

脉冲强光对饮料瓶盖杀菌效果

Effect of pulsed light on bacterium sterilization of beverage bottle cap

陈金定^{1,2}王媛^{1,2}毛立科^{1,2}刘锦芳^{1,2}高彦祥^{1,2}CHEN Jin-ding^{1,2} WANG Yuan^{1,2} MAO Li-ke^{1,2} LIU Jin-fang^{1,2} GAO Yan-xiang^{1,2}

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083; 2. 中国轻工业健康饮品重点实验室, 北京 100083)

(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing

100083, China; 2. China Light Industry Key Laboratory of Healthy Beverages,

China Agricultural University, Beijing 100083, China)

摘要:目的:研究脉冲强光杀菌技术对饮料瓶盖上芽孢杆菌的杀灭效果,拓展其在 PET 无菌灌装中的应用前景。

方法:以初始菌落数、脉冲照射距离、脉冲闪烁次数为影响因素,探究脉冲强光杀菌技术对 38 mm 及 28 mm 饮料瓶盖上芽孢杆菌的灭菌效果。**结果:**初始菌落数越高、照射距离越短、闪烁次数越多,杀菌效率越高,且对 38 mm 瓶盖的杀菌效率高于 28 mm 瓶盖的。脉冲照射距离为 7 cm,闪烁次数 5 次时,脉冲强光对 38 mm 瓶盖的最高杀菌效率为 4.87 log,对 28 mm 瓶盖的最高杀菌效率为 4.71 log,最高可将初始菌落数为 1×10^2 CFU 的瓶盖上芽孢杆菌完全杀灭;照射距离为 7 cm,闪烁次数为 10 次时,脉冲强光对 38 mm 瓶盖最高杀菌效率为 5.34 log,对 28 mm 瓶盖的最高杀菌效率为 5.28 log,最高可将初始菌落数 1×10^3 CFU 的瓶盖上芽孢杆菌完全杀灭。**结论:**脉冲强光杀菌技术对饮料瓶盖上芽孢杆菌具有较强的杀灭作用,可用于饮料无菌灌装过程中 HDPE 瓶盖的杀菌。

关键词:饮料瓶盖;脉冲强光;照射距离;闪烁次数;初始菌落数;杀菌效率

Abstract: **Objective:** This study aimed to study the effect of pulsed light on sterilization of beverage bottle caps and to expand its application in PET aseptic filling. **Methods:** The effect of pulsed light (PL) on the sterilization of 38 mm and 28 mm beverage bottle caps was evaluated. The factors affecting sterilization efficiency included initial aerobic bacterial count, PL irradiation distance and pulse frequency. **Results:** The results showed that the sterilization efficiency was proportional to the initial aerobic bacterial count and flash time, while it was inversely proportional

to PL irradiation distance. When the PL treatment was performed by 7 cm irradiation distance and 5 flash times, the maximum sterilization efficiencies for 38 mm and 28 mm bottle caps were 4.87 log and 4.71 log, respectively. Meanwhile, the bacillus on bottle caps were entirely killed with the initial aerobic bacterial counts of 1×10^2 CFU. While the PL treatment was conducted by 7 cm irradiation distance and ten flash times, the maximum sterilization efficiencies for 38 mm and 28 mm bottle caps were 5.34 log and 5.28 log, respectively. Moreover, the bacillus on bottle caps was killed completely with the initial aerobic bacterial counts of 1×10^3 CFU. **Conclusion:** The pulsed light sterilization technology could kill the bacillus on the bottle caps to a certain extent and be applied to sterilizing HDPE bottle caps in the aseptic filling process of beverage products.

Keywords: beverage bottle cap; pulsed light; irradiation distance; pulse time; initial aerobic bacterial count; sterilization efficiency

在饮料无菌灌装技术中,对饮料包装材料杀菌处理是饮料加工过程中不可缺少的一部分。传统的包材杀菌方式分为湿法杀菌和干法杀菌,湿法杀菌是指采用过氧乙酸对包装容器进行喷淋,或对瓶盖进行浸泡杀菌,杀菌后需要用无菌水将瓶子及瓶盖冲洗至过氧乙酸含量 0.5 mg/kg 以下^[1-2],该方法杀菌效率高,但容易造成溶剂残留,且需要用大量无菌水冲洗,能耗较高。干法杀菌是指采用气态过氧化氢通过破坏微生物外部结构,使微生物细胞渗透压改变而死亡,同时破坏微生物细胞内部 DNA 使其死亡而实现杀菌作用^[3-4],无需水洗,节约水资源,但有消毒剂残留的风险,且热能消耗较大^[5]。

