

基于自适应图像分割的中药光谱图像检测

王琳¹ 胡翠英⁴ 庞其昌² 马骥³ 崔代军²

¹ 中山大学南方学院电子通信与软件工程系, 广东 广州 510970

² 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 510630

³ 南方医科大学中医药学院, 广东 广州 510515

⁴ 暨南大学物理系, 广东 广州 510630

摘要 利用自适应图像分割算法处理中药光谱检测中得到的中药光谱图像,通过运动检测、差分图像的自动选取及光谱曲线中心波长统计对中药图像的像素点进行分类,将中药光谱图像自动分割成不同的区域,提取中药材光谱图像不同区域的光谱信息并消除背景噪声对实验结果的影响。以中药黄连及其混合粉末为例进行实验。实验结果表明该算法能够自动准确地提取出有效区域,并分割出有效区域的光谱图像,较好地消除了噪声干扰并且没有产生无意义的区域。

关键词 图像处理;光谱图像;图像平滑度;区域分割

中图分类号 O433.1; R282.7 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP50.121002

TCM Spectral Imaging Detection Based on Self-Adaptive Region Segmentation Method

Wang Lin¹ Hu Cuiying⁴ Pang Qichang² Ma Ji³ Cui Daijun²

¹ Department of Electronics Communication and Software Engineering, Nan Fang College of Sun Yat-Sen University, Guangzhou, Guangdong 510970, China

² Key Laboratory of Optoelectronic Information and Sensing Technologies of Guangdong Higher Education Institutes, Jinan University, Guangzhou, Guangdong 510630, China

³ College of Traditional Chinese Medicine, Southern Medical University, Guangzhou, Guangdong 510515, China

⁴ Department of Physics, Jinan University, Guangzhou, Guangdong 510630, China

Abstract We use a segmentation arithmetic of self-adaption to deal with the spectral images of traditional Chinese medicine (TCM) obtained from TCM spectral detection. Through the motion detection, automatic selection of differential image and statistics of each spectral curve's central-wavelength, the pixel points of TCM image are classified and the spectral image of TCM is divided into different areas automatically. Then spectral information is extracted from different areas of TCM's spectral image and the effect of background noise on experimental result is eliminated obviously. As an example, images of *Coptis chinensis* and its mixed powder are processed with this arithmetic. The experimental results indicate that this arithmetic can automatically pick up effective areas in a precise way. It can better eliminate the interference from noises and would not produce any useless area.

Key words image processing; spectral image; image smoothness; region segmentation

OCIS codes 100.4145; 300.6280; 100.2000; 100.2980

1 引言

光谱成像技术将光谱检测与图像检测结合在一起,能够同时得到试样的光谱信息和图像信息,从而确定试样所含物质的种类、数量及空间分布信息,是一种新型的光电检测技术,在生物检测、军事、遥感遥测等诸

收稿日期: 2013-08-20; 收到修改稿日期: 2013-09-17; 网络出版日期: 2013-11-07

基金项目: 国家自然科学基金(60908038)、广州市农业科技计划项目(2012B040302002)

作者简介: 王琳(1985—),女,硕士研究生,主要从事光谱图像检测方面的研究。E-mail: wlhgnc@163.com

多领域得到了广泛的应用^[1-3]。

传统方法检测中药时主要是依靠经验判断和人工筛选,这会对检测结果的准确性和可靠性带来不利影响,造成检测精度低、可重复性差、工作量大,因而很难满足现代中药产业的需要^[4-5]。利用光谱成像检测可以获取中药材有效成分的含量及空间分布信息,处理过程不受人为因素干扰,结果准确、可靠,在中药的质量控制及真伪鉴别方面具有广阔的应用前景。使用光谱成像技术检测与鉴别中药材,具有全面、快速、无损、无污染等优点,对于促进中药材行业的健康发展具有重要的意义^[6-7]。

在对中药材的光谱成像检测过程中,由于中药材的有效成分复杂,分布不均匀,并且形态各异,使得采集到的光谱图像中往往存在较高的背景噪声。对此,本文提出了一种自适应的图像分割方法,较好地实现了对中药光谱图像的有效区域的分割,结果稳定且不受外界干扰,有效地提高了中药光谱成像检测系统的检测速度和精度。

