

# 电子束辐照处理对生鲜猪肉的保鲜作用

雷英杰<sup>1</sup>, 陈尚戊<sup>1</sup>, 敬楹莹<sup>1</sup>, 张崑<sup>1</sup>, 韩旭<sup>2</sup>, 刘文龙<sup>1\*</sup>

(1. 成都大学食品与生物工程学院, 四川成都 610106) (2. 成都伍田食品有限公司, 四川成都 611430)

**摘要:** 为研究电子束辐照处理对生鲜猪肉品质的影响, 该实验使用 1 kGy、3 kGy、5 kGy、7 kGy、9 kGy 辐照剂量对生鲜猪肉进行处理, 于 4 °C 环境下贮藏。在贮藏期间进行理化指标的测定, 结果表明: 小于 3 kGy 的辐照剂量, 对生鲜猪肉色泽有一定促进作用。高剂量 (大于 7 kGy) 的辐照处理, 会影响生鲜肉色泽感官。辐照对生鲜肉脂肪氧化促进作用以及杀菌效果十分明显, 在第 12 d 时空白组 TBARS 值最低, 仅为 0.446 mg/kg, 9 kGy 组数值最高, 达到了 0.650 mg/kg。空白组货架期仅为 7~8 d, 而 7 kGy、9 kGy 组第 12 d 时菌落值仍在合格肉标准内, 延长了 5 d 货架期。挥发性风味物质种类方面, 0 kGy、1 kGy 组均检测出 13 种化合物, 3 kGy 组检测出了 10 种, 5 kGy 组检测出了 16 种, 7 kGy 组检测出了 15 种, 9 kGy 组检测出了 14 种化合物。高剂量 (大于 7 kGy) 的辐照能够增加生鲜猪肉风味化合物的种类和含量, 低剂量的辐照处理对生鲜猪肉风味促进作用不大。通过对各项理化指标的综合考虑, 采用 3 kGy 的辐照处理生鲜猪肉效果最佳。

**关键词:** 电子束辐照; 生鲜猪肉; 保鲜效果; 风味物质

文章编号: 1673-9078(2021)10-136-144

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.10.0242

## Effect of Electron Beam Irradiation on the Preservation of Fresh Pork

LEI Ying-jie<sup>1</sup>, CHEN Shang-wu<sup>1</sup>, JING Ying-ying<sup>1</sup>, ZHANG Yin<sup>1</sup>, HAN Xu<sup>2</sup>, LIU Wen-long<sup>1\*</sup>

(1.College of Food and Bioengineering, Chengdu University, Chengdu 610106, China)

(2.Chengdu Wutian Food Co. Ltd., Chengdu 611430, China)

**Abstract:** In order to study the effect of electron beam irradiation on the quality of fresh pork, the irradiation doses of 1 kGy, 3 kGy, 5 kGy, 7 kGy and 9 kGy were used in this experiment to treat fresh pork, and then fresh pork was stored at 4 °C. The physical and chemical indexes were measured during storage. The results showed that the irradiation dose less than 3 kGy could promote the color of fresh pork to some extent. High dose (more than 7 kGy) irradiation treatment will affect the color of fresh meat sensory. On the 12 th day, the TBARS value of blank group was the lowest, only 0.446 mg/kg, and the value of 9 kGy group was the highest, reaching 0.650 mg/kg. The shelf life of the blank group was only 7~8 days, while the colony value of the 7 kGy and 9 kGy groups was still within the qualified meat standard on the 12 th day, which extended the shelf life for 5 days. In terms of volatile flavor compounds, 13 compounds were detected in 0 kGy and 1 kGy groups, 10 compounds were detected in 3 kGy group, 16 compounds were detected in 5 kGy group, 15 compounds were detected in 7 kGy group and 14 compounds in 9 kGy group. High dose (more than 7 kGy) irradiation could increase the variety and content of flavor compounds of fresh pork, while low dose irradiation had little effect on the flavor of fresh pork. According to the comprehensive consideration of various physical and chemical indexes, 3 kGy irradiation treatment of fresh pork has the best effect.

**Key words:** electron beam irradiation; fresh pork; reservation effect; the flavor substances

引文格式:

雷英杰,陈尚戊,敬楹莹,等.电子束辐照处理对生鲜猪肉的保鲜作用[J].现代食品科技,2021,37(10):136-144

LEI Ying-jie, CHEN Shang-wu, JING Ying-ying, et al. Effect of electron beam irradiation on the preservation of fresh pork [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(10): 136-144

收稿日期: 2021-03-08

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFB0305400); 四川省科技计划重点研发项目 (2019YFN0172; 2020-YF09-00032-SN; 2020YFN0059); 四川省科技成果转化项目 (20ZHSF0154); 四川省应用基础研究计划项目 (19YYJC1846); 成都市科技局技术创新研发项目 (2019-YF05-02192-SN; 2020-YF09-00032-SN)

作者简介: 雷英杰 (1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 782402942@qq.com

通讯作者: 刘文龙 (1983-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品安全检测, E-mail: 251082535@qq.com

冷鲜猪肉作为生鲜肉供应和消费的主要方向,正占据着越来越多的肉类市场,猪肉在生产、加工、运输、贮藏及销售的过程中,容易被微生物污染造成腐败变质,常温下,鲜肉货架期仅为4 d左右,货架期短成为限制冷鲜肉快速发展的主要瓶颈<sup>[1]</sup>。传统保鲜方法如低温保鲜、真空包装等方法,能够在一定程度上延长生鲜肉的货架期。其原理主要是抑制了微生物的生长繁殖。并没有解决猪肉在屠宰运输过程中,极易污染沙门氏菌、大肠杆菌、肉毒梭菌等致病菌这些问题。辐照技术作为一种保鲜手段,特点在于良好的杀菌性能,杀菌速度快,操作简便,对食品中普遍存在的致病菌均有良好的杀菌效果。通过几十年的研究表明,低于10 kGy剂量的辐照处理,不会有残留问题,并且温度变化小,不污染食品,相较于低温冷冻保藏,能耗降低了几倍到十几倍<sup>[2]</sup>。因此推动辐照技术应用于生鲜猪肉的保鲜具有深远的意义。

