

$^{60}\text{Co}\gamma$ 射线辐照对鲜食核桃采后膜脂过氧化作用的影响*

马艳萍¹ 马惠玲² 刘兴华³ 严拢兵³(1. 西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学生命科学学院, 陕西杨凌 712100;
3. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨凌 712100)

【摘要】 为探索 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线辐照对鲜食核桃冷藏期间膜脂过氧化作用的影响,以辽核4号核桃品种为试材,经0、0.1、0.5、1.0和5.0 kGy剂量的 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线辐照,采用0.03 mm厚聚乙烯(PE)袋包装后在 $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$ 下贮藏,定期测定超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、脂氧合酶(LOX)活性和丙二醛(MDA)含量、好果率及感官品质等指标。结果表明,以5.0 kGy剂量处理能显著地加剧核桃衰老进程;0.5 kGy剂量辐照处理则明显提高了鲜食核桃冷藏期间的SOD、CAT活性,降低了MDA的积累,抑制了POD、LOX活性,从而减缓了其膜脂过氧化作用,极显著地提高了其好果率及感官品质,因此0.5 kGy为鲜食核桃贮藏期90 d内的较佳辐照剂量。

关键词: 鲜食核桃 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线 冷藏 膜脂过氧化

中图分类号: S664.1; TS205.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)12-0171-06

Effect of $^{60}\text{Co}\gamma$ -ray Irradiation on Membrane Lipid Peroxidation of Fresh Walnut during Storage

Ma Yanping¹ Ma Huiling² Liu Xinghua³ Yan Longbing³

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. College of Life Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

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

Abstract

In order to measure the effect of $^{60}\text{Co}\gamma$ -ray irradiation on membrane lipid peroxidation of fresh walnut, fresh 'Liaohu 4' walnuts were exposed under $^{60}\text{Co}\gamma$ -ray with 0, 0.1, 0.5, 1.0, 5.0 kGy, and subsequently packaged in 0.03 mm polyethylene bag and stored at the temperature about $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$. The following main indices, including the activity of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD) and lipoxigenase (LOX), the malonaldehyde (MDA) content, fine fruit rate and sensory quality, were determined at regular intervals. The results indicated that the irradiation with 5.0 kGy accelerated the process of senescence of fresh walnut. But 0.5 kGy irradiation remarkably increased the activity of SOD and CAT, decreased the MDA content, and inhibited the activity of POD and LOX. Thus, the membrane lipid peroxidation process in fresh walnut was slowed down and both fine fruit rate and sensory quality were increased significantly. In conclusion, 0.5 kGy irradiation was identified as the best dose for the preservation of fresh walnut in the 90 d storage period.

Key words Fresh walnut, $^{60}\text{Co}\gamma$ -ray, Cold storage, Membrane lipid peroxidation

引言

鲜食核桃因其独特的风味和丰富的营养价值深

受广大消费者喜爱,近年来需求呈逐年增长趋势,但由于其高水分及脂肪含量等生理特性,在贮藏过程中易出现发霉、发芽和失水现象。 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线因其较

收稿日期: 2011-06-10 修回日期: 2011-07-02

* 陕西省自然科学基金资助项目(2011JQ3002)和西北农林科技大学博士科研启动基金资助项目(Z10P021101)

作者简介: 马艳萍, 讲师, 博士, 主要从事经济林果品贮藏与加工研究, E-mail: myp1273@163.com

通讯作者: 刘兴华, 教授, 博士生导师, 主要从事果品蔬菜贮藏与加工研究, E-mail: liuxh2830@163.com

好的贮藏保鲜作用已在银杏、板栗、核桃等干果上得到广泛应用^[1-8]。Bachir 将经 0.5、1.0、1.5、2.0 kGy 剂量辐照处理的核桃对照在 15 ~ 18℃、相对湿度 50% ~ 70% 的环境中贮藏的核桃,确定 1.5 kGy 为其适宜辐照剂量^[7]; Taipina 等得出 1.0 kGy 为美洲山核桃适宜的 γ 射线处理剂量,3.0 kGy 则会对其感官特性产生不良影响^[8]。然而,目前有关该技术在鲜食核桃保鲜中的应用在国内外未见报道。

