

# 非热杀菌技术特点及在肉制品加工中的应用

费楠, 李芳菲, 党苗苗, 夏秀芳\*

(东北农业大学食品学院, 哈尔滨 150080)

**摘要:** 非热杀菌技术是指利用非加热的方法杀灭食品中特定的致病微生物, 使微生物的总量符合标准的杀菌技术。该技术具有产热低或不产热, 能最大程度地保持食品的香味、色泽和营养成分的特点, 有效地避免了传统热杀菌技术影响产品品质的缺点, 因而具有良好的应用前景。目前应用较为广泛的非热杀菌技术主要包括超高压杀菌、微波杀菌、高压脉冲电场杀菌、超声波杀菌以及辐照杀菌五种。本文根据近年来的研究成果综述了上述五种非热杀菌技术的原理、影响因素以及对肉品质的影响, 并对非热杀菌技术的未来进行了简要展望。

**关键词:** 非热杀菌; 超高压杀菌; 微波杀菌; 高压脉冲电场杀菌; 超声波杀菌; 辐照杀菌

## Characteristics and application of non-thermal sterilization technology in meat products processing

FEI Nan, LI Fang-Fei, DANG Miao-Miao, XIA Xiu-Fang\*

(College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**ABSTRACT:** Non-thermal sterilization technology is the use of the specific method to kill food pathogenic microbes without heating, and the amount of the microbe could be reduced to the standard. It has low heat production or no heat production, and can keep food flavor, color, and nutrient the most after processing. It can effectively avoid the defects of product quality by traditional thermal sterilization technology, and it has a good application prospect. Non-thermal sterilization technology mainly includes the ultra-high pressure sterilization, microwave sterilization, high-voltage pulsed electric field sterilization, ultrasonic sterilization and irradiation. This paper summarizes these five kinds of non-thermal sterilization technology principle, influencing factors and the effect on meat quality, and the future of the non-thermal sterilization technology.

**KEY WORDS:** non-thermal sterilization; ultra-high pressure sterilization; microwave sterilization; high-voltage pulsed electric field sterilization; ultrasonic sterilization; irradiation

## 1 引言

非热杀菌是利用非加热的方法杀灭特定对象中的致病微生物, 使微生物的总量符合标准的杀菌技术。非热杀菌产热很低或者不产热, 有利于热敏感的制品杀菌<sup>[1]</sup>。肉以及肉制品营养丰富, 有利于微生物的生长繁殖, 导致肉制品的腐败变质。非热杀菌技术不但能杀死致病微生物, 同时能最大程度地保留产品的色泽、营养等品质, 具有良

好的应用前景。本文主要介绍了目前使用比较普遍的五种非热杀菌技术的原理以及对肉品质的影响。

## 2 超高压杀菌

超高压杀菌是依靠水或其他液体作为介质处理密闭于柔性容器内的食品, 以达到杀菌的目的<sup>[2]</sup>。一般采用 100 MPa 以上的压力处理。由于超高压杀菌对生产设备的要求高, 生产成本也比较高, 目前使用的企业比较少, 具有一

\*通讯作者: 夏秀芳, 副教授, 主要研究方向为食品科学。E-mail: xxfang524@163.com

\*Corresponding author: XIA Xiu-Fang, Associate Professor, College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China. E-mail: xxfang524@163.com

定的使用局限性。

### 2.1 超高压杀菌原理

在超高压环境下,微生物的基因结构、形态结构等方面发生改变,细胞壁和细胞膜被破坏,微生物的生理功能部分或者全部丧失,最终导致微生物死亡,达到杀菌的目的<sup>[3]</sup>。影响因素主要包括压力、加压时间、温度、微生物等<sup>[4]</sup>。

