

贮藏温度对鲜切香菜营养成分和抗氧化活性的影响

韩 聪, 李晓安, 高 梵, 金 鹏, 郑永华*

(南京农业大学食品科技学院, 南京 210095)

摘 要: **目的** 分析不同温度贮藏对鲜切香菜营养成分和抗氧化活性的影响。**方法** 将香菜进行切割处理后装入保鲜盒, 在 4 °C、10 °C 和 20 °C 下贮藏, 测定鲜切香菜抗坏血酸、叶绿素、可溶性糖、总酚、总黄酮含量和 DPPH 自由基清除率的变化。**结果** 切割伤害会促进香菜抗坏血酸、叶绿素和可溶性糖含量迅速下降, 与 10 °C 和 20 °C 相比, 4 °C 低温贮藏的香菜抗坏血酸等营养成分的消耗速率最低。此外, 切割还会诱导香菜多酚和类黄酮类物质的合成、积累及 DPPH 自由基清除率的上升, 从而增强其抗氧化活性。与 4 °C 和 10 °C 相比, 20 °C 条件下香菜的多酚类和类黄酮类物质积累最多, 抗氧化活性最强。**结论** 低温贮藏有利于维持鲜切香菜的营养成分, 而高温贮藏会诱导鲜切香菜抗氧化活性的提高。

关键词: 鲜切香菜; 贮藏温度; 营养成分; 抗氧化活性

Effects of storage temperature on nutritional compositions and antioxidant activity of fresh-cut coriander

HAN Cong, LI Xiao-An, GAO Fan, JIN Peng, ZHENG Yong-Hua*

(College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

ABSTRACT: Objective To analyze the effect of different storage temperature on the nutritional compositions and antioxidant activity of fresh-cut coriander. **Methods** Fresh-cut coriander was cut and placed into preservation boxes, and stored at 4 °C, 10 °C and 20 °C. The changes of ascorbic acid, chlorophyll, soluble sugar, total phenolics, total flavonoids and DPPH radical scavenging activity were investigated. **Results** The results indicated that cutting induced a fast loss of ascorbic acid, chlorophyll and soluble sugar. Compared with 10 °C and 20 °C, storage temperature of 4 °C significantly decreased the disruption of these nutrients. In addition, cutting also induced the synthesis and accumulation of phenolic and flavone compounds, enhanced its DPPH radical scavenging activity, and improved the antioxidant activity of coriander. Compared with 4 °C and 10 °C, the content of phenolic and flavone compounds and antioxidant activity in fresh-cut coriander were higher at 20 °C. **Conclusion** Low storage temperature can preserve the nutritional quality of fresh-cut coriander, while higher temperature can induce the improvement of antioxidant activity of fresh-cut coriander.

KEY WORDS: fresh-cut coriander; storage temperature; nutritional compositions; antioxidant activity

基金项目: 国家自然科学基金项目(31471632)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31471632)

*通讯作者: 郑永华, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为果蔬保鲜加工与品质控制。E-mail: zhengyh@njau.edu.cn

*Corresponding author: ZHENG Yong-Hua, Professor, Ph.D Candidate Supervisor, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China. E-mail: zhengyh@njau.edu.cn

1 引言

鲜切果蔬(fresh-cut fruits and vegetables)又称最小化加工果蔬或切割果蔬,是指以新鲜果蔬为原料,经分级清洗整修去皮切割或切分包装而制成的方便果蔬制品,供消费者立即食用或餐饮业使用的一种新式加工产品^[1,2]。它既不同于传统意义上的果蔬原料,因为鲜切果蔬可以不做进一步处理就可以直接食用;也不同于果蔬加工产品,因为鲜切果蔬仍处于鲜活状态。随着现代人们生活水平和生活节奏的提高,鲜切果蔬产品以其新鲜、营养、方便、快捷等特点越来越受到消费者的青睐,具有广阔的市场前景^[3]。

香菜,又称芫荽(*Coriandrum sativum* L),是一种调味蔬菜,味道独特,富含营养素,Vc含量约为番茄的2.5倍,胡萝卜素和铁的含量也较高,是绿叶蔬菜中的佼佼者^[4]。此外,香菜茎叶中的精油成分还具有一定的抗氧化功效,既能改善食物风味又能有效提高食物的抗氧化能力^[5]。在中国人的饮食习惯中,通常是将香菜切分后直接食用或再加工。然而,关于鲜切香菜在贮藏过程中营养成分和抗氧化活性的变化,目前国内外还鲜有报道。本文以鲜切香菜为研究对象,分析不同温度贮藏条件下香菜营养成分和抗氧化活性的变化,以期对鲜切香菜的加工、保鲜和科学食用提供理论依据。

