

湿度对西洋参品质影响的快速无损检测

崔代军¹ 庞其昌¹ 马骥² 赵静³ 胡翠英⁴ 李启湛¹ 李子雷¹

¹ 暨南大学广东省高等学校光电信息与传感技术重点实验室, 广东 广州 510630
² 南方医科大学中医药学院, 广东 广州 510515
³ 华南农业大学应用物理系, 广东 广州 510640; ⁴ 暨南大学物理系, 广东 广州 510640

摘要 为了检测在不同湿度条件下西洋参品质的变化,根据分子结构改变引起荧光光谱变化的原理,对西洋参的活性成分进行在体检测。选用中心波长为 254 nm 的紫外光源激发西洋参检品发射荧光,利用基于可调液晶滤光器的光谱成像装置获取检品 420~680 nm 之间的连续荧光光谱图像。采用帧差法提取光谱立方体的有效区域并绘制特征光谱图。对存放于不同湿度条件下的三份西洋参检品连续检测,并绘制归一化特征光谱图。特征光谱图显示不同湿度对西洋参的影响趋势一样。利用切片与对照品的加权欧氏距离反映西洋参的变化规律,湿度越大距离变化越快。检测结果反映出在不同湿度条件下西洋参活性成分随存放时间的变化,而且这种变化是不可逆的。

关键词 生物技术;西洋参特征光谱;光谱成像;相对湿度

中图分类号 O434.13;R282.5;TN911.73

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP48.093001

Rapid and Nondestructive Detection of Quality of Panax Quinquefolium Effected by Humidity

Cui Daijun¹ Pang Qichang¹ Ma Ji² Zhao Jing³ Hu Cuiying⁴ Li Qizhan¹ Li Zilei¹

¹ Key Laboratory of Optoelectronic Information and Sensing Technologies, Jinan University, Guangzhou, Guangdong 510630, China

² College of Traditional Chinese Medicine, Southern Medical University, Guangzhou, Guangdong 510515, China

³ Department of Applied Physics, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510640, China

⁴ Department of Physics, Jinan University, Guangzhou, Guangdong 510640, China

Abstract In order to detect the quality change of Panax quinquefolium in different humidity environments, the spectral imaging technology is applied to detect active constituent of Panax quinquefolium, based on the principle that variation of molecular structure causes variation of fluorescence spectrum. Ultraviolet ray source that with a central wavelength of 254 nm is used to stimulate the Panax quinquefolium sample to emit fluorescence. The continuous fluorescent spectrum image within the range 420~680 nm is got by adjustable liquid crystal light filter based spectrum imaging device. The frame differential method is used to extract the effective area of the spectrum cube and draw the characteristic spectrum image. Three Panax quinquefolius samples that are kept in different humidity conditions are detected, and the normalized characteristic spectrum diagram is drew. The characteristic spectrum shows that the change trend of relative intensity of fluorescence of Panax quinquefolium in different humidity environments are similar. Weighted Euclidean distance between comparison products and samples is utilized to show regularity of the change of Panax quinquefolium. The higher the humidity is, the faster the variation of weighted Euclidean distance is. The result shows that in different humidity environments, the active constituent of Panax quinquefolium will change with time, and this kind of change is irreversible.

Key words biotechnology; characteristic spectrum of Panax quinquefolium; imaging spectrometry; relative humidity

OCIS codes 300.6280; 170.6280

收稿日期: 2011-03-08; **收到修改稿日期:** 2011-04-22; **网络出版日期:** 2011-07-25

基金项目: 国家自然科学基金(60908038)和广州市农业科技计划项目(GZCQC1002FG08015)资助课题。

作者简介: 崔代军(1984—),男,硕士研究生,主要从事光谱图像检测方面的研究。E-mail: cdj396430825@126.com

导师简介: 庞其昌(1951—),男,教授,主要从事光电检测和信息处理等方面的研究。

E-mail: tpqch@jnu.edu.cn(通信联系人)

1 引言

光谱成像技术是新一代光电探测技术,兴起于 20 世纪 80 年代。由于它结合了光谱技术、成像技术以及图像分析的优点,可以同时得到被检样品的二维空间信息和光谱维信息,目前在军事、农业、矿产、环境、生物医药及医学诊断等领域已得到了广泛的应用^[1~7]。

