

电子束辐照的熟制鲢鱼块贮藏品质分析

李美锦^{1,2}, 黄佳珺^{1,2}, 陈亚楠^{1,2}, 蔡俊^{1*}, 李海蓝², 钼晓艳^{2*}

(1. 湖北工业大学生物工程与食品学院, 湖北武汉 430068)

(2. 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430064)

摘要: 该研究以熟制鲢鱼块为原料, 使用 0、4、8 kGy 电子束辐照处理后, 分别置于常温和 4 °C 中贮藏, 通过测定贮藏期间样品菌落总数 (TVC)、pH 值、硫代巴比妥酸值 (TBA)、过氧化值 (POV)、挥发性氨基氮值 (TVB-N) 与质构的变化, 研究不同辐照剂量及贮藏温度对熟制鲢鱼块贮藏品质的影响。结果表明, 辐照剂量越高对熟制鲢鱼块杀菌效果越好, 4 °C 贮藏杀菌效果优于常温贮藏。贮藏温度对鲢鱼块 pH 值无明显影响, 但 8 kGy 辐照处理会降低鱼块 pH 值 ($P < 0.05$)。鲢鱼块 TBA 值随着辐照剂量的增加而增加, 但不同辐照剂量、不同贮藏温度之间无显著差异 ($P > 0.05$)。与未辐照组相比, 电子束辐照能有效抑制鱼块 POV 值和 TVB-N 值的升高 ($P < 0.05$)。质构测定结果显示, 当贮藏温度为 4 °C、辐照剂量为 4 kGy 时, 可保持杀菌效果的同时改善熟制鲢鱼块的硬度、弹性和咀嚼性等指标。综合考虑, 以 4 kGy 辐照剂量处理熟制鲢鱼块, 并选择贮藏温度 4 °C, 其保鲜效果最佳。以上研究可为鲢鱼电子束辐照贮藏保鲜技术的推广应用提供理论依据。

关键词: 电子束辐照; 鲢鱼; 贮藏; 品质

文章编号: 1673-9078(2023)02-214-220

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.2.0292

Storage Quality of Electron Beam Irradiated Cooked Silver Carp

LI Meijin^{1,2}, HUANG Jiajun^{1,2}, CHEN Yanan^{1,2}, CAI Jun^{1*}, LI Hailan², ZU Xiaoyan^{2*}

(1. College of Bioengineering and Food, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

(2. Institute of Agricultural Products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)

Abstract: In this study, cooked silver carp cubes were used as the raw materials, and they were treated with electron beam at 0, 4 or 8 kGy then stored at room temperature and 4 °C, respectively. By measuring the changes in total viable count (TVC), pH value and thiobarbituric acid (TBA) value, peroxide value (POV), total volatile base nitrogen (TVB-N) value and texture of the silver carp cubes during storage, the effects of different irradiation doses and storage temperatures on cooked silver carp cubes on storage quality of the silver carp cubes. The results showed that the higher the irradiation dose, the better the sterilization effect was, and the sterilization effect for the storage at 4 °C was better than that at room temperature. The storage temperature had insignificant effect on the pH value of silver carp cubes, whilst the irradiation at 8 kGy significantly reduced the pH value of fish cubes ($P < 0.05$). The TBA value of silver carp cubes increased with the increase of irradiation dose, but different irradiation doses and different storage temperatures ($P > 0.05$) caused insignificant difference. Electron beam irradiation effectively inhibited the increases of POV value and TVB-N value ($P < 0.05$) compared with the unirradiated group. Texture analyses revealed that at storage temperature of 4 °C and irradiation dose of 4 kGy, the sterilization effect could be maintained, while the textural indices (hardness, elasticity, chewiness, etc) of the cooked silver carp cubes being improved. In summary, the cooked silver carp cubes could be preserved the best at an irradiation dose of 4 kGy and storage temperature of 4 °C. The above research will provide a theoretical basis for the application of electron

引文格式:

李美锦, 黄佳珺, 陈亚楠, 等. 电子束辐照的熟制鲢鱼块贮藏品质分析[J]. 现代食品科技, 2023, 39(2): 214-220

LI Meijin, HUANG Jiajun, CHEN Yanan, et al. Storage quality of electron beam irradiated cooked silver carp [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(2): 214-220

收稿日期: 2022-03-16

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2019YFD0902000); 湖北省农业科技创新中心项目 (2022-620-000-001-036); 广州市民生科技攻关计划项目 (202002020087)

作者简介: 李美锦 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: lmj8539@126.com

通讯作者: 蔡俊 (1968-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 生物工程, E-mail: hgdcailun@hbut.edu.cn; 共同通讯作者: 钼晓艳 (1981-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 水产品保鲜与加工, E-mail: zuxiaoyan@hbaas.com

beam irradiation in storing and preserving silver carp.

