

蓝光对三文鱼的杀菌作用及品质影响研究

闫寒¹, 崔震昆², 宋慕波³, 范翠翠⁴, 刘英健^{1*}

(1. 贺州学院应用技术学院, 贺州 542899; 2. 河南科技学院食品学院, 新乡市预制菜创新研发及智能制造工程技术研究中心, 新乡 453003; 3. 贺州学院食品与生物工程学院, 贺州 542899; 4. 长江大学生命科学学院, 荆州 434025)

摘要: **目的** 探究蓝光对三文鱼的杀菌作用及品质影响。**方法** 利用 30 W 蓝光进行 30、60、120 min 3 种辐照时间处理三文鱼肉, 对菌落总数(total viable count, TVC)、pH、剪切力、硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)值、色差值及质构进行测定, 结合感官评价分析不同辐照时间对三文鱼肉杀菌效果及品质的影响。**结果** 结果显示蓝光处理对三文鱼肉的感官和剪切力影响不大, 除了在 30 min 条件下使三文鱼肉的亮度略有下降外, 其他各项色泽指标均无显著差异。虽对质构略有影响, 但感官评定总分、嫩度检测结果无显著差异, 则在可接受范围内。pH 略有下降。并且蓝光可有效降低三文鱼肉的 TVC, 延缓三文鱼肉在冷藏期内脂肪氧化速率, 且在 120 min 时最显著。**结论** 综合考虑, 对三文鱼肉采取 30 W-120 min 蓝光处理较为合适, 该结果可为蓝光辐照应用于三文鱼杀菌保鲜提供参考。

关键词: 蓝光杀菌; 三文鱼; 感官评定; 色泽

Effects of blue light on bactericidal action and quality of salmon

YAN Han¹, CUI Zhen-Kun², SONG Mu-Bo³, FAN Cui-Cui⁴, LIU Ying-Jian^{1*}

(1. College of Applied Technology, Hezhou University, Hezhou 542899, China; 2. College of Food Science and Technology, Henan University of Science and Technology, Xinxiang Innovation Research and Development and Intelligent Manufacturing Engineering Technology Research Center of Prepared Vegetables, Xinxiang 453003, China; 3. College of Food and Bioengineering, Hezhou University, Hezhou 542899, China; 4. College of Life Sciences, Yangtze University, Jingzhou 434025, China)

ABSTRACT: Objective To explore the bactericidal effects of blue light on salmon and its quality. **Methods** The salmon meat was irradiated with 30 W blue light for 30, 60, and 120 min. The total viable count (TVC), pH, shear force, thiobarbituric acid (TBA), color difference, and texture were measured. The effects of different irradiation times on the sterilization effect and quality of salmon meat were analyzed by sensory evaluation. **Results** The results showed that the blue light treatment had little effect on the sensory and shear strength of salmon meat. Except for slightly reducing the brightness of salmon meat under the condition of 30 min, there was no significant difference in other color indexes. Although the texture was slightly affected, the total score of sensory evaluation and the test results of tenderness were not significantly different, which was within the acceptable range. The pH

基金项目: 国家自然科学基金项目(31801607)、贺州学院博士科研启动基金项目(HZUBS202106)、河南省重点研发与推广专项(212102110022)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31801607), the Doctoral Research Foundation of Hezhou University (HZUBS202106), and the Henan Province Key Research and Development and Promotion Special (212102110022)

***通信作者:** 刘英健, 博士, 讲师, 主要研究方向为农产品加工及贮藏工程。E-mail: yingjian.liu@hzxy.edu.cn

***Corresponding author:** LIU Ying-Jian, Ph.D, Lecturer, Hezhou University, No.3261 Xiaohe Dadao, Babu District, Hezhou 542899, China. E-mail: yingjian.liu@hzxy.edu.cn

dropped a little bit. In addition, blue light could effectively reduce the total number of colonies of salmon meat, and delay the fat oxidation rate of salmon meat during the cold storage period, and the most significant at 120 min.

Conclusion Based on comprehensive consideration, 30 W-120 min blue light treatment is suitable for salmon meat. The results can provide reference for the application of blue light irradiation in sterilization and preservation of salmon.

KEY WORDS: blue light sterilization; salmon; sensory evaluation; colour and lustre

0 引言

三文鱼即大洋鲑鱼(*Oncorhynchus*), 又称大马哈鱼, 是一种冷水性的鱼类。当代人们对食品营养追求较高, 而三文鱼维生素种类多、胆固醇含量低、热值低且蛋白质含量很高, 符合当代营养学标准^[1-2], 因此成为我国鱼餐文化中的一种高档水产品。三文鱼常以生食为主, 正因如此, 生产上会对三文鱼的品质和微生物指标等安全性要求严格, 只依靠冷藏保鲜难以达到要求。

