基于视觉图像的鲅鱼新鲜程度的检测方法

韩秀枝

（漯河食品职业学院信息工程系，河南漯河 462000）

摘要：鲅鱼新鲜程度是评价其质量好坏的重要因素。为提高鲅鱼检测新鲜程度准确性，研究基于视觉图像的鲅鱼新鲜程度的检测方法。研究对象是某地海鲜市场中的 30 条鲅鱼，通过鲅鱼视觉图像采集系统采集鲅鱼视觉图像，利用区域填充算法及形态学开运算对采用大津法分割的鱼体二值图像进行填充及去噪，融合上山法与区域生长方法分割鱼眼区域，通过全局动态阈值分割方法分割鱼鳃图像；提取图像特征时，利用图像的 R、G、I 分量灰度均值提取鱼体、鱼眼及鱼鳃图像颜色特征，采用 G 分量提取鱼眼中心区域面积。将图像特征输入到 NeuroShell 2 神经网络判别模型中，实现鲅鱼新鲜程度的有效检测。经实验验证，该方法检测鲅鱼新鲜程度的准确率平均高达 98.28%，依据鱼眼中心区域面积+颜色灰度均值特征进行鲅鱼新鲜程度检测的准确率最高，且检测不同死亡时间的鲅鱼新鲜度的检测准确率高达 95%，说明鲅鱼新鲜度的检测为海鲜检测提供了理论基础。

关键词：视觉图像；鲅鱼；新鲜程度；检测方法；图像特征；灰度均值

文章篇号：1673-9078(2019)010-286-291 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.10.039

Study on the Detection Method of Fresh Level of Spanish Mackerel Based on Visual Image

HAN Xiu-zhi

(Luohe Vocational College of Food Information Technology, Luohe 462000, China)

Abstract: Freshness of Spanish mackerel is an important factor to evaluate its quality. In order to improve the accuracy of Spanish mackerel freshness detection, a visual image-based method was established. The research object of this work is 30 Spanish mackerel purchased from a seafood market. Spanish mackerel visual images were selected by an acquisition system. The region filling algorithm and morphological opening operation were used to fill and remove the binary image of fish segmented by Otsu method. Noise, merge the uphill method and region growing method were used to segment fish eye region. The global dynamic threshold segmentation method was used to segment fish gill image. When extracting image features, the color features of fish body, fish eye and fish gill image were extracted by using the gray mean of R, G and I components of image, and the area of fish eye center area was extracted by using G component. The image features were input into Neuro Shell 2 neural network discriminant model to detect freshness of marine Spanish mackerel effectively. The average accuracy of Spanish mackerel fresh method detection was 98.28%. The highest accuracy of detection of freshness was obtained by using the fisheye center area + color grayscale average characteristics of Spanish mackerel. And detecting the accuracy in determination of the freshness of Spanish mackerel of different death time, was s 95%. Results showed that this detection of freshness of Spanish mackerel could provide a theoretical basis for seafood detection.

Key words: visual images; Spanish mackerel; freshness; detection methods; image features; gray mean

随着社会发展与生活水平的提高，人们越来越重视食品的安全与健康，海鲜食品因含有丰富的维生素、蛋白质、微量元素等物质，渐渐成为人类餐桌上最为常见的菜品[1]。海鲜食品中的鱼、虾、蟹等食品蛋白质含量极高，其中含有的氨基酸较容易被人体所吸收，是人体蛋白质的重要来源[2]。海鲜食品中鲅鱼含有丰富的不饱和脂肪酸，这类脂肪酸被成为“血管清道夫”，可帮助人体降低血脂，有预防血栓和冠心病等作用[3]。鲅鱼中还含有丰富的钙、铁、锌等微量元素，这些微量元素维持人体身体健康的重要来源，因此常食用鲅鱼食品，对人体有着巨大的益处[4]。

新鲜程度是评价鲅鱼品质优劣的直接指标，鲅鱼的质量与安全可直接用新鲜程度进行评价[5]。鲅鱼保质期短，极容易变质腐坏，食用不新鲜的鲅鱼对人类身体危害极大，因此一种有效的鲅鱼新鲜程度检测方法具有重要意义[6]。以往检测鲅鱼新鲜程度的方法主

