文章编号:1673-1689(2008)04-0070-05

三阶段负压贮藏条件下钙处理调控绿芦笋的衰老

李文香^{1,2}, 张 魁¹, 王世清²

(1. 食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214122; 2. 青岛农业大学 食品学院, 山东 青岛 266109)

摘 要: 将采后绿芦笋分别放入质量分数为 0.5%、1.0%、1.5%、2.0% 的氯化钙(CaCl₂)溶液, 浸泡处理 10 min, 以蒸馏水浸泡 10 min 为对照, 然后进行温度为 2~4℃, 相对湿度为 85%~95%, 真空压力(绝对压力)入库前 3 d 控制在 10~20 kPa, 其后 7 d 控制在 20~30 kPa, 以后保持在 35~50 kPa 的“高一中一低”三阶段负压贮藏。研究了 4 种不同质量分数的 CaCl₂ 处理对绿芦笋衰老效应的调控作用。结果表明, 用适当质量分数的钙处理可显著降低绿芦笋的呼吸强度、乙烯释放量、MDA 含量、相对电导率及衰老指数, 提高绿芦笋的抗坏血酸含量、叶绿素含量及商品率; 但对降低木质素含量效果不显著。其中钙处理以 1.5% 的 CaCl₂ 效果最佳。

关键词: 绿芦笋; 钙预处理; 三阶段负压贮藏; 衰老

中图分类号: TS 255.3

文献标识码: A

Studied on the Regulation Senescence Effects of Calcium Treatment on Green Asparagus during Three-Stage Hypobaric Storage

LI Wen-xiang^{1,2}, ZHANG Min¹, WANG Shi-qing²

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. School of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: Fresh green asparagus were subjected to a treatment by dipping in 0.5%, 1.0%, 1.5% and 2.0% calcium chloride (CaCl₂) solution for 10 min, respectively. Effects of four treatments on regulating the senescence of green asparagus were investigated. The samples dipped in distilled water for 10 min was used as the control. Then the low—middle—high three stage hypobaric storage strategy was carried out in different storage time adopted different pressure (10~20 kPa in initial 3 days, 20~30 kPa in the following 7 days and 35~50 kPa till the end of experiment) under 2~4℃ and humidity 85%~95%, respectively. The result showed that CaCl₂ treatment with suitable density could significantly inhibit the respiratory intensity and ethylene production, decrease MDA content, relative conductivity and commodity rate. However, it could not significantly reduce lignin content ($P>0.05$). Green asparagus treated with 1.5% CaCl₂ for 10 min was the best.

Key words: Green choice asparagus; calcium treatment; three-stage hypobaric storage; senescence

收稿日期: 2007-05-17.

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BE2003349).

作者简介: 李文香(1963-), 女, 山东安丘人, 工学博士, 副教授. 主要从事农产品贮藏与加工方面的教学与科研工作. Email: xiang7332@126.com

钙不仅是果蔬生长发育所必需的营养元素之一,而且对果蔬的许多生理代谢具有重要的调节作用。大量研究证明,外源 Ca^{2+} 在维持质膜功能的同时,可降低果蔬呼吸代谢、抑制乙烯的释放,提高叶绿素含量,减少腐烂,延缓衰老^[1-2]。但有关分阶段负压贮藏条件下采后钙处理调控绿芦笋衰老的研究目前尚未见报道。试验中所采用的“三阶段负压贮藏保鲜技术”,是指在绿芦笋贮藏初期,先采用短期的较低真空压力(绝对压力)贮藏,使原料尽快散掉田间热和呼吸热,充分排除内源乙烯,尽快降低原料呼吸代谢;在贮藏中期,采用中度真空贮藏压力,既不会造成致熟因子乙烯的积累,又可减少水分和易挥发性风味物质的大量损失;在贮藏后期,采用较高的真空贮藏压力(绝对压力),既可减少贮藏后期失水,保持绿芦笋出库后的鲜嫩状态,又能使其原有的风味得以恢复或保持。这种分阶段的负压贮藏工艺,从根本上改变了常规负压贮藏易失水和风味变淡的缺陷^[3-7]。通过对绿芦笋进行不同质量分数的钙处理,探索分阶段负压贮藏条件下绿芦笋采后钙处理的适宜质量分数,为进一步提高绿芦笋的保鲜效果作有益的尝试。

