

渗油醋胶囊高光谱快速检测技术*

石吉勇 邹小波 赵杰文 洪兆鹏 黄晓玮 朱瑶迪

(江苏大学食品与生物工程学院, 镇江 212013)

摘要: 针对渗油醋胶囊具有与合格醋胶囊相似颜色,难以用肉眼或者计算机视觉进行快速检测的问题,利用高光谱图像信息对化学成分的敏感性,采用高光谱图像技术捕捉渗油醋胶囊在430~960 nm波段下的特征信息,结合线性判别分析(LDA)、K最近邻判别法(KNN)建立渗油醋胶囊的判别模型。在K值为3、主成分因子数为2时,KNN模型对应的校正集识别率和预测集识别率分别达到100%。研究表明,高光谱图像技术可以有效表征渗油醋胶囊表面外渗成分的光谱特征,实现对渗油醋胶囊的快速检测。

关键词: 醋胶囊 渗油 高光谱技术 快速检测

中图分类号: TP391.4; TS207.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2015)07-0210-04

Rapid Determination of Oil Stained Vinegar Capsule Using Hyper-spectral Technology

Shi Jiyong Zou Xiaobo Zhao Jiewen Hong Zhaopeng Huang Xiaowei Zhu Yaodi

(School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: The oil stained vinegar capsule and the qualified vinegar capsule are of the same color, which makes it difficult to detect oil stained vinegar capsule using the naked eye or computer vision. The spectral information of hyperspectral data is sensitive to the chemical compounds of sample area, and allows quantitative/qualitative analysis of biological products. Therefore the feasibility of using hyper-spectral imaging technology for rapid determination of oil stained vinegar capsule was investigated. The hyper-spectral image data of oil stained vinegar capsule were acquired in the wavelength range of 430 ~ 960 nm, and were used to extract characteristic information of oil stained vinegar capsule. Linear discriminant analysis (LDA) and K-nearest neighbor algorithm (KNN) were used to build discriminant models for oil stained vinegar capsule. When principal component factors equaled to 2 and K levels equaled to 3, the optimal KNN model was obtained with identification rates of 100% in both training set and prediction set. The overall results show that hyper-spectral imaging technology could extract the spectral characteristics of oil stained vinegar capsule efficiently. The hyper-spectral imaging technology could be used for rapid determination of oil stained vinegar capsule.

Key words: Vinegar capsule Oil stained Hyper-spectral technology Rapid detection

引言

醋具有“酸而不涩、香而微甜、色浓味鲜”等特点,作为调味品已有千余年的历史;此外现代医学研

究证实醋有降血压、降血脂、软化血管等多种非调味功能;深得国内外消费者喜爱^[1]。近年来,醋除了以液体调味品形式食用外,已被开发成软胶囊并投放国内外市场。醋胶囊可以完全消除液体醋对

收稿日期: 2014-11-20 修回日期: 2015-01-26

* 国家自然科学基金资助项目(61301239)、江苏省杰出青年基金资助项目(BK20130010)、江苏省自然科学基金资助项目(BK20130505)、中国博士后科学基金资助项目(2013M540422、2014T70483)、江苏省博士后科研计划资助项目(1301051C)和江苏大学高级专业人才培养启动基金资助项目(13JDG039)

作者简介: 石吉勇,讲师,博士,主要从事食品、农产品品质无损检测研究,E-mail: shi_jiyong@ujs.edu.cn

通讯作者: 邹小波,教授,博士生导师,主要从事食品、农产品品质无损检测研究,E-mail: zou_xiaobo@ujs.edu.cn

腔、食道黏膜的刺激,还具有密封性好、安全性高、服用方便等优势^[2]。醋胶囊的生产过程比较复杂,大批量生产过程中不可避免地出现异形、渗油等不合格胶囊,因此有必要研究高效的醋胶囊检测方法以保障产品的品质。

