

文章编号:1002-2082(2011)01-0085-06

快速中药光谱成像检测分析系统设计

李启湛¹, 庞其昌¹, 赵 静^{1,2}, 郑茜文¹, 王 琳¹, 崔代军¹

(1. 暨南大学 光电信息与传感技术广东普通高校重点实验室, 广东 广州 510632;

2. 华南农业大学 应用物理系, 广东 广州 510640)

摘要: 为了实现中药的快速、无损、实时检测和分析, 设计了一个中药光谱成像检测分析系统, 实现了在计算机上通过控制界面对光谱成像硬件系统中的滤光器和摄像机等关键器件的同步、联动控制, 以获取一定波长间隔的系列光谱图像, 经过软件的分析处理, 得到中药样品的二维特征光谱曲线和空间三维成分分布曲线, 实现了中药成分的定性和空间分布的实时检测。

关键词: 光谱成像; 中药检测分析; 图像处理; 光谱曲线; VC++

中图分类号: TP23; O433.4

文献标志码: A

Detection and analysis for spectral imaging TCM assessing

LI Qi-zhan¹, PANG Qi-chang¹, ZHAO Jing^{1,2}, ZHENG Xi-wen¹, WANG Lin¹, CUI Dai-jun¹

(1. Key Laboratory of Optoelectronic Information and Sensing Technologies of Guangdong Higher Education Institutes, Jinan University, Guangzhou 510632, China; 2. Department of Applied Physics, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Spectral imaging traditional Chinese medicine (TCM) assessing method can be used to evaluate the quality of the medicine. In order to realize the fast, non-destructive and real-time detection and analysis of TCM, software is designed to control the components and take the spectral images. In the system, there are two key components, VariSpec Liquid Crystal Tunable Filter and CCD camera, which can be controlled by the software. The CCD camera obtains a series of spectral images with a specific wavelength interval by controlling the two components simultaneously and automatically. In addition, the software can draw two-dimensional characteristic spectrum curve and spatial distribution curve of three-dimensional of the TCM after processing the original spectral images. The results show that the software is available to control the components to detect the content of the TCM and draw its spatial distribution.

Key words: spectral imaging; TCM detection and analysis; image processing; spectrum curve; VC++

引言

光谱分析技术具有快速、灵敏、准确等一系列优点, 而且具有试样制备简单, 对试样损伤小, 不产生化学和生物污染等特点。经典的光谱分析一般只能给出试样的总体或平均分析信息, 无法得到“定

位”信息, 只有将光谱分析和图像分析有机地结合起来才能达到上述要求。因此, 光谱成像技术便应运而生^[1-2]。

为了实现中药快速、无损、实时的检测和分析, 本文在搭建中药光谱检测硬件系统的基础上, 设计

收稿日期: 2010-04-22; 修回日期: 2010-05-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(60908038)

作者简介: 李启湛(1985-), 男, 广东佛山人, 硕士研究生, 主要从事光谱成像中药检测软件开发和数据处理研究。

E-mail: john.lee85@hotmail.com

了基于VC++的软件在自主开发的界面上实现对硬件的同步与联动控制,并对获取的中药光谱图像进行数据处理,拟合出样品活性成分的二维光谱曲线和空间三维分布图,以便直观地获得中药样品成分的定性和空间分布信息。

1 系统原理与硬件设计

1.1 系统原理

本文中设计的快速中药光谱成像检测系统其原理及构成如图1所示。紫外光源发出的光照射到待测中药样品上,激发样品发出的荧光进入光学镜头,经透镜会聚后通过液晶滤光器,从滤光器出射的单色光信号由摄像机转换为电信号,并以图像的形式保存于计算机中,最后计算机对采集的图像进行处理,绘制出包含中药活性成分信息的二维特征光谱及包含活性成分空间分布信息的三维光谱曲线。

