

# 国外冷等离子体技术在果蔬杀菌保鲜中的应用

马佩沛

(南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095)

**摘要:** 综合分析了国外冷等离子体技术的杀菌机理与技术优势、应用现状、存在的问题和未来发展重点, 认为作为一种新兴的非热杀菌技术, 冷等离子体技术在果蔬保鲜方面有广阔的应用前景。

**关键词:** 果蔬; 杀菌; 保鲜; 冷等离子体技术

**中图分类号:** S-1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2017)04-0065-04

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1463.2017.04.019

## The World Application of Cold Plasma in Fruits and Vegetables Sterilization Preservation

MA Peipei

(College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing Jiangsu 210095, China)

**Abstract:** In this paper, the sterilization mechanism and technological advantages, application situation, issues and future development are analysed. Cold plasma as a new non thermal sterilization technology has been concerned about in the field of food and has broad application prospects in food fresh-keeping.

**Key words:** Fruits and vegetables; Sterilization; Fresh; Cold plasma technology

随着人民生活水平的不断提高, 人们对食品的品质和安全提出了更高的要求。我国是农业大国, 但食品加工技术的相对落后, 特别食品保鲜、精深加工技术研究与应用起步较晚。研究食品加工的高新技术, 提高食品工业的国际竞争力, 对于国民经济的发展、人民生活水平和品质的提高具有重要的现实意义。在农产品的生长、采收、

运输和加工过程中, 各种微生物的污染是导致食物的腐败和变质或是引起食源性疾病<sup>[1]</sup>。因此, 如何快速有效地杀灭农产品表面的微生物, 同时又不会明显改变农产品品质, 是食品安全和食品保鲜领域的研究方向。传统的热力杀菌技术主要包括巴氏杀菌、高温杀菌、超高温瞬时杀菌、微波杀菌和电阻加热杀菌等, 但这些技术应用在食

收稿日期: 2017-03-06

作者简介: 马佩沛(1995—), 女, 甘肃民勤人, 本科在读, 主要研究方向为食品保鲜科学。E-mail: 18054198345@163.com。

量可追溯。

### 参考文献:

- [1] 杨海波, 孟利峰, 乔润生. 矮砧密植栽培技术在山西苹果栽培中的应用[J]. 现代农业科技, 2015(6): 106-107.
- [2] 邵砾群. 中国苹果矮化密植集约栽培模式技术经济评价研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [3] 马宝焜, 徐继忠, 孙建设. 关于我国苹果矮砧密植栽培的思考[J]. 果树学报, 2010(1): 105-109.
- [4] 张松柏. 苹果矮砧密植栽培技术及发展建议[J]. 落叶果树, 2014(5): 21-22.
- [5] 张坤, 孙文泰, 马明. 地面覆盖对苹果生育后期叶片叶绿素荧光动力学参数的影响[J]. 甘肃农业科技, 2016(7): 7-11.
- [6] 余群英, 刘小勇, 尹晓宁, 等. 陇东旱塬区果园节水抗旱技术[J]. 甘肃农业科技, 2011(8): 47-49.
- [7] 韩明玉. 苹果矮砧集约栽培技术模式刍议[J]. 中国果树, 2015(3): 76-79.
- [8] 刘军弟, 霍学喜, 韩明玉, 等. 中国苹果产业发展现状及趋势分析[J]. 北方园艺, 2012(20): 164-168.
- [9] 康秀芬. 甘肃省苹果产业发展现状及对策[J]. 农业展望, 2016(7): 42-44.
- [10] 李晓东, 徐希斌, 王漪, 等. 苹果矮砧集约栽培模式的现状及发展建议[G]//青岛市科学技术协会, 创新驱动与转型发展—青岛市第十一届学术年会论文集. 青岛: 出版社不详, 2013.

(本文责编: 陈伟)

品保鲜等领域存在明显的不足。通过加热使食品中的致病菌和酸败菌细胞内的蛋白凝固变性,导致细菌失活,但在这个过程中,食品温度的升高会导致其物理化学性质的改变,营养价值下降,甚至会产生一些有害物质,不仅降低了农产品的新鲜度,还严重影响了农产品的品质<sup>[2]</sup>。

随着消费者对食品品质和安全的要求越来越高,非热加工技术已经成为近些年来食品加工技术和食品安全领域的研究热点。目前,主要研究的非热加工技术有超高压处理、辐射、超声波、紫外线、臭氧和高压脉冲电场技术等,特别是近几年研究提出的新兴非热加工技术低温等离子体技术,已成为果蔬杀菌保鲜的新技术<sup>[1,3]</sup>。

