

电子束辐照后即食小龙虾贮藏品质的变化

谌玲薇^{1,2}, 杜柳^{1,2}, 占智敏¹, 刘栋银^{1,3}, 熊光权², 乔宇^{2*}, 汪超^{1*}, 汪兰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) (3. 海南大学食品科学与工程学院, 海南海口 570228)

摘要: 该研究探讨了 4 kGy 电子束辐照 (EBI4) 与 8 kGy 电子束辐照 (EBI8) 处理对于即食小龙虾尾在冷藏条件下贮藏期内品质的影响。测定了贮藏期内菌落总数、TVB-N、TBA、pH、感官品质的变化, 以及贮藏前后电子鼻的变化。结果表明, 4 kGy 与 8 kGy 电子束辐照处理后, 都有效抑制了微生物的生长繁殖, 在贮藏期结束时, 微生物仍未超过限定值, 分别为 4.64 lg CFU/g 和 4.26 lg CFU/g。且在贮藏期内 TVB-N 值得到有效抑制, 能较好的保持虾肉不致腐败。与 8 kGy 相比, 4 kGy 辐照处理能更好保持即食小龙虾的品质, 脂肪氧化程度更低, pH 值变化与未经辐照的小龙虾更为相近, 且在贮藏期内感官评价可接受度更高。经过 4 kGy 电子束辐照后与新鲜即食小龙虾气味更为相近, 对于风味的保留更好。因此, 在实际生产中, 选取 4 kGy 电子束辐照处理结合冷藏更有利保持即食小龙虾尾的品质。

关键词: 克氏原螯虾; 电子束辐照; 贮藏; 品质

文章编号: 1673-9078(2023)09-162-167

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.9.0892

Changes in Storage Quality of Ready-to-eat Crayfish after Electron Beam Irradiation

SHEN Lingwei^{1,2}, DU Liu^{1,2}, ZHAN Zhimin¹, LIU Dongyin^{1,3}, XIONG Guangquan², QIAO Yu^{2*}, WANG Chao^{1*}, WANG Lan²

(1.Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China) (2.Institute of Agricultural Products Processing and Nuclear Agriculture Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)
(3.School of Food Science and Engineering, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: In this study, the effects of 4 kGy electron beam irradiation (EBI4) and 8 kGy electron beam irradiation (EBI8) on the quality of ready-to-eat crayfish tail during the storage under cold conditions were studied. The changes in total colony count, TVB-N, TBA, pH and sensory quality, as well as the changes detected by electronic nose before and after storage, were determined. The results showed that the growth and reproduction of microorganisms were effectively inhibited by 4 kGy and 8 kGy electron beam irradiation, with the number of microorganisms still not exceeding the limit values at the end of the storage period (which were 4.64 and 4.26 lg CFU/g, respectively). During the storage period, TVB-N value was effectively inhibited, and the shrimp meat was prevented from spoilage. Compared with 8 kGy, 4 kGy irradiation could better maintain the quality of ready-to-eat crayfish and reduce the degree of fat oxidation, with the change of pH value resembling more the change of non-irradiated crayfish, and the sensory acceptance was higher during the storage period. After 4 kGy electron beam irradiation, the smell of crayfish resembled more that of the untreated ready-to-eat crayfish, with its flavor being retained better. Therefore, in actual production, 4 kGy electron beam irradiation treatment combined with refrigeration is more beneficial to maintaining the quality of ready-to-eat crayfish tail.

