不同自然场景下葡萄果实识别方法研究

马本学[1,2]，贾艳婷[1,2]，梅卫江[1]，高国刚[1,2]，吕琛[1]，周强[1]
（1.石河子大学机械电气工程学院，新疆石河子 832000）
（2.新疆兵团农业机械重点实验室，新疆石河子 833200）

摘要：本文研究了自然场景下不同颜色葡萄果实的识别方法，针对晴天顺光、晴天逆光及夜间三种光照情况下采集的葡萄图像进行处理，在图像预处理的基础上提出了基于不同颜色空间的图像分割方法，利用最大类间方差法和直方图双峰法分别获取最佳阈值，得到葡萄串的轮廓图像，实现目标果实和复杂背景区域的分割。根据目标果实轮廓图像绘制其最小外接矩形，并利用 Harris 角点检测法提取果实重心及采摘点坐标等特征信息。实验结果表明：葡萄识别算法可对图像中果实部分快速准确地识别出来，并在很大程度上降低了光照强度等因素对果实识别效果的影响，其中绿色葡萄在晴天顺光、晴天逆光、夜间的识别率分别为 93.3%、86.7%、96.7%，紫色葡萄在三种光照情况下识别率分别为 90%、83.3%、96.7%。

关键词：葡萄；自然场景；颜色空间；图像识别
文章篇号：1673-9078(2015)9-145-149 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.9.024

Study on the Recognition Method of Grape in Different Natural Environment

MA Ben-xue[1,2], JIA Yan-ting[1,2], MEI Wei-jiang[1], GAO Guo-gang[1,2], LV Chen[1], ZHANG Wei[1]
(1.Mechanical and Electrical Engineering College, Shihezi University, Shihezi 832000, China)
(2.The Key Laboratory of Xinjiang Production and Construction Group, Shihezi University, Shihezi 832000, China)

Abstract: This paper is mainly about how to recognize different color grapes in nature, The grape images that taken under a fine day of front lighting, back lighting and night conditions, A novel grape image segmentation method based on different color space was proposed. The maximum classes square error method and the histogram method were used to obtain the best threshold, to get the grape bunches contours images and to cut the complex background region apart. The minimum enclosing rectangle was drawn on account of the image contour of target grapes, the feature information of grape barycenter and the plucking positions were extracted by the Harris corner test. The results showed that the identification algorithm of grapes could accurately identify the grapes in the picture and reduce impacts of illumination intensity in a large extent, among which the recognition ratio of green grapes in front lighting, back lighting and night conditions were 93.3%、86.7% and 96.7%, while the recognition ratio of purple grapes were 90%、83.3% and 96.7%.

Key words: Grape; nature scene; color space; image recognition

葡萄在我国各个省份均有分布，新疆以其得天独厚的气候及地理条件，造就了最为优质的葡萄品质，作为四大主产区之一，新疆葡萄的栽培面积和产量位居全国之首[1~2]。然而由于葡萄采摘季节性强、采摘工作劳动强度大、效率低、人工成本高，因此为了实现葡萄采摘作业的智能化及自动化，进一步解放人工劳动力，研发葡萄采摘机器人实现田间自主收获果实具有重大意义。

收稿日期：2014-11-06
基金项目：国家科技支撑计划项目(2015BAD19B03)；大学生创新创业训练计划项目(201410759037)
作者简介：马本学(1970-)，男，博士，教授，主要从事农产品智能化检测与分级装备研究

果蔬的智能化采摘依赖于采摘机器人对采摘目标的正确识别，自然环境下目标果实的识别根据其颜色特征分为两类：一类果实与背景颜色差异较大，另一类果实与背景颜色相近。

针对两类果实的识别，相关学者从不同角度进行了研究。Rajendra P[3]针对草莓采摘机器人视觉系统识别成熟草莓，Arefi A[4]等识别出多果毗邻番茄。Okamoto H[5]、Kurtulmus F[6]以较高识别率识别出绿色柑橘，Xiu L S[7]利用模糊模式识别的方法准确识别出温室黄瓜。此外，学者在猕猴桃、荔枝、菠萝等果实图像识别中取得很大进展。但是针对成串葡萄的识别及特征提取的研究较少，葡萄自动化采摘过程中目标识别及定位工作仍需进一步探究。Reis M J C S[8]建立

