

# 1-甲基环丙烯结合 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 辐照处理在李子保鲜中的应用

Effect of the treatment of 1-MCP combined with  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  irradiation on the storage of plum fruit

罗冬兰 曹 森 马 超 王 瑞 巴良杰

LUO Dong-lan CAO Sen MA Chao WANG Rui BA Liang-jie

(贵阳学院, 贵州 贵阳 550005)

(Guiyang University, Guiyang, Guizhou 550005, China)

**摘要:**目的:以李子为试材,研究 1-甲基环丙烯(1-MCP)和 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 辐照处理对李子贮藏期果实品质的影响。**方法:**考察了 1-MCP(1  $\mu\text{L/L}$ 熏蒸处理)结合 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 辐照(1.5 kGy)处理对李子贮藏期的腐烂率、失重率、硬度、丙二醛、相对电导率、可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C 含量以及活性氧代谢相关 CAT、POD 和 SOD 等酶的活性的影响。**结果:**1-MCP 结合 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 辐照处理能够有效抑制李子贮藏期腐烂率、失重率的升高,保持较好的果实硬度、可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C 含量,抑制丙二醛和相对电导率的增加,提高 CAT、POD 和 SOD 酶的活性。**结论:**1-MCP 结合 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 辐照处理能够有效延长李子采后贮藏期。

**关键词:**李子;1-甲基环丙烯; $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 辐照;贮藏;品质

**Abstract:** **Objective:** The effect of 1-MCP and  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  irradiation on the quality of plum during postharvest storage was investigated. **Methods:** In this study, the plum was treated with 1.5 kGy  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  irradiation, and then was fumigated with 1  $\mu\text{L/L}$  1-MCP. The rot ratio, water loss ratio, malondialdehyde content, relative conductivity, total soluble solids content, titratable acid content,  $V_C$  content, CAT and POD, and SOD of activity were to reveal the effect were measured. **Results:** The results showed that 1-MCP combined with  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  irradiation treatment could effectively inhibit rot and water loss ratios and maintain hardness, total soluble solids, titratable acid and  $V_C$  content. Consequently the malondialdehyde content increasing and relative

conductivity were delayed. The activities of CAT, POD and SOD were significantly increased. **Conclusion:** 1-MCP combined with  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  irradiation treatment can effectively maintain the storage quality of the plum and then prolong its shelf life.

**Keywords:** plum; 1-MCP;  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  irradiation; storage; quality

李子属于蔷薇科李属植物,因果肉酸甜、脆嫩可口、色泽诱人、富含多种有机酸、蛋白质、维生素 C、硫胺素、钾、铁等多种元素,且价格亲民,而深受广大消费者青睐<sup>[1]</sup>。李子果实的采收期一般在夏季,高温多雨,采摘后呼吸代谢旺盛,运输过程中易造成机械损伤,加速病害侵染,进而加速果实衰老,加上成熟期集中,造成大量果实滞销,出现“丰产不丰收”的现象,严重阻碍了李子产业的发展。目前,李子采后常用的贮藏保鲜技术主要为低温贮藏、化学保鲜方法、气调技术<sup>[2-3]</sup>等。但这些技术成本比较高、操作复杂、贮藏期短且易造成冷害。

1-甲基环丙烯(1-MCP)可以有效抑制乙烯与受体蛋白的结合,从而降低果实对乙烯的敏感性,延缓果实的后熟和衰老,延长果实贮藏期<sup>[4-6]</sup>。1-MCP 因具有使用方便、操作简单、无残留等优点而被应用于果实采后保鲜,但贮藏后期病害加重、果实口感变差等问题严重影响果实的贮藏品质<sup>[7]</sup>。辐照技术是利用 $^{60}\text{Co}$ 放射源产生 $\gamma$ 射线或加速器产生的高能电子束来辐照处理水果,抑制水果表面和内部的微生物活性,同时可以抑制水果的呼吸,延缓腐烂,延长贮藏时间<sup>[8-9]</sup>。通过 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 辐照处理,既可以有效抑制果实对乙烯的敏感性,延缓衰老,又可以对果实进行有效杀菌,抑制微生物的生长,保持较好的贮藏品质,已被应用于蓝莓<sup>[10]</sup>等水果保鲜中。研究拟通过 1-MCP 结合 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 辐照技术对采后李子进行处理,研究其对李子贮藏品质的影响,并探究其保鲜机制,以期李子采后贮藏保鲜技术的研究提供依据。