2 材料与方法

2.1 材料

试验于2014年4~5月进行,供试香菜(大叶香菜,河北金发种业有限公司出品),购于南京玄武区童卫路卫岗农贸市场。清洗、沥干后,挑选长度适中、无机械伤、无病虫害的香菜进行实验。

2.2 方法

室温(16~18℃)下,用锋利的不锈钢刀去除根部后,将香菜切割成长度为0.5 cm的样品。随后,随机装入保鲜盒中,再用保鲜膜封好,分别放入4℃、10℃和20℃下贮藏,定期取出一定数量的样品用来测定各项指标。

2.3 测定指标和方法

2.3.1 抗坏血酸含量

参照曹健康^[6]的红菲咯啉比色法,结果以

mg/100 g表示。

2.3.2 叶绿素含量

参照 Hasperu^[7]的方法并稍作修改。取3 g样品,加入少量CaCO₃粉和石英砂及2~3 mL丙酮:乙醇(V:V=4:1)溶液,在暗处冰浴研磨成匀浆,再加入10 mL丙酮:乙醇(4:1)溶液继续研磨直到组织变白,将溶液静置3~5 min,过滤到50 mL棕色容量瓶中,冲洗研钵、研棒和残渣数次,最后连同残渣一起倒入漏斗中,用丙酮:乙醇(V:V=4:1)溶液冲洗,直到滤纸和残渣中无绿色为止,最后用丙酮:乙醇(V:V=4:1)溶液定容至50 mL,摇匀。以提取液作空白,在645 nm和663 nm处测定吸光值,并计算叶绿素的含量,叶绿素含量的单位为mg/100 g。

2.3.3 可溶性糖含量

参照曹健康^[8]的蒽酮试剂法,结果以质量分数(%)表示。

2.3.4 总酚和总黄酮含量的测定

总酚含量参照 Slinkard^[9]的Flin-Ciocalte试剂比色法并作适当修改:取5 g样品,加入25 mL浓度为70%的冷乙醇溶液,充分研磨至均浆提取,然后于4℃下12000 r/min离心20 min,上清液直接用于比色,结果以mg GAE/g表示;总黄酮含量参照 Toor^[10]的方法进行测定,提取方法与总酚相同,结果以mg Rutin/g表示。

2.3.5 DPPH 自由基清除率的测定

DPPH 自由基清除率的测定参照 Yokozawa^[11]的方法,结果以清除百分率来表示。

2.4 数据分析

本文的数据应用 Microsoft Excel 2007 软件处理,并采用 SPSS 18.0 进行数据分析。试验重复3次。

3 结果与分析

3.1 不同贮藏温度对鲜切香菜抗坏血酸含量的影响

抗坏血酸,即还原型维生素C,广泛存在于水果和蔬菜中,是维持机体生理机能和人体中不可缺少的一种重要营养物质。如图1所示,三个贮藏温度下抗坏血酸的含量均呈下降趋势,与对照相比,经切割处理的香菜下降速度更快。20℃下,鲜切香菜抗坏血酸含量下降速率最快,在d 2时只有初始值的69.9%。10℃贮藏虽然能在一定程度上延缓鲜切香菜抗坏血

酸含量的下降,但在1 d后,仍很难有效抑制鲜切香菜抗坏血酸的迅速损失。与10℃和20℃相比,4℃条件下鲜切香菜的抗坏血酸含量在整个贮藏期内下降平缓,并始终高于其他两个温度,说明4℃贮藏更有利于维持鲜切香菜的抗坏血酸含量。

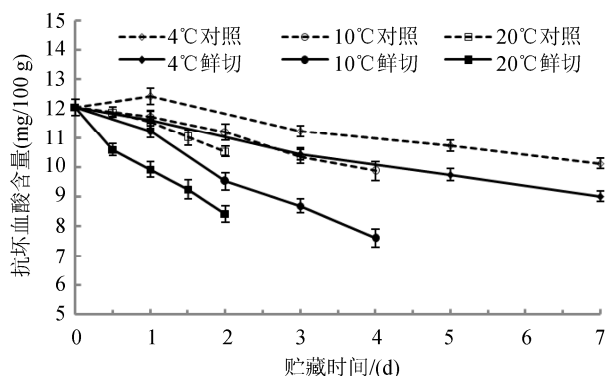


图1 不同贮藏温度对鲜切香菜抗坏血酸含量的影响

Fig. 1 Effects of storage temperature on ascorbic acid content of fresh-cut coriander