众所周知,贮藏环境对于中药物理性状、化学成分、药理作用以及临床疗效有着至关重要的影响。但目前业内对中药的贮藏条件尚无严格的执行标准,加之监管力度不够,常有因贮藏不当致使药材变质的事件发生^[8]。所以,很有必要建立一种简单、快速、无损检测中药品质的方法。目前用于中药检测的大多数方法均需要将样品进行一系列的前处理。耗时较长、成本较高,且样品无法反复检测。而光谱成像技术检测中药的过程简便、快捷、无损,可以对同一检品进行重复检测。光谱成像技术不仅可用于中药的真伪鉴别、质量评价及植物亲缘关系的探讨等^[7],而且还可以用于中药物理性状和化学成分变化的动态监测。本文采用光谱成像技术研究湿度对西洋参品质的影响

西洋参又名洋参或花旗参,为五加科植物西洋参的干燥根,属贵重保健品和药品。其生理活性成分主要包括皂苷、多糖、黄酮、氨基酸等,皂苷类化合物被认为是西洋参中最重要的活性成分之一。文献[9]中指出西洋参总皂苷的含量在不同湿度下,随贮藏时间而变化。然而,不同产地及规格的西洋参,其总皂苷的含量也因参龄、气候条件、栽培技术和加工方法的不同而存在较大差异^[10]。因此,仅从总皂苷的含量难以监测西洋参品质的变化。本文采用光谱成像法检测西洋参多成分的特征荧光光谱,以研究其品质随贮藏时间的变化规律。

2 检测

2.1 检测原理

光谱成像技术检测中药的工作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、吸收光谱或反射光谱等,对检品的成分进行定性和定量的检测和分析。西洋参在紫外光激发下会发出荧光。实验验证了西洋参所含荧光物质除了主要的活性成分人参总皂苷以外还有其他活性成分。在潮湿条件下西洋参活性成分会发生变化,例如皂苷在分解酶的作用下被分解为次级皂苷、皂苷元和糖类。分子结构和取代基团发生改变,发射荧光也会随之发生变化^[11~14]。故西洋参特征光谱发生变化可以反映其活性成分的变化。

2.2 检测装置

采用自行设计研制的基于液晶滤光器的连续光谱成像装置进行检测,利用液晶的双折射特性和偏振光的干涉原理分光,图像采集方式为凝采式。装置系统结构如图 1 所示^[15]。

检品放置在载物台上,紫外光源发出紫外光照射在检品上,检品受激发产生的荧光经过液晶滤光器(LCTF)后,在时间维度上被分作若干个窄的光谱带,并依次被接收装置接收后转换为数字电信号,由视频采集卡采集并保存在计算机中进行处理。接收装置主要包括成像镜头、CCD 和图像采集器。激发光源使用美国 Spectronics(SP)公司的 EF-180C 单色紫外光源,发射中心波长为 254 nm。单色器采用非空间色散型面阵分光器——VariSpec 电可调 LCTF,其光谱覆盖范围为 400~720 nm 及 650~1100 nm,光谱分辨率最高可达 0.5 nm,光谱带宽 10 nm,空间分辨率为 4000×4000,接收半角宽为 7.5°,由主机的 USB 接口直接供电控制,响应时间为 50 ms。在 LCTF 前置一片紫外滤光片,保护液晶滤光器。系统由控制软件实现自动同步扫描、数据采集和保存。最后由计算机进行光谱图像的数据处理。系统处于暗室中,防止受外界噪声信号的干扰。

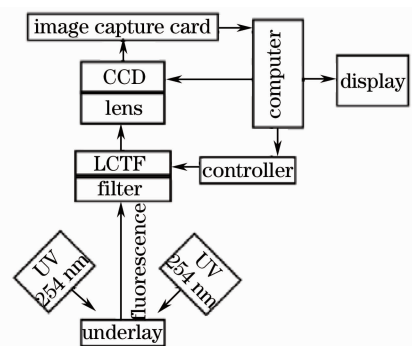


图 1 光谱成像系统装置框图

Fig. 1 Block diagram of the spectral imaging system

系统处于暗室中,防止受外界噪声信号的干扰。

整套系统简单、稳定,无机械扫描装置。实验前对该系统进行光谱稳定性测试,检测已定标的低压汞灯可见光谱和 He-Ne 激光器的光谱,连续测试 10 次,测试结果与标称值之差均小于 0.3 nm,标准差为 0.27 nm,说明该系统比较稳定,能够满足实验需求^[15]。

