

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.04.028

基于生物散斑技术的两部位牛肉质构特性预测模型改进

董庆利¹ 金曼¹ 胡孟晗¹ 刘宝林¹ 林玉海²

(1. 上海理工大学医疗器械与食品学院, 上海 200093; 2. 荷美尔中国研发创新中心, 上海 200436)

摘要: 以时间序列散斑图的惯性力矩表征图像的散斑活性, 采用感官评定法、质构剖面分析法 (TPA) 和 Warner - Bratzler (W - B) 剪切力法分析牛里脊肉肉质特性, 研究了不同测定方法的相关性, 并建立了散斑活性对里脊肉质构特性的预测模型; 同时, 针对里脊肉和腱子肉 2 种部位牛肉间质构特性差异较大, 不能用同一模型进行预测的问题, 应用斜率/截距法 (S/B) 和 Kennard - Stone (K - S) 样本添加法对模型进行改进, 选择一种较准确易行的方法, 使模型在 2 部位间得到快速的传递。结果表明, 感官评定和 TPA 测得的硬度和咀嚼性间具有较高的正相关性, 相关系数分别达到 0.98 和 0.90, 且 W - B 剪切力法与 TPA 的硬度决定系数也达到了 0.95, 证明了 3 种测定方法的可靠性。通过散斑活性值对质构特性进行预测时, 硬度、咀嚼性及 W - B 剪切力的预测决定系数分别达到了 0.83、0.77 和 0.69。分别用 2 种方法对模型进行改进, 可知采用 S/B 法时, 改进后的里脊肉模型对腱子肉的预测均方根误差 R_{MSE} 为 26.65, 准确因子 A_f 和偏差因子 B_f 分别为 1.15 和 1.08。而采用 K - S 样本添加法, 加入代表性样本数为 12 时, 模型对腱子肉的预测达到较理想水平, R_{MSE} 为 13.21, A_f 和 B_f 分别为 1.07 和 1.02。K - S 样本添加法能够在预测过程中更好地降低部位间差异, 提高模型对腱子肉的预测精度, 且改进效果优于 S/B 法。

关键词: 牛肉; 生物散斑; 质构特性; 模型改进

中图分类号: TS251.5⁺2; S123 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)04-0209-07

Improvement of Modeling Texture Characteristics of Different Parts of Beef Based on Biospeckle Technique

Dong Qingli¹ Jin Man¹ Hu Menghan¹ Liu Baolin¹ Lin Yuhai²

(1. School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

2. Hormel China Idea and Innovation Center, Shanghai 200436, China)

Abstract: Biospeckle is one of the low-cost, portable and online screening tools for optical non-destructive testing technologies, and it shows potential for application to agricultural products quality prediction. Sensory evaluation, texture profile analysis (TPA) and Warner - Bratzler (W - B) shear force were applied to analyze the texture characteristics of beef *tenderloin*, the correlation between different measuring methods was investigated, and the prediction model of biospeckle for texture characteristics was established. Since the significant difference between *tenderloin* and *shin*, it seems not possible to predict their texture characteristics with a same model. Two methods, including slope/bias (S/B) correction method and Kennard - Stone (K - S) typical samples adding method were used to improve the *tenderloin* prediction model. Compared with the effect of two modified methods, the more accurate and convenient method was chosen to make the model transfer to *shin* fast. The results showed that the hardness and chewiness of sensory evaluation and TPA had high positive correlation, the determination coefficient (R^2) reached 0.98 and 0.90, respectively, and R^2 between W - B shear force and hardness of TPA reached 0.95, which proved the reliability of the three texture characteristics

收稿日期: 2015-10-14 修回日期: 2015-11-18

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2015BAK36B04)、国家自然科学基金面上项目(31271896)、上海市科委长三角科技联合攻关领域项目(15395810900)和上海市研究生创新基金项目(JWCXSL1401)

作者简介: 董庆利(1979—),男,副教授,主要从事畜产品安全和质量控制研究,E-mail: dongqingli@126.com

measurement methods. The values of R^2 for predicting the texture characteristics of hardness, chewiness and W - B shear force with biospeckle activity were 0.83, 0.77 and 0.69, respectively. The results of improvement for the *loin* model were as follows: as improved with S/B correction method, the root mean square error (R_{MSE}) was 26.65, bias factor (B_f) and accuracy factor (A_f) were 1.08 and 1.15, respectively. While the effect of modified with K - S adding method of typical samples was better than that of S/B correction method, and when the adding number of samples was 12, the R_{MSE} was 13.21, B_f and A_f values were 1.07 and 1.02, respectively. In conclusion, K - S typical samples adding method could reduce the differences between the different parts, improve the goodness-of-fit of predictive *shin* model, and produce better effect than S/B correction method.

