



GAODENG XUEXIAO ZHUANYE JIAOCAI

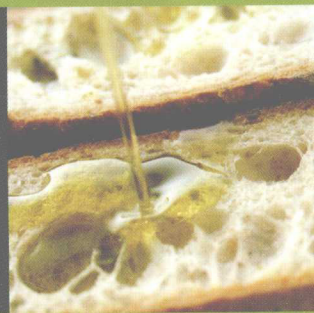
• 高等学校专业教材 •

[高校教材]

食品质地学

张佳程 主 编

刘爱萍 晋艳曦 副主编



中国轻工业出版社

高等学校专业教材

食 品 质 地 学

主 编 张佳程

副主编 刘爱萍 晋艳曦

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

食品质地学/张佳程主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2010. 3

高等学校专业教材

ISBN 978-7-5019-7446-7

I. ①食… II. ①张… III. ①食品检验 - 高等学校 - 教材 IV. ①TS207. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 231644 号

责任编辑: 李 佳

策划编辑: 李亦兵 责任终审: 张乃柬 封面设计: 锋尚设计

版式设计: 王培燕 责任校对: 李 靖 责任监印: 马金路

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 河北高碑店市德裕顺印刷有限责任公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2010 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 16. 25

字 数: 375 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-7446-7 定价: 32.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

80940J1X101ZBW

前 言

在食品研究与开发过程中，食品的质地特性（texture properties）越来越引起人们的关注，而且已经成为衡量食品质量的一项重要指标。国外在此方面研究起步较早，并形成了独特的研究领域。在国内这方面还处于起步发展阶段，尽管已经制定了有关的国家标准，但是有些术语、概念尚待进一步规范、统一。而且，在食品专业教学中，这方面也显得十分滞后，除了在食品感官评价、食品物性学等少数课程中有所涉及外，在大多数食品专业课程中常常被忽视。其中一个重要原因是缺乏专门、系统阐述“食品质地学”的专业教材。即使在国外，这一领域的教材也不多见。

我们在从事食品研究过程中，也深深感到食品质地特性的重要性。例如，酸奶的糊口感如何评价、干酪的拉丝性如何测定等。同时，在食品专业教学过程中，也感到学生从事食品专业却不了解食品质地特性，有的甚至听都没听说过，这不能不说是一个缺憾。为此，我们从2002年开始收集这方面资料，酝酿此书内容。在给学生（包括研究生）讲授“食品化学”、“食品物性学”等课程时，也有意识地侧重一些食品质地学方面的内容，这为本书的编写积累了一点经验。此外，也想通过此书的编写，为国内食品质地学领域的发展起到抛砖引玉的作用。尽管目前在食品质地学中存在许多不够科学、不够严谨的方面，但是正因如此，这个领域才需要更多的人做出努力，使之成为食品科学“大厦”中的一块重要“基石”，让食品科学呈现更多科学内涵。

全书共分为五章，内容包括：第一章食品质地学概述，第二章食品质地感知基础，第三章食品质地的感官评价，第四章食品质地测量的物理基础，第五章食品质地的仪器测量。作为食品专业教材，基础性、入门性内容比较重要，所以，在内容选择方面主要侧重食品质地学的基本概念、基本评价方法和主要测量仪器。有些方面，比如基础力学、流变学、口腔科学、感官评价技术等相关基础性内容，对于食品质地的评价与测量来讲都是十分重要的，而且也是今后食品质地学发展中需要加强的方面，但是由于这些内容毕竟不属于本书主旨内容，所以只作了相关概念与原理方面的衔接性介绍，例如本书第二章、第四章以及第三章开始部分的内容。因此，如果读者想深入了解这些方面的知识，可进一步参考相关书籍和期刊文献。在质地测量仪器方法介绍中，除了重点介绍一些目前常用的仪器方法外，还介绍了一些文献中使用过的经验方法，这些方法很多具有经典价值和启发意义。其中，多数文献都注明了年份，目的是让读者了解食品质地学的发展进程。

本书第三章由刘爱萍和晋艳曦编写，其余各章均由张佳程编写。全书由张佳程负责修订、统稿。此外，在资料收集过程中，还得到了刘殿宇先生的热情帮助，在此特别表示感谢。

由于作者水平所限，加上首次在食品质地学方面尝试编写，书中有不少内容是作者的个人观点和理解，难免有许多不足甚至错误之处，敬请读者批评指正。

张佳程

jiachengzhang@163.com

目 录

第一章 食品质地学概述	(1)
第一节 食品质地的概念	(1)
第二节 食品质地学发展简史	(5)
第三节 食品质地分析方法的类别	(9)
第四节 食品质地学在食品中的应用	(12)
第二章 食品质地感知基础	(16)
第一节 口腔科学的基础概念	(16)
第二节 食品的口腔加工	(24)
第三节 食品质地的感知	(34)
第三章 食品质地的感官评价	(48)
第一节 食品感官评价基础	(48)
第二节 食品质地性质的分类	(54)
第三节 食品质地的评价术语	(57)
第四节 感官质地剖面分析 (TPA)	(62)
第四章 食品质地测量的物理基础	(78)
第一节 应力与应变	(78)
第二节 弹性、塑性与断裂	(83)
第三节 黏性与黏弹性	(90)
第四节 食品物料的流变学分类	(105)
第五章 食品质地的仪器测量	(110)
第一节 压入型测量仪	(110)
第二节 挤压型测量仪	(131)
第三节 剪切型测量仪	(145)
第四节 压缩型测量仪	(154)
第五节 拉伸型测量仪	(168)
第六节 扭转型测量仪	(176)
第七节 弯曲与折断型测量仪	(195)
第八节 距离测量仪	(199)
第九节 时间测量仪	(210)
第十节 体积与面积测量仪	(218)
第十一节 其他测量仪器与方法	(221)
第十二节 通用测量仪 (UTM)	(232)
第十三节 食品质地仪器分析方法的建立	(236)
参考文献	(245)

