

doi:10.11937/bfyy.20183449

## 1-MCP 结合<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 辐照对蓝莓贮藏期品质的影响

巴良杰<sup>1,2</sup>, 罗冬兰<sup>1</sup>, 曹森<sup>1,2</sup>, 尤勇刚<sup>1</sup>, 余碧青<sup>1</sup>, 王瑞<sup>1,2</sup>

(1. 贵阳学院 食品与制药工程学院, 贵州 贵阳 550005; 2. 贵州省果品加工工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550005)

**摘要:**为研究 1-甲基环丙烯结合<sup>60</sup>Co- $\gamma$  辐照处理对蓝莓贮藏品质的影响,以蓝莓为试材,研究对照 CK:不做任何处理;S1:1  $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  1-MCP 处理;S2:1.5 kGy 辐照处理;S3:1  $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  1-MCP+1.5 kGy 辐照处理在(0±0.5)℃下对蓝莓贮藏期活性成分含量及抗氧化活性的影响。结果表明:与 CK 相比,S1、S2 和 S3 处理在贮藏后期均能够显著延缓感官品质、含水率、总酚含量、总黄酮含量、维生素 C 含量、过氧化氢酶(CAT)活性、 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制率的下降,提高蓝莓果实 FRAP、还原力、DPPH· 和  $\text{O}_2^-$  清除力等抗氧化活性相关指标,且在 S1、S2 和 S3 处理中,S3 处理在感官品质、含水率、总酚含量、总黄酮含量、维生素 C 含量、 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制率等指标效果最好。因此,采后用 1  $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  1-MCP+1.5 kGy 辐照处理对蓝莓保鲜效果最好。

**关键词:**蓝莓;1-甲基环丙烯;<sup>60</sup>Co- $\gamma$  辐照;活性成分;抗氧化活性

**中图分类号:**S 663.209<sup>+</sup>.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2019)08-0118-07

蓝莓属杜鹃花科(Ericaceae)越橘属(*Vaccinium* spp),果实营养丰富,有“世界水果之王”的称号,包含丰富的抗氧化物质、花色苷、叶酸、黄酮类物质和丰富的膳食纤维等,深受广大消费者的欢迎<sup>[1-3]</sup>。蓝莓果实的成熟期为每年的 6—8 月,成熟季高温多雨,加上蓝莓属于浆果,采后极易受到机械伤害、感染病原菌,加速果实腐烂,不利于贮运,因此深入研究蓝莓采后贮藏技术对于蓝莓产业的发展具有非常重要的意义<sup>[4]</sup>。目前,蓝莓采后的贮藏保鲜技术主要有气调、低温、辐照等物

理保鲜方法和利用 1-甲基环丙烯等化学保鲜方法<sup>[5]</sup>。

1-甲基环丙烯(1-MCP, 1-methylcyclopropene)可以抑制果实衰老过程中,乙烯和受体的结合与信号传导,进而降低果实组织对乙烯的敏感性,延缓果实的衰老进程<sup>[10-11]</sup>。1-MCP 因具有使用剂量低和安全、高效等优点而被广泛应用于果蔬采后贮藏保鲜<sup>[6-7]</sup>,但高浓度的 1-MCP 会影响部分果实的口感,并且乙烯的合成会影响一些与病害相关的蛋白的产生、细胞膜的通透性、影响活化酚类物质代谢以及活性氧的积累<sup>[8]</sup>。王玉玲等<sup>[9]</sup>研究结果表明,1.0  $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  的 1-MCP 处理可以有效地延长蓝莓的贮藏期,维持了较高的果实品质。<sup>60</sup>Co- $\gamma$  辐照技术是利用<sup>60</sup>Co 放射源产生一定剂量的  $\gamma$  射线或加速器产生的高能电子束(EB)来辐照处理果蔬,使其微生物受到抑制,同时延缓果蔬的呼吸作用,从而防止果蔬腐烂,延长贮藏时间。已有研究表明,1.5 kGy 的<sup>60</sup>Co- $\gamma$  辐照技术可以提高蓝莓贮藏期果实的抗氧化活性,进而延缓果实衰老,延长贮藏期<sup>[10]</sup>。