目前我国应用于食品上的辐照射线类型主要有两种,一种是以<sup>60</sup>Co和<sup>137</sup>Cs作为辐照源产生的 $\gamma$ 射线,另一种是由高能加速器产生的电子束。高能电子束辐照处理相比于 $\gamma$ 射线处理时间更短,能较好控制温度需要,且不存在放射性污染、核泄漏等一系列问题,更加方便的同时安全性更佳,因此电子束辐照处理在食品方面的应用更加广泛<sup>[3,4]</sup>。Bouzarjomehri等<sup>[5]</sup>使用不同剂量电子束辐照香肠,结果表明电子束能有效减少细菌总数,且对沙门氏菌具有良好杀灭效果,2 kGy辐照剂量为最优剂量。顾可飞等<sup>[6]</sup>对猪里脊肉进行电子束辐照处理后的感官特性变化进行了分析研究,结果表明不超过3 kGy的低剂量电子束辐照后会使得里脊肉有轻度辐照味,贮存过程中“辐照味”可逐渐自行消失。能够增加猪肉色度感官,起到一定程度的保鲜效果。Parviz等<sup>[7]</sup>对鸡肉进行辐照处理后,在低温4℃下贮藏,结果辐照组鸡肉货架期比对照组延长了7 d,感官特性也优于对照组。程述震等<sup>[8]</sup>研究了电子束辐照对冷鲜猪里脊肉品质及蛋白特性的影响,得出辐照处理能够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。

为探究电子束辐照处理对生鲜猪肉保鲜效果及品质特性的影响,本实验以生鲜猪肉为样品,测定了不同辐照剂量处理生鲜猪肉后的理化指标。食品法典委员会公布食品辐照标准,明确提出在10 kGy剂量以下辐照食品不存在毒理学、营养学、微生物学问题<sup>[9]</sup>。因此本实验辐照剂量设置为1、3、5、7、9 kGy,并以0 kGy组作为空白对照。研究了辐照处理对生鲜猪肉挥发性风味物质的影响情况,为辐照处理应用于生鲜肉保鲜,延长其货架期,提升猪肉品质提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

原材料:新鲜猪肉,采购于好乐购超市。

试剂:乙二胺四乙酸二钠,成都市科龙化工试剂厂;三氯乙酸,天津市津东天正精细化学试剂厂;2-硫代巴比妥酸,上海源叶生物科技有限公司;平板计数琼脂,北京三药科技开发公司。

### 1.2 仪器与设备

设备:PHS-3C pH计,上海三信仪表厂;EPED-EZ-10TJ超纯水制备仪,南京易普易达科技发展有限公司;CR-400便携式色差仪,柯尼卡美能达投资有限公司;GHT-DDC超净工作台,济南杰康净化设备厂;GR60DA高压蒸汽灭菌锅,致徽仪器有限公司;THZ-92A水浴恒温振荡器,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;JA2003N电子天平,上海佑科仪器仪表有限公司;STC-9200冷藏冰冻柜,南京乐创厨房设备有限公司;LRH-250生化培养箱,上海一恒科学仪器有限公司;UV-1100紫外分光光度计,上海美谱达仪器有限公司;5977A-7890B气相色谱-质谱联用仪(含PAL3自动进样器),美国安捷伦公司;GY-ZB-6202真空包装机,江西赣云食品机械有限公司;IKA T18 basic高速匀浆机,德国IKA公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 样品制备

将新鲜猪肉剔除表面筋膜,切割成100 g左右的小份进行装袋,随后进行抽真空处理。这是因为猪肉经辐照后,暴露在于空气15 min后,其鲜红色会褪变为浅褐色,为了防止褐变的发生,目前采用真空包装条件下辐照肉品<sup>[10]</sup>。本次真空处理参数为抽气时间30 s,热封时间1.5 s,放气时间1.2 s,抽气压强0.1 MPa,真空后置于4℃冰箱中进行贮藏。

#### 1.3.2 辐照处理

将真空包装的肉样,使用保温箱加冰块贮藏,送于四川润祥辐照技术有限公司进行电子束辐照处理。设置不同辐照剂量处理,剂量分别为1、3、5、7、9 kGy,辐照能量为10 MeV,肉样之间不重叠堆放以保证辐照均匀。辐照后立即置于4℃冰箱进行冷藏,并在贮藏第1、3、6、9、12 d进行采样测定各项指标,以0 kGy不辐照组作为空白对照。

#### 1.3.3 指标测定

##### 1.3.3.1 pH值的测定

精确称取 5 g 肉样, 加入 50 mL 蒸馏水, 在 3000 r/min 条件下进行匀浆处理, 每次 30 s, 结束后使用 pH 计进行测定, 测定前进行校准, 每个样品进行 3 次测定。

### 1.3.3.2 色度

样品色度的测定使用色差仪选取肉样正反面 3 个不同部位点进行测定, 记录 L\*值、a\*值和 b\*值, 测定前需使用白板进行校准。

### 1.3.3.3 感官评定

参考付丽<sup>[11]</sup>的方法并略作修改, 以 8 名食品专业人员组成感官评定小组, 对肉样的色泽、气味、粘度以及汁液量进行评定打分, 每项指标均采用 10 分制, 具体的评分标准见表 1。

表 1 感官评分标准

Table 1 Sensory scoring criteria

指标	1~2分	3~4分	5~6分	7~8分	9~10分
色泽	灰褐	暗红	紫红	浅红	均匀红色
气味	腐败臭味	有异味	稍有异味	无异味	鲜肉味
粘度	非常粘手	粘手	稍黏	顺滑	无黏度
汁液量	很多水	较多水	少量水	稍有水	无

### 1.3.3.4 TBARS 值的测定

TBARS 值参照 GB 5009.181-2016《食品安全国家标准食品中丙二醛的测定》进行测定。TBARS 值以每千克样品中所含丙二醛的质量表示, 单位为 mg/kg。

### 1.3.3.5 菌落总数的测定

菌落总数按照 GB 4789.2-2010《食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定》, 结果以 lg(CFU/g) 表示。

### 1.3.3.6 挥发性风味物质的测定

参考赵冰等<sup>[12]</sup>、张旭等<sup>[13]</sup>的方法并略作修改进行前处理, 结合菌落总数、感官评价、TBARS 值, 选取贮藏第 6 d 的各组肉样进行挥发性风味物质的检测, 以新鲜肉作为对比, 研究辐照处理对生鲜猪肉挥发性风味物质含量的影响。将肉样粉碎呈肉糜状, 准确称取 3 g 置于顶空瓶中。对 CTC 自动进样器以及前处理参数进行设置, 其中加热箱温度和加热时间为 75 °C 下加热 45 min, 样品的抽取时间为 20 min, 解析时间 5 min。

