

研究进展

果蔬气调贮藏研究现状及展望

郭鑫, 崔政伟

(江南大学 食品加工技术与装备研究中心, 无锡 214122)

摘要: 果蔬含水量高, 鲜嫩易腐, 给贮藏带来了极大的困难。分析了影响新鲜果蔬保鲜的主要因素, 包括温度、湿度、气体成分以及微生物; 综述了国内外气调贮藏保鲜技术的发展概况和研究现状; 分析了果蔬气调贮藏当前面临的主要技术问题, 并提出了解决对策。果蔬气调贮藏具有广阔的发展前景。

关键词: 果蔬; 保鲜; 气调贮藏

中图分类号: TS206 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)07-0112-05

Current Status and Prospect of Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables

GUO Xin, CUI Zheng-wei

(Food Engineering & Machinery Research Center, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Fruits and vegetables contain water and are easy to perish, which bring great difficulty for storage. The main factors influencing preservation of fruits and vegetables were analyzed, including temperature, humidity, gas composition, and microorganisms. The development and current status of controlled atmosphere storage in the world were summarized. The main existing technical problems of controlled atmosphere storage of fruits and vegetables were analyzed, and the countermeasures were put forward. It was concluded that controlled atmosphere storage of fruits and vegetables has wide development prospect.

Key words: fruit and vegetable; preservation; controlled atmosphere storage

我国是果蔬生产大国, 据统计, 2009 年中国农业总产值为 30 611.1 亿元, 其中蔬菜、水果生产仅次于粮食作物, 居种植业的第 2 和第 3 位, 总产值分别为 7 400 亿元和 3 100 亿元^[1]。由于果蔬的生长季节性强, 鲜嫩易腐, 在贮藏期间大量失水导致严重萎蔫、衰老黄化和腐烂等原因给贮藏带来极大的困难, 致使我国果蔬采后损失达生产总量的 20%~30%, 造成的经济损失达数百亿元, 因此, 研究高质量的果蔬贮藏保鲜技术迫在眉睫。果蔬贮藏保鲜技术有多种, 包括冷藏保鲜、涂膜保鲜、气调贮藏等, 其中气调贮藏被认为是目前使用最普遍、效果最好、最先进的果蔬保鲜技术。

1 影响果蔬保鲜的因素

果蔬中水的质量分数一般在 80% 以上, 并天然

带菌, 组织柔、嫩、脆, 细胞充盈, 极易失水、破裂、穿孔、压碎、流液等。其采摘以后仍是活体, 采后以呼吸作用为主导, 吸收 O_2 , 分解自身养分, 释放 CO_2 并产生能量, 实现与外界的物质能量交换^[2]。保鲜的根本途径就是抑制果蔬的呼吸强度, 减缓或延迟果蔬的呼吸速率^[3]。目前影响果蔬保鲜主要有四大因素: 温度、湿度、气体成分以及微生物。

1.1 温度

温度对于抑制果蔬后熟和保持果蔬品质, 是一个非常重要的影响因素。温度能够影响果蔬的呼吸作用, 在一定温度范围内, 随着温度的升高, 果蔬的呼吸作用也变得越强, 越不利于贮藏。贮藏温度降低, 果蔬的呼吸强度也随之降低, 但如果温度过低则会发生低温冷害。症状主要表现为果蔬表面形成凹陷、水浸斑, 组织褐变, 内部组织崩溃, 果实着色不均, 产生异

收稿日期: 2011-11-26

作者简介: 郭鑫(1987—), 男, 西安人, 江南大学硕士生, 主要研究方向为食品包装技术。

味或腐烂等^[4]。不同品种的果蔬引起冷害的温度不同,因而适宜的储存温度也不同。由此在果蔬冷藏过程中,应在保证不遭受冷害的前提下,保持比较稳定的低温,以增强其耐贮性,延长贮藏时间。

1.2 湿度

新鲜果蔬中含有大量的水分,质量分数一般在85%~96%,这是维持其生命活动和新鲜度的必要条件。果蔬贮藏过程中,水分极易蒸发,很容易造成机体失水,失水会引起产品失鲜。一般情况下,易腐果蔬失水5%就会出现萎蔫和皱缩,直接影响到果蔬的口感、脆度、颜色和风味,从而影响果蔬的商品价值。因此,冷藏库中要维持一定的湿度,防止果蔬萎蔫^[5-6]。