3.2 不同贮藏温度对鲜切香菜叶绿素含量的影响

叶绿素含量是衡量绿色蔬菜品质变化的重要指标。由图2可知,叶绿素含量在整个贮藏期间呈下降趋势,贮藏温度越高,鲜切香菜叶绿素的下降趋势越明显。新鲜香菜的叶绿素含量为119.8 mg/100 g,20℃贮藏2 d后,鲜切香菜的叶绿素含量下降到原初水平的54.7%。10℃条件下的鲜切香菜在贮藏初期叶绿素含量下降较慢,在d 2时为初始值的74.7%。然而,贮藏2 d后,鲜切香菜的叶绿素含量迅速下降,这可能是由于贮藏后期香菜本身的衰老导致叶绿素的分解速率加快。4℃条件下,鲜切香菜的叶绿素含量在7 d贮藏期内一直平稳下降,并始终高于其他两个温度,说明4℃更好延缓了叶绿素的降解,维持了鲜切香菜的品质。

3.3 不同贮藏温度对鲜切香菜可溶性糖含量的影响

糖是果蔬组织中重要的储能物质,它的含量高低与果蔬品质和贮藏特性密切相关。从图3可以看出,在整个贮藏期间,随着贮藏时间的延长,鲜切香菜的可溶性糖含量不断下降,但不同温度间差异明显。20℃贮藏条件下,鲜切香菜的可溶性糖含量下降速度显著高于4℃和10℃,这可能是由于较高的贮藏

温度加剧了鲜切香菜的呼吸代谢速率,而糖是果蔬呼吸作用的主要底物。10℃虽然能在贮藏的前两天保持较高的可溶性糖含量,但随后也开始迅速下降。4℃贮藏条件下,鲜切香菜可溶性糖的下降速度最为缓慢,可溶性糖含量最高。由此可见,4℃贮藏可以有效缓解可溶性糖的氧化分解过程,从而保持鲜切香菜较高的可溶性糖水平。

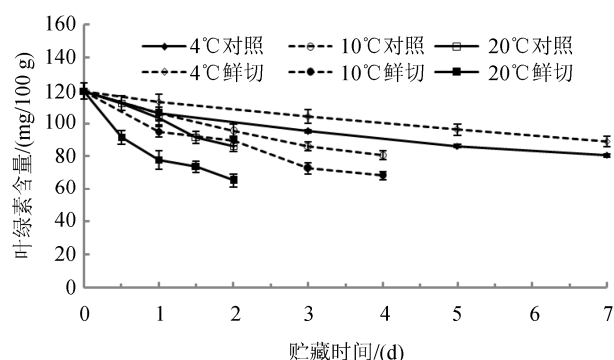


图2 不同贮藏温度对鲜切香菜叶绿素含量的影响

Fig. 2 Effects of storage temperature on chlorophyll content of fresh-cut coriander

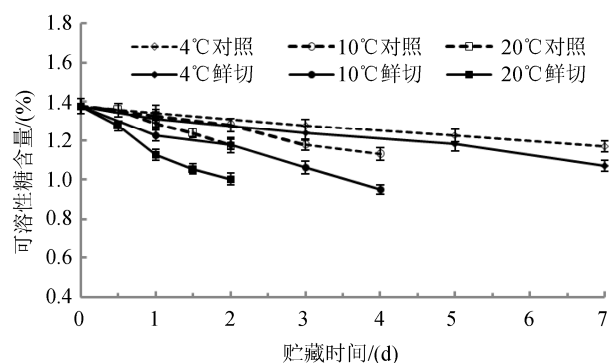


图3 不同贮藏温度对鲜切香菜可溶性糖含量的影响

Fig. 3 Effects of storage temperature on soluble sugar content of fresh-cut coriander

3.4 不同贮藏温度对鲜切香菜总酚含量的影响

酚类化合物作为一种重要的抗氧化物质,在果蔬中含量丰富,并在植物抗氧化过程中发挥重要作用,它的含量也被作为衡量果蔬抗氧化能力的主要指标^[12,13]。由图4可知,三个温度下鲜切香菜的总酚含量都有明显上升,其中,20℃上升速率最快,10℃次之但在d 3时有轻微下降,4℃上升速率最慢。贮藏结束时,10℃和20℃条件下的鲜切香菜总酚含量达