### 1 冷等离子体技术的杀菌机理与优势

低温等离子体的生成是一个非常复杂的物理、化学反应过程。在等离子体中会产生紫外线、带电粒子和活性成分等杀菌成分,其中的活性成分主要包括处于激发态的原子、亚稳态原子、具有活泼化学性质的氧化物和氮化物等。等离子体对生物体的作用也主要是通过通过这些杀菌成分从分子层面上对生物体的综合作用来实现。近年来研究人员通过多种技术手段和方法对低温等离子体的应用进行了一系列深入的研究,对其中的作用机理有了初步的了解。

#### 1.1 杀菌机理

1.1.1 紫外线 紫外线具有良好的杀菌能力,也是应用较为广泛的杀菌方法之一。最具有杀菌作用的紫外线是波长在 100 nm 左右的短波紫外线(Ultraviolet C, UVC),而波长范围在 200~290 nm 的紫外线能够促使两个嘧啶分子(Cytosine and thymine, 胸腺嘧啶和胞嘧啶)在同一股 DNA 链上相互靠近并发生作用形成一个二聚物。引发嘧啶二聚物的形成是紫外线对生物体 DNA 造成伤害的典型方式,产生的嘧啶二聚物能够影响 DNA 的碱基配对及导致 DNA 复制过程中发生突变。高度的紫外线照射也会引发细胞修复系统蛋白质变性,破坏细胞自身的 DNA 修复系统,最终导致细胞死亡。

1.1.2 带电粒子 低温等离子体中含有大量的正负带电粒子。研究表明,带电粒子在杀菌、加速血液凝结,牙齿表面除垢等处理过程中起着重要作用<sup>[4-5]</sup>。Dobrynin 等<sup>[4]</sup>采用低温等离子体对生物组织进行处理,一种处理方式是生物组织直接

暴露在低温等离子区域中,另一种是在等离子体区域和生物组织之间放入接地金属网,结果表明直接处理生物组织效果更好。经过分析发现,这一差异是等离子体中的带电粒子造成的。研究发现,一定量的带电粒子可以改变甚至破坏细胞膜上的负离子通道开后和闭合的蛋白质的三维结构,从而导致细胞膜通透性的改变,使细胞的物质流出,最终导致细胞死亡。

1.1.3 活性成分 低温等离子体在空气中放电的过程会产生活性成分(Reactive Species, RS),主要是活性氧化物(Reactive Oxygen Species, ROS)和活性氮化物(RNS),例如臭氧(O<sub>3</sub>)、一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO<sub>2</sub>)和羟基(OH)等。许多研究表明,活性成分中的氧原子和活性氧(例如O<sup>+</sup>等)在低温等离子体杀菌过程中发挥非常重要的作用。有研究表明,在一些惰性气体中加入一定量的氧气后,其杀菌效率会大幅度增强。活性氧化物可以直接氧化细胞壁主要组成成分肽聚糖和细胞膜主要组成成分磷脂双分子层,破坏这些分子中的 C-C 键、C-O 键和 C-N 键,最终导致细胞壁和细胞膜破裂和分解。同时,如果被处理物表面或工作气体中含有适量的水分子时,低温等离子体中就会产生化学性质很活泼的 -OH 自由基,也会提高低温等离子体的杀菌效率。

#### 1.2 冷等离子体技术的优势

低温等离子体杀菌技术几乎具备了一种理想杀菌消毒法所应具备的全部条件。一是省时。与高压蒸汽灭菌、干热灭菌相比,灭菌时间短。二是常温。灭菌温度为 35~45 ℃,与 1, 2-亚乙氧为主体的化学灭菌相比,操作温度低,能够广泛应用于多种材料和物品的灭菌。三是安全。采用自动控制触板,易操作,无需高温、高压,且安装和调试简单,使用安全。特别是在切断电源后产生的各种活性粒子能够在数毫秒内消失,所以无需通风,不会对操作人员造成伤害,安全可靠。目前国内外已将这一技术广泛应用于包括食品加工和医疗卫生在内的诸多领域。

### 2 冷等离子体杀菌技术的应用现状

等离子体就是经气体电离产生的由大量带电粒子(离子、电子)和中性粒子(原子、分子)所组成的体系,因这种气体的正电荷总数与负电荷总数在数值上相等,故称为等离子体。等离子体被称为继“固、液、气”三态以外的新的物质聚集

态,即物质第四态。等离子体按照离子温度又分热等离子体和冷等离子体(低温等离子体)。低温等离子体带电粒子温度为 $1\sim 10\text{ eV}$ ,系统主要由带电粒子支配,受外部电场、磁场和电磁场的影响,存在多种基元过程及等离子体与固体表面的相互作用,具有独特的光、热、电等物理性质。

