

电子束剂量率对冷却牛肉蛋白品质和感官特性的影响

程述震, 王晓拓, 张洁, 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: 为探究电子束剂量率对充氮包装冷却牛肉微观结构、蛋白品质及感官特性的影响, 取牛背最长肌, 在高能电子加速器下辐照处理, 4 °C 贮藏 25 d。评估辐照剂量率和贮藏时间对其微观结构、蛋白品质及感官特性的影响。在贮藏初期, 试验组和对照组相比, 冷却肉表面色泽较暗, 具有一定的辐照异味, 感官得分相对较低, 随着贮藏时间的延长, 对照组的感官得分下降, 辐照处理组相对稳定, 150 kGy/min 处理组感官得分相对较高。辐照处理可以在一定程度上加速冷却牛肉的成熟, 150 kGy/min 辐照处理对肌节长度的影响与未辐照处理组贮藏成熟 15 d 对肌节长度的影响相近。电子束辐照对冷却牛肉蛋白质含量及氨基酸组分无显著性影响, 而贮藏时间对赖氨酸和缬氨酸等必须氨基酸的含量有显著性影响。

关键词: 电子束剂量率; 感官评价; 超微结构; 蛋白含量; 氨基酸组分

文章编号: 1673-9078(2017)8-201-210

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.8.030

Effect of Electron Beam Dose Rate on the Protein Quality and Sensory Characteristics of Chilled Beef

CHENG Shu-zhen, WANG Xiao-tuo, ZHANG Jie, XIE Xin-fang, WANG Zhi-dong

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

Abstract: To evaluate the effect of electron beam dose rate on the ultrastructure, protein quality, and sensory characteristics of chilled beef, *Longissimus dorsi* muscles obtained from Chinese Yellow Cattle were irradiated at 2.5 kGy with dose rates of 30, 150, 300 kGy/min using a high-energy electron accelerator. The samples were stored at 4 °C to determine the effects of dose rate and storage time on the values of color, odor, ultrastructure, protein content, and amino acid component of the chilled beef at each storage period. At the beginning of storage, a comparison of the experimental and control groups demonstrated that the irradiated samples had a darker color, an off-odor, and a lower sensory evaluation score. However, with a prolonged storage time, the overall quality of the control samples decreased, while those of irradiated samples remained relatively stable. The quality of the chilled beef exposed to 150 kGy/min was better than that in the other irradiation groups. Irradiation accelerated aging of the beef meat. The effect of 150 kGy/min irradiation on sarcomere length was similar to the influence of 15 d of storage. The irradiation technique did not affect the protein content and amino acid component of the chilled beef. However, the amounts of lysine, valine, and other essential amino acids were affected by the storage time.

Key words: electron beam dose rate; sensory evaluation; ultrastructure; protein content; amino acid component

蛋白质作为牛肉中的一类重要营养成分, 其含量约为 23%, 是评定牛肉品质的重要指标^[1]。蛋白质在蛋白酶及其他因素的作用下, 逐渐降解成多肽、小肽和游离氨基酸, 成为易被人体吸收的营养物质。氨基酸的组成不仅决定着蛋白质营养价值的高低, 同时也

收稿日期: 2017-02-08

基金项目: 国家科技支撑计划课题 (2014BAA03B05); 公益性行业 (农业) 科研专项经费资助项目 (2011103007)

作者简介: 程述震 (1990-), 男, 硕士, 研究方向: 食品加工与安全

通讯作者: 王志东 (1959-), 男, 研究员, 研究方向: 农产品加工与贮藏

对牛肉的食用风味产生影响。

辐照作为一种有效的冷杀菌技术, 在延长肉品货架期方面具有其他保鲜技术不可取代的优点。但辐照异味一直是困扰辐照技术发展的一个瓶颈性问题, 科研人员对辐照异味产生机制, 抑制措施进行了一系列探索研究^[2-5]发现, 肉品辐照异味产生的主要来源为脂肪和蛋白氧化分解, 通过添加抗氧化剂和改变包装方式可以在一定程度上缓解异味问题^[6-9]。但由于冷却肉不同于其他肉制品 (香肠、板鸭和泡椒凤爪等), 添加抗氧化剂的措施并不适合, 同时抗氧化剂本身的辐照

安全性正处于研究阶段。因此,本研究室从辐照类型和辐照参数等物理方面入手,探索适用于冷却肉的辐照保鲜技术^[10-14]。

实验室前期研究发现电子束和 γ 射线均具有良好杀菌效果,但由于电子束具有一定的还原性,因此其引起的氧化效应较小,此研究结果与众多学者一致^[15-17]。与传统的⁶⁰Co产生 γ 射线辐照相比,高能电子加速器产生的电子束具有剂量率高的显著特点,因此本实验室近来对电子束剂量率进行了关注研究,发现其对冷却肉的杀菌效果和品质有一定的影响^[10,14]。不同剂量率电子束对冷却牛肉感官及蛋白质营养品质的影响研究较少,因此本研究拟对不同电子束辐照剂量率对冷却牛肉感官和蛋白质营养品质的影响进行探讨,从而为电子束辐照在冷却牛肉保鲜贮藏过程的应用提供理论性参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

牛背最长肌,由北京市卓宸畜牧有限公司提供;气调包装盒,购于无锡中央化学有限公司,材质为EPP(PP/粘合剂/EVOH/粘合剂/PP),长×宽×高=179×117.5×33 mm³,厚=0.8 mm,透氧率≤0.01 cc/(p·kg·day);PET封孔膜厚度0.15 mm,透氧率≤0.21 cc/(cm³·m²·24 h),透水率≤0.54 g/(m²·24 h);盐酸(6 mol/L)、无水乙醇、氢氧化钠(含量≥96.0%)、硫酸

钾(含量≥99.0%)、硫酸铜和柠檬酸等均为分析纯,购于国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

BS224S-电子天平:德国赛多利斯公司;ET-90-气调包装机:中国Super Sealer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;L-8900氨基酸自动分析仪:日本日立公司;2300全自动凯氏定氮仪:FoosSoxtec Avanti公司;H-7500透射电子显微镜,日本日立公司;高效液相色谱仪(Agilent-1200型):美国Agilent公司。

