

# 果蔬自发气调包装薄膜透气性能的研究与应用

曹 菲

(天津职业大学, 天津 300402)

**摘 要:** 对不同温度条件下塑料包装薄膜的透氧性能和透二氧化碳性能进行了测定, 找出了温度对薄膜材料透气性能影响的基本规律, 建立了两者的数学关系模型; 并确定了不同温度下塑料薄膜透气系数比  $\beta$  的值, 为果蔬自发气调包装设计科学选择包装材料提供了理论依据。

**关键词:** 果蔬; 自发气调包装; 薄膜; 透气性能

**中图分类号:** TB484.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2009)04-0099-03

## Studies and Applications of MAP Films Permeability for Fruits and Vegetables

Cao Fei

(Tianjin Professional College, Tianjin 300402, China)

**Abstract:** Measures oxygen and carbon dioxide permeability of plastic packaging films under different temperatures. Identifies the basic law of temperature's effect on thin films permeability, and establishes the mathematical model between the two. Determines the ratio of permeability coefficient  $\beta$  under different temperatures and provides theoretical basis for selections of packaging materials in fruits and vegetables MAP design.

**Keywords:** fruit and vegetable; modified atmosphere packaging; film; gas permeability

自发气调包装技术是利用果蔬自身的呼吸作用和塑料薄膜选择性渗透气体的特性, 将果蔬密封在具有一定程度的气体透过性的塑料薄膜中。果蔬由于呼吸作用吸收氧气、放出二氧化碳, 当包装内  $O_2$  的消耗速度等于其渗入速度, 而  $CO_2$  的产生速度等于其渗出速度时, 包装内可能达到一个低  $O_2$  高  $CO_2$  气调平衡浓度 (equilibrium modified atmosphere, EMA)<sup>[1]</sup>; 如果包装内的气体平衡浓度使果蔬仅产生微弱的需氧活动而没有厌氧呼吸, 此时果蔬置于最佳气调环境中, 从而延缓果蔬的成熟衰老过程而得到保鲜。

适宜的薄膜透气率有利于在包装袋内形成最佳的气体浓度环境, 从而延长果蔬的包装有效期。果蔬在贮运和销售过程中一直会受到环境温度变化的影响, 而塑料薄膜在不同温度下表现出不同的气体渗透率, 因此在选择包装薄膜时必须考虑贮藏温度<sup>[2]</sup>。研究温

度对包装材料透气性能的影响对保证包装果蔬的质量有重要意义, 通过确定不同温度下塑料薄膜透气系数比  $\beta$  的值, 可以为气调包装设计中科学地选择包装材料提供理论依据。

## 1 实验部分

### 1.1 实验材料

实验所采用的薄膜有 LDPE1 塑料薄膜 (河北雄县塑料厂); LDPE2 塑料密实袋 (中山兴农日用品有限公司); HDPE 塑料薄膜 (河北雄县塑料厂); PP 塑料薄膜 (河北雄县塑料厂); CPP/OPP 复合塑料薄膜 (河北雄县塑料厂)。

### 1.2 实验仪器

实验厚度测定仪器为 QUJ 型漆膜测厚仪, 天津市精科材料试验机厂; 恒温透气仪器采用 GDP-C 型, 德

收稿日期: 2009-05-19

作者简介: 曹 菲 (1980-), 女, 内蒙古包头人, 天津职业大学教师, 硕士, 主要研究方向为包装材料与包装技术,

E-mail: caofei1980@126.com

国 Bruggar 公司生产。

### 1.3 实验方法

1) 厚度测定 根据 GB6672-86 塑料薄膜和薄片厚度的测定方法测定; 每种薄膜材料重复 3 个试样, 最后结果取平均值。

2) 透气性能测定 根据 ASTM-D1434 标准进行测定; 本试验采用德国进口的透气仪, 其原理是: 在一定温度下, 在材料两侧保持一定的气体压差, 气体先是沉附在薄膜的表层, 通过薄膜的间隙透过进入内膜并溶解, 继而在浓度梯度推动下向内膜移动, 再从膜的另一侧表面透出离开薄膜, 下腔体的传感器测得低压侧的气体压力变化, 从而得出薄膜透气率  $Q^{[3]}$ 。每种薄膜材料重复 3 个试样, 最后结果取平均值。透氧率测试绝对温度条件分别为 296 K、301 K、306 K、311 K; 透二氧化碳率测试绝对温度条件分别为 296 K、299 K、301 K、303 K。

