

肉类品质无损检测技术研究现状与发展趋势

张玉华, 孟 一

(1. 山东商业职业技术学院, 山东省农产品贮运保鲜技术重点实验室, 山东济南 250103;
2. 国家农产品现代物流工程技术研究中心, 山东济南 250103)

摘要:介绍了近年来国内外肉类品质无损检测技术, 主要包括近红外光谱技术、计算机视觉技术和电子鼻技术, 可实现对肉品水分、蛋白质、脂肪、pH、新鲜度、剪切力等多个指标的检测。但单一技术无法实现肉品品质的综合评价, 多源感知信息融合技术和高光谱图像技术将多种信息融合, 可以更好地反映肉品的综合性状, 在肉品内外部品质检测方面具有独特的优势, 是肉品品质检测的发展趋势。

关键词:肉类, 无损检测技术, 品质检测

Research and progress of non-destructive testing technology of meat quality

ZHANG Yu-hua, MENG Yi

(1. Shandong Institute of Commerce and Technology Shandong Key Laboratory of Storage and Transportation Technology of Agricultural Products, Jinan 250103, China;
2. National Engineering Research Center for Agricultural Products Logistics, Jinan 250103, China)

Abstract: Non-destructive testing technology of meat quality internationally in recent years was described, including near-infrared spectroscopy, computer vision technology and electronic nose technology. The contents of moisture, protein, fat, pH, freshness, shear force and other indicators of meat could be detected. However, comprehensive evaluation of meat quality could not be achieved by a single technology. Multi-sensor information fusion technology and high-spectral image technology could integrate multiple information, which might reflect the overall characteristics of meat better, and had a unique advantage in internal and external quality of meat inspection. So this was the trend of meat quality inspection.

Key words: meat; non-destructive testing technology; quality inspection

中图分类号: TS251.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2012)12-0392-05

我国是肉类生产、消费大国, 其品质关系国民生活质量、营养水平及饮食安全, 受到消费者、质量管理者 and 肉制品工业的重视。传统的品质检测基本上采用感官、理化和微生物分析的方法, 感官分析一致性差、主观性强、不易量化, 理化和微生物分析存在样品预处理操作繁琐、化学试剂耗费量大、检测周期长和成本高等问题。目前世界各国对于肉类的质量安全控制愈加严格, 对于准确、快速、灵敏的监测手段的需求也愈加迫切, 快速无损检测技术由此应运而生。无损检测技术利用检测对象的声学、光学、电磁学等物理性质, 在无需破坏样品的情况下对其品质进行快速、客观、准确的检测^[1], 与其他检测手段相比, 无损检测具有响应速度快、选择性和抗干扰能力

强、操作成本低、适合多种状态分析及在线检测等优点, 且在检测过程中有效地运用了电子技术和信息技术, 易实现自动化、智能化的品质检测, 拥有更为广泛的发展空间和潜力。本文介绍了肉品品质无损检测常用的几种技术和方法, 包括近红外光谱技术、计算机视觉技术、电子鼻技术等。对肉品品质无损检测发展趋势进行了分析, 指出多源感知信息融合技术和高光谱图像技术综合利用多种信息, 进行综合全面评价, 是肉类品质无损检测的发展趋势。

1 肉类品质无损检测技术研究概况

1.1 近红外光谱技术

近红外光谱作为一种现场分析技术, 能够反映有机物含氢基团的振动信息, 相对于中红外光, 近红外光对物质穿透能力较强, 近红外分析不需对样品作任何处理, 便可取得样品深处的信息, 可以进行非破坏性检测、原位分析和活体分析等, 适用于现场和在线实时分析, 因此具有廉价、方便、快速和无损伤等优点, 尤其适合农产品高通量物流过程, 被称为“具有解决全球农业分析的潜力”^[1]。利用近红外光

