

# 脉冲电磁场杀菌在食品加工中的应用

王立锐, 金文刚 (1. 宁夏多维药业有限公司, 宁夏永宁 750105; 2. 宁夏大学农学院食品系, 宁夏银川 750021)

**摘要** 对脉冲电磁场杀菌技术的研究进展作了综述, 主要介绍了脉冲电磁场杀菌技术的特点、杀菌机理及其在食品工业中的应用。

**关键词** 脉冲电场; 脉冲磁场; 非加热杀菌; 杀菌机理

中图分类号 TS205.9 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2007)25-07933-02

## Application of Pulsed Electromagnetic Field Sterilization in Food Processing

WANG Li-rui et al (Ningxia Duwei Pharmaceutical Limited Company, Yongning, Ningxia 750105)

**Abstract** The research progress of pulsed electromagnetic-field sterilization technology was reviewed. The characteristics, the sterilization mechanism, as well as the application in food industry of pulsed electromagnetic-field sterilization technology were mainly introduced.

**Key words** Pulsed electric field; Pulsed magnetic field; Non-thermal sterilization; Sterilization mechanism

当前, 国内外食品工业中采用的杀菌方式主要可分为两类: 加热杀菌和非加热杀菌。加热杀菌是较传统的、已臻完善的灭菌方法。现代食品非加热杀菌技术主要包括: 超高压杀菌、辐照杀菌、脉冲电场杀菌、脉冲强光杀菌、脉冲磁场杀菌、紫外线杀菌和二氧化钛光催化杀菌技术等<sup>[1]</sup>。这些高新杀菌技术不仅能保证食品在微生物方面的安全, 还能更好地保持食品的天然营养成分、色泽、质构和新鲜程度, 同加热杀菌相比还大大降低了能源消耗。

脉冲电磁场杀菌技术近年来在食品、药品业中显示出很好的发展前景, 主要包括脉冲电场杀菌、脉冲磁场杀菌、脉冲强光杀菌。笔者主要对脉冲电场杀菌和脉冲磁场杀菌技术作一综述。

### 1 脉冲电磁场杀菌技术介绍

电磁场杀菌就是在常温常压下, 利用脉冲电磁场进行瞬时杀菌, 主要由 5 个要素组成: 螺线圈中的电磁场强度 (V/m)、脉冲电磁场的固有频率 (Hz)、脉冲次数、脉冲宽度 ( $\mu$ s)、脉冲波形。下面对脉冲电场杀菌和脉冲磁场杀菌分别予以介绍。

**1.1 脉冲电场杀菌** 脉冲电场杀菌是借助于两个电极将高强度脉冲电源产生的高强度脉冲电场直接施加到食品上进行灭菌。自 1967 年 Hamilton 和 Sale 发现脉冲电场具有杀菌作用以来, 美国、日本、德国和加拿大等国竞相研究这一新的杀菌技术。20 世纪 80 年代后, Hilsheger<sup>[2]</sup>、Zimmermann<sup>[3]</sup> 等对脉冲电场杀菌机理进行了探讨, 并进行了工业化相关设备的研究。与热力杀菌相比, 该杀菌法优点表现在: 杀菌温度低, 能保持食品原有风味; 杀菌时间短、耗能少。但是脉冲电场杀菌的不足表现在易产生电弧放电, 一方面会被电解, 产生气泡, 影响杀菌效果和食品质量; 另一方面, 电极会被腐蚀, 从而会降低设备寿命。近年来, 国内外有不少研究者在杀菌机理、对微生物形态影响、对微生物高压脉冲电场敏感性因素的分析、对食品质量影响等方面做了大量研究工作, 我国在这一领域也取得一定成绩。

