

# 菠菜贮藏过程中水分蒸发损失

李娟, 陶乐仁, 董小亮, 谭万里, 张庆刚

(上海理工大学低温技术与食品冷冻研究所, 上海 200093)

**摘要:** 研究不同相对湿度对菠菜水分损失的影响。菠菜在贮藏温度 5℃、相对湿度 99% 条件下贮藏 44h, 不同堆放方式单棵菠菜和捆绑菠菜的失水率分别为 41.32% 和 23.32%; 相同温度下, 贮藏 44h, 99%、80%、40% 相对湿度条件下, 单棵菠菜失水率分别为 66.70%、54.60% 和 41.32%。利用图像处理软件测量得一般市售菠菜的比表面积为 48.05cm<sup>2</sup>/g。建立了菠菜贮藏过程中失水速率和相对湿度的关系, 结果表明: 储存前期, 相对湿度越高, 失水速率越慢, 随着时间的延长, 各相对湿度下的失水速率趋于一致, 受相对湿度的影响不大。

**关键词:** 菠菜; 相对湿度; 比表面积; 失水率

## Water Evaporation Loss of Spinach during Storage

LI Juan, TAO Le-ren, DONG Xiao-liang, TAN Wan-li, ZHANG Qing-gang

(Institute of Cryogenic Technology and Food Freezing, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** In this study, the effect of relative humidity on water evaporation loss of spinach during storage period was investigated. During 44 h of storage at 5 °C and a relative humidity of 99%, the water loss rates of single spinach and bound spinach were 41.32% and 23.32%, respectively. In addition, under the same temperature and storage period and different relative humidity levels: 99%, 80% and 40%, the water loss rates of single spinach were 66.70%, 54.60% and 41.32%, respectively. Moreover, a correlation between water loss rate and relative humidity was established. These results showed that during the early part of the storage period, spinach revealed higher relative humidity and lower water loss rate. However, with increasing storage time, water loss rates were basically the same under various relative humidity levels.

**Key words:** spinach; relative humidity; surface area; water loss rate

中图分类号: TS255.36

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)08-0285-04

菠菜是一种常见蔬菜, 属于叶菜类, 采后代谢旺盛, 呼吸速率很高, 极易失水萎蔫, 叶片皱缩衰变, 影响了食用品质和商品价值<sup>[1]</sup>。湿度控制是果蔬贮藏保鲜的关键环节<sup>[2]</sup>, 果蔬贮藏过程中, 常由于低温贮藏环境中较低的相对湿度造成失水, 一方面引起组织萎蔫, 导致细胞膨压下降, 造成机械结构特性改变; 另一方面, 萎蔫又会引起果蔬代谢失调, 刺激呼吸作用加快和乙烯的合成, 破坏果蔬正常的代谢作用, 使果蔬的营养成分下降<sup>[3-6]</sup>。贾夏等<sup>[7]</sup>发现 4℃ 水分含量和叶绿素的含量表现出一定的相关关系。刘敏等<sup>[8]</sup>对菠菜复合气调包装(modified atmosphere packing, MAP)保鲜及低温贮藏进行了研究筛选出了一组最佳的 MAP 气体组合(O<sub>2</sub> 10% + CO<sub>2</sub> 10%)。郭玉花等<sup>[9]</sup>以 LDPE/LLDPE(80:20, V/V)为基材, 选择 CaCO<sub>3</sub> 为无机填充剂, 研制 PE/CaCO<sub>3</sub> 功能性保鲜膜。并利用该保鲜膜对菠菜进行保鲜包装,

考察该保鲜膜对菠菜保鲜的影响。Allende 等<sup>[10]</sup>发现当 CO<sub>2</sub> 体积分数小于等于 20% 时, 能有效抑制菠菜储存过程中微生物的生长并延长货架期。在 Babic 等<sup>[11]</sup>对切割菠菜 MAP 的研究表明, 只要贮藏温度不超过 5℃, 就会保证菠菜的有效保鲜期不受影响。Kim 等<sup>[12]</sup>用具有不同透气和透水蒸气特性的密闭冰箱冷藏室在 3℃ 下保存新鲜菠菜, 研究了密闭冷藏室内的气体成分对菠菜的失水率、VC 和叶绿素的影响, 比较了不同冷藏室的冷藏效果。Huang 等<sup>[13]</sup>研究了用雾化食品防腐剂及双氧水对菠菜储存过程中大肠杆菌的抑制效果。以上研究大多是针对气调保鲜、低温保鲜、保鲜膜保鲜及保鲜剂保鲜对菠菜保鲜效果的研究, 没有涉及到相对湿度对菠菜保鲜的影响。目前, 对菠菜储存过程中相对湿度对其蒸发强度的影响程度及其失水机理的研究较少, 对菠菜在流通环节 - 消费环节保鲜的研究报道也很少<sup>[14]</sup>。本实验对

