

文章编号: 1001-7658(2010)05-0557-04

【论著】

高压电场放电装置产生的等离子体 对不同基材的消毒研究

邓三喜, 程 诚, 倪国华, 孟月东, 陈 华

(中国科学院等离子体物理研究所, 安徽合肥 230031)

摘要 目的 利用大气压下高压电场放电装置产生的等离子体对三种不同基材的消毒研究。方法 采用载体定量杀菌试验方法, 对该装置杀灭物体表面细菌的效果进行了观察。结果 该装置产生的等离子体作用 5 min, 对玻璃器皿表面上污染的枯草杆菌繁殖体达到完全杀灭; 对污染在内径 1 mm 塑料管内的枯草杆菌繁殖体作用 30 min, 平均杀灭对数值仅 0.5。用该装置产生的等离子体作用 30 min 可使麦粉和番茄片中细菌数降低到卫生部门允许的最低标准。结论 该大气压下高压电场放电等离子体对光滑物体表面上细菌杀灭效果较好, 对管腔内细菌杀灭作用较差。

关键词 大气压等离子体; 干食品; 消毒; 机理

中图分类号: R 187

文献标识码: A

STUDY ON DISINFECTI ON EFFECT OF THE ATMOSPHERIC PRESSURE PLASMA FROM HIGH VOLTAGE ELECTRIC FIELD DISCHARGE DEVICE ON DIFFERENT SUBSTRATES

DENG San - xi, CHENG Cheng, NI Guo - hua, MENG Yue - dong, CHEN Hua

(Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Anhui Hefei 230031, China)

Abstract Objective To study the disinfection effect of the atmospheric pressure plasma from high voltage electric field discharge device on three different substrates. **Methods** Carrier quantitative bactericidal test was used to observe disinfection effect on the object surface of the device. **Results** The device could completely kill the *Bacillus subtilis* vegetative on the surface of glass after 5 min treatment. While the killing logarithm value of the *Bacillus subtilis* vegetative in PTFE capillary after 30 min treatment of this device was 0.5. Bacteria in the barley grass powder or tomato slice also could be reduced to the minimum standards allowed of the health sector after 30 min treatment. **Conclusion** The atmospheric pressure plasma from high voltage electric field device has a good disinfection effect on the bacteria on the smooth surface while has an unsatisfactory disinfection effect on the bacteria in the capillary.

Key words atmospheric pressure plasma; dry food product; disinfection; mechanism

等离子体技术作为一种新型的消毒技术在最近这些年获得了很大的关注, 其中大气压下的等离子体消毒技术有其独特的优点。此类等离子体装置操作在开放的环境中, 不需要真空设备, 造价低廉, 但可确保等离子体杀菌要求^[1-5]。本研究大气压等离子体放电装置, 采用价格低廉的空气作为工作气体, 可用于多种材料的消毒与灭菌。为研究该装置相关性能及杀菌效果, 利用生物试验常用材料为载体, 观察其对枯草芽孢杆菌杀灭效果。现将结果报告如下。

1 方法

1.1 实验装置

自行设计的大气压等离子体实验装置, 电极排列方式见图 1a, 电极用导电的金属电极, 金属电极表面为绝缘材料。金属电极的长度为 100 mm, 直径为 2 mm, 绝缘材料的厚度为 2 mm, 另外两个电极的中心距为 7 mm。该装置采用小型风机, 风机产生的气流加快了放电产生物质的扩散, 并且补充新的工作气体以产生更多的物质。装置结构包括小型风机, 放电部件和工作区域即样品放置的位置 (图 1b)。

〔作者简介〕 邓三喜 (1982-), 男, 湖南常德人, 在读博士, 主要从事等离子体相关研究。

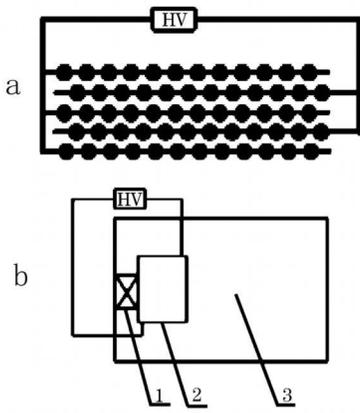


图 1 大气压等离子体消毒实验装置示意图 (a b)

1.2 相关性能检测

采用 UV-100 型臭氧浓度测试仪检测装置产生的臭氧浓度。臭氧浓度的测定是在一个相对封闭的长方体有机玻璃盒子里测定的, 有机玻璃罩子的长、宽、高分别为 320 mm、280 mm、540 mm。使用 avaspec-2048 型发射光谱仪 (波长范围为 197~720 nm) 检测等离子体产生的发射光和放电过程中形成的粒子。