**基金项目:**贵阳市科技计划项目(编号:筑科合同[2020]37-1 号);贵阳市科技局贵阳学院专项资金资助(编号:GYU-KY-(2021))

**作者简介:**罗冬兰,女,贵阳学院讲师,硕士。

**通信作者:**巴良杰(1988—),男,贵阳学院副教授,博士。

E-mail: baliangjie@163.com

**收稿日期:**2021-03-02

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

供试李子:品种为“青脆李”,采收于贵州省贵阳市李子种植基地;

1-甲基环丙烯(1-MCP):纯度 $\geq 98\%$ ,美国陶氏益农公司;

PE 保鲜膜:0.02 mm,国家农产品保鲜工程技术研究中心;

保鲜冷库: $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,国家农产品保鲜工程技术研究中心;

$^{60}\text{Co-}\gamma$  静态辐照源:贵州省农业科学院辐照中心;

质构仪:TA.XT.Plus 型,英国 SMS 公司;

紫外分光光度计:UV-2550 型,日本 Shimadzu 公司;

迷你数显折射计:PAL-1 型,日本 ATAGO 公司;

数显酸度计:pHS-25 型,上海虹益仪器仪表有限公司;

残氧仪:PBI Dansensor 型,丹麦丹圣公司;

台式高速冷冻离心机:TGL-16A 型,长沙平凡仪器仪表有限公司。

### 1.2 试验方法

李子采后立刻运至实验室,挑选大小一致、无机械伤、无病虫害、颜色一致的李子随机分成 4 组。辐照时用重铬酸银剂量计进行剂量跟踪(辐照剂量  $1.5\text{ kGy}$ ,实测剂量为  $1.52\text{ kGy}$ )。22  $^{\circ}\text{C}$  下,0  $\mu\text{L/L}$  的 1-MCP 熏蒸 20 h,于 0  $^{\circ}\text{C}$  贮藏 60 d,记作 CK 组;22  $^{\circ}\text{C}$  下,1  $\mu\text{L/L}$  的 1-MCP 熏蒸 20 h,于 0  $^{\circ}\text{C}$  贮藏 60 d,记作 1-MCP 组;采用  $1.5\text{ kGy}$  辐照处理 45 min,于 0  $^{\circ}\text{C}$  贮藏 60 d,记作 Co- $\gamma$  组;采用  $1.5\text{ kGy}$  辐照处理 45 min,22  $^{\circ}\text{C}$  下,1  $\mu\text{L/L}$  的 1-MCP 熏蒸 20 h,于 0  $^{\circ}\text{C}$  贮藏 60 d,记作 1-MCP+Co- $\gamma$  组。每隔 15 d 对 4 个处理组李子样品进行观察、取样、指标测定。

### 1.3 指标测定

1.3.1 硬度、可溶性固形物、可滴定酸含量 参照巴良杰等<sup>[11]</sup>的方法。

1.3.2 腐烂率和失重率 参照巴良杰等<sup>[12]</sup>的方法。

1.3.3 相对电导率、丙二醛、维生素 C 含量 参照曹建康等<sup>[13]</sup>的方法。

1.3.4 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性 参照司敏等<sup>[14]</sup>的方法。

### 1.4 数据处理

采用 Excel 2016 软件进行统计处理,采用 SPSS 22.0 软件进行差异显著分析,采用 Excel 2016 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 对腐烂率、失重率和硬度的影响

