

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.08.024

# 电子束辐照对槟榔芋贮藏效果的影响

## Effect of electron beam irradiation on storage of areca taro

孙大洋<sup>1,2</sup>商飞飞<sup>2</sup>潘中田<sup>1,2</sup>谢玉花<sup>2</sup>SUN Da-yang<sup>1,2</sup> SHANG Fei-fei<sup>2</sup> PAN Zhong-tian<sup>1,2</sup> XIE Yu-hua<sup>2</sup>刘艳<sup>2</sup>邓春丽<sup>2</sup>宋慕波<sup>2</sup>段振华<sup>1,2</sup>LIU Yan<sup>2</sup> DENG Chun-li<sup>2</sup> SONG Mu-bo<sup>2</sup> DUAN Zhen-hua<sup>1,2</sup>

(1. 大连工业大学食品学院, 辽宁 大连 116034; 2. 贺州学院食品科学与工程技术研究院, 广西 贺州 548299)

(1. School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian, Liaoning 116034, China;

2. Institute of Food Science and Engineering Technology, Hezhou University, Hezhou, Guangxi 548299, China)

**摘要:**以槟榔芋为研究对象,利用辐照剂量为0.1,0.3,0.5,0.7,1.0 kGy的高能电子束对其进行辐照处理,研究辐照剂量对槟榔芋贮藏效果及抗氧化酶的影响。结果表明,低剂量电子束辐照能显著降低槟榔芋的贮藏腐烂率并较好地控制发芽,但对硬度、色泽变化、感官品质影响不大,同时能维持槟榔芋过氧化物酶、谷胱甘肽还原酶以及过氧化氢酶的活性。槟榔芋贮藏的最佳辐照剂量为0.1~0.5 kGy。

**关键词:**电子束辐照;槟榔芋;贮藏品质;抗氧化酶

**Abstract:** In this study, the areca taro was treated by high energy electron beam with irradiation dose of 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, and 1.0 kGy. The effects of different irradiation doses on areca taro storage and antioxidant enzymes were studied. The results showed that low-dose electron beam irradiation could significantly reduce the decay rate of areca taro and better control the germination, and had little effect on the hardness, color and sensory quality. Meanwhile, they could maintain the activities of peroxidase, glutathione reductase and catalase. Among them, 0.1 ~ 0.5 kGy could be used as a suitable dose for irradiation storage of areca taro.

**Keywords:** electron beam irradiation; areca taro; storage quality; antioxidant enzyme

**基金项目:**国家自然科学基金项目(编号:31860458);广西自然科学基金项目(编号:2017JJA130645y);广西食品科学与工程一流(培育)学科项目(编号:桂教科研[2018]12号);广西“现代食品加工新技术”特聘专家岗位基金(编号:厅发[2016]21号);广西果蔬保鲜和深加工研究人才小高地平台支持(编号:厅发[2015]41号)

**作者简介:**孙大洋,男,大连工业大学在读硕士研究生。

**通信作者:**商飞飞(1986—),男,贺州学院副教授,硕士。

E-mail: shangfeifeif@163.com

**收稿日期:**2020-04-26

槟榔芋又名香芋、荔浦芋、福鼎芋,是天南星科芋块类多年生作物,为中国重要的特色农产品之一<sup>[1]</sup>。目前,传统的贮藏方法有田间埋藏法<sup>[2]</sup>、窖藏法、室内贮藏法。这些传统方法只能帮助芋头过冬,当气温升高、湿度变大时,槟榔芋会出现腐烂、发芽、干瘪等现象;而冷库贮藏仅30 d左右就有>10%的槟榔芋出现腐烂。孙志栋等<sup>[3]</sup>研究发现保鲜剂(1-MCP)结合中厚度PE保鲜袋于14℃贮藏对槟榔芋的保鲜效果良好;张海珍<sup>[4]</sup>用1.0 μL/L 1-MCP配合10.0 g/L壳聚糖处理靖江香沙芋,可维持香沙芋的重量、减缓褐变、防止腐烂病、延长芋头的货架期2个月左右;魏秋羽等<sup>[5]</sup>研究发现用1-MCP处理后采用纳米包装,能有效维持香芋的良好色泽、显著降低多酚氧化酶活性、减少失水性和衰老、提高贮藏品质;汪敏等<sup>[6]</sup>研究发现0.2~0.5 kGy的γ射线辐照处理能有效抑制芋头的发芽,获得良好的贮藏效果。