**1.2 脉冲磁场杀菌** 脉冲磁场杀菌是利用高强度磁场发生器向螺旋线圈发出强脉冲磁场, 将食品放置于螺旋线圈内部的磁场当中, 微生物受到强脉冲磁场的作用会导致死亡。自

Hfmann 发现脉冲磁场杀菌不存在脉冲电场杀菌存在的缺陷, 除保持一般非加热杀菌的特点外, 其突出的优点表现为: 杀菌物料的温度一般不超过 5℃, 所以食品的组织结构、营养成分和颜色都不受破坏, 不会影响原有风味; 距离线圈 2 m 左右处, 磁场强度则衰减为相当于地磁强度, 因此无漏磁问题, 安全性好; 与连续波和恒定磁场相比, 脉冲磁场杀菌设备具有功率消耗低、杀菌时间短、对微生物杀灭力强、效率高等特点; 磁场的产生和中止易于控制; 由于脉冲磁场对食品有较强的穿透力, 能深入食品内部, 并可通过物料流动, 强化料液的搅拌传质效果, 致使灭菌无死角, 杀菌彻底<sup>[4]</sup>。美国、日本的研究证明, 高强度脉冲磁场杀菌在食品行业有很重要的应用价值。我国在这方面的研究还在起步阶段, 基础理论研究和推广应用还有待进一步深入。

### 2 脉冲电磁场杀菌机理分析

**2.1 脉冲电场杀菌机理<sup>[5-6]</sup>** 应用脉冲电场对食品杀菌已有广泛的研究, 经过不断累积发展, 其杀菌机理有很多假说, 如细胞膜穿孔效应、跨膜电位理论、电磁机制模型、介电破坏理论、粘弹极性形成模型、电解产物理论、臭氧效应理论等。以下主要介绍三种最具代表性的观点:

**2.1.1 跨膜电位理论。** 该理论认为, 当一个外部电场加到细胞两端时, 就会产生跨膜电位 (TMP); 跨膜电位达到 1 V 时, 细胞膜便会失去其功能。对半径  $r$  处于均匀场强  $E$  中的球形来说, 其沿电场方向的跨膜电位, 可由下列公式得出:  $U = 1.5 rE$ , 式中:  $U$  表示沿电场方向的跨膜电位,  $r$  表示细胞半径,  $E$  代表电场强度。

**2.1.2 介电破坏理论。** 该理论将细胞膜视为电容, 在高压脉冲电场作用下, 膜两侧电位差增大, 由于电荷电性相反, 它们相互吸引形成挤压力, 当 TMP 达到 1 V, 挤压力大于膜的恢复力, 膜就会破裂而失活。

**2.1.3 电穿孔理论。** 该理论认为, 高压电脉冲会改变脂肪的分子结构和增大部分蛋白质通道的开度, 使细胞膜失去半渗透性质, 细胞会膨胀而死。

研究表明, 影响脉冲电场杀菌的因素有对象菌的种类、数量, 电场强度, 处理时间、温度, 介质电导率, 脉冲频率以及介质的 pH 值。

### 2.2 脉冲磁场杀菌机理<sup>[7]</sup>

**2.2.1 磁场的感应电流效应。** 生物体对于磁场是可透过性的, 微生物细胞在磁场下运动时, 如果细胞所做运动是切割

磁力线的运动,就会导致其中磁通量变化并激起感应电流,这个电流的大小、方向和形式是对细胞产生生物效应的主要原因。此感应电流越大,生物效应越明显。当细胞处于脉冲场时,由于磁场的瞬间出现和消失,必然在细胞内产生瞬变的磁通量。瞬变的磁通在细胞内激起感应电流,此感应电流与磁场相互作用的力密度可破坏细胞正常的生理功能。如果此细胞体积较大,相应产生的力密度亦大,故而大细胞易于死亡,小细胞则反之。因此,就磁场对细胞产生的感应电流效应而言,恒强磁场不及旋转磁场,旋转磁场不及脉冲磁场,这就是为何脉冲磁场只要很短的时间和较小的场强,就会产生显著的杀菌效果。

