

食品质感性能的主客观评价技术分析

徐献忠*, 刘大全, 刘雯雯

(郑州大学力学与工程科学学院, 郑州 450001)

摘要: 食品的质感性能是固体或半固体食品的四大质量要素之一, 强烈地影响着消费者对产品的接受程度和消费意愿。对食品质感性能的评价与检测, 是改进产品设计和生产工艺、控制产品质量、满足消费者需要、提高企业效益不可或缺的技术手段。食品质感性能评价技术传入我国已有多年, 各种先进的检测方法和试验设备已被广大食品研发人员所接受, 但在使用过程中, 主客观分析结果所表现出来的巨大偏离, 一直困扰着许多研究人员, 严重制约着食品质感性能分析技术的推广和发展。本文试图从定义及发展过程出发, 阐述食品质感性能主客观分析技术的基本原理及使用过程可能存在的误区, 并根据作者的学术背景, 从力学的角度提出了食品质感性能及其评价方法今后发展的一些思考。

关键词: 食品质感性能; 感官分析; 仪器测量; 质感性能综合分析

Aanalysis of the subjective and objective evaluation techniques on food texture

XU Xian-Zhong*, LIU Da-Quan, LIU Wen-Wen

(School of Mechanics & Engineering Science, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

ABSTRACT: Food texture is one of the quality attributes of the solid or semi-solid foods, which strongly influences the consumer's acceptance and expectation to product. The evaluation and measurement of food texture is an indispensable technical mean on the improvement of product design and production processes, the control of product quality, the satisfaction of consumer needs and the increase of economic benefits of food industry. The evaluation technology of food texture has been introduced into China for many years, a variety of advanced testing methods and equipments have been accepted by the majority of food researchers and food development engineers. However, the great deviation between the results obtained by both of the subjective and objective analysis lead to the puzzling doubts which have stayed in many researchers' mind for a long time. This has seriously restricted the promotion and development of food texture analysis techniques. Based on the definition and development of the food texture, present paper attempted to discuss the basic principles of the subjective and objective analysis methodologies and the possible misunderstanding during their applications. According to the author's academic background, a thought on the development of the study and evaluation methods of food texture in the future, from the point of view of the mechanics, is also presented.

KEY WORDS: food texture; sensory evaluation; instrument measurement; texture profile analysis

基金项目: 国家自然科学基金项目(10972202)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China(10972202)

*通讯作者: 徐献忠, 博士, 教授, 主要研究方向为食品质感学基础理论、咀嚼生物力学、固体流变学、生物复合材料力学等。E-mail: xianzhongxu@zzu.edu.cn.

*Corresponding author: XU Xian-Zhong, Ph.D, Professor, School of Mechanics & Engineering Science, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China. E-mail: xianzhongxu@zzu.edu.cn.

1 引言

食品的质感性能(food texture)是描述食品是否新鲜、半成品准备得是否精良以及人们食用时能否获得最大咀嚼享受的一组质量属性,是人类的触觉对来自食品 and 人体某个部位的相互接触所产生的物理激励的反映,是人们通过看、听、闻、触、尝等感觉对食品的结构性能、力学性能及外观性能主观判断的综合体现^[1-3]。随着生活水平的提高及生活质量的改善,人们对“吃”的要求越来越高。作为食品质量属性的四要素(风味、外观、质感和营养)之一,食品质感性能的优劣越来越受到消费者、生产者和研究者的重视。消费者对食物质感性能的期待程度强烈地影响着各类食物的可接受性而且决定着人们购买那些食物的倾向。关于食品质感性能及其评价方法的研究除了能为现代食品科学注入新的活力外,还将为食品工业的发展带来战略上的飞跃:即新食品开发、食品加工工艺的制订及食品质量控制的目标应在满足人们能量和营养需要的同时,给消费者带来最大的咀嚼愉悦^[4]。进入21世纪以来,越来越多的人期望改变食品组分以得到健康饮食,同时仍要求保持传统的感官品质,客观上要求我们对与食品质感性能相关的关键要素有一个深刻而又清晰的认识^[5]。

