

1-MCP处理结合冰温贮藏对富士苹果生理品质的影响

刘玲¹, 林洋¹, 张鹏², 李江阔^{2,*}

(1. 沈阳农业大学食品学院, 辽宁沈阳 110866;

2. 国家农产品保鲜工程技术研究中心, 天津农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384)

摘要: 研究1-MCP处理结合冰温贮藏对富士苹果感官品质、生理生化以及相关酶活性的影响。结果表明:1-MCP处理能完全抑制富士苹果在贮后货架期间果实腐烂, 延长货架期, 显著地降低果实的呼吸强度、乙烯生成速率, 保持果实硬度、可溶性固形物含量, 抑制多酚氧化酶(PPO)、脂氧合酶(LOX)活性, 有效地诱导过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性峰的出现, 且冰温贮藏可使1-MCP更好地发挥作用。

关键词: 富士苹果, 冰温, 1-MCP, 货架期

Effect of 1-methylcyclopropene combined with controlled freezing point storage on the physiology and quality of Fuji apple

LIU Ling¹, LIN Yang¹, ZHANG Peng², LI Jiang-kuo^{2,*}

(1. College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;

2. Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products, Tianjin 300384, China)

Abstract: The effect of 1-methylcyclopropene combined with controlled freezing point storage on the physiology and quality of Fuji apple were investigated. The results showed that the fruit's rot was completely inhibited and the shelf life was prolonged by treatment with 1-methylcyclopropene treatment, which significantly reduced the fruit's respiration intensity and ethylene production rate, maintained the firmness and soluble solid content of fruit, inhibited the activity of polyphenoloxidase (PPO) lipoxigenase (LOX), effectively induced the appearance of activity peaks of peroxidase (POD) and catalase (CAT). And controlled freezing point storage improved the effect of 1-MCP.

Key words: Fuji apple; controlled freezing point; 1-MCP; shelf life

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2012)24-0369-05

我国是苹果生产大国, 年产量超过2000多万吨, 其中富士苹果是主栽品种, 占50%以上, 因此富士苹果贮藏保鲜在我国苹果保鲜领域意义极为重要^[1]。1-MCP (1-甲基环丙烯, 1-Methylcyclopropene) 作为一种新兴的果蔬保鲜剂在果蔬保鲜领域掀起一场绿色保鲜革命^[2], 冰温保鲜技术是20世纪70年代诞生的一种新技术, 是继冷藏和气调贮藏后的第3代保鲜技术。近年来, 国内外对于1-MCP在富士苹果采后保鲜中的作用研究较多, 但关于1-MCP结合冰温贮藏技术的研究却是未见报道。因此, 本文研究了1-MCP处理结合冰温贮藏对苹果生理品质的影响, 探讨果实出库后货架期间贮藏品质及相关酶的变化, 为延长苹果货架期、提高消费果品质量、改进富士苹果贮藏

技术提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

红富士苹果 于2010年10月20日采自天津蓟县, 果实成熟度为八成熟, 全红果, 采收后人工选择成熟度一致, 大小适中、无病虫害、无机械伤的果实, 套网袋装入周围铺垫报纸的塑料周转箱内立即运回实验室进行处理; 1-MCP粉剂 由国家农产品保鲜工程技术研究中心提供。

FQW型红外线气体分析仪; 岛津2010型气相色谱仪; PAL-1便携式手持折光仪 日本爱宕; TA. XT. Plus物性测定仪 英国; LP1200S千分之一天平 德国赛多利斯; D-37520高速冷冻离心机 德国; GENESYS 5紫外-可见分光光度计 美国; 电热恒温水浴锅 北京科威; SC-182A冷藏柜 青岛海尔。