引文格式:

谌玲薇, 杜柳, 占智敏, 等. 电子束辐照后即食小龙虾贮藏品质的变化[J]. 现代食品科技, 2023, 39(9): 162-167

SHEN Lingwei, DU Liu, ZHAN Zhimin, et al. Changes in storage quality of ready-to-eat crayfish after electron beam irradiation [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(9): 162-167

收稿日期: 2022-07-15

基金项目: 湖北省技术创新专项重大项目 (2019ABA087)

作者简介: 谌玲薇 (2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: 3491229625@qq.com

通讯作者: 乔宇 (1981-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: qiaoyu412@sina.com; 共同通讯作者: 汪超 (1978-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 高值化食品深加工, E-mail: 14352016@qq.com

Key words: *Procambarus clarkii*; electron beam irradiation; storage; quality

克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii*), 又称小龙虾。近年来, 以小龙虾为原料的各种产品在食品与餐饮业中发展十分迅速, 小龙虾第三产业蓬勃发展, 深受食客们的喜爱, 尤其是调味小龙虾。近两年受到新冠肺炎的影响, 小龙虾产业增长较为缓慢, 预制菜产业逐渐发展起来, 小龙虾第二产业有上升趋势。人们对于预制菜的关注点主要集中于其味道与贮藏时间, 因此, 调味小龙虾预制菜的贮藏问题是目前面临的主要问题之一。小龙虾在贮藏过程中的腐败变质主要是由于微生物的生长繁殖^[1], 也包括脂质氧化及蛋白质分解等问题。目前肉类贮藏方式主要集中在冷藏与冷冻, 冷杀菌或二者结合处理^[2]。

辐照作为一种快速环保的加工方法, 在工业生产中十分常见。电子束辐照 (Electron Beam Irradiation, EBI) 是一种新兴的食品非热处理加工方法, 随着其技术的发展成熟在食品加工中被广泛应用。与传统⁶⁰Co 射线辐照相比, 电子束辐照不产生放射性废物, 且辐照效率更高, 是更为绿色环保的辐照方式。电子束辐照常被用于食品加工中, Wang 等^[3]研究了电子束辐照对于山药特性的影响; Elias 等^[4]研究了电子束辐照对于树莓的保鲜特性; Brinda 等^[5]的研究表明辐照可以减少食品中的沙门氏菌; 在 Amin 等^[6]的概述中也说明了对于杀灭微生物有良好的效果, 对于食品储存时间的延长是有利的。

冷藏有利于食品贮藏期的延长, 在食品行业中的应用已十分成熟, 可以有效抑制微生物的生长繁殖, 减缓脂肪氧化的程度, 对于食品的品质维持有良好的效果, 尤其在在乳制品与肉制品保藏中应用更为广泛。

本研究选取电子束辐照与冷藏结合, 探究贮藏期间虾肉品质变化, 对即食小龙虾预制菜的工业化具有一定的现实意义, 也为小龙虾的工业生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

小龙虾购于武汉市洪山区金志鲜鱼摊, 将鲜活的小龙虾置于碎冰中并迅速运回实验室; 小苏打, 食品级, 购于武汉市洪山区武商超市; 食用油、姜、蒜、麻辣小龙虾调料, 购于武汉市洪山区武商超市。

盐酸、硫代巴比妥酸、氯化镁、乙醇、冰醋酸、氯化钠、三氯乙酸、硼酸、甲基红、溴甲酚绿, 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 平板计数琼脂, 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

TGL-24MC 台式高速冷冻离心机, 长沙平凡仪器仪表有限公司; PEN3 电子鼻, 德国 AIRSENSE 公司; kQ5200DE 超声波清洗器, 昆山市超市仪器有限公司; Bue bard 电热恒温培养箱; UV-5600 分光光度计, 尤尼柯 (上海) 仪器有限公司; pH 计, 赛多利斯科学仪器 (北京) 有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 即食小龙虾尾的制作

将新鲜小龙虾进行小苏打水溶液浸泡 1 h, 小苏打质量分数为 0.6%, 虾水比为 1:5, 之后人工进行刷洗清洗 3 次, 去掉虾头; 随后将虾尾沸水煮 5 min, 捞出控干水分; 锅内倒入油, 油热后放入姜片与蒜瓣爆香, 加入麻辣小龙虾调料, 随后倒入控干水分后的虾尾炒制油, 炒制过程大约 15 min, 完成后盛出放凉冷却后采用复合材料真空密封包装, 包装规格为 5 只/包。最后装入带有碎冰的泡沫箱进行 4 kGy 电子束辐照 (4 kGy Electron Beam Irradiation, EBI4) 处理和 8 kGy 电子束辐照 (8 kGy Electron Beam Irradiation, EBI8) 处理, 分别记为 EBI4 与 EBI8, 辐照后立即放进 4 °C 恒温保藏箱中进行为期 21 d 的贮藏。对照组为不辐照, 记为 UP, 刚经过处理的样品记为 Day0。贮藏期内每间隔三天测定。

