

电子束辐照对冷鲜猪里脊肉品质及蛋白特性的影响

程述震,刘伟,冯晓琳,张洁,林琼,解新方,王志东*

(中国农业科学院农产品加工研究所,北京,100193)

摘要 为探究电子束辐照对真空包装冷鲜猪肉品质的影响,取屠宰后 72 h 成熟的猪里脊,在高能电子加速器下辐照,4 ℃ 贮藏 10 d,评估不同辐照剂量(2.0、4.0、6.0 kGy)和贮藏时间(0、5、10 d)条件下微生物学、生物化学和蛋白特性的变化。在贮藏第 0 天,冷鲜猪肉的菌落总数为 4.74 (lg CFU/g),辐照处理后,2.0、4.0、6.0 kGy 菌落总数分别减少到 2.97、2.83 和 2.66 (lg CFU/g),差异性显著($P < 0.05$);在贮藏前期电子束辐照显著降低了冷鲜猪肉的 TVB-N 和 pH 值,但在贮藏后期虽然辐照处理组的 TVB-N 和 pH 值低于空白对照组,但二者无显著性差异。辐照处理加剧冷鲜猪肉的脂肪氧化,并使其蛋白质的溶解度和非蛋白氮含量增加,但对于粗蛋白含量无显著性影响。

关键词 电子束辐照;冷鲜猪肉;真空包装;微生物特性;蛋白质特性

目前,市场上销售的猪肉主要有热鲜肉、冷冻肉和冷鲜肉 3 种形式^[1]。与冷冻肉和热鲜肉相比,冷鲜肉具有滋味优美、营养价值高、质地柔软等优点^[2],但由于冷鲜肉在生产、加工、流通和销售过程中极易受到微生物的污染,从而引起其品质下降和安全性降低^[4-6],使其市场占有率较低。

虽然对于冷鲜肉保鲜技术和方法研究很多^[4-6],但能应用于产业中的方法和技术却很少。在实际销售中,部分商家为延长肉品保质期,采用将冷鲜肉冻结后再解冻,以“冷鲜肉”的名义进行销售,这种方式在一定程度上违背了冷鲜肉的概念,对消费者存在一定的欺骗。

辐照保鲜,作为一种“冷杀菌”技术,在肉及肉制品杀菌保鲜,延长货架期方面国内外已有大量研究。ROBERT 等^[7]报道用 3 kGy γ 射线辐照冷鲜牛肉馅饼,在 4 ℃ 条件下贮藏,货架期达到 42 d,而未经辐照的样品在贮藏第 7 天已开始腐败,货架期延长了 35 d。李新等^[8]采用 3 kGy γ 射线和电子束辐照冷鲜猪肉,发现电子辐照可以降低猪肉的脂肪氧化,此研究结果与尚宜斌^[9]研究结论一致。DOG-BEVI 等^[10]研究发现 1 kGy γ 射线辐照可以使冷鲜猪里脊肉的货架期得到有效延长。SWEETIE 等^[11]发现,2.5 kGy 的 γ 射线辐照可以将 0~3 ℃ 贮藏鸡

块的货架期由 3 d 延长至 21 d,将微生物总数降低 2~3 个数量级。

本试验中利用电子束辐照处理真空包装冷鲜猪肉,分析不同辐照剂量对冷鲜猪肉各个贮藏期的品质及蛋白特性的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

冷鲜猪里脊肉,北京市第五肉联厂;聚乙烯包装袋,透氧率为 15.5 mL/(m²·24 h·25 ℃·Pa),北京日上包装公司。

试验所用试剂均为分析纯。平板计数琼脂(02-035A),北京奥博星技术有限责任公司;重铬酸钾银剂,中国计量学院;阿拉伯胶、HCl、无水 Na₂CO₃、甲基橙等常规试剂,国药集团化学试剂有限公司;实验用水均为蒸馏水。

