

西瓜汁的高强度脉冲磁场杀菌试验研究及杀菌机理分析

马海乐, 邓玉林, 储金宇

(江苏大学)

摘 要: 该文旨在研究液态食品的高强度脉冲磁场杀菌技术, 探讨高强度脉冲磁场对微生物细胞产生的生物效应。以西瓜汁的杀菌为例, 研究了磁场强度和脉冲数对杀菌效果的影响。研究结果表明: 随着场强和脉冲数的增加, 从整体上讲杀菌效果增强; 在场强为 2.53 T、脉冲数为 20 时, 杀菌效果最好。当脉冲数为 40 时, 磁场强度对杀菌效果的影响为单调增加; 当磁场强度为 4.22 T 时, 脉冲数对杀菌效果的影响为单调增加。但在某些参数下杀菌效果出现反弹现象, 其原因有待进一步探讨。从脉冲磁场导致细胞跨膜电位、感应电流、带电粒子洛伦兹力、离子能量等参数变化的角度, 描述了脉冲磁场对微生物细胞产生的生物学效应, 分析了致使细胞结构被破坏、正常生理活动受阻的机理。

关键词: 脉冲磁场; 杀菌; 西瓜汁; 生物学效应; 机理

中图分类号: TS275.5; TS101.32; S651

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2003)02-0163-04

1 引 言

在食品工业领域, 加热杀菌是最常用的一种杀菌方法, 其次是化学杀菌。但是, 热杀菌对食品的风味、滋味、营养成分会产生一定的副作用, 特别是对一些热敏性和有特殊要求的食品往往难以达到预定的效果。化学杀菌有化学药剂残留的可能, 残留的药剂对人体有可能造成毒副作用。因此, 如何在尽量减少对食品营养特性伤害的情况下, 能安全地杀灭有害微生物, 提高食品的保质期, 一直是食品工业中的重大课题。出于这一需求, 近年来食品的物理非热杀菌(也称物理冷杀菌)受到人们越来越多的关注。在诸多物理冷杀菌技术中, 利用脉冲电场或磁场进行杀菌, 受到人们的高度关注。

近年来, 国内外有不少关于利用脉冲电场杀菌的研究发表^[1~4]。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在食品上进行杀菌。与热杀菌比较, 该方法的优点是: 1) 杀菌时间短, 能耗低; 2) 杀菌温度低, 能保持食品原有的风味。但脉冲电场杀菌存在的不足是易产生电弧放电, 一方面食品会被电解, 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, 影响设备寿命。电弧放电的问题给杀菌系统的设计和放大带来了很大的难度。

脉冲磁场杀菌是利用高强度脉冲磁场发生器向螺旋线圈发出的强脉冲磁场, 带菌食品放置在处于螺旋线圈内部的磁场中, 微生物受强脉冲磁场的作用导致死亡。脉冲磁场杀菌不存在脉冲电场杀菌存在的缺陷, 除了保持一般物理冷杀菌的特点外, 其突出的优势表现在:

1) 杀菌物料的温升一般不超过 5℃, 所以物料的组织结构、营养成分、颜色均不遭破坏, 不会影响原有的风

味;

2) 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;

3) 与连续波和恒定磁场比较, 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、效率高的特点;

4) 磁场的产生和中止迅速, 便于用电脑控制;

5) 由于脉冲磁场对食品具有较强的穿透能力, 能深入食品的内部, 另外还可以通过物料流动, 能强化液料的搅拌传质效果, 致使灭菌无死角, 杀菌彻底。

目前有关脉冲磁场杀菌的研究甚少, 日本、美国的一些研究证明, 高强度脉冲磁场杀菌在食品行业有着重要的应用价值^[5~7]。我国在这方面的研究还处于初级阶段, 因此无论是基础理论, 还是开发应用, 都有待深入研究。

西瓜汁属于低酸热敏性食品, 对于杀菌条件要求苛刻, 热杀菌处理不当, 不但会增加西瓜汁营养成分的损失, 还会产生加热煮熟味, 从而失去西瓜原有的天然风味^[8]。为了解决这一难题, 有人引入了超高压杀菌技术^[9]。

