

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2016.02.017

# 论果蔬保鲜中的气调包装技术

丁 华<sup>1</sup>, 王建清<sup>1</sup>, 王玉峰<sup>1</sup>, 董 婧<sup>2</sup>

(1. 天津科技大学 包装与印刷工程学院, 天津 300222; 2. 中国包装科研测试中心, 天津 300457)

**摘 要:** 果蔬保鲜中的气调包装技术主要通过抑制果蔬的呼吸作用和致病微生物的繁殖, 以保持新鲜果蔬具有较高的品质, 有效延长其货架寿命。影响果蔬气调保鲜效果的主要因素包括果蔬的呼吸作用、贮藏温度、气体比例和包装材料。气调保鲜包装技术在果蔬保鲜中具有广泛的应用前景, 但应建立最适的果蔬呼吸速率预测模型用于指导实际生产, 研发新型环保、绿色包装材料用于果蔬保鲜包装, 同时应结合其他保鲜技术, 以取得综合保鲜效果。

**关键词:** 气调包装; 果蔬; 保鲜技术

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2016)02-0090-07

## Review of Modified Atmosphere Packaging Technology in the Preservation of Fruits and Vegetables

DING Hua<sup>1</sup>, WANG Jianqing<sup>1</sup>, WANG Yufeng<sup>1</sup>, DONG Jing<sup>2</sup>

(1. College of Packaging & Printing Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China;

2. China Packaging Research and Test Center, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** Modified atmosphere packaging (MAP) technology can keep fresh fruits and vegetables with high quality and prolong its shelf life by inhibiting its respiration and reproduction of pathogenic microorganisms. The main factors which influence the effect of MAP include respiration of fruits and vegetables, storage temperature, gas ratio and packaging materials. Modified atmosphere technology has extensive application prospect in fruits and vegetables preservation, and proposes to establish the optimal fruit respiratory rate prediction model to guide the practical production, develop new environmental protection and green materials for fruits and vegetables packaging, meanwhile combine with other preservation technology to obtain the comprehensive preservation effect.

**Keywords:** modified atmosphere packaging (MAP); fruits and vegetables; fresh keeping technology

## 1 研究背景

新鲜果蔬中含有人体所需的微量元素和矿物质等营养成分。但采收后新鲜果蔬的呼吸作用和水蒸发等生理代谢活动仍在进行, 使其自身养分发生

分解和消耗, 并伴随着呼吸热的产生, 因而会导致果蔬品质劣变(如变味、失水萎蔫、腐败等)问题的发生<sup>[1]</sup>。新鲜果蔬除具自身存在的组织含水量高、鲜嫩易腐、常温下保存期较短等特点外, 在其

收稿日期: 2015-12-16

基金项目: 国家科技支撑计划基金资助项目(2015BAD16B00)

作者简介: 丁 华(1991-), 女, 天津人, 天津科技大学硕士生, 主要研究方向为包装材料与技术,

E-mail: [Dinghua2013@126.com](mailto:Dinghua2013@126.com)

通信作者: 王玉峰(1982-), 男, 河北承德人, 天津科技大学副教授, 博士, 主要从事包装材料与技术方面的教学与研究,

E-mail: [ppcwylf@tust.edu.cn](mailto:ppcwylf@tust.edu.cn)

生产上还具有很强的季节性、区域性和易变性等缺点。同时,随着经济的快速发展和人们消费意识的不断转变,消费者对果蔬产品的感官评价、食用安全、营养价值等都有了较全面的认识和较高的要求<sup>[2]</sup>。因此,果蔬贮藏加工技术将成为果蔬保鲜领域的主要研究方向。

气调包装技术即气调包装(modified atmosphere packaging),它是利用果蔬采后其呼吸作用中不断消耗O<sub>2</sub>、放出CO<sub>2</sub>的原理,选用透过性能不同的塑料薄膜调节包装内果蔬所处环境的气体比例,以控制果蔬的呼吸速率,从而达到提高果蔬保鲜效果和延长其货架寿命目的的一种包装技术<sup>[3]</sup>。国际上通用的气调包装定义为“通过改变包装内气体组成,使食品处于不同于空气组分的气体环境中,从而延长食品保藏期的包装”,凡符合这一定义的包装技术都称为气调包装。由此可得,气调包装的基本原理是用单一或混合的保护性气体置换包装内的空气,以抑制果蔬的呼吸作用、减缓新鲜果蔬的新陈代谢活动并抑制其腐败微生物的繁殖,保持产品新鲜色泽,从而延长产品的货架期或保鲜期。根据不同产品的保鲜需求,可确定用于气调包装的气体种类和比例,这样才能取得最佳的保鲜效果。常用于水果气调保鲜包装的气体是氧气、二氧化碳和氮气。

