

果蔬自发气调包装原理与应用

李家政

(国家农产品保鲜工程技术研究中心, 天津 300384)

摘要:系统地介绍了自发气调包装的概念、保鲜膜的性能与作用、保鲜袋内气体平衡规律,阐述了自发气调包装的设计方法,分析了自发气调保鲜的局限性,最后提出了自发气调保鲜应用中应注意的问题。

关键词:果蔬保鲜;自发气调包装;保鲜膜;透气性

中图分类号: TB485.2; TS206.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)15-0033-06

Principle and Application of Voluntary Modified Atmosphere Packaging for Fruit and Vegetable

LI Jia-zheng

(National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products, Tianjin 300384, China)

Abstract: Concept of voluntary modified atmosphere packaging, properties and functions of film for keeping fresh, and balance of gas inside the packaging bag were systematically introduced. Design of voluntary modified atmosphere packaging was presented and the limitation of voluntary modified atmosphere packaging was also analyzed. Cautions in practicing voluntary modified atmosphere packaging were put forward.

Key words: fresh-keeping for fruit and vegetable; voluntary modified atmosphere packaging; fresh-keeping film; gas permeability

作为果蔬保鲜的一种基本方法,自发气调包装在实践中得到了广泛的应用^[1-3]。自发气调保鲜的效果主要是通过保鲜袋内的特定气体环境来实现的。在果蔬自发气调包装实践中,人们往往对保鲜袋内的气体成分未能充分关注,对保鲜膜的选择有时也缺少理论依据而带有很大的盲目性,对自发气调保鲜中出现的问题有时不能合理分析、解决。要利用好自发气调保鲜技术,必须对自发气调包装的基本原理、保鲜膜的各种性能及其作用、保鲜袋内的气体体积分数变化规律征、自发气调包装的设计方法、自发气调保鲜的局限性及实际操作中应注意的问题等,都要有全面的了解。

1 果蔬的自发气调包装

1.1 采后果蔬的衰老过程

采后果蔬是活的生命体,仍然在进行代谢活动。

果蔬采后的代谢主要是呼吸、分解营养物质的过程,它们不断地吸收 O_2 , 分解、消耗体内的营养物质,同时产生 CO_2 。当营养物质不断消耗、减少时,果蔬的品质不断下降,对各种病害的抗性逐渐降低,导致最终的衰亡或腐败。果蔬的采后保鲜就是要采取各种有效手段,抑制其呼吸强度,减少营养物质的消耗,从而达到减缓衰老、延长果蔬保质期的目的。

抑制果蔬采后呼吸强度的主要方法是降低环境温度和降低环境中的氧含量。降低环境中氧含量的手段有 2 种——气调库贮藏和自发气调包装。

1.2 果蔬的自发气调包装原理

果蔬的自发气调包装离不开保鲜膜。采用保鲜膜包装后,果蔬的呼吸作用会消耗保鲜袋内的 O_2 , 使保鲜袋内的 O_2 体积分数逐渐下降; 同时, 产生的 CO_2 也会在保鲜袋内积累, 使保鲜袋内的 CO_2 体积分数逐渐上升。由于所用的保鲜膜具有一定的透气

收稿日期: 2011-06-05

作者简介: 李家政(1965—),男,安徽舒城人,博士,国家农产品保鲜工程技术研究中心副研究员,主要从事果蔬保鲜膜开发及自发气调保鲜理论与技术研究。

性,当保鲜袋内的 O_2 体积分数降低后,空气中的 O_2 会透过保鲜膜进入到保鲜袋内,同时,保鲜袋内积累的 CO_2 也会透过保鲜膜向外界扩散。在包装后经过一定的时间,保鲜袋内的 O_2 和 CO_2 体积分数将达到平衡,维持在低氧和含有一定 CO_2 的水平,见图 1^[4] (保鲜袋由厚度 $0.16\ \mu\text{m}$,由面积 $0.13\ \text{m}^2$ 的聚乙烯保鲜膜组成,内装 $0.85\ \text{kg}$ 苹果)。

