

果蔬气调贮藏保鲜技术研究现状与展望

梁洁玉¹, 朱丹实^{1,2}, 冯叙桥^{1,2*}, 吕佳煜¹, 蔡茜彤¹, 韩鹏祥¹

(1. 渤海大学食品科学研究院, 辽宁省食品安全重点实验室, 锦州 121000;

2. 沈阳农业大学食品学院, 沈阳 110866)

摘 要: 气调贮藏保鲜技术具有保藏效果好, 贮藏时间长, 贮藏损耗小, 安全无污染等特点, 近年来在果蔬贮藏保鲜上的研究和应用不断发展进步。本文介绍了果蔬气调贮藏保鲜技术的分类, 陈述了气调贮藏工艺条件(温度、湿度、氧气和二氧化碳含量等)控制、气调库和气调包装材料的研究现状, 分析了果蔬气调贮藏保鲜的发展趋势。
关键词: 气调; 水果; 蔬菜; 保鲜; 现状

Status and prospects on modified atmosphere storage technology of fruits and vegetables

LIANG Jie-Yu¹, ZHU Dan-Shi^{1,2}, FENG Xu-Qiao^{1,2*}, LV Jia-Yu¹, CAI Xi-Tong¹, HAN Peng-Xiang¹

(1. Food Safety Key Lab of Liaoning Province, Food Science Research Institute of Bohai University, Jinzhou 121013, China;

2. College of Food Science, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110866, China)

ABSTRACT: Research and application of modified atmosphere storage technology for preservation of fruits and vegetables have been paid more and more attentions because of its better preservation effect, longer storage time, less storage loss, and safer food without pollution. This review introduced the type of modified atmosphere storage technology, and represented the status quo of the technological conditions (mainly including temperature, humidity, and the concentration of O₂ and CO₂), device and package materials of modified atmosphere storage of fruits and vegetables. Furthermore, its future developmental trend in the storage of fruits and vegetables was also envisioned.

KEY WORDS: modified atmosphere; fruits; vegetable; preservation; status

果蔬是一种营养丰富、含水量高、组织脆嫩的鲜活商品, 是人们生活中不可缺少的食品, 而且由于果蔬季节性强、鲜嫩易腐, 在贮藏期间大量失水导致严重萎蔫、衰老腐烂等, 使我国果蔬采后损失达到20%~30%。因此, 果蔬贮藏保鲜是一项重大的事业。果蔬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^[1]。目前, 影响果蔬保鲜主

要有四大因素: 温度、湿度、气体成分及微生物。气调贮藏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。

现代气调技术的原则, 始于1819年法国人J. E. Berard关于气体环境影响水果成熟的研究^[2]。1918年, 英国科学家Kidd和West提出了气调贮藏理论, 系统研究了环境中二氧化碳浓度和氧气浓度对果蔬

基金项目: 渤海大学人才引进基金项目(BHU20120301)

Fund: Supported by Bohai University Talent Introduction Foundation (BHU20120301)

*通讯作者: 冯叙桥, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为果蔬质量与安全控制。E-mail: feng_xq@hotmail.com

*Corresponding author: FENG Xu-Qiao, Professor, Food Safety Key Laboratory of Liaoning Province, Food Science Research Institute of Bohai University, No.19, Technology Road, Songshan District, Jinzhou 121013, China. E-mail: feng_xq@hotmail.com

新陈代谢的影响,为商业气调贮藏奠定了基础^[3]。1929年,第一座气调库建成,可以贮存苹果30吨。50年代初,气调贮藏技术得到迅速发展。70年代,此项技术被大规模地应用于商业贮藏。

近年来果蔬贮藏保鲜技术也不断发展,果蔬气调贮藏是当今国际上比较先进的贮藏保鲜方式之一,它是根据不同果蔬的生理特点,通过调节控制贮藏环境中的 O_2 浓度、 CO_2 浓度、温度、湿度和乙烯浓度等条件,达到降低果蔬呼吸强度,延缓养分的分解过程,使其保持原有的形态、色泽、风味、质地和营养,延长贮藏寿命。本文主要对气调工艺条件、气调库和气调包装技术的研究现状进行了综述,对其发展方向进行分析,为气调贮藏保鲜技术的发展及其在果蔬贮藏中的应用提供一些信息。

1 果蔬气调贮藏技术分类

气调贮藏按气调方式可分为采用自然降氧的自发气调贮藏(modified atmosphere storage,简称MA)和采用人工快速降氧的机械气调库贮藏(controlled atmosphere storage,简称CA)。

MA是指依靠果蔬自身的呼吸代谢来降低环境中的 O_2 ,提高 CO_2 含量,主要包括气调包装(modified atmosphere packaging,简称MAP)和塑料薄膜帐硅窗气调。MA是一种成本低、易于操作的方法,但是达到气调环境所需时间长,气体浓度不易控制。MAP又是自发气调贮藏保鲜技术的一种比较常用的方式,是指借助果蔬自身的呼吸作用产生的气体来降低 O_2 浓度和提高 CO_2 的浓度后袋内外形成气体分压力差。在压差作用下,包装袋内外进行 O_2 和 CO_2 气体交换,使袋内有 O_2 浓度升高和 CO_2 浓度降低的趋势,维持袋内各气体浓度维持稳定。气调包装除了改变气体成分,还可以很大程度上保持环境湿度,而且气调包装将果蔬与外界空气隔开,可以减少甚至避免病原菌和污染物污染。

