质构仪器分析在生鲜食品品质评价中的研究进展

朱丹实^{1,2}, 李 慧¹, 曹雪慧¹, 刘 贺¹, 励建荣^{1,*}, 孟宪军²

(1.渤海大学食品科学研究所, 辽宁省食品安全重点实验室, 辽宁 锦州 121013;

2.沈阳农业大学食品学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘 要: 近年来, 食品质构的仪器分析得到了越来越广泛的应用。本文简单介绍了质构仪器分析的原理, 详细阐述了质构仪在果蔬、水产品、肉品等生鲜食品领域中的近期研究内容和应用情况, 并对今后食品质构仪器分析发展方向进行了展望。

关键词: 质构仪; 仪器分析; 生鲜食品; 品质; 评价

Research Progress in Quality Evaluation of Fresh Foods by Texture Analyzers

ZHU Dan-shi^{1,2}, LI Hui¹, CAO Xue-hui¹, LIU He¹, LI Jian-rong^{1,*}, MENG Xian-jun²

(1. Food Safety Key Laboratory of Liaoning Province, Food Science Research Institute of Bohai University, Jinzhou 121013, China;

2. College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: In recent years, texture analyzers have been used in food research more and more widely. This paper describes the working principle of texture analyzers and reviews the recent progress in texture analyzer application in testing fresh foods such as fruits and vegetables, aquatic products and meat products. In addition, future directions in the development of texture analyzers for food quality evaluation are discussed.

Key words: texture analyzer; instrument analysis; fresh food; quality; evaluation

中图分类号: TS201.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 07-0264-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201407052

著名食品质构学研究者Szczesniak给出了质构的定义: 质构是食品结构及其对施加外力反应方式的感官表现, 包括特殊感觉如视觉、肌肉运动感觉(动觉)和听觉^[1]。她将食品质构综合分为力学特性、几何特性和其他特性三大类。力学特性包括硬度、凝聚性、黏附性、咀嚼性等; 几何特性包括颗粒的大小形状、方向等; 其他特性包括多汁性、湿润度、油状、脂状等^[2]。

目前对食品质构评价的主要方法有感官评价和仪器测量两种。感官评定指具有一定判断能力和经验的评审员用科学的方法对质构评价术语进行分类和定义, 使之可以成为进行交流的客观信息^[3]。对于食品的感官评价已有大量报道, 然而感官评定特别是分析性感官评定, 检测费时费力, 需要具有一定判断能力和经验的评审员, 而且人的主观性差异较大, 致使结果常受干扰, 不够稳定。近些年来, 随着食品质构研究的不断深入以及人们对食品品质要求的不断提高, 越来越多的质构分析需要量化评价, 质构仪器测量在不同的食品体系中得到了越

来越广泛的应用。本文综述了质构仪器分析在果蔬、水产品、肉品中的研究进展, 为在相关领域中更好地应用质构仪器分析提供借鉴。

1 质构分析仪的测定原理

食品质构的仪器测量方法是通过仪器、设备获取食品的物理性质, 然后根据某些分析评价方法将获取的物理信号和质构参数建立联系, 从而评价食品的质构。食品质构的仪器测量方法可分为直接测量方法和间接测量方法^[4]。直接测量方法又可分为基础测量法、经验测量法、模拟测量法。基础测量法主要测量食品的流变学性, 这些性质通常具有明确含义和物理单位。经验测量法是根据测试经验, 测量一些与食品质构性质相关性较好的参数, 但这些参数的物理含义一般不清晰。模拟测量法是模拟食物在加工过程中的变化来进行测量的, 它可以看作是经验测量的一个亚类, 在质构评价中用的不

收稿日期: 2013-04-23

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD29B06); 辽宁省食品安全重点实验室开放课题(LNSAKF2011026);

辽宁省食品质量与安全优秀教学团队项目(SPCX12)

