网络出版时间:2019-11-04　15:57　　DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2020.05.017
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.s.20191101.0930.034.html

电子束辐照杀菌对罗非鱼片冷藏期和感官品质的影响

戚文元[1],王海宏[1],岳　玲[1],陈志军[1],颜伟强[1],
郑　琦[1],包英姿[2],张艳艳[3],孔秋莲[1]

(1 上海市农业科学院,上海 201401;2 上海束能辐照技术有限公司,上海 201401;
3 上海商学院,上海 201400)

[摘　要] 【目的】研究电子束辐照对罗非鱼片冷藏期间相关生物学指标和感官品质的影响,为冰鲜罗非鱼片物理冷杀菌保鲜提供参考。【方法】鲜活宰杀的罗非鱼片经 0,2,4,8 kGy 不同剂量电子束辐照后于 4 ℃冷藏 18 d,于 0,4,11,18 d 测菌落总数、大肠菌群、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、副溶血弧菌、挥发性盐基氮(TVBN)、色泽、鱼肉硬度、嗅感、pH 值。同时对 10 kGy 电子束辐照灭菌的罗非鱼肉糜接种病原菌(大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、副溶血弧菌),检测 0,0.4,0.8,1.2,1.6,2 kGy 电子束辐照后病原菌的存活率,确定电子束辐照 D_{10} 值。【结果】鲜活宰杀的罗非鱼片带菌量较高,菌落总数达 1.6×10^6 CFU/g,且大肠菌群、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、副溶血弧菌都有检出。电子束辐照杀灭病原菌效果良好,大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、副溶血弧菌的 D_{10} 值均小于 0.5 kGy。电子束辐照可显著抑制鱼片冷藏期间菌落总数增幅,减缓鱼肉硬度降幅。综合考虑感官品质因素,以 4 kGy 辐照保鲜罗非鱼片效果最佳。4 kGy 辐照结合 4 ℃冷藏,11 d 时罗非鱼片无大肠菌群、沙门氏菌、副溶血弧菌、金黄色葡萄球菌检出,TVBN 含量为 20.91 mg/hg,嗅感显著优于未辐照处理和 8 kGy 辐照处理。【结论】用 4 kGy 电子束辐照可有效延长罗非鱼片冷藏时间,提高冷藏品质,4 ℃下可保鲜 11 d。

[关键词] 电子束辐照;罗非鱼片;冷藏期;感官品质

[中图分类号] S983　　[文献标志码] A　　[文章编号] 1671-9387(2020)05-0138-09

Effects of electronic beams irradiation sterilization on cold storage life and sensory quality of tilapia fillets

QI Wenyuan[1], WANG Haihong[1], YUE Ling[1], CHEN Zhijun[1], YAN Weiqiang[1], ZHENG Qi[1], BAO Yingzi[2], ZHANG Yanyan[3], KONG Qiulian[1]

(1 *Shanghai Academy of Agricultural Sciences*, *Shanghai* 201401, *China*; 2 *Shanghai Shuneng Irradiation Technology Co.*, *Ltd.*, *Shanghai* 201401, *China*; 3 *Shanghai Business School*, *Shanghai* 201400, *China*)

Abstract: 【Objective】Electron beams irradiation was applied to tilapia fillets and its effectiveness on related biological indexes and sensory quality of tilapia fillets during cold storage were investigated to provide reference for physical cold sterilization and preservation technology of tilapia fillets. 【Method】The tilapia fillets killed and cut freshly were irradiated with doses of 0, 2, 4 and 8 kGy and stored at 4 ℃ for 18 days. The total number of bacteria, pathogenic microbes including coliforms, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* and *Vibrio parahaemolyticus*, content of TVBN, indexes of color, hardness, ordor, and pH value

[收稿日期] 2019-04-08
[基金项目] 上海市科技兴农项目(沪农科攻字 2016 第 6-3-4)
[作者简介] 戚文元(1963—),男,上海人,研究员,主要从事农产品辐照保鲜加工研究。E-mail:sunny0123@vip.163.com
[通信作者] 孔秋莲(1971—),女,山东菏泽人,研究员,博士,主要从事农产品保鲜加工研究。E-mail:qiuliankong@yahoo.com

were detected at 0,4,11,18 days. The fresh tilapia surimi sterilized with 10 kGy electron beam irradiation was inoculated with *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* and *Vibrio parahaemolyticus* before being irradiated with doses of 0,0.4,0.8,1.2,1.6 and 2 kGy. The survival rates of pathogenic bacteria were detected for determination of radiation tolerance index D_{10}.【Result】The initial level of microorganism of tilapia fillets was high with the total bacteria number of 1.6×10^6 CFU/g, and coliforms, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* and *Vibrio parahaemolyticus* were all detected. Electron beam irradiation had good effect in killing pathogenic bacteria with D_{10} values of less than 0.5 kGy for *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* and *Vibrio parahaemolyticus*. The electron beam irradiation significantly inhibited the increase of total microbial colonies and reduced the decrease of fish hardness. Considering sensory and quality factors, 4 kGy irradiation had the best effect on preservation of tilapia fillets. For the tilapia fillets treated with 4 kGy electron beams after 11 days storage at 4 ℃, coliforms, *Salmonella*, *Vibrio parahaemolyticus* and *Staphylococcus aureus* were not detected, content of TVBN was 20.91 mg/hg, and the ordor was significantly better than that of non-irradiated and 8 kGy irradiated fillets.【Conclusion】Electron beam irradiation of 4 kGy could effectively prolong the cold storage time of tilapia fillets to 11 days at 4 ℃ and improve the quality of cold stored tilapia fillets.

