

引用格式:

寇莉萍, 石雅茜, 朱璧合, 杨永佳, 黎嘉琪, 陈奕诺. 电子束转靶 X 射线处理对石榴常温货架期品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2024, 50(6): 71-77.

KOU L P, SHI Y Q, ZHU B H, YANG Y J, LI J Q, CHEN Y N. The effect of the electron beam generated X-ray treatment on the quality of pomegranate at room temperature shelf-life[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2024, 50(6): 71-77.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



电子束转靶 X 射线处理对石榴常温货架期品质的影响

寇莉萍, 石雅茜, 朱璧合, 杨永佳, 黎嘉琪, 陈奕诺

(西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为延长石榴的常温货架期, 以软籽石榴‘突尼斯’为材料, 分别用 0.5、1.0、1.5 kGy 剂量的电子束转靶 X 射线对石榴进行处理, 以不经电子束转靶 X 射线处理的为对照(CK), 试验货架期共 20 d, 每隔 5 d 测定 1 次品质指标, 比较常温货架期间各处理组品质差异, 以得到最佳的电子束转靶 X 射线剂量。结果表明: 在常温货架期间, 各剂量电子束转靶 X 射线对石榴可溶性固形物含量的影响不显著; 0.5 kGy 电子束转靶 X 射线可以显著抑制石榴 pH 上升; 0.5 kGy 处理组石榴的相对电导率上升幅度最小, 呼吸强度在试验结束时最低, 果皮总色差 ΔE^* 上升程度最小, 可滴定酸含量下降较为缓慢, 褐变度显著低于其他组的; 在同一时期, 0.5 kGy 组石榴的感官评定分最高。综合分析比较, 0.5 kGy 电子束转靶 X 射线剂量为本试验最优处理, 有望将其用于石榴的常温贮藏保鲜, 延长石榴的常温货架期。

关键词: 石榴; 电子束转靶 X 射线; 保鲜; 常温货架期

中图分类号: S663.9; TS255.36

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2024)06-0071-07

The effect of the electron beam generated X-ray treatment on the quality of pomegranate at room temperature shelf-life

KOU Liping, SHI Yaqian, ZHU Bihe, YANG Yongjia, LI Jiaqi, CHEN Yinuo

(College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to prolong the room temperature shelf-life of pomegranates, the electron beam generated X-ray (EBGX) was applied with 0.5, 1.0, 1.5 kGy doses of soft seed pomegranate ‘Tunisi’ with control group(CK) of no dose treatment, and the experimental shelf-life was 20 d. The quality indexes were collected every 5 d. The quality indexes of each treatment group during the room temperature shelf-life were compared to obtain the optimal EBGX dose. The results showed that during the room temperature shelf-life, the EBGX had no significant influence on the change of soluble solid content, and the 0.5 kGy EBGX could significantly inhibit the pH increase. The treated group with 0.5 kGy EBGX showed the smallest increase in the relative conductivity and the total peel color difference ΔE^* of pomegranates, and the lowest respiratory intensity at the end of the trial. And, the titratable acid content decreased slowly in the 0.5 kGy EBGX treatment group, and its browning degree was significantly lower than those of the other groups. During the same period, the pomegranates in the 0.5 kGy EBGX treatment group received the highest sensory evaluation scores. In summary, the 0.5 kGy EBGX dose showed the optimal treatment in this study and this treatment condition is recommend to be used for the storage and preservation of pomegranate to prolong the shelf-life at room temperature.