第一章 食品质地学概述

第一节 食品质地的概念

在现代社会中，食品种类繁多，食品行业的竞争也越加激烈。最大限度地满足消费者需求已经成为食品生产的一个重要目标。那么，是什么因素在主导消费者选购食品呢？通过对消费者购买食品行为的研究，一般认为，食品的感官特性是促使消费者最终选购食品的主要原因之一。而就食品感官性质而言，大体上分为三个方面，即外观、风味和质地，其中占主要地位的是食品的风味和质地（图 1-1）。

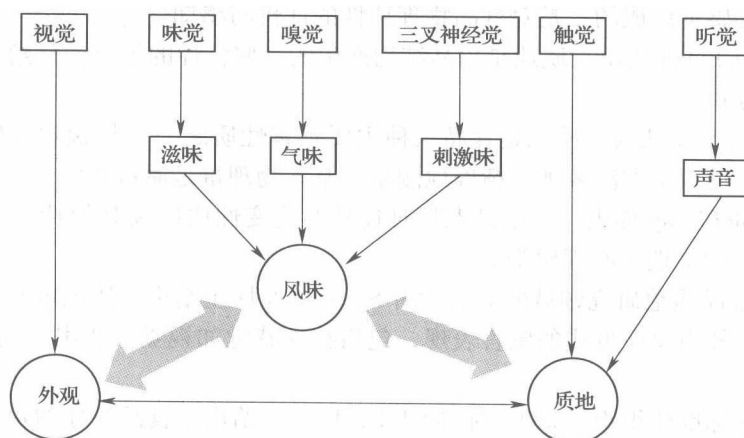


图 1-1 人类的感官与食品的感官性质

一、食品质地的定义

“质地”一词比较难定义，因为不同人有不同的理解，不同领域也有不同含义。在对食品质地的理解方面有一个历史发展过程。

（一）词典上的定义

“质地”的英文是 texture，来源于拉丁文 *textura*，是纺织物的意思，原意是指纺织物的组织结构、手感和外观。直到 17 世纪 60 年代，texture 一词才用于描述“与其自身组成及形成要素相关联的任何物质的构造、结构或属性（the constitution, structure or substance of anything with regard to its constituents, formative elements）”（Oxford English Dictionary, 1989）。

在汉语语汇中，“质地”通常是指纺织品的“质地”，木材、岩石等的“纹理”以及皮肤的“肌理”。其实，“质地”一词在词典上的释义对理解“食品质地”没有多大帮助，因为无论英语词典还是汉语词典，关于“texture”和“质地”的词条都没有涉及有关食品的释义。所以，食品科学家需要寻找它在食品领域的真正定义。

（二）早期的定义

“质地”一词开始用于食品领域时，通常是用来描述某些食品的特定性质。例如，1937年，Davis用“质地”一词描述干酪的孔眼、密实性、易碎性等方面的性质；1957年，Ball等人将肉的质地分为“视觉质地”和“触觉质地”，前者是指用眼可以看到的肉的宏观状态，后者是指用口腔感觉到的光滑性、细腻度等。这些早期质地定义只是针对个别食品而言的，不具有普遍性。当然，现在仍然有人认为“质地”一词对于不同的食品，其含义是不同的。尽管如此，目前普遍认为，“质地”一词适用于所有食品，并且具有一致的含义。

（三）质地的代表性定义

从20世纪60年代以后，随着食品质地研究领域的发展，许多研究者针对食品质地给出了自己的定义。下面列举几个具有代表性的食品质地定义。

1962年，Matz给出了一个经典的质地定义：质地是除了温度感觉和痛觉外，由口腔的皮肤或肌肉的感觉形成的，是对食品物理特性的评价与感知。

1970年，Sherman提出，质地是食品结构产生的一些特性的组合，是给生理感觉上留下印象的一种方式。

1973年，Kramer认为，质地是食品三种主要感官性质之一，与触觉等感觉关系十分密切，而且可通过力学方法客观、精确地测量，基本物理量是质量和力。

1987年，McCarthy提出，质地是人类对食品的流变性质以及其他特性（包括它们之间的相互作用）的生理-心理感知。

1990年，食品质地研究领域的著名学者Szczesniak博士给出了质地定义：质地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、肌肉运动知觉（动觉）和听觉。

而后，国际标准化组织（ISO，标准5492，1992）给出了食品质地的定义：质地（名词）是食品的所有力学特性（包括几何性质和表面性质），可用力学方法测定，可用触觉以及适当的视觉和听觉来感知。

英国标准化组织（BSO，No. 5098）对质地的定义为，质地是物理性质综合产生的特性，可由肌肉运动知觉、接触（包括口腔、触觉、视觉和听觉）等方式感知。该性质包括大小、形状、数目、组成结构要素的构造等。

2002年，伯恩（Bourne）给出了一个相对完善的食品质地定义：食品的质地性质是由食品结构要素产生的诸多物理性质的集合，主要通过触觉感知，与食品在力作用下的变形、断裂、流动有关，并可通过质量、时间和长度进行客观测量。