气调包装技术除了能防止食品的理化性能发生改变、避免食品质量下降、减缓变质速率外,还具有很好的保色、保香等保鲜效果,已被广泛应用于各类食品、生鲜农产品的保鲜包装中<sup>[4-5]</sup>。特别是配合冷链和新型杀菌处理技术,气调包装技术更是在冷鲜肉、熟食和果蔬保鲜等方面得到了充分认可。相较于传统的添加防腐剂、添加化学保鲜剂、热处理或纯低温贮藏等保鲜技术,气调包装具有低能耗、安全环保等优势,符合绿色包装的要求和可持续发展的理念。因此,气调包装在国际上得到了广泛的应用,且有向更广阔领域发展之势。因此,本文拟从气调包装技术对果蔬采后生理及病虫害的影响以及影响气调保鲜效果的影响因素两个方面对已有气调保鲜包装技术研究现状进行分析,简要总结目前气调包装存在的主要问题,并对气调保鲜技术在果蔬保鲜方面的应用前景进行展望。

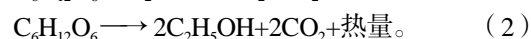
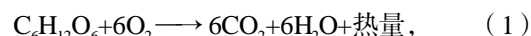
## 2 气调包装对果蔬采后生理及病害的影响

气调贮藏一般要求果蔬的采摘期为尚未成熟期,但有些果蔬会因提早采收而降低自身的固有风味与

品质。同时,不同种类新鲜果蔬的适宜气体贮藏条件亦会因其自身生物学特性的差异而各不相同。因此,在采收之前不仅应把握果蔬适宜的成熟度,而且应配以相应的采后商品化处理技术,以保证果蔬贮藏前的品质,从而达到最佳的保鲜效果<sup>[6]</sup>。

### 2.1 气调包装对果蔬呼吸作用的影响

每个水果或每棵蔬菜均是一个生命体,它在采后贮运过程中仍然进行着呼吸作用,通过分解作用消耗体内的营养物质以维持其生命活动,同时产生热量、二氧化碳、水和少量酯类气体(如乙醇、乙醛、乙烯等)。在氧气充足的环境中,果蔬进行有氧呼吸,即从环境中吸收氧气,分解自身的葡萄糖,生成二氧化碳和水,其呼吸作用反应式如式(1)所示;在缺氧或供氧不足的环境中,果蔬进行无氧呼吸,靠分解自身的葡萄糖等,生成乙醇和二氧化碳来维持自身的生命活动,其反应式如式(2)所示。



气调包装就是通过控制果蔬所处环境中氧气的浓度,使其既可以维持较低强度的有氧呼吸,又不会产生无氧呼吸,从而降低果蔬中营养物质的消耗,延长果蔬的保鲜期。其原理是人为向包装中充入一定比例的气体,再利用果蔬呼吸作用经过一段时间后,使包装内氧气浓度降低、二氧化碳浓度升高,最终达到一个呼吸交换与包装膜透过的氧气和二氧化碳量相平衡的状态,在包装内形成一个氧气、二氧化碳、氮气相对稳定的气氛,从而实现保质保鲜。果蔬采后的呼吸作用会受到贮藏环境中O<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>浓度变化的影响。已有相关研究表明,果蔬气调包装中较高浓度的CO<sub>2</sub>能够有效延缓蓝莓果实的呼吸速率,降低果实的腐烂率<sup>[7-8]</sup>。如姜爱丽等<sup>[9]</sup>研究了5℃温度下体积分数分别为5%的O<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>或5%的O<sub>2</sub>和10%的CO<sub>2</sub>箱式气调贮藏条件对鲜切富士苹果的保鲜效果,结果表明,前者有利于控制鲜切富士苹果的褐变,后者更能抑制其腐烂现象的发生。

### 2.2 气调包装对致病微生物的影响

高浓度的二氧化碳存在于包装中,不仅能起到抑制果蔬呼吸的作用,同时,作为一种抑菌气体,二氧化碳能抑制好氧致病微生物的繁殖。当环境中的二氧化碳浓度达到一定值时,多数水果致病菌会呈“休眠”状态。已发现高浓度的二氧化碳对抑制金黄色葡萄球菌、沙门菌属、埃希大肠菌有效,且其抑制效果随温度的升高而降低。

气调包装中,充入的氮气占很大比例,作为一种稀有气体,它不会与水果发生化学反应,不会被吸

收而改变包装形态和内部气体的比例。同时,氮气对致病微生物的生长也有一定的抑制作用。

王宝刚等<sup>[10]</sup>采用自动自发气调保鲜箱,在(0 ± 0.5)℃温度下贮藏甜樱桃,结果发现,在此条件下果实病害的发生率明显降低,贮藏80 d时,其病害发生率仅为对照组的28.46%。