收稿日期：2019-06-14

基金项目：河南省高等学校重点科研项目（18A610004）

作者简介：韩秀枝（1983-），女，硕士研究生，讲师，研究方向：计算机科学与应用技术

要有化学法、微生物法以及物理检测等方法，这些方法虽然可以检测出鲅鱼的新鲜程度，但是存在检测步骤复杂繁琐、速度过慢、消耗时间多、破坏性较大等缺点，无法应用在具有快速检测要求的大批量鲅鱼样本中[7]。视觉图像检测方法就是通过计算机等机器代替人眼对图像进行测量、分析与判别[8]。随着科技的发展，视觉图像检测技术也越来越成熟[9]。

针对以上问题，本文提出基于视觉图像的鲅鱼新鲜程度的检测方法，该方法自动化程度高，对鲅鱼无破坏性，并且可快速检测出鲅鱼新鲜程度，对于鲅鱼的品质辨别、贮藏以及进一步加工等都具有重要的意义[10]。

1 材料与方法

1.1 实验材料

选取江南区淡村北海港海鲜市场内重量 300±50 g 的体表完整、健康的鲅鱼 30 条，采购时间为凌晨 4 点。将完成包装后的鲅鱼置于恒温冰箱中冷藏 8 h 后进行检测，按照 48 h 检测周期分 6 次进行检测，因为鱼类储藏 11 d 后变质较为严重，无实际研究意义，因此实验检测鲅鱼至 11 d 为止。

1.2 仪器与设备

采用视觉图像技术对 30 条鲅鱼进行新鲜程度检测时，需要采集鲅鱼的高清图像，采用高分辨率的图像采集装置才能保证图像质量[11]。在采集鲅鱼图像时，鱼体表面的水分会生成强烈的反光，光照情况也会对图像采集质量造成影响，为保证图像质量不受光照情况影响，本文采用自行研制鲅鱼图像采集系统。系统结构图见图 1。

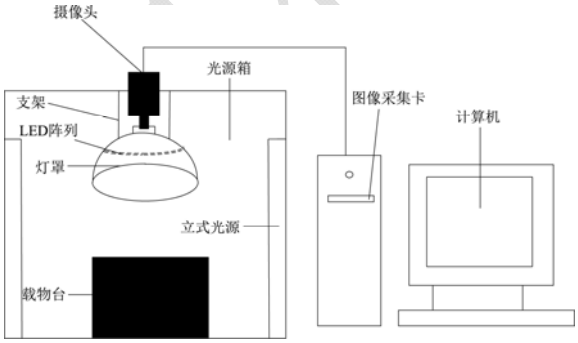


图 1 鲅鱼视觉图像采集系统

Fig.1 Spanish mackerel visual image collection system

根据图 1 可知，该系统主要由光照箱、摄像头、图像采集卡、计算机等组成。位于光源箱两侧的立式光源与 LED 阵列的光通过半球形灯罩漫反射后，使整个实验箱体生成强度均匀的光线，避免了直射光照方式所造成的镜面反射干扰。

1.3 实验方法

采用自行研制的鲅鱼视觉图像采集系统，采集鲅鱼在不同贮藏天数下的视觉图像。预处理采集图像，分割出图像中鱼眼、鱼鳃与鱼体的感兴趣区域，提取图像颜色和面积特征，选取特征利用 NeuroShell 2 神经网络判别模型对鱼的新鲜程度进行检测。