本文以西瓜汁为例, 研究液体食品的高强度脉冲磁场杀菌技术方法。

2 材料与方法

2.1 试验材料

西瓜汁: 从市场选购普通西瓜, 将西瓜切碎, 取出瓢, 放入打浆机中捣碎, 过滤取汁, 将西瓜汁样品装入玻璃瓶中备用。

2.2 主要设备

高强度脉冲磁场杀菌设备, 自行研制, 系统的关键部分是通过高强度脉冲电源激发螺旋线圈, 产生一个脉冲磁场。

2.3 高强度脉冲磁场杀菌器的操作

1) 测试西瓜汁初始菌数。

2) 将西瓜汁装入样品瓶中, 贴好标签, 放在料斗

收稿日期: 2002-05-27 修订日期: 2002-12-16

基金项目: 江苏省教育厅“青蓝工程”资助基金项目

作者简介: 马海乐(1963-), 男, 陕西咸阳人, 教授, 博士, 主要从事食品功能因子、加工新技术方面的研究。镇江市 江苏大学生物与环境工程学院, 212013。Email: mhl@ujs.edu.cn

中,然后将料斗放入磁场线圈中。

3) 接通电源,将电压调到需要的电压值,进行充电;当储能电容两端的电压达到规定的放电电压时,按下“放电”按钮,完成一个脉冲数的放电杀菌。根据计算,电压 800 V、1000 V、1 200 V、1 600 V 和 2 000 V 对应的磁场强度分别为 1.69 T、2.11 T、2.53 T、3.37 T 和 4.22 T。

4) 在进行一次杀菌后,让脉冲磁场发生器停止工作几分钟,然后再进行下一次的杀菌试验。

5) 在对原料施加足够的磁场脉冲数后,立即以无菌的玻璃棒搅匀菌液,再用移液管从样品瓶中吸取 1 mL 菌液到平板进行培养,用以计算杀菌效果。做 2 份,取平均值。

2.4 试验方案

本试验选择磁场强度和脉冲数为影响因素,进行杀菌试验,磁场强度分别为 1.69 T、2.11 T、2.53 T、3.37 T 和 4.22 T,每个磁场强度值下施加的脉冲数分别为 5、10、20、30 和 40,构成 25 组杀菌试验。每组做 3 个试样,因此共进行 75 次试验,样品 1、样品 2 和样品 3 初始细菌总数分别为 8.3×10^6 个/mL、 3.1×10^6 个/mL 和 4.7×10^6 个/mL。

3 结果与讨论

3.1 磁场强度对杀菌效果的影响

磁场强度对杀菌效果的影响示于图 1。

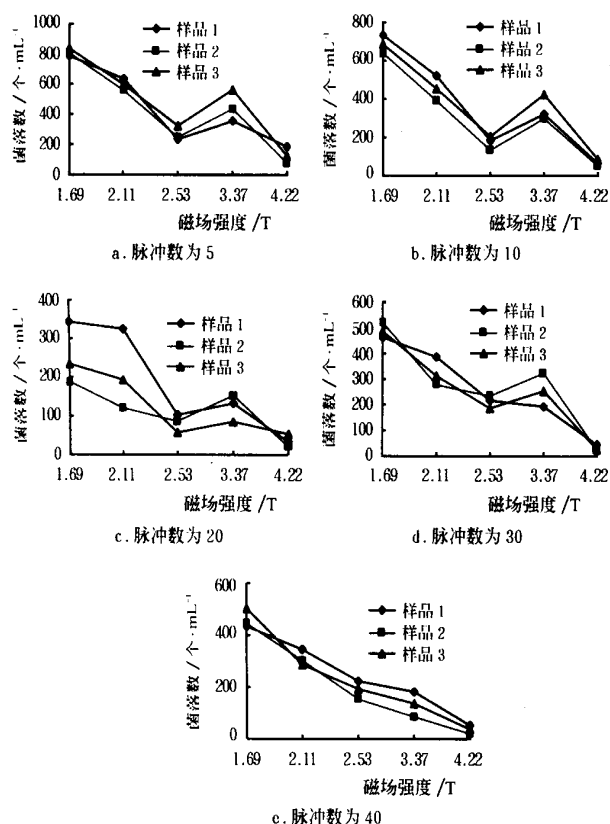


图 1 磁场强度对杀菌效果的影响

Fig 1 Effects of magnetic field intensity to sterilization

从图 1 的 a、b、c、d 和 e 中可以看出随着磁场强度的增大,总体上讲菌落总数呈下降的趋势。但在 3.37 T 时反而有上升的趋势,磁场强度增加到 4.22 T 时,灭菌效果又变得显著。在 3.37 T 处出现的数据反弹现象随着脉冲数的增加逐渐减小。当脉冲数为 40 时,数据反弹现象几乎消失。