1.3 杀菌试验

1.3.1 菌悬液培养制备 指标菌为枯草芽孢杆菌 (ATCC 6633), 由中国科学院离子束生物工程重点实验室提供。将该菌经过分离培养, 取培养取典型菌落接种普通营养琼脂斜面, 经 24 h 新鲜斜面培养物用于试验。用无菌蒸馏水液洗下斜面上菌苔并稀释成菌悬液, 备用。

1.3.2 染菌载体制备 取 50 μl 菌悬液放到无菌玻璃器皿中, 将其均匀地涂抹在培养皿上, 于室温下晾干; 另取 50 μl 菌悬液注入聚四氟乙烯 (PTFE) 细管内, 自然晾干备用。

1.3.3 杀菌处理和检验 将染菌载体放到大气压等离子体消毒装置中, 采用空气为载气, 启动该等离子体装置处理规定的时间。取出染菌载体, 连同未经处理的阳性对照分别投入装有 10 ml 无菌水培养皿中, 浸泡 30 min 使细菌充分溶解到水中, 然后均匀取样接种培养, 作活菌计数, 计算平均杀灭率。

1.4 模拟现场消毒试验

1.4.1 模拟内镜现场消毒试验 采用内径为 1 mm, 长度为 20 cm 的 PTFE 细管, 用无菌的注射器将菌液注射到细管中染菌。按上述方法进行消毒处理。经等离子体处理后, 取出细管剪成若干段, 置于装有 20 ml 无菌水的无菌平皿内, 浸泡 30 min。用无菌注射器吸取浸泡的水, 对细管碎段的内部充分

地冲洗, 使细菌充分溶解到水中。取样接种培养, 作活菌计数, 计算平均杀灭率。

1.4.2 模拟食品现场消毒试验 以番茄和麦粉为代表。将番茄切成大小 4~8 mm、厚度为 1~2 mm 小片; 麦苗粉颗粒大小在 0.1~0.5 mm。称取 1 g 番茄片或麦苗粉分别置于无菌培养皿中。将其置于该灭菌装置工作区内, 经大气压等离子体消毒装置处理。将处理样品和阳性对照样品分别置于装有 20 ml 无菌水的无菌平皿内, 浸泡 30 min, 使样品中的细菌充分溶解到水中。分别取样进行活菌计数培养, 计算对自然菌的平均杀灭率。

结果判定标准, 参照 GB7100-2003 饼干类标准^[7], 细菌总数 < 3 000 cfu/g 为合格。

2 结果

2.1 杀菌试验结果

结果表明, 经大气压等离子体消毒装置处理 1 min 对污染在玻璃平皿表面的枯草芽孢杆菌杀灭对数值 < 2.0 继续处理至 2 min 杀灭对数值可达到 4.0 作用至 5 min 可完全杀灭试验指标菌。从变化规律可以看出, 大气压等离子体在最初 1 min 内, 杀灭细菌速度比较慢; 从 1~2 min 杀灭细菌的速度明显加快, 直至完全杀灭试验指标菌 (图 2)。

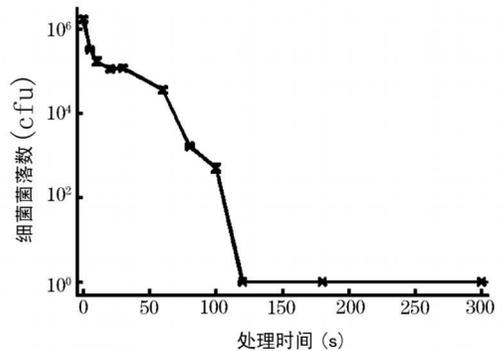


图 2 大气压等离子体杀菌效果变化规律

2.2 内镜模拟现场消毒试验结果

结果表明, 污染在 PTFE 细管内的枯草芽孢杆菌经过大气压放电等离子体处理 30 min, 平均杀灭对数值仅为 0.54 (表 1)。

2.3 食品模拟现场消毒试验结果

将 1 g 麦苗粉置于大气压放电等离子体装置内处理至 20 min, 可使麦苗粉中含菌量由原来的 10⁶ cfu/g 降低到 10³ cfu/g 相当于减少对数值 3.0 (图 3), 使含菌量符合国家相关卫生标准要求。

表 1 大气压等离子体对 FTFE 细管内细菌杀灭效果

样品 编号	阳性对照菌数 (cfu/皮)	作用不同时间 (min) 的平均杀灭对数值	
		20	30
1	2 000 000	0.32	0.54
2	2 400 000	0.47	0.53