### 3 影响气调包装保鲜效果的因素

由于各种产品的理化性能存在较大差别,加之在流通过程中经历的贮运销售条件各异,各类产品对气调包装的要求也不尽相同。气调包装是一项综合保鲜技术,在设计 and 应用时应根据被包装产品考虑影响它的主要因素。对于新鲜果蔬而言,影响气调包装的主要因素有果蔬的呼吸作用、贮藏温度、气体比例及包装方式等,这些因素交叉作用,互相影响,共同决定了气调包装的保鲜效果。

#### 3.1 呼吸作用

果蔬的呼吸速率会直接影响其货架寿命,因此,准确掌握被包装果蔬的呼吸速率,对气调包装的设计和数学模型的建立具有举足轻重的意义。高效的气调包装设计,其首要工作就是对果蔬的呼吸速率进行准确测定,进而建立果蔬的呼吸速率模型。目前,测定果蔬呼吸速率的方法主要有碱吸收法、流动系统测定法、静态密闭系统测定法和渗透性系统测定法<sup>[11]</sup>,其中静态密闭系统测定法的计算较为简单,故较为常用;而碱吸收法不仅操作较为繁琐,且其误差较大、精度较低,一般不采用。

果蔬的呼吸速率预测模型在气调包装中占有重要地位,将直接影响气调包装技术参数的确定。近年来,国内外学者们对于果蔬呼吸速率预测模型方面的研究较多,并取得了一定的成果。

##### 3.1.1 基于统计学公式的经验模型

这类模型通常只考虑温度或气体浓度等单一因素对果蔬呼吸速率的影响,通过统计分析方法建立模型,多为指数形式或多项式形式。这类模型的建立往往容易实现,并且能保证其具有较高的预测精度,但因缺乏对果蔬呼吸机理的分析和呼吸过程的描述,普适性不高<sup>[12-13]</sup>。

如 P. Rocculi 等<sup>[14]</sup>以鲜切苹果为研究对象,采用指数方程描述其呼吸作用对包装内气体浓度的影响; M. A. D. Nobile 等<sup>[15]</sup>则将这一方程应用于猕猴桃、香蕉和梨的呼吸作用研究中。Y. S. Henig 等<sup>[16]</sup>利用一次函数描述蕃茄的氧气吸收速率与氧浓度之间的关系,这一模型后来又被 S. Fishman 等<sup>[17]</sup>用来再现芒果的呼

吸作用对氧气浓度的影响,并将其引入到微孔膜包装领域中。

##### 3.1.2 基于酶动力学呼吸速率模型

Michaelis-Menten (M-M) 方程(式(3))是酶动力学呼吸速率模型的基础,它将果蔬的呼吸过程假设为限速酶促反应,认为只有氧气对呼吸作用产生影响而忽略了二氧化碳的作用。

$$v = \frac{v_m \varphi_{O_2}}{K_m + \varphi_{O_2}} \quad (3)$$

式中:  $v$  为果蔬的  $O_2$  或  $CO_2$  的呼吸速率,  $mL/(kg \cdot h)$ ;

$v_m$  为果蔬的最大呼吸速率,  $mL/(kg \cdot h)$ ;

$K_m$  为方程常数;

$\varphi_{O_2}$  为  $O_2$  的体积分数, %。

F. M. Mathooko<sup>[18]</sup>提出,不同二氧化碳浓度对果蔬呼吸速率的影响不同,根据其表现形式,他对酶动力呼吸速率模型进行了修正,将二氧化碳对呼吸速率的影响机制归纳为竞争型、无竞争型、非竞争型和无-非混合竞争型4种<sup>[19-20]</sup>。修正后的酶动力呼吸速率模型如下:

##### 1) 竞争型

$$v = \frac{v_m \varphi_{O_2}}{K_m (1 + \varphi_{CO_2} / K_i) + \varphi_{O_2}} \quad (4)$$

##### 2) 无竞争型

$$v = \frac{v_m \varphi_{O_2}}{K_m + (1 + \varphi_{CO_2} / K_i) \varphi_{O_2}} \quad (5)$$

##### 3) 非竞争型

$$v = \frac{v_m \varphi_{O_2}}{(K_m + \varphi_{O_2}) (1 + \varphi_{CO_2} / K_i)} \quad (6)$$

##### 4) 无-非混合竞争型

$$v = \frac{v_m \varphi_{O_2}}{K_m (1 + \varphi_{CO_2} / K_i) + (1 + \varphi_{CO_2} / K_j) \varphi_{O_2}} \quad (7)$$