脉冲强光杀菌技术作为一种新型非热物理杀菌技术^[6],最早用于医疗器械表面杀菌和透明药剂溶液杀菌等^[7],是利用惰性气体闪光灯在紫外光、可见光和红外光的频率范围内(200~1 100 nm)产生瞬时、高功率的强广谱脉冲光辐射^[8],通过破坏微生物细胞中的 DNA、细胞

基金项目:国家重点研发计划资助(编号:2018YFD0400900)

作者简介:陈金定,女,中国农业大学中级工程师,硕士。

通信作者:高彦祥(1961—),男,中国农业大学教授,博士生导师,博士。E-mail:gyxcau@126.com

收稿日期:2021-04-21

膜、蛋白质,从而使细胞失去生物活性,实现食品表面、设备表面以及食品包材上微生物的快速灭活^[9-10],是一种无毒、低热、无副产物的新型杀菌技术,与紫外杀菌等其他物理杀菌方式相比,具有较高的杀菌效率^[11]。

脉冲强光杀菌技术被广泛应用于食品工业中,如肉制品^[8,12-13]、蔬菜^[14-15]、乳制品^[16]、谷物^[17-18]、坚果^[19]、果汁^[20-22]、食品包装材料^[23-24]等杀菌,但在饮料包装材料的杀菌应用研究以及杀菌效果验证相对较少,现有研究中,仅检索到严杰能等^[9]通过对脉冲光杀菌技术关键影响因素进行优化,得到利用脉冲光对包装饮用水瓶盖杀菌的最佳条件;江苏新美星包装机械股份有限公司^[25]发明了一款 PET 空瓶的脉冲强光杀菌装置,通过在传送星轮上方设置脉冲强光系统和反射系统,采用脉冲强光对 PET 空瓶进行灭菌,将脉冲强光灭菌方式应用于 PET 瓶杀菌,但并未对其杀菌效果进行验证。萎缩芽孢杆菌又称枯草芽孢杆菌黑色变种,是芽孢杆菌属的一个重要种,中国食品和包装机械工业协会发布的团体标准 T/CFPMA 0020—2021《PET 瓶无菌灌装生产线无菌性验证规范》提出,一般采用具有棕色典型菌落特征,性能稳定的萎缩芽孢杆菌作为无菌性验证中的指示菌。研究拟采用脉冲强光杀菌技术,对 HDPE 材质饮料瓶盖进行杀菌,考察其杀菌效果,以期对脉冲强光杀菌技术在无菌灌装技术中的应用及推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

瓶盖 1:高密度聚乙烯(HDPE)材料,直径 38 mm,重量 3.1 g,北京汇源饮料食品集团;

瓶盖 2:HDPE 材料,直径 28 mm,重量 2.4 g,北京汇源饮料食品集团;

芽孢悬液: ATCC9372 萎缩芽孢杆菌,浓度 1×10^9 CFU/mL,中国工业微生物菌种保藏管理中心;

TSA 培养基:北京奥博星生物技术有限责任公司;

氯化钠:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

吐温 80:分析纯,天津市大茂化学试剂厂;

MCE 过滤膜:0.45 μm ,爱西默科技(上海)有限公司;

洗脱液:8.5 g NaCl 加 0.1 g 吐温 80,溶于 1 L 水中,121 $^{\circ}\text{C}$ 灭菌 20 min;

脉冲强光辐照装置:FD2000 型,输出电压 1 320 V,闪频能量 1 850 J/闪频,荷兰 Pulsed Light Power BV 公司;

立式压力蒸汽灭菌器:YXQ-LS 型,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;

三联薄膜过滤装置:FB-43 型,泰安佰博仪器有限公司;

循环水式多用真空泵:SHB-III 型,郑州长城科工贸

有限公司;

超净工作台:BBS-DDC 型,济南鑫贝西生物科技有限公司;

生化培养箱:LRH250 型,上海一恒科学仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 菌液稀释 将芽孢杆菌的芽孢悬液(芽孢浓度为 1×10^9 CFU/mL)用无菌水梯度稀释至所需浓度,待用。

1.2.2 材料准备及接种

(1) 准备:瓶盖及对应的瓶胚放置在超净工作台中紫外线灭菌 60 min,接种前用 75% 乙醇水溶液浸泡 30 min 后置于超净工作台中晾干,待用^[26]。其他所需材料,如离心管、移液枪枪头、滤杯、玻璃滴管等放入灭菌锅灭菌后备用。

