

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.07.032

基于近红外图像的温室小型西瓜采摘信息获取技术*

袁挺 纪超 张震华 张俊雄 谭豫之 李伟
(中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 为实现温室立体栽培模式下小型西瓜的识别与空间定位,研究了基于近红外图像的西瓜采摘信息获取方法。测定、比较西瓜果实与茎、叶的光谱反射率,确定波长 850 nm 附近波段为区分西瓜与背景的最佳波段,在光强差异较大的两时段内采集了最佳波段下的西瓜近红外图像;通过 Otsu 算法滤除背景信息,利用“米”字型模板检测得到“浓缩西瓜”区域,实现西瓜果实识别;使用形心坐标计算公式获得采摘点坐标;根据西瓜果梗生长特性,利用分块定位算法获得切割点坐标信息。在温室环境下随机选择拍摄 50 幅有西瓜图像和 20 幅无西瓜图像进行识别算法验证,并对识别成功的有西瓜图像进行采摘点与切割点提取算法验证。结果表明,有西瓜图像识别成功率为 86%,无西瓜图像为 95%;采摘点、切割点定位准确度分别为 93.0%、88.4%。

关键词: 西瓜 采摘 近红外图像 信息获取
中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)07-0174-05

Information Acquisition Technique of Mini-watermelon for Harvesting
Based on Near-infrared Image in Greenhouse

Yuan Ting Ji Chao Zhang Zhenhua Zhang Junxiong Tan Yuzhi Li Wei
(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

In order to realize the recognition and localization of the mini-watermelon with stereoscopic cultivation in greenhouse, a machine vision method for acquiring harvesting information of watermelon based on the near-infrared spectral image was presented. By comparing the spectral reflectance of fruit, leaf and stem, a wavelength of about 850 nm was chosen as the best wavelength, of which the images taken at different illumination conditions were tested for fruit recognition. At first, the Otsu threshold algorithm was adopted to eliminate most background information. Then, a template liked circle was used to detect fruit region and reduce the noises. Thirdly, according to the morphological feature, the centroid of fruit was considered as the optimum point for picking and the cutting point was judged by “block-location method”. 50 images including fruits and 20 images without fruits were tested by the recognition algorithm, which can satisfactorily detect fruit with a recognition rate of 86% and 95%, respectively, and the accuracy rate of locating algorithm for picking point and cutting point detection was 93.0% and 88.4%, respectively, which met the demand of robotic vision system.

Key words Watermelon, Harvesting, Near-infrared image, Information acquisition

引言

果蔬采摘机器人视觉系统负责获取果实采摘信

息,即识别果实目标、确定果实采摘点与切割点坐标位置,对机器人采摘成功率的影响最为显著。提高机器人视觉性能的关键在于获取利于进行图像分割

收稿日期: 2011-09-26 修回日期: 2011-10-26
*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B07)、国家自然科学基金资助项目(31071320)和高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20090008110007)
作者简介: 袁挺, 博士生, 主要从事农业机器人、机器视觉技术研究, E-mail: jicobear@163.com
通讯作者: 李伟, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机器人、机器视觉技术研究, E-mail: liww@cau.edu.cn

的原始图像,研发果实识别效果好、目标点提取精度高的算法。

对于果实与茎叶颜色差异较大的果蔬品种如草莓、番茄、苹果等,一般通过颜色通道运算^[1~2]、色彩空间转换^[3~4]等方法进行图像分割与果实识别,根据果实的尺寸、形状及其空间姿态计算采摘点与果梗切割点的坐标位置^[5~6]。而像黄瓜、青椒、西瓜等近色系果蔬,难以通过颜色差异区分果实与背景,并且在光线多变、干扰繁杂的非结构环境下,面积、形状等物理属性同样难以成为可靠的分割标准。故近色系果蔬在可见光波段内不易获得较好的识别效果。

近年来,随着人们对农作物光谱特性认识的深入,光谱成像与机器视觉技术相结合,广泛应用于杂草识别^[7]、植株病虫害监测^[8]、农产品品种检测^[9]等多个方面。对于近色系果蔬,依据果实与背景的分光反射特性差异,可以获得像素差值明显的光谱灰度图,易于进行果实识别^[10~11]。Tokuda^[12]等依据西瓜与叶片在近红外波段下的分光反射特性差异,对西瓜近红外图像进行了二值化与区域标记处理,并根据果实形状特征识别出目标区域。但从最终图像处理结果来看,该算法二值化过分割现象明显,且未对切割点进行位置确定。