式4~7中:  $K_i$  和  $K_j$  表示方程常数。

##### 3.1.3 基于Langmuir理论模型

一些日本学者<sup>[21]</sup>基于Langmuir吸收理论提出了果蔬呼吸速率模型。不考虑二氧化碳对呼吸速率影响的模型为式(8),式中  $v_{O_2}$  为果蔬中的  $O_2$  的呼吸速率,  $mL/(kg \cdot h)$ ,  $a$  和  $b$  均为方程常数。

$$v_{O_2} = \frac{ab\varphi_{O_2}}{1 + a\varphi_{O_2}} \quad (8)$$

研究人员分别以莴苣和卷心菜为研究对象,对该模型进行验证,研究结果表明,该模型对氧气、二氧化碳的浓度变化描述比较吻合。但迄今为止,该模型尚未得到较好应用于实际中的验证。

考虑到二氧化碳会对细胞呼吸具有一定的抑制作用, 可将上述模型简化为式(9), 其中  $a$ ,  $b$ ,  $i$  均为方程常数。

$$v_{O_2} = \frac{ab\varphi_{O_2}}{1 + a\varphi_{O_2} + ai\varphi_{O_2}\varphi_{CO_2}} \quad (9)$$

不难发现, 式(8)和(9)与式(3)和(5)的数学本质是一致的, 即经过简单的代数变换即可得到相同的形式。以上模型均只从某一角度出发, 未能考虑到各影响因素, 因此, 以后的研究工作中, 需建立合适的气调模型, 以便更准确地确定各影响气调包装技术参数。

### 3.2 贮藏温度

贮藏温度是影响果蔬货架寿命的重要因素, 低温条件能降低果蔬的蒸腾作用、氧化速度、呼吸作用, 抑制微生物的生长。在某一临界温度以下时, 微生物的活动会完全停止。以水果为例, 随着温度的升高, 水果果实内水分子的运动速度加快, 蒸发速度相应加快。呼吸作用产生的热量由水果表面向包装内自由空间中释放, 造成包装内部环境中近水果表面和远水果表面存在温度差, 形成气体对流。气体流动则会加速水果内部水分的蒸发, 使水果失水萎蔫。且当温度升高时, 水果的呼吸速率加快, 果实内的营养物质消耗相应加快, 因而加速了细胞和组织的分解与衰亡。在果蔬的正常生理温度范围内, 且保证其不会发生冷害的条件下, 温度越低, 贮藏效果越好。

引起水果腐烂变质的致病菌大部分属于嗜温微生物, 以草莓灰霉为例, 其最低生长温度为  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 最适生长温度为  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 若采用低温冷藏的方式贮藏, 则能明显降低草莓的腐烂率。饶先军<sup>[22]</sup>的研究表明, 采用自发气调包装箱在  $(0 \pm 0.5)\text{ }^{\circ}\text{C}$  冷藏条件下贮藏结球生菜, 可有效减轻其褐变, 并抑制多酚氧化酶 (polyphenol oxidase, PPO) 的生物活性。高铭等<sup>[23]</sup>认为, 在  $(0 \pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$  冷库贮藏条件下, 含体积分数为  $5\%\text{CO}_2$  气体的塑料气调保鲜箱可降低树莓果实 PPO 活性, 抑制其丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 含量的升高, 且保持果实中过氧化物酶 (peroxidase, POD) 的活性。王宝刚等<sup>[24]</sup>研究了预冷物流后气调处理对“雷尼”甜樱桃贮藏过程品质的影响。其研究表明: 在  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  温度条件下贮藏 60 d 时, 以体积分数为  $10\%\text{CO}_2$  处理的樱桃的腐烂率低于  $1\%$ , 在  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  温度条件下货架 3 d 时, 其腐烂率低于  $10\%$ 。且采后进行  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  温度下预冷, 贮藏期间进行体积分数为  $10\%$  的  $\text{CO}_2$  处理, 可以显著降低甜樱桃物流和贮藏过程中的品质损耗。