GC 条件: HP-5MS UI 色谱柱 (30 m×0.25 mm, 0.25 μm); 压力 32.0 kPa; 流速 1.0 mL/min; 载气为 He 气, 不分流进样; 进样口温度 250 °C; 升温程序: 起始温度 40 °C, 保持 3 min, 以 5 °C/min 升至 200 °C, 保存 0 min, 再以 10 °C/min 的速率升至 225 °C, 保持 3 min。

MS 条件: 电子电离源; 电子能量 70 eV; 离子源

温度 230 °C; 四级杆温度 150 °C; 检测器电压 350 V; 质量扫描范围 (*m/z*): 40~500。

定性: 对化合物进行分析时, 将得到的数据在仪器的 NIST 14.L 谱库中进行检索和匹配, 选择匹配度高于 80% 的物质。

定量: 对总离子流量色谱图用峰面积归一化定量, 得出各组分的相对含量。

## 1.4 数据处理

实验所得数据使用 SPSS 23 进行数据分析, 使用 Origin 9.0 进行绘图处理。利用 Duncan 多重比较进行显著性分析, 其中  $p < 0.05$  表示差异显著。所得数据及平行组用平均值±标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 辐照处理对生鲜肉 pH 值的影响

pH 值是检测肉品新鲜度的重要依据之一, 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。如图 1 所示, 通过不同剂量辐照处理, 对生鲜肉的 pH 值产生了不同影响, 其中空白组在贮藏时间内从 5.6 左右上升到 6.0 以上, 这是因为蛋白质和氨基酸在细菌和内源酶的作用下被分解成氨和胺类等碱性物质, 使 pH 值逐渐增加。而辐照组生鲜肉 pH 值在前 3 d 有个下降趋势, 之后 pH 值上升, 这可能是由于辐照处理使肉品蛋白质的二硫键断裂, 含硫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<sup>[14-16]</sup>。通过实验发现生鲜肉 pH 值的变化与辐照剂量大小并不呈线性关系, 但是在贮藏初期, 辐照处理会减缓生鲜肉 pH 的上升, 使其低于空白组, 这对维持生鲜肉品质起到了一定作用。

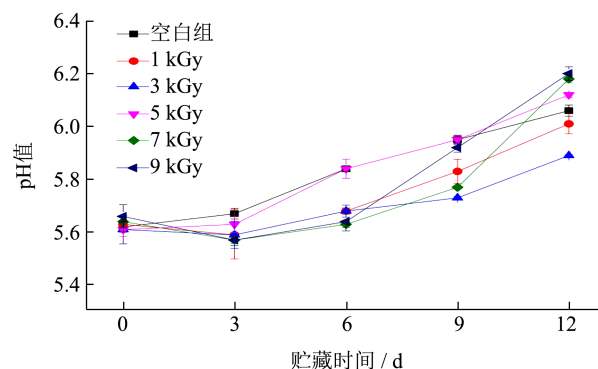


图 1 辐照处理对生鲜肉 pH 值的影响

Fig.1 Effect of irradiation on pH value of fresh meat

表2 辐照处理对生鲜肉色度的影响

Table 2 Effect of irradiation treatment on chromaticity of fresh meat

测定指标	辐照剂量/kGy	贮藏时间/d				
		1	3	6	9	12
L*值	0	54.27±1.76 <sup>a</sup>	51.0±1.99 <sup>ab</sup>	46.23±1.71 <sup>c</sup>	47.00±1.70 <sup>bc</sup>	41.3±2.07 <sup>d</sup>
	1	43.29±0.85 <sup>d</sup>	45.62±1.22 <sup>cd</sup>	47.03±2.06 <sup>c</sup>	62.12±0.41 <sup>a</sup>	51.35±0.75 <sup>b</sup>
	3	45.00±2.35 <sup>d</sup>	40.30±1.10 <sup>c</sup>	45.53±0.40 <sup>b</sup>	52.55±1.72 <sup>a</sup>	49.74±0.98 <sup>a</sup>
	5	50.18±1.34 <sup>b</sup>	50.84±0.86 <sup>b</sup>	46.68±1.65 <sup>c</sup>	56.30±0.95 <sup>a</sup>	49.22±1.65 <sup>bc</sup>
	7	46.82±1.09 <sup>d</sup>	53.84±0.67 <sup>c</sup>	61.04±0.89 <sup>a</sup>	57.26±1.43 <sup>b</sup>	47.01±1.06 <sup>d</sup>
	9	49.31±1.84 <sup>c</sup>	46.56±1.10 <sup>d</sup>	63.06±0.53 <sup>a</sup>	59.12±1.17 <sup>b</sup>	58.53±0.10 <sup>b</sup>
a*值	0	12.72±0.89 <sup>c</sup>	15.61±2.41 <sup>ab</sup>	14.14±1.09 <sup>bc</sup>	17.93±2.16 <sup>ab</sup>	19.21±1.14 <sup>a</sup>
	1	13.09±1.39 <sup>cd</sup>	16.53±0.97 <sup>a</sup>	18.65±0.40 <sup>b</sup>	15.92±0.21 <sup>d</sup>	14.82±2.06 <sup>c</sup>
	3	13.27±0.79 <sup>c</sup>	16.35±0.40 <sup>b</sup>	18.1±0.72 <sup>ab</sup>	19.98±1.53 <sup>a</sup>	19.64±1.03 <sup>a</sup>
	5	13.19±0.89 <sup>d</sup>	16.38±0.96 <sup>d</sup>	16.52±1.74 <sup>abc</sup>	14.20±0.59 <sup>bcd</sup>	17.83±1.65 <sup>a</sup>
	7	15.59±0.87 <sup>b</sup>	17.45±1.10 <sup>a</sup>	18.43±0.59 <sup>a</sup>	18.03±0.11 <sup>a</sup>	20.54±1.89 <sup>c</sup>
	9	14.92±1.16 <sup>b</sup>	15.20±0.68 <sup>d</sup>	15.53±1.33 <sup>ab</sup>	15.07±1.50 <sup>ab</sup>	16.09±0.41 <sup>a</sup>
b*值	0	7.13±0.47 <sup>c</sup>	9.48±0.99 <sup>b</sup>	10.09±0.65 <sup>b</sup>	13.95±1.64 <sup>a</sup>	12.79±0.41 <sup>a</sup>
	1	8.51±0.93 <sup>c</sup>	8.74±0.80 <sup>c</sup>	10.59±0.41 <sup>b</sup>	14.04±0.13 <sup>a</sup>	14.43±0.59 <sup>a</sup>
	3	7.30±0.28 <sup>c</sup>	7.39±0.45 <sup>c</sup>	10.26±0.60 <sup>b</sup>	10.17±1.24 <sup>b</sup>	14.46±0.77 <sup>a</sup>
	5	9.61±0.55 <sup>bc</sup>	8.97±0.56 <sup>c</sup>	10.82±1.20 <sup>abc</sup>	11.33±0.30 <sup>ab</sup>	12.62±0.97 <sup>a</sup>
	7	7.68±0.12 <sup>c</sup>	9.44±0.48 <sup>b</sup>	12.62±0.55 <sup>a</sup>	11.86±0.42 <sup>a</sup>	11.25±1.05 <sup>a</sup>
	9	5.59±0.69 <sup>c</sup>	7.35±0.40 <sup>d</sup>	12.57±0.80 <sup>a</sup>	9.33±0.97 <sup>b</sup>	12.55±0.24 <sup>a</sup>

