

Food

A Series of Food Science
& Technology Textbooks

食品科技
系列



普通高等教育“十三五”规划教材

“十二五”江苏省高等学校重点教材



食品物性学

姜松 赵杰文 等编著



化学工业出版社

Food

A Series of Food Science
& Technology Textbooks

食品科技
系列



普通高等教育“十三五”规划教材

“十二五”江苏省高等学校重点教材（编号：2015-2-015）

食品物性学

姜松 赵杰文 等编著



化学工业出版社

·北京·

全书共分 10 章, 主要包括绪论, 食品的基本物理特征, 食品的流变力学特性, 食品质地及其评价, 散粒食品的力学特性, 食品的流体动力学特性, 食品的热特性, 食品的光学特性与颜色, 食品的电磁学特性, 食品的声特性。

本书可以作为高等学校食品科学与工程、食品质量与安全、粮食工程、乳品工程、酿酒工程、葡萄与葡萄酒工程、食品营养与检验教育、烹饪与营养教育等食品科学与工程类专业学生的教材, 也可以作为食品行业科技人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

食品物性学/姜松等编著. —北京: 化学工业出版社, 2015. 6
ISBN 978-7-122-23595-4

I. ①食… II. ①姜… III. ①食品-物性学-高等学校-教材
IV. ①TS201. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 070168 号

责任编辑: 赵玉清

文字编辑: 魏 巍

责任校对: 吴 静

装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 20 字数 522 千字 2016 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

判天地之美，析万物之理。

——古代著名哲学家庄子：《庄子·天下》

前言

食品物性学与食品生物化学、食品微生物学、食品化学等课程一样，是食品科学与工程专业的专业基础课程，是物理学在食品科学与工程学科的延伸。是判食品之美和析食品之理的重要基础学科。

食品物性学是一门食品工程的材料物理学，又称食品物理学。

本书内容包括：绪论，食品的基本物理特征，食品的流变力学特性，食品质地及其评价，散粒食品的力学特性，食品的流体动力学特性，食品的热特性，食品的光学特性与颜色，食品的电磁学特性，食品的声特性。

本书的特色是全书框架结构比较全面，与经典物理学的力学、热学、光学、电磁学、声学等相呼应。在绪论中系统地阐述了食品物性学作用、地位、发展历史和研究方法，并引入黑箱法、食品超常物性等概念。根据食品力学特性内容的丰富性和独立性，分成了流变力学特性、食品质地及其评价、散粒体力学特性、流体动力学特性。引入了一些最新科研成果，如禽蛋体积估算方法、挂面抗弯能力和弹性模量的后屈曲检测方法、禽蛋（散粒体）大小头定向方法等。为了进一步帮助学生理解理论知识，培养学生运用知识的能力，拓宽学生的视野和思路，弥补因教材篇幅限制而造成的局限，在各章最后增设了“阅读与拓展”、“思考与探索”栏目，提供了与章节内容相衔接的参考文献和思考题，并在附录中增加了食品行业（加工业和制造业）分类、食品工业基本术语、食品专业主要学术期刊，供学习参考。

本书可以作为高等学校食品科学与工程、食品质量与安全、粮食工程、乳品工程、酿酒工程、葡萄与葡萄酒工程、食品营养与检验教育、烹饪与营养教育等食品科学与工程类专业学生的教材，也可以作为食品行业科技人员的参考书。

本书第一章由姜松、赵杰文（江苏大学）编写，第二章、第五章由姜松、孙宗保、朱帜、张磊（江苏大学）编写，第三章、第六章由姜松、蒋振晖、朱帜（江苏大学）编写，第四章、第七章由姜松、张海晖、朱帜（江苏大学）编写，第八章由林颢、赵杰文、陈斌（江苏大学）编写，第九章由周家华（华南农业大学）编写，第十章由徐斌（江苏大学）编写，附录由姜松、赵杰文、朱帜（江苏大学）编写。全书由姜松、赵杰文统一定稿。由于作者水平有限，书中的错误和不足在所难免，恳请读者批评指正。

编著者

2015年1月于江苏大学静湖

目 录

第一章 绪论 /1

第一节 食物物性学的定义和地位	1	第五节 食物物性学的研究方向及应用 ...	11
第二节 食物物性学研究的特点和内容	1	【阅读与拓展】	12
第三节 食物物性学的发展历程	3	【思考与探索】	13
第四节 食物物性学研究的目的和方法	7		

第二章 食品的基本物理特征 /14

第一节 形状、大小和分布	14	应用	29
第二节 密度	24	【阅读与拓展】	32
第三节 孔隙率	27	【思考与探索】	32
第四节 基本物理特征在食品工程中的			

第三章 食品的流变力学特性 /33

第一节 理想材料的力学性质	34	第五节 液体食品的流变力学特性及其	
第二节 黏弹性材料的流变特性	35	测定	62
第三节 流变模型及流变方程	36	【阅读与拓展】	76
第四节 固体食品的流变力学特性及其		【思考与探索】	76
测定	47		

第四章 食品质地及其评价 /77

第一节 食品的品质与质地	77	第四节 食品质地的仪器评价	110
第二节 食品质地定义与分类及研究		【阅读与拓展】	127
方法	78	【思考与探索】	127
第三节 食品质地的感官评价	81		

第五章 散粒食品的力学特性 /128

第一节 摩擦性	128	第七节 物料对容器的压力	143
第二节 黏附性与黏聚性	133	第八节 食品工业中散粒体力学特性的	
第三节 散粒体的变形与抗剪强度	134	应用	145
第四节 散粒体的流动特性	136	【阅读与拓展】	148
第五节 离析和混合	141	【思考与探索】	148
第六节 压缩流动	143		