作者简介: 朱丹实(1978—), 女, 讲师, 博士研究生, 研究方向为农产品贮藏加工。E-mail: tjzds@sina.com

*通信作者: 励建荣(1964—), 男, 教授, 博士, 研究方向为果蔬、水产品贮藏加工与质量安全控制。E-mail: lijrb491@163.com

多。间接测量法可分为光学法、声学法等,利用光学和声学传感器获取食品的光声特性,再利用光声特性预测食品的质构特性。

食品质构测量仪器按测量的方式可分为专有测量仪器、通用测量仪器,专有测量仪器又可分为压入型、挤压型、剪切型、折断型、拉伸型等;按测试原理可分为力学测量仪器、声音测量仪器、光学测量仪器等;按食品的质构参数可分为硬度仪、嫩度计、黏度仪、淀粉粉力仪等。目前常见的食品物性分析仪有由英国Stable Micro System (SMS)公司设计生产的TA-XT食品物性测试仪^[5];美国Food Technology Corporation (FTC)公司设计的TMZ型、TMDX型等系列食品物性分析系统;瑞典泰沃公司设计生产的TXT型质构仪;美国 Brookfield公司生产的QTS-25质构仪以及Leather Food Research Association (LFRA)设计生产的Stevens LFRA Texture Analyzer物性分析仪等^[6]。

2 果蔬类的质构分析

质构仪在水果中的应用主要包括测试其成熟度、坚实度、果皮或果壳的硬度、果实的脆性及果皮或果肉的弹性等;在蔬菜中的应用主要指测试其成熟度、硬度、酥脆度、弹性、断裂强度、韧性、柔软性以及纤维度等^[7]。

使用质构仪进行果蔬物性测试的方法比较常用的有直接测试法和模拟测试法两种。直接测试法是指通过探头的直接下压或者穿刺等来反映果蔬的硬度等特性。在使用物性分析仪进行果蔬质构研究中,可使用的模式有:质构分析(texture profile analysis, TPA)、剪切、压缩、挤出、穿刺实验等。模拟测试法是指根据不同果蔬的品质特性选用不同的探头来模拟人的牙齿的咀嚼、模拟加工和处理方式,例如可以通过探头给予有规律的正弦波力来模拟果蔬运输过程的受力情况,以判断水果运输过程中质构的变化,以此判断果蔬运输中的损伤。

对于质构仪对果蔬的评价方法方面,国内外的学者进行了大量研究。Paul等^[8]对9个品种的苹果进行了感官分析和仪器测定的相关性分析,结果表明,苹果脆度的感官分析和质构穿刺测定的结果较其他指标的仪器测定具有更高的相关性。吴昱丹等^[9]研究了猕猴桃果实质构分析方法,建立一种模拟人工口腔咀嚼的实用模型与方法。采用质构仪TPA方法,对3个品种的猕猴桃常温仓储过程中质构特征变化进行分析和研究,并构建了猕猴桃果实人工模拟咀嚼数学模型,该研究表明质构仪TPA方法对果蔬质构性能的检测可以模拟人工咀嚼且客观准确。宋肖琴^[10]应用质构仪TPA方法,以采后6个不同品种枇杷果实为材料,对不同贮藏条件下枇杷果实的质构变化进行了比较测定,确定硬度、黏着性、凝聚性、弹

性、咀嚼性、回复性和出汁率变化等7项参数指标,用于比较枇杷果实实质构变化差异的有效性。研究表明6个品种枇杷在2个贮藏条件下各TPA参数与出汁率间均呈显著负相关性($P < 0.01$),而绝大多数TPA参数间呈显著正相关关系,并证实了TPA实验法评价采后枇杷果实实质构变化的有效性。

由于质构分析属于物理测试,具有方便、快捷、无污染等特点,目前国外学者热衷于利用质构分析间接快速评估果蔬的其他理化指标。Rolle等^[11]认为葡萄浆果的表皮细胞壁的结构和化学性质可以影响花青素的释放,利用质构仪将相同糖度的葡萄浆果分为软果和硬果两大组,并提取和测定各自的花青素,研究表明硬浆果比较浆果可以提取出更多的花青素。Segade等^[12]尝试利用质构仪评估了葡萄表皮的酚醛成熟过程,他们分析了西班牙西北部13个葡萄品种中花青素的含量及其质构的关系,并对花青素含量与质构的断裂力和稠度建立了相关性联系。研究表明,用质构参数来快速评估葡萄酚醛的成熟过程是可行的,但是首先需要考虑品种的差异性。Nardoza等^[13]研究了猕猴桃影响固形物含量的基因类型与感官品质的关系,他认为影响固形物含量的基因类型主要影响的是风味,而猕猴桃的质构只要由果实大小决定,果实较小的猕猴桃更加坚硬并且核心纤维含量更高。

