

脉冲强光对馒头表面金黄色葡萄球菌的杀菌效果

索 标^{1,2,3}, 李 森¹, 张 伟¹, 侯金会¹, 李 真², 黄忠民³, 艾志录^{1,2,3*}

(1. 河南农业大学食品科学技术学院, 郑州 450002; 2. 农业部大宗粮食加工重点实验室, 郑州 450002;
3. 速冻面食及调制食品河南省工程实验室, 郑州 450002)

摘 要: **目的** 研究脉冲强光技术在馒头表面金黄色葡萄球菌杀菌中的效果及其机制。**方法** 控制闪照距离为 9~21 cm, 单脉冲能量为 100~500 J, 闪照次数为 0~20 次, 分析不同条件下金黄色葡萄球菌的失活规律, 并将该优化条件应用于馒头表面金黄色葡萄球菌的杀菌试验, 最后采用透射电子显微镜技术分析脉冲强光技术对金黄色葡萄球菌形态结构的影响, 从而分析其杀菌机制。**结果** 脉冲强光在闪照距离为 9 cm, 单脉冲能量为 500 J 的情况下, 闪照 16 次能对金黄色葡萄球菌产生良好的杀菌效果。该脉冲强光处理技术能降低馒头表面的金黄色葡萄球菌 $1.72 \log \text{CFU/g}$ 。透射电镜观察结果说明了脉冲强光可破坏金黄色葡萄球菌的细胞膜和菌体胞质内容物, 从而造成细胞的失活。**结论** 脉冲强光可对金黄色葡萄球菌产生较强的杀菌效果, 在馒头加工中具有一定的应用前景。

关键词: 脉冲强光; 金黄色葡萄球菌; 馒头; 杀菌

Evaluation of pulsed light treatment on the inactivation of *Staphylococcus aureus* on steamed bread

SUO Biao^{1,2,3}, LI Sen¹, ZHANG Wei¹, HOU Jin-Hui¹, LI Zhen², HUANG Zhong-Min³, AI Zhi-Lu^{1,2,3*}

(1. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. Key Laboratory of Staple Grain Processing, Ministry of Agriculture, Zhengzhou 450002, China; 3. Henan Engineering Laboratory of Quick-Frozen Flour-Rice Food and Prepared Food, Zhengzhou 450002, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate the inactivation effect and mechanism of pulsed light treatment on *Staphylococcus aureus* on surface of steamed bread. **Methods** By controlling the treatment distance ranging from 9 to 21 cm, the single pulse energy ranging from 100 to 500 J, and the flashed time ranging from 0 to 20 times, the inactivation pattern of *S. aureus* were analyzed. The optimized results were applied on the inactivation of *S. aureus* on the surface of steamed bread. Therefore, the morphological changes of *S. aureus* under pulsed light treatment were analyzed using transmission electron microscope (TEM). **Results** When the pulse distance and single pulse energy were set at 9 cm and 500 J, respectively, the highest inactivation effect of *S. aureus* could be obtained after 16 pulse times. When the pulsed light treatment conditions were applied on the inactivation of *S. aureus* on the surface of

基金项目: 国家自然科学基金项目(31601572)、河南省重点研发与推广专项(182102110025)、河南省科技创新杰出人才项目(174200510005)、“十二五”国家科技支撑计划(2015BAD16B04)

Fund: Support by the National Natural Science Foundation of China (31601572), the Special Project of Key Research and Promotion of Henan Province (182102110025), the Excellent Talent Foundation for Science and Technology Innovation of Henan Province (174200510005), and the National 12th Five-Year Science and Technology Supporting Grant in China (2015BAD16B04).

***通讯作者:** 艾志录, 博士, 教授, 主要研究方向为食品加工与品质安全。E-mail: zhilafood@sina.com

***Corresponding author:** AI Zhi-Lu, Ph.D, Professor, College of Food Science and Technology, Henan Engineering Research Center for Cold-Chain Food, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China. E-mail: zhilafood@sina.com.

steamed bread, 1.72 log CFU/g reduction was observed. The TEM observation primarily revealed that the pulsed light treatment damaged the cell membrane and content in cell cytoplasm of *S. aureus*, which caused cell death as a result.