Key words: electron beam irradiation; silver carp; storage; quality

鲢鱼 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 又名白鲢, 是中国主要的淡水养殖鱼类之一。2020 年全国鲢鱼年产量超过 380 万 t, 约占淡水鱼总产量的 15%, 居淡水鱼产量第二位^[1]。鲢鱼因其生长速度快、营养价值高、肉质鲜嫩等特点, 备受广大消费者喜爱^[2,3]。然而鲢鱼肉含水量高, 容易腐败变质, 降低产品品质, 损失一定的商业价值。因此, 选择合适的贮藏保鲜技术, 延长相关产品货架期并提高产品品质十分必要^[4]。

辐照是一种利用电离辐射致使微生物失活, 从而延长食品保质期、改善食品安全的加工技术。电子束是食品辐照常用的三种辐照源之一, 与 X 射线和 γ 射线相比具有成本低廉、操作简便、环保安全等优点, 是一种良好的食品冷杀菌技术^[5,6]。然而, 电子束辐照对食品的杀菌效果通常受微生物种类和食品化学成分等因素的影响, 且过高的辐照剂量也会影响食品的风味和色泽^[7]。近年来, 有关电子束辐照对食品杀菌和品质影响的研究在农畜产品中涉及较多^[8-10], 而在水产品的贮藏保鲜中研究相对较少。Zhang 等^[11]研究了 1~7 kGy 电子束辐照对草鱼鱼糜脂肪酸组成和挥发性化合物的影响, 结果表明, 随着辐照剂量的增加, 饱和脂肪酸含量上升, 不饱和脂肪酸含量下降, 对反式脂肪酸的含量没有影响。Qi 等^[12]研究发现, 电子束处理对红虾 (*Solenoceramelantho*) 的杀菌效果随着辐照剂量的提高而增强, 并最终确定了 6 kGy 为最佳辐照剂量。Xu 等^[13]通过电子束辐照对冷藏鲈鱼品质影响的研究表明, 低辐照剂量结合冷藏可以延缓蛋白质氧化, 更适合鲈鱼肉的保鲜。以上报道均未涉及电子束对鱼类熟制产品品质的影响研究。

本文以淡水鱼类-鲢鱼为对象, 采用不同剂量电子束辐照及不同温度贮藏处理, 分析辐照及贮藏温度对熟制鲢鱼块菌落总数 (Total Viable Count, TVC)、pH 值、硫代巴比妥酸 (Thiobarbituric Acid, TBA)、挥发性盐基氮 (Total Volatile Base Nitrogen, TVB-N) 和质构特性等指标的影响。以期获得有效的电子束辐照剂量, 在最大限度杀灭鲢鱼块腐败菌群的同时选择适宜的贮藏温度保持其原有的风味口感, 为鲢鱼电子束辐照灭菌技术的推广应用提供技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

1.1.1 实验材料

鲜活鲢鱼, 购自武汉市洪山区武商量贩 (农科城店), 每尾重 (2.0±0.5) kg, 体长 (55±2.5) cm。

1.1.2 实验试剂

盐酸、氧化镁、三氯乙酸、硼酸、氢氧化钠、三氯甲烷、冰乙酸、硫代硫酸钠、石油醚、无水硫酸钠、硫代巴比妥酸、酚酞 (均为分析纯) 购自国药集团化学试剂有限公司; 平板计数琼脂培养基购自青岛海博生物技术有限公司。

1.2 仪器与设备

LRH-250 生化培养箱, 上海一恒有限公司; TDL-80-2B 离心机, 上海安亭科学仪器厂; UH5300 紫外可见分光光度计, 日本日立有限公司; YP1002N 电子天平, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司; DL-CJ-INDII 超净工作台, 东联哈尔有限公司; LDZX-75KB 立式压力蒸汽灭菌器, 上海申安医疗器械厂; TA-XTPlus 质构仪, 英国 Stable Micro System 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品制备

将鲜活鲢鱼迅速敲头致死, 去掉头尾、内脏、鳞、骨刺等后洗净, 加工成厚度约 1 cm 的鱼块样品, 每块质量约为 (30±2.0) g, 装入蒸煮袋中密封, 放于锅内水煮, 煮至鱼块中心温度达 70 °C。处理后的样品置于冰盒中保存, 并送往武汉爱邦高能技术有限公司进行电子束辐照。预实验辐照剂量设为 0、4、6、8 和 10 kGy, 根据预实验结果, 剔除对比度较低的 6 kGy 组和样品汁液流失严重的 10 kGy 组, 选择辐照剂量 0、4、8 kGy 进行正式实验。样品经辐照处理后保存于冰盒中送回实验室, 分别贮藏于常温 (25 °C) 和 4 °C 下保存, 并在 3、5、7 d 时分别对鲢鱼块进行取样检测。

1.3.2 菌落总数的测定

参照 GB 4789.2-2016 《食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定》进行测定。称取 25 g 搅碎后的鲢鱼肉置于盛有 225 mL 生理盐水的无菌三角瓶内, 摇晃均匀, 制成原液样品。用 1 mL 无菌吸管吸取原液 1 mL, 沿管壁缓慢注入盛有 9 mL 稀释液的无菌试管中, 用无菌吸管反复吹打使其混合均匀, 制成 10^{-1} 样品均液, 按照此方法依次制得 10^{-2} 、 10^{-3} 样品均液。取各梯度样品均液 1 mL 放入无菌平板中, 倒入灭菌后的 PCA 培养基, 微微摇晃均匀, 在 30 °C 微生