1.2 仪器与设备

BS224S-电子天平,德国 Sartorius 公司;真空包装机,北京日上包装公司;FYL-YS-12 低温保存箱,北京福意联电器有限公司;FZ-10/15 型高能电子加速器,中国原子能科学研究院;YM-50 立式压力蒸汽灭菌器,上海三申医疗器械有限公司;BILON-09-无菌均质器,上海比朗仪器制造有限公司;HWS 智能型恒温恒湿培养箱,宁波江南仪器厂;SW-CJ-2F 超净工作台,苏州安泰空气技术有限责任公司;QL901 涡旋混匀器,江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司;DHG-9140 电热恒温鼓风干燥箱,北京陆希科技有限公司;T25-

第一作者:硕士研究生(王志东研究员为通讯作者,E-mail:wangzhidong@caas.cn)。

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2014BAA03B05)

收稿日期:2016-06-14,改回日期:2016-08-17

分散器,德国 IKA[®] 公司;FE-20 实验室 pH 计,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;SIGMA-离心机,北京五洲东方科技发展有限公司;T6-新世纪紫外可见分光光度计,中国普析公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品制备

取屠宰后成熟 72 h 的猪里脊(去除可见的筋腱、筋膜等)分割成 5 cm × 3 cm × 1.5 cm 左右的小块;样品真空包装,真空包装参数为:抽气时间 30 s,热封时间 1.5 s,放气时间 1.2 s,抽气压强 0.1 MPa;真空包装后将样品随机分成 4 组,每组 9 袋,置于(4 ± 1) °C 冰箱中待第 2 天辐照。

1.3.2 辐照处理

样品于北京原子高科股份有限公司辐照,电子加速器能量为 10 MeV,设定辐照参数为:辐照剂量 0、2、4、6 kGy,剂量率为 150 kGy/min,每组分别于托盘的上、中、下 3 个部位跟踪一只重铬酸银剂量计。辐照后立即将样品置于 4 °C 冰箱贮藏。

1.3.3 指标测定

样品分别在辐照后的第 0 天,第 5 天,第 10 天取样测定各项理化指标。

(1) 微生物总数(APCs):参照《GB/T4789.2—2010 食品微生物学菌落总数测定》^[12] 执行。

(2) 挥发性盐基氮(TVB-N):参照《GB/T5009.44—2003 肉与肉制品卫生标准的分析方法》^[13] 中微量扩散法进行。

(3) 过氧化值(POV):参照《GB/T5009.44—2003 肉与肉制品卫生标准的分析方法》^[13] 取样,按照《GB/T5009.37—2003 食用植物油卫生标准的分析方法》^[14] 进行测定,POV 值表示 1 kg 油脂中所含的过氧化物质量(mg)。

(4) pH 值:参考 KWON 等^[15] 的方法进行。

(5) 剪切力(CF):将样品修剪成 4 cm × 1 cm × 1 cm 规格的长方体,用 TXT2i 质构仪沿肌原纤维方向垂直测定剪切力,每个样品重复 3 次,取平均值。

(6) 蛋白含量:参照《GB/T5009.5—2010 食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》^[16] 执行。

(7) 蛋白溶解度:参照 JOO 等^[17] 的方法进行。

(8) 非蛋白氮:参照赵改名等^[18] 的方法进行。

1.3.4 数据分析

所得数据均为 3 次数据的平均值,采用 SPSS 19.0 进行邓肯极差分析,Origin 8.0 进行数据作图。

2 结果与讨论

2.1 电子束辐照对冷鲜猪肉中微生物的影响

冷鲜肉营养物质丰富,水分含量较高,极易受到致病微生物和腐败微生物的污染,从而使其货架期缩短,产生食品安全性问题。图 1 为不同电子束辐照剂量对真空包装冷鲜猪肉贮藏期微生物总数的影响。