### 2.2 超高压杀菌对肉品质影响

高压条件下氢键受到的影响很小,因此肉中的营养物质、风味物质和维生素损失也比较小。超高压杀菌在肉品中最早的应用是在 1992 年日本的 Fujichiku 公司用其生产火腿<sup>[5]</sup>。陆海霞等<sup>[6]</sup>研究发现超高压能使单增李斯特菌的细胞膜明显受损,改变细胞膜的通透性,导致其死亡。杭瑜瑜等<sup>[7]</sup>研究了超高压处理对副溶血性弧菌的影响,发现超高压致死微生物主要是通过破坏其细胞膜。孙秀琴等<sup>[7]</sup>探究了超高压技术杀灭肉中寄生虫的效果。结果显示,300 MPa 以上的超高压处理可以有效杀死肉品中微生物和寄生虫,同时不破坏原有新鲜度和营养成分。Garriga 等<sup>[9]</sup>研究发现对切片腌牛肉和火腿进行超高压处理后,其乳酸菌的生长受到抑制,肠细菌和酵母无法生长。Begona 等<sup>[10,11]</sup>对真空包装的干腌牛肉和西班牙香肠进行高压试验。发现 500 MPa、5 min 条件下肠球菌、肠细菌生长受到抑制,产品的贮藏期明显延长,同时理化感官品质没有影响。马瑞芬等<sup>[12]</sup>研究了超高压对生鲜调理宫保鸡丁品质的影响,结果显示在杀菌、保鲜的同时品质几乎没有受到影响。王晓谦等<sup>[13]</sup>研究了超高压对牡蛎肉贮存期品质的变化,发现超高压处理能明显抑制牡蛎肉贮存期间微生物的增长,能明显延长货架期。童立上等<sup>[14]</sup>探究了新鲜鱿鱼超高压杀菌工艺,发现在压力 400 MPa,保压时间 10 min 的情况下,能杀死新鲜鱿鱼中的致病微生物,便于鱿鱼的储存。

单独使用超高压技术具有一定的局限性,不能完全杀死所有的细菌。将超高压杀菌结合其他方法杀菌效果更为明显。曾庆孝<sup>[15]</sup>研究了高静压对嗜热脂肪芽孢杆菌的杀菌作用。发现压力处理前经预热处理比压力处理后再经热处理灭菌效果更好,微波预热处理比传统预热处理有更好的协同灭菌作用。Sala 等<sup>[16]</sup>将超声波同超高压、加热技术联合,结果显示联合使用比单一使用的杀菌效果更好,同时能够延时损伤。目前研究的结果显示超高压灭菌结合加热处理效果最好。

## 3 微波杀菌

微波一般指的是,频率从 300 MHz ~ 300000 MHz(食品加工中一般为 915 MHz 和 2450 MHz),波长从 1 mm 到 1 m 的电磁波<sup>[17]</sup>。微波杀菌适用于导热性不良以及塑料、玻璃包装的食品等。目前,美国、日本等国家将微波杀菌广

泛应用于肉品工业中。

### 3.1 微波杀菌原理

微波杀菌包括非热效应微波杀菌以及热效应微波杀菌。非热效应指微波形成的电磁场使有害微生物体内的分子发生旋转,营养细胞死亡,从而进行杀菌。热效应指的是微生物内的分子受电场作用而剧烈震荡,分子间的摩擦产热,从而使温度升高,达到杀菌的效果<sup>[18]</sup>。影响微波杀菌的因素包括微波杀菌频率、食品含湿率、食品包装等<sup>[19]</sup>。