CA指采用机械气调库,依靠制冷系统、气调系统和加湿系统的运行,将气调工艺参数(温度、气体成分、相对湿度等)严格控制在恒定范围内,主要包括充氮降氧气调、最适浓度指标气体置换和减压气调等形式。气调库的适用范围比较广,贮藏期相对更长。气调库的运行成本相对较高,但相应的设备一直在不断研究和改进,气调库的推广使用前景广阔。

2009年12月1日实施的《气调冷藏库设计规范》(SBJ16-2009),总结了我国几十年气调库的经验,使得气调库的设计及运行有法可依,也使得气调库更加节能,相对降低了成本^[4]。

2 果蔬气调贮藏设备的研究现状

气调贮藏保鲜效果需要完善的气调设备来保障,不同的气调贮藏方法需要不同设备。人工快速降氧的机械气调库贮藏需要的基本设备就是能够提供可达到气调环境条件的气调库及其相应的辅助设施。气调包装主要利用呼吸作用与包装材料的透气性来调节袋内的气体,选择合适透气性的包装材料是影响气调包装贮藏保鲜效果的关键。因此,气调库和气调包装材料的研发非常重要。

2.1 气调库

气调库与普通冷库不同,普通冷库要求库体围护结构具有保温、隔热、防潮等性能,而气调库除此之外还要求库体结构具有一定程度的气密性和耐压能力,即气密性和安全性,因为气调库内要达到所需的特定气体成分,并长时间维持,避免气调库内外气体交换;库内气体压力会随着温度变化而变化,形成内外气压差;气调库不仅需要制冷设备和温度传感器的配置还要有制氮设备、二氧化碳脱除设备、乙烯脱除设备和加湿设备,气调库还要有一定建筑格局^[5,6]。除了温度和湿度对气调库工作状态产生影响外,周围大气对气调库的渗透性也是比较大的,这就要求气调贮藏间与大气介质保持最大限度隔离,才能达到既延长果蔬保鲜期,又减少制氮和脱除二氧化碳电耗的目的^[7]。

林峰等^[8]通过对气调库气密性要求的分析、气密材料的选择及气密层的制作等方面阐述了如何保证气调库的气密性。高红岩等^[9]根据目前气调库能源利用率低、能耗大等问题,通过增设预冷间和减少气调贮藏间冷却时间、采用导热系数较低的库板并处理好防潮和气密性、选配耗电低装有变频器的压缩冷凝机组、小温差变风速的冷风机等方面对制冷系统进行节能设计,降低制冷系统运行能耗,减少气调库运行费用,相对降低果蔬贮藏保鲜的成本,扩大气调库的适用范围。刘海东^[10]从保温、气密、设备和保鲜技术等方面分析气调库节能降耗,全面而准确地掌握气调保鲜工程的综合技术和运行规律,可以避免不必

要的电能消耗。王涛等^[11]比较了对气调库的两种制冷系统氟利昂直接蒸发式系统和低温乙二醇间接冷却蒸发系统的应用特点,使得相关设计人员可以根据贮藏果蔬的特点与要求进行选择,达到节能的目的。王世清等^[12]对气调库内快速降氧途径进行探讨,建立降氧速率的数学模型,利用该模型能够确定快速降氧的最佳途径,为制氮机的合理有效工作提供了理论依据,能使气调库内条件在相对短的时间内达到果蔬贮藏的要求。合理控制气调库内氧气和二氧化碳的浓度是十分重要的,手动操作难以准确和及时调整,因此自动控制库内氧气和二氧化碳浓度就具有十分重要的意义,宿广汀等^[13]经过长期的实验和研究开发出氧气和二氧化碳浓度的自动控制系统,这对于气调库的进一步开发和应用具有非常重要的推动作用。

气调库的合理设计和库体围护结构的安全建造以及工作人员的合理使用也是非常重要的。合适有效的利用气调库的空间、物品要快进整出、保持库内良好的环境等等不仅可以节省能源,保证气调库正常运行还可以避免安全事故的发生。

2.2 气调包装材料

2.2.1 气调包装保鲜膜

气调包装需要对给定的果蔬,确定合适的包装量、选择合适的保鲜膜的材料及其面积和厚度,使保鲜袋内的气体成分符合或接近果蔬的最佳要求^[14]。不同的包装材料气体渗透率各异,目前尚无完全适用于果蔬包装的包装材料。在选择气调包装材料时要考虑以下因素^[15]: (1)包装的类型,如:有弹性的袋或刚性半刚性有盖子的托盘; (2)材料的透气性,如要考虑单独一种气体的透过率和气体混合时气体比例; (3)材料的物理性能,如切削、拉伸、清晰性和耐用性等; (4)材料的热封性和成雾性(因为呼吸作用影响在膜内部形成雾或水滴); (5)密封性; (6)水蒸气转移速率; (7)抵抗化学降解的性能; (8)无毒和化学惰性; (9)适印性(有一定的可印刷性); (10)商业可行性与经济适用性。用于气调包装的材料常见的有低密度聚乙烯(LDPE), 线性低密度聚乙烯(LLDPE), 高密度聚乙烯(HDPE), 聚丙烯(PP), 流延聚丙烯(CPP)、OPP(邻苯基苯酚)、高氯乙烯(PVC), 聚酯:有聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET), 聚偏二氯乙烯(PVDC), 聚酰胺(尼龙)等等。通过比较和研究发现, PVC、PET、PP、PE 比较适合于

