

基于高光谱成像的蔬菜新鲜度检测初探

吴琼¹, 朱大洲¹, 王成¹, 马智宏², 陆安祥², 王纪华^{2*}

(1. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097;

2. 北京农产品质量检测与农田环境监测技术研究中心, 北京 100097)

摘要: **目的** 利用高光谱成像技术对蔬菜新鲜度检测进行了初步探讨。**方法** 采集了小白菜、菠菜、油菜、娃娃菜这四种蔬菜的叶片, 分别在失水 0、10、24、48 h 的状态下, 利用成像光谱仪采集其光谱图像, 对蔬菜叶片进行对比分析。**结果** 蔬菜在失水过程中, 高光谱图像能反映其外观形态及内部叶绿素的变化, SPAD 值预测模型的相关系数 $r=0.76$ 。**结论** 利用高光谱成像来辨别蔬菜叶片新鲜度是可行的。

关键词: 蔬菜; 高光谱成像; 新鲜度; 无损检测

Preliminary study on detection of vegetable freshness based on hyperspectral imaging

WU Qiong¹, ZHU Da-Zhou¹, WANG Cheng¹, MA Zhi-Hong², LU An-Xiang², WANG Ji-Hua^{2*}

(1. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China;

2. Beijing Research Center for Agri-food Testing and Farmland Monitoring, Beijing 100097, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the feasibility of determination of vegetable freshness by hyperspectral imaging. **Methods** Four kinds of vegetables including pakchoi cabbage, spinach, rape, and baby cabbage were analyzed. The hyperspectral images of vegetable leaves were collected at 0, 10, 24, and 48 h of water loss, respectively. Finally the characteristics of vegetable leaves were analyzed. **Results** Hyperspectral images could reflect the outer shape and inside chlorophyll changes of vegetables during the water loss. The correlation coefficient of the calibration model was 0.76. **Conclusion** It indicated that the detection of vegetable freshness by hyperspectral imaging was feasible.

KEY WORDS: vegetable; hyperspectral imaging; freshness; non-destructive detection

1 引言

蔬菜新鲜度的检测对于流通过程中质量控制具有重要意义。目前, 农产品新鲜度检测技术的研究主要集中在肉禽、水果等方面, 刘慧等人^[1]针对切花采后生理变化及保鲜技术进行了研究。林亚青等人^[2]对猪肉新鲜度检测方法进行了综述。张文昭等人^[3]对禽蛋新鲜度检测进行了探索。叶旭君等人^[4]基于紫外-可见-近红外光谱技术进行了蔬菜细胞 ATP 含量

的无损检测研究, 结果表明: 农产品细胞内的 ATP 含量水平直接反映细胞的活性, 在产后贮藏过程中可作为农产品新鲜度和品质的一种评价指标。

近年来, 高光谱成像技术在农产品安全检测方面的应用取得了良好效果, 并在不断深入发展中^[5]。高光谱成像技术图谱合一的优点, 使其在形态检测、内部品质诊断方面具有较大潜力, 在研究个体差异性方面具有较大优势, 最初主要用于航空、卫星遥感, 随着其成本的降低, 为近地应用提供了可能。

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201003008)、国家自然科学基金项目(31201125)

*通讯作者: 王纪华, 研究员, 主要研究方向: 农业智能信息决策平台技术。E-mail: wangjh@nrcita.org.cn

将高光谱成像技术应用到蔬菜、农畜产品、食品的品质与安全性检测中,可以得到产品内外品质的全面检测信息,其光谱技术可以检测农畜产品的物理结构和化学成分等,图像技术能全面反映农畜产品的外在特征。这种内外品质信息兼备的特征,使得高光谱图像技术在农产品无损检测方面具有较大的应用前景^[6]。

现阶段利用高光谱成像技术进行农产品品质的无损检测还处于研究和发展阶段,随着光谱分辨率的不断提高,高光谱成像能够记录的农产品品质信息会越来越丰富。因此,本文采用高光谱成像技术对蔬菜的新鲜度进行分析。

