

^{60}Co γ 射线辐照对平菇采后生理及贮藏品质的影响

吴海霞

(运城学院生命科学系, 山西 运城 044000)

摘要: 为探讨 ^{60}Co γ 射线辐照在平菇贮藏保鲜中的应用效果, 以黑平1号为试材, 分别采用0.5、0.8、1.0、1.3、1.6 kGy和2.0 kGy ^{60}Co γ 射线对平菇进行辐照, 研究其在6 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏过程中的生理生化及贮藏品质的变化规律。结果表明, 采用0.5~1.0 kGy ^{60}Co γ 射线辐照处理, 可以改善平菇的贮藏品质, 贮藏第12天时1.0 kGy处理平菇的保鲜度为0.5, 贮藏效果最佳; 0.5~1.0 kGy辐照处理可以有效抑制平菇褐变及多酚氧化酶(PPO)活性的增强, 统计分析表明褐变度(browning degree, BD)与PPO活性呈显著正相关, 回归方程为: $\text{BD} = 0.0183 \text{ PPO活性} - 0.1527$ ($R^2 = 0.7539$, $P < 0.05$); 0.5~1.0 kGy ^{60}Co γ 射线辐照能延缓平菇体内超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)等修复酶活性的降低, 减少丙二醛(MDA)和超氧阴离子自由基($\text{O}_2^- \cdot$)的积累, 降低质量损失率。因此, 采用0.5~1.0 kGy ^{60}Co γ 射线辐照处理平菇, 可以延缓平菇的褐变及衰老, 保持其贮藏品质, 延长其货架期至10~12 d。

关键词: ^{60}Co γ 射线辐照; 平菇; 采后生理; 贮藏品质

Effect of ^{60}Co γ -irradiation on Postharvest Physiological and Storage Quality of *Pleurotus ostreatus*

WU Hai-xia

(Department of Life Science, Yuncheng University, Yuncheng 044000, China)

Abstract: This study aimed to examine the effect of ^{60}Co γ -irradiation on postharvest physiological and storage quality of *Pleurotus ostreatus*. *Pleurotus ostreatus* was treated with different doses of ^{60}Co γ -irradiation (0.5, 0.8, 1.0, 1.3, 1.6 and 2.0 kGy, respectively), and the changing patterns of the physiological and biochemical parameters and the storage quality during storage at 6 $^{\circ}\text{C}$ were observed. The results showed that the quality of *Pleurotus ostreatus* was improved with doses of ^{60}Co γ -irradiation in the range of 0.5–1.0 kGy, and the freshness was 0.5 by 1.0 kGy irradiation at the end of storage, which was best preserved under this condition. The ^{60}Co γ -irradiation at optimal doses of 0.5–1.0 kGy could effectively inhibit the browning and polyphenol oxidase (PPO) activity of *Pleurotus ostreatus*, and the browning degree (BD) was positively related with PPO activity by statistical analysis as shown in the following formula: $\text{BD} = 0.0183 \text{ PPO activity} - 0.1527$ ($R^2 = 0.7539$, $P < 0.05$). Moreover, the ^{60}Co γ -irradiation could also suppress the decreases in the activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and peroxidase (POD), and decrease the accumulation of malondialdehyde (MDA) and superoxide anion ($\text{O}_2^- \cdot$) and the weight loss. It is summarized that ^{60}Co γ -irradiation at 0.5–1.0 kGy can reduce the browning of *Pleurotus ostreatus*, delay the senescence, maintain its storage quality and prolong its shelf-life to 10–12 d.

Key words: ^{60}Co γ -irradiation; *Pleurotus ostreatus*; postharvest physiology; storage quality

中图分类号: S646.14; TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)18-0241-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201418046

平菇是我国食用菌主栽品种之一。目前有关食用菌的贮藏保鲜方法主要有低温冷藏、气调贮藏、涂膜、化学药物保鲜、植物激素保鲜、辐照保鲜等。 ^{60}Co γ 射线辐照作为一种物理保鲜方法, 节能环保、无残留、不改变材料的品质及外形, 且 γ 射线具有较高的能量及较强的穿透力, 在园艺产品的贮藏保鲜中应用广泛^[1-2]。研究报道, 采用一定剂量的 ^{60}Co γ 射线辐照处理可以延长苹果、

