

不同装载率及补水量对杏鲍菇真空预冷的影响

刘 斌¹, 朱龙华¹, 叶庆银¹, 阎瑞香²

(1. 天津市制冷技术重点实验室, 天津商业大学, 天津 300134; 2. 国家农产品保鲜技术工程研究中心, 天津 300384)

摘 要: 真空预冷的补水可以有效降低真空预冷产品的失水率。通过试验研究了真空槽装载率、真空预冷前补水量对杏鲍菇贮藏期的影响。真空槽内的装载率分别为 20%, 40% 和 60%。预冷前的补水量分别为 0、12 和 18 g/kg。杏鲍菇的初始温度分别为 11 和 16℃。试验结果表明, 出现沸点时的真空槽内压力值会随装载率的升高而升高, 预冷时间会延长。补水量对真空槽内压力的影响较小, 但是对杏鲍菇真空预冷的预冷时间和失水量具有重要影响。0℃环境贮藏 14 d 的效果表明, 补水量为 18 g/kg、装载率为 20% 时真空预冷后的杏鲍菇具有最好的保存效果。

关键词: 真空, 温度, 贮藏, 真空预冷, 蘑菇, 失水率, 装载率

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.03.047

中图分类号: 210.3055

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-03-0274-04

刘 斌, 朱龙华, 叶庆银, 等. 不同装载率及补水量对杏鲍菇真空预冷的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 274-277.

Liu Bin, Zhu Longhua, Ye Qingyin, et al. Influence of packed rate and compensated water on vacuum precooling of King oyster mushroom[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(3): 274-277. (in Chinese with English abstract)

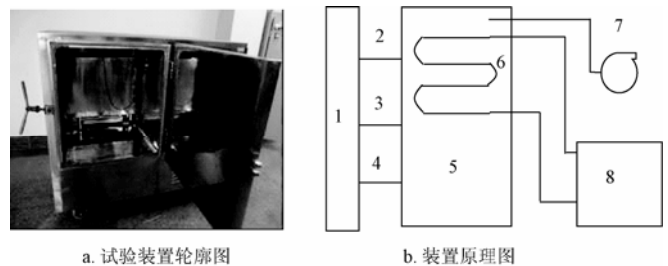
0 引 言

真空预冷技术通过果蔬内部水分在真空条件下迅速蒸发, 从而降低果蔬自身的温度, 具有 2 个明显的优点: 第一就是降温迅速; 第二就是降温均匀^[1-6]。由于这些原因, 真空预冷技术受到越来越多的重视。真空预冷的研究目前主要集中在真空预冷工艺及预冷果蔬后期贮藏效果的研究^[7-18]。但是真空预冷技术也有一个主要缺点, 就是会造成预冷果蔬明显的失水。如何减少真空预冷中果蔬水分损失的研究内容较少^[19]。同时对于一固定的真空预冷装置, 真空槽的装载率对预冷过程有如何影响研究也较少^[20-21]。本文针对杏鲍菇开展了真空预冷不同装载率及不同补水量的试验, 期望能对优化真空预冷工艺提供一定的试验研究基础。

1 装置及材料

1.1 试验装置

为完成相关的真空预冷试验, 设计了 1 台真空预冷机, 由 3 个部分组成, 如图 1。第 1 部分为数据获取部分, 包括压力传感器、温度传感器及称重器; 第 2 部分为真空系统, 包括 0.2 m³ 的真空槽, 1.3 m² 的捕水器及功率为 750 W 的真空泵 (5.55 L/s); 第 3 部分为制冷系统, 包括 1 HP 的制冷压缩机组, 蒸发温度为 -5℃。真空槽最低压力可以达到 200 Pa。



1. 数据采集系统 2. 温度传感器 (HPt100) 3. 压力传感器 4. 称重器 (FBG16EDE-H) 5. 真空槽 6. 捕水器 7. 真空泵 8. 制冷机组

图 1 试验装置

Fig.1 Experimental setup

1.2 试验材料

所有试验用的杏鲍菇都产自于天津。杏鲍菇采摘后 1 小时内送到实验室。在试验过程中, 蘑菇中间插入温度传感器, 用于判断试验是否结束, 蘑菇按顺序排列, 温度传感器和排列方式如图 2。对于试验前的补水量, 则是均匀地喷洒在蘑菇表面。当蘑菇预冷到 1℃ 后, 送入到 0℃ 冷库中贮藏 14 d, 相对湿度为 85%。在贮藏期间,