### 2.1 降解农药

蔬菜水果在种植、加工、运输过程中,因与外界接触表面经常附着具有传染性的病原微生物,其中包括国际标准中严格限制的一项微生物指标——大肠埃希氏菌。为此,人们常用喷洒农药的方式控制微生物,使得蔬果表面不可避免地残留农药<sup>[6]</sup>。为此,从事冷等离子技术应用研究的日韩企业相继开发出家用果蔬清洗解毒机,通过冷等离子体的蚀刻作用,即等离子体中对活性物质与微生物体内的蛋白质和核酸发生化学反应,能够摧毁微生物和扰乱微生物的生存功能,对水果、蔬菜进行农药降解、毒素分解处理。

### 2.2 表面杀菌

Criter等<sup>[7]</sup>使用等离子体对苹果、美国香瓜和莴苣表面的大肠杆菌 $O_{157}:H_7$ 、沙门氏菌和单核增生性李斯特菌进行处理,所有样品的菌落数量都有明显减少,减少量因菌株的不同而不同。在芒果和柠檬的果皮上接种大肠杆菌、酿酒酵母菌、成团泛菌和葡糖醋杆菌,经冷源等离子体处理后发现酿酒酵母菌对处理条件的抵抗力最强,增加电压可以产生更加有效的等离子体效应,对菌体的作用效果增强<sup>[8]</sup>。在苹果皮上接种沙门氏菌和大肠杆菌 $O_{157}:H_7$ ,经滑动电弧介质产生等离子体处理果皮表面,沙门氏菌和大肠杆菌分别减少了 $2.9\sim 3.7\text{ log CFU/mL}$ 和 $3.4\sim 3.6\text{ log CFU/mL}$ ,高空气(等离子体产生源)流速表现出好的作用效果<sup>[9]</sup>。Stefano等<sup>[10]</sup>研究发现只用冷源等离子体处理 $30\text{ s}$ ,可以使芒果表面的单核增生性李斯特菌和大肠杆菌 $O_{157}:H_7$ 浓度下降 $2.5\text{ log CFU/g}$ ;他还发现,等离子体可以使香瓜表面的啤酒酵母菌浓度减少 $1\text{ log CFU/g}$ ,经过 $20\text{ s}$ 处理,使葡萄醋酸杆菌浓度降低 $2.5\text{ log CFU/g}$ 。

### 2.3 增强抗逆性

研究发现,冷源等离子体对抗逆性较强的菌膜也有很好的杀灭效果,在低于 $15\text{ }^\circ\text{C}$ 的条件下处理 $5\text{ min}$ ,可使生菜表面的产气单胞菌菌膜下降 $2.5\text{ log CFU/g}$ <sup>[11]</sup>。Danijela等<sup>[12]</sup>研究了冷源等离子

体对石榴汁的影响,发现等离子体对石榴汁花青素及颜色具有积极的作用,花青素含量与样品容积、等离子介质流速密切相关,当样品容量为 $5\text{ cm}^3$ 。气体流速为 $0.75\text{ dm}^3/\text{min}$ 时处理 $3\text{ min}$ ,最利于花青素的稳定,与非处理组相比,样品中花青素含量上升了 $21\%\sim 35\%$ 。

### 3 存在的问题

等离子体灭菌技术是一种新的高科技杀菌技术,它克服了之前杀菌技术的一些不足之处和局限性,提高了果蔬的杀菌效果。低温等离子体技术应用在农产品加工方面,目前还处于实验室阶段,没有成熟的商业化应用。一是目前对低温等离子体杀菌技术的杀菌机理研究还不够,低温等离子体中带电粒子和活性成分与微生物的作用机理尚不清楚;二是低温等离子体杀菌技术应用到具有不规则形状的农产品相关领域时,会产生杀菌作用不均匀问题;三是低温等离子体活性水自身的物化性质随时间变化、对农产品外观及内在营养成分含量的影响的相关研究较少;四是关于低温等离子体活性水对农作物致病微生物生长的抑制效果方面的研究几乎没有报道。

### 4 展望

未来低温等离子体杀菌技术研究和应用重点应放在以下几个方面。首先应加强低温等离子体杀菌消毒机理研究,为各种假说找到具有说服力的理论依据,也为后续研究提供可靠的理论基础。其次通过等离子体处理参数对细菌杀灭率的研究,因地制宜地选取适当的低温等离子体杀菌消毒工艺。三是低温等离子体杀菌技术的杀菌效率与微生物的种类有关,那么低温等离子体活体水是否对导致农产品腐败的真菌有良好的杀菌效果值得研究。四是研究利用原子发射光谱分析低温等离子体产生的各种杀菌成分,利用扫描电子显微镜观察被处理微生物表面的形貌改变,利用透射电子显微镜观察微生物细胞内部的变化情况。五是进行低温等离子体技术与其他杀菌消毒技术联合使用的方面研究,以做到优势互补,更好地解决杀菌消毒中出现的各种问题。

### 参考文献:

- [1] WOUNTERS P C, SMELT, *et al.* Inactivation of microorganisms with pulsed electric field: potential for food preservation[J]. Food Biotechnology, 1997, 11: 193-229.