Key words: electronic beams irradiation; tilapia fillets; cold storage life; sensory quality

罗非鱼俗称非洲鲫鱼，骨刺少、肉质厚，蛋白质含量高，享有“白肉三文鱼”的美誉。我国是罗非鱼养殖规模最大的国家，也是世界最大的罗非鱼出口贸易国，产品形式以罗非鱼鱼片为主[1]。冻藏是罗非鱼鱼片保藏的重要方法，能有效抑制微生物的生长繁殖，但能耗大，解冻过程中易出现品质下降。低温冷藏可降低能耗，但在长期贮藏过程中仍会发生微生物缓慢生长，导致鱼片鲜度下降，甚至食用品质丧失，且低温对食源性病原微生物没有杀灭作用。减菌预处理对减少鱼片微生物、保证鱼片品质具有重要意义，常用方法是使用化学杀菌剂，如次氯酸钠、固体二氧化氯等，但这些减菌剂会在鱼体内残留，影响鱼肉品质和安全性[2]。生物保鲜是基于食品安全考虑的新型化学保鲜方式，目前利用天然活性物质对罗非鱼片进行保鲜的报道，主要有壳聚糖[3]、茶多酚[4]、活性肽[5]、多糖[6]以及竹叶[7]、姜[8]、大蒜[9]、石榴皮[10]等物质的天然提取物，但至今还没有一种生物保鲜剂能单独有效应用于罗非鱼保鲜，很多报道是通过技术协同，改善生物保鲜剂的保鲜效果，如张珂等[4]利用茶多酚结合微冻（－4 ℃）技术，将罗非鱼片保藏时间从 19 d 延长到 28 d。张晓丽等[7]利用竹叶抗氧化物结合不同包装方式冷藏（4 ℃）保鲜罗非鱼片，使其货架期延长至 18 d。另外，物理保鲜方式如臭氧[11]、气调[12]、高压静电场[13]、超高压[14]也有用于罗非鱼片冷藏保鲜的报道。

辐照是非热加工技术，在不宜进行热处理的食品加工领域应用优势明显。食品辐照作为一种物理杀菌保鲜技术，广泛用于大蒜抑芽保鲜以及脱水蔬菜、香料调味品、营养品等食品杀菌。电子束辐照是一种新型辐照方式，与传统钴源辐照相比，加工速度快、时间短，对部分食品可避免钴源辐照导致的异味问题[15]，可实现低温快速优质加工，对冰鲜肉制品、水产品等冷链食品的品质保持和有害微生物控制尤其重要，可有效减少食源性疾病的发生，保障食品品质和卫生安全。使用电子束辐照技术进行冰鲜水产品杀菌保鲜的研究多有报道，这些研究结果表明，不同种类鱼肉的最佳辐照剂量有所不同。如以 4 kGy 电子束辐照冷藏的鲈鱼半成品，菌落总数显著降低，鱼肉持水力、剪切力、色泽均无显著变化，可最大程度地保持鲈鱼原有品质[16]。5 kGy 以下剂量电子束辐照能较好地保持美国红鱼的风味[17]。0.5 kGy 电子束辐照可以抑制三文鱼挥发性盐基氮产生和菌落总数增长，更好地保持三文鱼的品质[18]。但有关将电子束辐照技术用于罗非鱼片保鲜的研究尚为少见。为此，本试验以罗非鱼片为试材，研究新型装置电子加速器辐照对冷藏鱼片的杀菌效果及对感官品质和冷藏时间的影响，探索电子束辐照罗非鱼片的应用可行性，以期为电子束辐照罗非鱼片的产品质量控制提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材　料

1.1.1　罗非鱼材料　鲜活罗非鱼（600～700 g/只）就近超市自购，现场宰杀去鳞后冰袋保温运至实验

室,经流水反复冲洗后切片,流水清洗,一部分鱼片打成肉糜,电子束辐照至无菌,用于 D_{10} 值测定(D_{10} 是电离辐射杀菌中估算辐照剂量的重要参数,表示使存活微生物数量减少 90%所需的辐照剂量);一部分鱼片直接分装于无菌封口袋中,用不同剂量电子束辐照,用于微生物学指标、挥发性盐基氮(TVBN)、色差、鱼肉硬度、嗅感评价和 pH 值测定。所有鱼肉材料均置于 4 ℃冰箱保存,保证鲜活罗非鱼宰杀后 2 h 内进行辐照处理。辐照无菌的鱼肉糜直接接种病原菌用于 D_{10} 值测定;辐照保鲜的罗非鱼片置于 4 ℃冰箱内模拟货架期存放 18 d,于 0,4,11,18 d 时检测有关指标。

1.1.2 *病原菌菌株* 大肠杆菌(K12)、沙门氏菌(AS.1.1194)、金黄色葡萄球菌(ATCC6538)、副溶血弧菌(ATCC17802)购自上海市工业微生物研究所菌种保藏中心。

1.2 方 法

1.2.1 *试验处理* (1) 鱼肉糜辐照灭菌及 D_{10} 值检测。新鲜鱼肉糜放入无菌袋中,每袋 10 g,铺成厚度<1 cm 的均匀薄层,用 10 kGy 电子束辐照,杀灭初始微生物,接种病原菌后进行 D_{10} 值测定。设定辐照剂量分别为 0,0.4,0.8,1.2,1.6,2.0 kGy 共 6 个水平。试验分两部分进行,一是直接辐照病原菌增菌液,菌液分装至 1.5 mL 离心管中,每管 1.2 mL,电子束单面辐照。二是辐照接种病原菌增菌液的鱼肉糜,将菌液加入上述灭菌的鱼肉糜中,每袋鱼肉糜加入菌液 1 mL,混匀并铺成均匀薄层,电子束单面辐照。每个剂量水平设 3 次重复。

(2) 罗非鱼片辐照。将罗非鱼片单层摆放于不锈钢托盘中,进行电子束单面辐照,剂量水平分别为 0,2,4,8 kGy。每个剂量水平设 3 次重复。

以上所有辐照都用清华同方威视 IS1020 电子加速器(10 MeV、20 kW)进行。实际剂量与设定剂量的误差控制在 10%以内。

(3) 电子束辐照剂量的监测。使用重铬酸银液体化学剂量计对实际辐照剂量进行监测[19],剂量计校准按照 GB/T 16640-2008[20]方法进行。

1.2.2 *测定指标及方法* (1) 食源性病原菌电子束辐照的 D_{10} 值。先将外源添加的大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、副溶血弧菌,按照 GB 4789-2016[21]和 GB 4789.7-2013[22]方法分别增菌培养至 10^8 CFU/mL,然后辐照病原菌增菌液和添加病原菌增菌液的鱼肉糜材料,按梯度稀释法进行含菌量测定,参考 GB 4789-2016 菌落总数[21]方法测定 D_{10} 值。

(2) 罗非鱼片的微生物学指标。所测指标包括菌落总数、大肠菌群、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、霉菌和酵母、副溶血弧菌 6 项指标,参照 GB 4789-2016[21]和 GB 4789.7-2013[22]方法进行。