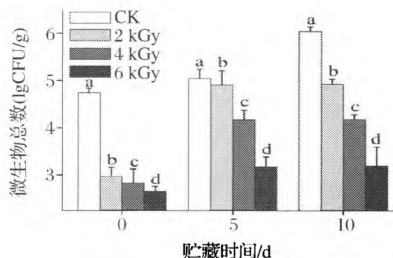


图 1 电子束辐照对冷鲜猪肉微生物的影响

Fig. 1 The effect of electron beam irradiation on the bacterial of chilled pork

在贮藏第 0 天,对照组的微生物总数为 4.74 (lg CFU/g),经过 2.0、4.0、6.0 kGy 电子束辐照处理后其微生物总数分别下降了 1.77、2.14、2.31 (lg CFU/g)。由此可见辐照处理可以有效的杀灭冷鲜猪肉中的微生物($P < 0.05$),而且不同辐照剂量组之间的微生物总数也存在显著性的差异,辐照剂量越大,对微生物的杀灭效果越好($P < 0.05$)。随着贮藏期的延长,空白对照组和辐照处理组的微生物均在不断增加,但辐照处理组中的微生物总数一直低于空白对照组。在贮藏第 10 天时,空白对照组的微生物总数超过了国家规定的安全标准 6 (lg CFU/g),此时辐照处理组的微生物总数均在此安全值以下。本试验结果与 DUONG^[19] 和 KANATT^[20] 等研究结论一致,即电子束辐照技术可以有效杀灭冷鲜肉及肉制品中的微生物,延长产品货架期。

2.2 电子束辐照对冷鲜猪肉挥发性盐基氮(TVB-N)含量的影响

挥发性盐基氮(TVB-N)是食品蛋白质在细菌和内源酶作用下分解而产生氨以及胺类等碱性含氮物质,是目前国标上公认的用于评价肉质新鲜程度的一个重要理化指标。电子束辐照对冷鲜猪肉 TVB-N 含量的影响如图 2 所示。

在贮藏第 0 天,空白对照组的 TVB-N 值为 14.45 mg/100 g,经过 3 种不同剂量的电子束辐照处理后,TVB-N 值分别下降了 6.41、6.36、6.40 mg/100 g,下

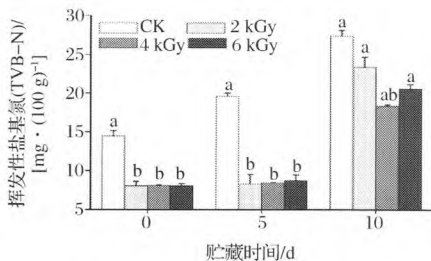


图2 电子束辐照对冷鲜猪肉 TVB-N 含量的影响

Fig. 2 The effect of electron beam irradiation on the TVB-N of chilled pork

降幅度均达到 44% 左右,对照组和辐照处理组之间存在显著性差异 ($P < 0.05$),这与 AI-BACHIR^[21] 的研究结果一致。国家规定的一级冷鲜肉的 TVB-N 值 $< 15 \text{ mg}/100 \text{ g}$,二级冷鲜肉的 TVB-N 值为 $15 \sim 20 \text{ mg}/100 \text{ g}$,变质肉的 TVB-N 值 $> 20 \text{ mg}/100 \text{ g}$,由图 2 可以看出,对照组 TVB-N 值 ($19.61 \text{ mg}/100 \text{ g}$) 在贮藏第 5 天已经超过了国家一级冷鲜肉规定值,而辐照处理组的 TVB-N 值远低于 $15.0 \text{ mg}/100 \text{ g}$ 。随着贮藏时间的延长,各组 TVB-N 值均在不断增加,在贮藏到第 10 天时,空白对照组、2 kGy 和 6 kGy 辐照处理组的 TVB-N 值超过了国家规定的冷鲜肉 TVB-N 最大值 $20 \text{ mg}/100 \text{ g}$,成为了定义中的变质肉,而 4 kGy 辐照组挥发性盐基氮含量为 $18.40 \text{ mg}/100 \text{ g}$,符合国家二级冷鲜肉标准。由此可见,冷鲜肉的挥发性盐基氮值与辐照剂量之间并非线性关系,辐照剂量越高,冷鲜肉的鲜度并非越好。