葡萄识别模型，识别夜间白色及红色酿酒葡萄，其特殊的光照系统有益于夜间葡萄的识别。Nuske S[9]研究了绿色葡萄识别的高精度算法，通过检测单粒葡萄浆果仅能实现葡萄产量的估测。R Chamelat[10]利用Zemike矩及颜色信息的方法检测葡萄形状。Fernández R[11]基于集成CCD相机及滤光轮的感光平台，提出结合RGB及多光谱图像的k-means算法检测葡萄，基于目标及像素特征选择过滤器继而识别葡萄较为复杂。Diago M P[12]改进了基于马氏距离的监督式分类器的算法，通过计算邻域的像素个数估算葡萄叶面积及产量，尚未探究葡萄串的特征信息。田锐[13]在RGB颜色空间内利用颜色样本值分割葡萄图像，识别出紫色和红色葡萄，绿色葡萄识别率仅为52%。

针对复杂背景下葡萄识别的国内外研究现状及存在的问题，本文以自然场景中成熟后呈现绿色和紫色的葡萄为研究对象，选择晴天顺光、逆光及夜间三种不同光照，分析葡萄果实及复杂背景的颜色特征信息，选择与光照条件无关的颜色空间分量分割图像，最终准确识别自然场景下的葡萄果实，通过对葡萄图像中目标果实及背景的分割、识别及采摘点等信息特征提取的研究，为葡萄采摘机器人准确识别及定位葡萄果实奠定基础。

1 材料与方法

1.1 图像的采集

本试验于2014年8月葡萄成熟季节，在新疆石河子市葡萄研究所葡萄园中进行。选用SONY DSC-HX7数码相机采集图像。选择的葡萄品种为维多利亚（成熟为绿色）、夏黑（成熟为紫色），该类葡萄为鲜食葡萄，在生长过程中并未对果实套袋，因此在采集图像前不对自然生长的果实进行任何操作。采集的图像包括晴天顺光、晴天逆光、夜间三种不同光照条件。

1.2 图像颜色特征分析

成熟的葡萄按颜色大致可分为红色、绿色、紫色3类，果粒成簇生长，其栽培模式大多采用棚架、篱架等，葡萄的生长背景复杂多样，包括绿叶、天空、土地、水泥柱、枯叶等，其中绿色葡萄与背景颜色相近，紫色葡萄与背景差异明显，为满足葡萄采摘机器人的采摘需求，需对自然场景中不同光照强度下各类葡萄果实准确识别。

1.3 试验方法

1.3.1 图像预处理

由于成像系统在自然场景下采集图像的过程中受到条件的限制和随机噪声的干扰，为改善图像的视觉效果，消除图像中无关紧要的信息，需对图像进行预处理。

为了方便图像批处理，利用MATLAB R2013a将图像的分辨率统一调整为480像素×640像素，将葡萄的彩色图像转换成灰度图像，并选用对孤立的噪声像素具有良好滤波效果的中值滤波法消除噪声。

1.3.2 颜色模型的选择

对于自然场景下的目标识别，图像分割效果受外界光照条件影响较大，为了有效地分割出图像中的果实区域，根据不同种类果实与背景颜色特征的差异，选择合适的颜色空间模型是至关重要的。鉴于相机的拍摄效果、果实的颜色信息以及背景的复杂程度，本研究在彩色图像分割过程中采用基于多种颜色空间提取初始颜色分量的图像分割算法，该算法原理简单、分割效果显著、运算数据量小、运算速度快、无需进行复杂的建模工作[14]，适合于对实时性要求较高的采摘机器人视觉系统。