草莓、土豆、胡萝卜等果蔬的保鲜期^[3-6], 0~2.0 kGy辐照处理结合冷藏、聚乙烯膜包装等还可抑制蘑菇开伞, 延长双孢菇、秀珍菇、草菇等的货架期^[7-10]。与其他菌菇类相比, 平菇产量大、价格低, 关于其贮藏保鲜的研究及关注相对较少, 吴海霞等^[11]采用不同浓度1-甲基环丙烯对平菇进行熏蒸处理进而延长平菇货架期, 属于化学药物保鲜的范畴, 本实验拟采用不同剂量 ^{60}Co γ 射线对采后平菇进行辐照

收稿日期: 2013-11-07

基金项目: 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CXZZ12_0544)

作者简介: 吴海霞(1980—), 女, 讲师, 博士研究生, 研究方向为农产品贮藏保鲜及植物活性成分。E-mail: whxviolet@163.com

处理,并从感官品质、活性氧代谢、过氧化脂质及相关酶活性等方面研究辐照处理对采后平菇品质改善的效果,从而确定适宜的辐照剂量范围。

1 材料与方法

1.1 材料

供试平菇:黑平1号。新鲜平菇于 $(2\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 条件下预冷7 h后,选择符合要求的平菇进行实验。

1.2 方法

1.2.1 平菇 ^{60}Co γ 射线辐照处理

样品处理:将供试平菇置托盘,分别以0.0(对照)、0.5、0.8、1.0、1.3、1.6、2.0 kGy的剂量进行 ^{60}Co γ 射线辐照处理,包装后于 $(6\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 贮藏。每间隔2 d测定相关指标,共测定12 d。

辐照条件:辐照钴源 ^{60}Co 活度为 $3.5\times 10^{14}\text{ Bq}$,吸收剂量用Fricke剂量计(FeSO_4 剂量计)测定^[8-10],剂量率为2.8 Gy/min,辐射场温度为20~25 $^{\circ}\text{C}$ 。

1.2.2 指标测定

1.2.2.1 感官评定

感官评定指标^[7,12]及评定标准见表1,并以感官评分分值^[11]按式(1)计算平菇保鲜度。

表1 平菇的感官评定标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of *Pleurotus ostreatus*

颜色		萎蔫程度		腐烂程度		风味	
分值	感官等级	分值	感官等级	分值	感官等级	分值	感官等级
4	青灰色	4	不萎蔫	8	无腐烂	4	气味正常
3	轻微褐变	3	开始出现萎蔫趋势	5	开始出现腐烂趋势	3	气味较淡
2	褐变明显	2	萎蔫	3	出现腐烂点	2	略有异味
1	严重褐变	1	严重萎蔫	1	腐烂	1	强烈异味

$$\text{平菇保鲜度} = \frac{\text{贮藏后平菇感官品质分值}}{\text{实验开始时平菇感官品质分值}} \quad (1)$$

1.2.2.2 质量损失率计算

质量损失率按式(2)计算。

$$\text{质量损失率}/\% = \frac{\text{贮前菇体质量} - \text{贮后菇体质量}}{\text{贮前菇体质量}} \times 100 \quad (2)$$

1.2.2.3 生理生化指标的测定

分别测定褐变度(brown degree, BD)^[6-7]、多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)活性^[7]、超氧阴离子自由基($\text{O}_2^{\cdot-}$)产生速率^[8,12]、丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量^[11,13]、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性^[11,14]、过氧化氢酶(catalase, CAT)^[11,13]及过氧化物酶(peroxidase, POD)活性^[12-13]。

1.3 数据分析

SAS8.1软件进行统计分析,ANOVA进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 辐照对平菇贮藏过程中感官品质的影响

表2 辐照对平菇采后感官品质(保鲜度)的影响

Table 2 Effect of irradiation on postharvest sensory quality of

Pleurotus ostreatus

组别	处理剂量/kGy	贮藏时间/d							
		0	1	2	4	6	8	10	12
对照	0.0	1.00	0.70	0.60	0.45	0.35	0.35	0.30	0.25
1	0.5	1.00	0.80	0.70	0.70	0.65	0.55	0.50	0.45
2	0.8	1.00	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.50	0.45
3	1.0	1.00	0.80	0.75	0.75	0.70	0.65	0.60	0.50
4	1.3	1.00	0.70	0.70	0.60	0.60	0.50	0.45	0.35
5	1.6	1.00	0.70	0.65	0.50	0.40	0.40	0.35	0.30
6	2.0	1.00	0.70	0.60	0.50	0.35	0.35	0.30	0.25

