

## 基于机器视觉的小粒咖啡豆的检测技术

赵晶, 张付杰\*, 冯帅辉, 杨薇, 王璐, 李梦丽

(昆明理工大学现代农业工程学院, 云南 昆明 650500)

**摘 要:** 设计搭建了基于机器视觉的小粒咖啡豆检测分级系统, 系统由进料部、匀料筛分部、色选部、气动部、收料部以及电控箱组成。开发了基于 OpenCV 和 visual studio 的系统分析与控制软件, 实现咖啡豆果径宽度和烘焙程度的检测分级。基于 Blob 分析方法对小粒咖啡生豆进行图像分割, 利用最小外接矩形方法对果径宽度进行特征提取, 采用 HSV 颜色空间模型提取小粒咖啡豆的颜色特征值, 最终将小粒咖啡生豆分为 5 个等级, 将烘焙程度分为浅度、中度、深度 3 个程度。系统运行验证试验结果表明, 对小粒咖啡生豆的果径宽度检测的平均误差为 1.275%, 烘焙程度检测的准确率为 88.9%。

**关 键 词:** 小粒咖啡豆; 机器视觉; 图像处理; 检测

中图分类号: TP39

文献标志码: A

文章编号: 1007–1032(2018)06–0672–06

## Detection technique of small coffee beans based on machine vision

ZHAO Jing, ZHANG Fujie\*, FENG Shuaihui, YANG Wei, WANG Lu, LI Mengli

(Faculty of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650500, China)

**Abstract:** The detection and grading system of small grain coffee bean was designed based on the machine vision. The system consisted of the feeding part, the sizing part, the color selection part, the pneumatic part, the receiving part and the electric control box. The system analysis and control software based on OpenCV and visual studio was developed to realize the detection and classification of coffee bean diameter and baking degree. Based on Blob analysis method, the image was extracted by using the minimum circumscribed rectangle method. The color feature value of small coffee beans was extracted by HSV color space model. The degree of baking is identified. Finally, the small-grain coffee green beans are divided into five grades and the degree of baking is divided into three levels: shallow, medium, and deep. The verification test results of the system showed that the average error of the detection of the diameter of the small bean coffee beans was 1.275% and the accuracy of the baking degree detection was 88.9%.

**Keywords:** coffee beans; machine vision; image processing; detection

咖啡生豆的品质和烘焙程度是决定咖啡风味的主要因素。云南省得天独厚的地理环境和气候条件, 造就了云南咖啡浓而不苦、香而不烈并略带果酸味的独特品质<sup>[1–2]</sup>。云南小粒咖啡的种植面积和产量占中国咖啡种植面积和产量的 98%, 但工厂化生产和后续加工处理水平较低<sup>[3–4]</sup>, 咖啡生豆的筛选标准不统一, 筛选效果不明显, 筛选速度较慢, 烘焙程度识别体系尚未完善。

目前机器视觉技术发展成熟并得到了广泛应用。THOMAS 等<sup>[5]</sup>采用 X 射线胶片成像技术检测芒果内部虫害, 可实现对虫害芒果的剔选; HEINEMANN 等<sup>[6]</sup>采用 8 领域追踪算法, 根据马铃薯的形状和大小实现对马铃薯的自动分级; AFRISAL 等<sup>[7]</sup>先从采集到的水果目标图像中提取感兴趣的区域, 再将图像从 RGB 颜色空间转换到 HSV 颜色空间, 并提取有效特征值, 对水果颜色和

收稿日期: 2018–07–06

修回日期: 2018–09–28

基金项目: 云南省科技计划项目(2018ZF004); 云南省高校工程研究中心建设计划项目(云教科[2016]37 号)

作者简介: 赵晶(1994—), 女, 陕西渭南人, 硕士研究生, 主要从事农产品加工与机械研究, 526674005@qq.com; \*通信作者, 张付杰, 博士, 讲师, 主要从事农产品加工与机械研究, 66605115@qq.com