收稿日期: 2011-09-07

作者简介: 张玉华(1973-), 女, 副教授, 研究方向: 食品质量安全。

基金项目: 国家“863”计划项目(2011AA100702); 山东省科技发展计划(2012GNC11009); 济南市高校院所自主创新计划(201202060)。

谱技术可对肉品水分、蛋白质、脂肪、pH、新鲜度、剪切力等多个指标进行检测。

国内外学者关于近红外技术分析肉品水分、蛋白质、脂肪等营养品质方面进行了大量的研究。Liao等^[2]采用可见/近红外光谱信息对猪肉内部肌红蛋白、肌内脂肪、蛋白质、水分、pH等理化品质进行了在线检测,采用偏最小二乘回归法建立了各指标的检测模型。Togersen等^[3]利用近红外光谱对猪肉的脂肪、水分和蛋白质进行了预测,取得了满意的结果。Geesink等^[4]用近红外对猪肉的品质,如持水率、剪切力、pH和颜色进行了预测。刘炜等^[5]采用近红外光谱测定了鲜鸡肉的脂肪、蛋白质和水分含量,建立了定量分析模型,模型的相关系数分别为0.993、0.994和0.979,校正均方差分别为0.126、0.198和0.232;与化学分析值配对t检验,两者差异不显著。罗香等^[6]利用偏最小二乘法将瘦肉的近红外光谱数据分别与其棕榈酸、棕榈油酸、硬脂酸、油酸、亚油酸含量建立校正模型,结果良好。刘魁武等^[7]采用可见/近红外光谱分析方法对冷鲜猪肉中的脂肪、蛋白质和水分含量进行了研究,结果表明该法能很好地检测冷鲜猪肉中的脂肪和水分,蛋白质的检测结果较差是由冷鲜肉加工工艺引起的。杨建松等^[8]应用近红外反射光谱技术(NIRS),采用偏最小二乘法(PLS),建立了不同部位牛肉中水分、脂肪、蛋白质、pH、肉色和剪切力的校正模型,并通过外部验证法检验了模型预测的准确性。结果表明,NIRS能够快速准确预测牛肉中水分、蛋白质和脂肪等化学指标,对牛肉pH、剪切力和肉色等物理指标的预测也有很大潜力。

肉类在腐败过程中,由于酶和细菌的作用,蛋白质分解而产生氨、胺类等碱性含氮物质,使TVB-N值、pH等发生改变,因此利用近红外光谱检测TVB-N值、pH,可以表征肉品新鲜度的变化。廖宜涛等^[9]应用可见/近红外光谱检测新鲜猪肉pH,实验时样品以 $0.25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度运动,采集其可见近红外漫反射光谱,进行反射距离校正后,应用偏最小二乘回归法建立猪肉pH在线检测模型。结果表明,可见/近红外光谱可用于新鲜猪肉pH在线检测。Argyri等^[10]利用FTIR研究了五种不同温度下牛肉腐败变质过程中其表面菌落总数与相应光谱信息的关系,并将样品成功判别为新鲜、半新鲜、腐败变质三类。Leroy等^[11]在1200~1300nm波段利用近红外光谱建立挥发性盐基氮的预测模型,实现了肉新鲜度的评价。侯瑞锋等^[12]采用近红外漫反射光谱法,对肉制品的新鲜度进行分级检测,采集生鲜肉在7d中的光谱数据,建立了挥发性盐基氮的预测模型。蔡健荣等^[13]利用近红外光谱检测猪肉中挥发性盐基氮,结果表明,利用近红外光谱技术和联合区间偏最小二乘算法能快速无损地检测猪肉挥发性盐基氮含量。

近年来,近红外光谱技术也广泛应用于肉品嫩度、纹理、保水性等加工品质的检测分析。Byrne等^[14]采用主成分分析法在750~1098nm的光谱范围内研究了牛肉背最长肌的嫩度、纹理、风味与近红外光谱的相关性。Park等^[15]利用近红外反射光谱确定牛肉背长肌嫩度,采用主成分分析法分析波长在