葡萄品种之一夏黑，果实成熟后为紫色，与背景颜色差异较大，结合葡萄果实与背景的颜色特征，选用RGB颜色空间中的B-R分量、HSV颜色空间的H分量、L*a*b颜色空间的b分量、YCbCr颜色空间Cb分量对3种自然场景下的紫色葡萄图像进行对比试验。分析结果可知：图像的H分量、b分量及Cb分量图中葡萄果实和背景的灰度差别较大，有利于进行下一步图像果实区域与背景区域的分割，各颜色空间分量图如图1所示。

葡萄品种之二维多利亚，成熟后呈绿色，葡萄果实与背景颜色相近。由于时间、光照强度、架型结构、图像曝光情况等因素的影响，所采集的顺光图像与逆光图像差异较大，相同光照情况下葡萄单个果粒之间光照强度亦存在差异。分析各颜色空间分量图（如图2所示）可知：顺光及夜间情况下，L*a*b颜色空间的L分量图中，葡萄果实的L分量值明显高于背景，采用该分量分割果实与背景效果最佳。逆光条件下，RGB颜色空间的2R-G-B色差分量灰度图的果实与背景灰度差异明显。

1.3.3 果实区域提取

分析成熟葡萄图像的灰度直方图，目标果实与背景对应不同的峰值，从分割效果及分割图像的特点考虑，初步选取基于阈值的图像分割算法分割图像。针对不同颜色及光照强度的葡萄图像，采用直方图双峰法或最大类间方差法获取最佳阈值，对不同图像的各

个颜色空间分量图进行阈值分割。

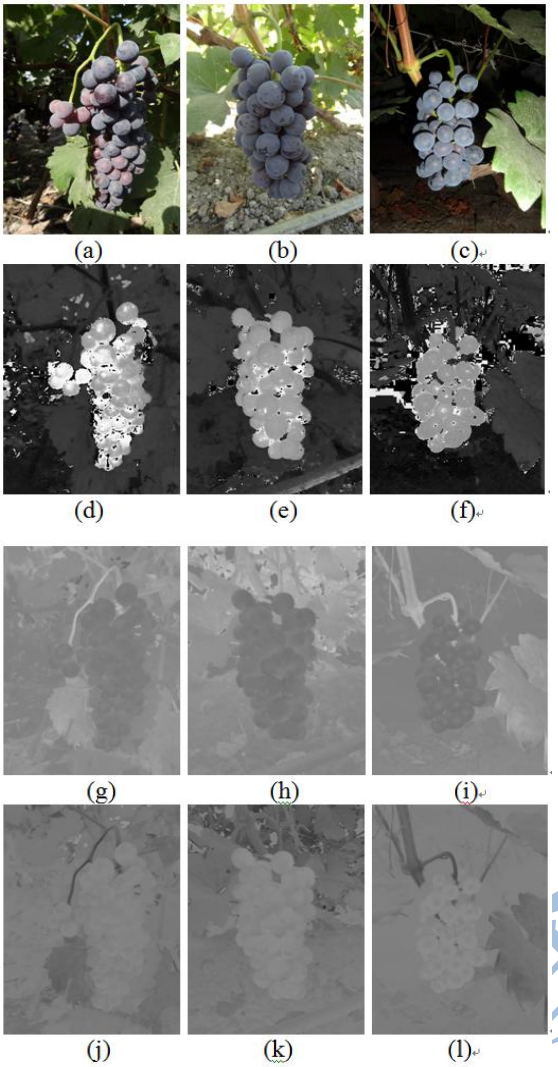


图 1 自然场景中紫色葡萄各颜色空间分量图

Fig.1 Different color space component images of purple grape in nature circumstances

注：(a) 顺光原图，(b) 逆光原图，(c) 夜间原图，(d) 顺光 H 分量，(e) 逆光 H 分量，(f) 夜间 H 分，(g) 顺光 b 分量，(h) 逆光 b 分量，(i) 夜间 b 分量，(j) 顺光 Cb 分量，(k) 逆光 Cb 分量，(l) 夜间 Cb 分量。