1.3 气体成分^[7-12]

大气中氮气含量约为78%(体积分数,下同),氧气含量约为21%,二氧化碳含量约为0.03%,该气体浓度有利于蔬菜进行呼吸作用。另外,在蔬菜的储存期间,还会产生一种植物激素——乙烯(C_2H_4),该气体具有催熟的作用。为了减缓果蔬衰老速度,就要改变其所处的气体组成环境,并不断去除生成的乙烯气体,使果蔬四周维持在有利保鲜的最佳气体成分氛围中。最常用的保护气体有 N_2 、 O_2 、 CO_2 等。

1.4 微生物

果蔬在采摘后贮藏的过程中是一个活体,仍进行着微弱的呼吸,且其水份活性值高达0.98以上,非常适合微生物的繁殖和生长,必然会受到细菌的影响而减弱抗病力,导致腐烂变质,所以对于这类食品贮藏前的杀菌就非常重要^[13-14]。

通过对以上四大影响因素的共同调节来进行果蔬贮藏保鲜的方法称为气调贮藏。该方法是目前使用最普遍、效果最好、最先进的果蔬保鲜方法之一。其原理是在机械冷藏的基础上,通过改变或调节贮藏环境中的气体成分浓度,主要包括 N_2 、 O_2 、 CO_2 等气体的浓度,并将它们一直维持在合适的配比浓度范围内的一种果蔬贮藏保鲜方法。气调贮藏通过冷藏、气调和控制湿度等方式改善果蔬贮藏环境,可以有效削弱其呼吸强度和抑制其新陈代谢速率,从而极大地延长果蔬的贮存期。

2 国内外气调贮藏发展概况

2.1 国内外气调贮藏发展概况

最早与气调贮藏有关的科学研究距今已有近

200年的时间^[15]。1819年,法国的Berard发现,采摘后的水果在贮藏过程中会吸收 O_2 并放出 CO_2 ,同时指出:若将水果贮藏于低 O_2 的环境中,便会延迟其成熟。通过该方法贮藏桃、梅、杏等果实可将其贮藏期延长至1个月,可将苹果和梨果实的贮藏期延长至3个月。该实验是气调贮藏发展史上的重要一步,开创了人工调节水果贮藏环境气体成分的先河,对后来的气调贮藏的研究具有十分重要的借鉴意义。1856年,美国人Nyce建立了一个商业性的冷藏库,使用冰块来将周围的温度降至1℃,后在原先冷藏库的基础上,改善了该库的气密性,通过调节 O_2 和 CO_2 浓度,将苹果的贮藏期延长至11个月。这是第一次将冷藏和气调结合起来对水果进行保鲜贮藏,大大提高了苹果的贮藏期,具有里程碑意义。虽然这些实验取得了成功,但都只是停留在实验层面,并没有系统的研究贮藏期与不同温度、气体成分等之间的关系。

直到20世纪,气调贮藏才真正进入系统性研究^[15]。最有名的属英国2位科学家Kidd和West。在1917年,他们研究 CO_2 对种子呼吸的影响时发现 CO_2 可抑制种子的呼吸作用。此后的10年间,此二人研究了苹果、梨、草莓等水果在不同气体浓度和低温环境下对其贮藏期的影响。1927年,Kidd和West共同发表了气调贮藏领域的经典研究论文,该论文研究了不同气体在不同温度下对延长果蔬贮藏期的影响,结果表明:在10℃,10% CO_2 和15% O_2 或5% CO_2 和10% O_2 贮藏苹果时,都能保持原来的色泽和硬度,其贮藏保鲜期比在空气中长1.5~1.9倍。在低温下,水果在气调贮藏条件下比在空气条件下贮藏更容易产生冷害。美国学者Thatcher和Booth发现,置于大气中3d就变软的草莓贮藏在高 CO_2 中可保持初始硬度达7~10d。1924年,Magness和Diehl探究了苹果软化和 CO_2 浓度的关系,指出当 CO_2 浓度为5%时就可以降低软化速率,随着 CO_2 浓度提高,苹果的软化速率就越慢,但当浓度超过20%时就会对苹果的滋味产生影响。1941年,美国学者Smock和Doren发表了一份详细的研究报告,报告详尽提出了气调贮藏中不同气体成分、温度、湿度等对水果的影响,以及气调库的建造方法和操作流程,并正式将气体贮藏(Gas Storage)更名为气调贮藏。与此同时,澳大利亚、加拿大、印度、荷兰、新西兰、土耳其等国的研究人员也对气调贮藏进行了大量研究。二战之后,气调贮藏开始进入大规模应用阶段。