第六章 食品的流体动力学特性 /149

第一节	流体对物料的作用力和阻力	应用	158
	系数	【阅读与拓展】	165
第二节	颗粒的临界速度及其应用	【思考与探索】	166
第三节	流体动力特性在食品工程中的		

第七章 食品的热特性 /167

第一节	水和冰的热特性	【阅读与拓展】	194
第二节	食品的热特性及其测定	【思考与探索】	195
第三节	热特性在食品工程中的应用		188

第八章 食品的光学特性与颜色 /196

第一节	光的基本性质	第五节	图像检测技术	227
第二节	颜色的基本表征系统	【阅读与拓展】		239
第三节	食品光特性检测模式及系统	【思考与探索】		240
第四节	光谱检测技术			217

第九章 食品的电磁学特性 /241

第一节	概述	第四节	电磁学特性在食品加工中的	
第二节	食品的电磁学特性	应用		261
第三节	电磁学特性在食品分析检测中的	【阅读与拓展】		276
	应用	【思考与探索】		276
				255

第十章 食品的声特性 /277

第一节	声特性的基本概念和基本	第三节	超声波技术在食品工业中的	
	理论	应用		290
第二节	声特性在食品工业中的	【阅读与拓展】		293
	应用	【思考与探索】		294
				286

参考文献 /295

附录 /297

一、食品行业分类	297	三、食品专业主要学术期刊	308
二、食品工业基本术语	299		

第一章 绪论

第一节 食品物性学的定义和地位

食品物性学是以食品（包括食品原料及中间产品）为研究对象，研究食品系统的物理结构、性质和变化及其机理的一门科学。食品物性学是物理学领域中的一个分支学科，在课程性质上与食品化学相对应，所以又称为食品物理学。

食品的性质由其组织结构和材料的组成成分所决定，对于食品原料（农产品）的性质来说，影响因素还有生理活动，因此，食品的性质可分为生物学特性、化学特性和物理特性等。食品物性学是食品科学与工程领域的基础学科，主要研究各种食品带有共性的物理特性，研究内容主要属于物理学范畴。

长期以来，人们总是认为化学组成是决定食品性质的主要因素，这一点现在也是不可否认的，但是这并不是说研究化学组成能使人类完全或很好地认识食品的所有性质，这主要是因为食品的物理结构是基本的、也是复杂多变的。人们要想正确地表述观察到的表象，解释这些表象，并探求发生这些表象的机理，从而控制这些变化，得到消费者接受和喜爱的产品，没有物性学的科学知识和手段是做不到的。食品物性学是从物理学角度研究食品的组成、成分的结构、物理性质及其在食品加工、贮藏、品质检测、运销中的变化和品质控制的科学，它是食品科学以及与食品有关的各学科的重要理论基础。

食品化学、食品物性学和营养生理学被称为食品加工利用研究领域非常重要的三大基础学问。食品物性学着重于探讨和刻画不同化学组成、不同构造的食品所表现的物理性质，借此为食品加工、检测、分级、品控、储运、管理乃至消费等各环节提供科学的技术数据，并为食品设备的研究和设计提供直接的基础信息。

物性学研究涉及所有的学科专业领域，可以把物料理解为所有学科专业领域的研究对象（广义物料），由此形成不同学科专业领域的物性学（物理学），如生物材料物性学（生物材料物理学）、无机材料物性学、工程材料物性学、石油物性学和地质物理学等；而且也可以把物性广义地理解为物理特性、化学特性和生物学特性等（广义物性）；因此，可以统称为（广义）物料物性学。

第二节 食品物性学研究的特点和内容

一、食品物性学研究的特点

1. 食品对象的复杂性、多样性 食品是一个非常宽泛的概念和非常复杂的物质系统。从加工上来看，食品包括初级原料（如粮食、水果和蔬菜等）、中间产品、半成品和成品等类；从形态来看，有液体、凝胶状、固态和半固态等各类食品；从组成上来看，大部分食品都属

于复杂的混合物，包括有机物、无机物，还有细胞结构的生物体，且多为非均质结构。因此，食品、生物材料，以及一般非生物材料在物性方面存在很大差异，其研究方法亦不相同。

2. 食品全生命周期内存在多变性及外在作用的多样性 食品从其最初的原料收获开始直至被人们所消费的全生命周期里，都存在着两方面的作用：一是来自食品内部生物体的各种生理作用及与环境的交互作用；二是来自人们对其处理所施加的各种机械的、热的或其他物理的作用。这两方面的作用都影响或改变着食品的物性。因此，食品物性研究具有全局性特点，相对食品工程中不同的单元操作，物性研究应区别其主次性质。

3. 食品物性中人的感官评定 食品的终极目的是满足人们的物质需求，人作为食品的生产 and 消费主体，食品的感觉性质构成食品物性的一个重要方面。因此，有关感觉性质的仪器量化、科学重现、信息交流与共享方面的研究也构成食品物性学研究的重要内容。

4. 食品物性学是一门牵涉多学科领域的科学 研究时应掌握一定物理学、物理化学、食品生物化学、高分子化学及食品工程原理等基础知识。同时它也涉及生物学、生理学和心理学等学科内容，所以应注意综合运用这些知识。

5. 食品物性学是一门实践性比较强的科学 研究学习时，要求对食品加工有较多的实践经验。食品物性学研究往往没有现成的模型或测试仪器，需要自己设计测试装置或由实验结果建立模型。只有这样才能真正掌握这门科学，并做到善于应用它去解决食品开发中的各种问题。

