

辐照方式对南酸枣糕品质及货架期的影响

Effects of irradiation methods on quality and shelf life of *Choerospondias axillaris* pastilles

毛青秀¹ 徐远芳^{2,3,4} 陈渠玲¹

MAO Qingxiu¹ XU Yuanfang^{2,3,4} CHEN Quling¹

张祺玲^{2,3,4} 李文革^{2,3,4} 杨毅^{2,3,4}

ZHANG Qiling^{2,3,4} LI Wenge^{2,3,4} YANG Yi^{2,3,4}

(1. 湖南省粮油产品质量监测中心, 湖南 长沙 410008; 2. 湖南省核农学与航天育种研究所, 湖南 长沙 410125; 3. 湖南省农业生物辐照工程技术研究中心, 湖南 长沙 410125; 4. 生物辐照技术湖南省工程研究中心, 湖南 长沙 410125)

(1. Hunan Province Grain and Oil Product Quality Monitoring Center, Changsha, Hunan 410008, China; 2. Hunan Institute of Nuclear Agricultural Science and Space Breeding, Changsha, Hunan 410125, China; 3. Hunan Province Engineering Technology Research Center of Agricultural Biological Irradiation, Changsha, Hunan 410125, China; 4. Hunan Province Biological Irradiation Technology Engineering Research Center, Changsha, Hunan 410125, China)

摘要:目的: 选择最佳辐照方式及辐照剂量处理南酸枣糕。方法: 分别采用 0~10 kGy 梯度剂量⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照处理南酸枣糕, 测定其微生物负载、蛋白质、脂肪、总糖、L(+)-抗坏血酸、有机酸、pH 值及感官品质等指标以及在常温贮藏期间品质的变化。结果: ⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照对南酸枣糕杀菌作用明显, 4 kGy 辐照后样品中微生物限量指标菌(菌落总数、大肠菌群、霉菌)和致病菌限量指标菌(沙门氏菌、金黄色葡萄球菌)均未检出。不超过 10 kGy 的⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照对南酸枣糕中蛋白质、脂肪、总糖、有机酸(以柠檬酸为主)、pH 值及感官品质无显著影响, 但辐照后南酸枣糕中 L(+)-抗坏血酸含量与对照组相比显著降低($P < 0.05$), 与辐照剂量呈负相关, 且⁶⁰Co- γ 射线辐照对其影响效应大于电子束辐照。设定 4~10 kGy 剂量⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照处理南酸枣糕批量产品, 在常温下贮藏 0~360 d, 产品的微生物限量指标菌(菌落总数、大肠菌群、霉菌)均 < 10 CFU/g。南酸枣糕的气味、滋味和组织状态无明显变

化, 但随着贮藏时间延长, 其色泽会由于发生褐变而加深, 贮藏 270 d 尚可接受。结论: ⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照是南酸枣糕杀菌贮存的有效方法, 推荐南酸枣糕辐照杀菌的工艺剂量为 4~10 kGy。

关键词: ⁶⁰Co- γ 射线; 电子束; 辐照; 南酸枣糕; 品质; 货架期

Abstract: **Objective:** This study aimed to explore the best irradiation method and irradiation dose to treat *Choerospondias axillaris* pastilles. **Methods:** *C. axillaris* pastilles were irradiated with 0~10 kGy gradient dose of ⁶⁰Co- γ ray and electron beam respectively, the changes of the indexes including microbial load, protein, fat, total sugar, L(+)-ascorbic acid, organic acids, pH value, sensory quality, and the shelf life quality stored in 0~360 days at room temperature were studied. **Results:** ⁶⁰Co- γ ray and electron beam irradiation both had bactericidal effects on *C. axillaris* pastilles, all microbial limit indexes including aerobic bacterial count, coliform bacteria, mold, and the pathogenic bacteria limit indexes including salmonella and staphylococcus aureus were not detected in the samples with the irradiation dose of 4 kGy. The contents of protein, fat, total sugar, organic acids (mainly citric acid), pH, and sensory quality in *C. axillaris* pastilles were not significantly affected by ⁶⁰Co- γ ray and electron beam irradiation of less than 10 kGy. However, the content of L(+)-ascorbic acid was significantly decreased compared with

基金项目: 湖南省农业科技创新资金项目(编号: 2017XC12, 2017JC53, 2018ZD04-2)

作者简介: 毛青秀, 女, 湖南省粮油产品质量监测中心工程师, 硕士。

通信作者: 杨毅(1981—), 男, 湖南省核农学与航天育种研究所助理研究员, 硕士。E-mail: 49234403@qq.com

收稿日期: 2023-10-21 **改回日期:** 2024-01-30

the control group after irradiation ($P < 0.05$), it was negatively correlated with irradiation dose, and ^{60}Co - γ ray irradiation had a greater impact than that of electron beam irradiation. The *C. axillaris* pastilles batch products were irradiated with ^{60}Co - γ ray and electron beam of 4~10 kGy, the products were stored for 0~360 days at room temperature, and the microbial limit indexes including aerobic bacterial count, coliform bacteria, mold in the products were less than 10 CFU/g. There were no significant changes in the smell, taste, and tissue state of *C. axillaris* pastilles, but with the extension of storage time, its color deepened due to browning, but it was still acceptable within 270 days of storage. **Conclusion:** ^{60}Co - γ ray and electron beam irradiation both are effective methods for sterilization and storage of *C. axillaris* pastilles, and the recommended irradiation dose is 4~10 kGy.