大小进行判断,实现水果分级;王风云等<sup>[8]</sup>采用分水岭方法、Canny 算法对双孢蘑菇图像进行处理与识别,使得双孢蘑菇的大小分选平均准确率达 97%;海潮等<sup>[9]</sup>采用 Blob 分析方法对红枣表面缺陷进行识别,缺陷果的识别准确率达 90%以上;展慧等<sup>[10]</sup>基于近红外光谱与机器视觉技术,采用 BP 神经网络方法建立了板栗缺陷模型,对板栗缺陷进行识别,准确率达 85%以上;杨涛等<sup>[11]</sup>基于机器视觉技术,采用 HSV 颜色空间模型分析方法对草莓的成熟度进行识别,正确率可达 90%;周竹等<sup>[12]</sup>根据马铃薯的大小、外形和缺陷特征,采用最小外接柱体体积法和最小外接矩形法对马铃薯的特征进行识别,提出不同的分级标准,最终实现对马铃薯的自动分级。笔者拟采用机器视觉技术,获取小粒咖啡的图像信息,提取其果径宽度和颜色特征,并按照小粒咖啡等级标准<sup>[13]</sup>,设计搭建了基于机器视觉的小粒咖啡豆检测系统,开发出基于 OpenCV 和 visual studio 的系统分析与控制软件,以期实现小粒咖啡工厂化生产中果径宽度和烘焙程度的在线检测分级。

## 1 小粒咖啡豆检测分级系统

小粒咖啡豆检测分级系统由进料部、匀料筛分部、色选部、气动部、收料部以及电控箱组成,总体结构如图 1 所示。进料部主要包括料斗和振动电机,对咖啡豆进行初步筛分;匀料筛分部包括振动床主体和“S”形轨道,咖啡豆在“S”形轨道上运动的

同时,可进行再次筛分;色选部主要包括 CCD 相机、光电传感器、PLC 控制器等,当咖啡豆进入相机的图像采集区域时,光电触发器产生触发脉冲,触发相机对运动的咖啡豆进行拍摄,并通过 PLC 控制器对采集的图像数据进行分析处理;气动部主要包括电磁阀、气泵、气管柱等,通过控制电磁阀的开闭来控制气流的大小,依靠不同的气流大小产生的冲击力,将咖啡豆送至相应的物料收集箱内,在线完成自动检测分级。

## 2 图像处理

采用 Blob 分析方法<sup>[9]</sup>,对随机抽取的云南小粒咖啡生豆(绿果)和不同烘焙程度的小粒咖啡豆的图像进行处理。

### 2.1 图像分割

图像分割采用迭代式阈值分割的方法<sup>[14-15]</sup>,通过迭代方法求出 HSV 分布直方图分割的最佳阈值。

### 2.2 形态学处理

首先使用圆形结构元素对分割后的图像进行开运算<sup>[16]</sup>,获得图像 B1;再对图像 B1 使用圆形结构元素进行闭运算<sup>[16]</sup>,获得图像 B2,将 1 粒咖啡豆区域中的缝隙闭合,以保证物料目标区域图像的完整性。采用 8 邻域标记算法<sup>[16]</sup>对图像进行连通域分析,通过分析最终获取每粒咖啡豆的 Blob 区域。

