

高等学校食品专业系列教材



食品物性学

PHYSICAL PROPERTIES OF FOODS

屠康姜松朱文学 / 主编

东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

高等学校食品专业系列教材

食品物性学

主 编 屠 康 朱文学 姜 松

副 主 编 王岸娜

编写人员 (按姓氏笔画为序)

王岸娜 朱文学 肖海芳

姜 松 屠 康 潘治利

东南大学出版社

内 容 提 要

本书是国内普通高等学校本科食品物性教材。全书分绪论和八个章节,对食品的基本物理特性、食品流变、质地、散粒体特性、光学、热学以及电学特性分别进行了阐述。教材对物理特性的检测和应用情况做了较为全面的介绍,因此具有很强的理论性和实践指导性。

通过本教材和课程的学习,学生可对食品物理特性及其检测、应用有较为全面的理解和掌握。本书可作为食品科学与工程专业和食品质量与安全专业的教材,各院校可以根据先修课程对教学内容加以选择和调整。本书也可供从事上述相关领域生产、科研和管理的专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

食品物性学/屠康等主编. —南京:东南大学出版社,
2006.9
(高等学校食品专业系列教材)
ISBN 7-5641-0510-0

I. 食... II. 屠... III. 食品—物性学—高等
学校—教材 IV. TS201.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 089602 号

食 品 物 性 学

出版发行 东南大学出版社
出 版 人 宋增民
责任编辑 顾金亮
地 址 南京市四牌楼 2 号(210096)
电 话 025-83795801(发行科)/025-83362442(传真)
经 销 江苏省新华书店
印 刷 兴化印刷有限责任公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
字 数 418 千字 16.75 印张
版 次 2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷
印 数 1—4000 册
定 价 26.80 元

*若有印装质量问题,请直接向读者服务部调换,电话:025-83792328。



屠康，1988年毕业于比利时鲁汶大学，获博士学位。后为日本国立爱媛大学特别研究员。2001年1月至今任教于南京农业大学食品科技学院，任教授、博导、系主任，为中国畜产品加工研究会理事、亚洲农业工程师协会会员、中国农业工程学会高级会员。主持完成国家自然科学基金项目2项，其他国际合作、国家级、部省级项目十余项。入选教育部“新世纪优秀人才支持计划”和江苏省“青蓝工程”学术带头人。副主编“十五”规划教材一本，现已发表SCI、EI收录论文10多篇，在国内核心期刊发表论文50余篇。

姜松，江苏大学食品与生物工程学院副院长，教授、硕士生导师，中国创造学会理事。主要从事农产(食)品流变特性及其质地评价和农产品贮藏保鲜技术研究，主、参编专著5部，在权威和核心期刊上发表研究论文30多篇，主持和参加完成课题7项，获奖5项。

Shireham Drive



朱文学，1967年8月出生。1997年毕业于中国农业大学，获博士学位，博士论文获得全国首届100篇优秀博士论文奖。2002年破格晋升教授。于2002年和2004年分别赴日本和加拿大研修和考察。2002年至今任河南科技大学食品与生物工程学院院长。

完成9项省部级以上科研课题，目前主持4项在研课题。发表论文70多篇，其中作为第一作者的有40篇，著名期刊20多篇，SCI、EI收录10篇，获奖论文6篇。论著8部。

目前为“河南省跨世纪学术和技术带头人培养对象”、“河南省创新人才培养对象”。获得2002年度洛阳市青年科技奖二等奖。2004年10月被评为洛阳市优秀专家。2004年12月被江苏大学聘为博士生导师。

现任河南省重点学科“农产品加工及贮藏工程”学科带头人、机械工程学会高级会员、“机械工程学会包装与食品机械工程委员会”常务理事、“农业机械学会农副产品加工工程委员会”常务理事、“农业工程学会农产品加工及贮藏工程委员会”常务理事及“中国粮油学会”理事、“中国生物工程杂志理事会”理事、“化工学会全国干燥会议”中心组成员。

高等学校食品专业系列教材

编写委员会

(以姓氏笔画为序)