本文以立体栽培模式下的小型西瓜为研究对象,测定并分析果实与叶片光谱特性,根据果实与果梗生长特征研究西瓜采摘信息获取方法,满足采摘机器人视觉系统要求。

1 材料与方法

1.1 西瓜光谱分析

所测对象是温室立体栽培模式下小型西瓜(品种:精选新秀)的果实、茎与叶片。实验仪器为美国 ASD 公司的 FieldSpec HandHeld 型便携式光谱分析仪。其光谱响应范围为 350 ~ 1 050 nm,测量时光谱采样间隔为 1 nm。光源为珠江牌 24 V、300 W 全波段直流卤素灯。

在光照条件稳定后,对光谱仪进行白板标定,随后以低反射率的粗糙黑布为背景,分别测量西瓜果实与茎、叶正、反面的光谱反射率。每项样本各取 5 个点进行测量,每点分别测量 5 次,去掉所测数据中偏差较大的点,计算 3 种待测样本各自的反射率平均值。

实验所得原始光谱反射率曲线如图 1 所示。由图 1 可看出,在 350 ~ 780 nm 波段内,西瓜果实的反射率与茎、叶较为接近,难以进行区分;进入 780 ~ 920 nm 的近红外波段,受有机化合物中 C—H 键第

3 倍频影响^[13],西瓜果实的反射率增长速度明显高于茎、叶,尤其在 850 nm 附近波段内,果实与背景呈现较大且稳定的反射率差异,适宜进行果实识别。

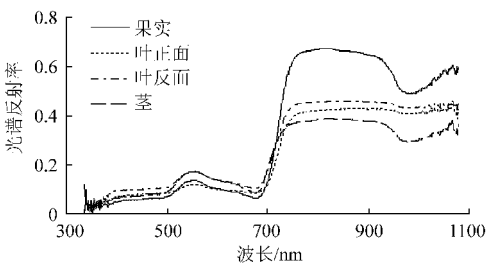


图 1 西瓜果实与茎、叶的光谱反射特性曲线
Fig. 1 Spectral reflectance of watermelon and leaf

1.2 近红外图像获取

选用的图像采集设备为 CCD 黑白相机(嘉恒 OK-AM1310 型)、8 mm 焦距镜头(Computar M0814-MP 型)和 850 nm 滤波片(带宽 50 nm)。滤波片安装于镜头前端,图像数据通过 USB 接口输入计算机。采图距离为 40 ~ 50 cm,焦距与光圈值在采图过程中保持不变。

为获取不同光照条件下图像,分别于 13:00 ~ 14:00 与 16:00 ~ 17:00 两时段内采集西瓜近红外灰度图像。在 16:00 ~ 17:00 时段内,由于日光光照强度不足,需开启卤素灯作为辅助光源。图 2 所示为不同时间段下随机拍摄的两处西瓜场景,可以看出:西瓜果实灰度明显高于背景区域,尤其在日光与辅助光源混合光照条件下,图像前、后景灰度差异更为突出,利于进行区域分割。

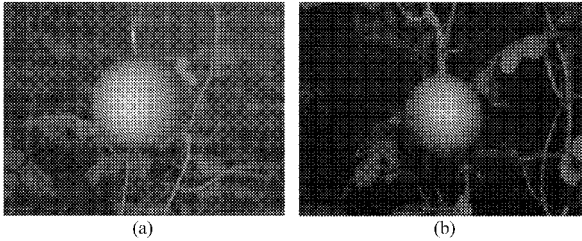


图 2 不同时刻采集的西瓜图像
Fig. 2 Images captured at different time
(a) 13:25 (b) 16:47

1.3 图像预处理

西瓜果实为类球形,且体积大于草莓、苹果、番茄等一般果蔬,在光线多变、阴影层叠的温室非结构环境下,更易产生自身遮挡,在近红外图像中呈现灰度分布不均。图 3a 为 13:00 ~ 14:00 时段内随机采集的一幅西瓜图像,其灰度等高图如图 3b 所示(相邻等高线灰度差为 30),可以看出:果实下半区灰度低于上半区,边缘区明显低于中心区,边缘区接近甚至低于周围茎叶区。为完全分离果实与背景茎叶,需设置较高的分割阈值,结果将丧失大量果实边缘