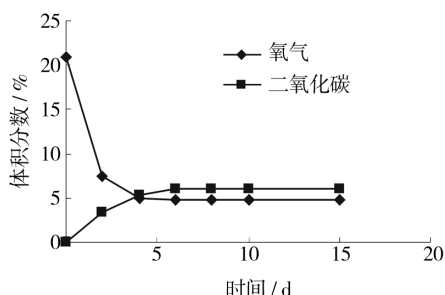


图 1 保鲜袋内 O_2 和 CO_2 体积分数的变化趋势

Fig. 1 Concentration of O_2 and CO_2 in packaging bag with time

低氧对果蔬的保鲜有利,但每种果蔬对 O_2 和 CO_2 体积分数的要求均有一定差异,这是由不同果蔬的生理特性决定的。每种果蔬都有其最佳 O_2 和 CO_2 体积分数范围,当 O_2 体积分数高于最佳值时,呼吸加快,对贮藏不利;而 O_2 体积分数低于最佳值时,会产生无氧呼吸,产生乙醇及一系列无氧呼吸产物,促使果蔬品质劣变。通过合理的自发气调包装设计,可以使包装袋内的气体体积分数达到或接近最佳气体体积分数的要求。

1.3 自发气调的作用

气调保鲜是通过低氧和一定的 CO_2 体积分数来实现的。如前所述,低氧可以抑制呼吸、减缓衰老,同时低氧也可以抑制部分微生物的生长。一定的 CO_2 体积分数可以使保鲜袋内保持微酸的环境,也可以抑制部分微生物生长。另外, CO_2 还具有护色、保绿的作用。不同果蔬对 CO_2 的敏感性差异很大,有的果蔬(如冬枣、鸭梨、甜椒等)对 CO_2 很敏感,稍高的体积分数就会引起 CO_2 伤害,造成果肉褐变、表面出现异常斑点等症^[5-6];有的果蔬能耐受很高的 CO_2 体积分数,樱桃、芦笋、大多数食用菌等能耐受 15% 以上的 CO_2 体积分数^[7-8]。

2 保鲜膜的透气性能

果蔬的自发气调保鲜离不开保鲜膜,对于特定的

果蔬,保鲜袋内的 O_2 和 CO_2 体积分数取决于保鲜膜的透气性能。要了解自发气调包装的原理,必须首先了解保鲜膜的透气性能。

2.1 保鲜膜的透气机理

现在所用的保鲜膜多为高分子材料。膜材料对气体都有一定的溶解性,如果存在体积分数差,溶解的气体还会在膜材料内部扩散,直至达到体积分数平衡。保鲜膜的透气作用正是建立在这种溶解、扩散的基础上。保鲜膜的透气机理是气体的吸附—溶解—扩散—解吸附,即某种气体首先在膜的一侧吸附在膜的表面,随后溶解进入膜内部,并从气体体积分数高的一侧向另一侧扩散,到达另一侧的表面时,从膜表面解析,从而进入膜的另一侧空间。气体在膜两侧的分压差是气体透过保鲜膜的驱动力。

不同保鲜膜的透气性能不同,这种差异取决于材料的性质,具体来说,取决于某种气体在特定膜材料内的溶解系数和扩散系数。

2.2 保鲜膜的透气系数与 CO_2/O_2 透气系数比

在特定条件下,膜材料的透气量公式为:

$$Q = qA(p_1 - p_2)t/L \quad (1)$$

式中: Q 为透气量(mL); q 为膜材料的透气系数($\text{mL}/(\text{m} \cdot \text{d} \cdot 10^5\ \text{Pa})$); A 为膜面积(m^2); p_1, p_2 为膜两侧某种气体的分压差($\times 10^5\ \text{Pa}$); t 为时间(d); L 为膜厚度(m)。

膜材料的透气系数 q 是反映膜材料透气性能的物理量,取决于膜材料的性质。对于同一种膜材料,不同气体的透气系数不一样,即膜对不同气体的渗透性有选择性。这种选择性可以用不同气体的透气系数比来反映。透气系数比也取决于膜材料的性质。可以知道,对于保鲜膜来说,膜的 CO_2/O_2 透气系数比是一个影响保鲜袋内气体指标的重要参数。

2.3 透气性测定

在选择保鲜膜时必须了解它的透气性能。保鲜膜的透气系数可以直接测定。在式(1)中,除透气系数 q 而外,其它的参数均为可测量,基于这个公式,采用特定的设备,就可以测定保鲜膜的透气系数。具体方法可参考相关文献^[9-10]。