但是,关于 1-MCP 处理结合<sup>60</sup>Co- $\gamma$  辐照的研

**第一作者简介:**巴良杰(1988-),男,博士,副教授,现主要从事食品贮藏与保鲜等研究工作。E-mail:765280029@qq.com.

**责任作者:**王瑞(1979-),男,博士,教授,现主要从事农产品贮藏与保鲜等研究工作。E-mail:wangrui060729@126.com.

**基金项目:**贵阳学院博士人才启动基金资助项目(GYU-ZRD(2018)-011);贵州省教育厅资助项目(黔教合 KY 字[2018]090);贵州省高等学校大学生创新创业训练计划资助项目(2018520776)。

**收稿日期:**2018-12-24

究尚鲜见相关报道。通过 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 辐照结合1-MCP处理,既可对果蔬表面杀菌又能够抑制果蔬组织对乙烯的敏感性,最大限度地保持了果蔬贮藏品质。该研究通过1-MCP处理结合 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 辐照技术对蓝莓进行处理,研究不同处理对蓝莓贮藏品质的影响,探讨1-MCP处理结合 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 辐照对蓝莓果实贮藏效果的影响规律,进而分析1-MCP处理结合 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 辐照保鲜蓝莓的机制,从而探讨 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ 辐照结合1-MCP对蓝莓贮藏保鲜的可行性,以期对蓝莓贮藏保鲜提供新的理论依据及技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试蓝莓品种为“粉蓝”,采收于贵州省麻江县宣威镇蓝莓种植基地;1-MCP,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。

精准控温保鲜库( $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $(90\pm 5)\%$ ),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实验室提供;TGL-16A台式高速冷冻离心机,长沙平凡仪器仪表有限公司;TA.XT.Plus质构仪,英国SMS公司;UV-2550紫外分光光度计,日本Shimadzu公司;PAL-1型迷你数显折射计,日本ATAGO;pHS-25型数显酸度计,上海虹益仪器仪表有限公司;CR-400色差仪,日本美能达公司;PBI Dansensor残氧仪,丹麦丹圣公司;GC-14气相色谱仪,日本岛津公司。

### 1.2 试验方法

蓝莓果实采收后,迅速装入扎孔的( $125\pm 5$ )g PET蓝莓保鲜盒后,立即运回实验室,挑选无病虫害、无机械损伤、果实颜色大小基本一致的蓝莓果实,进行以下处理。CK,对照组,不做任何处理;S1,  $1\text{ }\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$  1-MCP处理;S2, 辐照1.5 kGy处理;S3,  $1\text{ }\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$  1-MCP处理+辐照1.5 kGy处理。每组150盒(每个处理3个平行,每个平行10盒),然后使用大功率工业风扇除去蓝莓果实携带的田间热并进行愈伤12 h后开始试验组处理。 $1\text{ }\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$  1-MCP处理方法:将蓝莓置于厚度为0.08 mm,体积为 $1\text{ m}^3$ 的低密度聚乙烯帐内,用 $1\text{ }\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$  1-MCP进行熏蒸处理24 h( $25\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ )。辐照1.5 kGy处理:在贵州省农业科学院辐照实验室,对蓝莓果实进行辐照处理,辐照时用重铬酸银剂量计进行剂量跟踪,采用辐照剂量1.5 kGy(实测剂量为1.52 kGy)进行处理。将4个处理的蓝莓分装于保鲜袋中,置于( $0\pm 0.5$ ) $^{\circ}\text{C}$ 的环境中预冷24 h后扎袋贮藏,分别于0、20、40、60、80 d对不同处理样品进行各项指标的测定。每处理重复3次,取平均值。

### 1.3 项目测定

感官品质评价以蓝莓果实的外观、硬度、色泽、香气等为基础,参照郑秀艳等<sup>[10]</sup>感官评价标准略有改动,详见表1。成立10人的感官评价小组,对3个处理和1个对照CK蓝莓进行评价,总分为10分,总分=(色泽形态可接受性分值+质地及滋味分值)/2。

表1 蓝莓感官评价标准

Table 1 The score scale of sensory analysis for blueberry fruit

指标特征 Index characteristics	感官品质特征 Sensory quality characteristics	评分 Score
色泽形态(感官评价) Color form (Sensory evaluation)	果实完好紧实饱满,色泽均匀,有光泽果蜡完好,无腐烂萎焉,风味浓,可接受	8.0~10
	果实完好,色泽均匀,有光泽果蜡完好,无腐烂,萎焉,风味正常,可接受	6.0~7.9
	果实完好、色泽较均匀,果蜡不太均匀,有一定光泽,有个别腐烂萎焉,风味正常,可接受	4.0~5.9
	果实较完好、色泽较均匀,光泽差,盒底有蓝莓破损水汁,小部分腐烂萎焉,风味淡,勉强可接受	2.0~3.9
	果实不完好、色泽不均匀,无光泽,腐烂萎焉较多,风味很淡或有异味,不可接受	0~1.9
质地及滋味 (口感评价) Texture and taste (Taste evaluation)	口感新鲜,有脆性,有蓝莓特有的香甜味	8.0~10
	口感新鲜,有脆性,有蓝莓特有的香甜味,味略淡	6.0~7.9
	口感新鲜,脆性小,有蓝莓特有的香甜味,味略淡	4.0~5.9
	口感一般(既不新鲜也无异味,脆性较差,果肉较软,蓝莓特有的香甜味淡,无异味,果皮增厚	2.0~3.9
	果肉很软,无脆性,无蓝莓特有的香甜味,有异味,果皮增厚	0~1.9