信息,同时影响果实区域的面积与形状特征。图 3c 所示的二值图像无粘连地分割出了西瓜区域,但西瓜下半区“缩水”程度大于上半区,边缘腐蚀严重,影响了果实面积、形心坐标等重要参数的计算精度,并且由于光照方向测定困难,计算结果修正起来也较为复杂。

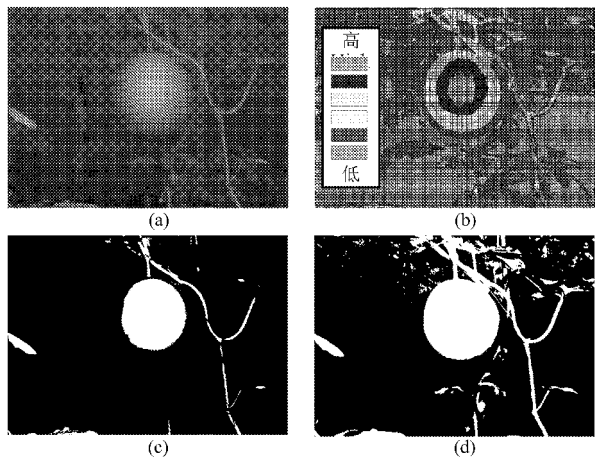


图 3 图像预处理结果
Fig. 3 Results of image pre-processing

(a) 源图像 (b) 灰度等高图
(c) 高阈值处理结果 (d) 改进的 Otsu 阈值处理结果

使用经典 Otsu 自适应阈值算法^[14]获得西瓜图像分割初阈值 P_0 ,将 P_0 与修正系数 k 的乘积作为最终图像分割阈值 P_1 。经大量图像处理实验发现, k 值取 0.9 时,可获得的果实区域较为完整且果实粘连区域较小的二值图像。图 3d 所示为经阈值 P_1 分割及中值滤波处理后的二值图像,较图 3c 更好地保留了西瓜边缘信息,但出现了明显的图像粘连以及难以通过滤波消除的小面积干扰。

1.4 果实识别

根据西瓜几何特征,设计了一种“米”字型模板检测西瓜区域,该模板内部元素分布如图 4a 所示。“米”字型模板属于腐蚀操作模板^[15],为简化结构、降低计算量,在圆形模板基础上保留其中 8 条夹角互为 45°的分枝,各分枝像素长度可变,上限值为 $R/2$ (定义西瓜半径像素长度的统计平均值为 R ,本文所测西瓜品种的 R 统计平均值为 410 像素,下同)。

对二值化图像(图 3d)进行模板检测:设模板半径为 r ;模板中心元素击中像素点 P ,其灰度为 V_0 ; P 点邻域内,模板分枝末端元素击中 8 个像素点,其灰度为 $V_i(i = 1, 2, \dots, 8)$,则算法处理流程如图 5 所示。

图 4b 所示为算法处理结果,可以看出:对二值化图像进行“米”字型模板检测相当于对西瓜区域进行了等比例浓缩,保留了西瓜的基本形状,完全去除了不相连的小面积干扰物,同时削弱了果实粘连

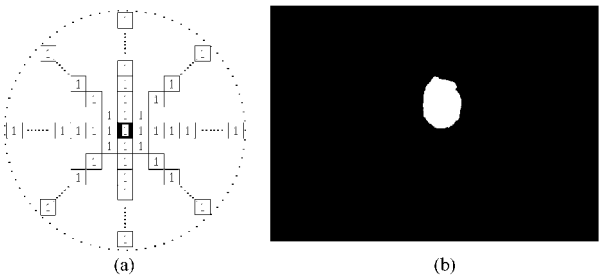


图 4 “米”字型模板及识别结果
Fig. 4 Fruit recognition by template detection
(a) “米”字型模板 (b) 模板检测结果