1.3 方法

1.3.1 试验设计

取6条冷却牛背最长肌,剔除可视脂肪、筋膜和筋腱,分割为长×宽×厚=5 cm×3 cm×1 cm的样品以确保电子束处理的均一性,100% N₂包装,置于4℃低温冰箱中待第二天辐照。样品于北京原子高科股份有限公司进行辐照处理,电子加速器能量为10 MeV,设定辐照参数为:辐照剂量2.5 kGy,剂量率为30、150、300 kGy/min。辐照后样品置于4℃自制恒温梯度箱(温度波动范围小于0.5℃)中贮藏,辐照后的第2 d定为贮藏第0 d,贮藏期第0、5、10、15、20和25 d取样测定相关指标。

1.3.2 感官评价

表1 电子束辐照冷却牛肉感官评定标准表

Table 1 Sensory evaluation of chilled beef irradiated by an electron beam

分值	感官评定指标		
	色泽	气味	可接受性
5	色泽鲜红,有光泽	鲜牛肉特有气味,无异味	感官效果很好,愿意接受
4	色泽较鲜红,有光泽	牛肉气味淡,稍有辐照味	感官效果较好,可以接受
3	色泽暗红,无光泽	无牛肉气味,辐照味大	感官效果一般,基本接受
2	色泽灰暗或苍白,无光泽	轻微腐败味	感官效果较差,勉强接受
1	色泽暗褐色	严重腐烂味	感官效果很差,无法接受

6名感官评定人员对样品的色泽、气味和可接受性(综合样品色泽和气味对样品进行的总体打分)三项指标进行感官评定。评分标准参考Lavrova等^[18]方法并稍作修改,评分采用5分制,具体的评分标准如表1所示。

1.3.3 肌肉超微结构

参考Mestre Prates等^[19]的方法并稍作修改。将贮藏第0 d和第15 d的样品,用手术刀沿肌原纤维方向切成4 mm×4 mm×2 mm的长方体小条,立即放入3%的戊二醛固定液中进行前固定,用0.1 mol/L的磷酸缓冲液

(pH 7.4)冲洗,然后在通风橱中用2%饿酸进行后固定,再次用磷酸缓冲液反复冲洗,并用30%、50%、70%、80%、90%、95%和100%乙醇进行梯度脱水,再利用无水丙酮置换3次,每次放置7~15 min。脱水后采用Spurr树脂浸透包埋,包埋后的样品用莱卡UC6型超薄切片片机切片,2%醋酸双氧铀和6%柠檬酸铅溶液进行双染色,最后用H-7500型透射电镜观察拍照(放大倍数25000×)。

1.3.4 粗蛋白含量的测定

参照GB 5009.5-2010^[20]方法,采用凯氏定氮法进

行测定,具体操作:称取1 g左右牛肉于水解管中,添加6 g催化剂(500g K_2SO_4 和57.1g $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 混匀),浓 H_2SO_4 10 mL,置于电炉上240 °C消化1.5 h左右,至内容物全部碳化,液体呈蓝绿色并澄清透明。结束后冷却0.5 h左右,最后通过全自动凯氏定氮仪进行滴定,每个样品3个平行。

1.3.5 氨基酸含量测定

17种氨基酸的测定:称量约230 mg(约含50 mg蛋白质)的牛肉样品于水解管中,精确至0.01 mg。向水解管内加入6 mol/L的盐酸10 mL,充入氮气1 min,排除水解管中的空气,立即旋紧螺口水解管盖。将水解管置于110 °C烘箱中,水解24 h。取出冷却至室温,混匀后过滤,用哇哈哈去离子水将水解管充分清洗以转移全部样品至50 mL容量瓶中,定容。混匀后取1 mL进行氮吹,后用0.02 mol/L盐酸复溶至5 mL,取1 mL水解液过0.2 μm 滤膜至氨基酸上样小瓶中,待上机分析。

色氨酸测定:称量70~80 mg的牛肉样品于5 mL EP管(事先减去盖子)内,加入4 mol/L的氢氧化钠1.5 mL,将EP管至于水解管中,氮吹1 min排除管内空气,立即旋紧螺口水解管盖。将水解管至于110 °C烘箱中,水解20 h。取出冷却至室温,用哇哈哈去离子水将EP管和水解管充分清洗以转移全部样品至50 mL容量瓶中,调节pH(6 mol/L HCl和4 mol/L NaOH)至4~5,定容。取1 mL水解液过0.45 μm 滤膜至液相小瓶中,待上机分析。液相条件:流速,1 mL/min;时间,28 min;流动相,0.0085 mM/L乙酸钠缓冲液、甲醇;进样量,20 μL ;波长,280 nm;柱温,25 °C;液相柱:Innoval C18 5 μm 4.6 \times 250 mm。液相色谱检测器的型式为Agilent Technologies 1200 series二极管阵列检测器(DAD),型号为G1315D。

1.3.6 数据分析

试验数据采用 SPSS 19.0 软件进行分析,进行 One-way ANOVA 检验,用 least significant difference (LSD) 分析作多重比较,进行显著性分析, $p < 0.05$ 表示具有统计学差异显著,采用 Origin 9.1 软件进行作图。试验结果表示为“平均值 \pm 标准差”,各项指标重复3次,取其平均值。

2 结果与讨论

2.1 感官评价

色泽和气味是消费者对肉的第一直观印象,直接影响着消费者的购买欲和整体接受程度,是肉品质的重要指标之一^[21]。不同电子束辐照剂量率和贮藏时间

对充氮包装冷却牛肉感官形态的影响如图1所示。贮藏初期,对照组色泽鲜艳有光泽,辐照处理使冷却牛肉表面色泽变暗,亮度值下降;贮藏至第25 d时样品表面呈松散状,相比贮藏初期,表面干燥,颜色呈暗灰色,无鲜肉的光泽。

