

电子束辐照对即食凤爪品质的影响

戚文元^{1,2}, 颜伟强^{1,2}, 孔秋莲^{1,2}, 岳玲^{1,2}, 包英姿²,
陈志军¹, 戴旭东², 郭卡²

(1.上海市农业科学院 作物研究所,上海 201106; 2.上海束能辐照技术有限公司,上海 201401)

摘要: 以即食凤爪为试材,研究了电子加速器辐照处理对凤爪品质的影响,分析了不同剂量处理条件下凤爪的脂质氧化 TBARS 值、总挥发性盐基氮、弹性、汁液流失率、感官品质和菌落的变化情况。结果表明:当辐照剂量达到 6.0 kGy 时,产品贮藏 180 d 后其菌落总数为 4 300 cfu/g,菌落总数电子束辐照的 D_{10} 值在 1.84~2.22 kGy;辐照剂量大于 6.0 kGy 时,TBARS 值与空白相比有显著差异,而 TVB-N 则无显著差异;辐照剂量超过 8.0 kGy 时,则凤爪的弹性与汁液流失率有显著的影响。辐照剂量在一定范围内(8.0 kGy),对产品的感官品质不会产生明显的影响。常温下 180 d 的贮藏实验结果显示,采用电子束辐照可以显著降低并控制即食凤爪微生物含量,延长产品的货架期。

关键词: 即食凤爪;电子束;辐照;灭菌;品质

中图分类号: TS 251.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2012)09—0925—07

Effects of Electron Beam Irradiation on Quality for Instant Chicken Feet

QI Wen-yuan^{1,2}, YAN Wei-qiang^{1,2}, KONG Qiu-lian^{1,2}, YUE Ling^{1,2}, BAO Ying-zi²,
CHEN Zhi-jun¹, DAI Xu-dong², GUO Ka²

(1.Crop Institute, Shanghai Academy of Agriculture Science, Shanghai 201106,China; 2.Shanghai Shuneng Irradiation Technology Co.Ltd., Shanghai 201401,China)

Abstract: The effect of electron beam (EB) irradiation on instant chicken feet was examined, and the qualities of the instant chicken feet treated at different doses were analyzed in terms of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), Total Volatile Basic Nitrogen (TVB-N), flexibility, juice loss rate, sensory quality and total bacterial count. The results showed that instant chicken feet treated with dose of 6.0 kGy, and stored for 180 days, the total bacterial count of chicken feet was 4 300 cfu/g and the D_{10} value of colony number was determined to be 1.84~2.22 kGy. There was significant difference in TBARS value between irradiation and non-irradiation when the doses of EB irradiation were upon 6.0 kGy, while there was no significant difference in TVB-N, and there was no there was no significant difference in juice loss rate and flexibility when the

收稿日期: 2012-02-02

基金项目: 国家 973 计划项目(2011AA100804)和公益性行业(农业)项目(201103007)。

作者简介: 戚文元(1963—),男,上海人,副研究员,主要从事农产品辐照保鲜加工方面的研究。E-mail:sunny0123@vip.163.com

dose was less than 8.0 kGy; irradiation had some effects on sensory quality, but the effects were very small. After 180 days of storage at room temperature, the results show that EB irradiation could significantly reduce and control the instant chicken feet microorganism, and its shelf-life could be prolonged.

Keywords: instant chicken feet, electron beam, irradiation, sterilization, quality

凤爪是鸡肉加工的主要副产品之一,近年来已逐渐被加工成广受消费者喜欢的休闲食品。但由于其富含蛋白质与钙、铁等营养物质^[1],所以加工成即食凤爪易受微生物生长繁殖影响,产品在贮藏过程中经常会产生腐败等品质劣变现象,从而影响凤爪的货架期。为控制微生物的生长与繁殖,传统方法是热力杀菌,这种高温高压方法会使凤爪质构产生变化,汁液流失严重,弹性降低等,影响产品的感官品质^[2]。