（四）食品质地定义的总结

虽然目前还没有十分令人满意的食品质地定义，但是关于食品质地的概念还是有许多共识的，现总结如下：

（1）质地是由食品结构产生的诸多物理性质的集合。

（2）质地性质不是单一一种性质，而是诸多性质的集合。

（3）质地属于食品物理性质中的力学或流变学性质，食品物理性质中的光学性质、电学性质、磁学性质、温度与热学性质等都不包含在食品质地概念中。

（4）质地性质中不包含化学感觉，如滋味和气味。

(5) 质地主要是通过触觉感知的，通常是在口腔中感知，但是有时也包括人体其他部位，如手、耳、眼等。

(6) 质地的客观测量可通过质量 (m)、长度 (l) 和时间 (t) 来表示。例如，力的量纲是 $m \times l \times t^{-2}$ ，功的量纲是 $m \times l^2 \times t^{-2}$ ，流量的量纲是 $l^3 \times t^{-1}$ 。

因为质地是由诸多不同的物理感觉构成的，所以伯恩教授建议最好称为“质地性质 (textural properties)”。但是，无论如何称谓，食品质地的概念内涵必须要清晰。

(五) 食品质地概念的讨论

由以上阐述可知，食品质地性质具有多面性。虽然多年来人们一直在不断完善这个概念，但是分歧仍然存在。这些都说明，食品质地领域仍然是有待发展的。食品质地作为一个概念，具有这种多面性，既说明它的复杂性，也说明该领域的研究尚不成熟。

1969 年，马勒 (Muller) 认为，对光的研究有两个不同的分支学科：一个是光学，即研究光的物理性质，包括反射、折射、光波理论等；另一个是视觉科学，即研究人类对光的生理和心理反应，例如视觉的形成、对颜色的感知、亮暗适应性等。他认为食品质地是个模糊的概念，很容易引起误解，并认为应该分为两个分支学科：一个是流变学；一个是触觉科学 (haptesthesia)。

虽然他的建议没有被广泛接受，但是至少说明食品质地概念中包含了两个方面的内容：一个是质地的物理性质，包括杨氏模量、剪切应力、黏度等；一个是质地的感官性质，包括口感、硬度、咀嚼性、胶黏性、黏附性等。为此也就构成了质地测定的两类方法，即客观仪器测量和主观感官分析。这两方面并不是分割开的，而是紧密相关的，因为只有被感知的物理性质才能成为质地性质。为此，质地概念中还包含了物理性质与感官性质的相关性，最终仍然要用感官性质来评判物理性质的有效性。这也说明，质地的本质是感官性质。这一点即是质地研究的出发点，也是质地研究的归宿。

二、质地与结构、黏度及流变学的关系

(一) 质地与结构

根据质地定义可知，质地是源于食品内在结构的。食品结构对食品质地的作用是十分重要的，它可以在分子水平以及在微观或宏观等不同层面来影响和决定食品的质地特性。但是，食品结构在概念、原理和测定方法方面都属于相对独立的研究领域。国外新近出版了有关专著，如 *Microstructural Principles of Food Processing and Engineering* (1999)、*Structure of Dairy Products* (2007) 等，读者可以参考。

在此还需指出，国内关于“texture”一词的译法有两种，即“质地”和“质构”。“质构”一词过去在汉语中没有，是根据英文“texture”用于食品方面时提出的新名词(《食品生物化学》，1982，第 20 页)。这里从字面上理解明显包含两层含义，即“质地”和“结构”。虽然结构对质地至关重要，但是质地与结构是两个不同的研究领域，在概念和分析方法方面存在一定差异。例如结构研究通常会使用电子显微镜、X 衍射等；而质地研究通常会用到感官分析和质地仪。其实，在汉语的“质地”一词中已经恰当地包含了结构层面的语义，而且在汉语中不同专业领域，“质地”一词都有使用，其含义和使用领域都与英文“texture”十分类似，所以译为“质地”是十分恰当的。文字语汇只是一种符号，关键还是要准确表达正确的概念内涵。

（二）质地与黏度

黏度的定义是流体的内摩擦力，或流体对抗流动的趋势。气体和液体都有黏度，只是气体的黏度这里不讨论，因为很少涉及纯气体食品。但是一些食品会含有气体。例如冰淇淋通常会含有 50% 的气体，苹果果肉通常含有 25% 的气体。一些挤压膨化食品，如玉米卷等，含有 90% 以上气体。

从直观上认识质地与黏度的区别，可以简单地说，质地适用于固体食品，而黏度适用于液体食品。这种区分听起来很清晰明白，然而，液体和固体之间的界线本身就是很模糊的。硬糖可以看作固体食品，牛奶可以看作液体食品；但是有许多固体食品呈现一些液体性质，而有些液体食品呈现一些固体性质。有些表面看起来是固体的食品，当应力增加到一定程度时会产生流动现象。正是由于固体和液体界线不清，所以在文献中有许多混用质地和黏度的情况。

