

# 质构分析在肉制品检测中的应用

田晓静<sup>1,2</sup>, 王俊<sup>2\*</sup>

(1. 西北民族大学生命科学与工程学院, 兰州 730024; 2. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058)

**摘要:** 质地特性是衡量肉与肉制品食用品质的重要参数, 对肉品加工、贮运及安全都具有重要意义。质构仪是一种客观、快速衡量食品质地特性的方法, 此方法已在肉制品、米面制品、乳制品、糖果、果蔬等食品的物性学分析得到应用。本文介绍了质构仪检测的原理和方法, 综述了目前国内外质构仪在肉与肉制品品质检测中的应用情况, 包括仪器质地参数与感官质地参数之间的相关性、肉制品品质与鲜肉新鲜度的检测、加工和食用品质的判别, 肉制品生产工艺的优化等的国内外研究现状。

**关键词:** 肉制品; 质地特性; 质构仪; 检测; 应用

## Application of texture analysis on quality detection of meat products

TIAN Xiao-Jing<sup>1,2</sup>, WANG Jun<sup>2\*</sup>

(1. College of Life Science and Engineering, Northwest University for Nationalities, Lanzhou 730024, China;

2. Department of Biosystems Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

**ABSTRACT:** As one of the most important factors of meat quality, the texture profiles are important to the processing, shipping and security of meat and meat products. The objective and fast detection of texture profile of food by texture analyzer made it widely used in meat and meat products, rice and flour products, dairy products, candy, fruits and vegetables. The detection principle and methods were explained, and the application of texture detection in meat and meat products were introduced in this paper, including researches on the correlation of instrumental texture parameters and sensory texture parameters. The application of texture detection in the freshness detection, processing and estimation of eating quality, the optimization of raw meat quality and processing process, and the corresponding applications were reviewed.

**KEY WORDS:** meat and meat products; texture profile; texture analyzer; detection; application

## 1 引言

随着我国人民生活水平的不断提高, 含有丰富营养的肉类食品在人们膳食结构中所占的比例越来越大, 特别

是牛肉、羊肉等高蛋白、低脂肪的肉类受到了越来越多人的青睐, 其食用品质和卫生品质的评价也日益受到关注。

目前, 我国对肉与肉制品的检测主要包括理化指标、感官指标<sup>[1,2]</sup>和微生物指标三部分<sup>[3]</sup>。食品的质地特性是源于其

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD29B02-4)、国家自然科学基金项目(31071548)、博士点基金项目(20100101110133)、国家自然科学基金项目(31160440)

**Fund:** Supported by the Key Technologies R&D Program of China (2012BAD29B02-4), National Natural Science Foundation of China (31071548), The Doctoral Program of Chinese National Higher Education (20100101110133), and National Natural Science Foundation of China (31160440)

\*通讯作者: 王俊, 博士, 教授, 主要研究方向为农产品加工工程与装备。E-mail: jwang@zju.edu.cn

**Corresponding author:** WANG Jun, Professor, Department of Biosystems Engineering, Zhejiang University, No.866, Yuhangtang Road, Hangzhou 310058, China. E-mail: jwang@zju.edu.cn

结构的一组物理参数, 属于力学和流变学的范畴<sup>[4]</sup>, 包括了食品对口腔施加的一系列刺激, 是食品最重要的性状之一, 同时也是消费者评价食品质量优劣的主要依据。随着质构仪的发明, 食品的质地评价已经由模糊的感官评定逐渐过渡到使用仪器进行准确的量值表述, 已在肉制品<sup>[5,6]</sup>、米面制品<sup>[7,8]</sup>、乳制品<sup>[9-11]</sup>、糖果<sup>[12,13]</sup>、果蔬<sup>[14,15]</sup>等食品的物性学分析得到应用<sup>[16,17]</sup>。质构仪检测尤其是质地多面剖析法(texture profile analysis, TPA)在肉与肉制品检测中已受到广泛关注, 但是所做工作都还不够深入, 主要集中在感官质地与仪器质地参数之间的相关性, 利用质构仪检测指导生产实践相对较少, 本文主要介绍质地特征参数及其在肉与肉制品中的应用研究。

