

文章编号:1671-1513(2007)04-0034-05

基于光电显微技术的猪肉新鲜度智能检测

于瑞雪, 郭培源

(北京工商大学 信息工程学院, 北京 100037)

摘要:通过对猪肉变质过程中生物化学机理分析,研究了猪肉脂肪组织细胞结构在氧化腐败过程中形态的特异变化.利用图像处理技术提取细胞组织特征信息,进行了聚类和分类判决,为猪肉新鲜度检测提供了一种新的辨识方法.

关键词:猪肉新鲜度;猪肉脂肪组织;图像处理;模式识别

中图分类号:TS972.125⁺.1; TP391

文献标识码:A

目前,猪肉已经是人们主要的动物性食品,猪肉新鲜度识别技术对猪肉的运输、仓储及加工过程有着非常重要的意义.通过对肉新鲜度检验的主要指标进行分析与研究,利用气体检测、图像处理和神经网络模式识别技术对不同时段猪肉散发的气体(味)、颜色值(H、S、I)特征信息和挥发性盐基氮(TVB-N)含量进行提取和分类判断,从而有效地识别猪肉新鲜度^[1].旨在通过对猪肉脂肪组织形态变化的研究,观察脂肪细胞在动物体整体氧化腐败过程中的变化,从一个新的层面探究猪肉腐败的潜在规律.

余为磷脂和胆固醇^[3].图1显示的即为新鲜猪肉的脂肪组织.

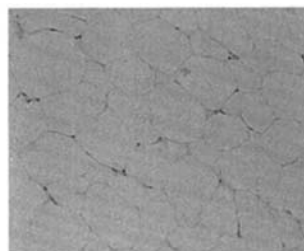


图1 新鲜猪肉脂肪组织

1 样本的选择与采集

1.1 样本选择

健康动物的血液和肌肉通常是无菌的,猪肉的腐败实际上是由外界污染的微生物在其表面繁殖所致.采用脂肪组织为样品进行实验研究,其原因在于脂肪是肉中腐败最快的部分之一,且脂肪细胞是动物体内最大的细胞.脂肪组织主要由大量密集的脂肪细胞构成,由疏松结缔组织分隔成小叶.脂肪细胞呈圆形或卵圆形,中央有一大脂滴,薄层胞质位于细胞周边^[2],其中含10%~25%水分,2%蛋白质和70%~80%脂类.脂类为脂肪组织中的主要成分,其中98%为甘油三酯,1%~2%为甘油二酯,其

1.2 样本采集

实验采用正常情况下屠宰,未经注水和冷冻、并经卫生检疫部门检验为合格的猪肉肉品,取其新鲜脂肪组织.将新鲜猪肉脂肪组织切成小片放于培养皿中,在30℃的温度环境下每隔1小时取出1~2块样本用于检测.

图像采集系统见图2.在样品图样采集,采用型号为AVE1000SS1的图像采集卡.AVE1000SS1是一款性能优异的压缩卡,具有数字化监控需要的所有功能,性能非常稳定,高分辨率图像预览,支持恒定位速率、可变位速率、压缩帧尺寸可变.摄像机选用日本JVC CCD.将切片固定后的脂肪组织样本在CCD下成像.

收稿日期:2007-03-20

基金项目:北京市委优秀人才基金资助项目(205424).

作者简介:于瑞雪(1982—),女,河南开封人,硕士研究生,研究方向为计算机测控;

郭培源(1958—),男,山西太原人,教授,主要从事嵌入式系统、微电子及光电控制等方面的研究.

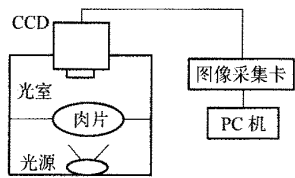


图 2 图像采集系统

2 图像样本分析与图像处理

2.1 图像样本分析

在切片制成之后,通过 CCD 成像设备对切片观测,每小时样品取 50 幅图像,放大倍数取 100,可见清晰细胞结构如图 1。对样本进行分析前,首先应确定:

- 1) 图像尺寸:762×567(位图,以像素为单位)。
- 2) 细胞在图像中的大小范围(界定细胞组织):脂肪细胞直径为 30~250 μm,均匀分布在脂肪组织中,多呈圆形或卵圆形,将卵圆形近似按照椭圆形对待,通过测量圆形或近椭圆形的直径长度确定是否为脂肪细胞。新鲜脂肪的细胞组织图样见图 3。在其中共取 34 个形状为圆形或椭圆形的细胞状结构测量其长直径及短直径数据并列表。数据分析:脂

肪组织最大直径与最小直径之间比值为 $\frac{\Phi}{\phi} = \frac{250}{30} = 8.33$ 。奇数位为长直径,偶数位为短直径。将数据从大到小排序,计算最大直径和最小直径之间的比值为 $6.83 < 8.33$ 。可认为观测到的所有新鲜脂肪组织中圆形和卵圆形结构体均为脂肪细胞。另,经过对新鲜脂肪组织中 200 个细胞直径测量,观测出细胞体直径大小范围为 25~205 不等。

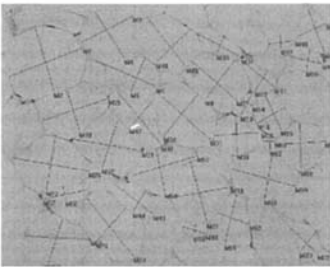


图 3 细胞组织图样

- 3) 细胞形态:通过样本观察可以看出新鲜脂肪组织中脂肪细胞呈圆形或卵圆形^[2],然而,随着动物体的腐败,脂肪细胞组织也在不断地发生外形上的变化,见图 4。

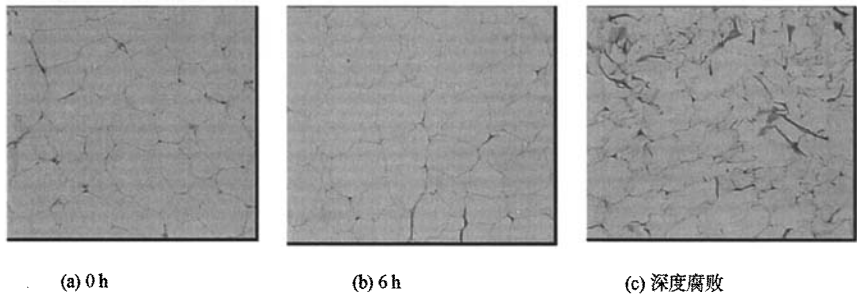


图 4 0 h、6 h、深度腐败状态下的脂肪组织

由图 4 可观察到:0 h 新鲜样本中脂肪细胞饱满均匀,可看到清晰的线状细胞壁,容易分辨出细胞个数。经历 3 h 氧化腐败之后,可清晰看出细胞膜结构变弯曲不平滑,虽仍能够看到比较清晰的细胞壁,但少部分细胞与相临细胞出现细胞壁重叠现象,另有少部分细胞的细胞壁出现破裂现象,不再是完整脂肪细胞。6 h 氧化腐败过后,细胞膜结构弯曲进一步加深,细胞间细胞壁重叠现象更加普遍,部分细胞已经观察不到完整的细胞壁,完整细胞数量继续减少。9 h 图样中,可明显看到有大量的细胞壁重叠现象,只有少量完整细胞。在完全腐败的图样中,我们已经观察不到完整的脂肪细胞,细胞壁的严重重

叠和弯曲已经分辨不出完整的细胞体结构。

2.2 图像处理

通过有效的图像处理,细胞边界被清晰地提取呈现出来,滤除掉了噪声和模糊的重叠部分,经历腐败之后所剩余的完整细胞结构清晰可查。

图像处理的一个重要任务是对图像中的特征信息进行分析和理解,然而复杂脂肪细胞目标不同于一般刚体,它难以用固定的参数来描述,只能用一些抽象的语句来描述。通过计算机视觉系统可以首先粗略提取图像有意义区域,然后再对各个区域进行处理,获取精确目标。在对样本图样进行 8 位灰度图像转换和图像增强处理之后^[1],笔者着重讨论

Hough变换与自动分割技术在猪肉脂肪组织图像处理中的应用. 脂肪组织图像处理流程见图5.



