

# 牛肉品质检测技术的研究进展

陈坤杰, 秦春芳

(南京农业大学工学院, 江苏 南京 210031)

**摘 要:** 牛肉品质检测在牛肉生产、加工和消费过程中起着重要的作用。本文介绍了剪切力测定、近红外光谱分析(NIR)和机器视觉三种牛肉品质测定方法的技术特点和国内外研究现状, 着重介绍了机器视觉技术在牛肉颜色、大理石花纹、纹理和生理成熟度等品质参数测定方面的研究进展情况, 指出机器视觉技术是未来牛肉品质检测研究的主要发展方向。

**关键词:** 牛肉; 品质; 近红外光谱分析(NIR); 机器视觉; 检测

## Research Progress on Detection Technology of Beef Quality

CHEN Kun-jie, QIN Chun-fang

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

**Abstract :** Beef quality detection plays an important role in production, processing and consumption of beef. This review introduced the characteristics, advantages, limits, potential and present status of three detection technologies of beef quality: Warner-Bratzler shear force (WBSF), near-infrared spectroscopy (NIR) and machine vision, and mainly discussed the progress on measurement of color, marbling, texture and physiological maturity of beef by using machine vision technique. It was pointed out that machine vision technique was considered as the future trend for detection of beef quality.

**Key words:** beef; quality; NIR; machine vision; detection

中图分类号: TS207.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2009)07-0277-05

牛肉品质是决定消费者购买意向和市场价格的主要因素, 在牛肉的生产和流通过程中对牛肉品质进行及时检测和监控, 对保障牛肉食品安全、促进牛肉生产及合理消费, 具有十分重要的作用。牛肉的品质, 主要由嫩度、颜色和风味所决定, 其中, 嫩度是决定质量的最主要因素。根据 Shackelford 等所作的消费调查<sup>[1]</sup>, 在影响消费者购买决定的嫩度、多汁性和风味这三个因素中, 嫩度又是其中最主要的因素, 大多数消费者愿意为嫩牛肉付更高的价格<sup>[2-3]</sup>。因此, 进行牛肉嫩度的检测并根据牛肉嫩度进行品质分级, 对满足消费者需求及促进牛肉生产具有重要的实际意义。

牛肉嫩度检测的传统方法为感官评定, 是通过人工评尝的方式来决定牛肉的嫩度。人工评尝是一种主观的评定方法, 评定人员需经过专门的培训, 评定过程耗时、耗力, 评定结果主观性强、重复性差, 正逐渐被淘汰。目前, 在牛肉品质研究中, 牛肉嫩度的检测主要采用剪切力测定法。另外, 随着计算机技术、信息技术以及现代检测技术的发展, 应用近红外光谱分析、机器视觉以及计算机图像处理技术进行牛肉嫩度的检测, 正逐渐成为牛肉品质检测技术研究的重点<sup>[4-6]</sup>。

## 1 剪切力测定技术

牛肉嫩度的剪切力测定法, 是采用 Bratzler 发明的 Warner-Bratzler 剪切力测定仪, 按照相应测定方法测定经过一定条件蒸煮的、特定尺寸大小的牛肉剪切力, 以 WBSF(Warner-Bratzler Stree Force)值表示牛肉嫩度的一种客观检测方法。采用剪切力测定法来客观评定牛肉的嫩度已经有半个多世纪的历史<sup>[7]</sup>, 尽管经过几十年的研究和改进, 该方法已经日臻完善, 其操作条件和操作程式都已经标准化, 但近些年来, 关于剪切力测定技术方面, 仍有大量的研究报道。Shackelford 等<sup>[8-10]</sup>的研究结果显示, WBSF 值只能表示牛肉感官嫩度的 77%, 认为 WBSF 值并不是一个能完全准确的反映牛肉嫩度的指标参数。但 Monin 经过研究后认为<sup>[11]</sup>, 剪切力测定法仍然是目前与人的感官评定结果最相符合的一种牛肉嫩度评价方法, 也是目前普遍采用的牛肉嫩度测定方式<sup>[12-13]</sup>。在大多数关于牛肉品质研究中, WBSF 值都被当作一个主要的评价指标<sup>[14-16]</sup>, 而在牛肉嫩度测定方法研究中, 则多以 WBSF 值测定结果作为标准参考值。因此, 剪切力测定法仍是目前公认的牛肉嫩度定量测定方法。