辐照加工技术是当今重要的、产业化应用相对成熟的一项“冷杀菌技术”<sup>[7]</sup>。目前应用于果蔬方面的辐照技术主要为<sup>60</sup>Co、<sup>137</sup>Cs、γ射线、电子束、脉冲光、短波紫外线等。美国FDA规定,大部分果蔬的辐照最大剂量不应超过1 kGy,仅对新鲜菠菜和生菜解除控制<sup>[8]</sup>。辐照技术在食品贮藏保鲜的应用主要为保持食品的新鲜度,包括果蔬及其产品、食用菌、畜禽肉类、调味品等;抑制果蔬谷类的发芽及病虫害的侵染;延长食品货架期,提高食品的卫生质量<sup>[9]</sup>。目前已成功应用于玉米<sup>[10]</sup>、稻米<sup>[11]</sup>、洋葱<sup>[12]</sup>等果蔬保鲜。试验拟以槟榔芋为研究对象,研究电子束辐照对槟榔芋贮藏效果以及可溶性蛋白、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽还原酶(GR)、过氧化物酶(POD)酶活性等生理指标的影响,以为电子束辐照技术在槟榔芋贮藏保鲜中的应用提供依据。

# 1 材料和方法

## 1.1 试验材料

槟榔芋:2019 年 2 月 23 日从广西贺州市金泰农产品物流园购买的贺州香芋,经处理后冷藏备用;

可溶性蛋白、过氧化物酶(POD)、谷胱甘肽还原酶(GR)、过氧化氢酶(CAT)等:南京建成生物科技公司。

## 1.2 仪器与设备

电子直线加速器:IS10/20 型,清华大学同方威视技术股份有限公司;

电子天平:YP1201N 型,上海天平仪器总厂;

色差仪:CR-400 型,柯尼卡美能达(中国)投资有限公司;

物性测定仪:Plus 型,英国 Stable Micro System 公司;

紫外—可见分光光度计:UV-1780 型,岛津仪器(苏州)有限公司。

## 1.3 试验方法

1.3.1 槟榔芋预处理 选取广西贺州本地具有明显槟榔纹和特征香气的贺州香芋,采挖、阴干、剔除受伤芋头、朔料编织袋包装处理后冷藏备用。

1.3.2 辐照处理 辐照剂量分别为 0.0,0.1,0.3,0.5,0.7,1.0 kGy,辐照后贮藏于 13 ℃冷库,每隔 10 d 取样进行分析测试。

1.3.3 腐烂率的测定 每次选取 50 个芋头,记录出现腐烂的槟榔芋个数<sup>[13]</sup>。按式(1)计算腐烂率。

$$C = \frac{n_1}{n_2} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

C——腐烂率,%;

$n_1$ ——槟榔芋的腐烂数量;

$n_2$ ——总槟榔芋数。

1.3.4 失重率的测定 每次选取 10 个大小均匀的槟榔芋并标记,于 2 min 内称重,按式(2)计算失重率。

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

W——失重率,%;

$M_1$ ——槟榔芋贮前质量,g;

$M_2$ ——槟榔芋贮后质量,g。

1.3.5 硬度的测定 每次选取 3 个芋头,将槟榔芋洗净后去头去尾,从中间横切取约 20 mm 的芋头茎块。采用物性测定仪进行测定,使用 P2 探头,测前速度 1 mm/s,测试速度 2 mm/s,测后速度 10 mm/s,穿刺距离 20 mm。

1.3.6 色差的测定 将槟榔芋洗净去头去尾后沿中间切开,取最中间部分,采用色差仪测定样品的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$

值。其中: $L^*$  值表示亮度,其值越大,亮度越大; $a^*$  值表示有色物质的红绿偏向,正值越大偏向红色的程度越大,负值越大偏向绿色的程度越大; $b^*$  值表示有色物质的黄蓝偏向,正值越大偏向黄色的程度越大,负值越大偏向蓝色的程度越大<sup>[14]</sup>。用  $\Delta E$ (色差值)描述样品的颜色变化程度,以样品的白板色差为对照色差值  $L_0^*$ 、 $a_0^*$ 、 $b_0^*$ 。色差值越大,说明样品颜色变化越大。并按式(3)计算色差值。

$$\Delta E = [(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2]^{\frac{1}{2}}. \quad (3)$$