Conclusion Pulsed light can cause a desired inactivation effect on *S. aureus*, which exhibits an application prospect in the processing industry of steamed bread.

KEY WORDS: pulsed light; *Staphylococcus aureus*; steamed bread; inactivation

1 引言

馒头是中国人民的传统面食主食,在人们的日常生活中占有比较大的消费比重。随着人们生活节奏的加快和消费水平的提高,馒头等主食的工业化生产和销售规模也日益扩大。由于馒头的工业化生产和销售涉及多个工艺环节,包括生产原料,制作工具以及包装等^[1],而且由于馒头营养丰富、水分活度高,且加工销售条件相对粗放,极易受到食源性致病菌等各种有害微生物的污染^[2],因而由有害微生物导致的馒头食品安全问题目前仍十分严重^[3]。

金黄色葡萄球菌广泛存在于水体、加工环境和人体皮肤表面,是导致食源性疾病爆发的最重要致病菌之一。金黄色葡萄球菌对较高和较低的温度、高渗以及高 pH 等不利条件均具有较强的耐受性,而且普通的加热方式对其产生的肠毒素不具有降解作用^[4]。2017 年的 1 份监测数据报告中显示,谷物制品的中金黄色葡萄球菌的污染率高达 28.26%,是所有同期检测食品中污染率最高的食品^[5]。金黄色葡萄球菌对谷物制品的污染存在高危险性和高污染率的双重特点,因此,馒头中金黄色葡萄球菌的安全控制对于食用安全保障具有重要意义。

脉冲强光是一种新型非热杀菌技术,相对于紫外线照射等其它非热加工方式,脉冲强光具有较高的杀菌效率^[6]。有研究证实脉冲强光对金黄色葡萄球菌^[7]、酵母菌^[8]、霉菌^[9]、大肠杆菌^[10]等微生物生命体具有良好的杀灭作用,而且控制闪照距离和杀菌强度能够达到预期杀菌效果^[11]。前人在脉冲强光对鲜切蘑菇的保鲜作用效果研究结果表明,12 J/cm² 的脉冲强光可分别使大肠杆菌和单增李斯特菌降低 3 和 2 个 log 值^[12]。然而,脉冲强光技术在馒头表面金黄色葡萄球菌杀菌中的应用研究尚未有报道。

本文研究了脉冲强光对金黄色葡萄球菌的杀菌条件,据此探究了该技术在馒头表面的杀菌效果,并采用透射电子显微镜技术初步分析其杀菌机制,为今后脉冲强光技术在馒头等主食工业中的应用提供理论依据。

2 材料与方法

2.1 材料与仪器

面粉(金苑面业有限公司);胰蛋白胨大豆琼脂培养基((tryptic soy agar, TSA)、胰蛋白胨大豆肉汤培养基(tryptic

soy broth, TSB)、Baird-Parker 琼脂培养基(baird-parker agar, BP)、平板计数琼脂(plate count agar, PCA)、马铃薯葡萄糖琼脂(potato dextrose agar, PDA)(北京陆桥技术有限责任公司);酵母浸粉(生工生物工程(上海)有限公司);氯化钠(分析纯,天津市永大化学试剂有限公司);金黄色葡萄球菌(ATCC 6538, 美国菌种保存中心)。

SX-500 型高压蒸汽灭菌锅(日本 Tomy 公司);LHP-250 型智能恒温恒湿培养箱(上海鸿都电子科技有限公司);DHG-9143B5III 型电热恒温鼓风干燥箱(上海新苗医疗器械制造有限公司);THZ-100 型恒温培养摇床(上海一恒科学仪器有限公司);ZW-SY-2D 型脉冲强光杀菌设备(宁波中物光电杀菌技术有限公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 菌液制备

在无菌条件下,用接种环将金黄色葡萄球菌 ATCC 6538 划线至加有 0.6% 酵母浸粉的胰蛋白胨大豆琼脂培养基(TSA-YE)上,在 25 ℃ 条件下培养 24 h,用接种环挑取典型单菌落至加有 0.6% 酵母浸粉的胰蛋白胨大豆肉汤(TSB-YE)中,在 25 ℃、150 r/min 条件下振荡培养 6 小时,至指数后期(约 10⁸~10⁹ CFU/mL)。