从概念上讲，黏度是一个比较明确的物理量，而质地包含一系列物理性质，有些还不很清楚单位是什么。如果从概念上讲，黏度可以看作质地性质中的一个物理性质。

应当指出，液体食品的质地性质在感官特性中常常处于被忽略的地位。伯恩教授（1982）认为在不同类型食品中质地性质的重要性有区别，对于很稀的液体食品而言，如大多数饮料、稀汤汁等，质地性质是处于被忽略地位的。但是，这并不是说液体食品不存在质地，例如大多数饮料也都存在口感性质，如爽滑感、实物感等，即使是矿泉水也有涩感（涉及触觉）、爽口感等口感性质，这些也属于质地性质，而且对这类产品的感官性质来说也越来越重要。所以，根据食品质地的概念，可以认为，包括液体食品在内的几乎所有食品都存在重要的质地性质。所区别的是，固态或半固态食品的质地性质主要体现在咀嚼过程，而大多数液态食品的质地主要体现在饮用过程，而后者恰恰是目前食品质地学中研究较少的方面。

（三）质地与流变学

流变学是研究物质变形与流动的科学。流变学在许多领域都有应用，如染料、塑料、橡胶、化妆品、牙膏、食品以及血液等许多方面。本书第四章介绍有关基本概念。

食品流变学是研究食品原料、半成品以及成品的变形与流动的科学。在这个定义中，食品是指在工业、家庭厨房以及餐饮业中所有食品及食品配料和添加剂。

与食品质地学有关的还有心理物理学，它研究可测量刺激与相应心理反应的关系。还有心理流变学，它是心理物理学的一个分支，研究食品流变性质的感官感知，也包括研究消费者喜好与食品流变性质的关系。

食品的流变性质在食品感官可接受性方面的作用体现在以下三个方面：

（1）外观 食品的流变性质有一些在外观是可见的，例如番茄酱、酸奶、蜂蜜等，从容器内向外倾倒时，体现出可见的流动外观。

（2）风味 食品的流变性质一般不直接与风味相关，但是食物在口腔中的破碎、流动一般可以影响风味物质的释放。

（3）质地 食品的流变性质主要对质地产生影响。首先食品在手中会形成一定的“手感”，如面包、鱼等，可通过按压变形来判断其新鲜程度；而后，食品进入口腔后的咀嚼作用，特别是在咬第一口时，食品开始发生变形；其后形成食团，在吞咽过程中又发生流动行为。

但是，食品流变学没有完全囊括食品质地学的研究内容。主要表现在以下五个方面：

(1) 食物的大小、形状以及表面特性（如粗糙度）都是质地性质，直接与食物口感有关，而食品流变学不包括这方面。咀嚼是将食物加工成可吞咽食团的过程。其中一个主要环节就是将大块食物磨碎成小碎块乃至细末，在此过程中，食物的大小、形状以及表面粗糙度等都直接被口腔感知，形成食品的质地。

(2) 食物吸收液体（如唾液）或被液体润湿的性质以及释放液体的性质（如水果、煮肉）可形成特定的质地，而这方面不属于食品流变学的研究内容。

(3) 食物在口腔内有时会发生相转变，如奶油、巧克力、冰淇淋、果冻等，以此形成特定口感，这方面虽然有时被看作流变性质，但是这种相转变不属于流变学研究内容。

(4) 食品质地的测量方法和研究方法不局限在力学方法。例如食品的声学性质可以用于质地研究，如饼干等脆性食物在咬碎时会发出声音，这种特性与质地有关；再如选择西瓜、香瓜、蜜瓜时，可用手拍打，听其声音来判断成熟度；可以采用肌电图来研究食品在咀嚼过程中肌肉电流变化，以此研究食品质地等。

(5) 食品质地的测量方法更加注意与感官分析结果的相关性，为此，目前有效的质地测量方法是经验法；而食品的流变性质与感官分析结果的相关性有时并不令人满意。

总之，食品流变学与食品质地学之间在内容上有部分相似，但是学科本质和目标还是存在一定差异。当然，两者都是有待完善和发展的科学，特别是在概念、术语、物理量等方面都有待于科学化。如果说食品流变学还是“艺术”多于科学的领域，那么也许食品质地学要比食品流变学还会多一些“艺术性”的内容。

第二节 食品质地学发展简史

一、19 世纪至 20 世纪初食品质地的研究

食品质地学最早起源可以追溯到弹性理论和流体力学理论。1660 年，英国科学家胡克提出了固体弹性变形的胡克定律；1687 年，英国科学家牛顿揭示了简单液体的流动规律。这两位科学家所开创的科学理论至今仍然是食品质地学的基础理论。当然，食品质地学领域的形成也经历了一定的历史演变过程，如表 1-1 所示。

表 1-1 早期食品质地研究领域的主要事件

时间	人物	国籍	主要事件
1861	Lipowitz	德国	设计了第一台用于食品质地测量的仪器——凝胶穿刺仪
1884	Carpi	意大利	设计了测量冷却橄榄油以及其他脂肪的穿透仪
1886	Babcock	美国	在纽约州农业试验站设计了一个用于测量牛奶黏度的黏度计，一个铜制的 6.4cm 长的中空圆筒被一个长 1.1m 扭转金属丝悬挂起来。圆筒浸没在牛奶中，并开始振荡，用阻尼大小来测定牛奶黏度
1889	Schwedoff	法国	设计了基于扭转原理的测量胶冻的仪器，测定了硬度、黏度和松弛现象
1889	Hogarth	英国	获得了面团稠度测量仪设计的专利，该仪器与现代粉质仪原理相同
1891	Wood 和 Parsons	美国	描述了一种测量奶油的穿透仪