收稿日期: 2008-06-02

作者简介: 陈坤杰(1963-), 男, 教授, 研究方向为农畜产品加工与无损检测技术。E-mail: kunjiechen@njiau.edu.cn

## 2 NIR 光谱分析技术

在肉品科学研究领域,近红外光谱分析技术早先主要被用于肉品的化学成分分析<sup>[17-18]</sup>,其后,Mitsumoto等<sup>[19]</sup>发现,NIR光谱也可以用来定量的描述肉的物理特性。1994年,Hildrum等首先成功地采用NIR光谱分析进行了肉的嫩度和硬度预测研究<sup>[20]</sup>,后来更多的研究工作主要集中在利用NIR光谱分析技术进行牛肉的WBSF值预测方面<sup>[21-24]</sup>,通过对牛肉的NIR反射光谱分析,建立谱信息与WBSF值之间的联系,通过谱信息的检测进行牛肉嫩度的预测。Leroy等<sup>[25]</sup>则利用NIR的穿透光谱进行冷鲜牛肉的WBSF值测定并与采用NIR反射光谱的测定结果进行比较,发现采用波长935~2327nm的NIR反射光谱数据建立冷鲜牛肉WBSF值预测模型,决定系数为0.15~0.25,而采用NIR穿透光谱进行冷鲜牛肉WBSF值预测,决定系数为0.15~0.41。进一步将NIR光谱分析技术应用于牛肉持水性(蒸煮损失)和颜色的预测,研究表明,NIR反射光谱具有很好的预测牛肉颜色特征的能力( $R^2 = 0.85$ ,交互验证标准差=1.53%);尽管利用NIR穿透光谱来预测牛肉的持水性比利用NIR的反射光谱有更高的精度,但最高的决定系数仅为0.47。Xia等<sup>[26]</sup>认为,牛肉的组织结构特性与NIR光谱的散射系数有关,而牛肉的结构特性又决定了其嫩度的大小,因此,NIR光谱的散射系数与牛肉的WBSF值之间存在一定的关联关系。其用450~950nm波长的NIR光谱对32个牛肉样本进行扫描,线性回归实验结果显示,NIR光谱的散射系数与牛肉的WBSF值之间关系显著( $p < 0.0001$ ),决定系数为0.59。

## 3 机器视觉技术

机器视觉系统可以根据大小、形状、颜色和质地等特征对目标进行快速的识别和检测,因此,广泛应用于农产品的质量检测、产品自动分级、分类以及加工过程的自动化等领域<sup>[27]</sup>。机器视觉技术不仅可以检测人类可视光谱范围内的目标,还可以检测在人类视觉不可见光谱范围如紫外、红外的目标,这一特征使得机器视觉技术在农产品内部品质,如成熟度、质地、缺陷等检测方面具有比其他检测方法更为广阔的应用潜力。

由于机器视觉可为农产品的质量检测提供一种快速、客观的技术方法,因此,在肉食品质量检测方面的应用也引起了人们广泛的研究兴趣。八十年代初,Cross等<sup>[28]</sup>和Unklesbay等<sup>[29]</sup>就首先尝试将机器视觉技术应用于牛胴体的评级和牛肉颜色的测定。近些年来,机器视觉技术在牛肉品质测定方面的研究,已扩展到牛肉的大理石花纹、嫩度、纹理、生理成熟度测定以及牛肉质量自动分级等各个方面<sup>[30-32]</sup>。