图 2 温度传感器及排列方式

Fig.2 Position of thermal sensor and arrangement

收稿日期: 2011-01-12 修订日期: 2011-09-20

基金项目: 教育部重点基础研究项目 (211009), 天津市科技支撑项目 (09ZCKFNC00600, 10ZCKFNC02000), 国家自然科学基金(51076117)

作者简介: 刘 斌 (1975-), 男, 江西奉新人, 副教授, 博士, 主要从事低温物流相关的生物传热传质及能耗分析。天津 天津市制冷技术重点实验室, 天津商业大学, 300134。Email: lbtjcu@tjcu.edu.cn

每 2 d 观察 1 次，以其表面褐点数（直径大于 0.5 cm，个数超过 5 个）为质量判断指标，评价贮藏效果。

1.3 试验方法

在试验过程，蘑菇的初始温度为当天采摘到库的温度（分 2 d 采摘，温度分别为 16 和 11℃），装载率分别为 20%、40% 和 60%，补水量分别为 0、12 和 18 g/kg。补水主要是通过超声波加湿器产生的水蒸汽直接均匀喷在蘑菇表面，这样可以防止在蘑菇表面形成水滴，单位质量蘑菇的质量增加为补水量。测量指标主要是真空预冷结束后单位质量蘑菇的失水量及贮藏 14 d 的商品率。

2 结果及讨论

2.1 补水量对真空预冷工艺的影响

图 3 显示了补水和无补水 2 种真空预冷过程中压力和温度的变化过程。试验条件为：装载率为 20%，补水量为 18 g/kg，每次试验蘑菇的质量为 8.2 kg。

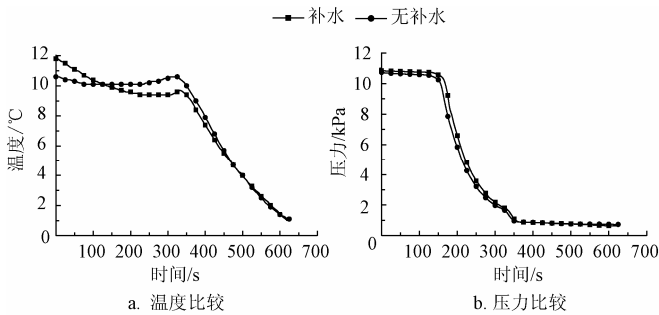


图 3 补水和无补水真空预冷温度和压力比较

Fig.3 Comparison of cooling process with/without compensated water

从图 3 中可以看出，补水量对预冷过程具有重要影响。补水后的蘑菇在沸点以前就存在着一个较小的温度降，这个温度降与补水量有关，在本试验中这个温度降为 2.5℃，而无补水的蘑菇只在沸点以前几乎没有温度降（0.2℃）。在沸点温度出现以后，2 种真空预冷都具有较快的温度降。虽然有补水的蘑菇具有较高的初始温度，但是相对于无补水的蘑菇，它的预冷时间更短。对于真空预冷中的压力，和无补水预冷相比，补水的真空槽在沸点出现以前具有较高的压力，压力相差值 50 Pa，但是在沸点出现后，2 种方式的压力几乎相同。主要原因是补水蒸发所造成的。在补水真空预冷中，水均匀地喷淋在蘑菇的表面。相对于蘑菇内部的水分，表面水分更容易蒸发。因此在沸点以前，由于蘑菇表面水分的蒸发，补水的蘑菇也存在着温度降。同时因为表面水的蒸发，补水真空预冷中的压力也高于无补水真空预冷的压力。在沸点以后，蘑菇内部水分的蒸发是导致温度降的主要原因，因此 2 种真空预冷方式的蘑菇降温速率几乎相同。

2.2 装载率对真空预冷工艺的影响

在大多数真空预冷工艺中，真空预冷装置各部件匹配是一定的，因此真空槽内预冷产品的装载率对真空预冷过程中的温度、压力和预冷时间有重要的影响。在本试验中，装载率分别为 20%、40% 和 60%，温度及压力