1.2 实验方法

1.2.1 材料处理 1-MCP处理方法参照孙希生等^[3]的方法, 使用浓度为1.0μL/L, 在室温(18~20℃)条件

收稿日期: 2012-07-05 * 通讯联系人

作者简介: 刘玲(1973-), 女, 博士, 副教授, 主要从事食品质量安全方面的研究。

基金项目: 国家科技支撑项目(2012BAD38B01); 天津市农业科技成果转化与推广项目(201002020)。

下大帐熏蒸处理18h,以未用1-MCP处理的果实为对照(CK)。然后将两组果实经过预冷后分别放入BW120型冰温保鲜库(-0.5~-0.2℃)、普通冷库(0±0.5℃)中贮藏。10个月后取出进行常温(25~30℃)货架(18d)实验,每次实验每个处理随机取10个果重复3次。

1.2.2 指标测定与方法 感官调查:主要通过肉眼观察,根据表面色泽以及是否出现褐斑、病斑等进行判断并按下式求出好果率:好果率(%)=好果实数/检查总果实数×100,好果率小于10%为到达货架期。呼吸强度:采用静置法。乙烯生成速率:采用气相色谱法测定。可溶性固形物:采用手持式折光仪PAL-1测定。硬度(kg·cm⁻²):采用英国产TA. XT. Plus物性测定仪测定,每次测定取6个苹果果实在胴部去皮测定,单果重复测定2次取其平均值;测试深度为10mm,P/2柱头(2mm),测试速度为2mm/s。多酚氧化酶(PPO)活性参照郝再彬^[4]方法。儿茶酚采用比色法测定。POD活性的测定方法参照陈建勋^[5]方法,愈创木酚法测定。CAT活性参照王艳颖^[6]的测定方法并修改。LOX活性参照陈昆松^[7]的测定方法略加改进。

1.2.3 数据处理 采用Excel 2003软件对数据进行统计分析,采用SPSS 12.0.1软件中的新复极差法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 1-MCP结合冰温贮藏对果实好果率和有效货架期的影响

由图1可知,0d时1-MCP处理结合冰温贮藏、普通冷库贮藏的果实好果率均显著地高于其对照组,未处理的果实货架期只有6d,1-MCP处理将果实有效货架期延长至15d以上,在感官上对照组的大部分果实表面出现表皮褐变现象,降低了商品价值,说明1-MCP处理可以有效地延缓果实衰老,保持果实品质;如图显示0d时对照组冰温贮藏的好果率比普通冷库贮藏高,1-MCP结合冰温贮藏好果率也高于1-MCP结合普通冷库贮藏,说明冰温贮藏能更好地保持果实的新鲜度。

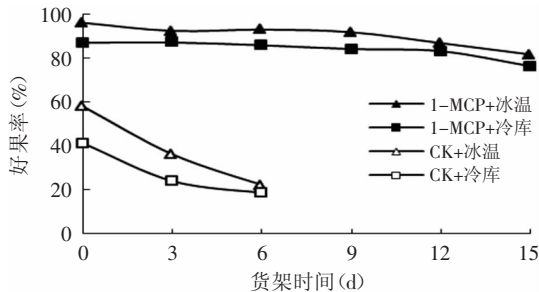


图1 1-MCP结合冰温贮藏对果实好果率的影响

Fig.1 Effect of 1-MCP combined with controlled freezing point storage on the good rate of fruit

2.2 1-MCP结合冰温贮藏对果实呼吸强度、乙烯生成速率的影响

由图2、图3可以看出,货架0d时1-MCP处理结合冰温贮藏、普通冷库贮藏的果实呼吸强度和乙烯生成速率均极显著地低于其对照组($p < 0.01$),1-MCP处理的果实平均呼吸强度仅为对照的1/2左右,说明1-MCP处理降低了果实的呼吸强度和乙烯生成速率,从而延

缓果实衰老;从贮藏方式方面看,货架0d和3d时CK+冰温贮藏的果实呼吸强度、乙烯生成速率都显著低于CK+普通冷库贮藏,1-MCP+冰温贮藏与1-MCP+冷库贮藏之间呼吸强度无显著差异,1-MCP+冷库的乙烯生成速率在货架期末(15d)时有明显上升的趋势,是同期冰温贮藏的1.8倍,说明1-MCP结合普通冷库在贮藏末期1-MCP已经不能很好的发挥对乙烯的作用,而冰温贮藏仍能保持1-MCP的抑制作用。