**2.2.2 磁场的洛仑兹力效应。**在磁场作用下,细胞中的带电粒子如电子和离子,受到洛仑兹力的影响,其运动轨迹常被限制在一定半径范围之内,磁场强度越大,这种半径就越小。根据磁场强度大小的不同,带电粒子的运动轨迹大体会出现以下3种情况:场强较小时,拉默半径大于细胞的大小,微生物细胞内的带电粒子运动自如,不但没有约束,反而可能使其更加定向、同步地向反应中心聚集,更加促进了细胞的生长和分裂;场强中等时,拉默半径与细胞的大小相当,则磁场的影响不明显;场强较大时,洛仑兹力加大,拉默半径小于细胞的大小,导致了细胞内的电子和离子不能正常传递,从而影响了细胞正常的生理功能。

**2.2.3 磁场的振荡效应。**研究表明,生物体内的大多数分子和原子具有极性和磁性,外加磁场必会对生物产生作用。不同强度分布的外加磁场对不同生物的影响程度是不同的,而且振荡磁场还能松弛离子和蛋白质间的化学键,键的松弛可能影响细胞的代谢活动而使微生物失活。由于脉冲磁场是变化的,在极短的时间内,磁场的频率和强度都会发生极大变化,在细胞膜上产生振荡效应。激烈的振荡效应能使细胞膜破裂,这种破裂会导致细胞结构紊乱,从而达到杀死细胞的目的,进而杀死细菌。

**2.2.4 磁场的电离效应。**在磁场的作用下,食品中的带电粒子将产生高速运动,撞击食品分子,使食品分子分解,产生阴、阳离子,这些阴、阳离子在强磁场的作用下极为活跃,可穿过细胞膜,与微生物内的生命物质如蛋白质、RNA作用,而阻断细胞内正常生化反应和新陈代谢的进行,导致细胞死亡,进而杀死细菌。应特别指出,利用磁场杀菌要求食品材料有较高的电阻率,一般应大于 $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ ,以防材料内部产生涡流效应而导致磁屏蔽。这就可解释为什么脉冲磁场杀菌对有些食品物料具有很好的杀菌效果,而有些物料杀菌效果则较差。

### 3 脉冲电磁场杀菌在食品工业中的应用

近年来,国内外的一些大学和研究机构对脉冲电磁场杀菌进行了大量研究,应用领域主要集中在液态食品杀菌、钝化酶活力、提高果汁出汁率等方面。Simpson<sup>[8]</sup>等用高压脉冲电场对还原苹果汁进行处理,电场强度为 $50 \text{ kV/cm}$ ,脉冲数为10,脉宽为 $2 \mu\text{s}$ ,处理温度为 $45^\circ\text{C}$ ,产品货架期为28 d,处理前后维生素和糖分及感官没有变化,而未处理的鲜榨苹果汁货架期却只有7 d。廖小军等研究了高压脉冲电场对橙汁大肠杆菌和理化性质的影响;曾新安<sup>[9]</sup>等对高压交流电场的

灭菌效果进行研究,结果表明,在用 $22.5 \text{ kV/cm}$ 的场强处理下,乳酸杆菌数会降低近6个数量级。Iu<sup>[10]</sup>等指出,高压脉冲与中等程度的热处理相结合或与溶菌酶、乳链球菌素等天然抗菌剂相结合处理苹果汁,能有效减少大肠杆菌 O157:H7。Stzman<sup>[11]</sup>用 $15 \text{ kV/cm}$ 场强处理鲜榨橙汁能使微生物降低3个对数,而不影响其品质;高梦祥<sup>[12]</sup>等利用强脉冲磁场对牛奶杀菌效果和营养成分的影响进行研究,结果表明经磁场杀菌后的牛奶,菌落总数和大肠菌群数可达到商业无菌的要求,脉冲磁场杀菌对牛奶中的蛋白质、乳糖和还原性维生素C会造成一定损失,但与热杀菌相比,已有很大改善,尤其是对维生素C的保留率;李梅<sup>[13]</sup>等研究了脉冲磁场杀菌,结果表明:脉冲磁场对细菌和藻类的杀灭具有强度和频率的选择,提高停留时间、磁场强度和脉冲频率可提高杀菌和灭藻效果;马海乐等曾对西瓜汁、生啤酒进行脉冲磁场杀菌试验,结果表明产品均能达到商业无菌要求;电磁场处理技术除杀菌外,有研究表明其在改善肉制品品质方面也有一定优势,能明显改善牛、羊、猪肉嫩度<sup>[16]</sup>。

