

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240617003

引用格式: 李成林, 甘俊兰, 陈宇, 等. 紫外预杀菌处理对生鲜猪肉贮藏品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(1): 266–274.

LI CL, GAN JL, CHEN Y, *et al.* Effects of ultraviolet pre-sterilization on storage quality of fresh pork [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(1): 266–274. (in Chinese with English abstract).

紫外预杀菌处理对生鲜猪肉贮藏品质的影响

李成林¹, 甘俊兰², 陈宇², 杨礼源², 郭依萍², 叶可萍^{2*}

(1. 青岛海尔电冰箱有限公司, 青岛 266100; 2. 南京农业大学食品科技学院,
国家肉品质量安全控制工程技术研究中心, 江苏省肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心, 南京 210095)

摘 要: **目的** 探究紫外预杀菌处理对生鲜猪肉品质的影响。**方法** 设置不同包装条件(裸露包装和保鲜袋包装)、照射距离(6、9 和 12 cm)和照射时间[裸露包装(3、5、10 s), 保鲜袋包装(6、10、14 s)], 通过测定菌落总数、感官评定、色差、挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)、硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)值等指标, 探究紫外处理在保持生鲜肉品质的同时降低猪肉初始微生物数量的可行性。**结果** 裸露包装生鲜猪肉最佳紫外照射条件为照射距离 9 cm 处理 10 s, 保鲜袋包装猪肉的最佳紫外照射条件为照射距离 6 cm 处理 14 s, 可使生鲜猪肉初始微生物数量分别降低 0.44 logCFU/g 和 0.61 logCFU/g, 但对脂肪氧化、感官及色泽没有显著影响。**结论** 紫外预杀菌处理在降低猪肉初始微生物数量的同时, 能够减缓 TVB-N 值的增加及脂质氧化, 并对生鲜肉感官品质、色泽没有显著影响, 使猪肉的货架期延长 3~4 d, 在猪肉保鲜领域具有潜在应用价值。

关键词: 生鲜猪肉; 紫外; 贮藏保鲜; 预杀菌

Effects of ultraviolet pre-sterilization on storage quality of fresh pork

LI Cheng-Lin¹, GAN Jun-Lan², CHEN Yu², YANG Li-Yuan², GUO Yi-Ping², YE Ke-Ping^{2*}

(1. Qingdao Haier Refrigerator Co., Ltd., Qingdao 266100, China; 2. College of Food Science and Technology, National Center of Meat Quality and Safety Control, Jiangsu Collaborative Innovation Center of Meat Production and Processing, Quality and Safety Control, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

ABSTRACT: Objective To study the effects of ultraviolet pre-sterilization on the quality of fresh pork. **Methods** Different packaging conditions (bare packaging and fresh-keeping bag packaging), irradiation distance (6, 9 and 12 cm) and irradiation time [bare packaging (3, 5, 10 s), fresh-keeping bag packaging (6, 10, 14 s)] were set in this study. The feasibility of ultraviolet treatment to reduce the number of pork microorganisms and prolong the shelf life of pork was explored by measuring the total number of colonies, sensory evaluation, color difference, total volatile basic nitrogen (TVB-N) and thiobarbituric acid reactive substances (TBARS). **Results** The results showed that the best ultraviolet irradiation conditions for naked packaged fresh pork were 9 cm-10 s, and the best ultraviolet

收稿日期: 2024-06-17

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD2100800)

第一作者: 李成林(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品保鲜及在冰箱应用研究。E-mail: lichl@haier.com

通信作者: 叶可萍(1986—), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为肉品质量安全控制。E-mail: yekeping.arc@163.com

irradiation conditions for fresh-keeping bag packaged pork were 6 cm-14 s, which could reduce the initial microbial number of fresh pork by 0.44 logCFU/g and 0.61 logCFU/g, respectively, but had no significant effect on fat oxidation, sensory evaluation and color. **Conclusion** The ultraviolet pre-sterilization treatment can reduce the initial number of microorganisms in pork, slow down the increase of TVB-N value and lipid oxidation, and has no significant effect on the sensory quality and color of fresh meat. The shelf life of pork is prolonged by 3–4 d, which has potential application value in the field of pork preservation.

KEY WORDS: fresh pork; ultraviolet; storage and preservation; pre-sterilization

0 引言

生鲜肉富含蛋白质、矿物质、不饱和脂肪酸和维生素,广受消费者的喜爱。但丰富的营养物质、适宜的水分活度及 pH,使其也成为微生物生长的理想介质^[1-3]。一般来说健康动物屠宰后肉的深层组织通常是无菌的,但在屠宰和加工过程中会受到微生物的污染^[4-5]。这些微生物会分解肉中的蛋白质、脂肪和碳水化合物为自身代谢提供营养,产生硫化物、有机酸等代谢产物,导致生鲜肉腐败变质。影响生鲜肉货架期的因素很多,主要包括初始污染微生物的种类和数量、贮藏温度、包装方式等,其中降低初始污染微生物的数量对保持生鲜肉的新鲜度、延长产品货架期起重要作用^[6]。

非热杀菌技术不仅能够杀灭肉中的微生物,还能避免传统热杀菌对其口感和风味的破坏,最大程度保证生鲜肉的自然品质^[7-8]。近年来常用于生鲜肉的非热杀菌技术主要有辐照杀菌、低温等离子体杀菌、紫外杀菌、脉冲电场杀菌技术等^[9-16]。其中紫外杀菌具有设备简单、操作简便、安全可靠、成本低等特点^[17-23],其使用的紫外线波长范围在 136~390 nm,按波长可划分为真空紫外线(vacuum ultraviolet, UV-A, 100~200 nm)、长波黑斑效应紫外线(long-wave black spot effect ultraviolet, UV-B, 275~320 nm)、短波灭菌紫外线(shortwave sterilization ultraviolet, UV-C, 200~275 nm),其中 UV-C 杀菌作用最强。MCLEOD 等^[24]发现 3.0 J/cm² 的 UV-C,使鸡肉片表面大肠杆菌数量平均减少 2.8 logCFU/cm²。杨新磊等^[25]研究发现,0.45 J/cm² 的紫外处理生鲜猪肉能降低冷却肉表面的初始菌数,减缓贮藏过程挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)、硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)值的增大速度,对冷却肉具有一定的保鲜效果。