为克服即食凤爪高温杀菌所带来的缺陷,目前凤爪所采用低温冷杀菌方法主要是⁶⁰Co辐照杀菌^[3]。辐照是理想的冷杀菌技术之一,杀菌效果显著,杀菌范围广,有着无毒、无残留、绿色环保、低能耗的优点^[4-5]。电子加速器灭菌技术是应用电子加速器所产生的高能电子束流,高能电子可有效地杀灭各种微生物和害虫,目前已广泛用于医疗卫生用品杀菌消毒与食品杀菌等^[6]。同⁶⁰Co辐照技术相比,电子加速器辐照的最大优点是辐照电子束流集中定向,能源利用充分,辐照效率高且剂量分布均匀,不会产生放射性废物。随着钴源售价与废源处理费用的不断上升,电子加速器辐照也显示出其经济优势^[7]。电子加速器辐照技术是目前国际上倍受关注的高科技领域之一。

作者以即食凤爪为试材,研究了电子束辐照剂量下微生物变化情况与菌落总数的 D_{10} 值,分析了不同剂量处理条件下凤爪的脂质氧化TBARS值、总挥发性盐基氮、弹性、汁液流失率、感官品质和菌落的变化情况,以及电子束辐照之后产品在贮藏期品质变化情况,为电子束辐照在凤爪中应用提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 材料

真空包装的袋装凤爪,50 g/袋,由江苏泰州某食品公司依本实验要求定制加工。

1.2 辐照处理

上海束能辐照技术有限公司 ESS-010-03 加速器,额定能量 10 MeV,功率 11.7 kW,重复可变频率 5~550 pps,扫描电流 9.8 A,扫描高度 520 mm,不均匀度小于 5%。

1.3 方法

1.3.1 D_{10} 值确定 每次取未经辐照处理的即食凤爪(1 000 g),装入无菌塑料自封袋中,密封,电子束辐照,辐照剂量分别控制在 0、2.0、4.0、6.0、8.0、10.0 kGy,实际辐照吸收剂量采用工作剂量剂重铬酸钾银,测量精度与国家 NDAS 计量比对误差小于 $\pm 3\%$ 。每个剂量水平重复 3 次,辐照后样品立即进行相应微生物的测定。

$$SD = D \times \lg(N_0/N)$$

上式中, SD 为辐照剂量, D 为指示菌 D_{10} 值, N 为辐照前污染菌数, N_0 为辐照后残留菌数, $\lg$ 为以 10 为底对数值^[8]。

1.3.2 菌落总数、大肠菌群和致病菌测定 菌落总数、大肠菌群和致病菌测定依据食品卫生微生物学检验—菌落总数测定(GB4789-2010)^[9]。

1.3.3 脂质氧化 TBARS 值的测定 取 5 g 研磨之后的样品,加入 25 mL 7.5%的三氯乙酸(含 0.1% EDTA),振匀 30 min,双层滤纸过滤两次,取上层滤液 5 mL,加入等体积 20 mmol/L 的硫代巴比妥酸(TBA),沸水浴中保温 40 min,取出冷却 30 min 后,以 1 600 r/min 离心 5 min,上清液中加 5 mL 氯仿摇匀,静置分层后取上清液,分别在 532 nm 和 600 nm 处比色的吸光度,通过下式计算 TBARS 值^[10]。

$$\text{TBARS 值}(\text{mg/kg}) = (A_{532} - A_{600}) \times 46.84$$

1.3.4 挥发性盐基氮(TVB-N) 参照肉与肉制品卫生标准的分析方法(GB/T 5009.44-2003)^[11],采用微量扩散法测定凤爪的挥发性盐基氮(TVB-N)的含量。

1.3.5 质构 样品凤爪置于 TA-XT2 质构仪上常温下进行检测,测试参数为 P/0.5 探头,测前、测试、

测后速度分别为 2、1、5 mm/s,变形率约为 50%。弹性是指第二次压缩中所检测到凤爪的恢复高度与第一次压缩变形距离的比,每样品重复测定 3 次,取其平均值。

1.3.6 汁液流失率 用滤纸吸干凤爪表面的水后称质量,汁液流失率通过下式计算:

$$\text{汁液流失率}(\%) = \frac{\text{辐照之后质量} - \text{初始未辐照质量}}{\text{初始未辐照质量}} \times 100$$

1.3.7 感官评价 由 10 人组成评定小组,对不同处理后的即食凤爪进行色泽、香气、滋味、形态 4 个方面进行感官评定。根据表 1 中凤爪感官标准进行评定,评定分数采用 5 分制,分数从 1 到 5 分,综合评价分为色、香、味、形这四项评定分所占的权重进行计算,其中色泽与形态权重系数为 20%,香气与滋味权重系数为 30%^[12-13]。