## 2 质构仪检测原理及常用方法

质构仪(物性测试仪)是对样品的物性做出客观、准确、统一的描述, 是量化和精确的食品物性测量仪器。质构仪主要包含主机、测试软件、探头、测试平台等部分组成。检测时通过不同的探头进行挤压、切割、压缩和拉伸磨具进行测试。测试围绕着距离(distance)、时间(time)、作用力(force)三者进行测试和结果分析, 反映的主要是与力学特性有关的食品质地特性, 其结果具有较高的灵敏性与客观性, 并可通过配备的专用软件对结果进行准确的数量化处理, 以量化的指标来客观全面地评价食品, 在一定程度上避免了人为因素对食品品质评价结果的主观影响。

质构仪检测常用的方法主要有三种, 分别为质地多面剖析法(texture profile analysis, TPA), 剪切力和穿刺法。其中, TPA 法又被称为两次咀嚼测试(two bite test, TBT), 是由 Szczesniak 于 1963 年提出的。这种检测模式主要是模拟人口腔的咀嚼运动, 对固体半固体样品进行两次压缩, 测试与计算机连接, 通过界面输出质地测试特征曲线<sup>[18]</sup>(图 1), 从中可以获取质地特性参数, 如硬度、恢复性、弹性、胶黏性、咀嚼性、内聚性等<sup>[19,20]</sup>。

剪切力法和穿刺法是表征肉的嫩度的常用方法<sup>[22]</sup>, 实现了仪器法客观反映肉品内部结构差异。其中穿刺法是采用质构仪配以适合的探头将一定厚度的肉样穿透<sup>[23]</sup>, 根据穿透曲线的参数值计算出肉样的质构特性<sup>[24]</sup>。剪切力法是采用一定钝度的力切断一定粗细的肉柱子所需要的力<sup>[25]</sup>。嫩度检测时最常用的测定仪器为 Warner-Bratzler 剪切仪<sup>[26,27]</sup>。

采用上述三种质地检测方法对肉与肉制品的研究中, 陈磊等<sup>[28]</sup>研究了猪肉仪器质构性状和感官性状之间的相关性, 发现仪器质构性状大部分指标都与感官评定值呈显著或极显著相关性; 采用主成分-逐步回归法建立了感官硬度、弹性和多汁性的预测模型, 对硬度的预测效果较好( $R^2=0.61$ ), 采用仪器快速获得的肉与肉制品质构参数预测

其感官指标具有可行性。Caine 等<sup>[18]</sup>对比分析了 W-B 剪切力和 TPA 质地参数与牛排感官特征参数之间的关系, 发现 TPA 参数中硬度、粘着性及 W-B 剪切力均和咀嚼性和感官初始嫩度、结缔组织含量、整体嫩度和整体口味呈负相关。采用 W-B 剪切力和 TPA 质地参数建立上述感官指标的预测模型, 利用 TPA 质地参数建立的预测模型能更好的解释牛排的感官指标。Ruiz 等<sup>[29]</sup>对比了 W-B 剪切力和 TPA 分析在评价肉与肉制品质地特性的优劣。从原始数据的离散程度看, W-B 剪切力的变异系数较大, 而 TPA 参数的变异系数与感官评定结果的变异系数接近, 甚至更小; 从预测感官参数来看, TPA 能较好的预测硬度、多汁性、油腻性、咀嚼次数, 而弹性仅能由 W-B 剪切力进行有效的预测。在熟肉制品的检测中, TPA 参数与感官硬度、多汁性和咀嚼次数具有显著相关性, TPA 法检测熟肉样品可以更好地评价牛肉的感官质地。由上述质构仪质地参数与感官评定值之间的相关性表明, 仪器质地检测可作为感官品尝法的辅助手段在肉品品质评价中客观反映其食用品质。