收稿日期: 2024-03-25

修回日期: 2024-06-06

基金项目: 陕西省石榴产业技术体系岗位专家项目(K3330218021); 西北农林科技大学大学生创新创业训练计划项目(S202310712532)

作者简介: 寇莉萍(1972—), 女, 陕西华县人, 博士, 副教授, 主要从事果品蔬菜的贮藏与加工研究, kouliping@nwsuaf.edu.cn

Keywords: pomegranate; electron beam generated X-ray; fresh-keeping; room temperature shelf-life

‘突尼斯’软籽石榴因籽软可食、籽大粒甜深受消费者的青睐。但新鲜石榴不易贮藏,货架期较短^[1]。因此,研究‘突尼斯’软籽石榴采后贮藏保鲜技术,延长其常温货架期,是目前亟需解决的问题。

辐照技术应用于食品杀菌已有较长时间,且能够较好地保留食品风味、颜色、味道、营养价值^[2]。X/γ射线的穿透深度较大,操作较复杂,而电子束辐照(也称电子束转靶X射线)技术灵活易用、剂量更大并且可控性更好^[3],多用于谷物类或其他低密度食品的保鲜^[4]。将电子束转靶X射线运用于果蔬常温贮藏具有很大的可行性。有研究^[5]表明,电子束辐照在适当的条件下,能够有效抑制微生物的生理活动,减缓营养物质的损耗,从而降低水果的腐败变质速度。与常规保鲜方法相比,辐照处理杀菌彻底,且未改变果蔬的营养成分^[6],已经在水果如无花果^[7]、冬枣^[8]和猕猴桃^[9]上应用。有科研人员^[10-12]探究了经电子束辐照后,草莓、樱桃和葡萄等水果在常温条件下品质的变化。但目前关于电子束转靶X射线对石榴采后常温货架期间品质影响的研究还很少。

本试验通过不同剂量的电子束转靶X射线处理石榴果实,研究不同剂量电子束转靶X射线对常温货架期间品质指标的影响,旨在探索常温保持石榴果实品质的最佳电子束转靶X射线剂量,从而延长其常温货架期,满足消费市场需求。

1 材料与方法

1.1 材料

软籽石榴‘突尼斯’购自陕西省渭南市潼关县金桥牧业有限公司,单果质量790~850 g。选择大小一致、色泽均一、无病虫害、无机械损伤的石榴果,置于泡沫果箱内,运回西北农林科技大学食品学院果蔬贮藏与加工实验室,备用。

1.2 试验设计

根据GB 14891.5—1997,辐照处理的新鲜水果总体平均吸收剂量不大于1.5 kGy。有研究^[13]表明,1.0 kGy的辐照剂量可以有效抑制采后石榴的病虫

繁殖且对其品质无不良影响。在预试验研究的基础上,设置0.5、1.0、1.5 kGy处理组,以不经辐照处理的为对照(CK)。

将石榴随机分成4组,每组36个,分装于不同的聚乙烯包装袋内。设置转靶X射线的剂量,将对应处理组石榴放置在传输小车底板和距底板64 cm处,采用高频高压电子加速器(DD5MeV-30Ma/1200,中广核达胜加速器技术有限公司生产)进行转靶X射线处理,其间不翻转。利用重铬酸银($\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)剂量计监测样品的实际吸收剂量。所有处理组于(17±5)℃下贮藏,每隔5 d测定可溶性固形物含量、果汁颜色、pH、褐变指数等品质指标。

1.3 测定方法

采用pH计(PHS-2F型,安徽中科中佳科学仪器有限公司)测定pH;取适量石榴籽榨汁,采用便携式数显折射仪(PAL-1,广州市爱宕科学仪器有限公司)测其可溶性固形物含量;参照杜佳铭等^[14]的方法,用电导率仪(DDS-307A,上海仪电科学仪器股份有限公司)测定相对电导率;参照郭一丹等^[15]的方法,使用红外线CO₂分析仪(TEL-7001,郑州兆为仪器设备有限公司)测定呼吸强度;采用色彩色差仪(Ci7600,爱色丽(上海)色彩科技有限公司)测定颜色,并计算总色差;参照寇莉萍等^[16]的方法,使用碱滴定法测定可滴定酸含量;使用酶标仪(Spark,奥地利Tecan Austria GmbH公司)在420 nm波长处测定吸光度,以 $A_{420\text{ nm}}$ 表征其褐变度;每隔5 d进行1次感官评定,参考WANG等^[17]的方法进行感官评价,使用随机数字对样品进行编码,由10人组成的感官评价小组对各指标进行评估打分。感官品质通过5点评分法进行评估,具体评分标准如表1所示。满分为5分,3分为限制值,高于3分表示样品具有消费者可接受的质量^[18],当整体接受度低于3分时结束感官评定。

