

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201612035

引文格式: 王坤, 王岳霞, 刘思敏, 等. 成串采收对番茄果实采后乙烯合成及贮藏品质的影响 [J]. 广西植物, 2017, 37(9):1143–1152
WANG K, WANG YX, LIU SM, et al. Effects of string-harvest on ethylene production and storage quality in post-harvest tomato fruit [J]. *Guihaia*, 2017, 37(9):1143–1152

成串采收对番茄果实采后乙烯合成及贮藏品质的影响

王 坤, 王岳霞, 刘思敏, 贾 蕊, 林 玲, 于文进, 孙宁静*

(广西大学 农学院, 南宁 530004)

摘 要: 为研究成串采收对番茄果实采后乙烯合成及贮藏品质的影响, 对广西田阳县两个栽培区两种嫁接砧木的串收番茄的采后生理指标进行测定, 探讨了该采收方式对番茄果实采后保鲜的作用机制。结果表明: 整个贮藏期, 不同栽培区不同嫁接砧木的番茄成串采收的果实, 乙烯生成量明显低于对照的常规单果采收。其中, 砧木 1 号 I 区的串收番茄的乙烯生成量, 采后 5 d 即下降至最低点 ($0.35 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), 显著低于其对照 ($1.36 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), 其他栽培区和砧木组合的串收番茄, 在采后 15 d 乙烯生成量达到最低值。串收番茄的类胡萝卜素、番茄红素和抗坏血酸等果实内天然抗氧化物质的含量, 在贮藏前期快速升高, 且峰值显著高于对照。此外, 成串采收处理还一定程度抑制了果实后熟阶段可溶性糖的积累和可滴定酸的分解。因此, 番茄成串采收处理, 可能通过抑制果实采后乙烯的合成, 同时提高类胡萝卜素、番茄红素和抗坏血酸的水平, 并且推迟糖和酸等营养物质的后熟变化进程, 实现其延长果实货架期, 提高商品品质的作用。

关键词: 果实, 采后生理学, 成串采收, 乙烯, 保鲜

中图分类号: Q945.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2017)09-1143-10

Effects of string-harvest on ethylene production and storage quality in post-harvest tomato fruit

WANG Kun, WANG Yue-Xia, LIU Si-Min, JIA Rui, LIN Ling,
YU Wen-Jin, SUN Ning-Jing*

(College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: Ethylene is a very important plant hormone, would cause rapid fruit ripening and softening. Keeping fruit freshness through regulation of ethylene biosynthesis and signal transduction is well studied. Tomatoes are typical climacteric fruits, very sensitive to ethylene action, so their post-harvest ethylene responses always cause fruit deterioration during storage periods. Tomato string-harvest is to harvest a cluster of fruits with the stem, which is more applicable to

收稿日期: 2017-02-07 修回日期: 2017-03-08

基金项目: 国家自然科学基金 (31501809); 广西科学研究与技术开发计划 (桂科合 14123001-25, 桂科攻 14121006-5-5, 桂科攻 1598006-2C); 广西自然科学基金 (2015GXNSFBA139112) [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31501809); Guangxi Scientific Research and Technology Development Programs (14123001-25, 14121006-5-5, 1598006-2C); Guangxi Natural Science Foundation (2015GXNSFBA139112)]。

作者简介: 王坤 (1990-), 男, 河南安阳人, 硕士研究生, 研究方向为园艺产品采后生物学及贮藏, (E-mail) 393614543@qq.com。

* **通信作者:** 孙宁静, 博士, 副教授, 研究方向为果蔬采后生理与分子生物学, (E-mail) sunningjing@gxu.edu.cn。

the cherry tomato fruit type. String-harvest shows its superiorities like high yield and labor saving in tomato productions, and fruits are sold at higher prices because of their longer shelf-life. This study aimed to clarify the effects of string-harvest trials on the ethylene production and storage quality in post-harvest tomato fruit, and to develop methods of extending tomato shelf-life. Cherry tomatoes graft-cultivated with two rootstocks (No. 1 and No. 3) from two production areas (I and II) in Tianyang County of Guangxi Zhuang Autonomous Region in China, were taken as experimental materials. Tomatoes harvested by string (treatment) or single fruit (control), were analyzed for their changes in the rate of ethylene production, content of carotenoid, lycopene, ascorbic acid, soluble sugar and titratable acids. Moreover, results indicate that throughout storage periods, ethylene production in string-harvest tomatoes with different rootstocks and cultivation areas were significantly lower than controls. The ethylene production rate in string-harvest tomato with Rootstock No.1 in Area I decreased rapidly to the minimum ($0.35 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) 5 d after harvest, significantly lower than its control ($1.36 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), and other string-harvest tomatoes in different areas with different rootstocks reached their minimum 15 d after harvest. And, the content of natural antioxidants such as carotenoid, lycopene and ascorbic acid in string-harvest tomatoes increased significantly in the early storage period. Additionally, the string-harvest treatment also inhibited the post-harvest accumulation of soluble sugar and degradation of titratable acid to a certain extent. Finally, string-harvest treatment inhibited the fruit ethylene production, increased carotenoid, lycopene and ascorbic acid level, and delayed post-harvest changes of sugar and acid content, to extend tomato shelf-life and improve commodity quality. This work proposes to explain the physiological mechanisms of the fruit freshness regulation by string-harvest trials, provide basal knowledge and evidence for development of new post-harvest technologies, as well as offer guidelines to improving tomato storability and quality, which are meaningful to the tomato production industry.

Key words: fruit, post-harvest physiology, string-harvest, ethylene, freshness

串收番茄是指整穗或整串采收上市的番茄,成串采收的方式适用于无限生长的小果型品种,一般具有花穗整齐,果皮较厚,果实不易从果穗上脱落的特点。由于串收番茄的果实着生于果穗上能够保持 15 d 不软化、不裂果(吴志刚等,2006),比常规采收的大果型番茄货架期明显延长(王金玉,2008)。因此近年来,我国北方地区的春季串收番茄每年都会出现一个每公斤 10~12 元的高峰价格,平均价格每公斤在 6 元以上,市场前景好。