6. 食品物性学的理论体系有待于进一步完善 有许多领域的研究还仅仅是一些初步的试验，系统的结论还需在今后长期的研究成果中提炼。所以，研究学习时要善于综合联想、大胆创新、举一反三并开拓新的研究思路，不仅真正掌握它的研究方法，而且能对食品物性学体系的形成作出贡献。

二、食品物性学的主要内容

尽管食品物性研究具有复杂的个性和鲜明的特色，但科学研究的重要方法就是去粗取精，求同存异。食品物性学研究的主要内容包括如下几大方面。

1. 食品的基本物理特征 食品的基本物理特征包括形状、尺寸、粒径、粒度分布、体积、孔隙率、形状系数；重心、重量、密度；面积、表面特征；宏观和微观结构等。

2. 食品的力学性质 研究食品及原料在力的作用下产生变形、流动、振动和破断等规律。食品的力学性质是食品品质感官评价和质地仪器评价的重要内容，是食品生化变化的外部体现，是食品机械设计和食品工程设计的重要基础，包括流变特性、一般力学特性、质地检测与评价、散粒体力学特性和流体动力学特性。

3. 食品的热学性质 研究食品在热加工过程（如干燥、熟化、冷冻等）中，所表现出来的比热容、潜热、相变规律、传热规律及与温度有关的热膨胀规律等。食品的热物性不但是食品冷、热加工中的主导物性，而且也是研究食品微观结构的重要手段。当前，冷热操作除作为食品工程的一些基本单元外，还用于食品的品质改良中。

4. 食品的电磁性质 指食品及其原料的导电特性、介电特性以及其他电磁物理特性。电磁学性质的研究领域主要在食品品质状态的监控（尤其是食品的非破坏性检测方面）和电磁物理加工两方面。前者是利用食品电磁性质与其成分、状态变化的互动规律，用电测传感器方法来检测和评定食品质量或状态；后者是用电磁物理技术（静电场技术、电磁波技术、电热技术、电渗脱水技术、磁处理技术等）对食品进行加工处理。在电磁物理加工中，一方面要研究被处理对象的物性，另一方面要研究改变对象物性的电磁物理参数。

5. 食品的色光学性质 研究食品物质对光的吸收、反射以及其对感官反应的性质。其研究及应用的领域主要在以下两方面：即通过光学性质测定食品成分和食品色泽的研究与利用。食品成分的变化可引起其光学性质的变化，而光学性质的测定具有快速、准确、简单、无破坏等特点，所以无论在仪器分析还是生产加工的在线检测方面，光学性质正日益受到重视；在光学性质应用方面最具有代表性的装置是色选机，该装置通过物料（各类种子、加工后的大米、水果等）的色度差异来分选物料，已被广泛应用。

6. 食品的声学性质 食品的声学品质检测和声波加工技术是建立在食品声学性质上的一门应用技术，尤其是超声波技术不但广泛用于食品性质检测中（比如非破坏检测芒果成熟度，非接触检测挤出机筒内物料特性等），而且在利用超声波的机械能方面，诸如超声雾化、超声均质、超声杀菌、超声辅助萃取、超声食品质量检测等技术和装备也普遍得到应用。

由上可见，食品物性学研究内容包罗广泛、涉及基础学科多。正如唐代王勃说：“天下之理不可穷也，天下之性不可尽也”。中国古代著名哲学家庄子说：“判天地之美，析万物之理”。食品物性学研究正是在做这两方面的研究，而且是永无止境的。

随着高新技术的不断涌现，对食品的物性研究和物性利用会越来越得到加强。可以说，食品物性研究的内容体现在两个层面：一是客观地认识和表征食品对象，对其信息进行科学的量化、管理和评定；二是物性的分析综合及其利用方面，使食品在生命全过程中所受到的外部物理作用充分有效地适应，并利用所面向的对象的属性，为食品工程和设备设计提供基础数据。

第三节 食品物性学的发展历程

根据闻诗编著的《物性学》一书和物理学名词解释，物性学是物理学的内容之一，是研究有关物质的气、液、固三态的力学和热学性质的科学。物性学原是研究物质三态的力学性质和热性质的学科。随着对物质性质的深入研究，逐渐由力学和热学扩展到电磁学和光学等方面，物性学所涉及的范围越来越广，已不再作为一门单独的学科，而将其内容分别纳入其他有关的学科。

食品物性学是研究食品物理特性的学科，即食品物理学。它是一门新兴的科学，同许多其他学科物理学一样，如农业物理学、生物物理学、材料物理学、医学物理学、心理物理学、环境物理学等，都是随着现代科学技术的发展逐渐形成的，是物理学在具体学科领域的延伸。食品物性学发展的初始基础主要是食品黏弹性理论的建立和发展，较后是热物理论、电磁理论和色光理论等在食品学科领域应用，使之逐步形成了框架比较完整的一门学科。随着食品生产向规格化、规模化、标准化、精确化和工业化方向发展，食品物性的研究才逐渐受到重视，尤其是近 40 年来取得了很大发展。

食品物性学最早起源于对食品黏弹性理论的研究。而黏弹性理论的发展，如果从虎克、牛顿等人奠定的弹性理论和流体力学理论算起，距今已有 300 多年历史。然而，作为食品物性的黏弹性研究，却是 20 世纪初随着面包制作工业化的发展，在欧美等国开始的。尤其是第二次世界大战后，西方国家劳力短缺，属于家庭劳作的主食加工迅速走向工业化和社会化生产。这一巨大变革，使食品物性学的研究同其他食品科学分支一样，迅速建立并发展起来。