1.3.7 感官品质评价 选取辐照后贮藏 30,60 d 的槟榔芋进行蒸煮试验,由随机挑选的 10 名感官评判员按表 1 的评分标准分别对蒸煮后的香气、质地、口感、喜爱程度、糯性等指标进行感官评价。

表 1 感官评分标准

Table 1 Sensory scoring criteria

分值	香气	质地	口感	喜爱	糯性
8~10	较强	清晰	较好	喜欢	有糯性
4~7	一般	较清晰	一般	较喜欢	一般糯性
0~3	很弱或没有	很弱或没有	不好	不喜欢	没有糯性

1.3.8 槟榔芋的发芽情况 分别于贮藏的第 10,20,30,40,50 天统计各辐照组的发芽情况。

1.3.9 样品的制备 参照曹建康等<sup>[15]</sup>的方法配置 0.1 mol/L 磷酸缓冲液。将样品与 pH=7.3 的缓冲溶液按 1:10 (g/mL)混合,4 ℃冰浴研磨匀浆、冷冻离心取上清液冷藏保存,待测。

1.3.10 可溶性蛋白含量的测定 采用考马斯亮蓝法<sup>[16]</sup>。

1.3.11 酶活性的测定 过氧化物酶、过氧化氢酶、谷胱甘肽还原酶均参考南京建成生物科技公司试剂盒的方法。

1.3.12 数据统计分析 每组试验分别设置 3 个重复,试验数据用 Excel 软件录入,使用 Origin 9.1 软件进行绘图,采用 SPSS 17.0 进行多个独立数据检验,统计学  $P < 0.05$  为差异性显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 对槟榔芋腐烂率的影响

由图 1 可知,腐烂率随贮藏时间的递增呈线性上升趋势。贮藏 50 d 后,未经电子束辐照的槟榔芋腐烂率为 29.33%,0.7 kGy 以下辐照剂量处理组槟榔芋腐烂率均低于对照组,其中 0.1 kGy 辐照剂量下的腐烂率为 15.33%,相对于对照组降低了 14%,且与对照组有极显著性差异 ( $P < 0.01$ )。当辐照剂量为 1.0 kGy 时,贮藏 30 d 后的腐烂率急速上升,最终高达 32.67%,高于对照组但差异不显著 ( $P > 0.05$ ),可能是高剂量的辐照对槟榔芋茎块产生

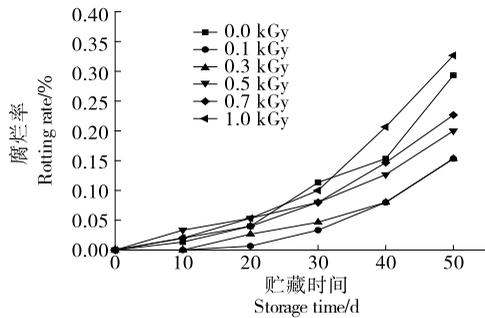


图1 电子束辐照对槟榔芋腐烂率的影响

Figure 1 Effect of electron beam irradiation on rotting rate of areca taro

了损伤。因此,利用低于 0.7 kGy 辐照剂量电子束处理槟榔芋,可降低冷藏槟榔芋的腐烂率并延长其贮藏期。目前,辐照技术在农产品食品领域的应用越来越广泛,充分展现其杀菌、杀虫、抑制发芽和延长货架期的作用,例如,杏仁<sup>[17]</sup>、蓝莓<sup>[18]</sup>和人参<sup>[19]</sup>等。随着贮藏时间的延长槟榔芋会不断受到微生物的侵染致使其生病腐烂,经电子束辐照后,低温贮藏 50 d 的槟榔芋其腐烂率要比对照组低,其中 0.1 kGy 和 0.3 kGy 辐照剂量效果最好,比对照组的槟榔芋腐烂率降低 14.00% 和 13.57%。但是当辐照剂量高达 1 kGy 时其腐烂率反而要比对照组高,可能是高剂量的辐照对槟榔芋茎块产生损伤。

## 2.2 对槟榔芋失重率的影响

由图 2 可知,随着贮藏时间的增加,水分严重损失,失重率下降得更快;而经电子束辐照后,失重率的增加速度减缓,水分损失降低。当贮藏时间为 0~30 d 时,对照组与辐照组的槟榔芋失重率差异不显著( $P>0.05$ );当贮藏时间 $>30$  d 时,对照组失重率加快,而电子束辐照组的失重率增长明显减缓;当贮藏时间为 50 d 时,对照组失重率为 8.91%,0.1~1.0 kGy 辐照剂量组失重率均低于对照组,其中 0.1~0.5 kGy 处理组的效果最好,且与对照组差异显著( $P<0.05$ )。水分损失是影响槟榔芋贮藏效果的主要因素,同时水分损失还会影响槟榔芋的口感和鲜度,

