

# 小青菜在不同相对湿度条件下的失水性研究

谭万利,陶乐仁\*,李娟,董小亮,王永红  
(上海理工大学医疗器械与食品学院,上海 200093)

**摘要:**为探讨相对湿度对果蔬失水的影响,利用恒温恒湿箱,在不同相对湿度下对小青菜进行了定量的失水性实验研究。通过对小青菜比表面积的测量,表明质量在18~28g之间的小青菜的比表面积可以看作一个定值,约为 $2.07\text{m}^2/\text{kg}$ 。同时,在40%、80%与99.9%相对湿度下比较了小青菜的相对失水率、失水率,结果表明:小青菜的失水率在某一时段内均有一个增大的过程,但出现时间有所差异;40%与80%之间的相对失水率差异不如80%与99.9%之间的差异明显,表明提高相对湿度能明显改善小青菜的耐藏性。此外,还对小青菜外层叶片的失水性进行了研究,结果表明:在贮藏前期,增大小青菜暴露率会加剧其水分损失。

**关键词:**小青菜,比表面积,相对湿度,失水率,相对失水率

## Study on water loss of green cabbage under different relative humidity

TAN Wan-li, TAO Le-ren\*, LI Juan, DONG Xiao-liang, WANG Yong-hong

(School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** Constant temperature and relative humidity equipment were used in order to explore the influence of relative humidity on water loss of green cabbage during storage. The specific surface area of green cabbage weight between 18g and 28g could be seen as a fixed value, about  $2.07\text{m}^2/\text{kg}$ . Meanwhile, compared water loss rate and relative rate of water loss of green cabbage under 40%, 80% and 99.9% relative humidity, results showed that water loss rate of green cabbage had an accretion process during storage, which present at different time. And that differences of between relative rate of water loss under 40% and 80% were not obvious than differences between 80% and 99.9%, which indicated that higher relative humidity could obviously increase the storage period of green cabbage. In addition, the outer leaf of green cabbage water loss was studied, and the result showed that greater exposure rate enhance its moisture loss in the beginning of storage.

**Key words:** green cabbage; specific surface area; relative humidity; water loss rate; relative rate of water loss

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2012)07-0368-04

果蔬保鲜历来是人们最为关注的问题之一,特别是近年来,各种保鲜技术陆续面世,对果蔬的无谓浪费起到了一定的遏制作用<sup>[1-2]</sup>,但仍然无法从根本上解决这一难题。归根结底,是人们对果蔬的失水机理没有一个全面的根本性认识<sup>[3]</sup>。然而,果蔬种类繁多、影响因素各异<sup>[4]</sup>,加上控制贮藏环境的稳定性也比较困难,这进一步加大了研究果蔬失水机理的难度。基于目前大多数研究属于定性层面,首先对造成果蔬失水的因素进行定量的分析与研究,是阐释果蔬失水机理的不可或缺的步骤。因此,有步骤地分析果蔬失水的各个环节,必将是解决这一难题的有效途

径。有研究表明,相对湿度是影响果蔬外部质量传递的重要推动力<sup>[5]</sup>。因此,定量地研究相对湿度对果蔬失水的影响<sup>[6-7]</sup>,将会对后续的果蔬失水机理研究提供一定的数据基础和理论基础。食品干燥的动力学中,食品的水分下降程度是由空气湿度决定的,食品中的水分始终要和周围空气的湿度处于平衡状态<sup>[8]</sup>。食品表面附近会形成一层很薄的蒸汽膜,表现为一定的蒸汽压,其表面附近的蒸汽压会随食品的水分含量不同而变化。食品水分含量低,其蒸汽压会相对降低。如果食品表面蒸汽压高于空气蒸汽压,则食品表面的水分会不断向周围空气扩散,致使食品的水分含量也逐渐降低,从而导致食品表面蒸汽压降低,直至食品表面蒸汽压与空气蒸汽压相互平衡<sup>[9-10]</sup>。这可能也适用于果蔬冷藏时的失水情况,对解释果蔬失水机理具有一定的借鉴意义。