Keywords: ^{60}Co - γ ray; electron beam; irradiation; *Choerospondias axillaris* pastilles; quality; shelf life

南酸枣糕是以天然南酸枣[*Choerospondias axillaris* (Roxb.) Burt et Hill]的果实为主要原料加工而成的果糕类食品,其富含果胶、维生素、氨基酸、钙、铁、锌等多种营养成分^[1]。但南酸枣糕在加工、贮运和销售过程中易污染、滋生多种微生物或生虫,目前关于南酸枣果实及其制品贮藏保鲜的研究较少。高阳等^[2]研究表明,5℃低温贮藏能有效延缓南酸枣果实贮藏期间果皮颜色和果实质地的劣变;王日思等^[3]研究发现,0.05%山梨酸钾或0.015%~0.050%焦亚硫酸钠均可有效抑制南酸枣皮浆微生物生长;余洋洋等^[4]研究发现,采用铝箔袋真空包装的南酸枣泥经500 MPa超高压处理10 min或90℃热处理3 min均能达到商业无菌的效果,但超高压比热处理能更好地保持其原有品质;黄志勇等^[5]研究表明,采用8.0 kGy剂量辐照处理南酸枣糕的杀菌效果最佳,色、香、味基本保持不变,对总糖含量无显著影响。

南酸枣糕属于一种黏弹性果糕,其凝胶性能及质构特性是决定其品质的重要指标^[1,6]。传统的高温高压灭菌方法在很大程度上会影响南酸枣糕的质构特性,因而不适用于该产品灭菌。超高压技术可能影响其凝胶性能,且加工成本高昂。辐照技术作为一种重要的食品冷杀菌技术,得到了众多国家和国际食品组织及专业团体的认可和支持,现已被广泛应用于多种食品的加工^[7-9]。目前用于食品辐照的辐射源主要包括 Co - γ 射线和能量不超过10 MeV的电子束, Co - γ 射线和电子束属于不同类型的射线,两者辐照食品所产生的辐射效应不尽相同^[10-11]。 Co - γ 射线穿透能力强,电子束辐照效率高,两种辐照方式各具优势^[12]。 ^{60}Co - γ 射线辐照技术在食品加工中的研究较广泛,应用较成熟。近年来电子束辐照技术应用发展迅猛,但其加工食品的相关基础研究及其与

^{60}Co - γ 射线辐照效应的差异性尚有待进一步深入^[13]。研究以南酸枣糕为对象,拟采用不同剂量 ^{60}Co - γ 射线和电子束对其进行辐照处理,研究不同辐照方式及辐照剂量对南酸枣糕品质(微生物限量、理化指标及感官品质)、产品货架期(微生物限量、感官品质)的影响,以期为辐照技术在南酸枣糕中的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

南酸枣糕:外观呈棕黄色,长条形,薄片状,用镀铝膜包装袋包装,每袋约(10.0±0.5) g,湖南浏阳某南酸枣糕加工企业;

平板计数琼脂、孟加拉红琼脂、结晶紫中性红胆盐琼脂、煌绿乳糖胆盐:广东环凯微生物科技有限公司;

乳酸、苹果酸、富马酸、己二酸标准品:上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

葡萄糖、L(+)-抗坏血酸标准品、酒石酸、柠檬酸、丁二酸标准品:国药集团化学试剂有限公司;

甲醇、无水乙醇:色谱纯,国药集团化学试剂有限公司;

硫酸铜、硫酸钾、硫酸、硼酸、盐酸、磷酸、氢氧化钠、无水乙醚等:国产分析纯;

电子束辐照加工系统:IS1020型,10 MeV/20 kW,同方威视技术股份有限公司;

立式压力蒸汽灭菌锅:LDZX-50KBS型,上海申安医疗器械厂;

超净工作台:FW-CJ-2FD型,苏州净化设备有限公司;

生化培养箱:SPX-250B型,天津泰斯特仪器有限公司;

霉菌培养箱:MJ型,上海一恒科学仪器有限公司;

全自动凯氏定氮仪:FOSS2300型,丹麦福斯分析仪器公司;

热风循环干燥箱:HF-3型,吴江华飞电热设备有限公司;

气相色谱仪:GC 2010型,日本岛津公司;

液相色谱仪:LC 20AT型,日本岛津公司;

液相色谱仪:e2695型,美国沃特世公司;

电子分析天平:AL204型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

pH计:FE28型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 南酸枣糕制作工艺

新鲜的南酸枣果实→选果→洗果→蒸煮→去皮去核→配料(紫苏粉、辣椒粉等)→搅拌→成形→烘烤→

冷却→分切→包装→南酸枣糕产品

1.2.2 试验设计 选取南酸枣糕包装产品进行分装,每份约 500 g,每个剂量处理设置 3 个平行,共计 33 份。试验样品分别采用⁶⁰Co-γ 射线和电子束进行辐照处理,辐照剂量分别设定为 0,2,4,6,8,10 kGy。辐照完成后,试验样品置于 4℃下冷藏并立即进行各项指标检测。采用 4~10 kGy 范围工艺剂量辐照处理南酸枣糕批量产品,以南酸枣糕生产企业各批次常温贮存下留样产品为试验材料,考察采用工艺剂量辐照处理南酸枣糕产品的货架期。

⁶⁰Co-γ 射线辐照在湖南省农业科学院核农学与航天育种研究所湖南辐照中心进行,放射源为⁶⁰Co,放射性活度为 2.44×10^{16} Bq,单板源,采用动态步进方式辐照。辐照过程采用重铬酸银和重铬酸钾(银)剂量计进行剂量跟踪,剂量计经中国计量科学研究院国家剂量保证服务(NDAS)对标定。电子束辐照在湖南湘华华大生物科技有限公司进行,功率为 15 kW,电子束能量为 10 MeV。辐照过程用剂量片(FWT-60)进行剂量跟踪,剂量片经中国计量科学研究院国家剂量保证服务(NDAS)对标定。

1.2.3 微生物检测

(1) 菌落总数:按 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》执行。

(2) 大肠菌群:按 GB 4789.3—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数测定》执行。

(3) 霉菌:按 GB 4789.15—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 霉菌和酵母计数测定》执行。

(4) 沙门氏菌:按 GB 4789.4—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 沙门氏菌检验》执行。

(5) 金黄色葡萄球菌:按 GB 4789.10—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 金黄色葡萄球菌检验》中的第二法执行。