注: 同列数据肩标不同字母表示结果间存在显著性差异 ( $P<0.05$ )。

## 2.2 辐照处理对生鲜肉色度的影响

色泽感官是消费者用来评价肉品新鲜度的重要指标, 本实验使用色差仪对肉样的色度进行测定, 通过测定肉样 L\*值、a\*值、b\*值来反映样品整体色泽变化, 其中 L\*值代表样品亮度值, a\*值反映的是样品红度值的大小, 红度值高能给予人良好的感官, b\*值反映样品黄度值的大小, 黄度值过高, 说明肉样可能存放时间过长, 新鲜度低。通过表2可以看出, 随着保鲜时间的延长, 辐照组的生鲜肉 L\*值明显高于空白组。因为辐照能够破坏肌肉蛋白质结构, 在一定程度上影响到肉的质构, 肌肉组织的保水能力将受到影响, 使得 L\*值更高<sup>[17,18]</sup>。但是 L\*值与辐照剂量没有直接联系, 辐照处理后 b\*值变化没有规律性。

辐照处理后第1 d, 辐照组生鲜肉的红度值 a\*明显高于空白组, 5 kGy、7 kGy、9 kGy 组与空白组数据存在显著性差异 ( $p<0.05$ )。辐照剂量越高, 肉样颜色变化越明显, 这是由于辐照促进了肉中一氧化氮肌红蛋白的形成, 该蛋白与肌红蛋白相比更不易被氧化, 从而改善肉样的 a\*值, 这与何立超等<sup>[19]</sup>的研究结论一致。冯晓琳等<sup>[20]</sup>认为在真空条件下, 肉样的 a\*值变化与辐照剂量成正相关的原因并非是形成氧合肌红蛋白

所致。而是辐照处理降低了氧化还原电位, 产生的-CO基团, 可作为肌红蛋白第6配位基, 从而形成比氧合肌红蛋白更稳定的碳氧肌红蛋白。

通过色泽的测定可以得出低剂量的辐照处理对于增加生鲜猪肉红度值, 提升感官质量有积极作用。超过5 kGy的辐照处理则会对生鲜肉色度感官带来极大影响, 本实验中3 kGy的辐照处理最佳, 能够改善生鲜肉色泽, 提升生鲜猪肉感官, 而且随着贮藏时间的延长, 这种积极作用能较好的保持。

## 2.3 感官评价

在第1、6、12 d对样品进行了感官评定, 结果如表3所示。在第1 d时, 由于辐照处理给肉样色泽造成影响, 辐照组与空白组相比色泽得分更低。高剂量的辐照还会使生鲜肉产生“辐照味”, 从而降低肉的感官, 且辐照剂量越大, 这种不愉快的气味越浓烈。受辐照影响, 生鲜肉的粘度和汁液损失会加剧, 因此随着贮藏时间的延长, 辐照组特别是高剂量(7、9 kGy)辐照组的粘度、汁液量的评分明显低于空白组。

在贮藏第6 d时, 只有空白组、1 kGy组、3 kGy组评分在6分以上, 维持一个较好的感官。而其他组, 受辐照处理影响, 色泽感官较差, 汁液流失严重, 辐

照味强烈。超过 6 d 贮藏期,肉样的感官评分过低,商业价值急剧下降。实验证明超过 3 kGy 的辐照处理,会加快肉样变质速度,对生鲜肉的感官影响较大,低剂量的辐照,对维持肉样感官能起到一定积极作用,综合考虑使用 3 kGy 辐照处理生鲜肉效果最佳。对于辐照“异味”,有众多学者对此展开研究,大部分研究人员认为辐照味和异臭来源是肉制品中含硫氨基酸降

解和脂肪辐照氧化的结果<sup>[21]</sup>。当辐照剂量低时由于氨基酸产生的辐照气味量少,不易察觉,但当剂量高时,气味会十分明显,高剂量的辐照会促进脂肪自动和非自动氧化形成过氧化物,这些物质分解产生的醛、酸、酮、酯等又使辐照肉产生了异臭<sup>[22,23]</sup>。因此应尽量避免高剂量的辐照处理生鲜肉。

