

# 梨果实贮藏中高二氧化碳伤害及其机理的研究进展

尹 航<sup>1,2</sup>, 陈 辉<sup>1</sup>, 关 军 锋<sup>2</sup>

(1. 河北科技大学 生物科学与工程学院, 河北 石家庄 050018; 2. 河北省农林科学院 遗传生理研究所, 河北 石家庄 050051)

**摘 要:**气调贮藏能有效的保持果实的品质, 延长货架期; 但不适宜的气调贮藏极易对果实造成伤害, 尤其是高  $\text{CO}_2$  会诱导梨发生褐变, 风味和品质随之下降。该文对梨果实贮藏过程中高  $\text{CO}_2$  伤害症状、细胞内  $\text{CaCO}_3$  积累、细胞膜伤害、多酚氧化酶催化的酚类物质氧化、重要生化物质代谢失调等机理以及气调贮藏研究进展等方面进行了综述, 以期改善梨贮藏品质, 延长上架时间提供参考。

**关键词:**梨; 气调贮藏; 褐变;  $\text{CO}_2$  伤害

**中图分类号:**S 661.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)16-0185-03

气调贮藏, 即将果实贮藏在高浓度  $\text{CO}_2$  或低浓度  $\text{O}_2$  的条件下, 以有效延长果实的贮藏时间, 其原因在于气调贮藏会抑制果实呼吸作用和乙烯生成, 延缓其成熟进程, 从而达到延长贮藏保鲜时间的效果。但在贮藏环境中  $\text{CO}_2$  浓度偏高,  $\text{O}_2$  浓度相对降低时, 果实进行无氧呼吸, 不仅产生异味, 而且易引发果实内部组织褐变。因此, 极大限制了气调保鲜技术的应用和普及, 尤其是梨贮藏过程中对高  $\text{CO}_2$  极为敏感<sup>[1]</sup>。在气调贮藏中, 环境中低  $\text{O}_2$  与高  $\text{CO}_2$  的综合作用结果比  $\text{O}_2$  与  $\text{CO}_2$  单独作用显著, 但  $\text{O}_2$  与  $\text{CO}_2$  的作用之间存在着拮抗作用, 低  $\text{O}_2$  和高  $\text{CO}_2$  浓度会提高梨果实丙酮酸脱羧酶和乙醇脱氢酶活性, 促进果实乙醇、乙醛和乙酸乙酯的生成, 产生细胞伤害<sup>[2]</sup>。因此, 现对梨果实贮藏过程中高  $\text{CO}_2$  伤害机理等的研究进展进行了综述。

## 1 梨果实贮藏时高 $\text{CO}_2$ 伤害的症状

对于梨果实来说, 高浓度  $\text{CO}_2$  伤害主要表现在组织褐变上, 其中最主要的是在近果心部位的组织褐变。其过程往往最先表现在果心局部变褐, 然后逐步发展到整个果心, 直至果肉变褐。褐变严重时, 还会出现果皮变黑的现象<sup>[3]</sup>。如黄金梨在受到高浓度  $\text{CO}_2$  伤害时果皮褐变明显<sup>[4]</sup>。

不同品种的梨果实对高  $\text{CO}_2$  的忍耐或者敏感性不同。鸭梨、雪花梨、慈梨、长把梨、黄金梨等对高浓度的

$\text{CO}_2$  极为敏感, 酥梨的敏感性相对较差。不同品种的梨果实褐变的部位也有所不同。鸭梨发病初期是心皮内壁先褐变, 其中包括心皮腹部和基部的维管束和心皮 3 个部位, 而且总是在近萼洼端先发生褐变; 莱阳梨最先褐变的是果肉部分; 香梨果皮对  $\text{CO}_2$  较为敏感<sup>[3]</sup>; 高  $\text{CO}_2$  常导致西洋梨内部果肉褐变<sup>[1]</sup>。