目前常用的胶囊检测方法主要有人工检测和计算机视觉检测^[3-4]。人工检测主要依赖分拣工人的主观经验,利用肉眼获取胶囊图像、利用大脑识别胶囊图像、并以手工操作的方式剔除不合格胶囊。人工视觉检测的效率低、精度差,难以满足企业大规模、标准化的生产需求。计算机视觉检测主要利用相机获取胶囊图像、利用计算机结合图像处理算法对胶囊图像进行处理和识别、利用高速气流喷嘴等机械装置剔除不合格胶囊^[5-6]。计算机视觉检测法具有速度快、精度高、重现性好等优势,已被广泛用于异形、破损等缺陷胶囊的快速检测^[7]。

渗油胶囊往往是由于胶囊制丸过程中,两片胶片密封不严引起内容物外渗造成的^[8]。渗油醋胶囊的外观无明显缺陷,胶囊表面的外渗内容物(主要为红花油)颜色与合格胶囊的颜色基本一致,使得人工检测和计算机视觉检测方法均难以有效区分渗油醋胶囊^[9]。已发表的文献表明,光谱对食品、农产品中的化学成分具有一定的敏感性^[10-12]。本文采用高光谱图像技术获取渗油醋胶囊的图像信息和光谱信息,尝试捕捉渗油醋胶囊外渗内容物的光谱特征以实现渗油醋胶囊的快速检测。

1 材料与方法

1.1 试验材料

合格醋胶囊 252 粒,渗油醋胶囊 252 粒,均来自镇江市恒顺生物工程有限公司。

1.2 高光谱图像采集

高光谱图像数据用基于光谱仪的高光谱图像系统采集。高光谱图像采集系统由高光谱摄像机(ImSpector V10E 型,芬兰)、150W 光纤卤素灯(Fiber-Lite DC950 型,美国)、精密电控平移台(Zolix SC30021A 型,中国)和计算机等部件组成。为了使高光谱图像采集系统处于稳定的工作状态,数据采集前对高光谱成像系统预热 30 min 以上^[13]。醋胶囊高光谱图像采集时,用洁净的镊子将胶囊放置于带凹槽的酶标板并置于电控平移台上。打开 SpectralCube 软件(Spectral Imaging,芬兰),设定高光谱相机曝光时间为 50 ms,电控平移台移动速度为 1.25 mm/s。数据采集时,线阵探测器沿光学焦面垂直方向进行横向扫描,获取条状空间上每个像素点在各个波段下的光谱信息;电控平移台载样本向前

移动,确保整个样本区域都被线阵探测器扫描到。采集完成后得到光谱范围为 431.0 ~ 962.4 nm,光谱采集间隔为 0.86 nm,包含 618 个波长的高光谱图像数据块,如图 1 所示。

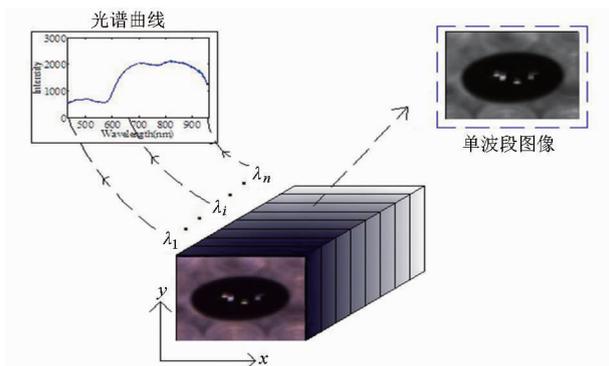


图1 高光谱图像数据块

Fig. 1 Hyper-spectral imaging data cub

1.3 高光谱图像标定

由于受光源、环境条件等因素的影响,采集到的高光谱原始数据往往存在噪声和失真等情况,如在外界光分布较弱或某些特定波段下,采集到的图像具有较大的噪声,原因在于高光谱采集传感器中存在暗电流,并且目标样本在各个波段下的反射率有较大差异,因而有必要对采集到的图像进行标定^[14]。

