

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.03.027

1-MCP 处理和贮藏温度对黑宝石李果肉褐变的影响*

邵毅 罗云波 陈安均 卢丞文 朱本忠

(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

【摘要】 为了探明李果实褐变机理并抑制褐变,研究了 1-MCP 处理和贮藏温度对黑宝石李果肉冷害褐变、机械伤褐变、多酚氧化酶(PPO)活性、总酚含量和乙烯释放的影响。结果表明,黑宝石李果实在 $(0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 和 $(3 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 条件下分别贮藏 75 d 和 60 d 会发生果心的冷害褐变,在 $(7 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 下不会发生冷害褐变,但贮藏期短;机械伤诱导李果实在冷藏 2 d 后发生近果皮处果肉的褐变症状。5 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理李果实 12 h 后,在 $(0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 贮藏时可有效抑制冷害褐变和机械伤褐变,但在 $(3 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 和 $(7 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 时促进果肉褐变。PPO 活性和总酚含量的变化与李果实褐变相关,但不是褐变的诱发原因。

关键词: 黑宝石李 果肉 褐变 贮藏温度 1-MCP

中图分类号: TS255.36 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)03-0128-06

Effect of 1-MCP Treatment and Storage Temperature on Pulp Browning of Friar Plum (*Prunus salicina* Lindell. cv. Friar)

Shao Yi Luo Yunbo Chen Anjun Lu Chengwen Zhu Benzong

(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

Pulp browning seriously limits the dietary property and commercial value of plum fruit. In order to elucidate the browning mechanism of plum and to inhibit pulp browning, the effect of 1-MCP treatment and different storage temperature on chilling injury browning, mechanical injury browning, PPO activity, total phenols concentration and ethylene production of Friar plum was studied. The results indicated that, chilling injury browning of Friar plum developed after 75 or 60 days of storage at $(0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ or $(3 \pm 0.5)^\circ\text{C}$, but never developed when fruits were stored at $(7 \pm 0.5)^\circ\text{C}$, at which temperature, the storage period was short. Moreover, mechanical injury browning developed in pulp near peel after two days of storage at low temperature. Browning symptoms were efficiently reduced by 5 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP treatment for 12 h when fruits were stored at $(0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$. However, when the storage temperature was $(3 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ or $(7 \pm 0.5)^\circ\text{C}$, fruits treated with 1-MCP showed more serious browning symptoms than untreated fruits. In any case, both two kinds of browning are related to PPO activity and total phenols concentration.

Key words Friar plum, Pulp, Browning, Storage temperature, 1-MCP

引言

李果实成熟于夏秋季节,采后置于常温下容易腐烂变质。低温贮藏能显著延缓李果实衰老。但长

期低温贮藏会导致李果实产生果肉褐变、胶状化、风味变淡等冷害现象^[1-2]。此外,在采摘、运输和销售过程中,李果实还会因为摩擦或碰撞而产生局部的褐变现象^[3]。黑宝石李是日本李(*Prunus salicina*

收稿日期: 2009-01-05 修回日期: 2009-02-15

* 国家自然科学基金资助项目(30600421、30430490)和“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD22B01)

作者简介: 邵毅, 博士生, 主要从事植物采后生理研究, E-mail: shaoyibj@yahoo.cn

通讯作者: 朱本忠, 副教授, 主要从事植物采后生理及生物技术研究, E-mail: zbz@cau.edu.cn

Lindl.)和美洲李的杂交品种^[4],在我国种植区域广、市场份额大,同样存在低温贮藏易褐变的现象^[2]。研究表明,多酚氧化酶(polyphenol oxidase,简称PPO)可催化酚类物质氧化成褐色的醌类物质,醌类物质聚合表现出褐变现象^[5]。有些水果的褐变与PPO活性和酚类物质浓度正相关^[6],还有些水果的褐变仅与PPO活性正相关^[7-8]。

1-甲环丙烯(1-methylcyclopropene,简称1-MCP)是一种有效的乙烯反应抑制剂,在水果保鲜领域得到广泛推广,但1-MCP对李果实褐变发生的影响还未见系统的报道。本文探讨1-MCP处理和不同贮藏温度对黑宝石李果肉冷藏褐变和机械伤害褐变的影响,以期为李果实贮藏方法的优化提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