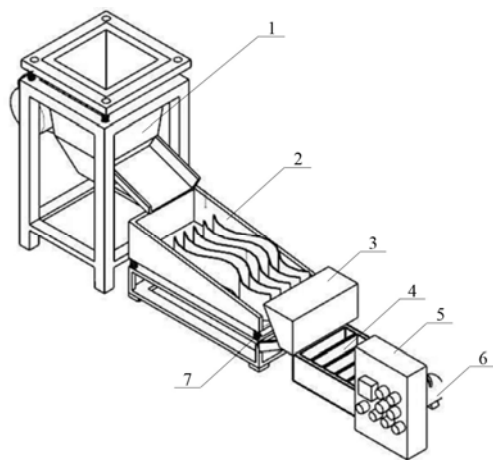
### 2.3 特征提取

基于机器视觉获取的小粒咖啡豆的特征主要包括投影面积、果径宽度参数和颜色特征参数。

将小粒咖啡生豆原始图像经过 Blob 分析后转换为二值图像,二值图像用 1 个二维数组<sup>[17]</sup>来描述,组成图像的像素值非“0”即“1”。“0”表示黑色,“1”表示白色。通过计算黑色像素点的像素值得到小粒咖啡生豆的投影面积。

小粒咖啡生豆果径宽度参数的提取采用最小外接矩形<sup>[12]</sup>的方法。

随机取 3 种不同烘焙程度的小粒咖啡豆,肉眼观察均呈棕褐色,但有浅棕褐色和深棕褐色的差异,这种差异主要表现为亮度的不同<sup>[18]</sup>;因此,在对小粒咖啡烘焙豆颜色特征提取时,选用 HSV 颜色模型中的 V 分量作为颜色特征的提取指标。



1 进料部; 2 匀料筛分部; 3 色选部; 4 物料收集箱;  
5 电控箱; 6 空气压缩机; 7 气动部。

图 1 小粒咖啡豆检测分级系统的结构

Fig.1 Schematic diagram of small grain coffee bean grading system

## 2.4 图像标定

小粒咖啡生豆果径宽度特征的提取是基于像素坐标下的值。为了更加方便、直观地对特征值进行处理分析,需要将像素坐标和实际坐标进行转换:首先使用精度为 0.02 的游标卡尺测量小粒咖啡生豆的宽度,记为  $N_1$ ;再采用最小外接矩形方法提取果径宽度特征值,记为  $N_2$ ;利用  $\alpha = N_2 / N_1$  即可求得实际测量值与像素值之间的比例。最终,利用已获得的小粒咖啡生豆像素坐标下的像素宽度值  $N_1$  除以  $\alpha$ ,即可得到小粒咖啡生豆的实际果径宽度。

## 3 小粒咖啡豆检测分级算法

### 3.1 基于小粒咖啡生豆大小的检测

依据 DB/T 371—2012<sup>[13]</sup>,以过筛孔直径的大小将小粒咖啡分为 1 级(>6.5 mm)、2 级(6.0 ~ 6.5 mm)、3 级(5.5 ~ 6.0 mm)、4 级(5.0 ~ 5.5 mm)、5 级(<5.0 mm)5 个等级。根据小粒咖啡的图像信息,采用最小外接矩形方法获取小粒咖啡的果径宽度  $N$ ,经过图像标定运算后,设定相应的阈值,将小粒咖啡分为 5 个等级:1 级,  $N \geq 325$  像素;2 级,  $300 \leq N < 325$  像素;3 级,  $275 \leq N < 300$  像素;4 级,  $250 \leq N < 275$  像素;5 级,  $N < 250$  像素。

### 3.2 基于小粒咖啡豆烘焙程度的检测

为了凸显不同烘焙程度咖啡豆的颜色特征,将 3 种不同烘焙程度小粒咖啡豆的 V 分量分布直方图绘制成曲线,如图 2 所示,其中横坐标表示亮度等级,纵坐标表示该亮度等级下的像素数。曲线中峰