蓝光, 尤其是波长范围为 405~470 nm 的蓝光, 作为一种不需要添加外源性光敏剂的安全、环保的技术越来越受到人们的关注^[3-4]。蓝光也是一种非热杀菌技术, 可有效克制腐败微生物繁殖, 不改变或几乎不影响肉制品营养与感官品质, 延长货架期^[5]。据报道, 460 nm 的蓝光可以对大肠杆菌、单核细胞增生李斯特菌、沙门氏菌和金黄色葡萄球菌显现出杀菌效果, 且还没有相关文献报道细菌对蓝光产生耐抗性^[4], 蓝光能被真菌以及革兰氏阳性、阴性细菌感知, 并且可以诱导蓝光受体产生生理反应, 在无光敏剂情况下, 仍有潜在杀菌、抗菌能力。在医疗领域体外研究发现, 痤疮丙酸杆菌经蓝光照射后菌落总数(total viable count, TVC)立即降低 15.7%, 60 min 后 TVC 降低 24.4%^[6]。HAMLIN 等^[6]发现利用 405 nm 蓝光照射幽门螺杆菌, 其杀灭率达到 99.9%。FUKUI 等^[7]研究表明蓝光(405 nm)对牙龈卟啉单胞菌的活性有明显抑制作用(与未照射相比抑制率超过 75%)。抗生素治疗失败率超过 20%的幽门螺杆菌, 经蓝光照射后 TVC 平均减少 91%^[8]。

目前国内外对蓝光的研究大部分集中在医学领域, 在食品领域应用较少。使用蓝光对三文鱼进行杀菌保鲜的有效性还没有相关的文献报道, 也没有学者探究蓝光对三文鱼品质的影响。本研究拟开发一种适用于食品领域的蓝光杀菌技术, 以提高三文鱼在贮藏过程中的品质。本研究通过质构仪表征三文鱼硬度、黏性、回复性等质地品质指标, 测试不同照射时间下蓝光对三文鱼肉 TVC、pH、剪切力及硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)值等指标的影响, 分析蓝光照射对其保鲜效果的影响, 旨在为蓝光技术在生食海鲜三文鱼中的应用提供参考, 为蓝光技术在食品杀菌领域的发展奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

约 500 g 的生鲜三文鱼(新乡市红旗区胖东来超市), 在 4℃冷藏箱内加冰块运输至实验室。

盐酸(分析纯, 开封市芳晶化学试剂有限公司); 溴甲酚绿指示剂、甲基红指示剂、氧化镁、硼酸(分析纯, 天津市科密欧化学试剂有限公司); TBA、磷酸氢二钠(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 三氯乙酸(分析纯, 上海山浦化工有限公司); 氯化钠(分析纯, 上海进容化工有限公司); 磷酸二氢钾、氯化钾(分析纯, 上海德榜化工有限公司)

配制 LB 培养基备用: 将 0.5% (*m*:*V*)酵母浸粉、1% (*m*:*V*)胰蛋白胨、1% (*m*:*V*)氯化钠, 以 1 L 蒸馏水定溶, 调 pH 为 7.4~7.6, 进行高压灭菌(121℃, 25 min), 并配制固体 LB 培养基[加 1.5% (*m*:*V*)琼脂]备用。

配制 10 mmol/L (pH=7.4) 磷酸盐缓冲液(phosphate buffer saline, PBS)缓冲液备用: 将氯化钠(NaCl) 8 g, 磷酸氢二钠(Na₂HPO₄·12H₂O) 3.63 g, 磷酸二氢钾(KH₂PO₄) 0.24 g, 氯化钾(KCl) 0.2 g, 以蒸馏水(H₂O) 1 L 定容, 调 pH 为 7.4, 进行高压灭菌(121℃, 25 min)备用。

1.2 仪器与设备

蓝光设备(460 nm, 订制设备); TA_new meat 肉嫩度仪(上海瑞粉智能科技有限公司); METTLER TOLEDO ME104E 电子天平(精度 0.0001 g, 梅特勒-托利多仪器上海有限公司); HR1604 飞利浦手持式搅拌机(飞利浦中国投资有限公司); DZ-260 型真空包装机(大江控股集团电气有限公司); XHF-D 高速分散均质机、FSH-2A 数显恒高速分散均质机(宁波新芝生物科技有限公司); WFJ7200 紫外分光光度计(优尼科上海仪器有限公司); CR-400 色差仪(日本美能达公司); SK666 离心机(合肥智元仪器设备有限公司); PA+CCP 食品真空包装袋(深圳市品尚烹饪技术有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 三文鱼处理

新鲜三文鱼经清洗后进行取肉处理与分析, 尽量保持无菌操作, 用经过高压灭菌锅灭菌的刀具进行鱼肉分割, 使鱼块的长、厚、宽尽量保持一致, 每块约重 5 g, 分成 5 组, 每组 10 份样品, 放入真空袋中, 用真空包装机进行抽

真空(真空度-0.1 Mpa)处理,放入冰箱(4°C±1°C)内备用,取 4 组分别放置在冰上用 30 W 蓝光照射处理(持续照射,样品与光源距离 10~15 cm)(图 1),照射时间分别为 0(此组为对照组,不进行蓝光照射,其余与试验组条件保持一致)、30、60 和 120 min,照射结束后分别进行取样处理,并做好标记放入冰箱(4°C±1°C)内保存备用(24 h 内进行试验)。