2 中药光谱图像的获取

2.1 检测原理

光谱成像技术检测中药的检测原理是在普通光谱法的基础上,利用不同物质成分具有不同光谱特征的基本原理,通过探测物质的二维激发光谱、吸收光谱或者反射光谱等结合图像分析技术对检品的成分进行定性、定量及定位的检测与分析。

2.2 检测系统

本文所用的装置是凝视式荧光光谱成像检测系统,系统的主要组成部分为紫外光源、液晶滤光器、成像镜头、面阵 CCD 和内置视频采集卡。系统的实物图如图 1 所示^[8],检品放置在载物台上,紫外光源发出的紫外光照射在检品上,检品受激发产生的荧光经过电可调液晶滤光器(LCTF)后,从滤光器出射的单色光经面阵 CCD 转换成电信号,然后由视频采集卡采集并保存在计算机中。光谱成像检测系统由软件控制实现自动同步扫描、数据采集和保存,并由计算机进行光谱图像的数据处理。

实验中的激发光源使用的是美国 Spectronics(SP)公司的 EF-180C 单色紫外光源,发射中心波长为 254 nm。单色器采用美国 Cambridge Research & Instrumentation(CRI)公司的 VariSpec 电可调液晶滤光器,该滤光器的工作波段为 VariSpec VIS 可见波段(400~720 nm),光谱带宽 10 nm,调制精度 0.5 nm,空间分辨率为 4000×4000,响应时间为 50 ms,接收半角为 7.5°。装置中的隔热密封圈能有效地消除光源散热对系统温度的影响,这样的密闭光路结构,既屏蔽了杂散光,又有利于系统散热。

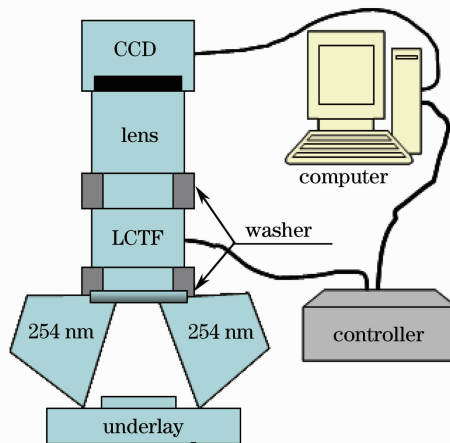


图 1 光谱成像系统结构图

Fig. 1 Block diagram of the spectral imaging system

将待检试样放在样品池,调节成像镜头焦距使试样清晰成像,开启装置中 2 个单色紫外光源,预热 10 min 待光源功率稳定后开始实验,设置液晶滤光器波长范围为 400~720 nm,波长间隔为 5 nm,曝光时间可调,与液晶滤光器同步扫描,最后可获得检测试样的光谱立方体。

2.3 中药光谱图像获取

以黄连为例,利用上述装置采集黄连饮片的荧光光谱图像。通过理论分析及实验后发现调节 CCD 曝光时间为 1000 ms 时可以获得最佳效果的金黄光谱图像。其中利用装置拍摄出某一波长(700 nm)下的光谱图像如图 2 所示。

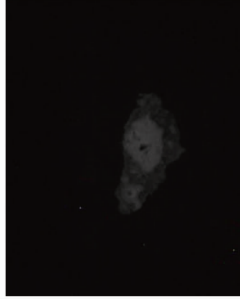


图 2 黄连饮片 700 nm 波长处的光谱图像

Fig. 2 *Coptis chinensis*' spectral image at 700 nm

实验发现,获取的金黄光谱图像中含有较高的背景噪声,这些噪声主要来源于背景杂散光、CCD 热噪声和像元孤立点噪声等,噪声随波长的变化较为稳定,而样品在不同波长下的荧光强度也不同。为了降低噪声对测试结果的影响,提高系统的测试精度,针对中药材检测自身的特点和系统的要求,采用自适应区域增长图像分割的方法来消除背景噪声。

3 自适应区域增长图像分割算法

3.1 有效区域的提取

自适应区域增长图像分割的算法就是自动选取光谱图像和有效区域提取的方法,设定程序自动选取背景区域和有效区域的灰度变化均较为平滑且灰度值差异较大的图像,然后进行图像分割,将中药材样品有效区域从背景中提取出来,较好地消除了背景噪声。