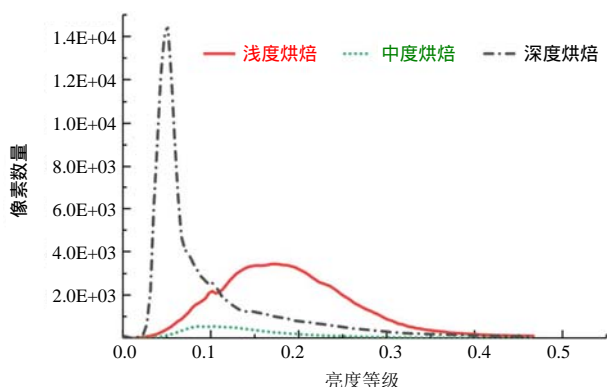


图 2 小粒咖啡豆不同烘焙程度 V 分量曲线

Fig.2 V-curve of different roasting degree of small coffee beans

值出现时所对应的横坐标表示亮度等级,亮度等级大小的不同也反映出不同烘焙程度咖啡豆颜色所呈现出的差异;因此,针对小粒咖啡豆烘焙程度的识别,依据该亮度等级可将烘焙程度分为浅度烘焙、中度烘焙和深度烘焙。

由于受到咖啡豆品种或咖啡烘焙风味的影响,难以对小粒咖啡烘焙程度作出明确的界定,因此,对不同烘焙程度的小粒咖啡豆样本(共 90 个)进行试验。提取 V 分量峰值所对应的亮度等级,得出其平均亮度等级  $M$ ,并以  $M$  作为烘焙程度的评判标准:  $M > 0.13$  为浅度烘焙;  $0.05 < M \leq 0.13$  为中度烘焙;  $M \leq 0.05$  为深度烘焙。

### 3.3 基于机器视觉的小粒咖啡生豆检测系统

基于 OpenCV 和 visual studio 平台,将提出的方法进行可视化处理,设计开发了基于机器视觉的小粒咖啡豆检测系统的图像处理与控制软件,其运行如图 3 所示。系统主要由基本操作、图像预处理、特征提取和检测结果 4 个模块组成。针对小粒咖啡生豆大小品质的检测和烘焙程度的检测,检测系统界面如图 4 所示。