2.1.1 腐烂率 由图 1 可知,随着贮藏时间的延长,腐烂率逐渐增加。贮藏 15~60 d,4 个处理组的腐烂率均迅速增加,CK 组的增加速度显著高于 1-MCP、Co- $\gamma$  和

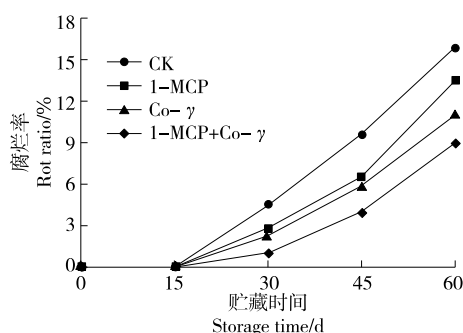


图 1 1-MCP 结合  $^{60}\text{Co-}\gamma$  辐照处理对李子腐烂率的影响  
Figure 1 Effect of 1-MCP combined with  $^{60}\text{Co-}\gamma$  irradiation treatment on rot ratio of plum fruits

1-MCP+Co- $\gamma$  处理组。贮藏第 60 天,CK、1-MCP、Co- $\gamma$  和 1-MCP+Co- $\gamma$  4 个处理组的腐烂率分别为 15.9%, 13.5%, 11.1%, 8.9%, 且差异显著 ( $P < 0.05$ )。综上,1-MCP 和 Co- $\gamma$  处理可以有效抑制贮藏期李子腐烂率的增加,其中 1-MCP+Co- $\gamma$  复合处理效果最好,与曹森等<sup>[15]</sup>的结果一致。

2.1.2 失重率 由图 2 可知,李子的失重率随贮藏时间的延长不断增加。贮藏第 60 天,1-MCP 结合 Co- $\gamma$  处理的失重率仅为 2.9%,而 CK、1-MCP、Co- $\gamma$  3 个处理组的失重率分别比 1-MCP+Co- $\gamma$  处理增加了 53.1%, 30.9%, 22.7%。综上,1-MCP 结合 Co- $\gamma$  处理可以有效降低李子贮藏期失重率的增加,较好地保持贮藏期果实的销售品质。

2.1.3 硬度 由图 3 可知,贮藏 0~30 d,李子果实硬度呈缓慢下降趋势;而贮藏 30~60 d,李子果实硬度迅速降低。贮藏第 60 天,CK、1-MCP、Co- $\gamma$  和 1-MCP+Co- $\gamma$  4 个处理组果实的硬度与初始值相比,分别下降了 36.0%, 23.5%, 26.9%, 18.5%。说明 1-MCP+Co- $\gamma$  处理抑制李子果实硬度降低的效果最佳,进一步证明 1-MCP 结合 Co- $\gamma$  辐照处理可以有效保持果实贮藏品质。

### 2.2 对丙二醛和相对电导率的影响

2.2.1 丙二醛含量 由图 4 可知,李子果实中丙二醛含

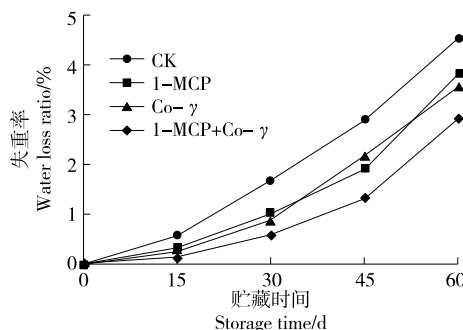


图 2 1-MCP 结合  $^{60}\text{Co-}\gamma$  辐照处理对李子失重率的影响  
Figure 2 Effect of 1-MCP combined with  $^{60}\text{Co-}\gamma$  irradiation treatment on water loss ratio of plum fruits