表 1 对即食凤爪感官评价的分值表

Tab.1 Value of evaluation for instant chicken feet

项目	评分值	感官标准
色泽	4~5	白色略带黄色、色泽均匀、有光泽;
	2~3	白色带深黄色、色泽较为均匀、略带光泽;
	0~1	色泽发暗,不均匀,光泽性差。
香气	4~5	具泡椒特有的酸辣香气,略带鸡肉清香,香气自然醇厚;
	2~3	具一定泡椒特的酸辣香气和鸡肉香气,香气较为自然;
	0~1	有辐照之后的异味,泡椒味与鸡肉香气特征味不突出。
滋味	4~5	有泡椒特有的酸辣风味,肉质脆爽,有良好的咀嚼和弹性;
	2~3	无明显的辐照异味,肉质较为脆爽,仍有一定的咀嚼和弹性;
	0~1	有明显辐照异味,口感粗糙,咀嚼和弹性差。
形态	4~5	表层皮质致密无裂口,保持凤爪完好结构,肉质与骨头结合紧密;
	2~3	能保持凤爪完好结构,表层皮质致密有一定裂口;
	0~1	外观出现组织塌陷,表层皮质的裂口明显。
综合评价	依据各项的指标得分,按其对应加权系数进行计算。	

1.3.8 统计分析 实验数据采用 SPSS 13.0 软件进行分析,对其进行 One-way 方差分析(ANOVA)和均值差异性的相关分析,显著性水平 $p < 0.05$;图像绘制与拟合采用 Origin8.0 软件。

2 结果与分析

2.1 电子束辐照处理对凤爪菌落总数的影响

不同电子束辐照剂量对即食凤爪贮藏过程中菌落总数变化情况见表 2。从表 2 可以看出,未经辐照的产品在贮藏中细菌繁殖速度非常快,在初始微生物 960 cfu/g 条件下,在 30 d 内菌落总数超过了产品标准要求 30 000 cfu/g。不同辐照剂量对产品微生物变化也各不相同,辐照的剂量越高,微生物生长相对缓慢。当辐照剂量达到 6.0 kGy 时,产品贮藏 180 d 后其菌落总数为 4 300 cfu/g,满足产品商业无菌的要求。表 2 显示,当电子束辐照剂量大于 4.0 kGy 时,其初始细菌总数均较低,但产品贮藏过程的微生物变化差异大;当剂量超过 6.0 kGy,后期的微生物繁殖速度慢。本研究表明,即食凤爪电子束辐照的适合剂量为 6.0 kGy,采用该剂量能够有效地控制产品在贮藏过程中微生物繁殖。这主要是由于高剂量辐照对微生物体内的生理活性物质,如 DNA、核酸、酶及蛋白质等产生不可逆的变性,促使微生物的代谢紊乱,繁殖受阻^[14-15],微生物繁殖速度因此大为降低。而较低辐照剂量处理凤爪,由于产品水分含量高,水分活度大,产品的营养丰富,在贮藏过程中有些微生物的生理功能可能会重新修复,因此贮藏一定时间后微生物仍可快速生长繁殖^[16]。

从表 2 可知,未经灭菌的处理凤爪在贮藏中微生物繁殖速度非常之快。在实际生产中,经常会出现由于灭菌处理控制不当而引起微生物超标问题,采用辐照处理必须控制好适当的辐照剂量。 D_{10} 值是指使菌落总数降低到原始数量 10% 所需要的辐照剂量值,是电离辐射杀菌中估算辐照剂量的重要参数。研究 D_{10} 值不仅可了解不同细菌对射线的抵抗力,也便于比较不同介质中微生物的耐辐射能力,从而制定合理的辐照剂量和辐照工艺^[4,8]。在本研究中,选择了 4 个不初始菌落总数的即食凤爪,在电子束辐照剂量为 2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、7.0、8.0、9.0、10.0 kGy 条件下检测出其对应的菌落总数。凤爪的菌落总数与辐照剂量关系见图 1。通过一元线性回归分析,不同初始含菌量凤爪的电子束辐照处理的回归结果见表 3。表 3 显示,不同初始的含菌量的 D_{10} 值各不相同, D_{10} 随初始含菌量的增加而增加,回归的相关系数 R^2 均大于 0.98,属高度相关,通过计算即食凤爪的菌落总数电子束辐照的 D_{10} 值在 1.84~2.22 kGy。