1.3.1 图像分割

1.3.1.1 鱼体分割

采用自行研制的鲅鱼视觉图像采集系统，采集鱼体原始 RGB 图像、二值图像、分割后 RGB 图像如图 2 所示。

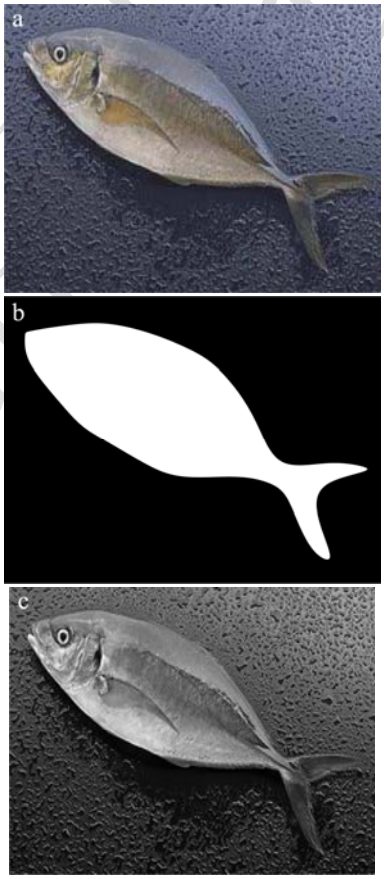


图 2 鱼体图像分割

Fig.2 Image segmentation of fish body

注：a：原始 RGB 图像；b：二值图像；c：分割后 RGB 图像。

采集鱼体彩色图像见图 2a，为获取可以表示鱼新鲜程度的特征变量，将图 2a 中鱼体图片尽量完整的与背景分割，选取了可以将目标对象较完整分割的大津法在颜色通道下进行分割，利用大津法获取的动态阈值对图像 HSV 颜色模型中的 S 分量进行分割。利用区域填充算法将分割后获取的二值图像中内部空洞填充，选取半径为 3 的圆形结构元素对图像实施形态学

开运算滤除其边缘噪声[12]，所得结果见图 2b。将图 2a 与图 2b 相乘后获取仅存在目标对象的彩色图像见图 2c。

1.3.1.2 鱼眼分割

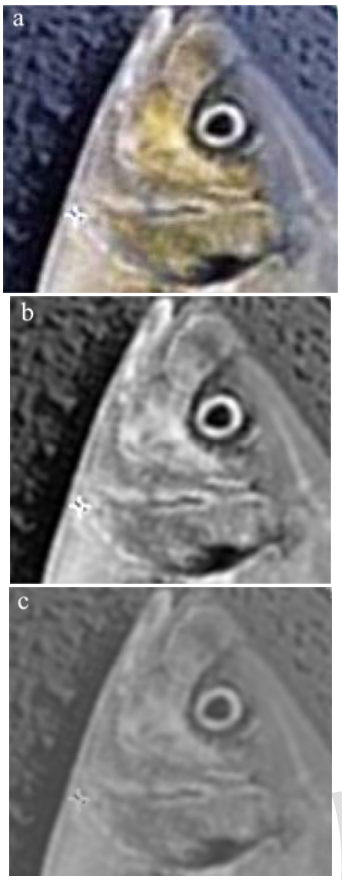


图 3 鱼眼图像分割

Fig.3 Fish eye image segmentation

注：a：原始图像；b：中值滤波后图像；c：上山法与区域生长方法结合后图像。

上山法又称爬山法，是一种局部择优的启发式算法，先定义一个函数 *f(x)*，x 表示固定范围区域的离散值，以 X_0 点为起点向周围区域爬山，将起点 X_0 的函数值 $f(x_0)$与临近点 Xn(n=1,2…，n)的函数值相比较，若 $f(x_n)<f(x_0)$，则 X_0 为山的最高点，无需继续迭代，若 $f(x_n)>f(x_0)$，那么点 X_0 被点 Xn 所取代，点继续与临近点相比较，直至寻找到最高点结束迭代。区域生长方法是依据不同要求形成不同相应生成准则，进而便于图像依据不同区域进行最优分割的方法。

上山法可以选取最优极值点，区域生长方法可以依据不同极值点分成不同区域实施分割，因此将上山法与区域生长方法相结合分割鱼眼区域。鱼眼图像分割如图 3 所示。

图 3a 为鱼眼区域原始图像，需要滤除原始图像中存在的噪声及干扰，图 3b 为对原始图像进行 5×5 中值滤波窗口进行滤波处理后的图像[13]，可以看出图像经过滤波后变得平滑。图 3c 为上山法与区域生长法相结合后的图像，上山法种子点阈值与区域生长法阈值分别为 23 和 90。图 3c 中可以看出，鱼眼区域与其它部分颜色有所差异，说明鱼眼区域可以从其它区域中分割。

1.3.1.3 鱼鳃分割

采集的鱼鳃图像颜色信息极为复杂，采用单一方法从背景图像中将鱼鳃分割出来较为困难。选取 L*a*b 颜色模型中通道 a 对鱼鳃图像实施预分割，经过 a 通道处理后的预分割图像对比度较弱，无法直接进行阈值分割，因此需对其进行对比度拉伸变换，获取对比度增强的 a 通道鱼鳃图。最终选取全局动态阈值分割方法将鱼鳃从图像中完整分割。