2.4 常用保鲜膜及其透气系数

目前常用的果蔬保鲜膜有聚乙烯、聚氯乙烯、硅橡胶和聚丙烯薄膜,其中聚乙烯保鲜膜最为广泛。各种保鲜膜具有不同的透气性能。硅橡胶膜为高透气性薄膜,透气性为聚乙烯膜的 100 倍以上^[11]。由于

其强度差,硅橡胶膜都涂覆在府绸布或无纺布上,制成硅窗布。应用时将硅窗布裁剪成大小合适的方块,热合在其它保鲜膜上(如聚氯乙烯保鲜膜)。聚丙烯薄膜的透气性低于聚乙烯膜,应用在果蔬保鲜上时,常在膜上打孔,以增加透气性。其它包装膜如尼龙膜、聚二氯乙烯膜等属于高阻隔性薄膜^[12],不能用于鲜活果蔬的保鲜,常用于加工食品的包装上。

2.5 温度与保鲜膜透气性的关系

针对不同果蔬和应用场合,保鲜膜常在不同的温度条件下使用。温度对保鲜膜的透气性有很大的影响^[13],有必要了解温度对保鲜膜透气性的影响规律。

温度对保鲜膜透气性的影响符合 Arrhenius 定律,即:

$$q = q_0 e^{-E_p/(RT)} \quad (2)$$

式中: q 为 T 温度下的薄膜透气系数; q_0 为常数; E_p 为渗透活化能(J/mol); R 为气体常数; T 为热力学温度(K)。

测定几个不同温度下的保鲜膜的气体渗透系数,通过线性回归,可以得到渗透活化能 E_p 的值,进而可以计算出任意温度下保鲜膜的气体渗透系数^[14]。

3 保鲜袋内的气体平衡

3.1 平衡值的预测

保鲜袋内的 O_2 和 CO_2 体积分数是决定保鲜效果的重要指标,理论上可以预测这一指标。保鲜袋内的气体体积分数平衡时,果蔬的耗氧量等于透过保鲜膜进入保鲜袋内的 O_2 量,果蔬的 CO_2 释放量等于透过保鲜膜进入到环境中的 CO_2 数量,即:

$$R_{CO_2} \cdot m = q_{CO_2} SL C_{CO_2} \quad (3)$$

$$R_{O_2} \cdot m = q_{O_2} SL(0.21 - C_{O_2}) \quad (4)$$

式中: R_{O_2} , R_{CO_2} 分别为果蔬呼吸时的耗氧速率和 CO_2 释放速率(mL/(kg·d)); C_{CO_2} 和 C_{O_2} 分别为保鲜袋内 CO_2 和 O_2 的分压($\times 10^5$ Pa); q_{CO_2} , q_{O_2} 分别为保鲜膜的 CO_2 , O_2 渗透系数; m 为果蔬的质量(kg); S 为保鲜膜的面积(m^2);0.21 为空气中氧分压($\times 10^5$ Pa)。

根据上面的 2 个公式可以得到:

$$C_{CO_2} = R_{CO_2} m / (q_{CO_2} SL) \quad (5)$$

$$C_{O_2} = 0.21 - R_{O_2} m / (q_{O_2} SL) \quad (6)$$

通过上式可以预测保鲜袋内 CO_2 和 O_2 的平衡体积分数。

3.2 氧平衡值与 CO_2 平衡值的关系

果蔬呼吸产生的 CO_2 量和消耗的 O_2 量的比值称为呼吸商。多数情况下,果蔬呼吸商接近 1,即 $R_{CO_2} = R_{O_2}$ 。因而,由上式可以得到:

$$C_{O_2} = 0.21 - C_{CO_2} q_{CO_2} / q_{O_2} \quad (7)$$

q_{CO_2} / q_{O_2} 即保鲜膜的 CO_2 / O_2 透气系数比,是取决于膜材料的固定参数。大多数保鲜膜的 CO_2 / O_2 透气系数比在 4 : 1 ~ 6 : 1 之间。通过上式, CO_2 与 O_2 透气系数比为 5 : 1 时,可以预测气体平衡时保鲜袋内 O_2 和 CO_2 体积分数之间的关系见图 2。

