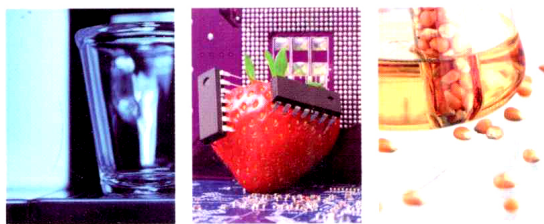


现 | 代 | 食 | 品 | 工 | 业 | 高 | 新 | 技 | 术 | 系 | 列



食品非热力加工技术

Advanced Food Non-thermal Processing Technology



陈锦权 | 等编



中国轻工业出版社

现代食品工业高新技术系列

食品非热力加工技术

陈锦权 | 等编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

食品非热力加工技术/陈锦权等编. —北京: 中国轻工业出版社, 2010. 8

(现代食品工业高新技术系列)

ISBN 978 - 7 - 5019 - 7639 - 3

I. ①食… II. ①陈… III. ①食品加工 IV. ①TS205

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 098749 号

责任编辑: 李亦兵 责任终审: 唐是雯 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 王超男 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: 三河市世纪兴源印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2010 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 720 × 1000 1/16 印张: 20

字 数: 408 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-7639-3 定价: 42.00 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

090180K1X101ZBW

序

食品工业是我国国民经济的重要支柱产业，掌握食品高新技术，提高食品工业的国际竞争力，对于我国经济发展、提高人民生活水平具有重要的意义。

进入 21 世纪，随着物质和文化生活水平的不断提高，人们更加注重绿色健康的消费理念。在饮食方面，消费者对食品的营养、新鲜度有了更高的要求，为了满足消费者需求，对食品进行“最低限度加工”越来越受到研究者的关注。

灭菌是食品、生物、化工、制药等行业中至关重要的工序之一。灭菌工序决定了最终产品的品质 and 安全性。目前主要的非热力加工技术有高压脉冲杀菌、超高压杀菌、辐射杀菌、超声波杀菌、脉冲强光杀菌、臭氧杀菌、生物杀菌素、膜分离技术等。其中，高压脉冲杀菌作为食品加工的高新技术，具有很大的开发潜力和广阔的应用前景。早在 1879 年，Cohn 和 Mendelsohn 就发现溶液中的电场能杀灭细菌。近年来随着电子加工技术的发展，逐步开展了对脉冲电场技术灭菌效果的深入研究。随着高压脉冲杀菌的研究不断向纵深发展，新的成果不断涌现，理论体系逐渐形成。

另外，冷冻浓缩技术在 20 世纪 70 年代起应用于工业化生产，以 Grenco 冷冻浓缩设备为代表。冷冻浓缩由于在低温下操作，具有可阻止不良化学变化和生物化学变化以及对食品风味、香气和营养损失小等优点。开展冷冻浓缩技术的研究及应用，对推动传统食品加工技术的进步和提高浓缩汁产品品质均具有重要意义。

本书以高压脉冲杀菌技术和冷冻浓缩技术研究进展为主要阐述对象。全书共九章，主要包括高压脉冲（PEF）的微生物效应、高压脉冲作用酶动力学的研究以及对食品的作用、高压脉冲作用对食品感官和营养品质的影响，不同物料特性对高压脉冲特性的影响及动力学过程，并对高压脉冲的安全性进行评价；同时，介绍了冷冻浓缩技术的基本原理和动力学模型，引入相场法，模拟冷冻浓缩过程冰晶生长的动力学模型。

第八、九章为本书的一大亮点，重点介绍了陈锦权教授所带领的课题组长期研究的结果，在成功改进高压脉冲设备的同时，突破了高压脉冲电场进入工业化应用的一个瓶颈，使高压脉冲电场进入工业化应用成为可能。同时将高压