物培养箱中培养 72 h, 取出计数。

1.3.3 pH 值的测定

取 4 g 鱼肉捣碎后加入 40 mL 蒸馏水, 充分振荡后静置 20 min, 过滤后取滤液, pH 计直接测定, 实验重复 3 次, 结果取平均值。

1.3.4 硫代巴比妥酸 (TBA) 值的测定

参考谢晶等^[14]方法。准确称取鲢鱼块 5 g, 切碎放置离心管中, 加入 25 mL 20% 三氯乙酸溶液和 20 mL 蒸馏水, 静置 1 h。采用 2,000 r/min 离心 10 min, 过滤后取滤液, 用双蒸水定容至 50 mL, 取 5 mL 滤液置试管中, 并加入 5 mL 0.02 mol/L 的硫代巴比妥酸 (TBA) 溶液, 将试管放入沸水浴中反应 20 min, 取出, 静置冷却, 待冷却后采用分光光度计在 532 nm 处测得吸光度 A 。以蒸馏水取代滤液为空白样。硫代巴比妥酸值 (B , mg/mg) 的测定计算公式为:

$$B=0.078A \quad (1)$$

1.3.5 过氧化值 (POV) 的测定

参照 GB 5009.227-2016《食品中过氧化值的测定》中第一法: 滴定法测定。计算结果以重复性条件下获得的 3 次独立测定结果的算术平均值表示。

1.3.6 挥发性盐基氮 (TVB-N) 的测定

参照 GB 5009.228-2016《食品中挥发性盐基氮的测定》中第一法: 半微量定氮法测定。实验结果以重复性条件下获得 3 次独立测定结果的算术平均值表示。

1.3.7 质构的测定

将鲢鱼块沿肌肉纤维方向切成 1.5 cm×1.5 cm×1.5 cm 的正方体状, 使用 TA-XTPlus 质构仪测定鲢鱼块常温和 4 °C 条件下贮藏 7 d 时的质构特性, 每组平行测定 3 次取平均值。参数设定^[15]: 探头型号 P/36R, 模式 TPA, 压缩比 50%, 测前、测中和返回速率均为 1 mm/s, 两次下压的时间间隔为 5 s, 下压距离 6 mm, 触发力设定 Auto 5 g。选取回复性、内聚性、咀嚼性、胶粘性、弹性、硬度 6 个指标进行分析。

1.4 数据分析

采用 Origin 2019 软件作图, SPSS 26.0 及 Microsoft Office Excel 2016 软件进行数据统计分析, 以平均值±标准偏差 (Mean±SD) 表示, 运用方差分析法 (ANOVA) 进行显著性分析, 显著差异水平取 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 辐照剂量及贮藏温度对鲢鱼块菌落总数的影响

将辐照鲢鱼块与未辐照组贮藏 3、5、7 d 后进行菌落总数的检测, 如图 1 所示。参照 GB 2726-2016《食品安全国家标准熟肉制品》标准, 常温贮藏第 5、7 d 与 4 °C 贮藏第 7 d, 菌落总数分别为 5.60、6.93、5.26 lg cfu/g, 超过熟肉制品最高安全限量 5 lg cfu/g。常温贮藏条件下, 相同贮藏时间, 不同辐照剂量之间差异显著 ($P<0.05$), 4 kGy 辐照组菌落总数高于 8 kGy 辐照组; 当贮藏时间为 7 d 时, 各辐照处理间菌落总数高于第 3、5 d。4 °C 贮藏条件下, 各辐照剂量菌落总数显著低于常温贮藏 ($P<0.05$), 相同辐照剂量, 不同贮藏时间菌落总数差异显著 ($P<0.05$), 8 kGy 辐照组菌落总数低于对照组和 4 kGy 辐照组。电子束辐照可以有效降低鲢鱼块的菌落总数, 这是由于电子束辐照致使鲢鱼块中微生物细胞的 DNA 被电离和激发, 引起细胞正常功能及代谢繁殖等功能发生不可逆的变化, 从而使微生物细胞丧失繁殖能力或死亡^[16]。综上所述, 电子束辐照和低温可以有效抑制鲢鱼块中微生物的增长, 其中 8 kGy 辐照剂量比 4 kGy 辐照剂量的杀菌效果更强。

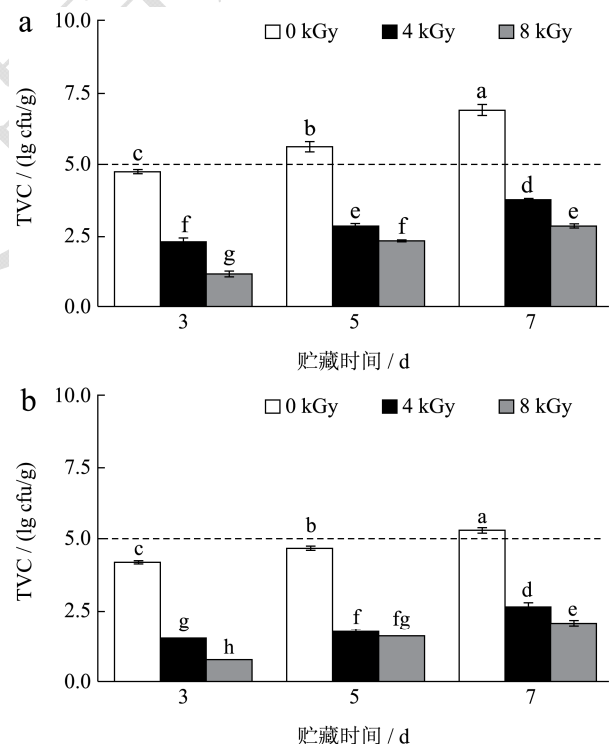


图 1 常温 (a) 和 4 °C (b) 贮藏下辐照剂量对鲢鱼块 TVC 值的影响

Fig.1 Effect of different irradiation dose on TVC value of silver carp cubes stored at room temperature (a) and 4 °C (b)

