

电子束辐照对手撕牛肉贮藏品质的影响

谢珂¹, 高鹏^{2,3}, 何梁渠¹, 王丹¹, 陈浩^{2,3*}

(1. 西南科技大学 生命科学与工程学院, 四川 绵阳 621002; 2. 四川省原子能研究院, 四川 成都 610101;
3. 四川省辐照保藏重点实验室, 四川 成都 610101)

摘要: 以真空包装的手撕牛肉为材料, 辐照剂量分别为 2、5、8、10、15、20 kGy, 研究高能电子束辐照对手撕牛肉品质的影响。探究在不同辐照剂量下, 手撕牛肉在 25 °C 下贮藏 63 d 过程中的品质变化。结果表明, 辐照处理组的手撕牛肉在贮藏期内的菌落总数较对照组明显减少; 当辐照剂量大于 8 kGy 时, 能明显延长手撕牛肉的贮藏期; 电子束辐照对手撕牛肉的剪切力、咀嚼性和 pH 值并未产生明显影响; 对硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)值的影响较小; 随着辐照剂量的增加, 感官评分出现一定程度的下降, 当辐照剂量大于 10 kGy 时, 辐照组的色泽评分明显低于对照组。综合分析各项指标可得: 8 kGy~10 kGy 的辐照剂量既能最大限度保留手撕牛肉的原本品质, 又能保障其安全性。

关键词: 电子束辐照; 手撕牛肉; 贮藏; 食品辐照; 肉制品

Effect of High-Energy Electron Beam on Storage Quality of Shredded Beef

XIE Ke¹, GAO Peng^{2,3}, HE Liang-qu¹, WANG Dan¹, CHEN Hao^{2,3*}

(1. College of Life Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621002, Sichuan, China; 2. Sichuan Institute of Atomic Energy, Chengdu 610101, Sichuan, China;
3. Irradiation Preservation Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610101, Sichuan, China)

Abstract: The effect of high-energy electron beam at the irradiation doses of 2, 5, 8, 10, 15 kGy and 20 kGy on the quality of vacuum-packed shredded beef was studied. After irradiation treatment, the beef samples were stored at 25 °C for 63 d. The results showed that the total number of bacterial colonies in the irradiated beef was significantly lower than that in the control group during the storage period. When the irradiation dose was greater than 8 kGy, the storage period of shredded beef can be prolonged. Electron beam irradiation had no significant effect on the shearing force, chewiness or pH value of shredded beef. It had little effect on the thiobarbituric acid value. With the increase in the irradiation dose, the sensory score decreased to a certain extent. When the irradiation dose was greater than 10 kGy, the color score of the irradiated beef was significantly lower than that of the control group. According to the comprehensive analysis of various indicators, the irradiation dose of 8 kGy-10 kGy can not only maximize the original quality but also ensure the safety of shredded beef.

Key words: electron beam irradiation; shredded beef; storage; food irradiation; meat product

引文格式:

谢珂, 高鹏, 何梁渠, 等. 电子束辐照对手撕牛肉贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(5):62-67.

XIE Ke, GAO Peng, HE Liangqu, et al. Effect of High-Energy Electron Beam on Storage Quality of Shredded Beef[J]. Food Research and Development, 2023, 44(5):62-67.

手撕牛肉是四川省特色牛肉产品, 具有香辣过瘾、回味浓香的特点。手撕牛肉在保留牛肉丰富营养物质的同时, 更具咀嚼性, 由于其独特风味和携带方便等

特点, 深受消费者的喜爱^[1]。就肉类消费现状而言, 我国休闲食品和旅游食品的消费水平逐步上升, 对牛羊肉需求的持续增长, 手撕牛肉的市场非常广阔^[2]。手撕

基金项目: 四川省重大科技专项(2019ZDZX0003); 四川省科技创新人才项目(2021JDRC0042); 成都市龙泉驿区科技项目(LQXKJ-KJXM-2021-038)

作者简介: 谢珂(1998—), 男(汉), 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与贮藏。

* 通信作者: 陈浩(1965—), 男(汉), 研究员, 博士, 研究方向: 辐照加工与食品安全。

牛肉切条、腌制、风干、调味和包装等加工步骤均极易受到微生物污染。为追求更长的保藏期,生产者普遍采用高温灭菌处理,例如热风干燥、真空油炸、高温蒸煮等^[3]。经过高温处理后的手撕牛肉会使蛋白质发生结构性变化,影响手撕牛肉的特色口感,其风味和营养成分也会有一定程度的损失。因此,为最大程度地保留手撕牛肉的营养成分和咀嚼口感、有利于在生产过程中连续加工,市面上急需一种新的杀菌工艺。