1.4 数据处理

运用SPSS 26.0进行多重比较以及显著性分析;采用Origin 2023b软件进行制图。

表 1 石榴感官评分标准

项目	评分标准	分值
颜色	呈红色, 色泽透亮, 有光泽	5
	呈红色, 色泽较暗, 略有光泽	3
	呈暗红色, 色泽暗淡, 无光泽	1
香气	具有典型石榴香气, 香味明显, 清爽	5
	具有典型石榴香气, 但香味不明显	3
	具有近似石榴气味, 但有异味	1
口感	口感清香, 柔和爽口	5
	口感一般, 略有粗糙感	3
	口感粗糙, 寡淡	1
甜度	甜度适中	5
	甜度略过度	3
	甜度过度	1
酸度	酸度适中	5
	酸度略过度	3
	酸度过度	1
整体口味	口味纯正, 无异味	5
	口味较纯正, 无明显异味	3
	口味不纯正, 有异味	1
整体接受度	非常能接受	5
	基本能接受	3
	不能接受	1

2 结果与分析

2.1 不同剂量的电子束转靶 X 射线对石榴 pH 的影响

从表 2 可知, 试验刚开始时(第 0 天), 0.5 kGy 组与 CK 组的 pH 差异不显著, 而在试验结束时(第 20 天)两组的 pH 差异显著。在试验结束时与开始时相比, 所有经电子束辐照处理的试验组的 pH 变化量均小于 CK 组的变化量, 说明电子束转靶 X 射线可以影响石榴在常温货架期间 pH, 其中 0.5 kGy 处理组的 pH 变化率最小, 为 2.21%; 除 0.5 kGy 电子束转靶 X 射线组外, 其余组石榴的 pH 整体上均随处理时间延长呈现上升趋势, 而 0.5 kGy 处理组的 pH 在一个小范围内波动, 始终处于较低水平。以上结果说明 0.5 kGy 的电子束转靶 X 射线剂量能较好地抑制石榴果实 pH 的上升。

表 2 货架期不同剂量电子束转靶 X 射线下石榴的 pH

辐射剂量/kGy	pH				
	第 0 天	第 5 天	第 10 天	第 15 天	第 20 天
0.0	(3.893±0.025)c	(4.303±0.187)a	(3.930±0.017)b	(4.077±0.025)a	(4.183±0.006)b
0.5	(3.883±0.015)c	(3.890±0.020)c	(3.843±0.015)d	(3.863±0.006)c	(3.797±0.012)d
1.0	(3.967±0.015)b	(4.097±0.006)b	(4.000±0.010)a	(3.977±0.006)b	(4.087±0.006)c
1.5	(4.017±0.015)a	(3.857±0.006)c	(3.897±0.015)c	(4.097±0.012)a	(4.227±0.006)a

同列数据不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.2 不同剂量的电子束转靶 X 射线对石榴可溶性固形物含量的影响

从表 3 可知, 在整个货架期间, 石榴的可溶性固形物含量均呈现缓慢下降的趋势。开始试验时, 除 CK 组和 1.5 kGy 组外, 其余各组石榴的可溶性固形物含量差异显著; 而在试验货架期结束时, 各

组石榴的可溶性固形物含量无显著性差异, 这说明电子束转靶 X 射线对石榴可溶性固形物含量的下降只有即时的抑制效果, 没有持续的显著性影响。在货架期后期, 电子束转靶 X 射线对可溶性固形物含量影响较小, 其后期含量的下降主要是果实自身的呼吸作用导致的。