### 3.3 气体比例

气调包装技术中, 气体比例是重要的气调工艺参数, 是保证果蔬保鲜效果的关键和核心。

二氧化碳对各种水果都有一定的保护作用, 能抑制细菌和真菌的生长。但气调包装中使用二氧化碳时必须注意, 二氧化碳对水的溶解度较高, 当其溶于果实中的水分中后会形成碳酸, 因而会改变水果的 pH 值和风味。同时, 二氧化碳体积的减少也容易导致包装萎缩, 影响包装外形的美观。二氧化碳浓度的升高有利于延缓果实的成熟、衰老过程, 降低其呼吸速率, 减少呼吸热的产生, 但过高的二氧化碳含量会引起水果中毒。因此, 应根据不同水果在被包装条件下对二氧化碳的耐受性来确定包装中应充入的二氧化碳浓度。如 A. Ballantyne 等<sup>[25]</sup>经研究发现, 采用气调保鲜技术, 以不同气体配比贮藏切片葛首, 当气调包装中的气体配比为体积分数  $5\%\text{O}_2 + 5\%\text{CO}_2 + 90\%\text{N}_2$  时, 其保鲜效果最佳。郜海燕等<sup>[26]</sup>认为, 当去壳茭白的气调小包装内的气体成分为体积分数为  $0.5\% \sim 0.6\%\text{O}_2$  和  $10\% \sim 11\%\text{CO}_2$  时, 可显著降低其呼吸强度和乙烯释放量, 在  $0 \sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  冷藏环境中, 其贮藏期可延长至 49 d。

降低包装中的氧气浓度会降低果蔬的呼吸作用, 但是氧气含量过低会造成缺氧损伤。果蔬在低氧环境中主要进行无氧呼吸, 会代谢出有害物质, 降低果实的品质。近年来, 高氧气调保鲜技术 (即包装中  $\text{O}_2$  的体积分数为  $21\% \sim 100\%$ ) 作为新型果蔬采后处理技术, 有关其对果蔬采后生理与品质变化影响方面的研究逐渐增多<sup>[27]</sup>。如 L. Jacxsens<sup>[28]</sup>以蘑菇为研究对象, 发现高氧气调包装可有效降低其褐变率, 延长其货架期。车东<sup>[29]</sup>以鲜切苹果、莲藕为试验材料, 研究了高氧气调包装的保鲜效果。其研究表明, 初始气体中  $\text{O}_2$  的比例越高, 抑制鲜切产品褐变、失重的效果越好, 但对鲜切莲藕的酸含量和  $V_C$  含量的损失越大。

综上所述, 高氧气调保鲜技术的研究尚处于减少果蔬微生物、抑制其褐变及呼吸作用等阶段, 因此, 针对不同种类果蔬的呼吸及生理特性, 进一步探索其适宜的高氧浓度临界值, 将会是未来果蔬保鲜贮藏领域的研究热点。

### 3.4 包装材料

气调包装的设计要严格控制包装材料的透气性能。果蔬的呼吸作用会造成包装内气体比例的波动, 这就要利用包装膜的透气性能使包装内气体达到动态平衡, 并将其维持在一个理想的比例。果蔬品种不同, 其呼吸速率存在较大差异, 因此不同包装对象对包装材料的透气性能要求也就千差万别, 大量科研工作者对不同品种果蔬适用的包装材料进行了研究<sup>[30-32]</sup>。

如沈莲清等<sup>[33]</sup>在5℃冷藏环境下以低密度聚乙烯(low density polyethylene, LDPE)为包装膜,研究了以体积分数为10% O<sub>2</sub>+10% CO<sub>2</sub>或5% O<sub>2</sub>+5% CO<sub>2</sub>的气调包装对芦笋的保鲜效果,结果发现其贮藏18 d后仍具有较好的感官品质。A. Sim 6n等<sup>[34]</sup>在5℃冷藏环境下以体积分数为7%的CO<sub>2</sub>和15%的O<sub>2</sub>为初始气体比例,且以聚丙烯微孔膜为包装材料,进行了去皮白芦笋的气调保鲜实验,发现其可以使芦笋的贮藏期延长至14 d。曹慧娟等<sup>[35]</sup>分别采用光合气调箱和聚乙烯(polyethylene, PE)包装膜对绿芦笋进行保鲜实验,结果发现,前者保鲜效果明显优于后者。

目前,果蔬气调包装材料大多选用聚氯乙烯(polyvinyl chloride, PVC)、LDPE等,但还不能完全满足市场应用需求,所以较多科研工作者对已有保鲜用薄膜进行改性处理,以开发更多的适用包装材料。如李方等<sup>[36]</sup>采用微孔膜对菠菜进行气调保鲜包装,在贮藏过程中通过观察菠菜外观、测量其失重率、色差及叶绿素含量等发现,微孔膜作为气调包装材料有利于菠菜形态与品质的维持。张焯<sup>[37]</sup>采用硅窗袋对水芹菜进行了气调保鲜包装研究。实验中发现,在15℃的贮藏温度下,硅窗袋气调包装能有效抑制水芹菜的呼吸作用和水分蒸发作用,进而抑制其V<sub>c</sub>的降解,从而能使水芹菜保持优良的贮藏品质。因此,开发新型高透气性能的塑料包装膜是水果气调包装技术的关键环节。