高能电子束辐照杀菌作为辐照杀菌技术的一种,能在不产生热量的前提下对微生物进行破坏,保障食品的安全性。高能电子束辐照杀菌时温度变化较小,能够保持食品原有风味,也适合热敏感物质的处理^[4-5]。其主要优势在于能量利用率高、处理效率高,能极大节约物流、仓储等过程的时间及成本,并且电子加速器的能量来源是电力,关机后无辐射,安全可靠。电子束辐照技术在水果、蔬菜、肉类等农产品的保鲜中已取得大量的研究成果^[6]。肖蓉等^[7]研究发现辐照能够明显降低腊牛肉的微生物指标,并且能够提高腊牛肉的色泽。由于熟食酱卤牛肉保质期过短,张艳艳等^[8]利用电子束对酱卤牛肉进行辐照,发现6 kGy的电子束能够将酱卤牛肉的货架期延长10 d。毛青秀^[9]研究发现辐照能够对肉中残留的亚硝酸盐产生一定的降解作用。谢宗传等^[10]在4 kGy的剂量下对六合牛脯进行辐照,能够将产品的贮藏保质期维持在6个月以上。Hussain等^[11]利用⁶⁰Co辐照牛肉串发现,经过5 kGy和2.5 kGy剂量的处理后,牛肉串的货架期比未处理的分别延长28 d和14 d。段鑫^[12]研究了电子束对生鲜牛肉的杀菌效果,发现X射线能够有效杀灭牛肉中的大部分微生物,并延长保藏时间。市面出售的手撕牛肉大多采用真空包装,高能电子束能够穿透包装材料进行灭菌处理,不会破坏其包装材料,在生产中方便连续性操作,能够大幅提高生产效率。

本文以手撕牛肉为原材料,采用不同剂量电子束对手撕牛肉进行辐照处理,分析手撕牛肉保藏过程中菌落总数、大肠菌群数、硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)值、pH值、剪切力和咀嚼力的变化,综合分析高能电子束辐照对手撕牛肉保藏效果的影响,筛选得出高能电子束辐照贮藏手撕牛肉的方法,以期在保证食品安全性的前提下,将更好的风味口感呈现在消费者面前,促进辐照技术在休闲牛肉制品杀菌保藏处理中的应用。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

手撕牛肉(未经过高温杀菌,未添加防腐剂,单独

包装,每袋含包装质量11 g~13 g):四川省仁寿县世顺食品厂。

菌落总数测试纸、大肠菌群测试纸:美国3M公司;三氯乙酸、氯仿(均为分析纯):成都科隆化学品有限公司;硫代巴比妥酸、氯化钠(均为分析纯):上海麦克林生化科技有限公司;实验室石棉滤纸:上海技舟化工科技有限公司。

1.1.2 试验仪器

UV-1700紫外分光光度计:日本岛津分析技术开发有限公司;HCCI-116恒温箱:上海跃进医疗器械有限公司;PB304破壁机:美的集团;BSA224S-CW型电子天平:赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;VF-PmA-10/20电子加速器辐照加工系统:四川润祥辐照有限公司;Brookfield CTX质构仪:美国FTC公司;pH-820型pH计:重庆欧宇科技有限公司;JX-05均质器:拓赫机电科技(上海)有限公司。SN-HWS-24水浴锅:上海尚仪仪器设备有限公司;Sorvall™ MTX-150离心机:美国赛默飞世尔科技公司。

1.2 试验方法

1.2.1 原料辐照处理

手撕牛肉样品随机分为7组,每组150袋,每袋11 g~13 g,至四川润祥辐照有限公司进行高能电子束辐照处理,剂量分别为0(对照组)、2、5、8、10、15、20 kGy,辐照后立即测定菌落总数、大肠菌群数、硫代巴比妥酸值、pH值、剪切力和咀嚼性等指标,后置于(25±2)℃(与正常室温保持一致)的恒温箱中贮藏,微生物指标和理化性质每隔7 d检测1次,总共检测10次,共计贮藏63 d。

1.2.2 菌落总数计数

称取手撕牛肉100 g,加入900 mL灭菌生理盐水,均质3 min,取匀液1 mL,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》^[13]的测定计数方法对菌落总数进行计数。