食品加工过程中往往会导致产品感官指标和营养的损失,因此果蔬加工过程中的质构评价非常重要。Roeck等^[14]研究了高温、高压的加工过程对果蔬质构的影响,认为产生质构变化的主要原因是由于果蔬细胞壁的果胶类多糖的化学变化导致。Missang等^[15]将杏分为9个区域来考查各部位的质构特性,并研究熟化过程对各部位质构的影响,并进行主成分分析,研究表明新鲜杏肉硬度从外向内逐渐降低,从果柄到顶端各部分硬度差异较大,但规律性不强,9个区域中有4个区域的杏肉熟化前后质构变化具有高度的相关性。Pinheiro等^[16]研究了钙和pH值对鲜切西红柿果皮硬度的影响,研究表明CaCl₂处理的番茄皮虽然处理后果皮硬度增加,但是2℃的贮藏过程中无法维持较高的硬度,而pH值对成熟和过熟的番茄表皮硬度的影响较大,用pH 7.0的蒸馏水浸泡4 h后,在2℃、5 d的贮藏过程中明显增加了成熟和过熟番茄的果皮硬度。

应用质构分析不仅能表征果实品质,还可以预测果品的贮藏期。近年来蓝莓制品的需求在全世界范围内都在持续增长,蓝莓的相关研究也越来越多,然而蓝莓采后容易软化,不易保藏,严重影响了其商品性。Giongo等^[17]研究了49种纯种或杂交品种的蓝莓的果实,对其生长成熟过程及采后贮藏过程进行质构仪测定跟踪,利用主成分分析等多元分析手段进行统计分析,这些指标将

为种植和贮藏蓝莓的研究人员提供一定的参考。为了从育种角度提高苹果的耐贮性, Costa等^[18]研究了83个苹果品种在采后和两个月的贮藏过程中质构参数的变化情况, 并利用降维的方式进行主成分分析, 结果表明质构变化是苹果成熟过程中细胞壁一系列生理变化的结果反映, 结构多糖在果实生长、成熟和采后过程中都在发生变化, 每种果实的噪声动力学参数都不同, 并且给出了苹果从采后到两个月冷藏期的质构动力模型。

国内学者对果蔬贮藏过程中质构的演变特性也进行了比较深入的研究。姜松等^[19]对不同温度下的水果黄瓜在贮藏过程中力学特性的变化进行了研究, 通过TA-XT2i质构分析仪对果实进行压缩-穿刺实验得到贮藏期间果实的坚实度、压缩斜率和破裂变形3个主要力学参数的变化及相互关系, 并结合对贮藏期间的水果黄瓜进行的感官鉴定, 发现通过变化趋势曲线就能够很好地反映果实3个温度下的最佳贮藏时间, 为水果黄瓜在贮藏期间的品质变化提供了量化依据。潘秀娟等^[20]应用TPA实验法对红富士与嘎拉苹果采后质构进行分析。结果表明果肉黏着性与硬度、脆度、凝聚性等质构参数值呈负相关; 果肉凝聚性与硬度、回复性、咀嚼性参数值有较好的正相关性; 果肉弹性值与其他参数值相关性较差; 而回复性与弹性以及黏着性以外的质构参数值有较好的正相关性。并进一步确定脆度、黏着性、凝聚性、回复性、咀嚼性5项参数用于比较红富士与嘎拉苹果采后质构的差别, 结果反映了嘎拉较红富士苹果更易出现绵软的质构特性。徐志斌等^[21]采用TPA的分析方法对杨梅果实采摘后的品质变化规律进行研究, 研究表明在储存期间果肉的各項质构参数均呈现下降趋势, 硬度、凝聚性、回复性和咀嚼性之间具有较高的相关性和相同的变化趋势, 因而可以采用其中任意一个参数来表征杨梅果实的品质; 杨梅果实的失重率与贮存时间呈线性关系变化, 并提出一个经验公式将失重率与果实的硬度和咀嚼性进行关联。此研究利用杨梅果实的失重率与其质构参数的相关性, 为杨梅贮存期间品质的变化提供一种简便的评价方法。