在样本采集之前,先扫描标准白色校正板(99%光照反射率)得到白标定图像 W ;然后把摄像机的快门关闭,采集得到黑标定图像 B ;最后对原始高光谱图像进行标定,从而将原始图像转换为标定图像,转换公式为

$$R = \frac{I - W}{W - B} \quad (1)$$

式中 R ——标定后的高光谱图像

I ——原始高光谱图像

2 结果与讨论

2.1 醋胶囊高光谱图像的光谱信息提取

采用 ENVI 4.5 (ITT Visual Information Solutions, Boulder, CO, 美国)提取醋胶囊高光谱图像的光谱信息。在提取高光谱图像的光谱信息时,首先在醋胶囊图像中避开高亮区域,定义一个 15 像素 × 15 像素的正方形感兴趣区域,如图 2 所示;其次,提取各个波段对应的图像信息,统计各个波段图像中正方形感兴趣区域内的平均灰度;最后,以感兴趣区域内的平均灰度作为各个波段对应的光谱信息。对 504 个醋胶囊的光谱信息提取完毕后,得到 504 × 618 的原始光谱数据集,如图 3 所示。

从图 3 可以看出,在 430 ~ 750 nm 波段范围内合格胶囊和渗油胶囊的光谱曲线形状一致,且光谱

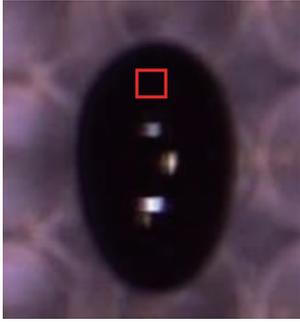


图2 胶囊高光谱图像提取光谱信息区域

Fig.2 ROI region in hyper-spectral image of soft capsules

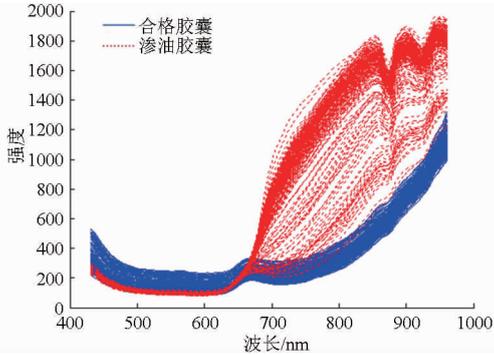


图3 胶囊高光谱图像的感兴趣区域光谱曲线

Fig.3 Spectral profile from hyper-spectral image of ROI region in soft capsule

强度处于同一范围内,表明利用该波段的光谱信息难以有效地对二者进行区分。此外,肉眼或者常规计算机视觉主要获取胶囊在 R 波段(700 nm)、 G 波段(546 nm)、 B 波段(435 nm)下的光信号,图3中合格胶囊和渗油胶囊的光谱在430~750 nm波段范围内均相互重叠,这也从另一方面证实了人工或者常规计算机视觉技术难以检测渗油胶囊。从图3中可以看出,当波长大于750 nm时,渗油胶囊的光谱曲线形状和信号强度均与合格胶囊明显不同,特别是在850~950 nm波段内渗油胶囊的光谱出现了相应的吸收峰,这表明850~950 nm波段下的光谱信息能够很好地表征醋胶囊的外渗成分,因此主要利用850~950 nm波段下的光谱信息进行后续处理。

2.2 渗油醋胶囊判别模型的建立

在数据建模过程中,简洁的建模方法结合少量的输入变量往往能得到稳定性和鲁棒性更好的模型^[15]。由于合格醋胶囊和渗油醋胶囊在850~950 nm波段的光谱曲线差异明显,因此本文主要尝试采用常规的线性判别方法(LDA)结合尽量少的主成分变量数来建立渗油醋胶囊判别模型。

从252个合格醋胶囊中随机取168个合格醋胶囊样本,从252个渗油醋胶囊中随机取168个渗油醋胶囊样本,组成包含336个样本的校正集;余下的84个合格醋胶囊和84个渗油醋胶囊组成包含168