## 2 梨果实贮藏时高 $\text{CO}_2$ 伤害机理

### 2.1 细胞内 $\text{CaCO}_3$ 积累

$\text{Ca}^{2+}$  与细胞壁的结构及膜的机能有着密切关系, 它能吸附于细胞壁的可溶性腺苷三磷酸的活性, 因而有加强细胞壁刚性、维持膜结构的完整性及减缓细胞内的氧化作用的功能。但当环境中  $\text{CO}_2$  浓度过高时, 果实细胞内的水溶性和膜结合使钙含量降低; 果胶酸钙和碳酸钙总含量、草酸钙含量、磷酸钙含量逐渐升高<sup>[5]</sup>; 尤其是  $\text{CO}_2$  就会向细胞内部扩散, 使细胞内积累过量的  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  与  $\text{Ca}^{2+}$  相互结合形成  $\text{CaCO}_3$ 。此时, 有效的  $\text{Ca}^{2+}$  因被结合而减少, 其直接结果是导致内膜系统紊乱, 导致褐变<sup>[5-6]</sup>。

### 2.2 细胞膜伤害

细胞内内膜系统的紊乱是膜通透性增加的直接原因, 膜脂过氧化的加剧导致细胞膜的完整性遭到破坏。膜脂过氧化即自由基对类脂中不饱和脂肪酸引起的一系列自由基反应, 其中间产物自由基和最终产物丙二醛(MDA)都会严重损伤生物膜。

梨果实自身存在二大类抗氧化剂来保护细胞免受自由基的伤害。一类为抗氧化酶类, 包括超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和过氧化物酶; 另一类为非酶类抗氧化剂, 即抗坏血酸和谷胱甘肽, 二者组成的抗氧化循环。在高浓度  $\text{CO}_2$  条件下, 抗氧化酶活性和还原型抗坏血酸含量下降<sup>[7-8]</sup>, 抗氧化剂的清除作用下降,  $\text{O}_2^-$  和  $\text{H}_2\text{O}_2$  自

**第一作者简介:**尹航(1989-), 女, 硕士, 现主要从事果实品质与贮藏等研究工作。E-mail: 853394078@qq.com.

**责任作者:**关军锋(1966-), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 现主要从事果实品质等研究工作。E-mail: junfeng-guan@263.net.

**基金项目:**国家农业(梨)产业技术体系资助项目(CARS-29-20)。

**收稿日期:**2014-03-26

由基积累<sup>[9]</sup>。上述表明,高 CO<sub>2</sub> 使果实细胞内启动膜脂过氧化,导致膜损伤。高 CO<sub>2</sub> 贮藏下梨褐变程度与组织的细胞膜透性呈正相关关系<sup>[4,6,10-12]</sup>,并与 MDA 含量增高<sup>[13-14]</sup> 相一致。

### 2.3 多酚氧化酶催化的酚类物质氧化

就果实褐变机理的研究来说,先后提出了乙醛毒害、酚与酚酶催化氧化、氧自由基伤害、抗坏血酸保护及酚与酚酶的区域性分布破坏等观点<sup>[1,3]</sup>。其中,成为普遍接受的观点是多酚氧化酶(PPO)催化的酚类物质氧化成为醌类物质,导致褐变反应。

导致褐变的主要酚类物质因梨果实发生褐变的部位不同而异。尽管如此,也有研究认为,酚类物质含量和 PPO 活性不是限制梨褐变的关键因素<sup>[15]</sup>。此时,可能与酚类物质与酚酶区域化分布有密切关系<sup>[1,16]</sup>。因此,酚类物质与酚酶区域化分布学说是目前比较被广泛接受的酶促褐变的观点之一。正常发育的植物组织中,多酚类物质分布在细胞液泡中,多酚氧化酶存在于各种质体或细胞质内,由细胞膜的区隔作用,即使它们与 O<sub>2</sub> 同时存在也不会发生褐变。当这种区域化分布遭到破坏后,酚类物质在有氧的条件下与多酚氧化酶作用,邻位的酚氧化为醌,醌很快聚合成褐色素而引起组织褐变。当细胞膜受到损伤时,细胞膜上整齐排列的磷脂分子开始变得疏松不整齐,破坏了酚类物质与 PPO 的区域分布,造成组织的褐变。因此,细胞膜伤害为果实褐变创造了首要条件<sup>[1,16]</sup>。