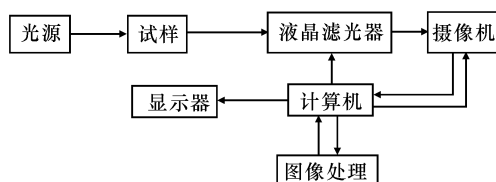


图1 中药光谱成像检测分析系统

Fig. 1 Detection and analysis system for spectral imaging TCM assessing

1.2 核心器件选择

系统主要硬件有光源、分光器、接收器及用于图像采集和光谱分析的计算机等^[3-4]。

本文中根据系统设计和实际检测的需要选择短波紫外光源,经过多次实验证明光源功率为8 W的直管型热阴极低压汞灯可基本满足要求。

目前的分光器可以分为推扫式和凝视型两类,基于本设计所需视场不大,为了易于实现系统组建和后期数据处理,采用凝视型,即非空间色散型滤光器——VariSpec电可调液晶滤光器(liquid crystal tunable filter, LCTF)。滤光器的光谱分辨率可达到0.5 nm,光谱带宽10 nm,光谱覆盖范围从400 nm~1 100 nm,接收半角宽度为7.5°。为了配合凝视型分光器,选用Microvision的MV130UM工业黑白摄像机作为二维接收器,对样品直接成像。摄像机的曝光时间可调,最大分辨率为1 280 × 1 024,最大采集帧率为10 帧/s。

2 系统的软件设计

从系统构成图可知,系统软件的主要功能是实

现光谱图像的检测和光谱图像的分析。本文设计的软件可以满足硬件同步与联动控制的要求,实现光谱图像的检测;对获取的中药光谱图像进行二维、三维的分析处理。下面对其进行具体介绍。

2.1 滤光器与摄像机的同步与联动控制

为了实现快速、便捷、面向用户的自动检测过程,本设计实现了对两个分立的器件进行同步控制和自动摄取。

滤光器的工作原理利用了液晶的双折射特性,当偏振光通过液晶材料时,o光和e光满足相干条件,发生干涉,干涉波长由o光和e光的光程差(即相位差)决定。相位差可以通过电压进行控制,因此施加不同的电压,就可以使不同波长的光发生干涉,从而实现滤光的功能。利用这一工作原理,滤光器的控制由软件实现对其施加不同的电压,达到分光的效果。对滤光器的软件控制还包括设置波长范围、波长间隔、波长变换时间间隔。

摄像机的功能是将光信号转换为电信号,并以图片的形式保存在计算机存储器指定的位置,以便进行后续的分析处理。摄像机的应用软件中带有SDK二次开发软件,通过设计实现图像尺寸和格式、曝光时间、拍摄时间间隔、保存路径等参数的编程控制。

液晶滤光器和摄像机的同步控制界面设计如图2所示^[5-6]。软件界面左边和右边的对话框可分别设置摄像机和滤光器的各个参数。为实现同步控制,需把摄像机拍摄时间间隔与滤光器的波长变换时间间隔设为相等。

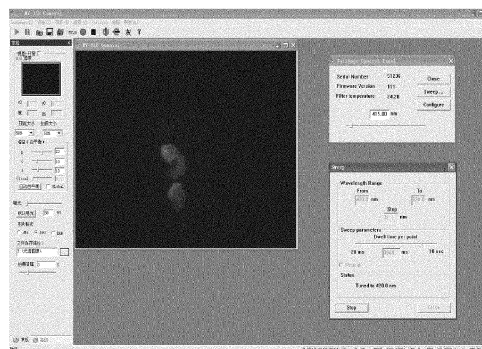


图2 控制界面

Fig. 2 Control interface

2.2 绘制二维、三维光谱曲线的软件设计

不同物质成分具有不同特征光谱,二维光谱曲线可以确定中药样品的光谱特征,如峰数、峰值、峰位、峰宽、相对峰高等,进而分辨出不同种类的中药;三维光谱曲线是以图像中每个像素点的位置坐

标为自变量,对应的灰度值为函数,以伪彩的形式直观地显示中药样品活性成分的空间分布。通过对光谱曲线的分析,得到中药样品成分的定性和空间分布信息,实现中药成分的实时检测。在VC++环境下要获得二维、三维曲线需要借助一些控件来实现,二维曲线的绘制使用了TeeChart8绘图控件,而三维曲线的获得则使用了VC++与Matlab混合编程(COM)。