1100~2498nm处生肉的吸收光谱,发现其与剪切力测得的熟肉嫩度存在复相关系数 $r=0.692$,可以建立预测牛肉嫩度的模型。Bowling^[16]和Xia^[17]分别利用近红外光谱对牛肉嫩度进行了预测。赵杰文等^[18]在波数4000~10000 cm^{-1} 范围内测定了牛肉近红外光谱,用多元线性回归法建立预测模型,结果表明,近红外光谱技术对牛肉嫩度等级的预测是完全可行的。

1.2 计算机视觉技术

肉的外观颜色和纹理是其生理、生化和微生物学变化的外部表现,也可以较好地表征其新鲜度,是评价其品质的重要指标之一,在很大程度上决定着消费者的购买欲望。肉的颜色与存放时间和环境有很大的关系,而脂肪的颜色则能反映出肉的氧化程度,因此,肉的颜色常作为新鲜程度和质量分级的判别依据之一。肉在贮藏过程中,颜色往往随着肉的变质而发生变化,如新鲜牛肉色泽红润,次鲜牛肉颜色发暗,而变质牛肉呈无光泽的红褐色,且在局部区域有绿色斑块产生。

计算机视觉技术是近40年来伴随着计算机技术发展应运而生的一门综合技术,是利用计算机、摄像机及其他数字处理技术对图像加以某种运算和处理,以提取图像中的信息,模拟人的判别准则去理解图像和识别图像,进而对产品进行分类或分级^[19]。运用计算机视觉技术对农产品品质进行检测是近十几年发展起来的,目前主要用于农产品外观质量的评价及自动分级,20世纪90年代计算机视觉技术开始应用于牛肉品质检测和分级。用计算机视觉技术提取肉品外观颜色和纹理的特征向量,再选用一定的识别方法对肉品进行感官品质检测,从而克服常规方法在评价过程中缺乏客观一致性、繁琐耗时等诸多缺点。因此,计算机视觉技术在肉类品质检测上应用前景广阔。

McDonald等^[20]首先运用图像处理的办法,依据瘦肉与脂肪不同的反射特性,对背最长肌的瘦肉和脂肪进行了区分。Schuttle等^[21]利用彩色摄像机采集牛眼肌图像,通过统计RGB分量来确定颜色级别,并将结果与专家评级员的结果进行对比,实验结果表明两者间有很高的相关性。孙永海等^[22-23]利用神经网络和图像处理技术,区分出牛肉图像中的瘦肉与脂肪,利用冷却牛肉的图像和纹理,对冷却牛肉的新鲜度和嫩度进行了评价。陈坤杰等^[24]采用边界跟踪、自动取阈值、二值化及图像形态学等图像处理方法,可以实现对牛肌肉区域的精确分割,所提取的牛肉图像在RGB和HIS颜色空间分量的均值,反映了牛肉的颜色特征在贮藏期间的变化,可以定量描述牛肉颜色的变化规律。

1.3 电子鼻技术

在人感官评价肉品的质量时,气味一直是评判肉品等级的重要指标。肉类贮藏过程中,随着新鲜度降低,在酶和细菌的作用下,蛋白质先分解为胺类,进一步分解为氨、硫化氢、乙硫醇等;脂肪分解为脂肪酸类,进一步分解为醛类和醛酸类臭气;碳水化

合物分解为醇类、酮类、醛类和羧酸类气体。这些气味随着肉品新鲜度的降低,变得越来越浓烈。当用一组对这些化学物质敏感的传感器共同检测肉品时,便可以给出挥发性气体的完整气味信息,类似于人类的鼻子。电子鼻就是这样一种包含各种传感器的仪器,电子鼻也称人工嗅觉,由具有部分选择性的化学传感器阵列和适当的模式识别系统组成,能够识别简单或复杂气味,得到的数据是被测样品中挥发性成分的整体信息,也称指纹数据^[25]。

