

# 不同颜色银杏叶总黄酮含量分布高光谱图像检测\*

石吉勇 邹小波 张德涛 陈正伟 赵杰文

(江苏大学食品与生物工程学院, 镇江 212013)

**摘要:** 利用近红外高光谱图像技术研究了总黄酮含量在不同颜色(绿色、黄绿色、黄色)银杏叶片上的二维分布规律。采集120片银杏叶在近红外波段(900~1700 nm)下的高光谱图像信息,并利用分光光度计法测定银杏叶片的总黄酮含量;计算高光谱图像中不同波段下的平均灰度作为银杏叶对应的光谱信息,利用逐步线性回归方法建立黄酮含量校正模型( $R=0.9307$ );逐一提取待测银杏叶高光谱图像中每个像素点在不同波段的光谱信息,并将其代入黄酮含量校正模型以计算出各个像素点处对应的黄酮含量,从而绘制总黄酮含量在整个银杏叶片上的二维分布图。研究表明,银杏叶总黄酮含量随着绿色、黄绿色、黄色而呈现出递增趋势,且总黄酮含量高的区域主要位于叶片的边缘,总黄酮含量低的区域主要位于叶柄附近。研究为揭示有机组分在农产品、食品中的分布规律提供了技术手段。

**关键词:** 银杏叶 总黄酮 含量检测 高光谱图像

**中图分类号:** O657.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)11-0242-04

## 引言

银杏叶提取物对脑缺血、脑功能障碍、脑伤后遗症和抗衰老等有显著疗效,已被应用于食品、药品、饮料和化妆品中<sup>[1-2]</sup>。黄酮类化合物是银杏叶的主要活性成分,占标准化银杏叶提取物(EGB761)总质量的24%以上,是衡量银杏叶品质的重要指标。由于树种、生长周期、光照条件、土壤肥力等因素的影响,不同银杏叶中的总黄酮含量往往存在较大差异,需要对银杏叶中的总黄酮进行检测,为银杏叶的采摘、分级、加工提供依据<sup>[3-4]</sup>。

总黄酮含量的化学检测方法主要有高效液相色谱法<sup>[5]</sup>、紫外分光光度计法<sup>[6]</sup>等,它们对应的检测结果精确,但是检测过程破坏银杏叶样本、前处理时间长、检测费用较高。近红外光谱法以其非破坏、快速等优势,被用于检测新鲜银杏叶<sup>[7]</sup>、蓝莓<sup>[8]</sup>中的黄酮含量。化学检测方法需要将一定量的银杏叶片进行前处理(黄酮类化合物的提取),对应的检测结果仅能反映银杏叶前处理部分的黄酮平均浓度;而近红外光谱法的光谱采集区域往往非常小,对应的检测结果仅能反映光谱采集区域的黄酮含量。因

此,化学检测方法和近红外光谱检测方法只能得到采样区域的黄酮含量,难以得到黄酮含量在整片银杏叶面上的分布情况。

高光谱图像不仅包含样本在各个波段下的图像信息,还包含每个像素点在各个波段下的光谱信息,使得高光谱图像技术在表征待测样品的内外品质信息方面具有独特的优势,已被运用于食品<sup>[9-10]</sup>、医疗<sup>[11-12]</sup>和环境<sup>[13-15]</sup>等领域。本文拟利用高光谱图像技术获取不同颜色银杏叶的图像信息和光谱信息,通过建立高光谱图像信号与黄酮含量的对应关系,依次利用各像素点的光谱信息计算各像素点区域对应的黄酮含量,检测黄酮含量在银杏叶面上的分布图,并研究黄酮含量在不同颜色银杏叶片上的二维分布规律。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

本研究使用的新鲜银杏叶采集于江苏大学校园内,共120片。

### 1.2 高光谱图像采集

高光谱成像系统的硬件由光谱扫描仪

收稿日期:2014-07-02 修回日期:2014-08-09

\*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)、中国博士后科学基金资助项目(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能研启动基金资助项目(13JDC039)