Key words: beef; biospeckle; texture characteristics; model improvement

引言

新鲜牛肉的品质包括其所具有的外观、风味、营养、卫生和其它与加工、食用相关的物理化学及微生物性状^[1]。很多指标可对牛肉品质进行评价,其中质构特性是影响消费者对牛肉接受程度的重要指标之一^[2]。近年来,生物散斑技术在农产品应用领域的研究表现了较大的潜力^[3-4]。分析牛肉质构与生物散斑活性之间的相关性,并建立新鲜牛肉熟化过程中质构变化的预测模型可实现牛肉质构特性的快速测定。由于不同部位牛肉品质差异较大^[5],对其质构特性的预测需要重新建立新的预测模型,这一过程可能会花费较大的人力和物力,因此改进已有模型具有重要的理论研究价值。

在模型改进方法中,斜率/截距法(Slope/Bias correction method, S/B法)是一种常见的方法,主要应用于对不同仪器间的模型转移,如 OSBORNE 等^[6]运用 S/B 法在位于不同实验室的 9 台近红外光谱仪间实现了小麦粉蛋白质及水分模型之间的转移。胡润文等^[7]实现了脐橙总糖度模型在不同仪器间的转移,预测均方根误差为 0.76%,证明了 S/B 法的可行性。但在不同部位样品间传递改进的研究还少有报道。另一种模型改进方法是样本添加法,通过向已有模型中添加典型待测样本对模型进行扩充,使其适用于新的样本,在不同品种的黑山猪与土猪肉、黄陂黄牛与恩施水牛肉的品质研究中已有应用^[8-9]。但在不同部位牛肉间的研究还少有报道。通过将激光散斑技术运用在不同部位牛肉间质构特性模型的建立及改进的研究还有待开展^[10-11]。

本文将 2 种模型改进方法应用于不同部位牛肉的质构特性预测中,并比较 2 种方法的适用性。利用激光散斑技术,建立牛里脊熟化过程中的质构特性预测模型,并以牛里脊的质构特性预测模型为基础,将样本扩充到腱子肉,以模型的准确因子(Accuracy factor, A_f)、偏差因子(Bias factor, B_f)和均

方根误差(R_{MSE})为评价指标,对比 S/B 法和 Kennard - Stone(K - S)样本添加法对模型的改进效果,以获得更具适应性和可靠性的牛肉质构预测模型。

1 材料与方法

1.1 试验材料处理与主要设备

屠宰于 24 h 内的冷鲜牛肉为牛龄 14—16 月的鲁西黄牛,购于上海市当地超市,包括里脊肉和腱子肉,用刀具切成 6 cm × 3 cm × 3 cm 大小 30 块,用 1% 的乳酸溶液清洗消毒,用低密度聚乙烯保鲜袋^[12]独立密封包装,贮存于 4℃ 冰箱中熟化。试验过程中每 48 h 对生牛肉样品进行生物散斑测定观测与拍照,直到牛肉质构特性趋于稳定,进行成像后的样品移入 -18℃ 下冻结并存放,用于后续测定。

DFM 72BUC02 型定焦工业相机(上海英诚图像技术有限公司);HH600 - 2B 型恒温水浴锅(上海比朗仪器有限公司);HLM 1845 型激光发射器(广东省深圳市铂镭公司);P428 型便携式计算机(韩国三星公司);食品中心温度计(上海天垒仪器仪表有限公司);DZ - 280/2 SE 型真空包装机(天津市绿叶公司);TA. XT. Plus 型物性测试仪(英国 SMS 公司)。

1.2 牛肉质构特性的测定

将进行图像获取时的肉样在塑料袋中于 80℃ 水浴中加热至中心温度达到 70℃ 后取出,冷却至 50℃,再将每个熟肉样品切成 1.5 cm³ 大小 10 ~ 15 个小块进行感官评定和机械测定。

感官评定分别由 12 位受过从事食品研究的专业人员对肉样的硬度、弹性、粘聚性、咀嚼性^[13]进行双盲感官评定,评定分数采用七分制,每个样品进行 3 次重复。

机械测定法分为 W - B 剪切力法(Warner - Bratzler shear force, WBSF)和质构剖面分析法(Texture profile analysis, TPA),分别重复 10 ~ 15 次。

剪切力的测定采用 W-B 剪切力法^[14]。剪切方法的测定参数:测前速为 1.5 mm/s,测中速为 1.5 mm/s,测后速为 10.0 mm/s,下压距离为 25.0 mm,负载类型为 Auto-50 g,探头为 WBS。

硬度、弹性、粘聚性、咀嚼性的测定采用 TPA 法^[15]。TPA 测定参数:测前速为 2.0 mm/s,测中速为 5.0 mm/s,测后速为 10.0 mm/s,压缩比为 50%,2 次压缩间隔为 5.0 s,负载类型为 Auto-50g,探头为 P50。

