

基于模糊聚类算法的山核桃壳仁分选系统设计

Design of hickory nuts' shell and kernel sorting system based on fuzzy clustering algorithm

汪天宇 曹成茂 谢承健 李 正

WANG Tian-yu CAO Cheng-mao XIE Cheng-jian LI Zheng

(安徽农业大学工学院, 安徽 合肥 230036)

(College of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China)

摘要:针对经过破壳后的山核桃壳仁物料难以分选的问题,提出一种基于模糊 C-均值聚类的山核桃壳仁分选的图像处理算法。在 Labview 的软件平台上,开发能够实现山核桃壳仁分选的程序和用户界面。通过提取山核桃破壳分离物的 H (色调)、 S (饱和度)、 V (明度)、 A (能量)、 E (熵)、 M (惯性矩)、 R (相关性)等物理指标,构建特征数据的样本集合,依据主分量分析(PCA)对数据集合进行特征降维。利用模糊聚类算法计算出相应对象数据集合的聚类中心,计算试验样本对相应聚类中心的隶属度,按照最大隶属度原则实现对山核桃外壳、内隔(隔、壳内壁等)和核桃仁的合理分类,并成功地将核桃仁从破壳混合物料中分选出来。通过设计静态试验方案,验证系统方案与设计的可行性。结果表明:该系统能够对试验样品进行正确分类,分选正确率能达到 83% 以上。

关键词:山核桃;模糊聚类;颜色;纹理;特征提取;主分量分析

Abstract: In order to solve the problem of hickory nuts' material mixing which was difficult to screen after breaking the shells, an image processing algorithm for hickory nuts color and texture selection was proposed based on fuzzy c-means clustering algorithm. The program with user interface for the separation of hickory nuts' shells and kernels was developed on the Labview software platform. By extracting the characteristic data the hickory nuts with separation substances value of hue, saturation, value, angular second moment, entropy, inverse different moment and correlation, building a sample set of characteristic data, optimal data subset is preferred in accordance with the principal component analysis. After using fuzzy clustering algorithm to calculate the cluster center of corresponding object

feature set, the membership degree of the test sample to the corresponding cluster center was calculated. According to the principle of maximum degree of membership, the rational classification of the shells, inner septa(including the inner wall of the shell)and kernels from hickory nuts was realized and the kernels were successfully separated from the breakages. As an experimental result of the separation of shells and kernels, this system could correctly classify the test samples and the correct rate of sorting can reach more than 83%. This study provided a reference for the extensive research on testing the color selection and separation of nuts shelled.

Keywords: hickory nut; fuzzy c-means cluster; color; texture; feature extraction; principal component analysis

山核桃属胡桃科植物,呈椭球状,其果壳为淡褐色,果仁表皮为深褐或暗红色,内有多个分隔,属于含隔坚果类。山核桃仁富含营养且口感风味独特,深受消费者的喜爱^[1-3]。由于山核桃果壳硬且厚,食用不便,因此有进一步深加工的必要性。其深加工需要将破壳后的混合物料进行壳仁分选。破壳后的山核桃有各种不同形态的分离物,包括破碎的外壳、内隔、核桃仁等,且壳仁形状差别不规则、质量不均匀,很难通过风选机等除杂筛选机械进行正确的筛分^[2]。

国内外专家在物料的分选和色选方面进行了大量的研究^[4-6],如 Justus^[7]曾使用机器视觉同时识别榛子和杏仁等坚果在紫外线范围内发霉的颗粒,并识别果仁表面的颜色缺陷以获取品质较高的果仁,此类研究中多是应用于研究对象的分级,而将研究色选与图像处理技术应用于坚果壳仁的分选中则非常少见。采用图像特征识别技术分选坚果的壳与仁的主要技术难点在于:果仁的表皮和外壳颜色特征差异性较小,尤其是山核桃等含隔坚果类,其内部分隔颜色与果仁表皮相近,难以通过仅选定某种色彩模型并设定色彩阈值的方式进行分类识别。

本试验拟在研究山核桃壳仁分选的过程中同时利用颜色和纹理特征作为分选的物理指标,基于 Labview 虚拟仪器

基金项目:国家自然科学基金面上项目(编号:51475002)
作者简介:汪天宇,男,安徽农业大学在读硕士研究生。
通信作者:曹成茂(1964—),男,安徽农业大学教授,博士生导师,博士。E-mail:caochengmao@sina.com
收稿日期:2018-01-17