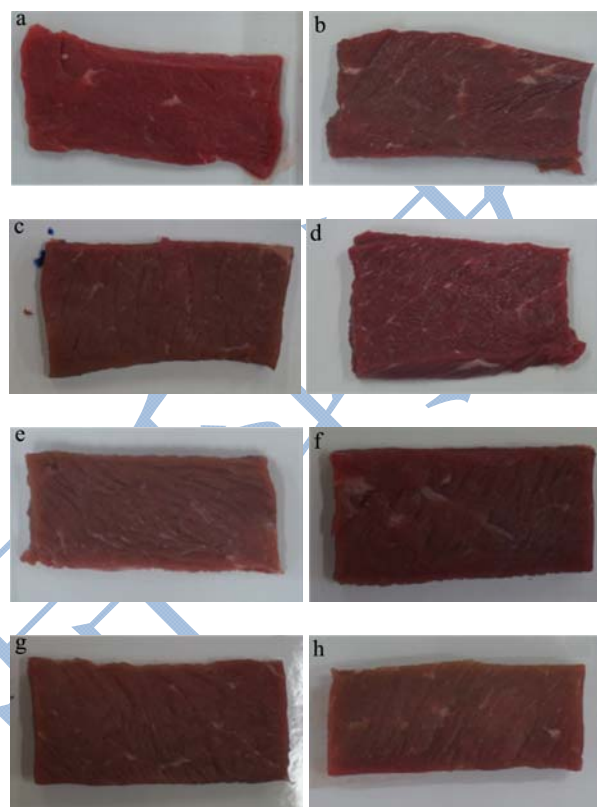


图1 辐照剂量率和贮藏时间对冷却牛肉感官的影响

Fig.1 Effect of irradiation dose rates and storage time on the sensory characteristics of chilled beef

注: a~d 代表贮藏第0 d 冷却牛肉感官照片; a, CK; b, 30 kGy/min; c, 150 kGy/min; d, 300 kGy/min; e~h 代表贮藏第25 d 冷却牛肉感官照片; e, CK; f, 30 kGy/min; g, 150 kGy/min; h, 300 kGy/min。

电子束辐照剂量率和贮藏时间对充氮包装冷却牛肉感官评价(色泽、气味和整体接受程度)得分如表2所示。经过6名感官人员的评定发现,尽管相比空白对照组,辐照处理组的色泽较暗,色泽感官得分较低,但二者之间无显著性差异。Chen等^[22]研究发现辐照肉制品的色泽与肌红蛋白、氧合肌红蛋白和高铁肌红蛋白的相对含量有关,经过2.8 kGy辐照处理的牛肉馅,其中90%的肌红蛋白被氧化成氧合肌球蛋白和高铁肌球蛋白,从而导致色泽的暗化^[23]。在贮藏第0 d,辐照处理组的气味和整体接受度感官得分显著低于空白对照组,不同剂量率处理组之间的差异性并不显著,在打开包装的瞬间所有辐照处理组均能嗅到辐照异味。

在贮藏初期由于辐照异味问题,辐照处理组整体

接受程度显著低于空白对照组。随着贮藏时间的延长空白对照组的色泽感官得分呈现下降,辐照处理组无显著性改变,从而说明辐照处理在一定程度上可以抑制冷却肉随贮藏时间延长而引起的色泽变化。随着贮藏时间的延长,辐照异味减轻,但整个贮藏期辐照异味并不会消失。对照组气味和整体接受程度的感官得

分在贮藏第10 d呈下降趋势,辐照处理组呈现上升趋势,实验结果与Chen^[22]和Batzer^[24]相一致。根据感官评价得分可以发现辐照处理影响了冷却牛肉色泽,气味和整体接受程度。不同剂量率的处理组之间,150 kGy/min处理组色泽,气味和整体接受程度的感官得分较高。

表 2 辐照剂量率和贮藏时间对冷却牛肉感官的影响

Table 2 Effect of irradiation dose rates and storage time on the sensory characteristics of chilled beef

贮藏期/d	感官指标/剂量率(kGy/min)							
	色泽				气味			
	0	30	150	300	0	30	150	300
0	5.00±0.00 ^a	4.70±0.33 ^a	4.70±0.28 ^a	4.30±0.19 ^a	5.00±0.00 ^a	3.20±0.23 ^b	3.50±0.39 ^b	3.40±0.27 ^b
5	5.00±0.00 ^a	4.50±0.31 ^a	4.60±0.40 ^a	4.40±0.20 ^a	4.90±0.18 ^a	3.00±0.13 ^b	3.30±0.55 ^b	3.50±0.40 ^b
10	4.80±0.21 ^a	4.60±0.09 ^a	4.80±0.31 ^a	4.70±0.21 ^a	4.00±0.21 ^a	3.80±0.22 ^a	3.90±0.21 ^a	3.80±0.33 ^a
15	4.90±0.17 ^a	4.80±0.14 ^a	4.80±0.55 ^a	4.70±0.32 ^a	3.10±0.37 ^{ab}	4.30±0.27 ^a	4.60±0.15 ^a	4.40±0.17 ^a
20	4.60±0.40 ^a	4.80±0.39 ^a	4.70±0.37 ^a	4.60±0.39 ^a	2.20±0.23 ^b	4.20±0.20 ^a	4.50±0.37 ^a	4.50±0.42 ^a
25	4.40±0.54 ^a	4.70±0.34 ^a	4.80±0.37 ^a	4.80±0.34 ^a	1.50±0.29 ^b	3.90±0.38 ^a	4.00±0.20 ^a	4.20±0.38 ^a

贮藏期/d	感官指标/剂量率(kGy/min)			
	整体接受度			
	0	30	150	300
0	5.00±0.00 ^a	3.80±0.28 ^b	3.90±0.45 ^b	3.70±0.15 ^b
5	4.80±0.36 ^a	3.70±0.18 ^b	3.80±0.20 ^b	3.80±0.31 ^b
10	3.70±0.15 ^a	3.80±0.18 ^a	3.90±0.21 ^a	3.90±0.27 ^a
15	2.90±0.31 ^{ab}	4.00±0.21 ^a	4.50±0.32 ^a	4.50±0.40 ^a
20	2.00±0.28 ^b	4.00±0.31 ^a	4.40±0.20 ^a	4.40±0.30 ^a
25	1.30±0.12 ^b	3.80±0.26 ^a	3.80±0.14 ^a	4.00±0.27 ^a