国内有关气调贮藏的研究起步较晚,但据资料记载,早在唐代时,我国就有了气调保鲜的例子,即唐代北运鲜荔枝的方法,但当时并没有深究其保鲜机理^[16]。当时荔枝北运方法如杜甫的诗句:"侧生野岸及江蒲,不熟丹宫满玉壶。云壑布衣骀背死,劳生重马翠眉须。"这里的丹宫指的是荔枝,玉壶就是用来盛放荔枝的器物。可见,当时的荔枝是通过密封的器物来达到保鲜目的的。今天看来,该方法的保鲜机理是在密封的瓷壶中,通过果实的呼吸作用能够在短期内形成低 O_2 和高 CO_2 条件,从而有利于荔枝保鲜。我国的气调保鲜技术的研究和应用起步于 20 世纪 60 年代初。李沛文使用薄膜袋来贮藏新鲜荔枝,把荔枝从南方运至北方。后续又有其他研究人员对冬枣、桃、花椰菜等果蔬的气调保鲜参数进行了研究^[17-19]。1978 年我国建成第一座气调库。20 世纪 80 年代山西果树所利用地窖进行模拟气调库的研究和应用,在贮藏苹果方面取得了成功。1997 年又在陕西西安建造了一座 1 万 t 的气调冷库,性能达到国际先进水平,表明了我国的气调贮藏已开始进入人工控制气体成分的 CA 贮藏^[20]。

2.2 国内外气调贮藏研究现状

目前,气调贮藏已经成为发达国家果蔬保鲜的重要手段,尤其是果蔬贮藏已逐渐由单一的冷藏向气调冷藏发展,并展开了一系列研究。主要包括采后保鲜机理、气调贮藏关键技术以及各类果蔬最佳气调贮藏参数等的研究,为实际生产提供技术参数和理论指导。Wang 等^[21]通过研究采后荔枝果皮褐变过程中的生理变化,认为果皮水分状况是影响果皮褐变的主要因素。基于气调贮藏中低氧极限的研究,Yearsley 等人^[22]引入了发酵阈值(fermentation threshold)的概念,即引起发酵产生的临界氧气水平,并探讨了温度、 CO_2 水平对不同苹果的发酵阈值的影响。Meir 等^[23]对鳄梨处于 5℃ 温度下,6 种不同气氛环境(CO_2 和 O_2 的体积分数分别为 1%,21%;3%,21%;8%,21%;0.5%,3%;3%,3%;8%,3%)的气调贮藏效果进行了研究,结果表明:当鳄梨周围环境气体浓度为 3% O_2 和 8% CO_2 ,温度为 1.5℃ 时,能够有效地抑制果实的成熟进程,最大程度地保留果实的品质。Singh 等^[24]研究表明:气调冷藏番石榴,在 8℃ 的温度下,抑制其呼吸速率、乙烯产生,减少失重、防止冷害及维持果实的品质和食用特性的最佳气体成分为 5%~8% O_2 和 2.5%~5% CO_2 。在此环境

下,番石榴可保存长达 30 d 以上。目前气调贮藏已成为工业发达国家果蔬保鲜的重要手段,世界上的气调库在果蔬贮藏中已占到 1/3,如美国气调贮藏苹果占冷藏总数的 80%,英国的气调库容量达 22 万 t,意大利、法国等气调贮藏苹果达冷藏总数的 50%~70% 以上。