收稿日期: 2011-03-15

作者简介: 李娟(1984—), 女, 硕士研究生, 研究方向为果蔬保鲜。E-mail: lijuan860617@126.com

研究菠菜售后的贮藏中不同相对湿度对其失水率的影响程度,结合菠菜的表面积,找出菠菜在储存过程中失水速率与相对湿度的关系,旨在为菠菜的冰箱用保鲜膜系统提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料、试剂与仪器

菠菜、变色硅胶 市售。

DFY-5/20低温恒温反应浴(槽) 上海丞明仪器设备有限公司; BP3100S 电子天平 上海朗平仪器仪表有限公司; 温湿度数据记录仪 苏州松下电器研发公司; 螺旋铁架 自制。

### 1.2 指标测定

捆绑菠菜失水率:采用差重法测定,用皮筋将新鲜菠菜6棵扎成一束放于5℃恒温箱内的电子天平上,每隔1h读取1次数;单棵菠菜失水率:采用差重法,将新鲜菠菜放在自制的螺旋铁架上,使其每片叶子不重叠暴露在空气中,放于5℃恒温箱内的电子天平上,每隔1h读取1次数据。每种相对湿度做3次重复,失水率计算取平均值。

$$\text{失水率}/\% = \frac{\text{初始质量} - \text{实验后质量}}{\text{初始质量}} \times 100$$

比表面积:随机取10棵菠菜,测量每棵菠菜的质量和对应的表面积,将每棵菠菜的叶和茎完全展开平铺在一张白纸上,在上面放上标尺,拍照,照片用Photoshop转换成单色,然后用Motic Images Advanced 3.0软件测出其表面积。

湿度控制:硅胶控制恒温箱内的相对湿度分别为99%、80%、40%。温湿度测量及采集采用温湿度数据记录仪(温度量程在-40~80℃,精度为±0.1℃,相对湿度(RH)量程在0~100%,精度在±1.5%)实时监控,并利用T & D Recorder for Windows Ver 2.10数据转换及自动采集系统对数据进行采集和自动生成温湿度图。

## 2 结果与分析

### 2.1 菠菜的比表面积测定

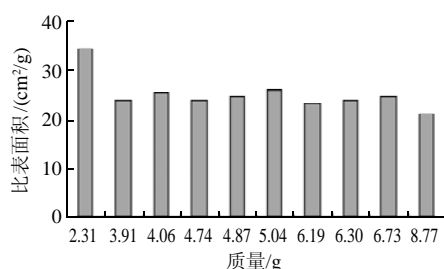
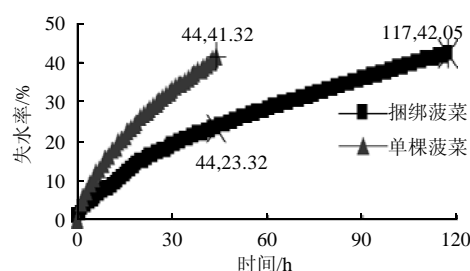


图1 单棵菠菜的比表面积

Fig.1 Surface area per unit weight of single spinach

由于菠菜属叶菜类蔬菜,表面积对其失水率影响很大,所以本实验测定了单棵菠菜的比表面积。由图1可知,除了质量较小的菠菜,其他的比表面积比较接近,因此,菠菜的初始质量对失水率影响不大。对于大多数市售菠菜,采集到的质量在4~8g之间,故可判断菠菜的比表面积一般为48.05cm²/g。

### 2.2 不同堆放方式对菠菜失水率的影响



5℃、相对湿度99%,捆绑菠菜初始质量53.23g。

图2 不同堆放方式下菠菜的失水率

Fig.2 Water loss rates of single spinach and bound spinach during storage

由图2可知,捆绑菠菜失水曲线前24h内斜率较大,即失水速率较快,24h之后斜率趋于平缓,失水速率较慢,因为开始菠菜新鲜含水量高,蒸腾速率较快,随着时间延长含水量下降,蒸腾作用相应下降。菠菜为叶菜类蔬菜,含水量极高,采后代谢旺盛,呼吸速率很高,蒸腾作用快,很容易脱水萎蔫,贮存到第5天失水率已经高达42.05%,与陈向明<sup>[15]</sup>的结论基本吻合。

测定条件下单棵菠菜失水率的平均标准偏差是2.83%。说明菠菜失水率的波动不大。由曲线可以看出,开始阶段曲线斜率较大,失水速率较快,随着时间的延长,斜率变小,失水速率变慢,失水率曲线趋于平缓。