当背景与目标区域的灰度值有明显差异，或目标区域具有相同或相近的灰度值，分析葡萄图像各分量的灰度直方图，若图像灰度直方图呈双峰分布，利用直方图双峰法，人为选择直方图的谷底灰度值作为固定阈值进行图像分割。晴天逆光紫色葡萄原图及 L*a*b 颜色空间 b 分量灰度直方图如图 3(a)及 3(d)所示,将谷底灰度值 122 作为阈值进行图像分割，分割效果如图 3(c)所示。

最大类间方差法（Otsu 法）根据灰度特性把图像分割成目标和背景两个部分，将图像的灰度值从小到大进行遍历,遍历结束后自动将类间方差最大的灰度值作为最佳分割阈值，类间方差越大，目标和背景之间的差别越大。以夜间绿色葡萄(图 4)为例，分割效果如图 4(c)所示。

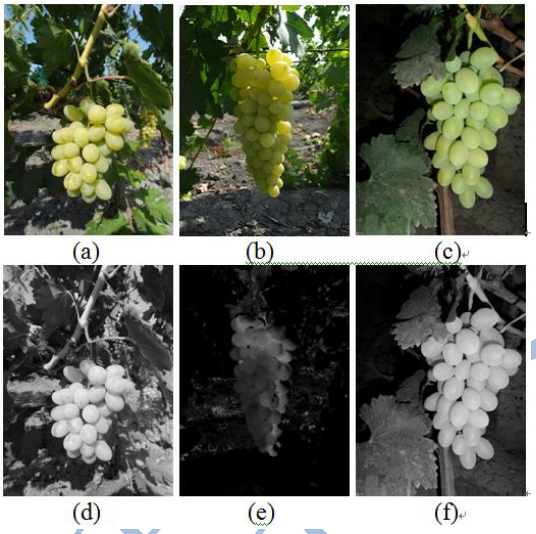


图 2 自然场景中绿色葡萄颜色空间分量图

Fig.2 The color space component images of green grape in nature circumstances

注：(a) 顺光原图，(b) 逆光原图，(c) 夜间原图，(d) 顺光 L 分量，(e) 逆光 2R-G-B 色差，(f) 夜间 L 分量。

在图像分割过程中，由于葡萄果粒之间的间隙、成熟色度、光照情况及与果实颜色相近的茎叶等因素都会造成误分割的现象，因此利用数学形态学运算去除结构元素小的特定图像细节。图像阈值分割后，利用孔洞填充消除由果粒间隙引入的小型孔洞，开运算去除图像中的小面积噪声，最后通过闭运算填充结构元素小的缺口，融合由茎、叶引入的残留区域。形态学开运算和闭运算的定义为:

$$\begin{cases} OPEN(X,A) = X^B = X \circ B = (X \otimes B) \oplus B \\ CLOSE(X,B) = X^B = X \bullet B = (X \oplus B) \otimes B \end{cases} \quad (1)$$

注：X 为待处理的图像，B 为结构元素。

连续的开和闭运算可以有效地改善图像阈值化后图像边缘不平滑、背景区域残留小的噪声物体的情况。本文中形态学开运算和闭运算均使用半径为 5 的圆盘形结构元素，形态学运算过程如图 3(f)及 4(e)所示。开闭运算后的图像仍余留部分较大区域的噪声，利用连通区域标记法标记各个区域，计算葡萄果实连通区域面积，并设定面积阈值，从而去除背景中面积小于该值的图像，如图 3(g)及 4(f)所示。

在检测图像边缘时，常用的边缘检测算子，如 Canny、prewitt 等在检测边缘同时常常加强或放大噪声，而形态边缘检测器在形态学腐蚀及膨胀操作的基础上检测边缘具有较好的效果。单尺度形态学梯度算

子的检测效果取决于结构元素大小，取值过大过小均提取不到理想边缘，为减小边缘间相互影响并降低噪声，提出基于多尺度形态学梯度的方法检测葡萄果实边缘，假设 $B_i(0\le i\le n)$为一组正方形的结构元素，B_i 的大小为(2i+1)×(2i+1)个像素点，多尺度梯度定义为：

$$MG(f)=\frac{1}{n}\times\sum_{i=0}^{n}\left[((f\oplus B_i)-(f\Theta B_i))\Theta B_{i-1}\right]$$