### 4 结语

脉冲电场杀菌和脉冲磁场杀菌都与传统的加热杀菌不同,既能保持食品的原风味,又有处理时间短、能耗低的优点,有望取代或补充传统的加热杀菌技术,但是,任何单一的杀菌技术或多或少都存在某方面欠缺和不足。为进一步提高杀菌效率,利用两种或两种以上杀菌方法串联、并联使用或与天然杀菌剂配合使用是今后杀菌技术的一个重要发展方向。目前我国食品工业中的大多数产品是利用传统的加热方式进行杀菌,生产技术落后,致使产品加工的质量和档次不高。为使我国食品工业尽快与国际接轨,就必须尽快引进和推广高新杀菌技术,虽然脉冲电磁场杀菌技术的应用研究在实验室水平上已取得一定成果,但由于处理系统电路设计的复杂性使得其造价非常昂贵,从而限制了其工业化应用。相信随着对其研究的深入及其成本的降低,不久的将来脉冲电磁场杀菌技术必将会在我国食品工业中得到大规模应用。

### 参考文献

- [1] 夏文水. 食品冷杀菌技术研究进展[J]. 中国食品卫生杂志, 2003(6): 539 - 543.
- [2] HULSHEDGER H. Lethal effects of high voltage pulses on *E. coli* K12[J]. *Radiat Environ Biophys*, 1980(22): 149 - 162.
- [3] ZIMMERMANN U. Electric breakdown, electroporation and electrofusion Rev[J]. *Phys Biochem Pharmacol*, 1986, 105: 196 - 256.
- [4] 刘伟. 脉冲电磁场杀菌的作用机理及其应用[J]. 粮食与食品工业, 2005(1): 52 - 54.
- [5] 张喜海. 高强度脉冲电场灭菌关键因素的分析[J]. 东北农业大学学报, 2005(6): 825 - 827.
- [6] 应雪正. 国内外高压脉冲电场食品杀菌关键技术概况[J]. 食品科技, 2006(3): 4 - 7.
- [7] 骆新峥. 脉冲磁场杀菌机理分析[J]. 食品科技, 2004(4): 11 - 13.
- [8] SIMPSON M V. The combined inhibitory effects of lysozyme and high voltage pulsed electric fields on the growth of *Bacillus subtilis* spores[M]. *IFT Annual Meeting: Book of Abstract*, 1995: 267 - 268.
- [9] 曾新安. 高压电场灭菌效果研究[J]. 微生物学通报, 1998(5): 268 - 270.
- [10] IUJ. Reduction in levels of *Escherichia coli* O157:H7 in apple cider by pulsed electric fields[J]. *Food Prot*, 2001(7): 964 - 969.
- [11] STIZMAN V. High voltage pulse techniques for food preservation[M]// GOULD G W. New methods for food preservation. UK: Blachie Academic and Professional, 1995: 236 - 252.
- [12] 高梦祥. 强脉冲磁场对牛奶的杀菌效果及其营养成分的影响研究[J].

( 上接第7934 页)

农业工程学报,2005(3) :181- 184.

[13] 李梅. 脉冲磁场水处理技术在杀菌、灭藻方面的研究[J]. 环境科学学

报,2004(2) :260 - 263.

[14] HWANG I H. The biochemical and physical effects of electrical stimulation on beef and sheep meat tenderness[J]. Meat science, 2003,65 :677 - 691.