2.2.1 边缘检测

在检测过程中拍摄得到的光谱图像如图3所示。要对光谱图像进行处理,首先必须对图像进行分割。由于不同药材光谱图像差别较大,使得普通的基于固定阈值的分割方法无法满足自动分割的需要。本文首先采用Canny算法对光谱图像进行边缘检测,以提取图像的轮廓来达到图像分割的目的。利用Canny算子进行边缘检测主要包括的过程有利用高斯函数进行低通滤波、计算梯度的幅值及方向、对梯度幅值进行“非极大值抑制”和双门限检测等。



图3 光谱图像

Fig. 3 Spectral image

1) 图像滤波

在样品光谱图像的拍摄过程中难免产生背景噪声,这些噪声会大大影响检测结果的准确性。为了消除噪声对检测结果的干扰,对图像进行以下滤波处理。输入图像通过高斯函数进行平滑,抑制图像噪声

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

其梯度矢量为

$$\nabla G = \begin{bmatrix} \partial G / \partial x \\ \partial G / \partial y \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: σ 为平滑参数, σ 较小时,边缘定位精度高,但图像平滑作用较弱,抑制噪声的能力差; σ 较大时,导致高斯平滑模板增大,不仅使边缘位置偏移严重,还增加了运算量, σ 一般取 110~210。

2) 计算梯度的幅值和方向

梯度计算完成对平滑后的数据阵列的梯度幅值和梯度方向的计算。Canny算法采用 2×2 邻域一阶偏导的有限差分来计算平滑后的图像的梯度幅值和方向, x 方向和 y 方向偏微分的一阶近似通过下式得到

$$P_x = \frac{1}{2} \times \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}, P_y = \frac{1}{2} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

梯度的大小和方向计算公式如下

$$M(i, j) = \sqrt{P_x^2[i, j] + P_y^2[j, i]} \quad (4)$$

$$\theta(i, j) = \arctan(P_x[i, j] / P_y[i, j]) \quad (5)$$

“非极大值抑制”过程用于细化梯度幅值矩阵,寻找图像中的可能边缘点;双门限检测则是通过双阈值递归寻找图像边缘点,实现边缘提取。

以边缘检测的结果作为图像的有效区域,提取每一帧光谱图像的有效区域的灰度值进行归一化处理,以波长为横坐标,对应的灰度值为纵坐标绘制光谱曲线^[7]。软件控制界面如图4所示。

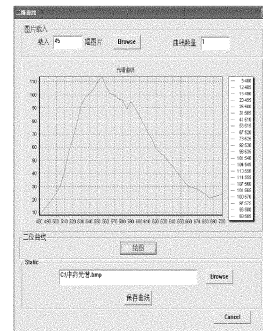


图4 二维曲线绘制控制界面

Fig. 4 Control interface of drawing two-dimensional spectrum curve

要获取三维光谱曲线,也必须对原始光谱图像进行滤波处理,以消除孤立点噪声等的影响,滤波处理同样使用高斯滤波器。

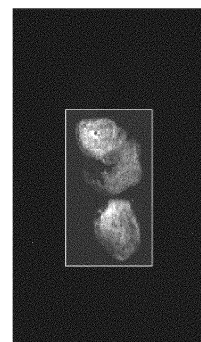


图5 原始光谱图像

Fig. 5 Original spectral image

原始光谱图像如图 5 所示, 在 VC++ 环境下设计的控制界面读入原始光谱图像, 在图像上用鼠标选取要绘制三维曲线的区域, 经过分割、滤波等处理, 把选取区域中孤立的噪声点去除, 调用 MATLAB 函数绘制三维曲线^[8-9]。图 6 即为计算机对图 5 中所选矩形区域经过处理后得到的三维光谱曲线。