1 材料与方 法

1.1 原料及处理

绿芦笋由南通华林农副产品有限公司提供,品种为 UC800。选择挺直圆整、粗细适中、顶部鳞片紧密、无病虫害、无机械损伤的绿芦笋作为试材,采收后立即送至实验室;称重后将绿芦笋分别放入预先配制好的 0.50%、1.00%、1.50% 和 2.00% 的氯化钙(CaCl_2)溶液中,浸泡 10 min,对照用蒸馏水浸泡 10 min,取出后沥去多余的水分。

1.2 主要设备与仪器

JZ2 型真空负压贮藏库和常压库:无锡市企虹制冷有限公司产品;TDL-60B 型台式高速离心机:上海安亭科学仪器厂产品;725 型紫外可见分光光度计:上海精密科学仪器有限公司产品;FA1104 型电子天平(1/10 000):上海天平仪器厂产品。

1.3 三阶段负压贮藏试验

将处理好的绿芦笋,装入 450 mm×350 mm×250 mm 的带盖塑料筐,放入 JZ2 型真空负压贮藏库,在贮藏的 0~3 天真空压力(绝对压力)控制在 10~20 kPa;贮藏至 4~10 天,控制在 20~30 kPa;贮藏至 11~50 天控制在 35~50 kPa。此即“三阶段负压贮藏”,贮藏温度为 2~4 ℃、相对湿度为 85%~95%。每隔 5 d 开库取一次样测定各项指

标,贮藏至 50 d 结束试验。每 3 捆绿芦笋为一个处理组,每组处理重复 3 次,结果取平均值。

1.4 测试方法

1.4.1 呼吸强度的测定 在室温条件下,采用静置测定法^[8]。

1.4.2 乙烯释放量的测定 采用日本岛津 GC14A 型气相色谱仪测定。随机取绿芦笋原料 250 g,放于 1 000 mL 密闭的玻璃瓶中,1 h 后抽取 1 mL 气样,顶孔进样。色谱条件为:SPB-5 型毛细管柱,FID 检测器,检测器温度为 250 ℃,程序升温,载气、燃气、助燃气分别为氮气、氢气、空气。

1.4.3 VC 含量的测定 采用 2,6-二氯酚酚滴定法^[8]。

1.4.4 叶绿素含量的测定 采用分光光度法^[5]。

1.4.5 木质素含量的测定 参照罗自生等^[9]的方法。

1.4.6 细胞膜透性的测定 采用电导率仪法^[8]。

1.4.7 MDA 含量的测定 采用硫代巴比妥酸法^[5]。

1.4.8 衰老指数和商品率的测定 参照 Krarup 的方法^[10]将绿芦笋分为 5 个等级。

0 级:无萎缩、无烂头、无霉变,色泽鲜艳,无刺激性气味;

1 级:轻微萎缩、轻微失绿,无烂头、无霉变,色泽相对较鲜艳,无刺激性气味;

2 级:笋茎萎缩和失绿均 < 1/4,烂头、霉变、不鲜艳,有轻微刺激性气味;

3 级:笋茎 1/4~1/2 萎缩,1/4 < 笋茎失绿 < 1/2,烂头、霉变、不鲜艳,有刺激性气味;

4 级:笋茎萎缩和失绿均 > 1/2,严重烂头和霉变,不鲜艳,刺激性气味强烈。

绿芦笋衰老指数和商品率分别按下式计算:

衰老指数 = $\sum(\text{级数} \times \text{该级笋茎数}) / (\text{最高级数} \times \text{总笋茎数})$;

商品率 = $[(0 \text{ 级笋茎数} + 1 \text{ 级笋茎数}) / \text{总笋茎数}] \times 100\%$;