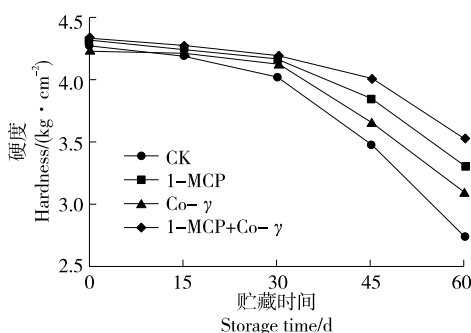


图3 1-MCP结合 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 辐照处理对李子硬度的影响  
Figure 3 Effect of 1-MCP combined with  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  irradiation treatment on hardness of plum fruits

量随贮藏时间的延长逐渐上升。CK组的丙二醛含量上升趋势要高于1-MCP、Co- $\gamma$ 和1-MCP+Co- $\gamma$ 3个处理组。贮藏30~60 d,CK组的丙二醛含量显著高于其他3个处理组( $P<0.05$ ),且1-MCP+Co- $\gamma$ 复合处理组的丙二醛含量最低。1-MCP结合Co- $\gamma$ 处理可以有效延缓贮藏期李子丙二醛含量的增加,抑制果实衰老进程。

2.2.2 相对电导率 由图5可知,随着贮藏时间的延长,李子果实组织的相对电导率逐渐增大,但是1-MCP和Co- $\gamma$ 处理可以有效抑制李子相对电导率的增加。贮藏第60天,与初始值相比,CK组的相对电导率增加了87.8%,而1-MCP、Co- $\gamma$ 和1-MCP+Co- $\gamma$ 3个处理组与初始值相比分别增加了54.0%,66.1%,48.6%。综上,1-MCP+Co- $\gamma$ 处理组抑制相对电导率增加的效果最明显。

### 2.3 对可溶性固形物、可滴定酸和维生素C含量的影响

2.3.1 可溶性固形物含量 由图6可知,贮藏0~15 d,果实可溶性固形物含量逐渐增加,是由于李子采摘时未完全成熟,在贮藏过程中出现后熟现象。贮藏15~60 d,果实属于衰老期,随着贮藏时间的延长,果实体内有机物被不断消耗分解,可溶性固形物含量逐渐下降。贮藏第60天,4个处理组的可溶性固形物含量大小依次为:CK<

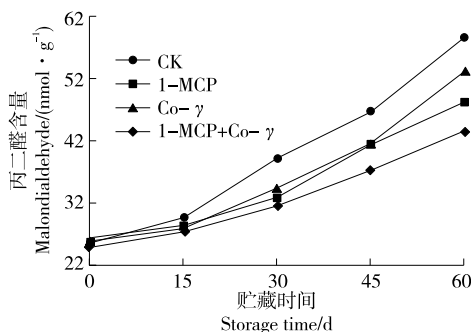


图4 1-MCP结合 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 辐照处理对李子丙二醛含量的影响

Figure 4 Effect of 1-MCP combined with  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  irradiation treatment on malondialdehyde content of plum fruits

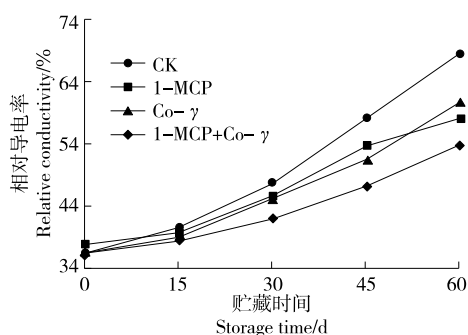


图5 1-MCP结合 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 辐照处理对李子相对电导率的影响

Figure 5 Effect of 1-MCP combined with  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  irradiation treatment on relative conductivity of plum fruits