2.3 检测样品

人参总皂苷标准品(批号:1553-200201),人参对照品(批号:120917-200609),西洋参对照品(批号:120997-200608)均由中国药品生物制品检定所提供。西洋参饮片:西洋参干燥饮片由广东执信药业有限公司提供。

2.4 检测方法

将检品放置在载物台的衬底上。设置 LCTF 的波长扫描范围为 420~680 nm,扫描步长 5 nm,摄像机曝光时间设为 1000 ms。摄像机对检品同步采集 53 frame 光谱图像,这一序列图像称为检品的一个光谱立方体,如图 2 所示。由光谱立方体可得到检品的特征光谱图。每个检品每次实验重复拍摄 3 次,然后取平均值以减小实验误差。采用同样方法获取对照品、标准品的光谱立方体和西洋参干燥饮片的初始光谱立方体。由于受潮会改变饮片成分,在比较不同湿度条件对西洋参的影响时,挑选出特征光谱与西洋参对照品最接近的三份饮片,编号为:

1 号、2 号、3 号。将三组饮片分别贮藏于相对湿度(RH)为(20±3)%,(50±3)%,(90±3)%的条件中,周期为 16 天,以相同的方法前 8 天每天检测一次,后 8 天每两天检测一次。

3 实验数据处理及结果

3.1 特征光谱图的获取

获取光谱立方体后,提取检品图像的灰度平均值表示检品平均荧光强度,得到以波长为横坐标,荧光强度为纵坐标的特征光谱图。由于检品在不同波长下的荧光强度不同,CCD 的背景热噪声较稳定,可以将检品看作静止背景下的运动变化目标,采用运动检测提取检品图像。在光谱图像序列中选取灰度值差异较大的两帧光谱图像采用帧差法^[16]提取出有效区域,进而绘出特征光谱图。提取过程和结果如图 3 所示,其计算过程为

$$B(x,y) = M(x,y) - N(x,y), \quad (1)$$

$$B'(x,y) = \begin{cases} 1 & B(x,y) \geq th \\ 0 & \text{else} \end{cases}, \quad (2)$$

式中 $M(x,y)$ 为灰度较大的一帧图像, $N(x,y)$ 为灰度较小的一帧图像, $B(x,y)$ 为两帧图作差的差分图像。选取 530 nm 和 420 nm 处两帧灰度级相差较大的光谱图像作差[图 3(a),(b)],图 3(c)为差分图像的灰度直方图,th 为通过直方图选取的阈值灰度, $B'(x,y)$ 为二值图像,白色区域即为有效区域,如图 3(d)所示。灰度直方图显示出背景和有效区域的灰度级均较为集中,直方图具有明显的分离双峰,选取两峰之间的谷底作为阈值灰度 th,灰度级大于该阈值的像素点认为是有效像素点,反之则为背景。由图 3 可以看出本方法能有效地提取图像中检品的有效区域,消除了原始图像中由 CCD 探测点元产生的孤立噪声点[图 3(a),3(b)中圆圈标记处]。用 $B'(x,y)$ 对光谱立方体的序列图像逐一进行掩模计算即可获得光谱立方体的有效区域,绘制检品的特征光谱图。

3.2 标准品和对照品的特征光谱图

图 4 是人参总皂苷、人参对照品和西洋参对照品的特征光谱图,从图中可以看出三种检品有相同的光谱特征:具有相同的特征峰(530,495 和 590 nm),特征谷(500nm 和 585 nm)以及曲线上升、下降趋势。由此可推断荧光光谱反映的主要是总皂苷的荧光特征。但在 495 nm 处西洋参的荧光强度明显高于人参总皂苷和人参,这是由于西洋参和人参活性成分的主要差异在于皂苷单体的含量存在较大差异^[17]。在 460~490 nm

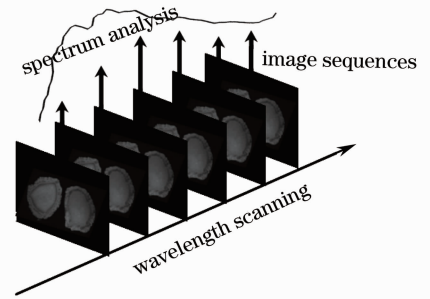


图 2 光谱成像示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the spectral imaging

