

SHIPIN JIAGONG XINJISHU YU YINGYONG

# 食品加工新技术与应用

主 编 蒲云峰 张锐利 叶 林  
副主编 向延菊 刘华英 刘华生



中国原子能出版社

# 食品加工新技术与应用

主 编 蒲云峰 张锐利 叶 林  
副主编 向延菊 刘华英 刘华生



中国原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

食品加工新技术与应用 / 蒲云峰, 张锐利, 叶林主编. --北京: 中国原子能出版社, 2018. 6

ISBN 978-7-5022-9196-9

I. ①食… II. ①蒲… ②张… ③叶… III. ①食品加工 IV. ①TS205

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 150159 号

内 容 简 介

食品是人类赖以生存的最主要的生活资料,一个国家或地区的食品工业现代化和人们的饮食水平是反映生活质量的重要标志。食品工业被称为“生命工业”,也是国民经济中最具潜力的“朝阳工业”。本书对食品加工新技术与应用进行了研究,主要内容包括:食品冷冻及加工技术、食品干燥技术、食品成分提取与分离技术、食品杀菌技术、食品膨化技术、食品生物技术等。本书结构合理,条理清晰,内容丰富新颖,是一本值得学习研究的著作。

食品加工新技术与应用

出版发行 中国原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

责任编辑 张琳

责任校对 冯莲凤

印刷 三河市铭浩彩色印装有限公司

经销 全国新华书店

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 19.75

字数 480 千字

版次 2019 年 3 月第 1 版 2019 年 3 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978-7-5022-9196-9 定价 79.00 元

网址: <http://www.aep.com.cn>

E-mail: [atomep123@126.com](mailto:atomep123@126.com)

发行电话: 010-68452845

版权所有 侵权必究

# 前 言

食品是人类赖以生存的最主要的生活资料,一个国家或地区的食品工业现代化和人们的饮食水平是反映生活质量的重要标志。食品工业被称为“生命工业”,也是国民经济中最具潜力的“朝阳工业”。食品加工技术与食品生产原料的加工利用、产品品质、食用性、能源消耗等有着密切的关系。

进入 21 世纪,食品加工技术进一步发展,多学科交叉日益深入,在力学、传热学及热力学等理论支撑下,加工技术不断发展的同时,围绕光学、电磁学、辐射科学等领域的食品加工生产新技术的科学研究及技术开发将进一步发展。随着社会对食品安全与卫生、食品营养及功能性、食品的保藏性及食用方便性等提出了更高的要求,这就要求食品加工技术与未来的食品产业和社会需求相适应。食品加工技术的创新与应用是食品工业可持续发展的永恒主题。

本书总结了近年来国内外食品加工生产新技术的新成果,对一些食品加工新技术做了详尽的阐述,从食品加工的普遍性出发,着重于对新技术理论知识的介绍,同时结合了大量具体的应用实例,希望给读者提供理论参与的同时,能结合应用实例解决实际问题,为食品加工新技术的推广应用、科学研究提供理论与实践指导。

由于许多新技术涉及交叉科学较多,涵盖内容广泛,加之编者学识水平有限,书中不足之处在所难免,敬请广大读者与同仁批评指正。

编 者

2018 年 4 月

# 目 录

第一章 绪论	1
第一节 食品加工技术发展历史和现状	1
第二节 食品加工发展趋势	4
第二章 食品冷冻及加工技术	5
第一节 流态化速冻技术	5
第二节 冷冻粉碎技术	11
第三节 冷冻浓缩技术	14
第四节 冷冻干燥技术	23
第三章 食品干燥技术	37
第一节 流态化干燥技术	37
第二节 过热蒸汽干燥技术	51
第三节 热泵干燥技术	55
第四节 太阳能干燥技术	65
第五节 微波干燥技术	75
第四章 食品成分提取与分离技术	86
第一节 超声波辅助提取技术	86
第二节 超临界萃取技术	94
第三节 膜分离技术	107
第四节 分子蒸馏技术	118
第五章 食品杀菌技术	126
第一节 微波杀菌技术	126
第二节 超声波杀菌技术	130
第三节 紫外线杀菌技术	137
第四节 欧姆杀菌技术	148
第五节 超高压杀菌技术	152
第六节 高压脉冲电场及脉冲光杀菌技术	160
第七节 臭氧杀菌技术	169

第六章 食品膨化技术	174
第一节 膨化食品的概念与种类	174
第二节 挤压膨化技术	176
第三节 微波膨化技术	188
第四节 油炸膨化技术	192
第五节 气流膨化技术	200
第七章 食品生物技术	206
第一节 食品基因工程	206
第二节 食品酶工程	234
第三节 食品发酵工程	268
第四节 细胞工程	291
参考文献	307