(3) 鱼肉挥发性盐基氮(TVBN)。半微量定氮法测定,按照国标方法[23]进行。

(4) 色差。用 Chroma Meter CR-400 色差仪检测,以罗非鱼片近鱼皮的背部肌肉为测试点,每个剂量水平 3 块,每块测 3 次,记录 a、b 值。a、b 是三维矩形颜色空间参数,a 为红/绿轴参数,a(+)表示红色程度,a(-)表示绿色程度;b 为蓝/黄轴参数,b(+)表示黄色程度,b(-)表示蓝色程度。

(5) 鱼肉硬度。用英国 Stable Micro Systems 公司 TA-XT Plus 型质构仪检测,参考岑剑伟等[13]的方法并稍做改动。取罗非鱼片背部近脊骨处的鱼肉,切成长 45 mm×宽 20 mm×厚 20 mm 的小块,每块 3 个测试点。用圆柱型探头,探头直径 5 mm,穿刺模式。预测试速度 5 mm/s,测试速度 3.3 mm/s,返回速度 10 mm/s,触发点负载 5 g,目标 8.0 mm。以测得的最大压力值计算鱼肉硬度。

(6) 鱼肉嗅感评价。参照史策等[24]的方法,对罗非鱼片的气味进行嗅感评价。选择有感官评价经验的 10 位评价员参与评价。采用分值法按气味特征将嗅感分为 6 级,由优到劣的分值分别为 5,4,3,2,1,0,各分值对应的气味特征分别为:5.气味正常,鱼片固有的鲜腥味;4.气味较正常,鱼片固有的鲜腥味较淡;3.鱼片固有的鲜腥味淡,略有异味;2.腥味变重,有异味;1.有腥臭味或氨臭味;0.有强烈的腥臭味或氨臭味。

(7) 鱼肉 pH 值。参考马海霞等[25]的方法,称取碎鱼肉 10 g,加入等量 0.15 mol/L KCl 溶液均质,测定溶液 pH 值。

1.3 数据统计与分析

采用 SPSS 19.0 软件进行显著性差异分析。

2 结果与分析

2.1 罗非鱼病原菌电子束辐照的 D_{10} 值

大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、副溶血弧菌的存活菌数随电子束辐照剂量增加的变化趋势见图 1。由图 1 可见,菌液和添加于罗非鱼肉糜中的病原菌存活菌数均随电子束辐照剂量增大而呈指数下降,大肠杆菌和副溶血弧菌的下降趋势表现为菌液和鱼肉糜基本一致,沙门氏菌和金黄色葡萄球

菌则表现为菌液的下降幅度大于鱼肉糜。但统计分析结果（表 1）表明，大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、副溶血弧菌的 D_{10} 值在菌液与鱼肉糜中并无显著差异，其中沙门氏菌 D_{10} 值最小，副溶血弧菌最大，表明杀灭同样含菌量的副溶血弧菌，需要更高的电子束辐照剂量。

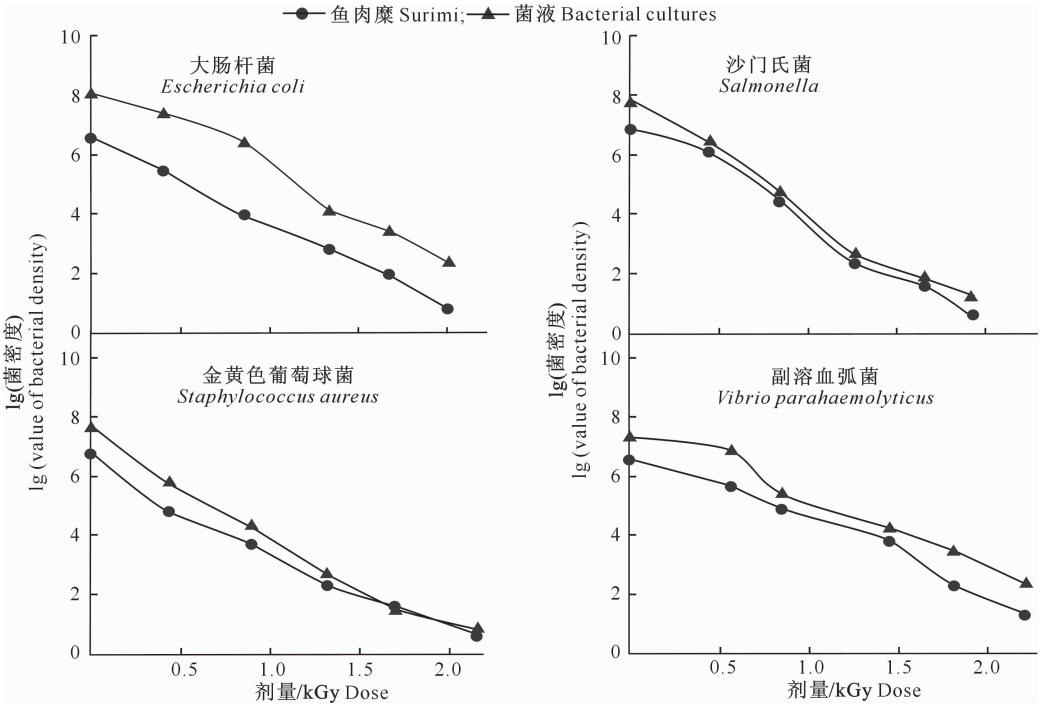


图 1　电子束辐照剂量与罗非鱼病原菌密度的关系

Fig. 1　Relationship between electron beams irradiation dose and value of bacterial density in tilapia fillets

表 1　不同罗非鱼病原菌在电子束辐照下的 D_{10} 值

Table 1　D_{10} value of pathogens irradiated by electron beams in tilapia fillets　　kGy

材料 Material	大肠杆菌 *Escherichia coli*	沙门氏菌 *Salmonella*	金黄色葡萄球菌 *Staphylococcus aureus*	副溶血弧菌 *Vibrio parahaemolyticus*
鱼肉糜 Surimi	0.35±0.011 2 a	0.29±0.004 9 a	0.30±0.018 3 a	0.43±0.016 0 a
菌液 Bacterial cultures	0.33±0.013 5 a	0.28±0.002 7 a	0.32±0.018 3 a	0.40±0.024 3 a

注：同列数据后标相同小写字母表示差异不显著（$P>0.05$）。

Note: Same lowercase letters indicate insignificant difference ($P>0.05$).