黑宝石李(*Prunus salicina* Lindell. cv. Friar)果实采自北京市密云县,采后迅速运回实验室并释放田间热12 h。选取大小相近、无病虫害、成熟度80%果实(质量 (68.1 ± 2.6) g,直径 (5.4 ± 0.2) cm)作为实验材料,果实处理后,用聚乙烯袋分装并存放于 (0 ± 0.5) °C、 (3 ± 0.5) °C和 (7 ± 0.5) °C冷库。

1.2 果实处理

1.2.1 机械伤处理

模拟果实在采摘、运输过程中的碰撞、摩擦过程,参照Felix等^[9]方法对李果实进行机械伤处理。果实赤道面垂直于地面,从1 m高处自由落体运动至不锈钢托盘上。机械伤害后释放伤乙炔4 h,再用1-MCP处理或直接存放于不同温度的冷库。

1.2.2 1-MCP处理

将有、无机械伤处理的果实分别在室温下用 $5 \mu\text{L/L}$ 1-MCP处理12 h^[9]。果实处理后存放于不同温度的冷库中。

1.3 生理指标测定方法

研究果实冷害褐变时,每15 d从各非机械伤处理组中随机抽取15个果实统计褐变率,取果实果心外1 cm厚的果肉测定PPO活性和总酚含量。研究果实机械伤褐变时,每2 d从各机械伤处理组中随机抽取15个果实,取果实近果皮处0.5 cm厚的果肉,统计褐变指数,测定PPO活性和总酚含量。

1.3.1 褐变率和褐变指数的统计

褐变率是褐变果实数与总果实数的比值,用百分数表示。褐变指数表示机械伤后近果皮处果肉褐变的严重程度,用褐变果肉面积占总面积的百分比

表示。

1.3.2 PPO活性的测定

PPO的提取和活性测定参照高梦祥等^[10]的方法。

1.3.3 总酚含量的测定

总酚的提取和含量测定参照Chun等^[11]的方法。

1.3.4 乙烯释放速率的测定

乙烯释放率的测定参照Xie等^[12]的方法。

1.4 数据处理

用Microsoft Office Excel 2003处理数据,计算获得平均数和标准差。用SPSS软件对数据进行方差分析(ANOVA, $P=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 贮藏温度对果实冷害褐变的影响

黑宝石李在 (7 ± 0.5) °C条件下贮藏30 d后就发生了明显的软化腐烂,整个贮藏过程中都没有出现冷害褐变现象。贮藏于 (0 ± 0.5) °C和 (3 ± 0.5) °C条件下的黑宝石李于贮藏第60天和第45天出现乙烯峰(图1g、1h),褐变起始分别出现于贮藏的第75天和第60天,均发生在乙烯峰出现之后;第135天和第105天时两组果实全部褐变(图1a、1b)。褐变发生后,PPO活性被诱导,并随着褐变的加重而不断增加,至褐变发生后30 d,两组PPO活性均达到最大,分别为贮藏初期活性的2.73倍和2.48倍(图1c、1d)。在两个贮藏温度下,酚类物质随褐变的发生而显著减少(图1e、1f)。

Mayer等研究指出,正常植物组织不发生褐变与细胞内酚类物质和PPO区域化分布有关^[13]。采后衰老和不良环境破坏了与区域化有关的膜系统,引起褐变^[14]。Crisosto等^[2]发现,黑宝石李在0 °C或5 °C贮藏会发生冷害,与本研究的结果类似。黑宝石李果心PPO活性在褐变起始后显著升高,可能是由于果实衰老和低温逆境不断加剧细胞膜系统的损坏,从而增加PPO与底物的接触所造成的。而在贮藏末期衰老的果实已无法维持正常的蛋白质含量,内环境紊乱,PPO活性因此降低。

2.2 1-MCP处理对果实冷害褐变的影响

不论在 (0 ± 0.5) °C还是 (3 ± 0.5) °C条件下,1-MCP处理都能有效抑制黑宝石李果实的乙烯释放(图1g、1h),但是对李果实冷害褐变的影响效果却不同。在 (0 ± 0.5) °C贮藏条件下,经1-MCP处理的李果实在105 d才发生褐变,比未处理组果实推迟了30 d;且贮藏后135 d时果实褐变率仅为40%(图1a),与 (0 ± 0.5) °C贮藏未处理组相比显著降