从图 1 还可以看出当磁场强度为 4.22 T 时,杀菌效果与其他场强点相比产生了数量级上的变化,菌落数迅速减少,可以推测在杀菌时有一个跃变的磁场值,磁场达到这个值时,杀菌效果将迅速增加。

3.2 脉冲数对杀菌效果的影响

脉冲数对杀菌效果的影响示于图 2。

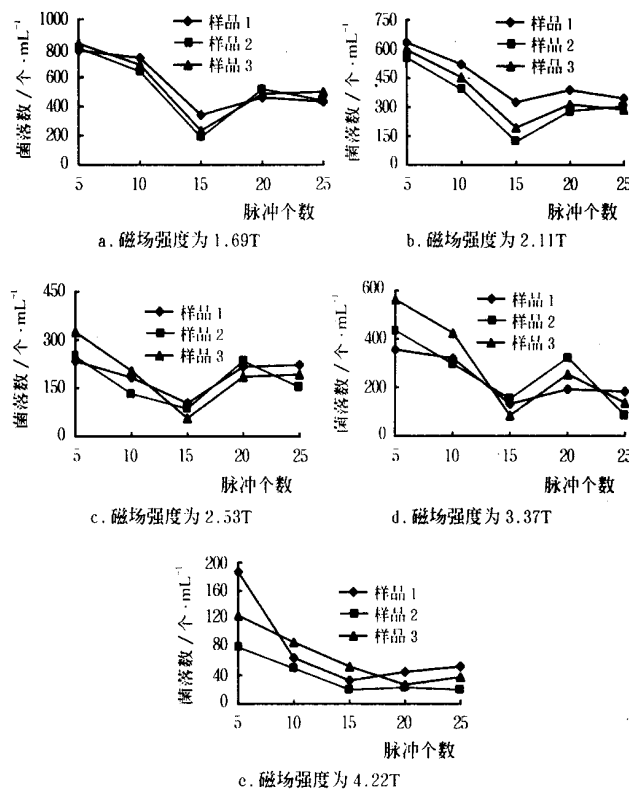


图 2 脉冲数对杀菌效果的影响

Fig 2 Effects of pulse numbers to sterilization

从图 2 的 a、b、c、d 和 e 可以看出,脉冲数对杀菌效果影响与磁场强度的影响有类似的规律。杀菌刚开始时,随着脉冲数的增加,杀菌效果增加,但在 20 个脉冲的时候达到一个极小值,随后,杀菌效果并不再随脉冲数的增加而增加,有时候反而出现相反的变化趋势。

由图 2 的 a、b、c 和 d 可以看出,在 1.69 T、2.11 T、2.53 T 和 3.11 T 四个磁场强度下,对应于脉冲数为 30 时的菌落数都呈上升趋势,到脉冲数为 40 时,又有所恢复。4.22 T 的高强度磁场下,20 个脉冲以后,细菌总数趋于稳定,反向变化的趋势不明显。

由上可知,图 1 在磁场强度为 3.37 T 处,图 2 在脉冲数大于 20 以后,杀菌效果均不同程度的出现反弹现象,其原因可能与微生物细胞对磁场产生的抗性,或者与磁场强度和脉冲数增大后引起物料温度小幅度升高(经测定实际温升在 5 °C 内)有关。当然其确切的原因还有待进一步探讨。

4 杀菌机理分析

4.1 脉冲磁场对细胞电特性的影响

脉冲磁场的生物学效应是生物磁学最新的一个研究领域。

生物学效应主要发生在细胞膜上,生物体在脉冲磁场的作用下可使细胞膜在原有静息膜电位的基础上,产生一个新的跨膜电位^[10]。由外场产生的激励电流随入射到细胞膜上磁场的变化而变化,脉冲磁场产生的瞬态波含有丰富的频谱,易于被细胞吸收。随着磁场的增强,激励电流也增强,从而导致跨膜电压上升,一旦达到临界值,就可能导致细胞膜的破坏,从而影响细菌的存活率。