UV-C 杀菌效果与紫外剂量、紫外透光率、杀菌停留时间等因素有关^[26-27]。曹勤等^[28]研究了紫外辐射强度与紫外灯高度之间的关系,紫外灯高度越大,紫外辐射强度越小;沈阿倩等^[29]研究紫外杀菌距离对油塔子菌落总数的影响,发现紫外杀菌距离越近,杀菌效果越好。但是

过量的紫外处理可能会加速脂质氧化,对生鲜肉品质造成不良影响。因此,紫外预杀菌技术在生鲜肉中的应用过程中,在考虑对初始污染微生物杀菌效果的同时还要兼顾对脂肪氧化的影响。小空间贮藏生鲜肉能更好地实现紫外杀菌技术的应用^[30],也更需考虑其对生鲜肉品质的影响^[31]。

本研究设置裸露生鲜猪肉和保鲜袋包装生鲜猪肉不同照射距离和照射时间组合,通过微生物杀菌效果与生鲜肉感官品质综合评价紫外预杀菌效果,探究准确参数的紫外预杀菌处理对裸露包装和保鲜袋包装冷鲜猪肉贮藏品质的影响,以期紫外预杀菌技术应用于生鲜肉保鲜领域提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

选取市售冷鲜猪肉背最长肌,去皮、剔除脂肪,选取瘦肉部分,每块肉样 250 g,尺寸为 8 cm×3 cm×3 cm,每个处理组作 3 个重复;聚乙烯材质保鲜袋(30 cm×40 cm,厚度 0.025 mm,苏州市苏容塑料制品有限公司)。

硼酸、氧化镁、无水乙醇、甲基红、溴甲酚绿、硫代巴比妥酸、氯化钠、平板计数琼脂(南京迈博生物科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

S2-Food Kit 便携式 pH 计(上海梅特勒-托利多仪器有限公司); CR400 色差仪(日本 Konica-Minolta 公司); Kjelttec8200 FOSS 全自动凯氏定氮仪(上海瑞盼有限公司); Spectral Max M2e 多功能酶标仪(美国 MD 公司); AUY120 电子天平(精度 0.0001 g,日本 SHIMADZU 公司); Baker SG403A 生物安全柜(美国 Baker 公司); Scan1200 自动影像分析菌落计数器(法国 Interscience 公司); TG16-WS 台式高速离心机(长沙湘仪离心机仪器有限公司); T25 匀浆机(德国 IKA 公司)。

1.3 实验设计

选取紫外预杀菌方式处理冷鲜猪肉背部最长肌,具

体条件设置如下：紫外设备参数为冷阴极紫外线消毒灯管 (cold cathode ultraviolet disinfection lamp tube, UV-CCL), 波长 254 nm, 长度 150 mm, 总功率在 5 W。冷鲜肉紫外杀菌设置裸露和保鲜袋包装两种条件, 裸露样品选取不同照射距离(6、9 和 12 cm)和照射时间(3、5 和 10 s)组合, 保鲜袋包装选取不同照射距离(6、9 和 12 cm)和照射时间(6、10 和 14 s)组合, 将不同处理组的猪肉同时贮藏 15 d。通过预杀菌实验进行条件优化, 利用菌落总数、脂质氧化和感官评分评价杀菌效果, 得出最佳处理条件。在此基础上, 利用优化后的参数对保鲜袋包装猪肉进行紫外预杀菌处理, 处理组和对照组在 0 ℃下冷藏 15 d, 每 3 d 采集一次样品, 当发生明显腐败现象后改为每 2 d 采集一次样品, 测定菌落总数、感官评分、色泽、TBARS 值和 TVB-N 值。

表 1 冷鲜猪肉感官评分标准
Table 1 Sensory evaluation criteria of chilled pork

评分	色泽	气味	质地	浸出液状态
9~10	肌肉色泽鲜红, 有光泽	具有鲜猪肉特有气味, 无任何异味	弹性好, 指压后凹陷立即恢复	透明澄清, 脂肪团聚表面, 有猪肉香味
7~8	色泽较鲜红, 有光泽	具有猪肉气味, 无异味	弹性较好, 指压后凹陷可恢复	较透明澄清, 具有猪肉香气
5~6	色泽暗红, 无光泽	猪肉气味较淡或无味	弹性一般, 指压后凹陷缓慢恢复	肉汤浑浊, 猪肉香气不浓
3~4	灰暗苍白, 无光泽	稍有异味	无弹性, 指压后凹陷不能恢复	肉汤很浑浊, 无味
0~2	暗褐色, 不能接受	有异味	指压后凹陷明显存在	肉汤很浑浊, 有异味

1.4.4 硫代巴比妥酸反应物值

称取搅碎的肉样(5±0.01) g, 加入 25 mL 三氯乙酸混合液, 高速匀浆 30 s (8000 r/min)后, 冷冻离心机离心 10 min (10000 r/min, 4 ℃), 取滤液 2 mL 与 2 mL 硫代巴比妥酸水溶液混合, 95 ℃水浴 30 min 后冷却至室温, 于 532 nm 处测定光吸收值, 单位为 mg/kg。计算如公式(1):

$$X=\frac{c\times V\times 1000}{m\times 1000}$$
(1)

式中: X 为试样中丙二醛含量, mg/kg; c 为从标准系列曲线中得到的试样溶液中丙二醛的质量浓度, μg/mL; V 为试样溶液定容体积, mL; m 为最终试样溶液所代表的试样质量, g; 1000 为换算系数。

1.4.5 挥发性盐基氮值

参照 GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》中的第二法, 用全自动凯氏定氮仪测定。

1.5 数据处理

利用 SAS 8.0 软件进行单因素方差分析, 采用 Duncan’s Multiple Range Test 进行多重比较, P<0.05 表示差异显著, P>0.05 表示差异不显著, 实验数据以平均值±标准偏差形式表示。利用 GraphPad Prism 8 软件作图。

1.4 实验方法

1.4.1 菌落总数

参考 GB 4789.2—2022《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》方法测定冷鲜肉中的菌落总数, 结果用 logCFU/g 表示。