2 材料与方法

2.1 实验设计

选用小白菜、菠菜、油菜、娃娃菜这四种蔬菜的叶片在室内进行实验。每种蔬菜取具有代表性的6片叶,然后在常温下放置使其失水,分别在失水0、10、24、48 h的四个时间段,进行高光谱图像信息采集,其中失水0 h即对采集来的新鲜蔬菜立即测量。在采集四种蔬菜叶片的光谱图像信息时,每个叶片要正、反面各采集一次,之后提取光谱反射率取平均值。在采集蔬菜叶片的高光谱图像的同时,用机器视觉技术采集四种蔬菜叶片的可见光图像,以便后续对机器视觉成像效果与光谱成像效果的差异性进行对比分析,同时采用SPAD-502叶绿素仪测量蔬菜叶片的相对叶绿素值。

2.2 高光谱成像系统

本研究采用的推扫式成像光谱仪(pushbroom imaging spectrometer, PIS)是由北京农业信息技术研究中心与中国科技大学联合研制,该系统由成像光谱仪、电机、导轨、可调式卤灯、外接笔记本电脑组成。光谱仪在应用之前,委托中科院安徽光机所进行定标和测试,确定光谱仪每个通道的波长位置、光谱响应函数、辐射精度、空间定位等,以后会根据仪器性能的变化,相应调整定标参数并定期定标,具体性能参数见表1。

2.3 蔬菜叶片光谱图像的采集和处理

本实验选择晚上19:00以后在密闭实验室进行,保证室内暗室环境,采用卤钨灯照射蔬菜叶片样品,避免日光灯及其他光源干扰,对4组不同失水时间段

表1 成像光谱仪的主要性能参数

Table 1 The key performance parameters of spectrometer

参数	数值
光谱范围	400~1000 nm
光谱分辨率	2 nm
空间分辨率	0.5 mm
光谱采样间隔	0.7 nm
像元尺寸	7.4 μm×7.4 μm
视场角	16°
图像分辨率	1400×1024

下的四个品种的蔬菜叶片进行正、反面光谱图像采集,每个品种测量6片叶,共24片叶。样品到光谱仪镜头的垂直高度为65 cm,导轨速度为2 mm/s,在卤钨灯光源照射下,成像光谱仪的成像范围宽度约为18 cm,设置好采集软件的各个参数,成像光谱仪的积分时间为160 ms,帧频为5 帧/s,如图1所示。

成像光谱仪采集的原始数据是BMP格式的图片,要拼接成BIL格式的图像才可使用。处理过程:(1)用自编的Matlab程序把BMP格式的图片拼接成BIL格式的整幅影像;(2)采用遥感影像处理软件EVNI 4.4(the environment for visualizing images)从原始的光谱图像中进行光谱提取。分别提取叶片叶基、叶中、叶尖光谱取平均值,作为目标叶的原始光谱值。

反射率计算方法:分别对每种蔬菜单叶正、反面采集提取的高光谱反射率值,与同步测定的白板光谱反射率进行换算,计算出目标物的光谱反射率采用下式(1)计算。



图1 蔬菜菜叶实验装置图

Fig. 1 Experimental apparatus picture of vegetable leaves

$$\text{Ref}_{\text{目标}} = (\text{Rad}_{\text{目标}} / \text{Rad}_{\text{白板}}) \times \text{Ref}_{\text{白板}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, $\text{Ref}_{\text{目标}}$ 为通过白板反射率求得的目标物光谱反射率数据; $\text{Rad}_{\text{目标}}$ 为通过光谱仪测得的目标物辐射亮度值; $\text{Rad}_{\text{白板}}$ 为通过光谱仪测得的白板的辐射亮度值; $\text{Ref}_{\text{白板}}$ 是已知的白板标准反射率值。

2.4 叶片叶绿素含量测定

每种蔬菜选取 6 片叶, 每片叶从叶基到叶尖, 使用叶绿素含量测定仪 SPAD-502, 测量四种蔬菜叶片的叶绿素相对含量或“绿色程度”。在测量光谱的蔬菜单叶正、反面对应位置测量单叶叶绿素的相对值, 分别在叶基、叶中、叶尖各测试 3 次, 取平均值, 计算 SPAD 值。