笔者曾对不同品种鲜食核桃在冷藏条件下的品质变化规律进行了研究,并将辐照技术首次应用于鲜食核桃的贮藏保鲜中,确定抑芽的最小辐照剂量为 0.05 kGy^[9-10]。为进一步研究⁶⁰Co γ 射线辐照对鲜食核桃冷藏条件下膜脂过氧化作用的影响,本文以辽核 4 号核桃品种为试材,经不同剂量⁶⁰Co γ 射线辐照后,测定其贮藏期间丙二醛(malonaldehyde,简称 MDA)含量、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase,简称 SOD)、过氧化氢酶(catalase,简称 CAT)、过氧化物酶(peroxidase,简称 POD)和脂氧合酶(lipoxygenase,简称 LOX)活性等指标的变化,以期了解⁶⁰Co γ 射线辐照在鲜食核桃贮藏保鲜中应用的可行性,并为其商业化生产提供理论依据和技术支持。

1 材料与方 法

1.1 材料及处理方案

试材为辽核 4 号鲜食核桃,于 2007 年 8 月 23 日自然成熟后采收,脱青皮并用清水清洗后将表皮水分晾干,挑选大小均匀、无机械损伤和病虫害的核桃待用。

将待用核桃次日清晨运往陕西省咸阳市辐照中心进行处理,辐照剂量为 0(对照)、0.1、0.5、1.0 和 5.0 kGy,采用静态辐照工艺,剂量率为 55.56 Gy/min。当样品辐照至总剂量的一半时,对其进行上下前后适当的翻转后继续辐照到所需剂量值,以保证辐照剂量不均匀度不大于 2。辐照结束后运回实验室,将其在(0±1)℃、相对湿度 70%~80% 条件的冷库中预冷 24 h,再采用厚 0.03 mm 聚乙烯(PE)袋(规格为 200 mm×300 mm)密封包装后继续贮藏于该条件下,每个处理 30 袋,每袋样品约 500 g。贮藏中定期测定试验指标。取样时从每个处理的 3 袋重复中各随机取 5 个核桃,剥取种仁后迅速切碎混匀,以测定各指标,重复 3 次,取平均值。

1.2 测定指标及方法

(1) SOD 活性:氮蓝四唑光还原法^[11]。

(2) CAT 活性:紫外吸收法^[11]。

(3) POD 活性:愈创木酚法^[11]。

(4) LOX 活性:参照文献[12]的方法,且略有改进。

反应底物制备:量取 70 μ L 亚油酸,70 μ L Tritonx-100 和 4 mL 无氧水,混匀(避免产生气泡)后用 0.5 mol/L NaOH 滴定至溶液澄清,定容至 25 mL,分装(1.0~1.5 mL),-18℃ 保存 2~3 d 备用。

酶液制备:取 2 g 核桃仁置于研钵内,加入 16 mL 经 4℃ 预冷的 50 mmol/L 的磷酸缓冲液(pH 值为 7.0),冰浴匀浆,14 000 r/min 冷冻离心 15 min,取上清液。

活性测定:反应体系中含亚油酸母液 75 μ L,缓冲液 2.775 mL,酶液 0.2 mL,反应温度 30℃,于波长 234 nm 处测定吸光度 OD 值的变化。加酶液后 15 s 开始计时,以 1 min 内 OD₂₃₄ 值的变化为 1 个酶活性单位,用 $\Delta OD_{234}/(g \cdot \text{min})$ 表示。

(5) MDA 含量:硫代巴比妥酸(TBA)法^[13]。

(6) 好果率及感官品质:参照文献[10]的方法。

好果率:贮藏期间定期随机取样 3 袋,观察核桃的腐烂和霉变情况。好果率为

$$\varphi = \frac{n}{N} \times 100\% \quad (1)$$

式中 n ——好果数 N ——被检查总果数

感官品质评价:在贮藏 0、60、90 及 120 d 时,从每个处理中随机取 30 粒核桃,10 人评分组分别从种壳色泽、种皮色泽和种仁风味 3 个方面分别进行打分,采用 5 分制评分标准^[4],5 分表示好,4 分表示较好,3 分表示可以接受,2 分表示差,1 分为劣。每项分值取平均值,综合评分为

$$\delta = 0.3\alpha + 0.3\beta + 0.4\gamma \quad (2)$$

式中 α ——种壳色泽平均分

β ——种皮色泽平均分

γ ——种仁风味平均分

1.3 数据处理与分析

试验结果采用 Excel 软件处理,并用 DPS 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 辐照对鲜食核桃 SOD、CAT、POD 和 LOX 活性的影响

辐照对鲜食核桃 SOD、CAT、POD 和 LOX 活性的影响如表 1 所示。SOD 与植物的抗逆性和抗衰老密切相关,是一种清除活性氧的重要保护酶。由表 1 可知,对照组核桃的 SOD 活性 15 d 内快速下