新鲜果蔬的气调包装,而聚乙烯和聚酯具有较低的气体透过率,只能适合于呼吸速率较低的产品。Piagentini 等^[16]在比较 LDPE 和 OPP 包装袋后发现使用 LDPE 包装袋包装鲜切菠菜贮藏效果较好。Kim 等^[17]发现用 OTR(氧气渗透率)为 $8.0 \text{ pmol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1}$ 的膜,初始气体为 21 kPa O_2 (氮气平衡)包装鲜切莴苣并贮藏在 5°C ,产品在 14 天内可维持很好的质量。Muftuoğlu 等^[18]研究了气调贮藏对杏品质的影响,将杏用 CPP 和 BOPP 膜气调包装在 PP 托盘上($5\% \text{ O}_2 + 10\% \text{ CO}_2$),没有气调包装的杏作为对照,贮藏结束时对照组失水 57%,而气调组失水 1%;对照组的贮藏期仅为 7 天,气调组的贮藏期可达到 28 天。

通过将不同包装材料混合制得更有利于气调贮藏的包装膜材料也是一个较好的发展方向。Acosta 等^[19]研究了将 PP(聚丙烯)和 POE(聚乙烯-辛烯)混合制成新的膜材料,并分析其不同混合比例对制成膜的最终形态和属性(热、机械、氧气和水蒸气传播等)的影响,结果发现,热分析表明 POE 的添加不改变膜的熔化温度,也不改变膜的结晶度,膜的透气性主要跟 POE 的添加量有关,而不是膜的形态特征,当 POE 的添加量达到 40%时氧气透过率接近 100%,水蒸气的透过率也有类似的规律;跟 PP 膜相比,混合膜的刚性明显下降,延展性明显上升,这些力学性能和渗透性的改变使得混合后制得的膜更有利于果蔬气调贮藏保鲜,如苹果、蓝莓和蘑菇。

2.2.2 气调包装设备

由于食品和果蔬自身的性能特点不同,对保鲜气体的比例精度具有很高的敏感性,所以气调包装机的关键技术是气体置换。通过对袋内初始气体进行改变,达到气调所需的气体条件。目前国内外气体置换方式主要有两种:一种为气体冲洗式;一种为真空补偿式。气体冲洗式是指在包装容器成型时连续向容器内充入配制好的混合气体,利用气流将容器内的空气驱除,达到预定置换精度后立即封口;真空补偿式是先将包装容器内空气抽真空至一定的真空度,然后充入配制好的混合气体恢复至常压,或边抽真空边充气达到所要求的气调气体比例后,立即热封封口^[20]。

配制混合气体常用的设备是气体比例混合器,常见的混合器有六种:等容气体比例混合器(等容法)、等压气体比例混合器(等压法)、定容定压气体比例混合器(定容定压法)、节流气体比例混合器(节流法)、

时间气体比例混合器和质量流量器。

3 果蔬气调贮藏工艺的研究现状

气调设备可以为果蔬贮藏保鲜效果提供基础,而气调工艺条件对果蔬贮藏保鲜的效果非常重要,需要对特定果蔬进行大量研究分析,找出最适合果蔬贮藏的气调工艺条件。这样不仅可以达到贮藏果蔬的目的,还可以相对较少能源消耗,降低果蔬贮藏的成本。由于我国各地果蔬品种、种植及采收情况的差异,使果蔬采后生理生化特点不同,其对气调贮藏环境的适应性和最适贮藏条件也各不相同,而缺乏有针对性的气调工艺参数成为制约气调技术在我国推广的重要因素。气调包装贮藏受到很多因素的影响,如:包装膜的渗透性、果蔬的呼吸强度、初始气体成

分、环境中气体成分的变化和温度湿度调节。

气调贮藏工艺主要研究的对象是温湿度控制和气体含量的确定。一些果蔬的最佳气调工艺条件经研究已基本确定(如表 1),但是由于果蔬的品种繁多,同一水果或蔬菜的不同品种所要求的工艺条件就有很大的差别,如不同品种葡萄果皮结构不同,果梗木质化程度不同及代谢途径不同,所需的最佳气调条件也不同,研究发现巨峰葡萄最适的气体条件是 5% O₂和 8%~10% CO₂, 龙眼葡萄的最适气体条件是 15% O₂和 3% CO₂, 5% O₂和 0~5% CO₂^[31]; 黄金梨的最适气体条件是 3%~5% O₂和 CO₂ > 1%^[32], 而圆黄梨的最适气体条件是 5% O₂和 0~1% CO₂^[33]。温度每升高 10 ℃,呼吸速率增加 2~3 倍。González 等^[34]研究了温度(5 ℃, 10 ℃)和气调包装对鲜切甜椒品质的影响

表 1 部分果蔬气调贮藏保鲜工艺条件
Table 1 The condition of controlled atmosphere preservation of some fruits and vegetables