含水率参照曹建康等<sup>[11]</sup>的方法测定。总酚含量采用福林-酚比色法测定<sup>[12]</sup>。总黄酮含量参照朱昱燕等<sup>[13]</sup>的方法测定。维生素C含量采用2,6-二氯酚靛酚滴定法测定,具体参照曹建康等<sup>[11]</sup>的方法。过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法测定,具体参照陈建勋等<sup>[14]</sup>的方法。 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性参照曹森等<sup>[12]</sup>的方法测定。抗氧化能力指标测定参考文献<sup>[15]</sup>。

还原力参照 LIYANA-PATHIRANA 等<sup>[16]</sup>的方法测定,总抗氧化能力(TEAC 和 FRAP)参照 BENZIE 等<sup>[17]</sup>的方法测定,DPPH·清除能力参照 BLOIS 等<sup>[18]</sup>的方法测定, $\cdot$ OH清除能力参照李莉等<sup>[19]</sup>的方法测定, $O_2^-$ 清除能力采用 NBT 光还原法测定<sup>[20]</sup>。

#### 1.4 数据分析

采用 OriginPro 8.0 软件对数据进行统计处理,采用 SPSS 19.0 软件的 Duncan 氏新复极差法进行数据差异显著性分析( $P < 0.05$  为差异显著, $P > 0.05$  为差异不显著)。

## 2 结果与分析

### 2.1 1-MCP 处理结合辐照对蓝莓贮藏期感官评价和含水率的影响

蓝莓随着贮藏时间的延长,不同处理的感官评价得分逐渐降低。由图 1 可知,在贮藏后期,S1、S2 和 S3 处理的感官评价分数要高于 CK。在贮藏期 80 d 的时候,S1、S2 和 S3 处理感官分数分别为 5.5、5.7、6.8,CK 的感官分数为 4.5,S1、S2 和 S3 处理与 CK 相比均有显著性差异( $P <$

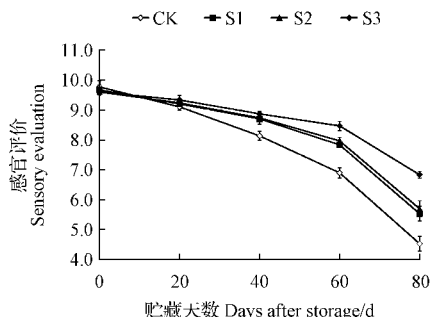


图 1 不同处理对蓝莓感官评价的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on the sensory evaluation of blueberry

0.05),其中,S3 处理显著( $P < 0.05$ )高于 S1 和 S2 处理,S1 和 S2 处理无显著性差异。综上所述,S1、S2 和 S3 处理可以较好的保持贮藏期蓝莓的感官品质,且 S3 处理的效果要明显好于 S1 和 S2 处理。

由图 2 可知,在蓝莓的整个贮藏过程中,果实含水率总体逐渐下降。在贮藏期 0~40 d,蓝莓含水量变化不明显,而在贮藏期 40~80 d,蓝莓含水量下降速度明显。在贮藏期 80 d,CK、S1、S2 和 S3 处理蓝莓果实含水量分别为 76.14%、79.39%、79.92%、81.08%,S1、S2 和 S3 处理显著( $P < 0.05$ )高于 CK,并且 S3 处理含水量最高。由此说明,S1、S2 和 S3 处理都可以较好的维持蓝莓贮藏期的含水量,保持果实的品质。其中,S3 处理效果要好于 S1 和 S2 处理,能较好地保持贮藏期果实的品质。

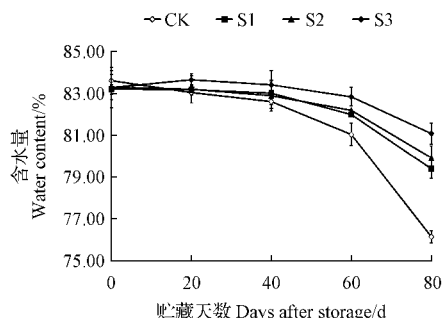


图 2 不同处理对蓝莓含水率的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on the water content of blueberry