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

(ImSpector, VI7E, Spectra Imaging Ltd., 芬兰)、CMOS 照相机 (XEVA - FPA - 1.7 - 320, Xenics Ltd., 比利时)、CD 照明装置 (2900, Illumination Technologies Inc., 美国)、传输装置 (Zolix TS200AB, Zolix Corp., 中国) 及计算机构成;为了防止基线漂移,数据采集前将高光谱图像采集系统打开,预热 30 min<sup>[16]</sup>。数据采集时,将银杏叶逐一平铺在白色底板的电控位移台上,设定高光谱相机曝光时间为 45 ms,电控平移台的移动速度为 1.25 mm/s,图像扫描行数为 500 行/幅,每行扫描的像素点数为 320,得到的高光谱图像分辨率为 500 像素 × 320 像素;光谱范围为 870 ~ 1 766 nm,光谱分辨率为 2.8 nm,光谱采样间隔为 3.5 nm,采集得到 256 个波长下的图像,最终得到一个大小为 500 × 320 × 256 的三维数据块,如图 1 所示。从图 1 中可以看出,银杏叶高光谱图像数据的特点为既有各个波长下的图像信息,也有各个像素点对应的的光谱信息。高光谱图像数据的这一特性,为研究黄酮含量的叶面分布奠定了基础。

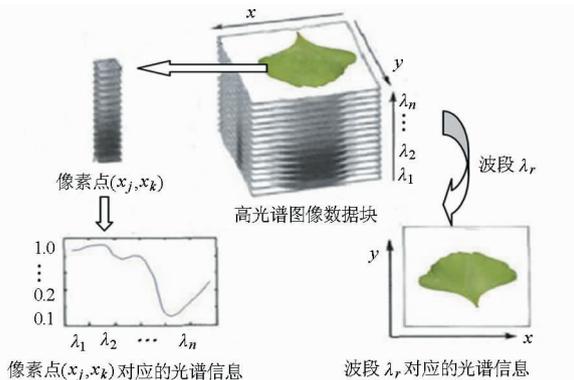


图 1 银杏叶高光谱图像数据块

Fig. 1 Ginkgo biloba leaf hyperspectral image data cube

### 1.3 黄酮含量测定

银杏叶高光谱图像数据采集完毕后,立即进行黄酮含量测定。对银杏叶片精确称量后,于干燥箱 60℃ 下干燥至恒质量,粉碎后移入到 15 mL 离心管中,加 10 mL 体积分数 70% 的乙醇进行超声萃取 30 min,萃取完毕后置于离心机中以 4 000 r/min 转速离心 10 min,取离心管上清液转入 50 mL 容量瓶中,并再次向含有沉淀的离心管中加入 10 mL 体积分数 70% 的乙醇重复超声萃取,接着重复上述操作 4 次,即萃取和离心 4 次,最后将上清液定容至 50 mL,取上清液 15 mL 置于 25 mL 容量瓶中,先加入质量分数 5% 的  $\text{NaNO}_2$  溶液 2 mL,摇匀,放置 6 min 后,加入质量分数 10% 的  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  溶液 2 mL,摇匀,静置 6 min 后,再加入质量分数 20% 的氢氧化钠试液 6 mL,混匀后,用体积分数 70% 的乙醇溶液定容

到刻度,静止放置 15 min 之后,取适量样液通过分光光度计在 508 nm 下测定其吸光度,用芦丁作标准曲线。用标准曲线得出的黄酮质量比计算式为

$$A = 9.806C - 0.015 \quad (r^2 = 0.998) \quad (1)$$

式中  $A$ ——吸光度  $C$ ——黄酮质量比,mg/g

### 1.4 黄酮含量叶面分布图检测

黄酮含量叶面分布图的检测流程如图 2 所示,具体步骤如下:

#### (1) 校正集银杏叶高光谱图像数据处理

针对校正集银杏叶高光谱图像数据块,提取感兴趣区域内的平均光谱组成校正集光谱数据,对校正集光谱数据进行 PCA 特征提取后得到主成分特征变量,以校正集银杏叶黄酮含量为因变量,采用逐步线性回归方法建立黄酮含量校正模型。该校正模型可确定银杏叶高光图像信号与黄酮含量之间的对应关系。