1.2.3 大肠菌群计数

称取手撕牛肉100 g,加入900 mL灭菌生理盐水,均质3 min,取匀液1 mL,参照GB 4789.3—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》^[14]的测定计数方法对大肠菌群进行计数。

1.2.4 感官评价

由食品专业经过感官评定培训的5名男生和5名女生组成评价小组,从手撕牛肉的色泽、香气、质地进行感官评定。根据得分,划分为A(9~10)、B(7~8)、C(5~6)、D(0~4)4个等级。感官评价标准见表1。

1.2.5 TBA值的测定

参考陈谦等^[15]的测定方法,略有改动。准确称取研磨均匀的样品10.000 g于150 mL三角瓶中,加入

表1 感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation table

项目	A(9~10)	B(7~8)	C(5~6)	D(0~4)
香气	肉香味浓,有独特香味	肉香味淡,有独特香味	肉香味淡,风味不明显	无肉香味
色泽	酱红色,均匀一致	色泽良好,比较均匀	色泽较差,黑褐色,色泽不均匀	色泽差
质地	肌肉纤维完整,组织致密呈块状,薄厚、长短、大小基本均匀,回味浓郁,	肌肉纤维完整,组织致密,呈块形,滋味较好,不易咀嚼,味道不足	肌肉纤维完全断裂,组织松散,形状不整齐,滋味较差,后味不足	呈碎块状,滋味差

50 mL 7.5%三氯乙酸,振摇 30 min,用双层滤纸过滤 2 次,去除油脂,准确移取上述滤液 5 mL 置于比色管中,加入 5 mL 0.02 mmol/L TBA 溶液,摇匀,加塞后置于 90 °C 水浴锅中保温 40 min,取出冷却 1 h,加入 5 mL 氯仿,摇匀,静置 5 min,将上清液移入小管 10 000 r/min 离心 1 min,吸取上清液分别于 532、600 nm 处测吸光度,同时以空白调零。

$$\text{TBA}/\% = (D_{532\text{nm}} - D_{600\text{nm}}) \div 155 \times \frac{1}{m} \times 72.6 \times 100$$

式中: $D_{532\text{nm}}$ 、 $D_{600\text{nm}}$ 分别为上清液在 532、600 nm 处的吸光度,其中与 TBA 反应的物质以每 100 g 样品中丙二醛质量表示;155 为吸光系数; m 为样品质量,10 g;72.6 为丙二醛分子量。

1.2.6 咀嚼性测定

每个剂量选取 10 袋手撕牛肉,要求大小均一,长度 6 cm~8 cm,共计 70 袋。放入质构仪进行测定,刀片选取圆形压力刀(量程为 1 000 N),将程序设置为两次咀嚼测试(texture profile analysis, TPA),调整参数为起始力 2 N、回程速度 60 mm/s、剪切速度 60 mm/s、样品距刀片间距 40 mm 进行试验。

1.2.7 剪切力测定

每个剂量选取 10 袋手撕牛肉,要求形状方正、大小均一,长度 6 cm~8 cm,共计 70 袋。放入质构仪进行测定,刀片选取方形刀片(量程为 1 000 N),将程序设置为单刀剪切测定,调整参数为起始力 2 N、回程速度 60 mm/s、剪切速度 60 mm/s、样品距刀片间距 40 mm 进行试验。

1.2.8 手撕牛肉 pH 值测定

校正 pH 计后,取手撕牛肉样品 10 g,使用均质器将试样均质,打碎至粉末然后将校正后的 pH 计探头插入试样中,待读数稳定后直接读数(精确至 0.01),重复 3 次试验,取平均值。

1.3 数据处理

采用 SPSS Statistics 17.0 进行数据统计分析,Origin 8 及 Excel 制图。各指标设定 3 次平行试验,数据用平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 电子束辐照对手撕牛肉菌落总数的影响

手撕牛肉经过不同剂量的高能电子束照射后,菌落总数的变化如图 1 所示。

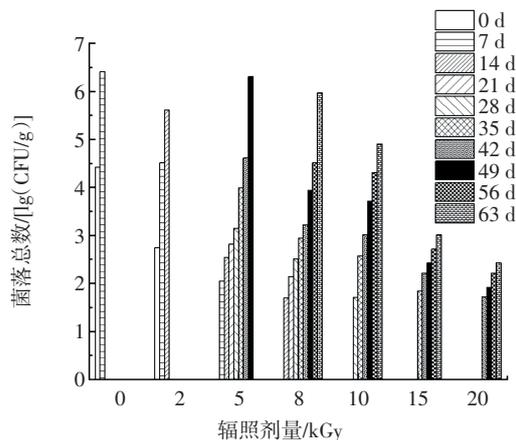


图1 不同辐照剂量下手撕牛肉贮藏期间菌落总数的变化

Fig.1 Changes of total bacterial count of shredded beef during storage under different irradiation doses