表 3 货架期不同剂量电子束转靶 X 射线下石榴的可溶性固形物含量

辐射剂量/kGy	可溶性固形物含量/%				
	第 0 天	第 5 天	第 10 天	第 15 天	第 20 天
0.0	14.4c	14.5c	13.7d	13.9a	14.0
0.5	14.9a	14.8a	14.0b	13.9a	13.7
1.0	14.6b	14.3d	14.4a	13.4c	13.8
1.5	14.4c	14.6b	13.9c	13.8b	14.0

同列数据不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

从表 3 也可以发现, 试验第 0 天与第 20 天,

1.5 kGy 组与 CK 组的可溶性固形物含量变化值最

小, 均为 0.4。这在一定程度上说明电子束转靶 X 射线处理对石榴可溶性固形物含量的影响较小。

2.3 不同剂量的电子束转靶 X 射线对石榴相对电导率的影响

从表 4 可知, 试验开始时, CK 组与 0.5 kGy 组、1.0 kGy 组与 1.5 kGy 组的相对电导率差异均不显著; 试验期结束时, 4 组石榴的相对电导率差异均显著, 说明电子束转靶 X 射线对石榴的相对电导

率有影响。试验期结束时, 1.5 kGy 处理组的相对电导率显著高于 CK 的, 说明较高剂量(1.5 kGy)的电子束转靶 X 射线在一定程度上会破坏石榴细胞膜的完整性, 从而导致电导率的增加。除 0.5 kGy 组外, 试验期结束时, 其他 3 组试验组石榴的相对电导率均呈上升趋势, 说明 0.5 kGy 电子束转靶 X 射线剂量可以较好地防止石榴组织破损。

表 4 货架期不同剂量电子束转靶 X 射线下石榴的相对电导率

辐射剂量/kGy	相对电导率/%				
	第 0 天	第 5 天	第 10 天	第 15 天	第 20 天
0.0	(22.942±0.668)ab	(23.910±0.908)b	(29.918±0.041)c	(33.781±0.099)b	(25.499±0.139)c
0.5	(27.385±1.489)a	(35.101±1.654)a	(30.109±0.047)c	(33.802±0.022)b	(27.212±0.123)b
1.0	(14.230±0.639)c	(26.457±1.031)ab	(32.865±0.136)b	(26.442±0.148)c	(21.460±0.206)d
1.5	(17.920±0.732)bc	(34.829±1.809)a	(37.078±0.475)a	(37.522±0.370)a	(28.050±0.075)a

同列数据不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.4 不同剂量的电子束转靶 X 射线对石榴呼吸强度的影响

从表 5 可知, 开始试验时, 不同处理的石榴果实呼吸强度均处于较高水平, 试验结束时, CK 组的呼吸强度增加, 其余处理组的呼吸强度均下降, 1.5 kGy 处理组和 0.5 kGy 处理组的呼吸强度均低于

CK 组的, 说明电子束转靶 X 射线在一定程度上可以抑制石榴的呼吸作用, 从而抑制石榴呼吸强度的增加。试验结束时, 0.5 kGy 处理组的呼吸强度最小, 说明 0.5 kGy 电子束转靶 X 射线剂量对石榴呼吸强度上升的抑制效果最好。

表 5 货架期不同剂量电子束转靶 X 射线下石榴的呼吸强度

辐射剂量/kGy	呼吸强度/(mg·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)				
	第 0 天	第 5 天	第 10 天	第 15 天	第 20 天
0.0	(18.301±0.156)c	(19.734±1.883)b	(17.399±0.004)b	12.134±0.296	(19.692±0.415)b
0.5	(25.875±1.597)b	(22.510±0.296)b	(12.462±0.786)c	10.406±0.713	(9.528±0.277)c
1.0	(27.044±3.178)b	(27.138±0.291)a	(18.664±0.785)a	10.211±1.355	(26.207±1.238)a
1.5	(37.549±0.319)a	(27.888±0.252)a	(18.494±0.612)a	11.426±0.945	(16.658±0.747)b