# 第一章 绪 论

## 第一节 食品加工技术发展历史和现状

### 一、食品加工技术发展历史

在“茹毛饮血”时代,人类祖先以自然界中未经任何加工的天然食源作为人类赖以生存的物质基础,他们对食物生吞活剥,既生吃植物,也生吃飞禽走兽和鱼虾,当时的食品加工尚未出现。食品加工起源于社会成员明火加热或者煮熟肉类、根茎和植株,使之适于人类食用。距今5万年~1万年前,人们已经钻木取火。到了周口店“北京人”时期,人们普遍学会了用火烤食捕获来的动植物。火的利用是人类饮食革命的开端,它把人与野兽区分了开来,对人类发展做出了巨大贡献。

人类最早发明的食品加工器具是陶器,距今已有近万年。它的出现意味着“烹饪”的开始,陶罐可以搬到任何地方去烧煮,也可以用做各种饮食、汲水和储盛的器皿,增加了烹调的灵活性。陶器的出现,标志着食品加工的开始。当时的食物没有任何形式和程度的保藏。进入农耕社会,食物加工进一步发展,特别是能够储存和保藏食品的加工方法及食品不断出现。

公元3000年前,我国江南就用大米做粥、制糕;西汉时已用石磨磨制小麦和加工面饼;西汉时就有豆腐生产,五代时豆腐已成为日常食品;谷物酿酒,大约渊源于新石器时代,到了商代,已相当普遍;秦汉以前,就有酱的生产,龙山文化时期就开始用谷物造醋。公元前3000~公元前1500年,埃及人发现了某些加工食物的方法,如干藏鱼类和禽类、酿造酒类、磨面烘焙面包等;中东的游牧民族应用这些方法并有所发展,保藏食品,预防饥荒,改进膳食质量并使之多样化。在古代的长期的发展过程中,食品加工技术逐渐形成,与食品保藏相关的加工技术不断出现,使食物的持续供给得以实现,为人类生存和社会发展奠定了基础。在此过程中,由于加工技术的发展,促进了食品由原始的满足充饥的基本功能逐渐向美味、养生、延年益寿等多种功能转变。例如,我国古老的医典《黄帝内经》中就提出了食疗的理论及具体方剂,魏晋南北朝时期关于饮食和烹调的著作有《崔氏食经》《食经》《田时御食经》等,关于食品制造的著作有《四时酒要方》《白酒方》等,关于食疗的著作有《膳食养疗》《神仙服食经》等,表明食品加工已形成初步理论体系。

人类历史上的两次工业革命极大地推动了食品加工技术及食品加工业的发展。18世纪60年代至19世纪上半期的第一次工业革命,开创了以机器代替手工工具的时代。食品加工

的规模由于 18 世纪的工业革命而迅速扩大,但是食品加工仍然依靠技艺和经验在家族内部世代相传,缺少科学的支撑。随着工业革命的深入和工业技术的发展,19 世纪新的食品加工生产技术不断出现。巴黎的酿酒商和腌菜商尼拉·阿尔伯特使用瓦罐包装煮熟肉类和蔬菜;使用软木塞和火漆给容器封口,并于 1804 年开办了第一个真空包装、杀菌的罐头工厂。1810 年英国第一个获得了镀锡薄板罐的专利权。1849 年美国设计制造了制罐机,2 个普通工人使用机器每天可以制造 1500 个空罐,而以前 2 个熟练技术工人每天只能制造 120 个空罐。1861 年,巴尔的摩的罐头制造者在使用氯化钙把杀菌水温提高到 121℃,将加热时间从 6h 缩短到 30min。1874 年发明了蒸汽压力杀菌釜,促进罐头工业迅速发展。1858 年法国发明了第一台液氨制冷机,1873 年瑞典开发了第一台制冷压缩机,冷藏技术发生了质的变化。法国化学家和微生物学家路易斯·巴斯德于 1862 年开发了巴氏杀菌的过程。至 20 世纪初的第二次技术革命结束时,以前的小规模技艺型食品加工业的面貌已经改变,食品工业得以形成。

20 世纪是食品加工技术发展最快的一个世纪,食品加工技术获得了全面发展,建立了较为完全的技术体系,为现代食品加工业的确立发挥了重要作用。在食品工业的发展过程中,人们最初以具体的产品为研究对象,针对产品加工中的问题,分别进行各种产品的生产过程和设备的研究,因此早期的食品加工技术是针对特定产品的专门技术。然而食品的种类繁多,不同食品加工过程中的许多工序相同或相似,其加工技术具有共性。随着食品加工业的发展,人们逐渐认识到,不同产品的生产过程是由为数不多的基本操作组成的,即所谓的单元操作。单元操作源自于化学领域,19 世纪末英国学者戴维斯提出了这种观点,但当时未引起足够重视。1915 年美国学者利特尔首先提出单元操作这一概念,明确指出:“任何化工生产过程不论规模如何,皆可分解为一系列名为单元操作的过程,例如粉碎、混合、加热、吸收、冷凝、浸取、沉降、结晶、过滤……”。基于单元操作,食品加工技术的分类、原理、定量评价等不断发展并完善。至 20 世纪末,食品加工技术已经相当成熟,食品加工通用设备和专用设备的生产已成为专业化,有力地推动了食品加工业的快速发展。20 世纪末,特别是进入 21 世纪以来,信息技术迅猛发展,科学技术交流日益频繁,全球科学技术进入了快速发展期,新技术、新方法不断出现,这些为食品加工新技术出现和发展提供了机遇。例如,超高压技术不仅用于食品杀菌,在改变食品质构的研究方面也取得了进展;纳米技术已在食品包装技术方面取得突破,采用纳米技术加工纳米食品的研究受到人们的关注。随着食品加工技术研究与开发的不断深化,食品加工新技术将不断出现并趋于成熟,必将为食品加工业注入新的活力并带来巨大变化。