- 王晓曦 河南工业大学粮油食品学院副院长、教授
- 邓泽元 南昌大学生命科学学院副院长、教授,博士生导师
- 毛多斌 郑州轻工业学院食品与生物工程学院院长、教授
- 艾志录 河南农业大学食品科学技术学院副院长、副教授
- 刘建学 河南科技大学食品与生物工程学院副院长、教授
- 张 灏 江南大学食品学院院长、教授,博士生导师
- 孟岳成 浙江工商大学食品科学与工程系主任、教授
- 陆兆新 南京农业大学食品科技学院院长、教授,博士生导师
- 陈正行 江南大学食品学院副院长、教授,博士生导师
- 陈锦权 福建农林大学食品科学学院院长、教授,博士生导师
- 杜云建 淮海工学院海洋学院副教授
- 郑铁松 南京师范大学食品科学与营养系主任、副教授
- 姜绍通 合肥工业大学生物与食品工程学院院长、教授,博士生导师
- 赵丽芹 内蒙古农业大学食品科学与工程学院副院长、教授
- 赵希荣 淮阴工学院食品系主任、副教授
- 钱建亚 扬州大学食品科学与工程学院教授
- 董 英 江苏大学食品与生物工程学院总支书记、教授,博士生导师
- 蒋爱民 华南农业大学食品学院教授,博士生导师
- 熊晓辉 南京工业大学食品科学与工程系主任、教授
- 鞠兴荣 南京财经大学食品科学与工程学院院长、教授,博士生导师

总 序

受编辑之托,为我等所著的高等学校食品专业系列教材作序,真是诚惶诚恐,迟迟难以下笔。苏轼《与孙子思》云:“……余空纸两幅,留与五百年后跋尾也!”此一戏语道出了作序之尴尬。回想起当时来自各地高校食品院系的学者们共同讨论系列教材时认真而热烈的场景,我就勉为其难,介绍一下我们编写这套系列教材的来龙去脉和想法。

2005年11月18—20日,经东南大学出版社和江南大学食品学院的联合组织,在江苏无锡召开了“普通高等教育‘十一五’国家级教材规划·食品专业系列教材”编写和申报研讨会,来自江南大学、南昌大学、南京农业大学、合肥工业大学、江苏大学、内蒙古农业大学、福建农林大学、河南工业大学、郑州轻工业学院、河南农业大学、河南科技大学、浙江工商大学、扬州大学、华南农业大学、南京工业大学、南京财经大学、南京师范大学、淮阴工学院、淮海工学院等19所大学食品院系的30余名学者参加了会议。在两天的会议中,学者们探讨了近几年来食品专业教育的得失,研讨了新形势下为进一步推进食品学科创新型人才培养的系列教材的编写要求、体例和分工,明确了31部教材的编写任务。时间过去不到一年,硕果满园的金秋季节在望,这31部教材中已有5部列入普通高等教育“十一五”国家级教材规划,第一部教材《食品添加剂》将正式付梓,其他多部教材也将孕育而生,在近期内陆续出版,真是欣慰之极。

古人曰:教人以道者,师也。作为教师,不仅要教会学生如何掌握知识,更重要的是要教会学生如何运用知识和创造知识。这套系列教材的编者们,少则有十多年、多则有二十年左右从事相应课程教学和本专业领域科研的经历。我们一致的想法是希望把多年实践中的感悟和积累融入到这套教材中,使本系列教材的阅读者在理解和掌握知识的同时,也能对知识的运用和创造有所领悟。

食品工业的GDP在我国国民经济中已连续几年居首位,现已接近2万亿元,食品科技进步与产业发展在国民经济发展中越来越发挥举足轻重的作用。目前全国约有200所高校办有食品专业,每年招收学生2万多人,食品专业的教育教学在一定程度上关系到我国食品工业的健康和可持续发展,编写一套反映当今科技发展现状,符合创新创业型人才培养要求的食品专业系列教材,是我们

所有编者的愿望,也是我们义不容辞的责任和义务。

愿我们的国家明天更美好,愿我们的食品工业发展更健康,愿我们在着力创建的和谐社会中享用的食品更安全。让我们所有编写和阅读本系列教材的同仁们共同为此尽绵薄之力!