的变化如图 4。

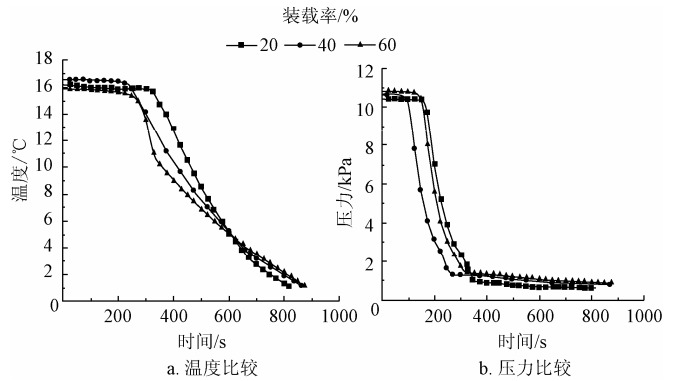


图 4 不同装载率的比较

Fig.4 Comparison of different packed rate

从图 4 中可以看出，当装载率越小时，蘑菇达到沸点温度的时间越长，装载率为 20% 时，产生沸点的时间为 350 s。但是对于产生沸点的压力而言，则是装载率越小，压力也越小，装载率为 20% 时，产生沸点的压力为 990 Pa。主要原因是对一定的真空预冷装置，其真空泵、捕水器及制冷能力是一定的。当装载率越小时，真空槽内相对的空气量就越大，如果沸点所对应的压力相同，则真空泵所需要工作的时间就长，结果就如同图 4a 所示。但是在图 4a 中由于装载率为 60% 的试验蘑菇的初始温度较小，所以造成产生沸点压力大于装载率为 40% 的试验时的沸点压力。同时由于装载率较小时，达到沸点后所蒸发的水分也较小，这些水蒸气不能满足捕水器和真空泵的需要，导致真空槽内的压力下降，以扩大预冷产品表面水蒸气分压力与槽内水蒸气分压力的差，使水蒸气蒸发更快，满足捕水器和真空泵的需要，因此装载率越小，真空槽内的压力就越低，如图 4b 所示。

从图 4 中也可以发现预冷时间随着装载率的减小而缩短。装载率为 20% 时，预冷时间为 820 s；装载率为 40% 时，预冷时间为 870 s；装载率为 60% 时，预冷时间为 890 s。除了初始温度的影响，对于制冷能力一定的真空预冷机组，装载率越小，热负荷也越小，因此所需要的预冷时间也越短，但是预冷时间与装载率呈非线性变化。

2.3 失水量分析

预冷果蔬失水是判断真空预冷效果的一个重要参数，表 1 列出了不同初始条件下蘑菇的失水量。

表 1 不同真空处理工况的失水量

Table 1 Water loss under different vacuum precooling				
试验序号	装载率/%	补水量/(g·kg ⁻¹)	初始温度/℃	失水量/(g·kg ⁻¹)
1	20	12	16.2	21.02
2	40	12	16.5	19.68
3	60	12	15.9	18.91
4	20	18	10.73	10.94
5	20	0	11.8	25.28

比较表 1 中的试验 4 和 5，可以发现蘑菇的失水量随着补水量增加而减少；比较试验 1、2 和 3，可以发现随着初始温度的升高而增大，并且随着装载率的增大而减

少。果蔬真空预冷时，当装载率较低时，真空槽内的自由空间较大，需要较多的水蒸汽来填充，因此失水量随着装载率的降低而增大。由于蘑菇组织对蘑菇内部自由水的吸附作用，蘑菇表面的水比蘑菇内部的水容易蒸发，因此在预冷时，补水蘑菇表面的补水蒸发快，这会吸收蘑菇的显热，降低蘑菇的温度，从而减少了蘑菇内部水分的损失。对于初始温度高的蘑菇，降到相同终止温度时所需要的冷量更多，因此需要蒸发的水分就更多，蘑菇的失水量也会提高。