### 3.1 牛肉颜色的测定

肌肉颜色作为牛肉品质的重要评价指标之一,不仅

影响到消费者的购买决定,还间接反映了牛肉的生理成熟度、嫩度等。因此,通过图像处理技术进行牛肉颜色特征的测定具有重要的应用价值。Gerrard等<sup>[33]</sup>根据美国农业部的牛肉质量分级标准,将具有不同肉色等级和大理石花纹等级的样本进行图象处理,通过抽取的颜色特征和大理石花纹特征进行牛肉颜色等级和大理石花纹等级的预测,决定系数分别达到0.86和0.84,显示图象处理技术是一种预测牛肉颜色等级和大理石花纹等级的有效手段。Beriaín等<sup>[34]</sup>研究了计算机图像处理技术测定牛肉背长肌区域颜色特征的方法,试图通过牛肉的颜色特征对牛肉的品质进行预测。实验结果显示,在CIE Lab颜色系统,宰杀后45min的热鲜牛肉和经过24h成熟的冷鲜牛肉的亮度均与WBSF值呈线性相关。但基于颜色特征的牛肉品质预测模型同时显示,颜色特征只能解释牛肉嫩度的20%。Jeyamkondan等<sup>[35]</sup>的研究结果表明,肌肉颜色R分量的均值与牛肉的颜色等级高度相关,以R均值为变量建立牛肉颜色等级预测模型,决定系数高达0.86。若仅以牛肉大理石花纹的丰富程度对牛肉的质量等级进行预测,模型的决定系数为0.64,在模型中加入颜色特征参数后,模型的决定系数可提高至0.72。因此,利用图像处理技术抽取颜色特征进行牛肉颜色等级的预测,被认为是一种十分有效的方法。

### 3.2 牛肉大理石花纹的测定

牛肉大理石花纹的丰富程度,是影响牛肉口感的重要指标,也是美国、中国等国家牛肉质量评定系统中的主要参数之一。Albrecht等<sup>[36]</sup>经过实验研究后得出,牛肉的脂肪面积比和单位面积上的脂肪颗粒数与牛肉大理石花纹的丰富程度之间存在显著的相关关系。McDonald和Chen<sup>[37-40]</sup>利用图象处理技术,将牛肉眼肌切面图像分割成脂肪和肌肉区域,计算出脂肪区域的总面积,然后研究脂肪区域面积与牛肉质量感官评定结果之间的关系。结果显示,脂肪区域的总面积与牛肉感官质量评定结果之间的决定系数为0.47,显著相关。Shiranita等<sup>[41]</sup>利用计算机图像处理技术提取牛肉眼肌图像大理石花纹的面积比、脂肪颗粒总数、大脂肪颗粒数、小脂肪颗粒数以及脂肪颗粒分布系数等5个参数建立牛肉质量等级的多元线性预测模型,并将模型的预测结果与专业分级员的感官评定结果进行比较,结果显示,所有模型预测结果与人工评定结果之差均小于1。表明采用计算机图像处理技术提取牛肉的脂肪特征并据此对牛肉品质进行预测,具有很大的发展潜力。

### 3.3 牛肉纹理特征的测定

图像的纹理特征在图像分析中起着十分重要的作用,牛肉图像的纹理可以反映出牛肉纤维的尺寸、排列等显著影响牛肉质地和嫩度的特征状态,因此,利用计算机图像处理技术可以对牛肉的质地结构特征进行定量分析和描述。Li等<sup>[42]</sup>采用像素步长和像素空间相关的方法,提取牛肉图像的步长均值、步长标准方差和

步长不均度为纹理特征,分析图像的纹理特征与牛肉嫩度的相关性。研究结果显示,仅根据牛肉的颜色特征和大理石花纹特征参数建立牛肉嫩度的预测模型,决定系数只有0.3,在模型中加入图像的纹理参数后,模型的决定系数增加到0.72,表明图像的纹理特征与牛肉的嫩度具有显著的相关性。Li等<sup>[43]</sup>在其另一项研究中,采用基于小波的方式,抽取牛肉图像的纹理特征,然后根据图像的纹理特征参数,对牛肉进行嫩度分级。与人工感官评定结果相比较,根据图像纹理特征参数得出的分级正确率为83.3%。孙永海等<sup>[44]</sup>通过图像处理技术提取牛肉组织的纹理特征,再以回归分析和神经网络技术建立牛肉嫩度的预测模型,实验结果显示,模型的预测精度可以达到87.5%以上。

#### 3.4 牛肉生理成熟度及持水性的测定

Hatem等<sup>[45]</sup>尝试通过图像处理技术,进行牛生理成熟度的判定研究。提取牛尾椎骨图像在RGB和HSL颜色空间的12个颜色特征参数,研究这12个颜色特征参数对牛肉生理成熟度的影响,结果表明,H值是影响生理成熟度的最主要颜色特征参数。若以这12个颜色特征参量为输入,通过神经网络技术预测牛肉生理成熟度,平均的正确率大于70%。另外,有研究报道<sup>[46]</sup>,采用图像处理技术,可以成功地对牛肉、猪肉等各种肉中的结缔组织(IMCT)进行自动定量分析。

