

文章编号:1673-1689(2010)02-0193-04

高压脉冲电场静态处理室的研制

平雪良¹, 刘翠¹, 杨瑞金², 赵伟³

(1. 江南大学 机械工程学院,江苏 无锡 214122; 2. 食品科学与技术国家重点实验室,江南大学,江苏 无锡 214122; 3. 江南大学 食品学院,江苏 无锡 214122)

摘要: 高压脉冲电场(Pulsed Electric Field, PEF)是一项极具前景的食品非热杀菌技术,其处理关键部件——处理室直接影响杀菌效果。作者设计了电场分布均匀、处理物料容量可调、安全可靠的 PEF 处理室,应用该 PEF 处理室对接种大肠杆菌的液蛋进行杀菌,当电场强度为 34.2 kV/cm 处理时间为 400 μ s 时,原样品菌体浓度为 $10^6 \sim 10^7$ cfu/mL,大肠杆菌细菌数量降低了约 5.05 个对数,从而说明作者设计的静态处理室是可行的,可以进行杀菌钝酶等相关机理研究。

关键词: 高压脉冲电场;杀菌;液蛋;静态处理室

中图分类号:TS 205.9

文献标识码:A

Developing on the Static Chamber of High-Voltage Pulsed Electric Field

PING Xue-liang¹, LIU Cui¹, YANG Rui-jin², ZHAO Wei³

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 3. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: High-voltage Pulsed Electric Field (PEF) is a very promising non-thermal food sterilization technology. The key component, PEF chamber, directly influences the sterilization effect. In this study, a safe and reliable PEF chamber which has a uniform distribution of the electric field and an adjustable capacity of handling materials was designed. The static chamber designed was applied in the pulsed electric fields (PEF) to sterilize the inoculated E. coli in Liquid Whole Egg (LWE). In the original samples of the bacteria whose concentration of E. coli bacteria is 10^6-10^7 cfu/ml, 5.05 log Sterilization was achieved by using PEF-only processing at 34.2 kV/cm for 400 μ s. This result shows that the designed static treatment room is feasible, and it can be used in the related mechanism research, such as sterilization and inactivating enzyme.

Key words: pulsed electric field (PEF), sterilization, liquid whole egg (LWE), static chamber

高压脉冲电场(Pulsed Electric Field, PEF)杀菌技术,是将待灭菌的液态物料置于高强脉冲电场

分布的处理器,微生物在极短时间内受强电场力作用后,细胞结构破坏,菌体死亡。与传统热杀菌技

收稿日期:2009-06-25

基金项目:国家自然科学基金项目(20772049);国家 863 计划项目(2007AA100405)。

作者简介:平雪良(1962-),男,江苏常熟人,工学博士,教授,主要从事 CAD/CAM 与机电一体化技术研究。

Email:ping@jiangnan.edu.cn

术相比,该技术不仅具有处理时间短,温升小,能耗低和杀菌效果明显等优点,而且能较好地保持食品的营养成分、色泽和风味,具有广阔的应用前景^[1]。

目前,美国、德国、日本、加拿大等国竞相研究这一新的杀菌技术,在PEF杀菌钝酶机理、不同微生物对PEF的敏感性分析、PEF杀菌效果影响因素、PEF对食品品质影响以及高压脉冲发生器的研制等方面做了许多研究工作^[2]。而我国由于起步晚,对PEF技术的研究尚处于起步阶段,开展PEF杀菌、钝酶机理以及PEF对食品组分影响等相关研究,对于PEF的应用和工业化进程是十分必要的,因此对高压脉冲电场杀菌技术的研究就具有特别重要的意义。开展PEF杀菌、钝酶机理以及PEF对食品组分影响等相关研究,对于PEF的应用和工业化进程是十分必要的。因此作者通过实验室规模连续处理设备相关参数的计算,设计并加工制造了电场分布均匀、处理物料容量可调、安全可靠的平板式PEF静态处理室,选用了处理条件及参数要求都比较苛刻的高黏度、高蛋白质含量、高电导率、易受热影响的非酸性食品基质-液蛋^[3]作为本次实验的处理液,考察作者所设计的PEF处理腔的杀菌效果。