3 结果与讨论

3.1 不同品种蔬菜叶片的光谱图像对比分析

高光谱成像数据立方体由三部分组成: 空间 X 维、空间 Y 维、光谱维, 空间 X 维和空间 Y 维构成图像维。利用 R、G、B 三基色这三个分量来表征颜色是很自然的一种格式, 目前多数的图像采集设备都是以 CCD 技术为核心, 直接感知色彩的 R、G、B 三个分量, 这也使得三基色模型成为图像成像的基础。R、G、B 三原色的特征波长分别为 680、550、450 nm。本文在 ENVI 里从高光谱数据立方体中提取出不同蔬菜叶片的 RGB 高光谱图像, 四种蔬菜叶片高光谱成像图分别如图 2 中(1)、(2)、(3)、(4)所示。从图中我们可以很直观地分析辨别四种蔬菜的叶色变化、叶片形态、叶面积, 进而发现小白菜、菠菜、油菜、娃娃菜四种蔬菜品种叶形的差异, 说明利用高光谱成像技术可直观对蔬菜叶片的种类进行定性识别分析。

3.2 不同失水时间的高光谱成像效果与机器视觉图像处理结果对比分析

以小白菜叶片为例, 采集小白菜叶片的机器视觉图, 再采集同个叶片的高光谱成像数据, 在 ENVI 软件里提取 R、G、B 三原色特征波长(680、550、450 nm)下的图像, 重建获得 RGB 图像, 然后对两者进行比较分析。小白菜叶片的机器视觉图与高光谱 RGB 成像效果对比图如图 3(1)、3(2)所示。从两图中可知: 随着叶片在四个时间段下失水程度的加深, 机器视觉图与高光谱成像图都可以清晰地表示出小白菜叶片分别在失水 0、10、24、48 h 的不同时间段

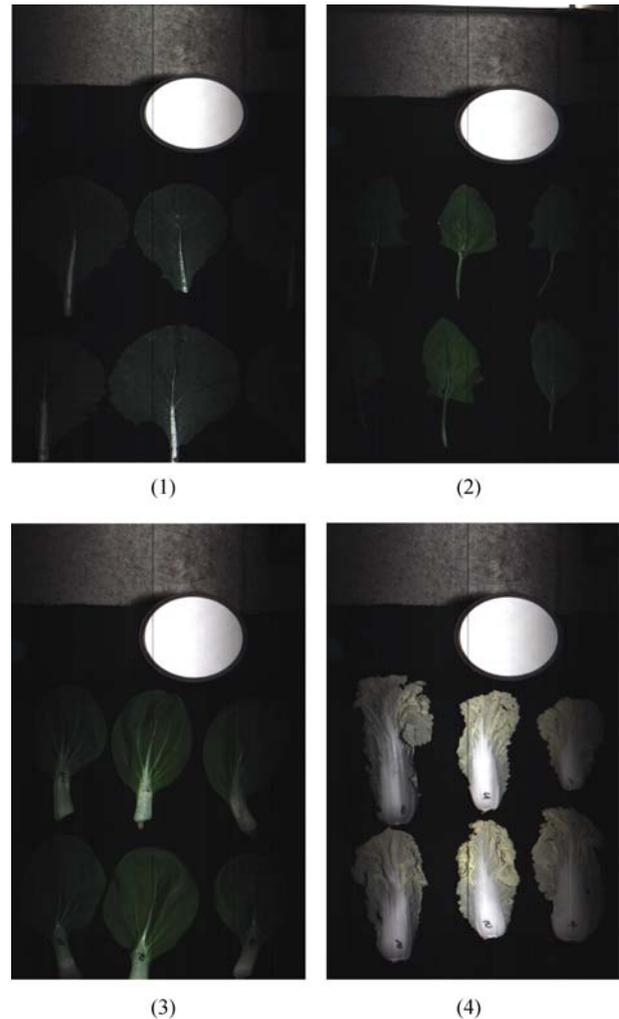


图 2 样品叶片 RGB 成像图

(1)小白菜(2)菠菜(3)油菜(4)娃娃菜

Fig. 2 Extracted RGB image of samples

(1) pakchoi cabbage (2) spinach (3) rap (4) baby cabbage

下的叶片状态。失水时间越长, 叶片萎缩, 面积变小, 叶片周围发生褶皱。进一步将蔬菜叶片的高光谱成像图进行局部放大, 圈定感兴趣的区域, 提取其中的光谱原始光强值, 能够进一步结合蔬菜叶片内部的组分信息变化对蔬菜叶片新鲜度进行分析。达到图谱合一化, 这是其他单一分析技术难以达到的, 表明基于高光谱成像可以从图像和光谱两个角度对小白菜叶片的新鲜度进行分析, 效果要优于机器视觉。