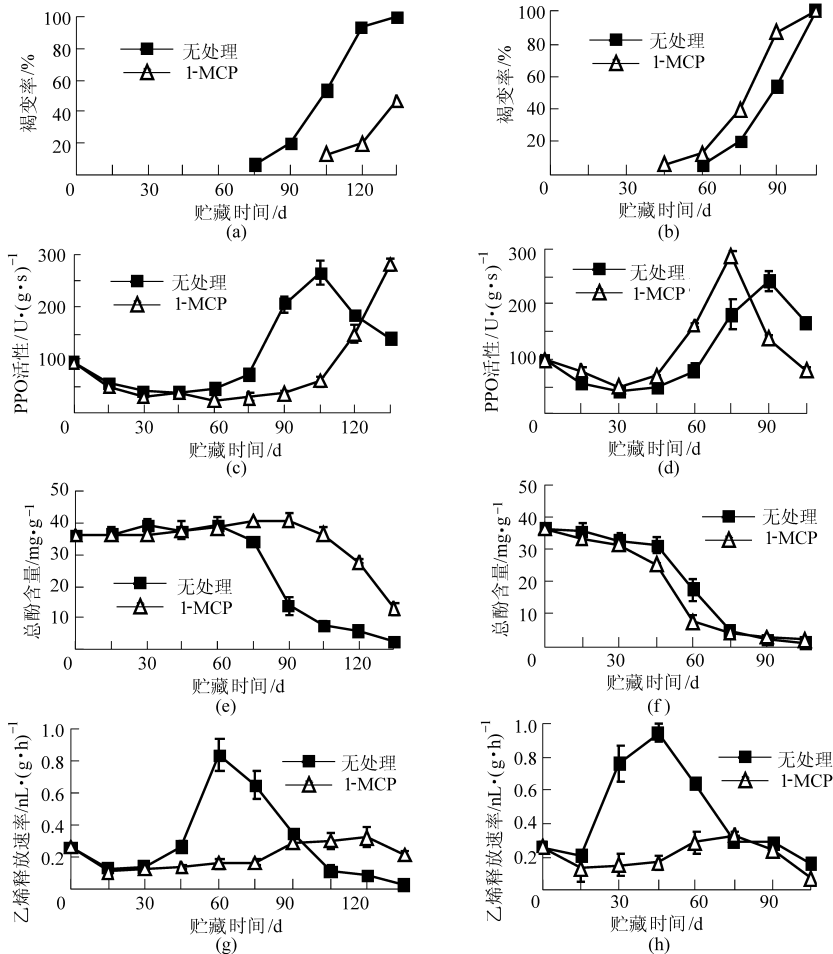


图1 1-MCP处理和贮藏温度对黑宝石李果心褐变、PPO活性、总酚含量和乙烯释放的影响

Fig.1 Effect of 1-MCP treatment and different storage temperature on core browning, PPO activity and ethylene production of Friar plum

(a) 褐变率, (0 ± 0.5) °C (b) 褐变率, (3 ± 0.5) °C (c) PPO活性, (0 ± 0.5) °C (d) PPO活性, (3 ± 0.5) °C

(e) 总酚含量, (0 ± 0.5) °C (f) 总酚含量, (3 ± 0.5) °C (g) 乙烯释放速率, (0 ± 0.5) °C (h) 乙烯释放速率, (3 ± 0.5) °C

低。而在(3 ± 0.5) °C条件下, 1-MCP处理反而使褐变起始提前了15 d, 与同期未处理果实相比, 褐变率都有提高, 但差异不显著(图1b)。与此相对应, (3 ± 0.5) °C贮藏时, 1-MCP处理组果实比未处理组果实的PPO活性更早被诱导, 差异显著; 但两组酚类物质含量的变化无显著差异(图1d、1f)。