表2为平菇经不同剂量 ^{60}Co γ 射线辐照,并贮藏不同时间后样品的保鲜度,保鲜度小于0.5时认定平菇失去商品价值。从表2可知,贮藏前4 d,对照及各辐照处理平菇的保鲜度均大于0.5,具有一定的商品价值。贮藏第4天时,对照及0.5~2.0 kGy辐照处理平菇的保鲜度分别为0.45、0.70、0.70、0.75、0.60、0.50和0.50,此时对照已失去商品价值,而经辐照处理的平菇还具有较好的外观品质;之后,随贮藏时间延长,经1.6、2.0及1.3 kGy辐照处理的平菇分别于贮藏第6、10天依次失去商品价值;至贮藏第12天时,仅1.0 kGy辐照处理平菇的保鲜度为0.5,保鲜效果最好。结果表明,0.5~1.0 kGy ^{60}Co γ 射线辐照均可不同程度延长平菇货架期,而进一步加大辐照剂量可能会对平菇细胞等产生不利影响。

2.2 辐照对平菇质量损失率的影响

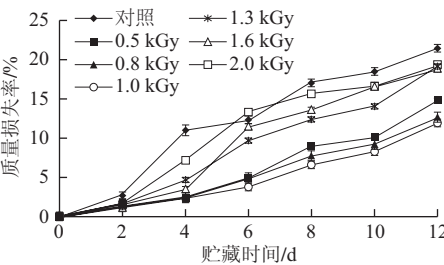


图1 辐照对平菇质量损失率的影响

Fig.1 Effect of irradiation on weight loss of *Pleurotus ostreatus*

新鲜平菇表面结构疏松、组织脆嫩,且含水量高,贮藏过程中水分散失较为严重,从而影响菇体品质。由图1可知,贮藏2 d后,各处理平菇的质量损失率开始明显增大,4 d后,1.3、1.6、2.0 kGy处理平菇的质量损失率迅速增大,至第12天时其质量损失率分别达18.95%、19.03%、19.45%,均显著高于0.5、0.8、1.0 kGy处理(14.78%、12.78%、12.06%, $P<0.05$)。因此,一定剂量的辐照处理可以抑制平菇水分含量的散失,其中0.5、

0.8、1.0 kGy 3 个处理的效果较好, 其质量损失率均极显著低于对照 (21.36%, $P<0.01$), 但3 个处理间差异不显著 ($P>0.05$)。

2.3 辐照对平菇BD值及PPO活性的影响

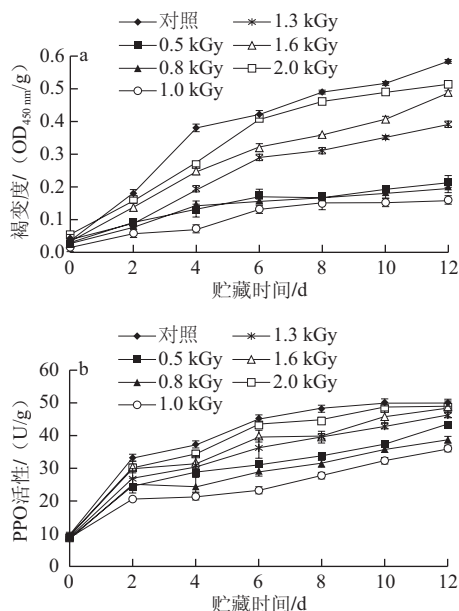


图2 辐照对平菇褐变度(a)及PPO活性(b)的影响

Fig.2 Effect of irradiation on PPO activity and browning degree of *Pleurotus ostreatus*

平菇采收后, 组织仍在进行活跃的代谢活动, 随着贮藏时间的延长, 组织中的氧化-还原失衡、氧化产物积累, 引起褐变, 菌褶褐变是评价平菇褐变最为重要的指标^[14-15]。由图2a可知, 0.5~1.0 kGy辐照处理平菇的BD值随辐照剂量的增大而降低, 随辐照剂量进一步加大至1.3~2.0 kGy后, 平菇的褐变程度反而随剂量加大而不断加强。贮藏第6天时, 各处理平菇的BD值依次为0.17、0.15、0.13、0.29、0.32、0.41 OD_{450 nm}/g, 分别较对照降低了59.52%、64.29%、69.05%、30.95%、23.81%和2.38%, 且0.5~1.0 kGy处理间差异不显著 ($P>0.05$), 但均显著低于1.3、1.6 kGy处理 ($P<0.05$), 极显著低于对照和2.0 kGy处理 ($P<0.01$)。