近年来,计算机图像处理技术亦被引入牛肉持水性方面的研究。Barbera等<sup>[47]</sup>提出以肉的蒸煮收缩率MCS(meat cooking shrinkage)代替蒸煮损失,通过VIA技术测定经过蒸煮处理的牛肉和猪肉在蒸煮前后面积的变化情况,研究猪肉和牛肉的MCS随冷却时间的变化规律,结果显示,蒸煮过后的牛肉和猪肉,经过不同时间的冷却,其MSC有显著的差异,MSC与肉的持水性之间存在显著的相关性。Zheng等<sup>[48]</sup>则利用VIA技术对牛肉蒸煮收缩率的影响因素进行了详细的研究。通过VIA方法测定牛肉样本在蒸煮前后的重量、体积、含水率、表面积等15个与牛肉蒸煮收缩有关的参数,分析结果表明,动力曲线长度均值、投影周长和蒸煮温度是决定蒸煮收缩率的最主要因素。

#### 4 发展与展望

随着消费者对牛肉食品安全和牛肉品质要求的不断提高,对牛肉品质检测技术的研究将越来越受到人们的重视和关注,定量、精确、快速和实时是牛肉品质检测技术未来主要的发展方向。人工感官评定的方法将被摒弃,WBSF值测定法虽然属于一种定量技术,但该方法属于破坏性检测,且操作规程繁琐、条件严格,耗时、耗力,主要应用于实验室研究,不具备实时测量和在线检测的能力和潜力,限制了其在牛肉品质测定方面的发展空间。

NIR技术具有快速、方便、非破坏和易实现实时

在线检测的等特点,在快速、实时预测牛肉WBSF值方面,NIR光谱分析技术是一种很有潜力的方法。但目前的研究结果显示,牛肉的NIR光谱信息及其嫩度及质地之间的联系并不完全可靠,在NIR技术真正用于牛肉品质预测之前,还要通过大量的实验研究工作对这项技术进行改进和提高。另外,昂贵的硬件成本是制约该技术广泛应用的另一个重要因素。

相对而言,计算机图像处理和机器视觉技术不仅具有非破坏、高效和低成本的突出优势,而且在实现在线检测方面已有成功的应用。Belk和Cannell等<sup>[49-50]</sup>曾报道一种用于牛胴体识别的图像分析系统,该系统曾在商业性生产中进行试运行。Vote等<sup>[51]</sup>对该系统应用于牛肉嫩度在线预测的实际应用效果进行了研究,结果显示,该系统可以很好地对牛肉的嫩度进行在线预测并根据嫩度进行在线分级。因此,利用机器视觉技术,将是未来牛肉品质检测方法研究的主要发展方向。

#### 参考文献:

- [1] SHACKELFORD S D, WHEELER T L, KOOHMARAIE M. Consumer impressions of tender select beef[J]. *Journal of Animal Science*, 2001, 79: 2605-2614.
- [2] HUFFMAN K L, MILLER M F, HOOVER L C, et al. Effect of beef tenderness on consumer satisfaction with steaks consumed in the home and restaurant[J]. *Journal of Animal Science*, 1996, 74: 91-97.
- [3] LUSK K L, FOX J A, SCHROEDER T C, et al. In-store valuation of steak tenderness[J]. *American Journal of Agriculture Economics*, 2001, 83: 539-550.
- [4] SHACKELFORD S D, WHEELER T L, KOOHMARAIE M. Tenderness classification of beef: II. Design and analysis of a system to measure beef longissimus shear force under commercial processing conditions[J]. *Journal of Animal Science*, 1999, 77: 1474-1481.
- [5] SWATLAND H J, ANANTHANARAYANAN S P, GOLDENBERG A A. A review of probes and robots: Implementing new technologies in meat evaluation[J]. *Journal of Animal Science*, 1994, 72: 475-486.
- [6] BYRNE C E, TROY D J, DOWNEY G, et al. Near-infrared reflectance spectroscopy as a meat quality indicator[C]. *Netherlands: Proceedings 43th International Congress of Meat Science and Technology*, 1997.
- [7] RAMSBOTTOM J M, STRANDINE E J, KOONZ C H. Comparative tenderness of representative beef muscles[J]. *Food Research*, 1945, 10: 497-509.
- [8] SHACKELFORD S D, WHEELER T L, KOOHMARAIE M. Relationship between shear force and trained sensory panel tenderness ratings of 10 major muscles from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle[J]. *Journal of Animal Science*, 1995, 73: 3333-3340.
- [9] SHACKELFORD S D, WHEELER T L, KOOHMARAIE M. Tenderness classification of beef: I. Evaluation of beef longissimus shear forces at 1 or 2 days postmortem as a predictor of aged beef tenderness[J]. *Journal of Animal Science*, 1997, 75: 2417-2422.
- [10] SHACKELFORD S D, WHEELER T L, KOOHMARAIE M. Evaluation of slice shear force as an objective method of assessing beef longissimus tenderness[J]. *Journal of Animal Science*, 1999, 77: 2693-2699.
- [11] MONIN G. Recent methods for predicting quality of whole meat[J]. *Meat Science*, 1998, 49: 31-43.
- [12] BOLEMAN S J, BOLEMAN S L, MILLER R K, et al. Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness[J]. *Journal of Animal*