## 二、食品加工技术发展现状

### (一) 食品加工技术

食品加工技术的进步是与科技发展的总体水平相关联。一项食品加工新技术的出现,在特定的时期称之新技术;随着技术的成熟和广泛应用,其逐渐转变为一般性的食品加工技术。因此,评价一项食品加工技术是否新,应从特定的历史时间点加以看待。评价食品加工技术的成熟与否,可从对食品加工技术的原理、内在规律的认知,相关设备的研发与制造水平,技术和

设备应用的成熟性和普及性等方面加以考量。当一项食品加工技术在理论方面已经完善,并已成熟应用时,即可看作一般的食品加工技术;反之,该食品加工技术仍属于食品加工新技术,仍需在理论和实践上不断完善,才能够在食品加工产业中发挥其应有的作用。

当前,依据单元操作的食品加工技术类群已经形成,主要包括物料粉碎、混合、输送、分离、蒸发与浓缩、干燥、杀菌、冷冻、吸收、萃取、灌装与包装技术等,构成了现代食品加工技术的主体。在每一类单元操作中,基本都形成了多种成熟的技术和方法。例如,在食品加工中常用的粉碎方法为传统的机械粉碎,但其粉碎的粒度较大,粉碎某些物料还易导致物料温度的升高进而影响产品质量。近年来冷冻粉碎、气流粉碎拓展了粉碎技术范畴和应用范围;常用的杀菌技术主要有巴氏杀菌、高温短时杀菌、瞬时超高温杀菌,这些杀菌方法均是利用热效应杀菌。脉冲强光杀菌、脉冲电场杀菌、超高压杀菌等新技术属非热杀菌,其杀菌机理不同,作用效果亦不同。

由此可见,目前食品加工技术类群已经较为完整,新技术层出不穷。形成了以一般技术为主,新技术繁荣发展的格局。然而,由于对许多新技术的认知还不够,相应的装备还不成熟,或是与食品加工工艺的结合尚不完美。因此,在食品加工新技术的开发和应用等方面仍存在很多的问题。

## (二)我国食品工业现状

“民以食为天”,食品是人类赖以生存的最主要的生活资料,一个国家或地区的食品工业现代化和人们的饮食水平是反映生活质量的重要标志。因此食品工业一直被人们称为“生命工业”,也是国民经济中最具潜力的“朝阳工业”。2011年,我国规模以上食品企业31735家,实现食品工业总产值78078亿元,同比增长31.6%,高出全国工业总产值增速3.7个百分点,占全国工业总产值比重9.1%。2012年我国食品工业总产值接近10万亿元。目前食品工业已成为我国工业大类中的支柱产业之一。

尽管多年来我国食品工业持续、快速发展,在国民经济建设和改善人民生活等方面发挥了巨大作用。但是,应该看到,目前我国食品工业依然存在的一些不足,与发达国家之间还存在差距,其中食品加工技术创新和转化不足是关键问题之一。

### (1)食品工业化程度低

我国食品工业总值与农业总产值之比为(0.3:1)~(0.4:1),发达国家为(2:1)~(3:1),我国台湾省也达到1.13:1。可见,我国食品工业发展空间依然很大。另外,我国现有食品资源工业化程度低,目前我国城镇居民饮食消费中工业化食品只占1/3,而美国高达90%,西欧也达85%。西方国家由于工业化程度高,食品工业的增加值一般可达农产品原料的3倍,而我国只有1.6倍。

### (2)食品企业的发展不够平衡

当前食品工业的经济形势不容乐观,全面竞争的时代已经开始,决定企业命运的根本是产品市场竞争能力的高低。在我国,食品加工企业两极分化现象仍较严重,缺少竞争力强和知名度高的产品,食品企业大部分属中小型,加工技术水平、管理水平参差不齐,产品质量难以保证。许多企业依赖大量人力、财力和物力的投入,而不是依靠科技进步来提高生产水平,因而产品同一化现象严重,造成销售不畅,效益低下。