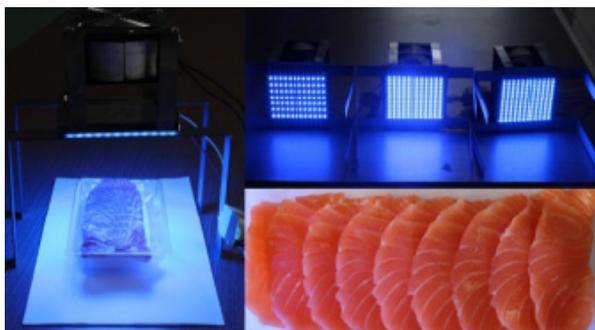


图 1 蓝光照射三文鱼设备场景图
Fig.1 Salmon exposed to blue light

1.3.2 感官评分

感官指标是描述和判别食品质量中最直观的指标,在对三文鱼进行感官评定时,要根据食品感官评定规定,选取通风性良好、光线柔和、洁净卫生无异味的实验室,参照李双琦等^[9]的方法,选择 10 位对色香味有较强分辨能力的评定人员,5 男 5 女,年龄在 18~25 岁,要求这些人员身体健康,无不良嗜好。评定人员进入实验室后,对样品进行感官评定,选取外观、香气、质地、风味和偏好性 5 个感官指标进行逐个评分,以 8 分为满分计,结果取平均值,进行评分。照表 1。

1.3.3 菌落总数测定

在邱红玲等^[10]的试验方法上做适当的修改进行测定,首先,在无菌操作台内,取 5 g 三文鱼肉于灭菌烧杯中,加入 50 mL 磷酸盐缓冲盐水,超声波处理 5 min。然后以 5000 r/min 离心 5 min,除去上清液并用配制好的 10 mmol/L PBS 缓冲液重悬,然后将细菌溶液使用 96 孔板用 PBS 进行梯度稀释($10^0 \sim 10^7$),在每个稀释度下用排枪吸取 5 μ L 于 LB 培养基进行滴板试验,使用封口膜封装后,孵育(37°C, 7~9 h)并计数。每组处理平行试验 3 次。

1.3.4 pH 的测定

参照李可人等^[8]的方法稍作修改,首先绞碎三文鱼 5 g,

然后放入 50 mL 离心管中,加入经过高压灭菌冷却的蒸馏水(20 mL),使用均质机混 3 次,每次 30 s,最后使用 pH 计测量其 pH,记录数据。平行测定 3 次。

1.3.5 色泽的测定

参考闫寒等^[11]的方法适当修改,首先将各组三文鱼肉切成均匀的小块(2 cm×1 cm×0.3 cm),然后打开色差仪,预热 20~30 min 后对准白板进行校准,当白板标定的数值和测定的白板数值相同时就可以进行测定。每个样品必须选择多个不同的位置进行测定,且鱼肉样品要垂直的紧扣在测量镜口,等待数字稳定且不变化后再记录,记录 L^* 、 a^* 、 b^* 的值。测定中尽量选用颜色统一的部位,以减少不必要的误差。每组平行测试 3 次。

1.3.6 剪切力的测定

参照李云霞等^[12]的方法稍作修改。取各组三文鱼肉分别切成长立方体小块(2 cm×1 cm×0.3 cm),注意避免有鱼刺地方(可剔除),使用肉嫩度仪进行剪切力的测定,使三文鱼肉的横纹肌与肉嫩度仪上的刀片垂直。剪切样品所需的力以牛顿(N)记录,纪录数据。每组平行测试 3 次。

1.3.7 硫代巴比妥酸反应物的测定

参照周星辰等^[13]的试验方法并在此基础上根据本试验要求进行修改。鱼肉样品(50 g)加入 20%的 TCA 和 15 mL 蒸馏水,于均质机(6500 r/min、6 s 均质 2 次)进行均质,均质好的样品倒入 50 mL 离心管中,然后静置 1 h 再离心(3000 r/min, 10 min),过滤之后蒸馏水定容至 50 mL,取 4 mL 加入含有 4 mL TBA (0.02 mol/L)的比色管中,摇晃均匀,水浴(95°C±1°C) 30 min,流动水快速冷却,于 532 nm 处测吸光值,每个添加量平行测定 3 次取平均值。

空白样品制备:取 25 mL TCA 溶液用蒸馏水定容至 50 mL,取 3 mL 于比色管,加 TBA 3 mL,与样品同样处理。未经蓝光处理的副溶血性弧菌按照上述方法进行制备和检测。每组平行测定 3 次。

1.3.8 质构的测定

参考黄卉等^[14]的方法并做适当调整。将事先准备好的样品(2 cm×2 cm×0.3 cm)通过质构分析仪在室温下进行质构测定,参数:探头 SMSP/36R, 2 mm/s 的测前速率和测中速率,10 mm/s 的测后速率以及压缩比为 50%,循环 2 次。每组 3 个平行。

表 1 三文鱼的感官评分标准
Table 1 Sensory rating criteria for salmon

评分	香气	外观	质地	风味	偏好性
7~8	香味浓郁	淡红色明亮,均匀清晰的白色条纹	肌肉富有弹性、结实	鲜嫩	喜欢
5~6	鱼腥味加重	光泽稍微差	弹性稍微差,按压出凹印能很快恢复平整	较为鲜嫩	较为喜欢
3~4	无香味	几乎没有光泽	弹性差,按压后恢复很慢	口较差	较为不喜欢
1~2	有浓烈的腥臭味	呈苍白色或灰黄色	无弹性	极差	十分不喜欢