尽管高 CO<sub>2</sub> 导致的梨褐变与组织中酚类物质含量减少和 PPO 活性增加有密切关系<sup>[4,6,11-12]</sup>,尤其是游离态 PPO 活性的增加显著<sup>[10,17]</sup>。但在货架期间,‘Rocha’梨的果肉 PPO 活性下降<sup>[18]</sup>,甚至,高 CO<sub>2</sub> 导致褐变时不改变有关酚类物质含量和 PPO 活性<sup>[19]</sup>。这进一步说明了细胞内酚类物质与 PPO 的区域分布在褐变过程中的重要性。

### 2.4 重要生化物质代谢失调

国外早期研究表明,在高 CO<sub>2</sub> 下,西洋梨果实细胞内呼吸代谢发生明显变化,糖酵解和 Krebs 循环代谢过程受到明显抑制,琥珀酸脱氢酶活性下降,组织积累琥珀酸;同时,除 ATP 含量降低以外,果糖 1,2-二磷酸含量降低,但果糖 6-磷酸和果糖 2,6-二磷酸含量增加<sup>[19]</sup>。同时,就高 CO<sub>2</sub> 下的西洋梨褐变过程来说,果核褐变(Core browning)早于褐心(Brown heart),前者主要与高的乙醇脱氢酶(ADH)活性有关,后者与低的 APX 和 CAT 活性有关<sup>[20]</sup>。

国内研究表明,梨贮藏时,高 CO<sub>2</sub> 导致果肉积累大量的乙醇可能是组织褐变的主要原因<sup>[4,11-12,21]</sup>。此外,能量物质减少可能是细胞膜衰退的主要原因,因此参与了梨果实的组织褐变<sup>[22-23]</sup>。

## 3 不同梨品种气调贮藏与褐变的研究进展

国外对气调贮藏技术的研究已有较长的历史,应用也十分广泛,我国在近几年也开始了相关的探索,并通过调节 CO<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 的浓度配比,将气调贮藏应用于梨果实的贮藏保鲜中。

王志华等<sup>[4]</sup>研究了气调贮藏对黄金梨贮藏后货架期间果实品质、采后生理以及组织褐变情况的影响,证明黄金梨对 CO<sub>2</sub> 极为敏感,未发生果实褐变的果实的硬度和风味保持的较好;孙希生等<sup>[24]</sup>将锦香梨在 0~1℃ 下经过 5 个月的气调贮藏发现,气调贮藏对保持锦香梨的果皮颜色、风味和品质及延长货架期寿命有明显的作用,但 CO<sub>2</sub> 浓度高于 5% 易造成果实发生 CO<sub>2</sub> 伤害;田龙<sup>[25]</sup>从气调组分入手研究了气调贮藏对黄金梨的保鲜效果,经过 90 d 的贮藏证明,5%~6% 的 O<sub>2</sub>,0%~0.5% 的 CO<sub>2</sub> 条件能有效延缓果实的衰老,降低乙烯释放量,减少乙醇和乙醛在果肉内的积累量;闫根柱等<sup>[26-27]</sup>将黄金梨和圆黄梨在 0℃ 下进行气调贮藏,证明气调贮藏可抑制梨果实呼吸作用,减少果实消耗,保持硬度,有利于提高果实品质。CO<sub>2</sub> 浓度的变化比 O<sub>2</sub> 浓度对果心褐变影响更显著。其中 5% O<sub>2</sub> + (0%~1%)CO<sub>2</sub> 是贮藏园黄梨的理想气体指标。5%O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 浓度小于 1% 时,最适合黄金梨的长期贮藏;胡花丽等<sup>[28]</sup>以丰水梨为材料气调贮藏 150 d。结果表明,与对照组相比,气调贮藏可以有效推迟果心褐变的时间,亦可降低果心 PPO 活性、减少总酚及 MDA 含量,其中以 (8%~10%)O<sub>2</sub> + 3% CO<sub>2</sub> 处理对果实褐变控制效果最理想。