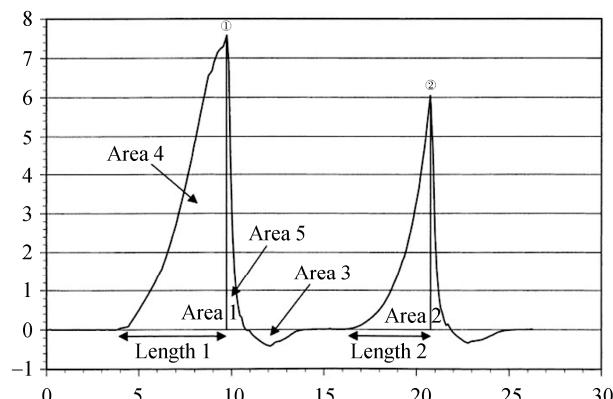


图 1 TPA 测试的特征曲线  
Fig. 1 Typical force-by-time plot through TPA

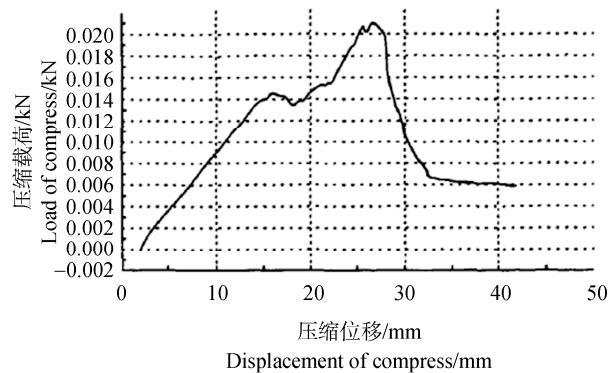


图 2 穿刺试验的测试曲线<sup>[21]</sup>  
Fig. 2 Experimental puncture characteristic curve<sup>[21]</sup>

### 3 质构检测实验条件

#### 3.1 样品预处理方法

受动物品种<sup>[24]</sup>、饲养条件和方法<sup>[30,31]</sup>、外部环境、生长状况<sup>[32]</sup>等的影响<sup>[33,34]</sup>, 其肉在组成和结构上存在差别<sup>[35,36]</sup>, 致使检测的数据偏差较大。由表 1 可知, 质构仪检测时样品的采样部位不一, 肉样组织结构差异较小的背最长肌最常用。样品预处理时, 熟化处理的温度、方法均有不同; 样品的形状、大小也存在一定的差异, 常用的为长方体肉块。此外, 样品大多是在室温条件下进行的检测, 易操作, 但是数据稳定性和真实性不如在肉制品加工后迅速获得的好, 且加工后更接近于食用时的品质, 但是该方法在操作上较难实现。

#### 3.2 检测条件

质构检测时, 采用的检测探头类型、检测程序、运行速度等都对结果有影响。肉与肉制品品质检测时(表 1), 常用圆柱形探头, 以 TPA 程序进行检测; 检测时探头运行的速度在 30~360 mm/min 之间; TPA 检测时常见的形变量为 30%~80%, 在此检测范围内均能获得较好的检测效果。

### 4 质构分析在肉与肉制品品质检测中的应用

由于质构分析具有分析快速、操作简单等感官评定和常规分析仪器无法比拟的优点, 已广泛应用与肉与肉制品的分析中。在肉与肉制品的分析中, 利用质构评价辅助感官评定对肉与肉制品进行检测分析、品质评定、对肉品品质和加工工艺优化、生肉新鲜度的评价中得到广泛的应用, 现对上述应用进行介绍。

#### 4.1 评价加工工艺与肉品品质改良方法中的应用

国内外大量研究表明, 肉与肉制品质构特性的仪器测定值和感官评定得分有较强的相关性, 利用仪器质构性状指标代替感官质地指标具有可行性。国内外已有利用质构仪代替感官评定法进行肉与肉制品加工、食用品的改良和优化。

以质构仪代替感官评定分析评价肉嫩度的研究中, 于慧春等采用质构仪穿刺法和质地多分析法研究了氯化钙对牛肉食用物理品质的影响作用, 以注射部位、注射量和注射液浓度为因素, 以质地特征参数: 嫩度、硬度、弹性、胶性和咀嚼性为指标进行正交试验, 优化获得较佳的改善牛肉食用品的方法<sup>[21]</sup>。

在肉制品品质改良方面, Martinez 等<sup>[43]</sup>采用质构仪研究了经两种商用液体烟熏香料处理的熏肉和咸肉在储存过程中(15、30、90 d)质地特征的变化规律。发现这两种烟熏剂能够改变肉制品的质地参数, 其中烟熏剂 F1 改良了猪腰肉的粘着性、弹性和胶黏性及熏肉的硬度、脆性和弹性; 烟熏剂 F2 主要作用在猪腰肉弹性和胶黏性, 对熏肉的质