### (3) 食品工业技术含量不高

我国食品行业总体上仍属于传统工业,食品加工业技术含量和产品附加值偏低,正处于以初加工和劳动密集型为主向深加工和资金技术密集型的转型过程。

## 第二节 食品加工发展趋势

### (1) 食品加工技术的加速发展

科学知识呈指数规律增长,重大科研成果数量、科技图书数量、科学杂志数量和学术论文数量等快速增加,食品加工技术呈现加速发展,将为食品加工业提供更为强大的科技动力。

### (2) 多学科交叉日益广泛深入

食品加工涉及各类原料和产品,特别是现代食品工业为了满足人们营养、功能等消费需求,食品加工将朝着追求安全、营养、美味、方便、多样化的方向发展,这就要求在加工技术上不断突破和创新。当今食品加工技术的创新,以力学、传热学及热力学等为理论支撑的加工技术不断发展的同时,围绕声学、光学、电磁学、辐射科学等领域的食品加工新技术的科学研究及技术开发将进一步发展。由于食品加工原料是以生物材料为主,加工过程中通常伴有化学及生物变化,因此食品加工也与化学和生物学紧密相关。这就要求在食品加工新技术开发和应用过程中应尊重科学规律,加强学科整合及团队建设,才能切实推进食品加工新技术的发展,满足新产品、新工艺的技术要求。

### (3) 食品加工技术的数字化趋势

数学和数学方法是揭示食品加工技术的机理、提示其内在规律的主要手段,也是食品加工技术应用中过程控制的基础。特别是食品加工新技术的不断出现,多学科交叉更为普遍,所涉及的理论和技术问题更为复杂,影响因素更为多元化,这就更加需要运用适当的数学和方法表达其内在的规律,不仅可加快食品加工新技术开发的进程,也为新技术的可靠应用提供了保障。

### (4) 适应食品产业发展的需要

食品工业和农业有着密切的关系,食品加工业是农业的延伸和发展,通过农产品深加工,可以大大提高农产品附加值,也是提升产业核心竞争力的重要保证。食品加工业与人们生活息息相关,随着社会发展,人们对食品安全与卫生、食品营养及功能性、食品的保藏性及食品的方便性等提出了更高的要求,这就要求食品加工技术与未来的食品产业发展相适应,同时有针对性地加强新技术的开发和应用,推动食品产业发展,满足大众的需求。

## 第二章 食品冷冻及加工技术

### 第一节 流态化速冻技术

流态化速冻是指在一定流速的冷空气作用下,使食品在流态化操作条件下实现快速冻结的一种冻结方法。流态化现象早已被人们所认识,最初流态化现象主要用于化学工程领域,后来陆续在能源、冶金和食品工程等领域得到广泛应用。

#### 一、流态化速冻原理

流态化速冻是一种实现食品单体快速冻结(Individually quick freezing, IQF)的理想方法,是采用冷空气作为冷冻介质的冷冻方式。因此,食品采用流态化速冻必须有两个前提:一是作为冷冻介质的冷空气在流经冻结对象时必须有足够的流速,并且冷空气流向是自下而上地通过冻结对象;二是冻结对象的体积与质量不能过大,以免出现冷空气不足以吹动冻结对象的现象。

食品流态化冻结过程中,颗粒状、片状以及块状等食品与冷空气气流间的流动过程属于气、固两相流体的流动过程,根据流体的流动特点,冷空气流经固体颗粒床层时有三种状态:固定床阶段、流化床阶段和气流输送阶段。如图 2-1 所示,从(a)到(f)分别为固定床、起始流化态、鼓泡流化床、节涌、湍流流化态和气流输送流化态。

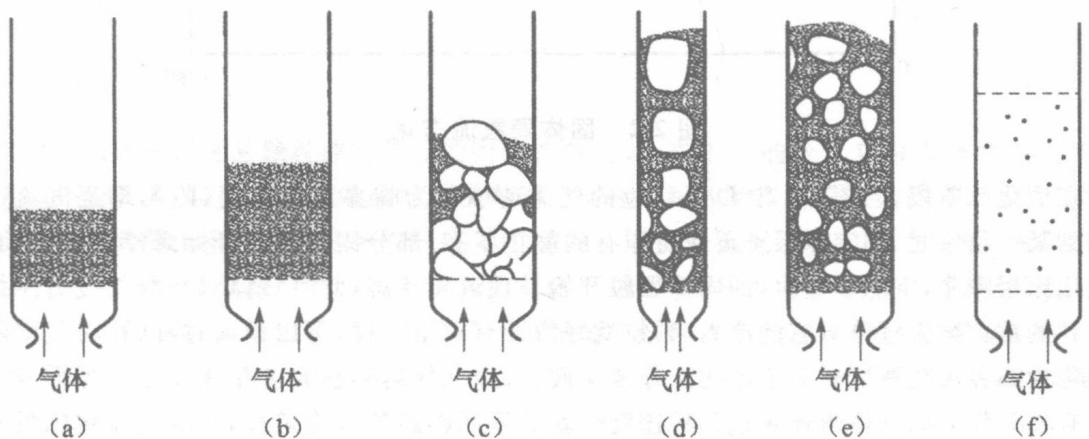


图 2-1 流化床不同状态

1. 固定床阶段

固定床阶段是指当气流以较低的相对速度通过物料层时,固体颗粒的相对位置没有发生变化的阶段(图 2-2 的 AD 段)。固定床阶段的特点是气体通过床层所发生的压力降低与空塔气体流速在对数坐标值上呈直线关系(图 2-2 的 AB 段)。在固定床阶段,由于流体空床流速小,固体颗粒受曳力小,颗粒保持静止状态,使得床层高度、空隙率均保持不变。