3 水产品的质构分析

随着人们生活水平的不断提高, 人们在对水产品需求量不断增加的同时对水产品品质要求也在不断提高。为了客观、准确地评价水产品品质, 近年来质构仪在水产品中得到了越来越广泛的应用。质构分析主要用于鱼、虾、贝类等水产对象的质构检测, 研究内容主要集中在质构指标与其他指标的相关性分析、加工工艺的评价以及贮藏条件的优化方面。

水产品的质构特性与产品自身的其他指标具有明

显的相关性。由于死后鱼体组织软化严重影响了鱼肉品质, Godiksen等^[22]研究了彩虹鲷鱼的几种类型的组织蛋白酶对鱼体肌肉质构的影响, 在不同组织蛋白酶作用下将若干种肌纤维蛋白和肌质蛋白与鱼肉硬度的变化建立相关关系, 大部分数据表明组织蛋白酶D对维持鱼肉硬度不利, 也就是说组织蛋白酶D是导致鱼肉纤维降解的主要因素, 进而导致鲷鱼鱼肉软化。Lin Wanling等^[23]研究脆草鱼和草鱼加热前后质构的差异性发现在加热前原料脆草鱼的所有质构参数都要比草鱼高; 加热后, 脆草鱼的硬度、咀嚼性、恢复性和弹性指标仍然比草鱼高; 加热后的脆草鱼的硬度、脆性、弹性和咀嚼性都要比原料脆草鱼高; 而加热后的草鱼的所有质构指标都显著下降。贾艳华等^[24]通过分析不同水分含量软烤扇贝的质构特性, 探讨了软烤扇贝水分含量与质构特性的相关性。结果表明, 软烤扇贝的硬度、内聚性、回复性随着水分含量的下降而增大, 硬度变化最为明显, 弹性、胶黏性、咀嚼性随着水分含量的下降而减小, 并且相关性显著, 因此可用质构特性评价制品的口感和组织质构。伍玉洁等^[25]采用真空微波脱水的方法将虾仁干制成不同水分活度(a_w)的样品, 测定样品在20℃时的水分吸附等温线, 并通过保藏实验分析比较 a_w 对常温保藏后虾体内的细菌菌落总数以及对虾体的弹性、硬度等质构参数的影响。研究表明当 a_w 控制在0.86~0.90时, 常温保藏的虾仁干制产品在口感及微生物指标等方面可取得平衡。林婉玲等^[26]为了探讨影响脆肉鲩鱼脆性的因素, 研究了水分、脂肪含量、蛋白质成分和肌肉纤维平均大小对脆肉鲩鱼与鲩鱼背肌质构特性的影响。结果表明, 脆肉鲩鱼肌肉的硬度、弹性、咀嚼性和回复性比鲩鱼分别高出11.14%、3.43%、15.75%和14.27%, 脆肉鲩鱼的这些质构特征与其肌肉中水分含量低、基质蛋白含量高、肌肉纤维平均直径短和肌纤维密度高有关, 其中肌肉纤维的平均直径和肌纤维密度对脆肉鲩鱼肌肉的硬度影响较大。

相比与其他指标的相关性, 学者们研究更多的是通过质构分析来改善水产品的加工工艺。Larsen等^[27]研究了四种熟化方式: 水煮、蒸熟、微波、热炒、烤制和油炸对新西兰大鳞大马哈鱼硬度、黏附性、咀嚼性和弹性等质构指标的影响, 并进行了主成分分析。研究表明, 油炸的大马哈鱼硬度最高, 黏附性在加热初期有所升高, 但最终加热温度对黏附性影响不大; 热炒和油炸的大马哈鱼弹性较高; 原料鱼、煮熟和蒸熟的鱼的咀嚼性都很差; 微波和烤制的鱼肉咀嚼性几乎一致; 油炸的鱼肉咀嚼性最好。Canto等^[28]研究了高静水压处理的鲷鱼肉仪器测定的质构和色泽参数, 表明200 MPa处理的鱼肉硬度最低, 并将仪器测定值与感官评价体系建立了一定的相关性联系。刘敬智等^[29]研究了鲜活和不同加热条件下