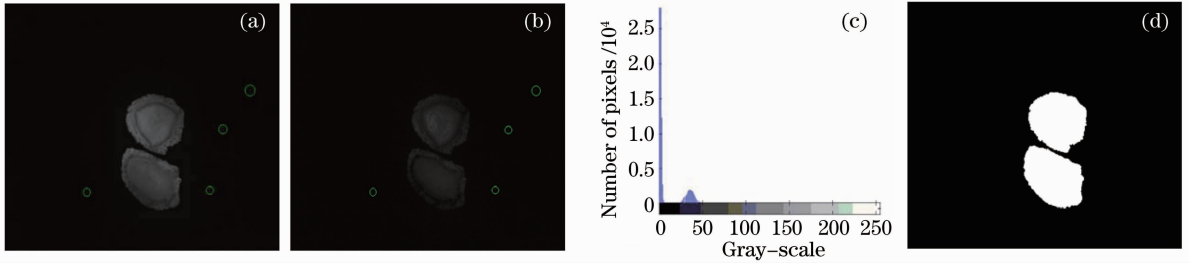


图3 有效区域提取的过程和结果。(a) 530 nm图;(b) 420 nm图;(c)差分图像的灰度直方图;(d)最终提取结果

Fig. 3 Process and result of extracting the available area. (a) Image at 530 nm; (b) image at 420 nm;

(c) grayscale histogram of the difference image; (d) result of extraction

波长范围内,西洋参和人参的特征光谱图有着区别于人参总皂苷的变化趋势:西洋参和人参的谱线有微弱的弯折,人参总皂苷的谱线比较平滑,西洋参和人参相对强度也强于人参总皂苷。这表明特征光谱图除了反映西洋参主要活性成分人参总皂苷外还包含有其他活性成分的荧光特征。检测西洋参的荧光光谱能从整体上反映其活性成分的特征,较之单一检测人参总皂苷的方法更能反映西洋参的品质。

3.3 饮片的特征光谱图

提取光谱立方体的有效区域像素的平均灰度值,可得到每个检品每次检测的一个53维向量 \mathbf{A} 。由于检品受潮会影响荧光强度,在比较西洋参饮片特征光谱图随时间变化时对特征光谱图进行归一化。归一化计算过程可表示为

$$I'(\lambda_i) = [I(\lambda_i) - A_{\min}] / (A_{\max} - A_{\min}), \quad (3)$$

式中 $I(\lambda_i)$ 表示特征光谱图中第 i 个波长处的荧光强度, A_{\max} 为向量 \mathbf{A} 中元素的最大值, A_{\min} 为最小值, $I'(\lambda_i)$ 为归一化后第 i 个波长处的相对荧光强度。归一化后特征光谱图分布在 $0 \sim 1$ 之间,不会影响光谱特征。图5给出了西洋参对照品和三份饮片的归一化特征光谱图。比较图4和图5的对照品可以验证归一化没有影响光谱特征。对照品和三组饮片具有相同的光谱特征,包括特征峰波长和特征峰值。

图6是西洋参饮片存放于三个不同湿度条件下的归一化特征光谱图的变化过程。图中的曲线 a 均为西洋参干燥饮片未潮湿即第0天的特征光谱图, b, \dots, h 分别为检品在高湿条件下存放1,2,3,5,8,12,16天的特征光谱图。在不同湿度条件下的三份检品在高湿条件中特征光谱图的变化规律相似,以530 nm为分界点,短波长区域的相对荧光强度整体呈现下降趋势,以490 nm处特征峰最为明显;而长波长区域相对荧光强度整体呈现上升趋势,尤其贮藏于相对湿度为 $(90 \pm 3)\%$ 条件中的饮片在555 nm处逐渐出现新的特征峰。随着湿度的增大,特征光谱图的变化也越快,3号饮片变化最快,2号次之,1号变化最慢。