果蔬 品种	气调工艺条件					资料来源
	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	N ₂ (%)	温度(℃)	湿度(%)	
青菜	3	4	93	1~3	95	郭鑫和崔政伟 ^[21]
香梨	4~6	2~4	90~94	-1~0	90~95	陈国刚 ^[22]
苹果	2~5	1~5	90~97	-1~0	85~90	焦文英 ^[23]
桃	1	5	96	0	90~95	马献增 ^[24]
葡萄	2~4	3~5	91~95	-1~0	90~95	李梦钗等 ^[25]
樱桃	3~5	10~12	83~85	-1~0	90~95	王淑贞等 ^[26]
猕猴桃	2~4	3~5	91~95	-1~1.5	90~95	马献增 ^[24]
冬枣	5~6	0~0.5	94~95	-2~-1	95	韩冰等 ^[27]
柑橘	19.8	1.2	89	2~4	98	Valle 等 ^[28]
李子	3	3	94	0	90~95	
柑桔	15	0	85	3.5	87~90	
哈密瓜	3	1	96	3~4	80	
香蕉	4~5	5~8	87~91	13~14	95	
胡萝卜	3	5~7	90~92	1	85~90	
花椒菜	2~3	0~3	94~98	0	92~95	
芹菜	3	5~7	90~92	0	92~95	
黄瓜	5	5	90	14	90~93	林锋等 ^[29]
马铃薯	3~5	2~3	92~95	3	85~90	
生菜	3	5~7	9~92	1	95	
香菜	3	5~7	90~92	1	95	
西红柿	4~8	0~4	88~96	12	90	
四季豆	3	3	94	8	90	Sánchez-Mata 等 ^[30]

得出结论, 5℃结合气调包装可以在21天内保持甜椒整体品质的完好。刘海东^[10]提出多数气调库的制冷是以库温为指导的, 而库温不能准确地反映果品的实际温度, 应建立起以果心温度为指导的降温体系, 以果心温度为来调整其他参数, 不同时期不同的果心温度, 相对应不同的气体成分组合, 一旦库体条件发生改变, 各个参数可做相应的改变。在气调包装系统中, 果蔬的呼吸作用和通过膜交换的气体相互作用形成了果蔬需要的微环境, 王相等^[35]分析了国内外果蔬MAP中呼吸速率的研究进展, 包括呼吸速率的测定方法、影响因素和呼吸速率模型的研究动态, 提出果蔬呼吸过程极为复杂, 现已建立的呼吸模型有待于进一步的研究与论证。气调包装内相对湿度的调节控制也是气调贮藏的重要环节, 卢立新等^[36]以香菇为研究对象, 考虑包装内外热量交换和气体质量传输, 依据质量与能量守恒定律, 建立包装内质量与能量平衡关系, 导出气调包装内产品呼吸-蒸发模型, 得到装内相对湿度变化的预测模型; 同时测定香菇气调包装袋内的湿度, 预测值与实验结果基本吻合。

在气调包装中果蔬气调包装袋内气调的建立有主动和被动两种方式, 主动气调即人为地建立果蔬气调包装所需的最佳气调环境, 将果蔬放入后, 抽出部分或全部空气, 再充入适合此种果蔬的混合气体; 被动气调即将果蔬放入包装袋后利用果蔬呼吸作用和塑料薄膜与大气的交换维持袋内外气体平衡。主动和被动气调的贮藏效果因果蔬品种不同而有差异。Nobile等^[37]研究了主动气调和被动气调对鲜切果蔬货架期的影响, 通过数学模型的建立进行试错实验, 尽可能考虑所有的影响因素, 避免使果蔬长时间处于不利于贮藏的气调环境中。Costa等^[38]比较了主动气调和被动气调对鲜食葡萄贮藏期的影响, 结果发现被动气调更有利于延长葡萄贮藏期和保持其感官品质, 而且主动和被动气调对袋内气体变化没有显著性差异, 但是葡萄却因主动气调气体快速平衡而失水更严重。而Muftuoğlu等^[18]在杏的气调贮藏中发现主动气调和被动气调对杏品质变化没有明显差异。

气调中研究较多的是低氧高二氧化碳模式, 近年来, 高氧气调贮藏保鲜技术(21%~100%)对果蔬采后品质变化影响的研究越来越多^[39], 一定的高氧环境可抑制某些细菌和真菌的生长, 减少腐烂现象, 降低果蔬的呼吸作用和乙烯合成, 减缓组织褐变程度,

减低乙醛、乙醇等异味物质的产生, 从而改善果蔬的贮藏品质。陈雪红等^[40,41]研究了高氧气调对鲜切莴苣抗氧化活性和呼吸强度及酶活性的影响, 高氧气调包装可抑制鲜切莴苣VC及其对DPPH自由基清除率的下降, 促进类胡萝卜素及其对DPPH自由基清除率的下降, 促进多酚及其对DPPH自由基清除率的上升, 从而改善鲜切莴苣的抗氧化活性; 促进SOD酶活性的上升、抑制 O_2^- 生成量的增加和PPO、PAL酶活性的上升。