海螺足部的流变学特性以及TPA分析同感官评定间的相关性,结果表明,不同的加热处理对海螺足部的组织结构和流变学特征参数有明显影响。TPA和感官评定在硬度、弹性和咀嚼性方面呈显著相关性,在黏着性方面也有较好的相关性,该研究可为海螺深加工制品的开发及加工工艺的优化提供理论基础和科学依据。王彦波等^[30]以异育银鲫为研究对象,利用质构仪和双向电泳技术研究了2种不同宰杀方式对鲫鱼肌肉质构和蛋白质组的影响。结果表明,与直接打头致死组比较,氮气致死的宰杀方式可显著增加鲫鱼死后肌肉的硬度、咀嚼性和胶黏性(分别增加了62.24%、85.72%和75.47%)。该结果揭示不同宰杀方式影响鲫鱼肌肉中蛋白质的含量与代谢,表现为肌肉的硬度、咀嚼性和胶黏性等质构指标发生变化。曹荣等^[31]以养殖南美白对虾和海捕鹰爪虾为研究对象,分析虾仁不同部位的TPA质构特性,并且分析了不同熟制加工方式对虾仁品质的影响。研究表明不同种类的虾仁(南美白对虾和鹰爪虾)及同种虾仁的不同部位其质构特性有较大的差别,为确保数据的准确和可比性,实验中应固定TPA的测定部位,其中第二和第三腹节适宜作为TPA的测定部位;121℃高温高压的灭菌工艺会造成虾仁硬度、弹性和咀嚼性的大幅度下降,生产加工中采用沸盐水煮制的熟制加工方式可保证虾仁的感官品质。

水产品非常容易腐败变质,因此对其贮藏条件的要求很高,目前许多研究都倾向于通过水产品的质构研究来选择较佳的贮藏条件。Ayala等^[32]研究了真空包装冷藏和直接冷藏对乌颊鱼海鲷切片质构的影响,结果表明随着贮藏时间的延长,真空处理和非真空处理的冷藏鱼片质构参数都在显著下降,在0d至5~7d贮藏时,非真空包装的鱼片硬度、胶黏性和咀嚼性变化都很大,而后期10~12d至22d时,这些指标变化很小,真空包装的鱼片冷藏5~7d时,硬度、咀嚼性和胶黏性的值最大。邱泽锋等^[33]采用质构仪TPA模式对冷冻贮藏条件下凡纳滨对虾肌肉的硬度、黏附性、弹性、咀嚼性、胶黏性和凝聚性等进行了测试。研究表明,在-18℃和-50℃的贮藏条件下,随着贮藏期的延长,凡纳滨对虾肌肉的硬度、咀嚼性、胶黏性和凝聚性均呈现缓慢下降的趋势,弹性的变化不明显,而黏附性则有所上升。这表明冷冻贮藏凡纳滨对虾虽然能保证其较长的货架期,但其口感特征总体上持续下降;且温度越低越有利于保持其肌肉的质构特性。王俏仪等^[34]采用质构仪的TPA模式对冷冻贮藏罗非鱼肌肉的硬度、黏附性、弹性、咀嚼性、胶黏性、凝聚性和恢复性等进行测试,表明在-18℃和-50℃的贮藏条件下,随着贮藏时间的增加,罗非鱼肌肉质构的硬度、弹性、咀嚼性、胶黏性、凝聚性、恢复性等6个参数均呈不同程度的下降趋势,黏附性则呈上升趋势;-50℃贮

藏的罗非鱼肌肉的质构参数变化速率低于-18℃贮藏条件。说明罗非鱼在冷冻贮藏过程中口感特征在不断下降,贮藏温度越低,越有利于保持罗非鱼肌肉的质构特征。刘敬智等^[35]比较了冷藏和冰温保鲜的海螺质构变化的特征,指出随着贮藏时间的延长,冷藏样品和冰温样品的弹性模量和破断强度逐渐下降,而应力松弛时间明显上升,在到达货架期(8、23d)后弹性模量和破断强度的下降逐渐趋缓;而冰温样品弹性模量、破断强度的下降趋势和应力松弛时间的上升趋势明显比冷藏样品缓慢。