通过不同的方式,造成细胞内磁通量的变化,将会产生感应电流,感应电流的大小、方向和形式对微生物细胞产生的效应有重要的影响。细胞内磁通量变化的实现方式有两种^[11]: 1) 通过细胞的运动来切割磁力线,引起细胞内磁通量的变化加大,产生较大的感应电流,例如在医学上使用的旋转磁场; 2) 脉冲磁场造成磁场的瞬间出现和消失,在细胞内也可以产生一瞬变的磁通量,即 $d\Phi/dt$, $\Phi = SH(t)$, 其中 $H(t)$ 是随时间变化的磁场值, S 是磁场垂直穿过细胞的截面积。对脉冲磁场而言,尽管细胞相对磁场是不动的,但瞬变磁通必然会激励一个很大的感应电流。此感应电流与磁场相互作用的力密度,可以破坏细胞正常的生理功能,最终导致微生物细胞死亡。

4.2 磁场对细胞带电粒子洛伦兹力的影响

在磁场作用下,细胞中的带电粒子尤其是质量小的电子和离子,由于受到洛伦兹力的影响,其运动轨迹被束缚在拉默半径内,磁场强度越大,拉默半径越小,细胞的正常分裂就会受到一定的影响^[12]。根据磁场强度大小的不同,带电粒子的运动轨迹将会出现以下三种情况: 1) 磁场强度较小,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; 2) 磁场强度中等时,拉默半径与细胞的大小相当,则磁场的影响不明显; 3) 磁场强度较大时,洛伦兹力加大,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,从而影响细胞正常的生理功能。

另外,对于许多带金属活性中心基团的酶,因在磁场作用下会产生运动方向的变化,加上洛伦兹力导致拉默半径的变化,最终会使大分子构相发生扭曲或变形,从而改变酶的活性,因而细胞正常的生理活动也会受到影响。

磁场在医学领域的研究表明,洛伦兹力的影响只是物理约束,不是化学变化,因此在短期内一旦磁场撤消,细胞的正常活动又会逐渐恢复;若作用时间很长,会致使细胞变形,内部结构发生改变,出现不可逆过程。

脉冲强磁场与以上描述的恒强磁场不同之处在于:

1) 磁场的瞬间出现和消失,导致细胞中带电粒子作回转运动所需的洛伦兹力也瞬间地出现与消失,对细胞的破坏性加大,对细胞内电子和离子正常传递的秩序必然造成更严重的影响; 2) 磁场强度造成细胞不可逆的变形与扭曲的可能性加大。

4.3 脉冲磁场作用于细菌的动力学分析

细胞膜的离子通道主要由蛋白质分子组成,在运输离子时,蛋白质分子构成的通道有时打开,有时关闭。但近些年来,人们的研究表明这种开闭传输是服从某些规律的。Liu Bingzheng 建立了一个非线性的模型^[7],更加符合通道中离子的运动实际。

该模型指出,离子的能量 U 是通道两边的电压差 V 的函数,而膜电压又是激励电流的函数。这样,随着激励电流的变化,离子能量也将产生变化,一旦膜电压达到临界值,离子通道被击穿,细胞膜局部产生一强电位——动作电位从而使细胞膜结构瓦解,破坏细胞,杀死细菌。

总而言之,脉冲磁场对微生物细胞生物学效应的影响是多方面的,一方面会受磁场的物理学因素的影响,例如磁场强度、脉冲数、脉冲电流的频率等;另一方面会受微生物细胞所处介质的生物学因素的影响,例如 pH 值、温度、主要化学成分等。另外,细胞不同生长期对脉冲磁场影响的敏感程度也不同。磁场对微生物细胞产生生物学效应的过程,不是对某个或某些组分的一种或几种作用的结果,而是对这个细胞中的各个组分多方面作用的综合反映。某一作用因素的变化,有可能就会出现不同的结果。

以上机理分析,不同程度地在西瓜汁杀菌试验中得到证明。

5 结论

1) 杀菌效果与脉冲磁场的强度和脉冲数有密切的关系。从曲线的变化趋势可以看出,随着场强的增加,杀菌效果在增加;随着脉冲数的增加,杀菌效果也在提高。在场强为 2.53 T、脉冲数为 20 时,杀菌效果最好,细菌总数达到 100 个/mL 以下,已经达到我国果汁饮料的卫生指标。