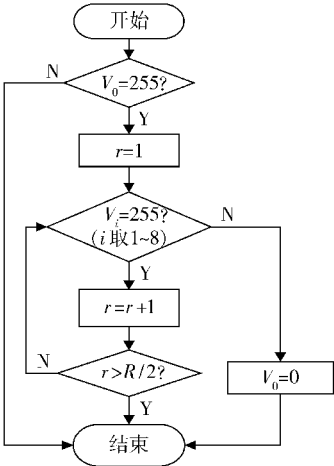


图 5 模板检测算法流程图
Fig. 5 Flowchart of template detection algorithm

的影响。

得到“浓缩版”西瓜区域后,判断其圆弧度、像素面积等参数是否满足一般“浓缩”西瓜的参数范围;若不满足条件,则判定视场内未出现西瓜;反之,判定视场内存在西瓜,并根据参数值大小初步评定西瓜品质是否满足采摘要求,若满足,则对西瓜区域进行采摘点与切割点提取处理。

1.5 采摘点提取

视觉系统识别到果实后,机器人利用机械臂将手爪定位至果实空间位置,通过手爪包裹夹紧果实完成抓取任务。其中,视觉系统负责提供机械臂空间运动所需的目标点坐标,该目标点是果实三维信息点中最适宜手爪定位的一个点,称为采摘点,采摘点的选择影响着机器人的抓取精度。对于柑橘、苹果等^[16~17]类球形果蔬,一般将采摘点设定于果实球心位置。在二维图像中,采摘点位置则由果实区域的形心坐标所表征。设西瓜区域像素面积为 A ,区域内任意像素点坐标为 (x_i, y_i) ,则西瓜形心坐标 $(\bar{x}, \bar{y})$ 的计算公式为

$$\begin{cases} \bar{x} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^A x_i \\ \bar{y} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^A y_i \end{cases} \quad (1)$$

为便于观察结果,将求出的西瓜形心点表示在原始图像中,如图 6a 所示。

图 6a 的源图像(即图 3a)采集于 13:00 ~ 14:00 时段内,体现了在强光照条件下的采摘点提取结果。为验证采摘点获取算法的光照适应性,对 16:00 ~ 17:00 时段内采集的西瓜图像进行了算法处理,采摘点提取结果如图 6b 所示。可以看出,该识别算法对不同光照条件具有较强的适应性。

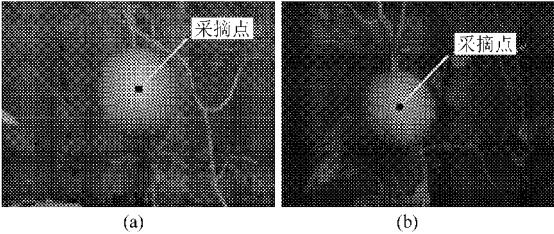


图 6 采摘点检测结果

Fig. 6 Results of picking-point detection
(a) 强光照条件下 (b) 弱光照条件下

1.6 切割点提取

草莓、黄瓜、西瓜等果蔬的果梗细长,机器人通常利用高压电极、切刀等方式^[18-19]切断果梗,实现果实与植株本体的分离。为避免切割运动引起植株震颤,降低切割力功耗,切割点的选择应尽量靠近果实与果梗连接处,且不能进入果实区域。温室立体栽培模式下的小型西瓜形状较为匀称,果梗长度大于 $R/2$,其轴线通常沿铅垂方向,通过或接近果实形心。据此特征,将切割点限制在采摘点(果实形心)正上方的矩形兴趣区内,如图 7a 所示,该矩形区域长为 R ,宽为 $R/2$,其对称中心线通过采摘点,下边缘与采摘点相距 $R/2$ 。

以 Otsu 算法阈值分割后的二值化图像为基础,采用分块定位法计算矩形兴趣区内的切割点坐标:

(1) 行坐标计算。将矩形兴趣区按行等分为 10 个分块,自下向上对各分块进行编号(图 7b),计算各分块内白像素(灰度为 255)的个数 $C_i(i=1,2,\dots,10)$,其统计直方图如图 7c 所示。按编号顺序,将首次出现黑像素数高于所在分块总像素数 $1/4$ (即 $C_i > R^2/80$)的分块定义为过渡块(图 7b 所示第 6 分块),将过渡块的下一分块定义为切割点所在块(图 7b 所示第 7 分块),其水平中心线即为采摘点所在目标行。