1 材料与方法

1.1 液蛋的制备

新鲜鸡蛋购自本地超市。将经检查蛋壳完整无损的鸡蛋浸在30℃温水中洗净,再用30℃的有效氯质量分数为200 mg/kg的氯水清洗蛋壳,室温下晾干后打蛋,用无菌镊子除去系带并无菌收集液蛋,用电动搅拌器在较小转速下搅拌均匀,稀释后得到液蛋。

1.2 PEF杀菌实验装置

利用美国俄亥俄州立大学研制的OSU-4L型实验室规模高压脉冲发生系统与设计的静态处理室结合起来进行实验。电压场强0~50 kV/cm,脉冲频率0~500 Hz,流速0~2 mL/s,采用能获得较好杀菌效果的双极矩形脉冲波形。仪器管路清洗采用质量分数为4% NaOH、10%次氯酸消毒液和无菌水,清洗至无菌备用。

1.3 微生物接种与计数

1.3.1 微生物菌种 实验采用大肠杆菌为目标微生物。微生物菌种来自江南大学食品科学与技术国家重点实验室。

1.3.2 微生物的接种 试验用大肠杆菌由胰蛋白大豆琼脂(Tryptic Soya Agar, TSA)斜面移至胰蛋

白大豆肉汤(Tryptic Soya Broth, TSB),37℃摇床培养18 h,取上述2 mL TSB接到100 mL液蛋中,使样品中的菌体浓度达到 $10^6 \sim 10^7$ cfu/mL。

1.3.3 微生物计数 按照GB/T 4789.2-2003方法测定接种和不接种液蛋样品在PEF处理前后细菌总数的变化。

杀菌效果采用残活率来表示,计算公式:

$$\lg S = \lg(N/N_0)$$

式中: N 为脉冲电场处理后的微生物数(cf u/mL); N_0 为脉冲处理前的微生物数(cf u/mL)。

2 静态处理室的设计

高压脉冲电场系统由高压脉冲发生器和处理室两部分组成:脉冲发生器的功能是提供作用于食品的最佳电场条件^[4]。其参数主要有电场强度、脉冲数以及杀菌温度等,其中电场强度是杀菌率主要的影响因素,脉冲数对杀菌效果影响不显著^[5];处理室包括通过绝缘材料固定的2个对立的电极以及两者之间盛放待处理物料的空腔,其主要用于装载待处理物料和安放电极,合理的处理室是完成整个处理过程的关键^[6]。处理室的结构和参数直接影响PEF杀菌效果。处理室的设计非常重要和严格^[7]。

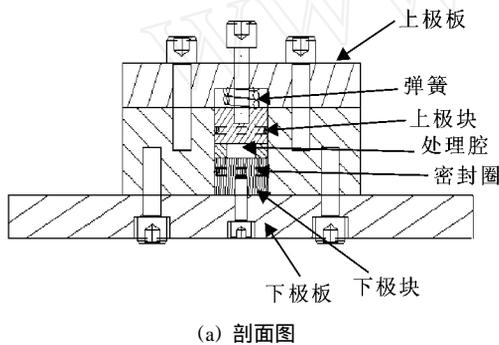
2.1 静态(平板式)处理室

利用脉冲电场非热效应对液态食品进行处理,主要是依靠外加脉冲电场在食品介质中形成的电场。为了能对处理效果与脉冲电场电场强度间的关系做详细的研究,就必须保证处理室中的电场均匀、容易计算,而且方便控制,因此选用了常用的平板电极制作处理室。

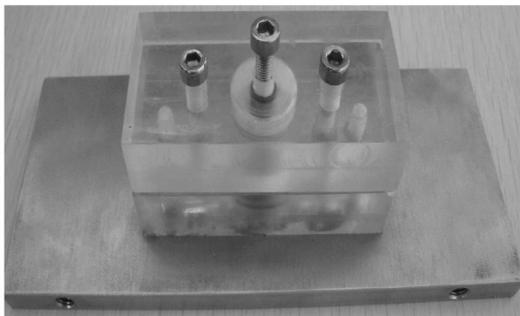
当两平行金属板之间的距离小于处理腔的直径时就可以产生均匀电场^[8]。碟型和圆边的金属板可以减少电场增强度,并且有可能减少流体中电介质的衰减。在实验研究中,为了保证数据的准确性,不仅要求处理室本身无菌,而且容器材料必须由耐高温、绝缘强度高、可塑性强、不易分解且与液态食品不会发生化学反应的材料制成;平板电极材料必须具有高强度、高导电性、可焊性、合适的线膨胀系数且在电弧作用下较小的熔化挥发等特性。综合这些因素,容器材料选用聚四氟乙烯,平板电极材料选用不锈钢。同时在设计处理室时还应考虑如何使样品更容易注入处理室和减小处理室的复杂性。处理室内的气泡是导致电介质衰减的主要因素,所以在设计时要考虑如何在入口处排除空气的进入。但是,一个完全密封的处理室是非常危险的,因为一旦在液体中产生火花,压强就会迅速