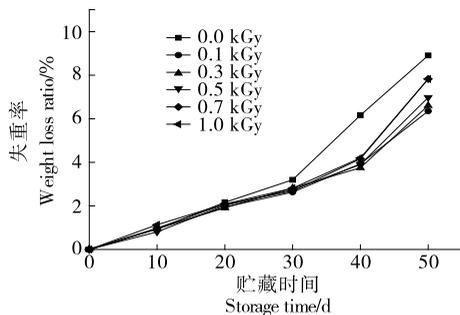


图2 电子束辐照对槟榔芋失重率的影响

Figure 2 Effect of electron beam irradiation on weight loss rate of areca taro

经电子束辐照处理 50 d 时,槟榔芋的失重率仍保持在较好水平,说明辐照能维持槟榔芋的水分和重量的下降,其中 0.1~0.5 kGy 效果最好;

## 2.3 对槟榔芋硬度的影响

由图 3 可知,硬度随贮藏时间的延长逐渐下降,当贮藏时间为 50 d 时,经电子束辐照处理的槟榔芋硬度均高于对照组,一定程度上缓解了槟榔芋的失水干软。其中 0.1~0.7 kGy 剂量组的硬度与对照组的差异显著( $P<0.05$ ),而 1.0 kGy 剂量组的槟榔芋硬度与对照组无显著性差异( $P>0.05$ ),故电子束辐照处理能较好地保持贮藏期槟榔芋的硬度。

## 2.4 对槟榔芋色差的影响

由表 2 可知,电子束辐照对槟榔芋色差有轻微的影响,能降低槟榔芋色差值的增加,维持良好的颜色,无显著性差异( $P>0.05$ )。槟榔芋色差值随贮藏时间的增加而缓慢增加,但差异不显著。因此,经电子束低剂量辐照处理后,槟榔芋茎块色泽变化差异不明显,均在较理想的范围之内。

## 2.5 对槟榔芋食用品质的影响

由表 3、4 可知,贮藏 30 d 后,电子束辐照组槟榔芋的食用品质与对照组有略微差别,其感官品质随辐照剂量的增加而略有所下降。贮藏 60 d 后,香气、质地和喜爱程度方面,0.1, 0.3 kGy 剂量组与对照组差异较小( $P>0.05$ ),糯性和口感则均与对照组差异显著( $P<0.05$ )。贮藏 60 d 后无论是否辐照的槟榔芋,其食用品质都有所下降,表明贮藏过程中由于水分及其他物质的流失和缓慢氧化,其食用品质均慢慢下降。

## 2.6 对槟榔芋发芽的影响

由表 5 可知,对照组槟榔芋在贮藏第 10 天开始发芽,随着贮藏时间的延长,其发芽的情况越来越多,贮藏 50 d 后均已发芽;0.1 kGy 剂量组在贮藏第 40 天时有少量发芽,贮藏 50 d 后其发芽情况未增加;0.3 kGy 剂量组仅在贮藏第 50 天时检测到少量萌芽点,长势不旺盛;