脉冲电场杀菌技术和冷冻浓缩技术相结合,利用相场法对冷冻浓缩过程冰晶生长进行模拟,充分利用了两项技术的互补优势,对工业化生产具有重要的指导意义。

本书由陈锦权主编。此外,孙沈鲁副教授和方婷博士承担了大量的协调和资料整理工作,王仁丽博士也参与了本课题组的研究,第一、六章由余林林编写,第二、三、四、五章由叶倩倩编写,第七章由黄小方编写,第八章由林要辉编写,第九章由吴小辉编写,序言部分由潘东芬整理;此外,白利霞、黄菊青、池玉芬、陈缘缘、连建枝、贺星成、钟海荣、杨晓君、高智春等人负责文章的插图和校对工作。因此,本书的出版是集体智慧的结晶。

本书获得国家 863 项目“食品非热力加工技术与设备”(项目编号:2007AA100405)、国家科技部“十一五”科技支撑计划“台湾农产品干燥及非热力加工新技术与新装备的引进创新研究”(项目编号:2007BAD07B05)和福建省自然科学基金项目“相场法模拟冷冻浓缩冰晶生长机制”(项目编号:2009J01233)的支持。

本书主要适用于从事食品科学研究开发的技术人员以及相关院校师生。

由于编者水平有限,书中的不妥之处在所难免,恳请各位专家和读者不吝赐教。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 热力杀菌技术.....	1
第二节 非热力杀菌技术.....	2
第三节 高压脉冲电场杀菌技术及其研究进展.....	6
第四节 冷冻浓缩技术及其研究进展.....	9
第二章 高压脉冲电场的微生物效应	12
第一节 电对微生物的影响.....	12
第二节 影响高压脉冲电场灭菌的因素.....	15
第三节 高压脉冲电场对不同微生物的作用效果.....	22
第四节 脉冲电场灭菌机理的研究.....	50
第五节 脉冲电场灭菌机理的论证.....	53
第六节 高压脉冲电场对微生物致死动力学研究.....	57
第三章 高压脉冲电场作用下酶的动力学研究	66
第一节 高压脉冲电场对酶作用的概况.....	66
第二节 高压脉冲电场钝化酶的机理.....	67
第三节 高压脉冲电场钝化酶的动力学.....	68
第四节 高压脉冲电场影响酶钝化的因素.....	72
第五节 高压脉冲电场对不同酶的作用效果.....	76
第六节 高压脉冲电场与其他方法结合对酶的钝化效果.....	83
第四章 高压脉冲电场对各种食品的作用	85
第一节 高压脉冲电场对液体食品的影响.....	85

第二节	高压脉冲电场对固体食品的影响·····	100
第三节	高压脉冲电场在水产品中的应用·····	110
第四节	高压脉冲电场和其他方法的结合使用·····	112
第五节	高压脉冲电场在其他方面的应用·····	114
第五章	高压脉冲电场对食品感官和营养品质的影响·····	119
第一节	感官评价和货架期的研究·····	119
第二节	高压脉冲电场对食品营养品质的影响·····	135
第六章	不同物料特性对高压脉冲电场技术的影响及动力学过程·····	153
第一节	物料状态和成分对高压脉冲电场技术的影响·····	153
第二节	导电性对高压脉冲电场的影响及其在高压脉冲电场处理过程的 动态研究·····	157
第三节	离子强度对高压脉冲电场技术的影响·····	170
第四节	pH 对高压脉冲电场技术的影响 ·····	171
第五节	水分活度(A_w)对高压脉冲电场技术的影响 ·····	175
第六节	气泡和颗粒对高压脉冲电场技术的影响·····	176
第七章	安全性评价·····	178
第一节	脉冲电场处理过的食品品质和货架期·····	178
第二节	食品的电击穿·····	182
第三节	高压脉冲电场和化学安全性·····	190
第四节	高压脉冲电场处理过程中的安全注意事项·····	191
第八章	冷冻浓缩技术·····	193
第一节	浓缩技术的概况·····	193
第二节	冷冻浓缩的理论原理及方式·····	198
第三节	冷冻浓缩过程的动力学研究·····	201
第四节	冷冻浓缩过程冰晶生长的相场法模拟·····	207
第五节	冷冻浓缩在食品加工中的应用·····	234

第九章 高压脉冲电场和冷冻浓缩的设备·····	238
第一节 高压脉冲电场设备·····	238
第二节 冷冻浓缩设备·····	275
第三节 高压脉冲电场与冷冻浓缩结合·····	279
参考文献·····	283