收稿日期:2011-06-07 \* 通讯联系人

作者简介:谭万利(1985-),男,硕士研究生,研究方向:果蔬保鲜与贮藏,传热传质强化。

## 1 材料与方

### 1.1 材料与仪器

小青菜 购于上海杨浦联华超市,品种为上海青,选择鲜嫩、无病害、无明显机械损伤、成熟度基本一致的同品种小青菜作为实验材料;变色硅胶 上海新火硅胶厂。

DFY-5/20低温恒温反应槽 上海丞明仪器设备有限公司;TH23PRO温湿度记录仪 杭州微松环境科技有限公司;BP3100S电子分析天平(0.01g) 德国赛多利斯集团。

### 1.2 实验条件

本实验选择在温度为5℃、空气流速很小(可忽略不计)、常压以及不同相对湿度(40%、80%和99.9%)等条件下进行,其它条件保持一致。

### 1.3 实验方法

1.3.1 小青菜比表面积的测定 选取鲜嫩、无病害、无明显机械损伤、成熟度基本一致且大小各异同品种同批次小青菜作为实验材料。首先用电子天平快速称量其质量(g),再用Motic Images Advanced 3.0软件测量各颗小青菜叶片的表面积(cm<sup>2</sup>)。依照比表面积计算公式,从而得到小青菜的比表面积(m<sup>2</sup>/kg)。比表面积计算公式为:

$$\text{比表面积 (m}^2/\text{kg)} = \frac{\text{表面积}}{\text{质量}} \quad \text{式(1)}$$

1.3.2 小青菜相对失水率的测定 采后果蔬仍然是活体,呼吸作用是其生命活动的主导过程,但因呼吸而导致的失水失重是比较少的,而且随着贮藏温度的降低这种损失将会更少,本实验中小青菜失重主要体现为失水,因此可将失重率作为相对失水率的近似值<sup>[9]</sup>。

整个实验过程处于预先控制好的恒温恒湿系统中。用自制的螺旋形支架支撑小青菜,并使之尽量舒展,以便能较准确地反映单颗小青菜的失水情况。用电子天平的数据采集系统直接采集小青菜整个实验过程的质量变化,并记录好起始时间。实验完成后,依据起始时间记录所需的数据,按式(2)即可算出某时刻的相对失水率。相对失水率计算公式为:

$$\text{相对失水率 (\%)} = \frac{\text{贮前质量} - \text{贮后质量}}{\text{贮前质量}} \times 100\% \quad \text{式(2)}$$

## 2 结果与分析

### 2.1 小青菜的比表面积

通过对八颗小青菜的质量及其表面积的测量(见表1),表明了小青菜的质量与其比表面积存在一定的关系。

由图1可看出,小青菜的比表面积随着其质量增加而总体呈现逐渐减小的趋势,即质量越大,单位质量的表面积越小,但变化不显著,斜率为-0.0007。对

于本次实验小青菜而言,质量均在18~28g之间,它们之间的比表面积变化量是很小的,仅为0.007m<sup>2</sup>/kg,平均标准偏差为0.24%。因而,对于质量为18~28g的小青菜来说,其比表面积可以看作一个定值,约为2.07m<sup>2</sup>/kg。本实验中,小青菜间质量的差距很小,因而其比表面积的差异完全可以忽略不计。