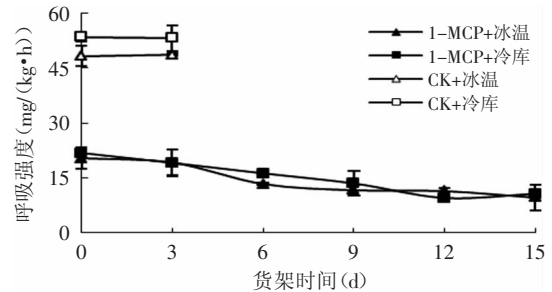


图2 1-MCP结合冰温贮藏对果实呼吸强度的影响

Fig.2 Effect of 1-MCP combined with controlled freezing point storage on the respiration intensity of fruit

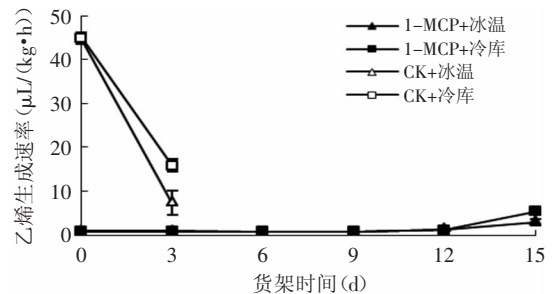


图3 1-MCP结合冰温贮藏对果实乙烯生成速率的影响

Fig.3 Effect of 1-MCP combined with controlled freezing point storage on the ethylene production rate of fruit

2.3 1-MCP结合冰温贮藏对果实品质的影响

2.3.1 1-MCP结合冰温贮藏对果实硬度的影响 在货架期间,果肉硬度和可溶性固形物的变化在很大程度上直观地反映了果实品质的好坏。图4显示在货架0d时1-MCP处理结合冰温贮藏、普通冷库贮藏的果实硬度均极显著地高于对照组($p < 0.01$),说明1-MCP处理可以有效地保持果实硬度,在贮藏10个月后仍能维持在较高的水平,而且在整个货架期间果实硬度下降速度缓慢。冰温贮藏和普通冷库贮藏的果实硬度差异不显著,但在0d和3d时果实硬度总体表现为

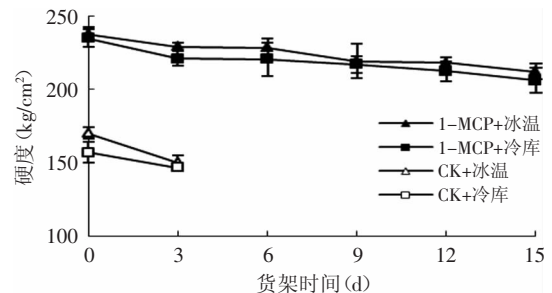


图4 1-MCP结合冰温贮藏对果实硬度的影响

Fig.4 Effect of 1-MCP combined with controlled freezing point storage on the firmness of fruit

1-MCP+冰温>1-MCP+冷库>CK+冰温>CK+冷库。

2.3.2 1-MCP结合冰温贮藏对果实可溶性固形物的影响 可溶性固形物(TSS)是评价果实品质的重要指标,从图5可以看出,在货架3d时1-MCP处理的果实TSS显著高于对照,说明1-MCP处理可以有效地保持果实可溶性固形物含量。1-MCP两种贮藏方式下的果实可溶性固形物含量在整个货架期间变化规律相似,呈现了先下降再上升,然后一直缓慢下降的趋势,但冰温贮藏延缓了TSS的下降速度,从6d开始1-MCP结合冰温贮藏的TSS一直高于普通冷库贮藏,说明冰温贮藏有助于保持果实的可溶性固形物,降低果实中营养物质的消耗。