张 灏

2006年8月3日晚于无锡

目 录

绪论	1
1 食品物理特性的基础	3
1.1 食品的微观形态结构	3
1.1.1 聚集态结构与特性	3
1.1.2 食品微观形态结构	8
1.1.3 细胞的基本形态结构	12
1.2 植物性食品的典型组织结构	15
1.2.1 植物组织的种类	15
1.2.2 各种果蔬的组织特性	16
1.2.3 果蔬细胞在成长及衰老过程中的变化	24
1.2.4 影响果蔬组织结构的因素	24
1.3 动物性食品的典型组织结构	25
1.3.1 肉的组织结构	25
1.3.2 乳、蛋类食品组织结构	30
1.4 食品中的水分	31
1.4.1 水和冰的物理特性	31
1.4.2 水的结构	32
1.4.3 食品中水的状态	35
2 食品物料的基本物理特征	36
2.1 形状、大小和分布	36
2.1.1 尺寸和形状	36
2.1.2 面积和体积	38
2.1.3 粒径	40
2.1.4 粒度分布和测量	43
2.2 密度	47
2.2.1 真实密度	47
2.2.2 容积密度	51
2.3 孔隙率	51
2.4 基本物理特征在食品工程中的应用	52
3 食品流变学基础	54
3.1 食品流变学概论	54
3.1.1 食品流变学	54
3.1.2 食品流变学的研究目的	55

3.2	黏性和流动	56
3.2.1	黏性及牛顿黏性定律	56
3.2.2	黏性流体的分类及特点	57
3.2.3	黏性流动的计算	65
3.2.4	液态食品分散体系的流变特性	68
3.2.5	液态食品流变性质的测定	77
3.3	黏弹性	84
3.3.1	黏弹性基本概念	84
3.3.2	黏弹性的力学模型	89
3.3.3	黏弹性的测定	99
3.4	食品流变学的应用举例	110
3.4.1	食品流变学在巧克力生产中的应用	110
3.4.2	食品流变学在奶油蛋糕加工中的应用	113
4	食品质地学基础	115
4.1	食品的质量与质地	115
4.1.1	食品质地的概念	115
4.1.2	研究目的	115
4.2	食品质地分类及检测方法	116
4.2.1	食品质地分类	116
4.2.2	质地评价用语简介	117
4.2.3	质地检测方法简介	120
4.3	食品质地的感官评定	120
4.3.1	食品感官检测的分类	121
4.3.2	质地感官检测的步骤	121
4.3.3	感官评定的方法	124
4.3.4	感官评定举例	125
4.4	食品质地的仪器测量方法	128
4.4.1	检测方法概述	128
4.4.2	质地的仪器测定	129
4.5	食品质地的感官评定与仪器检测的关系	135
4.5.1	质地检测方法的选择	135
4.5.2	仪器测定和感官评定的特点	137
4.5.3	仪器测定与感官评定的关系	137
5	散粒食品的力学特性	140
5.1	摩擦性	140
5.1.1	摩擦的基本概念	140
5.1.2	散粒物料的摩擦角	140
5.2	黏附性与黏聚性	145

5.2.1	黏附的原因	146
5.2.2	黏聚的原因	146
5.2.3	黏附力和黏聚力的测定	146
5.3	散粒体的变形与抗剪强度	147
5.3.1	散粒体的变形	147
5.3.2	散粒体的抗剪强度	148
5.4	散粒体的流动特性	149
5.4.1	散粒体的流动	149
5.4.2	散粒体的流动性	151
5.4.3	落粒拱的形式	153
5.4.4	防止成拱的办法	153
5.5	离析和混合	154
5.5.1	离析	154
5.5.2	混合	155
5.6	压缩流动	156
5.7	容器的压力	157
5.7.1	浅仓内的静态压力分布	157
5.7.2	深仓内的静态压力分布	157
5.8	食品工业中散粒体力学特性的应用	158
5.8.1	散粒体的自动分级	158
5.8.2	粉尘爆炸	159
6	食品颜色与光学特性	160
6.1	食品外观色泽与评价	160
6.2	食品颜色的表征	162
6.2.1	基本物理量	162
6.2.2	颜色的本质与色光匹配	164
6.2.3	颜色的感觉和心理	166
6.2.4	颜色的物理表示	169
6.2.5	色彩图	173
6.3	食品颜色的测定与应用	175
6.3.1	测定食品颜色时的注意事项	175
6.3.2	试样的制作	175
6.3.3	颜色的测定	175
6.3.4	颜色的仪器测定和感官测定之间的关系	177
6.3.5	食品颜色测定实例	178
6.4	食品的光物性	180
6.4.1	光物性基本概念	180
6.4.2	光传输模型	182
6.4.3	食品的光学测定原理	183