1.2.4 理化指标检测

(1) 蛋白质含量:按 GB 5009.5—2016《食品安全国家

标准 食品中蛋白质的测定》中的第一法(凯式定氮法)执行。

(2) 脂肪含量:按 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的第二法(酸水解法)执行。

(3) 总糖含量:按 GB/T 10782—2021《蜜饯质量通则》执行。

(4) L(+)-抗坏血酸含量:按 GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》中的第一法(高效液相色谱法)执行。

(5) 有机酸含量:按 GB 5009.157—2016《食品安全国家标准 食品中有机酸的测定》执行。

(6) pH 值测定:按 GB/T 10468—1989《水果和蔬菜产品 pH 值的测定方法》执行。

1.2.5 感官评价 参照 GB/T 10782—2021《蜜饯质量通则》的检验方法,取适量南酸枣糕置于洁净的白色盘中,在自然光下观察其色泽,闻其气味,用温开水漱口,品尝其滋味,用不锈钢刀将其切开,用目测、手感检验其组织状态。

1.3 数据处理

采用 SPSS 22.0 软件进行数据分析,采用 Pearson 相关分析对各检测结果与辐照剂量的相关性进行分析,采用单因素方差分析(ANOVA)中的 Duncan 检验在 $P < 0.05$ 显著水平上进行均值差异性分析,结果以 3 次重复试验所得数据的 $\bar{x} \pm s$ 表示。

2 结果与分析

2.1 辐照对南酸枣糕品质的影响

2.1.1 辐照对南酸枣糕微生物限量的影响 南酸枣糕属于果糕类蜜饯,产品致病菌限量应符合 GB 29921—2021《食品安全国家标准 食品中致病菌限量》中即果蔬制品类的规定,微生物限量还应符合 GB 14884—2016《食品安全国家标准 蜜饯》的规定。由表1可知,对照组南酸

表 1 ⁶⁰Co-γ 射线和电子束辐照对南酸枣糕微生物指标的影响
Table 1 Effects of ⁶⁰Co-γ ray and electron beam irradiation on the microbial indexes of *C. axillaris* pastilles

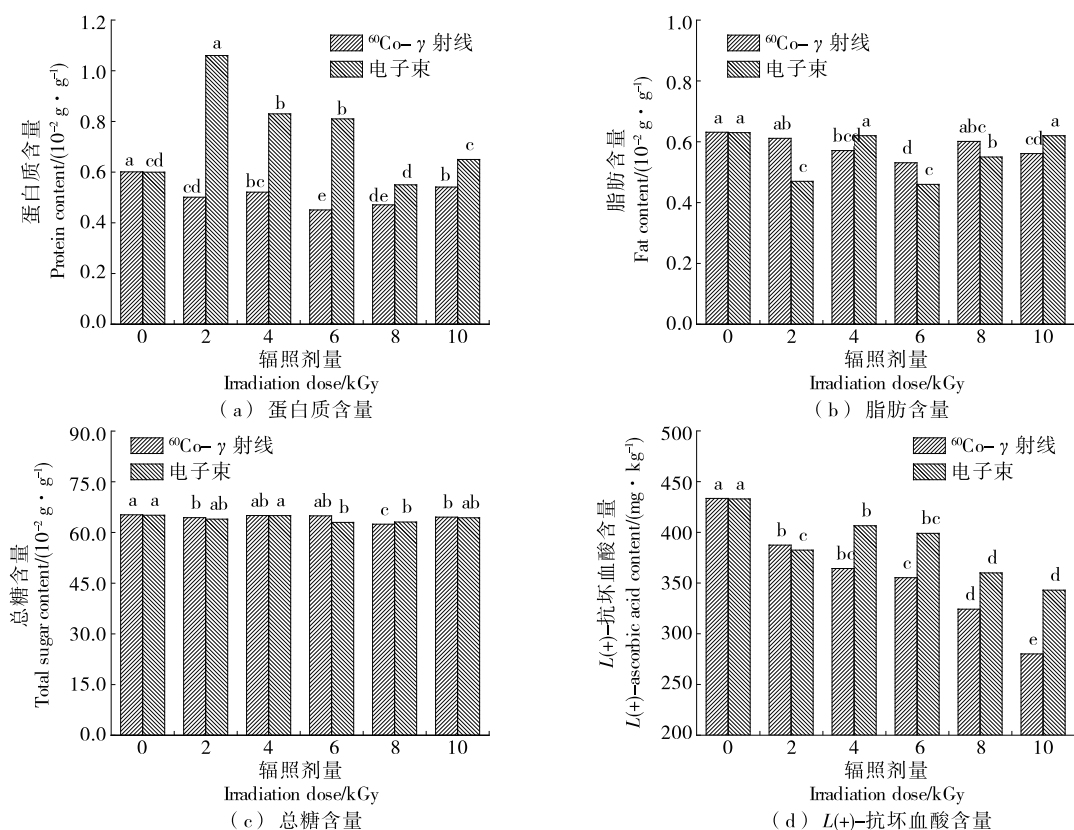
射线类型	辐照剂量/ kGy	微生物指标				
		菌落总数/ (CFU · g ⁻¹)	大肠菌群/ (CFU · g ⁻¹)	霉菌/ (CFU · g ⁻¹)	沙门氏菌	金黄色葡萄球菌/ (CFU · g ⁻¹)
⁶⁰ Co-γ 射线	0	4.1×10 ²	<10	1.3×10 ²	ND	<10
	2	2.0×10 ¹	<10	<10	ND	<10
	4	<10	<10	<10	ND	<10
	6	<10	<10	<10	ND	<10
电子束	0	4.1×10 ²	<10	1.3×10 ²	ND	<10
	2	1.5×10 ¹	<10	10	ND	<10
	4	<10	<10	<10	ND	<10
	6	<10	<10	<10	ND	<10