续表

时间	人物	国籍	主要事件
1893	Brulle	法国	开发了测定固体脂肪的穿透仪
1893	Sohn	英国	独立开发了与 Brulle 类似的仪器
1893	Kissling	德国	也开发了测定油脂和胶冻的穿透仪，不过是记录时间的
1895	Wender	美国	在 U 型毛细管黏度计中测定了脂肪氯仿溶液的黏度，以此测定了奶油和人造奶油的硬度
1896	Cobb	澳大利亚	用一副夹钳（模拟前齿咬的动作）测定了麦粒被切两半所需要的力，以此测定麦粒的硬度
1901	Lindsay	美国	通过测量水银玻璃管插入奶油的深度测定了奶油稠度
1904	Leick	德国	测定了明胶凝胶的杨氏弹性模量，表明该模量与明胶浓度的平方成正比
1905	Jeno von Hankoczy	匈牙利	开发了测定吹入小麦面筋中的气体体积的仪器，该仪器是面筋拉力测定仪的前身
1907	Kosutany	匈牙利	开发了面团拉伸仪
1910	Roberts	美国	也用了类似 Cobb 试验测定了麦粒硬度
1911	Meyeringh	荷兰	穿透试验测量奶油硬度
1912	Hunziker 等	美国	变形试验测量奶油硬度
1914	Perkins	美国	延续了 Brulle 和 Sohn（1893）的工作
20 世纪初	Brabender	德国	开发了一系列面团流变性质测定仪，在德国和美国建立了公司

穿刺测量仪是一种最简单的、使用最广泛的质地测量仪。第一台穿刺仪是由利波维茨（Lipowitz）在 1861 年研制的凝胶测定仪，如图 1-2 所示。该装置有一个直径为 1 ~ 2in（2.5 ~ 5cm）的平盘置于一个大烧杯中的明胶凝胶表面，这个平盘通过一个垂直铁杆与漏斗相连；向漏斗中缓慢加入铅弹，致使圆盘穿入明胶凝胶。那么，铅弹、漏斗、铁杆和圆盘的总质量就可以表征明胶的凝胶强度。这种早期仪器，虽然比较初级，但是已经具备了穿刺仪的基本要素，即探头（可以刺入食品）、可以连续增加的作用力（铅弹）和屈服点作用力的测量（通过刻度表读数，图中未画出）。该仪器就是著名的布卢姆（Bloom）凝胶仪的前身。

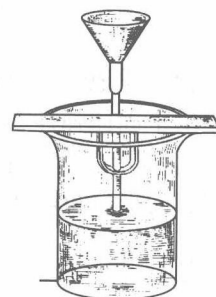


图 1-2 利波维茨（Lipowitz）凝胶仪

第二个食品穿刺仪是卡皮（Carpi）在 1884 年研制的，他在测量硬化油脂时使用了一个直径 2mm 的铁杆探头，测量了该探头在硬化油脂中穿刺 1cm 距离所需要的作用力。1893 年布鲁勒（Brulle）用相似的原理测量了奶油的硬度，开发出范多恩（Van Doorn）奶油测量仪。

第一台在果蔬产品中使用的穿刺测量仪是由美国华盛顿州的莫里斯（Morris）教授在 1925 年开发的。据此，开发成功了现在著名的马格尼斯 - 泰勒（Magness - Taylor，简写为 MT）测量仪、查蒂隆（Chatillon）测量仪和 EFFI - GI 测量仪，用于果蔬的硬度测量，

通常也称为果蔬压力仪、果蔬硬度计或水果硬度计等。后来，将穿刺仪用于肉类产品的测量，发展为阿穆尔（Armour）嫩度计。

二、20 世纪的食品质地研究及主要科学家

20 世纪以来，进入了食品质地学领域发展的重要时期。下面介绍的内容选自食品质地学领域的资深学者伯恩（Bourne）教授（2002）对食品质地学发展历程的回顾。

20 世纪初，如何测量凝胶硬度成为当时的研究热点。有许多学者做过这方面的研究，包括 Alexander（1906）设计的仪器获得了美国专利（Alexander，1908）；E. S. Smith（1909）也获得了美国专利。Bloom（1925）设计了凝胶测量仪，用于测量胶水、明胶等物质的凝胶强度，获得了美国专利。这就是现在仍然广泛使用的 Bloom 凝胶仪（冻力仪），在明胶工业中常用于测量明胶的冻力值。Tarr（1926，美国）开发了 Tarr - Baker 凝胶测定仪，用穿刺试验测量果胶凝胶的硬度。Sucharipa（1923，美国）尝试用压缩空气来测量果胶凝胶的硬度。

Goldthwaite（1909，1911，美国）描述了果冻的质地，从他的描述中反映出对质地多面性的认识。

Washburn（1910，美国）试图在概念上区分冰淇淋的“浓厚感”（body）和质地（texture）。Lehmann（1907，德国）设计了一台称为“Dexometer”的仪器，测定了肉的韧性，还测定了煮制过程中蔬菜的软化。该仪器可能是第一台用于测定肉的韧性的仪器。Willard 和 Shaw（1909，美国）用穿透试验测量了蛋壳强度，但是没有关于仪器的描述。华盛顿州立大学的 Morris 教授在 1917 年开发了第一台用于测量水果硬度的穿透仪，但是几年间没有发表他的结果（Morris，1925）。而同一时期的其他研究人员注意到了他的工作，并开发了自己的水果压力测定仪，在 Morris 前发表了（如 Lewis 等，1919；Murneek，1921；Magness 和 Taylor，1925）。