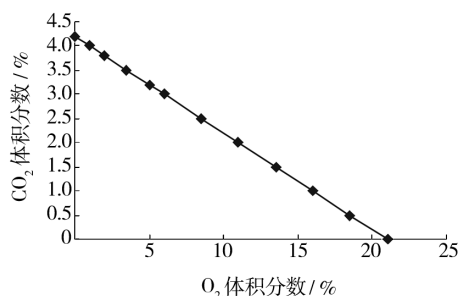


图 2 气体平衡后保鲜袋内 O_2 与 CO_2 体积分数之间的关系

Fig. 2 Relationship between concentration of O_2 and CO_2 in bags after gas balance

3.3 动态平衡过程

保鲜袋内的气体平衡需要一定的时间,气体平衡时间也可以预测。保鲜袋内的气体在平衡过程中,袋内 CO_2 量的变化等于果蔬呼吸产生的 CO_2 的量减去透过膜渗透出去的 CO_2 的量, O_2 量的变化等于透过膜进入袋内的 O_2 量减去果蔬呼吸消耗的 O_2 量,即:

$$VdC_{CO_2} = (mR_{CO_2} - q_{CO_2} SL C_{CO_2}) dt_{CO_2} \quad (8)$$

$$VdC_{O_2} = [q_{O_2} SL(0.21 - C_{O_2}) - mR_{O_2}] dt_{O_2} \quad (9)$$

式中: V 为保鲜袋内的自由体积(mL); t 为时间(d);其它符号同前。

将上式积分,得到保鲜袋内气体体积分数对时间的关系式:

$$t_{CO_2} = -V \ln(mR_{CO_2} - q_{CO_2} SL C_{CO_2}) / q_{CO_2} S + K_1 \quad (10)$$

$$t_{O_2} = -V \ln[q_{O_2} SL(0.21 - C_{O_2}) - mR_{O_2}] / q_{O_2} \cdot S + K_2 \quad (11)$$

上式中,保鲜袋内的自由体积 V 可以估算, K_1 , K_2 为积分常数,其它参数均为可测定值。通过此式可以预测保鲜袋内的气体平衡的时间(初始条件 $t_{CO_2,0} = 0, C_{CO_2,0} = 0; t_{O_2,0} = 0, C_{O_2,0} = 0.21$)^[15]。

4 自发气调包装设计

自发气调包装设计是指对给定的果蔬,确定合理的包装量、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,以达到最佳的自发气调保鲜效果。自发气调包装设计通常包括以下过程。

4.1 包装量的确定

包装量是根据实际应用的需要确定的,如果包装量太大,搬运不方便,袋内果蔬挤压严重;如果包装量太小,搬运麻烦,同时耗费较多的外包装材料(纸箱、塑料筐等)。对于零售包装,包装量一般在 0.5~2 kg,易受挤压损伤的果蔬(葡萄类浆果等),贮藏时包装量一般在 5 kg 左右,不怕挤压的果蔬(冬枣、鸭梨等)大多为 10~15 kg,大宗果蔬(蒜薹等)常为 20~25 kg。

4.2 保鲜膜面积

包装量确定后,保鲜膜面积(保鲜袋的大小)就基本确定下来了。保鲜袋的大小以能轻松容纳定量的果蔬为准,但必要时可以适当放大面积以增加保鲜袋的透气效果。

4.3 膜材料的选择

目前最常用的保鲜膜是聚乙烯膜。聚氯乙烯膜的 CO_2/O_2 透气系数比略高于聚乙烯膜,透湿性远高于聚乙烯膜,因此,在包装对 CO_2 敏感的果蔬(富士苹果、甜椒等)时,可选用聚氯乙烯保鲜膜,如对于高呼吸强度的果蔬(蒜薹等),聚乙烯、聚氯乙烯保鲜膜的透气性偏小,可以采用硅窗袋以增加透气效果。