# 甘肃陇东冬小麦安全生产现状及对策

李贵喜, 白灵军

(甘肃省灵台县农牧局, 甘肃 灵台 744400)

**摘要:** 分析了陇东发展优质冬小麦产业的优势和存在的问题, 从稳定冬小麦生产面积, 提高耕地质量; 强化优质冬小麦生产, 加快产业化进程; 推广先进实用技术, 完善稳产、高产技术体系; 树立绿色理念, 确保冬小麦质量安全等方面提出了优质冬小麦生产发展建议。

**关键词:** 冬小麦; 安全生产; 现状; 对策; 陇东

**中图分类号:** S512.1 **文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1463(2017)04-0068-05

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2017.04.020](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2017.04.020)

陇东是甘肃省粮食作物主产区之一, 素有“陇东粮仓”的美誉。冬小麦是陇东的传统产业和主栽作物, 常年播种面积 33.5 万  $\text{hm}^2$ , 占全省的 60% 以上, 陇东冬小麦的生产水平, 对全省粮食安全和当地农村经济发展有着举足轻重的作用<sup>[1]</sup>。近年来, 冬小麦生产正在向优质、特色、规模化、精深加工和产业化大举发展, 而由于长期传统农

业所形成的生产方式和单纯追求增产的思维惯势, 陇东冬小麦生产仍停留在以销售原粮为主, 且品种单一, 经营分散, 成本高、品质差、价格低的滞后状态。随着城镇化的推进, 耕地面积逐年减少, 资源环境约束加剧, 冬小麦供求平衡的形势日显严峻, 粮食安全被再次摆到重要位置<sup>[2]</sup>。为了加快陇东冬小麦生产, 我们分析了陇东发展冬

收稿日期: 2017-01-04

作者简介: 李贵喜(1962—), 男, 甘肃灵台人, 推广研究员, 主要从事早农与小麦育种工作。联系电话: (0)13909333006。

通信作者: 白灵军(1974—), 男, 甘肃灵台人, 主要从事冬小麦育种栽培工作。联系电话: (0)13993375238。

- [2] ALVAREZ I, PAGAN R. The influence of process parameters for the inactivation of *L. monocytogenes* by pulsed electric fields[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2003, 87: 87-95.
- [3] MUJICA-PAZ H, VALDEZ-FRAGOSO. High-pressure processing technologies for the pasteurization and sterilization of foods[J]. *Food Bioprocess Technology*, 2011, 4(6): 969-985.
- [4] DOBRYNIN D, FRIDMANN G, FRIEDMAN G, et al. Physical and biological mechanisms of direct plasma interaction with living tissue[J]. *New Journal of Physics*, 2009, 11: 26.
- [5] LEE H W, KIM G J, KIM J M, et al. Tooth bleaching with nonthermal atmospheric pressure plasma[J]. *Journal of Endodontics*, 2009, 35(4): 587-591.
- [6] PUREVDORJ D, IGURA N, HAYAKAWA I, et al. Inactivation of *Escherichia coli* by microwave induced low temperature argon plasma treatments[J]. *Journal of food Engineering*, 2002, 53: 341-346.
- [7] CRITZER F J, KELLY-WINTENBERG K, SOUTH S L, et al. Atmospheric plasma inactivation of foodborne pathogens on fresh produce surfaces[J]. *J. Food Protect.*, 2007, 70(10): 2290-2296.
- [8] PERNI S, SHAMA G, KONG M G. Cold atmospheric plasma disinfection of cut fruit surfaces contaminated with migrating microorganisms[J]. *J. Food Protect.*, 2008, 71(8): 1619-1625.
- [9] NIEMIRA B A, SITES J. Cold plasma inactivates *Salmonella stanley* and *Escherichia coli* O157: H7 inoculated on golden delicious apples[J]. *J. Food Protect.*, 2008, 71(7): 1357-1365.
- [10] STEFANO P, GILBERT S, KONG M G. Cold atmospheric plasma disinfection of cut fruit surfaces contaminated with migrating microorganisms[J]. *J. Food Protect.*, 2008, 8(71): 161-1625.
- [11] JAHID I K, HAN N, HA S D. Inactivation kinetics of cold oxygen plasma depend on incubation conditions of *Aeromonas hydrophila* biofilm on lettuce[J]. *Food Res. Int.*, 2014, 55: 181-189.
- [12] DANIJELA B, KOVACVIIEVIC, PREDRAG P. Effects of cold atmospheric gas phase plasma on anthocyanins and color in pomegranate juice[J]. *Food Chem.*, 2015, 190: 317-323.

(本文责编: 陈 伟)