- Science, 1997, 75: 1521-1524.
- [13] MILLER M F, HOOVER L C, COOK K D, et al. Consumer acceptability of beef steak tenderness in the home and restaurant[J]. Journal of Food Science, 1995, 60: 963-965.
- [14] BELEW J B, BROOKS J C, MCKENNA D R, et al. Warner-bratzler shear evaluations of 40 bovine muscles[J]. Meat Science, 2003, 64: 507-512.
- [15] MAHER S C, MULLEN A M, MOLONEY A P, et al. Quantifying the extent of variation in the eating quality traits of the *M.longissimus* and *M.seminembranchosus* of conventionally processed Irish beef[J]. Meat Science, 2004, 66: 351-360.
- [16] BRAGHIERI A, CIFUNI G F, GIROLAMI A, et al. Chemical, physical and sensory properties of meat from pure and ceosberd Podolian bulls at different ageing times[J]. Meat Science, 2005, 69: 681-689.
- [17] KRUGGEL W G, FIELD R A, RILEY M L, et al. Near-infrared reflectance determination of fat, protein, and moistuer in fresh meat[J]. Journal of the Association of Official Analytical Chemists, 1981, 64: 692.
- [18] LANZA E. Determination of moisture, protein, fat, and calories in raw pork and beef by near-infrared spectroscopy[J]. Journal of Food Science, 1983, 48: 471-474.
- [19] MITSUMOTO M, MAEDA S, MITSUHASHI T, et al. Nearinfrared spectroscopy determination of physical and chemical characteristics in beef cuts[J]. Journal of Food Science, 1991, 56: 1493-1496.
- [20] HILSRUM K I, NILSEN B N, MIELNIK M, et al. Prediction of sensory characteristics of beef by near-infrared spectroscopy[J]. Meat Science, 1994, 38: 67-80.
- [21] BYRNE C E, DOWNEY G, TROY D J, et al. Nondestructive perdition of selected quality attributes of beef by nearinfrared reflectance spectroscopy between 750 and 1098 nm[J]. Meat Science, 1998, 49: 399-409.
- [22] PARK B, CHEN Y R, HRUSCHKA W R, et al. Near-infrared reflectance analysis for predicting beef longissimus tenderness[J]. Journal of Animal Science, 1998, 76: 2115-2120.
- [23] RODBOTTEN R, MEVIK B-H, HILDRUM K I. Prediction and classification of tenderness in beef from non-invasive diode array detected NIR spectra[J]. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 2001, 9: 199-210.
- [24] VENEL C, MULLEN A M, DOWNEY G, et al. Prediction of tenderness and other quality attributes of beef by near infrared reflectance spectroscopy between 750 and 1100 nm further studies[J]. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 2001, 9: 185-198.
- [25] LEROY B, LAMBOTTE S, DOTERPE O, et al. Prediction of technological and organoleptic properties of beef *Longissimus thoracis* from near-infrared reflectance and transmission spectra[J]. Meat Science, 2003, 66: 45-54.
- [26] 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: 78-83.
- [27] CHEN Y R, CHAO K L, KIM M S. Machine vision technology for agricultural applications[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 36: 173-191.
- [28] CROSS H R, GILLILAND D A, DURLAND P R, et al. Beef carass evaluation by use of a video image analysis system[J]. Journal of Animal Science, 1983, 57(4): 908-917.
- [29] UNKLESBAY K, UNKLESBAY N, KELLER J. Determination of internal color of beef rib-eye steaks using digital image analysis[J]. Food Microstructure, 1986, 5: 231-277.
- [30] 陈坤杰, 姬长英. 基于图像运算的牛肉大理石花纹提取方法[J]. 农业机械学报, 2007, 38(5): 165-168.