2.3 电子束辐照对冷鲜猪肉过氧化值 (POV) 的影响

电子束辐照对冷鲜猪肉过氧化值 (POV) 的影响如图 3 所示。由试验数据表明,在贮藏第 0 天,空白对照组的 POV 值为 $1.405 \text{ g}/\text{kg}$,2.4 和 6 kGy 的辐照处理组 POV 值分别为 2.105 、 2.356 和 $2.958 \text{ g}/\text{kg}$,相比于空白组分别高出了 49.8%、67.7% 和 110.5%,辐照处理组的 POV 值显著 ($P < 0.05$) 高于空白对照组。辐照处理组中,辐照剂量越高,冷鲜猪肉的过氧化值越高,6 kGy 辐照处理组 POV 值显著高于 2 kGy 和 4 kGy 辐照处理组 POV 值,而 2 kGy 和 4 kGy 辐照处理组的 POV 值差异性不显著,由此可以表明辐照处理会明显加速脂肪的氧化。随着贮藏时间的延长,不同处理组的 POV 值均呈现增加趋势,在各个贮藏阶段辐照处理冷鲜猪肉的 POV 值均显著性高于空白对照组,这也说明了辐照处理确实使冷鲜肉的 POV 值升高,加速了脂肪的氧化。在贮藏后 2 个阶段,辐

照处理组的 POV 值明显增加,脂肪氧化明显增强,各个处理组之间差异性显著 ($P < 0.05$)。

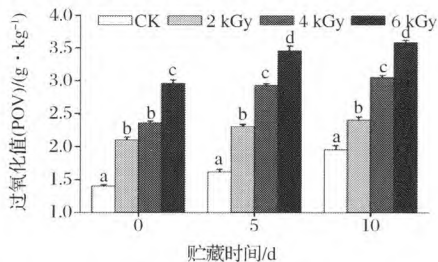


图3 电子束辐照对冷鲜猪肉过氧化值 (POV) 的影响

Fig. 3 The effect of electron beam irradiation on the POV of chilled pork

2.4 电子束辐照对冷鲜猪肉 pH 值的影响

肉中 pH 值受到多种因素的影响,如三磷酸腺苷 (ATP) 的分解、肌糖元的分解、肌肉细胞的呼吸作用、肌肉蛋白质的降解以及产酸性微生物的生长等。国家规定一级鲜肉的 pH 值为 $5.8 \sim 6.2$,二级鲜肉的 pH 值为 $6.3 \sim 6.6$,变质肉的 pH 值为 6.7 以上。由图 4 可以看出,辐照处理使冷鲜肉的 pH 值降低,该实验结果与尚颐斌^[9] 和 KWOON 等^[15] 研究结果一致,辐照处理显著降低了冷鲜肉的 pH 值,汪勋清^[22] 等指出辐照处理使肉品蛋白质的二硫键断裂,含巯基氨基酸的硫成分被氧化,产生的硫化氢等使肉的 pH 值朝酸性方向变化。随着贮藏时间的增加,空白对照组和各辐照处理组的冷鲜肉 pH 值呈现上升,这主要是因为蛋白质在细菌和内源酶的作用下被分解氨和胺类等碱性物质,使 pH 值逐渐增加,这与 KWON^[23] 等研究结果一致。