一般认为, 果蔬贮藏过程中释放的乙烯会加速果蔬的衰老进程和冷害发生, 1-MCP处理能增强果蔬抗寒性^[15]。但在桃等核果类果实贮藏研究中发现, 维持果实一定的释放乙烯的能力, 或者添加外源乙烯, 能增加果实对冷害的抗性^[16]; 1-MCP处理后的桃果实在5 °C贮藏3周或6周后, 果肉褐变比未处理果实严重^[17]。本研究的结果表明, 1-MCP处理抑制黑宝石李果实冷藏过程中的乙烯释放, 推迟了(0 ± 0.5) °C贮藏组冷害褐变的起始, 抑制了PPO活性的升高, 从而减缓了褐变程度; (3 ± 0.5) °C贮藏组果实的冷害褐变却因此更严重。结果说明, 在不同冷藏温度下, 黑宝石李果实可能需要不同浓度的

乙烯以维持正常的生理代谢。这也可能是之前关于1-MCP处理对果蔬冷害影响的研究结果存在矛盾的原因之一。

2.3 贮藏温度对果实机械伤褐变的影响

随着冷藏温度的提高, 黑宝石李果实近果皮处果肉的机械伤褐变逐渐严重。3个贮藏温度下, 李果实的机械伤褐变都在贮藏后2 d就有表现, 但是(7 ± 0.5) °C贮藏组在10 d内褐变指数由13.28%提高到38.56%, (3 ± 0.5) °C贮藏组由最初的5.00%提高到第10天的30.54%, 而(0 ± 0.5) °C贮藏组在最初的8 d一直维持在10%以下, 第10天才提高到19.92%(图2a ~ 2c), 3组的褐变指数差异显著。(3 ± 0.5) °C和(7 ± 0.5) °C条件下, 近果皮处果肉的PPO活性随褐变的发生而显著被诱导, (0 ± 0.5) °C条件下这种趋势比较平缓; 3组的酚类物质含量变化无显著差异(图2d ~ 2i)。造成这些现象的原因可能是黑宝石李果实的细胞在(0 ± 0.5) °C条件下贮藏时比在另外两个温度条件下贮藏对机械伤害更

具抗性,膜结构劣变较为缓慢。

2.4 1-MCP处理对果实机械伤褐变的影响

在本研究的3个贮藏温度条件下,1-MCP处理都能有效抑制黑宝石李果实的乙烯释放的增加(图2j~2l),并在(0±0.5)℃条件下抑制了机械伤褐变的加重,但在(3±0.5)℃和(7±0.5)℃时却提高了李果实的褐变指数(图2a~2c)。在PPO活性

和酚类物质含量指标上体现为:(3±0.5)℃和(7±0.5)℃条件下,1-MCP处理组PPO活性高峰比未处理组提前2d到来,总酚含量下降更严重(图2e、2f、2h、2i);而(0±0.5)℃条件下,1-MCP处理组PPO活性在10d内始终比单一机械伤处理组低,总酚含量反而提高,与(0±0.5)℃贮藏未处理组差异显著(图2d、2g)。