#### (2) 预测集银杏叶高光谱图像数据处理

针对预测集银杏叶高光谱图像数据块,提取感兴趣区域内的平均光谱组成预测集光谱数据,对预测集光谱数据进行 PCA 特征提取后得到主成分特征变量,将 PCA 特征变量代入已建立的校正模型中计算得到黄酮含量预测值,计算预测值与实测值之间的相关性、偏差来评价校正模型的可靠性。

#### (3) 待测银杏叶黄酮含量分布图计算

针对待测银杏叶高光谱图像数据块,逐一提取所有像素点处的光谱信息,对光谱信息进行 PCA 特征提取后得到主成分特征变量,将特征变量代入已建立的校正模型中计算得到每个像素点处黄酮含量校正集银杏叶高光谱图像数据处理

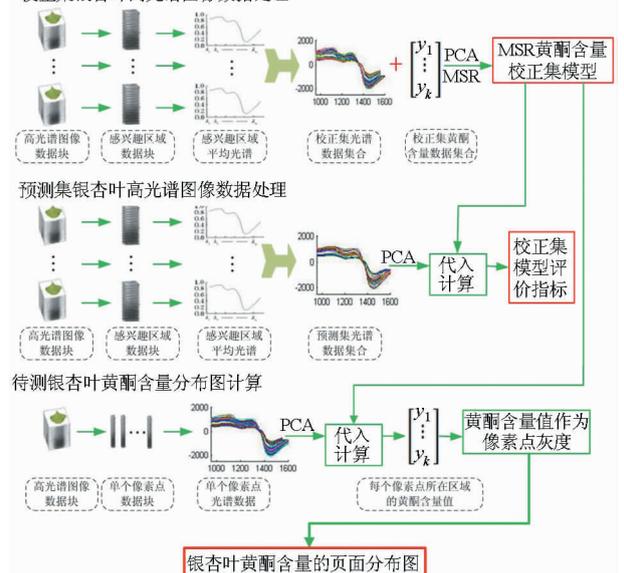


图 2 黄酮含量叶面分布图的检测流程图

Fig. 2 Flowchart for estimating flavonoid content distribution in Ginkgo biloba leaves

量,将黄酮含量作为像素点的灰度并以伪彩色图像显示,从而得到黄酮含量在整片银杏叶上的分布图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 银杏叶黄酮含量检测结果

将120个样本分为校正集和预测集,为了避免子集选择的偏移,根据每个样本的黄酮含量来进行排列。按照校正集和预测集3:1的比例、每4个样本中的3个随机分入校正集,因此校正集包含90个样本,预测集包含30个样本,如表1所示。

从表1可以看出,黄色银杏叶的黄酮质量比均值最高,达26.39 mg/g,而绿色银杏叶的黄酮质量比均值最低,仅为7.55 mg/g,表明银杏叶总黄酮质量比随着绿色、黄绿色、黄色而呈现出递增趋势。

表1 银杏叶黄酮含量理化检测结果统计表

Tab.1 Statistics of total flavonoids content measurement by the standard destructive method of fresh ginkgo

biloba leaves					
					mg/g
样本	数量	最小值	最大值	平均值	标准差
绿色叶片	60	2.73	13.04	7.55	1.863 5
黄绿色叶片	30	8.45	22.30	15.72	3.963 3
黄色叶片	30	15.29	36.68	26.39	5.917 4
所有叶片	120	2.73	36.68	14.30	6.624 1
校正集叶片	90	2.73	36.68	14.15	6.527 7
预测集叶片	30	4.64	36.43	14.77	7.039 7

此外,同一颜色的银杏叶对应的黄酮差异非常明显(最小值与最大值相差2~6倍),这表明仅仅靠颜色不能准确地判定银杏叶的黄酮含量,突出了快速、精确检测银杏叶黄酮含量的必要性。