降,这可能与环境的骤然降温有关;辐照处理组核桃贮藏期间 SOD 活性均呈现先增大后减小再增大的变化趋势。0 d 时,处理组的 SOD 活性均低于对照,此时将活性 Y 与剂量 X 之间进行回归分析,发现二者之间符合线性方程 $Y = 245.55 - 9.4586X$,相关系数 $R = -0.98$,表明此时核桃的 SOD 活性与辐照剂量之间呈极显著负相关 ($P < 0.01$),辐照处理抑制了鲜食核桃 0 d 时的 SOD 活性。方差分析表明,5.0 kGy 剂量辐照处理与对照间呈显著差异 ($P < 0.01$),可能是较大剂量辐照引起过多自由基的生成,从而对 SOD 酶系统造成不同程度的破坏,导致酶代谢紊乱,致使酶活性快速下降^[14]。之后,处理组 SOD 活性快速增加,相继出现了活性高峰,其峰

值极显著的高于对照 ($P < 0.01$),这是由于辐照诱发了自由基的产生,自由基的产生又引起了 SOD 活性的提高,是植物组织的一种保护性反应;随着辐照产生的自由基被清除,SOD 活性又回落到较低水平,这与叶蕙等对草菇保鲜研究的结果相一致^[15]。60 d 后各组核桃的 SOD 活性总体上再次呈现上升趋势;90 d 后随着种仁的衰老,超氧阴离子自由基 ($\text{O}_2^- \cdot$) 快速积累,诱导 SOD 活性迅速增加。贮藏期 75 d 内,1.0、5.0 kGy 剂量处理核桃的 SOD 活性总体高于对照,之后比对照低;0.1、0.5 kGy 辐照处理明显提高了鲜食核桃整个贮藏期的 SOD 活性。可见,0.1、0.5 kGy 剂量辐照处理可增进鲜食核桃的耐贮性。

表 1 辐照对鲜食核桃 SOD、CAT、POD 和 LOX 活性的影响

Tab. 1 Effect of irradiation on SOD, CAT, POD and LOX activity of fresh walnut

指标	辐照剂量 /kGy	贮藏时间/d									
		0	15	30	45	60	75	90	105	120	
SOD / $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$	0	246 ± 10.90	224 ± 3.60	251 ± 7.24	241 ± 5.88	218 ± 7.55	231 ± 3.75	250 ± 4.17	274 ± 0.46	278 ± 0.34	
	0.1	240 ± 3.92	254 ± 2.23	257 ± 5.09	244 ± 2.91	227 ± 7.76	247 ± 2.63	254 ± 1.08	280 ± 1.09	273 ± 0.42	
	0.5	239 ± 2.27	248 ± 5.28	260 ± 9.41	250 ± 9.45	225 ± 6.90	227 ± 1.71	251 ± 5.94	278 ± 0.41	279 ± 0.66	
	1.0	242 ± 11.70	255 ± 3.77	254 ± 4.04	238 ± 13.50	227 ± 9.20	257 ± 2.61	222 ± 3.26	272 ± 0.74	279 ± 1.42	
	5.0	197 ± 9.46	248 ± 10.30	246 ± 4.51	244 ± 5.44	229 ± 3.60	248 ± 1.24	225 ± 1.54	270 ± 1.47	272 ± 0.40	
CAT / $\text{U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$	0	66.3 ± 0.40	75.9 ± 2.74	72.1 ± 0.17	86.6 ± 8.37	60.5 ± 4.95	45.7 ± 1.84	74.4 ± 6.54	53.4 ± 0.23	58.1 ± 0.24	
	0.1	67.3 ± 0.17	96.3 ± 2.71	77.7 ± 8.86	76.1 ± 3.37	69.3 ± 1.13	55.0 ± 8.06	69.6 ± 0.44	61.4 ± 0.45	67.1 ± 1.32	
	0.5	65.8 ± 8.00	85.4 ± 0.62	89.2 ± 0.17	70.3 ± 2.89	78.5 ± 1.53	41.3 ± 1.58	71.7 ± 0.08	67.8 ± 0.05	87.5 ± 0.47	
	1.0	69.5 ± 3.96	108.0 ± 9.08	88.8 ± 9.17	91.0 ± 2.30	84.4 ± 1.07	43.6 ± 3.08	71.8 ± 5.26	72.2 ± 0.19	61.3 ± 0.25	
	5.0	122.0 ± 2.43	81.2 ± 3.37	82.6 ± 2.56	72.8 ± 2.74	74.3 ± 0.23	68.3 ± 0.03	58.7 ± 0.91	55.5 ± 1.03	55.6 ± 1.00	
POD / $\text{U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$	0	5.97	7.79 ± 1.06	7.68 ± 0.60	7.15 ± 1.55	6.83 ± 1.28	12.69 ± 0.45	6.99 ± 0.27	6.72 ± 1.45	4.48	
	0.1	7.89	6.19	6.51 ± 1.38	7.68 ± 0.60	6.19 ± 0.91	4.91 ± 0.23	6.36 ± 0.93	22.19	7.68 ± 0.28	
	0.5	7.25 ± 0.30	4.37 ± 0.75	5.44 ± 0.75	4.37 ± 0.75	7.89 ± 0.91	8.43 ± 0.86	7.32 ± 0.30	5.65 ± 0.33	4.37 ± 0.15	
	1.0	6.19	6.72 ± 0.15	4.69 ± 0.60	6.72 ± 0.15	5.23 ± 0.15	24.3 ± 1.81	8.21 ± 0.28	5.23 ± 0.15	4.48	
	5.0	8.64 ± 0.15	5.23 ± 0.45	5.55 ± 0.30	6.19	4.91 ± 0.30	7.52 ± 0.32	7.04 ± 0.13	5.9 ± 0.87	10.7 ± 0.30	
LOX / $\Delta \text{OD}_{234} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$	0	314 ± 13.50	360 ± 22.63	310 ± 4.71	314 ± 9.48	168	352	262 ± 2.83	280 ± 12.88	268 ± 11.31	
	0.1	246 ± 2.46	356 ± 17.09	308	272 ± 5.66	228 ± 11.31	292 ± 11.31	358 ± 2.43	336 ± 16.97	264 ± 11.31	
	0.5	198 ± 8.49	266 ± 8.49	294 ± 2.83	310 ± 9.23	308 ± 11.31	270 ± 2.83	168 ± 5.66	382 ± 8.49	78 ± 19.80	
	1.0	242 ± 14.14	346 ± 14.14	302 ± 10.01	258 ± 7.48	220 ± 8.01	336 ± 5.66	222 ± 2.83	348	230 ± 8.49	
	5.0	152 ± 14.42	406 ± 16.08	456 ± 9.63	234 ± 2.83	170 ± 2.03	244 ± 11.31	228 ± 11.31	400 ± 6.11	236 ± 16.9	