枣糕中菌落总数为 4.1×10^2 CFU/g, 霉菌为 1.3×10^2 CFU/g, 大肠菌群 <10 CFU/g, 沙门氏菌和金黄色葡萄球菌未检出。采用 2~10 kGy 梯度剂量 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线和电子束辐照处理南酸枣糕, 结果表明两种射线辐照对南酸枣糕微生物均有明显的杀菌效果, 4 kGy 辐照后, 样品中各微生物指标均未检出。关于两种射线杀菌能力的差异, 张祺玲等^[13]研究发现, $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线对红碎茶的杀菌能力强于电子束辐照, 与试验结果不一致, 可能与辐照过程中实际吸收剂量的大小有关。通常情况下, 辐照杀灭微生物的有效性受微生物辐射耐受性及其数量的影响, 微生物的耐受性越强、数量越多, 杀灭微生物所需要的辐照剂量越高^[14]。试验结果表明, 采用 4 kGy 剂量的 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线和电子束辐照处理南酸枣糕, 产品微生物限量符合相关国家标准的规定。

2.1.2 辐照对南酸枣糕一般营养成分的影响 由图 1 可知, 南酸枣糕中营养成分以总糖为主, 其含量高达 65.11 g/100 g, $L(+)$ -抗坏血酸含量为 433.00 mg/kg, 蛋白质、脂肪含量相对较低。与对照组相比, 不同剂量 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照后南酸枣糕中蛋白质含量显著降低 ($P < 0.05$), 电子束辐照后其含量先升高后降低; $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线和

电子束辐照后南酸枣糕中脂肪和总糖含量总体变化幅度较小。分别以南酸枣糕中蛋白质、脂肪和总糖含量与辐照剂量进行相关性分析, 3 种营养成分的 Pearson 相关系数介于 -0.6 与 0.6 之间, 表明南酸枣糕中各营养成分含量的变化与辐照剂量均无明显的相关性。南酸枣糕中蛋白质和脂肪含量较低, 且辐照对其含量的影响十分有限, 不会对南酸枣糕营养品质产生很大影响。因此, 采用 10 kGy 以内 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线和电子束辐照处理对南酸枣糕蛋白质、脂肪和总糖含量影响不大。

抗坏血酸又名维生素 C, 是果蔬中重要的营养成分和生物活性物质, 其稳定性较差, 在食品加工及贮藏过程中易受到破坏而降低其含量^[15]。辐照剂量为 2 kGy 时, $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线和电子束辐照后南酸枣糕中 $L(+)$ -抗坏血酸的含量均减少 10% 以上, 4~10 kGy 剂量范围内, 随着辐照剂量增大其含量逐渐降低, 且 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照样品降低幅度大于电子束辐照。 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线和电子束辐照处理南酸枣糕中 $L(+)$ -抗坏血酸含量的 Pearson 相关系数分别为 -0.967 和 -0.840, 且 $L(+)$ -抗坏血酸含量与辐照剂量之间极显著相关 ($P < 0.01$)。结果表明, 2~10 kGy 的 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线和电子束辐照能显著降低南酸枣糕中 $L(+)$ -抗坏血酸含量。



字母不同表示不同剂量辐照后样品差异显著 ($P < 0.05$)

图 1 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线和电子束辐照对南酸枣糕一般营养成分的影响

Figure 1 Effects of $^{60}\text{Co}-\gamma$ ray and electron beam irradiation on general nutrients of *C. axillaris* pastilles

目前,辐照对食品中抗坏血酸影响的研究较多,但大多数研究结果都表明辐照能降低食品中抗坏血酸含量^[15]。如张娟琴等^[16]研究表明,经 4.0 kGy 剂量电子束辐照后双孢菇中维生素 C 含量较对照组降低了 31.1%,与试验结论相似。罗梦等^[17]研究发现,0.5 kGy 剂量的 γ 射线辐照可以有效延缓柑橘果实抗坏血酸在贮藏期间的降解,而当剂量达到 1 kGy 时辐照组果实抗坏血酸含量在贮藏后期则低于对照组。维生素 C 是对辐射最敏感的水溶性维生素之一,但辐照可使抗坏血酸转变为脱氢抗坏血酸,后者也有一定的生物活性,并且人体吸收后可以转化为抗坏血酸,故实际维生素 C 破坏很少^[15]。在西方国家,经批准食品辐照所导致的维生素损失被认为在营养上并不重要^[18]。Ramirez-Cahero 等^[19]研究了维生素 C 的辐解途径,发现辐照后维生素 C 溶液中鉴定出羧酸类、2-呋喃醛、5-羟甲基-2-呋喃醛、糠醇、2-呋喃酸和 2(5H)-呋喃酮。

2.1.3 辐照对南酸枣糕有机酸的影响 南酸枣果实中含有极为丰富的有机酸,含量高达 5.22%~8.13%^[20]。南酸枣果肉中有机酸的含量和相对比例可能是南酸枣糕酸

味独特的主要原因之一,李倣等^[21]研究表明南酸枣及南酸枣糕中含有 7 种有机酸,柠檬酸和苹果酸为主要成分。试验发现,经不同剂量⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照后南酸枣糕有机酸以柠檬酸为主,含量为 16.15 g/kg,此外还含少量富马酸(见图 2),苹果酸、酒石酸、乳酸、己二酸和丁二酸均未检出。由于有机酸易溶于水,南酸枣糕制作过程中漂烫处理会造成有机酸大量损失,导致南酸枣糕中有机酸含量减少^[20]。刘成梅等^[22]研究发现,南酸枣皮经过水浴脱涩处理后总酸含量(以柠檬酸计)由 3.31%下降至 0.69%,表明水浴脱涩对南酸枣皮的酸度有显著影响,造成一定的酸损失。与对照组相比,⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照后南酸枣糕中柠檬酸和富马酸含量均无显著差异($P>0.05$)。这与 Carochio 等^[23]的研究结果一致。因此,采用 10 kGy 以内⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照对南酸枣糕有机酸含量无明显影响。

2.1.4 辐照对南酸枣糕 pH 值的影响 由图 3 可知,辐照前南酸枣糕的 pH 值为 3.21,呈酸性,经 2~10 kGy 梯度剂量的⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照后,不同剂量辐照处理