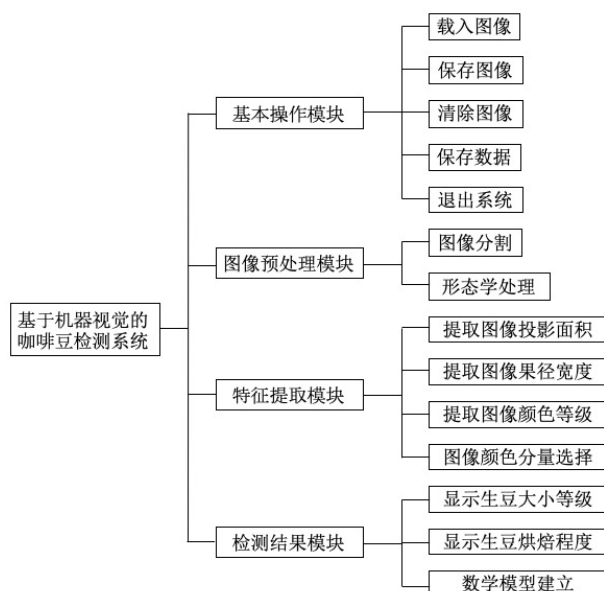


图 3 基于机器视觉的咖啡豆检测系统框图

Fig.3 Block diagram of coffee bean detection system based on machine vision

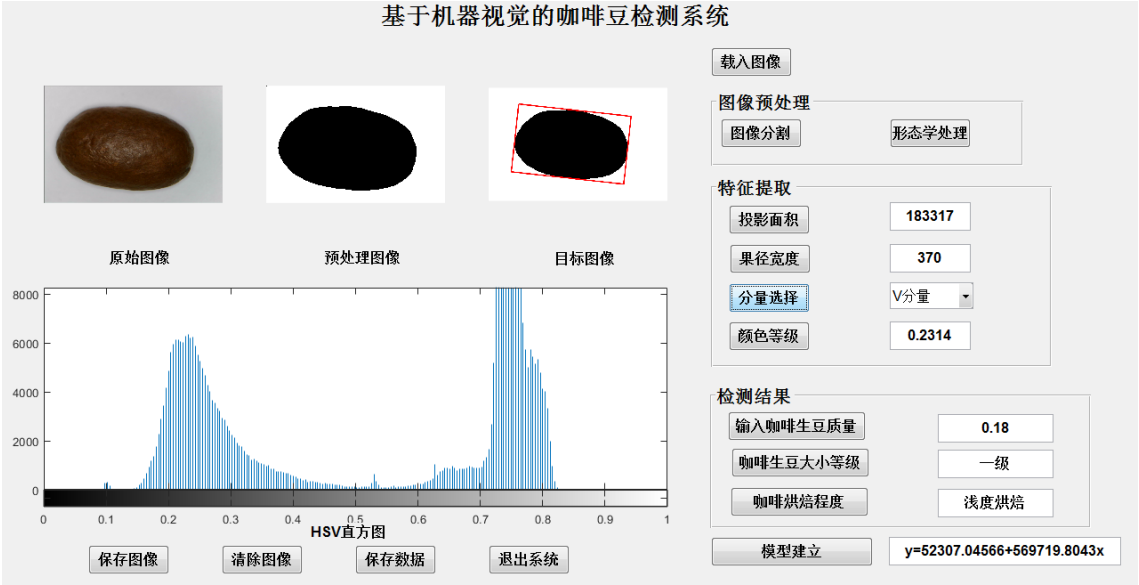


图 4 基于机器视觉的小粒咖啡豆检测系统的检测界面

Fig. 4 Interface of the detection of a small-scale coffee bean detection system based on machine vision

4 结果与分析

4.1 小粒咖啡生豆大小检测的验证

咖啡豆的烘焙经过高温脱水、高温反应以及常温冷却 3 个阶段,在这些阶段会发生美拉德反应和焦糖化反应,伴随有体积的膨胀、质量减轻等变化<sup>[19-20]</sup>。基于这些因素,选用小粒咖啡生豆作材料,建立小粒咖啡生豆投影面积与质量的预测模型,对小粒咖啡生豆的大小品质分级方法进行补充和完善。

选取 60 粒小粒咖啡生豆,用电子天平分别测量出其质量。对 60 粒咖啡生豆进行图像处理,根据像素点的个数计算出小粒咖啡生豆的投影面积,分析其投影面积  $y$  与质量  $x$  的相关关系,并进行回归分析。

回归分析结果表明,小粒咖啡生豆的投影面积与其质量呈极显著线性相关,相关系数为 0.978,预测模型的回归方程为  $y=52\,307.045\,66+569\,719.804\,3x$ ,决定系数为 0.956 7。

对预测模型进行  $F$  检验,  $F=3.001\,77\times10^{-41}$ ,  $P<0.00\,1$ ,说明置信度达到 99.99% 以上,表明回归方程极为显著,预测模型可信。

随机抽选 50 粒小粒咖啡生豆,用 CCD 摄像机获取其图像信息,并提取小粒咖啡生豆在像素坐标下的像素果径宽度值,通过图像标定系数转换为试验测量值,将游标卡尺测量的小粒咖啡生豆果径宽度作为实际值,并计算两者之间的相对误差,结果列于表 1。

表 1 小粒咖啡生豆果径宽度验证结果

Table 1 Test results of small grain coffee raw bean fruit diameter

序号	实际果径宽/mm	试验测量值/mm	相对误差/%	序号	实际果径宽/mm	试验测量值/mm	相对误差/%
1	7.24	7.10	1.934	12	6.58	6.64	0.912
2	7.44	7.30	1.882	13	6.60	6.76	2.424
3	5.90	6.00	1.695	14	7.14	7.16	0.280
4	6.88	6.80	1.163	15	7.44	7.36	1.075
5	7.46	7.32	1.877	16	7.32	7.20	1.639
6	6.66	6.60	0.901	17	8.34	8.36	0.240
7	7.24	7.23	0.138	18	7.14	7.08	0.840
8	7.28	7.20	1.099	19	7.26	7.14	1.653
9	5.62	5.52	1.779	20	7.32	7.18	1.913
10	7.08	6.98	1.412	21	6.40	6.28	1.875
11	7.22	7.26	0.554	22	6.28	6.06	3.503