表 3 辐照处理对生鲜肉感官评分的影响

Table 3 Effect of irradiation treatment on sensory score of fresh meat

指标	贮藏时间/d	辐照剂量					
		0 kGy	1 kGy	3 kGy	5 kGy	7 kGy	9 kGy
色泽	1	10.0±0.00 <sup>a</sup>	9.0±0.76 <sup>b</sup>	8.3±0.64 <sup>c</sup>	7.3±0.52 <sup>d</sup>	7.5±0.52 <sup>d</sup>	7.5±0.53 <sup>d</sup>
	6	7.0±0.76 <sup>a</sup>	6.5±0.52 <sup>b</sup>	7.1±0.46 <sup>a</sup>	5.5±0.53 <sup>c</sup>	4.5±0.53 <sup>d</sup>	4.5±0.52 <sup>d</sup>
	12	5.5±0.52 <sup>b</sup>	4.5±0.53 <sup>c</sup>	6.8±0.46 <sup>a</sup>	5.4±0.52 <sup>b</sup>	4.5±0.53 <sup>c</sup>	3.8±0.46 <sup>d</sup>
气味	1	9.5±0.53 <sup>a</sup>	9.3±0.89 <sup>a</sup>	8.0±0.64 <sup>b</sup>	5.8±0.46 <sup>c</sup>	5.5±0.76 <sup>c</sup>	4±0.64 <sup>d</sup>
	6	6.3±0.46 <sup>a</sup>	6.5±0.53 <sup>a</sup>	6.5±0.53 <sup>a</sup>	4.5±0.52 <sup>b</sup>	4.0±0.76 <sup>c</sup>	2.8±0.89 <sup>d</sup>
	12	2.5±0.53 <sup>c</sup>	3.0±0.76 <sup>b</sup>	3.0±0.76 <sup>b</sup>	2.8±0.46 <sup>b</sup>	4.5±0.53 <sup>a</sup>	2.3±0.46 <sup>c</sup>
粘度	1	10.0±0.00 <sup>a</sup>	10.0±0.00 <sup>a</sup>	9.5±0.53 <sup>b</sup>	7.5±0.53 <sup>d</sup>	8.25±0.46 <sup>c</sup>	7.5±0.53 <sup>d</sup>
	6	6.3±0.46 <sup>a</sup>	5.3±0.89 <sup>c</sup>	5.8±0.52 <sup>b</sup>	5.3±0.46 <sup>c</sup>	6.5±0.53 <sup>a</sup>	3.0±0.64 <sup>d</sup>
	12	3.3±0.46 <sup>c</sup>	3.5±0.52 <sup>b</sup>	3.5±0.53 <sup>b</sup>	3.5±0.53 <sup>b</sup>	4.0±0.76 <sup>a</sup>	2.5±0.52 <sup>d</sup>
汁液量	1	10.0±0.00 <sup>a</sup>	10.0±0.00 <sup>a</sup>	9.3±0.46 <sup>b</sup>	8.3±0.52 <sup>c</sup>	8.3±0.46 <sup>c</sup>	8.3±0.52 <sup>c</sup>
	6	5.8±0.46 <sup>b</sup>	6.0±0.76 <sup>b</sup>	7.3±0.46 <sup>a</sup>	5.3±0.76 <sup>c</sup>	5.3±0.53 <sup>c</sup>	4.5±0.46 <sup>d</sup>
	12	3.1±0.35 <sup>d</sup>	5.3±0.46 <sup>a</sup>	4.8±0.76 <sup>b</sup>	4.6±0.46 <sup>b</sup>	3.5±0.53 <sup>c</sup>	3.5±0.53 <sup>c</sup>

注: 同列数据肩标不同字母表示结果间存在显著性差异 ( $P<0.05$ )。

## 2.4 TBARS 的测定

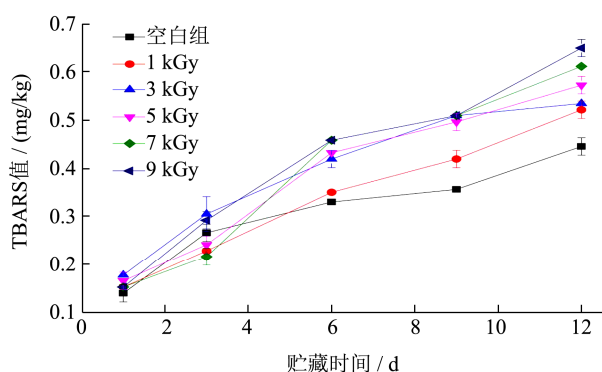


图 2 辐照处理对生鲜肉 TBARS 值的影响

Fig.2 Effect of irradiation on TBARS value of fresh meat

食品中不饱和脂肪酸氧化分解所产生的衍生物通常采用 TBARS 值法来进行评价,肉类食品脂肪氧化程度会随着贮藏时间的延长而加深,氧化次级产物不断增多, TBARS 值会升高。如图 2 所示,随着贮藏时间的延长,各组肉样的 TBARS 值均呈现上升趋势,在第 12 d 时空白组数值最低,仅为 0.446 mg/kg, 9 kGy 组数值最高,达到了 0.650 mg/kg,辐照组数值均高于空白组。这说明了辐照处理能加速生鲜肉中脂肪氧化的

速率,因为电子束辐照能够增加生鲜肉脂肪中自由基含量,这与蒋惠亮<sup>[24]</sup>的研究结果一致。由于生鲜肉 TBARS 值在 0.202~0.664 mg/kg 之间时为良质肉,因此尽管辐照处理促进了脂肪氧化水解,加速其变质速度,但是在 12 d 贮藏时间内仍能使其维持较好的品质<sup>[25]</sup>。

但是贮藏第 3 d 左右,出现了辐照组 TBARS 值低于空白组的情况,这可能是因为电子束是负电荷的高能电子流具有一定还原性,其自身的还原作用抑制了脂肪氧化<sup>[26]</sup>。根据本次实验结果表明辐照处理会加剧生鲜肉中脂肪氧化程度,使其在贮藏时更容易腐败变质,且剂量越高,对其促进效果越大,因此不宜采用高剂量的辐照处理生鲜肉。

## 2.5 菌落总数的测定

通过对各组贮藏期间菌落总数的测定,发现辐照处理后菌落总数显著下降,贮藏期间辐照组菌落总数始终低于空白组,且辐照剂量越大,菌落值越低,杀菌效果越明显。根据研究资料显示,未经处理的生鲜猪肉在 4 °C 下仅能贮藏 4 d 左右,而本次实验中空白组为真空包装下 4 °C 贮藏,能延长生鲜肉货架期到 6~9 d<sup>[27]</sup>。空白组的猪肉在第 9 d 时达到了 6.39,而 1

kGy 组菌落值为 5.92,说明未辐照的生鲜肉已经变质,而辐照组均维持在鲜肉水平,这说明辐照处理对微生物的影响显著 ( $p<0.05$ )。在第 12 d 时,其余组鲜肉均已变质,只有 7 kGy 组和 9 kGy 组的满足合格肉标准,菌落值分别为 5.93 和 5.84。这说明了辐照处理具有良好的杀菌效果,能够延长肉品货架期,减缓微生物生长速度,且杀菌效果与辐照剂量成正比。这是因为辐照剂量越大,食品中微生物细胞内部 DNA 损伤越大,导致无法修复而影响微生物的正常生长和繁殖,此外,辐照可产生羟自由基等物质,抑制微生物的生长繁殖,从而达到延长食品货架期的效果<sup>[28]</sup>。