技术并结合应用模糊 C-均值聚类算法,设计一种用于从山核桃壳仁混合物料中筛选出核桃仁的分选系统。该研究用于验证计算机视觉技术应用于含隔坚果分选的可行性,对提高山核桃等坚果深加工生产的效率具有重要的意义。

1 山核桃的颜色纹理特征分析与提取

1.1 图像的预处理

在分析山核桃颜色特征后,发现山核桃外壳与内隔、核桃仁的颜色区别较大,分离物表面纹理排布具有一定的规律且差异性较大。各分离物形态如图 1 所示,核桃仁种皮的颜色与内隔(包括壳的内壁部分)的颜色具有相似性,色域存在一定区域的重叠,很难通过传统的阈值分割对目标进行正确的识别,因此有必要结合其纹理特征应用模糊聚类算法对其进行有效分类^[8-10]。初步选用计算机视觉领域应用较广的 HSV 颜色模式下的色调(H)、饱和度(S)、明度(V)和表面纹理的灰度共生矩阵的特征量能量(A)、熵(E)、惯性矩(M)、相关度(R)^[11-12]共同描述目标的视觉特征,其中 H/S/V特征值的论域范围为[0,255],预选的 7 种特征能够表达物体颜色和纹理的基本信息。

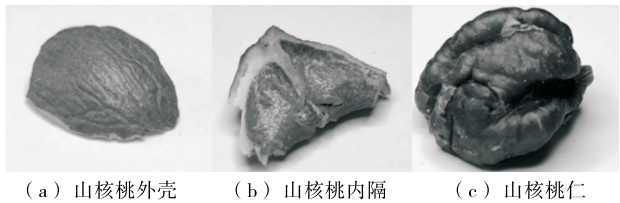


图 1 山核桃各分离物

Figure 1 The separation of hickory nuts

考虑到山核桃破壳后各分离物的颜色特征具有复杂性,提取山核桃的颜色特征需要复杂的流程处理,具体工作流程见图 2^[13]。由于各颜色分量中偶尔会有小波段的高频噪声出现,预先对图像的各像素通道进行均值滤波处理以有效消除噪声影响。针对核桃仁的颜色特征,必须考虑到核桃仁形态的不完整性,即大概率出现局部裸仁的现象。裸仁的颜色接近乳白色,与目标分类对象特征具有很大的区别,在图像处理中可以同化为背景处理,降低研究对象的复杂性^[14],系统设计中采用阈值分割分离背景以消除其对目标特征的影响。预处理后的图像包含了较为完整的对象特征信息,此时

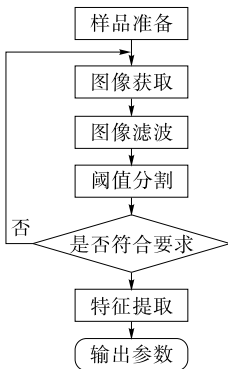


图 2 图像的预处理流程

Figure 2 The flow chart of image preprocessing

提取颜色特征信息输出参数数值,完成基本处理步骤。

1.2 核仁分选系统的程序设计

基于 Labview 虚拟仪器技术编写山核桃颜色特征的提取和分类程序,设计符合交互的用户界面,用户界面与部分特征提取程序见图 3。创建 IMAQ Getimage.vi,用于初始化摄像头及将获取的图像存储在图像缓存区内^[13]。在主程序中创建参数矩阵,局部变量交由 MATLAB Script 进行模糊聚类处理。

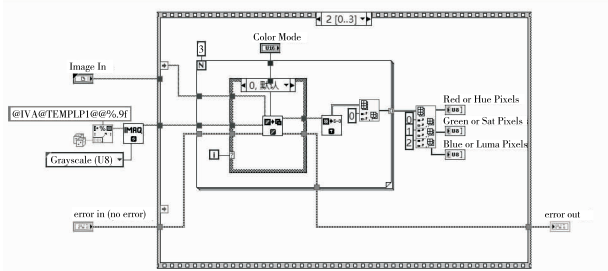
对获取图像进行预处理后,利用 NI Vision Assistant 分离出 H/S/V 的基色平面并数值化,创建独立的子程序 Image Getcolor.vi,提取相应基色平面下的灰度值,即 HSV 颜色模式下的各分量数值。纹理特征反映了提取图像中相邻像素点之间的关系,创建子程序 Image Gettexture.vi,通过 Vision 工具包提取目标图像灰度图下的灰度值,由脚本程序生成灰度共生矩阵。计算表征灰度共生矩阵特征的标量,分别为^[15]:

能量 A:

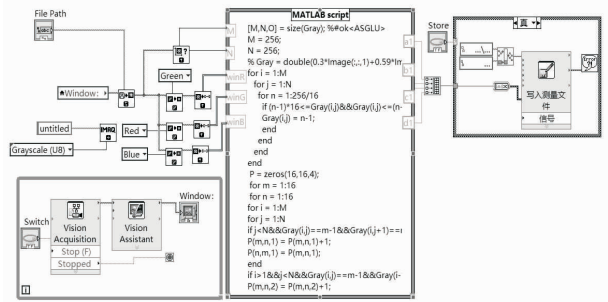
$$A = \sum_{x=1}^z \sum_{y=1}^z [G(x,y)^2]; \tag{1}$$



(a) 用户交互界面



(b) 颜色特征提取程序



(c) 纹理特征提取程序

图 3 上位机程序设计

Figure 3 The program design in upper computer

熵 E :

$$E = - \sum_{x=1}^z \sum_{y=1}^z \mathbf{G}(x,y) \log \mathbf{G}(x,y) ; \tag{2}$$

惯性矩 M :

$$M = \sum_{x=1}^z \sum_{y=1}^z \mathbf{G}(x,y) / [1 + (x - y)^2] ; \tag{3}$$

相关性 R :

$$R = \sum_{x=1}^z \sum_{y=1}^z [xy\mathbf{G}(x,y) - u_x u_y] / s_x s_y , \tag{4}$$

式中:

$\mathbf{G}(x,y)$ ——灰度共生矩阵,其中 (x,y) 为像素空间坐标转换成的灰度对;

$$u_x = \sum_{x=1}^z \sum_{y=1}^z x\mathbf{G}(x,y) ;$$

$$u_y = \sum_{x=1}^z \sum_{y=1}^z y\mathbf{G}(x,y) ;$$

$$S_x^2 = \sum_{x=1}^z \sum_{y=1}^z \mathbf{G}(x,y) (x - u_x)^2 ;$$

$$S_y^2 = \sum_{x=1}^z \sum_{y=1}^z \mathbf{G}(x,y) (y - u_y)^2 .$$

1.3 主成分分析与特征降维

将模糊聚类计算应用于山核桃壳仁分离物的颜色判断,首先需要先建立一个包裹这 2 种颜色模型的 7 维特征数据 $[h_j, s_j, v_j, a_j, e_j, m_j, r_j]$,相关特征参数见表 1。多维特征数据的集合常存在若干问题,特征相互之间往往会存在强烈的相关度和冗余特征^[16]。多维数据不仅存在一些无关的变量,复杂的计算还会对程序的运行造成负担,拟选取的 H 、 S 、 V 、 A 、 E 、 M 、 R 7 个特征之间数据维数相对较大,可能存在着冗余特征,为降低数据的维数有必要运用特征降维。主分量分析(PCA)是一种将高维数据简化到低维空间以便于分析和显示的方法。利用主分量分析法对拟选用的 7 维特征数据的集合进行降维处理,筛选出包含信息较多的特征,处理过程中除去其冗余或是贡献较小的特征成分向量列,评估出最优的特征子集。

表 1 山核桃破壳分离物特征参数

Table 1 Characteristics of hickory nuts separation

类别	颜色特征均值			纹理特征均值			
	色调	饱和度	明度	能量	熵	惯性矩	相关性
核桃仁	14.577	101.878	102.269	0.126	2.541	0.224	0.379
外壳	27.879	29.347	80.738	0.207	2.037	0.213	0.952
内隔	14.778	99.013	134.898	0.088	2.804	0.326	0.297

通过对获取特征数据集的因子分析,获得数据集的总方差解释。如表 2 所示,以某个成分的方差占全部方差的比重,即对应特征值占全部特征值总和的比重来衡量某列成分对整个数据集的综合贡献程度。表 2 中,前 3 种主成分的累积对图像颜色信息的累积贡献率达到了 96.433%,几乎能够完整地表达出山核桃各破壳物的颜色差异性信息,故选取前 3 种作为模糊聚类计算的最优特征成分子集。前 3 种主要成分的特征向量为 7×3 的向量矩阵,在 Matlab Script 中编写将原始的 $j \times 7$ 维数据集与主要成分的特征向量矩阵相乘,数据维度则变换为成分特征向量的维度,实现降维目的,