由图 1 可知,未经辐照的手撕牛肉初始含菌量较高,达到 10^3 CFU/g 以上,经过辐照的其他处理组菌落总数均不超过 10^7 CFU/g,而 5 kGy 以上的处理组未见菌落。随着贮藏时间的延长,各组手撕牛肉中菌落总数不断上升,但辐照组菌落总数始终低于对照组。对照组在贮藏 7 d 时菌落总数超出酱卤肉制品生物限量标准。2 kGy 组贮藏 14 d 后菌落总数也达到了 10^5 CFU/g,超出国家标准规定的微生物限量值^[6]。8 kGy 以上的剂量辐照在第 63 天依然将菌落总数控制在国标规定的限量以内。贮藏 28 d 内,15 kGy 和 20 kGy 的剂量处理后的样品未见菌落,8 kGy 以上剂量处理的样品相比于对照组至少能延长 4 倍的贮藏时间。这与肖林等^[7]的研究发现高剂量辐照能够对肉制品的微生物数量起到抑制作用的结论相一致。随着电子束剂量的增加,菌落总数的增长速率减缓。蒋慧亮等^[18]使用 0~9 kGy 的电子束处理蚌肉得出相同的结论。

2.2 电子束辐照对手撕牛肉大肠菌群的影响

图 2 为不同辐照剂量下手撕牛肉贮藏期间大肠菌群的变化。

由图 2 可知,相同贮藏时间内,手撕牛肉中大肠菌群数随着电子束辐照剂量的增加而明显减少,对照组在贮藏 14 d 时菌落总数超出酱卤肉制品生物限量标准。经过辐照处理的大肠菌群抑制率均有提高,5 kGy 以上的辐照剂量能够杀灭手撕牛肉中存活的大肠菌群,8 kGy 以上的辐照剂量使得大肠菌群在手撕牛肉贮藏 35 d 后才开始生长,15 kGy 以上的剂量能够将大肠菌群的生长时间延长至少 49 d。并且,相同贮藏

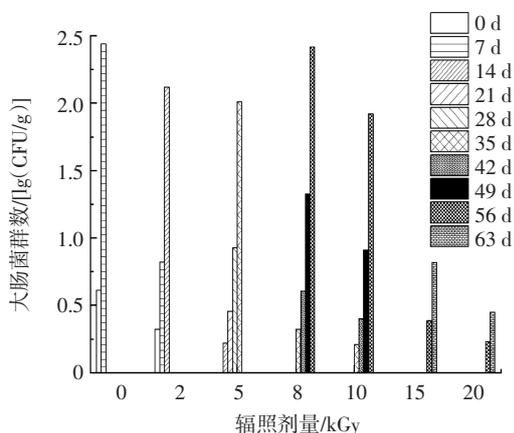


图2 不同辐照剂量下手撕牛肉贮藏期间大肠菌群的变化

Fig.2 Changes of coliform bacteria in shredded beef during storage under different irradiation doses

时间,对照组大肠菌群的生长速率远大于辐照组,且辐照剂量越大,大肠菌群的生长速率越缓慢。这可能与大肠菌群自身的修复性有关,但当辐照剂量超过8 kGy时,能够对手撕牛肉中的大肠菌群产生良好的控制效果。