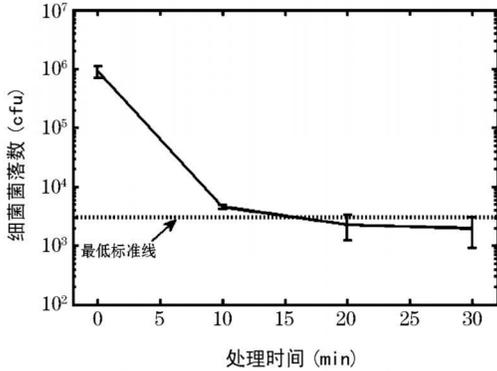


图 3 大气压等离子体处理麦苗粉杀菌效果变化规律

在无菌平皿内加入 1 g 番茄片置于大气压放电等离子体装置内处理至 30 min, 可使番茄片上含菌量由原来的 10^5 cfu/g 降低到 10^3 cfu/g 相当于减少对数值 2.0 (图 4), 使含菌量符合国家相关卫生标准要求。

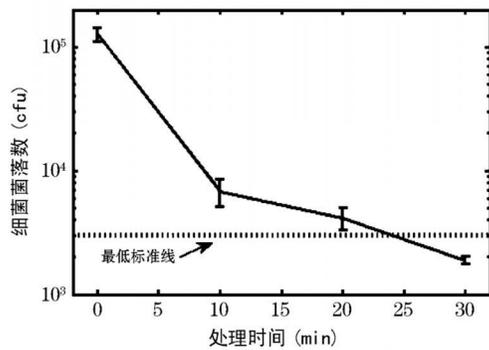


图 4 大气压等离子体处理番茄片杀菌效果变化规律

2.4 大气压放电等离子体装置性能检测结果

图 5 显示的结果表明, 用发射光谱仪测试的等离子体放电过程中可以看到, 在 220~280 nm 的这个区域里没有峰, 表明该大气压等离子体装置产生的 UV 辐射很小; 但有臭氧 (313.7 nm), 氮气及其基团 (315.6 nm、336.8 nm、381.0 nm、356.4 nm、393.1 nm) 等粒子出现。

用臭氧浓度测试仪测试到等离子体发生期间, 臭氧浓度随时间延长而增加, 其变化呈现线性关系, 且显示等离子体激发初期臭氧浓度增加缓慢, 约在 1 min 后快速上升 (图 6 a b)。

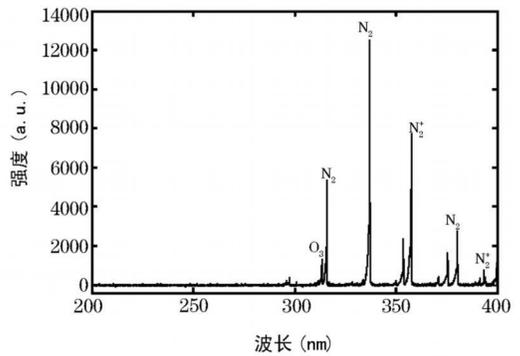
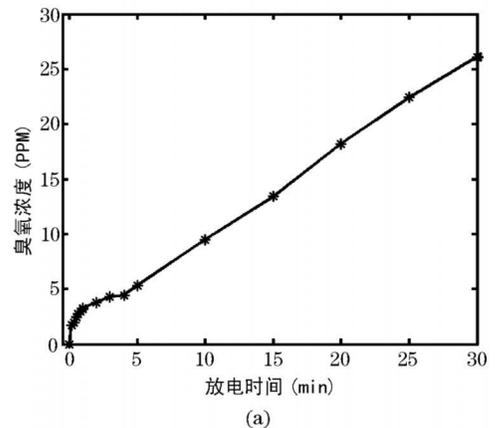
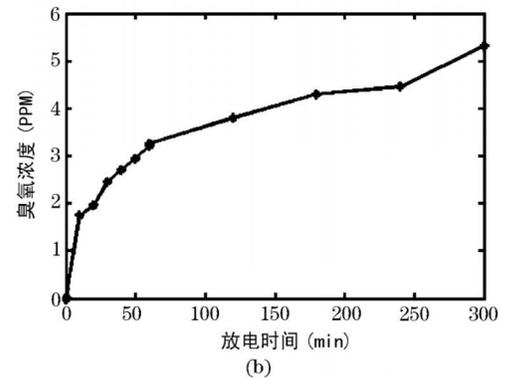


图 5 在紫外波段的发射光谱相关成分峰示意图



(a)



(b)

图 6 臭氧浓度随放电时间变化关系

3 讨论

等离子体杀菌因素包括紫外光 (UV) 辐射、温度、带电粒子和化学活性粒子等^[1-4 7]。在本实验中, 使用水银温度计长时间地测试了放电气氛中的温度, 装置内灭菌处理温度保持在 45℃ 左右。消毒处理的样品没有直接处在放电区域, 因此带电粒子直接轰击的影响比较小。另外, UV 辐射只在波长为 220~280 nm, 且强度也很大的情况下才对消毒效果有影响^[1 2]。据文献记载, 等离子体放电过程中产生的 UV 辐射、臭氧以及各种化学基团和带电