表 2 数据集的总方差解释

Table 2 Interpretation of the total variance of the data

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差/%	累积/%	总计	方差/%	累积/%
1	4.802	68.598	68.598	4.802	68.598	68.598
2	1.480	21.146	89.745	1.480	21.146	89.745
3	0.468	6.688	96.433	0.468	6.688	96.433
4	0.209	2.982	99.415	0.209	2.982	99.415
5	0.022	0.309	99.724	0.022	0.309	99.724
6	0.013	0.187	99.911	0.013	0.187	99.911
7	0.006	0.089	100.000	0.006	0.089	100.000

以此获得变换后的数据集。

2 模糊聚类算法的理论的实现

2.1 模糊聚类算法的理论推导

模糊聚类(FCM)算法由硬聚类(HCM)算法发展而来,是一种无监督的聚类分析方法^[17]。模糊聚类在聚类分析的基础上进一步探究样本对各类归属的可能性,表达了样本是介于类之间的特性,算法中引入隶属度这个概念来表征这种不确定程度^[18]。山核桃的破壳分离物由于在颜色特征上存在一定的相似性,颜色分量的波动范围存在重叠区,无法直接通过阈值划分实现分类,有必要运用模糊聚类算法进行聚类计算。

设山核桃各分离物的颜色特征数据集为 X ,对该数据集进行共划分为 c 类,定义目标函数见式(5),其约束条件

$$\sum_{i=1}^c u_{ij} = 1, j = 1, 2, \cdots, n .$$

$$J = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^m \|x_j - c_i\|^2 , \tag{5}$$

式中:

x_j ——样本 X 中的第 j 个样本;

c_i ——类 i 的聚类中心;

u_{ij} ——样品 j 属于某一类 i 的隶属度;

m ——隶属度因子^[19]。

首先采用拉格朗日乘数法将约束条件代入目标函数中,并按所有 j 展开,得

$$J = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^m \|x_j - c_i\|^2 + \lambda_1 (\sum_{i=1}^c u_{i1} - 1) + \cdots +$$

$$\lambda_j (\sum_{i=j}^c u_{ij} - 1) + \cdots + \lambda_n (\sum_{i=n}^c u_{in} - 1) . \tag{6}$$

求式(6)目标函数的极值,分别对其中的变量 u_{ij} 、 c_i 求导数,首先对 u_{ij} 求导。让求导结果等于 0 的方程式见式(7)。

$$\frac{\partial J}{\partial u_{ij}} = m \|x_j - c_i\|^2 u_{ij}^{m-1} + \lambda_j = 0 . \tag{7}$$

重新利用式(1)的约束条件,解出 λ_j ,并代入式(6)中,得到最终的迭代公式:

$$u_{ij} = \left[\frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{1}{\|x_j - c_k\|^{2/(m-1)}} \right)} \right] \left(\frac{1}{\|x_j - c_i\|^{2/(m-1)}} \right) . \tag{8}$$

式(8)得到山核桃样品属于某一类的隶属度函数,按照同样的计算方式,求目标函数 J 对 c_i 的导数式见式(9),解出聚类中心 c_i 的迭代式见式(10)。

$$\frac{\partial J}{\partial c_i} = \sum_{j=1}^n [-u_{ij}^m \times 2 \times (x_j - c_i)] = 0,$$

(9)

$$c_i = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j u_{ij}^m)}{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m}。$$

(10)

由式(10)可以得到,山核桃分离物数据样本中某一类的聚类中心 c_i ,由于隶属度 u_{ij} 和聚类中心 c_i 的初始值未知,将初始点赋值为聚类中心点并开始迭代过程,运算期间目标函数值 J 一直在变化,选取聚类中心位置的误差限作为迭代终止条件,则有 $\|c_i^b - c_i^{b+1}\| \leq \epsilon$ [20]。满足迭代终止条件时,所得到的矩阵为最优分类矩阵,目标样本便可按照最大隶属度原则得到相应的归类[21]。