在食品物性学中，发展最早的是食品力学方面的研究，食品力学的中心是食品流变学。对物料受到外力作用后会发生形变和流动（流变）这一现象，古人在劳动实践中早有观察和

认识。希腊哲学家 Heraclitus 称之为“万物皆流”，即一切皆流、一切皆变的意思。我国先哲孔子也说过“逝者如斯夫”，意即“一切都在流动”，与希腊哲学家表达了同样的意思。所有这些可看作是对物料流变行为宏观、感性上的认识，还不能看作等同于现代科学意义上的流变学概念。流变学 (rheology) 一词来源于古希腊的动词“流动”，它最早出现于 1879 年，当时英国测量流体黏度的小型黏度计称为微流变仪 (microrheology)。1901 年德国出现了“rheologie”一词，仅指研究水的流动的科学，其目的在于与水的静力学分开。这时候都还没有给出“流变”或“流变学”明确的科学定义。这个词在当时的出现和使用可看作是偶然的，还不能看作流变学作为一门学科已经建立。

1920 年美国物理化学家宾汉 (E. C. Bingham) 对油漆、黏泥浆和印刷油墨的流动性进行研究，并指出物料的流动与形变的关系十分重要。在流体力学和黏弹性理论两大理论的基础上，提出了“rheology”，即“流变学”的概念。“reo”出自希腊语，是流动的意思。1929 年他倡导在美国创立流变学学会 (the Society of Rheology)，根据应力、应变和时间来研究物料的流动和形变的规律，这一学科被称为流变学，并肯定它是物理学的一个分支。同年，《流变学家协会会志》创刊。1932 年，荷兰皇家科学院成立黏度协会，1950 年改称荷兰流变学学会。1940 年，英国成立流变学家俱乐部，也于 1950 年改称英国流变学学会。此后，德国、法国、日本、瑞典、澳大利亚、捷克、意大利、比利时、奥地利、以色列、西班牙、印度等国先后成立各自的国家流变学学会。为进行国际间的学术交流，首届国际流变学会议于 1948 年 9 月在荷兰召开。以后每隔五年，在不同的会员国召开一次会议。到 1961 年，《国际流变学学报》创刊 (1975 年下半年又从季刊改为月刊)。Truesdell 在 1963 年的第四届国际流变学会议上介绍了流动和变形的理性力学 (rational mechanics)，奠定了现代流变学的理论基础，认为客观性公理和熵增 (含熵的负增长) 公理是物体本构关系应满足的最一般原理。随着理性力学从小形变理论到有限形变理论、从物性的线性理论到非线性本构理论、从宏观模型理论到微结构理论。流变学相应地从连续介质观点研究材料流变性质的宏观流变学发展到应用统计物理学方法研究材料内部微结构的介、微观流变学。1968 年在日本召开的第五届国际流变学会议上，决定以后每隔四年召开一次会议。在 2000 年英国剑桥和 2004 年韩国汉城召开的第十三、第十四届会议上，与会代表来自 50 多个国家，人数近 700 名。2008 年在美国加利福尼亚召开第十五届会议。北美洲流变学联合委员会、欧洲流变学联合委员会和泛太平洋地区流变学联合委员会也先后成立。国际上关于流变学的研究十分活跃，几乎每一两年就有一次国际流变学会议。亚太地区流变学国际学术会议 (PRCR)，于 1994 年在日本京都召开首届会议 (PRCR1)，2001 年罗迎社教授代表中国流变学会在加拿大温哥华召开的第三届亚太地区流变学国际学术会议 (PRCR3) 上成功申请到举办权，2005 年 8 月在我国上海成功地召开了 PRCR4。此外，国家之间也召开了双边国际会议，如 1991 年在我国北京召开的中日双边流变学国际会议。还有定期或不定期的流变学分支学科国际会议，例如 1997 年国际理论与应用力学联合委员会 (IUTAM) 在中国北京举行了“带缺陷物体流变学 (RBD'97)”专题研讨会；2003 年 2 月在瑞士苏黎克召开了“第三届国际食品流变学及其结构”专题研讨会；2003 年 8 月在波兰召开了“第二届工程流变学国际会议 (ICER2003)”等。

最早将流变学引入食品加工研究的是荷兰人 Scott Blair，1953 年他写了《Foodstuffs the Plasticity, Fluidity and Consistency》一书，引起了科学家对食品物性研究的关注。20 世纪 60 年代初，国外食品专业杂志出现了食品流变学方面的许多论文。1963 年 Szczesniak 在研究了食品质地特性分类、建立标准和测定仪器的基础上，第一个定义了食品“texture”，即“质地”的概念。直到 20 世纪 60 年代末，研究食品物性的学者才建立了有关

学术组织，形成了一个学术领域。

1969年由Dr. P. Sherman等倡导，研究食品质地的学者在荷兰的Reidel出版公司支持下创办了《Journal of Texture Studies》专业杂志。从此关于食物性的论文大量发表。其中，研究最多的是植物组织（蔬菜、水果等）的评价；其次是食品力学性质测定中，感官评价与仪器测定的比较和相关关系。在理论方面研究得比较系统的是食品流变学，它包括了对肉类、面团、果汁、果酱的流变性质研究。1973年，B. Muller集以上研究之大成，编著出版了《Introduction to Food Rheology》一书，对推动食品流变科学的发展和应用起了重要作用。该书出版后，工业流变学的许多理论才为研究食物性所应用，同时，也明确了食物性学的研究方向和任务。还有P. Sherman于1979年编著出版了《Food Texture and Rheology》。

