步。并且现在多/高光谱技术已经非常地发达,可以通过以手机软件相协同在无人机遥感获得数据的情况下分析得到光谱数据。同时,还可以在手机上看到叶面积指数、生物量、产量、叶片氮含量、植物含水量、叶绿素含量、类胡萝卜素、花青素等。这对大规模种植的农产品长势监测有非常大的作用。

5. 总结

简而言之多/高光谱技术不仅只在实验室环境下对诸如葡萄这类水果作用巨大,同时在大规模农业生产当中也具有非常大的应用价值,对农业现代化的进程提供了新的手段与机械化相结合,是现代农业发展的新风向,将对消费市场提供安全可靠的农产品。并且多/高光谱成像技术,在课题实验研究当中也是非常重要,对理论研究农产品及各类果蔬的质量品质提供了巨大的帮助。未来多/高光谱技术将朝着更宽广的领域迈进,为科学研究和实际生产生活贡献力量,并不断创新突破。

参考文献

- [1] Sebastian, C., Fabio, R., De Giglio, M., *et al.* (2015) Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indices for Precision Farming Applications from UAV Images. *Remote Sensing*, **7**, 4026-4047. <https://doi.org/10.3390/rs70404026>
- [2] 曹芳, 吴迪, 何勇, 鲍一丹. 基于可见-近红外反射光谱技术的葡萄品种鉴别方法的研究[J]. *光学学报*, 2009, 29(2): 537-540.
- [3] 袁雷明, 蔡健荣, 孙力, 等. 可见-近红外光谱用于鲜食葡萄感官偏好的检测[J]. *光谱学与光谱分析*, 2017, 37(4): 1220-1224.
- [4] 袁雷明. 基于多视成像及近红外光谱技术的巨峰葡萄品质无损检测研究[D]: [博士学位论文]. 镇江: 江苏大学, 2016.
- [5] Fernández, R., Montes, H., Salinas, C., *et al.* (2013) Combination of RGB and Multispectral Imagery for Discrimination of Cabernet Sauvignon Grapevine Elements. *Sensors*, **13**, 7838-7859. <https://doi.org/10.3390/s130607838>
- [6] Espinoza, C.Z., Khot, L.R., Sankaran, S. and Jacoby, P.W. (2017) High Resolution Multispectral and Thermal Remote Sensing-Based Water Stress Assessment in Subsurface Irrigated Grapevines. *Remote Sensing*, **9**, Article No. 961. <https://doi.org/10.3390/rs9090961>
- [7] Oberti, R., Marchi, M., Tirelli, P., *et al.* (2014) Automatic Detection of Powdery Mildew on Grapevine Leaves by Image Analysis: Optimal View-Angle Range to Increase the Sensitivity. *Computers and Electronics in Agriculture*, **104**, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.03.001>
- [8] Baca-Bocanegra, B., Nogales-Bueno, J., Hernández-Hierro, J.M. and Heredia, F.J. (2017) Evaluation of Extractable Polyphenols Released to Wine from Cooperage Byproduct by Near Infrared Hyperspectral Imaging. *Food Chemistry*, **244**, 206-212. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.027>
- [9] Baiano, A., Terracone, C., Peri, G. and Romaniello, R. (2012) Application of Hyperspectral Imaging for Prediction of Physico-Chemical and Sensory Characteristics of Table Grapes. *Computers & Electronics in Agriculture*, **87**, 142-151. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.06.002>
- [10] Bendel, N., Backhaus, A., Kicherer, A., *et al.* (2020) Detection of Two Different Grapevine Yellows in *Vitis vinifera* Using Hyperspectral Imaging. *Remote Sensing*, **12**, Article No. 4151. <https://doi.org/10.3390/rs12244151>