1.5 数据处理

采用 Duncan's 新复极差法进行多重比较分析。

2 结果与讨论

2.1 三阶段负压贮藏工艺对钙处理绿芦笋呼吸强度和乙烯释放量的影响

绿芦笋采收后,光合作用停止,呼吸作用成为新陈代谢的主导,它直接关系着其它各种生理生化过程,影响和制约着产品的保鲜寿命和品质变化。

乙烯是植物体自然代谢的产物,对植物的成熟和衰老起着重要的调节作用。不同质量分数的钙处理对绿芦笋呼吸强度和乙烯释放量的影响见表1。从表1可以看出,用0.50%、1.00%、1.50%三种质量分数的CaCl₂溶液处理的绿芦笋,其呼吸强度和乙烯释放量均值均低于对照,而用2.00%的CaCl₂溶液处理的绿芦笋其呼吸强度和乙烯释放量均值都略高于对照,但与对照差异均不显著。用0.50% CaCl₂溶液处理的绿芦笋,其呼吸强度与对照差异达显著水平($\alpha=0.05$);用1.00%、1.50%两种质量分数的CaCl₂溶液处理的绿芦笋其呼吸强度与对照差异均达极显著水平($\alpha=0.01$)。用0.50%、1.00%、1.50%三种质量分数的CaCl₂溶液处理的绿芦笋,其乙烯释放量与对照的差异均达极显著水平($\alpha=0.01$)。说明适当质量分数的钙处理可显著降低绿芦笋的呼吸强度和乙烯释放量,但质量分数过高反而不利。本试验结果表明,用0.5%~1.5%的CaCl₂溶液处理,对降低绿芦笋的呼吸代谢和乙烯释放量均有效,且随着处理液质量分数的提高抑制效果加强;但当质量分数达到2.00%时,不但对呼吸代谢和乙烯释放量没有抑制作用,反而会使呼吸代谢和乙烯释放量略有增加。

表1 不同质量分数的钙处理对绿芦笋呼吸强度和乙烯释放量的影响

Tab. 1 Effects of different calcium level on respiratory intensity and ethylene emission of green asparagus

钙处理	呼吸强度/ (CO ₂ mg/(kg·h))	乙烯释放量/ (μ L/(kg·h))
2.00%	56.73 $\pm$ 2.04 ^{aA}	2.18 $\pm$ 0.123 ^{aA}
CK	55.97 $\pm$ 2.57 ^{aAB}	2.16 $\pm$ 0.104 ^{aA}
0.50%	53.70 $\pm$ 1.31 ^{bBC}	2.08 $\pm$ 0.089 ^{bb}
1.00%	51.39 $\pm$ 1.27 ^{cC}	1.95 $\pm$ 0.092 ^{cC}
1.50%	48.23 $\pm$ 3.34 ^{dD}	1.81 $\pm$ 0.101 ^{dD}

注:同列数据后不同字母表示 Duncan's 多重差异范围内检测差异显著(以下各表均相同)。a, b, c...表示在 $\alpha=0.05$ 水平上差异显著;A, B, C...表示在 $\alpha=0.01$ 水平上差异显著。

Marcelle^[1]对苹果采后钙处理的研究结果表明,钙处理能明显降低苹果的呼吸强度和乙烯释放量,且随着Ca²⁺浓度的提高,对呼吸强度和乙烯释放量的抑制效果增强,该结论与本试验的结果不完全相符。这可能主要是由于不同的果蔬品种对Ca²⁺浓度的敏感程度不同所致。

2.2 三阶段负压贮藏工艺对钙处理绿芦笋抗坏血酸、叶绿素含量及商品率的影响

抗坏血酸不仅是绿芦笋重要的营养成分,而且

是具有重要抗氧化能力的活性成分。叶绿素是绿色果蔬保持其特有色泽的重要色素成分,绿色果蔬采后叶绿素会降解,绿色的消退是果蔬品质下降和衰老的重要标志。商品率则是反映绿芦笋采后保鲜效果的重要指标,它是在感官评定的基础上建立起来的对绿芦笋保鲜品质的综合量化评价方法。4种钙处理质量分数均在不同程度上提高了绿芦笋的抗坏血酸含量、叶绿素含量及商品率,且钙处理质量分数在0.50%~1.50%范围内,随着钙处理质量分数的提高,其对抗坏血酸含量、叶绿素含量及商品率的提高效果均呈增强的变化趋势(见表2)。用1.00%和1.50%CaCl₂溶液处理的绿芦笋其抗坏血酸含量及商品率与对照差异均达极显著水平($\alpha=0.01$);用0.50%CaCl₂溶液处理的绿芦笋抗坏血酸含量显著高于对照($\alpha=0.05$);用2.00%CaCl₂溶液处理的绿芦笋,贮藏过程中抗坏血酸含量的提高与对照差异不显著;而用0.50%和2.00%CaCl₂溶液处理的绿芦笋其商品率与对照差异均不显著。但用0.50%、1.00%、1.50%三种CaCl₂溶液处理的绿芦笋,其叶绿素含量与对照相比差异均达极显著水平,且这三种处理间的差异也分别达极显著水平($\alpha=0.01$)。当钙处理质量分数增至2.00%时其效果比低浓度处理有所下降,但叶绿素含量仍显著高于对照($\alpha=0.05$)。表明适当质量分数的钙处理可显著提高绿芦笋的抗坏血酸、叶绿素含量及商品率,钙处理质量分数过高或过低均会降低其作用效果;相同质量分数的钙处理对提高绿芦笋叶绿素含量的效果优于对提高其抗坏血酸含量及商品率的效果。从提高抗坏血酸、叶绿素含量及商品率的效果看,钙处理均以质量分数1.50%CaCl₂溶液效果最佳。