CAT 是植物体保护自身免受 H_2O_2 毒害的关键酶,其活性变化也是影响贮藏性的重要因素之一。由表 1 可知,贮藏初期处理组的 CAT 活性均高于对照,其中 5.0 kGy 处理的活性极显著高于对照和其他处理组 ($P < 0.01$);之后该处理的 CAT 活性急速下降,其他各处理的 CAT 活性则急剧增高,在 15 d 后出现活性高峰,其峰值均极显著地高于对照 ($P <$

0.01)。原因可能是核桃经 γ 射线辐照后,刺激了种仁内 H_2O_2 的产生,作为一种自卫反应,其 CAT 活性增强;峰值之后 CAT 活性总体上呈现下降趋势。对照组在 45 d 时出现活性高峰,之后快速下降,表明此时对照组核桃的衰老程序可能已经启动;75 d 后随着核桃的快速衰老, H_2O_2 进一步积累,诱导 CAT 活性再次上升。整个贮藏期内,除了 45、75

及 90 d 外,处理组的 CAT 活性几乎持续高于对照,表明辐照处理诱导了鲜食核桃 CAT 活性的上升。

在油料种子及油脂的贮藏中,POD 能催化不饱和脂肪酸的氢过氧化物裂解,产生具有不良风味的挥发性羰基化合物,同时产生自由基,是反映其衰老的一个指标^[16]。表 1 显示,贮藏 0 d 时,1.0 kGy 处理的 POD 活性显著高于对照 ($P < 0.05$),其他 3 个辐照处理的活性均极显著高于对照 ($P < 0.01$),很可能是核桃自身对辐照刺激所产生不同程度损伤的直接应对反应。之后至 15 d 时处理组核桃的 POD 活性均有所下降,表明辐照引起的不良影响有所缓解,对照组 POD 活性呈上升趋势,则可能是环境低温所致。贮藏期 60 d 内,对照、0.1、0.5、1.0 和 5.0 kGy 处理核桃的 POD 活性呈平缓变化趋势,其活性的平均值分别为 7.08、6.89、5.86、5.91 和 6.10 U/(g·min),以对照组的活性最高,0.5 kGy 的活性最低,说明辐照后的鲜食核桃,在此阶段内 POD 活性受到不同程度的抑制,以 0.5 kGy 的抑制效果最明显。60 d 后各组核桃的 POD 活性呈现明显差异,对照和 1.0 kGy 处理均在 75 d 时出现活性高峰,0.1 kGy 处理的活性高峰则延迟在 105 d 出现,其活性出现峰值后均迅速下降。105 d 后,5.0 kGy 处理的 POD 活性极显著地高于除 0.1 kGy 外的其他各处理 ($P < 0.01$)。而贮藏后期 POD 活性升高的转折点以及升高的速率可作为衰老时期和衰老速度的预报指标,说明此时核桃进入迅速衰老阶段。方差分析表明,0.1、1.0 kGy 辐照处理核桃的 POD 活性峰值均极显著高于对照 ($P < 0.01$)。整个贮藏期内,除 0、60 和 90 d 外,0.5 kGy 处理核桃的 POD 活性几乎持续低于对照,表明该剂量处理对抑制鲜食核桃贮藏期间 POD 活性的效应最明显。