2.2 模糊聚类算法的实现

上述推导式中采用的数据集 X 的样本 x_j 是 7 维特征数据经由特征降维处理后的 3 维数据样本 $[v_1, v_2, v_3]$,提取大量样本的颜色和纹理特征数据,生成数据的向量空间并写入测量文件,保存为 dat 文件格式。在 Matlab 中完成对模糊聚类程序的编写[22],并导入 Labview 平台下的 Matlab 脚本中,Matlab 脚本对选择的样本空间进行特征降维和迭代计算,导出计算得出的样本隶属度矩阵和各聚类中心的位置。模糊聚类应用于数据的分类计算时具有无监督性,需要具有相当数量的样本才能进行聚类,为能使设计出的最终程序能够对单个样品进行正确的识别判断,则需要保留样本空间的数据。以最后一次采集到的样本为目标样本,经过图像的采集和分析,对颜色和纹理的特征提取,目标样本特征数据的值是确定的,样本空间 X 经过模糊 C-均值聚类计算后得出的 3 个聚类中心的位置也是一定的,依据聚类中心 c_i 与隶属度 u_i 的关系式,可以分别输出目标样本对已知划分的核桃仁、外壳、内隔这 3 个类的隶属度值,其中迭代终止误差限为 10^{-5} ,模糊加权指数 m 为 2。

按照上述步骤,通过图像采集与特征分析程序获取选择试验样品的特征数据,将所有特征数据写入测量文件 fcmdata.dat 中,选取数量为 300 个的山核桃破壳分离物样本作聚类计算,最大迭代计算次数为 30 次,经过 23 次左右的迭代计算获得较为稳定的目标函数值。

停止迭代后,结果得出各分类的聚类中心位置和相应数据样本的隶属度值,上述选取的分离物样本的聚类中心分布位置见表 3。

表 3 聚类中心计算结果

聚类中心	类别		
	山核桃仁	山核桃内隔	山核桃外壳
X 轴	117.451 1	100.282 2	77.486 1
Y 轴	117.095 3	101.974 6	76.478 2
Z 轴	21.008 1	16.725 6	22.109 1

由标准试验样品经程序计算得到的聚类中心及隶属度矩阵分布见图 4,图 4(a)中可以看出经过降维处理后样本数据及聚类中心在三维空间中的分布情况,图 4(b)中的横坐标为试验样本,纵坐标为样本对应类的隶属度值,其中:第 1 类为山核桃内隔的隶属度向量,第 2 类为山核桃外壳的隶属度向量,第 3 类为山核桃仁的隶属度向量。从图 4 可以看出,程序对作为目标识别的样本库的分类具有合理性。