3.1.1 图像平滑度

为了选择较平滑的两帧图像进行差分,定义了图像平滑度。图像的平滑度在灰度值上表现为某一像素点灰度值与邻近像素点灰度值的差值,图像中单个像素点的平滑程度用下式衡量:

$$f(x_0, y_0) = \frac{1}{n^2 - 1} \sum_{(x,y) \in \mathbf{A}} [P(x, y) - P(x_0, y_0)]^2, \quad (1)$$

式中 $P(x, y)$ 是图像 (x, y) 处的灰度值, \mathbf{A} 是选取图像中以 (x_0, y_0) 为中心,大小为 $n \times n$ 的矩阵。 $f(x_0, y_0)$ 越大,表示该处平滑程度越差。图像的平滑度是通过计算整个图像各点 $f(x_0, y_0)$ 值的均值 $\overline{f(x, y)}$ 来衡量的:

$$S = 1 / \overline{f(x, y)} [f(x, y)]. \quad (2)$$

图像各点 $f(x_0, y_0)$ 的值越大, S 值越小,即平滑度越差。通过计算这个光谱图像序列的平滑度可以在图像序列中选出有效区域里没有暗区或暗区不明显的图像。

3.1.2 图像差分及有效区域提取

自动选择强弱图像进行差分时,图像强弱以图像的平均灰度值为衡量指标。在获取到光谱立方体图像平滑度以后,以图像序列的平滑度均值为阈值 $T_p = \overline{S(i)}$,对平滑度大于 T_p 的图像进行平均灰度的计算。选取灰度值差异较大的两帧光谱图像,采用帧差法提取出有效区域计算,差分计算过程按下式进行:

$$D(x, y) = \max(x, y) - \min(x, y), \quad (3)$$

式中 $\max(x, y)$ 是灰度较强的光谱图像, $\min(x, y)$ 是灰度较弱的光谱图像, $D(x, y)$ 是差分后的差分图像。得到差分图像后,统计差分图像的灰度值并绘制其灰度直方图。选作差分的两帧图像较为平滑,背景和有效区域的灰度值较为集中,所以绘制出的差分图像直方图具有明显的分离双峰或多峰结构,背景和有效区域的灰度值分别处于不同的灰度级,便于设置阈值进行有效区域的提取。提取过程为根据阈值灰度对差分图像进行二值化处理,灰度大于等于阈值 T_p 的像素点置 1,其余像素点置 0,

$$B(x,y) = \begin{cases} 1 & D(x,y) \geq T_p \\ 0 & \text{else} \end{cases}, \quad (4)$$

式中 $B(x,y)$ 为选取的有效区域图。

3.2 中心波长

中药材不同部位的活性成分不同,其光谱特征也会有所不同。定义各个空间点的光谱曲线中心波长,以此来区分不同药材或者药材不同部位的光谱特征:

$$\lambda_c = \frac{\sum I(i)\lambda(i)}{\sum I(i)}, \quad (5)$$

式中 $I(i)$ 为被检试样光谱曲线在第 i 个波长的强度, $\lambda(i)$ 为光谱立方体的第 i 个波长。活性成分大致相同的区域具有相似的光谱特征,表现在中心波长较为集中。根据整幅图像各个点的光谱中心波长的分布来分割出不同的区域,并对各个区域单独进行信息处理或者比较。

4 应用图像分割后的检测结果

4.1 黄连饮片有效区域提取

根据 3.1 节算法自动选取的图像如图 3(a)、(b) 所示,分别为波长 705 nm 和 410 nm 下的光谱图像。两帧图像的差分图像灰度直方图(VGH)如图 3(c) 所示,直方图具有 3 个分离峰,由于背景噪声较为稳定,可以认为背景差分后的灰度值将集中于 0 附近,直方图包络线的第一个波谷是区分背景区域和有效区域的阈值灰度。对灰度直方图包络线进行平滑处理,求取包络线的一阶导数确定阈值灰度 T_p 为 9。根据 (4) 式对图像进行二值化处理的结果如图 3(d) 所示。