到最高值, 分别比初始值高 72.3%和 89.6%。而在 4℃条件下, 在 d 5 时达到最大值, 比初始值高 40.4%。

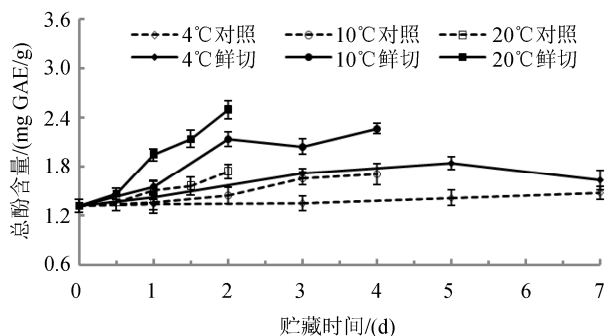


图 4 不同贮藏温度对鲜切香菜总酚含量的影响

Fig. 4 Effects of different storage temperature on total phenolics content of fresh-cut coriander

3.5 不同贮藏温度对鲜切香菜类黄酮含量的影响

类黄酮类物质作为一种多酚类化合物, 对果蔬的营养价值、抗氧化能力和医疗保健作用都有重要影响。从图 5 可以看出, 类黄酮的变化趋势与总酚的变化趋势相类似, 与完整香菜相比, 鲜切香菜类黄酮的含量在贮藏阶段的上升速度更快。10℃和 20℃条件下的鲜切香菜在贮藏结束时, 其类黄酮含量分别比贮藏开始时上升了 26.3%和 32.8%, 4℃条件下的鲜切香菜类黄酮的含量也在 d 5 达到最大值, 为初始值的 1.26 倍。实验结果表明, 温度越高, 类黄酮含量的上升趋势越明显。

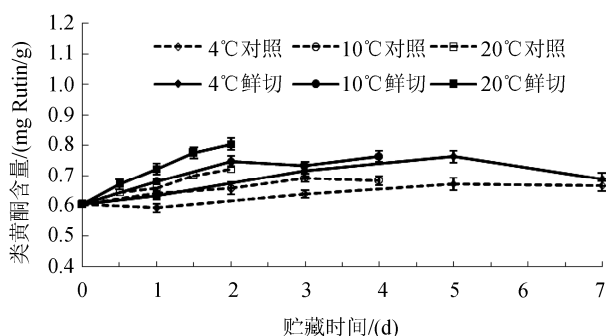


图 5 不同贮藏温度对鲜切香菜类黄酮含量的影响

Fig. 5 Effects of storage temperature on flavones content of fresh-cut coriander

3.6 不同贮藏温度对鲜切香菜 DPPH 自由基清除率的影响

本实验选取 DPPH 自由基清除率评价鲜切香菜

抗氧化能力的标准。由图 6 所示, 完整香菜和鲜切香菜的 DPPH 自由基清除率在贮藏过程中都有升高, 但经切割处理的香菜的上升趋势更为明显。其中, 20℃上升速率最快, 10℃次之, 4℃上升速率最慢并在贮藏后期有轻微下降。贮藏结束时, 4℃、10℃和 20℃贮藏条件下鲜切香菜的 DPPH 自由基清除率分别比贮藏初始时高 51.3%、80.7%、117.1%。

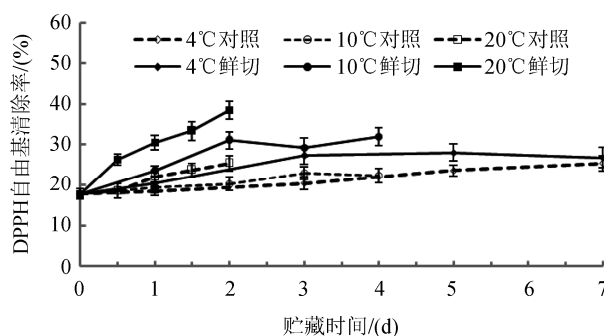


图 6 不同贮藏温度对鲜切香菜 DPPH 自由基清除率的影响

Fig. 6 Effects of storage temperature on DPPH radical scavenging activity of fresh-cut coriander