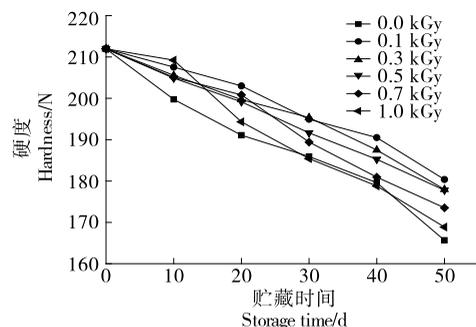


图3 电子束辐照对槟榔芋硬度的影响

Figure 3 Effect of electron beam irradiation on hardness of areca taro

表 2 电子束辐照处理对槟榔芋色差的影响<sup>†</sup>

Table 2 Effect of electron beam irradiation on color difference of areca taro

剂量/ kGy	贮藏时间/d					
	0	10	20	30	40	50
0.0	11.21±0.48 <sup>Ba</sup>	11.22±0.52 <sup>Aa</sup>	11.70±0.34 <sup>Aa</sup>	11.94±0.37 <sup>Aa</sup>	11.93±0.67 <sup>ABa</sup>	12.17±0.05 <sup>Aa</sup>
0.1	9.47±0.59 <sup>Ab</sup>	10.35±0.18 <sup>Bab</sup>	10.83±0.23 <sup>Aa</sup>	11.16±0.57 <sup>Aa</sup>	11.04±0.41 <sup>Ba</sup>	11.12±0.33 <sup>Ba</sup>
0.3	10.50±0.35 <sup>ABb</sup>	10.62±0.21 <sup>ABb</sup>	11.25±0.32 <sup>Asb</sup>	11.51±0.59 <sup>Aa</sup>	11.53±0.23 <sup>ABa</sup>	11.57±0.33 <sup>ABa</sup>
0.5	10.75±0.43 <sup>Bb</sup>	11.13±0.37 <sup>Asb</sup>	11.47±0.59 <sup>Asb</sup>	11.71±0.33 <sup>ABb</sup>	12.14±0.52 <sup>Aa</sup>	11.92±0.29 <sup>Aa</sup>
0.7	10.78±0.49 <sup>Bc</sup>	10.98±0.29 <sup>ABbc</sup>	11.57±0.52 <sup>Asbc</sup>	11.90±0.43 <sup>ABb</sup>	12.12±0.22 <sup>Aa</sup>	11.72±0.36 <sup>ABbc</sup>
1.0	10.18±0.41 <sup>ABb</sup>	11.09±0.22 <sup>ABab</sup>	11.01±0.29 <sup>Ab</sup>	11.31±0.29 <sup>ABb</sup>	11.65±0.37 <sup>ABab</sup>	11.75±0.17 <sup>ABa</sup>

† 同行大写字母不同表示差异显著(P<0.05);同列小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。

表 3 贮藏 30 d 后槟榔芋的感官品质<sup>†</sup>

Table 3 Sensory evaluation scores of areca taro 30 days after electron beam irradiation

剂量/kGy	香气	糯性	质地	口感	喜爱程度
0.0	7.80±0.46 <sup>a</sup>	7.79±0.43 <sup>a</sup>	7.72±0.56 <sup>a</sup>	7.74±0.82 <sup>a</sup>	7.81±0.66 <sup>a</sup>
0.1	7.59±0.77 <sup>ab</sup>	7.59±0.27 <sup>a</sup>	7.71±0.30 <sup>ab</sup>	7.63±0.31 <sup>a</sup>	7.61±0.35 <sup>ab</sup>
0.3	7.58±0.49 <sup>ab</sup>	7.54±0.65 <sup>ab</sup>	7.47±0.31 <sup>ab</sup>	7.54±0.27 <sup>a</sup>	7.48±0.25 <sup>bc</sup>
0.5	7.23±0.72 <sup>bc</sup>	7.35±0.21 <sup>bc</sup>	7.23±0.85 <sup>abc</sup>	7.16±0.31 <sup>b</sup>	7.28±0.70 <sup>c</sup>
0.7	6.89±0.30 <sup>cd</sup>	7.11±0.78 <sup>c</sup>	7.03±0.43 <sup>bc</sup>	6.94±0.28 <sup>b</sup>	6.85±0.25 <sup>d</sup>
1.0	6.82±0.52 <sup>d</sup>	6.60±0.31 <sup>d</sup>	6.75±0.29 <sup>c</sup>	6.90±0.22 <sup>b</sup>	6.85±0.79 <sup>d</sup>

† 字母不同表示差异显著(P<0.05)。

表 4 贮藏 60 d 后槟榔芋的感官品质<sup>†</sup>

Table 4 Sensory evaluation scores of areca taro after 60 days of electron beam irradiation