3.3 不同失水时间下四种蔬菜叶片平均 SPAD 值对比分析

分别在失水 0、10、24、48 h 四个时间段里, 对小白菜、菠菜、油菜、娃娃菜四种蔬菜叶片的 SPAD



图 3(1) 小白菜叶片不同失水时间段下的机器视觉图
Fig. 3(1) The machine vision images of pakchoi cabbage under four different water loss status

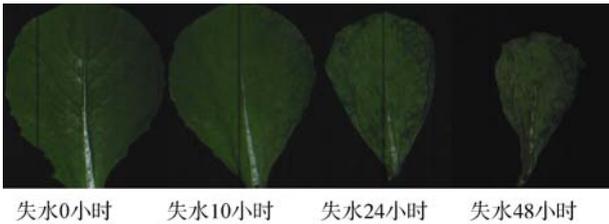


图 3(2) 小白菜叶片不同失水时间段下的高光谱成像图
Fig. 3(2) Hyperspectral images of pakchoi cabbage under four different water loss status

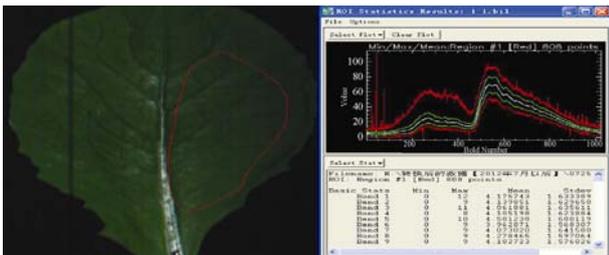


图 4 小白菜叶片光谱提取效果图

Fig. 4 The image and spectra of pakchoi cabbage extracted from hyperspectral images

值取平均值进行分析, 如表 2 所示, 其中娃娃菜由于颜色太黄, 有褶皱, 无法测定其 SPAD 值, 故不进行分析。结果表明: 小白菜、菠菜随着失水时间的加剧, 叶片干枯, 所测得的叶片平均 SPAD 值随着失水时间的增加而逐渐增大, 究其原因, 是由小白菜和菠菜叶片内的叶绿素随着水分的缺失而沉降, 叶绿素色素加深所致。而油菜在失水 0、10、24 h 的前三个失水时间内, 叶片叶绿素趋势变化特征基本与小白菜和菠菜一致, 均随着水分的缺失加剧, 叶片平均 SPAD 值增大, 并同时要比小白菜和菠菜的叶片平均 SPAD 值要高, 这是因为油菜的叶片要比小白菜和菠菜叶片肥厚, 叶片所含有的叶绿素值要更大些, 以上三者的叶片特征可以直观通过高光谱成像的效果得到。但在失水 48 h 的时候, 油菜的叶片平均 SPAD 值却成降低趋势, 原因可能在于油菜在失水 48 h 后, 叶片开始

表 2 四种蔬菜叶片平均 SPAD 值
Table 2 Average SPAD values of the four kinds of vegetable leaves

蔬菜品种	失水 0 h	失水 10 h	失水 24 h	失水 48 h
小白菜	30.40	36.08	45.12	47.1
菠菜	33.8	37.12	45.10	47.12
油菜	44.93	50.18	52.05	44.53