注: 每行不同小写字母代表在 5%水平上差异显著。

2.2 肌肉超微结构

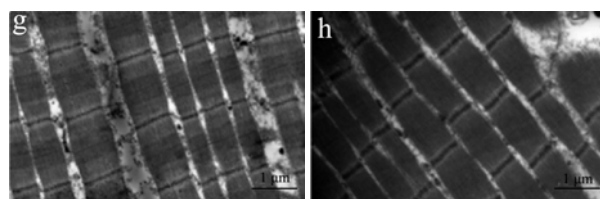
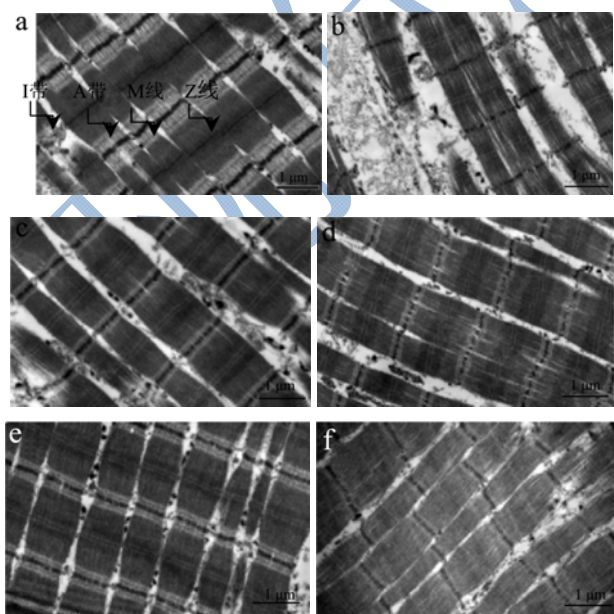


图 2 辐照剂量率和贮藏时间对冷却牛肉超微结构的影响

Fig.2 Effect of irradiation dose rates and storage time on the ultrastructure of chilled beef

注: a~d 代表贮藏第 0 d 肌原纤维结构, a: CK, b: 30 kGy/min, c: 150 kGy/min, d: 300 kGy/min; e~h 代表贮藏第 15 d 肌原纤维结构, e: CK, f: 30 kGy/min, g: 150 kGy/min, h: 300 kGy/min; 视野放大倍数×25000 倍; 标尺表示 1.0 μm。

由图 2 可知,辐照处理组和空白对照组肌原纤维超微结构在贮藏期间均发生显著变化。辐照处理后贮藏第 0 d,空白对照组 A 带和 I 带清晰可辨,Z 线和 M 线均保持完整,肌原纤维之间连接紧密,不同剂量率处理组之间差异较为明显,Z 线附近发生开始断裂,Z

线周围的细丝与 Z 线的连接开始弱化, M 线也出现弱化, 其中 150 kGy/min 辐照处理组肌原纤维结构相对保持完整。贮藏第 15 d, 空白对照组的 M 线出现弱化甚至消失, 辐照处理组大量肌节出现 Z 线的裂解, A

带模糊, M 线基本消失, 肌节结构遭到破坏, 其中 30 kGy/min 和 300 kGy/min 辐照处理组 M 线完全消失。肌节形态学结果表明, 辐照处理使肌原纤维结构发生改变, 被逐渐降解破坏, 加速了冷却肉的成熟嫩化。

表 3 辐照剂量率和贮藏时间对牛肉肌节长度的影响

Table 3 Effects of dose rates and storage time on the sarcomere length of beef

贮藏时间/d	剂量率/(kGy/min) n=8			
	0	30	150	300
0	2.16±0.05 ^{AA}	1.50±0.03 ^{CA}	1.69±0.03 ^{BA}	1.56±0.03 ^{CA}
15	1.74±0.02 ^{AB}	1.40±0.03 ^{CB}	1.44±0.03 ^{CA}	1.53±0.04 ^{BA}

注: 每列不同大写字母代表在 5%水平上差异显著, 每行不同小写字母代表在 5%水平上差异显著, 长度单位为 μm。

肌节是肌原纤维的结构和功能单位, 位于两条相邻 Z 线之间^[25], 辐照剂量率和贮藏时间对牛肉肌节长度的影响如表 3 所示。肌原纤维肌节长度的变化主要表现在 I 带的长短, 因为肌肉的收缩和松弛, 是由 F-肌动蛋白细丝滑动引起的, 也就是 I 带在 A 带中的伸缩。由表 3 可知, 辐照处理使肌节的长度显著性降低, 其原因可能是辐照处理引起肌浆网钙离子的大量释放, 从而引发胴体的正常肌节收缩, 形成挛缩带, 在挛缩区域里, 肌节大幅缩短、变形^[26]。在贮藏成熟 15 d 后, 未辐照处理组的肌节长度降低了 19.4%, 有可能是成熟过程中的死后僵直肌原纤维产生收缩的张力, 使 Z 线在持续张力作用下发生断裂, 肌球蛋白和肌动蛋白之间的结合减弱。不同剂量率的辐照处理组, 在贮藏成熟 15 d 后, 肌节长度分别降低了 6.7%、14.8% 和 1.9%。由此可见辐照处理可以在一定程度上加速冷却牛肉的成熟, 150 kGy/min 辐照处理对肌节长度的影响与未辐照处理组贮藏成熟 15 d 对肌节长度的影响相近。

贮藏时间对充氮包装冷却牛肉粗蛋白含量的影响如图 3 所示。经过电子束辐照后, 空白对照组和不同剂量率辐照处理组的冷却牛肉粗蛋白质含量分别为 23.10%、22.94%、23.91%和 24.82%, 运用 SPSS 19.0 进行最小显著性分析发现, 300 kGy/min 辐照处理组显著高于对照组和 30 kGy/min 辐照处理组。随着贮藏时间的延长, 各处理组和对照组之间无显著性差异, 分析前期差异性原因为系统性样品差异, 非辐照处理差异, 因为众多的研究均表明辐照未对产品的蛋白含量产生影响^[27-30]。

2.4 必需氨基酸含量

必需氨基酸指的是人体不能合成或合成速度不能满足人体需要, 必须从食物中摄取的氨基酸。对人体而言共有八种必需氨基酸: 异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸和缬氨酸。8 种必需氨基酸随贮藏时间和辐照剂量率的变化如图 4(a-h), 必需氨基酸总量如图 4i 所示。与贮藏第 0 d 相比, 随着贮藏时间的延长, 异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸和缬氨酸的含量有所下降, 苯丙氨酸和色氨酸的含量相对增加。氨基酸结构的不同使其受辐照的影响不同^[31]。不同剂量率的电子束辐照对各氨基酸的含量影响不显著, 贮藏时间对各氨基酸含量有较显著的影响。