表2 不同质量分数的钙处理对绿芦笋抗坏血酸含量、叶绿素含量及商品率的影响

Tab. 2 Effects of different calcium level on ascorbic acid content, chlorophyll content and commodity rate of green asparagus

钙处理	抗坏血酸含量/ (mg/hg)	叶绿素含量/ (mg/hg)	商品率/%
1.50%	10.92 $\pm$ 0.35 ^{aA}	14.25 $\pm$ 0.36 ^{aA}	82.29 $\pm$ 3.27 ^{aA}
1.00%	10.57 $\pm$ 0.14 ^{bb}	13.73 $\pm$ 0.42 ^{bb}	79.07 $\pm$ 2.15 ^{aAB}
0.50%	10.51 $\pm$ 0.48 ^{bBC}	13.55 $\pm$ 0.54 ^{cC}	76.05 $\pm$ 1.54 ^{bBC}
2.00%	10.44 $\pm$ 0.34 ^{cC}	13.31 $\pm$ 0.52 ^{dD}	75.78 $\pm$ 3.09 ^{cC}
CK	10.43 $\pm$ 0.40 ^{cC}	13.18 $\pm$ 0.24 ^{dD}	75.25 $\pm$ 2.40 ^{cC}

注:a, b, c...表示在 $\alpha=0.05$ 水平上差异显著;A, B, C...表示在 $\alpha=0.01$ 水平上差异显著。

2.3 三阶段负压贮藏保鲜工艺对钙处理绿芦笋木质素含量的影响

木质素是影响果蔬质地和食用品质的重要因

素。绿芦笋中木质素含量的高低与其老化程度紧密相关。不同质量分数的钙处理对绿芦笋木质素含量的影响不同,较高质量分数的CaCl₂溶液处理(2.00%)可增加木质素含量,而低质量分数范围内(0.50%~1.50%)则随着CaCl₂溶液质量分数的提高木质素含量呈下降的变化趋势。但统计分析结果显示,4种不同质量分数的钙处理对木质素含量的影响均与对照无显著差异(见表3)。

表3 不同质量分数的钙处理对绿芦笋木质素质量分数的影响

Tab.3 Effects of different calcium level on lignin content of green asparagus

钙处理	木质素质量分数/%
2.00%	0.76±0.034 ^{AB}
CK	0.75±0.028 ^{AB}
0.50%	0.74±0.030 ^{AB}
1.00%	0.73±0.029 ^{AB}
1.50%	0.70±0.025 ^{AB}

注:a,b,c...表示在 $\alpha=0.05$ 水平上差异显著;A,B,C...表示在 $\alpha=0.01$ 水平上差异显著。

有关钙处理与POD、PPO活性方面的研究有少量报道,李金雨等^[11]曾对杨桃果实采后浸钙处理进行了研究,结果表明适当浓度的钙处理能显著地抑制杨桃中POD、PPO等酶的活性。但关于钙处理与果蔬木质化以及与木质化有关的其它酶类活性方面的研究却未见报道。POD、PPO在果蔬中所起的作用非常复杂,这主要是由于POD、PPO在多数果蔬中都存在多种同工酶,这两种酶除了与果蔬的褐变有关外,还参与木质素的合成。理论上讲,钙处理既然能极显著地抑制POD、PPO等酶的活性,也应该能显著抑制木质素的合成;但本试验结果显示,钙处理对绿芦笋木质素合成的抑制效果不显著。对钙处理与木质素形成的关系问题还有待于作进一步探讨。

2.4 三阶段负压贮藏工艺对钙处理绿芦笋细胞膜透性、膜脂过氧化及衰老指数的影响

细胞膜透性的大小即为电解质透过细胞膜向外渗透的速率,通常用相对电导率的大小来反映膜透性的变化,它是膜系统受伤害程度的体现。丙二醛(MDA)是膜脂过氧化的重要产物,其含量的高低可反映膜脂过氧化的程度。衰老指数则是反映绿芦笋采后衰老程度的重要指标,是在感官评定的基础上建立起来的对绿芦笋衰老状况的综合量化评价。4种质量分数的钙处理对降低绿芦笋的相对电导率、MDA含量及衰老指数均有效果,但质量分数