4.4 厚度的确定

在包装量、保鲜膜面积和膜材料都确定后,最后需要确定保鲜膜的厚度。确定保鲜膜厚度的原则是保鲜袋内的气体体积分数应该等于或接近果蔬的最佳气体要求。根据式(3)和(4),可以得到保鲜膜厚度的计算公式:

$$L = R_{\text{O}_2} m / [q_{\text{O}_2} S(0.21 - C_{\text{O}_2})] \quad (12)$$

或:

$$L = R_{\text{CO}_2} m / (q_{\text{CO}_2} S C_{\text{CO}_2}) \quad (13)$$

式(12)为根据 O_2 的最佳体积分数得到的保鲜膜的厚度,式(13)为根据 CO_2 的最佳体积分数得到的保鲜膜的厚度。实际应用中,根据以上两式得到的膜厚度并不相等。由于自发气调保鲜中 O_2 体积分数为

主要因素,故以式(12)为准。

4.5 设计的优化

按照以上步骤就完成了果蔬自发气调保鲜的初步设计,但有时候设计的结果在应用中难以实施(如保鲜膜太厚或太薄),此时,需要对设计进行优化。

如果设计的结果是保鲜膜厚度太薄(对高呼吸强度的果蔬容易出现),需要适当增加膜面积、减小包装量,或采用硅窗膜的方法;如果厚度太厚(低呼吸强度的果蔬),可以适当减小膜面积、扩大包装量,但这种情况在实际中不多见。

4.6 影响自发气调包装效果的因素

理论上,通过以上设计可以使保鲜袋内的气体成分(主要为 O_2)达到或接近果蔬的最佳指标,但是,最后的结果有时与预测的气体成分会有较大的偏离,主要有以下原因。

1) 环境温度波动。果蔬在贮藏过程中,环境的温度有时会发生变化,运输过程中,环境的温度变化更大。温度的变化影响果蔬的呼吸强度和保鲜膜的透气性能,进而影响保鲜袋内的气体成分。

2) 果蔬呼吸特性的变化。同一种果蔬在不同栽培条件(水、肥、植物激素的使用量、气候等因素)和环境条件(温度、气体)下,其呼吸特性(呼吸强度、呼吸商)会有差异,从而影响保鲜袋内气体成分。

3) 果蔬个体特性的影响。果蔬的不同成熟度、病虫害、机械伤等都会影响其呼吸特性,进而影响保鲜袋内气体成分。

由于影响保鲜袋内气体成分的因素很多,在进行气调保鲜实验时,必需在包装设计理论的指导下,以多种不同的包装方式来筛选、确定最佳的包装方法。

5 保鲜膜的作用

除了自发气调作用外,保鲜膜还有其它作用。在实际应用中,这些作用有时占主导地位。

1) 保湿。保鲜膜的另一个主要功能是保湿。果蔬采后易失水、萎蔫,采用保鲜膜保湿是必需的措施。现在保鲜膜的应用很普遍,多数情况是利用它的保湿功能。

2) 减少流通损失。有的果蔬在采后流通、零售过程中损失很大,很多是人为造成的,如挑选带来的损伤(豆芽、金针菇等)、表面褐变(鸭梨等)。采用保鲜膜包装可以减少流通损失。

3) 方便零售。鲜切果蔬均经过切分、清洗、消毒等处理,可以直接食用。零售前必须经过包装,以便销售。

6 保鲜膜的其它性能

保鲜膜的透气性是它的主要性能,在实际应用中,还有很多性能影响它的使用效果。

6.1 透湿性与防雾性

保鲜膜透湿性的大小影响到袋内的相对湿度。湿度过低,果蔬易失水、萎蔫;湿度过高,微生物容易生长,因此,膜的透湿性是值得注意的重要性能。常用的聚乙烯保鲜膜的透湿性约为 $4 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ($20 \mu\text{m}$ 厚, 20°C),对于大多数果蔬来说,此透湿性偏小。PVC 保鲜膜的透湿性高于 PE 膜,达到 $35 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ($20 \mu\text{m}$ 厚, 20°C),对保持袋内的湿度较为有利^[16]。

保鲜袋在使用时内壁容易产生水雾,影响膜的透明度,也容易在保鲜袋内产生积水,助长微生物的生长。PVC 保鲜膜的防雾性优于 PE 膜,但通过技术处理,可生产防雾 PE 膜,使用时不会结露。

6.2 透明度

PVC 和 PP 膜的透明度很高。不同 PE 膜的透明度有差异,这取决于所用的聚乙烯原料的种类。选用合适的配方可以生产高透明度的 PE 膜。

6.3 封合性能

保鲜膜在使用时是做成袋子的,这需要对保鲜膜进行封合。PE 膜容易热封合,但 PVC 膜热封合困难,一般采用高频加热的方式。CPP 膜(未拉伸聚丙烯)容易热封合,但 OPP 膜(拉伸聚丙烯)热封合困难,一般采用与聚乙烯复合的方式解决封合性问题。

