

强制通风预冷风速选择研究

刘 斌¹, 郭亚丽², 邹同华¹

(1. 天津商学院制冷系, 天津 300134 2. 大连理工大学动力系, 辽宁 大连 116024)

摘 要: 预冷是保证贮藏果蔬品质的一个重要措施。通过建立果蔬预冷时温度降速率、压力降速率及温度变化率的相关耦合式, 分析了在一定摆放方式条件下的最好预冷风速, 并通过预冷实验进行了验证。结果表明, 耦合式能与实验结果相符合, 并且在实验条件下, 预冷风速在 0.9~1.5m/s 时, 预冷方式能取得最好的效果。

关键词: 温度降; 压力降; 预冷; 冷藏链

Study on Selection of Supplying Air Velocity of the Forced-air Pre-Cooling

LIU Bin¹, GUO Ya-li², ZOU Tong-hua¹

(1. Department of Refrigeration Engineering, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300314, China
2. Department of Power Engineering, Dalian University of Science and Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Precooling is one of the important methods to protect the quality of the stored products. The optimum precooling air velocity on a certain stacked type was analyzed based on the couple formula of the falling rate of the temperature drop, the falling rate of the pressure drop and the change rate of the temperature of the stored products. The results were tested by the experiments. It showed that the couple formula could meet with the experiment result, and under the experimental conditions, when the precooling velocity was about 0.9m/s to 1.5m/s, there was an optimum economical result in the pre-cooling.

Key words: temperature drop; pressure drop; precooling; cold-storage chain

中图分类号 TS205.7

文献标识码 A

文章编号 1002-6630(2004)07-0181-03

果蔬在采摘后经迅速冷却后再进入贮藏, 所贮藏的时间能得到有效的延长。预冷方式有多种, 如冷风预冷, 真空预冷, 冷水预冷等众多方式^[1~3]。其中由于强制通风预冷方式的操作简易、投资少等优点, 在现有的产地预冷中得到广泛的运用。一般认为, 强迫通风的风速越大, 预冷时间就越少。在实际过程中, 风速越大, 通过预冷果蔬的压力降就越大, 这会增大风机的功率, 因此寻找一个适当的预冷风速从经济性方面来说是十分重要的。C.D. Baird 等^[4]从果蔬尺寸、形状、热物理性质、果蔬堆放方式等十几个方面考虑了强制通风预冷时的经济送风风速, 结论对果蔬贮藏是十分有益的, 但是计算较为复杂。本文则主要从两个方面考虑了经济送风风速的选择, 即果蔬温度降低的速度变化率和通过果蔬的压力降变化率。在一定时间内, 除其它影响因素外, 预冷风速增大, 果蔬温度就愈接近预冷风温度, 但这将增大冷风通过果蔬的阻力, 从这两方面考虑预冷风速是有实际意义的。

实验中我们采用了球形果蔬为研究对象, 下面所列出的方程在本文的实验条件下适用。在文献[5,6]中对球形果蔬强制通风预冷时温度的变化规律进行了实验分析, 在此基础上认为果蔬温度随堆放厚度的变化存在着关系式(1):

$$q = q_0 e^{-\frac{a}{\rho c_p D} t} + C q_0 \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{h}{Vz}}} \right) \quad (1)$$

式中, θ : 过余温度, 定义为 $\theta = t - t_0$, t 为果蔬瞬时温度(°C), t_0 为冷空气温度(°C);

θ_0 : 果蔬初始过余温度;

a : 对流换热系数($W/m^2 \cdot ^\circ C$);

ρ : 贮藏果蔬的密度(kg/m^3);

c_p : 贮藏果蔬的比热($J/kg \cdot ^\circ C$);

D : 果蔬的定性尺寸(m);

τ : 预冷时间(s);

C : 与贮藏果蔬种类有关的常数, 对番茄而言为0.285

1 相关方程的建立

收稿日期: 2003-10-28

作者简介: 刘斌(1975-), 男, 在职博士后, 主要从事冷链研究。

V : 通过果蔬的风速(m/s);

h : 预冷果蔬的堆放厚度(m), 等于果蔬离送风口的中心距

ξ : 果蔬堆放的空隙率。

文献[7]认为, 对于球形果蔬与冷空气的对流换热系数 a 存在着式(2):

$$a = 0.37 I_{air} Re^{0.6} / D \quad (2)$$

式中, λ_{air} : 空气的导热系数($W/m \cdot ^\circ C$);

Re : 雷诺数, $Re = VD/\nu$, ν 为运动粘滞系数(m^2/s)。

从式(1)中可以看出, 在强制通风预冷中, 果蔬的过余温度由两部分决定, 即由果蔬自身的物性和其在堆放中的位置决定。

对于强制通风预冷时的压力降, 有众多学者进行过研究, 在实验研究的基础上认为通过果蔬的压力损失可以用式(3)表达:

$$\Delta p = 6.03 * V^{1.92} D^{-0.125} h / z^3 \quad (3)$$

式中, Δp : 压力损失(Pa)