不同其效果各不相同(见表4)。在0.50%~1.50%的CaCl₂质量分数范围内,随着CaCl₂溶液质量分数的提高,相对电导率、MDA含量及衰老指数均呈下降趋势;当CaCl₂溶液质量分数增至2.00%时,相对电导率、MDA含量及衰老指数反而比低质量分数处理上升。用0.50%、1.00%、1.50%三种质量分数CaCl₂溶液处理的绿芦笋,相对电导率和MDA含量与对照相比,差异均达极显著水平,且3种处理间差异也分别达极显著水平($\alpha=0.01$)。用1.00%、1.50%两种质量分数CaCl₂溶液处理的绿芦笋,其衰老指数与对照差异均达极显著水平($\alpha=0.01$);而用0.50%CaCl₂溶液处理的绿芦笋,其衰老指数与对照差异不显著。表明适当质量分数的钙处理,对降低绿芦笋的相对电导率、MDA含量及衰老指数、保护细胞膜完整性、延缓绿芦笋衰老,效果显著。处理效果按从大到小的顺序依次为1.50% > 1.00% > 0.50% > 2.00%。

表4 不同质量分数的钙处理对绿芦笋细胞膜透性、膜脂过氧化及衰老指数的影响

Tab.4 Effects of different calcium level on membrane permeability, membrane lipid peroxidation and senescence index of green asparagus

钙处理	相对电导率/%	丙二醛含量/(nmol/g)	衰老指数
CK	7.08±0.13 ^{AB}	1.70±0.15 ^{AB}	0.44±0.035 ^{AB}
2.00%	7.02±0.55 ^{AB}	1.66±0.09 ^{BB}	0.42±0.021 ^{AB}
0.50%	6.91±0.26 ^{BC}	1.62±0.18 ^{CC}	0.39±0.040 ^{BB}
1.00%	6.79±0.13 ^{DD}	1.54±0.16 ^{DD}	0.35±0.023 ^{CC}
1.50%	6.36±0.22 ^{EE}	1.42±0.12 ^{EE}	0.33±0.030 ^{CC}

注:a, b, c...表示在 $\alpha=0.05$ 水平上差异显著;A, B, C...表示在 $\alpha=0.01$ 水平上差异显著。

有关钙处理与细胞膜透性方面的研究报道较多^[2,12],普遍认为钙处理可保护膜结构,降低细胞膜的渗透性。对于钙处理降低细胞膜透性的机制,多数人认为,钙对质膜的保护主要是钙能有助于增加质膜的保护酶活性和保护物质,减少自由基对膜系统的伤害,从而保护膜结构的完整性,延缓果蔬的衰老进程^[13-14]。

钙处理能降低膜脂过氧化作用,减少膜脂过氧化产物MDA的积累。对于钙处理降低膜脂过氧化的机理,关军锋^[15]研究指出,超氧自由基能启动膜脂过氧化的连锁反应,使膜脂过氧化产物MDA含量增多。而MDA可与膜上的蛋白质、酶及磷脂等结合、交联而使之失活,从而进一步加剧了膜脂过氧化,使生物膜的结构与功能受到破坏。外源钙具有提高质膜的保护酶活性和保护物质含量,减少自

由基对膜系统的伤害^[13-14]的功效,这与钙处理能保护膜结构是同一道理。

3 结 语

1) 绿芦笋采后钙处理质量分数在 1.00%~1.5% 范围内可显著降低绿芦笋的呼吸强度、乙烯释放量、MDA 含量、相对电导率及衰老指数,提高绿芦笋的抗坏血酸含量、叶绿素含量及商品率;且随着钙处理质量分数的提高其作用效果加强;但对

降低木质素含量效果不显著。钙处理以质量分数 1.5% 的 CaCl_2 效果最好。

2) 当绿芦笋采后钙处理质量分数达到 2.00% 时,不但不能降低绿芦笋的呼吸代谢、乙烯释放及木质素的含量,而且还会刺激呼吸强度、乙烯释放量的上升和木质素含量的增加。因此,绿芦笋采后钙处理适宜的质量分数范围较窄,在应用时要注意严格控制好 Ca^{2+} 浓度,否则会降低钙处理的效果。

参考文献(References):