特征光谱图在不同波长处所代表的信息量不同,在采用欧氏距离对检品的变化规律进行计算时,以西洋参对照品为标准对不同波长进行加权^[18]。其具体计算方法可表示为

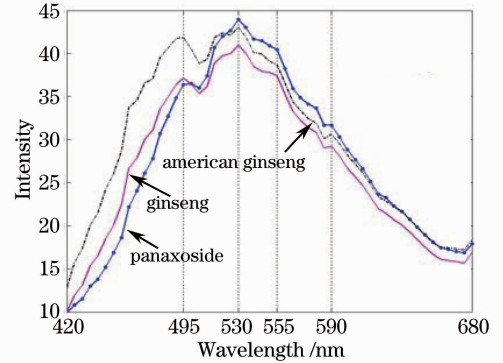


图4 标准品和对照品的特征光谱图

Fig. 4 Characteristic spectra of standard substance and comparison products

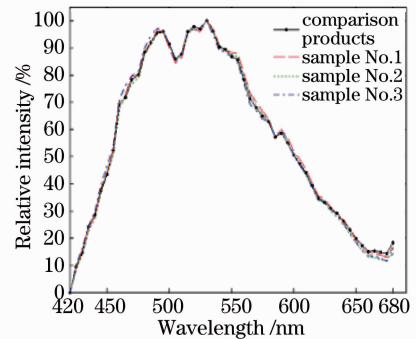


图5 对照品和饮片的归一化特征光谱图

Fig. 5 Normalized characteristic spectra of comparison products and samples

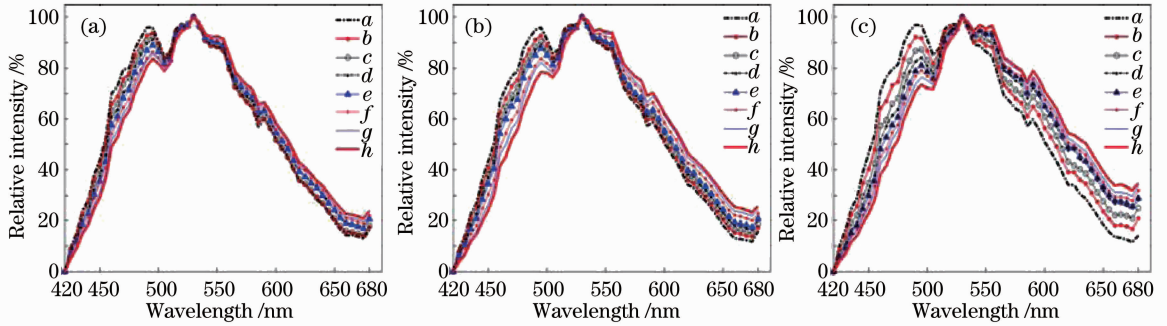


图6 环境湿度分别为 $(20\pm 3)\%$ (a), $(50\pm 3)\%$ (b), 和 $(90\pm 3)\%$ (c)下西洋参特征光谱图随时间的变化

Fig. 6 Variation of characteristic spectrum with time at relative humidity of (a) $(20\pm 3)\%$, (b) $(50\pm 3)\%$ and (c) $(90\pm 3)\%$

$$D(t) = \left\{ \sum_{i=1}^{53} X(i) \times [X(i) - Y(t, i)]^2 \right\}^{1/2}, \quad (4)$$

式中 $X(i)$ 为西洋参对照品第 i 个波长的归一化荧光强度, $Y(t, i)$ 为检品第 t 次检测时第 i 个波长的归一化荧光强度。四份检品 13 次检测结果与西洋参对照品的加权欧氏距离随存放时间的变化情况如图 7 所示。可以看出饮片与对照品的差异是随在潮湿条件存放时间的延长而变大, 且时间越靠前变化越快, 高湿条件下前 3 天变化最快。部分天数加权欧氏距离数据如表 1 所示。三份饮片的初始归一化特征光谱图(第 0 天)与对照品的距离很小, 分别为: 0.064, 0.049, 0.074。经过 16 天的贮藏后变为: 0.560, 0.785, 1.004。1 号饮片第 16 天的距离与 2 号饮片第 10 天距离(0.598)、3 号饮片第 3 天距离(0.587)最接近。可以看出湿度越大对西洋参品质影响越严重, 高湿条件在很短时间内对西洋参品质的影响很大。