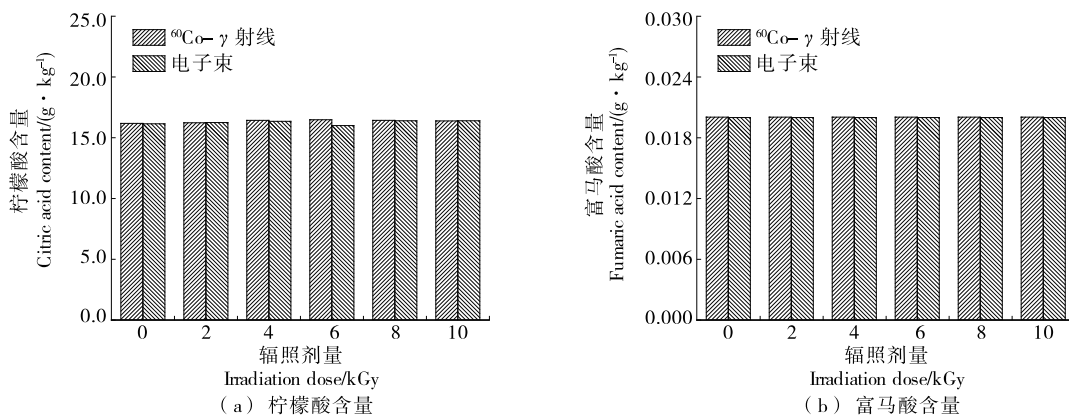


图 2 ⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照对南酸枣糕有机酸的影响

Figure 2 Effects of ⁶⁰Co- γ ray and electron beam irradiation on organic acids of *C. axillaris* pastilles

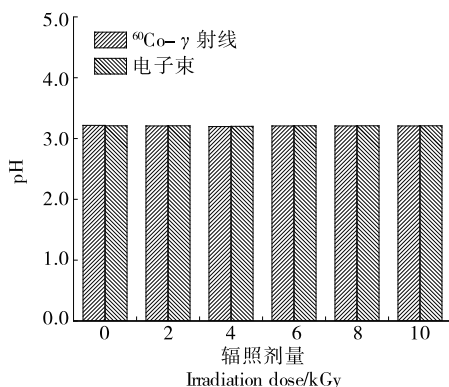


图 3 ⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照对南酸枣糕 pH 值的影响

Figure 3 Effects of ⁶⁰Co- γ ray and electron beam irradiation on pH value of *C. axillaris* pastilles

南酸枣糕的 pH 值与对照组相比均无显著差异($P>0.05$)。pH 值主要取决于南酸枣糕中有机酸含量,辐照对南酸枣糕 pH 值无明显影响,这与前述研究中关于辐照对有机酸含量无明显影响的结论一致。结果表明,10 kGy 以内剂量⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照对南酸枣糕 pH 值无明显影响。有机酸含量是影响南酸枣糕风味口感的主要因素之一,在南酸枣糕实际加工中,生产企业通常会添加外源柠檬酸调整南酸枣糕的甜酸比来保持其口味协调^[20]。

2.1.5 辐照对南酸枣糕感官品质的影响 未经辐照处理的南酸枣糕外观呈棕黄色,具有清淡香味、无异嗅,口感绵软酸甜、无异味,柔软紧密有黏性。经不同剂量⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照后,南酸枣糕仍具有该产品固有的色泽、滋味、气味和组织状态,不会产生异嗅或异味,仅当辐

照剂量达到 10 kGy 时,南酸枣糕的色泽略微变淡,但这种感官上色泽的细微变化对南酸枣糕感官品质无明显影响(见表 2)。黄志勇等^[5]研究发现,6,8 kGy 剂量⁶⁰Co- γ 射线辐照后南酸枣糕色泽稍有变淡,由深褐色变为灰褐色,但不明显,与试验结果相似。因此,10 kGy 以内剂量⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照对南酸枣糕感官品质无明显影响。

2.2 辐照对南酸枣糕货架期品质的影响

2.2.1 辐照对南酸枣糕货架期微生物限量的影响 根据前述⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照处理南酸枣糕的梯度剂量试验结果,将 4~10 kGy 设定为南酸枣糕辐照杀菌的工艺剂量,采用该工艺剂量辐照处理南酸枣糕批量产品,以微生物限量和感官品质为评价指标,考察在常温下贮藏 0~360 d 产品的货架期品质。由表 3 可知,经两种射线辐照处理的南酸枣糕在常温下贮藏 360 d 内的菌落总数、大肠菌群及霉菌均<10 CFU/g。因此,采用 4~10 kGy 工艺剂量⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照处理南酸枣糕批量产品,在常温下贮藏 360 d,产品微生物限量符合 GB

14884—2016《食品安全国家标准 蜜饯》的规定。

2.2.2 辐照对南酸枣糕货架期感官品质的影响 由表 4 可知,在常温下贮藏 360 d,经 4~10 kGy 工艺剂量⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照后南酸枣糕气味和滋味无明显差别,但产品色泽和状态随着贮藏时间增加发生明显变化。贮存 90 d 后,样品保持固有的棕黄色不变,180 d 后样品颜色稍微加深,呈棕色,360 d 后颜色变为深棕色,但无霉变或生虫。余雯等^[24]研究表明,南酸枣糕在贮藏过程中的褐变主要由美拉德反应和还原型抗坏血酸氧化引起,褐变速率和程度取决于贮藏时间和温度。刘成梅等^[22]研究认为,可能是由于水浴加热处理破坏了南酸枣皮中过氧化物酶和多酚氧化酶等氧化酶的活性,使酶钝化。徐鹏程等^[25]研究表明,辐照能通过破坏酶的空间结构,导致酶的三级结构改变、功能活性丧失,从而起到灭酶的作用。南酸枣糕中的抗坏血酸可能由于非酶促褐变氧化形成脱氢抗坏血酸,再经一系列反应形成褐色素,从而导致产品颜色变深^[26]。0~270 d 贮藏期内,南酸枣糕的组织状态变化不大,贮藏 360 d 后,样品柔软度和黏性降低。因此,