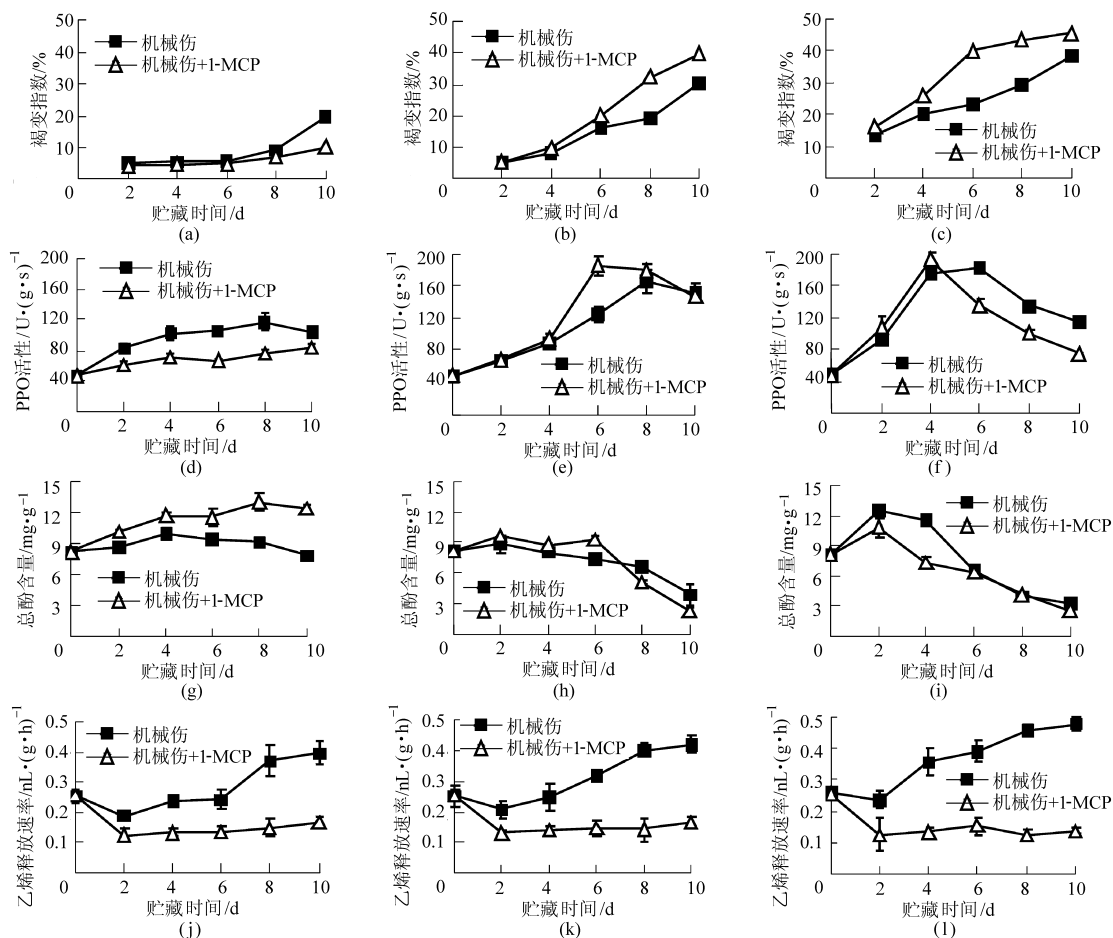


图2 1-MCP处理和贮藏温度对机械伤后黑宝石李褐变、PPO活性、总酚含量和乙烯释放的影响

Fig. 2 Effect of 1-MCP treatment and different storage temperature on browning, PPO activity and ethylene production of mechanical injury Friar plum

- (a) 褐变率,(0±0.5)℃ (b) 褐变率,(3±0.5)℃ (c) 褐变率,(7±0.5)℃ (d) PPO活性,(0±0.5)℃ (e) PPO活性,(3±0.5)℃ (f) PPO活性,(7±0.5)℃ (g) 总酚含量,(0±0.5)℃ (h) 总酚含量,(3±0.5)℃ (i) 总酚含量,(7±0.5)℃ (j) 乙烯释放速率,(0±0.5)℃ (k) 乙烯释放速率,(3±0.5)℃ (l) 乙烯释放速率,(7±0.5)℃

1-MCP处理对黑宝石李果实机械伤褐变的影响与其对果心冷害褐变的影响类似,即在(3±0.5)℃或(7±0.5)℃下加剧褐变症状,在更低温(0±0.5)℃贮藏条件下能抑制褐变。这再次说明,低温贮藏的黑宝石李缺失乙烯时,可能因为本身抵抗低温逆境的能力降低了,使得细胞结构更易被破坏;但在更低的温度下(如(0±0.5)℃),乙烯缺失反而有助于细胞结构的维持,PPO活性较为稳定,酚

类物质合成多于消耗。

2.5 机械伤对果实冷害褐变的影响

机械伤处理组果实贮藏时间明显缩短,在(0±0.5)℃和(3±0.5)℃贮藏条件下分别贮藏60d和30d后,果实就严重软化(硬度小于20N)。并且果心褐变发生也比无处理组分别提前了40d和45d,且贮藏结束时果心褐变率都达100%(表1)。说明机械伤会促进低温贮藏黑宝石李果实的冷害褐变。

表1 各种处理对冷藏黑宝石李果心褐变的影响

Tab.1 Effect of different treatments on core browning of Friar plum during low temperature storage

处理方法	果心褐变起始时间/d		贮藏结束时间/d		贮藏结束时果心褐变率/%	
	(0 ± 0.5)℃	(3 ± 0.5)℃	(0 ± 0.5)℃	(3 ± 0.5)℃	(0 ± 0.5)℃	(3 ± 0.5)℃
无处理	75	60	135	90	100	86.66
1-MCP 处理	105	45	150	105	53.33	100
机械伤处理	35	15	60	30	100	100
1-MCP + 机械伤处理	55	10	75	15	66.66	100