构参数均有影响, 且随储藏时间的延长改良作用越明显。方红美等<sup>[44]</sup>研究了海藻酸钠和超高压技术对鸡肉糜凝胶保水性和质地的影响, 添加海藻酸钠可显著降低鸡肉凝胶的蒸煮损失率, 提高保水性, 但会导致凝胶 TPA 参数的降低; 在低海藻酸钠添加量时, 超高压处理不会改变上述参数的总体变化规律; 高添加剂量对鸡肉凝胶的蒸煮损失和持水性带来负面影响。陈洁等<sup>[45]</sup>研究了魔芋葡甘聚糖及其衍生物在禽肉重组火腿品质的影响, 与添加复合磷酸盐的对照组相比, 发现添加魔芋葡甘聚糖及其衍生物的禽肉重组火腿的凝胶弹性增强, 硬度、胶着性和咀嚼度降低, 弹性得到改善。Rababah 等<sup>[46]</sup>以硫代巴比妥值、质构指标、感官品质为指标评价了葡萄籽提取物在不同加工处理羊肉中的抗氧化效果, 发现微波烤箱处理时剪切力、剪切力做功、硬度、弹性、粘附性和咀嚼性均高于电炉加工。

#### 4.2 肉制品品质的评价

在肉制品品质的评价中, 质地分析结合感官评定或单独对肉品品质进行了判别, 其研究有: 郝红涛等分别对感官硬度、脆性、粘着性和质仪分析硬度、脆性和粘着性进行判别分析法识别火腿肠等级, 利用仪器参数的判别正确率高于感官评定结果, 且其操作方便。在判别火腿肠的等级时, 质构指标可取代感官评定达到更好地判别效果<sup>[47]</sup>。Herrero 等<sup>[48]</sup>对熟肉制品进行了 TPA 分析、耐折测试和理化指标的检测, 发现耐折测试参数(断裂强度和断裂能量)与 TPA 参数相关, 并采用 TPA 参数建立了预测断裂强度的有效模型( $R^2=0.745$ ), 采用 TPA 质地参数预测熟肉制品的断裂强度和断裂能量具有可行性。Węsierska 等<sup>[49]</sup>对比分析了波兰常见市售腊肉和传统熏肉理化指标、微生物评价及质地参数和感官参数评定, 发现传统熏肉具有较高的 pH, 乳酸球菌和杆菌量较低。对两类肉制品, 低水分活度的样品均具有较大的硬度、咀嚼性和剪切力。姚周麟等<sup>[42]</sup>采用物性仪对不同水分含量和水分活度的鱿鱼片的质地进行了分析, 结果感官评定探讨水分含量和水分活度对鱿鱼片物性的影响, 发现随着水分含量和水分活度的降低, 鱿鱼片的硬度、胶着性、恢复性和咀嚼度不断增加, 弹性有所降低, 而内聚性变化不明显。目前, 在肉制品品质评价中, 质地分析结合感官评定可以实现对其品质的评定。

#### 4.3 生鲜肉新鲜度的检测

随新鲜度的降低, 鲜肉质地也呈规律性变化。传统感官检查法评定鲜肉质地, 虽检测速度较快, 但却受人为因素影响而使其结果主观影响较大; 理化指标分析中, 挥发性盐基氮检测时样品预处理耗时较长。因此如何用简便、快捷的物理检测手段来评定牛肉的新鲜度成为迫切需要, 质构仪提供了一种新的客观评价肉品质地的工具。目前采用质地特征评价肉新鲜度的研究较多集中在对生肉新鲜度变化的监测, 直接表征新鲜度的研究较少。