表 2 ⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照对南酸枣糕感官品质的影响

Table 2 Effects of ⁶⁰Co- γ ray and electron beam irradiation on sensory quality of *C. axillaris* pastilles

射线类型	辐照剂量/kGy	色泽	气味	滋味	组织状态
⁶⁰ Co- γ 射线	0	棕黄色	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	2	棕黄色	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	4	棕黄色	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	6	棕黄色	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	8	棕黄色	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	10	棕黄色,稍变淡	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
电子束	0	棕黄色	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	2	棕黄色	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	4	棕黄色	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	6	棕黄色	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	8	棕黄色	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	10	棕黄色,稍变淡	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性

表 3 ⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照对南酸枣糕货架期微生物指标的影响

Table 3 Effects of ⁶⁰Co- γ ray and electron beam irradiation on microbial indexes during the shelf life of *C. axillaris* pastilles

射线类型	微生物限量	贮藏时间/d					
		0	30	60	90	270	360
⁶⁰ Co- γ 射线	菌落总数	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	大肠菌群	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	霉菌	<10	<10	<10	<10	<10	<10
电子束	菌落总数	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	大肠菌群	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	霉菌	<10	<10	<10	<10	<10	<10

表 4 ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照对南酸枣糕货架期感官品质的影响
Table 4 Effects of ^{60}Co - γ ray and electron beam irradiation on sensory quality during the shelf life of *C. axillaris* pastilles

射线类型	贮藏时间/d	感官品质			
		色泽	气味	滋味	组织状态
^{60}Co - γ 射线	0	棕黄色,无霉变或生虫	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	30	棕黄色,无霉变或生虫	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	90	棕黄色,无霉变或生虫	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	180	棕色,无霉变或生虫	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	270	棕色,无霉变或生虫	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	360	深棕色,无霉变或生虫	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	稍干,黏性稍差
电子束	0	棕黄色,无霉变或生虫	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	30	棕黄色,无霉变或生虫	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	90	棕黄色,无霉变或生虫	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	180	棕色,无霉变或生虫	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	270	棕色,无霉变或生虫	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	柔软紧密有黏性
	360	深棕色,无霉变或生虫	清淡香味,无异嗅	绵软酸甜,无异味	稍干,黏性稍差

采用 4~10 kGy 工艺剂量 ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照南酸枣糕,在 0~360 d 贮藏期内,产品颜色和组织状态的变化是由于产品自身的褐变,与辐照无直接关系。

3 结论

采用 0~10 kGy 梯度剂量的 ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照处理南酸枣糕,结果表明,两种射线辐照对南酸枣糕均具有明显的杀菌作用,经 4 kGy 剂量辐照后样品中微生物限量指标菌(菌落总数、大肠菌群、霉菌)和致病菌限量指标菌(沙门氏菌、金黄色葡萄球菌)均未检出。由于南酸枣糕含水量高,易于微生物的生长、繁殖或生虫,在实际生产应用中,建议采用不低于 4 kGy 剂量进行辐照,以确保货架期产品的卫生质量。 ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照对南酸枣糕中蛋白质、脂肪、总糖、有机酸(以柠檬酸为主)、pH 值及感官品质均无明显影响,但两种射线辐照后南酸枣糕中 $L(+)$ -抗坏血酸含量显著降低($P<0.05$),与辐照剂量呈负相关,且 ^{60}Co - γ 射线辐照对其影响效应大于电子束辐照。因此,不超过 10 kGy 剂量的 ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照对南酸枣糕的营养成分及感官品质总体影响很小。设定 4~10 kGy 剂量范围的 ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照处理的南酸枣糕在常温条件下贮存 360 d,微生物限量指标菌(菌落总数、大肠菌群、霉菌)均 <10 CFU/g。南酸枣糕的气味、滋味和组织状态无明显变化,但其色泽会随着贮藏时间延长发生褐变,从而影响产品的外观。综上所述, ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照是南酸枣糕杀菌贮存的有效方法,推荐南酸枣糕辐照杀菌的工艺剂量为 4~10 kGy,但考虑两种辐照方式处理后南酸枣糕中 $L(+)$ -抗坏血酸含量显著降低的影响,实践中在保证最低有效

杀菌剂量的基础上应尽量采用低剂量进行辐照,以最大限度保持产品的原有品质。

参考文献

[1] 陈豪,戴涛涛,陈军,等.南酸枣糕成型机理的初探[J].食品工业科技,2020,41(1): 56-61, 68.
CHEN H, DAI T T, CHEN J, et al. The preliminary study on the forming mechanism of Choerospondias axillaris Pastilles[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(1): 56-61, 68.
[2] 高阳,巴元富,李宏宇,等.不同贮藏温度条件下南酸枣果实色泽和质地的变化[J].经济林研究,2021,39(4): 239-245.
GAO Y, BA Y F, LI H Y, et al. Changes of color and texture of Choerospondias axillaris fruit at different storage temperatures[J]. Non-wood Forest Research, 2021, 39(4): 239-245.
[3] 王日思,褚贝贝,凌华山,等.不同贮藏温度下山梨酸钾和焦亚硫酸钠对南酸枣皮浆品质的影响[J].食品与机械,2019,35(11): 152-158.
WANG R S, CHU B B, LING H S, et al. Effects of potassium sorbate and sodium pyrosulfite on storage quality of Choerospondias axillaris peel pulp in different temperature[J]. Food & Machinery, 2019, 35(11): 152-158.
[4] 余洋洋,余元善,陈树鹏,等.超高压和热处理对南酸枣泥灭菌效果及贮藏期间品质变化的影响[J].食品科技,2019,44(9): 38-43.
YU Y Y, YU Y S, CHEN S P, et al. Effects of ultra-high pressure and heat treatment on sterilization and quality change of Choerospondias axillaris pulp during storage[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(9): 38-43.
[5] 黄志勇,徐宏,周开蓉,等.电离辐射对南酸枣糕品质影响的初步研究[J].江西农业学报,2007,19(3): 117-118.