2.2.2 馒头制作及金黄色葡萄球菌人工污染

将干酵母 0.8~1.0 g 充分溶于 50 mL 水中,与(100±1) g 面粉混合均匀,在铁盆里搅拌并按压,直到面粉全部附着在面团上,并且面团表面光滑。将面团静止 10 min 以缓解内部应力,将面团制作成馒头的形状后,在温度 37 ℃、湿度 80% 的发酵箱中发酵 45 min 后,取出后蒸制 20 min。

将指数后期的金黄色葡萄球菌用磷酸缓冲盐溶液(phosphate buffered saline, PBS)10 倍梯度稀释至浓度为 10⁷ CFU/mL,用移液枪吸取 0.1 mL 菌液缓慢多次滴至熟制馒头表面,在无菌环境中放置 20 min 直至馒头表面干燥。人工污染后的馒头分为 2 组,其中 1 组以纯菌液中优化建立的脉冲强光杀菌条件为依据,然后进行脉冲强光处理,另 1 组不采用脉冲强光处理以作为阴性对照。测定 2 组处理前后金黄色葡萄球菌的数量,重复 3 次。

2.2.3 脉冲强光处理

将指数后期的金黄色葡萄球菌菌液于 5000 r/min 离心 10 min,细胞用等量无菌生理盐水洗涤 2 次后,得到约 10⁸~10⁹ CFU/mL 的菌悬液备用。将 1 mL 菌悬液缓慢加入无菌培养皿中,放入脉冲强光杀菌设备内,以不同参数的

脉冲强光进行闪照, 闪照距离设定为 9~21 cm, 闪照功率设定为 100~500 J, 闪照次数最大为 20 次, 以 1 mL 生理盐水作为空白对照, 每组 3 次平行实验。馒头闪照采用如图 1 所示的方法进行处理,

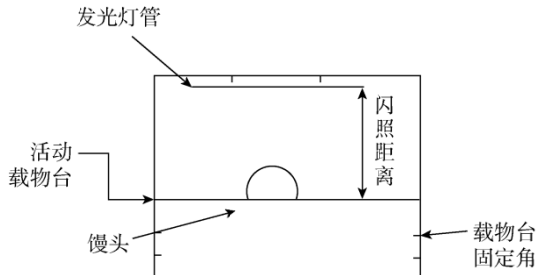


图 1 物料处理操作示意图

Fig.1 Material handling operation schematic

2.2.4 微生物计数

(1)将脉冲强光处理后的菌液连续梯度稀释后, 选择 3 个适宜稀释度的样品均液, 各取 100 μL 涂布至 TSA 培养基上, 于 25 $^{\circ}\text{C}$ 培养箱中培养 48 h 后, 进行金黄色葡萄球菌培养计数, 以空白组做阴性对照

(2)馒头样品经脉冲强光处理后, 在无菌环境中, 将 10 g 馒头样品放入盛有 90 mL 的无菌生理盐水(0.85%)的均质袋中, 在拍打式均质机中以 12 T/sec 的速度拍打 2 min, 移取均质液进行梯度稀释, 选择 3 个适宜稀释度的样品匀液各取 100 μL 注入无菌培养皿内, 倒入约 20mL 的 Baird-Parker 培养基, 待培养基冷却后, 放置于 25 $^{\circ}\text{C}$ 培养箱中培养 48 h 并计数, 以空白组做阴性对照。

2.2.5 透射电镜分析

以指数后期的金黄色葡萄球菌细胞为对照, 取 500 J 脉冲强光处理 16 次的细胞用于透射电镜观察分析。透射电镜生物样本的制备参照 Takamatsu 等^[13]的方法, 通过 2.5%的戊二醛固定、缓冲液漂洗、琼脂固定、漂洗、锇酸固定、乙醇、丙酮梯度脱水, 包埋液浸透、包埋、聚合修块、超薄切片机切片, 染色并在透射电镜下(放大至 500 nm)进行观察。