鱼鳃两端与背面并不是最终需要检测新鲜程度的感兴趣区域，为增加鱼鳃颜色判断准确度，需要将两端与背面去除[14]。选取“局部动态阈值法”对分割图像，设定一个已知大小的矩形模板对整张图像进行遍历，在模板中输入图像像素值 *p(i，j)*后通过公式（1）获取输出图像像素值 *T(i，j)*。

$$T(i,j)=\begin{cases}255 & if\ \ p(i,j)\geq(W+f\times s)\\ 0 & if\ \ p(i,j)\leq(W+f\times s)\end{cases} \quad (1)$$

式中：*W* 表示模板中像素点平均灰度值，*S* 表示标准方差，*f* 表示调整因子。

输入图像 *p(i，j)*为 RGB 与 HSV 颜色模型中的 R 分量和 V 分量相加所得组合分量图，经过公式（1）计算后获取最终图像。

为去除图片多余轮廓区域使填充区域为感兴趣区域轮廓，需要经过以下步骤处理：

（1）通过行扫描方式从左上角顺序扫描图片中全部像素点 *f(i，j)*，标志变量 flag 初始值设置为 0。

（2）若 *f(i，j)*=255，那么 flag 为 1，*f(i，j)*=0；若 *f(i，j)*=1 或图像宽度与 *j* 大小相等，那么 flag 为 0 并继续扫描。

（3）若像素点不满足步骤（2），且 *i* 不大于图像高度，那么保留该像素点继续运算下一个像素点。

利用区域填充与形态学开运算获取鱼鳃正面区域模板，再乘以原始图像，获取用于新鲜程度检测的分割正面鱼鳃图像。

1.3.2 图像特征提取

1.3.2.1 鱼的 R、G、I 分量灰度均值

鲅鱼的储藏时间越长，颜色变化越明显，整体亮度变暗。通过提取鱼类鱼体、鱼眼以及鱼鳃视觉图像的 R、G、B、H、S、I 分量，将以上颜色分量比较可知，R 分量图像偏亮，展示鲅鱼图像中间偏暗区域；

G 分量图像偏暗，展示鱼类图像中间区域；G 分量图像展示鲅鱼图像的明亮程度。选取 R、G、I 分量灰度均值作为鲅鱼的特征参数。

1.3.2.2 提取鱼眼中心区域面积

鲅鱼随着贮藏时间的增加，鱼眼虹膜变薄，鱼眼从类似球形渐渐变为扁平形，并与原中心渐渐偏离，因此鱼眼中心区域面积可以直接反应鱼的新鲜程度。视觉图像的 G 分量可以直接展示鱼眼中心区域，因此利用 G 分量提取鱼眼中心区域面积。

选取去相关拉伸方法增强视觉图像对比度，标量值选取 0.01 作为参数 TOL 取值，选取自适应阈值方法将鱼眼图像转化为二值图像，通过与形态学相关运算将鱼眼图像中小于结构元素的暗色细节去除[15]，计算出整体图像面积以及白色区域面积，将整体图像面积减去白色区域面积即为鱼眼中心区域面积。

将提取的鱼体、鱼鳃色彩特征以及鱼眼中心区域特征输入 NeuroShell 2 神经网络判别模型，实现鲅鱼新鲜程度的有效检测。

1.3.3 数据统计分析

本文绘图采用 Origin 8.0 软件，利用 SPSS 18.0 分析软件对视觉图像采集到的原始数据进行统计学分析，采用 Excel 进行相似度分析。

2 结果与讨论

鱼类为海鲜食品中最具有代表性的品种，为验证基于视觉图像的鲅鱼新鲜程度的检测方法，检测鲅鱼新鲜程度的准确性，研究图像中鱼体、鱼眼与鱼鳃检测部位的颜色变化与鱼实际存储天数的相关性，利用