第一章 绪 论

杀菌是食品加工过程中的一个重要操作单元。翻开食品加工的历史,不难发现,食品加工的目的都是围绕着建立和维持食品微生物安全性,期望建立和维持食品经济的货架期。自19世纪中叶法国科学家巴斯德创立了巴氏消毒法以来,热力杀菌及热力钝化酶技术就在食品工业中得到了广泛的应用,在保障食品微生物安全,控制酶活力,延长产品货架期等方面发挥了巨大的作用。

然而,随着人们生活水平的逐渐提高,人们对食品加工价值的期望值也在逐步提高,消费者不仅仅满足于食品的无菌安全和较长的货架期,对食品的营养成分也提出了更高的要求。食品加工研究专家和食品加工企业为了迎合消费者的这种需要,不断探索新的食品加工方法和食品消费理念,食品最小加工(Minimally Processed Foods, MPF)理念^[1]进而产生,把食品加工技术和理念推向了一个崭新的领域。食品最小加工理念的产生推动了非热力加工技术的发展,为保证食品的营养与安全提供了可能。非热力加工技术可以最大限度地保留食品原有的生鲜风味和营养,成为当前食品加工新技术研究与开发的热点,受到人们的重视和欢迎。

目前的非热力杀菌技术主要有超高压杀菌、高压脉冲杀菌、振荡磁场杀菌、脉冲强光杀菌、紫外线杀菌和生物防腐剂杀菌等。

第一节 热力杀菌技术

热力杀菌技术是食品工业中普遍采用的杀菌技术。主要是以热水、水蒸气、电等作为热源对食品进行直接或间接加热,使微生物和酶蛋白变性,食品得以保藏。主要有巴氏杀菌、高温杀菌、超高温瞬时灭菌、微波杀菌、电阻加热等热力杀菌技术,但是这些灭菌方法存在诸多不足,如巴氏杀菌奶属非无菌灌装,保质期短,不宜在常温下贮存、分销,需要在贮存销售和消费过程中冷藏;高温灭菌时温度超过100℃,对产品影响较大;超高温导致物质的蛋白质变性,氨基酸、还原糖、芳香成分、维生素、色素等下降,引起味道变坏,失

去原有色泽, 维生素破坏等, 而且 UHT 杀菌系统设备庞大, 需要锅炉、管道、灭菌器、冷却系统等, 造价特别高, 能耗相当大; 微波是通过热效应和生物效应进行杀菌的, 在杀菌的同时也破坏了大量营养物质; 尽管电阻加热的优点主要体现在能使产品在生产中较容易控制, 并达到加热杀菌的均一性, 提高产品品质, 在生产过程中较易自动化, 但是它目前只应用于含颗粒食品的无菌加工系统中。概括来说, 热力杀菌是通过加热, 使食品中腐败菌细胞内的蛋白质凝固变性, 导致细菌失活, 但食品受热后, 常会发生物理或化学性质的变化, 造成其色、香、味、组织结构的变化及营养价值的下降, 易产生各种褐变反应及酸败, 维生素受到破坏等, 不但降低了产品的新鲜度, 甚至还产生了煮熟味, 严重影响了产品的质量 (Alvarez, I, Raso, J., 2003)。

第二节 非热力杀菌技术

为了尽量减少杀菌过程对食品有效成分的破坏, 尤其是热敏性产品的色、香、味、功能性及营养成分等的破坏, 工业上经常采用高温短时杀菌或超高温杀菌技术, 但这仍然不可避免地破坏食品中有效物质。随着人们生活水平的提高, 更多的消费者追求高质量的食物, 对食物的新鲜度提出了进一步的要求。希望食品在加工过程中能保持原有的新鲜度, 因而诞生了食品最小加工 (MPF) 的概念, 极大地推动了国际上食品非热加工技术的研究与发展。目前主要的非热力加工技术主要有超高压杀菌、高压脉冲电场、辐照、超声波、脉冲强光、臭氧、生物杀菌素、膜分离技术等, 主要应用于食品的杀菌与钝酶。随着研究的不断深入, 非热加工技术的应用范围得到了拓宽, 它也可用于食品功能成分的提取、食品大分子的改性等方面。