2. 流化床阶段

随着冷冻介质流速的逐渐增大,气-固相由相对静止状态改为相对运动,当相对速度达到一定数值时流化床层不再维持稳定状态,固体颗粒的受曳力逐渐增大,固体颗粒的相对位置会发生明显变化,固体颗粒会在流化床层中时上时下地做不规则的沸腾状运动,并且具有与流体相同的流动性特点,该阶段称为流化床阶段。流化床阶段具有以下特点:当颗粒特性、流化床床层几何尺寸与气流速度一定时,流态化系统具有确定的性质,如密度、热传导系数及流体黏度等;这种流态化状态具有一定稳定性,即可以在一定的气体流速范围内维持稳定状态;此外,冷空气对流化床床层的高度和空隙率有影响,流化床床层的高度和空隙率会随着气流速度的提高而提高,而床层上下两侧的压力降基本维持不变(图 2-2 中 DE 段)。

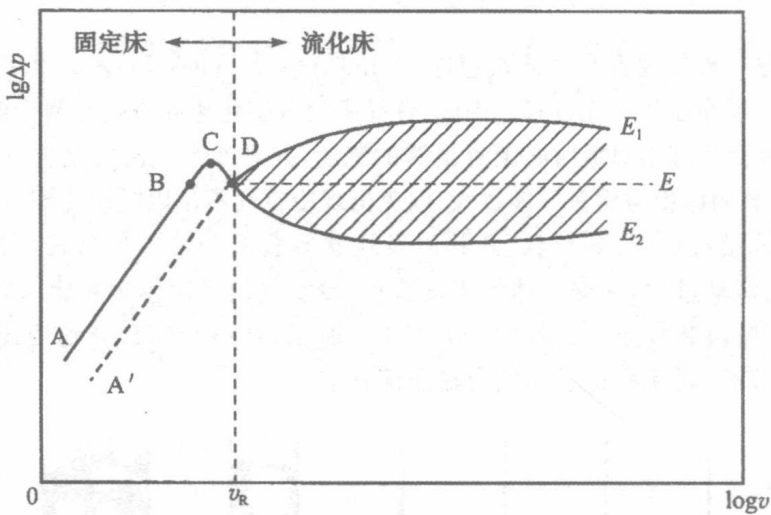


图 2-2 固体颗粒流态化

在流化床阶段,与图 2-2 中 D 点对应的气流速度称为临界流化速度( $V_k$ ),即当气流速度增加到某一数值时,固定床层不再保持原有的静止状态,部分固体颗粒开始悬浮向上运动,造成流化床层膨胀,空隙率增大,即固体颗粒开始呈现流化状态,此时气体对颗粒的曳力刚好等于颗粒的重力减去气体对它的浮力,颗粒就好像没有重量一样,可以横向移动,这时气流的速度便称为临界流化速度。对于流化冷冻技术而言,冷空气达到临界流化速度是食品形成流态化的必要条件。而气体流速超过临界速度后就会呈现剧烈的不稳定性,此时的流化床没有稳定界面,气体压力也开始波动,但如图 2-2 所示,波动通常固定在图中的  $DE_1$  和  $DE_2$  之间的范围内,DE 代表了这一范围的平均值。而当空床流速一定时则会出现一个稳定的床层上界面。

临界流化速度的计算目前主要通过分析流化床中单体颗粒受力得来或由固定床中计算床层压降与流体速度的厄贡方程推导得到,其中以厄贡方程推导更符合实际。当气体速度小于临界流化速度时,床内固体粒子处于固定状态,对于固定床中床层压降与气体速度的关系,可以用厄贡方程准确表示。

### 3. 气流输送阶段

在流化床阶段的基础上,再进一步提高气流速度后,床层的固体颗粒层原有的流化状态被打破,固体颗粒悬浮在气流中,随着气流运动,这个阶段称为气流输送阶段。此时与 E 点相对应的气体流速称为最大流化速度,或称为固体颗粒的带出速度或悬浮速度。很显然,如果将流体的流量(流速)逐渐减小,则将由流化床转化为固定床。

## 二、流态化速冻工艺

流态化速冻中进入食品层的冷空气都是自下而上的,根据食品层的悬浮状态,可将食品流态化速冻的操作分为半流态化和全流态化两类操作。

### (一) 半流态化操作

半流态化操作是指在传送带上的食品层被低于临界值的冷空气吹成距离筛网高度较低的悬浮状态,颗粒食品随着传送带的移动而移动。这种方法的冷空气速度相对较小,物料离地高度低,对物料的损伤小,适用于质地软嫩和易碎的物料,如草莓、黄瓜、芦笋等。食品层的厚度由物料特性决定,嫩度越大的物料、越容易损伤的物料厚度应越小,一般控制在 30~100mm。物料传送带的移动可匀速也可采用无级变速,即传送带移动速度根据冻结产品的冻结情况随时调整。半流态化操作适用范围相对狭窄,主要用于质地相对较软、容易损伤的物料;此外,这种冻结方式由于冷空气风速较低,物料悬浮高度低,造成物料很容易出现相互叠加而产生粘连现象,影响流态化正常操作,进而降低冻结质量。