我国采用气调贮藏保鲜的果蔬种类也越来越多,如苹果、葡萄、猕猴桃、香椿、莴苣和花椰菜等数十种果蔬,并确定了这些水果和蔬菜的气调保鲜参数,包括温度、湿度以及气体成分等,在实际应用中取得了良好的社会效益。例如红富士苹果在 0℃,5% O_2 ,2% CO_2 条件下,销售期达 8 个月之久,硬度保持在 6.0 kg/cm² 以上,损耗率在 3% 以内^[25]。再如天津香芹,在温度为 -1~0℃,3%~5% O_2 ,低于 2% CO_2 条件下,货架期最长可达 30 d^[26]。近年来,我国大力建设发展气调贮藏技术,经过长期的不懈努力,气调库的设计和建造技术等日趋成熟,已接近国际先进水平。如山东省果树研究所依据我国国情研制的柔性气调库,与从国外引进的大型气调库相比具有造价低,运行成本低,管理方便等特点^[27]。再如王世清等^[28]对目前国内外气调库存在的常规普通充氮降氧速度缓慢、制氮机工作效率低下等问题,提出并建立了气调库内“先存后释”的有效快速降氧新模式,但我国气调库的电控系统的自动化程度较低,人为影响大,保鲜贮藏质量差,还有待进一步研究^[29]。据不完全统计,我国目前果蔬冷藏库总容量在 700 万 t 左右。其中气调贮藏库约占 3%,相当于 20 万 t 贮量,推广普及程度太低,与发达国家有较大差距^[30]。

3 果蔬气调贮藏当前面临的主要技术问题

近些年来,随着人们生活质量的提高,气调保鲜技术越来越受到人们的重视,已成为世界各国所公认的一种最有效最先进的果蔬保鲜方法。气调贮藏是一种高投入、高产出、高回报的先进贮藏保鲜技术,一个完整的气调库除了要有符合要求的密闭性冷库外,还应具备相应的制冷系统、气调系统、杀菌加湿以及控制系统等。虽然我国近年来大力发展气调贮藏技术,气调库得到越多的应用,但气调保鲜的技术发展还远不能满足社会需求,远洋舰艇蔬菜的保鲜技术仍没有突破,存在的主要技术问题如下:(1)气调贮藏目前还只能用于部分果蔬产品,相当部分果蔬的采后生

理还不清楚;(2)在同一库体内的保鲜效果不均一;(3)气调库的智能化控制水平还比较差;(4)缺乏一个有效的模型来反映诸影响因素和果蔬品质之间的关系。

4 解决对策

1) 气调贮藏保鲜是一个非常庞大复杂的系统工程,影响果蔬气调贮藏参数的因素非常多,品种不同,产地不同,成熟度不同,生长季节不同,采摘部位不同以及栽培方法和采摘技术的不同都会导致最佳贮藏温度、湿度、库内气体成分等贮藏环境的不同。要进一步细化果蔬的分类,并对细化分类后的果蔬采后生理学进行更加深入的研究。

2) 在同一个库体内,有的位置保鲜效果好,有的位置效果差,主要是由于气调库内气体浓度分布不均所致。要合理设计库体结构和堆码形式,并且在果蔬贮藏过程中要加强贮存环境中的气体循环流动,实时去除库内由果蔬代谢活动所产生的有害气体,实现动态气调,以使保鲜效果达到最佳。

3) 气调库的电气控制系统由制冷控制系统、气调控制系统、报警系统、照明系统等组成,是由计算机控制各种传感器对库体内环境采样而对各个设备进行控制,从而对库内环境进行调节。电控系统是制冷系统,气调系统以及其它子系统正常工作的关键,但由于我国对该领域的研究还比较落后,还不能很好的满足要求。由于对各因素对保鲜的影响机理还不很清楚,所以控制基准比较模糊。

4) 对气调贮藏中所使用的温度、湿度、气体成分和果蔬之间相互作用机理的研究还不够深入透彻,需要从生理学、分子生物学等方面对气体成分和生理变化之间关系的进一步研究,建立一个能够通过测量果蔬响应的变化来预测其品质变化趋势的数学模型,用以更好地指导果蔬在气调贮藏过程中的参数设定。