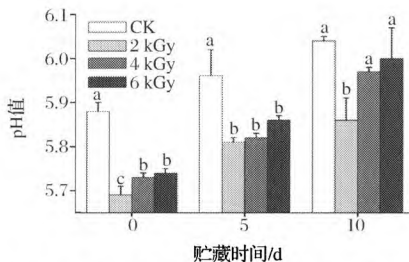


图4 电子束辐照对冷鲜猪肉 pH 值的影响

Fig. 4 The effect of electron beam irradiation on the pH of chilled pork

2.5 电子束辐照对冷鲜猪肉嫩度的影响

在肉的食用品质中,嫩度 (tenderness) 是消费者最为关心和重视品质指标之一,是反映肉品质地,决定肉品质地的最重要因素^[24]。肌肉嫩度取决于肌肉

蛋白质分子之间的相互作用力,以剪切力来衡量,剪切力值越高,嫩度越差。图5是贮藏第0天,电子束辐照后,冷鲜猪肉嫩度的变化。

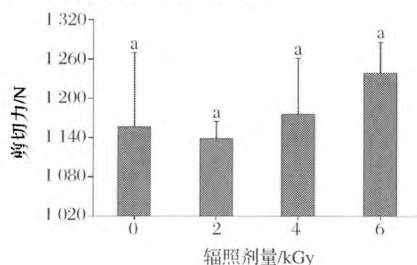


图5 电子束辐照对冷鲜猪肉嫩度的影响
Fig. 5 The effect of electron beam irradiation on the tenderness of chilled pork

空白对照组和各剂量辐照处理组的冷鲜猪肉剪切力值分别为(1 156.51 ± 113.92)、(1 138.79 ± 25.95)、(1 175.84 ± 85.63)和(1 239.21 ± 246.73) N,应用 SPSS 19.0 进行邓肯极差分析后发现,各组数据之间并无显著性差异($P > 0.05$),由此可见电子束辐照对真空包装冷鲜猪肉嫩度无显著影响。但是 GOMES 等^[24] 研究报道称电子束辐照处理鸡肉的韧度增加,嫩度降低,与本研究结果不完全一致。

2.6 电子束辐照对冷鲜猪肉粗蛋白含量的影响

猪肉作为居民日常生活消费的主要肉品,是机体摄入蛋白质的一种主要形式。电子束辐照对真空包装冷鲜猪肉中粗蛋白含量的影响如图6所示。经过电子束辐照后,空白对照组和2、4和6 kGy 辐照处理组的冷鲜肉粗蛋白质含量分别为20.36%、20.15%、20.44%、19.93%,运用 SPSS 19.0 进行邓肯极差分析后发现,各组数据之间并无显著性差异($P > 0.05$),由此可知电子束辐照对冷鲜肉中的粗蛋白质含量无显著性影响。本课题组前期研究^[26]发现,经过8.8 kGy的电子束辐照处理的素鸡,其粗蛋白含量与对照相比无显著差异;AI-BACHIR 等^[27]报道低剂量的电子束辐照(<6 kGy)对骆驼肉的粗蛋白质含量同样无显著影响;电子束辐照剂量对大豆蛋白的含量无显著性影响^[28];DOGBEVI 等^[29]研究发现,不同剂量的 γ 射线辐照对冷却猪肉中的蛋白质含量无显著性差异。

2.7 电子束辐照对冷鲜猪肉蛋白溶解度的影响

作为肉品中的一类重要营养物质,蛋白质约占肉质量的18%左右。肌肉中的蛋白质分为肌浆蛋白质和肌原纤维蛋白质两大部分,其中的肌原纤维蛋白对肉的各种品质特性有非常重要的作用,如持水性、嫩

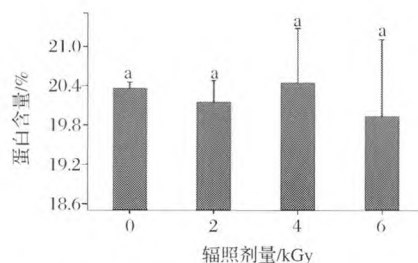


图6 电子束辐照对冷鲜猪肉粗蛋白的影响
Fig. 6 The effect of electron beam irradiation on the protein content of chilled pork