2.3 电子束辐照对手撕牛肉 TBA 值的影响

脂肪氧化是肉类变质的主要原因,TBA 值能够反映手撕牛肉贮藏过程中的脂肪氧化情况。电子束对手撕牛肉贮藏中的 TBA 值影响如图 3 所示。

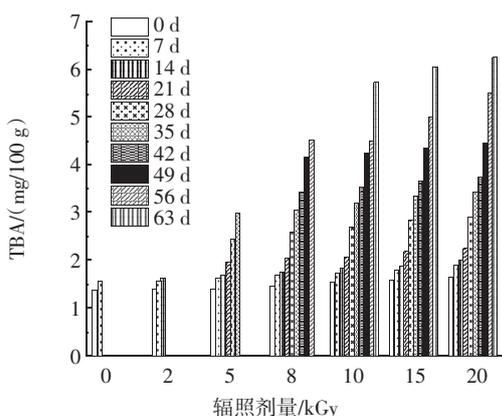


图3 电子束辐照对手撕牛肉 TBA 值的影响

Fig.3 Effect of electron beam irradiation on TBA value of shredded beef

手撕牛肉经过电子束辐照处理后,微生物限量超

标后不计入统计,由图 3 可知,与对照组相比,各处理组 TBA 值明显增加,电子束处理组的 TBA 值始终高于对照组,手撕牛肉经过高能电子束辐照,其脂质会被加速氧化进而导致 TBA 值升高。Campo 等^[19]发现高于 2.28 mg/100 g 的 TBA 值会影响牛肉的风味,而直至贮藏货架期结束,各组手撕牛肉均未超过 1.3 mg/100 g。有相关研究表明,手撕牛肉脂肪含量不高,且风干后并未通过高温灭菌处理,因此,贮藏过程中微生物繁殖产生的酶是导致 TBA 值较低的原因^[20]。

2.4 电子束辐照对手撕牛肉剪切力的影响

剪切力是评价肉类嫩度的重要指标之一^[21]。电子束辐照手撕牛肉对剪切力的影响如图 4 所示。

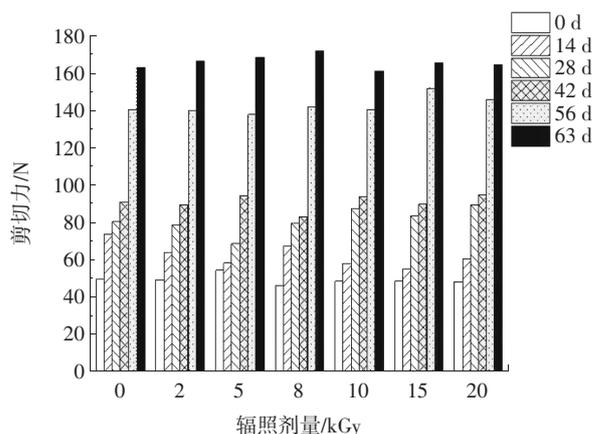


图4 电子束辐照手撕牛肉对剪切力的影响

Fig.4 Effect of electron beam irradiation on shear force of shredded beef

由图 4 可知,相同贮藏时间内,对照组和辐照组手撕牛肉的剪切力差别不大,但剪切力随着贮藏时间的延长而增加。这是由于经过(25±2)℃条件下的存放,牛肉氧化和微生物分解使持水力下降,产生结壳现象,手撕牛肉外壳变硬,导致剪切力增加^[22]。手撕牛肉剪切力的变化与是否经过电子束处理无关,所以剪切力不作为最佳辐照剂量筛选的依据。

2.5 电子束辐照对手撕牛肉咀嚼性的影响

咀嚼性是反映手撕牛肉感官特性的一个重要指标。通过质构仪模拟口腔的咀嚼过程,测定 2 次挤压力的数值,表示咀嚼所需的力量,咀嚼花费的力量越大,表示口感越差。电子束辐照手撕牛肉的咀嚼性强度变化见表 2。

表 2 电子束辐照手撕牛肉的咀嚼性强度

Table 2 Chewiness intensity of shredded beef irradiated by electron beam

贮藏时间/d	辐照剂量						
	0 kGy	2 kGy	5 kGy	8 kGy	10 kGy	15 kGy	20 kGy
0	56.91±3.39 ^a	57.21±2.88 ^a	55.92±4.26 ^a	55.77±3.71 ^a	57.02±2.96 ^a	53.92±3.94 ^b	56.31±2.33 ^a
14	70.92±4.89 ^a	67.23±4.22 ^b	65.93±2.72 ^b	68.86±3.79 ^b	70.38±2.84 ^a	66.95±3.93 ^b	70.32±4.33 ^a
28	96.33±2.42 ^a	96.67±3.11 ^a	90.42±3.16 ^b	98.54±2.62 ^a	96.34±2.35 ^a	97.12±4.10 ^a	90.16±3.61 ^b

mJ

续表 2 电子束辐照手撕牛肉的咀嚼性强度

Continue table 2 Chewiness intensity of shredded beef irradiated by electron beam