5 果蔬气调贮藏前景展望

我国是一个农业大国,对于水果和蔬菜而言,无论是栽培面积还是总产量都居世界前列。据预测,2011年,我国水果总产量达2.30亿t,蔬菜总产量达6.21亿t。虽然果蔬产量很高,但中国果蔬领域的贮藏体系发展还比较缓慢,与欧美发达国家水平具有较

大差距,缺乏高效、实用、节能、安全的果蔬保鲜技术和装置,使得采后损失达果蔬生产总量的20%~30%,居全球首位,造成的经济损失达750亿元^[31-32]。再就是随着我国市场的进一步开放,在国外果蔬的冲击下我国的果蔬市场面临着严峻的考验。如何使我国的农民实现真正的丰产丰收,让我国的果蔬在国际市场上具有很强的竞争力是一个迫在眉睫的事情。我国果蔬气调保鲜贮藏还有很长的路要走,具有非常大的发展潜力。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴(2010)[K]. 北京:中国统计出版社,2010.
State Bureau of Statistics. China Statistical Yearbook (2010)[K]. Beijing:China Statistics Press, 2010.
- [2] 张瑞宇. 现代物流中果蔬保鲜包装技术及其研究进展[J]. 包装工程,2003,24(1):71-76.
ZHANG Rui-yu. Packaging Technology for Fresh Fruit and Vegetable and Its Research Progress In Modern Logistics[J]. Packaging Engineering,2003,24(1):71-76.
- [3] 冯双庆. 果蔬贮藏学[M]. 第2版. 北京:化学工业出版社,2008.
FENG Shuang-qing. Postharvest Biotechnology of Fruits And Vegetables[M]. 2nd Edition. Peking: Chemical Industry Press,2008. 50-54.
- [4] LURIE S,CRISOSTO C H. Chilling Injury in Peach and Nectarine[J]. Postharvest Biology and Technology,2005 (37): 195-208.
- [5] WANG Hai-ying,ZHANG Shao-zhi,CHEN Guang-ming. Experimental Study on the Freezing Characteristics of four Kinds of Vegetables[J]. Swiss Society of Food Science and Technology,2007(40):1112-1116.
- [6] 鲍琳. 蔬菜冷藏保鲜的研究[D]. 武汉:华中科技大学,2006.
BAO Lin. Study of Cold Storage of Vegetables[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2006.
- [7] 张克宏,杜俊娟. 叶菜类蔬菜气调保鲜包装研究[J]. 包装工程,2007,28(1):49-52.
ZHANG Ke-hong, DU Jun-juan. Research of the MAP Technology for Keeping Fresh of Leaf Vegetables[J]. Packaging Engineering,2007,28(1):49-52.
- [8] 潘松年. 包装工艺学[M]. 第3版. 北京:印刷工业出版社,2003.
PAN Song-nian. Packaging Technology[M]. 3rd Edi-