度等。电子束辐照对真空包装冷鲜猪肉总蛋白溶解度、肌浆蛋白溶解度和肌原纤维蛋白溶解度的影响如图7所示,由图7可以看出电子束辐照对3种蛋白溶解度的影响有所不同。

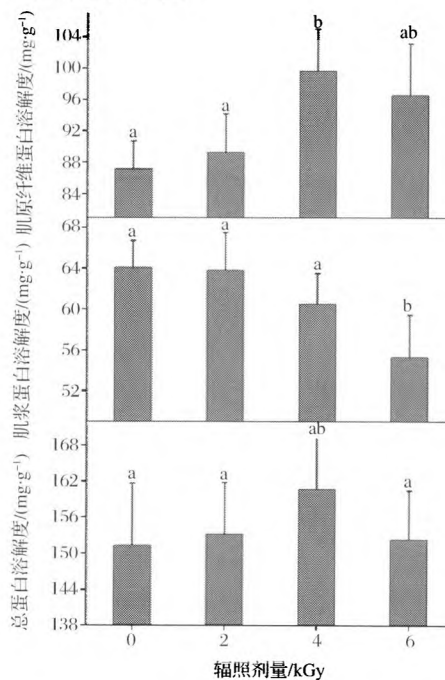


图7 电子束辐照对冷鲜猪肉蛋白溶解度的影响
Fig. 7 The effect of electron beam irradiation on the protein solubility of chilled pork

电子束辐照后,总蛋白质的溶解度随着辐照剂量的增加,先增加后减低,4 kGy 辐照处理组总蛋白质(160.68 mg/g)溶解度最高,相比于未辐照增加了9.66 mg/g,但空白对照组和3组处理之间无显著性差异($P > 0.05$);辐照组肌浆蛋白的溶解度低于空白对照组,随着辐照剂量的增加6 kGy 辐照组肌浆蛋白质的溶解度显著($P < 0.05$)低于空白对照组;肌原纤维蛋白溶解度与总蛋白溶解度相类似,随着辐照剂量的增加,先增加后减低,4 kGy 辐照处理组肌原纤维

蛋白质(99.70 mg/g)溶解度最高,相比于未辐照组增加 12.55 mg/g。

蛋白质溶解度与许多因素有关,如肌原纤维结构、pH 值、离子强度以及温度等。辐照处理可能通过改变肌肉蛋白的肌原纤维结构和 pH 值来影响肌肉蛋白溶解度的。据相关报道称,PSE 肉的色泽改变主要是因为肌原纤维蛋白发生了降解,同时肌原纤维蛋白溶解度的降低促使 PSE 肉的滴水损失增加。冷鲜肉的 L^* (亮度值)值在一定程度也受到肌原纤维蛋白溶解度的影响,肌原纤维蛋白溶解度的增加可使冷鲜肉的 L^* 增大,滴水损失率下降,同时肌浆蛋白溶解度变化在某种程度上也会对冷鲜肉的色泽变化起到影响^[30]。

2.8 电子束辐照对冷鲜猪肉非蛋白氮的影响

在冷鲜肉中除了蛋白质以外,还有许多的多肽、短肽及游离氨基酸等组成了非蛋白氮(NPN),这些物质主要是肌肉中的蛋白质在蛋白酶和肽酶等作用下降解而形成。其中,非蛋白氮中小肽本身不仅是风味成分,而且还是其他风味化合物的前体物质^[31]。肉品中许多风味物质的前体物质就是由非蛋白氮中小肽组成的,由蛋白质水解形成游离氨基酸通过美拉德反应可以形成醛、醇等含硫挥发性物质。

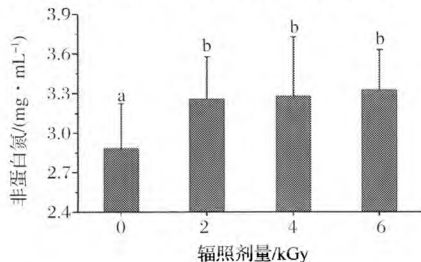


图8 电子束辐照对冷鲜猪肉非蛋白氮含量的影响

Fig. 8 The effect of electron beam irradiation on the NPN content of chilled pork