3 讨论

上述实验结果进一步证明了不适当的低温贮藏条件和机械伤害会加重黑宝石李果实的果肉褐变。为了提高黑宝石李果实的采后品质,在贮运、销售过程中,要精准地控制环境温度,并尽量避免碰撞。

李子是一种呼吸跃变型果实,果实成熟随着乙烯峰的出现而实现^[18]。最近的研究发现日本李中有部分品种表现出“呼吸跃变抑制型”成熟模式,即在成熟过程中只有成熟后期才有乙烯释放的增加^[19]。Candan 等对呼吸跃变型李 Larry Ann 和跃变抑制型李 Angeleno 的研究表明,李果实只在产生呼吸跃变后才有可能发生冷害褐变^[20],因此认为李果实的冷害褐变是乙烯调控的结果^[21]。在其他果蔬的保鲜研究中也发现,1-MCP 处理不仅能延缓果实成熟衰老,还能减轻果蔬褐变^[22]。但 Fan 等^[17]的研究表明 1-MCP 处理后的桃果实 5℃ 贮藏下,果肉褐变比未处理果实严重。尽管众多研究的结果存在矛盾之处,但是都说明褐变与乙烯合成相关。本研究结果表明,黑宝石李在成熟过程中有明显的乙烯峰,属于呼吸跃变型果实,1-MCP 处理能有效抑制其乙烯释放、延长贮藏期。1-MCP 处理显著抑制了(0 ± 0.5)℃ 下贮藏的黑宝石李果实的冷害褐变和机械伤褐变,却加重了(3 ± 0.5)℃ 下贮藏果实的

冷害褐变、机械伤褐变和(7 ± 0.5)℃ 下贮藏果实的机械伤褐变。综合分析温度和 1-MCP 处理对黑宝石李果实褐变的影响,发现两者都能显著影响李果肉褐变的发生和发展。此外,还可以得出:乙烯跃变并不是黑宝石李果实褐变的前提;李果实不同温度下贮藏时,需要不同浓度的乙烯以维持较好的细胞状态。

在黑宝石李冷害褐变或机械伤褐变过程中,PPO 活性会有显著升高或降低,总酚含量也有变化,表明黑宝石李果实褐变可能与 PPO 活性和总酚含量相关。而(0 ± 0.5)℃ 贮藏的 1-MCP + 机械伤处理果实在褐变逐渐加重的过程中 PPO 活性增加并不明显,总酚含量也表现出增加的趋势,说明 PPO 活性大小和酚类物质含量不是褐变的直接诱发原因。

4 结束语

1-MCP 处理和贮藏温度对黑宝石李果肉褐变都有显著影响。黑宝石李冷藏时,(3 ± 0.5)℃ 或(7 ± 0.5)℃ 的贮藏温度易加剧李果实的冷害褐变和机械伤褐变,这两个温度下再使用 1-MCP 会加重果肉褐变程度;而贮藏温度为(0 ± 0.5)℃,并用 1-MCP 处理果实,能有效延长李果实的贮藏期,减轻褐变症状。PPO 活性和总酚含量的变化与李果实褐变相关,但不是褐变的诱发原因。

参 考 文 献

- 1 Taylor M A, Jacobs G, Rabe E, et al. Physiological factors associated with overripeness, internal breakdown and gel breakdown in plums stored at low temperature[J]. Journal of Horticulture Science, 1993, 68(6): 825 ~ 830.
- 2 Crisosto C H, Mitchell F G, Ju Z. Susceptibility to chilling injury of peach, nectarine, and plum cultivars grown in California [J]. Hortscience, 1999, 34(6): 1116 ~ 1118.
- 3 Crisosto C H, Mitchell F G, Johnson S. Factors in fresh market stone fruit quality[J]. Postharvest News and Information, 1995, 6(2): 17 ~ 21.
- 4 Abu-Kpawoh J C, Xi Y F, Zhang Y Z, et al. Polyamine accumulation following hot-water dips influences chilling injury and decay in 'Friar' plum fruit [J]. Food Chemistry and Toxicology, 2002, 67(7): 2649 ~ 2653.
- 5 Vámos-Vigyázó L. Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables[J]. Critical Review in Food Science and Nutrition, 1981, 15: 49 ~ 127.
- 6 Cheng G W, Crisosto C H. Browning potential, phenolic composition, and polyphenoloxidase activity of buffer extracts of peach and nectarine skin tissue[J]. Journal of the American Society Horticulture Science, 1995, 120(5): 835 ~ 838.