表 2 电子束辐照对凤爪贮藏过程菌落总数的影响

Tab.2 Effect of EB irradiation on colony count of chicken feet during storage

贮藏天数/d	0 kGy	2.0 kGy	4.0 kGy	6.0 kGy	8.0 kGy	10.0 kGy
0	9.6×10^2	2.3×10^2	76	30	30	20
30	3.9×10^4	1.6×10^4	2.6×10^2	86	90	35
60	6.4×10^5	7.8×10^4	1.3×10^3	150	120	60
90	1.9×10^6	2.5×10^5	7.8×10^3	260	280	94
120	7.2×10^6	1.3×10^6	1.3×10^4	980	370	110
150	1.1×10^7	3.6×10^6	2.3×10^5	1 700	680	140
180	1.5×10^7	1.1×10^7	5.7×10^5	4 300	1 200	240

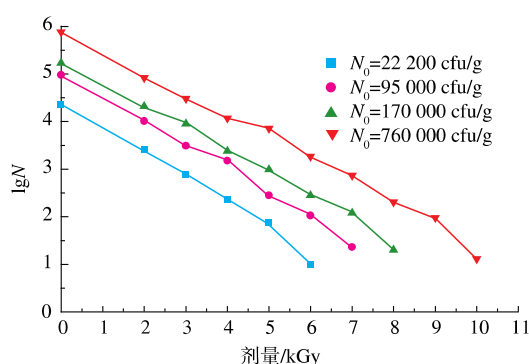


图 1 不同电子束辐照剂量对菌落总数的影响

Fig.1 Effect of different irradiation doses on total bacterial count

从表 3 可以看出, 不同初始的含菌量的 D_{10} 值各不相同。这是因为 D_{10} 值受多种因素影响, 不同培养方法, 不同载体以及不同原始浓度对 D_{10} 值都有影响^[8]。

表 3 不同初始含菌量的回归分析结果

Tab.3 Regression analysis of different initial content of the bacterium

初始菌落总数 N_0 (cfu/g)	回归方程 $y = a + b \cdot x$		R^2	D_{10} 值/ kGy
	a	b		
22200	4.4498 ± 0.1110	-0.5420 ± 0.0287	0.9862	1.84
95000	5.0361 ± 0.0768	-0.5096 ± 0.0172	0.9931	1.96
170000	5.3036 ± 0.0753	-0.4776 ± 0.0145	0.9936	2.09
760000	5.9093 ± 0.0942	-0.4509 ± 0.0152	0.9897	2.22

注: 同一行中的数据后有相同字母者, 表示在 5% 水平上差异不显著。

本研究结果显示, 即食凤爪的菌落总数的 D_{10} 值在 1.84~2.22 kGy, 这值略低于一般粉体产品中菌落总数的 D_{10} 值。靳振召 (2010) 等^[17]研究贯叶金丝

桃电子束辐照杀菌的菌落总数 D_{10} 值为 2.91 kGy, Valero (2006) 等^[18]研究得出电离辐照菌落的 D_{10} 为 2.48~2.75 kGy, 平均值为 2.62 kGy。Kim (2010) 等^[19]对腌制泡菜粉进行电子灭菌研究, 得出其菌落总数的 D_{10} 值约为 2.23 kGy。本实验得出 D_{10} 与这些研究结果较为接近, 但均低于这些值。这可能主要是由于即食凤爪水分含量较高, 辐照时对微生物的保护作用较弱, 微生物在辐照时更易于被杀灭, 因此其 D_{10} 值较低^[15]。

2.2 电子束辐照对凤爪理化特性的影响

分别采用 2.0、4.0、6.0、8.0、10.0 kGy 的剂量辐照即食凤爪, 辐照之后产品的 2-硫代巴比妥酸反应物值 (TBARS)、挥发性盐基氮 (TVB-N)、弹性和汁液损失率, 结果见表 4。从表 4 可知, 不同电子束辐照剂量的即食凤爪, 其 TBARS 值随辐照剂量的增加而增加, 当辐照剂量小于 6.0 kGy, 其 TBARS 值增加与空白值比较差异并不显著 ($P > 0.05$), 而辐照剂量达到 8.0 kGy 时, 其 TBARS 值有显著差异 ($P < 0.05$)。不同辐照剂量对即食凤爪的 TVB-N 影响差异不显著 ($P > 0.05$)。表 4 显示, 达辐照剂量小于 6.0 kGy 时, 其弹性与汁液流失率变化并不显著, 而剂量超过 8.0 kGy 时才会出现显著差异。