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》, 结果表示为菌落总数的对数 (lg CFU/g)。每组样品平行测定三次。

1.3.3 挥发性盐基总氮 (TVB-N) 的测定

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》第一法, 每组样品平行测定三次。

1.3.4 硫代巴比妥酸值 (TBA) 的测定

参照 Salih 等^[7]测定硫代巴比妥酸值的方法。取小龙虾约 5 g 于含有 25 mL 超纯水的烧杯中, 混合均匀, 加入 25 mL 的 5% 三氯乙酸 (体积分数) 水溶液, 混合均匀, 在 4 °C 保温箱中下静置 30 min, 过滤; 用 5% 的三氯乙酸水溶液定容到 50 mL, 将上清液与三氯乙酸水溶液 (0.02 mol/L) 按 1:1 的比例混合均匀。置于 80 °C 恒温水浴锅中加热 40 min 保持微沸状态, 冷却至室温, 在 532 nm 条件下测定吸光度。硫代巴比妥酸值 (mg MDA/kg) 用丙二醛 (MDA) 的质量分数表

示。每组样品平行测定三次。

$$TBA = \frac{C \times 20}{5 \times m} \tag{1}$$

式中:

TBA——硫代巴比妥酸值;

C——丙二醛的质量, mg;

m——即食小龙虾样品的质量, g。

1.3.5 pH 值的测定

取 5 g 小龙虾虾尾肉剪碎, 加入 50 g 蒸馏水, 均质后离心, 取上清液采用校准后 pH 计测定。每组样品平行测定三次。

1.3.6 电子鼻的测定

参照周明珠等^[8]测定电子鼻的方法。在无其他刺激性气味的流通空气中, 用小型清洁绞肉机搅碎即食小龙虾, 准确称取碎肉样品 2.50 g, 放进 50 mL 的干

燥洁净进样瓶中。电子鼻测定条件依次为: 设置顶空平衡温度 40 ℃, 顶空平衡时间为 30 min, 注射针温度 50 ℃, 清洗 100 s, 进气量 150 mL/min, 测定 120 s。进行主成分分析 (PCA) 数据处理特征值的提取时间段设定为 107~110 s, 对特征时间段内的信息进行计算。每组样品平行测定三次。

1.3.7 感官评定

请 8 位食品专业的实验人员, 在测评前 2 h 内要求评定人员不食用刺激性食物, 测评过程中每完成一个样品评定后用超纯水进行漱口处理, 通过评分检验的方法对即食小龙虾进行感官评分, 所有鉴评人员的分数, 计算平均值作为即食小龙虾整体接受度的综合指标, 对其外观色泽、气味、肉质组织和整体可接受度进行评价。总分 100 分为最高评价, 小于 65 分为感官拒绝, 即综合评价表现为差。

表 1 即食小龙虾感官评价参考表

Table 1 Reference table for sensory evaluation of ready-to-eat crayfish

分值	评价
色泽 (30%)	差 (0~65 分) 虾壳异常虾红色, 出现黑斑, 虾肉颜色暗淡无光泽 合格 (65~85 分) 虾壳正常红色, 无明显或少许黑斑, 虾肉颜色暗淡 良好 (85~100 分) 虾壳呈现诱人红色, 虾肉伴有红油光泽感,
气味 (30%)	差 (0~65 分) 虾肉有明显腐臭味和辐照异常气味 合格 (65~85 分) 带有些许虾肉腥味, 无明显辐照异味 良好 (85~100 分) 诱人鲜虾香味, 无腥味及其异味
肉质组织 (40%)	差 (0~65 分) 外壳变软, 肉质腐烂软糜, 虾仁无定型 合格 (65~85 分) 虾壳正常, 虾肉弹性较差, 大致成型 良好 (85~100 分) 富有弹性, 肉质紧实, 肉壳连接紧密
整体接受值	差 (0~65 分) 色泽、气味、肉质组织都较差, 不可接受 合格 (65~85 分) 肉质组织可接受, 色泽或者气味表现一般 良好 (85~100 分) 色泽、气味、肉质组织都表现良好