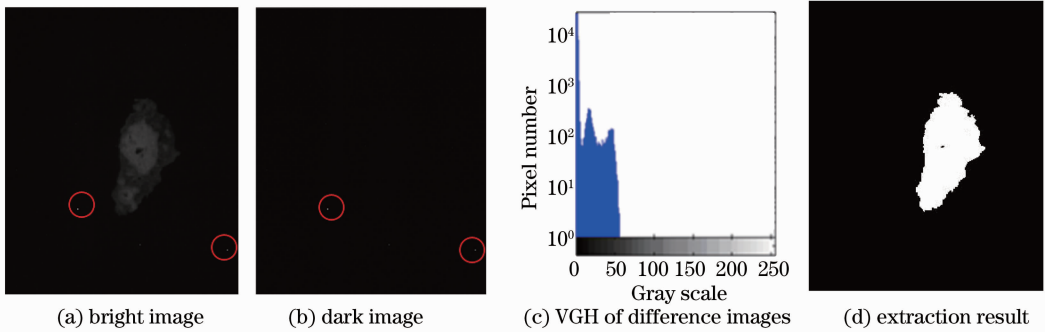


图 3 有效区域提取的过程和结果

Fig. 3 Process and result of extracting the available area

提取结果显示:自适应算法很好的提取出黄连饮片光谱图像的有效区域,同时消除了背景噪声[图 3(a)、(b)中圆圈标记处]。整个提取过程中各参数的设定均根据光谱图像序列自身来确定,无需输入阈值参数,通过灰度直方图统计分析进行确定,算法具有自适应性,提高了分割的自动化程度,取得较好的效果。

4.2 黄连饮片图像区域分割

黄连饮片由植物黄连的干燥根茎切片而成。黄连饮片可分为皮部和木质部,各部位的活性成分不同,其特征光谱曲线也会不同,利用特征光谱曲线的中心波长可以区分不同空间点的光谱特征。有效区域内像素点的中心波长统计结果如图 4 所示,由图可知,以中心波长 594 nm 为界可以将像素点分为两类,同类的点用相同的颜色来标记。黄连饮片实物图如图 5(a) 所示,自适应分割结果如图 5(b) 所示。图 6 中曲线 a 是图 5(b) 中皮部的特征光谱,曲线 b 是图 5(b) 中木质部的特征光谱。

实验结果显示:图 5(b) 中黄连图像明显地分割为两个区域,连通的 a 区和不连通的 b 区,a 区是饮片的皮部,b 区是饮片的木质部。与黄连饮片的实物图 5(a) 比较,分割偏差小于 5%,分割出来的各区域的分布和形状吻合度高。

荧光光谱成像法检测的主要是中药饮片的活性成分(多种生物碱),特征光谱曲线反映出各组成成分和含量^[9-11]。由特征光谱曲线可知,黄连饮片的不同部位活性成分的含量和组成均有差异。

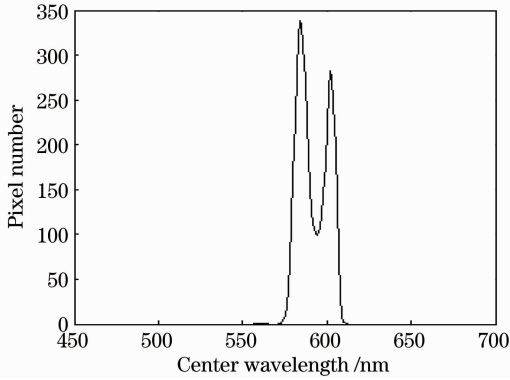


图 4 中心波长的统计结果

Fig. 4 Statistical result of center wavelength

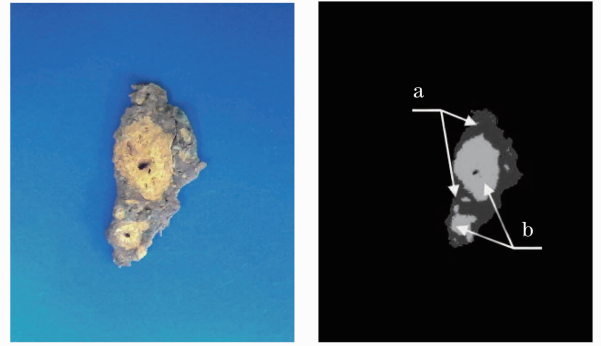
(a) image of *Coptis chinensis* slice (b) segmentation result