水果腐烂的原因众多,其中由于果实自身呼吸作用产生水分,并凝结在包装薄膜上造成果实腐烂的现象较为常见。利用表面活性剂对薄膜内表面进行处理,或开发透湿性能更加优良的包装膜,防止水珠的凝结,不仅可以美化包装,更有利于延长水果的货架寿命。此外,还必须考虑包装膜的热成型性能、热封性能等。若在包装膜中添加一些具有抗菌作用的填料制成抗菌包装膜,则更利于获得良好的保鲜效果。这也是材料科研工作者今后的主要研究方向之一。

#### 4 存在的问题与发展前景

气调包装技术应用成功,主要取决于对产品呼吸作用的准确认识、贮藏条件的确定和包装薄膜渗透性能的选择。其中,产品的呼吸作用决定了其包装内部气体比例等气调参数,而包装薄膜的透气性、阻隔性则是维持这种最佳气体比例的必要条件。只有当这两者相互配合时,才能得到满意的保鲜效果。气调包装中,不同的果蔬品种,其呼吸强弱不一致,

因而其不同包装材料下最适的气体比例各不相同,因此需要通过大量的实验验证,以得出各类果蔬的最适气调包装条件。

水果保鲜不仅要求果实中营养物质的保有、不能腐败变质,也要求水分的保持。失重率过高会令被包装水果萎蔫,感官品质下降。国内外学者前阶段的研究主要集中在通过对气调比例的控制,抑制水果的呼吸作用,以实现水果的保鲜。但近年来的研究发现,水果气调包装中的湿度也对果实贮藏品质有着重要影响。气调包装工艺中,要抽出包装内原有气体,然后充入最佳比例的混合气体。这一过程会带出水果蒸发在包装中的水分,加之充入的混合气体一般是干燥的,因此气调过程会大大降低果实贮藏环境的湿度,不利于水果中水分的保持。因此,在建立呼吸模型时,应加入湿度的影响,在控制混合气体比例的同时考虑控制湿度,只有这样才能更准确地保证气调保鲜效果。

已有用于果蔬包装的材料尚不能完全满足市场需求,因此,材料科研工作者们应致力于新型环保、绿色包装新材料的研发。

气调包装以其安全无污染、低能耗、操作简单的特点,在果蔬保鲜中具有其他保鲜方式无法比拟的优势。未来可考虑开发新型的专用气调包装膜,与特定的果蔬搭配,完成气调保鲜包装,并建立合适的气调模型用于指导实际生产,使果蔬气调保鲜走出实验室,真正创造经济价值。

此外,可将气调保鲜与其他保鲜技术结合,以取得综合保鲜效果。可在包装之前对果蔬进行简单的预处理,如结合辐照保鲜技术,在包装前对水果进行辐照灭菌,或用臭氧、一氧化氮气体等处理,将收到更好的保鲜效果。同时,一些天然保鲜剂和生物技术的应用也为气调保鲜注入了新的活力。将气调保鲜与天然植物精油相结合就是一个新的研究方向,再结合冷藏贮存技术,可以有效延缓果实的后熟与衰老,延长果蔬的货架寿命。

#### 参考文献:

- [1] 陈庆华,王欣.气调包装(MAP)在果蔬保鲜方面的应用进展分析[J].黑龙江农业科学,2012(1):94-98.  
CHEN Qinghua, WANG Xin. Review and Analysis on the Application of Modified Atmosphere Packaging Technology in Fresh-Keeping of Fruits and Vegetables[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2012(1): 94-98.
- [2] 司振伟.浅谈果蔬气调包装保鲜技术[J].农业与技术,2014