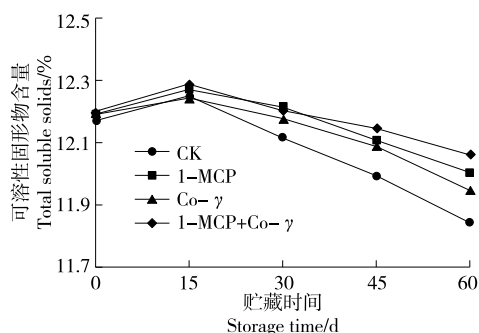


图6 1-MCP结合 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 辐照处理对李子可溶性固形物含量的影响

Figure 6 Effect of 1-MCP combined with  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  irradiation treatment on total soluble solids content of plum fruits

Co- $\gamma$ <1-MCP<1-MCP+Co- $\gamma$ 。说明1-MCP和Co- $\gamma$ 处理可以有效保持贮藏期李子果实可溶性固形物含量,其中1-MCP+Co- $\gamma$ 处理组效果最佳,与曹森等<sup>[15]</sup>的结果一致。

2.3.2 可滴定酸含量 由图7可知,随着贮藏时间的延长,李子可滴定酸含量逐渐降低。贮藏第60天,4个处理组的可滴定酸含量下降到最低值,CK组的为0.41%,1-MCP、Co- $\gamma$ 和1-MCP+Co- $\gamma$ 3个处理组分别比CK组提高了19.4%,32.3%,47.6%( $P<0.05$ )。说明1-MCP和Co- $\gamma$ 处理可以有效保持贮藏期李子果实的可滴定酸含量,保持较好的风味品质,且1-MCP+Co- $\gamma$ 处理组效果最好。

2.3.3 维生素C含量 由图8可知,李子贮藏初期维生素C含量达6.4 mg/100 g,随着贮藏时间的延长,李子果实的有机物不断被代谢分解,维生素C含量降低。贮藏第60天,CK、1-MCP、Co- $\gamma$ 和1-MCP+Co- $\gamma$ 4个处理组的维生素C含量与初始值相比,分别降低了36.8%,

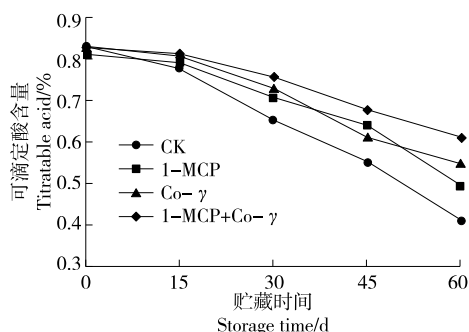


图 7 1-MCP 结合<sup>60</sup>Co-γ 辐照处理对李子可滴定酸含量的影响

Figure 7 Effect of 1-MCP combined with <sup>60</sup>Co-γ irradiation treatment on titratable acid content of plum fruits

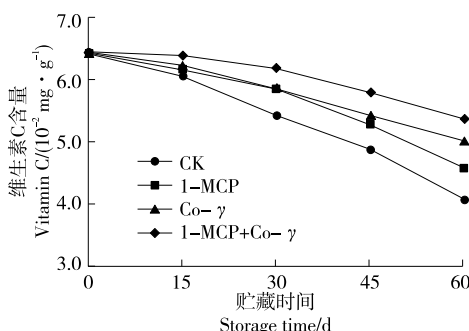


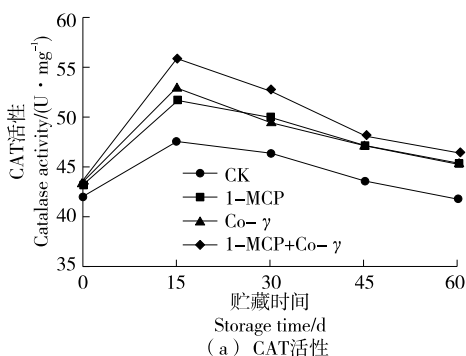
图 8 1-MCP 结合<sup>60</sup>Co-γ 辐照处理对李子维生素 C 含量的影响