目前为止, 非热加工技术还没有具体而明确的定义, 但是有三个重要而鲜明的特点。首先, 非热加工技术是与热杀菌技术相对应的概念, 是一类技术的统称与集合, 其共同特点是不加热。其次, 非热技术杀菌处理时食品温度低、温升小, 一般食品温度都低于 60°C 。再次, 非热技术的复杂性, 由于该技术的多样性, 导致了对其研究的困难和复杂。总之, 非热加工技术内涵的核心是杀菌时不加热、食品温度低于 60°C , 但其概念的外延很广, 包括高静压、高压脉冲电场、紫外杀菌、辐照、生物防腐剂等。

“非热力加工”与“冷杀菌”的内涵是基本相同的, 但两者还是存在一定的区别。早期的文献中多用“冷杀菌”这一术语, 但是近年来在国际刊物中发表的文章或文献中, “非热力加工”术语应用逐渐替代了“冷杀菌”, 主要是由于“非热力加工”能够较为准确表达其真正的内涵, 而“冷杀菌”容易

引起误解和歧义。一方面,“冷杀菌”术语容易与冷藏、冷冻等食品加工或保藏技术联系,将冷藏、冷冻等技术误认为是“冷杀菌”;另一方面,在食品加工过程除了加热与冷却外,还存在杀菌过程中食品温度没有变化或者是变化范围很少的情况。因此,为了能够准确表达除了热杀菌之外其他的杀菌技术的概念,就提出了与热杀菌技术相对应的概念——非热力加工技术(廖小军,胡小松,2009)。

一、超高压技术

食品超高压技术(Ultra-High Pressure Processing, UHP)简称高压技术(High Pressure Processing, HPP)或高静水压技术(High-Hydrostatic Pressure, HHP)。食品超高压杀菌,即将包装好的食品物料放入液体介质(通常是食用油、甘油、油与水的乳液)中,在100~1000MPa压力下处理一段时间使之达到灭菌要求。其基本原理就是利用压力对微生物的致死作用,主要通过破坏细胞膜、抑制酶的活力和影响DNA等遗传物质的复制来实现,是目前研究最多、商业化程度最高的非热力加工技术。大量研究表明,适宜的高压处理对苹果汁、橙汁、胡萝卜汁等多种果蔬汁中的大肠杆菌、沙门氏菌等病原微生物以及酵母等腐败微生物均有较强的杀灭作用,从而在提高果蔬汁产品微生物安全性和稳定性等方面发挥重要作用。同时超高压技术不会像高温杀菌那样造成饮料营养成分破坏、风味变化,有效地保持了食品本身的鲜爽口味。但由于处理过程压力很高,食品中压敏性成分会受到不同程度的破坏。由于在一些场合,其过高的压力使得能耗增加,对设备要求过高,不利于工业化生产,而且超高压装置需要较高的投入,尚须解决其高成本的问题。

二、辐照技术

辐射(或辐照)杀菌是利用一定剂量的波长极短的电离射线对食品进行杀菌。在食品杀菌中常用的射线有X-射线、 γ -射线和电子射线。由于安全性问题等原因,直到20世纪80年代才得到实用,目前已有不少国家投入商业化生产,以不会有诱导放射性之害的安全剂量对食品进行辐照,能达到有效杀菌而不发生常规加热杀菌可能带来的各种不良影响。食品在正常推荐的剂量辐照后其营养成分,如蛋白质、糖类、微量元素及矿物质的损失很少,但是维生素和脂肪对辐射敏感。脂肪经过高剂量辐射后,因氧化反应产生的自由基及其衍生物会促进脂肪的氧化而使其发生酸败变性,导致脂肪的消化吸收率降低。同时辐射处理对各种食品色素的影响不同,植物性色素对辐射处理较稳定,而

动物性色素对辐射敏感。辐射处理一般会使食品特有的香气损失，同时也会产生令人不愉快的“辐射臭气味”，尤其是肉类食品。低剂量辐射处理食品不会对食品质地产生明显的影响，相反还可以抑制软化，破坏引起果实后熟的有关酶的活力，延缓水果的后熟。