(2) 列坐标计算。仿照行坐标计算方法,将矩形兴趣区按列等分为 10 个分块,统计各分块内白像素点数(图 7d、7e)。将所含白像素最多的分块定义为果梗所在块,其竖直中心线为采摘点所在目标列。若存在多个分块的白像素数相等且最多,则取其列坐标平均值为目标列。

最后,确定目标行、列的交点为切割点,将求取结果表示在原始图像中,如图 7f 所示。

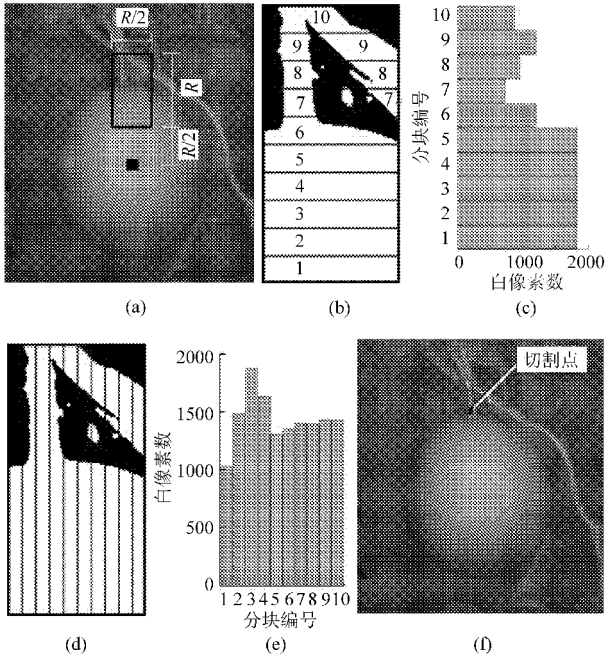


图 7 切割点检测算法

Fig. 7 Algorithm of cutting-point detection
(a) 兴趣区域 (b) 按行分块结果 (c) 行像素直方图
(d) 按列分块结果 (e) 列像素直方图 (f) 算法处理结果

2 实验与分析

在温室环境下随机拍摄了 50 幅含西瓜近红外图像与 20 幅不含西瓜的图像。其中顺光拍摄 40 幅,逆光拍摄 30 幅。拍摄时间选自中午(13:00 ~ 14:00)与傍晚(16:00 ~ 17:00)两个时段,其中,在中午时段选择日光作为单一光源,傍晚时段需开启卤素灯,与日光形成混合光源。对西瓜近红外图像进行算法处理,结果如表 1 所示。

表 1 识别率			
Tab. 1 Recognition rate of mini-watermelon			
类别	样本数	识别成功数	识别率/%
中午	25	20	80
傍晚	25	23	92
无果实	20	19	95

可以看出,对含有果实的图像,算法识别率平均为 86%,且混合光照条件下的算法识别率明显高于自然光照;对无果实的图像,仅有 1 次误识别。产生误识别、造成识别率差异的原因有:①西瓜场景中光线分布不均且干扰物过多,阈值分割处理后,噪声及图像粘连过于严重,模板检测后得到的西瓜区域不满足“浓缩”西瓜参数要求。②混合光源较自然光源在场景光照分布方面更具可控性,人工光源照射

深度有限,增强了西瓜与较远背景在深度方向上的反射率差异,灰度差异更为明显。

对识别成功的43幅西瓜图像进行了采摘点与切割点提取实验,提出了实验结果评判标准:果实抓取过程中,手爪呈张开状态,两手指相距为 $4R$ 。为保证西瓜无碰触进入两指之间,同时考虑西瓜实际尺寸范围,要求采摘点距离西瓜实际形心不得超过 $R/5$;为保证切割高度足够低且不伤及西瓜,要求切割点不能落在西瓜区域内,且距果实与果梗连接点不超过 $R/10$ 。实验结果显示,采摘点与切割点提取结果的达标率分别为93.0%和88.4%。影响因素主要为:①光照方向偏斜严重或逆光条件下,场景中较亮干扰物过多,阈值处理时对果实较暗面产生过分割。②果梗被完全遮挡或果梗附近干扰物过多,