堪萨斯州学院的一位研究生，Lyman Bratzler，在他导师 Warner 教授的指导下研究了肉的韧性问题。他开发了一种机械剪切设备，其原理就是现在著名的 Warner - Bratzler 剪切仪（Warner，1928；Bratzler，1932，1949）。Tressler（1894—1901），这位在食品工艺学领域作出卓越贡献的科学家，基于穿刺原理开发了一台肉类嫩度仪，并认为比 Warner - Bratzler 剪切仪好用（Tressler 等，1932；Tressler 和 Murray，1932）。他将 Warner - Bratzler 剪切仪称为“捕鼠器”，可能是因为该仪器在完成肉块切割后有一个急速返回动作。Pitman（1930）开发了类似 Warner - Bratzler 的剪切试验仪，测定了杏仁的硬度。Tauti 等（1931，日本）开发了测定生鱼硬度的物理试验。

Bingham（1914）开发了 U 型管黏度计，并利用气体加压，他将之称为“塑度计（plastometer）”。应用该仪器，Herschel 和 Bergquist（1921）测定了淀粉糊的稠度，Porst 和 Moskowitz（1922）测定了加工玉米制品。

Davis（1921，美国）设计了一种三个平行杆试验装置，用于测定饼干的断裂强度或脆性，并称之为“脆性仪”。后来经过 Fisher（1933）改进。Hill（1923，1933，美国）开发了 Hill 凝块测定仪，用于测定干酪凝块硬度；Babcock（1922，美国）开发了一种铅锤降落试验装置，用于测定搅打稀奶油的硬度；Vas（1928，荷兰）开发了针入度仪，用于测定干酪凝块的硬度；Knaysi（1927）开发了落球黏度计，测定了乳酪的黏度。

Stewart (1923) 发现爆开的爆粒玉米体积与爆粒玉米的品质相关性很好。Sayre 和 Morris (1931, 1932) 测定了从甜玉米中挤出的汁液体积, 并认为该试验可用于甜玉米的品质测定。该试验装置最后发展为汁液测定仪 (Succulometer) (Kramer 和 Smith, 1946)。

在流变学领域, 一位值得特殊记忆的学者是 George W. Scott Blair 博士 (1902—1987)。他是英国人, 是流变学的奠基人之一, 他不仅在食品流变学方面具有开创性贡献, 而且在土壤、塑料以及生物等领域的流变学方面也有开创性成果。他著有 250 多篇文章, 主编了 7 部专著。由于早期他在面粉方面的工作 (Scott Blair 等, 1927) 以及后来 20 世纪 30 年代至 50 年代在乳制品和心理流变学方面的贡献, 他被誉为食品流变学之父。1929 年, 他在康奈尔大学的公休假期期间出席了在华盛顿特区的一个会议, 在这次会议上正式采用了“流变学”一词, 并成立了美国流变学协会。他也是英国流变学协会的创办成员和协会主席。

还有许多科学家在食品质地科学与技术的发展方面作出了贡献。他们当中有的已经退休, 有的已经故去。他们是:

Amihud Kramer 博士 (1913—1981), 马里兰大学的园艺学教授, 将质地作为果蔬的一个重要质量特征进行研究, 并取得很大进展; 而且领导开发了至今广泛熟知的克雷默 (Kramer) 剪压仪。

Laurie Lynch (1900—1974) 在澳大利亚开发了多针头穿透测量仪, 称为成熟度仪 (Maturometer), 用于青豆的质地和成熟度测定, 并且研究了青豆的质地、成熟度和化学组成之间的量化关系。

Toshimaro Sone 博士 (1925—1984) 在日本较早地运用基础流变学方法, 研究乳制品的质地, 并研究了这些性质与内在结构的关系。

Birger Drake 博士, 瑞典人, 在质地学研究方面作出许多贡献, 包括如何分析食品的声学性质, 使之成为食品的一个重要质地品质, 特别是对于脆性食品这方面很重要。

Alina S. Szczesniak 博士 (现已退休), 是通用食品公司 (General Foods Corporation) (现在是卡夫 Kraft 食品公司的一部分) 的首席科学家, 她阐明了质地的多维本质及其对消费者的重要性, 提出了质地剖面分析的仪器测量和感官分析。她还是 *Journal of Texture Studies* 杂志在 1969 年的创刊主编, 并在此担任 10 年。该杂志在 1981 年为纪念她的成就出版了纪念文集 (*Journal of Texture Studies* Vol. 12 issue 2, 1981)。

Kramer 教授和 Szczesniak 博士分别获得了 1976 年和 1985 年的 Nicholas Appert 奖, 该奖项是 IFT (Institute of Food Technologists) 授予其成员的最高荣誉。1999 年, Szczesniak 博士由于在质地学领域的出色贡献, 被 IAFST (International Academy of Food Science and Technology) 指定为特别会员。

Peter Voisey (现已退休), 加拿大农业工程师, 应用了许多新的技术工程原理, 改进和完善了很多广泛应用的经验型测量仪器, 开发了渥太华质地仪 (Ottawa Texturometer) 以及一些配件, 用于同一台设备上的不同测量试验。他强调使用标准量纲和质地测量仪的校正。

Philip Sherman 博士, 现为英国伦敦大学的食物流变学名誉教授, *J. Texture Studies* 杂志的创刊主编, 在此工作 24 年。他极大地加强了质地测量的流变学方法, 建立了测量口腔中通常剪切速率的经典试验。为纪念他的工作, *J. Texture Studies* (Vol. 26 issue