- 7 Brandelli A, Lopes Carlos H G L. Polyphenoloxidase activity, browning potential and phenolic content of peaches during postharvest ripening[J]. Journal of Food Biochemical, 2005, 29(6): 624 ~ 637.
- 8 Yingsanga P, Srilaong V, Kanlayanarat S, et al. Relationship between browning and related enzymes (PAL, PPO and POD) in rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* Linn.) cvs. Rongrien and See-Chompoo[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 50(2~3): 164 ~ 168.
- 9 Felix L, Michael M B. Effect of mechanical harvest and timing of 1-MCP application on respiration and fruit quality of European plums *Prunus domestica* L. [J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 34(3): 305 ~ 311.
- 10 高梦祥, 胡翠翠, 严奉伟, 等. 磁场和抑制剂对莲藕多酚氧化酶反应动力学的影响[J]. 农业机械学报, 2008, 39(1): 96 ~ 99.
Gao Mengxiang, Hu Cuicui, Yan Fengwei, et al. Effect on reaction dynamics of lotus root polyphenol-oxidase by inhibitors and magnetic field [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(1): 96 ~ 99. (in Chinese)
- 11 Chun O K, Kim D O, Smith N, et al. Daily consumption of phenolics and total antioxidant capacity from fruit and vegetables in the American diet[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85(10): 1715 ~ 1724.
- 12 Xie Y H, Zhu B Z, Yang X L, et al. Delay of postharvest ripening and senescence of tomato fruit through virus-induced *LeACS2* gene silencing[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 42(1): 8 ~ 15.
- 13 Mayer A M, Harel. Polyphenoloxidases in plants[J]. Phytochemistry, 1979, 18(2): 193 ~ 215.
- 14 鞠志国, 朱广廉, 曹宗翼. 莱阳茌梨果实褐变与多酚氧化酶及酚类物质区域化分布的关系[J]. 植物生理学报, 1988, 14(4): 356 ~ 361.
Ju Zhiguo, Zhu Guanglian, Cao Zongyi. The compartmentation of polyphenol oxidase and its substrates in relation with fruit browning of laiyang Chi Li (*Pyrus bretschneideri* Rehd) [J]. Acta Photophysiological Sinica, 1988, 14(4): 356 ~ 361. (in Chinese)
- 15 Luo Z S, Xu X L, Cai Z Z, et al. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene (1-MCP) on lignification of postharvest bamboo shoot[J]. Food Chemistry, 2007, 105(2): 521 ~ 527.
- 16 Zhou H W, Dong L, Ben Arie R, et al. The role of ethylene in the prevention of chilling injury in nectarines [J]. Journal of Plant Physiology, 2001, 158(1): 55 ~ 61.
- 17 Fan X, Argenta L, Mattgeis J P. Interactive effects of 1-MCP and temperature on 'Elberta' peach quality[J]. HortScience, 2002, 37(1): 134 ~ 138.
- 18 Abdi N, Holford P, McGlasson W B, et al. Ripening behavior and responses to propylene in four cultivars of Japanese type plums[J]. Postharvest Biology and Technology, 1997, 12(1): 21 ~ 34.
- 19 Abdi N, McGlasson W B, Hoford P, et al. Responses of climacteric and suppressed-climacteric plums to treatment with propylene and 1-methylcyclopropene[J]. Postharvest Biology and Technology, 1998, 14(1): 29 ~ 39.
- 20 Candan A P, Graell J, Larrigaudière C. Roles of climacteric ethylene in the development of chilling injury in plums[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47(1): 107 ~ 112.
- 21 Christian L, Ana P C, Dolores U, et al. Physiological response of 'Larry Ann' plums to cold storage and 1-MCP treatment [J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 51(1): 56 ~ 61.
- 22 Lu C W, Cureatz V, Toivonen P M A. Improved quality retention of packaged 'Anjou' pear slices using a 1-methylcyclopropene (1-MCP) co-release technology[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 51(3): 378 ~ 383.