2-硫代巴比妥酸反应物值 (TBARS) 是衡量辐照产品中脂肪氧化的一个重要指标^[12]。物料经因为辐照之后会产生一定的自由基, 这些自由基可以诱导脂肪的过氧化反应与其他的化学变化, TBARS 值随辐照剂量的增加而增加, 不同辐照剂量产品的 TBARS 值增加与空白值比较差异并不显著。这可能是由于凤爪中脂肪含量较低, 且不饱和的脂肪酸含量较少有关。高鹏 (2009) 等^[20]在采用 ^{60}Co 处理凤爪时也得出类似的研究结果。挥发性盐基氮 (TVB-N)

是反映肉制品新鲜度的一个重要指标,凤爪经辐照处理后一些活性酶会失活,细菌被杀灭,所以不同辐照剂量的凤爪的 TVB-N 值之间不会产生显著性变化^[12]。对于弹性而言,在较高辐照剂量下,有可能导致其组织中胶原蛋白的降解,从而产生组织软化、弹性变化与汁液流失等现象。综合本研究结果,采用 6 kGy 的电子束辐照剂量,凤爪的 TBARS 值增加并不显著,并可有效控制 TVB-N 值和维持凤爪良好的弹性。

表 4 不同电子束辐照对凤爪理化特性的影响

Tab.4 Effects of EB irradiation on properties of physical and chemical of chicken feet

辐照剂量/kGy	TBARS 值/(mg/kg)	挥发性盐基氮/(mg/100g)	弹性	汁液损失率/%
0	0.303 ^a	0.228 ^a	0.982 ^a	0
2.0	0.304 ^a	0.218 ^a	0.976 ^a	0.13 ^a
4.0	0.304 ^a	0.217 ^a	0.966 ^a	0.18 ^a
6.0	0.305 ^a	0.219 ^a	0.968 ^a	0.17 ^a
8.0	0.316 ^b	0.224 ^a	0.947 ^b	0.21 ^b
10.0	0.322 ^c	0.211 ^a	0.938 ^b	0.46 ^c

注:同一行中的数据后有相同字母者,表示在 5% 水平上差异不显著。

2.3 电子束辐照对凤爪感官品质的影响

表 5 是即食凤爪经不同电子束辐照剂量处理后色、香、味、形的感官评价结果。从表 5 可以看出,不同电子束的辐照剂量对凤爪色泽影响并没有显著的差异($P>0.05$),色泽的感官评价得分基本是一致的。辐照对凤爪的香气与滋味产生较大的变化,当辐照剂量超过 8.0 kGy 时,从香气与滋味感官评价看均会有明显的差异($P<0.05$);不同辐照剂量对于凤爪形态变化,在感官评价的得分中并无显著差异($P>0.05$),这与汁液流失率检测结果是相对应的。从表 5 最终的综合评价分看,当辐照的剂量小于 6.0 kGy,凤爪的总体评分较为接近。许多研究表明,辐照会对食品、特别是肉制品风味生产一定的变化。一般而言,辐照剂量越大,其风味变化越为明显,因此通过感官评价方法确认产品风味变化可接受度是确认辐照剂量一个重要参考指标^[2]。从本研究中可以得出,当辐照的剂量小于 6.0 kGy,凤爪的总体评分较为接近,说明辐照对产品的感官品质影响较小,高美须(2010)等^[13]研究 ^{60}Co 辐照对泡椒凤爪感官品质的影响也得出类似的研究结果。

表 5 凤爪感官评价分析结果

Tab.5 Analysis results of sensory evaluation of instant chicken feet

辐照剂量/kGy	色泽	香气	滋味	形态	综合评价
0	4.79 ^a	4.47 ^a	4.64 ^a	4.63 ^a	4.62
2.0	4.78 ^a	4.35 ^a	4.53 ^a	4.54 ^a	4.53
4.0	4.72 ^a	4.34 ^a	4.50 ^a	4.58 ^a	4.51
6.0	4.75 ^a	4.31 ^a	4.48 ^a	4.57 ^a	4.50
8.0	4.84 ^a	4.12 ^b	4.34 ^a	4.63 ^a	4.43
10.0	4.78 ^a	3.754 ^c	4.03 ^b	4.60 ^a	4.21