(2) 接种:用喷雾接种器吸取 100 μL 所需浓度的芽孢悬液接种至瓶盖上,轻轻晃动,使悬液均匀分布于瓶盖内部,置于超净工作台中晾干,用无菌袋密封,待用^[20]。

1.2.3 接菌数量 每个瓶盖接种设定数量的芽孢菌液,理论接菌数量即瓶盖上芽孢杆菌的初始菌落数梯度为 1×10^7 , 1×10^6 , 1×10^5 , 1×10^4 , 1×10^3 , 1×10^2 , 1×10 CFU,实际接菌数量按照空白对照样品接种后,培养计数、计算所得数量。每个样品做 3 组平行^[27]。

1.2.4 脉冲强光辐照试验

(1) 照射距离对瓶盖杀菌效率的影响:脉冲电压为 1 320 V,脉冲闪烁次数为 5 次时,分别测定照射距离为 7,14,21,28 cm 时对瓶盖上芽孢杆菌的杀菌效率。

(2) 脉冲强光闪烁次数对瓶盖杀菌效率的影响:脉冲电压为 1 320 V,照射距离为 7 cm 时,分别测定脉冲闪烁次数为 1,5,10,15 次时对瓶盖上芽孢杆菌的杀菌效率。

空白对照样品接种后不进行脉冲强光辐照。

1.2.5 杀菌效果验证 根据文献^[28]并作部分修改,方法如下:

(1) 洗脱:将 50 mL 洗脱液分 3 次加入已进行无菌处理的瓶胚中,盖上瓶盖后剧烈摇晃 2 min,洗脱瓶盖上的芽孢杆菌,合并 3 次洗脱液,根据接菌数量估算稀释倍数,将所需体积的洗脱液采用膜过滤装置进行过滤,如产生泡沫,加入 100 mL 无菌水至滤杯助滤,取下滤膜,放入准备好的培养基平板(90 mm 平板,预置无菌培养基)。

(2) 培养与计数:过滤之后的滤膜放置培养皿中,放入 $(37 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 培养箱,24 h 后计数。

空白对照按照同样洗脱方法进行洗脱,稀释过滤后培养,平板菌落计数法计数,即为实际初始菌落数。

(3) 杀菌效率计算^[29]:

$$S_E = \log \frac{N_0}{N}, \quad (1)$$

式中:

S_E ——杀菌效率(指示菌经过杀菌后菌落数对数递减值),log;

N_0 ——杀菌前微生物菌落总数(空白对照样品接种后,培养计数,并根据稀释倍数计算),CFU;

N ——杀菌后微生物菌落数量,CFU。

(4) 理论最大杀菌效率:理论最大杀菌效率为将瓶盖上所有芽孢杆菌完全杀灭时的杀菌效率,如初始菌落数为 1×10^7 CFU,理论最大杀菌效率为 7 log,初始菌落数为 1×10^5 CFU,理论最大杀菌效率为 5 log。

(5) 数据处理及分析:每个样品均设 3 次重复,采用 SPSS 19.0 软件进行方差分析,处理间平均数的比较用最小显著差数法。图形绘制采用 Origin 9.1 绘图软件。

2 结果与分析

2.1 照射距离对瓶盖的杀菌效率

由图 1 可知,在试验范围内,不同接菌数量条件下,脉冲强光的照射距离与芽孢杆菌的杀菌效率呈负相关,且照射距离为 7 cm 时杀菌效率显著高于($P < 0.05$)照射距离为 14 cm 及 21 cm 时的,说明在相同的条件下,缩短脉冲强光的照射距离能够有效提升对芽孢杆菌的杀菌效率,这是由于照射距离越近,脉冲强光的光热和光化学效应越强,对微生物的杀灭效果越好^[30],而距离越远脉冲强光在腔内经过光的折射、反射等一系列过程,损失部分能量,导致杀菌效率降低^[17,27]。赵天慧等^[30]优化了脉冲强光对枯草芽孢杆菌致死工艺,结果发现,当照射距离为 6 cm 时,致死率较高,照射距离超过 6 cm,对枯草芽孢杆菌的致死效果显著下降,与试验结果一致。

对于不同接菌数量的瓶盖,相同杀菌条件下,瓶盖上初始菌落数量越多,杀菌效率越高,杀菌效果越好,可能是由于初始菌落较多的情况下,细菌更易凝聚成团,凝聚成团的细胞受到的磁场作用增强,细胞膜更易于破裂^[31-32],且单位面积的菌落数越多,脉冲强光的有效辐射量越大,故瓶盖上初始菌落数量越多时,显示出较高的杀菌效率,菌落数较少时,菌落分散,有效辐射量相对减