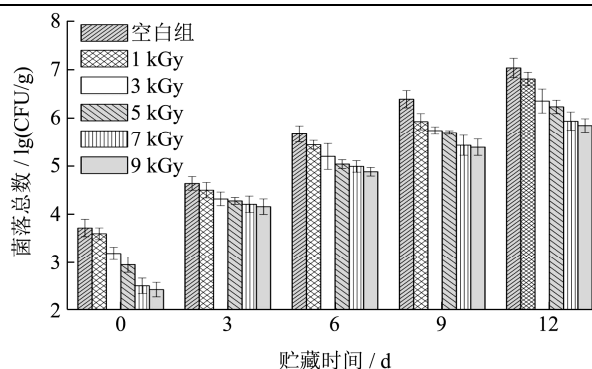


图3 辐照处理对生鲜肉菌落总数的影响

Fig.3 Effect of irradiation treatment on total colony of fresh meat

表4 辐照剂量对生鲜肉挥发性风味物质的影响

Table 4 Effect of irradiation dose on volatile flavor compounds in fresh meat

种类	化合物名称	保留时间/min	相对百分含量/%						香气特征
			0 kgy	1 kgy	3 kgy	5 kgy	7 kgy	9 kgy	
烯烃类	十二烷	22.60	-	-	-	0.46	-	-	
	十三烷	27.55	-	-	-	0.47	-	-	
	十四烷	31.78	2.42	1.06	1.14	0.84	3.10	0.93	
	十五烷	34.71	-	-	-	0.62	0.86	1.27	
	右旋萜二烯	13.43	-	-	-	-	2.67	0.83	柠檬香味
	小计		2.42	1.06	1.14	2.39	5.77	3.03	
醇类	1-辛烯-3-醇	11.10	1.55	2.55	2.10	1.70	1.28	0.87	熟蘑菇味
	2-乙基乙醇	13.77	21.44	10.58	69.23	43.26	24.33	63.68	植物香味
	苯乙醇	18.29	-	0.67	1.09	2.14	6.03	1.64	玫瑰香味
	小计		22.99	13.70	72.42	47.10	31.64	66.19	
醛类	正己醛	4.80	11.22	11.35	1.55	9.78	5.56	2.42	青草味
	庚醛	7.96	1.68	3.78	-	2.39	-	-	油脂味、果香
	苯甲醛	10.12	22.97	7.94	3.10	5.74	10.04	3.21	水果甜味
	苯乙醛	14.40	6.38	-	-	-	8.62	-	
	壬醛	17.75	9.88	16.64	1.99	10.26	10.17	2.45	清香, 油脂香
	反式-2-壬醛	20.63	-	1.79	-	1.56	-	-	
	十五醛	39.24	5.53	-	-	0.98	0.32	0.57	
	反-2-辛烯醛	15.25	-	2.32	-	1.98	1.66	2.91	肉香、脂肪香
	十六醛	40.62	-	4.61	1.06	-	7.71	5.72	
3-甲硫基丙醛	8.69	-	-	-	0.28	0.56	0.65		
	小计		57.66	48.43	7.7	33.51	44.64	17.93	
酸类	辛酸	21.89	1.71	1.28	0.44	0.38	-	-	
	壬酸	17.75	1.70	-	-	-	-	-	
	小计		3.41	1.28	0.44	0.38	0	0	
酚类	2,4-二叔丁基苯酚	35.15	-	-	-	-	5.09	2.04	
	小计		0	0	0	0	5.09	2.04	
酯类	丁酸丁酯	5.27	2.06	-	-	-	-	-	
	己二酸二(2-乙基己)酯	42.54	8.27	7.06	5.21	8.36	9.77	2.50	
	小计		10.33	7.06	5.21	8.36	9.77	2.50	

注:-表示未检测出。

## 2.6 挥发性风味物质的测定

为研究不同辐照剂量对生鲜猪肉进行处理后,对其风味化合物种类含量的影响,选取辐照处理后贮藏3 d内,品质良好的肉样进行测定,挥发性风味物质检测后汇总数据见表4。0 kGy组、1 kGy组均检测出13种化合物,3 kGy组检测出了10种,5 kGy组检测出了16种,7 kGy组检测出了15种,9 kGy组检测出了14种化合物。由表可见辐照剂量会对生鲜肉中风味物质的种类及含量造成不同的影响。

其中烯烃类化合物0 kGy、1 kGy、3 kGy组种类最低只有一种,而5 kGy、7 kGy、9 kGy组种类和含量均更多。醇类化合物,各组种类均不多,但是3 kGy组醇类化合物含量达到了72.42%,远高于其他几组。挥发性风味物质中,烃类物质是一些风味化合物的重要中间体,呈味阈值相对较低,主要来自脂肪酸烷氧自由基的均裂<sup>[29]</sup>。醇类对肉类风味的形成也起着重要作用,尤其是不饱和醇阈值较低,对风味影响较大。猪肉中醇类化合物1-辛烯-3-醇具有熟蘑菇香气,1 kGy组的含量最高为2.55%,9 kGy组最低,为0.87%。因此可以得出辐照处理会增加生鲜肉烯烃类化合物、醇类化合物的种类和含量。这是因为辐照处理促进了脂肪氧化、氢过氧化物的分解,在贮藏过程中这些分解产物又会转化成不同风味化合物,使得辐照后的生鲜肉风味化合物种类更加丰富。

醛类化合物气味阈值低,是肉制品的挥发性化合物的主要成分,它们多数来自不饱和脂肪酸的氧化降解。酯类化合物可为食品提供水果香、花香和蜂蜜香,而酸类化合物对猪肉的风味直接贡献作用较小<sup>[30,31]</sup>。通过表4可以得出,醛类化合物含量最高的是0 kGy组,占到了57.66%,含量最低的是3 kGy组,仅占7.7%。酸类、酯类含量最高的均是0 kGy组。5 kGy组、7 kGy组、9 kGy组中还检测到了3-甲硫基丙醛的存在,并且含量与辐照剂量成正相关。这类含硫化合物是辐照异味的主要成分,通过实验发现辐照剂量越大,肉样中含硫化合物的含量越高,使得样品“辐照味”越大,这与之前感官实验中的结论一致。通过挥发性风味物质含量的测定发现辐照处理会降低醛类、酯类、酸类化合物的种类和含量,对猪肉风味造成一定损失,高剂量的辐照会增加生鲜肉烯烃类、醇类化合物的含量,但是会使得含硫化合物含量增加,降低生鲜肉的感官体验,这与瞿桂香等<sup>[32]</sup>的研究结论一致。