- (6): 247.  
SI Zhenwei. Discussion on MAP Technology of Fruits and Vegetables[J]. Agriculture and Technology, 2014(6): 247.
- [3] 卢立新,陶 瑛.青豌豆呼吸速率的测定与模型表征[J].食品与生物科学报, 2006, 25(2): 33-36.  
LU Lixin, TAO Ying. Respiration Rate Measurement and Mathematical Modelling for Pea[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2006, 25(2): 33-36.
- [4] 李广生.面制食品的保质技术研究[J].包装学报, 2015, 7(2): 47-52 .  
LI Guangsheng. Study and Prospect of Technology of Preserving Flour Products[J]. Packaging Journal, 2015, 7(2): 47-52 .
- [5] 伍思良,陈于陇,徐玉娟,等.盒式气调包装下温度对薄膜透气性能的影响[J].包装学报, 2013, 5(3): 63-68.  
WU Siliang, CHEN Yulong, XU Yujuan, et al. Effect of Temperature on Gas Permeability of Films Under Cassette Modified Atmosphere Packaging[J]. Packaging Journal, 2013, 5(3): 63-68.
- [6] 李春媛,李志文,朱志强,等.箱式气调保鲜技术在果蔬贮藏中的应用研究进展[J].天津农业科学, 2013, 19(9): 48-52.  
LI Chunyuan, LI Zhiwen, ZHU Zhiqiang, et al. Application of Plastic Modified Atmosphere Box in the Storage of Fruits and Vegetables[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2013, 19(9): 48-52.
- [7] 孟宪军,姜爱丽,胡文忠,等.箱式气调贮藏对采后蓝莓生理生化变化的影响[J].食品工业科技, 2011, 32(9): 379-383.  
MENG Xianjun, JIANG Aili, HU Wenzhong, et al. Effects of Plastic Box Modified Atmosphere Storage on the Physiological and Biochemical Changes of Postharvest Blueberry Fruits[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(9): 379-383.
- [8] 朱 麟,凌建刚,康孟利,等.不同包装方式对免眼蓝莓保鲜效果的影响[J].食品与发酵工业, 2012, 38(3): 190-193.  
ZHU Lin, LING Jiangang, KANG Mengli, et al. Effect of Different Package Methods on Quality of Blueberries During Cold Storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 38(3): 190-193.
- [9] 姜爱丽,胡文忠,代 喆,等.箱式气调贮藏对鲜切富士苹果抗氧化系统的影响[J].食品与发酵工业,2011, 37(10): 187-191.  
JIANG Aili, HU Wenzhong, DAI Zhe, et al. Effects of Plastic Box Modified Atmosphere Storage on the Antioxidant System of Fresh-Cut Fuji Apple[J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(10): 187-191.
- [10] 王宝刚,侯玉茹,李文生,等.自动自发气调箱贮藏对甜樱桃品质及抗氧化酶的影响[J].农业机械学报,2013, 44(1): 137-141.  
WANG Baogang, HOU Yuru, LI Wensheng, et al. Effects of Auto-MA Box on Qualities and Antioxidative Enzymes in Sweet Cherry Fruit During Storage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(1): 137-141.
- [11] 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): 95-96.  
WANG Xiangyou, LI Xia, WANG Juan, et al. Advances of Respiration Rate in Modified Atmosphere Packaging for Fruits and Vegetables[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 95-96.
- [12] 段华伟.鲜果气调包装的理论与试验研究[D].无锡:江南大学, 2010.  
DUAN Huawei. Theoretical and Experimental Research on Modified Atmosphere Packaging for Fresh Fruits[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2010.
- [13] 朱 永.果蔬呼吸速率测定方法改进及气调包装设计方法研究[D].无锡:江南大学, 2012.  
ZHU Yong. Improvement on Measuring Method of Fruit and Vegetable Respiration Rate and Research on MAP[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.
- [14] ROCCULI P, NOBILE M A D, ROMANIS, et al. Use of a Simple Mathematical Model to Evaluate Dipping and MAP Effects on Aerobic Respiration of Minimally Processed Apples[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 76(3): 334-340.
- [15] NOBILE M A D, LICCIARDELLO F, SCROCCO C, et al. Design of Plastic Packages for Minimally Processed Fruits[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(1): 217-224.
- [16] HENIG Y S, GILBERT S G. Computer Analysis of the Variables Affecting Respiration and Quality of Produce Packaged in Polymeric Films[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(40): 1033-1035.
- [17] FISHMAN S, RODOV V, BEN-YEHOSHUA S. Mathematical Model for Perforation Effect on Oxygen and Water Vapour Dynamics in Modified Atmosphere Package [J]. Journal of Food Science, 1996, 61(5): 956-961.
- [18] MATHOOKO F M. Regulation of Respiratory Metabolism in Fruits and Vegetables by Carbon Dioxide[J]. Postharvest Biology and Technology, 1996, 9(3): 247-264.
- [19] JAIN N, DHAWAN K, MALHOTRA S P, et al. Compositional and Enzymatic Changes in Guava(*Psidium Guajava* L.) Fruits During Ripening[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2001, 23(3): 357-362.
- [20] KADER A A. Maturity, Ripening, and Quality Relationships of Fruit-Vegetables[J]. Acta Horticulturae, 1996, 434: 249-256.
- [21] MAKINO Y, IWAACKI K, HIRATA T. Oxygen Consumption Model for Fresh Produce on the Basis of Adsorption Theory[J]. Transactions of the Asae American