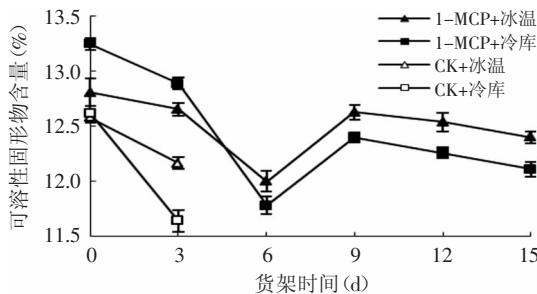


图5 1-MCP结合冰温贮藏对果实可溶性固形物含量的影响
Fig.5 Effect of 1-MCP combined with controlled freezing point storage on the soluble solid content of fruit

2.4 1-MCP结合冰温贮藏对果实酶活性的影响

2.4.1 1-MCP结合冰温贮藏对果实多酚氧化酶(PPO)、脂氧合酶(LOX)活性的影响 多酚氧化酶(PPO)是一类含Cu²⁺的蛋白质,具有基团专一性,能催化酚类物质氧化成醌和水,醌再经非酶促聚合,形成褐色物质,产生褐变^[9]。正常生理状况下,PPO与其底物是区隔化的,没有接触的机会,因此贮藏初期不能发生酶促褐变,但苹果在贮藏过程中随着机体衰老,LOX会启动膜脂过氧化,膜的破坏使原来区隔化的酶与底物有了接触的机会,因而在氧气的作用下发生酶促褐变,这是一种典型的防御反应^[9]。由图6可以看出,在货架3d时1-MCP处理的果实PPO活性极显著地低于对照($p < 0.01$),说明1-MCP处理抑制了PPO的活性。在整个货架期间,1-MCP处理果实PPO活性呈现先下降后期上升的趋势,1-MCP结合冷库贮藏从货架9d时PPO活性开始明显上升,而1-MCP结合冰温贮藏在货架12d时开始上升,说明1-MCP结合冰温贮藏能进一步延缓果实的衰老。

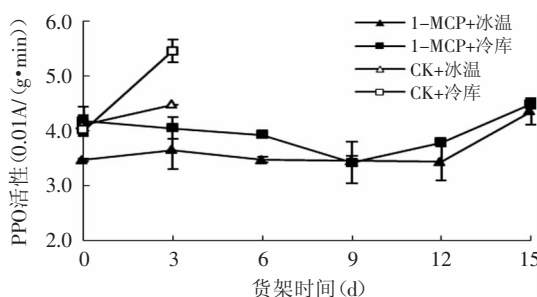


图6 1-MCP结合冰温贮藏对果实PPO活性的影响
Fig.6 Effect of 1-MCP combined with controlled freezing point storage on the PPO activities of fruit

脂氧合酶(LOX)是催化细胞膜脂肪酸氧化反应

的主要细胞膜酶,其主要机理是:一是参与果实成熟衰老进程中乙烯的生物合成,由此来调控果实软化^[10];二是参与了膜脂过氧化作用,破坏细胞膜结构,加速果实组织衰老,进而成为果实软化的重要因素之一^[11]。由图7可以看出,在货架3d时1-MCP处理的果实LOX活性极显著的低于对照($p < 0.01$),说明1-MCP处理对果实LOX活性具有显著的抑制作用。1-MCP处理果实的LOX活性在货架期间呈先升高后降低的变化趋势(图7),其中1-MCP结合冷库贮藏果实的LOX活性高峰出现在货架6d,1-MCP结合冰温贮藏酶活性高峰出现在货架9d,冰温贮藏可以推迟LOX活性高峰的出现,从而延缓果实组织衰老。图4中显示,1-MCP结合冰温LOX活性峰出现在第9d,先于图3中1-MCP结合冰温PPO活性峰的出现(15d),说明LOX与果实褐变的早期发动有关。