1.3 图像获取及处理

牛肉激光动态散斑图像获取系统参照文献^[10],主要由激光发射器、工业相机、计算机等组成。试验使用定焦工业相机进行散斑图像采集,相机距样品台 50 cm,激光发射器的强度调节由偏振片实现。试验中工业相机采集图像分辨率为 640 像素×486 像素,焦距为 8 mm,图像获取速度为 25 帧/s,图像采集时间为 15 s,每次图像采集重复 3 次。

应用美国 The MathWorks 公司开发的 Matlab R2014a 软件对试验所得视频进行处理,记录牛肉样品的生物散斑图像变化,使用转动惯量法计算散斑活性,计算公式为^[16]

$$C_{om} = [N_{ij}] \quad (1)$$

$$M_{ij} = N_{ij} / \sum_j N_{ij} \quad (2)$$

$$I_M = \sum_{ij} M_{ij} (i-j)^2 \quad (3)$$

式中 C_{om} ——时间序列散斑图的灰度共生矩阵

i, j ——像素的灰度

N_{ij} ——灰度为 i 的像素后面接着出现灰度为 j 的像素的次数

M_{ij} —— N_{ij} 发生的概率

I_M ——非零元素偏离主对角线的程度(散斑活性)

1.4 里脊肉模型建立及对腱子肉匹配性检测

采用最小二乘法对牛外脊肉建立质构特性预测模型,以预测决定系数 R^2 作为模型性能的判定标准,对预测模型进行评价。

模型匹配性检验采用主成分得分空间分布法^[17-18]。将 TPA 测定的硬度、咀嚼性及 W-B 剪切力进行主成分分析,选取累计主成分贡献率超过 95% 的主成分,构筑主成分空间分布图。利用牛肉样本质构特性主成分得分构成的主成分空间分布图可以直观地反映出不同部位样本质构特性在主成分空间的分布情况,以检验 2 种部位牛肉的差异以及单一部位牛肉样本所建立的模型对另一样本的适用性。

1.5 里脊肉模型的改进

里脊肉模型的改进使用 S/B 法和 K-S 样本添加法,通过改进使其可应用于腱子肉的质构预测,改进后的模型评价使用均方根误差 R_{MSE} 、准确因子 A_f 、偏差因子 B_f ^[19]。

1.5.1 斜率/截距法(S/B法)

S/B 法首先将里脊肉模型对里脊肉和腱子肉样本的预测值用一条直线进行拟合得到直线的斜率和截距,对模型进行改进后,得到对腱子肉的预测值^[20]。该算法只对预测结果进行校正,计算公式及原理常用于光谱仪器的模型转移中^[21]。此处参数改动如下:

$$y_{m,i} = S_{m,i} \mathbf{b} \quad (i=1,2,\dots,N) \quad (4)$$

$$y_{s,i} = S_{s,i} \mathbf{b} \quad (i=1,2,\dots,N) \quad (5)$$

式中 $y_{m,i}$ 、 $y_{s,i}$ ——模型对第 i 个里脊肉样品和腱子肉样品的散斑活性预测值

使用一元线性回归方程进行拟和,求得该线性方程的斜率和截距计算公式为

$$S_{lope} = \frac{\sum (y_{s,i} - \bar{y}_s)(y_{m,i} - \bar{y}_m)}{\sum (y_{s,i} - \bar{y}_s)^2} \quad (6)$$

$$B_{ias} = \bar{y}_m - S_{lope} \bar{y}_s \quad (7)$$

通过斜率和截距,就可以直接利用腱子肉样本的散斑活性计算样品的预测值。设由腱子肉样本获得的散斑活性为 x_s ,则校正后的预测值为

$$y_{s,corr} = S_{lope} x_s \mathbf{b} + B_{ias} \quad (8)$$

1.5.2 K-S 样本添加法

通过向已有模型中添加代表性待测样本,扩大样本分布范围,使已有模型中包含与待测样本相匹配的新信息,从而更好地对待测样本进行预测^[22]。代表性样本的选取方法采用 K-S 法,该方法的原理是计算出各待测样本间的欧氏距离后依次选取一定数量样本加入样本集,首先将欧氏距离最大的 2 个样本选入,然后反复迭代将具有最大距离的样本选入,直至所选的样品的个数达到所要求的数目为止^[23]。

1.6 数据处理与统计分析

研究中涉及的数据处理与统计分析在由北京金山办公软件有限公司和珠海金山办公软件公司开发的软件 WPS Office 9.1.0.4984 中进行。平均数均为算术平均数,标准差为标准偏差。牛肉质构感官评定及机械测定法相关系数计算采用皮尔森相关系