串收番茄的萼片较厚不易脱水干枯,较单果采收的番茄更不易从果穗上脱落(吴志刚等,2006),且串收番茄可溶性固形物含量高又不易裂果,能适应远距离运输的要求(李俊阁和秦勇,2011)。随贮藏时间延长,串收樱桃番茄的果肉硬度、有机酸含量的变化幅度均小于普通大果型番茄,贮藏品质较好(王五宏等,2008)。对相似的果实带枝(果柄)/带叶采收的研究发现,带果柄采收的枣果贮藏 40 d 的好果率比不带果柄的果实高出 1/4,贮藏 80 d 的软果率及腐烂率明显低于不带果柄的枣果(张坤朋等,2011),而采后不同带叶量的枣果,贮藏 62 d 时,带 1 叶和 3 叶的好果率均显著高于不带叶的果实

(孙蕾等,2006)。此外,利用保鲜剂处理带叶砂糖桔,则通过降低叶片脱落率减少果实腐烂率,延长其贮藏寿命,且贮藏品质也高于摘叶对照(袁润高等,2011)。由此可见,成串采收以及带枝(果柄)/带叶采收可以达到延缓果实采后衰老的效果。但是,对于其保鲜作用的生理机制的研究目前尚未见有报道。

本研究选取两个栽培区、两种嫁接砧木的番茄,通过设置成串采收和单果采收两种实验处理,分析贮藏过程中果实乙烯产生速率、类胡萝卜素、番茄红素、抗坏血酸、可溶性糖和可滴定酸含量的变化,以期探讨成串采收对番茄果实乙烯合成和贮藏品质的影响,揭示成串采收延缓果实采后衰老的生物学基础,为番茄采后贮藏保鲜技术开发提供新思路。

1 材料与方法

1.1 材料及处理

以小番茄品种‘粉贝贝’(*Solanum lycopersicum* cv. Fenbeibei)的嫁接栽培果实为材料。分别于2015年3月17日采自广西田阳县两个番茄栽培区

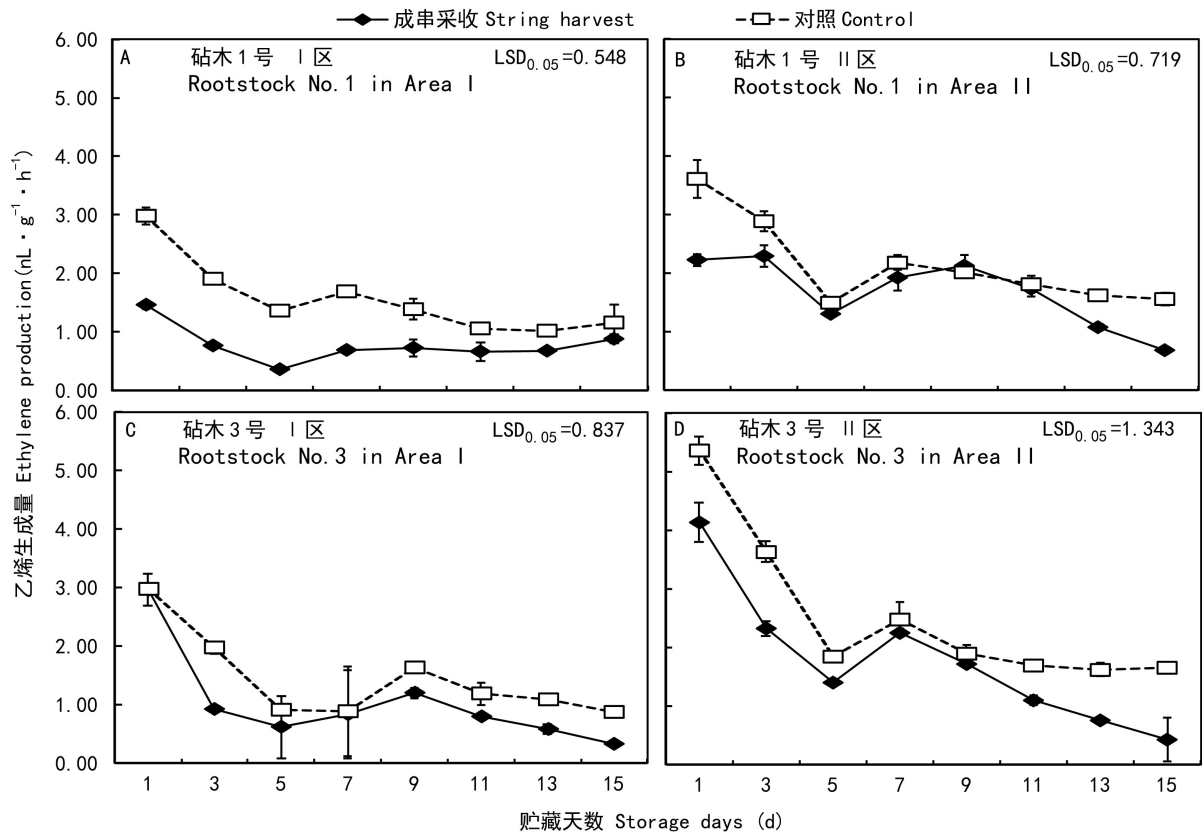


图 1 成串采收对番茄果实采后乙烯生成量的影响 误差条表示标准误, $n=3$ 。下同。
Fig. 1 Effects of string-harvest on ethylene production in post-harvest tomato fruit
Error bars represent standard error, $n=3$. The same below.

(I , II), 每个栽培区使用的嫁接砧木有两种(番茄砧木 1 号, 番茄砧木 3 号)。两个栽培区栽培条件和日常管理基本一致, 均为番茄常规生产管理。

果实采收时采用两种方式: 成串采收(果穗长 15 cm 左右, 每穗约 8 个果) 和常规单果采收(对照), 选成熟期一致、大小均匀、无病虫害、无机械损伤的果实。每个栽培区每种嫁接砧木的串收处理用果量为 12 串(约 1 200 g, 100 个果), 对对照常规采收用果量为 100 个(约 1 200 g)。

果实采收后运回广西大学农学院园艺学实验室, 进行室温贮藏, 温度为 25 ℃ (温度变幅控制在 1 ℃ 以内), 相对湿度为 60%~70%。实验观察测定于 2015 年 3 月 18 日至 4 月 1 日期间进行, 各指标的测定间隔为 2 d。

1.2 测定指标及方法

果实乙烯生成量的测定: 选用番茄果实约 200 g, 在 5 L 干燥器中密封 6 h, 用注射器收集 3 次真空

气体, 各 5 mL。气体样品的乙烯浓度利用气相色谱(岛津 GC-17A) 进行测定。气相色谱条件: 载气为 N₂, 燃气为 H₂, 流速 30 mL · min⁻¹, 毛细管色谱柱温度 90 ℃, 进样口温度 110 ℃, 检测器温度 200 ℃。