### 2.2 1-MCP 处理结合辐照对蓝莓贮藏期总酚、总黄酮和维生素 C 含量的影响

在蓝莓的整个贮藏周期,果实的总酚含量呈先缓慢上升后下降的趋势。由图 3 可知,在贮藏期 20~80 d,各处理蓝莓总酚含量呈现下降趋势。在贮藏期 60 d,CK、S1、S2 和 S3 处理蓝莓果实总酚含量分别为 2.29、2.53、2.55、2.64  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,S1、S2 和 S3 处理显著( $P < 0.05$ )高于 CK,并且 S3 处理总酚含量最高。在贮藏期 80 d,S1、S2 和 S3 处理显著( $P < 0.05$ )高于 CK。可以看出,S1、S2 和 S3 处理可以有效抑制蓝莓果实总酚含量的降低,其中,S3 处理抑制效果要明显好于 S1 和 S2 处理,可以较好地保持蓝莓果实中总酚含量。

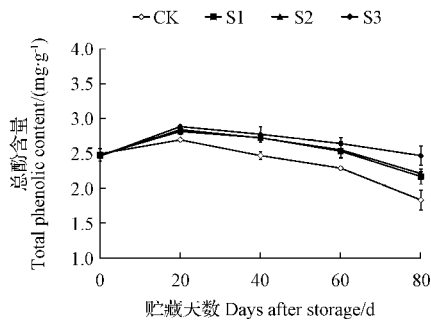


图 3 不同处理对蓝莓总酚含量的影响

Fig. 3 Effects of different treatments on total phenolic content of blueberry

由图 4 可知,在蓝莓贮藏过程中,不同处理下,蓝莓果实中总黄酮含量均呈现先上升后下降,在贮藏 20 d 的时候,均达到最大值,不同处理间无显著性差异。在贮藏期 20~80 d,总黄酮含量呈下降趋势。在贮藏期 60 d 的时候,CK、S1、S2 和 S3 处理蓝莓果实总黄酮的含量分别为 6.36、7.45、7.11、7.88  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , S1、S2 和 S3 处理显著 ( $P < 0.05$ ) 高于 CK, 并且 S3 处理显著 ( $P < 0.05$ ) 高于 S2 和 S3 处理, S1 处理显著 ( $P < 0.05$ ) 高于 S2 处理 ( $P < 0.05$ )。说明 S1、S2 和 S3 处理都可以延缓蓝莓总黄酮含量的降低,其中 S3 处理的延缓效果最好。

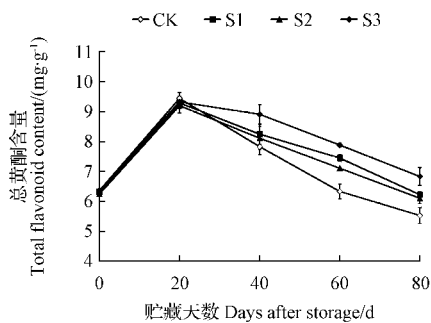


图 4 不同处理对蓝莓总黄酮含量的影响

Fig. 4 Effects of different treatments on total flavonoid content of blueberry

在蓝莓的整个贮藏过程中,随着贮藏期的增加,果实维生素 C 不断被降解,含量逐渐降低。如图 5 所示,S3 处理的蓝莓维生素 C 含量下降的速率要低于 CK。在贮藏期 80 d 的时候,CK、S1、S2 和 S3 处理蓝莓果实维生素 C 含量分别为 0.34、0.42、0.37、0.47  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , S3 处理的维生