2 食品质感性能的定义

食品的质感性能是(在人们进食时)由(人体内的)力学、触觉以及视觉和听觉受体在适当时感知到的食品的所有力学、几何和表面特性^[6,7]。其中,力学特性指产品对应力反应有关的属性,主要分为硬度、粘聚性、粘性、弹性、黏附性;几何特性是指与尺寸、形状和产品内部颗粒排列有关的属性;而表面特性则指与水分(或汁液)和脂肪及其在口腔中释放所引起的感觉有关的属性。因此,食品的质感性能被认为是一组源自食品结构的、主要通过触觉(如手、唇、齿、舌、颊、颚)所感知且与风味(包括气味和口味)等化学感觉无关的、客观上需借助于含有质量、距离和时间等物理量去测量的力学性能(不包括光学、电磁及热力学性能)^[1]。由于它们属于感官特性的范畴,所以只能由人的感知所感觉,且主要取决于食品在口腔中的变形与破裂方式^[2,4,8]。在大多数中文文献(包括教材和国家标准)中^[7,9-16]，“texture”通常被译为“质地”或“质构”。尽管它最初是借用纺织专业的词汇,但在食品感官科学领域,我们认为用“质感性能”才能表达它的真正意涵^[3,17]。一方面,它具有结构、组织、感觉、感知的意思,另一方面也反映了人和食品之间的作用关系。

由于地域、语言、饮食结构和民族文化的不同以及年龄、性别、经验和教育程度的差异,用于描述食品质感性能的词汇具有丰富的多样性。根据对早期文献^[18-20]的总结发现,100个美国人可使用78个词汇去描述食品的质感性能;

140个日本女大学生对97种食品进行质感性能描述时,使用了406个词汇;208名奥地利大学生描述50种食品时,使用了105个词汇。按照出现的频次,表1列出了这些研究中最常用的前10个词汇。不难发现这些词汇具有一定的相似性,但其中仅有6个是相同的但却具有不同的排序。即使语言的转换(翻译)没有问题,相同的词汇对于不同的使用者也可能存在着不同的含义。为了便于不同国家的研究人员能够相对容易地进行交流,使大家所使用的词汇具有相同的意义,前述的两个标准^[6,7]对食品质感性能定义中所牵涉到的特性和概念也做了一些规定。例如表1中的“硬”主要指产品所表现出来具有较大的变形或断裂抗力,而“软”则指产品所表现出来稍微小的变形抗力。硬度作为表示产品“硬”或“软”的程度,在感官感知上定义为人类把食品放在上下磨齿之间进行首次咬合时所感知到的将试样碎裂成几块所要求的力。总之,质感性能的大多数指标均与食品材料的力学性能及其在一定受载条件的力学表现有关,其中硬度(hardness)、坚度(firmness)、软度(softness)、嘎嘣脆度(crunchiness)、酥脆度(crispness)等是非常直观的力学特性的反映,其他指标如乳化度(creaminess)、汁液度(juiciness)、(味道的)厚薄度(thickness)与材料在一定条件下的粘性有直接关联,而滑溜性(smoothness)则主要受食品与口腔的摩擦力以及食品颗粒的大小、形状和表面粗糙度的影响^[3,17]。

3 食品质感性能的测量与评价

对食品质感性能的测量与评价主要通过主观性的感官分析(sensory evaluation)和客观性的仪器测量(instrument measurement)来进行。

感官分析是通过所选定和培训过的评审组(专家评定)或在大街上、商场内随机抽取一些路人或购物者(消费者评定)对需要评估的食品按照事先设计好的项目进行观察和品尝,然后根据评审者自身的感受对食品质感性能的各个指标进行打分,经过统计分析和计算(有时需根据评定目的加上各种权重),其结果即成为该描述该食品质感性能的依据。经过食品感官科学研究人员多年的筛选、优化与总结,当前常用的感官分析技术方法有许多种(如,成对偏爱检验、三点检验、排序检验等),但基本上可以分为2类:分析型(强度型标度, intensity scaling)感官评价和嗜好型(接受型标度, acceptability scaling)感官评价^[1,9,21]。前者指食品所具有某种属性的强弱,主要与食品固有的物理化学性质有关,通常需要与合适的参比物(如表2)进行对照;后者则指评判者对某种产品的偏好程度,往往受评判者的习惯、爱好、生理和健康状况的影响。由于食品质感性能是多参数感官属性,只有人类本身才能真正感受其能否满足自己的最大期望,所以感官评价方法不仅直观、简单,而且准确度高,在食品质感性能评价中占有不可或缺的重要地