注: 不同小写字母表示各辐照处理间差异显著 ($P<0.05$)。

2.2 辐照剂量及贮藏温度对鲢鱼块 pH 值的影响

pH 值大小在一定程度上反映了鱼肉的贮藏品质

和鲜度。电子束辐照对鲢鱼块 pH 值的影响如图 2 所示。在不同贮藏温度下, 鲢鱼肉的 pH 值处于 6.2~6.9 之间, 无明显变化; 同一辐照剂量处理后鲢鱼块 pH 值在不同贮藏时间皆差异显著 ($P<0.05$)。当贮藏时间为 5 d 时, 各组 pH 值开始下降; 贮藏时间为 7 d 时, pH 值上升, 4 kGy 辐照组 pH 值达到最大值并与贮藏 3 d 对照组之间差异显著 ($P<0.05$)。pH 值先降低的主要原因是肌肉无氧呼吸消耗糖原产生乳酸等酸性物质, 而鱼肉中的微生物降解蛋白质等大分子物质产生碱性含氮物质造成了后期 pH 值的升高^[17]。

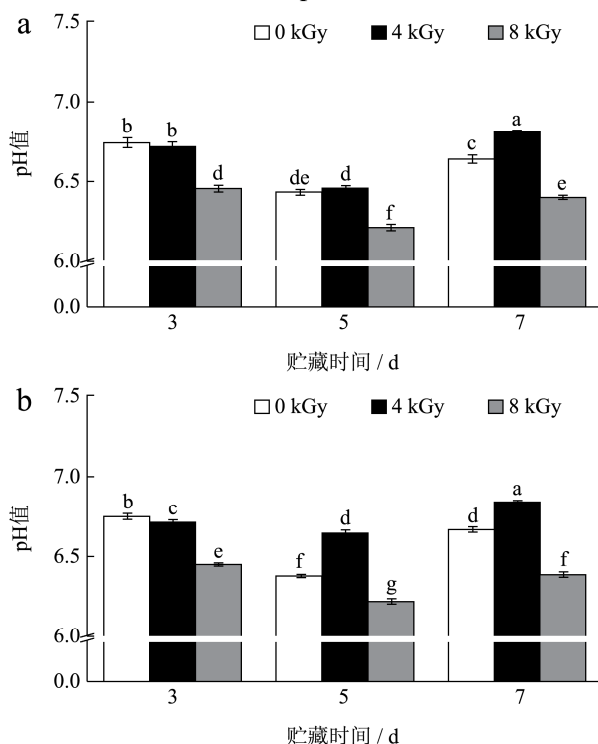


图 2 常温 (a) 和 4 °C (b) 贮藏下辐照剂量对鲢鱼块 pH 值的影响

Fig.2 Effect of different irradiation dose on pH value of silver carp cubes stored at room temperature (a) and 4 °C (b)

注: 不同小写字母表示各辐照处理间差异显著 ($P<0.05$)。

在常温贮藏第 3 d 与第 5 d, 未辐照组与 4 kGy 辐照组的 pH 值差异不显著 ($P>0.05$), 与 8 kGy 辐照组的 pH 值差异显著 ($P<0.05$)。在贮藏温度为 4 °C 时, 相同贮藏时间, 不同辐照剂量之间 pH 值差异显著 ($P<0.05$)。贮藏过程中 pH 值的生长速度与鱼肉腐败程度有关, 上升趋势越慢说明鱼肉贮藏保鲜效果越好^[18]。8 kGy 辐照组在不同贮藏温度下, 随着贮藏时间增加, pH 增长趋势低于对照组和 4 kGy 辐照组。以上结果表明, 贮藏温度对 pH 值的影响不大, 不同辐照剂量对鲢鱼块影响效果有一定的差异, 当辐照剂量为 8 kGy 时, 可有效降低鲢鱼块 pH 值。

2.3 辐照剂量及贮藏温度对鲢鱼块 TBA 值的影响

TBA 值是表征脂肪氧化的一个重要指标, 它表示脂肪氧化酸败的程度^[19]。如图 3 所示, 在不同贮藏温度下, 当贮藏时间为 5 d 时, 各组 TBA 值达到最高, 辐照组 TBA 值高于未辐照组, 4 kGy 与 8 kGy 辐照组之间无显著性差异 ($P>0.05$), 辐照组与对照组差异显著 ($P<0.05$)。当贮藏时间为 7 d 时, 各组 TBA 值最小, 对照组与 4 kGy 辐照组之间无显著差异 ($P>0.05$), 与 8 kGy 辐照组差异显著 ($P<0.05$)。自由基与氧气发生反应生成过氧化物是脂质氧化的典型过程。电子束辐照导致鱼肉中自由基含量增加从而加速了脂质自动氧化进程, 使得鱼肉的 TBA 值上升^[20]。辐照剂量越高, 电子束辐照产生的自由基越多, 脂质氧化速度越快^[21], 这是 8 kGy 辐照组 TBA 值比 4 kGy 辐照组和对照组高的原因。而贮藏后期 TBA 值下降可能是和自由基与氧气生成的挥发性氧化物含量的减少有关^[22], 这与蒋慧亮等^[23]的研究结果一致。