- Society of Agricultural Engineers, 1996, 39(39): 1067-1073.
- [22] 饶先军. 结球生菜冷链物流保鲜技术研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2011.
- RAO Xianjun. Study on the Cold Chain Logistics Preservation of Lettuce[D]. Fuzhou: University of Agriculture and Forestry in Fujian, 2011.
- [23] 高 铭, 纪淑娟, 程顺昌, 等. 不同浓度 CO<sub>2</sub> 对箱式气调贮藏树莓保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(12): 341-343, 446.
- GAO Ming, JI Shujuan, CHENG Shunchang, et al. Effect of CO<sub>2</sub> Concentration on Quality of Raspberry Stored in Gas Adjustment Box[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(12): 341-343, 446.
- [24] 王宝刚, 李文生, 侯玉茹, 等. 甜樱桃物流及气调箱贮藏期间的品质变化[J]. 果树学报, 2014, 31(5): 953-958.
- WANG Baogang, LI Wensheng, HOU Yuru, et al. Changes of Sweet Cherry Quality During Logistics and CA Box Storage [J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(5): 953-958.
- [25] BALLANTYNE A, STARK R, SELMAN J D. Modified Atmosphere Packaging of Shredded Lettuce[J]. International Journal of Food Science and Technology, 1988, 23: 267-274.
- [26] 郜海燕, 杨剑婷, 陈杭君, 等. 气调小包装对去壳茭白品质的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(12): 1990-1994.
- GAO Haiyan, YANG Jianting, CHEN Hangjun, et al. Studies on the Effect of Peeled Fewflower Wildrice Storage with Atmosphere-Controlled Small Package[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(12): 1990-1994.
- [27] 李新建. 高氧气调包装对鲜切果蔬生理影响研究进展[J]. 现代农业科技, 2008(21): 116-117.
- LI Xinjian. Research Progress on the Physiological Effects of High Oxygen MAP on Fresh-Cut Fruits and Vegetables [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2008 (21): 116-117.
- [28] 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]. International Journal of Food Microbiology, 2001, 71: 197-210.
- [29] 车 东. 鲜切果蔬产品气调包装工艺及质量评价[D]. 无锡: 江南大学, 2007.
- CHE Dong. Modified Atmosphere Packaging Technology and Quality Evaluation of Fresh-Cut Fruits and Vegetables [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007.
- [30] 杨福馨, 魏丽娟, 余蕾希, 等. 香樟果抗菌包装材料的开发与性能研究[J]. 包装学报, 2015, 7(2): 5-10.
- YANG Fuxin, WEI Lijuan, YU Leixi, et al. The Development and Properties of Camphor Fruit Antibacterial Packaging Material[J]. Packaging Journal, 2015, 7(2): 5-10.
- [31] 张纪娟, 王建华, 郭天雨. 羟乙基纤维素/壳聚糖涂膜液对蓝莓的保鲜效果研究[J]. 包装学报, 2015, 7(2): 38-42.
- ZHANG Jijuan, WANG Jianhua, GUO Tianyu. Effects of Hydroxyethyl Cellulose/Chitosan Blending Coating on Quality of Blueberries[J]. Packaging Journal, 2015, 7(2): 38-42.
- [32] 杨福馨, 陈基玉, 陆秀萍, 等. 生物调节保鲜膜对山药/大蒜组合的保鲜包装研究[J]. 包装学报, 2015, 7(1): 7-11.
- YANG Fuxin, CHEN Jiyu, LU Xiuping, et al. Fresh-Keeping Packaging Research on Biological Adjusting Cling Film for Yam/Garlic[J]. Packaging Journal, 2015, 7(1): 7-11.
- [33] 沈莲清, 黄光荣. 芦笋 MAP 气调保鲜研究[J]. 浙江农业学报, 2004, 16(1): 42-46.
- SHEN Lianqing, HUANG Guangrong. Study on Modified Atmosphere Packaging of Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) [J]. ACTA Agriculture Zhejiangensis, 2004, 16(1): 42-46.
- [34] SIMÓN A, GONZALEZ-FANDOS E. Influence of Modified Atmosphere Packaging and Storage Temperature on the Sensory and Microbiological Quality of Fresh Peeled White Asparagus[J]. Food Control, 2011, 22(3/4): 369-374.
- [35] 曹慧娟, 农绍庄, 张 平, 等. 不同包装方式及气调贮藏对绿芦笋保鲜效果的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(6): 860-863.
- CAO Huijuan, NONG Shaozhuang, ZHANG Ping, et al. Effects of Different Packing Modes and Modified Atmosphere Storage on Green Asparagus[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2007, 38(6): 860-863.
- [36] 李 方, 卢立新. 菠菜微孔膜气调保鲜包装的试验研究[J]. 包装工程, 2009, 30(8): 22-24, 37.
- LI Fang, LU Lixin. Experimental Research of Modified Atmosphere Packaging of Fresh Spinach with Microporous Membrane[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(8): 22-24, 37.
- [37] 张 焯. 水芹菜的硅窗袋保鲜研究[D]. 无锡: 江南大学, 2007.
- ZHANG Xuan. The Storage of Cress with Si-Rubber Bag [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007.

(责任编辑: 廖友媛)