剂量/kGy	香气	糯性	质地	口感	喜爱程度
0.0	7.03±0.54 <sup>a</sup>	7.22±0.27 <sup>a</sup>	7.10±0.64 <sup>a</sup>	7.02±0.29 <sup>a</sup>	7.52±0.70 <sup>a</sup>
0.1	6.71±0.38 <sup>ab</sup>	6.68±0.57 <sup>b</sup>	6.82±0.69 <sup>ab</sup>	6.50±0.32 <sup>b</sup>	7.40±0.84 <sup>a</sup>
0.3	6.62±0.34 <sup>bc</sup>	6.45±0.44 <sup>b</sup>	6.65±0.62 <sup>bc</sup>	6.66±0.25 <sup>bc</sup>	7.52±0.71 <sup>b</sup>
0.5	6.54±0.63 <sup>bc</sup>	6.52±0.27 <sup>b</sup>	6.50±0.43 <sup>bc</sup>	6.53±0.60 <sup>bc</sup>	7.06±0.14 <sup>b</sup>
0.7	6.33±0.78 <sup>cd</sup>	6.13±0.30 <sup>c</sup>	6.33±0.72 <sup>c</sup>	6.21±0.58 <sup>c</sup>	6.84±0.24 <sup>b</sup>
1.0	6.21±0.56 <sup>d</sup>	5.88±0.37 <sup>c</sup>	6.37±0.24 <sup>c</sup>	5.56±0.51 <sup>d</sup>	6.32±0.26 <sup>c</sup>

† 字母不同表示差异显著(P<0.05)。

表 5 电子束辐照对槟榔芋发芽的影响<sup>†</sup>

Table 5 Effect of irradiation on areca taro germination

剂量/kGy	贮藏时间/d					
	0	10	20	30	40	50
0.0	-----	+-----	+-----	++++-	++++-	++++-
0.1	-----	-----	-----	-----	+-----	+-----
0.3	-----	-----	-----	-----	-----	+-----
0.5	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.7	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1.0	-----	-----	-----	-----	-----	-----

† “+”表示发芽等级,“+”越多表示发芽越多;“-”表示不发芽。

0.5 kGy 以下剂量组在试验观察期内未检测到发芽情况,与汪敏等<sup>[10]</sup>的结果一致。说明辐照能有效地抑制槟榔芋在贮藏期内的发芽,减少因发芽带来的失重、淀粉损失和品质下降。

### 2.7 对槟榔芋中可溶性蛋白含量的影响

由图 4 可知,辐照组可溶性蛋白整体变化并不明显,贮藏 12 d 的较贮藏 9 d 略微升高,随后又慢慢降低,且各剂量组间差异不显著,说明电子束辐照对槟榔芋的可溶性蛋白质含量影响不大,与翟龙等<sup>[20-21]</sup>的结论一致。

### 2.8 对槟榔芋中过氧化物酶(POD)活性的影响

由图 5 可知,贮藏 3 d 时,辐照组的 POD 活性突然加速上升达到峰值,且随辐照剂量的增大而增加,可能是槟榔芋受到辐照刺激后,其自身对外界刺激作出的应答反应;随着贮藏时间的增加,POD 活性又缓慢恢复,第 9 天时恢复至最初水平,但电子束辐照组的酶活性仍高于对照组,说明电子束辐照对 POD 活性有激活作用;贮藏第 15 天,0.5 kGy 剂量组的酶活性最高,比对照组高 22.5% 且差异显著( $P < 0.05$ ),1.0 kGy 剂量组的酶活性最低,仅比对照组高 5.7% 且差异不显著( $P > 0.05$ );贮藏期间,1.0 kGy 辐照剂量组的 POD 酶活性变化幅度最大,可能是因为高剂量辐照对槟榔芋的刺激胁迫严重所导致的。POD 作用比较多,一方面是对辐照外来胁迫的应激作用,加速果实衰老,一方面是促进  $H_2O_2$  分解,延迟果实衰老,试验中电子束辐照对槟榔芋 POD 活性有一定的激活作

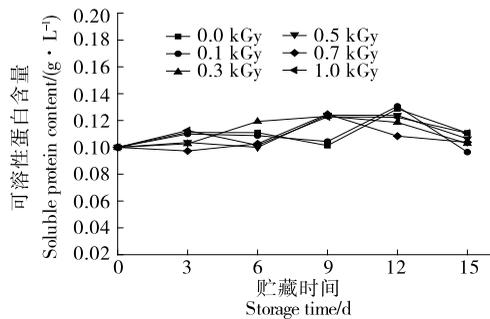


图 4 电子束辐照对可溶性蛋白含量的影响

Figure 4 Changes in protein content in areca taro

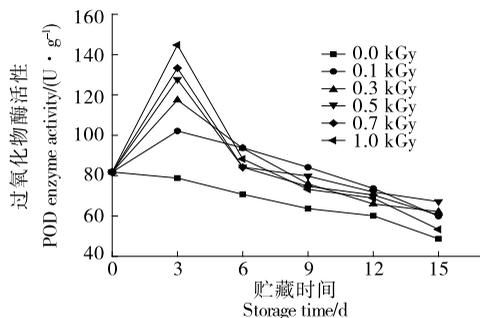


图 5 电子束辐照对过氧化物酶活性的影响

Figure 5 Changes in POD activity in areca taro

用,低剂量的辐照能使 POD 活性在一个相对较高的水平,有利于清除自由基、活性氧等,延缓果实衰老,与辐照保藏在椪柑<sup>[22]</sup>、大樱桃<sup>[23]</sup>等方面的结论相同。