3 结果与分析

3.1 脉冲强光的杀菌效果和优化

3.1.1 单脉冲能量参数对杀菌效果的影响

为了研究单脉冲能量对金黄色葡萄球菌杀菌效果的影响, 本试验选取单脉冲能量为 100 到 500 J, 与光源距离为 9 cm 的条件对金黄色葡萄球菌进行处理。从图 2 中可以看出, 随着杀菌强度的增加, 细菌的存活数量逐渐下降, 但在闪照 16 次以后, 随着照射次数的继续增加, 细菌的减少幅度趋势放缓。说明脉冲强光对金黄色葡萄球菌具有良好的杀菌作用, 而且抑制作用的效果随着单脉冲能量的增加而增大。

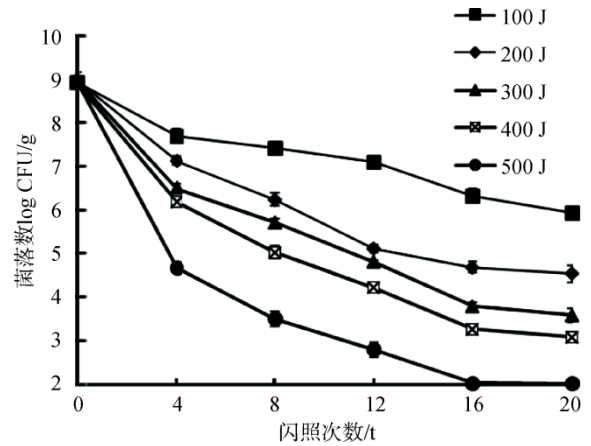


图 2 脉冲强光单脉冲能量对金黄色葡萄球菌杀菌效果的影响($n=3$)

Fig. 2 Effect of single pulsed energy of pulse light treatment on the inactivation of *Staphylococcus aureus* ($n=3$)

3.1.2 闪照距离对杀菌效果的影响

将盛放物料的托盘与光源的距离设定为 9、12、15、18 和 21 cm, 固定单脉冲能量为 500 J。由图 3 中闪照距离对金黄色葡萄球菌的杀菌效果的影响结果可以看出, 当闪照距离增加时, 脉冲强光的杀菌效果也随之减弱, 在闪照次数为 16 次时, 当闪照距离由 9 cm 增加至 12、15、18 与 21 cm 时, 经脉冲强光处理过后的金黄色葡萄球菌分别降低 7.2、6.9、6.6、6.5、6.3 log CFU/mL。因此, 在 9~21 cm 的范围内, 脉冲强光的闪照距离与杀菌效果呈现负相关关系。然而, 当继续增加脉冲强光闪照次数至 20 次时, 金黄色葡萄球菌活细胞数目的降低并不显著($P>0.05$)。

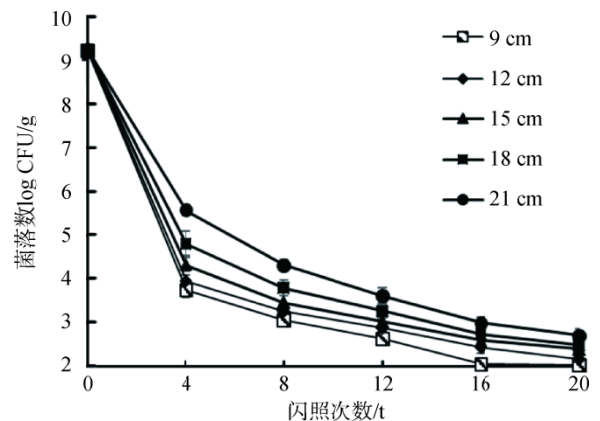


图 3 脉冲强光闪照距离对金黄色葡萄球菌的杀菌效果($n=3$)

Fig. 3 Effect of distance of pulse light treatment on the inactivation of *Staphylococcus aureus* ($n=3$)