同列数据不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.5 不同剂量的电子束转靶 X 射线对石榴果皮总色差的影响

从表 6 可知, 第 5 天时, 不同组石榴间的果皮总色差差异显著, 试验货架期结束时, 0.5 kGy 组与 CK 组的差异显著, 1.0 kGy 组与 1.5 kGy 组的差异不显著。各组石榴在货架期间的果皮总色差 ΔE^* 随处理时间的延长呈现增加趋势, 第 20 天与第 5 天的相比, 0.5 kGy 处理组的 ΔE^* 增加量最小(0.684),

而 1.0 kGy 处理组和 1.5 kGy 处理组的增加量均大于 CK 组的。试验结束时, 经 0.5 kGy 电子束转靶 X 射线处理的石榴的果皮总色差最小(1.450)。以上结果说明 0.5 kGy 剂量的电子束转靶 X 射线可以较好地维持果皮的色泽, 延缓石榴在常温货架期间的变色; 而较大剂量的电子束转靶 X 射线会加速石榴的变色。

表 6 货架期不同剂量电子束转靶 X 射线下石榴果皮总色差 ΔE^*

辐射剂量/kGy	果皮总色差 ΔE^*			
	第 5 天	第 10 天	第 15 天	第 20 天
0.0	(1.275±0.027)c	(1.317±0.034)b	(1.765±0.021)c	(2.093±0.023)b
0.5	(0.766±0.010)d	(1.020±0.001)c	(1.249±0.020)d	(1.450±0.038)c
1.0	(1.463±0.035)a	(1.685±0.085)a	(1.932±0.018)a	(2.332±0.136)a
1.5	(1.371±0.014)b	(1.734±0.031)a	(2.103±0.032)b	(2.321±0.052)a

同列数据不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.6 不同剂量的电子束转靶 X 射线对石榴可滴定酸的影响

从表 7 可知, 在处理前期(第 0 天和第 5 天), 各组石榴的可滴定酸含量差异不显著; 从第 10 天开始, 部分组石榴的可滴定酸含量差异显著; 货架期结束时, 各组石榴的可滴定酸含量差异均显著。以上结果说明电子束转靶 X 射线对石榴可滴定酸

含量的影响有延后性。

在整个试验货架期间, 石榴可滴定酸含量总体呈现下降趋势, 其中经 0.5 kGy 电子束转靶 X 射线处理后的石榴的可滴定酸含量下降较为缓慢, 说明 0.5 kGy 电子束转靶 X 射线剂量可以较好地抑制石榴可滴定酸含量的降低, 从而维持其食用品质。

表 7 货架期不同剂量电子束转靶 X 射线下石榴可滴定酸含量

辐射剂量/kGy	可滴定酸含量/%				
	第 0 天	第 5 天	第 10 天	第 15 天	第 20 天
0.0	0.347±0.030	0.326±0.048	(0.313±0.014)b	(0.342±0.002)b	(0.324±0.001)c
0.5	0.352±0.002	0.347±0.003	(0.359±0.003)a	(0.348±0.001)a	(0.346±0.001)a
1.0	0.358±0.003	0.325±0.003	(0.311±0.008)b	(0.342±0.005)ab	(0.330±0.002)b
1.5	0.367±0.003	0.347±0.010	(0.329±0.009)b	(0.336±0.003)b	(0.311±0.006)d

同列数据不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.7 不同剂量的电子束转靶 X 射线对石榴褐变度的影响

从表 8 可知, 第 20 天, CK 组的褐变度上升, 而其余处理组的褐变度下降, 说明电子束转靶 X 射线处理可以较好地抑制石榴在常温货架期时果皮

褐变度的上升。货架期结束时, 0.5 kGy 组的褐变度显著低于其他组的, 说明 0.5 kGy 电子束转靶 X 射线剂量适宜, 在常温货架期延长时可以较好地保持石榴的食用品质。