1.3.8 数据处理

每个试验数据的结果用平均值±标准差来表示, 使用 SPSS 19 软件, 通过采用 Duncan's 法进行多重差异显著性分析, 其中: $P < 0.05$ 表示差异显著, $P > 0.05$ 表示差异不显著。使用 Win Muster 软件, 进行电子鼻主成分分析, 同时使用 Origin 2021 软件进行绘图处理。

2 结果与分析

2.1 菌落总数的变化

与物理、化学因素相比较, 生物因素, 尤其是微生物的生长繁殖, 是引起小龙虾食品腐败变质的主要原因之一。菌落总数能够直接反映食品被微生物污染的程度, 即食品腐败变质的程度^[14]。图 1 显示了不同辐照剂量下即食小龙虾尾在贮藏期内的菌落总数的变

化, 整体呈现上升的趋势 ($P < 0.05$)。未经辐照的即食小龙虾尾在贮藏前中期微生物生长繁殖较为迅速, 在第 9 天时已经达到熟肉卫生标准, 为 4.72 lg CFU/g; 在第 12 天时, 达到无公害水产品标准, 为 5.90 lg CFU/g。在贮藏后期微生物生长速度较为缓慢, 但已超过水产品微生物限定标准。经过 4 kGy 和 8 kGy 辐照处理后的即食虾微生物数量显著减少, 且 8 kGy 处理比 4 kGy 减少更加明显, 说明适当辐照剂量的增加对于微生物的杀灭更加有效, 可能会更好的延长食品的贮藏期, 这与 Gryczka 等^[9]的研究结果是一致的。Nam 等^[10]的研究表明, 辐照结合低温贮藏对于微生物的生长抑制有良好的效果。经过辐照后的小龙虾在贮藏期微生物生长较为缓慢, 可能是因为 4 kGy 以上电子束辐照剂量已经杀灭了大多数微生物, 在杨俊丽^[11]的研究中, 4 kGy 以上的电子束辐照剂量对于细菌, 霉菌及酵母

能有效抑制,符栋国^[12]关于山银花药材的研究也显示 4 kGy 以上的电子束辐照可有效杀灭山银花药材中的需氧菌,酵母菌等微生物。这说明 4 kGy 以上的电子束辐照对于食品的保存更加有利。