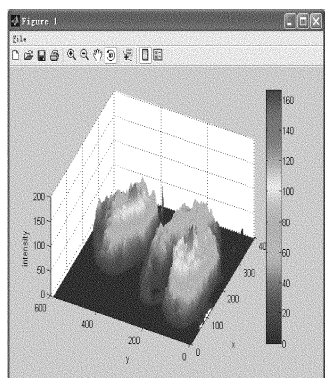


图 6 三维光谱曲线

Fig. 6 Three-dimensional spectrum curve

3 实验

3.1 二维特征光谱分析

1) 药品取样

实验选用中药元胡作为样品, 其主要成分是生物碱, 为此使用总生物碱的含量作为比较质量的指标。因不同地域引种栽培的元胡生物碱的含量存在差异, 本文共收集了中检所元胡标准品(粉末)、广州二天堂药房、杭州胡庆余堂、广州宝芝林药房、广州同济药房等 5 个不同来源的元胡药材样品进行检测。

2) 检测过程

将样品分别放置在载物台上, 紫外光照射到药品表面激发荧光, 控制液晶滤光器使照射在摄像机上的光谱取样范围为可见光范围 480 nm ~ 700 nm, 间隔为 5 nm, 曝光时间为 1 s, 拍摄时间间隔为 5 s, 接收的光信号转换为电信号, 经过视频采集卡保存于计算机中。摄像机拍摄得到的中药光谱图像如图 7 所示。为了减少外界杂散光的干扰, 装置置于暗室中操作。

3) 光谱分析

将检测过程中拍摄所得到的光谱图像使用本文所设计的二维特征光谱分析软件进行处理, 得到 5 种不同来源的元胡的二维特征光谱曲线如图 8 所示。从图中可以看出, 5 种元胡样品的二维特征光

谱都具有相同的特征峰位和特征谷位, 分别在 550 nm 和 585 nm 处, 而且特征光谱曲线具有很高的相似度。由于 5 种不同来源的元胡样品在质量方面存在明显差异, 因此它们的二维特征光谱曲线并不完全重合。

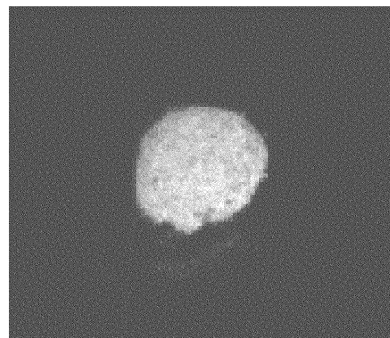


图 7 元胡 550 nm 光谱图像

Fig. 7 550 nm spectral image of corydalis tuber

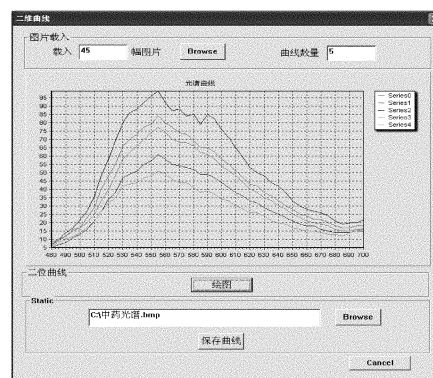


图 8 五种元胡二维特征光谱曲线

Fig. 8 Two-dimensional spectrum curve of corydalis tuber

有些中药虽属不同类别, 但却含有某种相同的活性成分, 传统的化学检测方法以一种化学成分的检测结果进行中药品种鉴定是极为不可靠的, 而二维特征光谱曲线则可以明显地鉴别出含有同种活性成分的不同中药。中药黄柏和黄连的主要活性成分中都含有小檗碱, 如图 9 和图 10 分别是黄连和黄柏在 580 nm 和 555 nm 的光谱图像, 图 11 为黄柏和黄连样品的二维特征光谱曲线, 从图中可以看出二者特征信息具有明显差异。因此二维特征光谱曲线可以定性地鉴别出不同中药, 实现中药的无损快速鉴别。

3.2 三维光谱曲线分析

西洋参与人参均属贵重中药材, 两者的主要活性成分均为皂甙, 而且西洋参所含活性成分与人参单体皂苷类别基本相同, 甚至所含皂苷元也完全一致, 均系齐墩果酸、人参二醇和人参三醇。但是,