6.4.4	食品光物性的测定与应用	184
7	食品传热特性与测定	197
7.1	食品传热及主要参数	197
7.1.1	食品传热特性的基本概念	197
7.1.2	食品的传热特性的主要参数	202
7.2	主要传热参数的测定与应用	206
7.2.1	黏度测定	206
7.2.2	比热容测定方法	208
7.2.3	差示扫描热量测定与定量差示热分析	208
8	食品的电特性	216
8.1	食品电特性的基本概念	216
8.1.1	定义	216
8.1.2	食品电特性的分类	216
8.1.3	食品电特性研究的意义	217
8.1.4	食品电特性的应用概况	217
8.1.5	食品电特性加工的课题	218
8.2	食品的电特性及其测定	219
8.2.1	电导特性	219
8.2.2	介电特性	221
8.2.3	食品中电特性的测定	232
8.3	食品电特性的应用	236
8.3.1	静电场处理	236
8.3.2	通电加热	241
8.3.3	微波加热	244
8.3.4	远红外线加热	247
8.3.5	电渗透脱水	252
8.3.6	核磁共振技术在食品中的应用	254
	参考文献	257
	后记	258

绪 论

食物性学是以食品及其原料为研究对象,研究其物理性质的一门科学。它在名称上与食品化学相对应,主要研究内容是食品 and 食品原料的力学、光学、热学、电学特性等。其中,力学部分是十分重要的内容,主要包括食品在力的作用下产生变形、振动、流动、破裂等的规律。由于食品力学特性与食品加工关系密切,在食品加工与品质检测中要经常用到流变学、质地学和散粒体特性等内容。光学、热学和电学性质也是食品物理特性的重要内容,但是相关的在食品方面的系统研究还比较缺乏。随着食品工业的迅速发展,光、热、电的相关加工和品质检测技术正日益广泛地应用在食品工业中,学习和掌握这方面的内容,对于研究开发食品贮藏加工的新技术、新工艺,提高食品的品质都是非常重要的。

食品的概念比较广泛。从食品原料分,食品可以分为植物性原料(谷类、水果、蔬菜、海带等)、动物性原料(畜类、禽类、蛋类、奶类、鱼、虾等)和矿物性食品原料(矿泉水、食盐等);从加工角度,食品包括初级产品(粮食、水果、肉等)、一次加工的食品原料(食用油、面粉等)、半成品和成品(面团、面条、果汁等)。食品的组成大部分属于混合物,有无机物、有机物甚至包括有细胞结构的生物体。

食品的形态复杂多样。为了便于研究,一般把它分为液态(包括可流动的溶液、胶体、泡沫和气泡)、固态和半固态食品(组织细胞、半固体等)。液态和固态是食品的主要形态,也是食物性学研究的主要食品形态。但是,在实际中大量食品的形态很难划分,某些食品在一定条件下显示固态特性,而某些固态食品在一定条件下却显示液态特性。所以,在本教材中没有严格按形态划分和讨论。

现代食品加工对原料的加工方法多种多样,包括力学方法、热学方法、电学方法、光学方法甚至声学技术和装置。

本教材第一章主要介绍食品物理特性的理论基础,为后续章节的学习打下基础;第二章介绍了食品的基本物理尺寸;第三章是力学部分的重点部分,介绍食品的流变特性;第四章介绍食品质地及其检测方法;第五章说明散粒食品的力学特性;第六章对食品的色彩与光学性质进行学习;第七章介绍食品传热特性、测定和应用;第八章对食品的电物性及其测定和应用作了具体说明。

这门课程的内容安排,主要致力于解决以下几个问题:

1. 了解食品与加工有关的物理特性。例如食品厂在设计输送管路时,必须了解食品物料流动特性;果汁加工时,需要对果汁的流变特性加以控制;甚至在食品烹饪、做菜烧饭中都需要掌握加工食品的物理特性。

2. 对食品的感官评定和客观评定建立相关方法。食品作为消费品,人的感官评价是最终的,也具有仪器评价无法替代的优点,但它运用起来受到条件限制,往往缺乏重复性和客

观性。食品物性学通过对食品感官评价的模拟,建立相应得客观(仪器)检测方法,并与感官评价具有较好的相关性。

3. 通过食品的物性研究,可以了解食品组织结构变化、生理生化变化的微观与宏观反映。食品在贮藏加工中发生的组织结构、生理生化变化非常复杂,微观检测比较困难。但是,这些微观变化往往反映在物性变化上,可以通过试验检测物理特性,分析内部的变化,往往有效可行,可以建立微观变化与品质变化的联系。例如,对水果成熟过程中发生的一系列生理生化变化,可以通过检测水果硬度、颜色等加以判别,建立相关性;面包制作中,面筋形成情况较难观察,而用测定其黏弹性的方法,可以简便地了解面筋的网络形成程度。