1.4.2 感官评定

将肉样放于托盘中, 由经过培训的 8 名实验室研究生组成评定小组, 对样品的色泽、气味、质地、浸出液状态进行评分。猪肉的感官评分标准如表 1 所示。

1.4.3 色泽

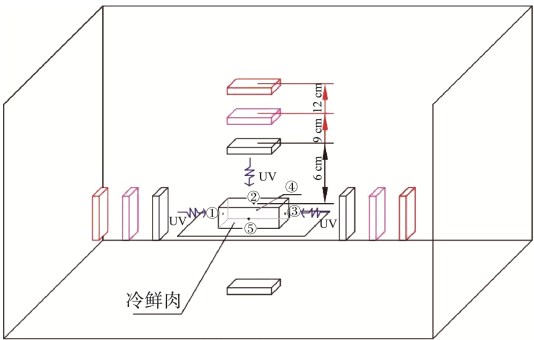
将校准后的色差计镜头垂直置于肉面上, 镜口紧扣肉面(不能漏光), 尽可能避开肌内脂肪和肌内结缔组织。选用 D65 光源测定并分别记录肉样的亮度值(L*)、红度值(a*)、黄度值(b*)。

2 结果与分析

2.1 预杀菌效果评估

2.1.1 紫外预杀菌强度评估

紫外预杀菌强度评估各测试点的位置如图 1 所示, 肉样的暴露面积为 52 cm³, 肉样厚度为 2 cm。各测试点紫外强度监测结果如表 2 所示。由表 2 可看出, 当紫外灯与样



注: ①~⑤分别表示: 肉块左边端点、肉块中心点、肉块右边端点、肉块靠近箱体内部端点、肉块靠近箱门外部端点。

图 1 紫外强度位置模式图

Fig.1 Ultraviolet intensity position pattern diagram

表 2 紫外杀菌强度监测
Table 2 Monitoring of ultraviolet sterilization intensity

组别	紫外灯与样品的距离/cm	测试点 1/(W/m ²)	测试点 2/(W/m ²)	测试点 3/(W/m ²)	测试点 4/(W/m ²)	测试点 5/(W/m ²)
裸露包装	6	9.53±0.13	12.69±0.04	12.45±1.17	2.61±0.01	5.37±0.06
	9	5.04±0.01	6.34±0.01	6.17±0.01	2.71±0.03	5.42±0.01
	12	3.91±0.01	4.46±0.01	4.03±0.01	3.17±0.01	3.84±0.02
保鲜袋包装	6	4.40±0.02	5.14±0.02	5.32±0.04	3.50±0.14	3.00±0.01
	9	3.74±0.01	3.97±0.01	3.92±0.01	2.88±0.02	3.01±0.04
	12	2.65±0.01	3.30±0.01	2.67±0.01	1.99±0.00	2.71±0.00

注: 测试点 1 为肉块左端点, 测试点 2 为肉块中心点, 测试点 3 为肉块的右边端点, 测试点 4 为肉块靠箱体内部端点, 测试点 5 为肉块靠近箱门外部端点。

品的距离比较近(6 cm)的时候, 中心点的紫外强度较大, 但是紫外强度的分布不均匀。当紫外灯与样品的距离较远(12 cm)的时候, 紫外强度会降低, 但分布较为均匀。

2.1.2 紫外预杀菌对猪肉菌落总数的影响

紫外照射杀菌的设备简单, 操作简便, 杀菌彻底且无化学残留, 已被应用于包装材料、空气及用水的杀菌。裸露包装和保鲜袋包装猪肉紫外杀菌对菌落总数的影响结果如表 3 所示, 裸露包装紫外照射距离 6 cm 3 个处理组、9 cm 照射 10 s 的预杀菌效果较其他处理组好, 保鲜袋包装紫外照射距离 6 cm- 3 个处理组和 12 cm 照射 14 s 的菌落总数显著低于对照组, 预杀菌效果较其他处理组好, 猪肉初始菌落总数降低约 0.5 logCFU/g, 但不同照射时间对猪肉菌落总数无显著影响。

相同的紫外照射距离下, 生鲜肉的菌落总数随着照射时间的增加而降低, 相同的照射时间下, 生鲜肉的菌落总数随着照射距离的缩短而降低。预杀菌结果显示, 紫外-9 cm-10 s 处理能使裸露包装冷鲜猪肉菌落总数降低约 0.44 logCFU/g, 杨明扬等^[32]研究发现紫外处理片猪肉 7 s 能使菌落总数降低约 0.7 log CFU/g, 说明紫外预杀菌可以降低生鲜肉中的初始菌落数量。

2.1.3 紫外预杀菌对猪肉脂质氧化的影响

选取有杀菌效果的处理组测定生鲜肉的 TBARS 值,

结果如表 4 所示, 裸露包装组猪肉紫外照射距离 6 cm 3 组处理组 TBARS 值显著高于对照组($P<0.05$), 而保鲜袋包装组猪肉紫外照射对 TBARS 值没有显著影响, 表明包装袋包装可有效防止紫外照射引起的猪肉 TBARS 值升高的影响。结合微生物杀菌效果得出, 紫外照射 9 cm-10 s 作为裸露包装生鲜猪肉最佳紫外预杀菌条件, 紫外照射 6 cm-14 s 为保鲜袋包装猪肉的最佳紫外预杀菌条件。

紫外处理会促进冷鲜猪肉的脂质氧化, 从不同处理组裸露包装生鲜肉的 TBARS 值可以看出, 与照射时间相比照射距离对生鲜肉的脂质氧化影响更大。紫外对保鲜袋包装生鲜肉脂质氧化无显著影响($P>0.05$), 在相同的距离下, 保鲜袋包装生鲜肉的 TBARS 值也低于裸露包装组。在本研究中, 最优参数 9 cm-10 s 下处理裸露包装冷鲜肉, TBARS 值增加至约 1.33 倍。预杀菌实验的条件优化, 能够保证一定的杀菌效果同时避免引起较大程度的脂质氧化。

2.1.4 紫外预杀菌对猪肉感官评分的影响

裸露包装和保鲜袋包装猪肉的感官评分如图 2 所示, 裸露包装组和保鲜袋包装组冷鲜肉经紫外处理后, 其色泽、质地与对照组没有显著差异, 色泽鲜红有光泽, 无不良气味, 说明紫外处理不会对猪肉的感官品质造成不利影响。

表 3 紫外杀菌对冷鲜猪肉菌落总数的影响
Table 3 Effects of ultraviolet sterilization on the total number of colonies in chilled pork