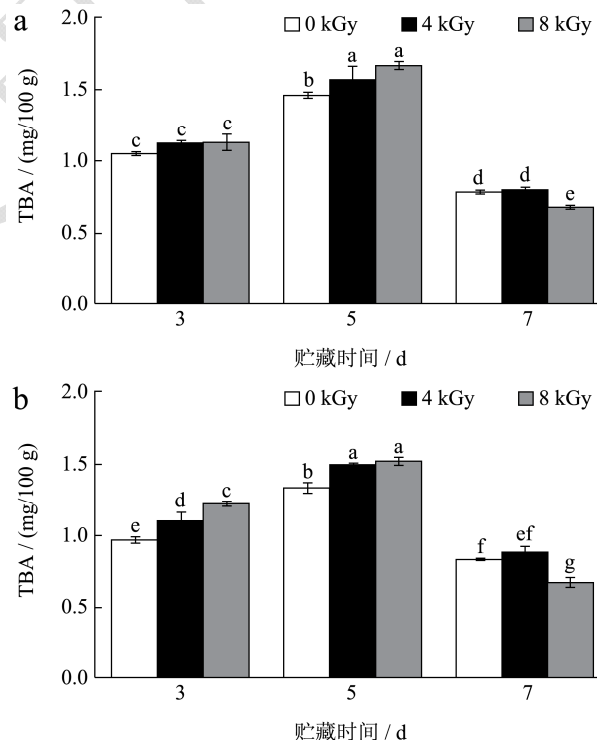


图 3 常温 (a) 和 4 °C (b) 贮藏下辐照剂量对鲢鱼块 TBA 值的影响

Fig.3 Effect of different irradiation dose on TBA value of silver carp cubes stored at room temperature (a) and 4 °C (b)

注: 不同小写字母表示各辐照处理间差异显著 ($P<0.05$)。

2.4 辐照剂量及贮藏温度对鲢鱼块 POV 值的影响

POV 值是脂肪一级氧化产物的衡量指标,能表征脂肪初期氧化的程度^[24]。图 4 表明,不同贮藏温度下各辐照组 POV 值随贮藏时间的增加而增加,且同一辐照剂量在不同贮藏时间下差异显著 ($P<0.05$)。4 °C 组 POV 值显著低于常温组 ($P<0.05$),说明低温可以有效减缓鲢鱼块氧化速度。除 4 °C 贮藏第 5 天外,4 kGy 和 8 kGy 辐照对鱼块 POV 值的影响均不显著 ($P>0.05$)。贮藏第 7d 时,常温各剂量组相比第 3 天的 POV 值分别上升了 0.69、0.54、0.57 g/100 g, 4 °C 各剂量组相比于第 3 天的 POV 值分别上升了 0.54、0.44、0.46 g/100 g; 表明虽然经辐照处理后鲢鱼块 POV 值上升,但相较于未辐照组上升缓慢。在 4 °C 贮藏时,鲢鱼块经 4 kGy 辐照能更好的抑制 POV 值的上升。而 POV 值与图 4 中 TBA 值在贮藏时间为 7 d 时的趋势不一致,原因可能与 POV 值不产生挥发性氧化物有关。综上,电子束辐照对鲢鱼块 POV 值的上升起到一定减缓作用,且采用 4 kGy 电子束辐照配合 4 °C 贮藏其保鲜效果最佳。

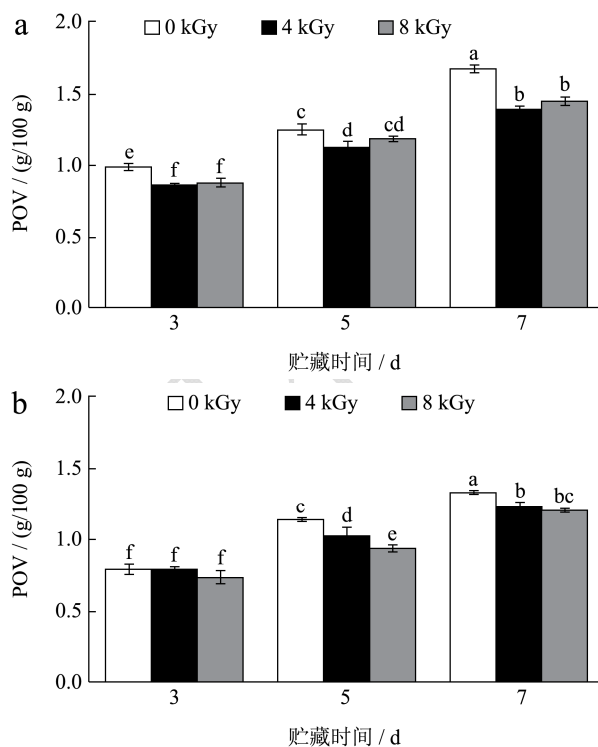


图 4 常温 (a) 和 4 °C (b) 贮藏下辐照剂量对鲢鱼块 POV 值的影响

Fig.4 Effect of different irradiation dose on POV value of silver carp cubes stored at room temperature (a) and 4 °C (b)