单棵菠菜的失水速率明显高于捆绑菠菜的失水速率,且失水率也高于捆绑菠菜,储存44h,失水率已经高达41.32%,相当于捆绑菠菜储存5d的失水率。44h时捆绑菠菜的失水率是22.99%,远远低于单棵菠菜的失水率。因为捆绑菠菜的叶和茎没有完全暴露在空气中,所以捆绑菠菜存在暴露率问题。售后菠菜的冰箱储存一般是捆绑存放,如果知道其暴露率就可以根据99%相对湿度下单棵菠菜的失水率计算出捆绑菠菜的失水率。捆绑菠菜的暴露率可以通过大量的市场调研获得。因此,99%相对湿度下单棵菠菜的失水率为菠菜的冰箱储存研究提供了一定依据。

### 2.3 不同相对湿度对单棵菠菜储存过程中失水率的影响

3种相对湿度下单棵菠菜失水率的比较见图3。相对湿度80%条件下单棵菠菜的平均质量为7.25g,平均失水率为54.60%,明显地高于99%的失水率,80%相

对湿度下菠菜失水率的平均标准偏差为 4.868%；相对湿度 40% 条件下，单棵菠菜的平均质量为 6.09g，平均失水率为 66.70%，高于 80% 的失水率，40% 相对湿度下菠菜失水率的平均标准偏差为 10.554%。由此可见，随着湿度的减小，菠菜失水率增大。其标准偏差也随之增大。

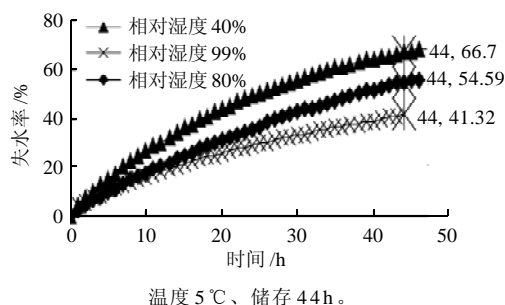


图 3 不同相对湿度下单棵菠菜的失水率

Fig.3 Water loss rates of single spinach during storage under different relative humidity levels

在菠菜的保鲜过程中，水分蒸发主要是由外部环境的驱动力造成的。湿度是影响外部环境驱动力的主要因素，湿度越小驱动力越大，失水率也越大。实验过程中菠菜表面的残余水分不同，造成不同湿度下前几小时的失水率有一定的波动。表面残余水分越多，前几小时失水量越大。随着时间的增加，失水量主要受环境相对湿度的影响。

表 1 3 种相对湿度下单棵菠菜失水率曲线的拟合公式及拟合度  
Table 1 Fitting equations and goodness of fit for water loss rates of spinach under the conditions of three relative humidity

相对湿度/%	拟合公式	拟合度( $R^2$ )
99	$y = -0.0118x^2 + 1.3571x + 3.3186$	0.9964
80	$y = -0.012x^2 + 1.7419x + 0.9188$	0.9997
40	$y = -0.0248x^2 + 2.5366x + 2.6819$	0.9986

由表 1 可以看出，3 种相对湿度下，单棵菠菜失水率曲线的拟合度都很高，因此可采用此 3 个拟合公式估算单棵菠菜在温度为 5℃ 的贮藏环境中，相应湿度下的失水率。

#### 2.4 不同相对湿度下单棵菠菜的单位面积每小时失水量

由图 4 可知，在温度 5℃ 条件，前几小时内，由于菠菜表面尚存部分自由水，造成 3 种相对湿度下菠菜单位面积每小时失水量较大，即蒸发速率较大。随着表面自由水蒸发完全，菠菜自身的游离水开始蒸发，蒸发速率变慢。开始菠菜内部的扩散阻力对环境湿度的驱动力较小，湿度越小，驱动力越大，蒸发速率越快。由图 4 可以看出，在前 4h 中，99% 相对湿度下菠菜的

蒸发速率的波动明显比 80% 和 40% 的大。实验数据采集前，在恒温室内相对湿度的平衡控制中，80% 或 40% 相对湿度控制需要一定时间，所以 80% 和 40% 相对湿度数据是在放入后湿度达到稳定时开始记录的，此时菠菜表面的自由水较少，致使这两种湿度下在实验前期蒸发速率波动较小。99% 相对湿度无需湿度调节，实验前 2h 菠菜表面自由水较多，99% 相对湿度下蒸发速率比 80% 和 40% 相对湿度下蒸发速率大。2h 后，99% 相对湿度下菠菜的蒸发速率小于 80% 和 40% 相对湿度下的蒸发速率，此实验阶段菠菜蒸发水分分为自身自由水，蒸发速率主要受环境湿度的影响。随着菠菜失水率增加，菠菜内部结合水开始蒸发，菠菜内部的扩散阻力成为主要的蒸发阻力，外部环境湿度对蒸发速率的影响不大。由图 4 可以看出，随着时间的增加，各湿度下单位面积单位时间的蒸发量趋于一致。80% 和 40% 相对湿度下的蒸发速率在第 23 小时达到相等，它们与 99% 相对湿度下的蒸发速率在第 44 小时达到相等。