3.2 馒头表面金黄色葡萄球菌的脉冲强光杀菌效果

采用人工接种的方法对馒头表面进行金黄色葡萄球菌污染, 随后采用单脉冲强度 500 J、闪照距离 9 cm 以及

不同的闪照次数对污染后的馒头进行处理。以探究在食品生产的应用中,杀菌效果与实验纯菌液环境是否有差别。结果如图4所示,图中 N_0 和 N 分别代表闪照处理前后测得的金黄色葡萄球菌菌落数,单位 CFU/g。经脉冲强光照射20次后,馒头表面的金黄色葡萄球菌减少1.72 log CFU/g,与照射16次相比略微有所提高但是两者差别不显著。在馒头表面的最适宜杀菌次数与纯菌液中次数有细微差别,产生这样结果的原因可能是菌液相比于馒头表面具有更好的透光性。本结果与 Cheigh 等^[14]在培养基中采用 DNA 和 RNA 提取计数法得到的结果一致,也与唐明礼等^[15]采用响应曲面法建立的面包表面霉菌的脉冲强光杀菌效果类似。本研所得到的馒头表面金黄色葡萄球菌脉冲强光杀菌效果,略高于 Ramos-Villarreal 等^[16]在鲜切果蔬表面得到的0.9~1.1 log CFU/g的结果,这可能是因为鲜切水果表面光滑程度不同导致脉冲强光的穿透能力受限所致,而馒头表面因淀粉老化能够形成比较光滑的平面,有利于采用脉冲强光的方式杀菌。

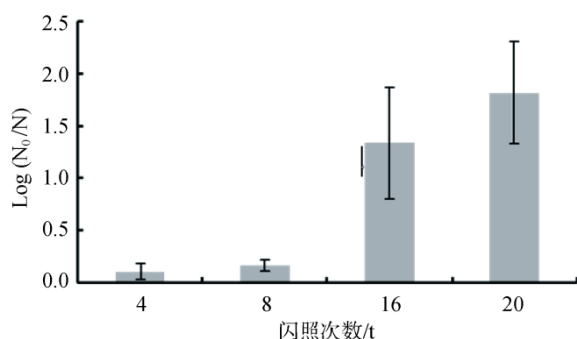


图4 脉冲强光对馒头表面金黄色葡萄球菌的杀菌效果($n=3$)
Fig. 4 Inactivation of *Staphylococcus aureus* on surface of steamed bread under pulsed light treatment ($n=3$)

3.3 脉冲强光处理后馒头表面金黄色葡萄球菌在贮藏过程中的变化

采用上述脉冲强光方法对馒头进行处理后,本试验选用选择性培养基研究了馒头表面金黄色葡萄球菌在25℃贮藏过程中的变化。结果如图5所示,未经过脉冲强光处理的空白组馒头表面金黄色葡萄球菌在贮藏过程中的数量迅速增大,至贮藏第3 d时达到最大6.7 log CFU/g。虽然在贮藏第4 d略有降低但并不显著($P>0.05$),产生这种现象的原因可能是由于第4 d时馒头中原生腐败菌的生长竞争抑制作用。然而,经过脉冲强光处理后,馒头表面初始菌落浓度比未经脉冲强光处理的对照低1.9 log CFU/g,虽然在贮藏过程中也呈现出缓慢增长的趋势,但在贮藏第4 d的最高浓度也仅为4.0 log CFU/g,显著低于未经脉冲强光处理的对照样品($P<0.05$)。此外,与未经脉冲强光处理的对照组相比,经过脉冲强光处理后的馒头表面金黄色葡

萄球菌并没有在贮藏期内受到竞争抑制的现象,可能是因为脉冲强光杀菌技术对馒头表面所有的微生物具有光谱杀菌效果,在抑制金黄色葡萄球菌的同时,对其它背景微生物也有失活或亚致死作用^[17]。

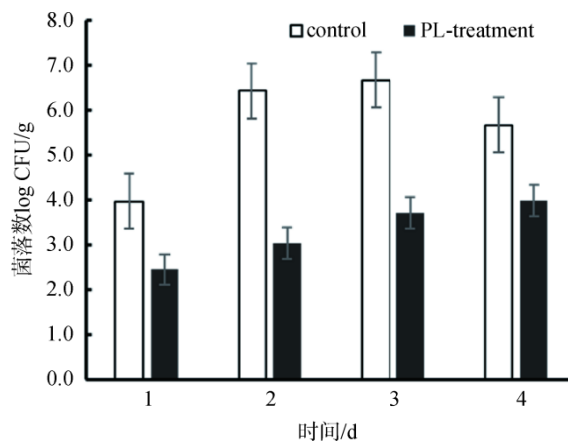
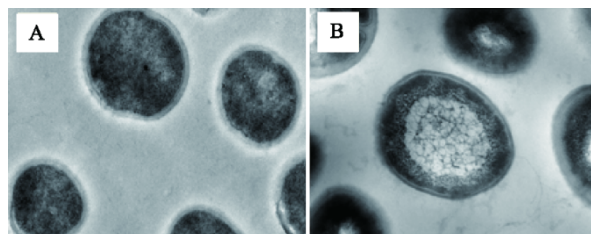