气调技术与其他保鲜技术相互补充, 结合使用能够达到更好的贮藏保鲜效果。Sivakumar等^[42]研究了1-MCP和气调技术相结合(17% O_2 +6% CO_2 , 90% RH)可以有效抑制荔枝褐变, 抗坏血酸含量下降糖酸比变化, 保留了荔枝原有的口味。Ustun等^[43]研究乙醇蒸汽预处理和多空聚乙烯(PPE)包装相结合对“红地球”葡萄抗氧化能力的影响, 结果表明葡萄利用乙醇蒸汽和气调相结合比单一处理抗氧化能力更强。Harbaum-Piayda等^[44]发现经过紫外线预处理结合气调贮藏(1.5%~2.5% O_2 +5%~6% CO_2)比直接在空气条件贮藏下的小白菜中类黄酮的含量明显较高。

果蔬的成熟度、加工方式等也影响果蔬气调贮藏的品质, 需选择适宜气调的果蔬品质或产品进行贮藏保鲜才能达到较好的效果。

4 果蔬气调贮藏保鲜技术的发展前景

气调贮藏保鲜并不适合所有果蔬, 对于某种果蔬的气调保鲜应用需要进行大量实验进行研究。充分了解气调果蔬、气调包装材料和环境条件的相互作用对气调贮藏条件的设计非常重要。近年来气调贮藏保鲜技术不断发展, 但技术仍不成熟, 果蔬贮藏多以低温为主, 需要投入更多研究和相关的资金支持。

4.1 应针对某种果蔬准确确定其方式和相应的气调工艺参数

果蔬品种繁多, 不同品种果蔬贮藏时所需工艺条件差异很大, 而且目前研究中所确定的果蔬气调贮藏气体范围较大, 操作控制不够精确准确, 不利于果蔬贮藏。因此, 应该针对某果蔬某一品种进行进一步研究准确确定其气调工艺参数, 以达到更好的保鲜效果。每一种果蔬在贮藏过程中存在的关键问题不同, 如褐变、微生物作用、冷害等等, 准确分析引起果蔬品质劣变的关键原因, 然后确定其贮藏方式和

相应的工艺参数。如一些果蔬受微生物影响较大,腐败较严重,可利用一些低浓度化学试剂或低强度的紫外灯进行预处理(其浓度或强度比单独使用时低),结合气调贮藏可达到同样甚至更好的保鲜效果,这样不会污染果蔬,更安全可靠^[45]。

4.2 结合数学模型研究能够准确分析果蔬在整个贮藏过程中所需的温湿度和气体含量的动态变化

与温湿度、果蔬呼吸速率相关的数学模型虽然已有了一定研究,但技术仍不成熟,需要进一步研究。准确的数学模型是有效气调控制的基础。果蔬采后的生理状态在整个贮藏过程中是不断变化的,其不同时期所需的气调环境条件是不同的,如不同成熟度的果实,提前采收的果实气调贮藏跟成熟期果实是不同的,否则就会影响果实正常后熟而产生病变,降低其食用价值。因此结合数学模型分析可以准确了解果蔬的生理代谢及其与气调环境的相互关系,使氧气和二氧化碳浓度同时达到特定要求,尽量避免果蔬长时间处于不适宜的环境条件下,给果蔬贮藏品质带来负面影响^[46]。通过测定需要贮藏果蔬的相关生理指标,利用数学模型分析该果蔬所需相应的气调环境条件,在贮藏一定时期内根据果蔬的品质和模型分析适当调整气调工艺条件,这样不仅可以准确保证整个果蔬贮藏过程中所需的环境条件,而且操作简单,易于实施。

4.3 新型气调设备的开发与完善

气调设备主要包括气调库的建造和气调包装材料的研究开发。完善的设备是达到果蔬气调所需条件的基础和保证,如:气调过程中温度的控制是非常关键的,包装后气调环境内温度应该接近贮藏温度;如果气调环境是低温下低 O_2 高 CO_2 ,那么环境的温度不能高于所要求的温度太高,否则会产生低 O_2 伤害,不利于果蔬进一步贮藏^[47]。因此开发一系列相应的自动化设备,能够及时准备反映气调环境条件内的条件,以便于工作人员对其进行调整。毛小燕^[48]研究了气调监控系统的改造设计,进一步改善和提高气调库的自动化程度和管理水平,可以对库内的气体成分进行实时的调节控制,维持果蔬最理想的贮藏环境。万勇^[49]对制冷和气调系统的自动化控制进行了研究,对其电控系统进行改造,推动了气调库的进一步发展。根据气调库内气流速度场、货区温度场、

氧气和二氧化碳浓度场等动态变化情况,开发气调库相关软件,方便气调库建设,优化其设计。谢晶等^[50]对开发气调库设计的系统软件有了一定的基础研究,需要进一步进行研究开发以便于能够将其应用到实际生产中。针对某种果蔬,利用相应的技术研制出渗透率合适的包装材料;开发出相对智能的包装膜,可以感知袋内气体的变化,相应的排除多余的 CO_2 或在低氧时排入空气,避免果蔬受到不适气体的伤害。合理的气调库建造和包装材料的选择可以节省能源,降低果蔬贮藏的成本。这需要食品专业人员、建筑工程专业人员和材料工程专业人员共同合作。

4.4 充分发挥气调库和气调包装各自的优势

气调库贮藏量大、贮藏品种多,气调条件控制严格,但是管理技术复杂,成本高,推广应用受到限制,比较适合高附加值的果蔬,多用在贮藏环节。因此,气调库适合采收后不需要进行长途运输就进行贮藏保鲜的果蔬。气调库更加适合于需长期贮藏的果蔬,减少了短期内物品频繁进出给气调库的运行带来负担。