随着贮藏时间的延长平菇的褐变程度会不断加剧, 直至失去商品价值, 在此过程中, 参与促进褐变的酶类主要是PPO^[16-18]。如图2b可知, 平菇贮藏期间PPO活性的变化趋势与褐变度趋势基本一致。整个贮藏期间, 各处理平菇PPO活性均持续增强。贮藏2 d时, 各处理平菇的PPO活性增加最为剧烈, 随后变化平缓至贮藏结束, 且各辐照处理平菇的PPO活性均低于对照。其中, 1.0 kGy处理平菇的PPO活性始终保持最低的状态, 贮藏第4、6、8、10、12天, 活性分别为21.36、23.22、27.53、32.47、35.64 U/g, 极显著低于对照及1.6、2.0 kGy处理 ($P<0.01$)。回归统计分析结果表明, 6 d时BD与PPO

活性呈显著正相关, 相关方程为: $BD=0.0183 \text{ PPO活性}-0.1527$ ($R^2=0.7539$, $P<0.05$)。

2.4 辐照对平菇活性氧代谢有关指标的影响

2.4.1 辐照对平菇O₂⁻含量的影响

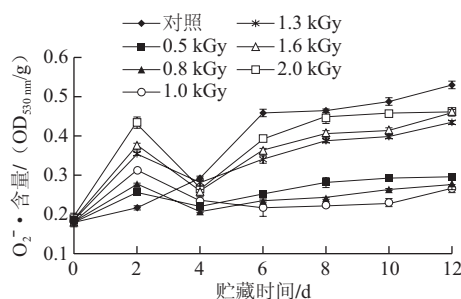


图3 辐照对平菇O₂⁻含量的影响

Fig.3 Effect of irradiation on superoxide anion radical content of *Pleurotus ostreatus*

O₂⁻具有较强的氧化作用, 能迅速攻击DNA及生物膜, 造成不可修复的生物分子结构破坏, 引起代谢功能紊乱甚至细胞死亡^[8,10]。由图3可知, 对照的O₂⁻含量在贮藏期内呈持续上升的趋势, 第12天时O₂⁻含量达0.53 OD_{530 nm}/g; 而经辐照处理的平菇在贮藏第2天时O₂⁻含量均出现峰值, 且随剂量增大, 峰值依次增大, 至第4天时含量回落, 之后又缓慢上升至贮藏结束。在贮藏后期 (6~12 d), 在0.5~1.0 kGy范围内, 随辐照剂量的增大O₂⁻含量不断降低, 1.0 kGy处理的O₂⁻含量始终最低, 极显著低于对照及1.3~2.0 kGy各处理 ($P<0.01$), 但与0.5、0.8 kGy处理间差异不显著 ($P>0.05$)。

2.4.2 辐照对平菇MDA含量的影响

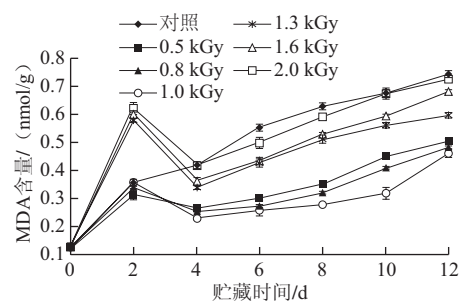


图4 辐照对平菇MDA含量的影响

Fig.4 Effect of irradiation on MDA content of *Pleurotus ostreatus*

植物器官衰老时会发生膜脂过氧化作用, MDA是膜脂过氧化的最终产物, 是膜系统受损害的重要标志^[8,10], 其含量反映了膜脂过氧化的程度。由图4可知, 对照处理平菇的MDA含量在整个贮藏期间呈持续增加的趋势, 从贮藏第1天开始即快速增加, 持续至第12天时MDA含量达到了0.74 nmol/g; 其余各辐照处理平菇在贮藏过程中, 均呈现上升-下降-上升的变化过程, 第2天时MDA