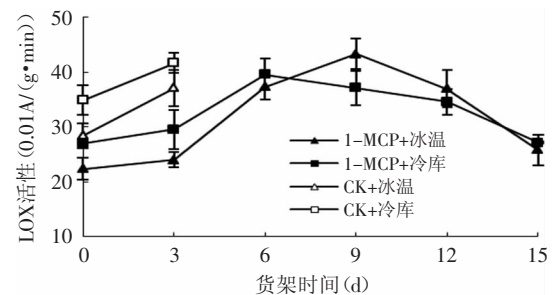


图7 1-MCP结合冰温贮藏对果实LOX活性的影响
Fig.7 Effect of 1-MCP combined with controlled freezing point storage on the LOX activities of fruit

2.4.2 1-MCP结合冰温贮藏对果实过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性的影响 POD是果实机体在逆境条件下酶促防御系统的关键酶之一,它与CAT相互协调配合,清除过剩的自由基以提高植物的抗逆性^[12]。货架3d时1-MCP结合冰温贮藏果实POD活性是其对照的1.4倍,1-MCP结合冷库贮藏果实POD活性是其对照的1.7倍,说明1-MCP处理可以提高POD活性。1-MCP处理果实的POD活性在货架期间呈现波浪式的起伏变化(图8),说明1-MCP处理诱导了机体的防御反应的发生。货架前期POD活性的迅速增长原因是由于乙烯积累影响POD的活性,这种先增高后下降的趋势是一种抗氧化防卫反应的机制^[13],图8中显示货架前期1-MCP结合冷库贮藏POD活性高于冰温贮藏,说明前期冷库贮藏的乙烯积累量大于冰温贮藏,在货架末期(15d)冰温贮藏果实POD活性高于冷库贮藏,说明1-MCP结合冰温贮藏可以诱导

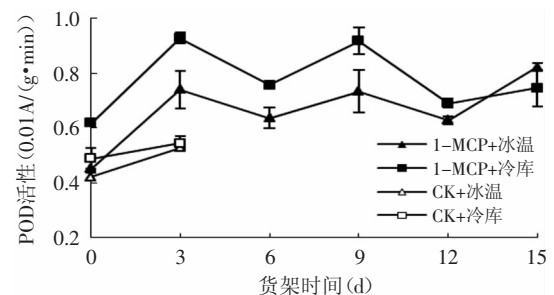


图8 1-MCP结合冰温贮藏对果实POD活性的影响
Fig.8 Effect of 1-MCP combined with controlled freezing point storage on the POD activities of fruit

果实POD活性的升高,提高果实保鲜效果。

CAT也是广泛存在于动植物组织中能分解代谢产生的 H_2O_2 的一种重要的防御保护酶^[14]。从图9可以看出,在货架期间1-MCP处理的果实CAT活性呈现先逐渐增加再逐渐减弱的趋势(图9),说明1-MCP处理诱导了机体的防御反应的发生。图9显示1-MCP结合冰温贮藏可以诱导CAT活性高峰的出现,而且在货架末期(15d)1-MCP结合冰温贮藏的CAT活性高于冷库贮藏,1-MCP结合冰温贮藏更好地保持了果实品质。

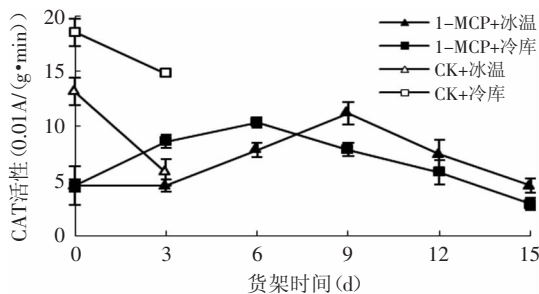


图9 1-MCP结合冰温贮藏对果实CAT活性的影响

Fig.9 Effect of 1-MCP combined with controlled freezing point storage on the CAT activities of fruit