### 3.2 微波杀菌对肉品质的影响

微波杀菌速度快、效果好,在软包装产品中应用比较广泛。布丽君等<sup>[20]</sup>对比不同杀菌方式对卤鹅品质的影响,发现微波杀菌在保证灭菌结果的同时,鹅的品质所受影响最小。孔书敬等<sup>[21]</sup>将微波杀菌应用于软包装的酱牛肉,结果发现微波杀菌的杀菌效果接近于高压杀菌,但其营养成分损失最小且感官评价最好。孙卫青等<sup>[22]</sup>将羊肉火腿进行微波杀菌,发现可使火腿的货架期有效延长。孙承锋等<sup>[23]</sup>研究发现 50~60 °C 的微波杀菌能有效杀死酱牛肉中的微生物。郑诗超等<sup>[24]</sup>将微波杀菌应用到兔肉的加工中,筛选了最佳的工艺条件为 16 min,在延长货架期致 120 d 的同时也保证了产品的品质。赵凯等<sup>[25]</sup>对卤猪肝进行了微波杀菌,结果显示其在常温下的保质期明显增加。目前微波杀菌的安全性难以评估,主要是产品的外包装有可能在通过微波时产生有毒有害物质,包装安全性问题目前还没得到解决。

## 4 高压脉冲电场杀菌

高压脉冲电场杀菌技术是指将微生物置于反复作用的高电压脉冲电场中,使其死亡从而达到杀菌的一种技术<sup>[26]</sup>。

### 4.1 高压脉冲电场杀菌主要的原理

主要原理是借助两个电极之间的瞬时高压电场作用于微生物,使微生物的细胞膜遭到破坏,因而达到杀菌的目的<sup>[27]</sup>。现在高压脉冲电场杀菌技术杀菌相关的机制假说比较多,其中涵盖了粘弹性模型、细胞电穿孔理论、电解产物效应、电崩解理论和空穴理论等,常常电穿孔理论和电崩解论为绝大多数人所接受<sup>[28]</sup>。影响杀菌的因素主要有处理菌的种类和数量、脉冲电场于波形、脉冲的数目频率与时间、样品的温度、pH 值等。电场强度通常是影响最大的因素,电场强度同微生物存活率成负相关<sup>[29]</sup>。

### 4.2 高压脉冲电场对肉品质的影响

目前高压脉冲电场杀菌在肉制品加工中主要指示的菌种有乳酸菌、金黄色葡萄球菌、霉菌、大肠杆菌和酵母等<sup>[30,31]</sup>。高压脉冲电场不仅对肉类具有杀菌的作用,同时对肉类鲜味也起到一定的良好作用。曾新安等<sup>[32]</sup>研究发现,

将新鲜的猪肉进行高压电场处理后,其浸出液中总氨基酸含量明显增加,肉的鲜味增加明显。Toepfl 等<sup>[33]</sup>探究脉冲电场处理的熟火腿品质性状的变化,发现猪肉的持水力增加。目前超高压电场在果汁、饮料等液态物料中应用比较广泛。在肉品中主要用于表面微生物的杀菌,应用具有一定的局限性。

## 5 超声波杀菌

### 5.1 超声波杀菌的原理

超声波是利用机械振动在媒介中传播频率大于 20 kHz 的声波的过程。具有频率高,波长短,具有方向性好,穿透力强,功率大等特点。超声波杀菌原理包括:机械作用、空化作用、热作用等<sup>[34]</sup>。影响超声波杀菌的因素有超声波参数、介质、超声波作用时间、添加剂等<sup>[35]</sup>。

### 5.2 超声波杀菌对肉品质的影响

超声波杀菌在液体物料上应用比较广泛,肉制品中应用较少。一般超声波杀菌都同其他的技术联合使用。卢群等<sup>[36]</sup>研究了超声波对大肠杆菌细胞的影响。结果显示,在一定超声条件下处理大肠杆菌能有效提高细胞膜的通透性。在电功率 300 W、90 s 时,细胞膜通透性有所增加,细胞内活性氧水平高、膜变脆、膜流动性变差。有研究显示,超声波同酶的协同作用能有效去除食源性病菌(如弯曲杆菌和沙门氏菌)在肉制品中形成的微生物膜<sup>[37]</sup>。靳慧杰<sup>[37]</sup>研究了超声波杀菌对猪肉保鲜效果的影响。实验结果显示,使用复合保鲜剂的猪肉在经过频率为 40 kHz, 20 min 的超声波处理后,保质期比对照组的增加了 9 d。