由图 4i 可知在贮藏第 0 d 对照组和三组不同剂量率处理组的必需氨基酸总量分别为 91.08、92.41、88.18 和 90.89 mg/g, 无显著性差异, 随着贮藏时间的延长对照组的必需氨基酸总量由 91.08 mg/g 下降为 83.12、81.94、85.82、87.62 和 81.98 mg/g, 差异性显著。综上所述可知, 贮藏时间的延长会使牛肉的营养品质下降, 辐照处理对必需氨基酸的含量并无显著性影响。李超等^[32]对发现经过不同剂量的电子束辐照的泥蚶子肉营养成分进行分析发现, 辐照对氨基酸组成无显著影响。

2.3 蛋白质含量

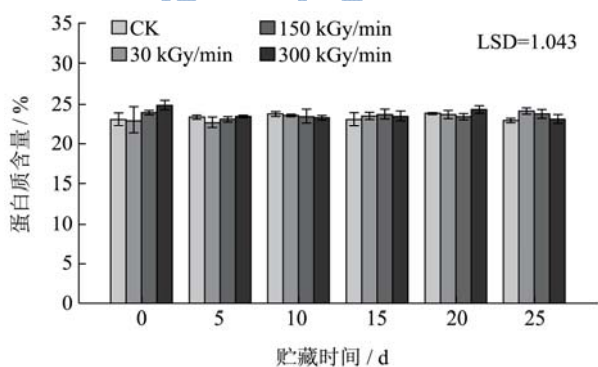


图 3 辐照剂量率和贮藏时间对冷却牛肉蛋白质含量的影响

Fig.3 Effect of irradiation dose rates and storage time on the protein content of chilled beef

牛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。电子束辐照剂量率和贮

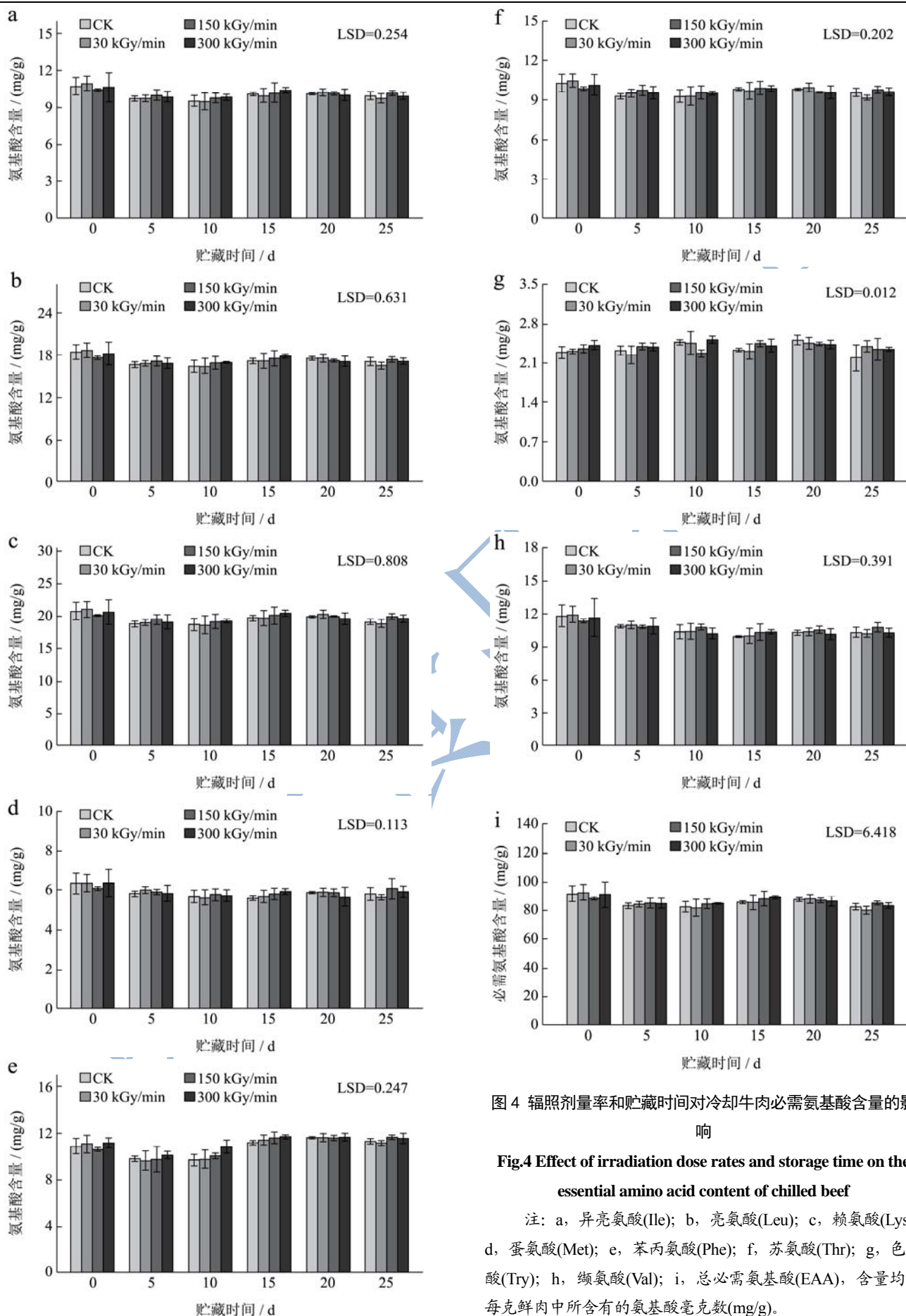


图4 辐照剂量率和贮藏时间对冷却牛肉必需氨基酸含量的影响

Fig.4 Effect of irradiation dose rates and storage time on the essential amino acid content of chilled beef

注: a, 异亮氨酸(Ile); b, 亮氨酸(Leu); c, 赖氨酸(Lys); d, 蛋氨酸(Met); e, 苯丙氨酸(Phe); f, 苏氨酸(Thr); g, 色氨酸(Try); h, 缬氨酸(Val); i, 总必需氨基酸(EAA), 含量均是每克鲜肉中所含有的氨基酸毫克数(mg/g)。