裸露包装紫外杀菌组别	菌落总数/(logCFU/g)	保鲜袋包装紫外杀菌组别	菌落总数/(logCFU/g)
对照	4.37±0.64 ^a	对照	4.55±0.53 ^a
紫外-6 cm-10 s	3.83±0.10 ^a	紫外(袋)-6 cm-14 s	3.94±0.11 ^b
紫外-6 cm-5 s	3.93±0.02 ^a	紫外(袋)-6 cm-10 s	4.08±0.22 ^b
紫外-6 cm-3 s	3.94±0.17 ^a	紫外(袋)-6 cm-6 s	4.07±0.32 ^b
紫外-9 cm-10 s	3.93±0.11 ^a	紫外(袋)-9 cm-14 s	4.23±0.31 ^{ab}
紫外-9 cm-5 s	4.03±0.15 ^a	紫外(袋)-9 cm-10 s	4.25±0.28 ^{ab}
紫外-9 cm-3 s	4.11±0.13 ^a	紫外(袋)-9 cm-6 s	4.31±0.14 ^{ab}
紫外-12 cm-10 s	4.13±0.18 ^a	紫外(袋)-12 cm-14 s	4.15±0.38 ^b
紫外-12 cm-5 s	4.27±0.59 ^a	紫外(袋)-12 cm-10 s	4.30±0.09 ^{ab}
紫外-12 cm-3 s	4.32±0.41 ^a	紫外(袋)-12 cm-6 s	4.45±0.22 ^a

注: 数据用平均值±标准偏差表示, 每行中不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$), 表 4 同。

表 4 紫外杀菌对生鲜猪肉脂质氧化的影响
Table 4 Effects of ultraviolet sterilization on lipid oxidation of fresh pork

裸露包装紫外杀菌组别	TBARS 值/(mg/kg)	保鲜袋包装猪肉紫外杀菌组别	TBARS 值/(mg/kg)
对照	0.15±0.01 ^b	对照	0.14±0.05 ^a
紫外-6 cm-10 s	0.28±0.02 ^a	紫外(袋)-6 cm-14 s	0.14±0.02 ^a
紫外-6 cm-5 s	0.22±0.04 ^a	紫外(袋)-6 cm-10 s	0.10±0.01 ^a
紫外-6 cm-3 s	0.27±0.12 ^a	紫外(袋)-6 cm-6 s	0.14±0.04 ^a
紫外-9 cm-10 s	0.20±0.01 ^{ab}	紫外(袋)-9 cm-14 s	0.12±0.01 ^a
紫外-9 cm-5 s	-	紫外(袋)-9 cm-10 s	-
紫外-9 cm-3 s	-	紫外(袋)-9 cm-6 s	-
紫外-12 cm-10 s	0.13±0.02 ^b	紫外(袋)-12 cm-14 s	0.11±0.01 ^a
紫外-12 cm-5 s	-	紫外(袋)-12 cm-10 s	-
紫外-12 cm-3 s	-	紫外(袋)-12 cm-6 s	-

注: -表示未测定。

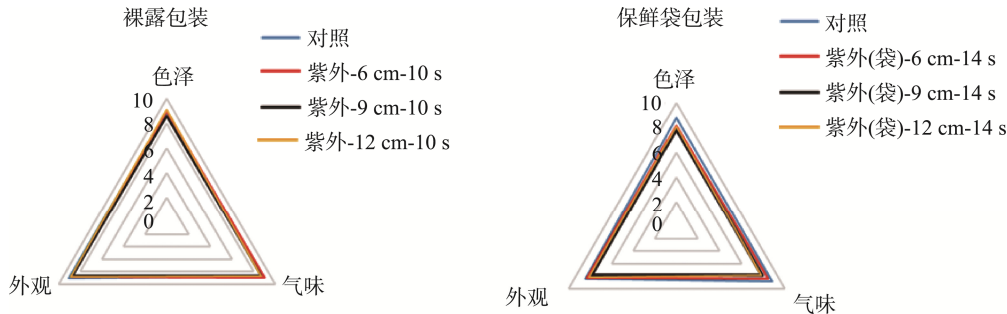


图2 紫外杀菌对冷鲜猪肉感官评分的影响
Fig.2 Effects of ultraviolet sterilization on sensory score of chilled pork

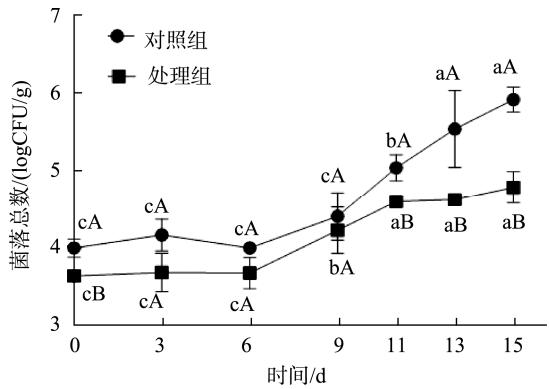
2.2 贮藏验证实验

2.2.1 紫外预杀菌对猪肉贮藏期间菌落总数的影响

不同组别贮藏过程中猪肉的菌落总数变化如图 3 所示,紫外组生鲜猪肉的初始菌数降低约 0.5 logCFU/g,显著低于对照组($P<0.05$)。在贮藏期间两组冷鲜肉菌落总数上升,紫外组的菌落总数始终低于对照组,说明紫外处理降低冷鲜猪肉的初始微生物数量能有效控制贮藏期间猪肉微生物数量的增长速率。在贮藏 9~15 d,对照组微生物数量急剧上升,而紫外组微生物生长缓慢,从贮藏 11 d 开始,紫外组猪肉菌落总数显著低于对照组($P<0.05$)。

2.2.2 紫外预杀菌对猪肉贮藏期间感官评分的影响

感官评价是反映生鲜肉新鲜程度的重要指标,尤其是色泽和气味^[33]。贮藏期间猪肉感官评分的变化如图 4 所示,各组的感官评分在贮藏期间逐渐降低,贮藏前(0~6 d)对照组和紫外组感官评分无显著差异,贮藏 9 d 时,两处理组猪肉色泽暗红无光泽,稍有异味,弹性变差,开始出现腐败迹象。紫外处理组在贮藏的 11~15 d 色泽、外观、气味评分均优于对照组,说明紫外处理一定程度上减缓了贮藏期间冷鲜猪肉感官品质的劣变,有利于冷鲜猪肉的品质保持,使其货架期延长 3~4 d。