Figure 8 Effect of 1-MCP combined with <sup>60</sup>Co-γ irradiation treatment on vitamin C content of plum fruits

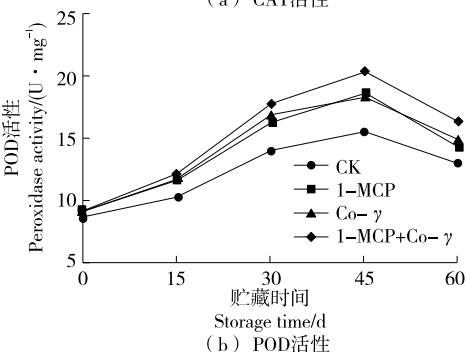
28.5%, 22.2%, 16.5%, 4 个处理组的李子维生素 C 含量保持效果依次为 CK<1-MCP<Co-γ<1-MCP+Co-γ。综上, 1-MCP 结合 Co-γ 辐照处理可以有效地保持贮藏期李子果实的维生素 C 含量, 保持较好的贮藏营养品质。

#### 2.4 对 CAT、POD 和 SOD 酶活性的影响

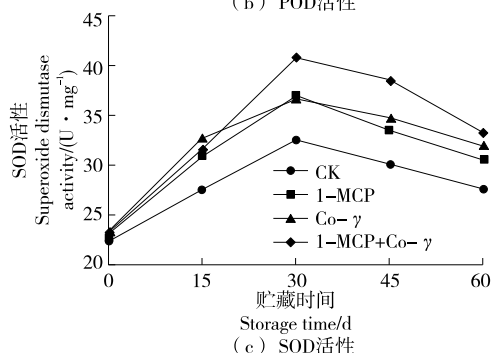
由图 9 可知, 李子贮藏过程中, CAT、POD 和 SOD 酶活性均先增加后降低。CAT 酶活性的最大值出现在贮藏第 15 天, 此时 1-MCP、Co-γ 和 1-MCP+Co-γ 3 个处理组的 CAT 酶活性分别比 CK 组提高了 10.0%, 12.9%, 19.7%。POD 酶活性在贮藏 0~45 d 缓慢增加, 且在第 45 天达最大值, 此时 1-MCP、Co-γ 和 1-MCP+Co-γ 3 个处理组的 POD 酶活性分别比 CK 组提高了 20.0%, 18.3%, 31.2% ( $P<0.05$ )。SOD 酶活性在贮藏前期快速增加, 贮藏后期缓慢降低, 贮藏第 30 天, 与 CK 组相比, 1-MCP、Co-γ 和 1-MCP+Co-γ 3 个处理组 POD 酶活性提高了 14.0%, 12.9%, 25.6% ( $P<0.05$ )。综上, 1-MCP 和 Co-γ 辐照处理可以有效提高贮藏期果实活性氧代谢的酶



(a) CAT活性



(b) POD活性



(c) SOD活性

图 9 1-MCP 结合<sup>60</sup>Co-γ 辐照处理对李子 CAT、POD 和 SOD 活性的影响

Figure 9 Effect of 1-MCP combined with <sup>60</sup>Co-γ irradiation treatment on CAT, POD and SOD activity of plum fruits

活性, 有利于维持果实体内代谢平衡, 保持较好的贮藏品质, 其中, 1-MCP+Co-γ 处理效果最好。蓝莓<sup>[15-16]</sup>采后贮藏研究也进一步证实 1-MCP 和<sup>60</sup>Co-γ 辐照处理可以有效提高贮藏期果实活性氧代谢酶的活性, 延缓果实的衰老进程。