2.5 非必需氨基酸含量

非必需氨基酸是指人体可以自身合成或由其它氨基酸转化而得到，不一定非从食物直接摄取不可。这类氨基酸包括谷氨酸、丙氨酸、门冬氨酸、胱氨酸、脯

氨酸、甘氨酸、组氨酸、精氨酸、丝氨酸和酪氨酸。有些非必需氨基酸如胱氨酸和酪氨酸如果供给充裕还可以节省必需氨基酸中蛋氨酸和苯丙氨酸的需要量。辐照剂量率和贮藏时间对充氮包装冷却牛肉各非必需氨基酸含量的影响如表 4 所示。

表 4 辐照剂量率和贮藏时间对冷却牛肉非必需氨基酸含量的影响

Table 4 Effect of irradiation dose rates and storage time on the non-essential amino acid content of chilled beef

贮藏期/d	剂量率/(kGy/min)	门冬氨酸 Asp	丝氨酸 Ser	谷氨酸 Glu	甘氨酸 Gly	丙氨酸 Ala
0	0	20.85±1.43	8.61±0.60	39.49±2.24	9.11±0.60	12.84±1.14
	30	21.26±1.38	8.72±0.54	39.79±2.62	9.57±0.95	13.08±0.97
	150	20.16±0.26	8.21±0.15	38.16±0.87	9.17±0.29	12.52±0.21
	300	20.69±2.05	8.36±0.74	39.27±4.00	9.30±1.06	12.85±1.52
5	0	18.97±0.40	7.78±0.14	35.78±1.08	8.36±0.17	11.87±0.18
	30	19.33±0.54	8.01±0.23	36.42±0.39	8.84±0.15	12.21±0.34
	150	19.68±0.72	8.18±0.27	37.65±1.39	8.84±0.31	12.11±0.18
	300	19.44±0.95	8.01±0.39	36.83±2.14	9.15±0.67	12.16±0.68
10	0	18.86±0.94	7.89±0.36	35.64±1.39	8.52±0.17	11.74±0.57
	30	18.78±1.53	7.80±0.61	34.78±2.53	8.22±0.66	11.66±0.82
	150	19.50±0.88	8.12±0.40	36.27±1.97	9.08±0.55	12.23±0.24
	300	19.55±0.16	7.99±0.15	36.91±0.17	9.20±0.84	12.12±0.23
15	0	19.68±0.27	8.02±0.14	36.51±0.84	8.47±0.28	12.06±0.14
	30	19.55±1.20	8.05±0.48	36.24±2.03	8.54±0.33	11.94±0.60
	150	19.93±1.19	8.10±0.39	37.31±1.84	8.62±0.47	12.09±0.78
	300	20.13±0.32	8.13±0.06	38.32±0.71	8.73±0.10	12.22±0.19
20	0	19.71±0.07	7.98±0.07	36.26±0.14	8.36±0.11	12.16±0.08
	30	19.98±0.72	8.19±0.30	36.86±1.30	8.49±0.32	12.17±0.43
	150	19.58±0.15	7.84±0.11	36.65±0.52	8.55±0.55	11.86±0.14
	300	19.55±0.90	7.95±0.35	36.48±1.19	8.65±0.40	11.88±0.58
25	0	19.24±0.80	7.80±0.30	35.54±1.51	8.21±0.37	11.90±0.46
	30	18.73±0.57	7.50±0.07	34.68±1.39	8.14±0.16	11.39±0.26
	150	19.78±0.53	8.02±0.25	36.85±1.54	8.53±0.36	12.01±0.26
	300	19.55±0.66	7.95±0.31	36.83±0.96	8.37±0.29	11.80±0.39
最小显著差 (LSD)		1.491	0.584	2.746	0.807	0.964

贮藏期/d	剂量率/(kGy/min)	胱氨酸 Cys	酪氨酸 Tyr	组氨酸 His	精氨酸 Arg	脯氨酸 Pro
0	0	1.46±0.59	7.40±0.45	9.35±0.54	13.93±0.82	7.83±0.45
	30	1.50±0.30	7.72±0.48	9.59±0.59	14.23±0.89	8.39±0.63
	150	1.56±0.26	7.36±0.09	9.04±0.12	13.41±0.27	7.94±0.23
	300	1.88±0.13	7.72±0.04	9.32±0.72	13.94±1.15	8.04±0.97
5	0	1.63±0.10	6.82±0.19	8.44±0.16	12.56±0.37	7.28±0.24
	30	1.90±0.23	7.02±0.19	8.63±0.22	12.74±0.31	7.55±0.14
	150	1.48±0.30	7.22±0.29	8.61±0.21	13.15±0.49	7.63±0.26
	300	1.49±0.54	7.01±0.30	8.62±0.14	13.04±0.66	7.72±0.60
10	0	1.26±0.34	6.89±0.38	8.29±0.42	12.69±0.54	7.31±0.09

转下页

接上页						
	30	1.14±0.36	6.86±0.66	8.38±0.76	12.47±1.02	7.15±0.61
	150	1.39±0.25	7.08±0.29	8.68±0.16	13.04±0.44	7.73±0.10
	300	1.45±0.16	7.55±0.40	9.04±0.34	13.40±0.45	7.62±0.48
	0	1.34±0.15	7.93±0.12	9.14±0.20	13.31±0.37	7.38±0.15
15	30	1.55±0.08	8.05±0.54	9.42±0.45	13.36±0.75	7.35±0.29
	150	1.55±0.13	8.37±0.50	9.57±0.84	13.89±1.20	7.43±0.47
	300	1.65±0.04	8.41±0.09	9.68±0.22	14.14±0.32	7.48±0.07
	0	1.64±0.06	8.43±0.04	9.75±0.10	13.76±0.25	7.32±0.07
20	30	1.70±0.12	8.52±0.26	9.74±0.27	13.87±0.51	7.43±0.23
	150	1.79±0.30	8.27±0.02	9.54±0.25	13.57±0.26	7.43±0.28
	300	1.69±0.25	8.16±0.26	9.50±0.42	13.54±0.50	7.52±0.30
	0	1.80±0.30	8.09±0.28	8.98±0.23	13.08±0.46	7.32±0.26
25	30	1.94±0.16	7.82±0.24	9.13±0.10	12.88±0.35	7.21±0.04
	150	2.26±0.65	8.17±0.12	9.52±0.05	13.68±0.39	7.56±0.27
	300	1.84±0.06	8.10±0.23	9.26±0.52	13.40±0.67	7.39±0.22
最小显著差 (LSD)		0.477	0.517	0.651	1.014	0.620