6.4 开口性能

大多数聚乙烯保鲜膜容易开口,但有的聚乙烯原料吹成的膜不易开口,吹膜时可以通过添加助剂(开口剂、爽滑剂等)解决。PVC 膜开口很困难,给实际应用带来很大的不便,目前还没有解决的办法。

6.5 挺度

零售包装的果蔬常需要包装膜具有高的挺度,PVC 和 PE 膜的挺度较差,PP 膜挺度高,在零售包装中用得较多。

6.6 印刷性能

国外的保鲜膜上大都印有产品信息(牌号、批号、规格、应用范围和条件等),但国内的保鲜膜基本上都

没这些信息。如果需要印刷产品信息,必须考虑保鲜膜的印刷性能。但大多数保鲜膜是不能在上面直接印刷的,需要进行放电处理。

7 现有保鲜膜的局限性

保鲜膜具有很多作用,但也存在很多不足。有些不足可以采取适当技术处理得到弥补,有些不足之处需要不断研究、改进。

7.1 包装后难以立即发挥气调作用

由图 1 可以看出,包装袋内的 O_2 和 CO_2 体积分数需要一定时间才能达到平衡。平衡前的这段时间,保鲜袋内的气体成分并不是果蔬适宜的气体环境,因而,难以发挥气调保鲜效果。

为了弥补这一不足,可以采用主动气调包装的方法^[17],即在包装前向保鲜袋内充入符合果蔬气调保鲜条件的 O_2 、 CO_2 和 N_2 等混合气体,包装后,可以立即发挥气调保鲜的作用。相对于主动气调包装,将不向保鲜袋内充气的气调保鲜包装称为被动气调包装。

7.2 对 O_2 和 CO_2 难以同时达到最佳指标要求

在果蔬自发气调保鲜设计时,按照果蔬对 O_2 和 CO_2 体积分数的要求计算的保鲜膜的厚度在多数情况下是不一样的,这就说明自发气调保鲜很难同时实现果蔬对 O_2 和 CO_2 体积分数的最佳要求。由公式 $C_{\text{O}_2} = 0.21 - C_{\text{CO}_2} q_{\text{CO}_2}/q_{\text{O}_2}$ 可以看出,在 O_2 体积分数确定的情况下, CO_2 体积分数也随之确定,难以改变,主要原因是保鲜膜的 CO_2/O_2 透气系数比 $q_{\text{CO}_2}/q_{\text{O}_2}$ 是确定的,因此,保鲜袋内 O_2 和 CO_2 难以同时达到最佳指标要求,主要原因是由保鲜膜材料性质决定的。要使保鲜袋内 O_2 和 CO_2 同时达到最佳指标要求,必需开发具有不同 CO_2/O_2 透气系数比的新的保鲜膜材料。

7.3 对耐 CO_2 和 CO_2 敏感果蔬不能达到良好效果

有些果蔬(鸭梨、冬枣等)对 CO_2 极为敏感,1% 的 CO_2 就会造成果肉褐变、腐烂等现象。对于这些果蔬要求保鲜膜具有很高的 CO_2/O_2 透气系数比。有些果蔬(芦笋、樱桃、杨梅、多数食用菌等)能耐受很高的 CO_2 (15% 以上),对于这些果蔬要求保鲜膜具有较低的 CO_2/O_2 透气系数比。普通保鲜膜对这 2 类果蔬均不能达到这些要求。