Malcolm C. Bourne于1982编著出版了《Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement》，2002年出版了修订版，作者根据多年对食物质地和黏度的科研经验和研究体会编成此书。该书给出了质地和黏度测定领域的历史和有关的基本概念，如何测定食物质地和黏度，人们如何评价与质地相关的产品质量，描述了质地测定的客观方法以及最先进的质地测定仪器设备等众多内容。J. Prentice于1984年编著出版了《Measurement in the Rheology of Foodstuffs》一书。该书以食物物料为对象，较系统地阐述了食品流变特性的测量原理和方法，同时还从微观结构的角度分析了影响食品流变性质的因素和机理。M. A. Rao、S. S. H. Rizvi等于1986年编著出版了《Engineering properties of foods》一书，并分别于1995年、2005年再版，该书主要对食物的力学、热学、光学和电学性质进行了较为系统的论述。还有Howard R. Moskowitz于1987年编著出版了《Food Texture: Instrumental and Sensory Measurement》；J. M. V. Blanshard和P. Lillford于1987年编著出版了《Food Structure and Behavior》；R. Borwankar和C. F. Shoemaker于1990年编著出版了《Rheology of Foods》，Serpil Sahin等于2006年编著出版了《Physical Properties of Foods》，Ludger O. Figura和Arthur A. Teixeira于2007年编著出版了《Food Physics: Physical Properties-Measurement and Applications》等。

1989年種谷真一编著了《食物的物理》一书。该书吸收了前人研究的成果，重点对各种状态食物的物性进行了分析论述。其特点是从物理学的角度，分析各种状态的食物物料在加工、烹调、发酵等过程中物性变化的机理。同年出版的由川端晶子编著的《食物物性学》一书主要从食物的流变性质和质地两个方面论述了食物的胶体体系特征，以及凝胶状食品、凝脂状食品、细胞状食品、纤维状食品和多孔状食物的物理特性。同年出版的由林弘通著的《食物物理学》一书主要从食物基本物理特征、食物力学特性、粉体食物力学特性、食物热特性、食物电磁特性等方面进行了论述。并于1996年種谷真一、林弘通和川端晶子三人合作编写了《食物物性用语辞典》。

流变学所研究的问题非常广泛，几乎涉及所有的物料以及金属、矿物等，所以流变学又可看作是一门边缘学科。它包括的范围很广，除黏性流体如蜂蜜、浆饲料等，塑性液体如食物中的黄油等，黏塑性流体如乳酪、果子酱、番茄酱、鱼酱等以外，还包括纤维、橡胶、塑料、油漆、涂料、沥青、土壤、泥浆、有机和无机肥料等。此外还包括一些中间状态的物料，如具有较高温度尚未凝成固体的铁液、钢液和其他金属、化工熔液等。其中钢铁、木材等弹性物料的流变性属于材料力学的研究范畴，一般不在流变学中重复。

从20世纪40—50年代以来，国外开始进行农业物料的流变学研究，主要研究内容包括土壤（主要是水田泥土）、种子、肥料、农药，农作物的茎、叶、根，农产品如谷粒、水果、蔬菜、饲料，畜产品如蛋、肉、蜂蜜以及食物如乳脂、奶油、乳酪、果酱、鱼酱等的流动与形变，以及流变学在农业工程中的应用。1956年起美国纽约的卜洛克林工业科技学院

(Polytechnic Institut of Brooklyn N. Y.) 陆续出版《流变学理论和应用》论文集, 1975年出版第五卷。1957年 Scott Blair 和 Markus Reiner 发表了《农业流变学》一书, 第一次详细、系统地阐述了农业流变学的研究内容和应用前景, 它标志着农业流变学已发展得比较成熟, 成为流变学中一个比较完整的独立分支。1970年 Mohsenin 的专著对此作了更为深入的讨论, 进一步奠定了农业流变学的基础。

在农产物料的物性研究领域, Nuri N. Mohsenin 的研究成果引人注目。他编著的《Physical Properties of Plant and Animal Materials》, 作为大学教材分上、下两集, 分别于1966年和1968年出版。由于颇受欢迎, 1978年修订再版, 该书主要对农产物料(谷类、水果、蔬菜等)的力学、热学、光学和电学性质进行了较为系统的论述。继此书之后1980年 Mohsenin 又出版了《Thermal Properties of Food and Agricultural Materials》一书。该书主要论述了包括粮食、饲料和木材在内的农产物料的热物理特性。其内容除了介绍农产物料的热学测定、热传导的基本知识外, 也论及食品冷却、冷冻、干燥、热处理、呼吸及热膨胀的有关知识。还有1983年宋玉升编译了由中川鹤太郎著的《流动的固体》, 1983年吉林工业大学编译了由山下律也编著的《农产品的物理特性》讲义。1987年赵学笃、陈元生、张守勤等编写了《农业物料学》, 1994年周祖锬编写了《农业物料学》。1998年孙骊编写了《农产品物理特性及测量》。

从20世纪50年代开始, 国内的少数学者开始注意到流变学这门新的学科, 翻译和编写了一些流变学方面的著作, 系统地向我国读者介绍流变学的知识和研究进展情况, 起到了先驱作用。我国在20世纪60年代开始有流变学的自发研究者, 如袁龙蔚的《流变学概论》在1961年由上海科技出版社出版; 江体乾于1962年在《物理学报》上发表了“关于非牛顿流体边界层的研究”文章, 1965年中国科学院岩土力学研究所的研究人员翻译出版了雷纳(Reiner)著的《理论流变学讲义》。上述研究人员是开创我国流变学研究领域的奠基者和创始人之一。1978年在北京制订全国力学规划时包括流变学的发展规划, 规划指出流变学是必须重视和加强的薄弱领域。之后, 各地纷纷成立流变学的专门研究机构, 如湘潭大学和华东化工学院分别于1980年和1982年成立了流变学研究室。2005年罗迎社教授在中南林业科技大学组建成立了一个专门从事流变学的研究机构流变力学与材料工程研究所。1985年, 由北京大学陈文芳教授和湘潭大学袁龙蔚教授等人发起成立了中国流变学专业委员会, 仿效国际做法, 该委员会隶属于中国化学会和中国力学学会领导, 对外称中国流变学会, 并于当年在长沙召开了第一届全国流变学学术会议, 每3年1次, 第八届全国流变学学术会议于2006年9月在泉城济南举行。