## 6 辐照杀菌

### 6.1 辐射杀菌原理

辐射杀菌是利用辐射源(通常为  $^{60}\text{Co}$  或  $^{137}\text{Cs}$ )放出的射线辐射微生物,使其生理结构遭到破坏进行杀菌的方法。目前研究其机制认为主要有三方面。破坏微生物细胞核,使其线粒体和染色体固化,导致其细胞死亡;抑制细胞的繁殖作用; $\gamma$ 射线辐射微生物细胞,使原生质破裂,细胞死亡,以此进行杀菌<sup>[38]</sup>。辐照杀菌不仅能杀死肉制品的表面微生物,同时对于内部微生物的杀菌效果也比较明显。

张艳艳等<sup>[39]</sup>研究辐射杀菌对酱卤牛肉品质的影响,结果显示剂量在 6 kGy 电子辐照可以使肉制品中微生物的总量在国家规定的范围之内,在延长货架期的同时,品质几乎没有受到影响。王超等<sup>[40]</sup>研究了  $\gamma$  辐照对低温火腿的影响。结果显示,  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  射线能有效杀死肉制品中的微生物,延长保质期,同时对质构、色泽等影响不大。Sedeh 等<sup>[41]</sup>研究了  $\gamma$  射线对牛肉品质的影响。发现其可以有效降低各种细菌的数量。Poonp 等<sup>[42]</sup>研究结果显示,用电子束辐照牛肉饼可有效控制腐败菌的生长,剂量高于一定值是能彻

底杀死各种腐败菌。Badr 等<sup>[43]</sup>用  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  射线辐照生的牛肉香肠,发现小剂量(3 kGy)就能有效杀死单增李斯特菌。

### 6.2 辐射杀菌在肉品中应用

研究显示辐照杀菌对肉制品的色泽、味道等有一定的不良影响。林若泰等<sup>[44]</sup>研究了辐照对冷却包装猪肉气味的的影响。结果显示,辐照猪肉后的异味气体主要来自含硫氨基酸和 B 族维生素。Zhu 等<sup>[45]</sup>把变温贮藏处理后的猪里脊经电子束辐照,可使贮藏时间增加到 42 d,但辐照后肉的红度值上升。Zhou 等<sup>[46]</sup>综述了影响肉色的辐照因素,总结了多种单独的和结合的保持肉颜色的方法:直接向产品中添加抗氧化剂、控制肉品辐照前的状态(pH、氧合肌红蛋白与高铁肌红蛋白之比)、给宰前牲畜饲喂抗氧化剂、隔绝空气、包装与温度的控制。刘春泉等<sup>[47]</sup>研究辐照处理对冷冻羊肉的影响,结果显示,辐照处理可以有效地杀死冷冻羊肉中的致病菌,同时保证了羊肉的品质。辐照杀菌还有使微生物变异以及微生物数量重新增多等问题,影响了辐照杀菌的应用。

## 7 展望

非热杀菌在有效杀死肉制品中微生物的同时保持了产品的风味、营养物质,避免了热力杀菌破坏肉制品原有的结构以及风味的情况,最大可能地保持了食品的质量性状。目前非热杀菌技术的研究还没有规范化、具体化,距离在实际生产中广泛应用还有一段距离。未来通过机制基础研究,生产工艺优化等有望在实际生产中得到广泛应用,同时可以联合加热、冷藏等技术改善自身缺点。相信非热杀菌技术在未来有很好的应用前景。