4 肉品的质构分析

自从1926年Warner发明了测量肉制品质构的仪器以来,肉品的质构测量已由模糊的感官评价逐步过渡到使用仪器进行准确的量值表述^[36]。质构在肉品中的应用除了研究加工工艺对肉品品质分析的影响外,还集中在研究肉品品质特性以及肉品质构与感官的回归分析方面。

在肉品质构测定条件的研究方面,Rahman等^[37]分析了肉类水分和质构TPA的相关性,研究表明肉的硬度、咀嚼性和恢复性随水分含量的减少呈现指数上升的趋势;而黏附性、黏聚性和弹性虽然也随水分含量的减少虽然也呈稳定上升趋势,但是当水分含量降低到21.5%时呈现最大值,此后这些质构特性值急剧下降。他们认为质构的两类特性:弹性模量(硬度、黏附性、咀嚼性)和塑性模量(黏聚性、恢复性、弹性)可以很好地反映出肉类的失水过程。郭兴凤等^[38]探讨了质构分析TPA的测定条件对肉品测定结果的影响,通过数据分析得出如下结论:测前速率和两次压缩之间的间隔时间对测定结果的影响不显著;测试速率对硬度、咀嚼性和回弹性都有非常显著的影响,而对弹性和内聚性无显著影响。在测试条件下,硬度和咀嚼性和回弹性均随测试速率的增加呈上升趋势;压缩比例对测定结果都有非常显著的影响,其中硬度和咀嚼性随压缩比例的增加而增加,而弹性、内聚性,回弹性随压缩比例的增加而减少。丁武等^[39]为了量化评定肉制品的食用物理特性——嫩度,以猪和牛不同部位的肌肉为材料为实验对象,使用TA-XT2质构仪,模拟口腔咀嚼肌肉的穿透方法,测定了不同肌肉的穿透曲线,并比较分析了不同肌肉的穿透参数与感官品评嫩度值之间的相关关系。结果表明,质构仪穿透法测得的第一个极值点与猪和牛不同部位的肌肉的感官品评嫩度值呈极显著的正相关关系。因此,穿透法第一极值点可作为猪肉、牛肉肉制品的嫩度测定量化参数。

国内很多学者致力于肉品的质构特性与感官特性的回归分析。刘兴余等^[40]以熟肉为研究对象,比较感官评

定和两种仪器测定方法(剪切法和质构剖面分析)之间的差异和关联性,结果表明剪切力与感官评定的硬度多汁性呈显著相关性($r=0.73$ 、 0.71);质构剖面分析硬度与感官评定的硬度相关性显著($r=0.81$);质构剖面分析的黏聚性与感官评定的弹性多汁性油性分别呈显著相关性($r=0.79$ 、 0.67 、 0.81)。通过建立仪器分析与感官评定间的数学模型,表明质构剖面分析更能全面预测猪肉感官品质,并以进一步实验参数验证了质构剖面分析回归方程预测的准确性。陈磊等^[41]分析了猪肉感官性状与仪器质构性状间的相关性,并利用仪器质构测定指标建立感官性状的预测模型,采集18头6月龄杂交商品猪的背最长肌样品,通过3种不同时间(24、72、144 h)嫩化处理得到54份质构性状表现有差异的样品。利用剪切力测定、质构剖面分析和感官评定,分析了各样品的质构性状,并分析了仪器测定与感官测定数据间的线性关系。大部分仪器测定指标均与感官评定值表现出显著或极显著的相关关系。进一步采用主成分逐步回归法,以仪器测定指标为自变量,感官评定数据为依变量进行回归分析,分别得到具有统计意义的感官硬度、感官弹性和多汁性的预测方程,其中对感官硬度的预测效果较好,而对感官弹性和多汁性的预测效果较差。由此明确了猪肉感官特性与仪器质构测定值间广泛的相关关系,并采用客观、全面的仪器测定手段和合理的回归方法的优化将肉类感官性状模型的预测效果提高到一个较新的水平。