个样本的预测集。

2.2.1 渗油胶囊的LDA判别模型

采用LDA结合主成分分析建立了渗油醋胶囊判别模型^[16]。主成分因子数与校正集、预测集识别率的对应关系如图4所示,当主成分因子数为2时,LDA判别模型对校正集和预测集的识别率都达到最优,分别达到99.70%和99.40%。LDA模型中合格醋胶囊和渗油醋胶囊的识别情况如表1所示。校正集和预测集中的合格醋胶囊全部被正确识别,而校正集、预测集中均有1个渗油醋胶囊被错误地识别为合格醋胶囊。渗油醋胶囊被误判为合格醋胶囊的原因大致有:一是渗油醋胶囊的外渗成分较少,导致渗油醋胶囊的光谱非常接近合格醋胶囊的光谱,如图3中所述,有少量渗油醋胶囊光谱曲线与合格醋胶囊的光谱曲线重合,而LDA模型无法有效地区分二者的光谱信息;另一方面渗油胶囊的外渗成分在胶囊的表明分布不均匀,定义的感兴趣区域没有完全覆盖到胶囊的外渗区域。

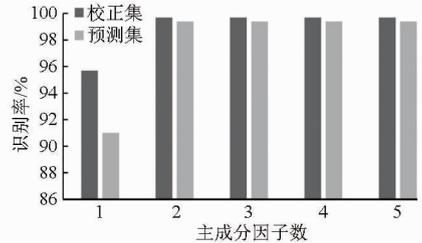


图4 LDA判别模型在不同主成分下训练和预测的结果

Fig.4 Discriminating results of LDA model in calibration set and prediction set

表1 线性判别分析模型校正和预测结果

Tab.1 Recognition results of LDA in training set and prediction set

样本集	类型	数量	正确识别数	错误识别数	总体识别率/%
校正集	合格	168	168	0	99.70
	渗油	168	167	1	
预测集	合格	84	84	0	99.40
	渗油	84	83	1	

2.2.2 渗油胶囊的KNN判别模型

采用K最近邻判别法(KNN)结合主成分分析建立了渗油醋胶囊判别模型^[17]。研究采用交叉验证过程来优化K值(1、3、5)和主成分因子数(1、2、3、4、5)以获得最佳的识别模型。表2显示,当K值为3、主成分因子数为2时,校正集识别率和预测集识别率分别为100%。结果表明利用K最近邻算法可以把合格软胶囊和渗油软胶囊有效区分开来。

3 结束语

首先利用高光谱图像技术扫描渗油胶囊在

表2 K最近邻法模型校正和预测结果

Tab.2 Recognition results of KNN in training set and prediction set

样本集	类型	数量	正确识别数	错误识别数	总体识别率/%
校正集	合格	168	168	0	100
	渗油	168	168	0	
预测集	合格	84	84	0	100
	渗油	84	84	0	

430 ~ 960 nm 波段范围内的光谱特征,得到渗油醋酸囊对应的特征波段为 850 ~ 950 nm;其次,采用 K 最近邻算法结合 850 ~ 950 nm 波段下的光谱信息建立了渗油醋酸囊的判别模型,模型对应的校正集识别率和预测集识别率分别为 100%。研究表明,高光谱图像技术可以有效表征渗油胶囊表面外渗成分的光谱特征,实现对渗油胶囊的快速检测。