### 2.9 对槟榔芋中谷胱甘肽还原酶(GR)活性的影响

由图 6 可知,槟榔芋中 GR 酶活性随贮藏时间的延长呈下降趋势,0.1,0.3,0.5 kGy 剂量组在高位运行,说明低剂量辐照处理对槟榔芋 GR 酶活性有刺激作用,较对照组下降趋势缓慢;贮藏第 6 天,对照组与辐照组差异不显著( $P > 0.05$ );贮藏第 9 天,1.0 kGy 剂量组的 GR 酶活性突然下降,然后趋于稳定;贮藏第 15 天,0.1~0.7 kGy 辐照剂量组的 GR 活性高于对照组,且差异显著( $P < 0.05$ ),说明低剂量的电子束辐照能刺激谷胱甘肽还原酶活力的增加,而 1.0 kGy 辐照组在贮藏第 15 天的 GR 酶活性低于对照组,但差异不显著( $P > 0.05$ )。谷胱甘肽还原酶与植物的抗逆性密切相关,并且通过抗坏血酸-谷胱甘肽循环参与清除植物中多余的 ROS,0.1~0.7 kGy 剂量的电子束辐照能延缓谷胱甘肽还原酶能力的降低,但是辐照达到 1.0 kGy 时 GR 活性要比对照组的活性低,起不到相应的抗氧化作用。

### 2.10 对槟榔芋中过氧化氢酶(CAT)活性的影响

由图 7 可知,辐照组槟榔芋的 CAT 活性随贮藏时间的增加先升高后下降,对照组则缓慢下降;贮藏第 15 天,辐照组槟榔芋的 CAT 活性均高于对照组,且差异显著( $P < 0.05$ ),说明辐照后槟榔芋块茎内过氧化氢酶活性更

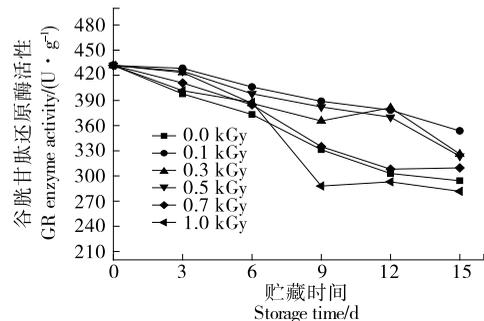


图 6 电子束辐照对谷胱甘肽还原酶活性的影响

Figure 6 Changes in GR activity in areca taro

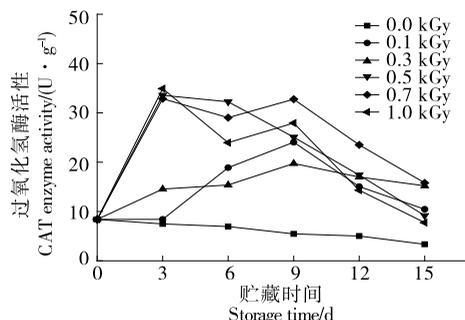


图 7 电子束辐照对过氧化氢酶活性的影响

Figure 7 Changes in activity in areca taro

高, 槟榔芋通过自身调控来清除因辐射氧化而产生的自由基。槟榔芋块茎内过氧化氢酶活性要比未辐照的高, 其中 0.1~0.3 kGy 剂量活性最高, 抗氧化效果最好。

### 3 结论

0.1~0.5 kGy 的辐照剂量处理结合 10~15 °C 的低温贮藏可使槟榔芋的贮藏效果最佳, 其腐烂率、失重率较低, 感官品质基本不受影响, 槟榔芋块茎中的可溶性蛋白含量、过氧化物酶、谷胱甘肽还原酶和过氧化氢酶活性有浮动变化, 但均维持在生理可接受水平。但是当辐照剂量超过 1.0 kGy 后, 槟榔芋腐烂率会上升, 部分酶的活性会降低, 可能是因为高剂量对槟榔芋的损伤作用, 未来或需从细胞层面来验证是否是高剂量辐照对细胞造成破坏导致的腐烂率上升。

#### 参考文献

[1] 陈子意. 槟榔芋全粉挤压膨化特性的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2015: 1-2.