## 3 结论

通过不同剂量电子束辐照对生鲜猪肉的处理,研

究对其保鲜效果及风味影响情况后得出以下结论:辐照处理会减缓生鲜肉pH值的上升,对微生物具有良好的杀菌作用,能够延长生鲜肉货架期5~8 d。但是高剂量的辐照(7 kGy、9 kGy)处理不仅会降低生鲜猪肉的感官评分,还会加速其脂肪氧化速率,因此低剂量的辐照处理,更适合应用于生鲜猪肉的保鲜当中。挥发性风味物质方面,辐照处理后的生鲜肉醛类、酯类、酸类化合物含量会降低,从而对风味造成一定损失。通过本次实验综合考虑3 kGy的辐照剂量最优,不仅具有较好的杀菌效果能延长生鲜肉货架期,而且对维持生鲜肉感官能起到一定积极作用。

## 参考文献

- [1] 李丹丹,郑丽,刘雨晗,等.猪肉生物保鲜技术研究进展[J].肉类研究,2020,34(11):98-105  
LI Dan-dan, ZHENG Li, LIU Yu-han, et al. Research progress of pork biological preservation technology [J]. Meat Research, 2020, 34(11): 98-105
- [2] 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  
HOU Zhao-hua, ZENG Qing-sheng, NING Hao-ran, et al. Research progress on storage and preservation technology of chilled meat [J]. Preservation and Processing, 2015, 15(1): 64-68
- [3] 陈倩,陈昭斌.高能电子束辐照技术在消毒领域的应用[J].中国消毒学杂志,2017,34(10):966-969  
CHEN Qian, CHEN Zhao-bin. Application of high-energy electron beam irradiation technology in the field of disinfection [J]. Chinese Journal of Disinfectology, 2017, 34(10): 966-969
- [4] Li Shuliu, Kundu Devapriya, Holley Richard A. Use of lactic acid with electron beam irradiation for control of *Escherichia coli* O157:H7, non-O157 VTEC *E-coli*, and *Salmonella serovars* on fresh and frozen beef [J]. Food Microbiology, 2015, 46: 34-39
- [5] F Bouzarjomehri, V Dad, B Hajimohammadi, et al. The effect of electron-beam irradiation on microbiological properties and sensory characteristics of sausages [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2020, 168: 108524
- [6] 顾可飞.电子束辐照对冷藏猪脊肉品质特性的影响[J].现代食品科技,2013,29(3):498-500  
GU Ke-fei. Effect of electron beam irradiation on quality characteristics of frozen pork tenderloin [J]. Modern Food Technology, 2013, 29(3): 498-500
- [7] Parviz H, Hossein T, Rohani S, et al. Effect of functional

- chitosan coating and gamma irradiation on the shelf-life of chicken meat during refrigerated storage [J]. *Radiation Physics and Chemistry*, 2017, 141: 103-109
- [8] 程述震,刘伟,冯晓琳,等.电子束辐照对冷鲜猪里脊肉品质及蛋白特性的影响[J]. *食品与发酵工业*,2017,43(3):151-156  
CHENG Shu-zhen, LIU Wei, FENG Xiao-lin, et al. Effect of electron beam irradiation on quality and protein properties of chilled pork tenderloin [J] *Food and Fermentation Industries*, 2017, 43(3): 151-156
- [9] 田堃,梁飞,卢江.我国辐照食品发展前景和管理对策探讨[J]. *中国卫生工程学*,2005,4:238-240  
TIAN Kun, LIANG Fei, LU Jiang. Development prospect and management countermeasure of irradiated food in China [J]. *China Health Engineering*, 2005, 4: 238-240
- [10] 刘俊轩,苏霞,何彦瑾,等.辐照保鲜技术对肉类及其制品影响的研究现状[J]. *食品与发酵工业*,2012,38(10):151-154  
LIU Jun-xuan, SU Xia, HE Yan-jin, et al. Research status of irradiation preservation technology on meat and its products [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2012, 38(10): 151-154
- [11] 付丽,马丽卿,马微,等.葡萄皮提取物协同冰鲜对牛肉的抗氧化效果[J]. *食品研究与开发*,2020,41(6):13-18  
FU Li, MA Li-qing, MA Wei, et al. Antioxidant effect of grape skin extract combined with chilled beef [J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(6): 13-18
- [12] 赵冰,李素,张顺亮,等.保鲜方式对冷鲜猪肉挥发性风味物质的影响[J]. *肉类研究*,2017,31(2):51-56  
ZHAO Bing, LI Su, ZHANG Shun-liang, et al. Effect of fresh preservation method on volatile flavor substances of chilled pork [J]. *Meat Research*, 2017, 31(2): 51-56
- [13] 张旭,王卫,白婷,等.四川浅发酵香肠加工进程中挥发性风味物质测定及其主成分分析[J]. *现代食品科技*,2020,36(10): 274-283  
ZHANG Xu, WANG Wei, BAI Ting, et al. Determination and principal component analysis of volatile flavor compounds in sausage of Sichuan shallow fermentation [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(10): 274-283
- [14] 肖轲,李高阳,尚雪波,等.辣椒籽提取物对冷却肉的抗氧化性及保鲜效果[J]. *中国食品学报*,2020,20(6):202-208  
XIAO Ke, LI Gao-yang, SHANG Xue-bo, et al. Antioxidant activity and fresh-keeping effect of pepper seed extract on chilled meat [J]. *Chinese Journal of Food Science*, 2020, 20(6): 202-208
- [15] Feng Xi, Jo Cheorun, Nam Ki Chang, et al. Impact of electron-beam irradiation on the quality characteristics of raw ground beef [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2019, 54: 87-92
- [16] 顾可飞,陈志军.电子束辐照对氨基酸与蛋白质结构的影响[J]. *辐射研究与辐射工艺学报*,2019,37(2):35-42  
GU Ke-fei, CHEN Zhi-jun. Effect of electron beam irradiation on the structure of amino acids and proteins [J]. *Journal of Radiation Research and Radiation Technology*, 2019, 37(2): 35-42
- [17] 何立超,杨海燕,孙秀秀,等.3种抗氧化剂对辐照猪肉火腿肠异味的控制技术研究[J]. *核农学报*,2019,33(3):509-517  
HE Li-chao, YANG Hai-yan, SUN Xiu-xiu, et al. Study on the control technology of three kinds of antioxidants on the odor of irradiated pork ham sausage [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2019, 33(3): 509-517
- [18] Derakhshan Zahra, Conti Gea Oliveri, Heydari Ali, et al. Survey on the effects of electron beam irradiation on chemical quality and sensory properties on quail meat [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2018, 112: 416-420
- [19] 何立超,马素敏,李成梁,等.辐照处理提高猪肉火腿肠保鲜效果[J]. *农业工程学报*,2016,32(22):296-302  
HE Li-chao, MA Su-min, LI Cheng-liang, et al. Irradiation treatment to improve the preservation effect of pork sausage [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(22): 296-302
- [20] K C Nam, D U Ahn. Carbon monoxide-heme pigment is responsible for the pink color in irradiated raw turkey breast meat [J]. *Meat Science*, 2002, 60(1): 25-33
- [21] 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. Research progress on effects of irradiation on meat quality and its control [J]. *Food Science*, 2016, 37(21): 271-278
- [22] 林若泰,耿胜荣,刘杨岷,等.冷却包装猪肉辐照异味气体成分研究[J]. *中国农业科学*,2008,3:918-924  
LIN Ruo-tai, GENG Sheng-rong, LIU Yang-min, et al. Study on the composition of irradiated odor gas in chilled packaged pork [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2008, 3: 918-924
- [23] Feng Xi, Jo Cheorun, Nam Ki, et al. Impact of electron-beam irradiation on the quality characteristics of raw ground beef [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2019, 54: 87-92
- [24] 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  
JIANG Hui-liang, GU Yu, YANG Xu, et al. Effect of electron beam irradiation on fresh-keeping of mussel meat [J]. *Food*