注:同一行中的数据后有相同字母者,表示在 5% 水平上差异不显著。

2.4 电子束辐照对凤爪贮藏品质的影响

即食凤爪经电子束 6.0 kGy 辐照剂量处理后在常温下贮藏 6 个月,凤爪的主要品质指标与微生物变化情况见表 6。TBARS 值与 TVB-N 值均随贮藏时间的增加而增加,凤爪贮藏的前期 TBARS 值增加显著($P<0.05$),在贮藏后期仍会增加,但变化并不显著;挥发性盐基氮(TVB-N)也随贮藏时间的增加而增加,但整个保质期内(6 个月)挥发性盐基氮值维持在较低的水平。表 6 显示,经辐照之后的凤爪其大肠菌群和致病菌在整个保质期内均未检出,菌落总数随贮藏时间增加而快速增加,说明电子束辐照(6.0 kGy)凤爪不能完全杀灭产品中微生物,但产品在 6 个月贮藏内菌落总数仍低于产品要求的微生物值,即在保质期内符合商业无菌标准要求^[20]。6 kGy 处理之后的即食凤爪在贮藏过程中的 TBARS 值与 TVB-N 值均随贮藏时间的增加而增加。TBARS 值变化主要是由于凤爪经辐照之后会产生大量的自由基,自由基的增加会加速凤爪的脂肪氧化,但自由基随着氧化消耗及其它反应的自然修复,自由基随贮藏时间增加而减少^[21-22],所以在凤爪贮藏的前期 TBARS 值增加显著($P<0.05$),而在贮藏后期变化并不显著;TVB-N 由于产品中仍有微生物存在,且微生物随贮藏时间增加而增加,凤爪蛋白质在微生物的作用下导致 TVB-N 量增加,TVB-N 的变化与微生物变化呈正相关。挥发性盐基氮变化也反映凤爪中细菌含量变化,在贮藏前期 TVB-N 变化较为缓慢,随着微生物快速增加在贮藏后期 TVB-N 变化更为明显,但整个保质期内(6 个月)挥发性盐基氮值维持在很低的水平。大肠菌群和致病

菌对辐照均非常敏感^[23], 大肠菌群的 D_{10} 值为 300 Gy^[8], 金黄色葡萄球菌在生理盐水(0.9%)中的 D_{10} 值为 116 Gy^[24]。菌落总数随贮藏时间增加而快速增加, 说明电子束辐照(6.0 kGy)凤爪不能完全杀灭产品中微生物, 部分未被杀灭的微生物会在贮藏过程存在生理自我修复。凤爪水分含量高, 水分活度高使表 6 电子束辐照(6.0 kGy)凤爪在常温下贮藏的品质变化情况

Tab.6 Effects of EB irradiation (6.0 kGy) on chicken feet quality during storage with room temperature

贮藏天数/d	TBARS 值/(mg/kg)	挥发性盐基氮质量分数/(mg/kg)	菌落总数/(cfu/g)	大肠菌群/(MPN/100g)	致病菌
0	0.288 ^c	0.210 ^c	40	<30	未检出
30	0.321 ^b	0.212 ^c	95	<30	未检出
60	0.336 ^b	0.221 ^{bc}	140	<30	未检出
90	0.339 ^{ab}	0.236 ^b	270	<30	未检出
120	0.342 ^a	0.245 ^b	110	<30	未检出
150	0.346 ^a	0.266 ^{ab}	1800	<30	未检出
180	0.351 ^a	0.310 ^a	4900	<30	未检出

注: 同一列中的数据后有相同字母者, 表示在 5% 水平上差异不显著。

参考文献:

- [1] 刘玉荣. 泡椒凤爪的加工工艺[J]. 肉类工业, 2001(4): 9-10.
LIU Yu-rong. Processing technology of fermented spicy chicken feet[J]. *Meat Industry*, 2001(4): 9-10. (in Chinese)
- [2] 高鹏, 王艳, 黄敏, 等. 辐照对软罐头包装凤爪的杀菌作用和品质的影响[J]. 核农学报, 2011, 25(3): 502-505.
GAO Peng, WANG Yan, HUANG Min, et al. Effect of irradiation on sterilization and sensory quality of soft can packaged chicken feet[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2011, 25(3): 502-505. (in Chinese)
- [3] 张海伟, 哈益明, 王锋. 辐照处理肉及其制品的脂肪氧化效应研究[J]. 食品科学, 2005, 26(9): 605-611.
ZHANG Hai-wei, HA Yi-ming, WANG Feng. A review on lipid oxidization of irradiated meat and meat products [J]. *Food Science*, 2005, 26(9): 605-611. (in Chinese)
- [4] 孔秋莲, 岳玲, 戚文元, 等. 电子束辐照乳酸钙杀菌效果的研究[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2011, 29(1): 43-47.
KONG Qiu-lian, YUE Ling, QI Wen-yuan, et al. The effect of E-beam irradiation on the sterilization for calcium lactate[J]. *Journal of Radiation Research and Radiation Processing*, 2011, 29(1): 43-47. (in Chinese)
- [5] Palekar M P, Cabrera-Diaz E, Kalbasi-Ashtari A, et al. Effect of electron beam irradiation on the bacterial load and sensorial quality of sliced cantaloupe[J]. *Food Sci*, 2004, 69(3): 267-273.
- [6] Shawrang P, Nikkhah A, Zare-Shahneh A, et al. Effectsof g-irradiation on chemical composition and ruminal protein degradation of canola meal[J]. *Radiat Phys Chem*, 2008, 77(5): 918-922.
- [7] 孔秋莲, 陈庆隆, 戚文元, 等. 不同辐照检疫处理对进口甜樱桃货架品质的影响[J]. 上海农业学报, 2010, 26(4): 48-52.
KONG Qiu-lian, CHEN Qing-long, QI Wen-yuan, et al. Effects of quarantine radiation treatments on quality of imported sweet cherry in shelf life[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2010, 26(4): 48-52. (in Chinese)
- [8] 齐子荣, 梁永. 电离辐射灭菌指示菌 D_{10} 值的研究[J]. 中国消毒学杂志, 1987, 4(2): 65-67.
QI Zi-rong, LIANG Yong. Preliminary research on D_{10} values of indicator organisms for sterilization by ionizing irradiation[J].

得微生物在贮藏过程仍会生长繁殖^[15]。综合本研究结果可以得出: 即食凤爪经 6.0 kGy 辐照之后, 产品在 6 个月贮藏内, 品质基本可维持其原有的水平, 菌落总数仍低于产品标准的规定值。

3 结 语

通过电子加速器的不同辐照剂量对凤爪灭菌效果与品质变化的研究, 对于不同初始含菌量凤爪的菌落总数电子束辐照的 D_{10} 值在 1.84~2.22 kGy, 且 D_{10} 值随原始含菌量的增加而增加; 即食凤爪辐照吸收剂量为 6.0 kGy 较为合适, 该剂量能够有效控制凤爪的微生物数量, 并且对凤爪的脂质氧化 TBARS 值、总挥发性盐基氮、弹性、汁液流失率、感官品质等的影响并不显著。结果表明: 当辐照剂量达到 6.0 kGy 时, 产品贮藏 180 d 后其菌落总数为 4 300 cfu/g, 辐照剂量大于 6.0 kGy 时, TBARS 值与空白相比有显著差异, 而 TVB-N 则无显著差异; 辐照剂量超过 8.0 kGy 时, 则凤爪的弹性与汁液流失率有显著的影响; 辐照剂量在一定范围内 (8.0 kGy), 对产品的感官品质不会产生明显的影响, 产品在常温下的贮藏期可达 180 d。