含量出现第一次峰值, 0.5~1.0 kGy各处理的峰值分别为0.31、0.35、0.36 nmol/g, 1.3~2.0 kGy各处理的峰值依次为0.58、0.60、0.62 nmol/g; 贮藏4 d后至贮藏结束, 1.0 kGy处理平菇的MDA含量一直保持最低水平, 贮藏10 d时的MDA含量为0.32 nmol/g, 极显著低于对照及1.3~2.0 kGy各处理 ($P<0.01$), 但与0.5、0.8 kGy处理差异不显著 ($P>0.05$); 贮藏至第12天时, 各处理平菇MDA含量均达到最大。

2.4.3 辐照对平菇SOD活性的影响

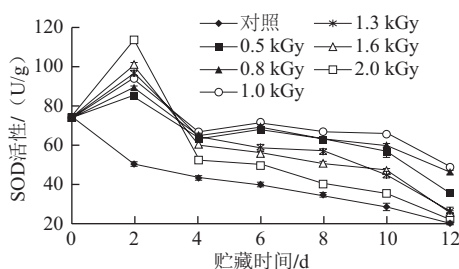


图5 辐照对平菇SOD活性的影响

Fig.5 Effect of irradiation on SOD activity of *Pleurotus ostreatus*

SOD是活性氧清除过程中第一个发挥作用的抗氧化酶, 可维持细胞内氧代谢平衡, 保持膜结构的完整性, 催化 O_2^- 发生歧化作用, 生成无毒的 O_2 和毒性较低的 H_2O_2 等, 延缓植物器官的衰老进程^[7,16]。研究表明^[13,16], 低剂量 γ 射线辐照能提高植物体内SOD活性, 而高剂量辐照则会对SOD活性产生抑制。从图5可知, 随着贮藏时间延长, 对照的SOD活性逐渐下降, 而各辐照处理的SOD呈先上升再下降的变化规律, 在贮藏第2天时均出现峰值, 且随辐照剂量的增大峰值依次增大, 0.5~2.0 kGy各处理SOD的活性峰值分别为85.21、90.34、93.79、96.78、100.81、113.62 U/g, 较对照分别提高了69.31%、79.50%、86.33%、92.30%、100.28%和125.71%。这可能是由于 γ 射线辐照对平菇体内系统刺激之后所产生的应激反应。

2.4.4 辐照对平菇CAT活性的影响

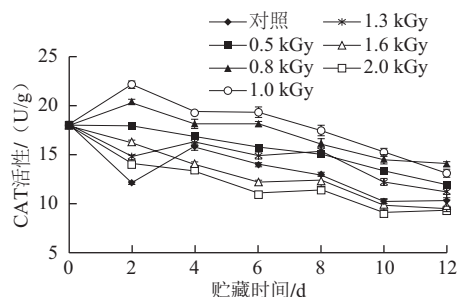


图6 辐照剂量对平菇CAT活性的影响

Fig.6 Effect of irradiation on CAT activity of *Pleurotus ostreatus*

CAT是一种内源活性氧清除剂, 可延缓细胞衰老进程^[11,13]。如图6所示, 平菇贮藏过程中, 其CAT活性整体

呈下降趋势。贮藏第2天时, 0.5~1.0 kGy各处理的CAT活性略有升高, 对照及其他辐照处理的CAT活性均不同程度下降, 其中对照下降幅度最大。之后, 0.5~1.0 kGy各处理的CAT活性也开始下降, 贮藏至第10天时, 0.8、1.0 kGy处理的CAT活性均极显著高于对照及1.6、2.0 kGy处理 ($P<0.01$)。