### (二) 全流态化操作

#### 1. 气力流态化

气力流态化是指食品颗粒放在带孔的固定斜槽上,依靠上升的冷风克服自身的重力实现沸腾状态并向前流动,这种操作就是气力流态化。这种操作的特点是没有机械传送装置,食品颗粒的沸腾与向前运动完全依靠冷空气提供的动力。气力流态化操作对气流速度、压力降要求较为严格,被冻结食品颗粒和作用于食品各点的气流速度、压力降要十分均匀,同时固定斜槽的阻力必须足够低,以保证气流速度不低于临界值。这种流态化冻结方法适用范围较为狭窄,仅能用于个体大小均匀,且个体较小的食品,如玉米粒、胡萝卜粒、豌豆粒等。如食品颗粒体积较大,则要求流态化操作设备的制冷剂功率、吹风机功率较大。气力流态化操作对于食品颗粒在设备表层的厚度也有要求,如厚度过大,则风机风量减少,蒸发器迎风面风速降低,传热系数  $K$  降低,造成制冷机功耗增加。

## 2. 振动流态化

振动流态化同气力流态化最大的不同在于安装了机械振动装置,目前应用于食品工业的振动方法主要有两种:一种是往复式振动,应用最多的是连杆式振动机械;另一种是直线振动,采用双轴惯性振动机械。振动流态化采用机械振动原理,使食品在带孔的槽体上按照一定振幅和频率以跳跃式抛物线型向前运动,同时冷空气由下而上吹动,食品颗粒呈现沸腾的流态化,最终实现单体快速冻结的方法。

往复式振动和直线振动特点不同,往复式振动的特点是振幅大、频率低,食品在生产设备中以高抛物线形式向前运动。由于抛物线较高,食品颗粒上下幅度过大,容易造成产品损伤。为了解决这一问题,一般采用脉动旁通机构使气流脉动传送,这可以使食品颗粒刚刚被抛起时,脉动结构同时关闭,使得静压箱内压力升高,冷空气流速增大,气流全部通过食品床层,带动食品颗粒上升。这样处理的结果是整个流态化冻结床层的食品颗粒在机械振动和气流带动的双重影响下达到了最佳的流态化高度。当食品颗粒达到最佳高度后,脉动结构打开,部分气流流走,食品颗粒的重力大于冷空气的浮力时,由于脉动机构打开,静压箱内压力突然降低,气流速度相应减小,食品颗粒在自身重力作用下下落,落至底部后又开始一次重新的上升。通过这样的往复上升一下降完成了有节奏的振动,食品颗粒像流体一样流动。

直线振动优点较多,可以实现食品颗粒的均匀冻结,不损伤食品,可以自由调节食品层厚度,而且具有传热效率高、冻结能力大和能耗低等优点。直线振动流态化冻结技术可以使食品在槽体上呈跳跃式抛物线型向前运动,在槽体内的滞留时间与冷空气的挤出时间均匀一致,这种方式的冻结对食品颗粒的大小和密度要求不高,由于食品被抛起的高度很小,且抛起后在槽面的停留时间很短,所以可实现食品的均匀冻结。直线振动时食品的受力仅有槽面上下的振动力,在冷空气由下而上的缓冲下,食品颗粒受力小,尽管食品颗粒振动频率大,但造成的损伤很小。此外,这种冻结方式可以根据食品的厚度调节振动输送机的振幅和频率来进行调整,同时可以通过冷空气速度、送风量等参数的调整实现自由调节食品层厚度的目标。直线振动热交换程度高,只需要较小的风压和风量就可以使食品实现正常流态化,因此风机功率可以相应减小,达到节能的目的。

### (三)流态化冻结的三个阶段

任何形状的食品颗粒(包括球状、圆柱状、块状、片状等)在任何一种流态化冻结装置中的冻结过程都包括三个阶段,即快速冷却、表层冻结和深层冻结。如豌豆类食品的冻结时间为10min,则其中快速冷却的时间为1min,表层冻结时间为1.5~2min,深层冻结时间大概为7min。冻结是冷量逐步向食品内部传送的过程,也是热量从食品内部向外扩散的过程。快速冷却对于食品流态化速冻意义重大,表层温度越低意味着冷量向食品内部传送的速度越快,食品内部热量向外传送的速度也越快,冻结时间越短。表层冻结目的在于防止食品颗粒之间的相互黏结,也防止食品颗粒与流态速冻设备的运输筛网之间的黏结。表层冻结后,食品表面形成了一层冻壳,具有一定刚性,能够确保食品之间形成独立的松散体系。表层冻结速度越快越有利于提高冻结质量。深层冻结是指表层冻结后将食品中心温度降低到 $-18^{\circ}\text{C}$ 的冻结过程,这一过程是三个过程中耗时最长的,由于冷量和热量的传递的反方向性,使得这一过程的冻结时间一般要达到快速冷却和表层冻结时间之和的3倍。