我国农业流变学的研究开展要稍晚一些。1981年北京农业大学首先开始编写《农业流变学导论》(讲义), 并于1984年首次为研究生讲授农业流变学课程, 开展了液体农业物料如植物油、蜂蜜、番茄酱等流变特性的研究, 建成了比较完整的农业流变学实验室。李翰如和潘君拯于1990年编著《农业流变学导论》。江苏工学院也在同一时期组织人力研究水田土壤的流变特性, 先后发表了一系列有关这方面的论文。这些工作为我国农业流变学的研究和应用起了一个很好的先锋作用。

其他领域流变学研究, 如袁龙蔚在国际上开创了流变断裂学和缺陷体流变学新分支学科, 流变断裂学理论被成功地应用到湖南柘溪水库大坝的裂纹成因分析和加固处理中去, 从而多次获得省部级奖和国家科技进步奖, 发表学术论文近100篇, 1986年编著《流变力学》, 1992年编著《流变断裂学基础》, 1994年编著《缺陷体流变学》, 2001年编著《含缺陷流变性材料破坏理论及其应用》。江体乾对于化工工业流变学的研究, 特别是在非牛顿流体边界层和墙滑移方面的研究较为突出, 1995年编著《工业流变学》, 2004年编著《化工流变学》等。孙钧、刘

毅和章根德在岩土流变学方面，徐僖在高分子流变学方面，陈克复在食品流变学及其测量方面，1989年编著《食品流变学及其测量》，金日光在高聚物流变学及其加工方面。韩式方在非牛顿流体及其计算流变学方面，许元泽在复杂高分子结构流变学方面，周持兴在聚合物加工特别是熔体振动流变学方面，杨挺青在黏弹性理论及其应用方面，张淳源在黏弹性断裂力学方面，黄筑平在考虑界面和表面效应的细观流变学方面，赵晓鹏和黄宜坚在电-磁流变学方面，解孝林在高分子共混纳米复合材料的流变特性方面，亢一澜在聚合物材料力学性能的时间效应和湿度影响方面，罗迎社在材料特别是金属的流变加工、黏性测量、本构模型及其工程应用方面，张家泉在合金固液共存结构黏弹塑性流变特性研究等方面持续不断地开展研究，均取得了可喜的进展。1985年王启宏编著《材料流变学》；1987年陈文杰主编《血液流变学》；1994年刘雄著《岩石流变学概论》；1997年王鸿儒主编《血液流变学》；2000年顾国芳和浦鸿汀编著《聚物流变学基础》；2000年胡金麟主编《细胞流变学》；2002年吴其晔和巫静安《高分子材料流变学》；2003年徐佩弦编著《高聚物流变学及其应用》。

随着食物性研究的深入，基于食物性理论的食物无损检测技术和加工技术得到了快速的发展，特别在多技术融合无损检测技术方面取得可喜成果。2004年陈斌等编写的《食品与农产品品质无损检测新技术》，2005年应义斌等编写的《农产品无损检测技术》，2005年赵杰文主编的《现代食品检测技术》，2011年赵杰文等编写的《现代成像技术及其在食品、农产品检测中的应用》，2010年张佳程编写的《食品质地学》，2000年马海乐编著的《生物资源的超临界萃取》，2005年陈复生主编的《食品超高压加工技术》，2005年李勇等编写的《食品冷冻加工技术》，尚永彪等编写的《膨化食品加工技术》，汪勋清等编写的《食品辐照加工技术》，陈少洲等编写的《膜分离技术与食品加工》，张德权等编写的《食品超临界CO₂流体加工技术》，张峻等编写的《食品微胶囊超微粉碎加工技术》等现代食品新技术丛书，这些书籍的出版总结了前人的研究成果，丰富了食物性学的内容，同时使读者看到了食物性学应用研究的实例和前景。

国内在食物性以及相关的教材，例如：1991年金万浩等编著的《食物性学》；1998年、2001年李里特分别编写的《食物性学》；2005年李云飞和殷涌光等编写的《食物性学》；2006年屠康等编写的《食物性学》。

综上所述，虽然食物性学研究取得了很大进步，但作为一个科学体系尚处于逐步形成阶段。这一方面是因为比起食品科学的其他领域，食物性学研究起步较晚；另一方面，作为此门科学所研究的对象——食品是一个十分复杂的分散体系。也就是说，大多数食品不仅是混合物，而且是不均匀混合状态的物质。它既含有简单的无机物，又含有像蛋白、糖、脂肪这样的高分子有机物，甚至还有细胞组织。因此，对如此复杂物质的物性作系统的了解，还需要今后作大量的研究。

随着我国食品加工向工业化、现代化的发展，开展食物性学的研究将变得越来越迫切。食物性学已经成为指导食品工程，发展食品工业不可缺少的一门学科。

第四节 食物性学研究的目的是方法

一、食物性学研究的目的是

食物性学是食品科学与工程学科专业的基础理论之一，是食品科学的重要研究内容，也是物理学学科在工程领域的一个分支。它从物理学角度研究食品的物理特性以及在处理过

程中的特性变化规律。它不仅为食品加工提供理论指导，而且也为食品品质的检测和控制提供理论指导。研究的主要目的如下。

1. 为从物理学角度认识食品提供理论依据 从基本物理特性、力学特性、热特性、光和电磁特性等角度科学地认识食品的物理特性，使人类对食品的认识更全面。

2. 为食品单元操作提供物理特性参数 在单元操作和加工设备设计中，需要了解食品的物理性质。在分级、分选中，需要了解物料的尺寸，在物料流体输送设计时，了解食品物料的流体动力特性；在物料热、冷处理时，需要了解物料的热特性等。