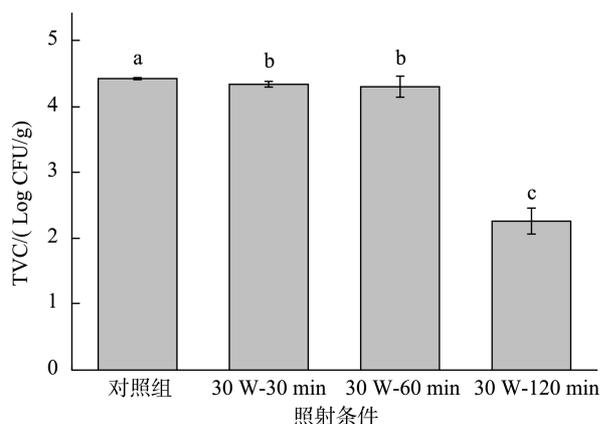
1.4 数据处理

试验结果均使用 Excel 2016 建立数据库,运用 Origin 8.2 作图。采用方差分析软件对处理结果进行单因素方差分析(one-way analysis of variance, ANOVA),使用最小显著差异法对显著性进行分析($P < 0.05$),每组试验平行测定3次,其结果均表示为平均值 \pm 标准偏差。

2 结果与分析

2.1 菌落总数测定结果

微生物的增殖是三文鱼在贮藏过程中腐败的主要原因,直接影响三文鱼的质量和保质期。副溶血性弧菌是三文鱼的主要腐败菌,在前期研究时,蓝光(460 nm)距离样品 10~15 cm 进行照射副溶血性弧菌杀菌效果明显,杀菌率达到 99%。由图 2 可以看出,经蓝光照射后处理组 TVC 呈现下降趋势,照射条件 30 W-30 min、30 W-60 min 和 30 W-120 min 组的细菌总数与对照组(4.45 Log CFU/g)相比,分别下降至 4.30、4.25、2.20 Log CFU/g ($P < 0.05$)。由此可见,蓝光杀菌技术对三文鱼冷藏过程中所产生的部分腐败菌(包括主要腐败菌副溶血性弧菌)确有明显杀菌作用。推测这种灭菌机制是因为蓝光照射处理后激发了致病细菌细胞中的光敏剂,光敏剂的吸收过程伴随能量的转移,从而激发高能单线态氧,进而衰减为活性氧物质,造成致病细菌细胞内含巯基的生物大分子损伤,最终造成致病细菌死亡^[15-16],DKK 等^[17]通过蓝光照射技术对大肠杆菌的杀菌研究中也获得了类似的试验结果。



注:不同小写字母代表差异显著, $P < 0.05$,下同。

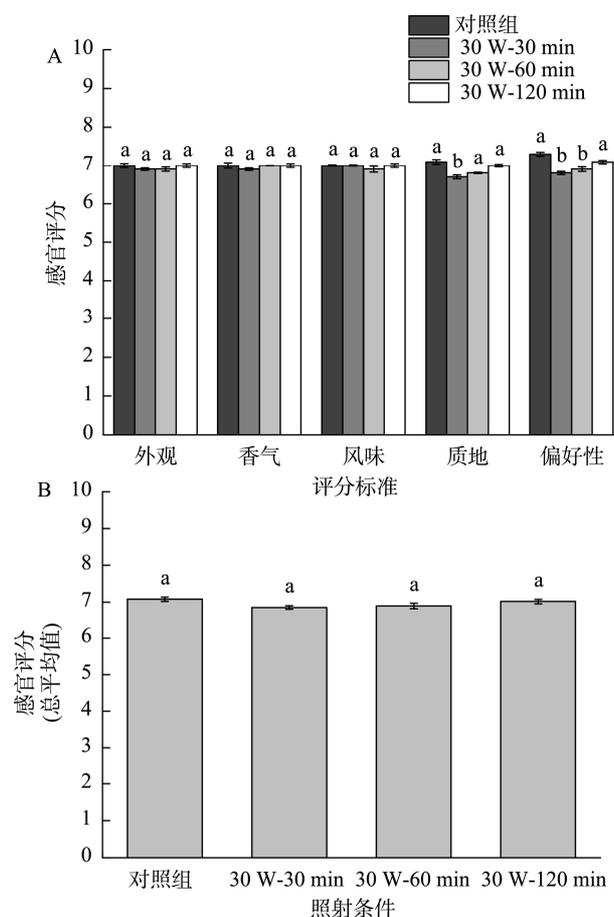
图2 蓝光照射处理后对三文鱼 TVC 的影响

Fig.2 Effects of blue light irradiation on TVC of salmon

2.2 感官分析结果

三文鱼在贮藏过程中容易受到微生物污染和酶的催化氧化,造成腐败变质。以上两种腐败进程均会对三文鱼的商业价值产生负面影响,特别是变色和异味的形成。因

此本研究通过感官检测评价经蓝光照射处理后三文鱼的外观、香气、风味、质地和偏好性 5 方面指标,结果表明经蓝光处理后的三文鱼感官评价总分(平均值)分别为 6.89、6.90、7.02(图 3),与新鲜三文鱼感官评分总分(平均值)相比,无明显差异($P > 0.05$)。在 30 min 和 60 min 处理时质地评分有所下降,这可能与在照射过程中硬度有所增加有关,导致偏好性有所降低。