2.2　电子束辐照对罗非鱼片冷藏期间微生物学特性的影响

初始微生物含量是影响食品品质和冷藏期的关键因子，但 GB 2733－2015[26] 对水产品的微生物指标未作规定。李淑荣等[27] 研究认为，辐照前水产品的初始菌落总数不应超过 5×10^6 CFU/g。

由表 2 可以看出，未经电子束辐照处理的罗非鱼片微生物数量较高，市购罗非鱼经宰杀、流水冲洗、去鳞切段、流水清洗后，菌落总数接近 5×10^6 CFU/g，且大肠菌群、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、副溶血弧菌都有检出，其数量占菌落总数的比例分别为 0.999 9%，1.687 4%，0.020 2%和 0.014 4%。因此须进行杀菌预处理方可保证罗非鱼片冷藏期间的品质和食用安全。

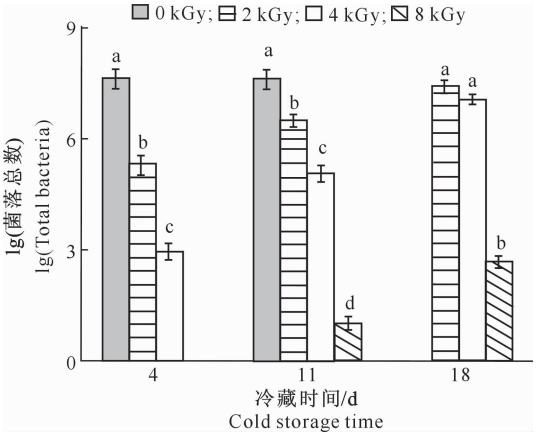
表 2　冰鲜罗非鱼片的微生物构成

Table 2　Microbial composition of chilled tilapia fillets

指标 Index	霉菌和酵母 Yeast and mold	菌落总数 Total bacteria	大肠菌群 Coliform bacteria	沙门氏菌 *Salmonella*	金黄色葡萄球菌 *Staphylococcus aureus*	副溶血弧菌 *Vibrio parahaemolyticus*
含菌量/(CFU·g^{-1}) Germs content	93	1.6×10^6	1.6×10^4	2.7×10^4	3.2×10^2	2.3×10^2
百分比/% Percentage	0.005 8	99.994 2	0.999 9	1.687 4	0.020 0	0.014 4

罗非鱼片辐照处理后于 4 ℃冷藏期间菌落总数的变化见图 2。由图 2 可见，0 kGy 电子束辐照处理罗非鱼片冷藏至 4 d 时细菌总数即超过 5×10^6 CFU/g，11 d 后因产品严重败坏而停止测定；冷藏

至18 d时,2和4 kGy处理罗非鱼片菌落总数超过5×10^6 CFU/g,8 kGy处理罗非鱼片菌落总数仍远低于5×10^6 CFU/g。统计分析表明,0～11 d冷藏期内,电子束辐照鱼片的菌落总数始终显著低于未辐照处理鱼片。不同电子束辐照剂量间相比,0～11 d内,4 kGy处理鱼片菌落总数始终显著低于2 kGy处理;8 kGy处理鱼片菌落总数始终显著低于其他处理,4 d时无菌落检出。



图柱上标不同小写字母表示同一时间段各处理间差异显著($P<0.05$)。下图同

Different lowercase letters indicate significant differences among treatments at same storage time($P<0.05$). The same below

图2 电子束辐照对罗非鱼片冷藏期间菌落总数的影响

Fig. 2 Effects of electron beams irradiation on total bacteria in tilapia fillets during cold storage

病原菌方面,不同剂量电子束辐照罗非鱼片在18 d冷藏期间均无大肠菌群检出。沙门氏菌因初始数量较高,2 kGy处理冷藏期间始终有检出,4和8 kGy处理冷藏期间始终无检出。副溶血弧菌在2 kGy处理4 d时有检出,其他时间无检出;4和8 kGy处理冷藏期间始终无检出。金黄色葡萄球菌数量在冷藏期间的变化见表3。

表3 电子束辐照对罗非鱼片冷藏期间金黄色葡萄球菌数量的影响

Table 3 Effects of electron beams irradiation on *Staphylococcus aureus* quantity in tilapia fillets during cold storage CFU/g

处理/kGy Treatment	4 d	11 d	18 d
0	1.0×10^4	5.9×10^4	—
2	<10	4.3×10^2	1.9×10^4
4	<10	<10	6.9×10^2
8	<10	<10	<10

由表3可见,2 kGy电子束辐照处理在冷藏至11 d时开始有检出,4 kGy处理在冷藏至18 d时有检出,8 kGy处理冷藏期间始终无检出。副溶血弧菌的初始数量与金黄色葡萄球菌接近,其D_{10}值大于金黄色葡萄球菌,但冷藏期间的检出率低于金黄色葡萄球菌,这可能与金黄色葡萄球菌在冷藏条件下更易存活和繁殖有关。

综上所述,罗非鱼片初始含菌量高,用4 kGy及以上剂量电子束辐照可有效降低微生物数量,杀灭病原菌,保证食用安全。

2.3 电子束辐照对罗非鱼片冷藏期间TVBN含量的影响

挥发性盐基氮TVBN是反映肉类和鱼类腐败程度的重要指标之一,主要由蛋白质分解产生的氨、胺类等碱性含氮物质组成,其含量越高,表明氨基酸被破坏得越严重[13]。国家标准要求淡水鱼虾TVBN含量不超过20 mg/hg[26]。