### 三、流态化速冻设备

流态化速冻设备是食品单体快速冻结的理想设备,具有冻结速度快、冻结产品质量好、能耗低等优点,特别适用于体积较小的颗粒状、片状和块状食品的冻结,在果蔬冷冻加工中得到广泛应用。

常见的流态化冻结装置按照物料传送系统可分为带式、振动槽式和斜槽式三类,但从系统组成上流态化速冻设备都主要由物料传送系统、冷冻系统、冲霜机构、围护结构、进料系统和控制系统组成。其中物料传送系统主要是流态化速冻装置的冻结区;冷冻系统由送风机、蒸发器、制冷剂 and 导风结构构成,安装在物料传送系统上;流态化冻结过程中可能产生较多的积霜,因此在蒸发器周围安装有冲霜结构;围护结构由绝热材料和支撑材料构成,安装在速冻装置的外面;进料结构通常是带孔的斗式提升机。此外,在速冻装置的进料口还常常安装有滤水器和布料器,以除去清洗后的物料中含有的过多水分,同时使物料在速冻床上尽量保持厚度的均匀一致,以减少黏结现象和获得良好的流态化状态。前处理后的物料通过进料机送入流态化速冻装置后,在布料机作用下以一定的速度进入传送带,在冷空气的吹动下形成良好的流态化状态,在输送带的传动下从进口往出口方向移动。移动过程中通过上下翻滚完成速冷却、表面冻结和深层冻结。

#### 1. 带式流态化速冻装置

带式流态化冻结装置早期的设备往往只有一条传送带和一个冻结区。尽管这样的设备投资小、结构简单、生产效率高,但装机功率大、能耗高,且冻结效果不很理想。后期的设备采用多段式冷冻,将传送带设计为双流程或者三流程(图 2-3),物料流动距离延长,冻结效果显著提高。带式流态化冻结装置适用范围广泛,也是目前应用最多的一类,可用于多种水果蔬菜的冻结,如青刀豆、豌豆、蚕豆、辣椒、芦笋、芋头、胡萝卜、葡萄、桃子、板栗等。我国目前大多数流态化速冻机械均属于这一类。

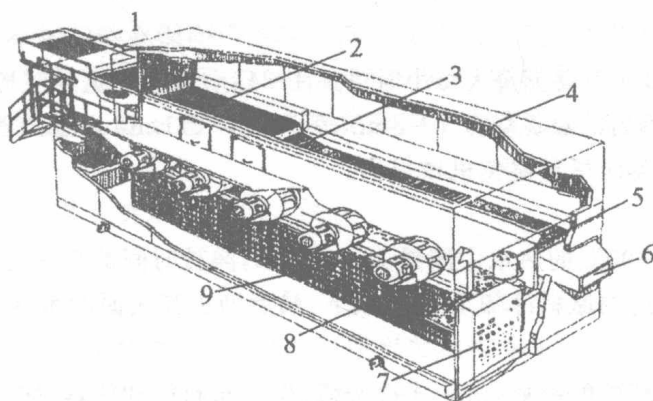


图 2-3 带式流化床冻结装置

- 1—进料装置;2—传送带;3—网筛;4—壳体;5—制冷机;  
6—出料口;7—控制面板;8—蒸发器;9—风机

## 2. 振动流态化速度装置

这种冻结装置以振动槽为动力源,促使物料向前移动。物料冻结过程也是在振动槽中完成的,由于物料始终处于振动状态,大大减少了物料之间的黏结。具体的振动方式主要有往复式振动和直线振动两种。

瑞典 Frigoscandia 公司生产的往复式振动流态化冻结装置。这种设备结构紧凑、冻结能力强、能耗低,设备上安装有气流脉动旁通机构和除霜系统,性能较为先进。

## 3. 斜槽式流态化速冻装置

斜槽式流态化速冻装置中的物料进行的是全流态化速冻。食品颗粒的流态化状态完全依赖于下而上的冷空气来实现,食品颗粒的移动是靠带有一定倾斜角度的槽体完成,同时物料层的厚度通过出料口的导流板来调整。这种冻结设备的特点是无物料传送系统和运动机构,结构紧凑、易于操作,但由于取消了物料输送系统和振动装置,该设备完全依靠高压冷空气完成流态化,因而设备中风机功率高,能耗大,仅适用于冻结含水量较低的球形食品,应用范围较窄。