气调包装技术操作简单,但气体浓度不易控制,主要依靠果蔬自身的呼吸作用和包装膜的透气性来维持平衡,比较适合运输流通和超市销售。李兴友^[51]研究了以气调包装技术为核心的微型气调链贮藏保鲜新技术,提出了微型气调链技术的实施流程和技术要点,从而将采后果蔬商品化。果蔬商品化处理最大限度地减少果蔬采后在贮藏、运输和流通销售过程中的损失,以最优的内在品质和外观满足消费者对果蔬颜色、风味、营养等各种各样的需求,具有较高的经济效益。因此,果蔬商品化处理水平的高低,是决定果蔬商品价值的主要因素。

气调贮藏保鲜技术是果蔬贮藏过程中比较重要的高新技术之一,极具开发和推广价值,在果蔬贮藏过程中具有很大的工程应用价值和经济价值。我国气调技术发展相对落后,需要对其进行更深入的研究和更多的支持,推动气调贮藏保鲜技术的进一步发展。

参考文献

- [1] 冯双庆. 果蔬贮藏学[M]. 第二版. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- Feng SQ. Fruit and vegetable storage and transportation science[M]. Beijing: Chemistry Industry Press, 2008.

- [2] Beaudry RM. Effect of O₂ and CO₂ Partial Pressure on Selected Phenomena Affecting Fruit and Vegetable Quality[J]. Postharvest Biol Technol, 1999, 15: 293–303.
- [3] Kidd F. West CA. Relation between the Concentration of Oxygen and Carbon Dioxide in the Atmosphere, Rate of Respiration, and Length of Storage of Apples[M]. London: Food Invest, Board Rep, 1927.
- [4] 邢振禧, 晁凤芹. 果蔬气调库的调试及节能运行[J]. 山东商业职业技术学院学报, 2011, 11(1): 89–90.
Xing ZX, Zhao FQ. The debugging and energy-saving operation of fruit-vegetable[J]. J Shandong Inst Commer Technol, 2011, 11(1): 89–90.
- [5] 石志平, 王文生, 阎师杰. 果蔬气调库的设计和使用[J]. 天津农业科学, 2003, 9(2): 42–44.
Shi ZP, Wang WS, Yan SY. Design and application of CA room[J]. Tianjin Agr Sci, 2003, 9(2): 42–44.
- [6] 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 SQ, Jiang WL, Li FM, *et al.* CA Room and controlled atmosphere preservation technology[J]. Grain Oil Process, 2008(10): 124–127.
- [7] 代会君. 果蔬气调贮藏库气密性探讨[J]. 保鲜与加工, 2004, 4(1): 32–33.
Dai HJ. Research of gastight quality for controlled atmosphere storage[J]. Prese Process, 2004, 4(1): 32–33
- [8] 林锋, 谢晶, 陈邓曼. 果蔬气调库贮藏中温湿度控制及气密性措施[J]. 制冷, 2000, 19(4): 41–44.
Lin F, Xie J, Chen DM. The controls of temperature and humidity in gases condition store and measures of pressure tightness[J]. Refrig, 2000, 19(4): 41–44.
- [9] 高红岩, 张紫健, 高兴, 等. 果蔬气调库制冷系统节能设计[J]. 节能, 2010, 29(4): 25–28.
Gao HY, Zhang ZJ, Gao X, *et al.* Energy-saving design on the refrigeration system of controlled atmosphere storage for fruit and vegetable[J]. Energ Conserv, 2010, 29(4): 25–28.
- [10] 刘海东. 气调库节能降耗的途径[J]. 保鲜与加工, 2008, 8(4): 56.
Liu HD. Technique of saving energy and reducing consumption of modified-atmosphere warehouse[J]. Stor process, 2008, 8(4): 56.
- [11] 王涛, 徐勤华. 两种气调库制冷系统的对比[J]. 产业与科技论坛, 2011, 10(4): 150–151.
Wang T, Xu QH. Comparison of two kinds of air conditioning refrigeration system[J]. Ind Sci Tribune, 2011, 10(4): 150–151.
- [12] 王世清, 张岩, 仇宏伟, 等. 气调库内快速降氧途径的探讨[J]. 农业机械学报, 2006, 37(2): 84–86.
Wang SQ, Zhang Y, Qiu HW, *et al.* Study on the methods of rapid oxygen-consumed in CA store[J]. J Agr Mach, 2006, 37(2): 84–86.
- [13] 宿广汀, 王素荣. 气调库中二氧化碳和氧气浓度的自动控制系统[J]. 包装与食品机械, 2011, 29(3): 68–71.
Xiu GT, Wang SR. Automatic control system of carbon dioxide and oxygen concentration in air conditioned storehouse[J]. Packaging and Food Mach, 2011, 29(3): 68–71
- [14] 李家政. 果蔬自发气调包装原理与应用[J]. 包装工程, 2011, 32(15): 33–38.
Li JZ. Principle and application of voluntary modified atmosphere packaging for fruit and vegetable[J]. Packag Eng, 2011, 32(15): 33–38.
- [15] Mangaraj S, Goswami TK, Mahajan PV. Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: a review[J]. Food Eng Rev, 2009, 1(2): 133–158.
- [16] Piagentini AM, Güemes DR, Pirovani ME. Mesophilic aerobic population of fresh-cut spinach as affected by chemical treatment and type of packaging film[J]. J Food Sci, 2003, 68(2): 602–606.
- [17] Kim JG, Luo Y, Tao Y, *et al.* Effect of initial oxygen concentration and film oxygen transmission rate on the quality of fresh-cut romaine lettuce[J]. J Sci Food Agr, 2005, 85(10): 1622–1630.
- [18] Muftuoğlu F, Ayhan Z, Esturk O. Modified atmosphere packaging of kabaasi apricot (*Prunus Armeniaca* L. ‘Kabaasi’): effect of atmosphere, packaging material type and coating on the physicochemical properties and sensory quality[J]. Food Bioproc Technol, 2012, 5(5): 1601–1611.
- [19] Acosta MN, Ercoli DR, Goizueta GS, *et al.* Blends of PP/PE co-octene for modified atmosphere packaging applications[J]. Packag Technol Sci, 2011, 24(4): 223–235.
- [20] 傅小华. 气调包装气体比例混合与检测系统的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2011.
Fu XH. Study on mixing and detecting of gas proportion in MAP system[J]. Harbin: Harbin Univ of Commerce, 2011.
- [21] 郭鑫, 崔政伟. 青菜气调贮藏保鲜的工艺优化研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(6): 344–348.
Guo X, Cui Z W. Study on process optimization of controlled atmosphere storage of pakchoi[J]. Sci Technol Food Ind, 2013, 34(6): 344–348.
- [22] 陈国刚. 库尔勒香梨气调贮藏保鲜技术[J]. 保鲜与加工, 2004, 4(1): 34–35.
Chen GG. Technology of controlled atmosphere storage and fresh-keeping of fragrant pear of Kuerle[J]. Stor Process, 2004, 4(1): 34–35.
- [23] 焦文英. 苹果冷藏和自发气调相结合的贮藏技术[J]. 中国果