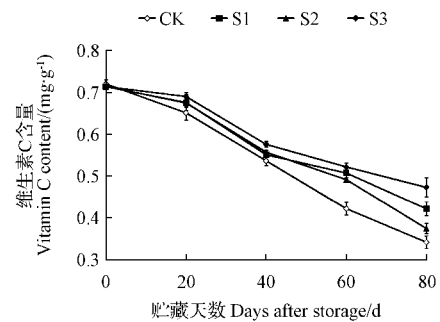


图 5 不同处理对蓝莓维生素 C 含量的影响

Fig. 5 Effects of different treatments on vitamin C content of blueberry

素 C 含量要显著 ( $P < 0.05$ ) 高于其它处理。说明 S3 处理对延缓蓝莓贮藏期维生素 C 含量下降的效果最好。

### 2.3 1-MCP 处理结合辐照对蓝莓贮藏期过氧化氢酶活性和 $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性抑制率的影响

在蓝莓贮藏过程中,过氧化氢酶(CAT)可以催化  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解,避免果实受到  $\text{H}_2\text{O}_2$  的毒害作用,在防御体系中起着重要作用。图 6 表明,在整个贮藏期,蓝莓的 CAT 活性呈现先增加后降低的趋势,CK 在贮藏期 20 d 达到最大值, S1、S2 和 S3 处理蓝莓 CAT 活性在贮藏期 40 d 达到最大值。在贮藏 40~80 d, S1、S2 和 S3 处理蓝莓的 CAT 活性显著 ( $P < 0.05$ ) 高于 CK, 并且 S3 处理显著 ( $P < 0.05$ ) 高于 S1 和 S2 处理。表明 S3 处理提高蓝莓 CAT 活性的效果最明显,可以较好的保持蓝莓果实活性氧的平衡,进而延缓果实衰老,延长贮藏期。

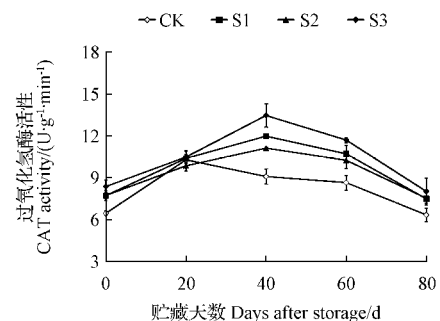


图 6 不同处理对蓝莓过氧化氢酶活性的影响

Fig. 6 Effects of different treatments on the CAT activity of blueberry

研究表明,  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂可以有效抑制小肠壁的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的活性, 可以有效降低碳水化合物的吸收, 减少葡萄糖的吸收, 从而可以有效减轻糖尿病患者用餐后血糖的升高<sup>[21-22]</sup>, 因此,  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂有着重要的生物功能作用。由图 7 可知, 从 0~20 d,  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制率缓慢上升, 从 20 d 开始, 逐渐下降。在贮藏期 80 d 的时候, CK、S1、S2 和 S3 处理蓝莓果实  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制率分别为 56.83%、66.68%、61.87% 和 71.53%, 各处理之间具有显著性差异 ( $P<0.05$ )。说明 S3 处理对延缓蓝莓贮藏期  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制率下降的效果要好于 S1 和 S2 处理。

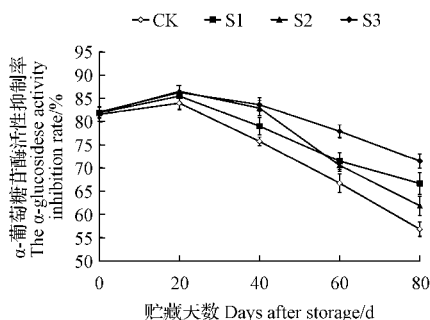


图 7 不同处理对蓝莓  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性抑制率的影响

Fig. 7 Effects of different treatments on the  $\alpha$ -glucosidase activity inhibition rate of blueberry

#### 2.4 1-MCP 处理结合辐照对蓝莓贮藏期抗氧化活性的影响

由表 2 可知, CK 蓝莓的 FRAP 在整个贮藏期, 变化不明显, 在贮藏期 80 d, CK、S1、S2 和 S3 处理蓝莓果实的 FRAP 值分别为 31.84、33.99、33.88、35.45  $\text{U} \cdot (\text{g FW})^{-1}$ , S1、S2 和 S3 处理蓝莓的 FRAP 值显著 ( $P<0.05$ ) 高于 CK, 并且 S3 处理要显著 ( $P<0.05$ ) 高于 S1 和 S2 处理。说明 S1、S2 和 S3 处理都可以有效地增强蓝莓的 FRAP, 其中, S3 处理效果优于 S1 和 S2 处理。TEAC 和还原力的变化趋势相似, 在贮藏期, TEAC 和还原力的值均呈现先缓慢增加后降低的趋势。在贮藏 60 d 的时候, S1、S2 和 S3 处理均显著 ( $P<0.05$ ) 地增加了 TEAC 和还原力的值。说明 S1、S2 和 S3 处理可以增加蓝莓的 TEAC 和还原力, 延缓果实衰老, 延长蓝莓贮藏期。