表 1 质构仪检测参数条件表  
Table 1 Detection parameters of texture analyzer

肉样	样品尺寸	预处理方法	探头				仪器	文献
			检测模式	类型	下行速度	上行速度		
猪不同部位肌肉								
牛不同部位肌肉	300 mm×500 mm×20 mm	90 °C 煮制 40 min	穿透法	柱形探头	6.0 mm/s	6.0 mm/s	20 mm	TAX12 质构仪 [37]
猪背最长肌	40 mm×40 mm×25 mm D=12.7 mm, H=25 mm 圆柱	80 °C 煮制加工至肉样中心温度达到 71 °C	TPA WBS 剪切力	柱形探头 WBS 刀具	1 mm/s	1 mm/s	10 mm 20 mm	TA-XY2 [28]
不同品种猪背最长肌	D=25 mm, H=20 mm 圆柱	生肉	TPA	柱形探头 D= 50 mm	1 mm/s	1 mm/s	40%	TA-XT2i [24]
肋骨牛排	25 mm 厚	210 °C 煎至中心温度 40 °C 后, 翻面 煎至中心温度达 72 °C, 密封后 2 °C 冰水浴过夜	TPA WBS 剪切力	WBS 刀具	200 mm/min 200 mm/min	200 mm/min 200 mm/min	80%	Instron [18]
牛后腿、条形腰肉	4 cm×40 cm×40 cm	氯化钙溶液嫩化后, 揉滚、按摩 10~15 min, 再 4 °C 冷藏 12 h	TPA 穿刺试验	P/5 T372-33	2 mm/s	5 mm/s	75%	Instron [21]
牛背最长肌	生肉: 2 cm 厚、 熟肉: 3.5 cm 厚	生肉、熟肉	TPA WBS 剪切力	柱形探头 D=10 mm WBS 刀具	3.0 mm/s 3.0 mm/s	3.0 mm/s 3.0 mm/s	30 mm 75%	TA-XT2 [29]
猪、牛里脊肉	100 mm×100 mm×100 mm	生肉	压力特性曲线	柱形探头 D=10 mm	120 mm/min	120 mm/min	4 mm	WDW-20 电子 万能试验机 [38]
马肉	1 cm×1 cm×2.5 cm	真空包装肉于 70 °C 水浴	TPA WBS 剪切力	WBS 刀具	3.33 mm/s	3.33 mm/s	50%	TA.XT plus [33]
鸡胸脯肉	60 mm×40 mm×20 mm	生肉	压力特性曲线	柱形探头 D=10 mm	120 mm/min	120 mm/min	4 mm	WDW-20 电子 万能试验机 [39]
鸡胸脯肉	20 mm×20 mm×15 mm	生肉	TPA	柱形探头 D=15 mm	30 mm/min	30 mm/min	40%	TMS-PRO [40]
鸡翅	1 cm 立方体	80 °C 卤制后 60 °C 干燥不同时间	TPA	P50	1 mm/s	10 mm/s	30%	TA.XT plus [20]
草鱼	20 mm×20 mm×25 mm	冻鱼肉	TPA	P35 探头	5 mm/s	5 mm/s	75%	TA-XT2i [41]
鱿鱼片	1 mm 厚	不同含水量鱿鱼片	TPA	球形探头 P/0.5S	1 mm/s	2 mm/s	75%	TA.XT plus [42]

郑锐等<sup>[41]</sup>研究了不同冻藏方法和温度下草鱼质构的变化规律,发现随着冻藏时间的延长,质构指标的硬度、恢复性、弹性、胶黏性和咀嚼性均呈下降趋势,且冻藏温度越高下降速度越快,镀冰衣鱼肉的质构指标较优。徐亚丹<sup>[50]</sup>研究了在2℃贮藏条件下牛肉的质地参数,发现牛肉的硬度、弹性、咀嚼性随着贮藏时间的增加而减小。田晓静等<sup>[40]</sup>研究了两种储藏温度条件下鸡肉质地特性随新鲜度的变化规律,并采用主成分分析对不同新鲜度鸡肉质地特性参数进行分析,发现鸡肉样品能以其新鲜度很好的区分开,采用质构仪实现鸡肉新鲜度的快速检测是可行的。李特<sup>[39]</sup>以挥发性盐基氮、pH、鸡肉弹性为指标监测了鸡肉在不同温度下新鲜度的变化情况,并以理化指标作为因变量,鸡肉弹性指标作为自变量采用偏最小二乘法建立变量间的关系方程,实现了鸡肉新鲜度理化指标的快速预测。

## 5 结语

以质构仪对肉与肉制品进行质地检测,客观反映了肉的食用品质,现已辅助感官品评在加工工艺优化、肉制品品质和生鲜肉新鲜度等方面有较多研究。但是也存在受外部因素(品种、肌肉部位、饲养条件和方法等)影响,致使检测结果的重复性还有待进一步提高;样品预处理和检测条件差异较大,需建立规范化的检测流程和样品预处理方法,如肉嫩度的测定<sup>[22,51]</sup>。

在今后的工作中,结合现有研究基础建立肉与肉制品质地检测的标准化流程与方法,辅助及替代感官评定,在肉制品生产和产品品质检测中进行客观、全面而综合的评价,提高对肉品加工工艺与肉品质量的科学化管理水平。