4. 为快速无损检测食品品质提供理论基础。对于食品,特别是生鲜食品的无损检测和分级需要相关的力学、光学和电磁学知识。比如在线检测和分级鸡蛋品质,需要利用敲击或振动来判断表面裂纹;用光学和电磁学知识来进行表面和内部缺陷(污斑、血斑、受精等)的检测。

5. 为改善食品风味、质地、嗜好性提供科学依据。通过对食品质地、色泽特性的学习,掌握仪器测定和感官评定在食品品质改进中的作用,改变以往模糊定义的情况,以科学的方法提供数据,满足现代食品工业的要求。

6. 为研究食品分子水平的变化提供试验依据。近年来对水分子团结构的研究、功能性肽的研究、加压或加热条件下蛋白、淀粉变性等的研究,日益引起关注。但是,这些研究中分子水平的结构变化很难测定,而用物性测定的方法可以提供参考。例如,有研究用测定黏度的方法判断电磁处理后水分子团大小改变和水的活化程度。

食品物性学最早起源于对食品黏弹性的研究,近 30 多年来取得了很大发展。光、热、电等理论逐渐渗入,形成一门学科。它是一门涉及多学科和领域的课程,学习时应具备一定物理学、食品工程原理、物理化学等基础知识。通过本课程学习,学生应该掌握食品基本物理特性,食品流变特性与品质的关系;掌握影响食品物性的机理和物性的常用检测和评估方法;能够根据质地要求和消费者的嗜好开发相应的新产品;了解食品的热学、光学和电学特性,为利用这些特性进行食品品质检测、加工控制、减少其不利影响打下理论基础。

1 食品物理特性的基础

1.1 食品的微观形态结构

食品实际上包括了从自然资源及后期加工产品中分离出来的作为人类食物的形态各异的一大类物质。从组成来看,食品的大部分都属于复杂的混合物,不仅有无机物、有机物,甚至还包括有细胞结构的生物体。

从原料来源上有植物性食品原料(包括谷物、豆类、果品、蔬菜、部分油料等)、动物性食品原料(包括家禽、畜产品、鱼贝海产品、蛋类、奶类等)。

从种类上有软饮料(包括纯净水、碳酸饮料、果蔬汁饮料、乳饮料、植物蛋白饮料、茶饮料、固体饮料、功能性饮料等)、乳制品(包括纯牛奶、酸乳、乳粉、冰淇淋等)、肉制品(包括西式肉制品、中式肉制品等)、大豆制品(包括大豆粉、大豆蛋白、豆腐等)、果蔬制品(包括速冻果蔬、干制果蔬、腌制果蔬、果蔬汁、果酱和果冻等)、方便食品(包括方便主食、速冻食品等)、焙烤食品(包括面包、饼干、糕点等)、糖果和巧克力(包括各种糖果和巧克力制品)、调味品(食用香料、发酵类调味品、复合调味品、西式调味品等)、酒类(白酒、啤酒、黄酒、米酒、葡萄酒等)。

从食品的形态上可以把食品分为液状食品、凝胶状食品、凝脂状食品、细胞状食品、纤维状食品和多孔质食品。也有人把它分为液状食品(包括可流动的溶液、胶体、泡沫和气泡)和固体半固体状食品(组织细胞、固体泡、半固体、粉体等)。

尽管食品形态多样,结构复杂,但在分子层面上由一定量的大分子和小分子组成。在食品加工过程中,表现在宏观上的形态与结构的变化,往往是由于其组成和微观结构形态不断变化引起的。

1.1.1 聚集态结构与特性

高分子是由许多($10^3 \sim 10^5$ 数量级)小分子单元键合而成的长链状分子。量变引起质变,分子量足够大的长链高分子结构远比小分子复杂得多。高聚物结构研究的内容概括在表1-1中。其中高分子链的近程结构和远程结构分别又称一级结构和二级结构,高分子的聚集态结构也称三级或更高级结构。

表 1-1 高聚物结构的研究内容

高分子链的结构	近程结构	结构单元的化学组成 结构单元的链接方式与序列 结构单元的立体构型和空间排列 支化与交联 端 基
	远程结构	高分子的大小(分子量和分子量分布) 高分子形态(高分子链的柔性)
高分子聚集态结构		晶态结构 非晶态结构 取向结构 织态结构