### 3 结论

试验表明, 1-甲基环丙烯结合<sup>60</sup>Co-γ 辐照处理能够有效抑制李子采后贮藏期腐烂率、失重率的发生, 保持较好的果实硬度、可溶性固形物、可滴定酸和维生素 C 含量, 抑制丙二醛和相对电导率的增加, 提高超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和过氧化物酶的活性, 保持较好的贮藏品质, 为李子采后贮藏保鲜技术的应用研究提供理论依据。但是, 1-甲基环丙烯结合<sup>60</sup>Co-γ 辐照处理延缓李子果实衰老

过程可能还涉及能量代谢等机理,需进一步深入研究。

### 参考文献

- [1] 王艳颖, 胡文忠, 田密霞, 等. 贮前氯化钙处理对李果实冷害及生理生化的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(9): 310-313, 387.  
WANG Yan-yin, HU Wen-zhong, TIAN Mi-xia, et al. Effect of prestorage calcium chloride treatment on chilling injury and physiology and biochemistry in plum fruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(9): 310-313, 387.
- [2] 丁波, 毕阳, 陈松江, 等. 两种间歇升温方式对李果实冷害抑制的效果比较[J]. 食品工业科技, 2012, 33(1): 318-319, 324.  
DING Bo, BI Yang, CHEN Song-jiang, et al. Comparison of two kinds of intermittent warming on chilling injury of plum[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(1): 318-319, 324.
- [3] 郭丹, 郝义, 韩英群. 李子采后特性及贮藏保鲜技术研究进展[J]. 食品工业, 2015, 36(9): 237-239.  
GUO Dan, HAO Yi, HAN Ying-qun. Research advancement in postharvest characteristic and storage technology of plum[J]. The Food Industry, 2015, 36(9): 237-239.
- [4] DENG Lei, JIANG Cai-zhong, MU Wen-liang, et al. Influence of 1-MCP treatments on eating quality and consumer preferences of 'Qinmei' kiwifruit during shelf life[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(1): 335-342.
- [5] PONGPRASERT N, SRILAONG V. A novel technique using 1-MCP microbubbles for delaying postharvest ripening of banana fruit[J]. Postharvest Biology & Technology, 2014, 95(3): 42-45.
- [6] RAHMAN M A, HOSSAIN M A, BEGUM M M, et al. Evaluating the effects of 1-methylcyclopropene concentration and immersion duration on ripening and quality of banana fruit[J]. Revista Odonto Ciência, 2014, 25(4): 333-338.
- [7] 王荣花, 轩海波, STREIF J. 常温贮藏条件下 1-MCP 处理对欧洲李子采后生理及品质的影响[J]. 北方园艺, 2011(13): 156-158.  
WANG Rong-hua, XUAN Hai-bo, STREIF J. Effect of 1-MCP on ripening and quality of european plum during ambient air storage[J]. Northern Horticulture, 2011(13): 156-158.
- [8] HUSSAIN P R, MEENA R S, DAR M A, et al. Studies on enhancing the keeping quality of peach (*Prunus persica* Bausch) Cv. Elberta by gamma-irradiation [J]. Radiation Physics & Chemistry, 2008, 77(4): 473-481.
- [9] WANI A M, HUSSAIN P R, MEENA R S, et al. Effect of gamma-irradiation and refrigerated storage on the improvement of quality and shelf life of pear (*Pyrus communis* L. Cv. Bartlett / William)[J]. Radiation Physics & Chemistry, 2008, 77(8): 983-989.
- [10] 巴良杰, 罗冬兰, 曹森, 等. 1-MCP 结合<sup>60</sup>Co-γ辐照对蓝莓贮藏期品质的影响[J]. 北方园艺, 2019(8): 118-124.  
BA Liang-jie, LUO Dong-lan, CAO Sen, et al. Effects of 1-MCP combined with <sup>60</sup>Co-γ irradiation on the quality of blueberry during storage[J]. Northern Horticulture, 2019(8): 118-124.
- [11] 巴良杰, 罗冬兰, 曹森, 等. 自发气调包装对蜂糖李采后生理及贮藏品质的影响[J]. 中国南方果树, 2019, 48(3): 105-111.  
BA Liang-jie, LUO Dong-lan, CAO Sen, et al. Effects of spontaneous modified atmosphere packaging on postharvest physiology and storage quality of bee sugar plum[J]. Fruit Trees in South China, 2019, 48(3): 105-111.
- [12] 巴良杰, 罗冬兰, 吉宁, 等. 生物保鲜纸对李子贮藏期品质的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(7): 140-143, 226.  
BA Liang-jie, LUO Dong-lan, JI Ning, et al. Effect of biological preservative paper on the storage quality of plum fruit[J]. Food and Machinery, 2020, 36(7): 140-143, 226.
- [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, 2013: 30-155.  
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruit and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2013: 30-155.
- [14] 司敏, 伍利芬, 薛华丽, 等. 采前赤霉素处理对李果实采后冷害的抑制及部分机理研究[J]. 中国果树, 2018(4): 4-9.  
SI Min, WU Li-fen, XUE Hua-li, et al. Controlling chilling injury of plum with preharvest GA3 in postharvest and its partial mechanism[J]. China Fruits, 2018(4): 4-9.
- [15] 曹森, 李江阔, 马超, 等. <sup>60</sup>Co-γ辐照结合 1-MCP 处理对蓝莓贮藏品质的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(8): 1 519-1 526.  
CAO Sen, LI Jiang-kuo, MA Chao, et al. Effects of <sup>60</sup>Co-γ irradiation combined with 1-MCP on storage quality of blueberry[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2019, 33(8): 1 519-1 526.
- [16] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. <sup>60</sup>Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.  
WANG Chen, LI Xue-tao, TAO Ye, et al. Effect of <sup>60</sup>Co-γ irradiation on storage quality and membrane lipid peroxidation of blueberry fruits during cold storage[J]. Food Science, 2016, 37(22): 318-323.
- [17] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. <sup>60</sup>Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
- [18] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. <sup>60</sup>Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
- [19] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. <sup>60</sup>Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
- [20] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. <sup>60</sup>Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
- [21] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. <sup>60</sup>Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