注: 不同小写字母表示各辐照处理间差异显著 ($P<0.05$)。

2.5 辐照剂量及贮藏温度对鲢鱼块 TVB-N 值的影响

肉类蛋白质被自身的酶或腐败微生物分解而产生氨或胺类等碱性含氮物质会影响 TVB-N 值的大小, TVB-N 值含量越高说明腐败程度越大^[25,26]。根据 GB 10136-2015 《食品安全国家标准动物性水产制品》规定,鲢鱼肉的 TVB-N 值 ≤ 限定值 30 mg/100 g)。由图 5 可知,未辐照常温组在贮藏第 7 天时 TVB-N 值达到了 32.15 mg/100 g,已经超出可食用标准。在不同的贮藏温度下,4 °C 贮藏 TVB-N 值低于常温贮藏,辐照组相较于未辐照组其 TVB-N 值显著降低 ($P<0.05$),但不同辐照剂量间 TVB-N 值差异不显著 ($P>0.05$)。汪经邦等的研究结果表明,微生物是食品贮藏过程中引起 TVB-N 值升高的主要原因,低温可有效抑制微生物的生长与繁殖从而降低鱼肉的 TVB-N 值^[27]。随着贮藏时间的增加,各组 TVB-N 值均上升,但辐照组上升速度明显低于未辐照组,说明辐照可以有效抑制鲢鱼块 TVB-N 值的上升;该结果与郭红霞等^[28]电子束辐照处理对三文鱼品质影响的研究结果相符。

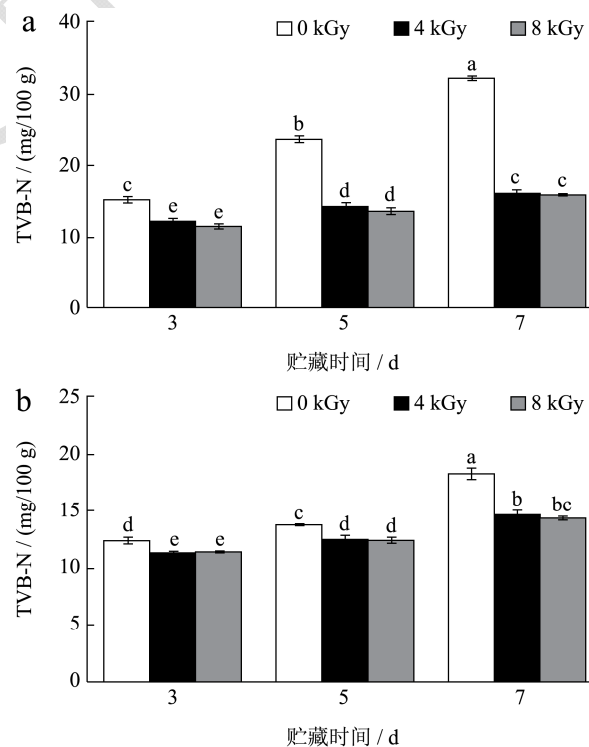


图 5 常温 (a) 和 4 °C (b) 贮藏下辐照剂量对鲢鱼块 TVB-N 值的影响

Fig.5 Effect of different irradiation dose on TVB-N value of silver carp cubes stored at room temperature (a) and 4 °C (b)

注: 不同小写字母表示各辐照处理间差异显著 ($P<0.05$)。

2.6 辐照剂量及贮藏温度对鲢鱼块质构的影响

将对照组和辐照后的鲢鱼肉在不同贮藏温度下贮藏 7 d 后进行质构的测定,从表 1 可以看出,4 kGy 辐照组与未辐照组相比,硬度、弹性、咀嚼性、回复性、胶粘性差异均不显著 ($P>0.05$),8 kGy 辐照组与未辐照组相比,硬度、咀嚼性、回复性、胶粘性差异均不显著 ($P>0.05$)。内聚性反映样品分子或各结构要素间的结合作用的强弱及抵抗受损保持自身完整的能力,内聚性越高,鱼肉总体越完整,咀嚼时越细腻,其口感也越好^[29,30]。4 kGy 辐照组内聚性低于未辐照组和 8 kGy 辐照组,说明未辐照组和 8 kGy 辐照组鲢鱼块的口感优于 4 kGy 辐照组。肉的硬度、咀嚼性等与肉品嫩度呈负相关^[31]。8 kGy 辐照组硬度、咀嚼性、低于 4 kGy 辐照组,说明 8 kGy 辐照组嫩度大于 4 kGy 辐照组;而 8 kGy 辐照组的内聚性、硬度、咀嚼性和未辐照组差异不显著 ($P>0.05$),综上,常