LOX 参与 O_2^- 和单线态氧等自由基的形成和膜脂过氧化过程,是影响细胞膜降解的关键酶。由表 1 可知,贮藏期间各组核桃的 LOX 活性均呈现双峰变化。第 1 次峰值的出现可能是鲜食核桃对低温、辐照逆境环境的应对反应,随着对环境的逐步适应,其活性有所下降;第 2 次峰值的出现则表明鲜食核桃进入不可逆的衰老期。0 d 时各辐照处理核桃的 LOX 活性极显著地低于对照 ($P < 0.01$);15 d 时对照、0.1、1.0 kGy 处理出现第 1 次峰值,5.0 kGy 处理的峰值虽于 30 d 时出现,但在 15 d 时其值仍极显著地高于对照 ($P < 0.01$);贮藏 60 d 后,LOX 活性存在上升趋势;75 d 时对照出现 LOX 活性第 2 次高峰,0.1 kGy 处理核桃的峰值出现在 90 d,其他各辐照处理的活性高峰则现在 105 d。贮藏期间,0.5 kGy 辐照处理的 LOX 活性变化最为平缓,在

105 d 时才出现明显的活性高峰,且 120 d 时其活性极显著地低于对照和其他处理 ($P < 0.01$)。可见,除 5.0 kGy 剂量辐照处理外,其他各剂量处理对鲜食核桃的 LOX 活性及其高峰期具有明显的调控作用,抑制了其膜脂过氧化反应,其中以 0.5 kGy 处理的效果较好。

2.2 辐照对鲜食核桃 MDA 含量的影响

MDA 积累的速率可表示组织中总的清除自由基能力的大小,可间接反映膜受损程度^[17-18]。图 1 为辐照对鲜食核桃 MDA 含量的影响。由图 1 可知,贮藏 0 d 时辐照处理鲜食核桃的 MDA 含量提高 2.44% ~ 88.25%,其中 5.0 kGy 处理的 MDA 含量极显著地高于对照 ($P < 0.01$)。贮藏期 60 d 内对照组核桃 MDA 含量变化平缓,表明此期间内其衰老速度非常缓慢;然后快速上升,表明其进入衰老阶段,至 75 d 时 MDA 积累达到最大,其含量极显著地高于处理组 ($P < 0.01$),之后呈下降趋势。贮藏期 75 d 内 5.0 kGy 辐照处理的 MDA 含量整体上呈现下降趋势,1.0 kGy 辐照处理的 MDA 含量处于波动状态,但 2 种剂量的 MDA 含量极显著高于对照和其他各处理 ($P < 0.01$)。75 d 之后,1.0 kGy 处理的 MDA 含量仍持续下降,其含量均值极显著低于对照 ($P < 0.01$),可见 1.0 kGy 剂量处理可延缓鲜食核桃贮藏后期的衰老速度。但 5.0 kGy 处理的 MDA 含量却呈现上升趋势,且仍极显著高于对照和其他各处理 ($P < 0.01$),表明该剂量辐照处理使鲜食核桃处在逆境胁迫下,自由基含量增加,从而使膜结构和功能受损,加速其衰老。整个贮藏期内,0.1、0.5 kGy 处理核桃的 MDA 含量呈缓慢增加趋势,但仍低于对照,以 0.5 kGy 处理的 MDA 含量最低。表明这 2 种剂量处理可抑制鲜食核桃贮藏期间 MDA 的累积,降低其膜脂过氧化程度,从而延缓其衰老进程,其中以 0.5 kGy 剂量处理的抑制效果较好。