7.4 对气调不敏感的果蔬效果不明显

目前保鲜膜真正用来实现气调效果的情况并不

多,自发气调最有效的是蒜薹,富士苹果的效果也较明显。绝大多数情况下,使用保鲜膜是为了保湿及其他作用,主要原因是绝大多数果蔬(如鸭梨、柑橘)的气调作用不太明显。

8 自发气调保鲜应用中应注意的问题

在果蔬的自发气调保鲜应用中,应注意的关键问题是要保持保鲜袋内气体成分的稳定,而稳定气体成分的关键是尽量保持果蔬呼吸强度的稳定。应注意的问题主要有:(1)施用拉长剂、膨大剂等植物激素过多的果蔬呼吸强度高,不宜选用;(2)含水量高的果蔬呼吸强度高,果蔬采前不宜浇水,选择上午果蔬不带露水或傍晚时采收;(3)有病虫害或机械损伤的果蔬呼吸强度高,包装前应挑选;(4)成熟度不一致的果蔬呼吸强度有差异,包装前应挑选;(5)库内温度变化直接影响果蔬呼吸强度,应尽量保持库温的恒定;(6)应经常检测保鲜袋内气体成分和包装果蔬的品质变化,一旦出现异常应及时寻找原因,并做好出库准备。

参考文献:

- [1] 卢立新. 果蔬气调包装理论研究进展[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 175—180.
- [2] KADER A A, ZAGORY D, KERBAL E L. Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1989, 28(1): 1—30.
- [3] KADER A A, CHRISTOPHER B W. Modified Atmosphere Packaging-toward 2000 and Beyond [J]. Hort Technology, 2000, 10(3): 483—486.
- [4] EVELO R G, BOERRIGTER H A M. Integral Approach for Optimizing Modified Atmosphere Packages for El-

star Apples: A Combination of Product and Packaging Constrains[J]. Packaging Technology and Science, 1994, 7: 195—204.

- [5] 康明丽, 张平, 马岩松, 等. 气体成分对冬枣细胞膜及贮藏品质的影响[J]. 果树学报, 2003, 20(2): 112—115.
- [6] 陈昆松, 于樑, 周山涛. 鸭梨果实气调贮藏过程 CO_2 伤害机理初探[J]. 中国农业科学, 1991, 24(5): 83—88.
- [7] 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.
- [8] NICHOLS R, HAMMOND J. Storage of Mushrooms in Pre-packs: the Effects of Changes in Carbon Dioxide and Oxygen on Quality [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1973, 24(11): 1371—1381.
- [9] 李家政, 毕大鹏, 李江阔. 一种保鲜膜透气性测定装置: 中国, ZL200920221974. 7[P]. 2009—11—06.
- [10] GB/T 1038—2000, 塑料薄膜和薄片气体透过性试验方法(压差法)[S].
- [11] 袁光谱, 李彩云, 谢征校, 等. 涂膜工艺与硅橡胶气调窗膜性能关系的研究[J]. 合成橡胶工业, 1989, 12(2): 81—84.
- [12] 杨水彬, 傅和青, 邹桂梅. 高阻隔性塑料包装膜及其应用[J]. 包装工程, 2005, 26(1): 54—56.
- [13] 庞然, 汪仁煌, 龚雄文, 等. 薄膜材料透气量系数拟合的研究与实现[J]. 广东工业大学学报, 2007, 24(2): 47—49.
- [14] 李家政, 毕大鹏, 李杨. 温度对保鲜膜透气和透湿性能的影响[J]. 包装工程, 2010, 31(10): 8—10.
- [15] 李家政, 张平. 影响果蔬自发气调贮藏效果的若干因素分析[J]. 保鲜与加工, 2007, 7(5): 32—35.
- [16] 李家政. 果蔬保鲜膜及其应用技术[M]. 天津: 天津科技翻译出版公司, 2010.
- [17] 徐文达. 新鲜果蔬气调保鲜包装[J]. 食品工业, 1999(3): 35—37.

(上接第 13 页)

- [7] 徐根娣, 李方, 张淑娜, 等. 天然保鲜剂壳聚糖对白桃的保鲜效果[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(3): 135—138.
- [8] 吴俊明. 食品化学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [9] 刘程惠, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 不同贮藏温度下鲜切马铃薯的生理生化变化[J]. 食品与机械, 2008, 24(2): 38—42.
- [10] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

- [11] OMS-OLIU G, SOLIVA-FORTUNY R, MARTIN-BELLOSO O. Modeling Changes of Headspace Gas Concentrations to Describe the Respiration of Fresh-cut Melon under Low or Super-atmospheric Oxygen Atmospheres [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 85: 401—409.
- [12] 李春秀, 齐力旺, 王建华, 等. 植物纤维素合成酶基因和纤维素的生物合成[J]. 生物技术通报, 2005(4): 5—11.