类胡萝卜素含量测定采用紫外分光光度计测定法(曹建康等, 2007), 番茄红素含量采用甲醇甲苯萃取分光光度计测定法(王玥, 2010), 抗坏血酸含量采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法(孟成民和徐步前, 2005), 可溶性糖含量采用蒽酮试剂法(万赛罗, 2008), 可滴定酸含量采用 NaOH 滴定法(潘秀娟和屠康, 2003)。

以上生理指标的测定, 各处理每次测定均进行 3 次生物学重复, 每个重复 4 个果。

1.3 数据统计分析

实验数据采用 Microsoft Excel 2013 软件及 SPSS 17.0 软件处理, 统计分析采用最小显著差异法(LSD, $P<0.05$) 进行。

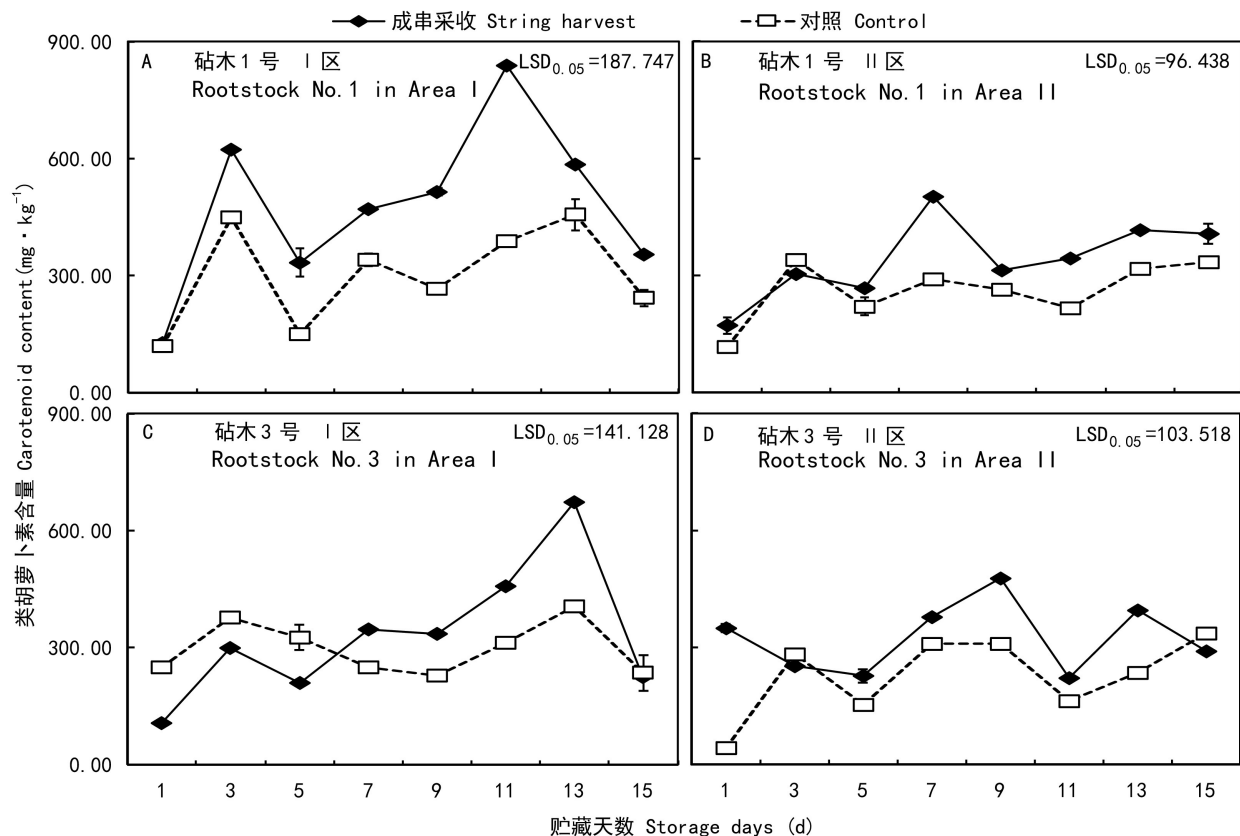


图2 成串采收对番茄果实采后类胡萝卜素含量的影响

Fig. 2 Effects of string-harvest on carotenoid content in post-harvest tomato fruit

2 结果与分析

2.1 番茄成串采收对果实采后乙烯合成的影响

从图1可以看出,两个栽培区两种嫁接砧木的番茄在成串采收和常规采收后,果实乙烯生成量均呈下降趋势,且前5 d下降最迅速。贮藏期所有串收番茄的乙烯生成量均低于对照。采后1 d,砧木1号I区和II区的串收番茄的乙烯生成量即显著低于对照,砧木1号I区串收番茄乙烯生成量最低($1.46 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$),仅为其对照的49%,砧木3号II区的果实乙烯生成量明显高于其他组合(串收: $4.13 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$;对照: $5.36 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)。采后5 d,两种采收方式的果实乙烯生成量均迅速降低,砧木1号I区串收番茄乙烯生成量($0.35 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)显著低于其对照($1.36 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$),且达到贮藏期最低点。采后15 d,砧木1号II区,砧木3号I

区和II区的串收番茄的乙烯生成量降到最低值(0.61 、 0.68 、 $0.43 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$),显著低于各自的对照(0.87 、 1.56 、 $1.65 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)。以上结果表明,番茄成串采收对果实采后乙烯合成具有显著抑制作用,并且在采后初期以及贮藏末期均有明显效果。乙烯作为调节跃变型果实成熟和衰老的重要植物激素,通过抑制其合成可以有效延缓果实后熟,实现保鲜效果。贮藏第1天和贮藏第15天时最明显,说明成串采收对果实的乙烯生成具有较强的抑制作用。

2.2 番茄成串采收对果实贮藏品质和保鲜效果的影响

2.2.1 类胡萝卜素含量 由图2可知,类胡萝卜素含量在成串采收后呈现先升高后降低的变化规律,对照的常规采收的番茄则没有明显的增加。砧木1号在I区和II区串收番茄的类胡萝卜素含量的高峰分别出现在贮藏11 d($837.93 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)和贮藏7 d