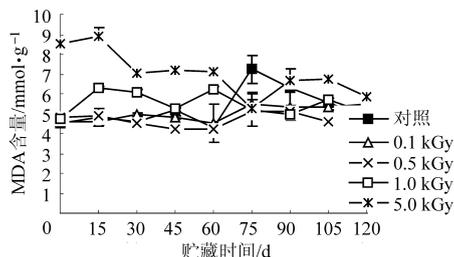


图 1 辐照对鲜食核桃 MDA 含量的影响

Fig. 1 Effect of irradiation on MDA content of fresh walnut

2.3 保护酶、LOX 活性与 MDA 含量之间的相关性

贮藏期间,对照及各辐照处理核桃的保护酶、LOX 活性与 MDA 含量之间的相关性如表 2 所示。可以看出,对照组核桃的 SOD 活性与 MDA 含量之

间几乎无相关性;CAT 活性与 MDA 含量间呈现一定的负相关;POD 活性与 MDA 含量之间呈现显著正相关;LOX 活性与 MDA 含量之间也呈现一定的正相关性,表明高 CAT 活性、低 POD 活性利于鲜食核桃的贮藏保鲜。0.1 kGy 剂量处理核桃的各指标与 MDA 含量间的相关性与对照相似,但 SOD 活性却与 MDA 含量呈现显著正相关。同时发现,0.1 ~ 5.0 kGy 剂量范围内,随着辐照剂量的增加,SOD、POD 活性与 MDA 含量之间的负相关性增强,CAT 活性与 MDA 含量的正相关性增强,表明随着辐照剂量的增加,SOD、POD 表现为保护酶的特性增强,CAT 则随着剂量的增加表现为衰老指标。除 0.5 kGy 剂量处理外,其他各处理 LOX 活性与 MDA 含量之间均呈现不同程度的正相关性,即 LOX 活性和 MDA 含量均可作为鲜食核桃的衰老损伤指标。可见,辐照处理对鲜食核桃贮藏期间的保护酶活性和膜脂过氧化程度产生了明显影响。有关 0.5 kGy 剂量处理核桃的 LOX 活性与 MDA 含量之间表现的极显著负相关性,其原因有待于进一步研究。

表 2 鲜食核桃贮藏期间保护酶、LOX 活性与 MDA 含量的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients between protective enzymes, LOX activity and MDA content of fresh walnut during storage

剂量/kGy	SOD	CAT	POD	LOX
0	0.03	-0.56	0.71*	0.34
0.1	0.69*	-0.58	0.27	0.35
0.5	0.09	-0.08	0.00	-0.79**
1.0	0.03	0.75*	-0.26	0.41
5.0	-0.49	0.67*	-0.37	0.14

注: * 代表显著, ** 代表极显著。

2.4 辐照对鲜食核桃好果率及感官品质的影响

鲜食核桃贮藏期间好果率的统计结果如图 2 所示。贮藏 60 d 时,仅 5.0 kGy 剂量处理核桃的好果率略低于对照,其他处理与对照的好果率均为 100%;之后对照、0.1、0.5、1.0 和 5.0 kGy 处理的好果率极显著下降 ($P < 0.01$),分别由 75 d 时的 86%、88%、95%、95% 和 90% 下降至 120 d 时的 50%、60%、85%、85% 和 50%。方差分析表明,0.1、5.0 kGy 处理与对照间差异不显著 ($P > 0.05$);0.5、1.0 kGy 剂量处理的好果率极显著地高于对照和其他处理 ($P < 0.01$),但二者之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 3 为辐照对鲜食核桃好果率的影响。由表 3 看出,0 d 时,0.1、0.5 kGy 剂量辐照处理的各项感官指标正常,其种壳色泽和种皮色泽分值均为 5 分;但

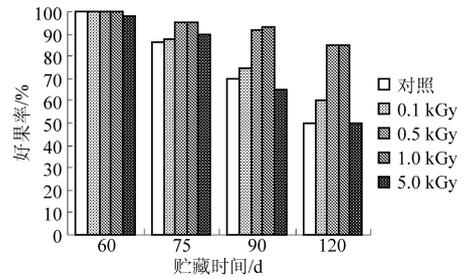


图 2 辐照对鲜食核桃好果率的影响

Fig. 2 Effect of irradiation on fine fruit rate of fresh walnut

1.0、5.0 kGy 处理的风味分值显著低于对照和其他处理 ($P < 0.05$),且 2 个处理之间差异也达到极显著水平 ($P < 0.01$)。这主要是因为辐照引起了核桃种仁异味的产生,以 5.0 kGy 处理的异味较为强烈,严重影响了核桃的食用品质。随着贮藏时间的延长,1.0、5.0 kGy 处理核桃的辐照异味逐渐消失;90 d 时,对照核桃的种壳和种皮色泽分值分别为 4.00 分和 3.92 分,5.0 kGy 处理的 2 项分值则低于对照,二者的种仁风味仍为 4.50 分,其他处理的各项分值均高于对照,但此时各组鲜食核桃种仁呈现较为明显的甜味;120 d 时,0.5、1.0 kGy 的综合分值极显著地高于对照 ($P < 0.01$),0.1 kGy 处理与对照间差异不显著 ($P > 0.05$),5.0 kGy 处理的综合分值则显著低于对照 ($P < 0.05$)。可见,贮藏期间 0.5 kGy 剂量处理的核桃无论在好果率还是在感官品质方面,都明显优于对照和其他处理。