5 结 语

目前食品质构仪器测定在生鲜食品研究领域已得到了广泛的应用,给食品研究及工作人员带来了极大的方便。然而在实际运用质构仪时,研究者必须明了质构特性参数的正确含义并且选择合适的实验条件。质构测试的结果与质构仪的精密度、质构参数的设置、食品样品的外形尺寸、作用位点、实验条件以及实验重复次数都有关系。例如测定鱼肉的质构特性时,所取鱼肉的部位、肉粒的大小、取样的方法、测试模具及参数、重复次数等都会影响鱼肉的测定值,造成数据的波动性。这就要求在质构测定时,在进行严格统一的操作同时要根据实际情况来综合分析。由于各种质构仪参数设置、实验条件和样品等方面的差异性,目前还没有实现仪器测定在食品质构分析中的标准化应用,在测试过程中应根据实际情况来摸索适合的测试条件。因此建立和完善食品的质构分析标准,将是今后的一个研究重点。采用质构分析方法对样品评价时,也并不是对每个特性参数都要分析,要根据测试条件的设定、质构图谱的表现形式以及食品样品自身特性和实验者的实际需要来进行选定。最后,鉴于质构的仪器分析和感官分析结果的差异

性已及食品领域的广泛性,进一步获得各食品体系仪器测量和感官测试的高度相关性和适用性也是今后的一个研究方向。

参考文献:

- [1] SZCZESNIAK A S. Texture: is it still an overlooked food attribute[J]. Food Technology, 1990, 44(9): 86-95.
- [2] SZCZESNIAK A S. Classification of textural characteristics[J]. Journal of Food Science, 1963, 28(4): 385-389.
- [3] HARKER F R, MAINDONALD J, MURRAY S H, et al. Sensory interpretation of instrumental measurements 1: texture of apple fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 24(3): 225-239.
- [4] 张佳程, 刘爱萍, 晋艳曦. 食品质地学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2010: 9-12.
- [5] KIRUNDA D, MCKEE S. Relating quality characteristics of aged eggs and fresh eggs to vitelline membrane strength as determined by a texture analyzer[J]. Poultry Science, 2000, 79(8): 1189-1193.
- [6] 陈焱焱. 食品力学性能检测仪的设计与研究[D]. 安徽: 安徽农业大学工学院, 2007.
- [7] 刘亚平, 李红波. 物性分析仪及TPA在果蔬质构测试中的应用综述[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2010, 30(2): 188-192.
- [8] BROOKFIELD P L, NICOLL S, GUNSON F A, et al. Sensory evaluation by small postharvest teams and the relationship with instrumental measurements of apple texture[J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 59(2): 179-186.
- [9] 吴旻丹, 陈瑜, 金邦荃. 储藏期猕猴桃质构变化的研究及人工咀嚼的建立[J]. 食品工业科技, 2010, 31(12): 146-148.
- [10] 宋肖琴. 采后枇杷果实质地变化的质构研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [11] ROLLE L, TORCHIO F, ZEPPA G, et al. Anthocyanin extractability assessment of grape skins by texture analysis[J]. International Journal of Vine and Wine Sciences, 2008, 42(3): 157-162.
- [12] SEGADÉ S R, ROLLE L, GERBI V, et al. Phenolic ripeness assessment of grape skin by texture analysis[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2008, 21(8): 644-649.
- [13] NARDOZZA S, GAMBLE J, AXTEN L G, et al. Dry matter content and fruit size affect flavour and texture of novel *Actinidia deliciosa* genotypes[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91(4): 742-748.
- [14] ROECK A D, DUVETTER T, FRAEYE I, et al. Effect of high-pressure/high-temperature processing on chemical pectin conversions in relation to fruit and vegetable texture[J]. Food Chemistry, 2009, 115(1): 207-213.
- [15] MISSANG C E, MAINGONNAT J F, RENARD C M G C, et al. Texture variation in apricot: intra-fruit heterogeneity, impact of thinning and relation with the texture after cooking[J]. Food Research International, 2011, 44(1): 46-53.
- [16] PINHEIRO S C F, ALMEIDA D P F. Modulation of tomato pericarp firmness through pH and calcium: implications for the texture of fresh-cut fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47(1): 119-125.
- [17] GIONGO L, PONCETTA P, LORETTI P, et al. Texture profiling of blueberries (*Vaccinium* spp.) during fruit development, ripening and storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 76: 34-39.
- [18] COSTA F, CAPPELLIN L, FONTANARI M, et al. Texture dynamics during postharvest cold storage ripening in apple (*Malus × domestica* Borkh.)[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 69: 54-63.
- [19] 姜松, 何莹, 赵杰文. 水果黄瓜在贮藏过程中力学品质变化的研究[J].