mJ

贮藏时间/d	辐照剂量						
	0 kGy	2 kGy	5 kGy	8 kGy	10 kGy	15 kGy	20 kGy
42	120.56±2.84 ^a	115.55±2.15 ^a	119.24±2.33 ^a	112.93±4.01 ^b	119.35±3.66 ^a	120.33±2.18 ^a	119.23±1.98 ^a
56	140.27±3.14 ^a	135.62±2.69 ^b	130.11±3.30 ^b	132.19±4.19 ^b	140.26±3.48 ^a	141.34±2.68 ^a	139.85±3.26 ^a
63	159.12±2.71 ^a	154.11±2.44 ^a	163.23±3.06 ^b	158.17±2.80 ^a	160.27±4.15 ^a	165.16±3.00 ^b	152.16±3.46 ^a

注:同行不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

由表 2 可知,同一贮藏时间内的手撕牛肉在不同辐照剂量下的咀嚼性强度实际测试数值差距不大,说明高能电子束对手撕牛肉的咀嚼性影响较小。随着贮藏时间的不断延长,咀嚼性强度不断升高,其主要原因是牛肉中蛋白质含量较为丰富,蛋白质经过辐照处理后蛋白质分子发生解聚和聚合^[23]。试验结果显示,贮藏时间相同,不同辐照剂量对手撕牛肉的咀嚼性影响不大,因此咀嚼性强度不作为辐照剂量筛选的依据。这也说明高能电子束处理手撕牛肉并不会改变手撕牛肉本身的咀嚼特性。

2.6 电子束辐照对手撕牛肉感官评分的影响

图 5 为电子束辐照对手撕牛肉感官评分的影响。

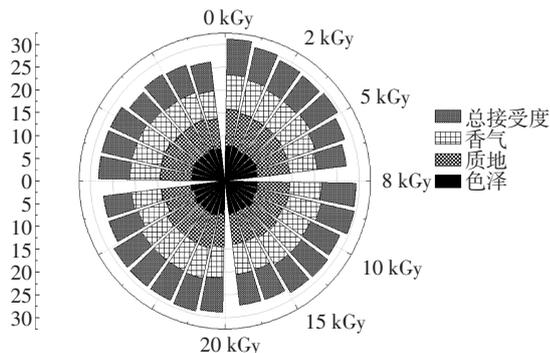


图 5 电子束辐照对手撕牛肉感官评分的影响

Fig.5 Effect of electron beam irradiation on sensory evaluation of shredded beef

由图 5 可知,10 kGy 以下辐照剂量的各组手撕牛肉在香气、质地和色泽并无明显差异;而 15 kGy 和 20 kGy 的辐照剂量使得手撕牛肉在总接受度上的感官评分明显下降。对照组和辐照组在 56 d 贮藏期中,各项感官品质均在可接受范围内;而辐照剂量超过 8 kGy 时,辐照后产生的异味会增加,打破原有的香气体系平衡^[24],这是由于辐照使蛋白质和脂肪降解形成硫化物芳香族化合物,导致风味变差^[25]。观察辐照后的色泽变化可知,手撕牛肉经过 2、5、8 kGy 3 个剂量的电子束辐照处理后,其色泽与对照组无明显差别,当辐照剂量高于 10 kGy 时,色泽上会出现明显变化,色泽评分随着辐照剂量的升高而下降。

2.7 电子束辐照对手撕牛肉 pH 值的影响

图 6 为电子束辐照对手撕牛肉 pH 值的影响。

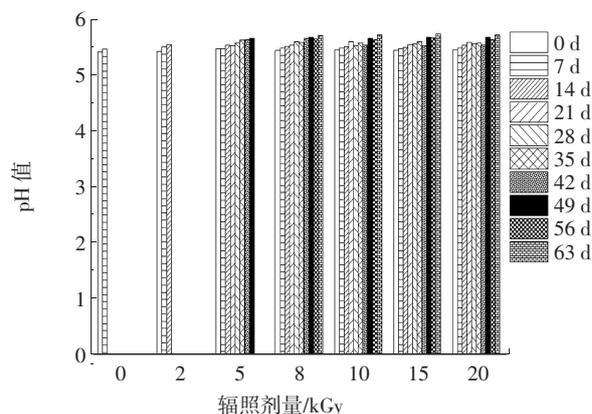


图 6 电子束辐照对手撕牛肉 pH 值的影响

Fig.6 Effect of electron beam irradiation on pH value of shredded beef

由图 6 可知,辐照组和对照组的初始 pH 值无明显差异,说明不同辐照剂量对手撕牛肉的 pH 值影响不大。随着贮藏期的延长,手撕牛肉的 pH 值逐步上升,这可能是手撕牛肉贮藏期间,在牛肉中微生物和酶的作用下,蛋白质分解,含氮物质随贮藏时间延长而增加,最终导致 pH 值上升^[26]。但在整个贮藏期内,pH 值变化不明显。