[2] 刘向东. 福鼎槟榔芋贮藏保鲜技术[J]. 中国蔬菜, 1991(5): 45-46.

[3] 孙志栋, 田方, 张仁杰, 等. 1-MCP 和温度处理对采后芋头贮藏品质的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(9): 1 730-1 736.

[4] 张海珍. 不同保鲜技术对靖江香沙芋采后保鲜效果及生理代谢影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2019: 26-27.

[5] 魏秋羽, 李大婧, 宋江峰, 等. 不同包装方式对 1-MCP 处理香荷芋贮藏品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(1): 194-199.

[6] 汪敏, 赵永富, 胡广玲, 等. 辐照处理对芋头发芽及食用品质的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(8): 1 534-1 539.

[7] 郑云芳, 王晓雯, 钟丽琪. 冷杀菌技术在食品中的应用[J]. 现代食品, 2017(13): 67-68.

[8] MA Liang, ZHANG Min, BHESH Bhandari, et al. Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 64: 23-38.

[9] 冯伟. 食品辐照加工技术的研究现状与展望[J]. 科技风, 2016(22): 155-156.

[10] 罗小虎, 齐丽君, 房文苗, 等. 电子束辐照降解玉米中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 及对玉米品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 111-114.

[11] 杨丹, 罗小虎, 齐丽君, 等. 电子束辐照对稻米储藏特性及品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 106-110.

[12] MEMON N, GAT Y, ARYA S, et al. Combined effect of chemical preservative and different doses of irradiation on green onions to enhance shelf life[J]. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2020, 19(3): 207-215.

[13] 王毓宁, 胡花丽, 李鹏霞, 等. 不同杀菌剂对红香芋贮藏品

质及抗氧化能力的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(11): 207-210.

[14] 刘小莉, 胡根河, 陆卿卿, 等. 热处理条件对蓝莓汁中花色苷和加工特性的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(1): 161-166.

[15] 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: 68-70.

[16] 管原洁, 副岛正美. 蛋白质的定量法[M]. 张旭, 译. 北京: 农业出版社, 1981: 186-188.

[17] 商飞飞, 陈云堂, 范家霖, 等. 电子束辐照对桃仁和杏仁脂肪酸的影响研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(16): 319-323.

[18] ADRIANNE M J, RESURRECCION A V A. Sensory profiling of electron-beam irradiated ready-to-eat poultry frankfurters[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 42: 265-274.

[19] 齐仕博, 张露, 宋鑫萍, 等. 辐照对人参活性成分及其药理特性的影响研究进展[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 161-166.

[20] 崔龙, 王娴, 许勃, 等. 电子束辐照对大豆品质的影响[J]. 核农学报, 2018, 32(5): 900-906.

[21] 刘光宪, 王辉, 刘俊, 等. 辐照对蛋白质及过敏原的影响研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(4): 1 110-1 114.

[22] 罗梦, 赵博, 陈浩, 等.  $\gamma$  辐照对椪柑果实保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 135-138.

[23] 田竹希, 龙明秀, 李咏富, 等. 短波紫外线照射和<sup>60</sup>Co- $\gamma$  辐照处理对大樱桃贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(23): 269-276.

(上接第 92 页)

[8] 阿娜尔, 吕云震. 英国: 将食品安全纳入国家课程体系[J]. 人民教育, 2019(12): 72-73.

[9] 李霞. 英国中小学食物教育: 背景、举措及特征[J]. 外国中小学教育, 2018(7): 28-34.

[10] 于国栋, 王洪英, 安娜. 欧美食品安全监管体系对农产品质量安全监管的启示[J]. 吉林农业, 2009(1): 18-19.

[11] 刘云. 英国食品标准署和食品安全监管机制[N]. 中国食品报, 2010-02-10(006).

[12] 王建军. 英国食品安全规制改革中的善治原则: 规制改革机构简介[J]. 太平洋学报, 2008(7): 23-24.

[13] 刘国信. 英国的食品安全监管体系[J]. 中国包装, 2010, 30(10): 24-25.

[14] 国家食品药品监督管理局英国食品安全监管培训团, 范学慧, 邱琼, 等. 英国食品安全监管经验与启示[J]. 中国食品药品监管, 2013(10): 43-48.