图 5 实验图像

Fig. 5 Images obtained in experiment

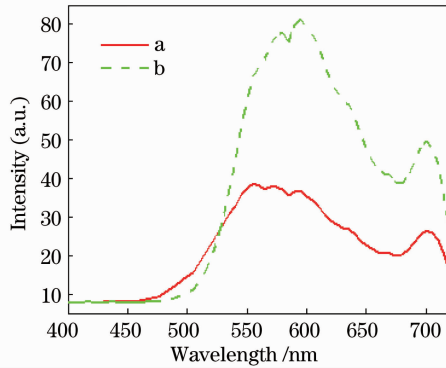
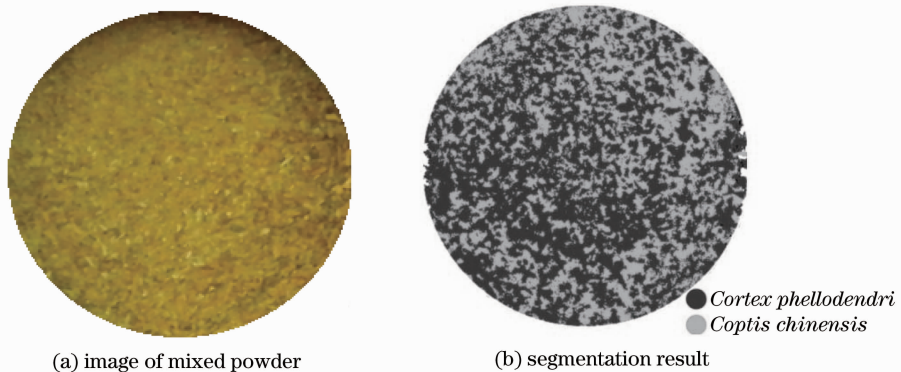


图 6 图 5(b)中各部位的特征光谱曲线

Fig. 6 Characteristic spectra of areas shown in Fig. 5(b)

4.3 对比实验

为进一步验证本方法的可行性,同样采用自适应区域增长图像分割来对黄连、黄柏的混合粉末进行实验。黄连和黄柏粉末具有十分相近的宏观形态和色泽,混合在一起非常难以鉴别。将黄连、黄柏饮片研碎过 200 目($74\ \mu\text{m}$)筛,精确量取 1 体积混合均匀,在粉末样品池上均匀平铺一薄层作为被检试样。黄连、黄柏的混合粉末实物图如图 7(a)所示,图像分割结果如图 7(b)所示,分割偏差小于 8%。分割出不同的药材后,分别绘制其特征光谱曲线如图 8 所示,特征光谱曲线与标准品的谱线一致。实验表明,自适应区域增长图像分割也可以对黄连、黄柏的混合粉末进行有效分割,这对中药配伍和药材粉末掺假等问题的解决以及中药生产也是非常重要的。



(a) image of mixed powder

(b) segmentation result

图 7 混合粉末实验结果

Fig. 7 Images obtained in mixed powder experiment

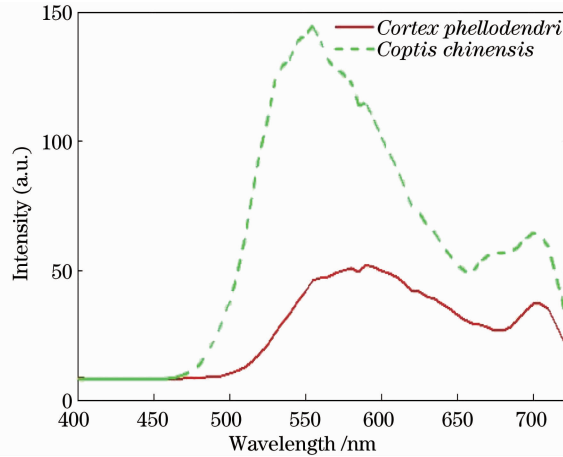


图8 黄柏和黄连的特征光谱曲线

Fig. 8 Characteristic spectra of the two TCMs

5 结 论

中药饮片不同组织结构中活性成分的分布决定着入药部位的选择,并且为中药饮片质量提供检测评价依据。利用光谱成像技术可实现中药在体检测和对样品进行定位分析。本文利用自适应图像分割算法实现了对中药有效区域内不同部位的分割。以黄连饮片为例,将黄连饮片的皮部和木质部从图像中分割出来,然后分别绘制其各部位的特征光谱曲线,由特征光谱曲线可知各区域的活性成分的组成和含量均有差异。以黄连和黄柏混合粉末为例,自适应图像分割算法能够分割出不同的药材,之后分别绘制其特征光谱曲线,这对药材的栽培、加工以及临床入药等都有着非常重要的意义。