图5 脉冲强光处理对贮藏过程中馒头表面金黄色葡萄球菌生长的影响($n=3$)

Fig. 5 Effect of pulse light treatment on the growth of *Staphylococcus aureus* on surface of steamed bread during storage ($n=3$)

3.4 脉冲强光处理对金黄色葡萄球菌形态的影响

本研究采用透射电子显微镜技术,初步分析了脉冲强光处理对金黄色葡萄球菌细胞形态结构的影响,结果如图6所示,指数后期的金黄色葡萄球菌(图6A)呈正常细胞形态,有着结构完整的细胞壁和细胞膜,细胞壁清晰,大小正常,且胞浆均匀,内部组织密实,细胞内容物分布均匀。而经脉冲强光处理后的金黄色葡萄球菌(图6B)菌体中心部位出现了空洞,这说明其核内组织已发生破坏,也有些菌体轮廓变模糊,内部结构紊乱。本结果说明脉冲强光可通过破坏菌体的细胞膜和菌体胞质内容物,造成细胞内部组织损伤和内容物的泄露而失活^[18]。



A: 金黄色葡萄球菌空白对照; B: 金黄色葡萄球菌 500 J 脉冲强光处理 16 次

图6 脉冲强光处理前后金黄色葡萄球菌的透射电镜结果图
Fig. 6 Transmission electron micrographs of *Staphylococcus aureus* before and after pulsed light treatment

4 结 论

本试验分析了脉冲强光对金黄色葡萄球菌的杀菌作用, 并对杀菌效果进行了评估和优化。在本研究使用的脉冲强光杀菌仪器中, 当闪照距离为 9 cm, 单脉冲能量为 500 J 时, 金黄色葡萄球菌悬液在脉冲强光闪照 16 次时杀菌达到最大。将该方法应用于馒头表面的金黄色葡萄球菌杀菌时, 同等处理条件下, 脉冲强光闪照 20 次可使馒头表面金黄色葡萄球菌活细胞数目降低 1.72 log CFU/g, 说明脉冲强光对于馒头表面的金黄色葡萄球菌具有良好的杀菌效果。透射电镜观察结果初步说明了脉冲强光可破坏金黄色葡萄球菌的细胞膜和菌体胞质内容物, 从而造成细胞的失活。本研究初步证明了脉冲强光在馒头主食产业中的应用效果, 为主食食品工业中脉冲强光在食源性致病菌安全控制领域的应用提供了参考。

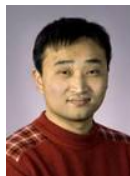
参考文献

- [1] Huang S, Yun SH, Quail K, *et al.* Establishment of flour quality guidelines for northern style Chinese steamed bread[J]. *J Cereal Sci*, 1996, 24(2): 179–185.
- [2] 赵静, 孙海娟, 冯叙桥. 食品中食源性致病菌污染状况及其监测技术研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2013, 4(5): 1353–1360.
Zhao J, Sun HJ, Feng XQ. Advances on pollution of food-borne pathogens and its detection technology in food [J]. *J Food Saf Qual*, 2013, 4(5): 1353–1360.
- [3] 朱静鸿, 龚云伟, 李月婷, 等. 2013~2014 年长春市食品中食源性致病菌检测及分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(1): 27–32.
Zhu JH, Gong YW, Li YT, *et al.* Detection and analysis of foodborne pathogens in food of Changchun city from 2013-2014 [J]. *J Food Saf Qual*, 2016, 7(1): 27–32.
- [4] 李琼琼, 范一灵, 宋明辉, 等. 食源性金黄色葡萄球菌肠毒素及其检测方法[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(2): 555–560.
Li QQ, Fan YL, Song MH, *et al.* Research advances on foodborne *Staphylococcal* enterotoxins and its detection methods [J]. *J Food Saf Qual*, 2016, 7(2): 555–560.
- [5] 赵薇, 杨修军, 刘桂华, 等. 2011~2015 年吉林省食品中金黄色葡萄球菌的监测数据分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(1): 98–104.
Zhao W, Yang XJ, Liu GH, *et al.* Analysis on the monitoring data of *Staphylococcus aureus* in food of Jilin province in 2011-2015 [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(1): 98–104.
- [6] Oms-Oliu G, Martín-Belloso O, Soliva-Fortuny R. Pulsed light treatments for food preservation. A review[J]. *Food Bioprocess Technol*, 2008, 3(1): 13–23.
- [7] 张佰清, 姜树才, 刘佳. 脉冲强光处理对金黄色葡萄球菌杀菌效果的研究[J]. *食品科技*, 2009, (1): 91–93.
Zhang BQ, Jiang SC, Liu J. Research on sterilization of pulsed-light on *Staphylococcus aureus* [J]. *Food Sci Technol*, 2009, (1): 91–93.
- [8] Takeshita K, Shibato J, Sameshima T, *et al.* Damage of yeast cells induced by pulsed light irradiation[J]. *Int J Food Microbiol*, 2003, 85(1-2): 151–158.