与常用的边缘检测算法相比较，基于多尺度形态学梯度的方法具有较强的抗噪性，提取的图像边缘清晰，保证了图像边缘的连续性及封闭性。最后针对分割后的果实区域图像进行三维重构操作，还原图像，利用不同方法识别葡萄果实的过程如图3及图4所示。

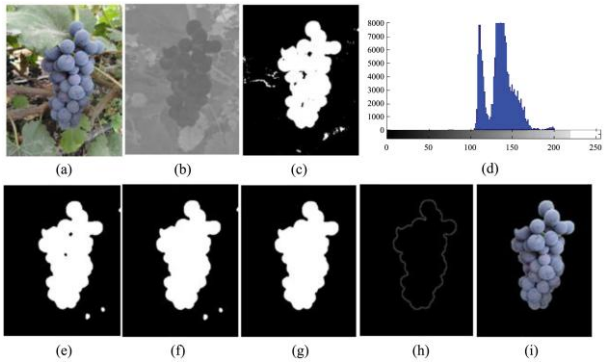


图 3 利用直方图双峰法阈值分割识别葡萄图像的过程

Fig.3 Image of grape recognition process by using the threshold segmentation method of histogram

注：(a) 逆光原图，(b) b 分量图，(c) 直方图双峰法阈值分割图像，(d) 逆光 b 分量直方图，(e) 孔洞填充，(f) 形态学运算，(g) 去除小面积区域，(h) 多尺度形态学梯度法边缘检测，(i)三维重构。

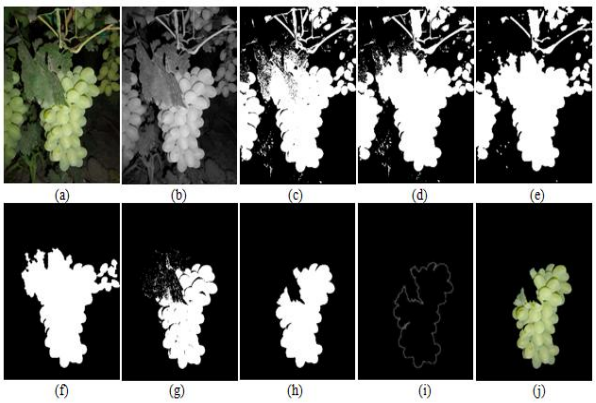


图 4 利用 Otsu 法阈值分割识别葡萄图像的过程

Fig.4 Image of grape recognition process by using the threshold segmentation method of Otsu

注：(a) 夜间原图，(b) L 分量图，(c) Otsu 法分割图像，(d) 孔洞填充，(e) 形态学运算，(f) 去除小面积区域，(g) 重建后图像 G 通道运算，(h) 数学形态学运算，(i) 多尺度形态学梯度法边缘检测，(j) 图像重建。

1.3.4 目标果实特征提取

经过一系列图像分割算法，实现了葡萄果实区域的提取，根据目标区域的形状特点，计算葡萄果实的重心，该重心即可反映出实际葡萄串的重心位置。利用 regionprops 函数度量图像区域属性，并绘制果实轮廓的最小外接矩形。根据重心像素坐标的横坐标值绘制葡萄串的重垂线，葡萄采摘位于该重垂线上。

为进一步获取葡萄果梗上更精确的采摘点信息，提取所绘制的图形，利用 Harris 角点检测法检测最小外接矩形各顶点以及外接矩形与重垂线的交点，由此可得出重心及各角点的像素坐标值，从而确定近似葡萄采摘点的坐标。自然场景下不同品种的葡萄在不同光照情况下目标特征提取结果如图 5 所示，从提取结果可以看出，对于一幅图像中存在单串及多串葡萄的情况，都可以很好地识别及标识出最小外接矩形及重心的位置。果实区域重垂线和最小外接矩形最上方的交点与葡萄果梗上某一点重合，因此，将此点近似确定为葡萄采摘机器人进行采摘作业时的重要采摘信息点。