1.1.1.1 高聚物分子内原子间与分子间的相互作用

分子内原子之间有相互作用,分子之间也有相互作用力,这种相互作用包括吸引力和推拒力。键合原子之间的吸引力有键合力,非键合原子间、基团间和分子间的吸引力有范德华力和氢键。当原子间或分子间的距离很小时,由于内层电子的相互作用,呈现推拒力。分子内原子之间和分子与分子之间的吸引力和推拒力随原子间和分子间距离而改变。当吸引力和推拒力达到平衡时,就形成平衡态结构。

1) 键合力

键合力包括共价键、离子键和金属键,在食品中主要是共价键和离子键。几种主要共价键的键长和键能如表 1-2 所示。其中 C—N 之间的共价键即是连接氨基酸的肽键,其键能是维持蛋白质的一级结构形态,与维持蛋白质空间构象的其他次级键相比,其键能较高,因此蛋白质构象容易发生变化,但是氨基酸不易断开;S—S 键是维持蛋白质三级结构的键合力,称为二硫键,其值略低于肽键。

表 1-2 食品材料中主要共价键的键长和键能

共价键	键长/nm	键能/(kJ·mol ⁻¹)
C—C	0.154	348
C=C	0.134	611
C—H	0.110	415
C—N	0.147	306
C≡N	0.115	892
C—O	0.146	360
C=O	0.121	745
N—H	0.101	389
O—H	0.096	465
O—O	0.132	147
S—S		264

离子键又称盐键或盐桥,它是正电荷与负电荷之间的一种静电相互作用。吸引力与电荷量的乘积成正比,与电荷质点间的距离平方成反比,在溶液中此吸引力随周围介质的介电常数增大而降低。在近中性环境中,蛋白质分子中的酸性氨基酸残基侧链电离后带负电荷,而碱性氨基酸残基侧链电离后带正电荷,二者之间可形成离子键。离子键平均键能为20 kJ/mol,而且几乎没有方向性。

2) 范德华力和其他次级键

非键合原子间和分子间的相互吸引力包括范德华力和氢键,其中范德华力包括静电力、诱导力和色散力。

(1) 静电力

静电力是极性分子间的相互作用力,由极性分子的永久偶极之间的静电相互作用所引起。作用能为12~20 kJ/mol,与分子偶极矩的大小、分子间的距离和热力学温度之间的关系如下:

$$E_K = -\frac{2}{3} \frac{\mu_1^2 \mu_2^2}{R^6 kT} \quad (1-1)$$

式中, E_K 表示分子间静电相互作用能; μ_1, μ_2 表示两种极性分子的偶极矩; R 表示分子间的距离; T 表示热力学温度; k 表示玻耳兹曼常数。

从上式可以看出,静电力受分子间的距离影响最大。

(2) 诱导力

当极性分子与其他分子(包括极性分子和非极性分子)相互作用时,其他分子产生的诱导偶极、极性分子的永久偶极与其他分子的诱导偶极之间的作用力称为诱导力。其作用能的大小为

$$E_D = \frac{\alpha_1 \mu_1^2 + \alpha_2 \mu_2^2}{R^6} \quad (1-2)$$

式中, α_1, α_2 表示两种分子的极化率,也就是单位电场强度作用下诱导的偶极矩。

诱导作用能一般为6~12 kJ/mol。

(3) 色散力

在一切分子中,原子内的电子不停地旋转,原子核也不停地振动,因而在任何一瞬间,一些电子与原子核之间必然会发生相对位移,使分子具有瞬间偶极。瞬间偶极之间的相互作用力称为色散力。色散力存在于一切极性和非极性分子中,其作用能的大小可表示为

$$E_L = -\frac{3}{2} \left(\frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} \right) \frac{\alpha_1 \alpha_2}{R^6} \quad (1-3)$$

式中, I_1, I_2 表示两种分子的电离能。

色散力的作用能一般为0.8~8 kJ/mol。

范德华力是永远存在于一切分子间的吸引力,没有方向性和饱和性,作用距离0.26 nm,作用能比化学键能小1~2个数量级。

(4) 氢键

它是极性很强的X—H键上的氢原子与另一个键上电负性很大的Y原子之间相互吸引而形成的(X—H……Y)。氢键既有饱和性又有方向性:X—H只能与一个Y原子形成氢