## 参考文献

- [1] GB/T 22210-2008 肉与肉制品感官评定规范[S]. GB/T 22210-2008 Criterion for sensory evaluation of meat and meat products[S].
- [2] GB/T 5009.44-2003 肉与肉制品卫生标准的分析方法[S]. GB/T 5009.44-2003 Method for analysis of hygienic standard of meat and meat products[S].
- [3] GB 2707-2005 鲜(冻)畜肉卫生标准[S]. GB 2707-2005 Hygienic standard for fresh (frozen) meat of livestock[S].
- [4] Lawless HT, Heymann HH. Sensory evaluation of food: Principles and practices[M]. New York: Chapman and Hall, 1998.
- [5] 夏建新,王海滨,徐群英.肌肉嫩度仪与质构仪对燕麦复合火腿肠测定的比较研究[J].食品科学,2010,(3): 145-149.  
Xia JX, Wang HB, Xu QY. Correlation analysis between tenderness and texture of compound oat flour sausages[J]. Food Sci, 2010, (3): 145-149.
- [6] 邱泽锋,张良,曾伟才,等.冷冻贮藏对凡纳滨对虾肌肉质构特性的影响[J].南方水产科学,2011,7(5): 63-69.  
Qiu ZF, Zhang L, Zeng WC. Effect of frozen storage on muscle texture of *Litopenaeus vannamei*[J]. South China Fisheries Sci, 2011, 7(5): 63-69.
- [7] 周显青,王云光,王学锋,等.质构仪对米饭适口性的评价研究[J].粮油食品科技,2013,21(5): 47-51.  
Zhou XQ, Wang YG, Wang XF, et al. Evaluation of palatability of cooked rice by texture analyzer[J]. Sci Tec Cereals, Oils and Foods, 2013, 21(5): 47-51.
- [8] 张浩,李雪琴.质构仪测定小麦面筋的硬度与弹性[J].现代食品科技,2013,29(4): 903-906.  
Zhang H, Li XQ. Determination of wheat gluten hardness and springiness with texture analyzer[J]. Mod Food Sci Technol, 2013, 29(4): 903-906.
- [9] 屠康,赵艺泽,洪莹,等.利用质构仪对不同类型干酪质地品质的研究[J].中国乳品工业,2004,32(12): 16-18.  
Tu K, Zhao YZ, Hong Y, et al. Evaluation of properties of different cheeses with texture profile analysis[J]. China Dairy Ind, 2004, 32(12): 16-18.
- [10] Bobe G, Hammond EG, Freeman AE, et al. Texture of butter from cows with different milk fatty acid compositions[J]. J Dairy Sci, 2003, 86(10): 3122-3127.
- [11] 高奇.凝胶型酸乳的制备及其质构流变特性研究[D].无锡:江南大学,2006.  
Gao Q. Study on preparation of gel yoghurt and its TPA and Rheological characteristic[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2006.
- [12] 吴修东,赵谋明,赵强忠,等.明胶冻力和添加量对明胶软糖品质影响的研究[J].现代食品科技,2012,28(4): 420-423.  
Wu XD, Zhao MM, Zhao QZ, et al. Effect of bloom and dosage of gelatin on the quality of gelatin gummy[J]. Mod Food Sci Technol, 2012, 28(4): 420-423.
- [13] 周小理,周一鸣,赵琳.奶糖质构性能评价方法的研究[J].食品工业,2008,6: 45-46.  
Zhou XL, Zhou YM, Zhao L. Study on Evaluation Method of Milk Candy Texture Characteristics[J]. Food Ind, 2008, 6: 45-46.
- [14] Rolle L, Siret R, Segade S R, et al. Instrumental texture analysis parameters as markers of table-grape and wine grape quality: A review[J]. Am J Enol Viticult, 2012, 63(1): 11-28.
- [15] Infante R, Meneses C, Crisosto CH. Preconditioning treatment maintains taste characteristic perception of ripe 'September Sun' peach following cold storage[J]. Int J Food Sci Tech, 2009, 44: 1011-1016.
- [16] 胡亚云.质构仪在食品研究中的应用现状[J].食品研究与开发,2013,34(11): 101-104.  
Hu YY. Application situation of texture analyzer in the study of food[J]. Food Res Dev, 2013, 34(11): 101-104.
- [17] Chen L, Opara UL. Texture measurement approaches in fresh and processed foods-a review[J]. Food Res Int, 2013, 51(2): 823-835.
- [18] Caine W, Aalhus J, Best D, et al. Relationship of texture profile analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks[J]. Meat Sci, 2003, 64(4): 333-339.
- [19] Breene WM. Application of texture profile analysis to instrumental food texture evaluation[J]. J Texture Stud, 1975, 6(1): 53-82.
- [20] 唐道邦,徐玉娟,余元善,等.煮制和干燥时间对盐水鸡翅质构及色泽