国内外许多学者利用电子鼻技术检测肉类气味变化,从而判断肉品新鲜度。Rajama 等^[26]用电子鼻对气调包装的烤鸡块进行了检测,结果表明,微生物污染致使产品变质,其气味变化较肉质变化更易于观察,也可更早地被检测出。Blixt 等^[27]利用电子鼻分析了真空包装牛肉的变质程度。Barbrin 等^[25]用电子鼻分析了4℃条件下牛肉和羊肉的变质情况,连续测定15d,建立了电子鼻输出的响应值信号与细菌总数之间的拟合曲线,以电子鼻响应信号为输入值,可以预测细菌的数量。

顾赛麒等^[28]采用电子鼻较好地地区分了不同贮藏温度(-18、0、4、10、20℃)条件下冷却肉的新鲜度,并可对其货架期进行预测,且电子鼻与感官评价对4℃和20℃贮藏条件下冷却肉分析结果一致。柴春祥等^[29]采用附带5根传感器的电子鼻检测了5、15、25℃条件下猪肉新鲜度变化,得出不同传感器输出信号与采集时间或采集时间的1/2次方呈正比,并以此曲线斜率表示样品特征值,贮藏温度越高、时间越长,样品特征值越大。李刚等^[30]用氨类气体变送器和硫化氢气体变送器制成的电子鼻,对牛肉样品进行了检测,并利用BP神经网络作为模式识别方法,对样品中的挥发性盐基氮含量进行了检测和预测,结果表明,网络对样品的挥发性盐基氮含量的预测精度较高。海峰等^[31]利用电子鼻对牛肉新鲜度进行检测,对电子鼻所采集的数据进行了统计分析及多种模式识别分析,建立了针对于挥发性盐基氮含量、细菌总数及感官评分预测的神经网络模型,并对电子鼻及网络模型的预测能力作了验证。洪雪珍等^[32]采用电子鼻对储藏0~7d的猪肉进行新鲜度检测,利用线性判别分析研究样品区分效果,结果发现,除了储藏2d和3d的数据有部分重合外,其余都能很好区分开。用逐步判别分析对储藏时间进行预测,准确率高。石志标等^[33]根据牛肉产生的气味和传感器实验,合理地选用了气敏传感器阵列。为提高电子鼻传感器灵敏度,对购置的传感器进行了改进。利用生物嗅觉的研究成果,开发出仿生嗅觉鼻道结构。应用支持向量机算法对储藏7d不同新鲜度的牛肉进行了识别实验,识别率达到99.25%。

此外,肉类无损检测技术还包括超声波检测技术、核磁共振波谱分析技术、拉曼光谱技术、电子舌技术等。

2 肉类品质无损检测技术发展趋势

目前,多数无损检测方法仅采用了单一的检测手段、较传统的信号预处理技术和模式识别方法。

它往往对某一两项指标有较好的信息响应,但对充分利用多种信息进行综合全面评价就显得力不从心。由于肉品组成复杂,其品质涉及多个指标,单靠一个传感器无法进行综合品质的检测。因此将几种检测技术有机融合,充分利用多源信息,使肉品的质量得到简单、快速、准确、全面的评价是今后的研究重点和发展趋势。

2.1 多源感知信息融合技术

多源感知信息融合技术是充分利用多个传感器资源,对观测到的有关同一目标的信息进行合理支配和使用,把多个传感器在空间或时间上的冗余或互补信息依据某种准则进行组合,以获得对被观测目标的综合的最佳估计^[34]。将近红外光谱、计算机视觉和电子鼻等无损检测技术结合,利用近红外光谱仪测定TVB-N,通过CCD摄像头为主的图像采集系统测量肉品表面灰度值(H、S、I),通过气体传感器阵列测定肉品腐败过程中释放的氨气和硫化氢等挥发性成分,即利用多源感知技术得到描述肉品不同品质特征的大量信息,采用多信息融合技术,对这些信息进行分析、综合和平衡,最终得到对肉品品质的综合评价。基于多源感知的信息融合技术一方面能通过不同的信息源对某一品质进行检测以提高检测结果的精度,提高检测系统的稳健性;另一方面通过互补信息提高品质检测的广度,提高系统品质评判的综合性。具与单一检测手段相比,有信息量大、容错性好以及与人类认知过程相似等优点,取长补短,提高检测的全面性、可靠性和灵敏度^[34]。