- Industry Science and Technology, 2020, 41(24): 272-276
- [25] 徐畅,蔡明迪,刘秋,等.菊粉天然复合保鲜剂对冷鲜猪肉保鲜效果的影响[J].包装工程,2020,41(19):8-16  
XU Chang, CAI Ming-di, LIU Qiu, et al. Effect of inulin natural compound preservation agent on preservation effect of chilled pork [J]. Packaging Engineering, 2020, 41(19): 8-16
- [26] 冯晓琳,王晓拓,王丽芳,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  
FENG Xiao-lin, WANG Xiao-tuo, WANG Li-fang, et al. Effect of electron beam irradiation on quality of vacuum-packed chilled pork [J]. Chinese Journal of Food Science, 2015, 15(2): 126-131
- [27] 吴艺鸣.冷链运输中不同包装方式对生鲜猪肉品质的比较分析[J].现代食品科技,2020,36(3):127-132  
WU Yi-ming. Comparison and analysis of fresh pork quality by different packing methods in cold chain transportation [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(3): 127-132
- [28] 张晗,吕鸣春,梅卡琳,等.电子束辐照对鲈鱼肉杀菌保鲜效果及品质的影响[J].食品科学,2018,39(21):66-71  
ZHANG Han, LYU Ming-chun, MEI Ka-lin, et al. Effect of electron beam irradiation on sterilization and freshness keeping effect and quality of sea bass meat [J]. Food Science, 2018, 39(21): 66-71
- [29] 彭文川,羊宣科,蔡克奇,等.海南特种野猪与屯昌黑猪肌肉挥发性风味化合物比较研究[J].黑龙江畜牧兽医,2020,1: 125-130  
PENG Wen-chan, YANG Xuan-ke, CAI Ke-qi, et al. Comparative study on volatile flavor compounds in muscle of Hainan special wild boar and Tunchang black pig [J]. Heilongjiang Animal Husbandry and Veterinary, 2020, 1: 125-130
- [30] 高子武,王恒鹏,陈胜妹,等.不同宰后时间下调理猪肉片品质特性及挥发性风味物质比较[J].现代食品科技,2020,36(11):263-272,312  
GAO Zi-wu, WANG Heng-peng, CHEN Sheng-shu, et al. Comparison of quality characteristics and volatile flavor compounds of prepared pork slices at different postmortem time [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(11): 263-272, 312
- [31] Khairy H L, Saadoon A F, Zzaman W, et al. Identification of flavor compounds in rambutan seed fat and its mixture with cocoa butter determined by SPME-GCMS [J]. Journal of King Saud University - Science, 2018, 30(3): 316-323
- [32] 瞿桂香,马文慧,钱文霞,等.不同剂量电子束辐照即食小龙虾的品质分析[J].食品科技,2020,45(10):155-161  
QU Gui-xiang, MA Wen-hui, QIAN Wen-xia, et al. Quality analysis of ready-to-eat crayfish irradiated with different doses of electron beam [J]. Food Science and Technology, 2020, 45(10): 155-161

---

(上接第 117 页)

- [14] LI Bo, QIAO Mei-ying, LU Fei. Composition, nutrition, and utilization of okara (soybean residue) [J]. Food Reviews International, 2012, 28(3): 231-252
- [15] WANG Jin-mei, XIA Ning, YANG Xiao-quan, et al. Adsorption and dilatational rheology of heat-treated soy protein at the oil-water interface: relationship to structural properties [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(12): 3302-3310
- [16] Beveridge T, Toma S J, Nakai S. Determination of SH- and SS-groups in some food proteins using Ellman's reagent [J]. Journal of Food Science, 1974, 39: 49-51
- [17] 彭捷.植物甾醇纳米颗粒的制备及其在豆奶中的应用[D].广州:华南理工大学,2016  
PENG Jie. Preparation of phytosterol nanoparticles and the application in soybean milk [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016
- [18] ZHANG Ji-yao, SHEN Zhi-gang, ZHONG Jie, et al. Preparation of amorphous cefuroxime axetil nanoparticles by controlled nanoprecipitation method without surfactants [J]. International Journal of Pharmaceutics, 2006, 323(1): 153-160
- [19] YANG Shu, MAO Xue-ying, LI Fei-fei, et al. The improving effect of spray-drying encapsulation process on the bitter taste and stability of whey protein hydrolysate [J]. European Food Research & Technology, 2012, 235(1): 91-97