- 菜, 2008(2): 51–52.
- Jiao WY. The Technology of cold storage combined with spontaneous controlled atmosphere of apple[J]. *China Fruit Veg*, 2008(2): 51–52.
- [24] 马献增. 气调库贮藏桃、葡萄、猕猴桃技术[J]. *河南农业科学*, 2001(1): 25–26.
- Ma XZ. The controlled atmosphere storage technology of peach, grape, kiwifruit[J]. *Henan Agr Sci*, 2001(1): 25–26.
- [25] 李梦钗, 温秀军, 王振亮, 等. 葡萄保鲜技术研究进展[J]. *落叶果树*, 2010, 42(4): 21–23.
- Li MC, Wen XJ, Wang ZL, *et al.* Advance of research on grape preservation[J]. *Deciduous Fruits*, 2010, 42(4): 21–23.
- [26] 王淑贞, 陈相艳, 陈令梅. 应用柔性气调库保鲜贮藏甜樱桃的技术[J]. *落叶果树*, 2005, 37(4): 31–32.
- Wang SZ, Chen XY, Chen LM. The technology of flexible controlled atmosphere storage of sweet preservation[J]. *Deciduous Fruits*, 2005, 37(4): 31–32.
- [27] 韩冰, 王文生, 石志平. 气调贮藏对冬枣采后生理生化变化的影响[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(11): 2379–2383.
- Han B, Wang WS, Shi ZP. Effect of control atmosphere storage on physiological and biochemical change of dong jujube[J]. *Sci Agr Sin*, 2006, 39(11): 2379–2383.
- [28] Valle V, Hernández-Muñoz P, Catalá R, *et al.* Optimization of an equilibrium modified atmosphere packaging (Emap) for minimally processed mandarin segments[J]. *J Food Eng*, 2009, 91(3): 474–481.
- [29] 林锋, 陈文辉. 果蔬气调贮藏保鲜的原理与方法[J]. *福建果树*, 1999, (2): 47–49.
- Lin F, Chen WH. The principle and method of controlled atmosphere storage of fruits and vegetables[J]. *Fujian Fruits*, 1999, (2): 47–49.
- [30] Sánchez-Mata MC, Cámara M, Díez-Marqués C. Extending shelf-life and nutritive value of green beans (*Phaseolus Vulgaris* L.), by controlled atmosphere storage: macronutrients[J]. *Food Chem*, 2003, 80(3): 309–315.
- [31] 关文强, 李德顺. 葡萄气调贮藏分析[J]. *保鲜与加工*, 2002, 2(5): 14–16.
- Guan WQ, Li DS. Analysis of controlled atmosphere storage of table grape[J]. *Stor Process*, 2002, 2(5): 14–16.
- [32] 李湘利, 张子德, 刘静. 黄金梨气调贮藏技术[J]. *食品研究与开发*, 2006, 26(6): 156–157, 152.
- Li XL, Zhang ZD, Liu J. Technology of controlled atmosphere of whangkeumbae[J]. *Food Res Dev*, 2006, 26(6): 156–157, 152.
- [33] 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.
- Yan GZ, Wang CS, Zhang XY, *et al.* Primary research of CA storage on Yuanhuan pear[J]. *Stor Process*, 2007, 7(6): 19–21.
- [34] González-Aguilar GA, Ayala-Zavala JF, Ruiz-Cruz S, *et al.* Effect of temperature and modified atmosphere packaging on overall quality of fresh-cut bell peppers[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2004, 37(8): 817–826.
- [35] 王相友, 李霞, 王娟, 等. 气调包装下果蔬呼吸速率研究进展[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(8): 95–100.
- Wang XY, Li X, Wang J, *et al.* Advances of respiration rate in modified atmosphere packaging for fruits and vegetables[J]. *J Agr Mach*, 2008, 39(8): 95–100.
- [36] 卢立新, 蔡明. 果蔬气调包装内相对湿度的预测模型与试验验证[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(5): 21–26.
- Lu LX, Cai M. Predicting model and experimental validation of relative humidity in modified atmosphere packages for fruits and vegetables[J]. *T CSAE*, 2007, 23(5): 21–26.
- [37] Nobile MA, Conte A, Mastromatteo M, *et al.* Decontamination of fresh and minimally processed produce[M]. Chichester: Wiley-Blackwell, 2012: 451–467.
- [38] Costa C, Lucera A, Conte A, *et al.* Effects of passive and active modified atmosphere packaging conditions on ready-to-eat table grape[J]. *J Food Eng*, 2011, 102(2): 115–121.
- [39] Jacxsens L, Devlieghere F, Van der Steen C, *et al.* Effect of high oxygen modified atmosphere packaging on microbial growth and sensorial qualities of fresh-cut produce[J]. *Int J Food Microbiol*, 2001, 71(2/3): 197–210.
- [40] 陈学红, 秦卫东, 马利华, 等. 高氧气调包装对鲜切莴苣呼吸和酶活性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2011, 37(12): 208–212.
- Chen XH, Qin WD, Ma LH, *et al.* Effect of high oxygen modified atmosphere packaging on the respiration and enzymatic activity of fresh-cut lettuce[J]. *Food Fermentation Ind*, 2011, 37(12): 208–212.
- [41] 陈学红, 秦卫东, 马利华, 等. 高氧气调包装对鲜切莴苣抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2011, 32(8): 313–317.
- Chen XH, Qin WD, Ma LH, *et al.* Effect of high oxygen modified atmosphere packaging on antioxidant activities in fresh-cut lettuce[J]. *Food Sci*, 2011, 32(8): 313–317.
- [42] Sivakumar D, Korsten L. Fruit quality and physiological responses of litchi cultivar mclean's red to 1-methylcyclopropene pre-treatment and controlled atmosphere storage conditions[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2010, 43(6): 942–948.
- [43] Ustun D, Candir E, Ozdemir AE, *et al.* Effects of modified atmosphere packaging and ethanol vapor treatment on the chemical composition of 'red globe' table grapes during storage[J]. *Postharvest Biol Tec*, 2012, 68: 8–15.
- [44] Harbaum-Piayda B, Walter B, Bengtsson GB, *et al.* Influence of pre-harvest uv-B irradiation and normal or controlled atmosphere