4 讨 论

温度是影响鲜切果蔬品质的重要因素之一。低温可抑制果蔬的呼吸作用与酶活性, 降低各种生理生化反应速度, 延缓衰老及抑制褐变, 同时也抑制微生物的活动^[14]。本实验在 4℃、10℃和 20℃三个温度下比较了鲜切香菜的生理生化变化, 结果发现, 香菜受到切割后会产生一系列的变化, 与完整香菜相比, 鲜切香菜的生理代谢更旺盛, 营养成分的损失速度更快。4℃低温条件下, 鲜切香菜的抗坏血酸、叶绿素及可溶性糖含量的下降速度较慢, 营养成分得到较好保持。10℃能在贮藏初期一定程度上维持鲜切香菜的营养品质, 但在 2 d, 仍很难有效抑制香菜营养成分的迅速损失。与 4℃和 10℃相比, 20℃条件下鲜切香菜的营养损失最快, 说明贮藏温度越高, 鲜切香菜营养成分的含量下降越快。这与苹果^[15]、甘薯^[16]上的结果相一致, 表明低温有利于保持鲜切香菜的营养成分。

当机械损伤发生时, 果蔬会启动自身应答机制抵御伤害, 包括信号分子的生成、运输、识别和转导, 刺激与损伤相关的基因的表达^[17,18], 并通过调节自身的新陈代谢和生成新的代谢产物达到修复愈伤的

目的。前人的研究表明,切割造成的伤害会诱导苯丙烷代谢酶系统的活性,并通过合成香豆素、木质素、类黄酮等产物减缓机械伤害,保护组织^[19]。本实验研究发现,切割处理会诱导香菜酚类、黄酮类物质的合成和积累。其中,20℃上升速率最快,10℃次之,4℃上升速率最慢,这与Berno^[20]在洋葱上的试验结果相一致,说明贮藏温度越高,香菜在机械损伤后产生的自我防御反应越强,产生的次级代谢产物也越多。酚类物质在果蔬中含量丰富,与传统的抗氧化剂(Vc、VE)相比,酚类物质具有更强的抗氧化活性^[21]。本实验以DPPH自由基清除率作为衡量香菜抗氧化活性的标准,结果表明,鲜切香菜DPPH自由基清除率的变化趋势与总酚和总黄酮含量相类似,说明酚类物质含量高低与香菜的抗氧化活性密切相关,类似的结果在胡萝卜^[22]、生菜^[23]、purple-flesh土豆^[24]、芹菜^[25]等蔬菜中也有报道。本实验结果表明,切割处理能显著提高香菜的抗氧化活性,且温度越高,提升效果越明显。

5 结 论

切割伤害促进香菜抗坏血酸、叶绿素和可溶性糖含量的迅速下降,贮藏温度越高,下降速度越快。与10℃和20℃相比,4℃条件下香菜的营养成分损失最小,营养品质得到较好保持。

机械损伤诱导香菜多酚、类黄酮类物质的合成、积累及DPPH自由基清除率的上升,贮藏温度越高,上升速率越快。与4℃和10℃相比,20℃条件下香菜的多酚、类黄酮类物质积累最多,抗氧化活性最强。