增大,这样就有可能导致处理室产生爆炸^[9],所以减压装置在设计处理室时也是必不可少的。

图 1 所示为实验的静态处理室结构,采用电场比较均匀的平行板电极,主要技术参数:处理室容量 $D \times h = 9.5 \text{ mm} \times 3.4 \text{ mm}$;下极板 $l \times d \times h = 156 \text{ mm} \times 63 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$;绝缘板 $l \times d \times h = 80 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 。由于两极板直间的距离 3.4 mm 小于处理室的直径 9.5 mm ,所以处理室产生的电场分布是均匀的。这也与 ANSYS 软件分析出的平板式处理室电场矢量图一致。并且考虑到安全方面的问题,在设计中增加了压力释放机制,在上极块上加入了压力缓冲装置-弹簧。同时为了加工制造的方便,把中间的上下极块与极板分开来制造,因此当改变处理腔的大小时就可以直接设计制造出新的处理腔应用于原装置中。为了防止处理液的渗漏,在上下极块上加入了密封圈。并且若要想改变处理腔的容量,可以改变处理腔的尺寸,重新加工后替换原来的处理腔,可达到容量可调的目的。



(a) 剖面图



(b) 实物图

图 1 静态平板处理室的剖面图及实物图

Fig. 1 Image and section plane of static treatment chamber

2.2 处理室的相关计算

在处理室设计中,计算处理室的等效电阻是保证设计可靠性的重要手段。电阻过高则灭菌效果不明显不彻底;电阻过小,当调节脉冲电压时则会因电流超过仪器的最大电流而烧坏仪器。

OSU-4L 高压脉冲装置 $U_{\text{max}} = 15 \text{ kV}$, $i_{\text{max}} = 50 \text{ A}$,为了保证仪器实验的安全,取最大电压的 $60\% \sim 70\%$,取工作电压 $U = 12 \text{ kV}$,则由欧姆定律得:

$$R = \frac{U}{i_{\text{max}}} = \frac{12\,000}{50} = 240$$

而由电阻公式(假设温度不变):

$$R = \frac{L}{A}$$

其中: $(\cdot m)$ 为电阻率,与材料有关; $l(m)$ 为电阻长度; $A(m^2)$ 为与电流垂直的电阻截面面积。

$E_{\text{max}} = 35 \text{ kV/cm}$,为了计算安全,取电场强度 $E = 35 \text{ kV/cm}$,则:

$$l = \frac{U}{E} = \frac{12 \text{ kV}}{35 (\text{kV/cm})} = 0.34 \text{ cm}$$

取 $\rho = 500 \cdot m$ (液蛋的电阻率),则

$$A = \frac{L}{R} = 0.71 \text{ cm}^2$$

又因为 $A = d^2/4$,则

$$d = 0.95 \text{ cm}$$

所以取处理室长度为 0.34 cm ,直径为 0.95 cm 。这与 Sadhana Ravishankar¹ 设计的静态处理室的尺寸相近似^[10]。

3 结果与分析

由图 2 可知:随着电场强度的增大,脉冲电场对液蛋中大肠杆菌的杀菌效果也越来越明显。脉冲电场频率为 10 Hz 、处理时间为 $400 \mu\text{s}$,当电场强度从 22.38 kV/cm 到 34.21 kV/cm 时,大肠杆菌分别下降了 $2.03, 3.45, 4.48$ 和 5.05 个对数级。由此可以得出结论:PEF 装置对大肠杆菌的杀菌效果明显,设计的静态处理室用于液蛋杀菌是可行的。