注: 不同小写字母表示相同处理下不同时间之间差异显著($P<0.05$); 不同大写字母表示相同时间下不同处理之间的差异显著($P<0.05$), 图5、6、7同。

图3 冷鲜猪肉贮藏期间菌落总数的变化
Fig.3 Changes of total bacterial count of chilled pork during storage

2.2.3 紫外预杀菌对猪肉贮藏期间色泽的影响

肉色是判断生鲜肉新鲜程度的指标,肉色与肌红蛋白的氧化还原状态有关^[34]。贮藏期间猪肉色泽的变化如图 5 所示,紫外处理使猪肉的初始 L^* (图 5a)显著降低, a^* (图 5b)显著升高($P<0.05$),对 b^* (图 5c)无显著影响。紫外组和对照组冷鲜猪肉的 L^* 、 a^* 和 b^* 在贮藏期间呈波动状态。

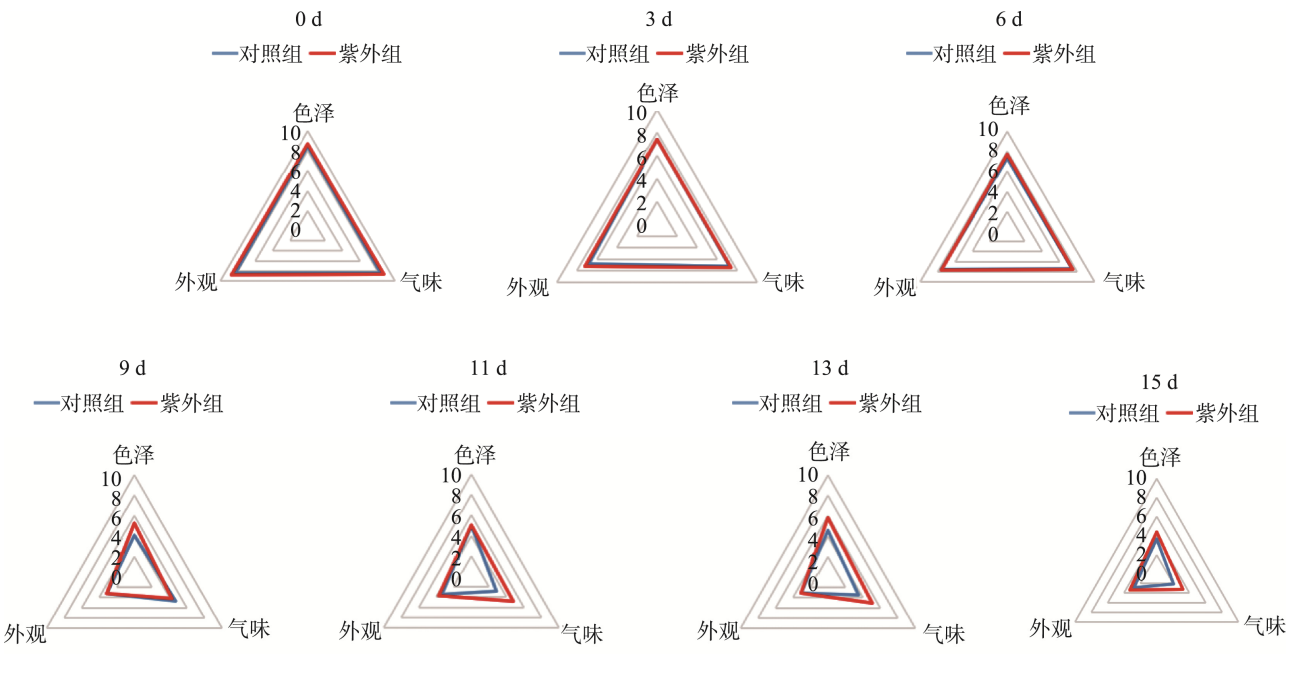


图4 冷鲜猪肉贮藏期间感官评分的变化
Fig.4 Changes of sensory scores of chilled pork during storage