表 1(续)

序号	实际果径宽/mm	试验测量值/mm	相对误差/%	序号	实际果径宽/mm	试验测量值/mm	相对误差/%
23	5.78	5.90	2.076	37	6.58	6.54	0.608
24	5.64	5.78	2.482	38	7.44	7.50	0.806
25	6.06	6.04	0.330	39	6.66	6.60	0.901
26	7.26	7.16	1.377	40	6.74	6.76	0.297
27	7.86	7.92	0.763	41	6.66	6.68	0.300
28	7.28	7.40	1.648	42	6.40	6.30	1.563
29	7.24	7.36	1.657	43	7.06	6.98	1.133
30	7.88	7.70	2.284	44	8.28	8.34	0.725
31	8.18	8.00	2.200	45	7.28	7.26	0.275
32	7.86	7.78	1.018	46	8.02	7.90	1.496
33	7.46	7.26	2.681	47	6.98	7.10	1.719
34	7.30	7.18	1.644	48	5.46	5.48	0.366
35	8.06	7.98	0.993	49	7.94	7.96	0.252
36	7.06	7.02	0.567	50	7.36	7.30	0.815

从表 1 中可以看出，在随机检测的 50 粒小粒咖啡生豆中，测量的最大误差为 3.503%，最小误差为 0.138%，平均误差为 1.275%，表明系统对小粒咖啡生豆果径宽度测量有较好的效果，同时也说明该方法准确可靠。

4.2 小粒咖啡豆烘焙程度检测的验证

为了验证小粒咖啡豆烘焙程度检测方法的有

效性，参照小粒咖啡豆烘焙程度等级分类准则，采用基于机器视觉的小粒咖啡豆检测系统进行验证试验。选择 3 种烘焙程度的小粒咖啡豆样本各 120 粒，按不同烘焙程度平均分为 4 组，每组 30 粒，正确率的验证结果列于表 2。

表 2 小粒咖啡烘焙程度正确率验证结果

Table 2 Verification result of small grain coffee baking degree correct rate

烘焙程度	平均亮度等级范围	试验分组	系统检测正确数	正确率/%	平均正确率/%
浅度烘焙	$M>0.13$	第 1 组	28	93.3	90.0
		第 2 组	26	86.7	
		第 3 组	29	96.7	
		第 4 组	25	83.3	
中度烘焙	$0.05 < M \leq 0.13$	第 1 组	25	83.3	87.5
		第 2 组	29	96.7	
		第 3 组	24	80.0	
		第 4 组	27	90.0	
深度烘焙	$M \leq 0.05$	第 1 组	29	96.7	89.2
		第 2 组	25	83.3	
		第 3 组	27	90.0	
		第 4 组	26	86.7	

从表 2 可以看出，使用基于机器视觉的小粒咖啡豆检测系统对咖啡豆烘焙程度进行检测，其中针对浅度烘焙程度的检测效果最佳，平均正确率达 90%；对中度烘焙程度检测的效果较差，仅为 87.5%。总体来看，360 粒小粒咖啡豆的烘焙程度检测正确率达 88.9%，表明检测系统能够运用于小粒