如表 2 所示, DPPH $\cdot$  和  $\cdot\text{OH}$  清除能力的变化趋势基本一致, 在贮藏前期 0~60 d, 清除能力均呈现缓慢上升趋势, 而在贮藏期 60~80 d, 呈现缓慢降低趋势。在贮藏期 60 d, S1、S2 和 S3 处理蓝莓的 DPPH $\cdot$  和  $\cdot\text{OH}$  清除能力均显著 ( $P<0.05$ ) 高于 CK, 并且 S3 处理显著 ( $P<0.05$ ) 大于 S1 和 S2 处理, S1 与 S2 处理无显著性差异。可知, S1、S2 和 S3 处理可以增加蓝莓的 DPPH $\cdot$  和  $\cdot\text{OH}$  清除能力, 抑制果实衰老腐败, 延长蓝莓贮藏期。 $\text{O}_2^{\cdot-}$  清除能力在整个贮藏期, 呈现先缓慢下降后上升。在贮藏期 80 d, CK、S1、S2 和 S3 处理  $\text{O}_2^{\cdot-}$  清除能力分别为 30.83、32.52、31.42、33.68  $\text{U} \cdot (\text{g FW})^{-1}$ , 各个处理之间存在显著性差异 ( $P<0.05$ )。说明, S1、S2 和 S3 处理均可以有效地提高  $\text{O}_2^{\cdot-}$  清除能力。

### 3 讨论与结论

1-MCP 是一种乙烯的受体抑制剂, 阻断乙烯的合成反应, 明显降低果蔬的腐烂率, 保持果实更好地货架品质。XIE 等<sup>[23]</sup>研究表明, 1-MCP 可以抑制梨乙烯合成量, 并推迟呼吸高峰值的出现时间, 延长贮藏期; ZORAN 等<sup>[24]</sup>研究表明 1-MCP 处理可以延长青椒的贮藏周期, 并能较好的保持品质。该研究表明, 与对照 CK 比较, 单独使用  $1 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  1-MCP 处理可有效延缓蓝莓果实含水率以及维生素 C、总酚、总黄酮等含量的降低, 维持好蓝莓的贮藏品质, 这与王玉玲等<sup>[9]</sup>、曹森等<sup>[12]</sup>的研究结果基本一致。

蓝莓果肉皮薄、多汁, 采后极易受到机械损伤, 造成病原菌侵染, 加速果实腐烂变质, 严重缩短了采后贮藏期, 降低果实品质, 影响商品价值。 $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  辐照技术是一种新型杀菌方法, 它具有高强度的穿透性, 能够在不拆卸包装和破坏果蔬原形的状态下, 达到杀灭病原菌, 延缓果实腐烂, 延长贮藏期<sup>[25]</sup>。该研究表明, 1.5 kGy 的辐照处理可以较好保持贮藏期蓝莓的感官品质, 抑制维生素 C、总酚、总黄酮等含量的降低, 提高贮藏期蓝莓的抗氧化能力, 这与郑秀艳等<sup>[10]</sup>、王琛等<sup>[25]</sup>的研究结果相符。但是 1.5 kGy 辐照处理在一些生理品质指标方面, 延缓效果没有 1-MCP 处理明显<sup>[25]</sup>。

表 2 蓝莓贮藏期果实抗氧化活性的变化

Table 2 Changes of antioxidant activities in blueberry fruit during postharvest storage