数法。方差分析运用最小显著差异法(Least significant difference, LSD)进行均值多重比较,主成分分析运用因子分析抽取相关矩阵进行,二者均在IBM公司开发的SPSS Statistic 17.0中进行。

2 试验与结果分析

2.1 不同方法质构特性测定结果

2.1.1 感官评定测定结果

感官评定结果见表1。从表1可以看出不同处理样品间,硬度和咀嚼性的差异较显著($P < 0.05$),随着熟化时间的增加,得分呈现减少的趋势,这与牛肉在熟化过程中发生的物理化学变化有关^[24]。而弹性和黏聚性差异不大,且较无规律,可能是因为样品本身差异小,使评定人员较难察觉。

2.1.2 机械测定结果

由TPA与W-B剪切力测定结果可知(表2),

不同处理样品间硬度、咀嚼性与差异显著($P < 0.05$),且具有下降趋势。W-B剪切力体现了对样品的剪切作用^[25],与硬度和咀嚼性较为相似,呈现了相似的趋势,而不同样品间弹性和黏聚性则测定结果变化不大。表2同时列出了里脊肉散斑活性的测定结果。

表1 里脊肉感官评定结果(折线图)

Tab.1 Results of sensory evaluation for tenderloin

熟化时间/d	硬度	弹性	黏聚性	咀嚼性
1	5.75 ± 0.72 ^a	4.75 ± 1.01 ^a	4.17 ± 1.64 ^a	5.67 ± 1.18 ^a
3	5.16 ± 0.80 ^b	4.08 ± 1.11 ^a	4.50 ± 1.55 ^a	5.50 ± 1.04 ^a
5	4.83 ± 0.80 ^b	3.67 ± 1.02 ^a	4.92 ± 1.55 ^a	5.08 ± 1.03 ^a
7	4.33 ± 1.02 ^b	4.50 ± 1.11 ^a	4.17 ± 1.60 ^a	4.08 ± 0.86 ^b
9	4.00 ± 0.70 ^c	4.00 ± 1.22 ^a	4.75 ± 1.76 ^a	3.50 ± 0.95 ^b

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下同。

表2 里脊肉机械测定结果

Tab.2 Results of instrumental measurement for tenderloin

熟化时间/d	TPA				W-B剪切力/N	散斑活性
	硬度/N	黏聚性	弹性	咀嚼性/N		
1	122.93 ± 10.81 ^a	0.67 ± 0.02 ^a	0.63 ± 0.05 ^a	82.20 ± 8.30 ^a	30.54 ± 6.66 ^a	457.84 ± 13.81 ^a
3	100.99 ± 4.31 ^b	0.65 ± 0.02 ^a	0.61 ± 0.04 ^a	65.99 ± 4.22 ^b	23.36 ± 1.30 ^b	435.51 ± 12.63 ^b
5	90.07 ± 8.56 ^c	0.59 ± 0.07 ^a	0.61 ± 0.05 ^a	53.43 ± 7.79 ^c	20.27 ± 1.51 ^{bc}	394.98 ± 6.89 ^c
7	80.95 ± 4.41 ^d	0.59 ± 0.04 ^a	0.59 ± 0.04 ^a	47.89 ± 4.76 ^d	18.74 ± 1.02 ^{bc}	358.83 ± 13.85 ^d
9	62.44 ± 7.75 ^e	0.62 ± 0.18 ^a	0.59 ± 0.04 ^a	39.20 ± 12.46 ^e	17.52 ± 0.61 ^{bc}	351.97 ± 13.11 ^d

2.1.3 不同质构测定方法的相关性分析

感官评定与机械测定方法的皮尔逊相关系数见表3。由表3可以看出咀嚼性与硬度2个指标的感官评定结果与机械测定结果间具有较好的相关性,相关系数分别达到0.98和0.90。除此之外,W-B剪切力与感官评定的硬度得分相关性也较好,达到0.95。不同机械测定方法(W-B剪切力和TPA硬度)间的相关系数为0.78(表中未列出)。而表3中黏聚性与弹性2个参数的感官评定与机械测定法间的相关性较低,可能是由于样品间差异较小,且变化规律不明显,增加了测定的难度,或是2个参数对评

定人员来说较难把握,降低了评定结果的准确性,这一结果与刘兴余等^[26]的研究相似。通过对不同质构测定方法之间的相关性进行分析,可以看出硬度、W-B剪切力及咀嚼性具有较好的可靠性,可以作为生物散斑预测牛肉质构特性时的质构测定方法。

2.2 不同部位牛肉样本的预测与改进

2.2.1 牛外脊肉熟化过程中质构预测模型的建立

通过对30块牛外脊肉的散斑活性进行分析,建立了散斑活性对W-B剪切力、硬度和咀嚼性3个质构特性的预测模型如下:

硬度

$$y = 0.445x - 86.227 \quad (R^2 = 0.83) \quad (9)$$

咀嚼性

$$y = 0.331x - 73.130 \quad (R^2 = 0.77) \quad (10)$$

W-B剪切力

$$y = 0.114x - 23.342 \quad (R^2 = 0.69) \quad (11)$$

2.2.2 里脊肉模型对腱子肉匹配性检验

图1为牛里脊肉和腱子肉样本的主成分得分图,通过聚类分析将样品分为两部分在图上圈出。利用样本的主成分空间分布可以较直观地了解模型对待测样本的匹配程度。在试验中第1、2主成分,

表3 感官评定与机械测定方法的皮尔逊相关系数

Tab.3 Pearson correlation coefficients between sensory evaluation and instrumental measurement

感官评定	W-B剪切力	TPA			
		硬度	黏聚性	弹性	咀嚼性
硬度	0.95***	0.98**	0.72	0.75	0.98**
黏聚性	-0.43	-0.48	-0.48	-0.22*	-0.50
弹性	0.53	0.51	0.50	0.32*	0.54
咀嚼性	0.85	0.93*	-0.20	0.59	0.90*

注:*表示 $P < 0.05$,**表示 $P < 0.01$,***表示 $P < 0.001$ 。

累计得分达到 95.46%,因此选择前 2 个主成分进行分析,图中不同形状图标代表不同贮存天数。由图 1 可知,2 个部位的牛肉样本差异较大,第 1、2 主成分空间上明显分布在 2 个不同的区域,说明所建立的模型不适合直接预测腱子肉样本的质构特性,需对模型做进一步改进。

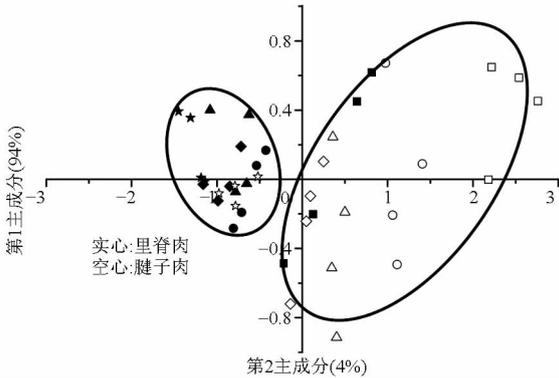


图 1 牛里脊肉和腱子肉质构特性的主成分分析

Fig. 1 Principal component analysis for texture characteristics of tenderloin and shin

利用 2.1 节中建立的里脊肉模型对 30 个腱子肉样本进行预测,预测均方根误差达 20.48,准确因子 A_f 和偏差因子 B_f 分别为 1.22 和 1.12(表 4),表现为模型不可用。为了提高已有模型对不同部位牛肉样本的预测能力,从预测结果和预测样本 2 个方面分别对模型进行改进。

2.2.3 基于 S/B 法的模型改进

对 30 个腱子肉样品的硬度进行测定,通过比较 2 种部位牛肉 TPA 硬度及散斑活性的差异,对已有模型的斜率和截距进行调整,使得生物散斑对不同样本的预测结果相近,斜率和截距的调整方法见 1.5.1 节。其中,斜率为 0.48,截距为 10.64,校正后的预测方程为

$$y = S_{lope} x_s \mathbf{b} + B_{ias} = 0.22x + 10.64$$

改进后的预测方程 R_{MSE} 为 26.65, A_f 为 1.15, B_f 为 1.08。

2.2.4 基于 K-S 样本添加法的模型改进

添加不同数量的腱子肉样本对模型进行改进,结果如表 4 所示。代表性样本的选择采用 K-S 算法。从表 4 可以看出,K-S 样本添加法在添加样本数为 4 时,结果已明显好于 S/B 法,当在里脊肉模型中添加 12 个腱子肉样本后,模型的预测均方根误差降至 13.21,准确因子 A_f 和偏差因子 B_f 分别为 1.07 和 1.02,也处于合理范围。随着添加样本数目的进一步增加,模型的改进效果不明显。总体上,向里脊肉模型中添加新的典型样本后,模型对腱子肉样本的预测效果有了明显提高,预测性能得到改善。

表 4 添加不同数量腱子肉对的里脊肉模型的改进结果

Tab. 4 Improved results of loin model based on a variable adding number of shin samples

K-S 样本添加数	A_f	B_f	R_{MSE}
0	1.22	1.12	20.48
2	1.09	1.08	15.91
4	1.08	1.06	14.46
6	1.07	1.04	13.40
8	1.06	1.03	13.27
10	1.06	1.02	13.27
12	1.07	1.02	13.21
14	1.06	1.02	13.21
16	1.06	1.03	13.22
20	1.07	1.02	13.26