注:A:各项感官指标;B:感官总分。

图3 不同蓝光照射时间对三文鱼感官的影响

Fig.3 Effects of different blue light exposure times on the salmon senses

2.3 pH 检测结果

作为三文鱼新鲜度检测的基本指标之一,三文鱼在贮藏过程中的色泽、嫩度、味道、水分及货架期可以通过 pH 反映。肉类在腐败过程中,细菌使蛋白质分解产生胺类等碱性含氮物质会使 pH 增加,本研究中新鲜的三文鱼 pH 为 7.4,经 30、60 和 120 min 蓝光处理后三文鱼 pH 有所下降,120 min 处理时差异显著($P < 0.05$)(图 4)。这可能是因为在 120 min 处理时对微生物的杀菌作用更好,进而阻止了腐败过程中细菌分解蛋白质产生胺类等碱性含氮物质。这与傅丽丽等^[18]研究的辐照对三文鱼 pH 的影响结果相似。

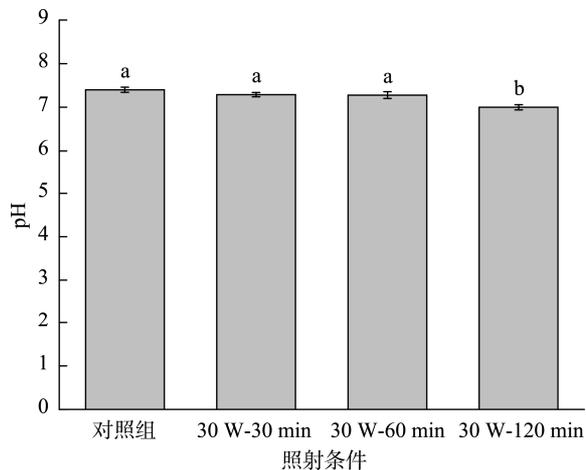


图 4 不同蓝光照射时间对三文鱼 pH 的影响

Fig.4 Effects of different blue light exposure times on salmon pH

2.4 色泽检测结果

色泽是评价三文鱼的基本指标之一。三文鱼的橘红色来自于类胡萝卜素(主要为虾青素),并且在色差上反映为 a^* , a^* 表示红绿色,为正值时表示偏红,数值越大,红色越明显^[19-20];而 L^* 反映了亮度,数值越大,表示越亮; b^* 表示黄蓝,数值越大,表示越黄^[21]。结果表明(图 5),经蓝光照射后三文鱼的 L^* 成波动状态,经 30 W 蓝光照射 30 min 后,三文鱼亮度最低,60 min 和 120 min 相较于对照组三文鱼亮度无显著差异($P>0.05$)。 a^* 呈现下降趋势($P>0.05$), b^* 无规律波动,但 a^* 、 b^* 各组间的差异均不显著。综上所述,蓝光照射 30、60、120 min 三文鱼时,除了在 30 min 时,使三文鱼的亮度略有下降,其他各项色泽指标均无显著差异。这与张新林等^[22]研究不同低温条件下三文鱼的品质变化结果一致,也与前面感官评定的结果一致。

2.5 质构的测定

利用质构仪多面分析模拟人类牙齿的咀嚼过程,代替人体感官评价,对三文鱼的质地、结构体系进行全面分

析,使之前的感官评定更具客观性、准确性^[23]。硬度是指三文鱼发生形变所需外力,反映三文鱼肉质致密的程度。由表 2 可知,随着蓝光照射时间延长至 30、60 min,三文鱼硬度显著增加,但在 120 min 时无显著差异,这与前面感官评定质地分数变化一致^[24]。微生物腐败引起黏附性的增加,而蓝光照射对微生物有明显抑制作用,所以 60、120 min 照射处理后三文鱼的黏结性和胶黏度比对照组小^[18]。新鲜三文鱼的弹性是 0.745,经蓝光照射后呈现下降的趋势,可能是蓝光照射后细胞之间的凝聚力下降,导致三文鱼的弹性下降,这与郭红霞等^[25]的辐照对三文鱼新鲜度的影响研究结果一致。咀嚼性是肌肉硬度变化、肌肉细胞间的凝聚力降低、肌肉弹性减小的综合性结果,是综合评价参数,前面数据表明硬度先上升后下降,弹性下降,因此可能造成咀嚼性也呈现下降趋势。回复性在 30 min 蓝光照射后有所增加,之后随着照射时间增加而逐渐降低,但各组之间差异并不明显。质构试验结果虽然有差异,但感官评定总分结果试验组与对照组差别不大,并且嫩度检测结果也无显著差异,因此质构数据的波动在可接受范围内。

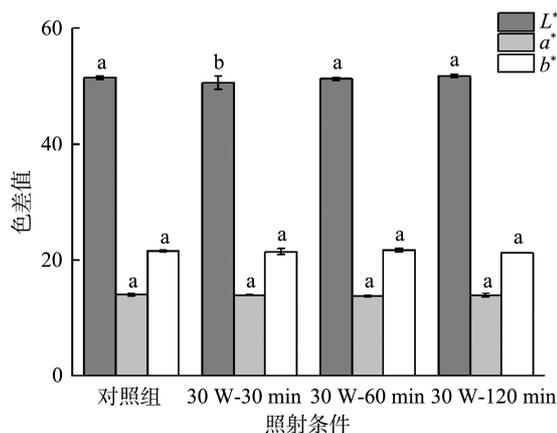


图 5 不同蓝光照射时间对三文鱼色泽的影响

Fig.5 Effects of different blue light exposure times on the color of salmon

表 2 不同时间蓝光处理的三文鱼质构分析结果

Table 2 Texture analysis results of salmon treated with different doses of blue light