表 1 描述食品质感性能的常用词汇
Table 1 The common vocabulary used to describe food textures

美国 ^[18]		日本 ^[19]		奥地利 ^[20]	
crisp	脆	hard	硬	crisp	脆
dry	干	soft	软	hard	硬
juicy	有汁	juicy	有汁	soft	软
soft	软	chewy	劲道、有嚼头	crunchy	嘎嘣脆
creamy	奶油状	greasy	油腻	juicy	有汁
crunchy	嘎嘣脆	viscous	黏	sticky	粘
chewy	劲道、有嚼头	slippery	滑	creamy	奶油状
smooth	滑溜	creamy	奶油状	fatty	肥腻
stringy	黏糊糊	crisp	脆	watery	水漉漉
hard	硬	crunchy	嘎嘣脆	tough	韧
.....		
78 个词汇		406 个词汇		105 个词汇	

表 2 食品硬度的标准参比值^[1]
Table 2 The standard reference scale for food hardness^[1]

硬度	参比产品*	硬度	参比产品*
1	油状奶酪	6	花生(真空包装)
2	煮蛋清(5 min)	7	胡萝卜(生、鲜)
3	牛肉香肠	8	花生糖
4	奶酪	9	硬水果糖
5	去核橄榄		

位。然而, 感官分析也存在着费时, 费力, 受主观不确定因素影响较大, 结果离散、重复性差的缺点。像工程材料那样, 利用仪器测量找到描述食物质感性能的客观方法, 也就成了人们的必然选择^[22,23]。

由于在食品加工、运输和使用过程中存在着诸如切割、粉碎、混合、压榨、挤压、成型和咬断、咀嚼等变形与断裂行为, 无论是工艺操作、设备设计以及品质评价均需要大量的关于食品与农产品力学性能方面的数据和信息^[24]。早在 19 世纪当质感性能的概念尚未建立时, 人们已经开始试着用仪器去控制食品的质量^[25]。仪器测量通常分为基本力学性能实验、经验实验和模仿实验。基本力学性能测量主要是将食品看作一种材料, 利用工程中常用的材料性能实验方法如拉伸、压缩、剪切、扭转等, 去测量各种模量或强度等基本力学性能, 并找出这些性能与食品质感性能之间的联系; 而经验测定和模仿测定均是根据生产实践中摸索出来的经验或者模仿食品在第一次咬合或咀嚼过程中的一些承载条件, 用专门设计的仪器或设备测量食品试样的某一个或某几个指标参数作为质量控制或描述质感性能的依据, 例如: 水果硬度或脆性穿刺仪, 面条拉伸仪、肉类嫩度剪切仪、液体或半固体粘性流变仪^[1,9,25]以及近几

年出现的仿生嘴或咀嚼机器人等^[26,27]。通过对农产品与食品材料力学性能的研究和分析, 不仅可以实现对各类制造工艺的改进, 同时还可以实现对产品质量的检测与控制以及对新产品优缺点的评价, 从而满足生产与消费过程中的不同需求^[1,9,25,28-31]。与感官分析相比, 仪器测量具有耗时短、费用低、精度高、重复性好、不受主观因素影响等优点, 能够得到可比性较强的实验结果, 特别重要的是能够实现在线检测和调控。正如前面所强调的那样, 食品的质感性能本质上是感官特性, 由于研究深度的限制, 除了特定产品外, 大多数情况下客观测量(包括使用英国 Stable Micro System 公司的先进质构仪)的结果与主观评价的结果有很大的出入, 从而造成大多数研究者的困惑^[32-34]。

4 食品质感性能的标准分析方法

在食品质感性能研究和产品质量控制中, 20 世纪 60 年代由美国科学家 Szczesniak 博士建立的、被称做“texture profile analysis(TPA)”的分析技术^[1,2,28,35]已经被世界各国研究者普遍接受。与食品质感性能一样, 我国许多文献^[9,36-39]从字面上将其翻译为“质地剖面分析”, 笔者对此也有不同的看法。“profile”一词不仅可以翻译为“剖面”, 同时还有“外形”、“轮廓”、“外观”、“形象”、“人物简介”和“人物素描”的意思。TPA 技术最初建立的目的是寻找一种用于不同产品的客观通用的技术词汇和操作规程, 而这种技术词汇和操作规程能够在不同实验室和不同使用者之间重现。由于这项技术能够全面解决食品质感性能的定性和定量分析问题, 很快就得到了广泛的应用, 经过改进后, 被国际标准化组织批准为食品质感性能的标准分析方法。对于固体或半固体食品来说, 其质感性能使用 5 个一级特性和 3 个二级特性, 评价过程既包含感官分析, 也包含仪器