3 讨论

3.1 试验样品的选择

试验中选择了牛不同部位的样品:里脊肉是牛脊椎骨内侧的条状肉,肉质细嫩少筋,蛋白质含量较高^[27]。腱子肉是牛大腿上的肌肉,表面包裹有肉膜,大量的结缔组织分布其间,硬度相对于里脊肉较高,需要较长的烹饪时间^[28]。对 2 个部位的肉进行 TPA 硬度分析,由表 4 可知腱子肉的硬度显著高于里脊肉,图 1 可以看出在主成分得分图上 2 种肉也主要分布在 2 个不同的区域。在使用里脊肉预测模型对腱子肉硬度进行预测时,预测结果明显高于腱子肉实际的硬度,模型的预测均方根误差也超出了可接受范围。因此,在预测腱子肉硬度时,对模型进行改进是有必要的。

3.2 质构特性测定方法的选择

在对里脊肉质构指标进行测定时,选择了感官评定法和 2 种不同的机械测定方法。感官评定法评定过程以人的感觉为中心,突出了评定人员的真实感受,体现消费者的偏好^[29]。但在实际生产中,感官评定法常因评定人员的个体差异和身体状况造成一定的误差,使检测结果准确性下降,增加检测的成本^[30]。因此,可用机械测定法来代替或辅助感官评定法,对产品品质进行检测。肉及肉制品质构指标测定常用的机械测定方法包括 W-B 剪切力法和 TPA 法。其中,W-B 剪切力法广泛应用于肉及肉制品嫩度测定中^[31-33]。而 TPA 法则模拟了牙齿的运动,通常与感官评定具有较好的相关性,在食品的质构特性测定中应用较为广泛^[34-35]。通过对 3 种测定方法的结果进行相关性分析(表 3),发现 TPA 法测定的硬度和咀嚼性与感官评定测定结果具有较好的相关性,此外,W-B 剪切力法测定的最大剪切力与 TPA 法测定的硬度值相关性也较高,相关系数

为 0.78。可以说明,所选 3 种测定方法的测定结果比较可靠,可以体现出样品的质构特性。因此,在进一步的研究中,选择了与其他 2 种测定方法相关性较高且通过散斑活性预测性较好的 TPA 硬度值作为标准。

3.3 模型改进方法的选择

模型改进方法选择了 S/B 法和 K-S 样本添加法。S/B 法通过调整模型的斜率和截距,调整和改进行预测结果^[36]。这种方法只对预测结果进行整体调整,不涉及样本的变化,方便易行。但这种方法只在样本间差异有一定规律的情况下适用,当样本差异原因多且复杂时,则不适用。K-S 样本添加法则通过选择具有代表性的腱子肉样本添加到已有模型的样本中,改变样本覆盖范围来改善对腱子肉预测效果^[37]。理论上添加的样本数越多,模型的改进效果越好,但为了节约时间和成本,在达到改进效果的

情况下,选择添加样本数较少的方法即可。2 种模型改进方法分别从预测结果和建模样本 2 个方面对模型进行改进,从表 4 的结果可以看出,K-S 样本添加法在添加样本数为 4 时,结果已明显好于 S/B 法,说明在 2 种不同部位的牛肉预测时,使用 K-S 样本添加法可以对腱子肉进行更好的预测。

4 结束语

通过对不同熟化程度的牛肉进行研究,比较和分析了 3 种质构测定方法的测定结果,得到较为可靠的质构测定方法和更为准确的预测参数,并建立了散斑活性对里脊肉质构特性的预测模型,采用 S/B 法和 K-S 样本添加法对里脊肉模型进行改进,当样本添加个数为 12 时,对腱子肉的质构特性预测达到较好的效果。且在添加个数为 4 时,改进效果已优于 S/B 法。