表 3 辐照对鲜食核桃感官品质的影响

Tab. 3 Effect of irradiation on sensory quality of fresh walnut

贮藏时间/d	项目	辐照剂量/kGy				
		0	0.1	0.5	1.0	5.0
0	α	5.00 ^{Aa}	5.00 ^{Aa}	5.00 ^{Aa}	5.00 ^{Aa}	5.00 ^{Aa}
	β	5.00 ^{Aa}	5.00 ^{Aa}	5.00 ^{Aa}	5.00 ^{Aa}	5.00 ^{Aa}
	γ	5.00 ^{Aa}	5.00 ^{Aa}	5.00 ^{Aa}	4.80 ^{Ab}	4.00 ^{Bc}
	δ	5.00 ^{Aa}	5.00 ^{Aa}	5.00 ^{Aa}	4.92 ^{Aa}	4.60 ^{Bb}
60	α	4.55 ^{Ac}	4.60 ^{Abc}	4.75 ^{Ab}	4.80 ^{Aa}	4.70 ^{Aabc}
	β	4.40 ^{Aa}	4.50 ^{Aa}	4.55 ^{Aa}	4.50 ^{Aa}	4.45 ^{Aa}
	γ	4.70 ^{Aa}	4.72 ^{Aa}	4.74 ^{Aa}	4.70 ^{Aa}	4.60 ^{Aa}
	δ	4.57 ^{Aa}	4.62 ^{Aa}	4.69 ^{Aa}	4.67 ^{Aa}	4.59 ^{Aa}
90	α	4.00 ^{Bc}	4.15 ^{Bb}	4.50 ^{Aa}	4.50 ^{Aa}	3.85 ^{Cc}
	β	3.92 ^{Bbc}	4.00 ^{Bb}	4.40 ^{Aa}	4.40 ^{Aa}	3.80 ^{Bc}
	γ	4.50 ^{Aab}	4.50 ^{Aab}	4.63 ^{Aa}	4.42 ^{Ab}	4.50 ^{Aab}
	δ	4.18 ^{Bc}	4.25 ^{ABc}	4.52 ^{Aa}	4.44 ^{ABa}	4.10 ^{Cc}
120	α	3.65 ^{Bbc}	3.70 ^{Bb}	4.40 ^{Aa}	4.42 ^{Aa}	3.50 ^{Bc}
	β	3.42 ^{Bb}	3.48 ^{Bb}	4.38 ^{Aa}	4.40 ^{Aa}	3.00 ^{Cc}
	γ	4.20 ^{BCc}	4.42 ^{ABab}	4.50 ^{Aa}	4.30 ^{ABbc}	4.00 ^{Cd}
	δ	3.80 ^{BCb}	3.92 ^{Bb}	4.43 ^{Aa}	4.37 ^{Aa}	3.55 ^{Cc}

注:表中 A、B、C 表示同一贮藏期不同处理间有极显著差异 ($P < 0.01$), a、b、c 表示同一贮藏期不同处理间有显著性差异 ($P < 0.05$)。

3 结论

(1) 对鲜食核桃采用0(对照)、0.1、0.5、1.0和5.0 kGy剂量的⁶⁰Co γ 射线辐照处理,以5.0 kGy剂量处理显著加剧了其贮藏期内的膜脂过氧化程度。