3 讨论

富士苹果是典型的呼吸跃变型果实,乙烯在其成熟和衰老过程中起着重要的作用,1-甲基环丙烯(1-MCP)作为一种高效安全的乙烯受体抑制剂被广泛应用在苹果^[15]、香蕉^[16]、柑橘^[17]、猕猴桃^[18]等水果保鲜上。本实验结果表明1-MCP处理可以显著地抑制果实呼吸强度和乙烯生成速率,延迟货架期间果实衰老、软化及褐变的发生进程,1-MCP处理使果实的有效货架期延长至15d以上;冰温贮藏具有不破坏果肉细胞、有效抑制有害微生物活动及相关酶活性、延长保鲜期等优点,在近年来被广泛研究应用于水蜜桃、葡萄、西瓜、草莓、杨梅、油豆角、青椒^[19]等多种果蔬的保鲜。张辉玲等^[20]的研究表明冰温条件下,龙眼果实的可溶性固形物含量和总酸含量下降都比普通冷藏果实的慢,冰温贮藏果实的营养成分比普通冷藏含量高。桃在 $-0.5^{\circ}C$ 贮藏可使贮藏时间大为延长,达到80d左右^[21]。本实验表明了冰温贮藏有效地降低了果实在常温货架期间的腐烂率,较好的保持了果实的可溶性固形物,降低果实中营养物质消耗,更好的保持了富士苹果的商品价值,与李志文等^[22]研究的冰温结合1-MCP处理明显地降低了葡萄腐烂率、脱粒率,有效地保持果实可溶性固形物含量结果相一致。本研究表明1-MCP结合冰温贮藏有效地推迟了PPO、LOX活性峰的出现并使其维持在较低水平,延缓果实衰老,LOX活性峰先于PPO活性峰的出现,说明LOX不仅可以保持细胞膜的完整,还是导致酶促褐变反应关键酶,进一步证明了高敏等研究表明的富士苹果在常温下的酶促褐变果实衰老的发生与加剧是LOX与PPO共同作用的结果^[23]。王小会等^[24]以“美国8号”苹果为试材,研究了 $0^{\circ}C$ 贮藏条件下1-MCP处理对采后生理及相关酶活性的影响,与本研究结果相同,1-MCP结合冰温贮藏可以诱导POD和CAT活

性高峰的出现,并保持在较高水平。

4 结论

本实验结果表明:1-MCP处理能完全抑制富士苹果果实贮藏后货架期间果实腐烂情况,有效延长果实贮藏后货架期,显著地降低果实的呼吸强度、乙烯生成速率,能较好地保持果实硬度、TSS,抑制PPO、LOX酶活性,有效地诱导POD、CAT活性峰的出现。冰温贮藏条件下,1-MCP处理更能发挥作用,对生理代谢的抑制作用更强,果实品质优于冷藏,冰温贮藏是继冷藏、冻结后的一种新兴的贮藏方法,越来越得到广泛的重视,因此研究将1-MCP技术和新兴的冰温技术结合在果蔬贮藏上的应用开发具有现实的意义。