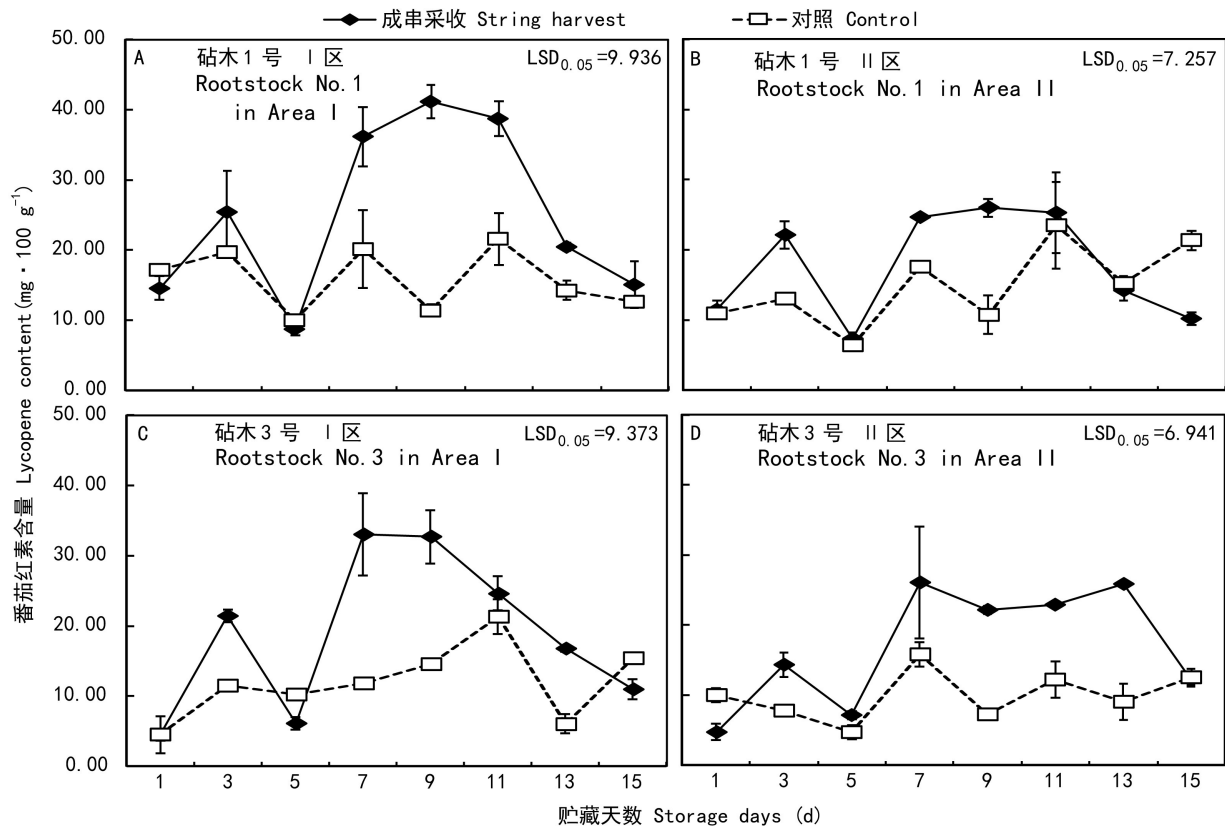


图 3 成串采收对番茄果实采后番茄红素含量的影响
Fig. 3 Effects of string-harvest on lycopene content in post-harvest tomato fruit

(502.40 mg · kg⁻¹), 显著高于对照 (389.21 mg · kg⁻¹, 289.79 mg · kg⁻¹)。砧木 3 号 I 区和 II 区串收番茄的高峰出现在贮藏 13 d (672.27 mg · kg⁻¹) 和贮藏 9 d (476.60 mg · kg⁻¹), 也显著高于对照 (405.55、309.51 mg · kg⁻¹)。砧木 1 号 I 区串收番茄在贮藏 3 d 类胡萝卜素含量激增, 到贮藏 11 d 达到各组合中的最高值, 为对照的 2.2 倍。类胡萝卜素是番茄的重要色素, 串收番茄类胡萝卜素含量高, 果实颜色更加鲜艳, 同时, 类胡萝卜素含量的升高也提升了果实的抗氧化能力, 使果实能够有效降低氧化胁迫, 延缓衰老。

2.2.2 番茄红素含量 从图 3 可以看出, 串收番茄的番茄红素在贮藏 3 d 时含量略有提高, 贮藏 7 d 时迅速升高, 到贮藏末期又迅速下降。贮藏期间串收番茄的番茄红素含量显著高于对照, 其中, 贮藏 3 d 时, 砧木 3 号 I 区的番茄不同采收方式相差最大 (串收: 21.43 mg · 100 g⁻¹; 对照: 11.53 mg · 100

g⁻¹)。贮藏 7 d 时, 砧木 3 号串收番茄的番茄红素含量达到最大值 (I 区: 33.04 mg · 100 g⁻¹; II 区: 26.05 mg · 100 g⁻¹), 显著高于各自对照 (I 区: 11.77 mg · 100 g⁻¹; II 区: 15.79 mg · 100 g⁻¹)。贮藏 9 d 时, 砧木 1 号串收番茄的番茄红素含量升至最高, 分别为对照的 3.6 倍 (I 区) 和 2.4 倍 (II 区)。番茄红素同样是番茄果实中具有抗氧化作用的色素, 本研究贮藏 7~13 d 期间, 果实内部营养成分的变化剧烈, 氧化胁迫影响巨大, 后熟衰老严重。而串收番茄的番茄红素含量的升高正是用于抵御氧化伤害, 延缓果实衰老。

2.2.3 抗坏血酸含量 由图 4 可知, 番茄果实的抗坏血酸含量在贮藏前 5 d 变化趋势平缓, 贮藏 7~9 d 迅速升高并达到最大值, 此后逐渐下降。贮藏期内, 串收番茄的抗坏血酸含量均高于对照。贮藏 9 d 时, 砧木 3 号 II 区串收番茄的抗坏血酸含量增幅最大, 达到 33.76 mg · 100 g⁻¹, 为对照的 1.6 倍。贮藏