质构	对照	30 W-30 min	30 W-60 min	30 W-120 min
硬度	1677.200±0.03 ^a	1687.020±0.04 ^b	1684.004±0.03 ^{bc}	1679.590±0.05 ^a
黏性	-68.190±0.07 ^a	-68.150±0.05 ^a	-67.160±0.07 ^b	-66.278±0.04 ^b
弹性	0.745±0.01 ^a	0.744±0.03 ^a	0.740±0.06 ^a	0.730±0.02 ^a
黏结性	0.47±0.02 ^a	0.47±0.01 ^a	0.46±0.01 ^{ab}	0.45±0.02 ^b
胶黏度	867.96±0.02 ^a	867.70±0.04 ^a	846.44±0.04 ^a	775.90±0.09 ^b
咀嚼性	767.62±0.05 ^a	766.84±0.04 ^a	765.29±0.04 ^a	716.78±0.04 ^b
回复性	0.271±0.01 ^a	0.273±0.02 ^a	0.270±0.01 ^a	0.270±0.02 ^a

注: 每行不同小写字母代表有显著性差异($P<0.05$)。

2.6 剪切力的检测结果

肉的嫩度是肉切割的难易程度,也是评价肉制品质量的重要标准,既影响肉的口感也影响了肉的商品价值。在欧美一些发达国家,肉的嫩度逐渐成为影响消费者对肉选择的关键指标^[26-27]。为了研究蓝光照射处理对三文鱼嫩度的影响,进行了剪切力测定。经检测后结果显示,随着蓝光照射时间增加,剪切力呈先上升后下降趋势(图6)。蓝光照射后,三文鱼剪切力与新鲜三文鱼剪切力相比各组数据变化不大,无明显差异($P>0.05$)。因此对蓝光照射对三文鱼的嫩度影响不大。

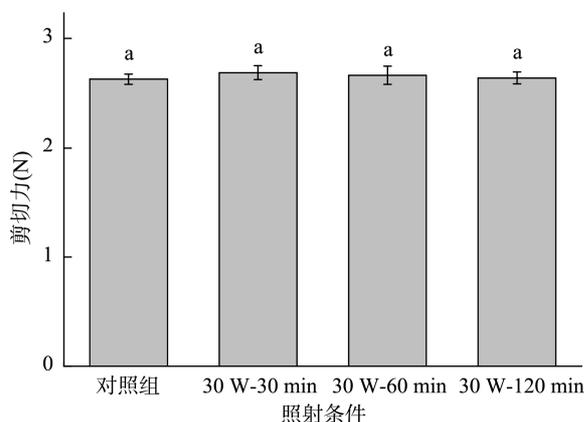


图6 不同蓝光照射时间对三文鱼嫩度的影响

Fig.6 Effects of different blue light exposure times on the meat tenderness of salmon

2.7 硫代巴比妥酸含量测定

油脂通过光、热和空气中氧的作用会发生氧化酸败反应^[28]。在冷藏条件下,氧化酸败不是三文鱼腐败的主要原因,但脂肪氧化程度过高会使三文鱼产生令人不愉快的气味,从而影响肉品的感官性状和营养价值^[29]。TBA值可作为评价冷却肉鲜度的重要参考指标^[30]。结果如图7所示,

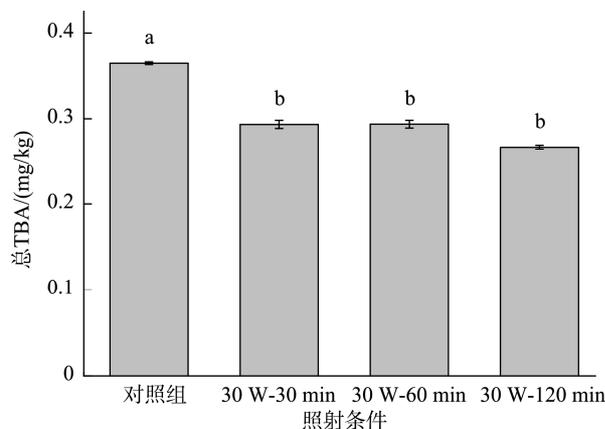


图7 不同蓝光照射时间对三文鱼TBA反应物质的影响

Fig.7 Effects of different blue light irradiation times on TBA reactive substances in salmon

与新鲜的三文鱼相比经蓝光照射后的三文鱼肉TBA值呈下降趋势($P<0.05$)。可见,蓝光照射处理不会使三文鱼肉TBA值增加,反而抑制氧化酸败反应的发生,在120 min时TBA值最低,效果最为明显。因此,蓝光照射处理对三文鱼肉的脂肪氧化具有抑制作用。