粒子都具有杀生作用或协同杀生作用^[8,9],说明等离子体杀灭微生物的作用为综合因素作用的结果。在该装置产生的等离子体过程中都显示,在放电初期,包括臭氧在内的各种成分峰值都呈现缓慢上升趋势,这种变化与试验中杀菌效果变化规律比较一致。

使用臭氧浓度测试仪器测试的臭氧浓度随时间变化的关系见图6。从图6(a)中可以很明显地看出,随着时间的增加,臭氧浓度也是线性增加的。这是由于在放电过程中,随着工作气体的不断加入,臭氧按照一定的速率源源不断地生成。

试验结果发现,本研究大气压等离子体对污染在细管中的细菌杀灭效果较低,表明该装置产生的等离子体难以扩散渗透到细管中;另外,试验中染菌的细管中的菌液没有干燥,不仅影响等离子体穿透扩散,水分本身也不利于等离子体杀菌。本研究表明,等离子体放电产生的化学活性粒子与细菌反应时间的长短决定其杀菌速度,反应时间越长,杀菌效率越高。番茄片比麦苗粉每克的细菌含量要低一个数量级,而要降低到国家强制性标准以下所花费的处理时间却长10 min,这是因为番茄片比较大,有些细菌被包裹了起来,等离子体中产生的活性基团很难与细菌发生反应。麦苗粉因为颗粒比较小,细菌难以被样品包裹起来,这样等离子体产生的化学活性基团相对容易与样品中的细菌发生反应,所以麦苗粉中细菌的消毒速率比番茄片要大。

本研究大气压放电等离子体对所选择的两种食

品中污染细菌具有一定杀灭效果,使得该项技术有应用到食品工业的前景,但是否会使部分营养物质丢失和生成一些对人体有害的物质,还需进一步的验证。

参考文献

- [1] Laroussi M. Nonthermal decontamination of biological media by atmospheric pressure plasmas: review, analysis and prospects [J]. *Plasma Sci* 2002; 30(12): 1409
- [2] Amyruden A. Bacterial inactivation in open air by the afterglow plume emitted from a grounded hollow cathode electrode [J]. *Environ Sci Technol* 2005; 39(3): 339
- [3] Li Guo, Li He-ping. Genetic effects of radio-frequency atmospheric pressure glow discharges with helium [J]. *Appl Phys Lett* 2008; 92(2): 221.
- [4] Gwon B, Kim DB. Escherichia coli deactivation study controlling the atmospheric pressure plasma discharge conditions [J]. *Current Applied Physics* 2009; 9(6): 625.
- [5] 姜玉,秦克勤,张善瑞,等.大气压辉光放电等离子体对不同细菌杀灭效果的研究 [J]. *中国消毒学杂志*, 2007; 24(1): 1
- [6] 魏丽萍. 中国强制性国家标准汇编(食品卷1) [M]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 357.
- [7] Gadia RB, Roth JR. Sterilization and plasma processing of room temperature surfaces with a one atmosphere uniform glow discharge plasma [J]. *Surf Coat Technol* 2000; 131(5): 528
- [8] Pears RW, Gaydon AG. The identification of molecular spectra 4th ed [M]. London: Chapman & Hall 1976: 263
- [9] Roth JR. Industrial plasma engineering volume 2 Applications to nonthermal plasma processing [M]. London: Institute of Physics 2001: 37

(收稿日期: 2010-02-23)

(上接第556页)

《医院洁净手术部建筑技术规范》规定,沉降菌、浮游菌采集后培养时间均为24 h。本次调查发现,48 h培养的浮游菌数是24 h的数倍,这与赵心懋^[2]报道基本一致。据宫庆月^[3]报道,洁净手术室空气中可以分离到表皮葡萄球菌、金黄色葡萄球菌等微生物。本次调查结果也显示,手术室空气中可分离到金黄色葡萄球菌、表皮葡萄球菌等医院内感染常见菌,其中部分在48 h培养物中获得。可能这些微生物在手术室消毒处理过程中受到了一定程度的损害,培养时因复苏耗时导致生长速度缓慢,因而在日常监测中应适度的延长培养时间,提高微生物

的检出率,进一步控制因手术过程中的污染而导致的感染。

参考文献

- [1] 魏先,阳世伟,秦超等.层流手术室动态环境中不同时段空气含菌量的研究 [J]. *中华医院感染学杂志*, 2005; 15(8): 900
- [2] 赵心懋,袁晓宁,宁永忠,等.层流手术室动态环境中含菌量的研究 [J]. *临床和实验医学杂志*, 2007; 6(1): 169.
- [3] 宫庆月,矫玲.动态条件下洁净手术室污染监测与医院感染管理 [J]. *中国感染控制杂志*, 2006; 5(1): 11.

(收稿日期: 2010-01-08)