测量,两种方法对所评价的质感性能的定义如表3所示。由于感官分析可以同时评价全部8个特性,而仪器测量能够一次测量8个特性中的7个,因此将“TPA”叫做“质感性能综合分析”比较妥当,大多数食品质感性能的其他感官分析方法仅涵盖了“质感性能综合分析”方法的部分内容。

食品质感性能综合感官分析的主要步骤有:(1)评价小组的遴选;(2)评价人员的培训;(3)标准尺度的建立;(4)基本TPA评分表的建立;(5)(每种产品)可对比TPA评分表的建立等,其详细过程可参考图1及相关标准^[36]和文献^[1,2,28,35]。食品质感性能综合仪器分析则是应用质构仪或通用材料试验机模仿牙齿运动将受试产品连续循环压缩两次(因而又称作二次咬合试验),然后根据载荷-变形曲线将各种质感性能计算出来(见图2)。后者由于操作简单,定义直观明确,已为绝大部分食品研发和食品检验人员所熟悉。

在Szczesniak博士最初的研究中,采用感官分析和仪器测量所得到的各类质感性能指标之间有着非常良好的相关性,其中黏着性、咀嚼性及胶粘性表现为线性关系,而硬度、易碎性和粘性表现为非线性关系^[2]。然而,后来许多其他人员发现,除硬度吻合得比较好外,其他性能指标都非常离散。尽管如此,由于没有更好的替代技术,多数研究人员一边对此充满怀疑,一边仍在大量的应用^[22]。事实上,早在40年前,已有研究人员^[40]指出这项综合分析技术使用中出现的种种问题。定义的混乱(对原始定义的随意改变)、试验设计的不足、统计方法的不当使用以及试验材料和试验条件的不完整描述等是多数研究中常见的错误现象。加载方式的改变(如将平板压头换成针型压头或刃型刀具)、对性能参数的曲解以及计算方法的随意篡改均是造成各种乱象的根源

^[41]。总之,无论是感官分析或是仪器测定,食品质感性能综合分析(TPA)技术源于科学实践,属于经验型实验方法的范畴,缺乏相应的理论基础,因此在应用上,除了严格按照标准程序进行操作外,经验的积累以及对具体食品的具体分析显然是非常重要的。每次试验前,均需对研究方案重新检讨,要综合分析大量的试验,而不能将其在某一特殊产品上的成功,不加限定地推广到其他产品上^[2]。

5 食品质感性能感官评估的力学思考

食品的口腔处理以及伴随着的感官感知是由一系列生理和力学的事件组合而成的动态过程,在这一过程中,由牙齿、舌头、上颚和面颊的机械作用而发生的食物颗粒的变形、断裂和传输起着非常重要的主导性作用^[1-4,42-44]。从第一口咬合到最后吞咽,食品颗粒或团块的力学性能、应力状态及几何形状与尺寸都在不停地发生变化^[45-49]。这些变化着的力学信号由口腔力学受体(尤其是位于牙髓和牙周组织内的受体)并通过神经系统传入大脑^[50],经过一系列综合的认知、比较、分析和判断,食品质感性能的最终结果被表达出来。前半部分被称作感觉,后半部分被称作感知^[51]。同一种食品,人们生理功能、经验、文化、学识的差异可能会带来感觉、感知甚至表达方式上的不同,但食品质感性能与力学变量之间存在着密切联系已为人们所认识。食品质感性能的感觉信息主要来自食品或食品团块对牙齿或其它口腔组织的抗力,反过来,这些抗力又调节着后续循环的咀嚼行为(如下颌运动模式,咀嚼力的大小、方向与分布,咀嚼肌活动等)^[52]。它不仅影响着人们的咀嚼享受,同时也控制着食品结构的进一步破裂。

表3 食品质感性能指标的“标准化”定义^[2]
Table 3 The "standardized" definitions of food texture parameters^[2]