表 8 货架期不同剂量电子束转靶 X 射线下石榴褐变度

辐射剂量/ kGy	褐变度				
	第 0 天	第 5 天	第 10 天	第 15 天	第 20 天
0.0	(0.898±0.012)d	(0.749±0.014)d	(0.622±0.010)d	(0.876±0.007)c	(0.995±0.006)c
0.5	(1.276±0.001)c	(0.972±0.006)b	(0.900±0.013)c	(0.930±0.002)b	(0.767±0.008)d
1.0	(1.481±0.003)a	(1.216±0.043)a	(1.364±0.008)a	(0.929±0.009)b	(1.062±0.012)b
1.5	(1.414±0.001)b	(0.840±0.024)c	(1.041±0.013)b	(1.062±0.005)a	(1.114±0.006)a

同列数据不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.8 不同剂量的电子束转靶 X 射线对石榴感官评定的影响

颜色、香气、口感等感官属性是评价食品是否具有产业化前景的重要指标。第 15 天时各处理组的整体接受度大多低于 3 分,故未对第 20 天的进行感官评定。从图 1 可知,试验开始时各处理组的

感官评分相近,在整个货架期间石榴的感官评分逐步下降。在同一处理时期,4 个处理组中,0.5 kGy 组的感官评分均最高,说明 0.5 kGy 电子束转靶 X 射线可以较好地维持石榴的感官品质,从而延长石榴的常温货架期。