从式(1)和式(3)可以看出, 预冷所需要的时间与压力降是成反比的。在一定条件不变的情况下, 随着风速的增大, 预冷时间缩短, 通过果蔬的压力降增大, 但两者的变化关系不一样。随着风速的增大, 温度降的变化率是降低的, 而压力降的变化率是增大的, 因此寻找两者的优化组合是必要的。

在预冷研究中有一重要指标是在规定时间内降低的温度或是在达到规定温度所需要的时间, 本文以温度降的变化率、压力降的变化率及在4h内的温降值为考虑对象, 认为当这三者达到某个值时预冷效果达到最优, 即存在着优化函数式(4):

$$\max(f(\frac{\Delta q}{q_0}, \frac{q}{q_0}, \frac{\Delta p'}{\Delta p})) \quad (4)$$

式中 $\Delta \theta$ 为果蔬4h内的温降值, θ' 表达送风速度变化时果蔬4h后过余温度的变化, θ 为果蔬预冷4h后的过余温度值, $\Delta p'$ 为送风速度变化时压力降的变化。

当 f 函数为最大值时有最好的预冷效果。设定 f 函数为式(5):

$$f(\frac{\Delta q}{q_0}, \frac{q}{q_0}, \frac{\Delta p'}{\Delta p}) = \frac{\Delta q}{q_0} \times \frac{q}{q_0} / \frac{\Delta p'}{\Delta p} \quad (5)$$

式(5)的意义表示当其它条件不变时, 在一定时间内, 随着预冷风速的变化, 果蔬温度值的变化、温度随风速的变化率及压力降随风速的变化率之间偶合关系。当 f 值取得最大时, 预冷风速匹配达到最佳。图1显示了两组计算结果, 条件为: 贮藏果蔬为蕃茄, 直

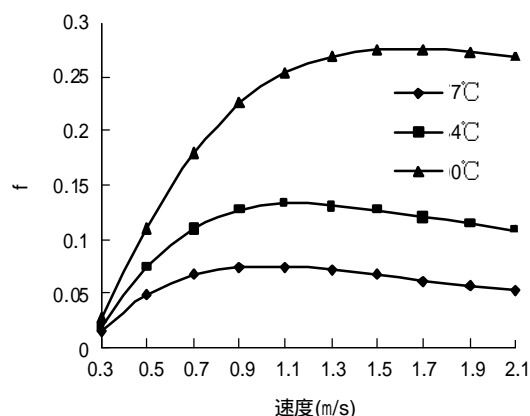


图1 f 随风速度化值

Fig. 1 The “f” versus air velocities

径为56mm, 密度为1015(kg/m^3), 比热为3980($J/kg \cdot ^\circ C$), 堆放方式为方体($600mm \times 300mm \times 240mm$), 初始温度为25 $^\circ C$, 预冷风的温度分别为4 $^\circ C$ 和7 $^\circ C$ 和0 $^\circ C$, 预冷时间为4h, 风速从0.3m/s到2.1m/s变化时 f 值的变化关系。从图1可以看出, f 值在随着风速的变化而变化的过程中存在着最大值。以预冷温度7 $^\circ C$ 为例, 可以发现当风速在0.9m/s至1.1m/s中间时, f 值有最大值, 在这速度范围之外, f 值都要小, 并随着速度的降低或是升高而减小。比较不同预冷温度时的 f 值的变化曲线可以看出, 随着预冷温度的降低, f 值出现最大时的风速在增大。当预冷温度为4 $^\circ C$, f 值最大时预冷风速为1.1m/s至1.3m/s; 预冷温度为0 $^\circ C$, f 值最大时预冷风速为1.5m/s至1.7m/s。主要原因可能是随着预冷温度的降低, 温度降的变化率减小, 而增大风速有利于提高果蔬表面的对流换热系数, 增加温度降的变化率, 所以 f 值出现最大时的风速值随预冷温度的降低而增大。

2 结果的比较与讨论

在强制通风预冷实验台上对番茄进行了比较实验, 实验条件为: 番茄的实验初始温度为25 $^\circ C$, 直径为56mm, 摆放方式为方体($600mm \times 300mm \times 240mm$), 空隙率为48.8%, 番茄的密度为1015(kg/m^3), 比热为3980($J/kg \cdot ^\circ C$)。送风速度通过变频风机控制, 分别为0.8、1.0、1.2、1.5、1.8m/s。测量数据为在不同预冷温度下的不同预冷风速经过4h预冷后, 堆放中心番茄所达到温度和此时的压力降。图2至图4显示了两种预冷温度下的实验值与计算值的比较。

从图2和图3可以看出, 由公式(1)计算的温度变化曲线与实验所测量的温度变化曲线是很接近的, 最大误差不超过 $\pm 10\%$ 。图中的实验值曲线显示温度在随风速的变化过程中, 温度变化存在极值, 这是计算值所没