少,故杀菌效率相对较低^[33]。但随着瓶盖上初始菌落数量的增加,在最短照射距离条件下,实际杀菌效率与理论最大杀菌效率差距越大,越难将瓶盖上所有芽孢杆菌全部杀灭。当初始菌落数为 1×10^7 CFU,照射距离为 7 cm,38 mm 瓶盖的杀菌效率最高可达 4.87 log,28 mm 瓶盖的杀菌效率最高可达 4.71 log。当初始菌落数为 1×10 CFU 时,试验范围内的所有脉冲强光条件均能将瓶盖上的芽孢杆菌全部杀灭;初始菌落数为 1×10^2 CFU 时,对于 38 mm 瓶盖,照射距离为 7 cm 及 14 cm 均能将芽孢杆菌完全杀灭,21 cm 照射距离则无法完全将其杀灭,对于 28 mm 瓶盖,照射距离为 7 cm 能够将芽孢杆菌完全杀灭,14 cm 及 21 cm 照射距离则无法完全将其杀灭;随着初始菌落数的增加,所选试验条件下的脉冲强光均无法将初始芽孢杆菌完全杀灭。

在相同脉冲强光照条件下,38 mm 瓶盖杀菌效率随原始菌落数量级的变化趋势与 28 mm 瓶盖杀菌效率变化趋势一致,且相同条件下,对 38 mm 瓶盖杀菌效率高于 28 mm 瓶盖,可能是由于 38 mm 瓶盖表面积大,芽孢杆菌单位面积菌落数低于 28 mm 瓶盖,更易于被杀灭。

2.2 脉冲强光闪烁次数对瓶盖的杀菌效率

由图 2 可以看出,相同条件下,脉冲强光闪烁次数增加,对瓶盖上芽孢杆菌的杀菌效率随之增加,且闪烁次数为 10 次时,杀菌效率显著高于($P < 0.05$)闪烁 5 次及闪烁 1 次时的杀菌效率,表明脉冲强光能够有效杀灭瓶盖上的芽孢杆菌,且随着脉冲闪烁次数的增加,释放的光化学及光热效应逐渐累积,使其对芽孢杆菌的杀菌效率增加^[30,34]。Cheigh 等^[35]研究脉冲强光对固体培养基上 *L. monocytogenes* 的杀菌影响,杀菌效率与脉冲闪烁次数呈正相关,随脉冲闪烁次数的增加,杀菌效率增加。

对于不同初始菌落数的瓶盖,相同闪烁次数下,杀菌效率随初始菌落数的变化趋势与相同照射距离条件下的变化趋势一致,均为随着初始菌落数的增加,杀菌效率逐渐增加。当初始菌落数为 1×10 CFU 时,试验范围内的

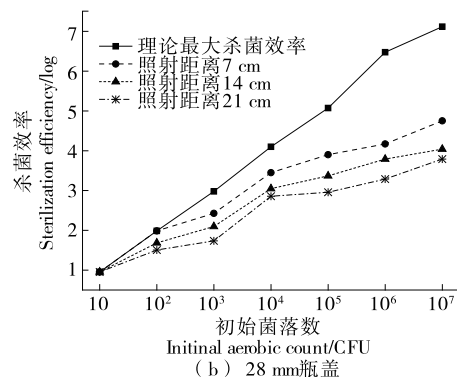
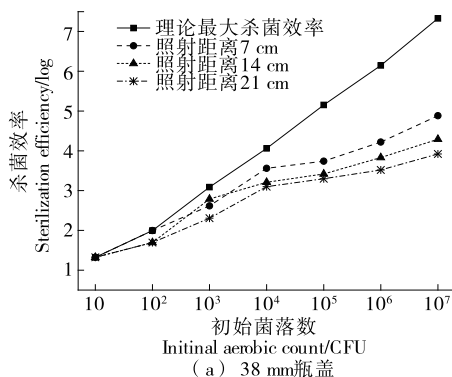


图 1 照射距离对不同初始菌落数瓶盖的杀菌效率

Figure 1 Sterilization efficiency of different irradiation distance to caps with different initial aerobic bacterial count