参考文献

- [1] 赵猛,冯志宏,李建华,等.红富士苹果冰温贮藏的研究[J].保鲜与加工,2010,10(5):26-29.
- [2] 董少鹏,郭创业,曹彩荣,等.1-MCP及膜袋与温度耦合处理对‘富士’苹果贮藏效果研究[J].中国园艺文摘,2011(2):46-48.
- [3] 孙希生,王文辉,李志强,等.1-MCP对砵山酥梨保鲜效果的影响[J].保鲜与加工,2001(6):14-17.
- [4] 郝再彬,苍晶,徐仲.植物生理实验[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004.
- [5] 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,2006.
- [6] 王艳颖,胡文忠,庞坤,等.机械损伤对富士苹果酶促褐变的影响[J].食品科学,2008,29(4):430-434.
- [7] 陈昆松,徐昌杰,许文平,等.猕猴桃和桃果实脂氧合酶活性测定方法的建立[J].果树学报,2003,20(6):436-438.
- [8] 王成涛,王昌涛,赵磊,等.不同氧分压条件下金针菇贮藏保鲜相关酶活性的研究[J].食品科学,2011,32(8):300-304.
- [9] 胡文忠.鲜切果蔬科学与技术[M].北京:化学工业出版社,2009:67-70.
- [10] Zhang Yu, Chen Kun-Song, Chen Qing-Jun, et al. Effects of acetylsalicylic acid and ethylene treatments on ripening and softening of postharvest kiwifruit[J]. Acta Botanica Sinica, 2003, 45(12):1447-1452.
- [11] 张波,李鲜,陈昆松.脂氧合酶基因家族成员与果实成熟衰老研究进展[J].园艺学报,2007,34(1):245-250.
- [12] Gechev T, Willekens H, Montagu M V, et al. Different responses of tobacco antioxidant enzymes to light and chilling stress[J]. Journal of Plant Physiology, 2003, 160(5):509-515.
- [13] 陈建勋,王晓峰.植物生理学实验指导[M].广州:华南理工大学出版社,2005.
- [14] 阙娟,金昌海,汪志君,等.梨果实后熟衰老过程中温度对活性氧清除的影响[J].食品工业科技,2004,20(3):41-44.
- [15] Jennifer R, Dennis P, Murray D, et al. Influence of temperature and duration of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on apple quality[J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 24(3):349-353.
- [16] Jiang Y, Joyce D C, Macnish A J. Extension of the shelf life of banana fruit by 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags[J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 16(2):187-193.
- [17] Mullins E D, McCollum T G, McDonald R E. Consequence

on ethylene metabolism of inactivating the ethylene receptor sites in diseased nonclimacteric fruit[J]. Postharvest Biology and Technolog, 2000, 19(2):155-164.

[18] 樊秀彩, 张继澎. 1-甲基环丙烯对采后猕猴桃果实生理效应的影响[J]. 园艺学报, 2001, 28(5):399-402.

[19] Peng Dan, Deng Jie-hong, Tan Xing-he, et al. Research progress of controlled freezing point technology on the storage of fruits and vegetables[J]. Packaging and Food Machinery, 2009, 27(2):38-43.

[20] Zhang Hui-ling, Hu Wei-rong, Pang Xue-qun, et al. Effect

of ice temperature technique and SO₂ releaser on storage of longan fruits[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2006, 33(6):1325-1328.

[21] 薛文通, 李里特, 赵凤敏. 桃的冰温贮藏研究[J]. 农业工程学报, 1997(4):216-220.

[22] 李志文, 张平, 任朝辉. 冰温结合1-MCP对葡萄贮藏品质的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2011(5):4-8.

[23] 高敏, 张继澎. 钙处理对红富士苹果酶促褐变的影响[J]. 西北植物学报, 2002, 22(4):961-964.

[24] 王小会. 1-MCP对美国8号苹果保鲜效应的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2007.

(上接第354页)

焦糖色素有效成分的产率。

美拉德反应适宜在高离子浓度下反应^[11,14],当铵含量过大时,溶液pH呈碱性,焦糖色素的胶体性质导致其发生聚沉等现象,使焦糖色素色率下降。有关资料显示,铵类助剂含量过大易产生致惊厥的4-甲基咪唑等有害物质^[15],增加焦糖色素的不安全因素。因此亚硫酸铵的最佳含量为6%。

在单因素实验所确定的最优条件下,即葡萄糖浓度:1000g/L,亚硫酸质量分数:6%,反应温度150℃,反应时间60min,经验证,此条件下焦糖的色率为7.47×10⁴EBC,红色指数为4.45,黄色指数为6.72。

2.5 焦糖色素分子量对焦糖颜色的影响

以超滤法^[15]分离上述优化工艺所得焦糖色素,各个分子层色素检测结果如图5所示。

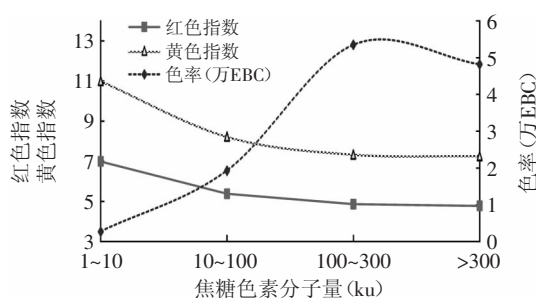


图5 焦糖色素分子量对焦糖色素(IV)色率、红色指数和黄色指数的影响

Fig.5 Effect of molecular weight levels on color ratio, red index and yellow index of caramel pigment (IV)