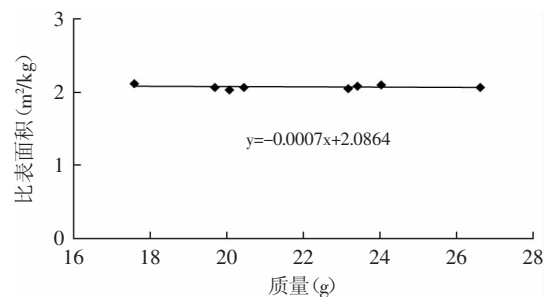


图1 小青菜比表面积与其质量的关系图

Fig.1 The relationship of specific surface area and weight of green cabbage

### 2.2 小青菜在不同相对湿度下的失水率

为了更好地了解小青菜的失水过程以及叙述的方便性,将每5h的失水率进行平均,得到不同相对湿度下单颗小青菜的单位时间、单位面积失水率变化曲线,如图2所示。

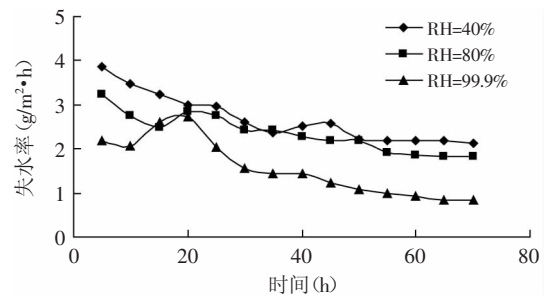


图2 不同相对湿度下小青菜的失水率变化曲线

Fig.2 The water loss rate curves of green cabbage under different relative humidity

由图2可看出,小青菜的失水率在整体上呈下降趋势,但在某一时段内均有一个增大的过程,而且相对湿度越小,这个增大的过程出现得越晚,并且表现得越不明显。这与小青菜的结构——菜芯存在一定的关系。因为菜芯是一个新生组织,水分含量较高,但相互卷包在一起,暴露率较小,因而它具有小青菜其它结构所不具有的特殊性。

在较高相对湿度(RH=99.9%)下,随着表面水分的蒸发,到第10h之后,菜芯是小青菜失水的主要因素,单位失水量急剧增大;到第30h之后,随着失水的逐渐增多,菜芯失水作用得到限制,与普通组织结构无异。相反,在较低相对湿度(RH=40%)下,菜芯的

表1 小青菜的质量与其表面积的关系

Table 1 The relationship of surface area and weight of green cabbage

	1	2	3	4	5	6	7	8
质量(g)	17.59	19.68	20.06	20.44	23.18	23.41	24.02	26.62
表面积(cm <sup>2</sup> )	740.69	810.77	814.69	844.61	947.93	974.20	1004.36	1104.26
比表面积(m <sup>2</sup> /kg)	2.11	2.06	2.03	2.07	2.05	2.08	2.09	2.07

作用则表现得不明显, 仅仅在35~50h时单位失水量有一个小幅度的增大。这说明, 植物不同组织结构的差异是很大的, 在分析果蔬失水机理时, 需要考虑到这一问题。

同时, 还可看出, 40%与80%相对湿度下的单位失水量差异表现得不如80%与99.9%相对湿度下的单位失水量差异明显。这说明, 提高相对湿度能明显改善小青菜的耐藏性。

### 2.3 小青菜叶片与单颗小青菜的相对失水率

基于小青菜菜芯的特殊性, 本实验对小青菜外层叶片的失水性进行了研究, 如图3所示。

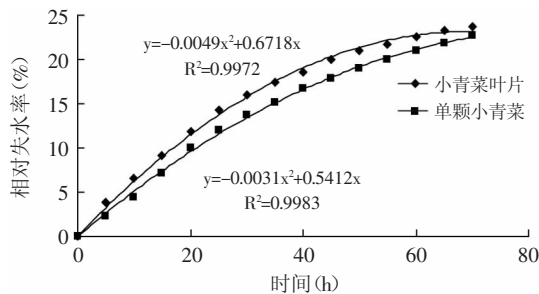


图3 小青菜叶片与单颗小青菜的相对失水率变化曲线 (RH=99.9%)

Fig.3 The relative rate of water loss curves of outer leaf and single green cabbage