注: 最小显著差 (LSD) 表示在 5% 水平上电子束剂量率和贮藏时间对某一氨基酸影响的最小差异值。各氨基酸含量均是每克鲜肉中所含有的氨基酸毫克数(mg/g)。

由表 4 可知, 在整个贮藏期内, 三组不同剂量率辐照组和对照组中的门冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、胱氨酸、精氨酸、丙氨酸和脯氨酸均无显著性差异。在贮藏第 10 d 时, 300 kGy/min 处理组的甘氨酸、酪氨酸和组氨酸含量均显著高于 30 kGy/min 处理组, 三组不同剂量率辐照组的甘氨酸、酪氨酸和组氨酸呈上升趋势, 其他贮藏阶段三种氨基酸含量在辐照组和对照组之间无显著性差异。与贮藏初期(贮藏第 0 d)相比较, 辐照组和对照组中的门冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、精氨酸和脯氨酸含量均有下降的趋势, 而胱氨酸、酪氨酸和组氨酸含量有上升趋势。对差异性氨基酸结构进行分析发现, 少量的差异性氨基酸之间并无共性的特点, 结合所有氨基酸的大量数据分析推测造成差异性的原因为样品间的系统性误差。

由此, 推测辐照处理对牛肉中各类非必须氨基酸含量不会产生显著性影响。孔志明等^[33]对猪肉香精、牛肉香精和鸡肉香精三种肉味香精进行不同剂量的 γ 射线辐照后, 研究其氨基酸组分进行发现不同剂量辐照处理对 3 种香味料的游离氨基酸种类及总氨基酸组成比例均没有明显影响; 胡鹏等^[34]研究辐照对扒鸡氨基酸组分的影响发现, 经过不同处理组的同种氨基酸差异性进行分析, 表明与 CK 相比, 其他处理组的氨基酸组成没有明显的变化 ($p>0.05$), 与本研究结果相一致。

3 结论

通过对充氮包装冷却牛肉的感官评价发现, 在贮藏初期, 电子束辐照降低了冷却肉的感官得分, 但在整个贮藏期其感官得分相对稳定, 辐照异味随着贮藏时间的延长减弱, 但不会消失。相比于 30 kGy/min 和 300 kGy/min 处理组, 150 kGy/min 处理组感官得分较高, 品质较优。辐照处理可以在一定程度上加速冷却牛肉的成熟, 同一辐照剂量 (2.5 kGy), 150 kGy/min 辐照处理对肌节长度的影响与未辐照处理组贮藏成熟 15 d 对肌节长度的影响相近。不同剂量率的电子束辐照对冷却牛肉蛋白质含量及氨基酸组分无显著性影响。

参考文献

- [1] 侯丽, 柴沙驼, 刘书杰, 等. 青海牦牛肉与秦川牛肉氨基酸和脂肪酸的比较研究[J]. 肉类研究, 2013, 27(3): 30-36
HOU Li, CHAI Sha-tuo, LIU Shu-jie, et al. Comparative studies on beef amino acid composition and fatty acid composition of Qinghai yak and Qinchuancattle [J]. Meat Research, 2013, 27(3): 30-36
- [2] 林若泰, 耿胜荣, 刘杨氓, 等. 冷却包装猪肉辐照异味气体成分研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(3): 918-924
LIN Ruo-tai, GENG Sheng-rong, LIU Yang-mang, et al. Study on off-odor volatiles of irradiated packaged raw pork [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(3): 918-924
- [3] 李新, 林若泰, 熊光权, 等. 冷却肉辐照异味和脂肪氧化控制技术的研究[J]. 核农学报, 2010, 24(5): 1001-1005