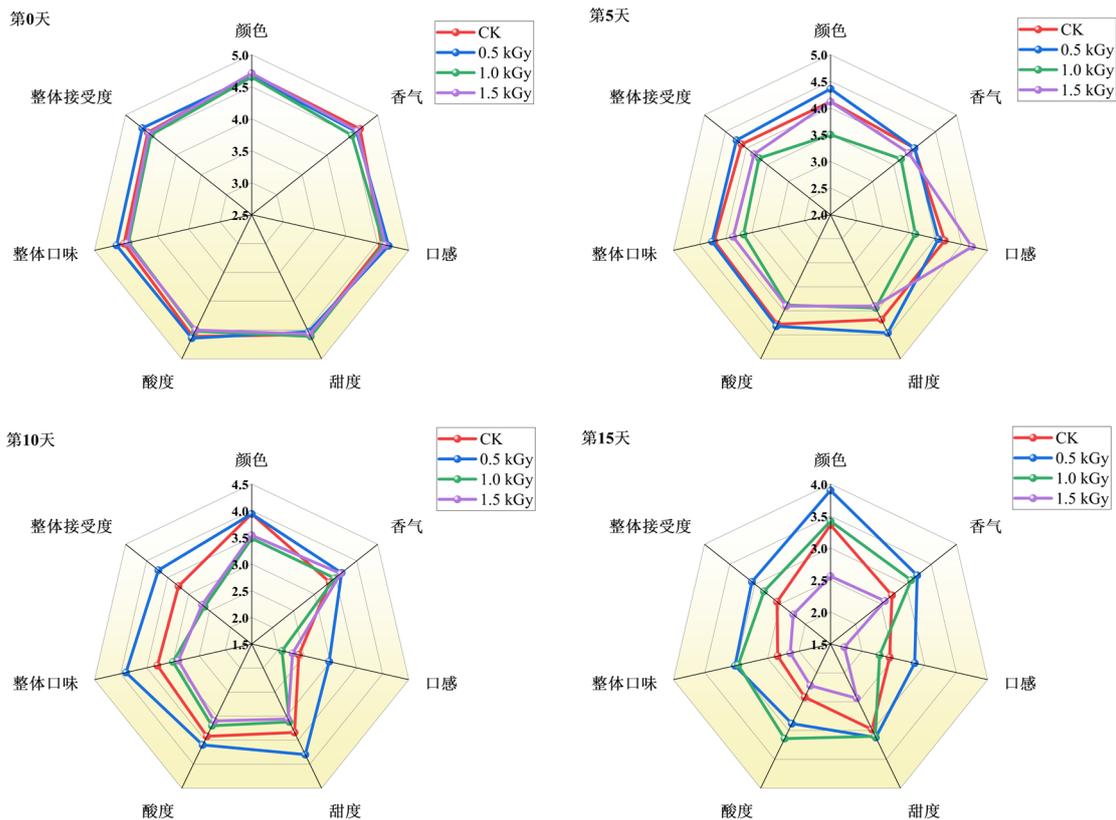


图 1 货架期不同剂量电子束转靶 X 射线下石榴的感官评分

Fig.1 The sensory evaluation scores of pomegranate under different doses of electron beam target X-ray and shelf-life

3 结论与讨论

电子束转靶 X 射线是一种新的果蔬无菌处理和保鲜技术,其原理是利用电子加速器产生的高能电子束射线辐照果蔬,通过高能脉冲直接作用使其表面微生物发生一系列理化反应,从而抑制其呼吸活动、内源乙烯的产生及酶活性,防止腐烂,并能延缓果蔬成熟,延长保鲜期^[19]。

本研究对石榴进行了电子束转靶 X 射线处理,并评估了其对石榴食用品质、外观品质、感官评价、相对电导率以及呼吸强度的影响。结果显示,0.5 kGy 的电子束转靶 X 射线是维持石榴品质并延长其常温货架期的最优处理剂量。在食用品质方面,0.5 kGy 剂

量的电子束转靶 X 射线处理能有效保持石榴的 pH 和可滴定酸含量,从而维持其口感和营养价值。另外,电子束转靶 X 射线对石榴可溶性固形物含量的影响不显著,这与前人在甜樱桃^[11]、鲜切苹果^[20]和芒果^[21]上的研究结果一致。在外观品质上,0.5 kGy 电子束转靶 X 射线处理能够较好地保持石榴果皮的颜色,抑制褐变度的上升,同时保持较好的感官品质,延长了石榴的常温货架期。这与前人利用电子束辐照技术对哈密瓜^[22]、龙眼^[23]和猕猴桃^[24]等进行处理后所得的结论基本一致。此外,该剂量处理还能显著抑制石榴相对电导率的上升,保持石榴细胞膜的完整性。呼吸作用是果蔬采后新陈代谢的基础,呼吸强度的高低反映了呼吸作用的强弱。呼吸

旺盛会加速果实营养物质的消耗, 导致营养品质迅速下降。本研究中, 0.5 kGy 的电子束转靶 X 射线处理对石榴呼吸强度上升的抑制效果最好, 而较高剂量的处理呼吸强度显著高于对照或者与对照的没有显著差异, 这与前人^[25]的研究结果一致。

综上所述, 在实际应用中, 推荐使用 0.5 kGy 的电子束转靶 X 射线对石榴进行保鲜处理, 从而延长石榴的常温货架期, 以实现石榴果实价值的最大化。

参考文献:

- [1] 胡青霞, 冯梦晨, 司晓丽, 等. 不同采收期对突尼斯软籽石榴采后贮藏品质的影响[J]. 河南农业科学, 2019, 48(12): 140–145.
- [2] 朱吟非, 康淞皓, 刘星宇, 等. 高新技术在天然产物及其健康食品加工中的应用[J]. 食品科学, 2024, 45(5): 335–344.
- [3] 李维科, 郜怀朋, 刘一宏. 电子辐照灭菌装置在应用过程中的故障分析及改进措施[J]. 模具制造, 2023, 23(11): 226–228.
- [4] 闫小杰, 白乌日力嘎, 康连和, 等. 冷鲜牛肉贮藏保鲜技术研究进展[J]. 食品工业, 2023, 44(12): 196–201.
- [5] 韩晨瑞, 申靖, 刘航, 等. 鲜切果蔬物理保鲜技术研究进展[J]. 食品科技, 2022, 47(11): 17–23.
- [6] 董婷, 高鹏, 汪菡月, 等. 电子束辐照对果蔬品质影响的研究进展[J]. 北方园艺, 2020(16): 133–138.
- [7] WANG C L, JING S, HOU D H, et al. X-rays irradiation maintains redox homeostasis and regulates energy metabolism of fresh figs(*Ficus carica* L. Siluhongyu)[J]. Food Chemistry, 2024, 438: 138067.
- [8] GUO X H, GUO Y D, YU J T, et al. X-ray irradiation-nonthermal processing and preservation of fresh winter jujube(*Zizyphus jujuba* mill. cv. Dalidongzao)[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2022, 81: 103151.
- [9] 叶力瑕, 牛耀星, 王燕, 等. 低剂量电子束辐照对徐香猕猴桃生理品质与氧化酶的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(14): 355–362.
- [10] 雷庆, 黄敏, 康菊, 等. 电子束辐照草莓保鲜效果研究[J]. 核农学报, 2011, 25(3): 510–513.
- [11] 戚蓉迪, 颜伟强, 岳玲, 等. 电子束辐照对进口甜樱桃保鲜效果的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(5): 839–844.
- [12] 陈志军, 孔秋莲, 岳玲, 等. 电子束辐照对进口葡萄色泽及保鲜效果的影响[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2013, 31(6): 48–52.
- [13] ROOHI M, ASKARIANZADEH A, ZOLFAGHARIEH H, et al. Effect of post-harvest irradiation of pomegranate fruit on controlling the carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae), and qualitative characteristics of pomegranate fruit[J]. Erwerbs- Obstbau, 2023, 65(5): 1731–1740.
- [14] 杜佳铭, 郭晓宏, 刘倩婷, 等. 1-MCP 与 PE 保鲜膜处理对无花果贮藏特性的影响研究[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(19): 10–18.
- [15] 郭一丹, 李奎, 蔚江涛, 等. 电子束和 ⁶⁰Co γ -射线辐照对冬枣的保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2021, 42(6): 276–281.
- [16] 寇莉萍, 张萌, 郭晓成, 等. 茉莉酸甲酯处理对石榴贮藏品质及相关酶活性的影响[J]. 包装工程, 2021, 42(9): 64–71.
- [17] WANG C L, DU J M, HOU D H, et al. Quality retention and delay postharvest senescence of figs(*Ficus carica* L.) using 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging during cold storage[J]. Food Bioscience, 2023, 53: 102748.
- [18] MORADINEZHAD F, HEYDARI A, ANSARIFAR E. Effects of ultrasonication and modified atmosphere packaging on the physicochemical characteristics and quality of ready-to-eat pomegranate arils[J]. Horticulturae, 2023, 9(7): 809.
- [19] 刘泽松, 史君彦, 王清, 等. 辐照技术在果蔬贮藏保鲜中的应用研究进展[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(4): 236–242.
- [20] 岳玲, 郑琦, 王海宏, 等. 电子束辐照在鲜切苹果冷藏保鲜中的应用研究[J]. 上海农业学报, 2022, 38(3): 106–113.
- [21] 董婷, 高鹏, 蒋毅, 等. 电子束辐照对芒果品质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(2): 279–283.
- [22] 周任佳, 乔勇进, 王海宏, 等. 高能电子束辐照对鲜切哈密瓜生理生化品质的影响[J]. 核农学报, 2012, 26(2): 300–305.
- [23] 白婷, 高鹏, 张慧, 等. 电子束辐照和真空包装对特晚熟龙眼果实贮藏期品质的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2020, 26(6): 1473–1477.
- [24] 周慧娟, 叶正文, 施春晖, 等. 高能电子辐照对猕猴桃保鲜效果的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(25): 133–138.
- [25] 周慧娟, 叶正文, 张学英, 等. 电子束辐照对蓝莓品质及生理代谢的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(9): 1308–1316.

责任编辑: 毛友纯
英文编辑: 柳正