参考文献

- [1] 叶兴乾. 果品蔬菜加工工艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [2] 宋红梅, 李位华, 王长娜. 鲜切果蔬常见的质量问题及控制研究[J]. 北方园艺, 2007, (11): 221–222.
- [3] 宋晓雪, 胡文忠, 毕阳, 等. 鲜切果蔬软化机理及其调控的研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, (4): 397–400.
- [4] Song XX, Hu WZ, Bi Y, *et al.* Advances in softening mechanism and regulation of fresh-cut fruits and vegetables [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, (4): 397–400.
- [5] 张春霞, 谢佰承, 颜文丽. 低温和包装对香菜贮藏品质的影响[J]. 蔬菜, 2011, 1: 38–40.
- [6] Zhang CX, Xie BC, Yan WL. Effects of low temperature and packaging on storage quality of Cilantro [J]. *Vegetables*, 2011, 1: 38–40.
- [7] Wangenstein H, Samuelsen AB, Malterud KE. Antioxidant activity in extracts from coriander [J]. *Food Chem*, 2004, 88: 293–297.
- [8] 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, 2011: 39.
- [9] Cao JK, Jiang WB, Zhao YM. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2011: 39.
- [10] Hasperué JH, Gómez-Lobato ME, Chaves AR, *et al.* Time of day at harvest affects the expression of chlorophyll degrading genes during postharvest storage of broccoli [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2013, 82: 22–27.
- [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, 2011: 57.
- [12] Cao JK, Jiang WB, Zhao YM. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2011: 57.
- [13] Slinkard K, Singleton VL. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods [J]. *Am J Enol Viticulture*, 1977, 28(1): 49–55.
- [14] Toor RK, Savage GP. Antioxidant activity in different fractions of tomatoes [J]. *Food Res Int*, 2005, 38(5): 487–494.
- [15] Yokozawa T, Dong E, Nakagawa T, *et al.* *In vitro* and *in vivo* studies on the radical-scavenging activity of tea [J]. *J Agric Food Chem*, 1998, 46(6): 2143–2150.
- [16] Scalbert A, Johnson IT, Saltmarsh M. Polyphenols: antioxidants and beyond [J]. *Am J Clin Nutr*, 2005, 81: 215S–217S.
- [17] Tan CK, Ali ZM, Ismail I, *et al.* Effects of 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging on the antioxidant capacity in pepper “Kulai” during low-temperature storage [J]. *Sci World J*, 2012, doi: 10.1100/2012/474801.
- [18] 李超, 冯志宏, 陈会燕, 等. 鲜切果蔬保鲜技术的研究进展[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(1): 3–6.
- [19] Li C, Feng ZH, Chen HY, *et al.* Research progress on storage temperature of fresh-cut fruits and vegetables [J]. *Storage Process*, 2010, 10(1): 3–6.

- [15] 王艳颖, 胡文忠, 庞坤, 等. 机械损伤对富士苹果生理生化变化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(7): 58–62.
Wang YY, Hu WZ, Pang K, *et al.* Effect of mechanical damage on the physiology and biochemistry in Fuji apple [J]. Food Ferment Ind, 2007, 33(7): 58–62.
- [16] 王金, 刘程惠, 胡文忠, 等. 不同贮藏温度对鲜切甘薯呼吸代谢及营养成分的影响[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(4): 28–32.
Jin J, Liu CH, Hu WZ, *et al.* Effects of different storage temperatures on nutritional compositions and respiratory metabolism of fresh-cut sweet potato [J]. Storage Process, 2010, 10(4): 28–32.
- [17] Leon J, Rojo E, Sanchez-Serrano JJ. Wound signalling in plants [J]. J Exp Bot, 2001, 52: 1–9.
- [18] Salveit ME. Wound induced changes in phenolic metabolism and tissue browning are altered by heat shock [J]. Postharvest Biol Technol, 2000, 21: 61–69.
- [19] 马杰, 胡文忠, 毕阳, 等. 鲜切果蔬苯丙烷代谢的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(15): 391–393.
Ma J, Hu WZ, Bi Y, *et al.* Advances on benzene propane metabolism of fresh-cut fruits and vegetables [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(15): 391–393.
- [20] Berno ND, Tezotto-Uliana JV, Dias CTS, *et al.* Storage temperature and type of cut affect the biochemical and physiological characteristics of fresh-cut purple onions [J]. Postharvest Biol Technol, 2014, 93: 91–96.
- [21] Scalbert A, Johnson IT, Slatmarsh M. Polyphenols: antioxidants and beyond [J]. Am J Clin Nutr, 2005, 81: 215S–217S.
- [22] Surjadinata BB, Cisneros-Zevallos L. Biosynthesis of phenolic antioxidants in carrot tissue increases with wounding intensity [J]. Food Chem, 2012, 134: 615–624.
- [23] Kang HM, Saltveit ME. Antioxidant capacity of lettuce leaf tissue increases after wounding [J]. J Agric Food Chem, 2002, 50: 7536–7541.
- [24] Reyes LF, Cisneros-Zevallos L. Wounding stress increases the phenolic content and antioxidant capacity of purple-flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L.) [J]. J Agric Food Chem, 2003, 51: 5296–5300.
- [25] Viña SZ, Chaves AR. Antioxidant responses in minimally processed celery during refrigerated storage [J]. Food Chem, 2006, 94: 68–74.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



韩 聪, 在读博士研究生, 主要研究方向为果蔬采后生物学。
E-mail: 2014208025@njau.edu.cn



郑永华, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为果蔬保鲜加工与品质控制。
E-mail: zhengyh@njau.edu.cn