目前,多传感器信息融合检测技术已成为研究的热点。万新民等^[35]利用近红外光谱和计算机视觉两种传感信息融合的方法来评判猪肉新鲜度品质,用BP神经网络方法建立基于近红外光谱和计算机视觉的融合识别模型,评判的准确性和稳定性都较单个信息模型有所提高。郭培源等^[36]发明了猪肉新鲜度智能检测装置,该装置包括气体采集模块、图像采集模块、神经网络模块和PC计算机4个部分。气体采集模块可以采集猪肉变质过程中释放的氨气和硫化氢气体,图像采集模块可以采集猪肉变质过程中特定元素的特征波长下的相对灰度值特征信息。最后将猪肉变质过程中释放出的氨气和硫化氢以及相对灰度值同时输入神经网络模块,经过多数据融合得到猪肉新鲜度等级。刘木华^[37]等也将多传感器信息融合检测技术运用到牛肉品质检测中。

2.2 高光谱图像技术

高光谱图像技术是由高光谱遥感成像技术发展起来的一项技术,高光谱图像是指在紫外、可见光、近红外或更大波长区域上采集的一系列间隔波长处的光学图像集合,对应于某一特定波长就有一特定的二维图像,而对应于某一特定的像素,在各个波长下表现的灰度值又不一样。因此,高光谱图像集样本的图像信息与光谱信息于一身^[38]。虽然基于近红外光谱和计算机视觉技术的多传感信息融合可以大大提高肉品品质判别模型的精度与稳定性,但该技术是在两个相对独立硬件系统基础上完成的。高光

谱图像技术融合了传统的图像和光谱技术,可同时得到待测物的空间位置信息和光谱信息,兼有这两种技术的优势,因此可以更好地反映样品的综合性状,该特点决定了高光谱图像技术在农产品内外部品质检测方面具有独特的优势。

目前高光谱图像技术在肉品品质检测方面的应用正得到国内外学者的关注^[39]。王伟等^[40]研究验证了高光谱成像技术结合相应的建模方法预测生鲜猪肉中细菌总数的可行性,结果表明,高光谱成像技术结合最小二乘支持向量机预测建模方法可作为快速、非破坏预测生鲜猪肉细菌总数的有效手段。陶斐斐等^[41]研究了4℃冷链条件下,冷却猪肉在1~14d贮藏期间,表面菌落总数与400~1100nm光谱范围内相应高光谱图像的关系,提出了一种基于高光谱技术的冷却猪肉表面菌落总数的快速无损检测方法。结果表明,利用高光谱技术可以较好地定量分析冷却猪肉表面的菌落总数,应用该技术对冷却猪肉品质安全进行快速无损评价是可行的。陈全胜等^[42]提出了基于高光谱成像技术的猪肉嫩度检测方法,结果表明高光谱图像技术可以用于猪肉嫩度等级水平的检测。万新民等^[35]尝试利用高光谱成像技术检测猪肉的嫩度,结果表明利用高光谱成像技术检测猪肉嫩度等级是可行的。

3 展望

随着数据处理技术、信息技术、自动控制技术以及计算机技术的发展,肉类品质的无损检测技术将向快速化、标准化、数字化、程序化和规范化的方向发展。高灵敏度、高可靠性、高效率的无损检测仪器和方法也将不断出现,对于提高我国肉类品质,增强国际竞争能力,促进肉类产业健康发展具有重要意义。