- [9] Stevens C, Liu J, Khan VA, *et al.* The effects of low-dose ultraviolet light-C treatment on polygalacturonase activity, delay ripening and Rhizopus soft rot development of tomatoes[J]. *Crop Prot*, 2004, 23(6): 551–554.
- [10] Bialka KL, Demirci A. Decontamination of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* on blueberries using ozone and pulsed UV-light[J]. *J Food Sci*, 2007, 72(9): M391–6.
- [11] Huang Y, Ye M, Cao X, *et al.* Pulsed light inactivation of murine norovirus, Tulane virus, *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* in suspension and on berry surfaces[J]. *Food Microbiol*, 2017, 61: 1–4.
- [12] Ramos-Villarreal AY, Aron-Maifei N, Martín-Belloso O, *et al.* The role of pulsed light spectral distribution in the inactivation of *Escherichia coli* and *Listeria innocua* on fresh-cut mushrooms[J]. *Food Control*, 2012, 24(1-2): 206–213.
- [13] Takamatsu T, Kawano H, Sasaki Y, *et al.* Imaging of the *Staphylococcus aureus* inactivation process induced by a multigas plasma jet[J]. *Curr Microbiol*, 2016, 73(6): 766–772.
- [14] Cheigh CI, Park MH, Chung MS, *et al.* Comparison of intense pulsed light- and ultraviolet (UVC)-induced cell damage in *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7[J]. *Food Control*, 2012, 25(2): 654–659.
- [15] 刘昕, 马涛, 王勃, 等. 脉冲强光对面包表面霉菌杀菌效果的研究[J]. *食品科技*, 2014, (3): 116–120.
Liu X, Ma T, Wang B, *et al.* Sterilization effect of intense pulsed light on bread mold [J]. *Food Sci Technol*, 2014, (3): 116–120.
- [16] Ramos-Villarreal AY, Martín-Belloso O, Soliva-Fortuny R. Combined effects of malic acid dip and pulsed light treatments on the inactivation of *Listeria innocua* and *Escherichia coli* on fresh-cut produce[J]. *Food Control*, 2015, 52: 112–118.
- [17] Rowan NJ, Valdramidis VP, Gómez-López VM. A review of quantitative methods to describe efficacy of pulsed light generated inactivation data that embraces the occurrence of viable but non culturable state microorganisms[J]. *Trends Food Sci Technol*, 2015, 44(1): 79–92.
- [18] Krishnamurthy K, Tewari JC, Irudayaraj J, *et al.* Microscopic and spectroscopic evaluation of inactivation of *Staphylococcus aureus* by pulsed UV light and infrared heating[J]. *Food Bioprocess Technol*, 2010, 3(1): 93–104.

(责任编辑: 姜 珊)

作者简介



索 标, 副教授, 主要研究方向为食品微生物分子生态与食品安全。

E-mail: suobiao1982@126.com



艾志录, 博士, 教授, 主要研究方向为食品加工与品质安全。

E-mail: zhilafood@sina.com