温贮藏下辐照前后鲢鱼块质构品质差别不大。

由表 2 可知,相较于未辐照组,辐照处理对鲢鱼块质构的影响较大;辐照组间大部分指标差异显著 ($P<0.05$)。硬度、弹性、咀嚼性随着辐照剂量的增加而显著增加 ($P<0.05$),由此可知 4 kGy 辐照组鲢鱼块嫩度高于 8 kGy 辐照组,口感更好。回复性反映样品在压缩状态下恢复原形状的能力^[32],不同辐照剂量间回复性指标没有显著性差异 ($P>0.05$)。鲢鱼肌肉间结合力的大小可由胶粘性来体现,胶粘性越大,剪切食物时最先感触到的抵抗力越大。胶粘性呈现出先降低后升高的趋势,8 kGy 辐照组胶粘性大于 4 kGy 辐照组。钮晓艳等^[33]发现咀嚼度、弹性及胶粘性可作为评价电子束辐照对鱼肉样品影响的重要指标。结合表 1、2 可知,与常温贮藏相比,4 °C 贮藏条件下辐照剂量为 4 kGy 时鱼块硬度、咀嚼性、胶粘性较小,弹性较高,鱼块质地更优。因此就本实验结果而言,4 °C、4 kGy 为鲢鱼块最佳贮藏温度和最佳辐照剂量。

表 1 常温贮藏 7 d 不同辐照剂量对鲢鱼块质构的影响

Table 1 Effects of different irradiation doses on the texture of silver carp cubes stored at room temperature for 7 days

剂量/kGy	硬度/g	弹性/%	咀嚼性	内聚性	回复性/%	胶粘性
0	4 096.29±190.63 ^{ab}	49.13±2.34 ^b	967.24±54.32 ^a	0.51±0.02 ^a	17.22±0.85 ^a	2 062.50±76.68 ^{ab}
4	4 349.69±126.41 ^a	51.83±1.23 ^b	991.00±82.13 ^a	0.46±0.02 ^b	15.56±0.50 ^a	2 187.95±87.61 ^a
8	3 720.47±266.29 ^b	69.68±1.52 ^a	900.75±73.11 ^a	0.50±0.01 ^a	15.45±0.91 ^a	1 876.82±147.06 ^b

注:同列数据不含相同字母,表示不同剂量之间差异显著 ($P<0.05$)。下表同。

表 2 4 °C 贮藏 7 d 不同辐照剂量对鲢鱼块质构的影响

Table 2 Effects of different irradiation doses on the texture of silver carp cubes stored at 4 °C for 7 days

剂量/kGy	硬度/g	弹性/%	咀嚼性	内聚性	回复性/%	胶粘性
0	1 855.30±106.11 ^c	31.50±1.25 ^c	458.95±32.02 ^c	0.75±0.04 ^a	29.43±0.75 ^a	1 333.73±104.27 ^b
4	2 781.22±97.41 ^b	68.28±1.79 ^b	799.53±17.06 ^b	0.43±0.01 ^c	15.32±0.48 ^b	1 200.63±90.27 ^b
8	4 676.04±79.25 ^a	74.89±3.30 ^a	1 534.42±64.68 ^a	0.50±0.01 ^b	16.69±1.05 ^b	2 236.24±203.53 ^a

3 结论

本文在不同辐照剂量及不同贮藏温度下处理熟制鲢鱼块,并通过测定菌落总数、pH 值、TBA 值、POV 值、TVB-N 值及质构特性等来评价其贮藏保鲜效果。结果表明,辐照可有效减少鲢鱼块中微生物的数量,且随着辐照剂量的增加灭菌效果越显著。辐照剂量为 8 kGy 时会降低鲢鱼块的 pH 值,8 kGy 辐照组 pH 值低于 4 kGy 辐照组,贮藏时间为 7 d 时 4 kGy 辐照组 pH 值达到最高。电子束辐照处理会促进鲢鱼块 TBA 值的增加,抑制 POV 值、TVB-N 值的上升,但不同辐照剂量之间差异不大。通过对鲢鱼块质构的影响可以发现,不同辐照剂量在常温贮藏下对鲢鱼块质构影响不明显;在 4 °C、4 kGy 贮藏条件下,鱼块质构品质优于常温贮藏鱼块。不同贮藏温度对 pH 值和 TBA

值的影响不显著,而在 4 °C 贮藏条件下,鱼肉 POV 值、TVB-N 值、菌落总数及质构特性指标更好。综上所述,选择 4 °C、4 kGy 辐照剂量为鲢鱼块最佳贮藏保鲜条件,研究结果可为水产品辐照贮藏保鲜提供理论依据。

参考文献

- [1] 农业部渔业局.中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2021
- [2] Shen X L, Li T, Li X H, et al. Dual cryoprotective and antioxidant effects of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) protein hydrolysates on unwashed surimi stored at conventional and ultra-low frozen temperatures [J]. LWT - Food Science and Technology, 2022, 153: 112563
- [3] 徐新国.鲢鱼的生活习性及其养殖技术[J].现代畜牧科技,2019,