3. 为食品品质的仪器评价提供理论基础 人的感官评价法缺乏客观性，寻找可以近似替代感官评价的仪器测定方法显得越来越重要，实现对食品物性感官评价的模拟，例如，肉的嫩度测定，水果的硬度测定，食品的黏性测定，凝胶的强度测定，食品的脆性测定，食品色泽测定等。

4. 为食品内部组织结构和生化变化提供物理检测方法 食品的组织结构、化学成分有时测定起来非常复杂，甚至是不可能的。这些内部组织状态的变化往往反映在物性的变化上。因此，通过对物性动力学的研究，用物性测定的方法分析内部组织状态及其变化往往是简单、准确的可行方法。例如，利用计算机图像技术测定物料的形态、色泽变化，利用近红外技术测定内部组分的变化，利用软 X 射线测定物料组织结构变化，利用力特性分析仪测定硬度、脆性、嫩度、弹性和咀嚼性的变化，利用电导率仪测定物料生理变化等。

5. 为改善食品的物理风味，发挥食品的嗜好功能提供科学依据 随着生活水平提高，人们嗜好要求越来越高，食品的物理风味（质地、色、形、口感）特性在食品的嗜好品质评价中所占比重越来越大。而人的感官评价往往在信息交流、定量表征、科学再现性等方面不能满足现代食品工业的要求。因此，以仪器测定的指标表现食品的物理风味特性，并以此为依据，保证和提高食品的嗜好性品质，成为当前食品开发的重要方面。例如，面条和馒头的“筋道”感、饼干的酥脆性、膨化食品的脆性、冷饮的滑顺感、果冻的弹性、凝胶的强度等，可以利用食品力学特性研究的方法，用物性分析仪对这些嗜好性指标进行定量地表达，将对产品的开发起到关键的作用。这些嗜好特性大多都是模糊的概念，以往都依靠评价员判断把握。随着食品工业向现代化、标准化方向发展，更需要对物理风味特性用科学客观的仪器方法进行检测与控制。

6. 为研究食品分子论提供实验依据 由于对食品品质研究的深入，食品内部分子结构的研究已成为食品科学的重要组成部分。尤其是近年来对功能性肽的研究，乳化剂界面活性作用的研究，蛋白、淀粉等食品材料变性的研究等，越来越引起食品科技界的重视。然而，以上这些研究中，分子水平的结构变化，很难用化学分析的方法了解，甚至先进的电子显微镜也观察不到。用物性测定的方法，往往成为以上研究唯一有效的试验手段。

7. 为超常物性的技术化、工程化提供理论指导 近年来，非常规条件下的食品物性研究已成为热点，如：食品功能因子的超临界萃取技术，食品超高压加工技术，食品超微粉碎加工技术，食品的冷冻干燥技术等。超常物性的研究将为这些技术的应用奠定理论基础。

食品物性学的研究已经成为食品科学与工程学科的研究领域之一。由于食品物性学知识在现代食品工业中发挥着十分重要的作用，因此，它也和食品化学、生物化学一样，是食品科学与工程领域技术人才必须掌握的专业基础知识。

二、食品物性学研究方法

1. 食品物性知识的发现方法与研究方法

食品物性知识的发现方法与研究方法，包括常规方法和非常规方法，常规方法又包

括经典方法和现代方法。经典方法包括观察实验方法，逻辑思维方法，数学方法。现代方法包括控制论方法，系统论方法，信息论方法，耗散结构论方法，协同论方法和突变论方法。非常规方法包括直觉与灵感，机遇，科学想象与猜想，物理美学思想，失误与悖论。图 1-1 是食品物性学研究的方法体系。下面就控制论方法中的黑箱方法作以介绍。