4, 1995) 杂志出版了他的论文专辑。1999 年, Sherman 教授也被 IAFST (International Academy of Food Science and Technology) 指定为特别会员。

Donald Hamann 博士 (1933—1996), 美国北卡罗来纳州大学食品科学教授, 他较早开展了扭转、压缩和拉伸试验, 并设计了扭转凝胶仪, 阐述了食品凝胶断裂性质的原理。

David Stanley 博士, 现为加拿大圭尔夫大学食品科学名誉教授, 在食品质地的结构基础方面研究突出。还有 John de Man 博士, 也是加拿大圭尔夫大学食品科学名誉教授, 在脂肪与脂肪基质食品的质地与结构方面贡献很大。

还需补充介绍一下伯恩 (Malcolm C. Bourne) 博士, 他早年毕业于澳大利亚的阿德莱德 (Adelaide) 大学, 后来在美国加利福尼亚州大学获得硕士和博士学位。他于 1962 年进入康奈尔大学, 于 1995 年退休并成为康奈尔大学的名誉退休教授。多年以来, 他一直在康奈尔大学的纽约州农业试验站工作。1973 年至 1985 年间, 他在康奈尔大学教授食品流变学的研究生课程, 1977 年至 2001 年间还讲授过“国际采后食物体系”等专题课程。他是 *J. Texture Studies* 杂志的主编。1992 年, 他获得了食品技术专家学会 (IFT) 授予的国际奖; 1993 年, 他获得了美国谷物化学家协会授予的食品流变学 Scott Blair 奖。他发表了 120 多篇学术文章, 参加编写了多部食品方面的专业百科全书。1982 年, 他的著作 *Food Texture and Viscosity, Concept and Measurement* 一书出版, 该书在 1994 年重印, 并于 2002 年出版了第二版。

所有这些在食品质地研究方面有卓越贡献的科学家, 他们对质地学的发展起了关键作用。其实, 从 20 世纪 80 年代以后, 在食品质地研究领域还有许多科学家这里没有列出, 而且在未来还会有更多的食品科学家投身于这方面的研究, 因为食品质地方面已经形成独特的领域, 并且越来越受到消费者的关注。

第三节 食品质地分析方法的类别

一、质地分析方法的分类依据

食品的类型如此广泛, 其表现出的质地性质和流变性质也是多种多样的, 因此, 需要采用各种不同的方法来分析和测量如此多样的性质。为了深入了解各种食品体系的特性以及测量食品质地方法的原理, 有必要把食品以及食品质地测量方法进行分类。目前, 已经提出了一些分类方法。

可以根据所测食品类别来对质地测量方法进行分类, 如用于测量谷物、肉类、鱼类、禽类、蔬菜类、水果类、乳制品、油脂、饮料、豆类、乳状液、糖果、油料种子 (大豆、花生等) 和其他杂类。也可以根据质地性质的类别分类, 但是比较合适的分类是按照所使用的测量类型进行分类, 因为许多质地测量方法不仅仅适用于一种类型食品。当食品放入口中, 其结构受到咀嚼作用的破坏, 最终形成可吞咽的食团。无论是何种食品, 在口腔中都要经过基本的咀嚼作用。因此, 按照这个原理, 应该将食品质地测量的重点放在所用测量的类型上, 而不是食品类型。

二、仪器测量法与感官评价法

表 1-2 所示为用于食品质地的测量方法类型。这些方法可分为仪器测量法 (用仪器

测量分析)和感官评价法(用人的感官分析)。仪器测量法又可分为直接测量法(直接测量材料的真实质地性质)和间接测量法(测量与一项或多项质地性质相关的一些物理性质)。感官评价法可分为口腔法(用口腔进行评价)和非口腔法(用口腔以外的人体器官,如手指、眼睛等)。感官评价法参见本书第三章。

表 1-2

食品质地测量方法的类别

仪器测量法		感官评价法	
直接法	间接法	口腔法	非口腔法
基础测量法	光学法	力学方面	手指
经验测量法	化学法	几何学方面	手
模拟测量法	声学法	化学方面	眼睛
	其他		其他

三、直接仪器测量法

在直接测量食品质地的仪器方法中，一般分为以下三类：

(一) 基础测量法

基础测量法主要是用来测量食品的流变学性质，这些性质通常以具有明确含义和单位的物理量来表示。在使用这类方法时，必须清楚一点：这些测量方法通常是材料科学领域的方法，主要用来测量建筑材料、工程材料的；因此，这些方法对于评价食品在口腔中的咀嚼和感知不一定有用。其实，材料科学家与食品科学家的工作目标常常是相反的。前者测量材料的力学性质，目的是设计一些结构坚固、能够抵抗外力作用的材料，使之不易折断；后者测量食品的力学性质，通常是为了弱化它的结构强度，这样便于咀嚼和吞咽，并在此过程中形成良好口感。

例如，一般刚采收的谷物粒都比较坚硬，不易咀嚼。而谷物加工的目的就是将之转化为容易咀嚼的状态，如小麦转化为面包、玉米转化为玉米饼等。

再如，在材料测量时，把待测样品碎裂成两半就可以了，由此可以获得材料的一系列力学性能参数，不用再继续破碎样品；而在食品质地测量时，把食品样品碎裂成两半不过是测量过程的开始，还需要继续将之破碎成更碎、更小的状态。所以，可以认为食品质地测量更多关注的是食品样品的“弱度（weakness）”，而不是“强度（strength）”。