参考文献

- [1] David I Ellis, David Broadhurst, Douglas B Kell, et al. Rapid and quantitative detection of the microbial spoilage of meat by fourier transform infrared spectroscopy and Machine Learning[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2002, 68 (6): 2822-2828.
- [2] Liao YH, Fan YX, Cheng F. On-line prediction of fresh pork quality using visible/near-infrared reflectance spectroscopy [J]. Meat Science, 2010, 86(4): 901-907.
- [3] Tøgersen G, Isaksson T, Nilsen B, et al. On-line NIR analysis of fat, water and protein in industrial scale ground meat batches [J]. Meat Sci, 1999, 51: 97-102.
- [4] Geesink GH, Schreutelkamp FH, Frankhuizen R, et al. Prediction of pork quality attributes from near infrared reflectance spectra[J]. Meat Science, 2003, 65: 661-668.
- [5] 刘炜, 吴昊旻, 孙东东, 等. 近红外光谱分析技术在鲜鸡肉快速检测分析中的应用研究[J]. 中国家禽, 2009, 31(2): 8-11.
- [6] 罗香, 刘波平, 张小林, 等. 偏最小二乘近红外光谱法测定瘦肉脂肪酸组成的研究[J]. 分析实验室, 2007, 26(10): 25-29.
- [7] 刘魁武, 成芳, 林宏建, 等. 可见/近红外光谱检测冷却猪肉中的脂肪、蛋白质和水分含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(1): 102-105.
- [8] 杨建松, 孟庆翔, 任丽萍, 等. 近红外光谱法快评定牛肉品质[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(3): 685-687.
- [9] 廖宜涛, 樊玉霞, 伍学千, 等. 猪肉 pH 的可见近红外光谱在线检测研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(3): 681-684.
- [10] Argyri A A, Panagou E Z, Tarantilis P A, et al. Rapid qualitative and quantitative detection of beef fillets spoilage based on Fourier transform infrared spectroscopy data and artificial neural networks[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2010, 145(1): 146-154.
- [11] Leroy B, Lambotte S, Dotreppe O, et al. Prediction of technological and organoleptic properties of beef Longissimus thoracis from near-infrared reflectance and transmission spectra [J]. Meat Science, 2004, 66(1): 45-54.
- [12] 侯瑞锋, 黄岚, 王忠义, 等. 用近红外漫反射光谱检测肉品新鲜度的初步研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(12): 2193-2196.
- [13] 蔡健荣, 万新民, 陈全胜. 近红外光谱法快速检测猪肉中挥发性盐基氮的含量[J]. 光学学报, 2009, 29(10): 2808-2812.
- [14] Byrne C E, Downey G, Troy D J, et al. Nondestructive prediction of selected quality attributes of beef by near infrared reflectance spectroscopy between 750 and 1098nm [J]. Meat Science, 1998, 49(4): 399-409.
- [15] Park B, Chen Y R, Hruschka W R, Shackelford S D, et al. Principle component regression of near infrared reflectance spectra for beef tenderness prediction[J]. Transactions of the ASAE, 2001, 44(3): 609-615.
- [16] Bowling M B, Vote D J, Belk K E, et al. Using reflectance spectroscopy to predict beef tenderness [J]. Meat Science, 2009, 82(1): 1-5.
- [17] Xia J J, Berg E P, Lee J W, et al. Characterizing beef muscles with optical scattering and absorption coefficients in VIS-NIR region [J]. Meat Science, 2007, 75(1): 78-83.
- [18] 赵杰文, 翟剑妹, 刘木华, 等. 牛肉嫩度的近红外光谱法检测技术研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(4): 640-642.
- [19] 刘曙光, 刘明远, 何斌. 机器视觉及其应用[J]. 河北科技大学学报, 2000, 21(4): 11-15.
- [20] McDonald T, Chen Y R. A geometric model of marbling in beef longissimus dorsi [J]. Trans of the ASAE, 1992, 35(3): 1057-1062.
- [21] Schutte B R, Biju N, Kranzler G A, et al. Color video image analysis for augmenting beef carcass grading [J]. Animal Science Research Report, 1998, 12(7): 32-36.
- [22] 孙永海, 鲜于建川, 石晶. 基于计算机视觉的冷却牛肉嫩度分析方法[J]. 农业机械学报, 2003, 34(5): 102-105.
- [23] 孙永海, 赵锡维, 鲜于建川. 基于计算机视觉的冷却牛肉新鲜度评价方法[J]. 农业机械学报, 2004, 35(1): 104-107.
- [24] 陈坤杰, 尹文庆. 机器视觉技术在分析牛肉颜色变化特征中的应用[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 92-96.
- [25] Barbrin EL, Llobet E, Barin EL, et al. Electronic nose based on metal oxide semiconductor sensors as an alternative technique for the spoilage classification of red meat [J]. Sensors, 2008, 8(1): 142-156.
- [26] Rajam KI T, Alakomi H L, Ritvanen T, et al. Application of an electronic nose for quality assessment of modified atmosphere (下转第 400 页)