图5 脂肪组织图像处理流程

1) Hough(霍夫)边界提取

线特征的投影不变性, 能够帮助正确地判断和识别一些特殊的目标. 霍夫变换是一种可以将图像的特征点映射至参数空间, 从而获取图像特征点关系的方法, 是图像处理中从图像中识别几何形状的基本方法之一, 应用很广泛. 在预先知道区域形状的条件下, 利用霍夫变换可以方便地得到边界曲线而将不连续的边缘像素点连接起来. 霍夫变换的主要优点是受噪声和曲线间断的影响较小^[3].

脂肪细胞组织多数为圆形或卵圆形, 所以在采用霍夫变换进行边界提取时, 对其提取圆形和椭圆形图像边界的方法进行了比较深入的研究.

① 圆的检测

圆可以用如下方程来表示:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2. \quad (1)$$

从方程中可以看到一个圆需要用三个参数来描述, (x_0, y_0) 为圆心的坐标, r 为圆的半径. 那么用以上算法要建立一个三维的累加器才能判断共圆的点. 该方程为三维锥面, 对于这样一个三维问题可以通过某种约束使其变成一个二维问题, 然后再来解决. 我们的目的是在图像中检测圆形区域, 如果根据区域的特征, 将 (x_0, y_0) 和 r 限制在一定的范围内进行计算, 显然可以缩小计算量. 如果对于一个封闭区域, 还可以采用先计算出可能圆的半径, 然后对边缘上的所有点进行判断, 从而快速地识别出圆形边缘. 具体的实现过程:

- a 对图像进行边缘提取;
- b 根据边缘点进行区域分割, 建立区域边缘点链表;
- c 对区域的边界点求其质心的位置 (x_0, y_0) ;
- d 求其边缘点到质心的距离;
- e 判断该边缘是否构成圆形边界.

另外, 也可以采用几条弦的垂直平分线交叉点来得到圆心.

② 椭圆的检测

检测任意方位的椭圆区域时, 除了需确定形心坐标 x_c, y_c 外, 还需确定椭圆的短轴半径 a, b 以及长轴的旋转角 θ . 椭圆形心坐标的确定我们采用对

偶点法^[4]: 与图形边界上外法线方向相反的两个点, 称为图形边界对偶点, 简称对偶点. 任意具有两条正交对称轴的平面图像至少存在着一对对偶点. 在图像检测中, 利用对偶点及其不变性, 再借助于图像区域边缘的梯度信息, 即可以准确、快速、方便地求得对称图像区域的形心. 文献[5]中已经导出下式用于椭圆检测:

$$x_c = x \pm a / \left[1 + \frac{b^2}{a^2 \xi^2} \right]^{1/2}, \quad (2)$$

$$y_c = y \pm b / \left[1 + \frac{a^2 \xi^2}{b^2} \right]^{1/2}. \quad (3)$$

式中, $\xi = d(y - y_c)/d_x$. 当 $\theta \neq 0$ 时, 则有 $\xi = \tan\left(\varphi - \theta - \frac{\pi}{2}\right)$, φ 是边缘点外法线方向角. 根据椭圆是将半径为 a 的圆沿短轴向按压缩比系数 $u = b/a$ 进行压缩而得到的这一性质, 结合坐标变换建立以下算式:

$$a = \{[(x - x_c)\cos\theta + (y - y_c)\sin\theta]^2 + [-(x - x_c)\sin\theta + (y - y_c)\cos\theta]^2 / u^2\}^{1/2}. \quad (4)$$

对于事先不知道几何参数的椭圆, 无需先验知识, 给出参数 θ, u 的步长视检测精度而定, 使用一个三维累加器数组 (a, θ, u) 进行统计, 由峰值确定参数 a, θ, u 和 $b = ua$.

2) 自动分割

图像阈值分割利用图像中要提取的目标物与背景在灰度特性上的差异, 把图像视为具有不同灰度级的两类区域的组合. 由于对灰度图像的分割常可基于像素灰度值的两个性质: 不连续性和相似性. 区域内部的像素一般具有灰度相似性, 而在区域之间的边界上一般具有灰度不连续性. 所以分割算法可据此分为利用区域间灰度不连续性的基于边界的算法和利用区域内灰度相似性的基于区域的算法.