指标名称	物理定义	感官定义
硬度(hardness)	获得某一给定变形量所需要的力。	上下磨牙压缩固体食品时或舌头与上腭压缩半固体食品时所需要的力。
凝聚性(cohesiveness)	物体破断前的变形量。	食品断裂前被牙齿压缩的程度。
一级特性 黏性(viscosity)	单位力作用下的流动速率。	从汤匙汲取液体到舌头上所需的力。
弹性(elasticity)(springiness)	外力去除后恢复到原来形状的程度。	食品被牙齿压缩后恢复到原来形状的程度。
黏着性(adhesiveness)	克服食物表面与食物接触的其它材料表面间的相互吸引力。	正常进食过程中将黏到口腔(上腭)的食物去除所需的力。
断裂(易碎)性(fractureability)	与硬度和凝聚性有关的、使材料断裂所需的力。	把试样弄碎、弄裂或弄断所需的力。
二级特性 咀嚼性(chewiness)	与硬度、凝聚性和弹性有关的将固体食品咀嚼到可吞咽状态所需的能量。	正常咀嚼力和咀嚼速度条件下,将试样咀嚼到能吞咽时所需的时间。
胶粘性(gumminess)	与硬度和凝聚性有关的使半固体食品分解到可吞咽状态所需的能量。	试样在舌头和上腭的压力下保持凝聚在一起的时间。

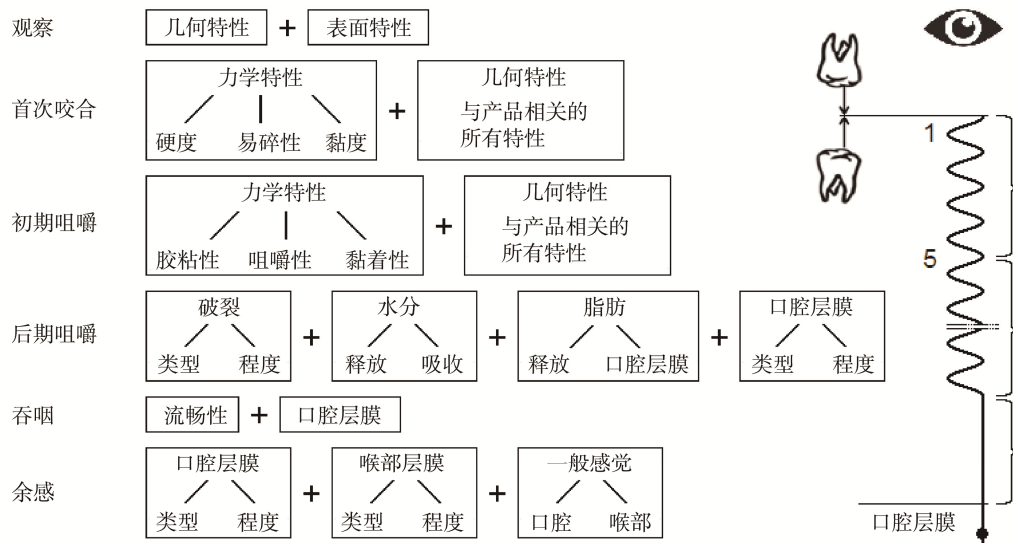


图 1 食品质感性能综合感官分析示意图^[2]

Fig. 1 Schematic diagram of food texture profile sensory analysis^[2]

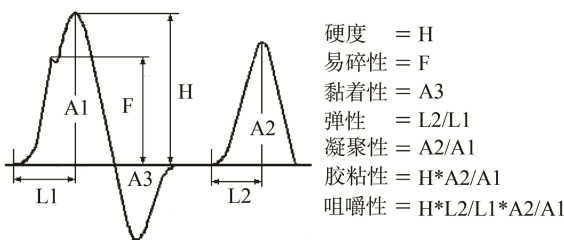


图 2 食品质感性能综合仪器分析示意图^[2,42]

Fig. 2 Schematic diagram of food texture profile instrumental analysis^[2,42]