西洋参和人参的活性成分在表皮、韧皮部、木质部的分布情况并不完全相同, 用传统的化学分析方法必须经过复杂的实验过程, 无法做到无损、快速、实时的检测。

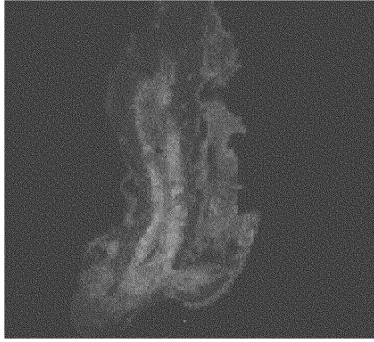


图9 黄连 580 nm 光谱图像

Fig. 9 580 nm spectral image of goldthread

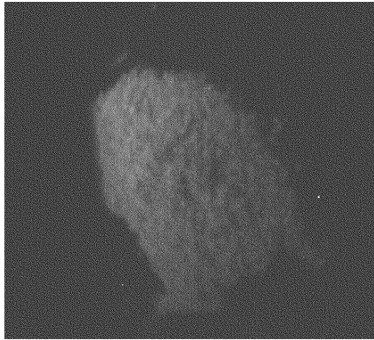


图10 黄柏 555 nm 光谱图像

Fig. 10 555 nm spectral image of phellodendron

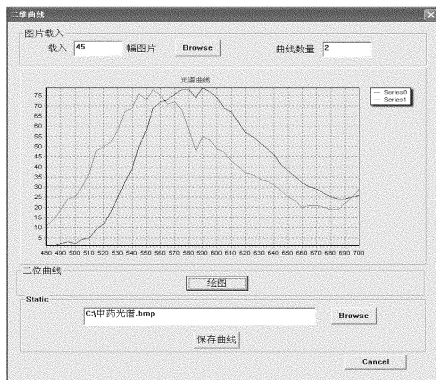


图11 黄连与黄柏二维特征光谱曲线

Fig. 11 Two-dimensional spectrum curve of goldthread and phellodendron

本文中采用三维光谱分析可以有效获取二者活性成分的空间分布情况, 图12和图13分别是西洋参的原始光谱图像和三维光谱曲线, 图14和图15分别是人参的原始光谱图像和三维光谱曲线。图13和图15分别显示了西洋参和人参的空间分布信息, 图中可以看出两者的活性成分在表皮、韧皮