- storage on flavonoid and hydroxycinnamic acid contents of Pak Choi (*Brassica Campestris* L. Ssp. *Chinensis* Var. *Communis*)[J]. *Postharvest Biol Tec*, 2010, 56(3): 202–208.
- [45] Allende A, Artés F. Combined ultraviolet-C and modified atmosphere packaging treatments for reducing microbial growth of fresh processed lettuce[J]. *LWT-Food Sci and Tec*, 2003, 36(8): 779–786.
- [46] 张春荣, 黄光荣. 果蔬气调包装数学模型研究[J]. *江苏食品与发酵*, 2000, (3): 14–16.
- Zhang CR, Huang GR. Research of fruits and vegetables MAP mathematical model[J]. *Jiangsu Food and Fermentation*, 2000, (3):14–16.
- [47] Mir N, Beaudry RM. Modified atmosphere packaging[J]. *Agriculture Handbook*, 2004,66.
- [48] 毛小燕. 气调库气调监控系统的设计[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2002.
- Mao XY. Design of real-time monitoring and control system for controlled atmosphere storages[D]. Yang Ling: Northwest Agr For Univ, 2002.
- [49] 万勇, 王志明. 果蔬气调保鲜库设备自动化控制系统研究[J]. *四川农业与农机*, 2013, (3): 43–44.
- Wang Y, Wang ZM. Study of automatic system on controlled atmosphere device[J]. *Sichuan Agr Agr Mach*, 2013, (3): 43–44.
- [50] 谢晶, 瞿晓华, 施骏业. 气调库设计系统软件开发[J]. *制冷与空调*, 2004, 4(3): 56–59.
- Xie J, QU XH, Shi JY. The development of controlled atmosphere store design system software[J]. *Ref Air-Cond*, 2004, 4(3): 56–59.
- [51] 李兴友. 采后果蔬微型气调链技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2005.
- Li XY. Study on miniature modified-atmosphere Chain technology for post-harvest[D]. Chongqing: Chongqing Univ, 2005.

(责任编辑: 赵静)

作者简介



梁洁玉, 在读硕士, 主要研究方向为果蔬质量与安全控制。
E-mail: liangjieyu2012@163.com



冯叙桥, 博士, 教授, 主要研究方向为果蔬质量与安全控制。
E-mail: feng_xq@hotmail.com