本研究中,罗非鱼片TVBN初始含量为17.99 mg/hg。辐照处理后冷藏期间TVBN含量的变化见图3。

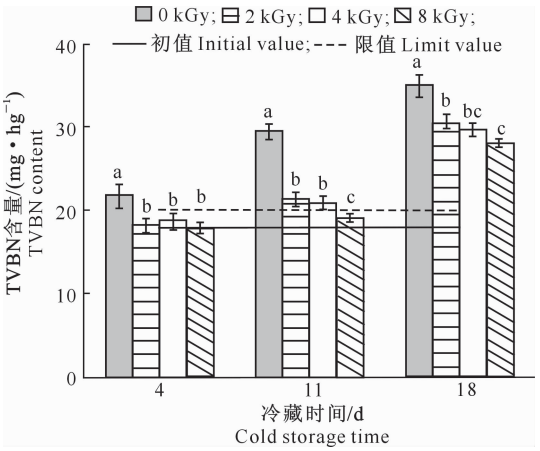


图3 电子束辐照对罗非鱼片冷藏期间TVBN含量的影响

Fig. 3 Effects of electron beams irradiation on TVBN content of tilapia fillets irradiated during cold storage

图3显示,电子束辐照可抑制TVBN含量的增幅。冷藏4 d时,未辐照的罗非鱼片TVBN含量已超过20 mg/hg,2和4 kGy处理罗非鱼片TVBN含量在冷藏11 d时超过20 mg/hg,分别为21.41和20.91 mg/hg,8 kGy处理罗非鱼片TVBN含量冷藏18 d时超过20 mg/hg。冷藏期间,电子束辐照处理鱼片TVBN含量始终显著低于未辐照处理鱼片。0～4 d内,不同辐照处理鱼片TVBN含量无显著差异;冷藏至11 d时,8 kGy处理鱼片TVBN含量显著低于2和4 kGy处理,2 kGy处理与4 kGy处理间则无显著差异;冷藏18 d时,各处理TVBN含量均急剧升高,超过20 mg/hg,丧失食用价值。

2.4　电子束辐照对罗非鱼片冷藏期间色泽的影响

色泽是食品的基本物性，很大程度上影响消费者对产品的选择[28]。由图 4 可以看出，未辐照处理和 2 kGy 处理罗非鱼片冷藏期间 *a* 值变化不大，且 2 kGy 处理 *a* 值始终大于未辐照处理；4 和 8 kGy 处理 *a* 值在冷藏期间呈下降趋势，且冷藏时间越长、辐照剂量越大，下降幅度越大，表明鱼片的红色程度降低。所有处理鱼片 *b* 值在冷藏期间均呈上升趋势，且冷藏时间越长、辐照剂量越大，上升幅度越大，表明鱼片的黄色程度增大。

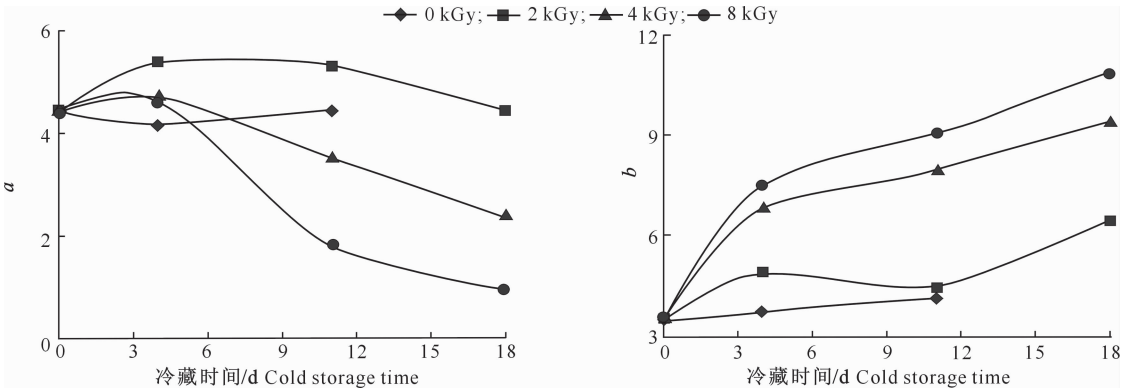


图 4　电子束辐照对罗非鱼片冷藏期间色泽参数（*a*、*b*）的影响

Fig. 4　Effects of electron beams irradiation on color parameters (*a* and *b*) of tilapia fillets during cold storage

2.5　电子束辐照对罗非鱼片冷藏期间硬度的影响

质构特征是生产者、加工者和消费者衡量鱼肉品质及新鲜度的重要参数[29]，鱼类冷藏期间的肌肉组织不断软化并逐渐松散。由图 5 可以看出，未辐照的罗非鱼片硬度在冷藏期间快速下降，第 4 天时降幅达 50%以上。电子束辐照处理可显著减缓鱼肉硬度的下降幅度，且剂量越高效果越明显。冷藏期间，虽然不同剂量处理的鱼肉硬度均表现为随时间延长而下降，但下降幅度远小于未辐照处理。

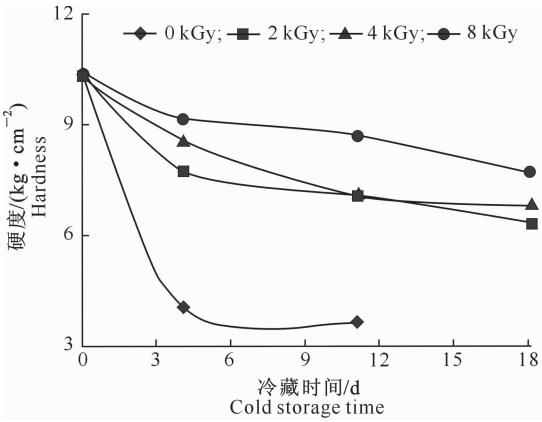


图 5　电子束辐照对罗非鱼片冷藏期间硬度的影响

Fig. 5　Effects of electron beams irradiation on hardness of tilapia fillets during cold storage

统计分析表明，4～18 d 冷藏期内，电子束辐照处理鱼片的嗅感评分始终显著高于未辐照处理鱼片。不同电子束辐照剂量间相比，2 与 4 kGy 处理间无显著差异；4～11 d 冷藏期间，8 kGy 处理鱼片的嗅感评分显著低于 2 和 4 kGy 处理；但冷藏至 18 d 时，不同剂量处理间嗅感评分无显著差异。

2.6　电子束辐照对罗非鱼片冷藏期间嗅感评价的影响

罗非鱼片冷藏期间嗅感评分结果见图 6。由图 6 可见，随着冷藏时间延长，罗非鱼片感官品质下降，嗅感评分逐渐降低。0～4 kGy 电子束辐照处理嗅感评分随剂量增加而增大，8 kGy 处理罗非鱼片有辐照异味产生，冷藏期内嗅感评分始终以 4 kGy 处理最高。