### 参考文献

- [1] 李沛生,阮征. 非热杀菌技术与应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2004: 1.  
Li DS, Ruan Z. Non thermal sterilization technology and application[M]. Beijing: Chemical industry press, 2004: 1
- [2] 邓立,朱明. 食品工业高新技术设备和工艺[M].北京:化学工业出版社, 2006, 136-141.  
Deng L, Zhu M. The food industry of new and high technology equipment and process[M]. Beijing: Chemical industry press, 2006, 136-141.
- [3] 王柳杨,樊晶,夏骏. 非热杀菌技术在肉制品灭菌保鲜方面的应用[J]. 江西农业, 2012, 5: 35-36.  
Wang LY, Fan J, Xia J. Non thermal sterilization technology applied in meat product sterilization [J]. Jiangxi Agric, 2012, 5: 35-36.
- [4] 刘勤华,马汉军. 超高压杀菌技术在低温肉制品保鲜中的应用[J]. 肉类工业, 2013, (3): 52-56.  
Liu QH, Ma HJ. Application of ultra-high pressure sterilization technology on preservation of low-temperature meat products [J]. Meat Ind, 2013, (3): 52-56.
- [5] 余静,白珍明. 超高压技术在肉类加工中的应用研究[J]. 肉类研究, 2008(12): 54-57.