2) 当脉冲数为 40 时,磁场强度对杀菌效果的影响为单调增加;但当脉冲数小于 40 的情况下,磁场强度为 3.37 T 时,磁场强度对杀菌效果的影响均出现反弹现象。

3) 当磁场强度为 4.22 T 时,脉冲数对杀菌效果的影响为单调增加;但当磁场强度小于 4.22 T 的情况下,脉冲数大于 20 以后,脉冲数对杀菌效果的影响反而向变差的方向发展。

4) 高强度脉冲磁场对微生物细胞产生的生物学效应主要是因为脉冲磁场导致细胞跨膜电位、感应电流、带电粒子洛伦兹力、离子能量等的变化,致使细胞的结构被破坏,正常生理活动受影响。影响高强度脉冲磁场杀菌因素很多,杀菌机理还有待进一步深入探索。

[参 考 文 献]

- [1] 殷涌光, 殷锦捷, 孙东升. 用高压脉冲电场杀细菌孢子[J]. 农业工程学报, 1997, 13(1): 190~ 193
- [2] Yonemoto Y, Yamashita T, et al. Resistance of yeast and bacterial spores high voltage electric pulses[J]. J Ferment Bieng, 1993, 75: 99~ 102
- [3] Barsotti L, et al. Food processing by pulsed electric fields[J]. Food Rev Int, 1999, 15(2): 163~ 169
- [4] Romain Jeantet, Florence Baron. High intensity pulsed electric fields applied to egg white: Effect on salmonella enteritidis inactivation and protein denaturation[J]. J Food Prot, 1999, 62(12): 1381~ 1386
- [5] Prone C T, Bartels P V. Radiat Physchem. 1995, 45(4): 591~ 594
- [6] 张铁华. 冷杀菌技术在食品加工保藏中的应用[J]. 食品工业科技, 1999, 20(4): 63~ 65
- [7] Liu Bingzheng. A nonlinear dynamical model of ion channel in cell membrane[J]. 分子生物学报, 1997, 2(6): 122~ 125
- [8] 林 涛, 吴英桦. 纯天然西瓜汁饮料的研究设计[J]. 粮油食品科技, 1997, (5): 31~ 33
- [9] 潘 见, 张文成, 陈从贵等. 饮料超高压杀菌实用性工艺及设备探讨[J]. 农业工程学报, 2000, 16(1): 125~ 129
- [10] Cain C A. A theoretical basis for microwave and RF field effects on excitable cellular membrane[J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 1980, MTT-28, 142~ 147.
- [11] 张小云. 磁场对细胞生长分裂的影响及其机制的探讨[J]. 中国科学B 辑, 1989, (2): 164~ 170
- [12] 张小云. 磁场的细胞效应研究[J]. 基础医学与临床, 1994, 14(5): 15~ 19

Sterilization of watermelon juice with high voltage pulse magnetic field and its mechanism analysis

Ma Haile, Deng Yulin, Chu Jinyu

(School of Biological and Environmental Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract The main objective is to research liquid food sterilization technology that uses high intensity pulse magnetic field (PMF) and to discuss the possible bio-effects of PMF on the microorganism cell. Taking sterilization of fresh watermelon juice as an example, the influence of magnetic field intensity and pulse number on bactericidal effect was studied. Results show that the overall bactericidal effect strengthens as magnetic field intensity and pulse number increase, and that bactericidal effect is best when magnetic field intensity is 2.53 T and pulse number is 20. When the pulse number reaches 40, the influence of magnetic field intensity on bactericidal effect strengthens at all times; when magnetic field intensity reaches 4.22 T, influence of pulse number on bactericidal effect strengthens at all times. However, under some parameters, the rebound phenomena of bactericidal effect appear, which requires in-depth discussion. The bio-effects of PMF on the microorganism cell, the mechanisms that destroy cell construction and those that hinder normal physiological activity by PMF were analyzed from the viewpoint that PMF changes some of the parameters, such as cell span membrane potential, inductive electric current, Lorentz force of electrification particles and ion energy.

Key words: pulse magnetic field; sterilization; watermelon juice; bio-effect; mechanism