3 结论

研究表明,手撕牛肉经过 10 kGy 以下的电子束辐照处理后,不会对牛肉的口感和风味产生明显改变,而手撕牛肉的贮藏品质受贮藏时间的影响较大,在贮藏 63 d 后,手撕牛肉的感官品质明显低于新鲜手撕牛肉,相同贮藏时间内,电子束处理后的手撕牛肉与对照组并无明显差别,并且电子束辐照对手撕牛肉的微生物控制效果较好,其中采用 8 kGy 以上的辐照剂量能明显延长保质期,能够有效保证手撕牛肉的安全性;同时,随着辐照剂量的增加,同一贮藏期内的手撕牛肉 TBA 值会有小幅上升;当辐照剂量小于 10 kGy 时,辐照对手撕牛肉的风味和品质并无影响,当辐照剂量超过 10 kGy 时,手撕牛肉的风味评价会明显降低。综上所述,在不影响其灭菌效果又能保证其品质的情况下,手撕牛肉最适宜的电子束辐照剂量为 8 kGy~10 kGy。

参考文献:

- [1] 陈崇艳, 彭先杰, 袁玉梅, 等. 手撕牛肉护色工艺优化及储存条件研究[J]. 四川理工学院学报(自然科学版), 2019, 32(5): 22-28.
CHEN Chongyan, PENG Xianjie, YUAN Yumei, et al. Optimization of color protection process and storage condition of hand-tear beef[J]. Journal of Sichuan University of Science & Engineering (Natural Science Edition), 2019, 32(5): 22-28.
- [2] 李森. 肉类产业未来发展四大趋势[J]. 肉类工业, 2005(11): 48.
LI Sen. Four trends of future development of meat industry[J]. Meat Industry, 2005(11): 48.
- [3] 康生文. 真空低温油炸牛肉干生产技术[J]. 肉类研究, 1995, 9(4): 22-23.
KANG Shengwen. Production technology of vacuum low temperature fried beef jerky[J]. Meat Research, 1995, 9(4): 22-23.
- [4] 武振华, 张红, 赵卫平, 等. 大功率电子加速器的辐射灭菌效果研究[J]. 原子核物理评论, 2009(1): 80-83.
WU Zhenhua, ZHANG Hong, ZHAO Weiping, et al. Study on radiation sterilization of electron beam accelerator[J]. Nuclear Physics Review, 2009(1): 80-83.
- [5] 呼玉山, 陈双兴, 王经权, 等. 电子加速器辐照大米防霉技术研究[J]. 中国粮油学报, 1999, 14(1): 57-60.
HU Yushan, CHEN Shuangxing, WANG Jingquan, et al. Experiment of controlling mould by electron-accelerator irradiation treatment for rice storage[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 1999, 14(1): 57-60.
- [6] BOYNTON B B, WELT B A, SIMS C A, et al. Effects of low-dose electron beam irradiation on respiration, microbiology, texture, color, and sensory characteristics of fresh-cut cantaloupe stored in modified-atmosphere packages[J]. Journal of Food Science, 2006, 71(2): S149-S155.
- [7] 肖蓉, 徐昆龙, 彭伟国, 等. 辐照保鲜对腊牛肉品质影响的初探[J]. 食品科技, 2004, 29(8): 74-76, 81.
XIAO Rong, XU Kunlong, PENG Weiguo, et al. Brief study on effect of radiation on the quality of cured beef[J]. Food Science and Technology, 2004, 29(8): 74-76, 81.
- [8] 张艳艳, 王健, 李海军, 等. 电子束辐照对酱卤牛肉品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(14): 4441-4443.
ZHANG Yanyan, WANG Jian, LI Haijun, et al. Effect of electron beam irradiation on quality of spiced beef[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(14): 4441-4443.
- [9] 毛青秀. 辐照对腊制品中亚硝酸盐降解效果与机理研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
MAO Qingxiu. Research on irradiation degradation effect and mechanism of nitrite in bacon[D]. Changsha: Central South University, 2013.
- [10] 谢宗传, 张卫东, 刘践, 等. 六合牛脯辐照工艺学[J]. 核农学通报, 1995, 16(6): 281-283.
XIE Zongchuan, ZHANG Weidong, LIU Jian, et al. Irradiation technology of Liuhe preserved beef[J]. Bulletin of Nuclear Agriculture, 1995, 16(6): 281-283.
- [11] HUSSAIN M S, UZZAMAN M A, HOSSAIN M A, et al. Effect of gamma irradiation and vacuum packaging on the shelf life extension of beef kebab during refrigerated storage[J]. Bangladesh Journal of Microbiology, 1970, 23(2): 156-158.
- [12] 段鑫. X射线对生鲜牛肉的杀菌效果[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.
DUAN Xin. Effect of X-ray irradiation on the sterilization of fresh beef[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011.