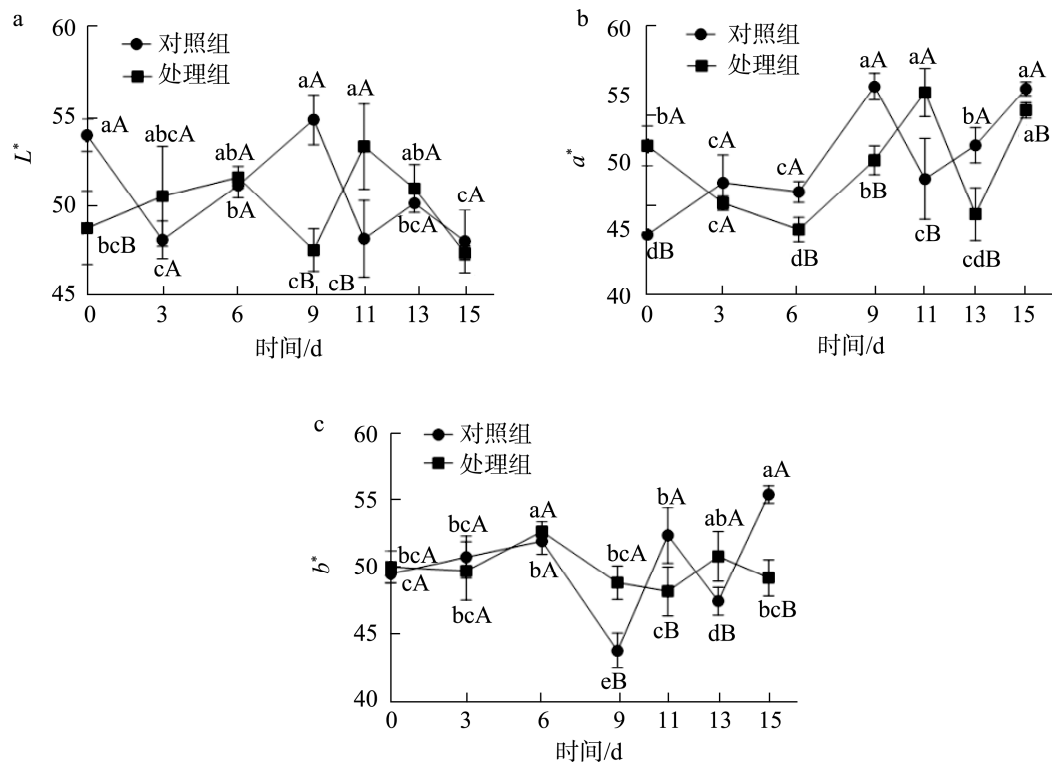


图5 冷鲜猪肉贮藏过程中色泽的变化
Fig.5 Changes of color of chilled pork during storage

在本研究中, 经紫外照射的生鲜肉初始 a^* 显著高于对照组, 与赵莉君等^[35]的研究一致, 可能与氧合肌红蛋白含量和高铁肌红蛋白还原酶活性有关。LYON 等^[36]发现以 $1000\text{ }\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ($300\text{ mJ}/\text{cm}^2$) 紫外照射 5 min 后, 在贮藏第 7 d

处理组鸡胸片的 a^* 较低, b^* 较高。相反, STERMER 等^[37] 研究发现 75~575 mJ/cm² 紫外照射的牛肉 a^* 更高。不同的研究表明紫外处理使得肉色数值发生了变化, 但并没有降低肉的品质, 说明紫外处理对肉色的影响一般是难以确定的。

2.2.4 紫外预杀菌对猪肉贮藏期间 TBARS 的影响

TBARS 值变化反映了猪肉在贮藏期间脂肪氧化的情况, 由图 6 可知, 在贮藏期间对照组猪肉 TBARS 值呈上升趋势。贮藏 0 d 时, 紫外处理组 TBARS 值显著高于对照组 ($P<0.05$), 说明紫外处理会提升猪肉初始脂肪氧化的程度。处理组在贮藏过程中 TBARS 值变化不大, 贮藏的 3~15 d 处理组 TBARS 值始终低于对照组。对照组 TBARS 值在贮藏 13~15 d 大幅度上升, 15 d 时对照组冷鲜猪肉 TBARS 值显著高于处理组 ($P<0.05$)。不同处理组的 TBARS 值始终维持在 0.06~0.53 mg/kg 之间, 处于较低水平, 可能是由于低温 (0 °C) 抑制了脂肪酶的活性^[36]。经紫外处理的猪肉 TBARS 初始值显著高于对照组, 可能是由于紫外处理提高了脂肪氧化过程中自由基产生速度^[37]。

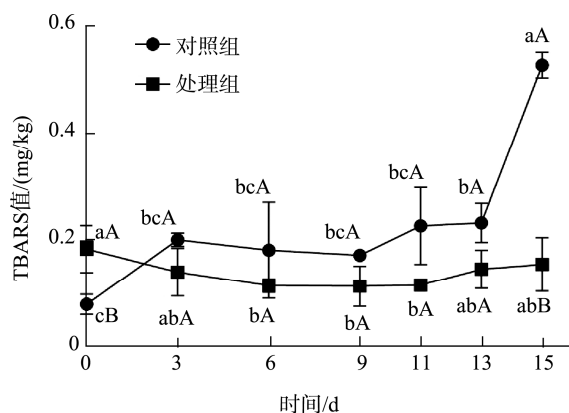


图6 冷鲜猪肉贮藏期间TBARS值的变化

Fig.6 Changes of TBARS values of chilled pork during storage

2.2.5 紫外预杀菌对猪肉贮藏期间 TVB-N 的影响

TVB-N 是冷却肉在贮藏过程中, 由于酶和细菌使蛋白质分解而产生氨以及胺类等碱性含氮化合物的总称。贮藏期间猪肉的 TVB-N 变化情况如图 7 所示, 对照组猪肉的 TVB-N 值在贮藏期间呈上升趋势, 贮藏前 3 d 紫外处理组猪肉 TVB-N 高于对照组, 6~13 d 紫外处理组猪肉 TVB-N 显著低于对照组, 13 d 后处理组的 TVB-N 值迅速提高, 在 15 d 时与处理组无显著差异 ($P>0.05$)。

在贮藏期间, 处理组和对照组 TVB-N 值随着贮藏时间的延长而升高。本研究中, 贮藏第 6 d 至贮藏期结束, 处理组 TVB-N 值始终低于对照组, 可能是由于紫外预杀菌处理降低了冷鲜肉初始微生物数量, 使得处理组猪肉中微生物对蛋白质的分解量减少。说明紫外预杀菌处理降低初始菌数能够有效减少贮藏期间 TVB-N 的产生, 抑制冷鲜