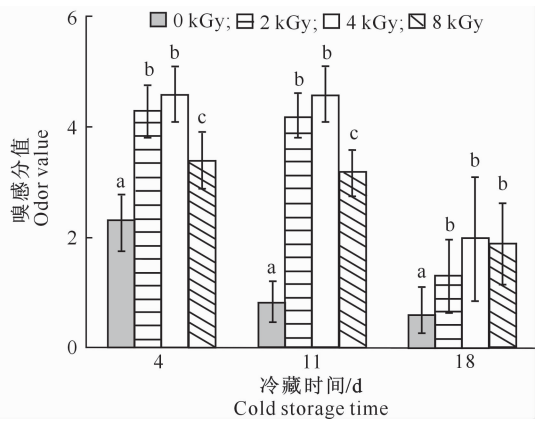


图 6　电子束辐照对罗非鱼片冷藏期间嗅感评分的影响

Fig. 6　Effects of electron beams irradiation on odor value of tilapia fillets during cold storage

2.7　电子束辐照对罗非鱼片冷藏期间 pH 值的影响

罗非鱼片冷藏期间 pH 值整体呈上升趋势，但变化幅度不大。不同处理间未表现出显著差异（图 7）。

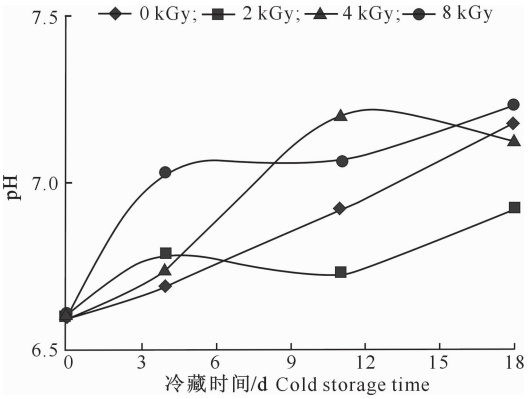


图7 电子束辐照对罗非鱼片冷藏期间pH值的影响

Fig. 7 Effects of electron beams irradiation on pH value of tilapia fillets during cold storage

3 讨 论

新鲜鱼肉富含蛋白质,水分活度高,极易发生腐败变质现象,其中微生物腐败是主要原因。为保证产品品质和食用安全,鱼类产品低温贮运前的减菌和杀菌等预处理措施十分重要。电子束辐照在防止食源性致病微生物污染方面具有巨大的应用潜力,在调味粉、肉制品中都有研究报道[30-32]。

本研究结果表明,鲜活宰杀的罗非鱼带菌量较高,菌落总数高达1.6×10^6 CFU/g,且大肠菌群、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、副溶血弧菌等致病菌都有检出,这可能与罗非鱼的生长环境有关。因此,预杀菌处理对罗非鱼片冷藏过程中的品质保持和食用安全必不可少。本研究表明,电子束辐照可显著降低罗非鱼片微生物数量,对大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、副溶血弧菌等食源性病原微生物也有很好的杀灭作用,4种致病菌的电子束辐照D_{10}值均小于0.5 kGy,4 kGy电子束辐照可将10^8 CFU/g的致病菌杀灭至不可检出;电子束辐照罗非鱼片冷藏18 d内始终无大肠菌群检出,其病原菌控制的关键指标是沙门氏菌和金黄色葡萄球菌;电子束辐照对罗非鱼片微生物的杀灭作用随剂量增加而增强,但8 kGy处理罗非鱼片有辐照异味和变黄等不良反应,而4 kGy辐照不仅可有效抑制罗非鱼片冷藏过程中的腐败,而且对风味、色泽无显著不良影响,是较适宜的辐照剂量。

TVBN是衡量水产品新鲜度的重要指标。张珂等[4]于−2.5 ℃贮藏罗非鱼片,28 d时TVBN含量仍低于20 mg/hg。张强等[33]于−4 ℃微冻处理罗非鱼片,贮藏15 d后TVBN含量仍小于15 mg/hg。而0 ℃以上冷藏罗非鱼鱼肉的TVBN含量快速上升。黄盛东等[3]利用壳聚糖保鲜结合4 ℃冷藏罗非鱼片,5 d时TVBN含量超过20 mg/hg。罗非鱼片经臭氧水减菌处理结合气调包装,在−0.5 ℃冰温下贮藏至第3天时,其TVBN含量也超过20 mg/hg[13]。本研究表明,4 ℃冷藏条件下,2 kGy处理冷藏11 d和8 kGy处理冷藏18 d时,罗非鱼片TVBN含量超过20 mg/hg。4 kGy处理贮藏11 d时TVBN含量为20.91 mg/hg,略超20 mg/hg,冷藏时间较壳聚糖[3]及臭氧水处理[13]结合冷藏的方法有所延长。另外,因罗非鱼初始带菌量较高,综合运用多种杀菌抑菌技术可达到最佳效果。如岑剑伟等[13]利用臭氧水减菌处理、气调包装、−0.5 ℃冰温、高压静电场综合处理罗非鱼片,保鲜期可达27 d。

罗非鱼片冷藏期间,表示蓝黄程度的参数b值呈上升趋势,电子束辐照加速了这种趋势。冰岛金鱼(*Sebastes marinus*)冻藏期间b值也呈明显上升趋势[34],与本研究结果一致。颜色变黄是鱼肉新鲜度下降的表现,可见电子束辐照在保证鱼肉新鲜度的同时加速了色泽的不良变化,其机理和防治措施有待进一步研究。鱼肉硬度主要与鱼肉中的肌原纤维和胶原蛋白等有关,新鲜鱼肉具有一定的硬度、弹性和回复力。捕捞后放置期间,内源酶与自溶机制会分解体内的肌原纤维和胶原蛋白,外来微生物也会分解鱼体中的蛋白质,导致鱼肉逐渐变软,弹性降低[35]。电子束辐照可抑制罗非鱼片鱼肉硬度值的下降,且剂量越高效果越明显,整个冷藏期间辐照处理的鱼肉硬度值均远高于未辐照处理。其中2和4 kGy辐照罗非鱼片即使菌落总数已接近未辐照处理,其鱼肉硬度值仍远高于未辐照处理,其原因也有待进一步研究。