- 1:28-29
- [4] 吴锁连,康怀彬,李冬姣.水产品保鲜技术研究现状及应用进展[J].安徽农业科学,2019,47(22):4-6
- [5] Gautam R K, Venugopal V. Electron beam irradiation to control biohazards in seafood [J]. Food Control, 2021, 130: 108320
- [6] Ravindran R, Jaiswal A K. Wholesomeness and safety aspects of irradiated foods [J]. Food Chemistry, 2019, 285: 363-368
- [7] Lung H M, Cheng Y C, Chang Y H, et al. Microbial decontamination of food by electron beam irradiation [J]. Trends in Food Science & Technology, 2015, 44(1): 66-78
- [8] Feng X, Jo C, Nam K C, et al. Impact of electron-beam irradiation on the quality characteristics of raw ground beef [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2019, 54: 87-92
- [9] Jo Y, An K A, Arshad M S, et al. Effects of e-beam irradiation on amino acids, fatty acids, and volatiles of smoked duck meat during storage [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2018, 47: 101-109
- [10] Derakhshan Z, Oliveri Conti G, Heydari A, et al. Survey on the effects of electron beam irradiation on chemical quality and sensory properties on quail meat [J]. Food and Chemical Toxicology, 2018, 112: 416-420
- [11] Zhang H F, Wang W, Wang H Y, et al. Effect of e-beam irradiation and microwave heating on the fatty acid composition and volatile compound profile of grass carp surimi [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2017, 130: 436-441
- [12] Yu Q, Pan H, Qian C, et al. Determination of the optimal electron beam irradiation dose for treating shrimp (*Solenoceramelantho*) by means of physical and chemical properties and bacterial communities [J]. LWT - Food Science and Technology, 2022, 153: 112539
- [13] Xu D, Zhang H, Zhang L, et al. Effects of electron beam irradiation on quality of weever fillets during refrigerated storage [J]. Food Frontiers, 2021, 2(4): 519-526
- [14] 谢晶,杨胜平.生物保鲜剂结合气调包装对带鱼冷藏货架期的影响[J].农业工程学报,2011,27(1):376-382
- [15] Di Monaco R, Cavella S, Masi P. Predicting sensory cohesiveness, hardness and springiness of solid foods from instrumental measurements [J]. Journal of Texture Studies, 2008, 39(2): 129-149
- [16] 王宁,王晓拓,丁武,等.辐照剂量率对牛肉脂肪和蛋白氧化及蛋白特性的影响[J].现代食品科技,2015,31(8):122-128
- [17] 白婵,许萍,黄敏,等.辐照结合复配保鲜剂对鲈鱼贮藏品质的影响[J].肉类研究,2021,35(6):50-56
- [18] 白婵,耿胜荣,徐晨,等.不同剂量率 ^{60}Co 源与电子加速器对草鱼辐照保鲜效果影响[J].食品工业科技,2017,38(9): 333-338
- [19] 杨胜平,谢晶,佟懿,等.壳聚糖结合茶多酚涂膜保鲜带鱼的效果[J].江苏农业学报,2010,26(4): 818-821
- [20] 哈益明,王锋.辐射诱导冷却肉脂肪氧化机理与抑制方法研究[J].辐射研究与辐射工艺学报,2006,5:257-261
- [21] 蓝碧锋,刘宗敏,白婵,等.不同剂量辐照对鲈鱼调理品保鲜效果的研究[J].食品科技,2020,45(5):118-122
- [22] 张晗,吕鸣春,梅卡琳,等.电子束辐照对鲈鱼肉杀菌保鲜效果及品质的影响[J].食品科学,2018,39(21):66-71
- [23] 蒋慧亮,顾玉,杨絮,等.电子束辐照对蚌肉的保鲜效果[J].食品工业科技,2020,41(24):272-276,285
- [24] 刘芳,王超,杨菊,等.油脂酸价和过氧化值检测方法的研究进展[J].食品安全质量检测学报,2019,10(14):4478-4482
- [25] 陈方雪,周明珠,邓祎,等.电子束辐照处理对鲷鱼冷藏期间品质的影响[J].肉类研究,2021,35(6):57-62
- [26] 戚文元,王海宏,岳玲,等.电子束辐照杀菌对罗非鱼片冷藏期和感官品质的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2020,48(5):138-146
- [27] 汪经邦,李沛韵,谢晶,刘大勇.不同贮藏温度对暗纹东方鲀水分迁移、质构和色泽的影响及其货架期预测[J].食品与发酵工业,2020,46(6):73-81
- [28] 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):14-9,24
- [29] 王智能,高立琼,崔文利,等.黄鳝片冷冻保藏的质构变化与控制[J].食品工业,2019,40(5):214-219
- [30] 张婷,吴燕燕,李来好,等.咸鱼品质的质构与感官相关性分析[J].水产学报,2013,37(2):303-310
- [31] 夏建新,王海滨,徐群英.肌肉嫩度仪与质构仪对燕麦复合火腿肠测定的比较研究[J].食品科学,2010,31(3):145-149
- [32] 于慧春,李欣,张仲欣,等.采用质构仪分析氯化钙对牛肉品质的影响[J].食品研究与开发,2009,30(5):35-38
- [33] 鉏晓艳,王伟琼,熊光权.糊数学评价和主成分分析电子束辐照处理后的鲈鱼品质[J].食品科学,2017,38(15):38-42