- Yu J, Bai ZM. Application of ultra-high pressure technology in meat processing[J]. *Meat Res*, 2008(12): 54–57.
- [6] 陆海霞, 黄小鸣, 朱军莉. 超高压对单增李斯特菌细胞膜的损伤和致死机理[J]. *微生物学报*, 2014, 54(7): 746–753.  
Lu HX, Huang XM, Zhu LJ. Ultra-high pressure of single listeria mechanism of injury and death of the cell membrane [J]. *Acta Microbiologica Sinica*, 2014, 54(7): 746–753.
- [7] 杭瑜瑜, 陆海霞, 励建荣. 超高压处理对副溶血性弧菌的影响[J]. *微生物学报*, 2009, 11: 1489–1493.  
Hang YY, Lu HX, Li JR. The influence of ultra-high pressure treatment on deputy hemolytic vibrio [J]. *Acta Microbiologica Sinica*, 2009, 11: 1489–1493.
- [8] 孙秀琴. 超高压对生鲜肉类寄生虫杀灭效应的研究[J]. *中国寄生虫病防治杂志*, 2000, 13(1): 75–75, 60.  
Sun XQ. Ultrahigh pressure on fresh meat to kill parasites effect research [J]. *Chin J Parasit Dis Con*, 2000, 13(1): 75–75, 60.
- [9] Garriga M, Gr é bola N, Aymerich MT. Microbial inactivation after high-pressure processing at 600M Pa in commercial meat products over its shelf life [J]. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 2004, 5: 415–417.
- [10] Begoa R, Beatriz M, Ma Dolores García -Cachán, *et al.* Effect of high pressure preservation on the quality of dry cured beef Cecina de Leo[J]. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 2007, 8(1): 102–110.
- [11] Begoa R, Garcia Cachan D, Rovira J, *et al.* The effects of high pressure treatment and of storage periods on the quality of vacuum-packed “salchichón” made of raw material enriched in monounsaturated and polyunsaturated fatty acids [J]. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 2007, 8(2): 180–187.
- [12] 马瑞芬, 宋照军, 董建国, 刘儒彪, 等. 超高压处理对生鲜调理宫保鸡丁品质的影响[J]. *食品工业*, 2013, 5: 93–96.  
Ma RF, Song ZJ, Dong JG, Liu RB, *et al.* Effects of ultra-high pressure treatments on the qualities of fresh prepared kung-pao chicken [J]. *Food Ind*, 2013, 5: 93–96.
- [13] 王晓谦, 钟赛意, 谌素华, 等. 牡蛎超高压杀菌条件优化及贮藏期间品质变化[A]. 中国食品科学技术学会. 中国食品科学技术学会第十一届年会论文集[C]. 中国食品科学技术学会, 2014: 2.  
Wang XQ, Zhong SY, Chen SH, *et al.* Effect of High Hydrostatic Pressure on the Rate of Maillard Reaction in Model Systems[A]. *Food science and technology of China society. Abstracts of 11th Annual Meeting of CIFST*[C]. *Food Science and Technology of China Society*, 2014: 2.
- [14] 童立上, 马莉锋, 陈军, 陈新星. 新鲜鱿鱼超高压杀菌工艺试验[J]. *轻工机械*, 2014, (3): 63–65, 70.  
Tong LS, Ma LF, Chen J, Chen XX. Experimental Research on the Process of Fresh Squid Ultra-High Pressure Sterilization [J]. *Light Ind Mach*, 2014, (3): 63–65, 70.
- [15] 曾庆孝. 高静压对嗜热脂肪芽孢杆菌的杀菌作用[J]. *食品工业科技*, 1999, 20(6): 16–17.  
Zeng QX. High hydrostatic pressure on fat thermophilic bacillus sterilization effect [J]. *Sci Technol Food Ind*, 1999, 20(6): 16–17.
- [16] Sala FJ, Burgos J, Condon S, *et al.* Effect of heat and ultra sound on micro organisms and enzymes[A]. *New methods of food preservation* [M]. London: Blackie Academic & Professional, 1995, 176–204.
- [17] 高福成, 陈卫. 微波食品[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999.  