咖啡豆烘焙程度等级的检测。

5 结论

针对目前小粒咖啡工厂化生产中的自动分级需求，设计了由进料部、匀料筛分部、色选部、气动部、收料部以及电控箱等组成的硬件分级系统。

根据小粒咖啡豆的物料特征,提出基于 HSV 颜色空间模型和 Blob 分析方法进行图像分割,并进行了小粒咖啡生豆大小品质识别和小粒咖啡豆烘焙程度识别。

结合 OpenCV 和 visual studio 设计开发了基于机器视觉的小粒咖啡豆检测系统的图像处理与控制软件,并对识别算法进行验证试验。

通过大量的试验验证,检测结果稳定且可靠,小粒咖啡生豆果径宽度检测的平均误差为 1.275%,烘焙程度检测的准确率为 88.9%,表明检测方法和软件系统均可用于对小粒咖啡豆的检测,可以满足实际生产应用的需求。

#### 参考文献:

- [1] 周艳飞,陈治华. 运转产业链加快云南咖啡产业发展[J]. 中国热带农业, 2010(5): 27-30.
- [2] 郭容琦,罗心平,李国鹏,等. 云南小粒咖啡产业发展现状分析[J]. 广东农业科学, 2009, 36(3): 209-212.
- [3] 王莉. 云南农产品品牌营销研究——以云南小粒咖啡为例[J]. 中国商论, 2016(19): 7-8.
- [4] 叶广. 小粒咖啡发展现状与未来前景[J]. 农家科技, 2015(9): 141.
- [5] THOMAS P, KANNAN A, DEGWEKAR V H, et al. Non-destructive detection of seed weevil-infested mango fruits by X-ray imaging[J]. Postharvest Biology and Technology, 1995, 5(1): 161-165.
- [6] HEINEMANN P H, PATHARE N P, MORROW C T. An automated inspection station for machine-vision grading of potatoes[J]. Machine Vision and Applications, 1996, 9(1): 14-19.
- [7] AFRISAL H, FARIS M, GUNTUR U P, et al. Portable smart sorting and grading machine for fruits using computer vision[C]//International Conference on Computer. Jakarta: IEEE, 2013: 71-75.
- [8] 王风云,封文杰,郑纪业,等. 基于机器视觉的双孢蘑菇在线自动分级系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2018, 34(7): 256-263.
- [9] 海潮,赵凤霞,孙烁. 基于 Blob 分析的红枣表面缺陷在线检测技术[J]. 食品与机械, 2018, 34(1): 126-129.
- [10] 展慧,李小昱,周竹,等. 基于近红外光谱和机器视觉融合技术的板栗缺陷检测[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 345-349.
- [11] 杨涛,张云伟,苟爽. 基于机器视觉的草莓自动分级方法研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(3): 146-150.
- [12] 周竹,黄懿,李小昱,等. 基于机器视觉的马铃薯自动分级方法[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 178-183.
- [13] DB/T371—2012 地理标志产品保山小粒咖啡[S].
- [14] 余烨,李冰飞,张小魏,等. 面向 RGBD 图像的标记分水岭分割[J]. 中国图象图形学报, 2016, 21(2): 145-154.
- [15] 任玉刚,张建,李森,等. 基于分水岭算法的作物病害叶片图像分割方法[J]. 计算机应用, 2012, 32(3): 752-755.
- [16] 张新良,马明全,赵运基. 基于图像形态学运算和 Hough 变换的油箱盖检测[J]. 制造业自动化, 2018, 40(7): 119-122.
- [17] GONEALEZ R C, WOODER E. 数字图像处理[M]. 阮秋琦,译. 北京:电子工业出版社, 2011.
- [18] 张凯兵,章爱群,李春生. 基于 HSV 空间颜色直方图的油菜叶片缺素诊断[J]. 农业工程学报, 2016, 32(19): 179-187.
- [19] 吕文佳,刘云,杨凯舟,等. 咖啡主要烘焙风味物质的形成及变化规律[J]. 食品工业科技, 2015, 36(3): 394-400.
- [20] 周斌,任洪涛. 烘焙程度对云南小粒咖啡香气品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(22): 68-73.

责任编辑: 罗慧敏  
英文编辑: 吴志立