U • (g FW)<sup>-1</sup>

处理 Treatment	贮藏时间 Days after storage/d	FRAP Ferric ion reducing antioxidant power	TEAC Trolox equivalent antioxidant capacity	还原力 Determination of reducing power	DPPH • 清除能力 DPPH • radical capacity	• OH 清除能力 • OH radical capacity	O <sub>2</sub> <sup>-•</sup> 清除能力 O <sub>2</sub> <sup>-•</sup> radical capacity
CK	0	28.68±0.75b	2.64±0.19c	2.79±0.05b	17.58±0.23c	2.22±0.07c	25.55±0.30e
	20	29.39±1.05b	3.17±0.08b	2.91±0.13ab	17.93±0.14bc	2.42±0.08b	26.68±0.10d
	40	29.67±1.39b	4.25±0.15a	2.97±0.02a	18.47±0.16b	2.86±0.08a	28.64±0.43c
	60	30.71±1.54ab	4.77±0.20a	3.10±0.08a	19.23±0.15a	2.99±0.04a	29.77±0.27b
	80	31.84±0.70a	3.48±0.09b	2.91±0.04ab	18.35±0.26b	2.12±0.08c	30.83±0.31a
S1	0	29.01±0.52c	2.68±0.24d	2.80±0.16d	17.84±0.14d	2.45±0.05b	25.38±0.26d
	20	31.50±0.43b	3.17±0.10c	3.61±0.10a	18.60±0.34c	2.59±0.01b	22.18±0.32e
	40	32.28±1.44b	4.58±0.34b	3.30±0.04b	20.57±0.24a	3.00±0.10a	26.91±0.29c
	60	32.14±1.00b	5.17±0.14a	3.13±0.07c	20.23±0.17a	2.88±0.08a	31.41±0.38b
	80	33.99±0.12a	4.21±0.11b	3.27±0.03b	19.29±0.24b	2.41±0.20b	32.52±0.46a
S2	0	29.58±0.59b	2.83±0.23d	2.94±0.07d	17.93±0.05d	2.44±0.11c	24.43±0.13d
	20	32.50±1.41a	3.31±0.08c	3.92±0.08a	18.96±0.08c	2.80±0.13b	22.97±0.57e
	40	32.45±1.29a	5.09±0.11a	4.06±0.07a	20.80±0.19a	3.03±0.04a	27.18±0.34c
	60	33.17±1.01a	5.10±0.05a	3.53±0.04b	20.65±0.20a	3.14±0.14a	30.19±0.59b
	80	33.88±0.97a	4.43±0.18b	3.23±0.05c	19.50±0.19b	2.49±0.04c	31.42±0.14a
S3	0	29.89±1.15c	2.93±0.23d	2.98±0.09c	17.99±0.11d	2.44±0.09b	24.75±0.27d
	20	32.76±0.98b	3.40±0.12c	4.46±0.19a	19.14±0.09c	2.60±0.29b	22.08±0.09e
	40	33.05±0.94b	5.30±0.23a	4.09±0.08a	22.25±0.17a	3.05±0.05a	29.52±0.63c
	60	33.21±1.05b	5.74±0.20a	3.83±0.14b	21.82±0.20a	3.09±0.06a	32.68±0.42b
	80	35.45±0.60a	4.93±0.07b	3.55±0.28b	20.08±0.02b	2.41±0.06b	33.68±0.19a

注:同组不同小写字母表示差异达显著水平( $P<0.05$ )。  
Note: The same group with different lowercase letters indicates significant difference( $P<0.05$ ).

该研究通过对蓝莓进行 1-MCP(S1)处理、1.5 kGy 辐照(S2)处理、1-MCP 处理结合 1.5 kGy 辐照(S3)处理展开研究,结果表明,1-MCP 处理结合 1.5 kGy 辐照(S3)处理能够有效地抑制果实含水率的降低,较好的保持果实贮藏期的感官品质,延缓维生素 C、总酚、总黄酮等含量的降低,提高蓝莓抗氧化活性,并且保鲜效果要明显好于单一的 1-MCP(S1)和 1.5 kGy 辐照(S2)处理。因此,蓝莓采后使用 1 μL • L<sup>-1</sup> 1-MCP 结合 1.5 kGy 辐照处理蓝莓,能够显著延缓果实的衰老进程,保持较高的贮藏品质。至于相关试验机理还有待进一步深入探究。

参考文献

[1] 李颖畅,孟宪军. 蓝莓叶黄酮提取物抗氧化活性的研究[J]. 营养学报,2008,30(4):427-429.  
[2] ALEJANDRODAVIDRODARTE C, INES E, SASCHA R, et al. Phenolic profile and antioxidant activity of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) during fruit maturation and ripening[J]. Food Chemistry, 2008, 109(3):564-572.

[3] 张美娇,田密霞,韦艳双. 蓝莓果实花色苷成分组成鉴定及分析[J]. 保鲜与加工,2017(3):107-110.  
[4] 刘虹丽,张鹏,李春媛,等. 贮藏微环境气调对蓝莓货架品质及香气成分的影响[J]. 保鲜与加工,2017(2):38-46.  
[5] 郑秀艳,孟繁博,黄道梅,等. 蓝莓采后贮藏保鲜技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报,2016(9):3560-3565.  
[6] DENG L, JIANG C Z, MU W, 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.  
[7] 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.  
[8] 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.  
[9] 王玉玲,高继鑫,张新富,等. 1-MCP 处理对蓝莓冷藏保鲜效果的影响[J]. 食品研究与开发,2015,36(10):132-136.  
[10] 郑秀艳,黄道梅,孟繁博,等. 基于电子鼻技术的蓝莓果实品质变化研究[J]. 食品安全质量检测学报,2016,7(9):3642-3649.  
[11] 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.