(2) 0.5 kGy剂量辐照处理则明显提高了鲜食

核桃冷藏期间的SOD、CAT活性,减少了MDA含量的积累,抑制了POD、LOX活性,减缓了其膜脂过氧化作用,极显著地提高了好果率和感官品质。

(3) 综合考虑SOD、CAT、POD、好果率及感官品质等各项指标,确定90 d为辐照鲜食核桃的推荐贮藏时间;0.5 kGy为其贮藏期内的较佳辐照剂量。

参 考 文 献

- 1 欧利叶,梁红,刘胜洪,等. γ 射线辐射对银杏种子贮藏期间呼吸速率及品质的影响[J]. 植物资源与环境学报,2000,9(3):8~10.
Ou Liye, Liang Hong, Liu Shenghong, et al. Influence of gamma radiation on respiration rate and quality of ginkgo seed during storage[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2000, 9(3): 8~10. (in Chinese)
- 2 刘超,汪晓鸣,张福生. 辐照对板栗冷藏后期生理的影响[J]. 核农学报,2007,21(3):281~282.
Liu Chao, Wang Xiaoming, Zhang Fusheng. Effects of irradiation on physiology of chestnut under cold storage[J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2007, 21(3): 281~282. (in Chinese)
- 3 Mexis S, Badeka A, Chouliara E, et al. Effect of γ -irradiation on the physicochemical and sensory properties of raw unpeeled almond kernels (*Prunus dulcis*) [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 10(1): 87~92.
- 4 Evren Gölge, Gül den Ova. The effects of food irradiation on quality of pine nut kernels[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2008, 77(3): 365~369.
- 5 Wilson K G, Gerdes D L, Hall W R. The effect of gamma irradiation on the quality of english walnuts (*Juglans regia*) [J]. LWT-Food Science and Technology, 1995, 28(1): 17~20.
- 6 Mexis S F, Kontominas M G. Effect of γ -irradiation on the physicochemical and sensory properties of hazelnuts (*Corylus avellana* L.) [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2009, 78(6): 407~413.
- 7 Bachir M Al. Effect of gamma irradiation on fungal load, chemical and sensory characteristics of walnuts (*Juglans regia* L.) [J]. Journal of Stored Products Research, 2004, 40(4): 355~362.
- 8 Taipina M S, Lamardo L C A, Rodas M A B, et al. The effects of gamma irradiation on the vitamin E content and sensory qualities of pecan nuts (*Carya illinoensis*) [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2009, 78(7~8): 611~613.
- 9 马艳萍,刘兴华,李英超,等. 辐照对鲜食核桃发芽率与胚芽内源激素含量的影响[J]. 农业机械学报,2010,41(4): 114~118.
Ma Yanping, Liu Xinghua, Li Yingchao, et al. Effect of on budding inhibition and endogenous hormones content of embryo of fresh walnut[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4): 114~118. (in Chinese)
- 10 马艳萍,刘兴华,袁德保,等. 不同品种鲜食核桃冷藏期间呼吸强度及品质变化[J]. 农业工程学报,2010,26(1):370~374.
Ma Yanping, Liu Xinghua, Yuan Debao, et al. Changes of respiration intensity and quality of different varieties of fresh walnut during cold storage[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(1): 370~374. (in Chinese)
- 11 朱广廉. 植物生理学实验[M]. 北京:北京大学出版社,1990.
- 12 陈昆松,徐昌杰,楼健,等. 脂氧合酶与猕猴桃果实后熟软化的关系[J]. 植物生理学报,1999,25(2):138~144.
Chen Kunsong, Xu Changjie, Lou Jian, et al. Lipoxigenase in relation to the ripening and senescence of Actinidia fruits [J]. Acta Phytophydiologica, 1999, 25(2): 138~144. (in Chinese)
- 13 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安:世界图书出版公司,2000.
- 14 金梦阳,危文亮. ⁶⁰Co γ 射线辐照对续随子保护酶活性的影响[J]. 核农学报,2008,22(5):569~572.
Jin Mengyang, Wei Wenliang. The effects of ⁶⁰Co γ -rays irradiation on the activity of protective enzymes in caper spurge (*Euphorbia lathyris* L.) seedlings[J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2008, 22(5): 569~572. (in Chinese)
- 15 叶蕙,陈建勋,余让才,等. γ 辐照对草菇保鲜及其生理机制的研究[J]. 核农学报,2000,14(1):24~28.
Ye Hui, Chen Jianxun, Yu Rangcai, et al. The effect of irradiation on stored straw mushroom and the physiological mechanism[J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2000, 14(1): 24~28. (in Chinese)
- 16 菲尼玛. 食品化学[M]. 王璋,译. 北京:中国轻工业出版社,1991.
- 17 陈云飞,强继业. γ -射线辐照对植物保护性酶活性和MDA含量的影响[J]. 安徽农业科学,2006,34(10):2034~2035.
Chen Yunfei, Qiang Jiye. Effect of γ -ray irradiation on activity of protective enzymes and MDA content in plants[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2006, 34(10): 2034~2035. (in Chinese)
- 18 Ge T D, Sui F G, Bai L P, et al. Effects of water stress on the protective enzyme activities and lipid peroxidation in roots and leaves of summer maize[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(5): 922~928.