三、超声波技术

超声波是频率大于 20kHz 的声波，是在媒质中传播的一种机械振动。由于其频率高、波长短，除了具有方向性好、功率大、穿透力强等特点以外；超声波还能引起空化作用和一系列的特殊效应，如力学效应、热学效应、化学效应和生物效应等（刘丽艳等，2006）。一般认为，超声波所具有的杀菌效力主要是由于超声波所产生的空化作用，使微生物细胞内容物受到强烈的震荡，从而达到对微生物的破坏作用。所谓的空化作用是当超声波作用在介质中，其强度超过某一空气阈值时，会产生空化现象，即液体中微小的空气泡核在超声波作用下被激活，表现为泡核的振荡、生长、收缩及崩溃等一系列动力学过程。空气泡在绝热收缩及崩溃的瞬间，泡内呈现 5000℃ 以上的高温及 109K/s 的温度变化率，产生高达 108N/m² 的强大冲击波（李儒荀等，2002）。

利用超声波空化效应在液体中产生的局部瞬间高温及温度交变变化、局部瞬间高压和压力变化，使液体中某些细菌致死，病毒失活，甚至使体积较小的一些微生物的细胞壁破坏，从而延长保鲜期（张永林，杜先锋，2002）。

四、脉冲强光技术

脉冲强光杀菌是利用脉冲的强烈白光闪照而使惰性气体灯发出与太阳光谱相近，但强度更强的紫外线至红外线区域的光来抑制食品和包装材料表面、固体表面、气体和透明饮料中的微生物的生长繁殖（夏文水，钟秋平，2003）。它主要由一个动力单元和一个惰性气体灯单元组成。动力单元是用来提供高电压高电流脉冲的部件，为惰性气体灯提供所需的能量；惰性气体灯能发出波长由紫外线区域（200nm）至近红外线区域（1mm）的光线，其光谱与到达地球的太阳光谱相近，但强度却比太阳光强数千倍至数万倍（陆蒸，2005）。

脉冲光中起杀菌作用的波段可能是紫外光，其他波段起协同作用。由于细菌、酵母菌等微生物都是由水、蛋白质、碳水化合物、脂肪和无机物等复杂化合物构成的一种凝聚态物质，而脉冲强光有一定的穿透性，当闪照时，脉冲强光作用于其活性结构上，使蛋白质发生变性，从而使细胞失去生物活性，达到

杀菌的目的 (Joseph Dunn, 1995)。

五、臭氧技术

臭氧, 分子式 O_3 , 相对分子质量 48.00。在室温下, 臭氧是一种淡蓝色的气体, 有爆炸性, 有特殊臭味, 其气体相对密度为 1.658。经冷压处理后可变为液体, 其液体相对密度为 1.71, 沸点为 -112.3°C 。可以溶于水, 但溶解度低 (3%), 在水中的半衰期约为 21min, 在低硬度地下水中约为 20min; 当水温降到 0°C 时, 臭氧变得相当稳定; 臭氧在空气中的半衰期一般为 20 ~ 50min, 温度越高、湿度越大, 分解越快; 在干燥低温的空气中, 其半衰期可达数小时。一般条件下, 臭氧稳定性极差, 可自行分解为氧 (杜艳等, 2005)。

臭氧是一种潜在的氧化剂, 其氧化能力仅次于氟、氯、三氟化合物和氢氧根自由基, 位于第 5 位, 在实际应用中呈现出奇特的消毒、灭菌等作用。一旦与水混合, 可与水中的酸类、亚硝酸盐、氰化合物等还原性无机物发生反应, 其次臭氧还能与一些有机物反应, 使有机物发生不同程度的降解, 变成简单的中间体, 再进一步彻底氧化生成 CO_2 , 这个性质使之成为水处理中最具有潜力的氧化剂和消毒剂。鉴于这两种性质, 再加上易产生氢氧根自由基的特点, 也使得臭氧广泛应用于食品生产的消毒灭菌等工序中。需要特别强调的是, 臭氧在消毒、灭菌过程中仅产生无毒的氧化物, 多余的臭氧最终还原成为氧, 不存在残留物, 没有任何遗留污染的问题, 可直接用于食品的消毒、灭菌。这是其他任何化学消毒剂所无法比拟的, 是食品生产中不可多得的冷消毒剂 (王启军, 何国庆, 2002)。