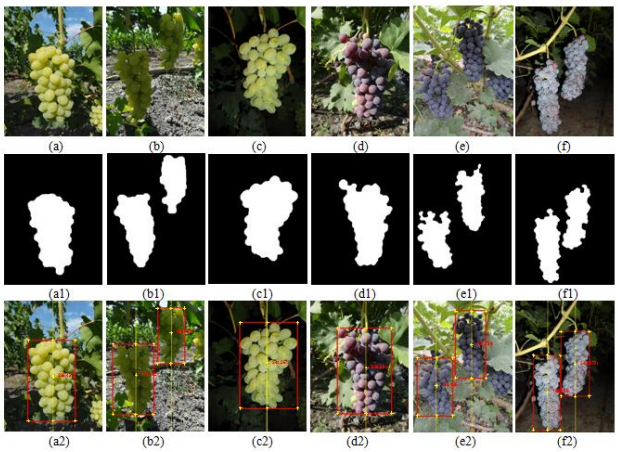


图 5 不同光照条件下葡萄的识别效果图组及特征提取结果

Fig.5 The grapes under different light conditions recognition and feature extraction result

注：(a) 绿色葡萄顺光原图，(b) 绿色葡萄逆光原图，(c) 绿色葡萄夜间原图，(d) 紫色葡萄顺光原图，(e) 紫色葡萄逆光原图，(f) 紫色葡萄夜间原图，(a1)-(f1)原图对应目标果实提取效果图，(a2)-(f2) 特征提取结果。

2 结果与讨论

试验选取维多利亚、夏黑两个品种，分别采集晴天顺光、晴天逆光、夜间三种情况下各 50 幅图像，随机挑选 30 幅，利用 MATLAB 对图像进行识别处理，将图像重建结果与原图像对比，根据果穗识别完整度进行识别率的统计，识别准确率如表 1 所示。

表 1 不同类别葡萄果实识别结果

Table 1 Recognition results of different kinds of grape

光照情况		品种	图像数目/幅	误识率/%	漏识率/%	果实识别率/%	果梗正确识别率/%
晴天	逆光	维多利亚	30	6.67	3.33	86.67	63.33
	顺光		30	10	0	93.33	70
	逆光	夏黑	30	6.67	3.33	83.33	56.67
	顺光		30	0	6.67	90	53.33
夜间		维多利亚	30	3.33	0	96.67	83.33
		夏黑	30	0	0	96.67	76.67

根据葡萄果实识别结果分析可知：由于绿色葡萄（维多利亚）种植模式为篱架型，葡萄叶子稀疏，葡萄极少被叶片遮挡，在晴天顺光时选用 L*a*b 颜色空间的 L 分量，果实识别率可达到 93.33%，然而采集的自然场景中的葡萄串图像存在果梗被果实及叶片遮挡的情况，果梗正确识别率为 70.00%，逆光时光照强度大且不均匀，葡萄果实表面有明显阴暗变化，选用 2R-G-B 色差分量，果实识别率为 86.67%，果梗识别率为 63.33%。紫色葡萄（夏黑）种植模式为双 U 型，葡萄枝叶繁茂，葡萄挂果位置较低，仅在距离地面 35cm 处，顺光时叶片遮挡部分阳光，在葡萄表面形成光斑区域，选用 HSV 颜色空间 H 分量，果实识别率分别为 90.00%，果梗识别率为 53.33%，逆光光照较强，葡萄生长在较多枝叶遮挡下，果实表面较暗，葡萄颜色偏离真实的紫色，选用 L*a*b 颜色空间 b 分量，果实识别率为 83.33%，果梗识别率为 56.67%。在夜间条件下，由于不存在自然光照的影响，背景单一，两种葡萄的果实识别率都可达到 96.67%，维多利亚果梗正确识别率为 83.33%，夏黑果梗正确识别率为 76.67%。