# 四、流态化速冻技术的应用

流态化速冻理论上可以冻结任何食品,但目前这种冻结方式主要还是应用于果蔬类产品,尤其是蔬菜类产品。常采用流态化冻结的蔬菜类主要包括果菜类(豌豆、青刀豆、茄子、蚕豆、番茄、黄瓜、辣椒等)、叶菜类(菠菜、芹菜、韭菜、蒜薹、小白菜、香菜、油麦菜等)、茎菜类(芦笋、莴笋、芋头、马铃薯等)、根菜类(山药、胡萝卜等)、花菜类(黄花菜、菜花、西兰花等)和食用菌类(香菇、平菇、金针菇等)。可采用流态化冻结的水果主要有葡萄、李子、樱桃、板栗等。

水果和蔬菜在流态化速冻的程序和工艺上大致相同,除前处理部分根据不同的果蔬特性有不同的处理之外,后续的冷冻工艺基本相同。下面以豌豆为例简要说明流态化冻结果蔬的工艺和应用。

### (1) 预处理

新鲜豌豆要剥荚,人工剥荚每人每小时可加工 24kg;较大量生产时应采用机械剥荚,每小时可剥 2 000kg。去荚后的豆粒应分 7~8mm、9~10mm、11mm 以上的各种规格,根据销售要求分别加工。机械剥荚应尽量避免机械损伤。

### (2) 漂烫和冷却

豆粒装入筐内在 100℃ 的热水中漂烫 1~1.5min,漂烫时间的长短应视豌豆粒的大小和成熟程度而定。将漂烫后的原料冷却至 10℃ 以下,然后沥去其表面的水分。

### (3) 速冻和冷藏

经过上述加工处理后的豌豆,由斗式提升机、振动布料机和传送带送入单体冻结装置中冻结。物料在流化床上进行单体悬浮冻结,冻结温度在 -30℃ 时,则冻结时间为根据各种规格进行包装,塑料袋或盒装封口应严密。在 -18℃ 的低温冷藏库中冷藏,堆垛时要防止挤压。

## 第二节 冷冻粉碎技术

食品冷冻粉碎是在食品常规粉碎技术基础上发展起来的一项技术,至今已有几十年的发展历史。“最初人们在加工果蔬类产品时,常常因精细加工而产生大量下脚料。这部分下脚料食用价值小,但丢弃的话也是一种经济损失,因此有人将这些下脚料通过冷冻后再粉碎成浆状或粉状食品,在保持原料营养价值不变和符合卫生标准条件下再进一步加工,显著提高了下脚料的经济效益,于是食品冷冻粉碎技术应运而生,并得到广泛应用。

### 一、冷冻粉碎原理

冷冻粉碎是利用物料在低温状态下的“低温脆性”,即物料随着温度的降低,其硬度和脆性增加,而塑性和韧性降低。在一定温度下,施加一个很小的力就能将其粉碎。经过冷冻粉碎的物料,粒度可以达到“超细微”的程度,可以用来生产“超细微食品”,而这种食品被称为“21世纪食品”。物料的“低温脆性”与一种称为玻璃化转变的现象关系密切。而玻璃化转变是指非晶态聚合物在温度变化时产生的力学性质的变化,形成了橡胶态和玻璃态两种物理状态,温度变化过程可以产生由橡胶态向玻璃态的转变。物料处于橡胶态时,具有韧性大、变形能力强的特点;而在玻璃态时,物料的硬度和脆性很大,变形能力很小。玻璃化转变现象并非聚合物所特有,食品和农产品同样存在玻璃化转变过程,只不过由于食品和农产品的组成结构极为复杂,可以被认为是一个含有很多溶质的混合溶液,所以食品的玻璃化转变要复杂得多,还可能存在多级玻璃化转变过程和反玻璃化转变现象。将物料由橡胶态向玻璃态转变时所要求的温度称为玻璃化转变温度,一般可以认为物料的玻璃化转变温度对应着物料的“脆化温度”。食品的冷冻粉碎正是应用这一现象:首先将物料低温冷冻到玻璃化转变温度或脆化温度以下,使其处于硬度最大、脆度最高的时候施加外力(通常采用粉碎机)将其粉碎。食品快速降温过程中,会造成内部各部位不均匀的收缩而产生较大的内应力,在内应力的作用下,物料内部薄弱部位会产生细微的裂纹并导致内部组织的结合力降低,这样外界施加的力更容易将物料粉碎。从冷冻粉碎的原理可以看出,这一粉碎方式特别适用于含有过多油脂、糖分和水分的物料粉碎。

食品冷冻后性质发生以下变化。

#### 1. 产生内压

水由液态变为固态后体积会增大,一般而言体积会增大8.7%。尽管温度降低后冰的体积仍然会收缩,但收缩量同膨胀量相比几乎可忽略不计。食品物料冻结时,首先是表层的水分放出热量,由液态变为固态,表层水分结冰后会在食品的外层形成一个坚硬的固体外壳。当内部的水分结冰时体积增大,这样就会给表层施加一个较大的压力(即内压)。内压的大小同冻结速度有关,在慢速冻结中,外部和内部水分的热向外缓慢传递,在外表还没有形成坚硬外壳