- [26] 姚成强, 郑俏然. 桂皮精油对冷却猪肉保鲜效果的研究[J]. 河南农业科学, 2011, 40(7): 152-154.
- [27] 姚成强, 郑俏然. 几种天然香精油对冷却猪肉保鲜效果的比较研究[J]. 食品科技, 2011, 36(9): 119-121.
- [28] 姚成强, 郑俏然. 桂皮精油和丁香精油对冷却猪肉保鲜效果的研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(17): 3604-3606.
- [29] 刘琳, 张德权, 贺雅非. 香辛料精油在生鲜调理鸡肉保鲜中的应用研究[J]. 食品科技, 2009, 34(10): 110-113.
- [30] Singh A, Singh R K, Bhunia A K, et al. Efficacy of plant essential oils as antimicrobial agents against *Listeria monocytogenes* in hotdogs[J]. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 2003, 36(8): 787-794.
- [31] Gill A O, Delaqui P, Russo P, et al. Evaluation of antilisterial action of cilantro oil on vacuum packed ham[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2002, 73(1): 83-92.
- [32] Marie-Jose'e L, Julie C, Pascal J D, et al. Antimicrobial effect of natural preservatives in a cooked and acidified chicken meat model[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2002, 78(3): 217-226.
- [33] Mejlholm O, Dalgaard P. Antimicrobial effect of essential oils on the seafood spoilage micro-organism *Photobacterium phosphoreum* in liquid media and fish products[J]. *Letters in Applied Microbiology*, 2002, 34(1): 27-31.
- [34] Koutsoumanis K, Lambropoulou K, Nychas G - J E. A predictive model for the non-thermal inactivation of *Salmonella enteritidis* in a food model system supplemented with a natural antimicrobial[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 1999, 49(1-2): 63-74.
- [35] Antonios E, Goulas and Michael G, Kontominas. Combined effect of light salting, modified atmosphere packaging and oregano essential oil on the shelf-life of sea bream (*Sparus aurata*): Biochemical and sensory attributes [J]. *Food Chemistry*, 2007, 100(1): 287-296.
- [36] Mahmoud Barakat SM, Mahmouda K, Yamazakib K, et al. A new technology for fish preservation by combined treatment with electrolyzed NaCl solutions and essential oil compounds [J]. *Food Chemistry*, 2006, 99(4): 656-662.
- [37] Tassou C, Drosinos E H, Nychas G J E. Effects of essential oil from mint (*Mentha piperita*) on *Salmonella enteritidis* and *Listeria monocytogenes* in model food systems at 4°C and 10°C [J]. *Journal of Applied Bacteriology*, 1995, 78(6): 593-600.
- [38] Smith - Palmer A, Stewart J, Fyfe L, et al. The potential application of plant essential oils as natural food preservatives in soft cheese [J]. *Food Microbiology*, 2001, 18(4): 463-470.