- Chinese Journal of Disinfection, 1987, 4(2): 65-67. (in Chinese)
- [9] 食品卫生微生物学检验 中华人民共和国国家标准 GB4789-2010[GB].
- [10] Witte V C, Krause G F, Bailey M E A. New extraction method for determining 2-thiobarbituric acid values for pork and beef during storage[J]. Food Sci, 1970, 35: 582-585.
- [11] 肉与肉制品卫生标准的分析方法. 中华人民共和国国家标准 GB/T 5009.44 - 2003[GB].
- [12] 李作为, 张立彦, 芮汉明, 等. 杀菌条件对白云凤爪储藏品质的影响[J]. 现代食品科技, 2011, 27(7): 738-741.
LI Zuo-wei, ZHANG Li-yan, RUI Han-ming, et al. Effect of sterilization on the storage quality of baiyun chicken claw[J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(7): 738-741. (in Chinese)
- [13] 高美须, 李淑荣, 裴颖, 等. 辐照对泡椒凤爪感官品质的影响[J]. 核农学报, 2010, 24(6): 1203-1207.
GAO Mei-xu, LI Shu-rong, PEI Ying, et al. Effect of irradiation on sensory quality of fermented spicy chicken feet[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2010, 24(6): 1203-1207. (in Chinese)
- [14] 王毅明, 张慧, 王拥军, 等. 调理鸭肉浓汤的杀菌及抗氧化特性研究[J]. 食品与生物技术学报, 2010, 29(6): 876-882.
WANG Yi-ming, ZHANG Min, WANG Yong-jun, et al. The sterilization and anti-oxidation properties of concentrated duck soup [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2010, 29(6): 876-882. (in Chinese)
- [15] Gaber M H. Effect of g-irradiation on the molecular properties of bovine serum albumin[J]. Biosci Bioeng, 2005, 100(6): 203-206.
- [16] Khorasani G R, Robinson P H, Kennelly J J. Effects of canola meal treated with acetic acid on ruminal degradation and intestinal digestibility in lactating dairy cows[J]. Dairy Sci, 1993, 76: 1607-1616.
- [17] 靳振召, 梁剑平, 王学红, 等. 贯叶金丝桃的电子束辐照杀菌研究[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(1): 168-172.
JIN Zhen-zhao, LIANG Jian-ping, WANG Xue-hong, et al. Decontamination of *Hypericum perforatum* by electron-beam irradiation[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2010, 26(1): 168-172. (in Chinese)
- [18] Valeroa M, Sarrıasa J A, lvarez D A, et al. Modeling the influence of electron beam irradiation on the heat resistance of *Bacillus cereus* spores[J]. Food Microbiol, 2006, 23: 367-371.
- [19] Kim H J, Chun H H, Song H J. Effects of electron beam irradiation on the microbial growth and quality of beef jerky during storage[J]. Radiat Phys Chem, 2010, 79: 1165-1168.
- [20] 高鹏, 王艳, 黄敏, 等. ^{60}Co - γ 射线辐照对凤爪软罐头的灭菌作用和品质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(21): 36-38.
GAO Peng, WANG Yan, HUANG Min, et al. Effect of ^{60}Co - γ irradiation on sterilization and quality of chicken paws [J]. Food Science, 2009, 30(21): 36-38. (in Chinese)
- [21] 熊双丽, 金征宇. 猪喉软骨硫酸软骨素的制备和自由基清除活性[J]. 食品与生物技术学报, 2006, 25(4): 85-89.
XIONG Shuang-li, JIN Zheng-yu. Preparation of chondroitin sulfate from pig laryngeal cartilage and free radicals-scavenging activities[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2006, 25(4): 85-89. (in Chinese)
- [22] 马俪珍, 卢智, 朱俊玲. 调味液处理后的真空包装冷却羊肉低剂量辐射后的微生物变化[J]. 食品与生物技术学报, 2008, 27(1): 32-37.
MA Li-zhen, LU Zhi, ZHU Jun-ling. Changes in microflora characteristics of vacuum packaged fresh mutton after dealing with preservative solution and irradiated at low dose irradiation[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2008, 27(1): 32-37. (in Chinese)
- [23] 陆炎培, 鲍思泽, 许学勤, 等. 加热巴氏杀菌和辐射选择性杀菌联合加工对圆腿货架寿命和产品品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 1984, 4(1): 34-39.
LU Yan-pei, BAO Zi-ze, XU Xue-qin, et al. The effect of heat pasteurization and radurization combination processing on the shelf life and quality of ham[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 1984, 4(1): 34-39. (in Chinese)
- [24] 王秀云, 张荫芬, 王维国. 金黄色葡萄球菌在高能电子束辐照下的 D_{10} 值[J]. 北京师范大学学报, 1986, (4): 87-89.
WANG Xiu-yun, CHANG Yin-fen, WANG Wei-guo. D_{10} value of *Staphylococcus aureus* under electron beam [J]. Journal of Beijing Normal University, 1986, (4): 87-89. (in Chinese)