## 4 展望

国内外的研究表明,气调贮藏对果实保鲜具有很好的效果,取得了一定的成果。目前,国外的研究比较广泛,有些已经应用到实际生产当中。相对于国外的大量研究,国内的研究还比较少,尤其在梨果气调贮藏上还缺乏深入研究。因此,利用气调贮藏技术,改善梨贮藏品质,延长上架时间,将具有十分深远的意义。针对气调贮藏比其它贮藏技术具有明显的优越性,以及梨果实对 CO<sub>2</sub> 的敏感性,未来低 CO<sub>2</sub> 气调贮藏将会越来越多的应用在梨果实的保鲜贮藏中。

### 参考文献

- [1] Franck C, Lammertyn J, Ho Q T, et al. Browning disorders in pear fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 43: 1-13.
- [2] Ke D Y, Yahia E, Mateos M, et al. Ethanolic fermentation of ‘Bartlett’ pears as influenced by ripening stage and atmospheric composition [J]. J Amer Soc Hort Sci, 1994, 119(5): 976-982.
- [3] 关军锋. 果实品质生理 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [4] 王志华, 丁丹丹, 王文辉, 等. 黄金梨气调贮藏中 CO<sub>2</sub> 对果实组织褐变及品质的影响 [J]. 农业机械学报, 2010, 14(7): 114-118.
- [5] 刘野, 胡小松, 张飞. 二氧化碳导致鸭梨褐变与细胞内钙的关系 [J]. 食品科学, 2011, 32(11): 62-65.