影响矩形兴趣区内白像素数分布。

3 结论

(1)通过测定、比较西瓜果实与茎、叶光谱反射率,确定波长850 nm附近波段下的西瓜近红外图像更加适宜果实识别。

(2)根据西瓜类球属性,提出了“米”字型模板检测算法,有效降低了阈值分割后果实粘连与小面积干扰影响,实现了西瓜目标精确识别与采摘点准确定位。

(3)依据西瓜果梗空间姿态特征,提出了切割点分块定位算法。实验结果表明,切割点定位精度达88.4%,满足采摘作业要求,利于果实无损伤采摘。

参 考 文 献

- 1 Zhang Fangming, Zhang Naiqian. Applying joint transform correlator in tomato recognition [C] // 2008 ASABE Annual International Meeting, Paper No: 084672, 2008.
- 2 Li Bin, Wang Maohua, Wang Ning. Development of a real-time fruit recognition system for pineapple harvesting robots [C] // 2010 ASABE Annual International Meeting, Paper No: 1009510, 2010.
- 3 Kondo N, Yamamoto K, Yata K, et al. A machine vision for tomato cluster harvesting robot [C] // 2008 ASABE Annual International Meeting, Paper No: 084044, 2008.
- 4 Tarrío P, Bernardos A M, Casar J R, et al. A harvesting robot for small fruit in bunches based on 3-D stereoscopic vision [C] // Computers in Agriculture and Nature Resources, 4th World Congress Conference, 2006, ASABE Publication Number: 701P0606, 2006.
- 5 荀一,陈晓,李伟,等. 基于轮廓曲率的树上苹果自动识别[J]. 江苏大学学报:自然科学版,2007,28(6):461~464.
Xun Yi, Chen Xiao, Li Wei, et al. Automatic recognition of on-tree apples based on contour curvature [J]. Journal of Jiangsu University: Nature Science Edition, 2007, 28(6):461~464. (in Chinese)
- 6 Hayashi S, Shigematsu K, Yamamoto S, et al. Evaluation of a strawberry-harvesting robot in a field test [J]. Biosystems Engineering, 2010, 105(2): 160~171.
- 7 刘波,方俊永,刘学,等. 基于成像光谱技术的作物杂草识别研究[J]. 光谱学与光谱分析,2010,30(7):1 830~1 833.
Liu Bo, Fang Junyong, Liu Xue, et al. Research on crop-weed discrimination using a field imaging spectrometer [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(7):1 830~1 833. (in Chinese)
- 8 Muhammed H H. Hyperspectral crop reflectance data for characterising and estimating fungal disease severity in wheat [J]. Biosystems Engineering, 2005, 91(1):9~20.
- 9 朱大洲,王坤,周光华,等. 单粒大豆的近红外光谱特征及品种鉴别研究[J]. 光谱学与光谱分析,2010, 30(12): 3 217~3 221.
Zhu Dazhou, Wang Kun, Zhou Guanghua, et al. The NIR spectra based variety discrimination for single soybean seed [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(12): 3 217~3 221. (in Chinese)
- 10 Arima S, Kondo N. Cucumber harvesting robot and plant training system [J]. Journal of Robotics and Mechatronics, 1999, 11(3):208~212.
- 11 van Henten E J, Hemming J, van Tuijl B A J, et al. An autonomous robot for harvesting cucumbers in greenhouses [J]. Autonomous Robots, 2002, 13(3): 241~258.
- 12 Tokuda M, Namikawa K. Discernment of watermelon fruits using image processing [J]. Journal of the Japanese Society of Agriculture Machinery, 1996, 57(2): 13~20.
- 13 李民赞. 光谱分析技术及其应用[M]. 北京:科学出版社,2006.
- 14 Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 9(1):62~66.
- 15 冈萨雷斯. 数字图像图像处理[M]. 2版. 北京:电子工业出版社,2010.