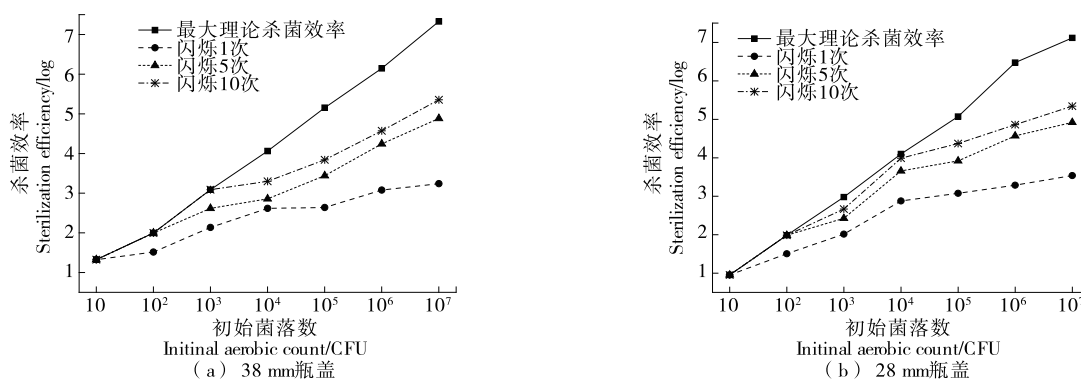


图2 闪烁次数对不同初始菌落数瓶盖的杀菌效率

Figure 2 Sterilization efficiency of different flash times to caps with different initial aerobic bacterial count

所有脉冲强光条件均能将瓶盖上的芽孢杆菌全部杀灭；初始菌落数为 1×10^2 CFU 时，闪烁次数为 5 次及 10 次均能达到理论最大杀菌效率，即将芽孢杆菌完全杀灭，闪烁 1 次时则无法完全将其杀灭；当初始菌落数为 1×10^3 CFU，脉冲闪烁 10 次能够将 38 mm 瓶盖上的芽孢杆菌完全杀灭，达到理论最大杀菌效率，其他条件下则无法将其完全杀灭。

在相同脉冲闪烁次数时，38 mm 瓶盖杀菌效率随原始菌落数的变化趋势与 28 mm 瓶盖杀菌效率变化趋势一致，且对 38 mm 瓶盖杀菌效率高于 28 mm 瓶盖，这与不同照射距离时的变化趋势一致。

3 结论

研究表明，脉冲强光对 HDPE 材料的饮料瓶盖上芽孢杆菌杀菌效率受初始菌落数、脉冲照射距离、脉冲闪烁次数等因素的影响，随着初始菌落数越高、照射距离越短、闪烁次数越多，杀菌效率越高。在照射距离 7 cm，闪烁次数 10 次，最高可将 1×10^3 CFU 的芽孢杆菌完全杀灭，较高的初始菌落数条件下，则无法将瓶盖上的芽孢杆菌完全杀灭。考虑饮料瓶盖在生产过程中，微生物数量一般较低，控制在 1×10 CFU，故脉冲强光杀菌技术可以应用于饮料无菌灌装过程中 HDPE 瓶盖的杀菌，但在实际生产过程中的应用效果，以及工艺、装备等相关技术仍需进一步开发及验证。此外，包材杀菌是 PET 无菌灌装过程中的重要步骤，包括 PET 瓶坯/瓶子及瓶盖的杀菌，由于瓶坯/瓶子较深，而脉冲强光的穿透性相对较弱，因此，如何将脉冲强光杀菌技术有效地应用于 PET 无菌灌装技术中包材的杀菌还需进一步探究。

参考文献

[1] 张国宏, 陆健锋, 于坤坤, 等. 高能电子用于 PET 瓶杀菌的研究及其工业化实施[J]. 饮料工业, 2020, 23(5): 52-61.
ZHANG Guo-hong, LU Jian-feng, YU Li-kun, et al. Study on the application of high-energy electron in the sterilization of PET

bottles and its industrial implementation[J]. Beverage Industry, 2020, 23(5): 52-61.

[2] Administration Food and Drug. Grade “A” pasteurized milk ordinance: 2015 Revision[S]. [S.1.]: U.S. Department of Health and Human Services, 2015.

[3] 楚莉沙, 黄莉莉, 汪良峰, 等. 响应面优化汽化过氧化氢杀灭 PET 瓶内表面枯草芽孢杆菌工艺[J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(2): 8-14.

CHU Li-sha, HUANG Li-li, WANG Liang-feng, et al. Optimization of hydrogen peroxide vapour inactivating bacillus subtilis in PET bottles by response surface methodology [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2019, 38(2): 8-14.

[4] KIRCHNER P, LI B, SPELTZAHN H, et al. Thin-film calorimetric H_2O_2 gas sensor for the validation of germicidal effectivity in aseptic filling processes[J]. Sensors & Actuators B: Chemical, 2011, 154(2): 257-263.