- [6] 陈昆松,于梁,周山涛. 鸭梨果实气调贮藏过程 CO<sub>2</sub> 伤害机理初探[J]. 中国农业科学,1991,24(5):83-88.
- [7] Veltman R H, Sanders M G, Persijn S T, et al. Decreased ascorbic acid levels and brown core development in pears[J]. *Physiol Plant*, 1999, 107: 39-45.
- [8] Lenthéric I, Pintó E, Graell J, et al. Effects of CO<sub>2</sub> pretreatment on oxidative metabolism and core browning incidence in controlled-atmosphere stored pears[J]. *J Hort Sci Biotechnol*, 2003, 78: 177-181.
- [9] Larrigaudière C, Pintó E, Lenthéric I, et al. Involvement of oxidative processes in the development of core browning in controlled-atmosphere stored pears[J]. *J Hort Sci Biotechnol*, 2001, 76: 157-162.
- [10] 鞠志国,朱广廉,曹宗巽. 气调贮藏条件下 CO<sub>2</sub> 对莱阳慈梨果肉褐变的影响[J]. 园艺学报,1988,15(4):229-232.
- [11] 王志华,丁丹丹,王文辉,等. 不同温度和 CO<sub>2</sub> 体积分数对丰水梨采后生理指标的影响[J]. 果树学报,2009,26(5):603-607.
- [12] 丁丹丹,王文辉,王志华,等. 不同气体组分对采后园黄梨果心褐变和品质的影响[J]. 中国果树,2013(2):17-20.
- [13] Wang Y, David S. Internal browning disorder and fruit quality in modified atmosphere packaged 'Bartlett' pears during storage and transit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2013, 83: 72-82.
- [14] 张佰清,刘佳,李江阔,等. 不同浓度 CO<sub>2</sub> 对南果梨常温货架生理品质的影响[J]. 北方园艺,2009(3):222-224.
- [15] Veltman R H, Larrigaudière C, Wichers H J, et al. PPO activity and polyphenol content are not limiting factors during brown core development in pears (*Pyrus communis* L. cv. Conference)[J]. *J Plant Physiol*, 1999, 154: 697-702.
- [16] 鞠志国,朱广廉,曹宗巽. 莱阳荏梨果实褐变与多酚氧化酶及酚类物质区域分布的关系[J]. 植物生理学报,1988,14(4):356-361.
- [17] 程玉豆,关军锋. '鸭梨'果心多酚氧化酶提取方法的优化[J]. 植物生理学报,2012,48(10):1021-1025.
- [18] Galvis-Sánchez A C, Susana C Fonseca, Ángel Gil-Izquierdo, et al. Effect of different levels of CO<sub>2</sub> on the antioxidant content and the polyphenol-oxidase activity of 'Rocha' pears during cold storage[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2006, 86: 509-517.
- [19] Kader A A. Mode of action of oxygen and carbon dioxide on postharvest physiology of 'Bartlett' pears[J]. *Acta Hort*, 1989, 258: 161-168.
- [20] Larrigaudière C I, Lenthéric J, Pintó P E. Biochemical characterisation of core browning and brown heart disorders in pear by multivariate analysis[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2004, 31: 29-39.
- [21] 冯晓元,田勇,王和福,等. 不同浓度 O<sub>2</sub> 与 CO<sub>2</sub> 对南果梨采后生理的影响[J]. 中国果品研究,1996(3):6-8,32.
- [22] Saquet A A, Streif J, Bangerth F. Energy metabolism and membrane lipid alterations in relation to brown heart development in Conference pears during delayed controlled atmosphere storage[J]. *Postharvest Biol Technol*, 2003, 30: 123-132.
- [23] Veltman R H, Lenthéric I, Van der Plas L H W, et al. Internal browning in pear fruit (*Pyrus communis* L. cv Conference) may be a result of a limited availability of energy and antioxidants[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2003, 28: 295-302.
- [24] 孙希生,王文辉,李志强,等. 锦香梨气调贮藏试验[J]. 中国果树,2000(4):15-17.
- [25] 田龙. 黄金梨的气调贮藏保鲜试验[J]. 农业机械学报,2007,38(10):77-79,27.
- [26] 闫根柱,王春生,张晓宇,等. 园黄梨气调贮藏研究初报[J]. 保鲜与加工,2007,7(6):19-21.
- [27] 闫根柱,王春生,赵迎丽,等. 气调贮藏对黄金梨果实品质的影响[J]. 保鲜与加工,2009(1):5-8.
- [28] 胡花丽,李鹏霞,王毓宁,等. O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 配比对气调贮藏梨采后褐变及相关理化因子的影响[J]. 西北植物学报,2010,30(7):1441-1448.

## High CO<sub>2</sub> Injury and Its Mechanism in Pear During Storage

YIN Hang<sup>1,2</sup>, CHEN Hui<sup>1</sup>, GUAN Jun-feng<sup>2</sup>

(1. College of Bioscience and Bioengineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050018; 2. Institute of Genetics and Physiology, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050051)

**Abstract:** Controlled atmosphere (CA) storage could maintain fruit quality and extended shelf life, but unsuited CA condition easily damaged to fruits, especially high CO<sub>2</sub> might induce tissue browning in pear, and afterwards decreased flavor and quality of fruit. The mainly mechanism of injury symptoms, accumulation of CaCO<sub>3</sub> in intracellular, cell membrane damage, phenols polyphenol oxidase catalyzed oxidation, important biochemical substances metabolic disorders in pear by high CO<sub>2</sub> were reviewed in this paper. In order to provide reference for improving the storage quality of pear and prolong shelf life.

**Key words:** pear; controlled atmosphere (CA); browning; CO<sub>2</sub> injury