由图3可看出, 在贮藏前期, 小青菜叶片的相对失水率一直高于单颗小青菜的相对失水率; 到30h后, 小青菜叶片相对失水率的增速逐渐减缓; 到70h时, 两者相对失水率基本持平。这表明, 小青菜叶片相互卷包在一起, 减小了小青菜与周围空气的接触面积, 对小青菜的水分损失能起到很好的抑制作用。

### 2.4 单颗小青菜在不同相对湿度下的相对失水率

在各个不同相对湿度下均进行了三组实验, 最后取其相对失水率平均值, 经回归分析, 如图4所示。

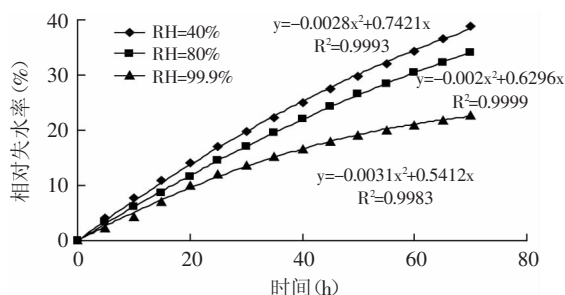


图4 不同相对湿度下小青菜的相对失水率变化曲线

Fig.4 The relative rate of water loss curves of green cabbage under different relative humidity

由图4可看出, 在3d内, 随着贮藏时间的延长, 小青菜的相对失水率均逐渐增大, 趋向于按抛物线形式变化, 并且 $R^2$ 均大于0.99, 具有较好的拟合度。一次项系数表征了小青菜在不同相对湿度条件下的失水率大小, 这里的一次项系数(0.7421>0.6296>0.5412)定量地印证了2.2中的结论。

经Origin 8.0软件优化后, 得到小青菜相对失水率随时间和相对湿度变化的三维曲面, 如图5所示。

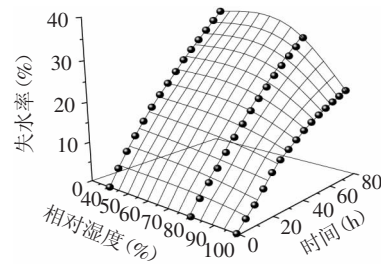


图5 小青菜相对失水率随时间和相对湿度变化的三维曲面图  
Fig.5 The three dimension surface figure of the relative rate of water loss of green cabbage

由图5可看出, 在某一时刻, 相对湿度为60%时, 小青菜相对失水率已基本达到稳定, 相对湿度继续降低, 而小青菜相对失水率不再升高。这表明, 相对湿度低于60%时, 相对湿度已不再是果蔬失水的决定性因素。

可预测, 随着贮藏时间的进一步延长, 小青菜的相对失水率将达到最大值, 最后趋于稳定, 并且99.9%相对湿度下相对失水率的最大值最小, 此时, 小青菜表面附近的蒸汽压与空气蒸汽压相等。这与食品的干燥模型原理相吻合。

## 3 结论

通过研究相对湿度对小青菜失水性的影响, 得到以下结论和建议。

**3.1** 对于质量在18~28g之间的小青菜, 其比表面积与质量存在线性关系, 回归公式为:  $y = -0.0007x + 2.0864$ 。由此, 小青菜的比表面积可以看作一个定值, 约为 $2.07\text{m}^2/\text{kg}$ 。

**3.2** 经回归拟合得到了各相对湿度下小青菜的相对失水率公式: RH=40%,  $y = -0.0028x^2 + 0.7421x$ ,  $R^2 = 0.9993$ ; RH=80%,  $y = -0.002x^2 + 0.6296x$ ,  $R^2 = 0.9999$ ; RH=99.9%,  $y = -0.0031x^2 + 0.5412x$ ,  $R^2 = 0.9983$ 。 $R^2$ 均较大, 说明该回归公式具有较高的实际价值。