2.4.5 辐照对平菇POD活性的影响

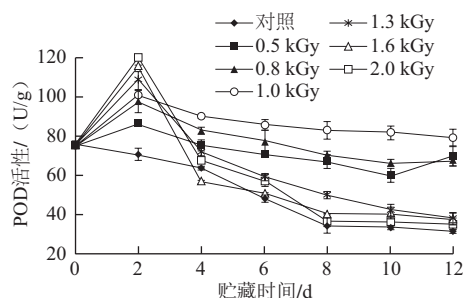


图7 辐照对平菇POD活性的影响

Fig.7 Effect of irradiation on POD activity of *Pleurotus ostreatus*

POD是细胞呼吸代谢过程中重要的末端氧化酶, 参与清除植物体内的 H_2O_2 , 从而使机体免受毒害, 较高的POD活性在一定程度上可以延缓细胞衰老^[10,19]。由图7可知, 随贮藏时间延长, 对照的POD活性呈下降趋势, 而各辐照处理平菇在贮藏第2天时其POD活性均出现峰值, 且对辐照诱导表现出很好的剂量效应, 此时POD活性的急剧上升, 很可能是平菇对辐照产生损伤的直接应对反应。2 d之后, POD活性以不同速度开始下降, 其中1.3~2.0 kGy各处理的POD活性下降幅度较大, 第4天后, 1.6、2.0 kGy处理的POD活性低于对照; 0.5~1.0 kGy各处理的POD活性在第2天后缓慢下降, 且辐照剂量越高POD活性越大, 贮藏结束时, 1.0 kGy处理的POD活性极显著高于对照及1.3~2.0 kGy各处理 ($P<0.01$)。

3 讨论

平菇采收后, 组织中仍在进行活跃的代谢活动, 并随贮藏时间延长不断褐变衰老, 失去商品价值。对膜脂代谢的研究表明, 果蔬衰老时, 活性氧物质的含量增加, 膜脂过氧化程度加剧, MDA含量增加, 膜透性增强, 并最终对细胞膜产生严重的伤害作用^[14,20]; 同时MDA可与游离氨基酸、核酸作用形成具有共轭二烯的Shiff碱基结构的脂褐色素, 导致褐变增强, 引起衰老^[15]。可见, 活性氧物质的增加是果蔬采后褐变和衰老的关键所在。

正常情况下, 植物体内活性氧自由基 (O_2^- 、 H_2O_2 、 O_2) 的产生与消除处于动态平衡, SOD、POD及CAT在维持这种平衡中起着重要作用。研究^[21-22]表明, SOD、POD等修复酶活性表达水平与果蔬细胞的受损程度密切相关。辐照处理后植物体可通过一系列修复酶的

活动对活性氧的爆发产生应对反应,不同的酶对辐照诱导存在各自不同的调节机制^[17,23]。本实验结果显示,平菇经辐照处理后贮藏第2天时,SOD、POD、CAT等酶活性与 O_2^- 、MDA含量分别出现峰值(图3~7),认为可能是辐照诱发的 O_2^- 等自由基的产生引起了SOD等酶活性的升高与膜脂过氧化程度的加剧(MDA含量升高),随着自由基的清除,生物体的自我修复使得MDA水平出现回落,SOD等酶活性也回落到较低水平。统计分析结果表明(6 d时),平菇组织内 O_2^- 含量与SOD、POD和CAT活性存在显著相关性,其回归方程为: O_2^- 含量=0.106 6+0.001 0 SOD活性-0.035 8 CAT活性+0.008 5 POD活性($R^2=0.854 8$, $P<0.05$)。

许多研究^[24-25]表明, γ 射线辐照对生物体产生的影响与辐照剂量密切相关, γ 射线辐照有一个阈值,高于或低于这个剂量都不会产生最佳的辐照处理效果。因此,从贮藏保鲜角度而言,辐照引起的生理损伤小而生命抗性强是确定辐照剂量的关键。

本实验结果表明,0.5~1.0 kGy处理平菇的贮藏效果均优于对照,其中1.0 kGy辐照效果最佳,贮藏中后期经其处理平菇的保鲜度均高于其他处理,保鲜效果最好,继续加大辐照剂量至2.0 kGy对平菇贮藏品质的改善意义不大甚至产生不利影响;0.5~1.0 kGy辐照处理能明显抑制贮藏期间平菇PPO活性的增强及褐变的发生,统计分析表明BD与PPO活性呈显著正相关,回归方程为:BD=0.018 3 PPO活性-0.152 7($R^2=0.753 9$, $P<0.05$);0.5~1.0 kGy辐照处理能延缓平菇后熟进程中的活性氧代谢及SOD、CAT、POD等修复酶活性的降低,减缓膜脂过氧化,降低质量损失率,进而延缓平菇的褐变及衰老进程,改善贮藏品质,延长货架期至10~12 d。

参考文献:

- [1] 李国柱,崔德芳.食品辐照保藏技术[M].北京:中国农业科技出版社,2001:102-110.
- [2] KUME T, FURUTA M, TODORIKI S, et al. Status of food irradiation in the world[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2009, 78: 222-226.
- [3] WANG J, CHAO Y. Effect of ^{60}Co irradiation on drying characteristics of apple[J]. Journal of Food Engineering, 2003, 56: 347-351.
- [4] VU K D, HOLLINGSWORTH R G, SALMIERI S, et al. Development of bioactive coatings based on γ -irradiated proteins to preserve strawberries[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2012, 81(8): 211-214.
- [5] WANG J, CHAO Y. Effect of gamma irradiation on quality of dried potato[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2003, 66(4): 293-297.
- [6] NAYAK C A, SUGUNA K, NARASIMHAMURTHY K, et al. Effect of gamma irradiation on histological and textural properties of carrot, potato and beetroot[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(3): 765-770.
- [7] 朱继英,王相友,许英超.贮藏温度对双孢蘑菇采后生理和品质的影响[J].农业机械学报,2005,36(11):92-94;97.
- [8] 叶惠,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.
- [9] 夏志兰,熊兴耀,姜性坚,等. ^{60}Co γ 辐照在秀珍菇中的应用研究[J].激光生物学报,2005,14(1):60-64.
- [10] XIONG Qiaoling, XING Zengtao, FENG Zhiyong, et al. Effect of ^{60}Co γ -irradiation on postharvest quality and selected enzyme activities of *Pleurotus nebrodensis*[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42: 157-161.
- [11] 吴海霞,陈雷.1-MCP对平菇采后生理及贮藏品质的影响[J].江苏农业学报,2013,29(5):1159-1165.
- [12] 单楠,杨芹,杨文建,等.纳米包装材料延长金针菇贮藏品质的作用[J].食品科学,2012,33(2):262-266.
- [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,2007:46-49.
- [14] 马艳萍,马惠玲,刘兴华,等. ^{60}Co γ 射线辐照对鲜食核桃采后膜脂过氧化作用的影响[J].农业机械学报,2011,42(12):171-176.
- [15] 荣瑞芬,叶磊,李丽云.草菇保鲜新技术研究及褐变机理初探[J].食品科学,2009,30(4):282-285.
- [16] FERNANDES A, BARREIRA J C M, ANTONIO A L, et al. Study of chemical changes and antioxidant activity variation induced by gamma-irradiation on wild mushrooms: comparative study through principal component analysis[J]. Food Research International, 2013, 54(1): 18-25.
- [17] 金梦阳,危文亮. ^{60}Co γ 射线辐照对连续子保护酶活性的影响[J].核农学报,2008,22(5):569-572.
- [18] 廖文艳,王俊,于勇,等. ^{60}Co γ 辐照对胡萝卜干燥特性的影响[J].农业机械学报,2010,41(6):123-127;171.
- [19] 谢福泉,谢宝贵,林远崇,等. ^{60}Co - γ 辐照对草菇生理生化指标及保鲜效果的影响[J].食用菌学报,2005(2):41-46.
- [20] 刘学铭,廖森泰,陈智毅.草菇的化学特性与药理作用及保鲜与加工研究进展[J].食品科学,2011,32(1):260-264.
- [21] 徐丽婧,高丽朴,王清,等.辐照保鲜技术及其在双孢蘑菇保鲜中的应用[J].食品工业科技,2014,35(9):392-395.
- [22] 张建伟,陈云堂,杨保安,等. ^{60}Co γ 射线辐照对板栗果影响效应的研究[J].食品科学,2002,23(9):108-112.
- [23] 王华,徐春雅,李倩倩,等. ^{60}Co γ 射线对葡萄籽超微粉辐照灭菌及其主要功能性成分的影响[J].食品科学,2009,30(13):97-100.
- [24] FERNANDES A, ANTONIO A L, OLIVEIRA M B, et al. Effect of gamma and electron beam irradiation on the physico-chemical and nutritional properties of mushrooms: a review[J]. Food Chemistry, 2012, 135: 641-650.
- [25] SOMMER I, SCHWARTZ H, SOLAR S, et al. Effect of gamma-irradiation on flavour 50-nucleotides, tyrosine, and phenylalanine in mushrooms (*Agaricus bisporus*)[J]. Food Chemistry, 2010, 123: 171-174.