在基础测量时，一般有三点假设条件：

- ① 应变较小（最大应变的 1% ~ 3%）；
- ② 材料是连续的、各向同性的（即在各个方向上物理性质均相同）、均一的；
- ③ 待测样品是均匀的、形状规则的。

在食品质地测量中，上述三点假设一般不容易满足。

此外，基础测量法一般测量速度比较慢，与感官评价结果相关性较差（不如经验测量法），而且设备仪器较贵。这类方法在食品工业中使用较少，多数是在实验室中应用。Szczeniak（1963）恰当地评价了基础测量法的使用状况：

“由于大多数食品物质并不具有简单的流变学性质，不依赖于应力和应变条件，而且因为流变学性质的测得结果和具体含义，除了有助于了解成分的功能性质以外，对于实际的质地感知并无实际意义，所以对于食品科学家而言，基础测量法的最大价值是为开发更具有实际应用价值的经验测量法提供基础和依据。”

(二) 经验测量法

经验测量法所测量的参数与食品质地性质相关性较好，但其物理含义一般不很清晰。这类方法是食品工业中使用最广泛的质地测量方法。这类测量具有易于操作、快速、仪器廉价等特点，主要问题是所测参数的物理意义不明确、测量操作比较任意、缺乏统一的标准、有时只适用于少数种类食品。由于这类方法在测量食品质地性质方面比较成功、在食品工业中使用比较广泛，因此本书将重点介绍。

根据 Bourne (2002) 的建议，应该重点研究这类测量方法为什么会成功测量食品的质地性质，研究它们的测量原理，使得这类测量方法更加有效，更加科学、严格。

(三) 模拟测量法

模拟测量法是模拟食品材料在实际中所遇到的情况。这一类别的测量方法可以看作是经验测量法的一个亚类，它不同于基础测量。例如，粉质仪以及其他面团测量仪就是模拟面包生产中面团的处理过程。

理想的质地测量方法应该兼顾三种方法的优点，而克服它们的缺点。目前，还没有制造出理想的质地仪，经验法使用的还是最多的。未来质地测量的发展趋势就是从经验法逐步转向理想质地仪测量，汲取基础法和模拟法中的优点，逐步完善经验法。

四、各类质地仪测量的变量

食品质地的仪器测量法还可以根据试验所测定的变量进行分类，这是由 Bourne 博士提出来的，如表 1-3 所示。这种分类方法不是根据食品质地类型分类的，而是根据测量原理分类的。这是基于这样的假设，即所有食品在咀嚼过程中都要变成食团，那么在这些食品中一定存在共同的质地结构要素，而这些结构要素不受食品类别的限制。

表 1-3 食品质地的客观测量法

测量方法	测量变量	量纲	举例
1. 力	力 (F)	mlt^{-2}	
穿刺	力 (F)		M-T 穿刺仪
挤压	力 (F)		剪压仪、嫩度计
剪断	力 (F)		沃-布剪切仪
压碎	力 (F)		—
拉伸	力 (F)		—
扭转	力 (F)		旋转黏度计
弯曲	力 (F)		布拉本德 (Structo Graph) 结构仪
变形	力 (F)		—

续表

测量方法	测量变量	量纲	举例
2. 距离			
	长度	l	针入度仪 变形法
	面积	l^2	格莱威米尔 (Grawemeyer) 稠度计 ^①
	体积	l^3	面包体积 果汁体积
3. 时间	时间 (t)	t	奥氏黏度计
4. 能量	功 ($F \times D$)	$ml^2 t^{-2}$	—
5. 比例	力、距离或时间	无量纲	相对密度计
6. 通用型	力、距离或时间	mlt^{-2} 、 l 、 t	英斯特朗 (Instron)
7. 多变量	测量时几个变量同时变化		—
8. 化学分析法	浓度	无量纲 (%)	乙醇不溶性固形物
9. 其他			光密度、声音

注：① 格莱威米尔 (Grawemeyer) 稠度计 (1943 年) 后来衍化为亚当斯稠度计 (Adamsconsistometer) 和塔克玉米糊测量仪 (Tuccream corn meter) (1946 年)。

第四节 食品质地学在食品中的应用

毫无疑问，食品质地学在改善食品的感官性质、研发新食品、严格食品品质控制等方面具有广泛的应用。通过后面章节的介绍，读者对这方面会有一些具体的认识。下面只针对食品质地的作用、与食品加工和人体健康的关系等方面给予简要介绍。

一、食品质地 in 食品工业中的重要性

如前文所述，质地性质是一种食品感官性质。对食品质量而言，一般认为有以下 4 个主要方面：

- (1) 外观 如颜色、形状、大小、光泽等，一般可通过视觉感知；
- (2) 风味 包括滋味（舌头感知）和气味（鼻腔感知），来自鼻腔和口腔中的感受器对化学刺激物的反应，也称为化学感觉。
- (3) 质地 主要是触觉对物理刺激的反应，是食品与人体某个部位接触时产生的。触觉是感知食品质地的主要方法，此外，还有动觉 (kinesthesia)（也称为肌肉运动知觉，对运动和位置的感觉）、视觉（如塌陷程度、流动速率等）和听觉（与脆性质地有关）也可以用于食品质地的评价。
- (4) 营养 包括宏量营养素（碳水化合物、蛋白质、脂类等）和微量营养素（矿物质、维生素等）。