在边缘检测中, 可用二阶导数的过零点检测边缘位置, 而用二阶导数在过零点附近的符号确定边缘像素在图像边缘暗区或明区. 数字图像中求导数是利用差分近似微分来进行的. 在实际针对猪肉脂肪组织的图像处理中, 我们引入梯度算子的概念. 梯度对应一阶导数, 梯度算子是一阶导数算子. 对1个连续函数 $f(x, y)$, 它在位置 (x, y) 的梯度可表示为1个矢量

$$\nabla f = [G_x \quad G_y]^T = \left[\frac{\partial f}{\partial x} \quad \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T, \quad (5)$$

这个矢量的幅度(梯度)和方向角分别为:

$$\text{mag}(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2}, \quad (6)$$

$$\phi(x,y)=\arctan(G_y/G_x), \tag{7}$$

实验证明,以 2 为范数的梯度比以 1 和 ∞ 为范数的梯度还要更灵敏一些^[6]. 其模以 2 为范数计算为:

$$|\nabla_{(2)}|=mag(\nabla)=\left[\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2\right]^{1/2}. \tag{8}$$

2.3 图像处理效果

通过 Hough 变换将细胞间的边缘更清晰地体

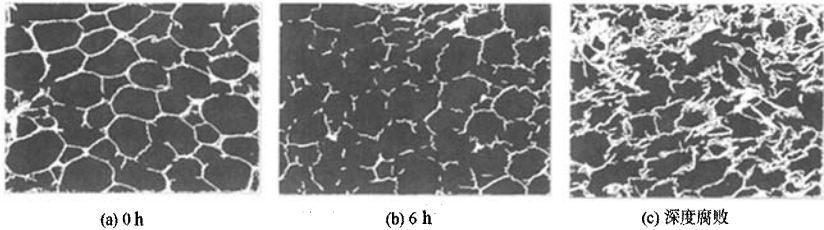


图 6 猪肉脂肪组织图像处理效果

2.4 细胞计数

通过对脂肪细胞大小和形态的分析,笔者对经历不同腐败时间的脂肪组织中完整脂肪细胞的数量进行了统计. 脂肪细胞数量的完整统计结果见图 7.

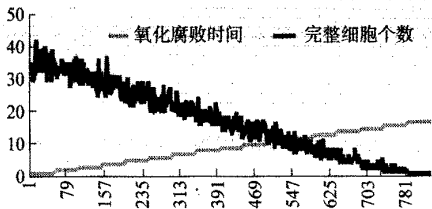


图 7 细胞计数结果

3 基于人工神经网络的新鲜度辨识

经数据分析,可以比较明显地看出,随着氧化腐败的推进,猪肉脂肪组织细胞数量在不断地减少. 但不同时间脂肪细胞的数量与当时新鲜度的对应情况却不能单从该实验中获得. 在评价各种检验方法时,多数学者认为挥发性盐基氮在猪肉的变质过程中,能有规律地反映猪肉新鲜度变化. 该指标已被纳入国家标准,是目前肉食品新鲜度检测中最重要的理化指标. 按国家标准 GB2722^[6], TVB-N 含量对应的猪肉新鲜度等级如表 1. 从表中可知,新鲜肉、次鲜肉和变质肉之间差异非常显著.

笔者通过建立三层 BP 人工神经网络^[1],以氨气(NH₃)、硫化氢(H₂S)、H₂S、I 及不同时段采集到的脂肪组织细胞个数共 60 组为网络输入,以 TVB-N 值为教师信号训练 BP 神经网络. 训练结果如

现出来,滤除了细胞边缘间重叠的细胞组织图像,保留了未完全腐败的边缘组织;在自动分割过程完成之后,就将细胞图像以黑白对比色的形式更清晰明确地体现了出来,见图 6. 图 6 为 0 h、6 h 及深度腐败状态下摄得的猪肉脂肪组织图像经图像处理后的效果展现.

表 1 猪肉新鲜度等级与 TVB-N 含量的对应关系

猪肉新鲜度等级	TVB-N 值含量
新鲜肉(A)	<15 mg/100 g
次鲜肉(B)	15~25 mg/100 g
腐败肉(C)	>25 mg/100 g

图 8,从图中可以看出网络具有非常好的学习能力,当进行第 36 次训练时,就达到了预先设置的网络性能,函数误差值 0.001. 图 9 为网络输出与目标输出之间的误差(即 $e = t - a$),可见 BP 网络就有很好的函数逼近能力,网络输出 TVB-N 值的误差在 $[-0.15 \ 0.1]$ 之间.