参 考 文 献

- 田萧瑜. 基于光谱与图像分析的生鲜牛肉嫩度快速检测技术研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
TIAN Xiaoyu. Study on rapid detection of fresh beef tenderness based on spectral and imaging technology[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- GOMES C L, PFLANZER S B, FELÍCIO P E, et al. Temporal changes of tenderness and juiciness of beef strip loin steaks[J]. Food Science and Technology, 2014, 59(2): 629-634.
- PREETI D M, NIRALA A K. Bio-activity assessment of fruits using generalized difference and parameterized Fujii method[J]. Optik, 2014, 125(1): 314-317.
- KURENDA A, ZDUNEK A, SCHLÜTER Oliver, et al. VIS/NIR spectroscopy, chlorophyll fluorescence, biospeckle and backscattering to evaluate changes in apples subjected to hydrostatic pressures[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 91(1): 88-98.
- CHRIKI S, RENAND G, PICARD B, et al. Meta-analysis of the relationships between beef tenderness and muscle characteristics [J]. Livestock Science, 2013, 155(2-3): 424-434.
- OSBORNE B G, FEARN T. Collaborative evaluation of universal calibrations for the measurement of protein and moisture in flour by near infrared reflectance[J]. International Journal of Food Science and Technology, 1983, 18(4): 453-460.
- 胡润文, 夏俊芳. 脐橙总糖近红外光谱模型传递研究[J]. 食品科学, 2012, 33(3): 28-33.
HU Runwen, XIA Junfang. Transfer of NIRS calibration model for determining total sugar content in navel orange[J]. Food Science, 2012, 33(3): 28-33. (in Chinese)
- 李小昱, 钟雄斌, 刘善梅, 等. 不同品种猪肉 pH 值高光谱检测的模型传递修正算法[J]. 农业机械学报, 2014, 45(9): 216-222.
LI Xiaoyu, ZHONG Xiongbin, LIU Shanmei, et al. Comparison of transfer and correctional methods for pork pH value detection of different varieties by hyperspectral imaging technique[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(9): 216-222. (in Chinese)
- 文东东, 李小昱, 赵政, 等. 不同品种牛肉新鲜度光谱检测模型的维护方法[J]. 食品安全质量检测学报, 2012, 6(3): 621-626.
WEN Dongdong, LI Xiaoyu, ZHAO Zheng, et al. Maintenance methods of freshness detection model for beef of different species based on spectrum[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2012, 6(3): 621-626. (in Chinese)
- 董庆利, 金曼, 胡孟晗, 等. 牛肉激光动态散斑活性影响因素的研究[J]. 农业机械学报, 2016, 47(1): 206-213.
DONG Qingli, JIN Man, HU Menghan, et al. Factors affecting dynamic laser speckle activity of beef[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(1): 206-213. (in Chinese)
- 胡孟晗, 董庆利, 刘宝林, 等. 生物散斑技术在农产品品质分析中的应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(24): 284-292.
HU Menghan, DONG Qingli, LIU Baolin, et al. Application of biospeckle on analysis of agricultural products quality[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(24): 284-292. (in Chinese)
- 刘颖, 邬志敏, 王涛, 等. 果蔬气调包装设计及贮藏期预测[J]. 上海理工大学学报, 2006, 28(6): 528-530.
LIU Ying, WU Zhimin, WANG Tao, et al. Design and storage life estimation of modified-atmosphere packages for fruits and vegetables[J]. Journal University of Shanghai for Science and Technology, 2006, 28(6): 528-530. (in Chinese)
- RAHMAN M S, AL-FARSI S A. Instrumental texture profile analysis (TPA) of date flesh as a function of moisture content[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 66(4): 505-511.
- BARBIN D F, VALOUS N A, SUN D W. Tenderness prediction in porcine *longissimus dorsi* muscles using instrumental measurements along with NIR hyperspectral and computer vision imagery [J]. Innovative Food Science and Emerging