1.3.2 小节提取的鲅鱼图像色彩特征和鱼眼中心区域面积特征，建立 NeuroShell 2 神经网络判别模型，实现鲅鱼新鲜程度的有效检测。若将提取的鲅鱼图像特征变量直接输入 NeuroShell 2 神经网络判别模型中，会导致判别模型计算复杂度升高，计算速率降低从而影响计算精度，因此需要分析主成分进行降维处理，在保留原有大部分特征变量前提下提升判别模型计算准确度。将以上降维处理后的特征变量输入 NeuroShell 2 神经网络判别模型中，NeuroShell 2 神经网络软件设置代表样本所属类别的输出层节点数量为 1，隐含层网络结构设置 3 层，隐含层激活函数选取 tanh 函数、Gaussian complement 函数与 Gaussian 函数，设置 logistic 函数作为输出层函数，选取[-1,1]线性尺度变换函数作为输入层的函数。NeuroShell 2 神经网络判别模型中学习率与动量因子设置在 0.1，初始权重选取 0.3。该种判别模型预测结果见图 4。

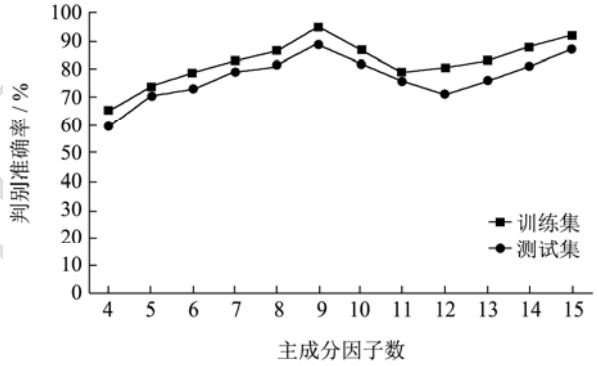


图 4 NeuroShell 2 神经网络判别模型预测结果

Fig.4 Predictive results of discrimination model of neuro shell 2 neural network

表 1 基于视觉图像的新鲜程度判别结果

Table 1 Identification of freshness based on visual images

项目	实际储藏天数/d	NeuroShell 2 神经网络判别模型预测天数/d						正确率/%
		1	3	5	7	9	11	
训练集	1	18	0	0	0	0	0	100
	3	0	17	0	0	0	0	100
	5	0	0	18	1	0	0	94.7
	7	0	0	0	17	0	0	100
	9	0	0	0	0	16	0	100
	11	0	0	0	0	0	15	100
测试集	1	12	0	0	0	0	0	100
	3	0	13	0	0	0	0	100
	5	0	0	11	0	0	0	100
	7	0	0	2	11	0	0	84.7
	9	0	0	0	0	14	0	100
	11	0	0	0	0	0	15	100

表 2 不同图像特征的判别结果

Table 2 Discriminant results of different image features

图像特征	校正集			测试集		
	误判条数/条		判别正确率/%	误判条数/条		判别正确率/%
	新鲜	变质		新鲜	变质	
形状特征	5	6	88.78	3	0	93.88
纹理特征	2	3	94.91	2	3	89.8
颜色灰度	2	2	95.92	1	2	93.88
鱼眼中心区域面积+颜色灰度均值	1	1	97.96	1	1	95.92

图 4 为 NeuroShell 2 神经网络判别模型对训练集与测试集样本判别准确率。由图 4 可以看出，NeuroShell 2 神经网络判别模型在主成分因子数为 9 时训练集样本判别准确率最高，达到了 95%，而此时测试集样本达到了 89%，也为测试集样本准确率最高。

在 NeuroShell 2 神经网络判别模型主成分因子数为 9 时，对鱼体、鱼眼及鱼鳃颜色特征在数据层融合并降维后的样本进行判别，判别结果见表 1。

表 1 为输入主成分因子数为 9 时，NeuroShell 2 神经网络判别模型对基于视觉图像的鲅鱼新鲜程度判别结果，从该表中可以看出，该判别模型对测试集与训练集中每一天的样本判别准确率都较高，除了偶尔出现一个至两个样本类别交叉情况，鲅鱼的新鲜程度基本能够得到准确的判别，检测准确率平均为 98.28%。说明了基于视觉图像的鲅鱼新鲜程度检测方法可以准确检测出鲅鱼的新鲜程度，是一种有效的检测方法。