3 结论

本研究探究蓝光照射时间对三文鱼杀菌效果和品质影响,通过试验与数据分析,发现蓝光照射后三文鱼的感官总分无显著差异,pH呈现下降趋势,并且蓝光照射对三文鱼的剪切力影响不大。除了在30 min条件下使三文鱼的亮度略有下降外,其他各项色泽指标均无显著差异。质构试验结果虽有差异,但感官评定总分结果、嫩度检测结果无显著差异,因此质构数据的波动在可接受范围内。三文鱼的TVC、TBA值均下降,且在120 min时最显著,可见蓝光照射处理对三文鱼的腐败菌有明显的杀菌作用,并且对三文鱼肉的脂肪氧化具有抑制作用。因此蓝光技术可以杀灭三文鱼中的致病菌,对三文鱼本身的品质影响较小,30 W-120 min为最佳照射条件。

参考文献

- [1] 朱芷萱,刘波,韩玲钰,等.三文鱼多肽对鱼糜制品品质的影响及其生物活性的研究[J].食品安全质量检测学报,2022,13(24):7833-7841. ZHU ZX, LIU B, HAN LY, *et al.* Effects of salmon polypeptides on quality of surimi products and their biological activities [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(24): 7833-7841.
- [2] 裴福全,阮彩文,张永慧,等.广东省三文鱼淡水寄生虫感染情况调查与分析[J].食品安全质量检测学报,2019,10(12):3914-3918. PEI FQ, RUAN CW, ZHANG YH, *et al.* Investigation and analysis of freshwater parasite infection in salmon in Guangdong Province [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(12): 3914-3918.
- [3] KLEINPENNING MM, SMITS T, FRUNT M, *et al.* Clinical and histological effects of blue light on normal skin [J]. Photodermatol Photo, 2010, 26(1): 16-21.
- [4] OGASAWRA K, NAKAJIMA S, SATO H, *et al.* *Escherichia coli* sterilization using a light-emitting diode and methylene blue: *E. coli* sterilization by LED and MB [J]. Laser Ther, 2019, 28(2): 97-102.
- [5] YOSHIDA A, SASAKI H, TOYAMA T, *et al.* Antimicrobial effect of blue light using *Porphyromonas gingivalis* pigment [J]. Sci Rep, 2017, 7(1): 5225.
- [6] HAMLIN MR, VIVEIROS J, YANG C, *et al.* *Helicobacter pylori* accumulates photoactive porphyrins and is killed by visible light [J]. Antimicrob Agents Chemother, 2005, 49(7): 2822-2827.
- [7] FUKUI M, YOSHIOKA M, SATOMURA K, *et al.* Specific-wavelength visible light irradiation inhibits bacterial growth of *Porphyromonas gingivalis* [J]. J Periodontal Res, 2008, 43(2): 174-178.
- [8] 李可人,姜佳君,张弛,等.不同种类食品中pH值测定方法[J].吉林农业,2017,(14):106. LI KR, JIANG JJ, ZHANG C, *et al.* Determination of pH value in different kinds of food [J]. Jilin Agric, 2017, (14): 106.
- [9] 李双琦,崔震昆.热处理方式对鲈鱼游离氨基酸及品质影响[J].中国