### 2.2 黄酮含量叶面分布图检测结果

#### (1) 校正集银杏叶高光谱图像数据处理

针对校正集中90片银杏叶的高光谱图像数据块,提取所有波段下银杏叶片区域内的平均值作为光谱数据,预处理后利用PCA提取特征得到主成分特征变量,得到光谱信息对应的前10个主成分信息(PC1, PC2, ..., PC10),以校正集银杏叶黄酮含量为因变量,采用逐步线性回归方法建立黄酮含量校正模型。该校正模型确定了银杏叶高光图像信号与黄酮含量之间的对应关系。回归模型为

$$Y = 13.179 + 0.015P_{C1} - 0.006P_{C2} + 0.019P_{C4} \quad (R = 0.9307, RMSE \text{ 为 } 3.0672) \quad (2)$$

式中  $P_{C1}$ ——主成分 PC1

$P_{C2}$ ——主成分 PC2

$P_{C4}$ ——主成分 PC4

#### (2) 预测集银杏叶高光谱图像数据处理

针对预测集中30片银杏叶的高光谱图像数据

块,提取所有波段下银杏叶片区域内的平均值作为光谱数据,对预测集光谱数据进行PCA特征提取后得到PC1、PC2和PC4特征变量,代入式(2)计算预测集银杏叶的黄酮含量,并将计算结果与理化分析得到的黄酮含量进行对比,其相关系数R为0.9103、均方根误差RMSE为3.4157,表明建立的逐步线性回归模型对黄酮含量具有较稳定的预测能力。

#### (3) 待测银杏叶黄酮含量分布图计算

① 根据1.2节所用的高光谱图像采集方法,获取银杏叶片的高光谱图像数据。② 提取银杏叶高光图像数据块中每一个像素点对应的的光谱信息,对光谱信息进行PCA分析,得到光谱信息对应的第1主成分PC1、第2主成分PC2和第4主成分PC4。③ 将每条光谱对应的PC1、PC2和PC4代入黄酮含量校正模型,即式(2),计算得到每个像素点对应的黄酮含量。④ 将黄酮含量作为银杏叶图像上像素点的灰度并以伪彩色图像显示,从而得到黄酮含量在整片银杏叶上的分布图。

从图3中可以发现:① 绿色叶片大部分区域的黄酮质量比在8~16 mg/g范围,黄绿色叶片大部分区域的黄酮质量比在16~24 mg/g范围内,黄色叶片大部分区域的黄酮质量比在24~32 mg/g范围内,不同颜色叶片的黄酮质量比分布与表1中的理化分析结果基本一致。② 总黄酮含量高的区域主要位于叶片的边缘,总黄酮含量低的区域主要位于叶柄附近。③ 黄酮含量叶面分布图显示的结果非常直观,凭借肉眼可以直接观察黄酮含量在叶片不同区域的分布情况,常规理化方法和近红外检测方法针对某一银杏叶片仅能给出若干检测数据,表明了近红外高光图像技术在检测有机组分二维分布方面的独特优势。