- HUANG Z Y, XU H, ZHOU K R, et al. A preliminary study on the effect of ionizing radiation on the quality of *Choerospondias axillaris* pastilles[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2007, 19(3): 117-118.
- [6] 帅希祥, 梁瑞红, 张红卫, 等. 水分含量对南酸枣糕质构和色泽的影响[J]. *食品与机械*, 2012, 28(6): 12-15, 66.
- SHUAI X X, LIANG R H, ZHANG H W, et al. Effects of moisture content on the texture and color of *Choerospondias axillaris* pastilles[J]. *Food & Machinery*, 2012, 28(6): 12-15, 66.
- [7] 徐远芳, 张祺玲, 黄高柳, 等. 电子鼻结合 HS-SPME-GC-MS 分析辐照对甲鱼预制菜挥发性风味成分的影响[J]. *核农学报*, 2022, 36(10): 1 953-1 963.
- XU Y F, ZHANG Q L, HUANG G L, et al. Analysis of irradiation on volatile flavor compounds in pre-prepared soft-shelled turtle by electronic nose and HS-SPME-GC-MS [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2022, 36(10): 1 953-1 963.
- [8] 孙大洋, 商飞飞, 潘中田, 等. 电子束辐照对槟榔芋贮藏效果的影响[J]. *食品与机械*, 2020, 36(8): 135-140.
- SUN D Y, SHANG F F, PAN Z T, et al. Effect of electron beam irradiation on storage of areca taro[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(8): 135-140.
- [9] 赵文颖, 刘丹丹, 靳健乔, 等. 辐照灭菌处理对中式酱牛肉理化性能的影响[J]. *食品与机械*, 2022, 38(3): 133-138.
- ZHAO W Y, LIU D D, JIN J Q, et al. Effects of irradiation on physico-chemical property of Chinese soy-sauced beef[J]. *Food & Machinery*, 2022, 38(3): 133-138.
- [10] 徐远芳, 李文革, 邓钢桥, 等. ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照灭菌对葛根提取物抗氧化活性及指纹图谱的影响[J]. *核农学报*, 2020(8): 1 713-1 721.
- XU Y F, LI W G, DENG G Q, et al. Effect of ^{60}Co - γ ray and electron beam irradiation sterilization on antioxidant activity and fingerprint of pueraria extract[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2020(8): 1 713-1 721.
- [11] 徐远芳, 彭玲, 张祺玲, 等. γ 射线和电子束辐照对风味豆干杀菌效果及品质的影响[J]. *同位素*, 2019, 32(4): 244-254.
- XU Y F, PENG L, ZHANG Q L, et al. Effect of ^{60}Co - γ ray and electron beam irradiation sterilization on antioxidant activity and fingerprint of pueraria extract[J]. *Journal of Isotopes*, 2019, 32(4): 244-254.
- [12] 徐远芳, 张祺玲, 周毅吉, 等. 电子束辐照杀菌对食用葛根粉品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(16): 59-65.
- XU Y F, ZHANG Q L, ZHOU Y J, et al. Effects of electron beam irradiation sterilization on quality of edible kudzu root powder[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(16): 59-65.
- [13] 张祺玲, 彭玲, 徐远芳, 等. ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照对红碎茶杀菌效果与品质的影响[J]. *食品与机械*, 2020, 36(3): 148-153, 178.
- ZHANG Q L, PENG L, XU Y F, et al. Effect of ^{60}Co - γ ray and electron beam irradiation on microbial property and qualities of black broken tea[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(3): 148-153, 178.
- [14] 王海宏, 郑琦, 颜伟强, 等. 电子束辐照抑制几种常见食源性致病菌生长的研究[J]. *食品与生物技术学报*, 2021, 40(10): 91-97.
- WANG H H, ZHENG Q, YAN W Q, et al. Inhibition of growth of several common food borne pathogens by electron beam irradiation[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2021, 40(10): 91-97.
- [15] 陈云堂, 郭东权, 杨忠强, 等. ^{60}Co γ 射线辐照对水果蔬菜中维生素 C 的影响[J]. *核农学报*, 2009, 23(2): 302-307.
- CHEN Y T, GUO D Q, YANG Z Q, et al. A general review on the effects of ^{60}Co - γ ray irradiation on vitamin C in fruits and vegetables[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2009, 23(2): 302-307.
- [16] 张娟琴, 邢增涛, 白冰, 等. 电子束辐照对双孢菇采后品质的影响[J]. *核农学报*, 2011, 25(1): 88-92.
- ZHANG J Q, XING Z T, BAI B, et al. Effect of electron beam irradiation on postharvest quality of *Agaricus bisporus*[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2011, 25(1): 88-92.
- [17] 罗梦, 赵博, 陈浩, 等. γ -辐照对柑桔果实保鲜效果的影响[J]. *食品与机械*, 2019, 35(6): 135-138, 171.
- LUO M, ZHAO B, CHEN H, et al. Effects of γ -irradiation on the preservation of Ponkan fruit[J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(6): 135-138, 171.
- [18] KILCAST D. Effect of irradiation on vitamins[J]. *Food Chemistry*, 1994, 49(2): 157-164.
- [19] RAMIREZ-CAHERO H F, VALDIVIA-LOPEZ M A. Effect of gamma radiation on sugars and vitamin C: Radiolytic pathways[J]. *Food Chemistry*, 2018, 245(8): 1 131-1 140.
- [20] 王召君. 南酸枣风味研究及营养强化枣糕制备[D]. 南昌: 南昌大学, 2014: 1.
- WANG Z J. Study on the flavor of *Choerospondias axillaris* fruit and preparation of nutrition-enriched pastilles [D]. Nanchang: Nanchang University, 2014: 1.
- [21] 李俦, 戴涛涛, 程超, 等. 南酸枣及其枣糕有机酸组成与分析[J]. *食品与机械*, 2015, 31(6): 17-20.
- LI T, DAO T T, CHENG C, et al. Analysis on composition of organic acids in *Choerospondias axillaris* and its pastilles[J]. *Food & Machinery*, 2015, 31(6): 17-20.
- [22] 刘成梅, 褚贝贝, 陈军, 等. 南酸枣皮脱涩工艺优化及其对枣皮品质影响[J]. *食品工业*, 2020, 41(1): 113-117.
- LIU C M, CHU B B, CHEN J, et al. Optimization of the deastringency technology and its effect on the quality of *Choerospondias axillaris* pericarp[J]. *Food Industry*, 2020, 41(1): 113-117.
- [23] CAROCHO M, BARROS L, ANTONIOA L, et al. Analysis of organic acids in electron beam irradiated chestnuts (*Castanea sativa* Mill.): Effects of radiation dose and storage time[J]. *Food & Chemical Toxicology*, 2013, 55(3): 348-352.