- [31] TAN J. Meat quality evaluation by computer vision[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 61: 27-35.
- [32] 陈坤杰, 姬长英. 牛肉自动分级技术研究进展[J]. 农业机械学报, 2006, 37(3): 121-124.
- [33] GERRARD D E, GAO X, TAN J. Beef marbling and color score determination by image processing[J]. Journal of Food Science, 1996, 61(1): 145.
- [34] BERAİN M J, GONI M V, INDURAIN G, et al. Predicting *Longissimus dorsi* texture characteristics in beef based on early post-mortem colour measurements[J]. Meat Science, 2007, 76: 38-45.
- [35] JEYAMKONDAN S, RAY N, KRANZLER A G, et al. Beef quality grading using machine vision[J]. SPIE Proceedings senries, 2002, 4203: 91-101.
- [36] ALBRECHT E, WEGNER J, ENDER K. A new technique for objective evaluation of marbling in beef[J]. Fleischwirtschaft, 1996, 76: 1145-1148.
- [37] MCDONALD T, CHEN Y R. Aplocation of morphological image precssing in agriculture[J]. Trans ASAE, 1990a, 33(6): 1345-1352.
- [38] MCDONALD T, CHEN Y R. Separating connected muscle tissues in images of beef carcass ribeyes[J]. Trans ASAE, 1990b, 33(6): 2059-2065.
- [39] MCDONALD T, CHEN Y R. Visual characterization of marbling in beef ribeyes and its relationship to taste parameters[J]. Trans ASAE, 1991, 34(6): 2499-2504.
- [40] MCDONALD T, CHEN Y R. A geometric model of marblong in beef *longissimus dorsi*[J]. Trans ASAE, 1992, 35(3): 1057-1062.
- [41] SHIRANITA K, HAYSHI K, OTSUBO A, et al. Grading meat quality by image processing[J]. Pattern Recognition, 2000, 33: 97-104.
- [42] LI J, TAN J, MARTZ F A, et al. Image texture features as indicators of beef tenderness[J]. Meat Science, 1999, 53: 17-22.
- [43] LI J, TAN J, SHATADAL P. Classification of tough and tender beef by image texture analysis[J]. Meat Science, 2001, 57: 341-346.
- [44] 孙永海, 鲜于建川, 石晶. 基于机器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.
- [45] HATEM I, TAN J, GERRARD D E. Determination of animal skeletal maturitty by image processing[J]. Meat Science, 2003, 65: 999-1004.
- [46] DEL MORAL F G, O'VALLE F, MASSEROLI M, et al. Image analysis application for automatic quantification of intramuscular connective tissue in meat[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 81: 33-41.
- [47] BARBERA S, TASSONE S. Meat cooking shrinkage: Measure of a new meat quality parameter[J]. Meat Science, 2006, 73: 467-474.
- [48] ZHENG C X, SUN D W, ZHENG L. Predicting shrinkage of elloppsoid beef joints as affected by water immersion cooking using image analysis and neural network[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79: 1243-1249.
- [49] BELK K E, SCANGA J A, WYLE A M, et al. The use of video image analysis and instrumentation to predict beef palatability[J]. Proc Recip Meat Conf, 2000, 53: 10-15.
- [50] CANNELL R C, BELK K E, TATUM J D, et al. Online evaluation of a commercial video image analysis system(computer vision system) to perdict beef caracass red meat yield and for augmenting application of USDA yield grades[J]. Journal of Animal Science, 2002, 80: 1195-1201.
- [51] VOTE D J, BELK K E, TATUM J D, et al. Online prediction of beef tenderness using a computer vision system equipped with a beef cam module[J]. Journal of Animal Science, 2003, 81: 457-465.