在 3 种不同的客观测量方法中, 基本力学性能试验一般被划入流变学的范畴, 而且在联系食品质感性能的感知方面不断受到质疑^[1]。在材料力学性能测量方面, 尽管材料科学家与食品科学家的目的各不相同, 但从力学的观点去看, 其基本原理却是统一的。大多数经验试验(如压缩、拉伸、剪切、冲孔、弯曲等)的公式均由基本的力学概念导出并且含有普通的材料性能。人类咀嚼时, 食品放在上下牙齿之间, 其结构通过牙齿的碾压和剪切磨搓作用不断得到破坏并在舌头的帮助下与唾液充分混合, 直到食团中的颗粒尺寸及整个食团的润滑状态达到可吞咽的水平^[42,51]。在整个咀嚼程序中, 我们面对的最基本的问题是食品如何通过上下牙齿所施加外载荷的作用下而变形和断裂。如果工程师们能够设计一个在给定外力作用下不会破坏的结构, 为什么我们不能设计一种食品在口腔中按照我们期望的形式断裂? 可以将口腔设想为在食品感官性能研究中使用的各种设备, 当食品成分、结构和力学性能之间的关系以及口腔施加外力的方式已知时, 应用工程领域内已经成熟的

力学理论, 就有可能弄清人类咀嚼过程中发生于口腔内的所有故事^[3,17]。

6 结束语

食品的质感性能是描述消费者对食品接受程度的重要质量属性, 关于食品质感性能及其测量和评价方法的研究是食品科学基础理论和工程技术发展的有机组成部分, 是食品生产企业发展战略定位、市场营销策略、新产品开发以及产品质量控制等环节的重要技术支撑。食品的质感性能作为感官属性, 它们只能由人的感觉所感知, 并取决于食品的原始力学性能及其在口腔内的变形和破裂方式, 同时也是心理、生理和物理等过程相互影响和相互作用的综合结果。食品质感性能主客观测量结果的不协调, 是新技术引进、吸收、消化过程中出现的正常现象。只要弄清食品质感性能的真正含义, 理解东西方食品及人种的差异, 认真了解人体与不同食物之间的互动作用, 就能够建立起符合我国国情的食品质感性能主客观试验方法和合理的评估标准并使之为我国广大消费者及产品生产者服务。关于食品质感性能基本理论及试验方法的研究是一项庞大的系统工程, 需要包括食品学、材料学、力学、牙科学、心理学、口腔生理学、人类学、测量技术、信息科学、计算机技术等多学科从业人员的相互协作和共同努力。

参考文献

[1] Bourne MC. Food texture and viscosity: concept and measurement (2nd Edition) [M]. London/San Diego: Academic Press, 2002.
 [2] Szczesniak AS. Texture is a sensory property [J]. Food Qual Prefer, 2002.