- LI Xin, LIN Ruo-tai, XIONG Guan-quan, et al. Controlling technology of off-odor and lipid oxidation of irradiated pork [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2010, 24(5): 1001-1005
- [4] 耿胜荣,林若泰,熊光权,等.去除冷却猪肉辐照异味方法初探[J].*农业工程学报*,2009,25(3):258-261
GENG Sheng-rong, LIN Ruo-tai, XIONG Guan-quan, et al. Preliminary research on the method for reducing irradiation off-odor from refrigerated raw pork [J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(3): 258-261
- [5] 耿胜荣,程薇,林若泰,等.抗氧化剂及壳聚糖对减轻辐照猪肉异味的影响[J].*核农学报*,2006,20(6):508-510
GENG Sheng-rong, CHENG Wei, LIN Ruo-tai, et al. Effect of antioxidants and chitosan on reducing off-odor of irradiated raw pork [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2006, 20(6):508-510
- [6] 李新,林若泰,熊光权,等.抗氧化剂对辐照猪肉理化和感官品质的影响[J].*农业工程学报*,2010,26(5):357-361
LI Xin, LIN Ruo-tai, XIONG Guan-quan, et al. Influence of antioxidants on physicochemical and sensory characteristics of irradiated pork [J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(5): 357-361
- [7] 耿胜荣,林若泰.包装方式对减轻冷却猪肉辐照异味的影响[J].*食品与发酵工业*,2008,34(2):137-139
GENG Sheng-rong, LIN Ruo-tai. Study the effect of package processing on reducing off-odor from refrigerated and irradiated pork [J]. *Food and Fermentation Industry*, 2008, 34(2): 137-139
- [8] 李成梁,靳国锋,马素敏,等.辐照对肉品品质影响及控制研究进展[J].*食品科学*,2016,37(21):271-278
LI Cheng-liang, JIN Guo-feng, MA Su-min, et al. Progress in understanding and controlling the detrimental effects of irradiation treatment on meat quality [J]. *Food Science*, 2016, 37(21): 271-278
- [9] 胡鹏,张奇志,邓鹏,等.不同抗氧化剂对辐照扒鸡脂肪氧化的影响[J].*中国食物与营养*,2010,5:26-28
HU Peng, ZHANG Qi-zhi, DENG Peng, et al. Effect of different antioxidants on lipid oxidation of irradiated braised chicken [J]. *Food and Nutrition in China*, 2010, 5: 26-28
- [10] 王宁,王晓拓,王志东,等.电子束辐照剂量率对真空包装冷却牛肉品质的影响[J].*现代食品科技*,2015,31(7):241-248
WANG Ning, WANG Xiao-tuo, WANG Zhi-dong, et al. Effect of electron beam irradiation dose on the quality of vacuum-packaged chilled fresh beef [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 31(7): 241-248
- [11] 程述震,张春晖,王志东,等.电子束辐照对充氮包装冷却牛肉品质的影响[J].*食品科学*,2016,37(18):230-235
CHENG Shu-zhen, ZHANG Chun-hui, WANG Zhi-dong, 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
- [12] 冯晓琳,王晓拓,王志东,等.电子束辐照对真空包装冷却猪肉品质的影响[J].*中国食品学报*,2015,15(2):126-131
FENG Xiao-lin, WANG Xiao-tuo, WANG Zhi-dong, et al. Effects of electron-beam irradiation on fresh pork quality in vacuum-packaged [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2015, 15(2): 126-131
- [13] 尚颀斌,高美须,王志东,等.电子束辐照对冷却猪肉品质的影响[J].*核农学报*,2013,27(4):437-442
SHANG Yi-bin, GAO Mei-xu, WANG Zhi-dong, et al. Effect of electron beam irradiation on quality of fresh chilled pork [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2013, 27(4): 437-442
- [14] 王宁,王晓拓,王志东,等.辐照剂量率对牛肉脂肪和蛋白氧化及蛋白特性的影响[J].*现代食品科技*,2015,31(8):122-128,191
WANG Ning, WANG Xiao-tuo, WANG Zhi-dong, et al. Effect of dose rate on lipid and protein oxidation and the properties of beef proteins [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 31(8): 122-128, 191
- [15] Park J G, Yoon J N, Park J N, et al. Effect of gamma irradiation and electron beam irradiation on quality, sensory, and bacterial populations in beef sausage patties [J]. *Meat Science*, 2010, 85: 368-372
- [16] 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
- [17] Lacroix, M, Smoragiewicz W, Jobin M, et al. Protein quality and microbiological changes in aerobically-or vacuum-packaged, irradiated fresh pork loins [J]. *Meat Science*, 2000, 56: 31-39
- [18] Lavrova L P, Krilova V X. Luncheon meat technology in Russian [J]. *Food Industry*, 1975, 325-326
- [19] Mestre Prates J A, Garcia F J, Ribeiro A M, et al. Contribution of major structural changes in myofibrils to rabbit meat tenderization during ageing [J]. *Meat Science*, 2002, 61(1): 103-113
- [20] GB/T 5009.5-2010 食品安全国家标准食品中蛋白质的测定[S]

- GB/T 5009.5-2010 National food safety standard Determination of protein in foods [S]
- [21] 卢桂松,彭增起,曹晖,等.秦川公牛与鲁西公牛牛肉感官品质和加工特性[J].食品科学,2013,34(5):42-45
LU Gui-song, PENG Zeng-qi, CAO Hui, et al. Sensory quality and processing characteristics of bull beef from Qinchuan and Luxiyellow cattle [J]. Food Science, 2013, 34(5): 42-45
- [22] Chen Y J, Zhou G H, Zhu X D, et al. Effect of low dose gamma irradiation on beef quality and fatty acid composition of beef intramuscular lipid [J]. Meat Science, 2007, 75(3): 423-431
- [23] Monk J D, Beuchat L R, Doyle M P. Irradiation inactivation of food borne microorganisms [J]. Journal of Food Protections, 1995, 58(2): 197-208
- [24] Batzer O F, Doty D M. Radiation sterilization, nature of undesirable odors formed by gamma irradiation of beef [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1955, 3(1): 64-67
- [25] 宋丽丽,毛金林,陈杭君,等.冻藏对斑点叉尾鮰鱼片蛋白质冷冻变性和肌原纤维超微结构的影响[J].中国食品学报, 2013,13(1):61-67
SONG Li-li, MAO Jin-lin, CHEN Hang-jun, et al. Effects of frozen-storage on protein denaturation and ultrastructure of channel catfish (*Ictalurus Punctatus*) fillet [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(1): 61-67
- [26] 高淑娟.两段式冷却及电刺激对牛肉食用品质和肌原纤维超微结构的影响[D].泰安:山东农业大学,2009
GAO Shu-juan. Effect of two-stage chilling and electrical stimulation on eating quality and myofibrillar ultrastructural of beef [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2009
- [27] 贾倩.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
JIA Qian. Comparison effects of electron beam and gamma irradiation on preservation of steamed tofu rolls [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012
- [28] 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
- [29] 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
WANG Ruo-lan, YANG Yan-yuan, GUO Jing. Effects of gamma ray and electron beam treatment on soybean quality [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2010, 31(5): 5-8
- [30] Dogbevi M K, Vachon C, Lacroix M. Physicochemical and microbiological changes in irradiated fresh pork loins [J]. Meat Science, 1999, 51(4): 349-354
- [31] 郑立秋,胡蝶,陈亮,等. γ 射线辐照对茶叶中游离氨基酸总量及组分的影响[J].湖南农业科学,2014,69:68-70
ZHENG Li-qiu, HU Die, CHEN Liang, et al. Effects of gamma ray irradiation on total amount and compositions of free amino acid in tea [J]. Hunan Agricultural Science, 2014, 69: 68-70
- [32] 李超,杨文鸽,徐大伦.电子束辐照对泥鳅肉营养成分的影响[J].核农学报,2011,25(5):959-964
LI Chao, YANG Wen-ge, XU Da-lun, et al. Effect of electron beam irradiation on nutritional on ingredient of *Tegilarca granosa* meat [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2011, 25(5): 959-964
- [33] 孙志明,赵小俊,马军辉,等.辐照对肉味香精蛋白质及氨基酸组分的影响[J].核农学报,2008,22(4):461-463
SUN Zhi-ming, ZHAO Xiao-jun, MA Jun-hui, et al. Effect of irradiation on protein and amino acids in meat flavors [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2008, 22(4): 461-463
- [34] 胡鹏,张奇志,邓鹏,等.辐照对扒鸡氨基酸及感官品质的影响[J].核农学报,2011,25(3):506-509
HU Peng, ZHANG Qi-zhi, DENG Peng, et al. Effect of irradiation on amino acid and sensory quality of braised chicken [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2011, 25(3): 506-509