- [22] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. <sup>60</sup>Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
- [23] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. <sup>60</sup>Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
- [24] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. <sup>60</sup>Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
- [25] 王琛, 李雪涛, 陶焱, 等. <sup>60</sup>Co-γ辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 318-323.
- [26] 任洪涛, 周斌, 方林江, 等. 云南红茶加工过程中香气成分的变化[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(3): 187-191.  
REN Hong-tao, ZHOU Bin, FANG Lin-jiang, et al. Analysis of the aroma components in the processing of Yunnan black tea[J]. Food and Fermentation Industry, 2013, 39(3): 187-191.
- [27] 仇方方, 曾维超, 曲凤凤, 等. 提香方式对工夫红茶品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(11): 82-87.
- [28] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.  
TAKEO T, LIU Zhong-hua. Food chemistry study on aroma of oolong tea and black tea[J]. Tea Science and Technology, 1986(2): 33-35.
- [29] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [30] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [31] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [32] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [33] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [34] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [35] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [36] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [37] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [38] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [39] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [40] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [41] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [42] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [43] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [44] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [45] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [46] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [47] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [48] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [49] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [50] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [51] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [52] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [53] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [54] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [55] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [56] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [57] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [58] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [59] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [60] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [61] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [62] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [63] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [64] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [65] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [66] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [67] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [68] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [69] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [70] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [71] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [72] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [73] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [74] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [75] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [76] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [77] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [78] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [79] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [80] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [81] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [82] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [83] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [84] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [85] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [86] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [87] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [88] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [89] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [90] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [91] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [92] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [93] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [94] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [95] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [96] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [97] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [98] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [99] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.
- [100] 竹尾忠一, 刘仲华. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 茶叶科学技术, 1986(2): 33-35.

(上接第 142 页)