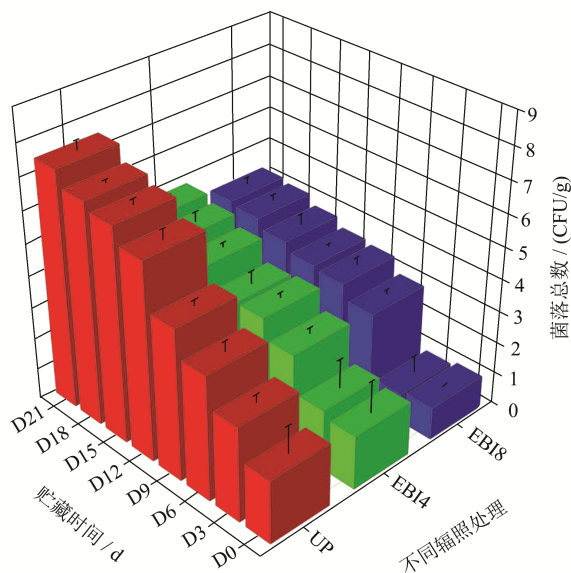


图1 辐照剂量对菌落总数的影响

Fig.1 Effect of irradiation dose on total number of bacteria

注: EBI4 表示 4 kGy 电子束辐照处理; EBI8 表示 8 kGy 电子束辐照处理; UP 为未辐照。下同。

2.2 挥发性盐基总氮的变化

TVB-N 常被用作鱼虾类水产品新鲜度和食用安全评价的重要指标,肉和鱼虾类等蛋白质含量丰富的食物,在一定条件下会分解自身的蛋白质与氨基酸,尤其是蛋氨酸和酪氨酸,产生氨及胺类等碱性物质,对食品的品质影响较大。根据 GB/T 2733-2005《鲜、冻动物性水产品卫生标准》,淡水虾类 TVB-N 限量为 20 mg/100 g。贮藏期间挥发性盐基总氮 (TVB-N) 的变化如图 2 所示。在刚辐照完后,不同剂量电子束处理的即食小龙虾尾 TVB-N 值分别为 4.34 mg/100、4.94 mg/100 g 和 5.23 mg/100 g, TVB-N 值随辐照剂量的增加而升高,可能是由于虾肉中的水分经辐照后会加速蛋白质的损伤,导致挥发性含氮物的增加^[9]。三组虾在贮藏期间的 TVB-N 值均逐步升高 ($P<0.05$),第 18 天时,未经辐照的 UP 组达到 20.24 mg/100 g,已超过水产品安全限制。经过辐照的即食小龙虾在贮藏期内一直保持较好的品质,并未超过限定值,这与蒋慧亮等^[13]的研究是一致的,可能是由于辐照抑制了微生物的生长繁殖,这与 Al-Masri 等^[14]的研究是一致的。在 Huang 等^[15]的研究中,辐照的生蛋黄与未辐照的蛋黄相比蛋白并无明显差异,且在辐照下形成的结构较少,辐照可以延长食品储藏时间。

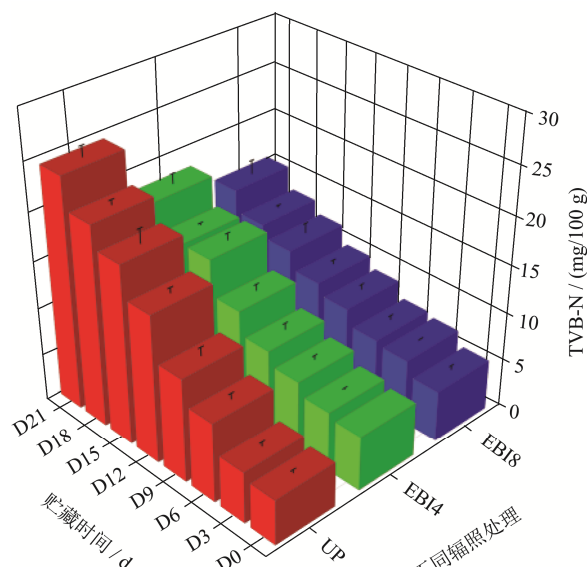


图2 辐照剂量对挥发性盐基氮的影响

Fig.2 Effects of irradiation dose on volatile base nitrogen

2.3 TBA 的变化

贮藏期内不同剂量辐照的即食小龙虾尾 TBA 值变化如图 3 所示。TBA 代表了食品中脂肪氧化的程度,氧化程度越高,对于食品的风味影响越大。在贮藏过程中,经过辐照处理 TBA 值均高于对照组,说明辐照能加速脂肪氧化,这与雷英杰等^[16]的研究是一致的。刚刚经 4 kGy 辐照后的小龙虾与对照组差别不大,但 8 kGy 辐照组高于 4 kGy 组与对照组,可能是由于较高剂量的电子束辐照对于脂肪氧化有一定的促进作用,这与 Peter 等^[17]的研究趋势是一致的。在贮藏期内对照组与 4 kGy 组的 TBA 值均呈现先上升后下降再上升的趋势。在贮藏前期氧化速率较快, TBA 值迅速上升,中期有所下降,这与刘燕等^[18]的研究结果是一致的。8 kGy 处理整体呈现上升趋势,说明高剂量的电子束辐照对于脂肪氧化的促进作用更加强烈^[19]。因此,选择 4 kGy 电子束辐照更利于即食小龙虾的储存。