肉的腐败进程。

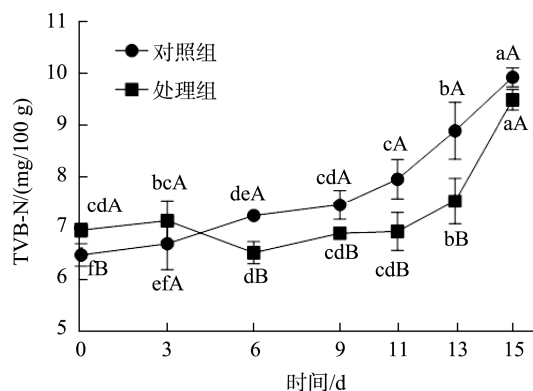


图7 冷鲜猪肉贮藏期间TVB-N值的变化

Fig.7 Changes of TVB-N values of chilled pork during storage

3 讨论与结论

紫外照射杀菌的设备简单, 操作简便, 杀菌彻底且无化学残留, 已被应用于包装材料、空气及生活用水的杀菌。紫外杀菌作为一种非热杀菌技术, 在杀菌的过程中不会引起冷鲜肉的温度波动, 能最大程度保持肉的色、香、味及营养成分, 在冷鲜肉杀菌消毒领域存在应用价值。研究显示, 紫外预杀菌可以降低生鲜猪肉的初始菌落总数, 减缓贮藏过程中微生物的生长速率, 照射距离越近、照射时间越长杀菌效果越好, 这与胡顺爽等^[38]的研究结果一致。紫外处理显著提高裸露包装猪肉脂质氧化程度, 但对保鲜袋包装猪肉的脂质氧化无显著影响, 说明紫外处理会促进冷鲜猪肉脂质氧化, 使用包装袋包装可有效减少紫外照射引起的猪肉脂质氧化的影响。PARK 等^[39]发现 3600 mJ/cm² 和 2400 mJ/cm² 照射鸡胸后, TBARS 分别增加了 2.44 倍和 1.63 倍, 并表明随着 UV-C 剂量的增加, 脂质氧化逐渐增加, 与本研究的结果一致。本研究的贮藏实验中, 紫外处理组的菌落总数始终低于对照组。经过紫外处理后的生鲜猪肉在贮藏后期时的色泽、外观、气味评分均优于对照组, 说明紫外处理在一定程度上减缓了贮藏期间冷鲜肉感官品质的劣变, 有利于冷鲜猪肉的品质保持, 延长其货架期。研究优化确定裸露包装生鲜猪肉最佳紫外照射条件为 9 cm-10 s, 保鲜袋包装猪肉的最佳紫外照射条件为 6 cm-14 s。优化的紫外预杀菌条件可减缓保鲜袋包装猪肉贮藏过程中 TVB-N 值和 TBARS 值的增加及感官品质的劣变, 使其货架期延长 3~4 d。此优化条件对市售生鲜猪肉保鲜具有较高的应用价值, 可以有效减少生鲜猪肉的表面污染, 提高其安全性, 延长其保质期, 减少因微生物污染和肉类腐败而造成的经济损失。该研究可为生鲜猪肉的保鲜技术提供理论依据, 特别是在冰箱或其他小空间存储生鲜猪肉的情况下。

参考文献

- [1] 周光宏. 肉品加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
ZHOU GH. Meat processing [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2008.
- [2] 杜忍让, 马健, 王刚弟. 猪肉的营养作用及科学食用[J]. 农业与技术, 2021, 41(18): 116–119.
DU RR, MA J, WANG GD, *et al.* The nutritional effect of pork and scientific consumption [J]. Agriculture and Technology, 2021, 41(18): 116–119.
- [3] 杨啸吟, 张一敏, 梁荣蓉, 等. 包装冷却肉中微生物腐败及其挥发性气味的研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(1): 285–293.
YANG XY, ZHANG YM, LIANG RR, *et al.* Research progress on microbial spoilage and volatile odor in packaged chilled meat [J]. Food Science, 2021, 42(1): 285–293.
- [4] 贺秀琴, 冯淑梅, 侯琴, 等. 屠宰场的猪肉污染[J]. 畜牧与饲料科学, 2005(2): 44.
HE XQ, FENG SM, HOU Q, *et al.* Pork contamination in slaughterhouses [J]. Animal Husbandry and Feed Science, 2005(2): 44.
- [5] 赵光辉, 黄现青, 李苗云, 等. 冷却猪肉中腐败微生物鉴定及其消长规律的研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2011, 23(4): 5.
ZHAO GH, HUANG XQ, LI MY, *et al.* Identification of spoilage microorganisms in cooled pork and their growth and decline rules [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2011, 23(4): 5.
- [6] ZHAO F, ZHOU G, YE K, *et al.* Microbial changes in vacuum-packed chilled pork during storage [J]. Meat Science, 2015, 100: 145–149.
- [7] 史振伟, 林长青. 非热杀菌技术应用于航空食品前景[J]. 食品安全导刊, 2021(6): 171–172.
SHI ZW, LIN CQ. The application of non-thermal sterilization technology to aviation food prospects [J]. China Food Safety Magazine, 2021(6): 171–172.
- [8] CAO Y, WARNER RD, FANG ZX. Effect of chitosan/nisin/gallic acid coating on preservation of pork loin in high oxygen modified atmosphere packaging [J]. Food Control, 2019, 101: 9–16.
- [9] 李影球, 周光宏, 徐幸莲. 四种非热杀菌技术在肉类中的应用[J]. 食品工业科技, 2013, 34(17): 354–359.
LI YQ, ZHOU GH, XU XL. Application of four non-thermal sterilization technologies in meat [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(17): 354–359.
- [10] 顾海宁, 李强, 李文钊, 等. 冷却猪肉贮存中的品质变化及货架期预测[J]. 现代食品科技, 2013, 29(11): 2621–2626.
GU HN, LI Q, LI WZ, *et al.* Quality change and shelf life prediction of chilled pork in storage [J]. Modern Food Science & Technology, 2013, 29(11): 2621–2626.
- [11] 侯召华, 曾庆升, 宁浩然, 等. 冷却肉储藏保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(1): 64–68.
HOU ZH, ZENG QS, NING HR, *et al.* Research progress on storage and preservation technology of cooled meat [J]. Storage and Process, 2015, 15(1): 64–68.
- [12] 程述震, 王晓拓, 王志东. 冷鲜肉保鲜技术研究进展[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(16): 194–198.
CHENG SZ, WANG XT, WANG ZD. Research progress on chilled meat preservation technology [J]. Food Research and Development, 2017, 38(16): 194–198.
- [13] XIONG Y, CHEN M, WARNER RD, *et al.* Incorporating nisin and grape seed extract in chitosan-gelatin edible coating and its effect on cold storage of fresh pork [J]. Food Control, 2020, 110(C): 107018.
- [14] 乔维维. 低温等离子体对牛肉杀菌效能特性及品质的影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
QIAO WW. Influence of cold plasma on sterilization and quality of fresh beef [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017.
- [15] 姚倩儒, 陈历水, 李慧, 等. 冷鲜肉保鲜包装技术现状和发展趋势[J]. 包装工程, 2021, 42(9): 194–200.
YAO QR, CHEN LS, LI H, *et al.* The status quo and development trend of cold meat preservation packaging technology [J]. Packaging Engineering, 2021, 42(9): 194–200.
- [16] CUI H, DONG Y, LU T, *et al.* Effect of ethanolic extract from *Morus alba* L. leaves on the quality and sensory aspects of chilled pork under retail conditions [J]. Meat Science, 2021, 172(8): 108368.
- [17] MAI T, FARID M. Ultraviolet treatment of orange juice [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2004, 5(4): 495–502.
- [18] MCSHARRY S, KOOLMAN L, WHYTE P, *et al.* Inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* in beef broth and on diced beef using an ultraviolet light emitting diode (UV-LED) system [J]. LWT-Food Science Technology, 2022, 158: 113150.
- [19] CALLE A, FERNANDEZ M, MONTOYA B, *et al.* UV-C LED irradiation reduces salmonella on chicken and food contact surfaces [J]. Foods, 2021, 10(7): 1459.
- [20] 池福敏, 牛飞宇, 辜雪冬, 等. 紫外照射结合乳酸处理对冷冻猪肉品质的影响[J]. 食品工业, 2021, 42(1): 183–186.
CHI FM, NIU FY, GU XD, *et al.* Effect of ultraviolet irradiation combined with lactic acid treatment on the quality of frozen pork [J]. The Food Industry, 2021, 42(1): 183–186.
- [21] CHRISTOPHER H, SOMMERS, SHIOWSHUH S. Inactivation of avirulent *Yersinia pestis* on food and food contact surfaces by ultraviolet light and freezing [J]. Food Microbiology, 2015, 50: 1–4.
- [22] CORREA TQ, BLANCO KC, GARCIA RB, *et al.* Effects of ultraviolet light and curcumin-mediated photodynamic inactivation on microbiological food safety: A study in meat and fruit [J]. Photodiagnosis and Photodynamic Therapy, 2020, 30: 101678.
- [23] ORTIZ-SOLA J, ABADIAS I, COLAS-MEDA P, *et al.* Inactivation of *Salmonella enterica*, *listeria monocytogenes* and murine norovirus (MNV-1) on fresh strawberries by conventional and water-assisted ultraviolet light (UV-C) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 174: 111447.
- [24] MCLEOD A, HOVDE LK, HAUGEN JE, *et al.* Chicken fillets subjected