## 2 结果与讨论

### 2.1 塑料薄膜厚度的测定

本实验测定了 5 种不同品种和不同厚度的塑料薄膜, 薄膜种类及其厚度  $\delta$  值见表 1。

表 1 不同种类塑料薄膜厚度测定值

Table 1 The plastic films category and the determined thickness

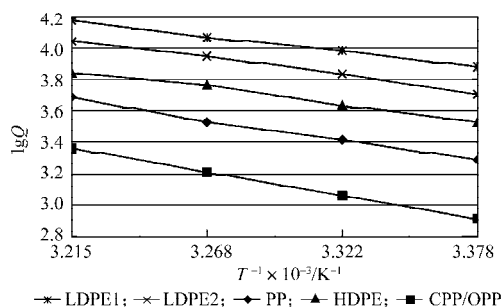
薄膜种类	LDPE1	LDPE2	HDPE	PP	CPP/OPP
厚度 $\delta/\mu\text{m}$	28.7	39.9	34.7	49.6	52.8

塑料薄膜的厚度直接影响其透气性能, 一般来讲, 塑料薄膜越薄透气性能越好。本次实验所选薄膜厚度都比较均匀, 所用塑料薄膜厚度范围为 28.7~52.8  $\mu\text{m}$ 。

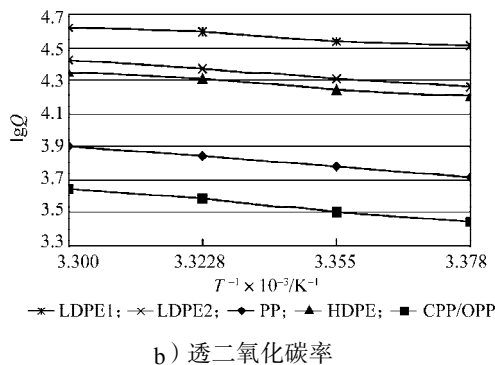
### 2.2 塑料薄膜透气性能的测定结果与分析

根据实验测定结果, 可得到不同温度下各种材料透氧率、透二氧化碳率的对数值 ( $\lg Q$ ) 与绝对温度的倒数 ( $1/T$ ) 之间的关系如图 1 所示。

据图 1 可知, 薄膜材料透气率的对数值与绝对温度倒数间呈线性关系, 可用 Arrhenius 经验公式反映<sup>[4]</sup>。用计算机程序进行回归分析, 分别可求出回归方程式中回归常数  $a$ 、回归系数  $b$ 、相关系数  $r^2$ 。薄膜材料透气率对数值  $\lg Q$  与  $1/T$  之间的函数关系式如表 2 所示。



a) 透氧率



b) 透二氧化碳率

图 1 各种材料透气率的对数值与绝对温度倒数之间的关系

Fig. 1 The relationship between the logarithm of gas permeability and the reciprocal of absolute temperature for different materials

表 2 各种材料透气率的对数值与绝对温度倒数之间的函数关系式

Table 2 The function expressions between the logarithm of gas permeability and the reciprocal of absolute temperature for different materials

薄膜种类	$\lg Q_{O_2}$ 与 $1/T$		$\lg Q_{CO_2}$ 与 $1/T$	
	函数式	相关系数	函数式	相关系数
LDPE1	$\lg Q_{O_2} = 9.89 - 1779/T$	0.999	$\lg Q_{CO_2} = 9.39 - 1445/T$	0.994
LDPE2	$\lg Q_{O_2} = 10.65 - 2053/T$	0.998	$\lg Q_{CO_2} = 11.17 - 2043/T$	0.998
HDPE	$\lg Q_{O_2} = 10.20 - 1775/T$	0.995	$\lg Q_{CO_2} = 10.71 - 1929/T$	0.999
PP	$\lg Q_{O_2} = 11.39 - 2396/T$	0.998	$\lg Q_{CO_2} = 11.65 - 2348/T$	0.998
CPP/OPP	$\lg Q_{O_2} = 12.23 - 2758/T$	1.000	$\lg Q_{CO_2} = 12.13 - 2572/T$	1.000