[5] 张国宏. 塑料包装容器高能电子干法杀菌技术[J]. 酒饮料技术装备, 2019(5): 50-52.

ZHANG Guo-hong. High electronic dry sterilization technology in plastic packing containers[J]. Brew & Beverage Technology and Equipment, 2019(5): 50-52.

[6] XIANG Li, FARID M. A review on recent development in non-conventional food sterilization technologies[J]. Journal of Food Engineering, 2016, 182(8): 33-45.

[7] 杜艳, 陈复生. 脉冲光在食品工业中的应用[J]. 食品与机械, 2018, 34(8): 177-182.

DU Yan, CHEN Fu-sheng. Advances in pulsed light and its applications in food industry[J]. Food & Machinery, 2018, 34(8): 177-182.

[8] 谢艳英, 安格尔, 包璐莹, 等. 脉冲强光杀菌机制及其在肉类食品中作用效果的研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(9): 405-411.

XIE Yan-ying, AN Ge-er, BAO Lu-ying, et al. Research progress on the sterilization mechanism of pulse light and its efficacy on the meat foods[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(9): 405-411.

[9] 严杰能, 林晓吟, 孙乔润, 等. 包装饮用水瓶盖脉冲光杀菌工艺

- 的条件优化[J]. 饮料工业, 2019, 22(3): 37-40.
- YAN Jie-neng, LIN Xiao-yin, SUN Qiao-run, et al. Optimization of sterilization by pulse light on packing drinking water bottle cap[J]. Beverage Industry, 2019, 22(3): 37-40.
- [10] CHEN B Y, LUNG H M, YANG B B, et al. Pulsed light sterilization of packaging materials[J]. Food Packaging & Shelf Life, 2015, 5: 1-9.
- [11] TAO Ting-ting, DING Chao, HAN Neng-neng, et al. Evaluation of pulsed light for inactivation of foodborne pathogens on fresh-cut lettuce effects on quality attributes during storage[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2019(21): 1-8.
- [12] 刘娜, 梁美莲, 谭媛元, 等. 响应面法优化切片猪肉的脉冲强光-紫外照射杀菌工艺[J]. 肉类研究, 2017, 31(6): 29-34.
- LIU Na, LIANG Mei-lian, TAN Yuan-yuan, et al. Optimization of pulsed ultraviolet light sterilization of sliced Chinese bacon using response surface methodology[J]. Meat Research, 2017, 31(6): 29-34.
- [13] 黄现青, 董飒爽, 李传令, 等. 冷却鸡胸肉脉冲强光杀菌参数试验优化[J]. 农业机械学报, 2019, 50(2): 333-339.
- HUANG Xian-qing, DONG Sa-shuang, LI Chuan-ling, et al. Effects of pulsed light parameters on bacterium sterilization and quality of chilled chicken breast meat[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(2): 333-339.
- [14] 张佰清, 赵越. 脉冲强光对鲜切油菜杀菌工艺的响应面法优化[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(1): 124-127.
- ZHANG Bai-qing, ZHAO Yue. Optimization of germicidal process of fresh-cut oilseed rape by response surface methodology with pulsed bright light[J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(1): 124-127.
- [15] 吴凯为, 蔡文琪, 张成东, 等. 脉冲强光杀菌技术在食品保鲜领域的研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(5): 295-299.
- WU Kai-wei, CAI Wen-qi, ZHANG Cheng-dong, et al. Research progress of pulsed light sterilization technology in preservation of food[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(5): 295-299.
- [16] 陈苗. 脉冲强光对牛奶中阪崎肠杆菌杀菌效果的影响[J]. 现代食品, 2017(22): 83-86.
- CHEN Miao. Optimization of sterilization on enterobacter sakazakii in milk by response surface method with pulsed light[J]. Modern Food, 2017(22): 83-86.
- [17] 丁超, 裴永胜, 陶婷婷, 等. 脉冲强光对高水分稻谷灭霉效果及加工品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(10): 123-129.