2.4 不同预冷工艺贮藏效果分析

经过不同真空预冷工艺处理的蘑菇都贮藏于 0℃ 的贮藏库，相对湿度为 85%。在贮藏过程中，每 2 d 观察蘑菇表面的颜色，从而判断蘑菇质量。当表面斑点数超过 5 个时，认为蘑菇质量已经不合格，图 5 为蘑菇贮藏期间的商品率的变化曲线。商品率定义为合格的蘑菇数除以试验开始时的蘑菇数。从图 5 中可以看出，在预冷贮藏 14 d 后，在所有的 5 组试验中，试验 4 的蘑菇具有最高的商品率，试验 5 的蘑菇具有最低的商品率，这说明预冷过程中对蘑菇进行补水有利于提高蘑菇贮藏中的商品率；当补水量相同时，预冷时装载率高的蘑菇具有更高的商品率，主要原因是蘑菇的失水量不同造成的。正如前面所述，预冷前补水蘑菇具有较小的失水量，从而保证了蘑菇质量；在相同的补水条件下，装载率较小的蘑菇虽然预冷时间短，但预冷后失水率较大，从而损害了蘑菇的品质。这说明蘑菇的失水量和预冷时间相比，失水量对蘑菇品质具有更重要的影响。蘑菇失水后不仅会造成失鲜、质量减轻、品质下降，还会影响正常的生理过程，如体内相关的酶活性增加，呼吸强度增大，耐贮性和抗病性降低。酶活性增加会导致酶促反应加快，褐变程度加深，严重影响了杏鲍菇的感官质量^[22]。

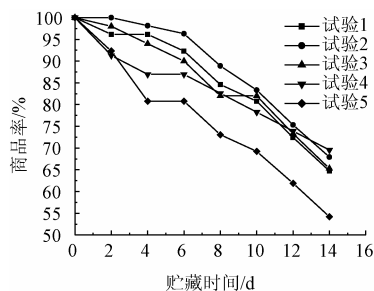


图 5 贮藏期商品率的变化曲线

Fig.5 Mushroom quality changes with storage time

3 结论

真空预冷时真空槽的装载率和预冷前的补水量会影响蘑菇预冷的整个冷却过程，会造成不同的预冷压力、预冷时间及失水量，从而导致不同的贮藏期。通过试验研究可以得到以下几点：

- 1) 蘑菇真空预冷前的补水量不影响沸点产生的压力，但是会缩短预冷时间，并减少失水量；
- 2) 真空槽内的装载率的减小，会增大蘑菇的失水量，

但同时也缩短预冷时间；

- 3) 在预冷过程中，蘑菇失水量和预冷时间相比，失水量对后期贮藏品质的影响比预冷时间对后期贮藏效果的影响更大。

[参 考 文 献]

- [1] Brosnan T, Sun D W. Influence of modulated vacuum cooling on the cooling rate, mass loss and vase life of cut lily flowers[J]. Biosystems Engineering, 2003, 86(1): 45—49.
- [2] Cheng H P, Hsueh C F. Multi-stage vacuum cooling process of cabbage[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(1): 37—46.
- [3] He S Y, Feng G P, Yang H S, et al. Effects of pressure reduction rate on quality and ultrastructure of iceberg lettuce after vacuum cooling and storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 33(3): 263—273.
- [4] McDonald K, Sun D W. Vacuum cooling technology for the food processing industry: A review[J]. Journal of Food Engineering, 2000, 45(2/1): 55—65.
- [5] Zheng L Y, Sun D W. Vacuum cooling for the food industry: A review of recent research advances[J]. Trends in Food Science and Technology, 2004, 15(12): 555—568.
- [6] Sun D W, Zheng L Y. Vacuum cooling technology for the agri-food industry: Past, present and future[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(2): 203—214.
- [7] Tao F, Zhang M, Yu H Q. Effect of vacuum cooling on physiological changes in the antioxidant system of mushroom under different storage conditions[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(4): 1302—1309.
- [8] Ozturk H M, Ozturk H K. Effect of pressure on the vacuum cooling of iceberg lettuce[J]. International Journal of Refrigeration 2009, 32(3): 402—410.
- [9] Tao F, Zhang M, Yu H Q, et al. Effects of different storage conditions on chemical and physical properties of white mushrooms after vacuum cooling[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(3): 545—549.
- [10] Donald K M, Sun D W, Lyng J G. Effect of vacuum cooling on the thermophysical properties of a cooked beef product[J]. Journal of Food Engineering, 2002, 52(2): 167—176.
- [11] Donald K M, Sun D W. Effect of evacuation rate on the vacuum cooling process of a cooked beef product[J]. Journal of Food Engineering, 2001, 48(3): 195—202.
- [12] Jackman P, Sun, D W, Zheng L Y. Effect of combined vacuum cooling and air blast cooling on processing time and cooling loss of large cooked beef joints[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 81(1): 266—271.
- [13] 宋小勇, 李云飞. 真空预冷对非洲菊切花温度和瓶插寿命的影响[J]. 农业机械普报, 2010(增刊 1): 167—170.
Song Xiaoyong, Li Yunfei. Effect of vacuum cooling on temperature and vase life of gerbera cut flowers[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010(Supp.1): 167—170. (in Chinese with English abstract)
- [14] 刘芬, 张爱萍, 刘东红. 真空预冷处理对青花菜贮藏期间生理活性的影响[J]. 农业机械学报, 2009, 40(10): 106—110.