最后, 利用相关系数检验法对上述线性回归的显著性进行检验, 认为所有回归效果是显著的。

### 2.3 不同温度条件下塑料薄膜透气性能预测

可用表 2 中高度线性的回归方程式来预测不同温度条件下各种塑料薄膜的透气率和透气系数, 并求出相应的置信区间。

如, 预测 10  $^{\circ}\text{C}$  条件下 LDPE1 薄膜的透氧率和透氧系数。

已知: LDPE1 薄膜  $\lg Q_{O_2} = 9.89 - 1779/T$ ,  $T = 283 \text{ K}$ ,  $\delta = 28.7 \mu\text{m}$ , 则  $\lg Q_{O_2} = 9.89 - 1779 \times 1/283 = 3.60$ ,

$Q_{O_2} = 10^{3.60} = 4016 (\text{mL}/\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar})$ 。

根据包装材料的渗透系数计算公式<sup>[5]</sup>

$$P_{O_2} = Q_{O_2} \times \delta, \quad (1)$$

计算出该塑料薄膜的透氧系数

$$P_{O_2} = 4016 \times 28.7 = 115256 (\text{mL} \cdot \mu\text{m}/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar}))。$$

### 2.4 塑料薄膜透气系数比 $\beta$ 值的确定及应用

蔬菜气调包装内  $\text{CO}_2$  和  $\text{O}_2$  浓度的相对比例取决于塑料薄膜  $\text{CO}_2$  和  $\text{O}_2$  的透气系数之比 ( $\beta = P_{\text{CO}_2}/P_{\text{O}_2}$ ), 因此, 通常用薄膜透气比  $\beta$  表示塑料薄膜的透气性能<sup>[5]</sup>。利用表 2 中的回归方程和式 (1), 可进一步计算出不同温度下各种薄膜包装材料的  $\beta$  值。

因为薄膜包装袋内有如下气体交换方程<sup>[5-6]</sup>:

$$\frac{d[O_2]_i}{dt} = -\frac{R_{O_2}W}{V} + \frac{P_{O_2}A([O_2]_o - [O_2]_i)}{\delta V} p, \quad (2)$$

$$\frac{d[CO_2]_i}{dt} = \frac{R_{CO_2}W}{V} - \frac{P_{CO_2}A([CO_2]_i - [CO_2]_o)}{\delta V} p, \quad (3)$$

式中:  $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$  为蔬菜呼吸速度, 单位为  $mL/(kg \cdot h)$ ;

$W$  为蔬菜重量, 单位为  $kg$ ;

$\delta$  为薄膜厚度, 单位为  $\mu m$ ;

$P_{O_2}$ 、 $P_{CO_2}$  为薄膜对  $O_2$  和  $CO_2$  的透气系数, 单位为  $mL \cdot \mu m/(m^2 \cdot h \cdot bar)$ ;

$A$  为薄膜表面积, 单位为  $m^2$ ;

$V$  为薄膜包装的自由体积, 单位为  $mL$ ;

$p$  为薄膜包装袋内压力, 单位为大气压;

$[O_2]_i$ 、 $[CO_2]_i$  为包装袋内  $O_2$ 、 $CO_2$  的质量分数;

$[O_2]_o$ 、 $[CO_2]_o$  为外界环境中  $O_2$  质量分数 (21%)

和  $CO_2$  质量分数 (0)。

所以当包装袋内的气体浓度达到平衡时, 上述非稳态模型方程简化为下式的稳态模型方程:

$$WR_{O_2} = \frac{AP_{O_2}}{\delta} ([O_2]_o - [O_2]_i) p, \quad (4)$$

$$WR_{CO_2} = \frac{AP_{CO_2}}{\delta} ([CO_2]_i - [CO_2]_o) p. \quad (5)$$

将式 (5) 除以式 (4) 可得:

$$\frac{R_{CO_2}}{R_{O_2}} = \frac{P_{CO_2}}{P_{O_2}} \frac{[CO_2]_i}{21 - [O_2]_i}, \quad (6)$$