- 的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(006): 1–5.
- Tang DB, Xu YJ, Yu YS, et al. Effects of cooking time and drying time on texture and color of salty chicken wing[J]. Food Sci, 2013, 34(006): 1–5.
- [21] 于慧春, 李欣, 张仲欣, 等. 采用质构仪分析氯化钙对牛肉品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(5): 23–25.
- Yu HC, Li X, Zhang ZX, et al. The effect of CaCl<sub>2</sub> on the quality of the beef using the texture analyser[J]. Food Res Dev, 2009, 30(5): 23–25.
- [22] NY/T 1180-2006 肉嫩度的测定 剪切力测定法[S].
- NY/T 1180-2006 Determination of meat tenderness Shear force method [S].
- [23] Brookfield PL, Nicoll S, Gunson FA, et al. Sensory evaluation by small postharvest teams and the relationship with instrumental measurements of apple texture[J]. Postharvest Biol Tec, 2011, 59: 179–186.
- [24] Sorapukdee S, Kongtasorn C, Benjakul S, et al. Influences of muscle composition and structure of pork from different breeds on stability and textural properties of cooked meat emulsion[J]. Food Chem, 2012, 138: 1892–1902.
- [25] 董庆利, 罗欣. 熏煮香肠质构的感官评定与机械测定之间的相关分析研究[J]. 食品科学, 2004, 25(9): 49–55.
- Dong QL, Luo X. Improved correlation between sensory and instrumental measurement of western smoked sausage texture[J]. Food Sci, 2004, 25(9): 49–55.
- [26] Destefanis G, Brugia paglia A, Barge MT, et al. Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner-Bratzler shear force[J]. Meat Sci, 2008, 78(3): 153–156.
- [27] Girard I, Bruce HL, Basarab JA, et al. Contribution of myofibrillar and connective tissue components to the Warner-Bratzler shear force of cooked beef[J]. Meat Sci, 2012, 92(4): 775–782.
- [28] 陈磊, 王金勇, 李学伟. 仪器测定的猪肉质构性状与感官性状的回归分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 357–362.
- Chen L, Wang JY, Li XW. Regression analysis of instrumental texture characteristics and sensory characteristics of pork[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 357–362.
- [29] Ruiz de Huidobro F, Miguel E, Blazquez B, et al. A comparison between two methods (Warner-Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat[J]. Meat Sci, 2005, 69(3): 527–536.
- [30] 柳明, 朱鸣晓, 雷武, 等. 不同饲料营养对池塘养殖长吻生长性能和肉品质的影响[J]. 水生生物学报, 2010, 34(3): 598–610.
- Liu M, Zhu XM, Lei W, et al. Effect of diet formulation on the growth performance and quality of tank reared Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris gunther*) [J]. ACTA Hydrobiol Sin, 2010, 34(3): 598–610.
- [31] 孙建广, 张石蕊, 谢仕彦, 等. 发酵乳酸杆菌对生长肥育猪生长性能和肉品质的影响[J]. 动物营养学报, 2010, 22(1): 132–138.
- Sun JG, Zhang SR, Qiao SY, et al. Effect of *Lactobacillus fermentum* on growth performance and meat quality in growing-finishing pigs[J]. Chin J Animal Nutr, 2010, 22(1): 132–138.
- [32] 曾勇庆, 王根林, 魏述东, 等. 莱芜猪肌肉胶原蛋白的发育性变化及其与肉质的相关性分析[J]. 中国农业科学, 2008, 41(2): 619–624.
- Zeng YQ, Wang GL, Wei SD, et al. Study on the development changes of intramuscular collagen and their relationship to meat quality in Laiwu pig[J]. Sci Agr Sin, 2008, 41(2): 619–624.
- [33] Aubourg SP, Torres JA, Saraiva JA, et al. Effect of high-pressure treatments applied before freezing and frozen storage on the functional and sensory properties of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) [J]. LWT-Food Sci Technol, 2013, 53(1): 100–106.
- [34] Bratcher CL, Johnson DD, Littell RC, et al. The effects of quality grade, aging, and location within muscle on Warner-Bratzler shear force in beef muscles of locomotion[J]. Meat Sci, 2005, 70(2): 279–284.
- [35] Lorenzo JM, Pateiro M, Franco D. Influence of muscle type on physicochemical and sensory properties of foal meat[J]. Meat Sci, 2013, 94(1): 77–83.
- [36] Hildrum KI, Rødbotten R, Høy M, et al. Classification of different bovine muscles according to sensory characteristics and Warner Bratzler shear force[J]. Meat Sci, 2009, 83(2): 302–307.
- [37] 丁武, 寇莉萍, 张静, 等. 质构仪穿透法测定肉制品嫩度的研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 138–141.
- Ding W, Kou LP, Zhang J, et al. Quantitative evaluation of meat tenderness by penetration method of Texture analyzer[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(10): 138–141.
- [38] 佟月英. 仿生触觉与常规方法检验肉品新鲜度的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.
- Tong YY. Research on bionic tactile and the conventional method of testing the meat freshness[D]. Changchun: Doctor thesis of Jilin University, 2011.
- [39] 李特. 鸡肉弹性与其新鲜度相关性的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008.
- Li T. Relationship between the freshness and elasticity of chicken[D]. Changchun: Jilin University, 2008.
- [40] 田晓静, 文绍山, 申晓蓉, 等. 基于质地特性的鸡肉新鲜度研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(17): 63–66.
- Tian XJ, Wen SS, Shen XR, et al. Study on freshness of chicken based on texture characteristics[J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(17): 63–66.
- [41] 郑锐, 曹川, 包建强, 等. 冻藏于不同温度下做不同处理方法的草鱼肉质构变化的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(1): 344–347.
- Zheng R, Cao C, Bao JQ, et al. Study on texture changes of grass carp frozen at different temperatures with different treatment[J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(1): 344–347.
- [42] 姚周麟, 桑卫国, 林媚. 利用物性仪测定鱿鱼片不同含水量的质构特性研究[J]. 现代农业科技, 2010, (21): 372–373.
- Yao ZL, Sang WG, Lin M. Texture properties of sleeve-fish chips with different water content using texture analyzer[J]. Mod Agric Sci Technol, 2010, (21): 372–373.
- [43] Martinez O, Salmeron J, Guillen M, et al. Texture profile analysis of meat products treated with commercial liquid smoke flavourings [J]. Food Contr, 2004, 15(6): 457–461.
- [44] 方红美, 陈从贵, 马力量, 等. 海藻酸钠及超高压对鸡肉凝胶保水和质构的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(32): 1429–1429.
- Fang HM, Chen CG, Ma LL, et al. Effect of sodium alginate and ultra