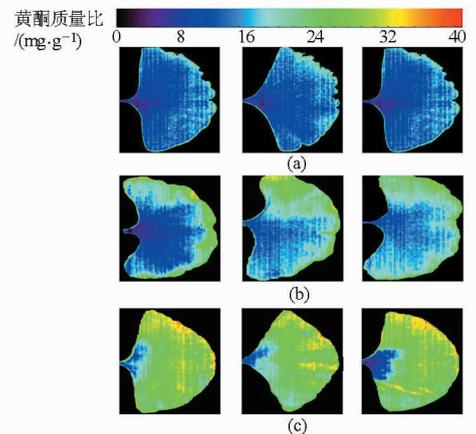


图3 3种颜色银杏叶片对应的黄酮质量比叶面分布图

Fig.3 Distribution maps of total flavonoid content

in three color groups

(a) 绿色银杏叶片 (b) 黄绿色银杏叶片 (c) 黄色银杏叶片

### 3 结束语

采用分光光度计法检测了绿色、黄绿色、黄色银杏叶片的总黄酮含量,并利用近红外高光谱图像技术计算了不同颜色银杏叶片的总黄酮含量分布图。

研究表明,银杏叶总黄酮含量随着绿色、黄绿色、黄色而呈现出递增趋势,且总黄酮含量高的区域主要位于叶片的边缘,总黄酮含量低的区域主要位于叶柄附近。

### 参 考 文 献

- 1 陈梅霞,苏洁,张玥莉,等. 银杏叶提取物与银杏黄酮对高脂血症大鼠血脂水平影响的比较研究[J]. 中国新药杂志,2014,23(7):833-838.  
Chen Meixia, Su Jie, Zhang Yueli, et al. A comparative study on effects of Ginkgo biloba extract and Ginkgo flavonoid on lipid metabolism in SD rats with hyperlipidemia[J]. Chinese Journal of New Drugs, 2014, 23(7): 833-838. (in Chinese)
- 2 张传丽,陈鹏. 银杏类黄酮研究进展[J]. 北方园艺,2014(3):177-181.
- 3 苑可武,孟宪惠,徐文豪. 银杏叶中黄酮含量的季节性变化[J]. 中草药,1997,28(4):211-212.
- 4 周统建,曹福亮,汪贵斌,等. 银杏树中黄酮类化合物分布规律研究[J]. 林产化学与工业,2009,29(6):78-80.  
Zhou Tongjian, Cao Fuliang, Wang Guibin, et al. Study on distribution rule of flavonoids in Ginkgo biloba Linn[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2009, 29(6):78-80. (in Chinese)
- 5 董文庚,邓晓丽,苗凤智,等. HPLC法测定银杏叶中黄酮的含量[J]. 理化检验:化学分册,2005,41(8):563-565.  
Dong Wengeng, Deng Xiaoli, Miao Fengzhi, et al. HPLC determination of flavone in ginkgo leaves[J]. Physical Testing and Chemical Analysis: Part B Chemical Analysis, 2005, 41(8):563-565. (in Chinese)
- 6 邓桂春,王鑫,赵丽艳,等. 分光光度法测定银杏叶中黄酮的含量[J]. 辽宁大学学报:自然科学版,2005,32(2):101-104.  
Deng Guichun, Wang Xin, Zhao Liyan, et al. Spectrophotometric determination of total flavonoids in Ginkgo leaves[J]. Journal of Liaoning University: Natural Sciences Edition, 2005, 32(2):101-104. (in Chinese)
- 7 邹小波,黄晓玮,石吉勇,等. 银杏叶总黄酮含量近红外光谱检测的特征谱区筛选[J]. 农业机械学报,2012,43(9):155-159.  
Zou Xiaobo, Huang Xiaowei, Shi Jiyong, et al. Selection of wavelength regions to determine flavonoids content in Ginkgo leaves by FT-NIR spectroscopy[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(9):155-159. (in Chinese)
- 8 Sinelli N, Spinardi A, Di Egidio V, et al. Evaluation of quality and nutraceutical content of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) by near and mid-infrared spectroscopy [J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 50 (1):31-36.
- 9 单佳佳,彭彦昆,王伟,等. 基于高光谱成像技术的苹果内外品质同时检测[J]. 农业机械学报,2011,42(3):140-144.  
Shan Jiajia, Peng Yankun, Wang Wei, et al. Simultaneous detection of external and internal quality parameters of apples using hyperspectral technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3):140-144. (in Chinese)
- 10 郭恩有,刘木华,赵杰文,等. 脐橙糖度的高光谱图像无损检测技术[J]. 农业机械学报,2008,39(5):91-93,103.  
Guo Enyou, Liu Muhua, Zhao Jiewen, et al. Nondestructive detection of sugar content on navel orange with hyperspectral imaging [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(5): 91-93,103. (in Chinese)
- 11 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,2008,35(5):98-101.  
Li Qingli, Xiao Gonghai, Xue Yongqi, et al. Microscopic hyperspectral image study of human blood cells[J]. Opto-Electronic Engineering, 2008, 35(5):98-101. (in Chinese)
- 12 李家星,吴红杰,李刚,等. 高光谱成像技术在中医证候客观诊断中的应用[J]. 光谱学与光谱分析,2010,30(11):3072-3075.  
Li Jiaxing, Wu Hongjie, Li Gang, et al. Application of hyperspectral imaging technology to objective diagnosis of TCM syndrome [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(11):3072-3075. (in Chinese)
- 13 贺军亮,蒋建军,周生路,等. 土壤有机质含量的高光谱特性及其反演[J]. 中国农业科学,2007,40(3):638-643.  
He Junliang, Jiang Jianjun, Zhou Shenglu, et al. The hyperspectral characteristics and retrieval of soil organic matter content [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(3):638-643. (in Chinese)
- 14 王维,沈润平,吉曹翔. 基于高光谱的土壤重金属铜的反演研究[J]. 遥感技术与应用,2011,26(3):348-354.  
Wang Wei, Shen Runping, Ji Caoxiang. Study on heavy metal cu based on hyperspectral remote sensing[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(3):348-354. (in Chinese)
- 15 张杰林,曹代勇. 高光谱遥感技术在煤矿区环境监测中的应用[J]. 自然灾害学报,2005,14(4):158-162.  
Zhang Jielin, Cao Daiyong. Application of hyperspectral remote sensing technology to environment monitoring in coalmine area [J]. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(4):158-162. (in Chinese)
- 16 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)