- [39] 张旭, 盛宏达, 关文强, 等. 植物精油对大米防霉保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2008(5): 38-40.
- [40] 谢晶, 马美湖, 高进. 植物精油抗菌乳状液涂膜对鸡蛋的保鲜效果[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 299-30.
- [41] 柴向华, 林雅慧, 吴克刚. 香辛料精油对馒头气相防霉保鲜的研究[J]. 食品与机械, 2011, 27(4): 126-128.
- [42] Pandit V A, Shele L A. Sensitivity of *Listeria monocytogenes* to rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) [J]. *Food Microbiology*, 1994, 11(1): 57-63.
- [43] Stammati A, Bonsi P, Zucco F, et al. Toxicity of selected plant volatiles in microbial and mammalian short-term assays [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 1999, 37(8): 813-823.
- packaged poultry meat [J]. *Food Control*, 2006, 17(1): 5-13.
- [27] Blixt Y, Borch E. Using an electronic nose for determining the spoilage of vacuum-pachaged beef [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 1999, 46(2): 123-134.
- [28] 顾赛麒, 王锡昌, 刘源, 等. 电子鼻检测不同贮藏温度下猪肉新鲜度变化[J]. 食品科学, 2010, 31(6): 172-176.
- [29] 柴春祥, 杜利农, 范建伟, 等. 电子鼻检测猪肉新鲜度的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 444-447.
- [30] 李刚, 曲世海, 郭培源, 等. 基于神经网络的肉类新鲜度辨识技术[J]. 传感器技术, 2005, 24(3): 15-18.
- [31] 海峰, 王俊. 基于电子鼻的牛肉新鲜度检测[D]. 杭州: 浙江大学, 2006: 38-49.
- [32] 洪雪珍, 王俊. 基于逐步判别分析和BP神经网络的电子鼻猪肉储藏时间预测[J]. 传感技术学报, 2010, 23(10): 1376-1380.
- [33] 石志标, 佟月英, 陈东辉, 等. 牛肉新鲜度的电子鼻检测技术[J]. 农业机械学报, 2009, 40(11): 184-188.
- [34] 邓巍, 丁为民. 多传感器信息融合技术在水果质量评价中的应用[C]. 农业工程学会 2005 年学术年会论文集, 2005: 327-333.
- [35] 万新民, 蔡健荣. 基于近红外光谱分析技术和计算机视觉技术的猪肉品质检测的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2010: 48-60.
- [36] 郭培源, 陈岩, 薛红等. 猪肉新鲜度智能检测装置. 中国, 101144780A [P]. 2008-03-19.
- [37] 刘木华, 江水泉, 赵杰文. 牛肉品质无损检测中信息融合技术的应用研究[J]. 粮油食品科技, 2003, 11(6): 24-26.
- [38] Gowen A A, Donnell C P, Cullen P J, et al. Hyperspectral imaging-an emerging process analytical tool for food quality and safety control [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2007, 18(12): 590-598.
- [39] Jun Qiao, Michael O Ngadi, Ning Wang, et al. Prok quality and marbling level assessment using a hyperspectral imaging system [J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 83: 10-16.
- [40] 王伟, 彭彦昆, 张晓莉, 等. 基于高光谱成像的生鲜猪肉细菌总数预测建模方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(2): 411-415.
- [41] 陶斐斐, 王伟, 李永玉, 等. 冷却猪肉表面菌落总数的快速无损检测方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(12): 3405-3409.
- [42] 陈全胜, 张燕华, 万新民, 等. 基于高光谱成像技术的猪肉嫩度检测研究[J]. 光学学报, 2010, 30(9): 2602-2607.

(上接第 395 页)