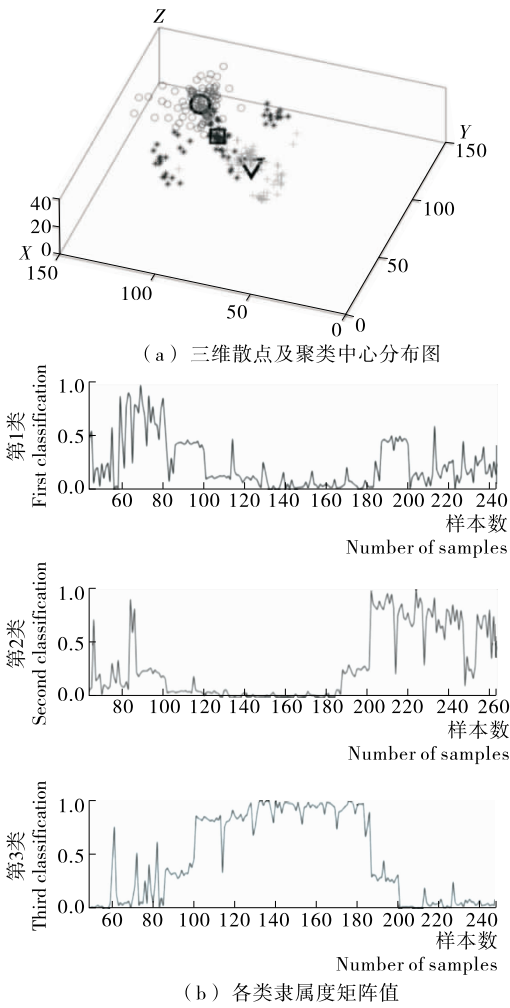


图 4 仿真效果图

Figure 4 The matrix value of various membership

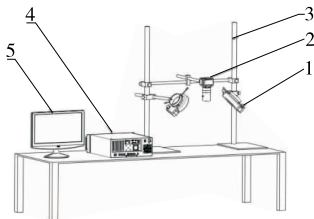
3 试验及结果

本试验设计了针对山核桃壳仁分离物识别的静态试验方案,试验样品选自主产地安徽省皖南山区天目山脉宁国市万家乡,采摘时间为 2017 年 9 月底。以沿山核桃缝合线直径大小分为两类样本,个头较小的样本直径为 10~20 mm,个头较大的样本直径为 20~30 mm,个头较小的山核桃内部纹路较密集,颜色较深,个头较大的山核桃内部纹路较疏松,颜色较浅,将山核桃籽料直径较大的试验材料命名为 1 号样本,直径较小的命名为 2 号样本。1 号样本和 2 号样本中各遴选 50 个山核桃,分别通过本课题组已经研制出的仿生敲击式山核桃破壳机[2]和基于低损伤离心力的二次破壳机进

行破壳,获得核桃仁和破碎壳体的混合物料,通过风选机吹除粉状和粒状小颗粒个体,筛选出破壳后体积相对较大的分离物。

搭建静态图像采集与测试试验台,如图 5 所示,采用美国国家仪器公司的 Basler ace 型彩色面扫描相机(含 ICX618 CCD 传感器),采集图像格式为 32 位色彩色图像,解析度为 659×494 。试验中采用暖白色的环形聚光光源,光线柔和,聚光效果良好,能够有效消除图像阴影。为获取较为准确的颜色特征,事先对摄像头进行校色处理,图像的传输格式为 bmp,保证对色彩的还原度。

经 CCD 摄像头对测试样品进行图像采集与特征分析程序提取特征数据后,Labview 中的 Matlab 脚本工具对测试样品的特征数据进行隶属度计算,获得测试的山核桃破壳分离物对各聚类中心的隶属度值。依据设定的隶属度值的范围,



1. 微型 LED 聚光光源 2. CCD 摄像机 3. 光学支架 4. 工控机
5. 显示器

图 5 静态图像采集测试装置

Figure 5 The image acquisition and test device of static image

由分选系统对各测试的样本数据实现自动归类并与期望结果进行比对,由此判断识别的正确率。2 组测试样品的归类识别与分选测试最终效果见表 4。

表 4 分选试验结果

Table 4 Results of sorting experiment

样品总质量/g	筛选后总质量/g	类别	样品质量/g	识别质量/g	误识别质量/g	识别率/%	误识别率/%
167.4	136.3	干仁	62.7	51.8	10.9	82.7	17.3
		外壳	61.3	54.3	7.0	88.6	11.4
		内隔	12.3	11.0	1.3	89.4	10.6
119.7	102.6	干仁	51.3	45.3	6.0	88.3	11.7
		外壳	44.1	36.7	7.4	83.4	16.6
		内隔	7.2	6.1	1.1	84.7	15.3

试验结果表明,采用颜色和纹理特征并应用模糊 C-均值聚类算法对山核桃破壳混合物实现分类并筛选出核桃仁的方法是具有可行性和较高正确率的,且对核桃仁的识别正确率高于 83%。误选为外壳和内隔分别占 7.0% 和 4.7%,是因为有些核桃仁表皮颜色的阈值具有多样性,其中不乏有劣质的核桃仁。考虑到识别物体的不可分离性,预估扩大样本容量后,识别的正确率仍有进一步提升的可能性。

4 结论

(1) 本试验的研究对象是属含隔坚果类的山核桃,根据山核桃破壳分离物的颜色和纹理特征,预先对图像进行处理和特征提取,并运用模糊聚类算法对破壳物料合理分类,通过分类结果把核桃仁从破壳混合物料中分选出来。设计了对应的静态试验方案,试验结果验证了整体系统设计的可行性。系统对核桃仁的识别率达到了 83% 以上。

(2) 受到试验条件限制,研究中采用单面拍摄的方法,可能对研究对象无法进行立体的评估,仍需进一步思考优化评估的方法和标准。研究中为尽可能地简化研究对象,可能受到研究样本不充分的影响,使实际研究对象的样本划分不足,导致选取类以外的对象无法在色选系统中被识别,如壳仁未完全分离体需要对图像区域进行分割识别。

(3) 本试验提出了将模糊聚类算法应用到山核桃壳仁的分选,从其颜色特征的选取到分析提供了较为完整的理论依据,并设计了具体的试验方案作论证,对坚果类及相似性质的物料分选及色选具有很好的参考价值。

参考文献

[1] 李夕勃,赵书岗,王红霞,等. 核桃坚果硬壳结构与木质素和纤维素相关性研究[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(22): 5 076-5 079.