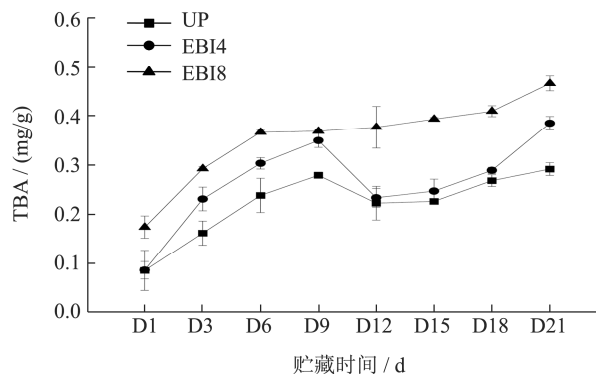


图3 辐照剂量对 TBA 的影响

Fig.3 Effects of irradiation dose on TBA

2.4 pH 的影响

图 4 显示了贮藏过程中 pH 值的变化。经过调味的小龙虾尾 pH 值较高，可能是由于调味料的作用导致虾肉整体 pH 值偏高。在贮藏前期，pH 值上升但速率较为平缓，可能是由于前期微生物生长导致，但同时冷藏降低了虾肉中酶和微生物对于蛋白质的分解作用^[20]。三种处理方式的 pH 值最大值均出现于贮藏中后阶段，而后 pH 值逐渐下降，可能是由于贮藏后期微生物生长速率缓慢^[21]，此时冷藏对于微生物的抑制作用高于微生物对蛋白质的分解作用，致使虾肉 pH 值并未一直上升。

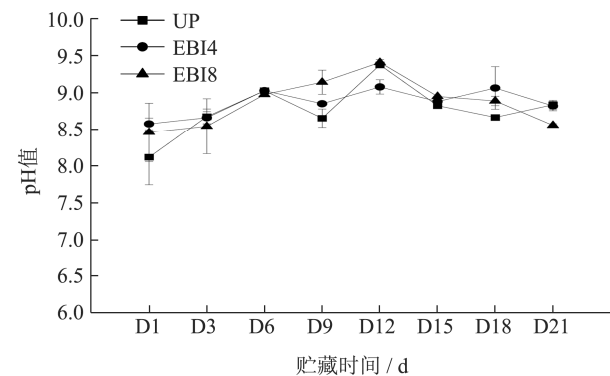


图 4 辐照剂量对 pH 的影响

Fig.4 Effects of irradiation dose on pH

2.5 电子鼻

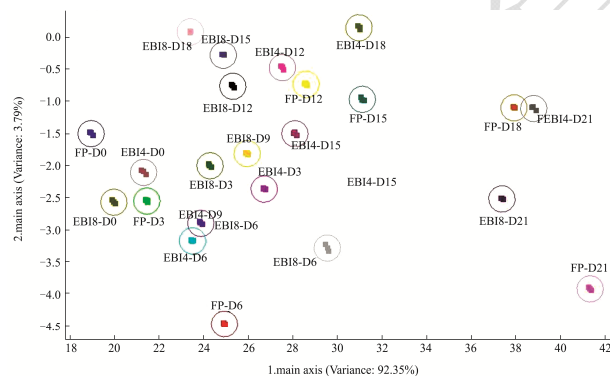


图 5 贮藏前后小龙虾气味的变化

Fig.5 Changes in crayfish odor before and after storage

辐照后即食小龙虾气味变化如图 5 所示。第一主成分 (PC1) 的贡献率为 99.41%，第二主成分 (PC2) 的贡献率为 0.52%，累计贡献率达到 99.93%，可认为图示样品间的气味关系为样品间实际存在的关系。图 5 显示，刚经过 4 kGy 辐照的与未经辐照的新鲜即食虾尾气味较为相近，而经过 8 kGy 辐照的小龙虾气味与其存在差异，这与 TBA 的结果是一致的，说明较低剂量的电子束辐照对于克氏原螯虾的风味改变不会太大，高剂量的电子束辐照对于食品的风味影响较