**3.3** 经Origin8.0优化得到小青菜相对失水率的三维曲面图, 表明相对湿度在80%以上时, 提高贮藏环境中的相对湿度能明显改善小青菜的耐藏性。但相对湿度低于60%时, 相对湿度已不是果蔬失水的决定性因素。

**3.4** 一系列研究表明, 小青菜的失水机理与食品的干燥动力学模型相吻合。小青菜表面附近会形成一层很薄的蒸汽膜, 表现为一定的蒸汽压, 其表面附近的蒸汽压会随小青菜的水分含量不同而变化。小青菜水分含量低, 其蒸汽压会相对降低。如果小青菜表面蒸汽压高于空气蒸汽压, 则小青菜表面的水分会不断向周围空气扩散, 致使小青菜的水分含量也逐渐降低, 从而导致小青菜表面蒸汽压降低, 直至小青菜表面蒸汽压与空气蒸汽压相互平衡。

**3.5** 由于涉及到回归分析, 实验水平要求较多。而本实验中, 相对湿度仅进行三组, 贮藏时间也仅有3d, 这必然会对最后的回归公式造成一定的影响。因此, 要分析小青菜的失水机理还有待进一步的研究。

(下转第374页)



病菌的入侵和生长,低氧环境降低许多酶的活性,也作为底物制约需氧代谢的强度,延缓了果实的后熟衰老<sup>[14-15]</sup>。本文研究结果表明:两种果蜡处理可推迟小白杏采后乙烯高峰的出现,抑制贮藏期间小白杏的呼吸速率及丙二醛(MDA)含量的积累。这可能是由于果蜡在果实表面形成了这种自发气调,限制了小白杏果实O<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>的交换,使果实内部O<sub>2</sub>浓度下降,CO<sub>2</sub>积累,从而抑制了呼吸;抑制了病菌的入侵和生长,从而降低了腐烂率;降低了许多酶的活性,从而保持了较高的硬度,延缓了丙二醛含量的积累。而且Suwanagul<sup>[16]</sup>、Tongdee等人<sup>[17]</sup>在1989年就已证实了低O<sub>2</sub>高CO<sub>2</sub>对果实采后成熟具有重要影响。

#### 4 结论

本文在20℃条件下,采用美国Sta-Fresh 2952与7055两种蜡对新疆小白杏进行涂膜保鲜,两种果蜡对小白杏贮藏中各项指标的变化影响不同,可能是果蜡稀释倍数不同造成的,同时,果蜡的成分复杂,各种组分也对果实的各种代谢起一定影响作用,果蜡涂膜引起果实的各种变化可能是多个因素的综合作用的结果。果蜡最佳作用浓度,果蜡对小白杏采后糖酸的代谢机理的研究,果蜡对小白杏采后软化相关的酶及其控制基因的表达将是今后工作重点之一。果蜡对小白杏采后生理指标的研究结果表明,果蜡Sta-Fresh 2952与7055在小白杏采后储藏保鲜方面具有广阔的应用前景。

#### 参考文献

- [1] 陆承志. 新疆杏树优良品种介绍[J]. 山西果树, 2004(6): 26-27.
- [2] 赵丽红, 刘丽萍, 马勇. 壳聚糖纳米氧化锌涂膜保鲜杏的效果[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(2): 126-127.
- [3] 谢绍忠, 钟梅, 吴斌, 等. 1-MCP对新疆小白杏采生理和贮藏品质的影响[J]. 食品科技, 2009, 34(3): 60-64.
- [4] Worrell D B, Carrington C M S, Huber D J. The use of low temperature and coatings to maintain storage quality of breadfruit, *Artocarpus altilis* (Parks.) Fosb[J]. *Postharvest Biol Technol*, 2002, 25: 33-40.