[2] 丁冉,曹成茂,詹超,等. 仿生敲击式山核桃破壳机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(3): 257-264.

[3] 徐克明,王俊,邓凡霖,等. 用于山核桃陈化时间检测的电子鼻传感器阵列优化[J]. 农业工程学报, 2017, 33(3): 281-287.

[4] PEARSON T, DAN B, HALEY S. Color image based sorter for separating red and white wheat[J]. Sensing & Instrumentation for Food Quality & Safety, 2008, 2(4): 280-288.

[5] IQBAL S M, GOPAL A, SANKARANARAYANAN P E, et al. Classification of Selected Citrus Fruits Based on Color Using Machine Vision System[J]. International Journal of Food Properties, 2016, 19(2): 272-288.

[6] 王昊鹏,李慧. 基于局部二值模式和灰度共生矩阵的籽棉杂质分类识别[J]. 农业工程学报, 2015, 31(3): 236-241.

[7] JUSTUS P J. Color sorting of peanuts, hazelnuts and almonds[J]. International Food Marketing and Technology, 1999, 13(2): 28-30.

[8] 李昕,李立君,高自成,等. 基于偏好人工免疫网络多特征融合的油茶果图像识别[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14): 133-137.

[9] 陈海燕,张爱华,胡世亚. 基于纹理颜色模型的高原鼠兔突变运动跟踪[J]. 农业工程学报, 2016, 32(11): 214-218.

[10] 毕智健,张若宇,齐妍杰,等. 基于机器视觉的番茄成熟度颜色判别[J]. 食品与机械, 2016, 32(12): 133-136.

(下转第 157 页)

2.10 对 α -葡萄糖苷酶的活性抑制

由图 11 可知,北沙参多糖对 α -葡萄糖苷酶具有一定的抑制作用,随着浓度的升高,抑制作用也增强,整体呈线性关系。北沙参多糖对 α -葡萄糖苷酶的半数抑制率浓度 IC_{50} 值为 5.23 mg/mL。阿卡波糖的 IC_{50} 值为0.501 mg/mL,对比可得,北沙参多糖低于阳性对照阿卡波糖对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用。试验结果表明北沙参多糖具有潜在的降血糖活性。

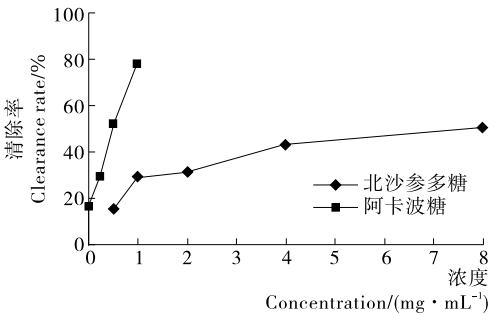


图 11 北沙参多糖与阿卡波糖对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用
Figure 11 The inhibition of α -glucosidase of *Radix Glehniae* polysaccharide and acarbose

3 结论

本研究在单因素试验的基础上,利用响应面法对超声波辅助提取北沙参多糖工艺进行了优化,并对北沙参多糖的抗氧化活性及降血糖活性进行了测定。结果表明:北沙参多糖的最优提取工艺为提取温度 65 ℃,提取时间 22 min,液料比 22 : 1 (mL/g),在此条件下多糖提取率为 12.13%。最优工艺条件下制备的北沙参多糖具有多糖的典型特征吸收峰,总糖含量为 90.4%,蛋白质含量为 1.22%,热降解温度为 300.32 ℃。北沙参多糖具有一定的清除羟基自由基和 DPPH 自由基的能力和潜在的降血糖活性(对 α -葡萄糖苷酶抑制率的 IC_{50} 值为 5.23 mg/mL)。

本试验仅在体外对北沙参多糖的活性进行了测定,并未进行体内试验,后续将对北沙参多糖的体内抗氧化及降血糖活性进行研究。

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 100.

[2] 谢锋云, 周建民, 江炜文, 等. 基于隐马尔科夫模型的苹果分级方法研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 29-31.