Gao FC, Chen W. The microwave food [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1999.
- [18] 何爽. 食品工业中的杀菌技术探讨[J]. *生物技术世界*, 2014, (1): 65–66.  
He S. Sterilization in food industry [J]. *Biotech World*, 2014, (1): 65–66.
- [19] 杨玉红. 微波杀菌技术及其在肉品工业中的应用[J]. *肉类工业*, 2014, (3): 44–49.  
Yang YH. Microwave sterilization technology and its application in the meat industry [J]. *Meat Ind*, 2014, (3): 44–49.
- [20] 布丽君, 钟正泽, 林保忠, 等. 不同杀菌方式对卤鹅品质的影响研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 24: 258–260, 264.  
Bu LJ, Zhong ZZ, Lin BZ, *et al.* Research of the effect of different sterilization wayson quality of spiced goose meat [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 24: 258–260, 264.
- [21] 孔书敬, 段善海, 赵凯, 等. 杀菌方式对软包装酱牛肉品质的影响[J]. *肉类工业*, 2001, (12): 31–33.  
Kong SL, Duan SH, Zhao K, *et al.* The influence of sterilization methods for flexible packaging sauce beef quality [J]. *Meat Ind*, 2001, (12): 31–33.
- [22] 孙卫青, 李平, 马偲珍. 微波杀菌延长羊肉火腿货架期的影响[J]. *肉类研究*, 2006, 11: 22–25.  
Sun WQ, Li P, Ma LZ. The influence of microwave sterilization extend the shelf life of Macon [J]. *Meat Res*, 2006, 11: 22–25.
- [23] 孙承锋, 南庆贤, 牛天贵. 微波杀菌在酱牛肉保鲜中的应用研究[J]. *食品工业科技*, 2001, (3): 11–13.  
Sun CF, Nan QX, Niu TG. The application of microwave sterilization in sauce beef preservation [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2001, (3): 11–13.
- [24] 郑诗超, 汪学荣, 屠大伟, 等. 飘香兔肉的加工工艺[J]. *肉类研究*, 2003, (1): 21–22.  
Zheng SC, Wang XR, Tu DW, *et al.* Fragrance of rabbit meat processing technology [J]. *Meat Res*, 2003, (1): 21–22.
- [25] 赵凯, 孔书敬, 孙国勇, 等. 卤猪肝微波杀菌工艺的研究[J]. *肉类工业*, 2001, (3): 18–21.  
Zhao K, Kong SJ, Sun GY, *et al.* Marinated pork liver microwave sterilization technology research [J]. *Meat Ind*, 2001, (3): 18–21.
- [26] 谢娟, 曹锦轩, 张玉林, 等. 高压脉冲电场杀菌技术在肉品加工中的应用进展[J]. *核农学报*, 2014, 1: 97–100.  
Xie M, Cao JX, Zhang YL, *et al.* High-voltage pulsed electric field sterilization technology application in meat processing are reviewed [J]. *J Nucl Agric Sci*, 2014, 1: 97–100.
- [27] 高兴华, 孔保华. 高压脉冲电场的抑菌特性[J]. *应用科技*, 2000, 26(5): 32–33, 37.  
Gao XH, Kong BH. Antibacterial properties of high-voltage pulsed electric field [J]. *Appl Sci Technol*, 2000, 26(5): 32–33, 37.
- [28] 曹祥生. 非热杀菌技术对食品营养品质的影响分析[J]. *产业与科技论坛*, 2014, (3): 134–135, 132.  
Cao XS. Non thermal sterilization technologies for food, nutrition impact analysis [J]. *Ind Sci Tribune*, 2014, (3): 134–135, 132.
- [29] 陈新梅, 李莹, 陈新华. 高压脉冲电场灭菌方法研究概况[J]. *中国执业药师*, 2014, (2): 38–41.  
Chen XM, Li Y, Chen XH. Research on the High-voltage Pulsed Electric Field Sterilization Method [J]. *China Licensed Pharm*, 2014, (2): 38–41.
- [30] 陈明利, 耿胜荣, 熊光权, 等. 肉制品病原微生物的高压脉冲电场杀菌效果研究[J]. *武汉科技学院学报*, 2008, 21(12): 23–26.  
Chen ML, Geng SR, Xiong GQ, *et al.* Meat pathogenic microorganisms of high-voltage pulsed electric field sterilization effect research [J]. *J Wuhan*