4 结 论

罗非鱼片的初始带菌量和TVBN含量均较高,4 kGy剂量电子束辐照可有效杀灭罗非鱼片中的病原微生物,降低其微生物水平,保持鱼肉硬度和正常风味,但对4 ℃冷藏鱼片TVBN含量上升的抑制作用有限。4 kGy剂量电子束辐照结合4 ℃冷藏,保鲜时间11 d时,TVBN含量为20.91 mg/hg,略超20 mg/hg。建议采用4 kGy电子束辐照,结合其他除菌方法降低罗非鱼片初始含菌量,并辅以适当低温((0±2) ℃)贮藏,以延长罗非鱼片的冷藏时间。

[参考文献]

[1] 孙蕾蕾,黄 卉,李来好,等.冰藏罗非鱼片能量代谢酶与品质

的相关性分析 [J]. 食品工业科技，2015，36(11)：70-74.
Sun L L，Huang H，Li L H，et al. Correlation analysis of enzymes associated with energy metabolism and quality of tilapia fillets during iced storage [J]. Science and Technology of Food Industry，2015，36(11)：70-74.

[2] 张晨芳，吴海平，钟秋平. 臭氧气浮漂洗预处理对罗非鱼片减菌率及质构的影响 [J]. 食品科技，2015，40(3)：154-158.
Zhang C F，Wu H P，Zhong Q P. Effects of ozone floating wash treatment on percent reduction of bacterial and texture of tilapia fillets [J]. Food Science and Technology，2015，40(3)：154-158.

[3] 黄盛东，陈　松，潘江球，等. 不同分子量壳聚糖对罗非鱼片冷藏保鲜作用的研究 [J]. 食品工业科技，2015，36(19)：318-321.
Huang S D，Chen S，Pan J Q，et al. Effect of chitosan with different molecular weight on preservation of tilapia fillets during cold storage [J]. Science and Technology of Food Industry，2015，36(19)：318-321.

[4] 张　珂，关志强，李　敏，等. 茶多酚对罗非鱼微冻保鲜的影响 [J]. 食品工业科技，2015，36(14)：350-353，358.
Zhang K，Guan Z Q，Li M，et al. Effect of tea polyphenols on the quality of tilapia during super chilled storage [J]. Science and Technology of Food Industry，2015，36(14)：350-353，358.

[5] 王凤萍，陈　旋，宋风霞，等. 苦荞活性肽对罗非鱼片的保鲜效果 [J]. 食品与发酵工业，2016，42(11)：133-137.
Wang F P，Chen X，Song F X，et al. Effect of active peptides from tartary buckwheat on fresh-keeping of tilapia (*Oreochromis* spp) fillets [J]. Food and Fermentation Industries，2016，42(11)：133-137.

[6] 林　斌. 山药多糖对罗非鱼冷藏保鲜的影响 [J]. 食品科技，2018，43(3)：108-112.
Lin B. Effect of yam polysaccharide on fresh-keeping of tilapia [J]. Food Science and Technology，2018，43(3)：108-112.

[7] 张晓丽，马海霞，杨贤庆. 竹叶抗氧化物结合不同包装方式对鲜罗非鱼片保鲜效果的影响 [J]. 食品科学，2017，38(11)：256-261.
Zhang X L，Ma H X，Yang X Q. Effect of antioxidant of bamboo leaves (AOB) combined with different packaging methods on the preservation of fresh tilapia fillets [J]. Food Science，2017，38(11)：256-261.

[8] 黄冬香，于　新，李　林. 鲜姜汁对罗非鱼蛋白质水解作用的研究 [J]. 食品工业科技，2010，31(4)：201-204，208.
Huang D X，Yu X，Li L. Optimization of hydrolysis on proteins from tilapia by ginger juice [J]. Science and Technology of Food Industry，2010，31(4)：201-204，208.

[9] 孟晓华，胡楚婷，许琪琦，等. 几种天然生物防腐剂对生鲜罗非鱼片防腐效果研究 [J]. 农产品加工(学刊)，2012(3)：51-54，58.
Meng X H，Hu C T，Xu Q Q，et al. Antiseptic effects of several natural biological preservatives on fresh tilapia fillets [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing，2012(3)：51-54，58.

[10] Mohammed S A，Shaaban H M，Ahmed A T. Application of fungal chitosan incorporated with pomegranate peel extract as edible coating for microbiological，chemical and sensorial quality enhancement of nile tilapia fillets [J]. International Journal of Biological Macromolecules，2017，99：499-505.

[11] 刁石强，吴燕燕，王剑河，等. 臭氧冰在罗非鱼片保鲜中的应用研究 [J]. 食品科学，2007，28(8)：501-504.
Diao S Q，Wu Y Y，Wang J H，et al. Research on application of ozone ice in tilapia fillet preservation [J]. Food Science，2007，28(8)：501-504.

[12] 李来好，彭城宇，岑剑伟，等. 冰温气调贮藏对罗非鱼片品质的影响 [J]. 食品科学，2009，30(24)：439-443.
Li L H，Peng C Y，Cen J W，et al. Effect of ice-temperature controlled atmosphere storage on quality of tilapia fillets [J]. Food Science，2009，30(24)：439-443.

[13] 岑剑伟，蒋爱民，李来好，等. 高压静电场结合冰温技术对罗非鱼片贮藏期品质的影响 [J]. 食品科学，2016，37(22)：282-288.
Cen J W，Jiang A M，Li L H，et al. Effect of high voltage electrostatic field combined with modified atmosphere packaging and controlled freezing-point storage on the quality of tilapia fillet [J]. Food Science，2016，37(22)：282-288.

[14] Wen-Ching K，Chia-Ling J，Jyh-Sheng H，et al. Effects of high-pressure treatment on processing quality of tilapia meat fillets [J]. Journal of Food Engineering，2006，77：1007-1011.

[15] 吴　庆，孔秋莲，戚文元，等. γ 射线和电子束辐照对意式风干火腿色泽和脂质氧化的影响 [J]. 上海农业学报，2013，29(2)：38-42.
Wu Q，Kong Q L，Qi W Y，et al. Effects of γ-ray/electron beam irradiation on odor and lipid oxidation of prosciutto [J]. Acta Agriculturae，2013，29(2)：38-42.