不同电子束辐照剂量对真空包装冷鲜猪肉中非蛋白氮含量的影响如图8所示。不同剂量的电子束辐照,空白对照组和2.0,4.0,6.0kGy辐照处理组的非蛋白氮含量分别为2.885、3.26、3.28和3.33 mgN/mL,统计分析显示空白对照组和辐照处理组之间存在显著性差异($P < 0.05$),而3组处理之间的差异不显著($P > 0.05$),由此说明电子束辐照显著增加了冷鲜猪肉中的非蛋白氮含量,但是与辐照剂量之间无线性关系。辐照处理组非蛋白氮含量的增加表明辐照处理使蛋白质发生了降解,产生更多的小分子物质,这些小分子物质可能是辐照异味产生的某些前体

性物质。

3 结论

经电子束辐照后,冷鲜猪肉中的细菌总数显著性下降,辐照的剂量越高,杀菌效果越好。在贮藏前期电子束辐照显著降低了冷鲜猪肉的TVB-N和pH值,但在贮藏后期虽然辐照处理组的TVB-N和pH值低于空白对照组,但二者无显著性差异。辐照处理加剧冷鲜猪肉的脂肪氧化,并使其蛋白质的溶解度和非蛋白氮含量增加,但对于粗蛋白含量无显著性影响。

参 考 文 献

- [1] 冯晓琳,王晓拓,王志东,等. 电子束辐照对真空包装冷鲜猪肉品质的影响[J]. 中国食品学报, 2015, 15(2): 126-131.
- [2] 王宁,王晓拓,王志东,等. 电子束辐照剂量率对真空包装冷鲜牛肉品质的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(7): 241-247.
- [3] 侯召华,曾庆升,宁浩然,等. 冷却肉储藏保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(1): 64-68.
- [4] 马美湖,林亲录,张凤凯. 冷却肉生产中保鲜技术的初步研究-溶菌酶、Nisin、GNa液保鲜效果的比试试验[J]. 食品科学, 2002, 23(8): 235-241.
- [5] 戴瑞彤,南庆贤. 气调包装对冷却牛肉货架期的影响[J]. 食品工业科技, 2005, 24(6): 71-75.
- [6] GENIGEORGIS C A. Microbial and safety implications of the use of modified atmospheres to extend the storage life of fresh meat and fish [J]. International Journal of Food Microbiology, 1985, 1(5): 237-251.
- [7] ROBERT W T, WEESE J Q. Shelf life of ground beef patties treated by gamma radiation [J]. Journal of Food Protection, 1998, 61(10): 1387-1389.
- [8] 李新,程薇,熊光权,等. 辐照处理对猪肉理化性质的影响[J]. 核技术, 2011, 34(12): 932-936
- [9] 尚宜斌. 电子束和 γ 射线辐照对冷鲜肉品质影响的差异及作用机制研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2013.
- [10] DOGBEVI M K, VACHON C, LACROIX M. Physicochemical and microbiological changes in irradiated fresh pork loins [J]. Meat Science, 1999, 51: 349-354.
- [11] SWEETIE R K, RAO M S, CHAWLA S P, et al. Shelf-life extension of convenience meat products sold in Indian supermarkets by radiation processing [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2010, 79(12): 1259-1263.
- [12] 中国疾病预防控制中心营养与食品安全所. GB/T4789.2—2010 食品微生物学菌落总数测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2010.
- [13] 上海市食品卫生监督检验所. GB/T5009.44—2003 肉与肉制品卫生标准的分析方法[S]. 北京:中国标准出版社, 2003.
- [14] 上海市卫生防疫站、天津市卫生防疫站、安徽省卫生防疫站、陕西省卫生防疫站、辽宁省卫生防疫站、湖南省卫生防疫站、卫生部食品卫生监督检验所. GB/