六、膜分离技术

膜过滤除菌是一种分子级分离, 主要的膜系统按膜孔紧密程度由密到疏, 可分为反渗透 (RO)、纳米过滤 (N)、超滤 (F)、微滤 (MF)。用微滤膜可对发酵工业中的用水和产品实现无菌化。目前各酒业公司已广泛使用滤芯对成品酒进行终端过滤, 以替代原有的热力杀菌技术, 不仅节省能耗, 而且避免了高温给产品带来的煮熟味。鲜生啤酒 (通过膜过滤技术, 在常温条件下进行除菌而生产出的啤酒) 一面市, 便以其优异的品质和口感迅速占领市场 (李玉锋, 马涛, 2007)。膜过滤除菌技术具有耗能少、可在常温下操作、适用于热敏性物料、工艺适用性强等优点, 其应用前景广阔, 现已广泛用于食品、生化、制药、乳品、果汁等的过滤除菌。

七、生物杀菌技术

生物杀菌技术是利用生物（微生物、植物和动物）的代谢产物来抑制微生物的生长繁殖或杀死微生物。随着消费者对传统食品防腐剂的担心，生物防腐剂日益受到欢迎。这类防腐剂主要有乳酸链球菌素（nisin）、那他霉素、抗微生物酶等，其中抗微生物酶在食品杀菌中的开发应用在日本、美国受到重视。目前发现的抗微生物酶有以下四类：一是使细菌失去新陈代谢作用；二是对细菌产生有毒作用；三是破坏细胞的细胞膜成分；四是钝化其他的酶。

溶菌酶（Lysozyme, Lz）是一种催化细菌细胞壁的肽多糖水解酶，能专一作用于肽多糖分子中的 N -乙酰胞壁酸与 N -乙酰氨基葡萄糖之间的 β -1, 4 键，从而破坏细胞壁，使细胞溶解死亡。溶菌酶对革兰氏阳性菌、好气性孢子形成菌、地衣芽孢杆菌、耐辐射微球菌等革兰氏阴性菌有一定程度的溶解作用，最有效浓度为 0.05%；葡萄糖氧化酶在有氧条件下能催化葡萄糖生成葡萄糖酸内酯，反应中消耗一个氧分子，故可抑制好氧微生物的生长繁殖从而起到防腐作用。

第三节 高压脉冲电场杀菌技术及其研究进展

一、高压脉冲电场杀菌技术

高压脉冲电场（pulsed electric field, PEF）是一种非热力处理技术，具有处理时间短，温升小，能耗低和杀菌效果明显等特点，成为近几年来国内外研究的热点之一（Gustavo V, Barbosa - Canovas, M Marcela Gongora - Nieto 等，1999；Sato M. Clements S, 1996）。早在 1967 年，英国学者就发现 25kV/cm 直流脉冲能有效致死营养细菌和酵母菌。20 世纪 80 年代后期以来，美国、日本等发达国家对其研究比较活跃，并制造了成套的技术设备。位于美国加利福尼亚州的纯脉冲技术研究所（Pure pulse technologies），已经拥有几个用于流体食品保藏的专利，如用高电压脉冲电场处理乳品、果汁以及流态鸡蛋。此外，华盛顿州立大学（WSU）也开展了高压脉冲电场对食品进行巴氏杀菌的研究项目。日本麒麟啤酒公司与群馬大学共同研制成功一种不用加热在低温下杀死啤酒中细菌的新方法，是在啤酒中施加瞬时脉冲高电压来杀死影响啤酒味道及质量的污染菌。这种方法与以前加热杀菌相比，不但能耗小，而且不影响啤酒质量（张铁华等，2006；H. E. Zakhem, J. L. Lanoisellé, N. I. Lebovka