- 13, 215–225.
- [3] 徐献忠. 食品感官评估过程的力学问题[C]. 感官科学技术与应用国际研讨会(2010), 北京, 2010.
Xu XZ. Mechanics of the food sensory evaluation process (Invited lecture) [C]. International Symposium on Sensory Science Technology and Its Application (2010), Beijing, 2010.
- [4] Xu X, Wright PS, Hector MP, *et al.* Force, rate and work used during incisor penetration on different texture foods [J]. *J Texture Stud*, 2008, 39: 115–128.
- [5] Pascua Y, Koc H, Foegeding EA. Food structure: roles of mechanical properties and oral processing in determining sensory texture of soft materials [J]. *Curr Opin Colloid Int Sci*, 2013, 18: 324–333.
- [6] ISO: Standard 5492: 1992. International organization for standardization. Terms relating to sensory analysis [S].
- [7] GB/T 10221–1998 中华人民共和国标准 感官分析-术语 [S].
GB/T 10221–1998 Standard of the people's Republic of China. Sensory analysis-Vocabulary [S].
- [8] Van VT. On the relation between texture perception and fundamental mechanical parameters for liquids and time dependent solids [J]. *Food Qual Prefer*, 2002, 13: 227–236.
- [9] 李立特. 食品物性学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
Li LT. Physics of foods [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001.
- [10] 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]. 食品科学杂志, 2004, 25(9): 49–55.
Dong QL, Luo X. Correlation analysis between the texture sensory and the mechanical measurement on the smoked sausage [J]. *J Food Sci*, 2004, 25(9): 49–55.
- [11] 吴洪华, 姜松. 食品质地及其 TPA 测试[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(5): 128–131.
Wu HH, Jiang S. Food texture and TPA measurement [J]. *Food Res Dev*, 2005, 26(5): 128–131.
- [12] 钱平, 李里特, 李艳青. 馒头老化过程中质地测试指标的确定[J]. 食品工业科技, 2006: 84–89.
Qian P, Li LT, Li YQ. Determination of the texture parameters of the Chinese bread during aging [J]. *Sci Food Ind*, 2006: 84–89.
- [13] Brown RD. 食品质地分析[J]. 中国实验室, 2010, 8(8): 3–6.
Brown RD. Food texture analysis [J]. *China Lab*, 2010, 8(8): 3–6.
- [14] 武晓娟, 薛文通, 王小东, 等. 豆沙质地特性的感官评定与仪器分析[J]. 食品科学, 2011, 32(9): 87–90.
Wu XJ, Xue WT, Wang XD, *et al.* Sensory evaluation and instrumental analysis on the texture of the hummus [J]. *Food Sci*, 2011, 32(9): 87–90.
- [15] 边兴伟. 火腿肠质地评价研究进展[J]. 肉类研究, 2012, 26(11): 41–43.
Bian XW. Recent advances in research on sausage texture evaluation[J]. *Meat Res* 2012, 26(11): 41–43.
- [16] 赵阿丹, 谢静, 张秋亮, 等. 食品酥脆质地的评定与表征[J]. 食品工业, 2015, 36(1): 188–192.
Zhao AD, Xie J, Zhang QL, *et al.* Assessment and characterization of food crispy texture [J]. *Food Ind*, 2015, 36(1): 188–192.
- [17] 徐献忠. 食品质感性能感官分析过程的力学原理初探[C]. 食品感官分析与应用学术研讨会, 北京, 2015.
Xu X. A preliminary exploration on themechanics principle of sensory analysis process of food texture [C]. Symposium on Food Sensory Analysis and Applications, Beijing, 2015.
- [18] Szczesniak AS, Kahn EL. Consumer awareness of texture and other foods attributes [J]. *Food Technol*, 1963, 17: 74–77.
- [19] Yoshikawa S, Nishimaru S, Tashiro T, *et al.* Collection and classification of words for description and food texture: I. Collection of words [J]. *J Texture Stud*. 1970, 1: 437–442.
- [20] Rohm H. Consumer awareness of food texture in Austria [J]. *J Texture Stud*. 1990, 21: 363–373.
- [21] Stone H, Sidel JL. Sensory evaluation practices (3rd Ed.) [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [22] Meullenet JF, Lyon BG, Carpenter JA, *et al.* Relationship between sensory and instrumental texture profile attributes [J]. *J Sens Stud*. 1998, 13: 77–93.
- [23] Pereira RB, Bennett RJ, Luckman MS. Instrumental and sensory evaluation of textural attributes in cheese analogs: a correlation study [J]. *J Sens Stud*, 2005, 20: 434–453.
- [24] Xu, X. A study of the mechanical and fracture properties of water ice [D]. Reading: The University of Reading, 2000.
- [25] Peleg M, Bagley EB. Physical properties of foods [M]. Westport: AVI Publishing Company, 1983.
- [26] 孙钟雷. 基于咀嚼模拟的食品质地评价[D]. 长春: 吉林大学, 2012.
Sun ZL. Study on evaluation of food texture based on chewing simulation [D]. Changchun: Jilin University, 2012.
- [27] 李晓峰. 六自由度仿生咀嚼机器人研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
Li XF. Research of 6 DOF bionic chewing robot [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [28] Szczesniak AS. Classification of textural characteristics [J]. *J Food Sci*, 1963, 28: 385–389.