[3] 周金辉, 马钦, 朱德海, 等. 基于机器视觉的玉米果穗产量组性状测量方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(3): 221-227.

[4] 吴正敏, 曹成茂, 谢承健, 等. 基于图像处理技术和神经网络实现机采茶分级[J]. 茶叶科学, 2017, 37(2): 182-190.

[5] 周敬东, 李敏慧, 周明刚, 等. 油茶果的模糊聚类色选算法[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(4): 94-99.

[6] 司永胜, 刘刚, 高瑞. 基于 K-均值聚类的绿色苹果识别技术[J]. 农业机械学报, 2009, 40(s1): 100-104.

[7] 胡洁. 高维数据特征降维研究综述[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(9): 2 601-2 606.

[8] 周红英, 吕莎. 微波辅助提取北沙参多糖工艺及抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(12): 62-65.

[9] 景永帅, 张丹参, 张瑞娟, 等. 提取方法对北沙参多糖性质及生物活性的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(10): 149-153.

[10] 荣立新, 鲁爽, 刘咏梅. 不同加工方法对北沙参多糖免疫调节功能的实验研究[J]. 中国中医基础医学杂志, 2013, 19(9): 1 090-1 091, 1 105.

[11] 相美容, 王朋展, 蒋海强, 等. 星点设计-响应面法优化热水浸提北沙参多糖的工艺研究[J]. 山东中医杂志, 2017, 36(1): 66-70, 77.

[12] 王莉, 赵桦, 马英丽, 等. 响应面法优化小丛红景天多糖超声提取工艺研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(14): 315-320.

[13] 景永帅, 吴兰芳, 王乾, 等. 远志多糖提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(5): 152-156, 193.

[14] 李志平, 张弛, 周维清, 等. 巢湖蓝藻酸性多糖的理化性质及其体外抗氧化作用[J]. 食品科学, 2015, 36(5): 7-12.

[15] 景永帅, 张丹参, 吴兰芳, 等. 荔枝低分子量多糖的分离纯化及抗氧化吸湿保湿性能分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(9): 277-283.

[16] 张乔会, 王建中, 逢锦慧, 等. 杜香多糖的抗氧化活性及物理性质研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 206-209.

[17] 上官新晨, 陈木森, 蒋艳, 等. 青钱柳多糖降血糖活性的研究[J]. 食品科技, 2010, 35(3): 82-84.

[18] 商龙臣, 吴少魏, 张弛, 等. 南瓜晒多糖的制备表征及活性分析[J]. 食品科学, 2016, 37(19): 48-53.

[19] JING Yong-shuai, ZHU Jian-hua, LIU Ting, et al. Structural characterization and biological activities of a novel polysaccharide from cultured Cordyceps militaris and its sulfated derivative[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(13): 3 464-3 471.

[20] 赵琪, 赵利, 杨玉雯, 等. 河蚬多糖分离纯化及抗氧化、抗肿瘤活性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 127-132.

[21] 朱方明, 马新, 张安强, 等. 响应面法优化超声波提取北沙参多糖的工艺研究[J]. 食品科技, 2011, 36(7): 153-160.

[22] HU Xu-qiao, WANG Jin-lin, JING Yong-shuai, et al. Structural elucidation and in vitro antioxidant activities of a new heteropolysaccharide from Litchi chinensis[J]. Drug Discoveries & Therapeutics, 2015, 9(2): 116-122.

[23] 应飞, 陈邦兴. 笛卡尔乘积下的 FCM 聚类研究[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(34): 152-154.

[24] 尹海丽, 王颖洁, 白风波. 软硬结合的快速模糊 C-均值聚类算法的研究[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(22): 172-174.

[25] 刘开第, 赵奇, 周少玲, 等. 机械产品方案设计模糊综合评价中隶属度转换的新方法[J]. 机械工程学报, 2009, 45(12): 162-166.

[26] 赵侠, 汪雄良, 王正明. 基于最优对比度准则的 SAR 图像相位梯度自聚焦算法[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(6): 606-610.

[27] 夏宁, 任青文, 朱正华. 基于模糊聚类的构件耐久性评估[J]. 工业建筑, 2005, 35(5): 72-74.

[28] 王水鱼, 王小娟. 在虚拟仪器中实现 LabVIEW 与 MATLAB 的无缝链接[J]. 计算机系统应用, 2012, 21(11): 123-126.

(上接第 114 页)