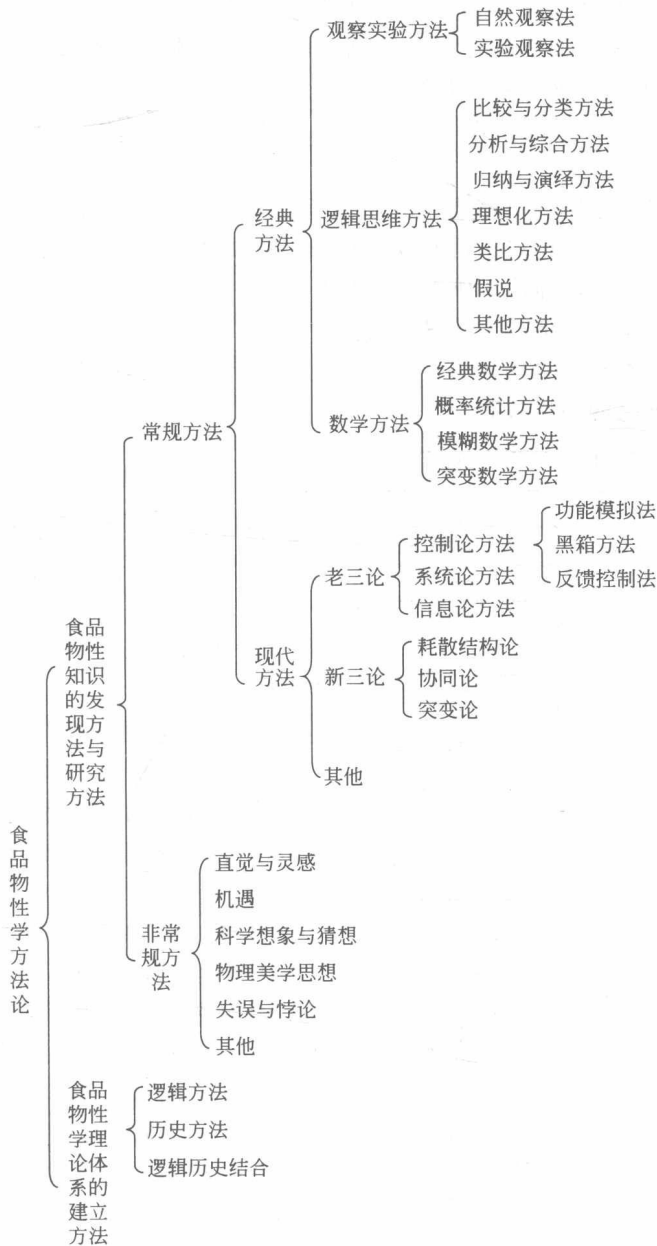


图 1-1 食品物性学研究的方法体系

黑箱方法是通过观测外部输入黑箱的信息和黑箱输出的信息的变化关系，来探索黑箱的内部构造和机理的方法。“黑箱”指内部构造和机理不能直接观察的事物或系统。黑箱方法注重整体和功能，兼有抽象方法和模型方法的特征。1945年，控制论的创始人维纳写道：“所有的科学问题都是作为‘黑箱’问题开始的”。黑箱方法应用非常广泛，从工程技术到社

会领域，从无生命到有生命系统，从宏观世界到微观世界，黑箱方法都有其用武之地。在黑箱方法（理论）创立之前，黑箱的方法已得到广泛应用。如人才测评黑箱方法，诸葛亮在《心书》中，提出了测试人的基本的方法论原则：问之以是非而观其志，穷之以辞辩而观其变，咨之以计谋而观其识，告之以祸难而观其勇，醉之以酒而观其性，临之以利而观其廉，期之以事而观其信。诸葛亮是把人当作一个“黑箱”来处理的，利用不同的输入条件，来考察它的输出反应，从而对人作出评价。中医诊断黑箱方法，中医黑箱方法是将人体看作一个黑箱，通过四诊获取黑箱的输出信息（即症状、体征等病史资料）进行辨证分析，判断疾病的本质，得出诊断结果，并制订相应的治疗方法（输入信息），将其输入到黑箱中，观察其输出反应，来推断诊断与治疗的正确性。黑箱方法实际上也广泛应用于食物性的研究中。

食物物性学研究常见的创新思维方法，包括逻辑思维与非逻辑思维，发散思维与集中思维，求同思维与求异思维，正向思维与逆向思维，纵向思维与横向思维，平面思维与立体思维，迂回思维与直达思维，理性思维与非理性思维。

2. 食物物性学理论体系的建立方法

食物物性学理论体系的建立方法包括：逻辑方法，历史方法和逻辑历史结合。

3. 食物物性学研究的基本过程

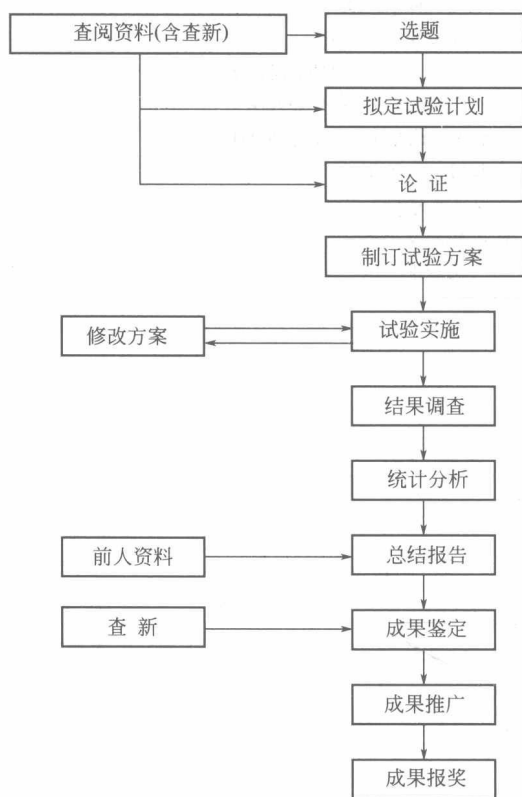


图 1-2 科学研究的基本过程

科学研究是一项系统工程，各个过程可划分为三个阶段。

准备阶段：包括选择研究课题、拟订试验计划书、查新论证、制订试验方案等。

实施阶段：包括试验的实施、试验管理、试验数据的调查、试验结果的统计分析等。

总结及应用阶段：包括论文编写、研究工作的总结与验收、鉴定及推广应用等。

科学研究的基本过程如图 1-2 所示。图中每一个环节都关系到科研工作的成败，必须认真对待。

选题：科研工作能否取得成功，能否推动科技与生产的发展，很大程度上取决于能否正确选题。应选择科研、生产中亟待解决的问题，要有科学性、创新性、实用性，还要考虑实现的可能性。

拟定试验计划：试验计划书是科学研究全过程的蓝图。应具有先进性、预见性和切实可行性。

论证：由项目主管部门或资助方组织专家论证，确定课题是否立项。并对试验计划

进行把关，避免课题研究出现偏差。

制订试验方案：根据试验目的、要求，按照试验设计原理确定试验的内容、方法、调查项目和具体实施计划。

试验实施：将试验方案具体实施。