- [29] Peleg M. On fundamental issues in texture evaluation and texturization-a review [J]. *Food Hyd*, 2006, 20: 405–414.
- [30] Foegeding EA. Rheology and sensory texture of biopolymer gels [J]. *Curr Opin Colloid Int Sci*, 2007, 12: 242–250.
- [31] Rosenthal AJ. Food texture: measurement and perception [M]. Gaithersburg: An Aspen Publishers, Inc, 1999.
- [32] 蒙名燕, 李汴生, 阮征, 等. 食品质构的仪器测量和感官测试之间的相关性[J]. 食品工业科技, 2006, 27(9): 198–206.
Meng MY, Li BS, Ruan Z, *et al.* Correlation between the instrumental measurement and sensory testing of the food texture [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2006, 27(9): 198–206.
- [33] 李博, 雷激, 徐坤, 等. 芽菜的质构分析与感官评价研究[J]. 食品科技, 2010, 35(8): 307–310, 316.
Li B, Lei J, Xu K, *et al.* Study on texture analysis and sensory assessment of the sprout vegetable [J]. *Food Sci Technol*, 2010, 35(8): 307–310, 316.
- [34] 赵延伟, 吕振磊, 王坤, 等. 面条的质构与感官评价的相关性研究[J]. 食品与机械, 2011, 27(4): 25–28, 39.
Zhao YW, Lv ZL, Wang K, *et al.* Correlation between texture analyzer parameters and sensory evaluation of noodles [J]. *Food Mach*, 2011, 27(4): 25–28, 39.
- [35] Szczesniak AS. Objective measurements of food texture [J]. *J Food Sci*, 1963, 28: 410–420.
- [36] GB/T 16860 1997 感官分析方法-质地剖面检验[S].
GB/T 16860 1997 Standard of the people's Republic of China sensory analysis methodology- texture profile [S].
- [37] 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.
- Pan XJ, Tu K. Comparison of texture properties of post-harvested apples using texture profile analysis [J]. Trans CSAE, 2005, 21(3): 166–170
- [38] 闫忠心, 鲁周民. 基于质地剖面分析的干制红枣品质评价[J]. 现代食品科技, 2014, 30(7): 238–241.
- Yan ZX, Lu ZM. Quality evaluation of dried chinese jujube based on texture profile analysis [J]. Mod Sci Technol, 2014, 30(7): 238–241.
- [39] 张霁红, 郑娅, 宋娟, 等. 质地多面分析不同脱涩处理后磨盘柿质地变化[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(11): 4496–4501.
- Zhang JH, Zhang Y, Song J, *et al.* Texture profile analysis of Mopanshi persimmon texture variation by destringency [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(11): 4496–4501.
- [40] Breene WM. Application of texture profile analysis to instrumental food texture evaluation [J]. J Texture Stud, 1975, 6: 53–82.
- [41] Szczesniak AS. Issues pertaining to the texture profile analysis [J]. J Texture Stud, 1998, 29: vii–viii.
- [42] Chen JS. Food oral processing—a review [J]. Food Hyd, 2009, 23: 1–25.
- [43] Melito HS, Daubert CR and Foegeding EA. Relating large amplitude oscillatory shear and food behavior: correlation of nonlinear viscoelastic, rheological, sensory and oral processing behavior of whey protein isolate/-carrageenan gels [J]. J Food Proc Eng, 2013, 36(4): 521–534.
- [44] Devezeaux LM, Derks JAM, Ketel EC, *et al.* Eating behaviour explains differences between individuals in dynamic texture perception of sausages [J]. Food Qual Prefer, 2015, 41: 189–200.
- [45] Saint-Eve A, Panouille M, Capitaine C, *et al.* Dynamic aspects of texture perception during cheese consumption and relationship with bolus properties [J]. Food Hyd, 2015, 46: 144–152.
- [46] Hutchings JB, Lillford PJ. The Perception of food texture—the philosophy of the breakdown path [J]. J Texture Stud, 1988, 19: 103–115.
- [47] Booth DA, Earl T, Mobini S. Perceptual channels for the texture of a food [J]. Appetite, 2003, 40: 69–76.
- [48] Hiiemae K. Mechanisms of food reduction, transport and deglutition: How the texture of food affects feeding behaviour [J]. J Texture Stud, 2004, 35: 171–200.
- [49] Foegeding EA, Daubert CR, Drake MA, *et al.* A comprehensive approach to understanding textural properties of semi- and soft-solid foods [J]. J Texture Stud, 2011, 42: 103–129.
- [50] Trulsson M. Force encoding by human periodontal mechanoreceptors during mastication [J]. Arch Oral Biol, 2007, 52: 357–360.
- [51] Chen JS. Food oral processing: some important underpinning principles of eating and sensory perception [J]. Food Struct, 2014, 1: 91–105.
- [52] Agrawal KR, Lucas PW, Prinz JF, *et al.* Mechanical properties of foods responsible for resisting food breakdown in the human mouth [J]. Arch Oral Biol, 1997, 42: 1–9.

(责任编辑: 金延秋)

作者简介



徐献忠, 博士, 教授, 主要研究方向为食品质感学基础理论、咀嚼生物力学、固体流变学、生物复合材料力学等。
E-mail: xianzhongxu@zzu.edu.cn