- tion, Beijing: Printing Industry Press, 2003.
- [9] 钮昆亮. MAP 技术延长青菜货架期之研究[D]. 浙江: 浙江工商大学, 2005.
- NIU Kun-liang. Use of MAP Technology in Extending Shelf Life of Pak Choy[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2005.
- [10] 梁晶晶, 王向阳. 气调和 1-MCP 对青菜贮藏保鲜贮存的影响[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(9): 126—129.
- LIANG Jing-jing, WANG Xiang-yang. Effect of Modified Atmosphere and 1-MCP on Keeping Pak Choy Fresh During Storage[J]. Food Research And Development, 2006, 27(9): 126—129.
- [11] 沈莲清, 王向阳, 聂保杰, 等. MAP 技术保鲜生菜的研究[J]. 食品科学, 1998, 19(9): 54—56.
- SHENG Lian-qing, WANG Xiang-yang, NIE Bao-jie, et al. Research of the MAP Technology for Keeping Fresh of Lettuce [J]. Food Science, 1998, 19(9): 54—56.
- [12] 张鹏程. CO₂ 与气调保鲜[J]. 低温与特气, 2000, 18(6): 16—17.
- ZHANG Peng-cheng. CO₂ and Controlled Atmosphere. Low Temperature and Specialty Gases, 2000, 18(6): 16—17.
- [13] KASHINAGI Y, WETA T, TSUCHIYA Y, et al. Studies on Sterilization with Ozone Gas. Annu Rpt. Tokyo Metropolitan Res. Lab of Public Heath, 1987(38): 22—27.
- [14] 何京. 使用食品气调包装技术的注意事项[J]. 包装工程, 2003, 24(2): 121—123.
- HE Jing. The Precautions of Using Food Modified Atmosphere Packaging Technology [J]. Packaging Engineering, 2003, 24(2): 121—123.
- [15] KEITH T A. Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables[M]. 2nd Edition. London: Printed and bound in the UK by MPG Books Group, 2010.
- [16] 庄虚之. 唐代北运鲜荔枝的保鲜方法考证[J]. 四川果树, 1994(3): 17—19.
- ZHUANG Xu-zhi. Textual Research of The Transportation of Litchi in Tang Dynasty[J]. Sichuan Fruits, 1994(3): 17—19.
- [17] 宗亦臣, 王贵喜, 冯双庆. 冬枣气调贮藏试验初报[J]. 食品科学, 2003, 24(10): 150—152.
- [18] 王友升, 王贵禧, 梁丽松. 不同气体成分贮藏对大久保桃果实品质的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 214—218.
- [19] 杨宏顺, 冯国平, 李云飞. 嫩茎花椰菜在不同气调贮藏下叶绿素和维生素 C 的降解及活化能研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 172—174.
- [20] 苏大庆, 王则金. 我国果蔬气调冷藏保鲜的现状与展望[J]. 福州大学学报, 2002(30): 704—708.
- SU Da-qing, WANG Ze-jin. The Current Situation And Prospect of Controlled Atmosphere and Cold Storage of Fruit and Vegetable to Preserve Freshness in My Nation [J]. Journal of Fuzhou University, 2002(30): 704—708.
- [21] WANG Jia-bao, WANG Xiang-she, XU Bi-yu, et al. Physiological Changes during the Process of Pericarp Browning in the Postharvest Litchi[J]. AGRICULTURAL SCIENCE & TECHNOLOGY, 2010, 11(5): 10—16.
- [22] C W YEARSLEY, N H BANKS, S GANESH. Effect of carbon dioxide on the internal lower oxygen limits of apple fruit [J]. Postharvest Biology and Technology 12 (1997)1—13.
- [23] S MEIR, M AKERMAN, Y FUCHS, et al. Further studies on the controlled atmosphere storage of avocados[J]. Postharvest Biology and Technology, 1995 (5): 323—330.
- [24] SINGH S P, PAL R K. Controlled atmosphere storage of guava (Psidium guajava L) fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008(47): 296—306.
- [25] 王春生, 石建新, 赵猛, 等. 红富士苹果气调贮藏参数的研究[J]. 华北农学报, 2002, 17(4): 100—103.
- [26] 肖建中. 天津香芹物流保鲜技术[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(5): 53—54.
- [27] 鲁墨深, 王淑贞, 张静. FACA 系列柔性气调库[J]. 落叶果树, 2001, 33(4): 33—35.
- [28] 王世清, 张岩, 姜文利, 等. 气调库的有效快速降氧新模式研究[J]. 农机化研究, 2010, 32(7): 5—7.
- [29] 文倩. 川西北地区枇杷在气调环境中气体参数的试验研究[D]. 成都: 西南科技大学, 2010.
- [30] 王世清, 姜文利, 李凤梅, 等. 气调库与气调贮藏保鲜技术[J]. 粮油加工, 2008(10): 124—127.
- WANG Shi-qing, JIANG Wen-li, Li Feng-mei, et al. Controlled Atmosphere Store and Techniques of Controlled Atmosphere Storage [J]. Cereals And Oils Processin, 2008(10): 124—127.
- [31] 励建荣. 生鲜食品保鲜技术研究进展[J]. 中国食品学报, 2010, 10(3): 1—12.
- [32] 李莹. 果蔬气调贮藏的优势及发展前景[J]. 食品工程, 2006(2): 8—10.
- LI Ying. Advantage of Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetable and Its Development Prospest[J]. Food Engineering, 2006(2): 8—10.