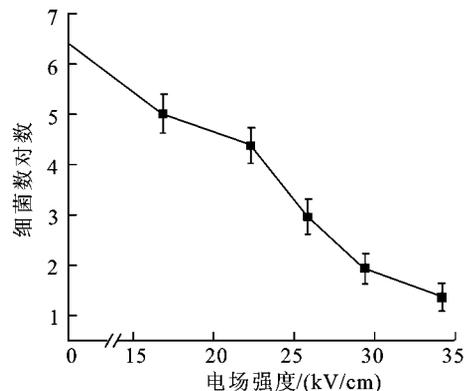


图 2 电场强度对液蛋中大肠杆菌的灭菌效果

Fig. 2 Effect of PEF intensity on the survival rate of E coli in Liquid Whole Egg

4 结 语

通过设计电场分布均匀、处理物料容量可调、安全可靠的 PEF 静态处理室、对接种大肠杆菌的液蛋进行实验,来验证静态处理室的可行性。实验数据显示:随着电场强度的增加,杀菌效果愈明显。

当电场强度从 22.38 kV/cm 升到 34.21 kV/cm 时,大肠杆菌分别下降了 2.03,3.45,4.48 和 5.05 个对数级。结果表明 PEF 对液蛋具有明显的杀菌效果,从而说明把设计的处理室应用于 PEF 杀菌装置中是可行的。这对下一阶段的动态处理室的试制及研究有一定指导作用。

参考文献(References):

- [1] 廖小军,蔡同一. 高压脉冲电场系统设计及其杀菌灭酶效果与对苹果汁品质影响研究[D]. 中国农业学博士学位论文, 2004.
- [2] 曾新安,陈勇. 脉冲电场非热杀菌技术[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2005.
- [3] 应雪正,王剑平. 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.
YING Xue-zheng, WANG Jian-ping. A high voltage pulse generator applied in destroying bacterium for food [J]. **Food Science and Technology**, 2006, 3: 4 - 7. (in Chinese)
- [4] 赵武奇,殷涌光,关伟,等. 高压脉冲电场杀菌系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2002, 33(3): 67 - 69.
ZHAO Wu-qi, YIN Yong-guang, GUAN Wei, et al. Experimental study on a food pasteurization system by using a high voltage pulsed field [J]. **Journal of Agricultural Machinery**, 2002, 33 (3): 67 - 69. (in Chinese)
- [5] 张铁华,殷涌光,陈玉江. 高压脉冲电场 (PEF) 非热处理的加工原理与安全控制[J]. 食品科学, 2006, 27(12): 881 - 885.
ZHANG Tie-hua, YIN Yong-guang, CHEN Yur-jiang. Processing principle and safety control of high-intensity pulsed electric fields (PEF) non-heat treatment technology [J]. **Food Science**, 2006, 27 (12): 881 - 885. (in Chinese)
- [6] 杜存臣,颜惠庚. 高压脉冲电场静态杀菌系统的研制[J]. 食品工业科技, 2008, 5(29): 245 - 247.
DU Cun-chen, YAN Hui-geng. Research on food sterilization system under HPEF fixed chamber [J]. **Food Industry Technology**, 2008, 5 (29): 245 - 247. (in Chinese)
- [7] 赵伟,杨瑞金,崔晓美. 高压脉冲电场应用于液蛋杀菌的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(04): 60 - 64.
ZHAO Wei, YANG Rui-jin, CUI Xiao-mei. Application of pulsed electric fields on the sterilization of liquid whole egg [J]. **Food Science**, 2007, 28 (04): 60 - 64. (in Chinese)
- [8] 胡珂文,王剑平,盖铃,等. 高压脉冲电场在食品加工中的应用前景[J]. 食品工业科技, 2007, 6(28): 226 - 229.
HU Ke-wen, WANG Jian-ping, GAI Ling, et al. Application prospects of a high voltage pulsed field in the food processing application prospects [J]. **Food Industry Technology**, 2007, 6 (28): 226 - 229. (in Chinese).
- [9] 殷涌光,闫琳娜. 用高压脉冲电场对桃汁非热杀菌的研究[J]. 农业机械学报, 2006, 8(37): 89 - 93.
YIN Yong-guang, YAN Lin-na. Study on non-thermal sterilization of peach juice by high intensity pulsed electric field [J]. **Journal of Agricultural Machinery**, 2006, 8 (37): 89 - 93. (in Chinese)

(责任编辑:朱明)