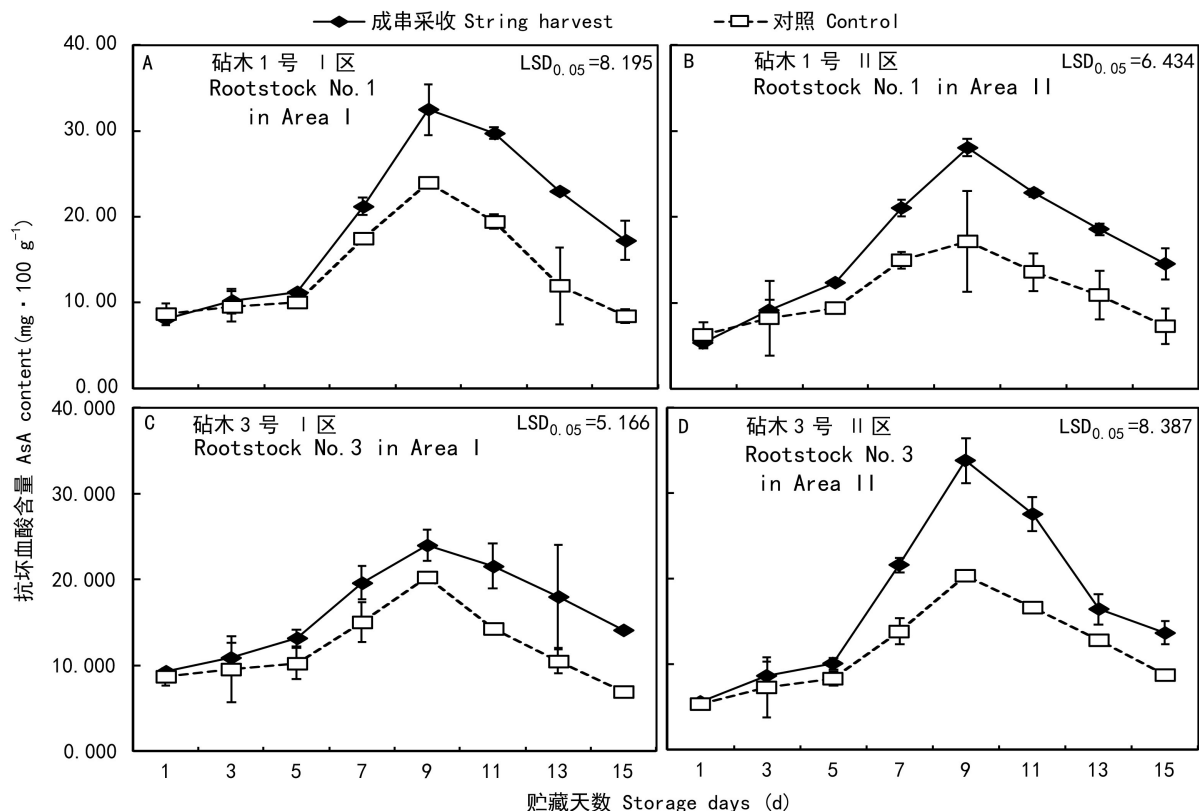


图 4 成串采收对番茄果实采后抗坏血酸含量的影响

Fig. 4 Effects of string-harvest on ascorbic acid content in post-harvest tomato fruit

15 d 时,串收番茄的抗坏血酸含量仍保持较高水平,其中,砧木 1 号 I 区为 $17.24 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$,高于对照 $8.80 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ 。抗坏血酸是植物体抗氧化系统中含量最高的成分,抗坏血酸含量的升高代表果实抵御氧化胁迫能力的增强。贮藏 9 d 时,串收番茄抗坏血酸含量增加至高峰,起到抵抗氧化伤害的作用。

2.2.4 可溶性糖含量 由图 5 可知,不同采收方式番茄的可溶性糖含量的变化有一个明显转折,贮藏前期,串收番茄的可溶性糖含量高于对照,贮藏 9 d 时,对经常规采收番茄的可溶性糖含量均迅速上升,高于串收番茄,其中砧木 3 号 II 区对照为串收番茄的 2.0 倍。至贮藏末期 15 d 时,串收番茄的可溶性糖含量仍保持较低水平。在整个采后贮藏期间,串收番茄的可溶性糖含量变化相对平稳,而常规采收的番茄到贮藏末期可溶性糖含量急剧升高,证明后熟程度加剧,果实较早出现衰老,不利于保鲜。

2.2.5 可滴定酸含量 图 6 的可滴定酸含量在贮藏前 5 d 迅速升高,贮藏 9 d 时达到最大值,后逐渐降低。贮藏期间,串收番茄的可滴定酸含量均显著高于对照。砧木 1 号 I 区串收番茄的可滴定酸含量最高,达到 2.21%。贮藏 15 d,果实的可滴定酸含量下降,但是,串收番茄的降幅明显低于对照。可滴定酸是影响果实风味的重要指标,在果实后熟阶段逐渐分解。贮藏期间,成串采收番茄果实的可滴定酸含量变化平稳,无明显降低,可以维持果实适宜的糖酸比,保持较好的风味。