实际采集鲅鱼视觉图像一般含有噪声等干扰信息，这是由于在采集视觉图像时，光线变化或鱼体表面不均匀等环境因素变化造成的。鲅鱼的新鲜程度检测会因检测样本运动等振动而产生干扰，因此在对鲅鱼新鲜程度检测之前需要采集关键图像特征，提升 NeuroShell 2 神经网络判别模型的识别精度。分析不同图像特征下，神经网络判别结果的差异性情况，判别结果用表 2 描述。

通过表 2 可以看出，NeuroShell 2 神经网络判别模型采用不同图像特征进行鲅鱼新鲜度判别，其结果存在较大差异，相对于其它图像特征，基于鱼眼中心区域面积+颜色灰度均值特征，进行鲅鱼新鲜度判别大大提高了鱼新鲜的准确率，识别校正集正确率高达 98.96%，识别测试集正确率高达 95.92%。

为进一步检验 NeuroShell 2 神经网络判别模型判别准确率，选取不同死亡时间的鲅鱼 134 个测试样本进行实验，选取 108 个样本作为训练集样本，其余 26 个样本作为测试集，利用本文检测方法与模值方法和相角方法分别对鲅鱼新鲜程度进行检测，检测结果见表 3。

由表 3 可以看出，通过本文方法检测不同死亡时间的鲅鱼新鲜程度，仅在鱼腐败点附近存在一个误判情况，检测准确率高达 95%；而模值方法和相角方法检测鲅鱼新鲜程度准确率均为 81%，相比本文方法低了 14%，验证了通过本文方法对鲅鱼进行新鲜程度检测的准确性。

表 3 三种方法检测结果对比

Table 3 Comparison of test results by three methods

死亡时间/h	模值/Ω	相角/°	本文方法	模值方法	相角方法
5	343.747	11.356	新鲜	新鲜	新鲜
5	317.374	11.503	新鲜	新鲜	新鲜
10	352.694	12.416	新鲜	新鲜	新鲜
20	289.697	9.894	新鲜	新鲜	新鲜
20	301.234	10.423	新鲜	新鲜	新鲜
30	276.586	8.756	新鲜	新鲜	新鲜
30	167.411	3.944	新鲜	新鲜	新鲜
50	152.345	4.318	新鲜	新鲜	新鲜
50	161.673	4.154	新鲜	新鲜	新鲜
80	134.576	2.014	新鲜	新鲜	新鲜
80	129.023	1.823	新鲜	新鲜	新鲜
100	131.042	1.913	新鲜	新鲜	新鲜
100	94.869	1.678	新鲜	新鲜	新鲜
110	95.373	1.478	误判新鲜	误判新鲜	误判新鲜
110	96.841	1.653	腐败	误判新鲜	误判新鲜
120	87.156	1.469	腐败	误判新鲜	误判新鲜
120	90.467	1.428	腐败	误判新鲜	误判新鲜
130	87.478	1.411	腐败	腐败	腐败
130	82.134	1.052	腐败	腐败	腐败
140	81.457	1.327	腐败	腐败	腐败
140	80.248	0.922	腐败	腐败	腐败

3 结论

随着人们对健康的逐渐重视，有效的鲅鱼新鲜程度检测方法具有重要意义。为提高视觉图像检测鲅鱼

新鲜程度的准确率，采用自行研制的鲅鱼图像采集系统采集鲅鱼图像，依据鲅鱼的颜色特征和面积特征，选取判别准确度较高的 NeuroShell 2 神经网络判别模型对视觉图像的鲅鱼新鲜程度进行判别。实验结果表明，基于视觉图像的鲅鱼新鲜程度检测方法可准确检测鲅鱼的新鲜程度，检测鲅鱼新鲜程度的准确率为98.28%；检测不同死亡时间的鲅鱼新鲜度的检测准确率高达 95%，验证了本文方法的检测准确性，鲅鱼新鲜度的检测为海鲜检测提供了理论基础。

参考文献

[1] 王红军,熊俊涛,黎邹邹,等.基于机器视觉图像特征参数的马铃薯质量和形状分级方法[J].农业工程学报,2016,32(8):272-277
WANG Hong-jun, XIONG Jun-tao, LI Zou-zou, et al. Potato grading method of weight and shape based on imaging characteristics parameters in machine vision system [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(8): 272-277