- 21 Jiang S H, Li Hanquan, Ma H L, et al. Antioxidant activities of selected Chinese medicinal and edible plants [J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2011, 62(5): 441 ~ 444.
- 22 Abu Bakar M F, Mohamed M, Rahmat A, et al. Phytochemicals and antioxidant activity of different parts of bambangan (*Mangifera pajang*) and tarap (*Artocarpus odoratissimus*) [J]. Food Chemistry, 2009, 113(2): 479 ~ 483.
- 23 Gu F L, Kim J M, Hayat K, et al. Characteristics and antioxidant activity of ultrafiltrated Maillard reaction products from a casein-glucose model system [J]. Food Chemistry, 2009, 117(1): 48 ~ 54.
- 24 Jeong C H, Choi G N, Kim J H, et al. Antioxidant activities from the aerial parts of *Platycodon grandiflorum* [J]. Food Chemistry, 2010, 118(2): 278 ~ 282.
- 25 Pan Y M, He C H, Wang H S, et al. Antioxidant activity of microwave-assisted extract of *Buddleia officinalis* and its major active component [J]. Food Chemistry, 2010, 121(2): 497 ~ 502.
- 26 Ammar R B, Bhouri W, Sghaier M B, et al. Antioxidant and free radical-scavenging properties of three flavonoids isolated from the leaves of *Rhamnus alaternus* L. (Rhamnaceae): a structure-activity relationship study [J]. Food Chemistry, 2009, 116(1): 258 ~ 264.
- 27 Duan X W, Jiang Y M, Su X G, et al. Antioxidant properties of anthocyanins extracted from litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit pericarp tissues in relation to their role in the pericarp browning [J]. Food Chemistry, 2007, 101(4): 1 365 ~ 1 371.
- 28 Yang G M, Wang D, Tang W, et al. Anti-inflammatory and antioxidant activities of oxytropis falcata fractions and its possible anti-inflammatory mechanism [J]. Chinese Journal of Natural Medicines, 2010, 8(4): 285 ~ 292.
- 29 国家药典委员会. 中国药典 2010 版; 二部 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010.
- 30 Madureira A R, Amorim M, Gomes A M, et al. Protective effect of whey cheese matrix on probiotic strains exposed to simulated gastrointestinal conditions [J]. Food Research International, 2011, 44(1): 465 ~ 470.
- 31 Cai Z W, Qian T X, Wong R N S, et al. Liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry for metabolism and pharmacokinetic studies of ginsenoside Rg3 [J]. Analytica Chimica Acta, 2003, 492(1 ~ 2): 283 ~ 293.
- 32 Sultana B, Anwar F, et al. Antioxidant activity of phenolic components present in barks of *Azadirachta indica*, *Terminalia arjuna*, *Acacia nilotica*, and *Eugenia jambolana* Lam. trees [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1 106 ~ 1 114.
- 33 Liu X, Zhao M, et al. Antioxidant activity of methanolic extract of emblica fruit (*Phyllanthus emblica* L.) from six regions in China [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2008, 21(3): 219 ~ 228.
- 34 Cheng X L, Wan J Y, Li P, et al. Ultrasonic/microwave assisted extraction and diagnostic ion filtering strategy by liquid chromatography-quadrupole time-of-flight mass spectrometry for rapid characterization of flavonoids in *Spatholobus suberectus* [J]. Journal of Chromatography A, 2011, 34(26): 5 774 ~ 5 786.
- 35 Hayat K, Hussain S, et al. Optimized microwave-assisted extraction of phenolic acids from citrus mandarin peels and evaluation of antioxidant activity in vitro [J]. Separation and Purification Technology, 2009, 70(1): 63 ~ 70.
- 36 Pan Y, He C, et al. Antioxidant activity of microwave-assisted extract of *Buddleia officinalis* and its major active component [J]. Food Chemistry, 2010, 121(2): 497 ~ 502.

(上接第 178 页)

- 16 Hannan M W, Burks T F, Bulanon D M. A real-time machine vision algorithm for robotic citrus harvesting [C] // 2007 ASABE Annual International Meeting, Paper No: 073125, 2007.
- 17 司永胜, 乔军, 刘刚, 等. 苹果采摘机器人果实识别与定位方法 [J]. 农业机械学报, 2010, 41(9): 148 ~ 153.
- Si Yongsheng, Qiao Jun, Liu Gang, et al. Recognition and location of fruits for apple harvesting robot [J]. Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(9): 148 ~ 153. (in Chinese)
- 18 van Henten E J, van Tuijl B A J, Hemming J, et al. Field test of an autonomous cucumber picking robot [J]. Biosystems Engineering, 2003, 86(3): 305 ~ 313.
- 19 Arima S, Kondo N, Monta M. Strawberry harvesting robot on table-top culture [C] // 2004 ASAE/CSAE Annual International Meeting, Paper No: 043089, 2004.