3 讨论

3.1 采收方式对果实采后乙烯合成的影响

乙烯是重要的植物激素,尤其在果实成熟过程中起着重要的调节作用,影响果实成熟至衰老的一系列生理进程。乙烯生成量的增加因果实品种和

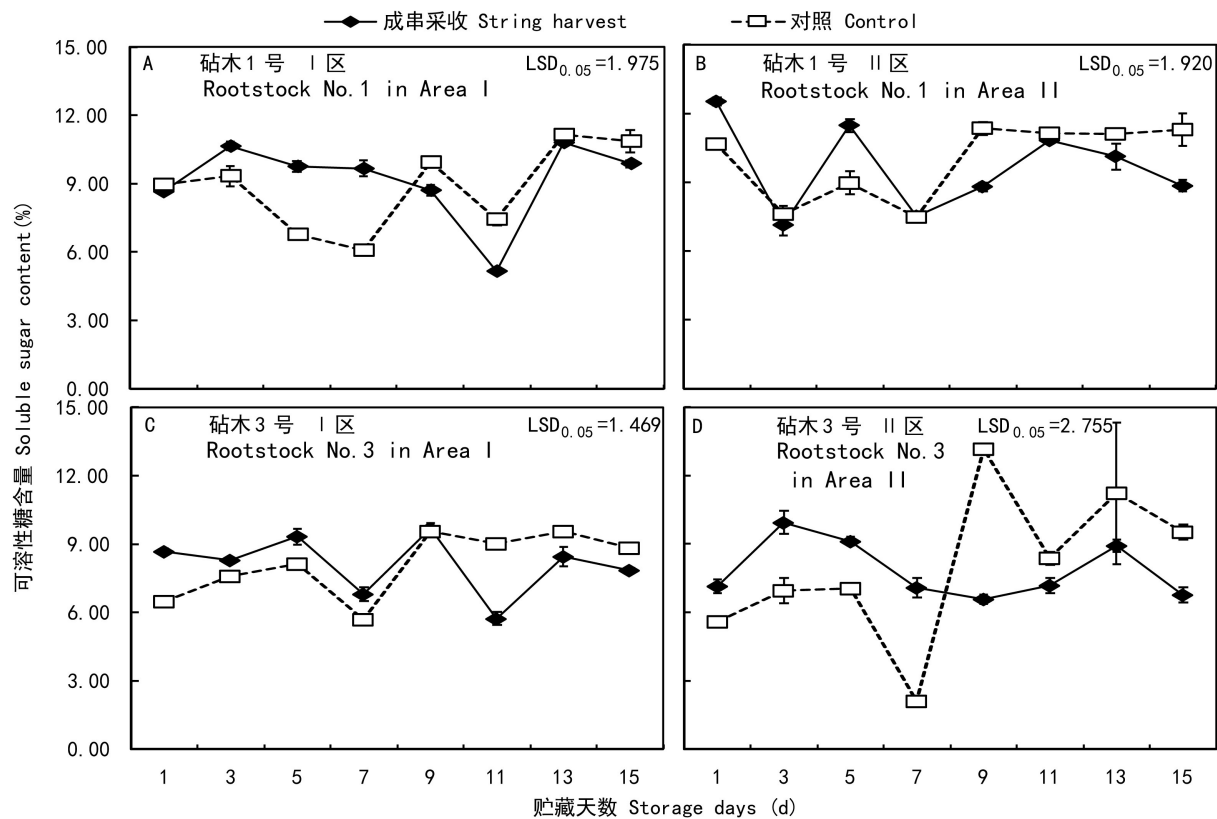


图 5 成串采收对番茄果实采后可溶性糖含量的影响
Fig. 5 Effects of string-harvest on soluble sugar content in post-harvest tomato fruit

类型而异,果肉组织对乙烯的敏感性也不尽相同(闫瑞香和王仁才,2000)。果实呼吸跃变时乙烯自我催化大量生成,内源乙烯生成速率激增常伴随果实色泽、风味等品质指标的劣变,加速果实的后熟变化(杨震峰,2007)。既然乙烯对果实的成熟和衰老至关重要,那么通过推迟乙烯生成高峰的出现,降低乙烯生成速率等方法调节乙烯生物合成就能够延缓果实的软化衰老。

本研究通过比较成串采收与常规采收两种不同方式发现,串收番茄的乙烯生成速率从刚采收已显著低于对照,并持续降低至贮藏末期,证明成串采收可以有效地抑制果实采后的乙烯合成。同时,串收番茄的果实采后可在果穗上保留 9 d,果实的软化比对照延缓 6 d(结果未呈现),起到保鲜的作用。

3.2 采收方式对果实采后贮藏品质变化的影响

类胡萝卜素是重要的植物色素,同时是一种营养性抗氧化剂,通过清除自由基和抑制脂质过氧化

效应,抵抗氧化损伤,保护生物免受不利环境因素的伤害(姜娜娜等,2007),并且与 Vc 具有显著的协同抗氧化作用(许飒等,1999)。番茄红素是一种非常重要的不含氧的类胡萝卜素,是许多类胡萝卜素合成的中间体,主要存在于茄科植物番茄的成熟果实。研究表明,番茄红素具有独特的长链分子结构,比其它类胡萝卜素多 13 个双键,使它具有更强的消除自由基能力和较高的抗氧化能力(赵娟娟,2010),其清除单线态氧的速率是维生素 E 的 100 倍,是 β -胡萝卜素的 2 倍(Nguyen & Schwartz, 1999)。本研究贮藏 7 ~ 13 d 时,串收番茄的类胡萝卜素和番茄红素含量显著高于常规采收,既有助于保持果实色彩绚丽,又可以提高其清除活性氧自由基的能力,从而延长果实的贮藏寿命和提高贮藏品质。

抗坏血酸(AsA)即 Vc,是一种水溶性维生素,普遍存在于植物组织中,是果实重要的营养成分,

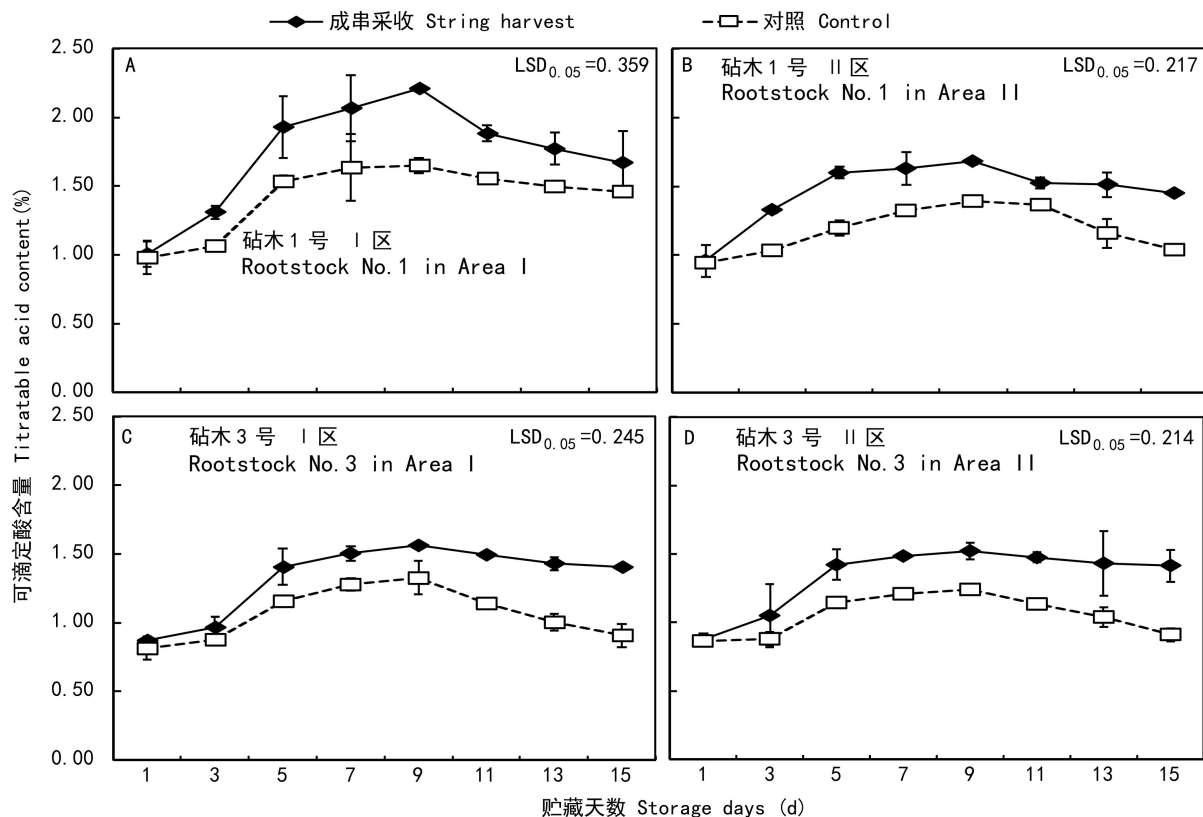


图 6 成串采收对番茄果实采后可滴定酸含量的影响

Fig. 6 Effects of string-harvest on titratable acid content in post-harvest tomato fruit