等, 2006)。德国汉堡 Krupp Maschinentechnik Gmbh 的食品工程师较早研究高压脉冲电场处理技术, 并与汉堡大学联合宣布将高压脉冲电场应用到橙汁和牛奶等食品杀菌中已取得了初步的成功 (Jonathan Mosqueda - Melgar, Rosa M 等, 2007; Gustavo V 等, 1999)。

二、国内外脉冲电场技术的研究进展

最初使用电杀菌方法的是 19 世纪 20 年代到 30 年代美国的一些农场, 他们将此方法用于牛奶的杀菌, 当时采用的是 220V 低压交变电场而非脉冲电场。

20 世纪 50 年代, 又产生了一种称为液内放电法的灭菌方法, 它是通过浸在液体内的电极快速释放高压电, 产生瞬时的高压脉冲、电弧光以及电化学反应来灭菌, 但由于会造成食品电污染 (因为电极的腐蚀) 和食品中颗粒的瓦解 (因为冲击波的作用), 目前仅用于污水处理。

20 世纪 60 年代初, Doevenspeck 通过实验发现, 不同强度的匀强电场对微生物的生存有不同程度的抑制作用。学者 Sale 和 Hamilton 率先进行了高压脉冲电场灭菌效果的研究, 他们认为电场强度和作用时间是影响电压灭菌效果的两个最主要因素, 并通过实验证明了产生灭菌作用的既非电解产物也非热力学的原因。80 年代以后, Hulsheger、Zimmermann、Mizuno 等学者对电脉冲杀菌机理作了进一步的探讨, 并开始了用于工业生产的设备研究。近几年来, 德国汉堡大学和美国华盛顿州立大学等, 先后开展了用脉冲电场对牛奶、果汁等液态食品杀菌课题的研究。国外某些研究人员使用高压脉冲电场对培养液中的酵母、各类革兰氏阴性菌、革兰氏阳性菌, 以及苹果汁、香蕉汁、菠萝汁、牛奶、蛋清液等进行了大量研究, 并取得了良好的结果。结果表明, 该处理时间在几个微秒到几个毫秒, 最长不超过 1s, 而货架期可延长 4~6 周, 抑菌效果可达到 4~6 个对数周期。同时, 处理没有对食品的感官质量造成任何影响, 在 22.5kV/cm 的场强处理下乳酸杆菌数降低近 6 个数量级。目前国外对高压脉冲电场研究得比较详细, 正由实验中向商品化实验过渡。实验室应用装置就有数十种, 对于装置的设计和电场参数的设置, 杀菌钝酶的机理和影响因素, 处理后产品的理化性质如营养成分、风味、色泽及货架期各种指标的变化都进行了大量的研究。

随着高压脉冲电场杀菌技术在外国的兴起, 我国科技工作者自 20 世纪 90 年代起, 也展开有关的理论和实践研究。1992 年, 邓元修等直接尝试了高压脉冲电场对酵母菌和大肠杆菌的杀灭作用, 表明所需能耗很低, 每吨液态食品灭菌耗电约为 0.5~2.0kW/h。对试液的温升小于 2℃, 因而能够最大限度地

保留食品的营养成分。目前国内对高压脉冲电场的研究主要有以下几个方面。

(1) 高压脉冲电场对酶及酶构象的影响。中国农业大学钟葵使用脉冲电场处理果胶酯酶,发现酶活力及酶构象均有变化。华南理工大学曾新安研究了高强脉冲电场对过氧化物酶和脂肪酶的影响,高强脉冲电场能够使酶的活力降低,且活力降低与电场强度和脉冲数目的增加呈正比。

(2) 高压脉冲技术作为辅助提取的手段应用于果蔬汁及蛋白质和多糖等活性成分的提取。中国农业大学张燕研究了高压脉冲电场处理对红莓花色苷提取过程的影响,发现通过高压脉冲电场预处理可以提高花色苷的提取率,并缩短提取时间。江南大学李迎秋研究了高压脉冲电场对大豆分离蛋白功能性质的影响。