[12] 曹森,马超,龙晓波,等. 1-MCP 结合乙烯吸附剂对蓝莓贮藏品质及生理的影响[J]. 食品工业科技,2017,38(19):265-271.

[13] 朱昱燕,王友升,赵茜,等. 槐花中抗氧化及清除自由基活性物质的提取条件研究[J]. 食品工业科技,2009,30(12):130-132.

[14] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验[M]. 广州:华南理工大学出版社,2015.

[15] 王友升,张小玲,姚婷,等. 1-MCP 和  $\text{ClO}_2$  对蓝莓果实抗氧化活性影响的多变量分析[J]. 中国食品学报,2017,17(4):147-152.

[16] LIYANG-PATHIRANG C M, SHAHIDI F, ALASALVAR C. Antioxidant activity of cherry laurel fruit and its concentrated juice[J]. Food Chemistry,2006,99(1):121-128.

[17] BENZIE I F F, STRAIN J J. The ferric reducing ability of plasma(FRAP) as a measure of 'antioxidant power': The FRAP assay[J]. Analytical Biochemistry,1996,239(1):70-76.

[18] BLOIS M S. Antioxidant determination by the use of a stable free radical[J]. Nature,1958,181(4617):1199-1200.

[19] 李莉,王友升,张帆,等. 采前钙处理对树莓果实贮藏效果及清除自由基能力的影响[J]. 吉林农业大学学报,2009,31(5):

616-620.

[20] 张帆,王友升,刘晓艳,等. 采前水杨酸处理对树莓果实贮藏效果及抗氧化能力的影响[J]. 食品科学,2010,31(10):308-312.

[21] SHIM Y J, DOO H K, AHN S Y, et al. Inhibitory effect of aqueous extract from the gall of *Rhus chinensis*, on alpha-glucosidase activity and postprandial blood glucose[J]. Journal of Ethnopharmacology,2003,85(2-3):283-287.

[22] 曾岚,吴晖,袁坤,等. 甘草中  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制物的提取工艺研究[J]. 现代食品科技,2012,28(5):524-526.

[23] XIE X, SONG J, WANG Y, et al. Ethylene synthesis, ripening capacity, and superficial scald inhibition in 1-MCP treated 'd'Anjou' pears are affected by storage temperature[J]. Postharvest Biology & Technology,2014,97:1-10.

[24] ZORAN S I, RADMILA T, YAACOV P, et al. Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on postharvest storage quality in green bell pepper fruit [J]. Food and Bioprocess Technology, 2012,5(7):2758-2767.

[25] 王琛,李雪涛,陶烨,等.  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  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.

## Effects of 1-MCP Combined With $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ Irradiation on the Quality of Blueberry During Storage

BA Liangjie<sup>1,2</sup>, LUO Donglan<sup>1</sup>, CAO Sen<sup>1,2</sup>, YOU Yonggang<sup>1</sup>, YU Biqing<sup>1</sup>, WANG Rui<sup>1,2</sup>

(1. School of Food and Pharmaceutical Engineering, Guiyang University, Guiyang, Guizhou 550005; 2. Guizhou Engineering Research Center for Fruit Processing, Guiyang, Guizhou 550005)

**Abstract:** In order to investigate the effect of 1-MCP (1-methylcyclopropene) combined with  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  irradiation on the storage quality of blueberry. Through the postharvest four treatments (no treatment was recorded as control;  $1 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  1-MCP treatment was recorded as S1; 1.5 kGy irradiation treatment was recorded as S2;  $1 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  1-MCP+1.5 kGy irradiation treatment were recorded as S3) under  $(0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ , the content of active constituents and antioxidants of blueberry were studied during storage. The results showed that compared with the control, the three treatments (S1, S2 and S3) significantly delayed the decrease of sensory quality, water content, total phenolic content, total flavonoid content, vitamin C content, CAT activity and  $\alpha$ -glucosidase activity inhibition rate, increased the antioxidant activity related indexes such as FRAP, determination of reducing power, DPPH $\cdot$  and  $\text{O}_2^-$  scavenging ability of blueberry fruits. And in the three treatments, the quality of S3 treatment had the best effects on sensory quality, water content, total phenolic content, total flavonoid content, vitamin C content and  $\alpha$ -glucosidase activity inhibition rate. Therefore, the postharvest  $1 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  1-MCP+1.5 kGy irradiation treatment was the best in term of the fresh-keeping effect for blueberry.

**Keywords:** blueberry; 1-methylcyclopropene;  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  irradiation; active compounds; antioxidant capacity