呼吸商  $RQ$  表示蔬菜呼吸产生的  $CO_2$  和吸收的  $O_2$  的容积比 (或者克分子数比), 当薄膜包装袋内的气体交换达到动态平衡时, 令  $RQ=1$ , 式 (6) 可写成:

$$[CO_2]_i = \frac{1}{\beta} (21 - [O_2]_i), \quad (7)$$

令  $Y=[CO_2]_i$ ,  $X=[O_2]_i$ , 式 (7) 可写成:

$$Y = \frac{1}{\beta} (21 - X), \quad (8)$$

式 (8) 确定的直线表示包装袋内由  $\beta$  值构成的  $CO_2$ 、 $O_2$  可能存在的浓度组合。当不同的薄膜其  $\beta$  值构成的斜线与某果蔬在该温度条件下要求的适宜气体浓度区间相交时, 可以初步判断该薄膜适合该果蔬的气调包装; 然后利用稳态方程式 (4) 和式 (5) 计算  $P_{CO_2}$ 、 $P_{O_2}$  的值<sup>[7-8]</sup>, 就能选定所需要的薄膜。

### 3 结语

1) 本实验通过测定 4 种温度下 5 种薄膜材料的透氧率和透二氧化碳率, 发现气体透过率的对数值与绝对温度倒数之间具有很高的线性相关性; 因而可用 Arrhenius 式来反映薄膜气体透过率与温度的关系, 且

可用该式来预测其他温度条件下的薄膜透气率值。

2) 温度变化对塑料薄膜的透二氧化碳率影响要大于透氧率影响, 但温度对于各种薄膜材料的透气率影响较为接近, 透气系数比  $\beta$  值变化很小。在蔬菜气调包装设计中, 如果已知蔬菜适宜的气调环境条件, 可用透气系数比  $\beta$  作为初步选择薄膜包装材料的依据, 减少实验次数, 节约成本。

### 参考文献:

- [1] 徐文达. 新鲜果蔬气调保鲜包装[J]. 食品工业, 1999(3): 35-37.  
Xu Wenda. Modified Atmosphere Packaging for Fruits and Vegetables[J]. The Food Industry, 1999(3): 35-37.
- [2] 及 华, 关军峰, 冯云霄, 等. MAP在果蔬贮藏保鲜中的应用效果及其作用[J]. 保鲜与加工, 2005(1): 7-10.  
Ji Hua, Guan Junfeng, Feng Yunxiao, et al. Application Effects and Function Mechanisms of MAP in Fresh-Keeping and Storage of Fruit and Vegetable[J]. Storage and Process, 2005(1): 7-10.
- [3] 苏 远. 塑料薄膜透气性能的测试[J]. 中国包装工业, 2003(2): 44-45.  
Su Yuan. Functional Test for the Gas Permeability of Plastic Films[J]. China Packaging Industry, 2003(2): 44-45.
- [4] 王京海. 温度对食品包装薄膜材料透湿性能的影响[J]. 食品科学, 1998, 19(4): 57-59.  
Wang Jinghai. Effects of Temperature on Moisture Permeability of Food Packaging Films[J]. Food Science, 1998, 19(4): 57-59.
- [5] 徐文达. 食品软包装材料与技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.  
Xu Wenda. Flexible Packaging Materials & Technologies for Food[M]. Beijing: China Machine Press, 2003.
- [6] 盛 娜, 刘 晔. 果蔬气调包装(MAP)数学模型研究现状[J]. 包装工程, 2009, 30(1): 30-33.  
Sheng Na, Liu Ye. Current Status of Research on Mathematical Models of Fruits and Vegetables Modified Atmosphere Packaging [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(1): 30-33.
- [7] Svetlana Fishman, Rodov V, Peretz J, et al. Model for Gas exchange Dynamics in Modified Atmosphere Packages of Fruits and Vegetables[J]. J.of Food sci., 1995, 60(5): 1078-1083.
- [8] 雷 桥, 徐文达. 青花菜气调包装材料的选择[J]. 食品与机械, 2007, 23(3): 98-101.  
Lei Qiao, Xu Wenda. Material Selection of Modified Atmosphere Packaging for Broccoli[J]. Food & Machinery, 2007, 23(3): 98-101.

(责任编辑: 李玉珍)