- Liu Fen, Zhang Aiping, Liu Donghong. Effect of vacuum pre-cooling on physiological activities of broccoli during storage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(10): 106—110. (in Chinese with English abstract)
- [15] 王海鸥, 胡志超, 屠康, 等. 真空冷却预处理在微波冻干胡萝卜片中的应用[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 358—363. Wang Haiou, Hu Zhichao, Tu Kang, et al. Application of vacuum-cooling pretreatment to microwave freeze drying of carrot slices[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 358—363. (in Chinese with English abstract)
- [16] 金听祥, 张海川, 成剑, 等. 真空冷却技术的应用与研究进展[J]. 农业工程学报, 2008, 24(增刊 1): 234—238. Jin Tingxiang, Zhang Haichuan, Cheng Jian, et al. Application and research development of vacuum cooling[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(Supp.1): 234—238. (in Chinese with English abstract)
- [17] 贺素艳, 李云飞. 球形食品真空冷却过程中参数分析[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 205—208. He Suyan, Li Yunfei. Parametric analysis of spherical foods during vacuum cooling[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(6): 205—208. (in Chinese with English abstract)
- [18] 陈羽白, 林海英, 赵华海, 等. 菜心真空预冷效果的试验研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(5): 161—165. Chen Yubai, Lin Haiying, Zhao Huahai, et al. Effect of vacuum precooling for flowering Chinese cabbage[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(5): 161—165. (in Chinese with English abstract)
- [19] Brosnan T, Sun D W. PH—Postharvest Technology: Compensation for water loss in vacuum-precooled cut lily flowers[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2001, 79(3): 299—305.
- [20] 刘斌, 邹同华. 真空槽内不同装载率对真空预冷效果的影响[J]. 天津大学学报, 2007, 40(10): 171—175. Liu Bin, Zou Tonghua. Effect of packed rate in vacuum tank on vacuum pre-cooling[J]. Journal of Tianjin University, 2007, 40(10): 171—175. (in Chinese with English abstract)
- [21] 陈家盛, 宋小勇, 李云飞. 装载量对月季切花真空预冷主要品质的影响[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2010, 28(1): 76—81. Chen Jiasheng, Song Xiaoyong, Li Yunfei. Effects of vacuum chamber loadage on the cooling quality of cut rose[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University: Agricultural Science, 2010, 28(1): 76—81. (in Chinese with English abstract)
- [22] Chowdary G V, Prapulla D G. The influence of water activity on the lipase catalyzed synthesis of butyl butyrate by transesterification[J]. Process Biochemistry, 2002, 38(3): 393—397.

Influence of packed rate and compensated water on vacuum precooling of King oyster mushroom

Liu Bin¹, Zhu Longhua¹, Ye Qingyin¹, Yuan Ruixiang²

(1. Tianjin Key Lab of Refrigeration Technology, Tianjin University of Commerce, Tianjin, People Republic of China, 300134, China;

2. National Engineering Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products, Tianjin, People Republic of China, 300384, China)

Abstract: The compensated water in the vacuum cooling is helpful to reduce the water loss of the cooled products. The effects of packed rate and the compensated water before cooling on storage period of King oyster mushroom were investigated by experiments. The packed rate was 20%, 40% and 60% respectively. The compensated water was 0, 12 and 18 g/kg respectively. The initial temperature was 11°C and 16°C respectively. The results show that the pressure of boiling point will increase with the increasing of the packed rate, and precooling time of mushroom in the vacuum slot will prolong. The compensated water has little influence on the pressure of vacuum cooling, but has influences on water loss and precooling time of mushroom in the vacuum cooling process. After 14 days storage at 0°C, the mushrooms can keep good quality under the condition of 18g/kg compensated water and 20% packed rate.

Key words: vacuum, temperature, storage, vacuum precooling, mushroom, weight loss, packed rate