同时也是一种比较常见的抗氧化剂,作为电子供体参与生物体内的各类酶促和非酶促反应(胡新宇等,2000)。在果实成熟过程中,抗坏血酸在抗坏血酸—谷胱甘肽循环系统中,调节果肉组织内的活性氧代谢水平,起到延缓果实衰老的作用(赵宇瑛,2011)。一般来说,抗坏血酸含量在果实采收后逐渐降低,但是伴随番茄贮藏时过度失水,果实皱缩,会导致抗坏血酸浓度有所升高(孟成民和徐步前,2005)。本研究中,串收番茄的抗坏血酸含量在采后 9 d 显著升高,非常有助于果实抗氧化损伤,延缓衰老。

作为果实的基本营养素,糖不仅对果实风味的好坏起着决定性作用,参与果实的新陈代谢底物和能量供给等过程,并且在细胞信号转导过程中发挥作用(孙竹波等,2007)。通常伴随果实的成熟,糖含量不断升高,酸含量下降,但是进入后熟衰老阶段,果实的营养成分被逐渐分解消耗,糖和酸的含

量均出现降低趋势。本研究贮藏期间,串收番茄的可溶性糖和可滴定酸的含量并未出现剧烈变化,后熟进程不明显,维持了果实适宜的糖酸比,保持其较好的风味。

3.3 番茄成串采收对果实保鲜的作用机制

一般认为,成串采收或带枝带叶采收的方式保留了植株母体(树体)对果实的物质供应,采后的果实接近于着生树体的状态,有利于保持新鲜。Burg SP & Burg EA(1962)发现,部分跃变型水果在其成熟期如果留在树上则很难正常成熟,一旦从树体摘取则迅速进入呼吸跃变期并快速成熟或后熟。其乙烯合成高峰期的到来比着生在树上的同期果实大为提前,而着生于树上果实常常不出现乙烯合成高峰。Abeles(1973)将树体上产生能够控制成熟进程的这类未知化合物定义为“树体因子”(Tree factor)。Sfakiotakis & Dille(1973)认为,“树体因子”由叶片产生并通过韧皮部输送至果实,通过抑制乙

烯生物合成来控制果实成熟,因此将“树体因子”重新定义为“树体乙烯合成抑制因子”。Murayama et al(2006)对西洋梨果梗的离层以上部分进行环割处理后显著提高了乙烯生成量并促进了果实软化,由此证明韧皮部汁液中的同化产物或其他物质向果实的运送可能加速西洋梨果实在树上的成熟进程。Sun et al(2009,2010,2013)研究发现,柿树的韧皮部与木质部内的物质流抑制了柿树上果实乙烯合成的启动,并将“树体因子”具体化为“动态的树体物质流因子”。本研究中,串收番茄果实采后乙烯合成明显受到抑制,果实的贮藏品质显著高于常规采收,表明番茄中也可能存在“树体因子”,并且对果实的保鲜起到重要作用。

呼吸跃变启动了果实成熟与衰老的一系列生理生化反应,包括细胞壁的降解、内含物的转化和含量变化,该过程伴随着自由基的累积,造成氧化胁迫(陈守江,2003)。串收番茄中,类胡萝卜素和番茄红素的增加,起到清除自由基,降低氧化伤害的作用,同时,抗坏血酸作为非酶促小分子抗氧化剂,其含量的升高可以加速抗坏血酸—谷胱甘肽循环反应速率,提高番茄抗氧化损伤的能力,从而延缓果实软化衰老。

综上所述,成串采收通过有效抑制番茄采后的乙烯生成,在贮藏中后期提高果实抗氧化物质类胡萝卜素、番茄红素和抗坏血酸的含量,增强抗氧化能力,维持糖和酸的水平,保持果实的风味,从而延缓果实后熟衰老,起到贮藏保鲜的作用。

参考文献:

ABELES FB, 1973. Phyto gerontological effects of ethylene [M]. Ethylene in plant biology. New York and London: Academic Press: 163-164.

BURG SP, BURG EA, 1962. Role of ethylene in fruit ripening [J]. Plant Physiol, 37: 179-189.

CAO JK, JIANG WB, ZHAO YM, 2007. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press. [曹建康,姜微波,赵玉梅, 2007. 果蔬采后生理生化实验指导 [M]. 北京:中国轻工业出版社.]

CHEN SJ, 2003. Studies on the relationship between total antioxidant activity and physiology of ripening and senescence during storage of fruits and vegetables [D]. Zhenjiang: Jiangsu University. [陈守江, 2003. 果蔬贮藏过程中总抗氧化

能力与后熟衰老生理的关系研究 [D]. 镇江:江苏大学.]

HU XY, NING ZX, XIANG B, 2000. Advances in fruit storage and preservation technology [J]. J Shenyang Agric Univ, 31(6): 590-594. [胡新宇,宁正祥,向波, 2000. 水果贮藏保鲜技术的进展 [J]. 沈阳农业大学学报,31(6):590-594.]

JIANG NN, LI CS, WANG JH, et al, 2007. Study on carotenoids in tomato [J]. J Anhui Agric Sci, 35(34): 10979-10980. [姜娜娜,李长生,王峰辉,等, 2007. 番茄类胡萝卜素的研究 [J]. 安徽农业科学,35(34):10979-10980.]