- [1] Marcelle R D. Relationships between mineral content, lipoxygenase activity, levels of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid and ethylene emission in apple flesh disks (CV. Jonagold) during storage[J]. *Postharvest Bio Tech*, 1991(1): 101-109.
- [2] Ferguson I B, Drobak B K. Calcium and the regulation of plant growth and senescence[J]. *Hort Sci*, 1998, 23(2): 262-266.
- [3] Li Wenxiang, Zhang Min. Effect of three-stage hypobaric storage on cell wall components, texture and cell structure of green asparagus[J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 77: 112-118.
- [4] Li Wenxiang, Zhang Min, Wang Shaojin. Effect of three-stage hypobaric storage on membrane lipid peroxidation and activities of defense enzyme in green asparagus[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2007(12): 23.
- [5] 李文香,张懋,余汉清. 绿芦笋的减压贮藏试验[J]. 无锡轻工大学学报, 2004, 23(6): 38-42.
LI Wen-xiang, ZHANG Min, YU Han-qing. Study on hypobaric storage of green asparagus[J]. *Journal of Wuxi University Light Industry*, 2004, 23(6): 38-42. (in Chinese)
- [6] 李文香,张懋,余汉清. 不同真空处理对水蜜桃贮藏效果的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2006, 25(3): 58-62.
LI Wen-xiang, ZHANG Min, YU Han-qing. Effect of different vacuum treatment on the storage of honey peach[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2006, 25(3): 58-62. (in Chinese)
- [7] 李文香,张懋,余汉清. 真空预冷结合减压贮藏保鲜水蜜桃[J]. 食品与生物技术学报, 2005(5): 42-46.
LI Wen-xiang, ZHANG Min, YU Han-qing. Study of vacuum precooling combined with hypobaric storage on keeping fresh of honey peach[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2005(5): 42-46. (in Chinese)
- [8] 李文香,张懋,陶菲,等. 真空预冷终温对草莓短期保鲜贮藏的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2006, 25(4): 72-76.
LI Wen-xiang, ZHANG Min, TAO Fei, et al. Effect of vacuum precooling end-temperature on short-term fresh preservation of strawberry[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2006, 25(4): 72-76. (in Chinese)
- [9] 罗自生,席琼芳,傅国柱,等. 竹笋采后热处理对细胞壁组分和水解酶活性的影响[J]. 园艺学报, 2002, 29(1): 43-46.
LUO Zi-sheng, XI Yu-fang, FU Guo-zhu, et al. Effect heat treatment on cell wall components in relation to cell wall hydrolase of excised bamboo shoots[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2002, 29(1): 43-46. (in Chinese)
- [10] Krarup C. Initial weight loss, packaging and conservation of asparagus[J]. *Acta Hort*, 1990, 271: 478-483.
- [11] 李金雨,黄维南. 钙处理对杨桃果实采后四种氧化酶活性的影响[J]. 热带作物学报, 1996, 17(2): 88-92.
LI Jin-yu, HUANG Wei-nan. Effect of postharvest calcium treatments on the activities of catalase, peroxidase, polyphenol oxidase and ascorbic acid oxidase in carambola fruits[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 1996, 17(2): 88-92. (in Chinese)
- [12] Leshem Y Y, Sridhara S, Thompson J E. Involvement of calcium and calmodulin in membrane deterioration during senescence of pea foliage[J]. *Plant Physiol*, 1984, 75: 329-335.
- [13] 吴友根,蒋依辉,陈金印. 钙与果品贮藏关系的研究进展[J]. 江西农业大学学报, 2001, 23(3): 396-400.
WU You-gen, JIANG Yi-hui, CHEN Jin-yin. Advances of research on effects of calcium and fruit storage[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2001, 23(3): 396-400. (in Chinese)
- [14] 关军峰. Ca^{2+} 对苹果果实细胞膜透性、保护酶活性和保护物质含量的影响[J]. 植物学通报, 1999, 16(1): 72-74.
GUAN Jun-feng. Effect of calcium on cell membrane permeability, activities of protective enzymes and content of protective substances in apple fruits[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 1999, 16(1): 72-74. (in Chinese)
- [15] 关军峰. 采后鸭梨衰老与膜脂过氧化物的关系[J]. 沈阳农业大学学报, 1994, 25(4): 418-421.
GUAN Jun-feng. The relationship between senescence and membrane lipid peroxidation or rli pear after harvest[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 1994, 25(4): 418-421. (in Chinese) (责任编辑:秦和平,朱明)