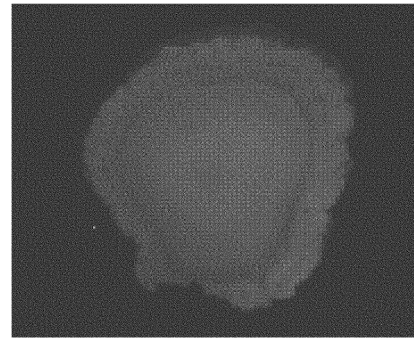


图12 西洋参原始光谱图像

Fig. 12 Original spectral image of panax quinquefolium

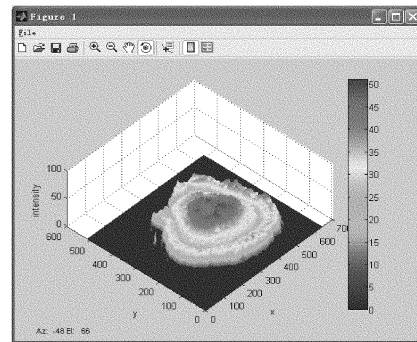


图13 西洋参三维光谱曲线

Fig. 13 Three-dimensional spectrum curve of panax quinquefolium

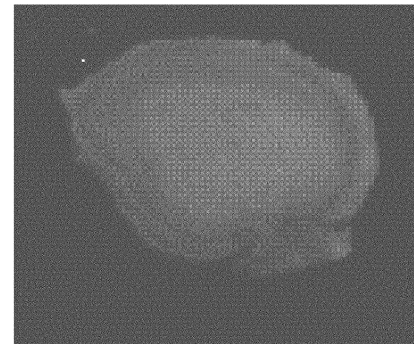


图14 人参原始光谱图像

Fig. 14 Original spectral image of ginseng

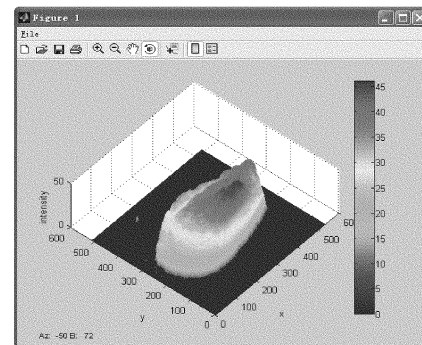


图15 人参三维光谱曲线

Fig. 15 Three-dimensional spectrum curve of ginseng

部和木质部的分布情况具有明显的区别。因此,利用三维光谱曲线分析可以有效地获得中药活性成分的空间分布信息,以便了解中药各部位的活性成分分布情况,对中药的药用价值研究具有重要的理论和实践指导意义。

4 结论与展望

本文中设计了一个中药光谱图像的检测、分析系统。检测系统采用的摄像机和滤光器在设计的软件下实现同步控制和自动摄取;分析系统实现了对采集到的图像的自动化处理。光谱检测分析系统的建立,将有利于中药品种鉴定、真伪识别以及药用成分与中药结构关系的建立。作为一种中药指纹图谱构建方法,建立中药指纹图谱数据库,开发便携式中药检测分析仪,在中药领域的应用前景极为广阔,有望广泛应用于中药的生产、科研和临床治疗等各个环节。

参考文献:

- [1] 范世福,李昀,赵友全. 光谱成像的原理、技术和生物医学应用[J]. 生命科学仪器,2004(04):24-27.
FAN Shi-fu, LI Jun, ZHAO You-quan. Principle technique, and biomedical applications of spectral imaging [J]. Life Sciences Instruments, 2004 (04): 24-27. (in Chinese with an English abstract)
- [2] RC LYON, DS LESTER, EN LEWIS, et al. Near-infrared spectral imaging for quality assurance of pharmaceutical products; analysis of tablets to assess powder blend homogeneity[J]. AAPS Pharm Sci. Tech., 2002, 3(3):1-15.
- [3] 赵静,庞其昌,马骥,等. 基于液晶滤光器的连续光谱成像测试装置[J]. 光子学报,2008,37(4):758-762.
ZHAO Jing, PANG Qi-chang, MA Ji, et al. Design of a continuous spectrum imaging apparatus based on LCTFs[J]. Acta Photonica Sinica, 2008, 37(4):758-761. (in Chinese with an English abstract)
- [4] 李庆利,肖功海,薛永祺,等. 基于显微高光谱成像的人血细胞研究[J]. 光电工程,2009,36(6):27-30.
LI Qing-li, XIAO Gong-hai, XUE Yong-qi, et al. Microscopic hyperspectral image study of human blood cells [J]. Opto-Electronic Engineering, 2009, 36(6):27-30. (in Chinese with an English abstract)
- [5] MILLER P J, HOYT C C. Multispectral Imaging with a Liquid Crystal Tunable Filter [J]. SPIE, 1994, 2345:354-359.
- [6] 左飞,万晋森,刘航. Visual C++数字图像处理开发入门与编程实践[M]. 北京:电子工业出版社,2008:275-282.
ZUO Fei, WAN Jin-sen, LIU Hang. Introduction to digital image processing development and programming practice of VC++ [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2008:275-282. (in Chinese)
- [7] JC SEGURA, MC BENITEZ, TORRE á, et al. Feature extraction combining spectral noise reduction and cepstral histogram equalization for robust ASR [C]. Seventh International Conference on Spoken, 2002:225-228.
- [8] 吴宪传,张向文. MATLAB和VC++联合编程COM研究[J]. 计算机系统应用,2009(7):175-177.
WU Xian-chuan, ZHANG Xiang-wen. A COM research on mixed programming of MATLAB and VC++ [J]. Computer Systems & Applications, 2009 (7): 175-178. (in Chinese with an English abstract)
- [9] 杨高波,亓波. MATLAB7.0混合编程[M]. 北京:电子工业出版社,2006:195-200.
YANG Gao-bo, QI Bo. Mixed programming of MATLAB7.0 [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2006:195-200. (in Chinese)