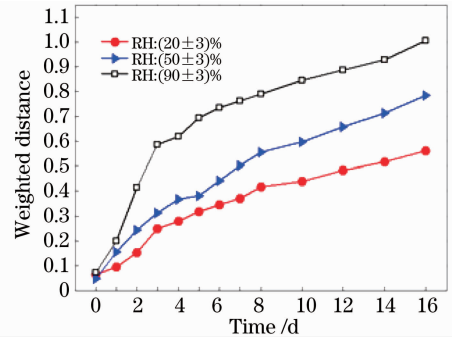


图7 检品的加权欧氏距离变化图

Fig. 7 Change of weighted Euclidean distance of sample

表1 检品的加权欧氏距离随时间的变化比较

Table 1 Comparison of the change of weighted Euclidean distance of sample

Days		0	1	2	3	5	8	12	16
Change of distance	No. 1	0.064	0.096	0.154	0.250	0.318	0.417	0.485	0.560
	No. 2	0.049	0.157	0.244	0.310	0.382	0.557	0.658	0.785
	No. 2	0.074	0.200	0.415	0.590	0.694	0.790	0.885	1.004

为了进一步检测湿度对西洋参品质影响, 将上述三份受潮的饮片放入干燥箱中烘干后再进行光谱成像检测, 采用相同方法绘制三份饮片的归一化特征光谱图。如图 8 所示。

图中曲线 a, b, c 分别为三份西洋参饮片未受潮的特征光谱图, d, e, f 分别为三份饮片放入相对湿度低于 10% 的干燥箱烘干后的特征光谱图, 干燥后的加权欧氏距离分别为: 0.579, 0.803, 1.013。可见对已受潮西洋参饮片进行干燥处理未能改变其特征光谱图的变化, 西洋参活性成分受湿度的影响不可逆。药材变化的全过程无损检测, 体现了检测结果的可比性; 检测方法的实用性和有效性。

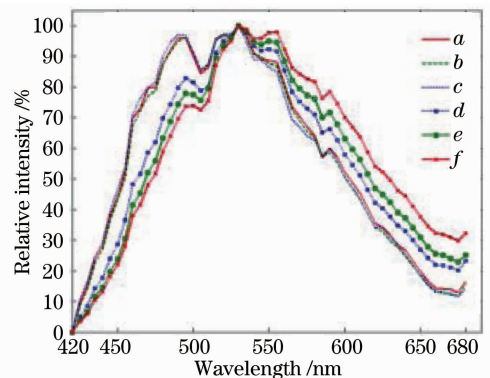


图8 受潮西洋参烘干后的特征光谱图比较

Fig. 8 Comparison of characteristic spectrum of damped Panax quinquefolium after drying

4 结 论

采用光谱成像技术检测潮湿条件下西洋参活性成分的变化规律。西洋参活性成分受湿度影响而发生改变,通过特征荧光光谱图反映出在不同湿度条件下其变化规律相似:波段为 420~530 nm 的区间内荧光强度整体呈现下降趋势,波段为 530~680 nm 的区间内荧光强度整体呈现上升趋势。通过计算饮片与对照品的加权欧氏距离可知:湿度越大西洋参活性成分变化越快;时间越靠前变化越快,高湿条件下前 3 天变化最快。这是由于湿度条件影响生物酶的活性所致。对已受潮西洋参饮片进行干燥处理未能改变其特征光谱图的变化,说明西洋参活性成分受湿度影响的不可逆性。潮湿和干燥处理未引起西洋参饮片外形的明显变化,但湿度引起其活性成分的不可逆变化是不可忽视的。利用光谱成像技术检测西洋参荧光光谱能反映出其内部活性成分的变化,这为实现西洋参品质受贮藏条件影响的动态监测提供了一种快速、无损的新方法。对同一饮片进行重复无损检测,体现了结果的可比性;方法的实用性和有效性。由于西洋参活性成分复杂以及存在个体差异,且分解后的次级皂苷和苷元仍然具有一定药理作用,要确定西洋参受条件湿度的影响而引起各种活性成分的改变以及药效还需要更深入的研究。