- Inst Sci Technol, 2008, 21(12): 23–26.
- [31] 严志明, 方婷. 高压脉冲电场对微生物的致死动力学模型[J]. 安徽农学报, 2009, 15(19): 51–53.
- Yan ZM, Fang T. Kinetic model for the inactivation of microbial by pulsed electric fields [J]. Anhui Agric Sci Bull, 2009, 15(19): 51–53.
- [32] 曾新安, 高大维. 高压电场肉类增鲜效果研究[J]. 食品科学, 1997, 18(4): 37–40.
- Zeng XA, Gao DW. Effect of high pressure electric field increases fresh meat [J]. Food Sci, 1997, 18(4): 37–40.
- [33] Toepfl S, Heinz V, Knorr D. Applications of pulsed electric fields technology for the food industry [M]. New York : Springer US, 2006: 197–221 .
- [34] 李丹, 于淑娟. 超声波杀菌在食品中的研究现状[A]. 广东省微生物研究所、广东省食品安全检测与评价科技创新平台、中国微生物学会、广州市科学技术协会. 2010 第二届中国食品安全高峰论坛论文集[C]. 广东省微生物研究所、广东省食品安全检测与评价科技创新平台、中国微生物学会、广州市科学技术协会, 2010: 3.
- Li D, Yu SJ. The research status of ultrasound sterilization in food[A]. Guangdong institute of microbiology, food safety testing and evaluation of Guangdong province science and technology innovation platform, the Chinese society of microbiology, Guangzhou city association for science and technology. 2010 of the second peak BBS on food safety in China [C]. Guangdong institute of microbiology, food safety testing and evaluation of Guangdong province science and technology innovation platform, the Chinese society of microbiology, Guangzhou city association for science and technology, 2010: 3.
- [35] 马爽文, 王鲜艳, 李娟, 等. 超声波杀菌机理及其影响因素[J]. 西安邮电学院学报, 2011, S2: 39–41.
- Ma SW, Wang XY, Li J, *et al.* Ultrasonic sterilization mechanism and its influencing factors [J]. J Xi'an Univ Of Posts Telecommun, 2011, S2: 39–41.
- [36] 卢群, 丘泰球. 超声波辐照对大肠杆菌细胞膜的影响[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2006, 34(12): 51–54, 67.
- Lu Q, Qiu TQ. The influence of ultrasonic irradiation on e. coli cell membranes [J]. J South China Univ Technol (Nat Sci Edit), 2006, 34(12): 51–54, 67.
- [37] 冷雪娇, 章林, 黄明. 超声波技术在肉品加工中的应用[J]. 食品工业科技, 2012, 33(10): 394–397, 401.
- Leng XJ, Zhang L, Huang M. Application of the ultrasound technique in meat processing [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(10): 394–397, 401.
- [38] 靳慧杰. 超声波对冷却肉杀菌保鲜作用的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2008.
- Jin HJ. The Study of Ultrasonic on sterilization and storage of Chilled Pork[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2008.
- [39] 张艳艳, 王健, 李海军, 等. 电子束辐照对酱卤牛肉品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2014, (14): 4441–4443.
- Zhang YY, Wang J, Li HJ, *et al.* Effect of electron beam irradiation on quality of spiced beef [J]. J Anhui Agric Sci, 2014, (14): 4441–4443.
- [40] 王超, 赵永富, 季萍, 等.  $\gamma$  辐照对低温火腿肉制品感官及微生物指标的影响[J]. 江苏农业科学, 2010, (6): 419–420.
- Wang C, Zhao YF, Ji P, *et al.* Gamma irradiation effect on sensory and microbiological index of low temperature ham meat [J]. Jiangsu Agric Sci, 2010, (6): 419–420.
- [41] 王守经, 柳尧波, 胡鹏, 等. 电离辐射处理对肉品品质的影响[J]. 中国食物与营养, 2014, 10: 39–42.
- Wang SJ, Liu RB, Hu P, *et al.* The influence of ionizing radiation processing of meat quality [J]. Food and Nutrit China, 2014, 10: 39–42.
- [42] Poon PWB, Wong PYY, Dubeski P, *et al.* Application of electron beam irradiation pasteurization of ground beef from steers fed vitamin E fortified diets: microbial and chemical effects [J]. J Sci Food and Agric, 2003, 83(6): 542–549.
- [43] Badr HM. Elimination of Escherichia coli O157 : H7 and Listeria monocytogenes from raw beef sausage by gamma-irradiation [J]. Mol Nutrit Food Res, 2005, 49(4): 343–349.
- [44] 林若泰, 耿胜荣, 刘杨岷, 等. 冷却包装猪肉辐照异味气体成分研究[J]. 中国农业科学, 2008, 3: 918–924.
- Lin RT, Geng SR, Liu YM, *et al.* Study on off-odor volatiles of irradiated packaged raw pork [J]. Sci Agric Sinica, 2008, 3: 918–924.
- [45] Zhao P, Zhao T, Doyle MP, *et al.* Development of a model for evaluation of microbial cross-contamination in the kitchen [J]. J Food Protect, 1996, 59(5): 493–500.
- [46] Zhou GH, Xu XL, Liu Y. Preservation technologies for fresh meat-A review [J]. Meat Sci, 2010, 86: 119–128.
- [47] 刘春泉, 冯敏, 李澧, 等. 辐照处理对冷冻羊肉品质的影响[J]. 核农学报, 2014, 6: 1018–1023.
- Liu CQ, Feng M, Li L, *et al.* The influence of irradiation treatment on quality of frozen lamb [J]. J Nucl Agric Sci, 2014, 6: 1018–1023.

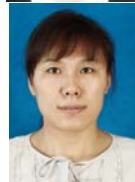
(责任编辑: 白洪健)

## 作者简介



费楠, 硕士, 主要研究方向为畜产品加工。

E-mail: 785912157@qq.com



夏秀芳, 副教授, 主要研究方向为食品科学。

E-mail: xxfang524@163.com