- [13] 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. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB 4789.2—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, National Medical Products Administration. National food safety standard National food microbiology inspection Determination of the total number of colonies: GB 4789.2—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [14] 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. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数: GB 4789.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, National Medical Products Administration. National food safety standard Food microbiological examination Coliform group count: GB 4789.3—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [15] 陈谦, 杨敏, 高鹏, 等. ^{60}Co - γ 辐照对中式传统菜肴方便食品品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(21): 249-253, 262.
CHEN Qian, YANG Min, GAO Peng, et al. Effect of ^{60}Co - γ irradiation on quality of traditional Chinese instant food [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(21): 249-253, 262.
- [16] 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. 食品安全国家标准 熟肉制品: GB 2726—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, National Medical Products Administration. National food safety standard Cooked meat products: GB 2726—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [17] 肖林, 陆锐锋, 胡华超, 等. 电子束高剂量辐照新鲜贻贝肉制品的试验研究[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2011, 29(3): 179-182.
XIAO Lin, LU Ruifeng, HU Huachao, et al. Experimental research on fresh mussel meat irradiated by high-dose electron beam[J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2011, 29(3): 179-182.
- [18] 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.
JIANG Huiliang, GU Yu, YANG Xu, et al. Effects of electron beam irradiation on preservation of mussel meat[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(24): 272-276, 285.
- [19] CAMPO M M, NUTE G R, HUGHES S I, et al. Flavour perception of oxidation in beef[J]. Meat Science, 2006, 72(2): 303-311.
- [20] 秦卫东, 刘辉, 陈学红. 高氧包装鸭肉制品贮藏期间微生物数量和 TBA 值的变化[J]. 肉类研究, 2009, 23(8): 45-47.
QIN Weidong, LIU Hui, CHEN Xuehong. Changes of microorganism and TBA values of high oxygen packaged duck meat products during storages[J]. Meat Research, 2009, 23(8): 45-47.
- [21] 万发春. 维生素 A 对利鲁杂交阉牛牛肉品质的影响及机理研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2005.
WAN Fachun. Effects of vitamin a on beef quality of Limousin \times Luxi crossbred steers and action mechanisms[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2005.
- [22] AFZAL T M, ABE T, HIKIDA Y. Energy and quality aspects during combined FIR-convection drying of barley[J]. Journal of Food Engineering, 1999, 42(4): 177-182.
- [23] KUAN Y H, BHAT R, PATRAS A, et al. Radiation processing of food proteins—A review on the recent developments[J]. Trends in Food Science & Technology, 2013, 30(2): 105-120.
- [24] 郭军, 吴小说, 刘廷国, 等. ^{60}Co - γ 辐照对红烧鸡块货架期及其感官品质的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(3): 502-508.
GUO Jun, WU Xiaoshuo, LIU Tingguo, et al. Effects of ^{60}Co - γ irradiation on shelf life and sensory quality of braised pieces of chicken[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2016, 30(3): 502-508.
- [25] 王锋, 哈益明, 周洪杰, 等. 辐照对食品营养成分的影响[J]. 食品与机械, 2005, 21(5): 52-55.
WANG Feng, HA Yiming, ZHOU Hongjie, et al. Effect of irradiation on the nutrient composition of food[J]. Food and Machinery, 2005, 21(5): 52-55.
- [26] 程述震, 张春晖, 张洁, 等. 电子束辐照对充氮包装冷鲜牛肉品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 230-235.
CHENG Shuzhen, ZHANG Chunhui, ZHANG Jie, et al. Effect of electron beam irradiation on the quality of chilled beef packaged in nitrogen atmosphere[J]. Food Science, 2016, 37(18): 230-235.