大，辐照会改变食品的风味，这与 Wei 等^[22]的研究是一致的。在贮藏中期，随着贮藏时间的增加，即食小龙虾尾气味有所变化但差异不大。经过贮藏期结束后的即食小龙虾尾气味差异明显，可能是由于经过贮藏期后，微生物的生长繁殖及酶和微生物对于蛋白质的分解导致的气味差异^[23]。

2.6 感官评定

表 2 显示了辐照对贮藏期内感官的影响。整体上 EBI4 感官更容易被接受，EBI8 可接受度偏低，这与卢佳芳等^[24]的研究趋势是一致的。随着贮藏时间的增加，三组即食小龙虾的可接受度逐渐降低，UP 组与经过辐照的 8 kGy 组在贮藏后期的可接受度综合表现较差，8 kGy 组为 63.28，已不可接受，这与 TBA 和电子鼻的结果是一致的。因此，在低温贮藏时，选取 4 kGy 电子束辐照对于即食小龙虾的风味品质更加有利。

表 2 贮藏期内感官品质的变化

Table 2 Changes in sensory quality during storage

贮藏时间	UP	EBI4	EBI8
D0	95.13±0.2797 ^{aA}	92.24±0.1908 ^{aB}	85.18±0.7279 ^{aC}
D3	92.21±0.8215 ^{bA}	91.84±1.0045 ^{aB}	83.17±1.0401 ^{bC}
D6	88.86±0.8117 ^{cA}	87.45±0.4140 ^{bB}	82.07±0.6214 ^{cC}
D9	85.36±0.4761 ^{dA}	89.17±0.0513 ^{cB}	79.41±0.4706 ^{dC}
D12	79.57±0.3502 ^{eA}	85.19±0.1250 ^{dB}	76.79±0.2937 ^{eC}
D15	74.23±0.0379 ^{fA}	84.81±0.1856 ^{dB}	74.81±0.1537 ^{fC}
D18	71.40±0.2689 ^{gA}	83.27±0.2608 ^{eB}	65.57±0.2261 ^{gC}
D21	69.17±0.2793 ^{hA}	80.14±0.2606 ^{fB}	63.28±0.2287 ^{hC}

注：同列右肩不同的小写字母表示组内具有显著差异 ($P<0.05$)，大写字母表示组间具有显著差异 ($P<0.05$)。

3 结论

电子束辐照作为冷处理杀菌方式已广泛应用于工业生产中。实验结论表明，经过 4 kGy 辐照处理结合冷藏处理既能延长小龙虾尾的贮藏期也能较好的保持即食小龙虾的风味品质，但较高剂量电子束辐照对于虾的风味会有一定的破坏，不宜食用。且与 8 kGy 辐照处理相比，经 4 kGy 电子束辐照的小龙虾脂肪氧化程度更低，感官评价较好，故在实际生产中，应选择 4 kGy 剂量电子束辐照更优。这对于即食小龙虾尾的工业生产具有一定实际意义。

参考文献

[1] CHEN Yidan, CHEN Hong, GONG Fangshuo, et al. A comparison of eating safety and quality of live and dead freshwater crayfish (*Procambarus clarkii*) at different stages