- Technologies, 2013, 20: 335 - 342.
- 15 朱丹实,李慧,曹雪慧,等. 质构仪器分析在生鲜食品品质评价中的研究进展[J]. 食品科学,2014,35(7):264 - 270.
ZHU Danshi, LI Hui, CAO Xuehui, et al. Research progress in quality evaluation of fresh foods by texture analyzers[J]. Food Science, 2014, 35(7): 264 - 270. (in Chinese)
- 16 ARIZAGA R, TRIVI M, RABAL H. Speckle time evolution characterization by the co-occurrence matrix analysis[J]. Optics and Laser Technology, 1999, 31(2): 163 - 169.
- 17 姚胜,武国峰,姜亦飞,等. 相思树聚戊糖含量近红外光谱分析模型的建立及修正[J]. 光谱学与光谱分析,2010,30(5): 206 - 209.
YAO Sheng, WU Guofeng, JIANG Yifei, et al. Extending hemicelluloses content calibration of *Acacia Spp* using NIR to new sites [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(5): 206 - 209. (in Chinese)
- 18 贺新,杨培岭,任树梅,等. 基于主成分分析的油葵微咸水调亏灌溉灌水效果评价[J]. 农业机械学报,2014,45(增刊): 162 - 167.
HE Xin, YANG Peiling, REN Shumei, et al. Evaluation of regulated deficit irrigation performance with saline water based on principal component analysis[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(Supp.): 162 - 167. (in Chinese)
- 19 董庆利,李保国,蔡佳彦,等. 冷藏温度下乳酸菌饮料中乳酸菌失活模型的建立[J]. 中国乳品工业,2009,37(5): 6 - 8.
DONG Qingli, LI Baoguo, CAI Jiayan, et al. Establishment of inactivation model for active *lactobacillus* numbers of beverage-ages under cold temperature[J]. China Dairy Industry, 2009, 37(5): 6 - 8. (in Chinese)
- 20 WANG Man, ZHENG Kaiyi, YANG Guijuan, et al. A robust near-infrared calibration model for the determination of chlorophyll concentration in tree leaves with a calibration transfer method[J]. Analytical Letters, 2015, 48(11): 1707 - 1719.
- 21 张学博,冯艳春,胡昌勤. 近红外多元校正模型传递的进展[J]. 药物分析杂志,2009,29(8):1390 - 1400.
ZHANG Xuebo, FENG Yanchun, HU Changqin. Progress in calibration transfer of near-infrared multivariate model[J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2009, 29(8): 1390 - 1400. (in Chinese)
- 22 李华,王菊香,邢志娜,等. 改进的 K/S 算法对近红外光谱模型传递影响的研究[J]. 光谱学与光谱分析,2011,31(2):362 - 365.
LI Hua, WANG Juxiang, XING Zhina, et al. Influence of improved Kennard/Stoned algorithm on the calibration transfer in near-infrared spectroscope[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(2): 362 - 365. (in Chinese)
- 23 洪雪珍,王俊. 牛肉品质检测中电子鼻参数的优化[J]. 农业机械学报,2013,44(9):125 - 131.
HONG Xuezheng, WANG Jun. Parameters optimization of electronic nose in detection of beef freshness[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(9): 125 - 131. (in Chinese)
- 24 VITALE M, PÉREZ-JUAN M, LLORET E, et al. Effect of aging time in vacuum on tenderness, and color and lipid stability of beef from mature cows during display in high oxygen atmosphere package[J]. Meat Science, 2014, 96(1): 270 - 277.
- 25 张廷焕,陈磊,潘红梅,等. 低温嫩化过程中猪肉质构和感官性状的变化[J]. 食品工业科技,2014,35(19):89 - 92.
ZHANG Tinghuan, CHEN Lei, PAN Hongmei, et al. Changes on texture characteristics and sensory attributes of pork in the process of tenderization at low temperature[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(19): 89 - 92. (in Chinese)
- 26 刘兴余,金邦基,詹巍,等. 猪肉质构的仪器测定与感官评定之间的相关性分析[J]. 食品科学,2007,28(4):245 - 248.
LIU Xingyu, JIN Bangqian, ZHAN Wei, et al. Relationship analysis between instrument determination and sensory evaluation of pork texture[J]. Food Science, 2007, 28(4): 245 - 248. (in Chinese)
- 27 孙晓明,张佳程,卢凌,等. 牛胴体部位肉营养成分和理化指标差异性分析[J]. 中国畜牧兽医,2011,38(2):205 - 209.
SUN Xiaoming, ZHANG Jiacheng, LU Ling, et al. Analyzing nutrients and physicochemical index of beef carcass cuts[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2011, 38(2): 205 - 209. (in Chinese)
- 28 刘笑笑. 延边黄牛不同部位牛肉品质的比较研究[D]. 延吉:延边大学,2011.
LIU Xiaoxiao. Research on the different position beef quality of Yanbian yellow cattle[D]. Yanji: Yanbian University, 2011. (in Chinese)
- 29 KAŠPAR L, BUCHTOVÁ H. Sensory evaluation of sausages with various proportions of cyprinus carpio meat[J]. Food Analysis, Food Quality and Nutrition, 2015, 33(1): 45 - 51.
- 30 JACKMAN P, SUN D W, ALLEN P. Recent advances in the use of computer vision technology in the quality assessment of fresh meat[J]. Food Science & Technology, 2011, 22(4): 185 - 197.
- 31 POLIDORI P, PUCCIARELLI S, ARIANI A, ET al. A comparison of the carcass and meat quality of Martina Franca donkey foals aged 8 or 12 months[J]. Meat Science, 2015, 106:6 - 10.
- 32 STARKEY C P, GEESINK G H, ODDY V H, et al. Explaining the variation in lamb *longissimus* shear force across and within aging periods using protein degradation, sarcomere length and collagen characteristics[J]. Meat Science, 2015, 105: 32 - 37.
- 33 NY/T 1180 - 2006 肉嫩度的测定 剪切力测定法[S].
- 34 ROMERO DE Á, CAMBERO M I, ORDÓÑEZ J A, et al. Rheological behaviour of commercial cooked meat products evaluated by tensile test and texture profile analysis (TPA)[J]. Meat Science, 2014, 98(2): 310 - 315.
- 35 ISADORA M A, PATRICIA S P, FRANCISCO J F, et al. Changes in the physicochemical and sensory characteristics in raw and grilled ovine meat[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(7): 1743 - 1750.
- 36 FEUDALE R N, WOODY N A, TAN H W, et al. Transfer of multivariate calibration models: a review[J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2002, 64(2): 181 - 192.
- 37 TANG J Y, HUANG M, ZHU Q B. Purity detection model update of maize seeds based on active learning[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2015, 35(8): 2136 - 2140.