- 食品科学, 2007, 28(2): 322-326.
- [20] 潘秀娟, 屠康. 质构仪质地多面分析(TPA)方法对苹果采后质地变化的检测[J]. 农业工程学报, 2005, 21(3): 166-170.
- [21] 徐志斌, 励建荣, 陈青. 杨梅果实采摘后品质变化规律的TPA表征[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(2): 114-117.
- [22] GODIKSEN H, MORZEL M, HYLDIG G, et al. Contribution of cathepsins B, L and D to muscle protein profiles correlated with texture in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Food Chemistry, 2009, 113(4): 889-896.
- [23] LIN Wanling, ZENG Qingxiao, ZHU Zhiwei. Different changes in mastication between crisp grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C.et V) and grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) after heating: the relationship between texture and ultrastructure in muscle tissue[J]. Food Research International, 2009, 42(2): 271-278.
- [24] 贾艳华, 杨宪时, 许钟, 等. 水分含量对软烤扇贝质构和色泽的影响[J]. 食品与机械, 2010, 26(3): 47-50.
- [25] 伍玉洁, 杨瑞金, 刘言宁. 水分活度对干制虾仁产品的货架寿命和质构的影响[J]. 水产科学, 2006, 25(4): 175-178.
- [26] 林婉玲, 关榕, 曾庆孝, 等. 影响脆肉鲩鱼背肌质构特性的因素[J]. 华南理工大学学报:自然科学版, 2009, 37(4): 134-137.
- [27] LARSEN D, QUEK S Y, EYRES L. Evaluating instrumental colour and texture of thermally treated New Zealand King Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and their relation to sensory properties[J]. LWT - Food Science and Technology, 2011, 44(8): 1814-1820.
- [28] CANTO A C V C S, LIMA B R C C, CRUZ A G, et al. Effect of high hydrostatic pressure on the color and texture parameters of refrigerated Caiman (*Caiman crocodilus yacare*) tail meat[J]. Meat Science, 2012, 91(3): 255-260.
- [29] 刘敬智, 高昕, 许加超, 等. 不同加热条件下海螺足部质构的变化[J]. 水产学报, 2009, 33(3): 519-526.
- [30] 王彦波, 沈晓琴, 李学鹏, 等. 不同宰杀方式对鲫鱼肌肉质构和蛋白质组的影响[J]. 中国食品学报, 2010, 10(6): 145-149.
- [31] 曹荣, 刘淇, 殷邦忠, 等. 虾仁TPA质构分析及不同熟制加工方式对其品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(6): 1-5.
- [32] AYALA M D, SANTAELLA M, MARTÍNEZ C, et al. Muscle tissue structure and flesh texture in gilthead sea bream, *Sparus aurata* L., fillets preserved by refrigeration and by vacuum packaging[J]. LWT - Food Science and Technology, 2011, 44(4): 1098-1106.
- [33] 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): 63-67.
- [34] 王倩仪, 董强, 卢水仙, 等. 冷冻贮藏对罗非鱼肌肉质构特性的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2011, 31(4): 86-90.
- [35] 刘敬智. 加工及贮藏过程中海螺质构变化的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [36] 董庆利, 罗欣. 肉制品的质构测定及国内外研究现状[J]. 食品工业科技, 2004, 25(7): 134-135.
- [37] 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.
- [38] 郭兴凤, 慕运动. 几种因素对肉制品质构测定结果的影响[J]. 食品工业科技, 2006, 27(5): 51-53.
- [39] 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.
- [40] 刘兴余, 金邦荃, 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.
- [41] 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.