LI JG, QIN Y, 2011. Comparison experiment of cherry tomato varieties [J]. Facility gardening and horticultural crops standardization production technology symposium. [李俊阁,秦勇, 2011. 樱桃番茄品种比较实验 [J]. 设施园艺与园艺作物标准化生产技术交流会议论文汇编]

MENG CM, XU BQ, 2005. Effects of modified atmosphere packaging and ethylene absorbent on quality of minitomato fruit during storage [J]. Storage Proc, 5(1): 31-33. [孟成民,徐步前, 2005. 自发气调包装及乙烯吸收剂对樱桃番茄贮藏品质的影响 [J]. 保鲜与加工,5(1):31-33.]

MURAYAMA HD, SEKINE Y, YAMAUCHI, et al, 2006. Effect of girdling above the abscission zone of fruit on 'Bartlett' pear ripening on the tree [J]. J Exp Bot, 57: 3679-3686.

NGUYEN ML, SCHWARTZ SJ, 1999. Lyopene: chemical and biological properties [J]. Food Technol, 53(2): 38-45.

PAN XJ, TU K, 2003. Effect of heat treatment on post harvest quality of tomato fruit [J]. J Laiyang Agric Coll, 20(4): 294-298. [潘秀娟,屠康, 2003. 采后热处理对番茄贮藏品质的影响 [J]. 莱阳农学院学报,20(4):294-298.]

SFAKIOTAKIS EM, DILLEY DR, 1973. Internal ethylene concentrations in apple fruits attached to or detached from the tree [J]. J Am Soc Hortic Sci, 98: 501-503.

SUN L, WANG TM, WANG KF, et al, 2006. The different variety fresh jujube with leaf stores experiment [J]. Food Sci, 27(10): 561-563. [孙蕾,王太明,王开芳,等, 2006. 鲜枣不同成熟度带叶贮藏试验 [J]. 食品科学,27(10):561-563.]

SUN N, ADACHI F, KADOWAKI M, et al, 2010. Effects of photosynthate transport and water flow to young fruit on fruit drop via ethylene synthesis in persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) [J]. J Jpn Soc Hortic Sci, 79: 340-347.

SUN N, NAKATSUKA A, YAMAUCHI N, et al, 2009. Effects of 'tree ethylene inhibitory factors' on fruit drop and ethylene production in persimmon fruit [J]. Food Preserv Sci, 35: 241-248.

SUN N, TANG Z, NAKATAUKA A, et al, 2013. Studies on the 'tree factor' and its role in regulating induction of ethylene in persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) fruit [J]. Acta Hortic, 996: 399-404.

SUN ZB, KONG FH, LIU Z, et al, 2007. Effect of 3.3% 1-methylcyclopropene microcapsules on the preservation of persimmon [J]. Shandong Agric Sci, 4: 107-108. [孙竹波,孔繁华,刘震,等, 2007. 3.3%1-甲基环丙烯微胶囊剂(聪明鲜™)对柿子保鲜效果的影响 [J]. 山东农业科学,4:107-108.]

- WANG JY, 2008. Effects of postharvest factors on tomato rot and quality during shelf life [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [王金玉, 2008. 采后因子对番茄货架期腐烂及品质的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院.]
- WANG WH, FENG H, XU N, et al, 2008. Comparisons on changes of several indexes related to the quality between common and truss tomatoes during storage period [J]. *Plant Physiol Comm*, 44(1): 93–96. [王五宏, 冯辉, 徐娜, 等, 2008. 串番茄与普通番茄果实贮藏期间几种与果实品质相关指标的变化比较 [J]. *植物生理学通讯*, 44(1): 93–96.]
- WANG Y, 2010. Effect of different temperature, package and extrusion treatment on quality of postharvest tomato fruits [D]. Tianjin: Tianjin University. [王玥, 2010. 不同温度、包装及挤压处理对采后番茄品质的影响 [D]. 天津: 天津大学.]
- WAN SL, 2008. Studies on local adaptability and the fruit storability of Israel tomato [D]. Hefei: Anhui Agricultural University. [万赛罗, 2008. 以色列番茄引种适应性及果实耐贮性的研究 [D]. 合肥: 安徽农业大学.]
- WU ZG, FENG H, XU N, et al, 2006. Characteristics and application of string tomato varieties [J]. *J Changjiang Veg*, 2: 36–38. [吴志刚, 冯辉, 徐娜, 等, 2006. 串番茄品种的特征特性和应用状况 [J]. *长江蔬菜*, 2: 36–38.]
- XU S, LI Z, ZHANG SH, 1999. Study on the synergistic antioxidative activities of the mixture of carotenoids with Vc [J]. *Food Sci*, 2: 22–25. [许飒, 李忠, 张声华, 1999. 类胡萝卜素与 Vc 的协同抗氧化性研究 [J]. *食品科学*, 2: 22–25.]
- YAN RX, WANG RC, 2000. The physiological and biochemical mechanism of fruit softening and senescence [J]. *J Hunan Agric Univ*, 26 (3): 230–234. [闫瑞香, 王仁才, 2000. 果实软化衰老的生理生化机制 [J]. *湖南农业大学学报*, 26 (3): 230–234.]
- YANG ZF, 2007. Study on antioxidant property and storage techniques of Chinese bayberry fruit [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University. [杨震峰, 2007. 杨梅果实抗氧化特性及保鲜技术研究 [D]. 南京: 南京农业大学.]
- YUAN RG, HUANG JY, LÜ S, 2011. Study on storage of ‘Shatang’ mandarin with attached leaves at ambient temperature [J]. *J Guangdong Agric Sci*, 12: 38–39/52. [袁润高, 黄健扬, 吕顺, 2011. 沙糖桔常温带叶保鲜技术研究 [J]. *广东农业科学*, 12: 38–39/52.]
- ZHANG KP, LIU YZ, CAI M, 2011. Study on picking time and preservation method of *Bianhesuan jujube* [J]. *J Henan Agric Sci*, 40(1): 118–120. [张坤朋, 刘彦珍, 蔡敏, 2011. 扁核酸大枣采收及贮藏技术研究 [J]. *河南农业科学*, 40(1): 118–120.]
- ZHAO JJ, 2010. Study on antioxidative activities of lycopene [J]. *Food Sci Technol*, 35(7): 62–65. [赵娟娟, 2010. 番茄红素的抗氧化活性研究 [J]. *食品科技*, 35(7): 62–65.]
- ZHAO YY, 2011. Responses of phospholipase D and antioxidant system to mechanical wounding in postharvest cucumber fruits [D]. Hangzhou: Zhejiang University. [赵宇瑛, 2011. 黄瓜磷脂酶 D 和抗氧化系统对采后机械损伤胁迫的响应 [D]. 杭州: 浙江大学.]