3 结论

3.1 本文针对自然场景中复杂背景下不同颜色及光照强度的葡萄，运用不同颜色空间、阈值分割法及形态学运算识别葡萄果实，实现了复杂背景中葡萄果实区域提取。

3.2 选取成熟后呈现紫色及绿色葡萄，分别在晴天顺光、晴天逆光及夜间三种光照情况下识别葡萄图像，两种葡萄夜间识别率均可达到 96.70%，绿色葡萄顺光识别率为 93.30%，逆光识别率为 86.7%，紫色葡萄顺光识别率为 90.0%，逆光时识别率为 83.30%。

3.3 根据提取的葡萄果实区域作最小外接矩形，计算果实区域重心位置并绘制重垂线，最小外接矩形与重垂线的交点坐标可近似视为葡萄采摘点二维像素坐标，根据图像特征获取的像素坐标信息，为下一步葡萄采摘机器人视觉系统中葡萄果实采摘点空间位置的确定奠定基础。

参考文献

[1] 国家统计局.中国统计年鉴[J].中国统计出版社,2013
National Statistics. China statistical yearbook [J]. Beijing: China Statistical Publishing House, 2013

[2] 李华,李甲贵,杨和财.改革开放 30 年中国葡萄与葡萄酒产业发展回顾[J].现代食品科技,2009,4:341-347
LI Hua, LI Jia-gui, YANG He-cai. Review of grape and wine industry development in recent 30 years of China's reforming and opening-up [J]. Modern Food Science and Technology, 2009, 25(4): 341-347

[3] Rajendra P, Mitsutaka K, Kazunori N, et al. Shading compensation methods for robots to harvest strawberries in tabletop culture [C]. International Symposium on System Integration, 2011

[4] Arefi A, Motlagh A M, Mollazade K. et al. Recognition and localization of ripen tomato based on machine vision [J]. Australian Journal of Crop Science, 2011, 5(10): 1144

[5] Okamoto H, Lee W S. Green citrus detection using hyperspectral imaging [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 66(2): 201-208

[6] Kurtulmus F, Lee W S, Vardar A. Green citrus detection using 'eigenfruit', color and circular Gabor texture features under natural outdoor conditions [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 78(2): 140-149

[7] Xiu L S, Zhan W P, Hong Y Y, et al. Research on cucumber downy mildew images classification based on fuzzy Pattern Recognition [J]. Sensor Letters, 2012, 10(1/2): 643-648

[8] Reis M J C S, Morais R, Peres E, et al. Automatic detection of bunches of grapes in natural environment from color images [J]. Journal of Applied Logic, 2012(10): 285-290

[9] Nuske S, Achar S, Bates T, et al. Yield estimation in vineyards by visual grape detection [C]. International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2011: 2532- 2538

[10] Chamelat R, Rosso E, Choksuriwong A, et al. Grape

detection by image processing [C]. IECON 2006-32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics, 2006, 3697-3702

[11] Fernández R, Montes H, Salinas C, et al. Combination of RGB and multispectral imagery for discrimination of cabernet sauvignon grapevine elements [J]. Sensors, 2013, 13(6): 7838-7859

[12] Diago M P, Correa C, Millán B, et al. Grapevine yield and leaf area estimation using supervised classification methodology on RGB images taken under field conditions [J]. Sensors, 2012, 12(12): 16988-17006

[13] 田锐,郭艳玲.基于机器视觉的葡萄自动识别技术[J].东北林业大学学报,2008,36(11):95-97
TIAN Rui, GUO Yan-ling. Automatic identification techniques of grape based on computer vision [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2008, 36(11): 95-97

[14] 项荣,应义斌,蒋焕煜.田间环境下果蔬采摘快速识别与定位方法研究进展[J].农业机械学报,2013,44(11):208-223
XIANG Rong, YING Yi-bin, JIANG Huan-yu. Development of real-time recognition and localization methods for fruits and vegetables in field [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(11): 208-22

现代食品科技