[2] 谢翌冬,肖卫民,康大成,等.一种基于生物阻抗的冷鲜猪肉新鲜度检测方法研究[J].南京农业大学学报,2016,39(5):845-851
XIE Yi-dong, XIAO Wei-min, KANG Da-cheng, et al. A method for detection of chilled pork freshness using bioimpedance [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2016, 39(5): 845-851

[3] 郑振霄,周聃,冯俊丽,等.3 种保鲜方法对鲐鱼贮藏期间鲜度的影响[J].中国食品学报,2016,16(1):181-187
ZHENG Zhen-xiao, ZHOU Dan, FENG Jun-li, et al. The effect of three preservation methods on the freshness changes of mackerel (*Pneumatophores japonicas*) during storage [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(1): 181-187

[4] 张凯华,臧明伍,王守伟,等.基于光谱技术的畜禽肉新鲜度评价方法研究进展[J].肉类研究,2016,30(1):30-35
ZHANG Kai-hua, ZANG Ming-wu, WANG Shou-wei, et al. Progress on spectroscopic freshness evaluation of chilled meat [J]. Meat Research, 2016, 30(1): 30-35

[5] 介邓飞,王晓婧,魏萱.基于近红外光谱禽蛋新鲜度无损检测模型研究[J].食品与机械,2016,32(8):115-118
JIE Deng-fei, WANG Xiao-jing, WEI Xuan. Research on the detection model of egg freshness based on the near-infrared spectroscopy technology [J]. Food & Machinery, 2016, 32(8): 115-118

[6] 杨春兰,薛大为.电子鼻定量检测淡水鱼新鲜度的方法研究[J].食品与发酵工业,2016,42(12):211-216
YANG Chun-lan, XUE Da-wei. Research on quantification detection method for freshness of freshwater fish by electronic nose [J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(12): 211-216

[7] 杨震,贡慧,刘梦,等.基于电子鼻技术的秋刀鱼新鲜度评价[J].肉类研究,2017,31(3):40-44
YANG Zhen, GONG Hui, LIU Meng, et al. Freshness evaluation of pacific saury freshness by electronic nose [J]. Meat Research, 2017, 31(3): 40-44

[8] 王慧慧,张士林,李凯,等.基于高光谱图像的即食海参新鲜度无损检测[J].光谱学与光谱分析,2017,37(11):3632-3640
WANG Hui-hui, ZHANG Shi-lin, LI Kai, et al. Non-destructive detection of ready-to-eat sea cucumber freshness based on hyperspectral imaging [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2017, 37(11): 3632-3640

[9] 姜沛宏,张玉华,陈东杰,等.基于多源感知信息融合的牛肉新鲜度分级检测[J].食品科学,2016,37(6):161-165
JIANG Pei-hong, ZHANG Yu-hua, CHEN Dong-jie, et al. Measurement of beef freshness grading based on multi-sensor information fusion technology [J]. Food Science, 2016, 37(6): 161-165

[10] 方悦,董文宾,樊成.鲜奶掺假检验方法研究进展[J].食品研究与开发,2016,37(2):201-204
FANG Yue, DONG Wen-bin, FAN Cheng. Progress in research on test about milk adulteration [J]. Food Research and Development, 2016, 37(2): 201-204

[11] 邬海雄,宾雍霖,杨哪,等.基于感应方法的牛乳新鲜度检测[J].食品与发酵工业,2016,42(2):184-190
WU Hai-xiong, BIN Yong-lin, YANG Na, et al. Detecting milk freshness by inductive methodology [J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(2): 184-190

[12] 徐璐,吴轶,王连英.冷链物流中远程食品新鲜度检测的电子鼻系统设计[J].电子器件,2016,39(5):1170-1174
XU Lu, WU Yi, WANG Lian-ying. Design of electronic nose system for remote freshness detection of food in cold chain logistics [J]. Chinese Journal of Electronic Devices, 2016, 39(5): 1170-1174

[13] 王巧华,王彩云,马美湖.基于机器视觉的鸭蛋新鲜度检测[J].中国食品学报,2017,17(8):268-274
WANG Qiao-hua, WANG Cai yun, MA Mei-hu. Duck eggs' freshness detection based on machine vision technology [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(8): 268-274

（下转第 115 页）