参 考 文 献

- 沈志远, 孙乐六, 夏蓉, 等. 功能性镇江香醋的研究与产业化探讨[J]. 中国调味品, 2012, 37(9):5-7.
Shen Zhiyuan, Sun Leliu, Xia Rong, et al. The research and industrialization analysis of the functional Zhenjiang vinegar[J]. China Condiment, 2012, 37(9):5-7. (in Chinese)
- 吴卫明, 吴新宇. 醋酸囊的研究现状[J]. 江苏调味副食品, 2009, 26(3):22-24.
Wu Weiming, Wu Xinyu. Research status of vinegar capsule[J]. Jiangsu Condiment and Subsidiary Food, 2009, 26(3):22-24. (in Chinese)
- 李杰, 程磊, 徐建省, 等. 基于彩色图像插值算法的胶囊机器人微视觉[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(2):503-506, 509.
Li Jie, Cheng Lei, Xu Jiansheng, et al. Micro-vision of capsule robot based on color image interpolation algorithm[J]. Computer Measurement & Control, 2014, 22(2):503-506, 509. (in Chinese)
- 王娟, 周永霞, 徐冰俏, 等. 图像处理在胶囊外形缺陷检测中的应用[J]. 中国计量学院学报, 2012, 23(3):239-245.
Wang Juan, Zhou Yongxia, Xu Bingqiao, et al. Image processing in capsule shape defect detection[J]. Journal of China University of Metrology, 2012, 23(3):239-245. (in Chinese)
- 郑瀚, 韦文斌, 齐子城. 机器视觉检测胶囊图像的预处理研究[J]. 电子科技, 2012, 25(12):133-136.
Zheng Han, Wei Wenbin, Qi Zicheng. Research on the preliminary treatment of detected capsule image by machine vision[J]. Electronic Science and Technology, 2012, 25(12):133-136. (in Chinese)
- 吴宏杰, 季剑兰, 朱音, 等. 一种胶囊缺陷检测系统的设计与研究[J]. 电脑知识与技术, 2010, 28(6):8093-8094, 8100.
Wu Hongjie, Ji Jianlan, Zhu Yin, et al. The design and research of capsule defect detection system[J]. Computer Knowledge and Technology, 2010, 28(6):8093-8094, 8100. (in Chinese)
- Islam M J, Ahmadi M, Sid-Ahmed M A. Image processing techniques for quality inspection of gelatin capsules in pharmaceutical applications[C]//2008 10th International Conference on Control Automation Robotics & Vision, 2008:862-867.
- 李彤彤. 改善含中草药提取物的软胶囊渗油问题[J]. 天津药学, 1999, 11(3):69-70.
- 周永治, 陆培基. 恒顺醋胶囊的研制[J]. 江苏调味副食品, 2000(3):11-15.
- 邹小波, 陈正伟, 石吉勇, 等. 基于近红外高光谱图像的黄瓜叶片色素含量快速检测[J]. 农业机械学报, 2012, 43(5):152-156.
Zou Xiaobo, Chen Zhengwei, Shi Jiyong, et al. Rapid detection of cucumber leaves pigments based on near infrared hyperspectral image technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(5):152-156. (in Chinese)
- 陈树人, 邹华东, 吴瑞梅, 等. 基于高光谱图像技术的稻田苗期杂草识别[J]. 农业机械学报, 2013, 44(5):253-257, 163.
Chen Shuren, Zou Huadong, Wu Ruimei, et al. Identification for weedy rice at seeding stage based on hyper-spectral imaging technique[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5):253-257, 163. (in Chinese)
- 章海亮, 高俊峰, 何勇. 基于高光谱成像技术的柑橘缺陷无损检测[J]. 农业机械学报, 2013, 44(9):177-181.
Zhang Hailiang, Gao Junfeng, He Yong. Nondestructive detection of citrus defection using hyper-spectra imaging technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(9):177-181. (in Chinese)
- Shi Jiyong, Zou Xiaobo, Zhao Jiewen, et al. Nondestructive diagnostics of nitrogen deficiency by cucumber leaf chlorophyll distribution map based on near infrared hyperspectral imaging[J]. Scientia Horticulturae, 2012, 138:190-197.
- Zou Xiaobo, Shi Jiyong, Hao Limin, et al. In vivo noninvasive detection of chlorophyll distribution in cucumber (*Cucumis sativus*) leaves by indices based on hyperspectral imaging[J]. Analytica Chimica Acta, 2011, 706(1):105-112.
- Zou Xiaobo, Zhao Jiewen, Povey Malcolm J W, et al. Variables selection methods in near-infrared spectroscopy[J]. Analytica Chimica Acta, 2010, 667(1-2):14-32.
- Wang Yong, Mei Minghua, Ni Yongnian, et al. Combined NIR/MIR analysis: a novel method for the classification of complex substances such as *Illicium verum Hook. f.* and its adulterants[J]. Spectrochimica Acta Part A-Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2014, 130:539-545.
- Roberto M, Danilo M, Massimo C, et al. Detection of mold-damaged chestnuts by near-infrared spectroscopy[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 93:83-90.