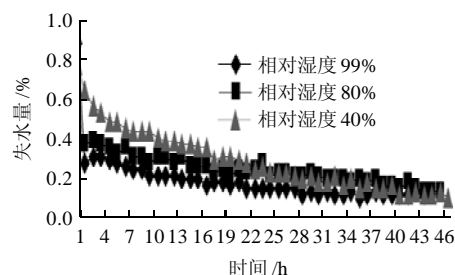


图 4 三种相对湿度下菠菜单位面积每小时失水量

Fig.4 Water loss per unit area per hour of spinach during storage under different relative humidity levels

由此可见，湿度是影响菠菜保鲜过程中水分蒸发速率的一个重要因素。菠菜本身含水量极高，占总质量的 90%<sup>[16]</sup>。因此失水率是衡量菠菜保鲜的重要因素，失水率过高使菠菜失去食用价值。在菠菜的保鲜过程中，本实验通过提高储存环境中的湿度来减缓其失水速率，从而延长保鲜时间。

### 3 结论与讨论

通过测量菠菜的表面积，得出一般市售菠菜的比表面积在 48.05cm<sup>2</sup>/g 左右。通过大量重复实验研究了菠菜相对湿度 99%、80% 和 40% 水分蒸发特性。结果表明：随着湿度的增加，单棵菠菜的失水率减少，失水速率也随之减小，储存一定时间时，各湿度的失水速率趋于一致。可见，相对湿度对低温贮藏下菠菜的蒸发强度影响很大。但菠菜的蒸腾作用同时受内因(如比表面积、组织结构、细胞的持水力和成熟度等)和外因(温

度、湿度、空气流动、光照及气压等)的影响<sup>[17]</sup>,故其失水机理有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 李鹏霞. 两种植物精油对采后水果的保鲜作用研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- [2] PAULL R E. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 1999, 15(3): 263-277.
- [3] 王群, 江明能. 湿冷系统运行特性及其在果蔬预冷保鲜中的应用研究[J]. *农业工程学报*, 1996, 12(3): 181-185.
- [4] 杨文领, 王群, 李碧晴, 等. 湿冷系统在杨桃保鲜中的应用[J]. *保鲜与加工*, 2001(4): 22-23.
- [5] 关文强, 陈丽, 李喜宏, 等. 红富士苹果自发气调保鲜技术研究[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(5): 218-222.
- [6] ZAGOYD, KADER A A. Modified atmosphere packaging of fresh produce[J]. *Food Technology*, 1998, 42(9): 70-74; 76-77.
- [7] 贾夏, 李栋, 魏阿宝. 温度和水对存储菠菜叶绿素 a、b 含量的影响[J]. *湖北农业科学*, 2010(13): 106-109.
- [8] 刘敏, 谢晶. 菠菜MAP保鲜及低温贮藏研究[J]. *湖北农业科学*, 2008, 47(9): 1073-1076.
- [9] 郭玉花, 滕立军. PE/CaCO<sub>3</sub> 功能性保鲜膜研制及其在菠菜保鲜中的应用[J]. *食品科技*, 2007, 32(8): 245-247.
- [10] ALLENDE A, LUO Y G, MCEVOY J L, et al. Microbial and quality changes in minimally processed baby spinach leaves stored under super atmospheric oxygen and modified atmosphere conditions[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2004, 33(6): 51-59.
- [11] BABIC S, WATADA A E. Microbial populations of fresh-cut spinach leaves affected by controlled atmospheres[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 1996, 31(9): 187-193.
- [12] KIM S, AN D S, KIM J Y, et al. Effect of gas tightness-controlled compartment system on quality keeping of fresh produce stored in household refrigerator[J]. *Food Sci Biotechnol*, 2010, 19(6): 1587-1592.
- [13] HUANG Yaoxin, YE Mu, CHEN Haiqiang. Efficacy of washing with hydrogen peroxide followed by aerosolized antimicrobials as a novel sanitizing process to inactivate *Escherichia coli* O157:H7 on baby spinach[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2005, 27(7): 8-16.
- [14] 关文强, 陶晓彦, 张娜, 等. 高湿度冰箱对青菜和西芹的保鲜效果[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(4): 265-269.
- [15] 陈向明. 采后菠菜在特定条件下几种生理指标的变化[J]. *安徽大学学报*, 2001, 25(4): 89-93.
- [16] 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.
- [17] 王艳红. 新鲜果蔬低温贮藏失水机理研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2010.