- T5009.37—2003 食用植物油卫生标准的分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [15] KWON J H, KWON Y J, NAM K C, et al. Effect of electron-beam irradiation before and after cooking on the chemical properties of beef, pork, and chicken[J]. *Meat Science*, 2008, 80(3): 903–909.
- [16] 卫生部食品卫生监督检验所. GB/T5009.5—2010 食品国家标准食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [17] JOO S T, KAUFFMAN R G, KIM B C, et al. The relationship of sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility to colour and water-holding capacity in porcine longissimus muscle [J]. *Meat Science*, 1999, 52(3): 291–297.
- [18] 赵改名, 周光宏, 柳艳霞, 等. 肌肉非蛋白氮和游离氨基酸在金华火腿加工过程中的变化[J]. *食品科学*, 2006, 27(2): 33–37.
- [19] DUONG D Q, CRANDALL P G, POHLMAN F W, et al. Improving ground beef safety and stabilizing color during irradiation using antioxidants, reductants or TSP [J]. *Meat Science*, 2008, 78(4): 359–368.
- [20] KANATT S R, CHANDER R, SHARMA A. Effect of radiation processing of lamb meat on its lipids [J]. *Food Chemistry*, 2006, 97(1): 80–86.
- [21] AL-BACHIR M, MEHIO A. Irradiated luncheon meat: microbiological, chemical and sensory characteristics during storage [J]. *Food Chemistry*, 2001, 75(2): 169–175.
- [22] 汪勋清, 哈益明, 高美须. 食品辐照加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 1.
- [23] KWON J H, KWON Y, NAM K C, et al. Effect of electron-beam irradiation before and after cooking on the chemical properties of beef, pork, and chicken [J]. *Meat Science*, 2008, 80(3): 903–909.
- [24] WOOD J D, NUTE G R, RICHARDSON R I, et al. Effects of breed, diet and muscle on fat deposition and eating quality in pigs [J]. *Meat Science*, 2004, 67(4): 651–667.
- [25] GOMES C, DA SILVA P F, CASTEL-PEREZ M E, et al. Quality and microbial population of Cornish game hen carcasses as affected by electron beam irradiation [J]. *Journal of Food Science*, 2006, 71(7): 327–336.
- [26] 贾倩, 王志东. 电子束和 γ 射线辐照在素鸡保鲜中的比较研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [27] AL-BACHIR M, ZEINOU R. Effect of gamma irradiation on microbial load and quality characteristics of minced camel meat [J]. *Meat Science*, 2009, 82(1): 119–124.
- [28] 王若兰, 杨延远, 郭靖. γ 射线、电子束处理对大豆品质的影响[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2010, 31(5): 5–8.
- [29] DOGBEVI M K, VACHON C, LACROIX M. Physico-chemical and microbiological changes in irradiated fresh pork loins [J]. *Meat Science*, 1999, 51(4): 349–354.
- [30] JOO S T, KAUFFMAN R G, KIM B C, et al. The relationship of sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility to colour and water-holding capacity in porcine longissimus muscle [J]. *Meat Science*, 1999, 52(3): 291–297.
- [31] SENTANDREU M A, STOEVA S, ARISTOY M C, et al. Identification of small peptides generated in Spanish dry-cured ham [J]. *Journal of Food Science*, 2003, 68(1): 64–69.

Effect of electron beam on the quality and protein attributes of vacuum-packaged pork

CHENG Shu-zhen, LIU Wei, FENG Xiao-lin, ZHANG Jie, LIN Qiong, XIE Xin-fang, WANG Zhi-dong*

(Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100193, China)

ABSTRACT The pork loins after cooling flushing were irradiated at dose of 2.0, 4.0, 6.0 kGy using High-energy electronic Eradiating accelerator and then stored at 4 °C to estimate the changes of microbial, biochemical and protein attributes at each storage period (0d, 5d, 10d). The total bacterial counts of control group was 4.74 (lg CFU/g) at the beginning, While those of irradiated treated groups were 2.97 (lg CFU/g), 2.83 (lg CFU/g) and 2.66 (lg CFU/g), respectively. The difference between control group and irradiated groups was significant. At earlier storage period, the TVB-N values and pH values of irradiated groups were significantly lower comparing with the control, but the difference was not significance at later storage period even those values were lower in the irradiated groups. Electron beam irradiation accelerated the lipid oxidation degree, increased the NPN content and protein solubility, but protein content was not affected.

Key words electron beam irradiation; chilled pork; microbial; biochemical; protein attribute