萎蔫发黄, 而不是像小白菜和菠菜叶片干枯, 成墨绿色的状态, 油菜叶片细胞含有的油性基因成分也许对水分的缺失及叶绿素的变化有影响。

3.4 蔬菜叶片叶绿素 SPAD 含量平均值综合预测模型构建

除去娃娃菜无法测得 SPAD 叶绿素含量外, 本文获取了小白菜、菠菜、油菜分别在四种失水条件下的叶片平均光谱值与相对应的 SPAD 平均值, 采用偏最小二乘法(PIS)建立 SPAD 预测模型, 模型的相关系数 $r=0.76$ 。模型结果如表 3、图 5 所示。结果表明利用高光谱成像技术提取的蔬菜高分辨率光谱与叶片的叶绿素含量具有显著的相关性, 采用高光谱成像技术可检测蔬菜的叶绿素分布状况, 从而判别蔬菜叶片的新鲜程度。

表 3 蔬菜叶片平均 SPAD 值 PLS 建模结果
Table 3 The SPAD value model results of the vegetables

主因子数	相关系数	校正标准差	预测标准差	性能标准差	相对百分误差
4	0.76	5.54	7.00	1.16	17.78

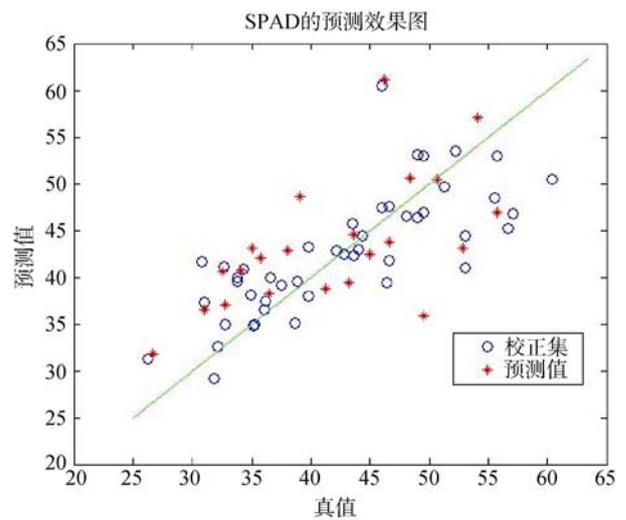


图 5 蔬菜叶片 SPAD 预测效果图

Fig. 5 The scattering plot for SPAD values of vegetable leaves

4 结 论

高光谱图像技术是图像和光谱两种技术结合的产物,可以实现对蔬菜品种及成分的检测,是多种信息融合检测果蔬综合品质的首选方法。随着该技术的成熟和应用范围的扩大,必将在更多领域发挥重要的作用。

本文获取四个蔬菜品种叶片分别在失水 0、10、24、48 h 的光谱成像图,并与同时采集的机器视觉图进行对比分析可知,蔬菜在失水过程中,高光谱图像能反映其外观形态及内部叶绿素的变化,从而达到对蔬菜叶片内外品质的综合分析,从而实现新鲜度的全面判断,这是机器视觉所无法比拟的,利用高光谱成像来辨别蔬菜叶片新鲜度是可行的。

参考文献

- [1] 刘慧, 吴秋芳, 程学清, 等. 切花采后生理变化及保鲜技术研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(6): 1644-1645.
- [2] 林亚青, 房子舒. 猪肉新鲜度检测方法综述[J]. 肉类研究, 2011, 25(5): 62-65.
- [3] 张文昭, 周文真, 刘宏喜, 等. 禽蛋新鲜度检测研究进展[J].

禽蛋新鲜度检测研究进展, 2011, 32(12): 54-56.

- [4] 叶旭君, Seiichi O, Yoshio M, 等. 基于紫外-可见-近红外光谱技术的蔬菜细胞 ATP 含量无损检测研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(4): 978-981.
- [5] 李江波, 饶秀勤文, 应义斌, 等. 农产品外部品质无损检测中高光谱成像技术的应用研究进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(8): 2021-2026.
- [6] 刘木华, 赵杰文, 郑建鸿, 等. 农畜产品品质无损检测中高光谱图像技术的应用进展[J]. 农业机械学报, 2005, 36(9): 139-142.

(责任编辑: 赵静)

作者简介



吴琼, 博士, 研究方向: 农业智能信息决策平台技术。

E-mail: wuqiong0615@sina.com



王纪华, 研究员, 主要研究方向: 农业智能信息决策平台技术。

E-mail: wangjih@nrcita.org.cn