(下转第 138 页)

- [12] 彭丽, 高姗, 熊思国, 等. 不同预冷温度对甜樱桃果实保鲜效果的影响[J]. 包装工程, 2023, 44(7): 104-114.
- PENG L, GAO S, XIONG S G, et al. Effects of different precooling temperature on the preservation of sweet cherry[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(7): 104-114.
- [13] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Experiment guidance on postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [14] ZHENG Q L, ZUO J H, GU S T, et al. Putrescine treatment reduces yellowing during senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 152: 29-35.
- [15] WANG J H, YOU Y L, CHEN W X, et al. Optimal hypobaric treatment delays ripening of honey peach fruit via increasing endogenous energy status and enhancing antioxidant defence systems during storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 101: 1-9.
- [16] SHI J Y, ZUO J H, ZHOU F H, et al. Low-temperature conditioning enhances chilling tolerance and reduces damage in cold-stored eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 141: 23-38.
- [17] XIONG S G, SUN X S, TIAN M X, et al. 1-Methylcyclopropene treatment delays the softening of *Actinidia arguta* fruit by reducing cell wall degradation and modulating carbohydrate metabolism[J]. Food Chemistry, 2023, 411: 135485.
- [18] JIAO W X, XI Y, CAO J K, et al. Regulatory effects of CaCl_2 , sodium isoascorbate, and 1-methylcyclopropene on chilling injury of banana fruit at two ripening stages and the mechanisms involved[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 42(2): e13442.
- [19] LI X, ZHANG C Y, WANG X Q, et al. Integration of metabolome and transcriptome profiling reveals the effect of modified atmosphere packaging (MAP) on the browning of fresh-cut Lanzhou lily (*Lilium davidii* var. *unicolor*) bulbs during storage [J]. Foods, 2023, 12(6): 1 335.
- [20] 张鹏, 康丹丹, 魏宝东, 等. 微环境气调包装对兰州百合采后衰老与防御酶的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(13): 317-323.
- ZHANG P, KANG D D, WEI B D, et al. Effects of micro-environment modified atmosphere package on postharvest senescence and defense enzymes of Lanzhou lily[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(13): 317-323.
- [21] 田密霞, 胡文忠, 王艳颖, 等. 山梨酸钾、异抗坏血酸钠及包装方式对鲜切梨的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(7): 382-385.
- TIAN M X, HU W Z, WANG Y Y, et al. Effect of potassium sorbate, sodium isoascorbate and the different packing on fresh-cut pears[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(7): 382-385.

(上接第 83 页)

- [11] FATAHILLAH A, SETIAWAN T B, SHOLIHIN A. Numerical analysis of ice freezing processes of block ice production in a brine tank factory using the finite volume method[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1 832(1): 12-23.
- [12] SUKBOROM P, CHINSUWAN A. Effects of feed water temperature, pool temperature, and pool side heat transfer coefficient on freezing time of the conventional block ice production[J]. Energy Procedia, 2017, 138: 63-68.
- [13] 方贵银, 邢琳, 杨帆. 蓄冷空调技术[J]. 电力需求侧管理, 2005(2): 42-45.
- FANG G Y, XING L, YANG F. Cool storage conditioning technology[J]. Power Demand Side Management, 2005(2): 42-45.
- [14] ZHAO J D, LIU N, KANG Y M. Optimization of ice making period for ice storage system with flake ice maker[J]. Energy & Buildings, 2008, 40(9): 1 623-1 627.
- [15] 杜玉吉, 周长江, 丁为俊, 等. 制冰桶结构对制冰性能影响的数值模拟分析研究[J]. 建筑热能通风空调, 2021, 40(7): 6-9.
- DU Y J, ZHOU C J, DING W J, et al. Influence of ice bucket structure on ice making performance based on fluent[J]. Building Energy & Environment, 2021, 40(7): 6-9.
- [16] 潘艾刚, 王俊彪, 张贤杰. 基于等效热容法和焓法的相变传热数值分析[J]. 计算机仿真, 2014, 31(2): 315-319.
- PAN A G, WANG J B, ZHANG X J. Numerical analysis of phase-change heat transfer characteristics using effective heat capacity method and enthalpy method[J]. Computer Simulation, 2014, 31(2): 315-319.

(上接第 116 页)

- [24] 余雯, 梁瑞红, 李俦, 等. 南酸枣糕贮藏过程中非酶褐变的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 319-321, 326.
- YU W, LIANG R H, LI T, et al. Research on non-enzymatic browning reaction of *Choerospondias axillaris* fruit cake during storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(2): 319-321, 326.
- [25] 徐鹏程, 王苒玮, 罗小虎, 等. 电子束辐照对留胚米理化性质及食用品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2023, 42(4): 41-47.
- XU P C, WANG J W, LUO X H, et al. Effect of electron beam irradiation on physicochemical properties and edible qualities of rice with remained germ [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2023, 42(4): 41-47.
- [26] ROIG M G, BELLO J F, RIVERA Z S, et al. Studies on the occurrence of non-enzymatic browning during storage of citrus juice[J]. Food Research International, 1999, 32(9): 609-619.