从图5可以看出,随焦糖色素分子量的增大,色率先增大后减小,分子量为1~10ku的色素色率最低,仅0.26×10⁴EBC,其红色指数与黄色指数最高;分子量为100~300ku的色素色率最高,达5.35×10⁴EBC单位,红色指数与黄色指数最低,分别为4.86和7.34,由此可见,该段分子量的焦糖色素对色率的贡献最大。产生上述现象的主要原因是:高分子焦糖色素聚合过程中共轭体系对可见光的吸收呈增加趋势,但当高分子焦糖色素聚合到一定比例后,聚合物在水溶液中稳定性下降,从而导致其在610nm出吸光值下降,色率降低。

3 结论

3.1 以葡萄糖溶液为原料,亚硫酸铵为铵盐助剂制备高色率的焦糖色素,其制备的最佳工艺条件是:葡

萄糖浓度为1000g/L,亚硫酸铵质量分数w(以NH₄⁺量计算)为6%,反应温度为150℃,反应时间为60min。在此条件下,焦糖色素的色率为7.47×10⁴EBC、红色指数为4.45、黄色指数为6.72。

3.2 分子量为1×10⁵~3×10⁵u的焦糖色素色率较高,分子量为1×10³~1×10⁴u的焦糖色素红色指数、黄色指数较高。

参考文献

- [1] Williamson D D. Close-up on caramel[J]. Food Manufacture, 1985, 60(1):49-51.
- [2] Garima S, Harish K S. Food caramel: A review[J]. Journal of Food Science and Technology, 2012(9):1-11.
- [3] 陈正行, 狄济乐. 食品添加剂新产品与新技术[M]. 南京:江苏科学技术出版社, 2002:45-47.
- [4] Codex Food Chemicals (1996), 4th ed. Food and Nutrition FCC IV/monograph Specification for caramel color[R]. Washington DC: National Academy Press, 2011-09-09.
- [5] 黄强, 罗发兴, 扶雄. 焦糖色素及其研究进展[J]. 中国食物与营养, 2004(11):23-25.
- [6] 史文慧, 于淑娟, 何淑珍. 正交实验法优化酱油用焦糖色素的制备工艺[J]. 食品工业科技, 2012(4):320-322, 326.
- [7] Chappel C I, Howell J C. Caramel colors - a historical introduction[J]. Food Chemistry Toxic, 1992, 30:351-357.
- [8] 秦祖赠, 龙明贵. 焦糖色素的色率及红色指数与pH关系的研究[J]. 中国调味品, 2003(1):27-29.
- [9] 郑海燕. 酱油中红色指数的测定方法[J]. 中国调味品 1999(1):27-30.
- [10] 秦祖赠, 陈永梅, 粟春富. 焦糖色素黄色指数的测定[J]. 中国调味品, 2003(7):37-39.
- [11] 林若慧, 吴克刚, 柴向华, 等. 常压制备焦糖色素的工艺研究[J]. 中国食品添加剂, 2010(2):134-137.
- [12] Kamuf W, Nixon A, Parker O. Overview of caramel colors[J]. American Association of cereal chemists, 2003, 48(2):65-69.
- [13] Yang H, Wang J, Zhang X. The relationship and application of color ratio of the caramel pigment and its red index[J]. China Brewing, 2000(2):16.
- [14] Licht B H, Shaw K, Smith C. Characterization of caramel color IV[J]. Food chemistry Toxicol, 1992, 30(5):365-373.
- [15] Pons I, Garrault C, Jaubert JN. Analysis of aromatic caramel[J]. Food Chem, 1991, 39(3):311-320.