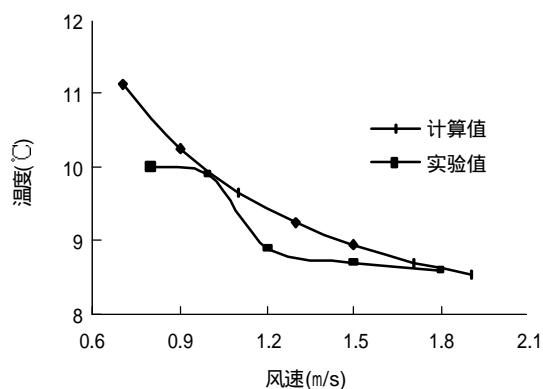


图2 预冷温度为7℃时的番茄温度随风速的变化曲线
Fig. 2 The temperature of tomatoes versus air velocities at 7℃ for precooling

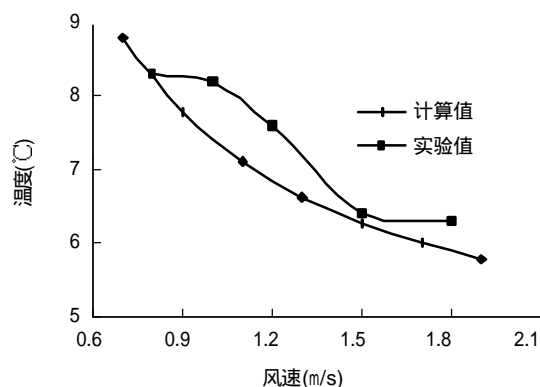


图3 预冷温度为4℃时的番茄温度随风速的变化曲线
Fig. 3 The temperature of tomatoes versus air velocities at 4℃ for precooling

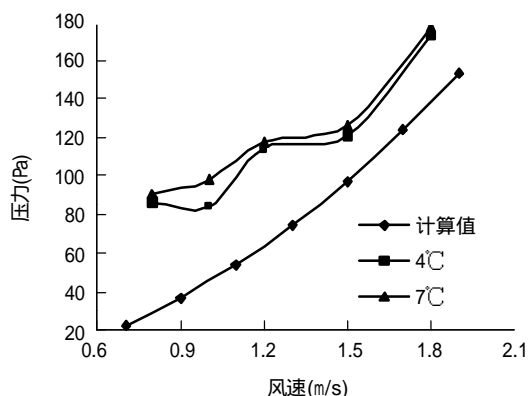


图4 压力降的变化曲线
Fig. 4 The pressure drop versus air velocities

有体现出来的。从图2中发现,预冷温度为7℃时,温度转折点在风速1.2m/s附近,即风速小于1.2m/s时,随着风速的增加,番茄温度会迅速降低,而当风速增至

1.2m/s以上时,随着风速的进一步增加,番茄温度降低的速度就比较缓慢了;从图3中发现,预冷温度为4℃时,温度转折点在1.5m/s的附近。从图4中的压力降的实验变化曲线可以看出,压力降的变化如温度降一样,也存在着类似情况,但是压力降产生转折点的风速不随着预冷温度的变化而变化。当预冷温度分别为4℃和7℃时,产生压力降转折点的风速都在1.2m/s附近,产生这种转折的原因是多方面,有可能是测量因素造成,或者是在预冷过程中就是存在着这种关系,如由于堆放形式、开孔形式与大小等因素而使某处的压力产生突然的衰减。但是压力降的计算式(3)不能体现出这种变化,而是和由温降、压力降变化率及温度变化率所得到的偶合式(5)计算所得的最佳预冷风速与实验中发生转折点处的风速还是能较好地符合。

3 结论

从上面的分析可知,对于一定果蔬的强制通风预冷存在着最佳的预冷风速。当果蔬名称、摆放方式等已知时,最佳预冷风速还受到预冷温度的影响,随着预冷温度的降低,最佳预冷风速增大。计算和实验的结果显示,实验结果和计算值能较好地符合,并且在文中的条件下,预冷风速在0.9m/s至1.5m/s时,有比较好的优化结果。

参考文献:

- [1] 车凤斌. 预冷是提高保鲜质量的重要技术措施[J]. 保鲜与加工, 2(2):6.
- [2] Tadhg Brosnan, Da-Wen Sun. Precooling techniques and application for horticulture products—a review[J]. International Journal of Refrigeration, 2001, 24:154-170.
- [3] Guillou R. Coolers for fruits and vegetables[J]. Calif Agr Exp Sta Bull, 1960. 773.
- [4] Baird C D, Gaffney J J, Tabbot M T. Design criteria for efficient and cost effective forced air cooling system for fruits and vegetables[J]. ASHRAE Transactions, 1988, 92:1434-1441.
- [5] 刘斌. 微型冷库系统优化研究[D]. 天津大学: 博士学位论文, 2003.
- [6] 郭亚丽. 番茄差压预冷理论与实验研究[D]. 天津商学院硕士学位论文, 2000.
- [7] 周祖谔. 农业物料学[M]. 北京: 农业出版社, 1990.