(3) 对高压脉冲电场处理系统的改进。

(4) 高压脉冲电场的非热力杀灭效果及其机理的研究。1997年,陈键在40kV/cm条件下,用50个脉冲处理脱脂乳中的大肠杆菌后,99%大肠杆菌失活。1998年,殷涌光做了高压脉冲电场处理装置内温度分布的模型试验研究,以及研究高压脉冲电场对发酵乳的非热杀菌,发现脉冲电场对发酵乳中乳酸菌的杀菌效果显著,场强度是最主要的影响因素,高压脉冲电场非热力杀菌后发酵乳几乎没有升温,因此对发酵乳的理化性质如脂肪、酪蛋白、酸度和黏度等指标影响很小。中国农业大学廖小军使用高压脉冲电场对胡萝卜汁和橙汁的非热力杀灭研究以及果汁理化性质的影响效果。华南理工大学曾新安对高压脉冲电场技术在桑果汁中的应用进行了初步研究,提出高压脉冲电场杀菌是电场和热效应的协同作用,以及研究了脉冲电场处理对脱脂乳游离氨基酸和乳糖的影响,发现高压脉冲电场在对牛乳杀菌的同时,不仅没有减少牛乳的总氨基酸量,还使氨基酸含量有所提高。

三、高压脉冲电场杀菌技术特点

1. 灭菌效果好

能更有效地杀灭食物中的酶及微生物,高电压脉冲灭菌法可达到杀菌6个数量级以上。

2. 杀菌温度低,对食物的营养成分保留效果好

高电压脉冲灭菌法能更有效地保留食物中的营养成分,其中食物的主要指标,蛋白质及维生素的损伤率只有几个百分点,甚至为零。而巴氏灭菌法对食物的营养成分破坏相对来说是很严重的,其中蛋白质及维生素的损耗远远超出高电压灭菌法。由于传统灭菌法产生的高温会不可避免地破坏食物中的营养成分,而高电压灭菌法可以在瞬间灭菌,使食物在灭菌处理后升温在30℃以内。假设物料不预先进行降温处理且初始温度在25℃左右,处理后的物料温度低

于 55°C ，完全处于对物料的营养和风味进行充分保护的“冷处理”范围，产热少，副产物少，对食品的化学成分、外观及风味等基本无影响。所以就这一点来说，高电压灭菌法所达到的效果是传统灭菌法所远不能及的。

3. 高压脉冲处理不会引起食品营养成分的改变

在食品成分的变化方面，蛋白质最易于受各种理化或微生物因素的作用而分解腐败，从而使食品的质量降低。研究表明，高压脉冲处理不会引起食品中蛋白质等的变化而导致食品营养成分的改变。

4. 灭菌速度极快

食品实际接受脉冲电场作用的时间在毫秒以内，整体灭菌工序操作时间在数秒以内，而巴氏灭菌法的灭菌时间较长，二者的灭菌速度有很大的区别。高电压灭菌法是通过瞬间的电场强度变化，使菌体死亡，从而使对人体有害的菌类等物质被杀灭或失去活性。

5. 处理均匀

在电场中各部分的物料均受到了相同大小场强的处理。

6. 灭菌后易处理

用高电压脉冲灭菌法灭菌后，食物温度变化很少，完成消毒过程之后即可进行封装，而用巴氏灭菌法进行灭菌后，食物温度很高，必须经过一段时间的冷却后才能进行封装，效率远不及高电压脉冲灭菌法。

7. 不会产生对人体有害的自由基物质

食品中含有的某些营养素及酶类物质，经氧化后会成为自由基的产生来源之一。自由基在很多的情况下对人体有损害作用。实验发现，高压脉冲电场处理后不会产生对人体有害的自由基物质。

8. 对环境无污染，无二次污染及三废问题

考虑应用物理灭菌时的三大问题：一是杀菌中是否引起新的污染；二是是否比传统方法有明显的经济优势；三是是否能实现规模化生产。综合高压脉冲电场以上的特点，脉冲电场食品处理技术完全具备向规模化方向发展的潜质。

第四节 冷冻浓缩技术及其研究进展

一、冷冻浓缩技术

在果蔬汁等液态食品加工过程中的浓缩工序，蒸发浓缩易造成热敏性成分变性、挥发性成分损失，并失去原有风味和破坏营养成分。从理论上来看，每蒸发 1kg 水，需要供给蒸发潜热 2256kJ ，而使同量的水结冰则只需要移去