参 考 文 献

- 1 Chen Quansheng, Zhang Yanhua, Wan Xinmi, *et al.*. Study on detection of pork tenderness using hyper-spectral imaging technique [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(9): 2602–2607.
陈全胜, 张燕华, 万新民, 等. 基于高光谱成像技术的猪肉嫩度检测研究[J]. *光学学报*, 2010, 30(9): 2602–2607.
- 2 Xu Hong, Wang Xiangjun. Applications of multispectral hyper-spectral imaging technologies in military [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36(1): 13–17.
许洪, 王向军. 多光谱、超光谱成像技术在军事上的应用[J]. *红外与激光工程*, 2007, 36(1): 13–17.
- 3 Wu Hangxing, Hua Jianwen, Wang Mochang. New space-borne remote sensing Fourier transform infrared spectrometer [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2004, 33(4): 397–400.
吴航行, 华建文, 王模昌. 新型红外空间遥感傅里叶变换光谱仪[J]. *红外与激光工程*, 2004, 33(4): 397–400.
- 4 Xiao Xiaohe, Jin Cheng, Zhao Zhongzhen, *et al.*. Probe into innovation and development of pattern of quality control and evaluation for Chinese medicine [J]. *China J Chinese Materia Medica*, 2007, 32(14): 1377–1381.
肖小河, 金城, 赵中振, 等. 论中药质量控制与评价模式的创新与发展[J]. *中国中药杂志*, 2007, 32(14): 1377–1381.
- 5 Li Zilei, Wang Lin, Pang Qichang, *et al.*. *Panax quinquefolium's* active ingredients detecting method based on LCTF spectrograph [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(12): 3622–3626.
李子雷, 王琳, 庞其昌, 等. 基于液晶光谱仪的西洋参品质荧光检测方法[J]. *光学学报*, 2010, 30(12): 3622–3626.
- 6 Wu Zhong, Su Weiwei, Lin Jingming. The standard of traditional Chinese medicine quality and the modernization of TCM combined with modern research [J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2001, 24(1): 57–61.
吴忠, 苏薇薇, 林敬明. 中药质量标准化和中药现代化系列研究[J]. *中药材*, 2001, 24(1): 57–61.
- 7 Tan Dejiang, Lu Jing. Some considerations about bioassay tests in traditional Chinese medicine [J]. *Chinese Pharmaceutical Affairs*, 2011, 25(11): 1086–1088.
谭德讲, 鲁静. 中药生物活性检测方法的思考[J]. *中国药事*, 2011, 25(11): 1086–1088.
- 8 Zhao Jing, Pang Qichang, Ma Ji, *et al.*. Design of the continuous spectrum imaging apparatus based on LCTFs [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, 37(4): 758–762.
赵静, 庞其昌, 马骥, 等. 基于液晶滤波器的连续光谱成像测试装置[J]. *光子学报*, 2008, 37(4): 758–762.

- 9 Zhang Hanming, Xu Tiefeng, Qin Luping, *et al.*. The progress in the identification skill of traditional Chinese medicine and the introduction of modern identification technique [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2000, 22(1): 101–110.
张汉明, 许铁锋, 秦路平, 等. 中药鉴别研究的发展和现代鉴别技术介绍[J]. 中成药, 2000, 22(1): 101–110.
- 10 Xing-Xin Yang, Yan-Li Zhang, Xiao-Xia Zhang. Cell membrane chromatography and its application in the analysis of bioactive ingredients of TCMs [J]. J Chinese Pharmaceutical Sciences, 2011, 20: 20–25.
- 11 Zhao Jing, Pang Qichang, Ma Ji, *et al.*. Main active constituent detection of *Cortex phellodendri chinensis* by spectral imaging technology [J]. Acta Optica Sinica, 2008, 28(12): 2288–2291.
赵 静, 庞其昌, 马 骥, 等. 中药黄柏主要活性成分的光谱成像检测技术[J]. 光学学报, 2008, 28(12): 2288–2291.