- high pressure on water-binding capacities and textural properties of chicken meat gels[J]. *J Anhui Agric Sci*, 2008, 36(32): 14292–14294.
- [45] 陈洁, 张科, 杜金平, 等. 魔芋葡甘聚糖及其衍生物对禽肉重组火腿物性的影响[J]. *食品科学*, 2010, 31(13): 36–39.
- Chen J, Zhang K, Du JP, et al. Separate effect of konjac glucomannan and konjac superabsorbent polymer on physical properties of recombinant poultry hams[J]. *Food Sci*. 2010, 31(13): 36–39.
- [46] Rababah TM, Feng H, Yang W, et al. Effect of grape seed extracts on physicochemical and sensory properties of goat meat cooked by conventional electric or microwave ovens[J]. *Food Sci Technol Res*, 2012, 18(3): 325–332.
- [47] 郝红涛, 赵改名, 柳艳霞, 等. 利用硬度、脆性和黏着性对火腿肠等级的判别分析[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(10): 2182–2188.
- Hao HT, Zhao GM, Liu YX, et al. Disctiminant analysis of the grades of ham sausages based on hardness, fracturability and adhesiveness properties[J]. *Sci Agr Sin*, 2010, 43(10): 2182–2188.
- [48] Herrero A, de la Hoz L, Ordóñez J, et al. Tensile properties of cooked meat sausages and their correlation with texture profile analysis (TPA) parameters and physico-chemical characteristics[J]. *Meat Sci*, 2008, 80(3): 690–696.
- [49] Węsierska E, Palka K, Bogdańska J, et al. Sensory quality of selected raw ripened meat products[J]. *Acta Sci Pol, Technol Aliment*, 2013, 12(1): 41–50.
- [50] 徐亚丹. 基于质地及动力学特性的牛肉新鲜度检测[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- Xu YS. Detection of beef freshness based on texture and dynamic characteristics[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [51] AMSA. Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tender-ness measurements of fresh meat[M]. Chicago, IL, USA: American Meat Science Association, 1995.

(责任编辑:赵静)

### 作者简介



田晓静, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品、农产品品质检测研究。

E-mail: smile\_tian@yeah.net

王俊, 博士, 教授, 主要研究方向为农产品加工工程与装备。

E-mail: jwang@zju.edu.cn