- DING Chao, PEI Yong-sheng, TAO Ting-ting, et al. Effect of pulsed light on mildew killing effect and processing quality of high moisture rice[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(10): 123-129.
- [18] 何余堂, 赵玲玲, 高虹妮, 等. 响应面法优化脉冲强光对鲜食玉米保鲜的技术工艺[J]. 食品科技, 2017, 42(3): 38-43.
- HE Yu-tang, ZHAO Ling-ling, GAO Hong-ni, et al. Optimization of pulsed light preservation technology in fresh corn by response surface method[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(3): 38-43.
- [19] GULTEN I, BEINING O, ALI D. Utilization of pulsed UV light for inactivation of Salmonella Enteritidis on shelled walnuts[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 134: 110023-110029.
- [20] ZHU Yu-lin, LI Chang-zhu, CUI Hai-ying, et al. Antimicrobial mechanism of pulsed light for the control of Escherichia coli O157: H7 and its application in carrot juice[J]. Food Control, 2016: 106751.
- [21] ZEHRA K, SEVCAN U, OLGA M, et al. Effectiveness of pulsed light treatments assisted by mild heat on Saccharomyces cerevisiae inactivation in verjuice and evaluation of its quality during storage[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2020, 66: 102 517-102 528.
- [22] XU Fei-fei, WANG Bei, CHEN Hong, et al. Optimization of spiral continuous flow-through pulse light sterilization for Escherichia coli in red grape juice by response surface methodology[J]. Food Control, 2019, 105: 8-12.
- [23] MUKHOPADHYAY S, SOKORAI K, UKUKU D, et al. Effects of direct and in-package pulsed light treatment on inactivation of E. coli O157: H7 and reduction of microbial loads in Romaine lettuce[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 139: 110710-110718.
- [24] HEINRICH V, ZUNABOVIC M, BERGMAR J, et al. Post-packaging application of pulsed light for microbial decontamination of solid foods: A review[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2015, 30: 145-156.
- [25] 江苏新美星包装机械股份有限公司. 一种 PET 空瓶的脉冲强光灭菌装置: CN205740330U[P]. 2016-11-30.
- Jiangsu Newamstar Packaging Machinery Co., Ltd. The utility model relates to a pulse strong light sterilization device for empty PET bottles: CN205740330U[P]. 2016-11-30.
- [26] VICTORIA M, ROSA J, OLGA M. Surface decontamination of spinach by intense pulsed light treatments Impact on quality attributes[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016(121): 118-125.
- [27] MICHAEL D, HELMUT H, SIMON S. Silicon oxide permeation barrier coating and plasma sterilization of PET bottles and foils[J]. Plasma Process Polym, 2009, 6: S695-S699.
- [28] HOSSAIN F, FOLLETT P, VU K. Antifungal activity of combined treatments of active methylcellulose-based films containing encapsulated nanoemulsion of essential oils and irradiation in vitro and in situ evaluations[J]. Cellulose, 2019(26): 1 335-1 354.
- [29] 全国包装机械标准化技术委员会. PET 瓶无菌冷灌装生产线: GB/T 24571—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- National Technical Committee on Packaging Machinery of Standardization Administration. Aseptic PET bottles cold-filling line: GB/T 24571—2009[S]. Beijing: China Standards Press, 2009.