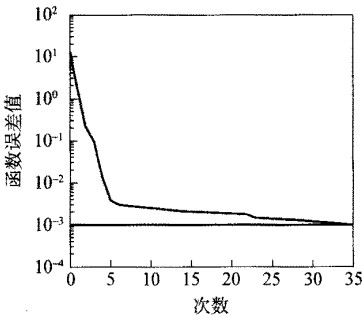


图 8 网络训练误差变化曲线

4 结束语

通过对猪肉脂肪组织细胞结构样本的测试与分析研究结果表明:猪肉在氧化腐败过程中形态存在着特异变化,利用光电显微技术可以直接地通过观察细胞的形态和数量变化判断猪肉的新鲜度.

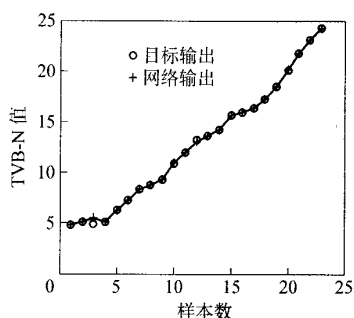


图9 目标输出与网络输出的比较

参考文献:

- [1] 郭培源. 猪肉新鲜度的智能检测方法[J]. 农业机械学报, 2006(8): 78-81.
- [2] 高英茂. 组织学与胚胎学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2005: 49-50.
- [3] 章毓晋. 图像工程(上册)[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999: 180-191.
- [4] 侯宁. 基于 hough 变换的图像检测对偶点法[J]. 中国图像图形学报, 2001(8): 746-749.
- [5] 郑南宁. 计算机视觉与模式识别[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.
- [6] 中华人民共和国国家标准. 食品卫生检验方法理化检验部分[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996: 161-169.

PORK FRESHNESS DETECTION BASED ON PHOTO-ELECTRIC MICRO-TECHNIQUE

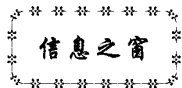
YU Rui-xue, GUO Pei-yuan

(College of Information Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100037, China)

Abstract: The morphology change of the adipose tissue through the corruption of the animal body was researched on the bases of the studying of the mechanism of pork freshness identifying. The specific property information of the cell organization was extracted from the original pictures on the base of the image processing technology which may provide a new way for the pork freshness determination.

Key words: pork freshness; pork adipose tissue; image process; pattern-recognition

(责任编辑:王 宽)



北京工商大学—北京市科技新星计划项目通过验收

2007 年 6 月 12 日, 北京工商大学机械自动化学院辛洪兵教授主持的北京市科技新星计划项目“圆弧齿廓谐波齿轮传动装置的研制”通过了北京市科委组织的专家组验收。专家组认为, 本项目完成了基于椭圆凸轮波发生器的双圆弧谐波齿轮传动啮合理论研究。取得以下创新性研究成果:

1. 建立了双圆弧谐波齿轮传动基本齿廓的设计方法, 为具有弹性变形构件的谐波齿轮传动啮合原理研究提供了理论依据。

2. 完成了双圆弧谐波齿轮传动柔轮和刚轮基本齿廓的设计、双圆弧谐波齿轮滚齿刀和插齿刀的设计与制造, 并研制出双圆弧谐波齿轮减速器样机。

3. 建立了小模数双圆弧谐波齿轮齿厚的测量方法。

4. 进行了双圆弧谐波齿轮传动与渐开线谐波齿轮传动的性能对比试验。实验数据表明, 在相同条件下, 具有双圆弧齿廓的柔轮齿根最大应力比渐开线齿廓减少 25.52%, 运动精度提高 24.27%, 扭转刚度增加 28%~66%。

开发的基于椭圆凸轮波发生器的双圆弧谐波齿轮, 具有完全自主知识产权, 符合国内谐波齿轮传动生产工艺特点、性能优良。研究成果填补了国内外谐波传动领域的空白, 具有广阔的应用前景。

(北京工商大学 科学技术处 康智勇)