[16] 鉏晓艳，李海蓝，张金木，等. 不同剂量电子束辐照对鲈鱼半成品灭菌及品质的影响 [J]. 保鲜与加工，2018，18(5)：49-54.
Zu X Y，Li H L，Zhang J M，et al. Effects of different doses of electron beam irradiation on sterilization and quality of semi-finished products of *Micropterus salmoides* [J]. Storage and Process，2018，18(5)：49-54.

[17] 杨文鸽，傅春燕，徐大伦，等. 电子束辐照对美国红鱼杀菌保鲜效果的研究 [J]. 核农学报，2010，24(5)：991-995.
Yang W G，Fu C Y，Xu D L，et al. Effects of electron beam irradiation on preservation of *Sciaenops ocellatus* [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences，2010，24(5)：991-995.

[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 L L，Lin M，Gao Y，et al. Effect of electron beam irradiation on quality of salmon [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences，2017，31(8)：1521-1527.

[19] 国家技术监督局. JJG 1028－91　使用重铬酸银剂量计测量 γ 射线水吸收剂量标准方法 [S]. 北京：中国计量科学研究院，1991.
State Administration for Technical Regulatio. JJG 1028－91　Standard method for measuring water absorbed dose of γ ray using silver dichromate dosimeter [S]. Beijing：National

Institute of Metrology China,1991.

[20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 16640-2008 辐射加工剂量测量系统的选择和校准导则[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
General Administration of Quality Supervision,Inspection and Quarantine of the People's Republic of China,Standardization Administration. GB/T 16640-2008 Standard guide for selection and calibration of dosimetry systems for radiation processing [S]. Beijing:Standards Press of China,2008.

[21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. GB 4789-2016 食品微生物学检验大肠菌群计数、沙门氏菌检验、金黄色葡萄球菌检验、菌落总数、霉菌和酵母计数[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China,National Food and Drug Administration. GB 4789-2016 Food microbiological analysis coliform count,*Salmonella* test,*Staphylococcus aureus* test,total bacteria,mould and yeast [S]. Beijing:Standards Press of China,2016.

[22] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 4789.7-2013 食品微生物学检验 副溶血性弧菌检验[S]. 北京:中国标准出版社,2013.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 4789.7-2013 Food microbiological analysis *Vibrio parahaemolyticus* test [S]. Beijing:Standards Press of China,2013.

[23] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.228-2016 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.228-2016 National food safety standard determination of volatile salt-based nitrogen in food [S]. Beijing:Standards Press of China,2016.

[24] 史 策,孙立涛,钱建平,等. 可见/近红外技术与感官评价信息融合预测冷藏条件下罗非鱼TVB-N的研究[J]. 食品工业科技,2017,38(21):268-273.
Shi C,Sun L T,Qian J P,et al. TVB-N prediction of tilapia with scales by information fusion of near infrared spectrum technology and sensory evaluation during chilled storage [J]. Science and Technology of Food Industry,2017,38(21):268-273.

[25] 马海霞,李来好,杨贤庆,等. 不同CO_2比例气调包装对冰温贮藏鲜罗非鱼片品质的影响[J]. 食品工业科技,2010,31(1):323-327.
Ma H X,Li L H,Yang X Q,et al. Effects of different concentrations of carbon dioxide on quality of fresh tilapia fillets packaged in modified atmosphere during super chilling storage [J]. Science and Technology of Food Industry,2010,31(1):323-327.

[26] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 2733-2015 食品安全国家标准 鲜、冻动物性水产品[S]. 北京:中国标准出版社,2015.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 2733-2015 National food safety standard fresh and frozen animal aquatic products [S]. Beijing:Standards Press of China,2015.

[27] 李淑荣,哈益明,张德权,等. 冷冻水产品辐照杀菌工艺剂量的确定[J]. 核农学报,2006,20(6):521-523.
Li S R,Ha Y M,Zhang D Q,et al. Confirmation of irradiation processing doses for controlling microflora in frozen aquatic products [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences,2006,20(6):521-523.

[28] 朱金虎,黄 卉,李来好. 食品中感官评定发展现状[J]. 食品工业科技,2012,33(8):398-401.
Zhu J H,Huang H,Li L H. Development of sensory evaluation in food science [J]. Science and Technology of Food Industry,2012,33(8):398-401.

[29] 钟赛意,刘寿春,秦小明,等. 真空包装罗非鱼冷藏过程物性特征与新鲜度的关联分析[J]. 广东农业科学,2013(7):108-111,119.
Zhong S Y,Liu S C,Qin X M,et al. Correlation analysis of physical properties with freshness in vacuum packed tilapia during cold storage [J]. Guangdong Agricultural Sciences,2013(7):108-111,119.

[30] 哈益明,施惠栋,王 锋,等. 电子束食品辐照的研究现状与应用特点[J]. 核农学报,2007,21(1):61-64.
Ha Y M,Shi H D,Wang F,et al. Application and characteristics of food irradiation by electron beam [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences,2007,21(1):61-64.

[31] Hyun-Jin K,Ho-Hyun C,Hyeon-Jeong S,et al. Effects of electron beam irradiation on the microbial growth and quality of beef jerky during storage [J]. Radiation Physics and Chemistry,2010,79:1165-1168.

[32] Sudarsan M,Raghupathy R. Application of emerging technologies to control Salmonella in foods: a review [J]. Food Research International,2012,45:666-677.

[33] 张 强,李媛媛,林向东. 罗非鱼片真空微冻保鲜研究[J]. 食品科学,2011,32(4):232-236.
Zhang Q,Li Y Y,Lin X D. Fresh-keeping technology for tilapia fillets by vacuum packaging followed by partial freezing [J]. Food Science,2011,32(4):232-236.

[34] Huong T T D,María G,Magnea G K,et al. Stability of golden redfish (*Sebastes marinus*) during frozen storage as affected by raw material freshness and season of capture [J]. Food Science & Nutrition,2018,6:1065-1076.

[35] 向思颖,谢 君,徐 芊,等. 中性氧化电解水对冷鲜草鱼肉品质及质构的影响[J]. 食品科学,2017,38(3):239-244.
Xiang S Y,Xie J,Xu Q,et al. Effect of neutral electrolyzed water on quality and textural characteristics of chilled fresh grass carp [J]. Food Science,2017,38(3):239-244.