- [J]. Food Research International, 2022, 159: 111630.
- [2] YU Qi, PAN Huijuan, QIAN Chenru, et al. Determination of the optimal electron beam irradiation dose for treating shrimp (*Solenocera melanthero*) by means of physical and chemical properties and bacterial communities [J]. LWT - Food Science and Technology, 2022, 153: 112539.
- [3] WANG Gang, WANG Dan, QING Chuan, et al. Impacts of electron-beam-irradiation on microstructure and physical properties of yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) flour [J]. LWT - Food Science and Technology, 2022, 163: 113531.
- [4] M I Elias, J Madureira, P M P Santos, et al. Preservation treatment of fresh raspberries by e-beam irradiation [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2022, 66: 102487.
- [5] Joshi Brinda, Moreira Rosana G, Omac Basri, et al. A process to decontaminate sliced fresh cucumber (*Cucumis sativus*) using electron beam irradiation [J]. LWT - Food Science and Technology, 2018, 91: 95-101.
- [6] Amanda El-Rawas, Andrea Hvizdzak, Matthew Davenport, et al. Effect of electron beam irradiation on quality indicators of peanut butter over a storage period [J]. Food Chemistry, 2012, 133(1): 212-219.
- [7] Salih A, Smith D, Price J F, et al. Modified extraction 2-thiobarbituric acid method for measuring lipid oxidation in poultry [J]. Poultry Science, 1987, 66(9): 1483-1488.
- [8] 周明珠, 乔宇, 廖李, 等. 超高压处理不同时间对鲈鱼挥发性风味的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(12): 125-130.
- [9] Urszula Gryczka, Joana Madureira, Sandra Cabo Verde, et al. Determination of pepper microbial contamination for low energy e-beam irradiation [J]. Food Microbiology, 2021, 98: 103782.
- [10] Nam Hyun-A, Ramakrishnan Sudha Rani, Kwon Joong-Ho. Effects of electron-beam irradiation on the quality characteristics of mandarin oranges (*Citrus unshiu* (Swingle) Marcov) during storage [J]. Food Chemistry, 2019, 286: 338-345.
- [11] 杨俊丽. 高能电子束辐照对草莓贮藏品质的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2010.
- [12] 符国栋. 山银花药材电子束辐照贮藏研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- [13] 蒋慧亮, 王正云, 杨絮, 等. 气调包装结合电子束辐照对蚌肉的保鲜效果[J]. 现代食品科技, 2021, 37(3): 147-153.
- [14] Al-Masri M R. Effect of gamma irradiation on the microbial load chemical and sensory properties of borak as prepared meal [J]. Acta Alimentaria, 2007, 36(1): 15-25.
- [15] S Huang, T J Herald, D D Mueller. Effect of electron beam irradiation on physical, physicochemical, and functional properties of liquid egg yolk during frozen storage [J]. Poultry Science, 1997, 76(11): 1607-1615.
- [16] 雷英杰, 陈尚茂, 敬楹莹, 等. 电子束辐照处理对生鲜猪肉的保鲜作用[J]. 现代食品科技, 2021, 37(10): 136-144.
- [17] Peter Y Y Wong, A Nilmini Wijewickreme, David D Kitts. Fat content and ascorbic acid infusion influence microbial and physicochemical qualities of electron beam irradiated beef patties [J]. Food Chemistry, 2005, 89(1): 93-102.
- [18] 刘燕, 张曼纳, 卢娜霖, 等. 不同贮藏条件下熟制裸斑鱼的品质变化[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(9): 225-233.
- [19] 胡鹏, 王守经, 汝医, 等. 电子束辐照处理对扒鸡脂肪氧化的影响[J]. 中国食物与营养, 2011, 17(12): 26-28.
- [20] Meng D, Qin L, Ma L X, et al. Postmortem nucleotide degradation in turbot mince during chill and partial freezing storage [J]. Food Chemistry, 2020, 311: 125-900.
- [21] 高杨, 周国兴, 王洋, 等. 鲟鱼片 5 °C 托盘冷藏过程微生物理化及感官指标的变化[J]. 农产品加工(创新版), 2010, 7: 37-40.
- [22] JIA Wei, SHI Qingyun, ZHANG Rong, et al. Unraveling proteome changes of irradiated goat meat and its relationship to off-flavor analyzed by high-throughput proteomics analysis [J]. Food Chemistry, 2021, 337: 127806.
- [23] Johnson A M, Resurreccion A V A. Sensory profiling of electron -beam irradiated ready -to -eat poultry frankfurters [J]. LWT - Food Science and Technology, 2009, 42(1): 265-274.
- [24] 卢佳芳, 朱煜康, 徐大伦, 等. 不同剂量电子束辐照对花鲈鱼肉风味的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(12): 153-158.