(下转第 212 页)

- tography-triple quadrupole mass spectrometry[J]. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2020, 40(10): 1 882-1 886.
- [31] 张全芳, 刘艳艳, 卞如如, 等. 一种从阿胶及制品中提取的新方法[J]. *食品与药品*, 2015, 17(6): 396-399.
- ZHANG Quan-fang, LIU Yan-yan, BIAN Ru-ru, et al. A new method for extraction of donkey-hide gelatin and its products[J]. *Food and Drug*, 2015, 17(6): 396-399.
- [32] 陈思秀, 张馨方, 刘玫妍, 等. 阿胶中动物源性提取方法的改进及驴源性成分鉴定[J]. *中国药学杂志*, 2019, 54(22): 1 840-1 845.
- CHEN Si-xiu, ZHANG Xin-fang, LIU Wen-yan, et al. Extraction of donkey-derived components from donkey-hide gelatin [J]. *Chinese Journal of Pharmaceutical Science*, 2019, 54(22): 1 840-1 845.
- [33] 湛阳, 王文君, 付明, 等. 基于核质遗传原理建立多重 PCR 检测方法鉴定阿胶中马、驴源性成分及皮种源[J]. *遗传*, 2020, 42(10): 1 028-1 035.
- CHEN Yang, WANG Wen-jun, FU Ming, et al. A multiplex PCR assay based on nucleoplasmic genetic principle for identification of horse and donkey derived components and skin provenance of donkey-hide gelatin[J]. *Genetics*, 2020, 42(10): 1 028-1 035.
- [34] ZHANG Wen-juan, CUI Sheng-hui, CHENG Xian-long, et al. An optimized TaqMan real-time PCR method for authentication of ASINI CORII COLLA (donkey-hide gelatin)[J]. *Journal of Pharmaceutical and biomedical Analysis*, 2019, 170: 196-203.
- [35] LIU Rui, ZHAO Lu-yao, WANG Zhi-ying, et al. Quantitative detection of donkey hide gelatin (Colla Corii Asini) adulteration by Real-Time PCR based on single-copy nuclear genes[J]. *Journal of Food Protection*, 2021, 84(2): 194-199.
- [36] 赵云冬, 王天添, 陈思秀, 等. 阿胶真伪鉴定方法的建立与应用[J]. *食品与发酵工业*. [2021-05-13]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.025027>.
- ZHAO Yun-dong, WANG Tian-tian, CHEN Si-xiu, et al. Establishment and application of gelatin authenticity identification method [J]. *Journal of Food and Fermentation Industry*. [2021-05-13]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.025027>.
- [37] MISHRA P, KUMAR A, NAGIREDDY A, et al. DNA Barcoding: An efficient tool to overcome authentication challenges in the herbal market[J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2016, 14(1): 8-21.
- [38] CHE Jing, CHEN Hong-man, YANG Jun-xiao, et al. Universal COI primers for DNA barcoding amphibians[J]. *Molecular Ecology Resources*, 2012, 12(2): 247-258.
- [39] 严华, 陈俊, 石林春, 等. 基于 COI 序列的阿胶原材料及其混伪品的条形码鉴定研究[J]. *药物分析杂志*, 2018, 38(10): 1 761-1 766.
- YAN Hua, CHEN Jun, SHI Lin-chun, et al. Identification of barcode of donkey-hide gelatin and its counterfeits based on COI sequence[J]. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2018, 38(10): 1 761-1 766.
- [40] 许亚春, 熊超, 姜春丽, 等. DNA 条形码技术在动物类药材熊胆粉及其混伪品鉴定中的应用[J]. *中国中药杂志*, 2018, 43(4): 645-650.
- XU Ya-chun, XIONG Chao, JIANG Chun-li, et al. Application of DNA barcoding technology in the identification of xiong bile powder and its counterfeits[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2018, 43(4): 645-650.
- [41] BOHMANN K, MIRARAB S, BAFNA V, et al. Beyond DNA barcoding: The unrealized potential of genome skim data in sample identification[J]. *Molecular Ecology*, 2020, 29(14): 2 521-2 534.
- [42] 姜姣姣. 基于低场核磁共振技术的阿胶质量评价研究[D]. 济南: 山东中医药大学, 2018: 17-49.
- ZHANG Jiao-jiao. Study on quality evaluation of donkey-hide gelatin based on low-field NMR technology[D]. Jinan: Shandong University of Traditional Chinese Medicine, 2018: 17-49.

(上接第 187 页)

- [30] 赵天惠, 张佰清, 谢旭. 脉冲强光对枯草芽孢杆菌的致死工艺优化[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(11): 214-218.
- ZHAO Tian-hui, ZHANG Bai-qing, XIE Xu. Optimization of pulsed light parameters for lethal effect of bacillus subtilis[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(11): 214-218.
- [31] VICTORIA M, JAGUS R, BELLOSO M, et al. Surface decontamination of spinach by intense pulsed light treatments: Impact on quality attributes[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2016, 121: 118-125.
- [32] 马海乐, 高梦祥. 介质特性参数对脉冲磁场杀菌效果的影响[J]. *食品科学*, 2004, 25(8): 42-46.
- MA Hai-le, GAO Meng-xiang. Study on medium characteristics parameters of microorganisms on bactericidal effects of pulsed magnetic fields[J]. *Food Science*, 2004, 25(8): 42-46.
- [33] 王蓓. 脉冲强光、紫外和红外辐射对稻谷黄曲霉及其毒素的杀灭降解研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2014: 50-55.
- WANG Bei. Effective inactivation and degradation of aspergillus flavus and aflatoxins in rough rice using pulsed light, ultraviolet and infrared radiation [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2015: 50-55.
- [34] 谢妹鸽, 韩秋漪, 李福生, 等. 脉冲强光杀菌技术综述[J]. *光源与照明*, 2020(11): 31-34.
- XIE Shu-ge, HAN Qiu-yi, LI Fu-sheng, et al. Review on intensive pulsed light sterilization[J]. *Lamps & Lighting*, 2020(11): 31-34.
- [35] CHEIGH C I, HWANG H J, CHUNG M S. Intense pulsed light (IPL) and UV-C treatments for inactivating *Listeria monocytogenes* on solid medium and seafoods[J]. *Food Research International*, 2013, 54(1): 745-752.