- [5] Charles S R, Leach T F, Cash J H. The influence of the sucrose polyester, Semprefresh™ on the storage of Michigan grown 'McIntosh' and 'Golden Delicious' apple[J]. *J Food Process Preserv*, 1989, 13: 295-305.
- [6] Öyamam L B. Effects of an edible coating and cold storage on shelf-life and quality of cherries[J]. *Lebensm Wissu Technol*, 2002(35): 146-150.
- [7] 李晓雁, 甄润英, 杨红军, 等. 不同涂膜对贮藏青椒综合品质的影响研究[J]. 天津农业学院学报, 2005, 12(2): 22-25.
- [8] 林奇, 谢启军, 潭卿雁, 等. 虫胶果蜡在茄子保鲜中的应用研究[J]. 食品研究与开发, 2007(28): 139-140.
- [9] 陈建勋, 王小峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002: 120-124.
- [10] GB/T 12392-90. 蔬菜、水果及其制品中总抗坏血酸的测定方法[S]. 2008.
- [11] 高兆银, 李敏, 胡美娇, 等. 壳聚糖涂膜对香蕉保鲜生理和防腐效果初步研究[J]. 浙江农业科学, 2007(3): 278-280.
- [12] 程建军, 王震新, 于静波. 苹果梨和鸭梨酶促褐变机理的研究[J]. 食品科学, 2000, 21(2): 71-74.
- [13] Hardenbury R E, Watada A E, Wang C Y. The commercial storage of fruits, vegetables, florist and nursery stocks [J]. *Agricultural Research Service*, 1986, 66: 102-130.
- [14] Debeaufort F, Quezada-Gallo J A, Voilley A. Edible films and coatings: Tomorrow's Packagings: A Review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1998, 38(4): 299-313.
- [15] Krochta J M, Baldwin E A, Nisperos-carriedo M O. Edible coatings and films to improve food quality[M]. Lancaster, USA: Technomic Publishers, 1994: 322-323.
- [16] Suwanagul A, Tongdee S C. Effects of controlled atmosphere storage on internal ethylene content and ripening of durians[J]. *Thailand Institute of Scientific and Technological Research*, 1989: 45-46.
- [17] Tongdee S C, Chayasombat A, Neamprem S. Respiration, ethylene production, and changes in the internal atmospheres of Durian (*Durio zibetbinus Murray*) [J]. *Thailand Institute of Scientific and Technological Research*, 1989: 22-30.

(上接第370页)

#### 参考文献

- [1] 刘扬, 王乃鑫, 陈春芳, 等. 不同孔径有孔聚乙烯保鲜袋包装蔬菜的保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2009, 30(1): 260-262.
- [2] 杜传来, 许天亮. 不同贮藏条件和包装方式对几种叶菜保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2009, 51(2): 30-34.
- [3] 王艳红, 刘斌. 影响果蔬采后失水若干因素的分析[J]. 保鲜与加工, 2009(5): 4-8.
- [4] 曾荣, 李平, 陈金印. 天然保鲜剂与果蔬采后生理[J]. 食品发酵与工业, 2004, 30(11): 138-142.
- [5] Yan ZY, Sousa-Gallagher MJ, Oliveira FAR. Mathematical modelling of the kinetic of quality deterioration of intermediate moisture content banana during storage[J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 84: 359-367.

- [6] Techavuthiporn C, Nakano K, Maezawa S. Prediction of ascorbic acid content in broccoli using a model equation of respiration[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 47: 373-381.
- [7] 雷晓娟, 李健, 巩孟悦, 等. 黄瓜货架期间相对失水率预测模型的建立[J]. 食品科技, 2010, 35(11): 81-85.
- [8] 杨俊红. 植物性含湿多孔介质在干燥过程中优化传热传质机理的研究[D]. 天津: 天津大学, 1998.
- [9] Hertog M, Ben-Arie R, Róth E, et al. Humidity and temperature effects on invasive and non-invasive firmness measures [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2004, 33(1): 79-91.
- [10] Kaymak-Ertekin F, Gedik A. Kinetic modelling of quality deterioration in onions during drying and storage[J]. *Journal of Food Engineering*, 2005, 68: 443-453.