rear drive[J]. *Automotive Engineering*, 2013, 35(1):47–50. (in Chinese)

- 16 王仁广, 刘昭度, 齐志权, 等. 基于自适应卡尔曼滤波算法确定汽车参考车速[J]. *农业机械学报*, 2006, 37(4):9–11, 41. Wang Renguang, Liu Zhaodu, Qi Zhiquan, et al. Vehicle reference speed determination using adaptive Kalman filter algorithm [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2006, 37(4):9–11, 41. (in Chinese)

## Differential Control Strategy Research of Wheeled Electric Drive ADT Mining Truck

Sun Huilai Shen Yanhua Jin Chun Wang Ping

(School of Mechanical Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Aiming at the special structure and steering characteristic of wheeled electric-driven articulated underground mining truck, a differential control strategy which took the equal slip rate as control target was given. The kinematic and dynamic model of electric-driven mining ADT was established and the kinematic relationship and stress condition of the driving wheels were analyzed during steering. Acceleration sensors in the sample ADT were used to test the actual speed of the vehicle. Results showed that the filtered signal had small delay and fast response and could be directly used to estimate the speed. Equal slip rate control strategy was superior to equal torque control strategy because it could make full use of the ground adhesion coefficient and achieved the reasonable distribution of drive power. Two sides wheel slip ratio could be stable on  $-0.08$  and the slipping phenomenon was avoided in experimental turning. This control strategy has practical effect for reducing tire wear and improving driving power utilization.

**Key words:** Articulated mining truck Wheeled electric drive Electric differential Control strategy Slip rate

(上接第 245 页)

## Determination of Total Flavonoid Content Distribution on Different Color Ginkgo Biloba Leaves

Shi Jiyong Zou Xiaobo Zhang Detao Chen Zhengwei Zhao Jiewen

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

**Abstract:** Hyperspectral imaging technology was used to determine total flavonoid content distribution map on different color ginkgo biloba leaves (green, green-yellowish, yellow). Firstly, 120 Ginkgo biloba leaves were used to collect hyperspectral image data cube and determine total flavonoids concentrations. Secondly, the average gray value of each band in hyperspectral image data cube was calculated as spectral data of Ginkgo biloba leaf. The spectral data and total flavonoids concentrations were used to build calibration model ( $R = 0.9307$ ) by using multiple stepwise regression method. Finally, the calibration model was used to predict the total flavonoid content of each pixel in the hyperspectral image. This enables construction of a distribution map of total flavonoid content on the ginkgo leaf. Distribution maps of total flavonoid content in three color groups (green, green-yellowish, yellow) were calculated. Results indicate that the level of total flavonoid for green, green-yellowish, and yellow were in an increasing order. Higher level of total flavonoids could be noticed at the margin area of the leaves, while lower levels occurred at the area near the leafstalk of the ginkgo leaves. This research provided a method to determine major constituent of food and agricultural products.

**Key words:** Ginkgo biloba leaf Total flavonoid content Quantitative analysis Hyperspectral imaging technology