参 考 文 献

- 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
- Richard M. Levenson, James R. Mansfield. Multispectral imaging in biology and medicine: slices of life[J]. *ISAC Cytometry Part A*, 2006, **69A**(8): 748~758
- Chen Quansheng, Zhang Yanhua, Wan Xinmin *et al.*. Study on detection of pork tenderness using hyperspectral 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
- Masoud Taghizadeh, Aoife Gowen, Colm P. O' Donnell. Prediction of white button mushroom (*Agaricus bis-porus*) moisture content using hyperspectral imaging[J]. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, 2009, **3**(4): 219~226
- Dar A. Roberts, Eliza S. Bradley, Ross Cheung *et al.*. Mapping methane emissions from a marine geological seep source using imaging spectrometry[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2010, **114**(3): 592~606
- A. C. Martha, M. F. Kathryn, J. Jean *et al.*. Determination of apple firmness using hyperspectral imaging technique and multivariate calibrations[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, **25**(11): 226~230
- Zhao Jing. The Research of Multispectral Fluorescence Imaging Applied to Constructing Traditional Chinese Medicine Fingerprin [D]. Guangzhou: Jinan University, 2009
赵 静. 荧光光谱成像用于中药指纹图谱构建的技术研究[D]. 广州: 暨南大学, 2009
- Wang Zhenguo. Traditional chinese medicine storage: provisions of standards, current status and supervisory measures[J]. *China Pharmacy*, 2007, **18**(6): 479~480
王振国. 中药贮藏的标准规定、贮藏现状及监管措施[J]. *中国药房*, 2007, **18**(6): 479~480
- Zhu Danshi, Zhang Min. Effect of ambient conditions on preservations of dehydrated *Panax quinquefolius* linn[J]. *Drying Technology & Equipment*, 2004, **2**(4): 28~31
朱丹实, 张 懋. 不同温湿度和包装条件对脱水西洋参贮藏的影响[J]. *干燥技术与设备*, 2004, **2**(4): 28~31
- Chen Guang, Li Xianggao. Effect of culture conditions on yield and ginseno side content of *panax quinquefolium* line[J]. *J. Jilin Agricultural University*, 2000, **22**(3): 56~60
陈 光, 李向高. 栽培技术对西洋参产量及皂苷含量的影响[J]. *吉林农业大学学报*, 2000, **22**(3): 56~60
- Zhou Yanlin, Zhong Xiaoqing, Kong Xiangchun *et al.*. Effect of different drying methods on contents of diosgenin in *Smilax china* L. [J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2008, **19**(12): 3023~3024
周艳林, 钟小清, 孔祥春 等. 不同干燥方式对菝葜中薯蓣皂苷元含量的影响[J]. *时珍国医国药*, 2008, **19**(12): 3023~3024
- Ma Xiaoning, Chai Ruihua, Zhao Yuqing. Rare constituents with anti-cancer activity from hydrolytic products in saponins of *Panax quinquefolium* stems and leaves[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*. 2008, **39**(9): 1291~1294
马晓宁, 柴瑞华, 赵余庆. 西洋参茎叶皂苷水解产物中稀有抗肿瘤成分的化学研究[J]. *中草药*, 2008, **39**(9):

1291~1294

- 13 Shouqin Zhang, Ruizhan Chen, Hua Wu *et al.*. Ginsenoside extraction from *Panax quinquefolium* L. (American ginseng) root by using ultrahigh pressure[J]. *J. Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2006, **41**(1): 57~63
- 14 Xu Jingou, Wang Zunben. Fluorimetry[M]. Beijing: Science Press, 2006
许金钩, 王尊本. 荧光分析法[M]. 北京: 科学出版社, 2006
- 15 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. 基于液晶滤光器的连续光谱成像测试装置[J]. 光子学报, 2008, **37**(4): 758~762
- 16 Yang Xuechao, Liu Wenping. Moving objects detection technology in video sequences[J]. *Computer Applications and Software*, 2008, **25**(1): 215~217
杨学超, 刘文萍. 视频图像序列中的运动目标检测技术[J]. 计算机应用与软件, 2008, **25**(1): 215~217
- 17 Chiehfu Chen, Wenfei Chiu, Juntian Zhang. Comparison of the pharmacological effects of *Panax ginseng* and *Panax quinquefolium*[J]. *Acta Pharmacol Sin*, 2008, **29**(9): 1103~1108
- 18 Li Fanxiu, Mei Ping, Chen Wu. Euclid distance with weight method for evaluation of water environment quality[J]. *Environmental Protection Science*. 2004, **30**(1): 58~60
李凡修, 梅 平, 陈 武. 加权欧氏距离模型在水环境质量评价中的应用[J]. 环境保护科学, 2004, **30**(1): 58~60