- 调味品. 2022, 47(1): 32–35, 45.
- LI SQ, CUI ZK. Effect of heat treatment on free amino acids and quality of perch [J]. *China Cond*, 2022, 47(1): 32–35, 45.
- [10] 邱红玲, 唐晓阳, 李王伟, 等. 复原乳中三种常见致病菌的生长动力学模型构建[J]. *上海预防医学*, 2016, 28(5): 288–293.
- QIU HL, TANG XY, WANG LW, *et al.* Construction of growth dynamics model of three common pathogenic bacteria in recovered milk [J]. *Shanghai Prev Med*, 2016, 28(5): 288–293.
- [11] 闫寒, 崔震昆, 李阳阳, 等. 两段式低温真空烹饪对牛肉品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(18): 231–236.
- YAN H, CUI ZK, LI YY, *et al.* Effect of two stage low temperature sous vide cooking on beef quality [J]. *Food Ferment Ind*, 2021, 47(18): 231–236.
- [12] 李云霞, 王洁, 姚新奎, 等. 年龄对伊犁马肉食用品质和肌纤维特性的影响[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(20): 14–20.
- LI YX, WANG J, YAO XK, *et al.* Effect of age on meat quality and muscle fiber characteristics of yili horse [J]. *Food Res Dev*, 2021, 42(20): 14–20.
- [13] 周星辰, 王卫, 白婷, 等. “气调+冷藏”对四川卤牛肉质量特性的影响研究[J]. *中国调味品*, 2022, 47(5): 79–83, 88.
- ZHOU XX, WANG W, BAI T, *et al.* Effect of “air conditioning+refrigeration” on quality characteristics of Sichuan brined beef [J]. *China Cond*, 2022, 47(5): 79–83, 88.
- [14] 黄卉, 熊雅雯, 李来好, 等. 鱼肉热煮过程中质构保持技术研究进展[J]. *南方水产科学*, 2021, 17(3): 122–128.
- HUANG H, XIONG YW, LI LH, *et al.* Research progress in texture preservation technology of fish during hot cooking [J]. *Southern Fish Sci*, 2021, 17(3): 122–128.
- [15] 李可峰, 陈海涛, 吴龙飞, 等. 细菌的光响应及其机制研究进展[J]. *微生物学通报*, 2018, 45(7): 1574–1587.
- LI KF, CHEN HT, WU LF, *et al.* Research progress in bacterial light response and its mechanism [J]. *Microbiol Bull*, 2018, 45(7): 1574–1587.
- [16] 姚敏, 王杨. 蓝光杀菌效果及其机制研究进展[J]. *中华烧伤杂志*, 2014, 30(3): 258–261.
- YAO M, WANG Y. Progress in research on germicidal efficacy and mechanism of blue light [J]. *Chin J Burns*, 2014, 30(3): 258–261.
- [17] DKK A, DHKA B. Efficacy of light-emitting diodes emitting 395, 405, 415, and 425 nm blue light for bacterial inactivation and the microbicidal mechanism [J]. *Food Res Int*, 2021, (12): 141.
- [18] 傅丽丽, 林敏, 高原, 等. 电子束辐照对三文鱼品质的影响研究[J]. *核农学报*, 2017, 31(8): 1521–1527.
- FU LL, LIN M, GAO Y, *et al.* Effects of electron beam irradiation on salmon quality [J]. *J Nucl Agric*, 2017, 31(8): 1521–1527.
- [19] SENTHILKUMARAN R, DEVI U, AMBOIRAM P, *et al.* Bovine milk-based and human milk-based fortification for postnatal weight gain in very preterm neonates—a cohort study [J]. *J Trop Pediatric*, 2022, (1): 110.
- [20] 宋晓燕, 张婉竹, 刘宝林. 不同预处理对冷冻芒果果肉块冷冻速率和解冻后品质的影响[J]. *工业微生物*, 2022, 52(5): 14–20.
- SONG XY, ZHANG WZ, LIU BL. Effects of different pretreatments on freezing rate and quality of frozen mango pulp block after thawing [J]. *Ind Microbiol*, 2022, 52(5): 14–20.
- [21] 王凤丽, 方芮, 覃丽明, 等. 烹饪方式对蔬菜营养、抗氧化能力及色泽影响的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(2): 411–419.
- WANG FL, FANG R, QIN LM, *et al.* Research progress on the effects of cooking methods on nutrition, antioxidant capacity and color of vegetables [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2022, 43(2): 411–419.
- [22] 张新林, 谢晶, 郝楷, 等. 不同低温条件下三文鱼的品质变化[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(17): 316–321.
- ZHANG XL, XIE J, HAO K, *et al.* Quality changes of salmon under different low temperature conditions [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2016, 37(17): 316–321.
- [23] YE X, CHEN L, SU Z, *et al.* Process optimization, texture and microstructure of novel kelp tofu [J]. *Food Sci Human Health*, 2023, 12(1): 111–118.
- [24] 杨震. 三文鱼电子束辐照保鲜技术及特异性淀粉对草鱼糜凝胶品质的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- YANG Z. Effects of electron beam irradiation preservation technology of salmon and specific starch on gel quality of *Grass carp surimi* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.
- [25] 郭红霞, 冯涛, 戚文元, 等. 电子束辐照对储藏期间三文鱼鲜度的影响[J]. *保鲜与加工*, 2020, 20(6): 14–19, 24.
- GUO HX, FENG T, QI WY, *et al.* Effect of electron beam irradiation on freshness of salmon during storage [J]. *Storage Process*, 2020, 20(6): 14–19, 24.
- [26] 汪洋, 王稳航. 肌肉结缔组织与肉嫩度的关联机制及相关肉嫩化技术的研究进展[J]. *食品科学*, 2021, 42(11): 332–340.
- WANG Y, WANG WH. Research progress on the correlation mechanism between intramuscular connective tissue and meat tenderness and related meat tenderizing techniques [J]. *Food Sci*, 2021, 42(11): 332–340.
- [27] CARAVEO-SUAREZ RO, GARCIA-GALICIA IA, SANTELLANO-ESTRADA E, *et al.* Ultrasound as a potential technology to improve the quality of meat produced from a mexican autochthonous bovine breed [J]. *Sustainability*, 2022, 14(7): 1–14.
- [28] KERBOUCHE L, HAZZIT M, BAALIOUAMER A, *et al.* Distillation time effecting on the composition of *Origanum floribundum* essential oils and their antioxidant and antimicrobial activities [J]. *Z Naturforsch C J Biosci*, 2021, 76(3–4): 153–160.
- [29] 丁婷, 李婷婷, 励建荣. 0°C冷藏三文鱼片新鲜度综合评价[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(11): 252–259.
- DING T, LI TT, LI JR. Comprehensive evaluation of freshness of frozen salmon slices at 0°C [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2014, 14(11): 252–259.
- [30] 王尊, 谢晶. 不同保鲜方法对三文鱼品质影响的研究进展[J]. *包装工程*, 2016, 37(9): 80–85, 119.
- WANG Z, XIE J. Research progress on effects of different preservation methods on quality of salmon [J]. *Packag Eng*, 2016, 37(9): 80–85, 119.

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

作者简介



闫寒, 硕士, 主要研究方向为水产品加工及贮藏工程。
E-mail: 1074930977@qq.com



刘英健, 博士, 讲师, 主要研究方向为农产品加工及贮藏工程。
E-mail: yingjian.liu@hzy.edu.cn