- to UV-C and pulsed UV light: Reduction of pathogenic and spoilage bacteria, and changes in sensory quality [J]. *Journal of Food Safety*, 2018, 38(1): e12421.
- [25] 杨新磊, 丁武. 紫外处理对冷却猪肉品质的影响[J]. *肉类研究*, 2012, 26(4): 8–11.
- YANG XL, DING W. Effect of ultraviolet treatment on the quality of cooled pork [J]. *Meat Research*, 2012, 26(4): 8–11.
- [26] JAWAAD AA, MARLIYA I, MOHAMMED F. Extension of shelf life of pasteurized trim milk using ultraviolet treatment [J]. *Journal of Food Safety*, 2020, 40(2): e12768
- [27] JULIA R, CORINNA K, CARSTEN K. Inactivation of *Yersinia enterocolitica* and *Brochothrix thermosphacta* on pork by UV-C irradiation [J]. *Meat Science*, 2019, 158(C): 107909.
- [28] 曹勤, 潘传豪, 黄建盛, 等. 紫外灯辐射强度稳定范围测定[J]. *河北渔业*, 2020, 314(2): 5–10, 17.
- CAO Q, PAN CH, HUANG JS, *et al.* Determination of the stable range of ultraviolet lamp radiation intensity [J]. *Hebei Fisheries*, 2020, 314(2): 5–10, 17.
- [29] 沈阿倩, 陈舒唱, 冯作山, 等. 防腐剂协同紫外杀菌对油塔子杀菌效果及品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(1): 136–142, 155.
- SHEN AQ, CHEN SC, FENG ZS, *et al.* Effect of preservatives combined with ultraviolet sterilization on the sterilization effect and quality of oil towers [J]. *Modern Food Science & Technology*, 2020, 36(1): 136–142, 155.
- [30] 李万振, 马丽娜, 孙贺, 等. UV-365 光对不同瓶装大豆油酸价和过氧化值的影响[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(10): 324–328.
- LI WZ, MA LN, SUN H, *et al.* Effect of UV-365 light on acid value and peroxide value of soybean oil in different bottles [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(10): 324–328.
- [31] 周彬静, 刘小花, 彭菁, 等. 荧光假单胞菌和热杀索丝菌对低温贮藏期间猪肉品质变化的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(19): 208–216.
- ZHOU BJ, LIU XH, PENG J, *et al.* Effects of *Pseudomonas fluorescens* and *Thermothrix* on pork quality changes during cryogenic storage [J]. *Food Science*, 2022, 43(19): 208–216.
- [32] 杨明扬, 王飞, 孟庆阳. 紫外线降低片猪肉表面微生物研究[J]. *肉类工业*, 2018(4): 27–29.
- YANG MY, WANG F, MENG QY. Ultraviolet reduction of microbial studies on the surface of pork tablets [J]. *Meat Industry*, 2018(4): 27–29.
- [33] 丛军, 李星. 基于电子鼻、电子舌技术的荣昌猪肉及其制品贮藏过程新鲜度检测研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2024, 15(7): 192–201.
- CONG J, LI X. Detection of freshness of Rongchang pork and its products during storage based on electronic nose and electronic tongue technology [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2024, 15(7): 192–201.
- [34] SURENDRANATH P, SUMAN, POULSON J. Myoglobin chemistry and meat color [J]. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2013, 4(1): 79–99.
- [35] 赵莉君, 骆震, 崔文明, 等. 紫外照射和温度波动对冷鲜肉肉色稳定性的影响[J]. *食品科技*, 2020, 45(2): 133–137.
- ZHAO LJ, LUO Z, CUI WM, *et al.* Effects of ultraviolet irradiation and temperature fluctuation on the color stability of chilled meat [J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(2): 133–137.
- [36] LYON SA, FLETCHER DL, BERRANG ME. Germicidal ultraviolet light to lower numbers of *Listeria monocytogenes* on broiler breast fillets [J]. *Poultry Science*, 2007, 86(5): 964–967.
- [37] STERMER RA, LASATER-SMITH M, BRASINGTON CF. Ultraviolet radiation-an effective bactericide for fresh meat [J]. *Journal of Food Protection*, 1987, 50(2): 108–111.
- [38] 胡顺爽, 郜海燕, 吴伟杰, 等. 响应面法优化草莓鲜榨汁紫外杀菌工艺[J]. *食品科学*, 2018, 39(22): 227–234.
- HU SS, GAO HY, WU WJ, *et al.* The ultraviolet sterilization process of freshly squeezed strawberry juice was optimized by response surface method [J]. *Food Science*, 2018, 39(22): 227–234.
- [39] PARK SY, HA SD. Ultraviolet-C radiation on the fresh chicken breast: Inactivation of major foodborne viruses and changes in physicochemical and sensory qualities of product [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2015, 8(4): 895–906.

(责任编辑: 于梦娇 蔡世佳)