

④

水果

冷藏

干耗

湿度

散湿因子

第16卷 第2期
1994年6月

重庆建筑工程学院学报
J. Chongqing Inst. of Archit. & Engin.

Vol. 16 No. 2
June 1994

33-36

水果在冷藏过程中的干耗研究

陈启高 唐鸣放

(建筑城规学院)

TU 111.1

A 摘要 用湿迁移规律研究水果冷藏过程中的干耗问题,说明冷藏中库温保持恒定下水果的干耗与库内空气的温度、湿度以及水果的散湿因子有关。为实际中采用的各种减少干耗的有效措施提供理论根据,也为提出新的措施提供技术指导。

关键词 干耗. 湿度. 散湿因子. 干燥综合指数

中图法分类号 TU111.1

国内水果冷库普遍存在干耗大的问题。文献[1][2][3]对此进行了深入的研究。干耗原因归纳起来为:冷库绝缘不良,传热过大;排管供冷引起管壁与库内温差过大。这样热迁移带动湿从高温向低温迁移,导致水果水份损失,失去鲜味。针对这些原因,文献提出在冷库绝缘层一侧增设空气间层,增强绝缘性;采用冷风机夹壁回风给冷工艺,减少库内温差。这些措施的要点在于减少热迁移,从而减少由此引起的湿迁移。这无疑是减少干耗最重要的措施。

在一定库温下,根据湿迁移规律,只要库内空气湿度没有达到饱和就会发生湿迁移。而库内湿度又不允许达到饱和,因为那样空气中的水蒸汽就会在水果表面凝结,滋生霉菌,增大腐果率。因此干耗总是存在的。本文正是研究这种环境下的干耗过程,力求找出与干耗相关的诸种因素。这些因素与上面提到的文献研究过的因素一起构成了现实水果冷库中全面的干耗问题。如果以这些研究为根据,采取相应措施,就能使干耗减少到最小程度。

1 水果上的湿交换

假设库内空气温度和水果温度均近似恒定为热力学温度 T , 库内除水果外无湿源。根据湿迁移规律^[4], 从水果表面进入库内的比湿流可以写成: $q_m = \alpha_m(\theta - \theta_s)$ (1)

式中 q_m 是比湿流; α_m 是湿交换系数; θ, θ_s 分别是库内和水果表面空气中的水蒸汽迁移势。

由湿迁移势定义: $\theta = e / P$ (2)

比湿流 q_m 还可写成: $q_m = \alpha_m / P(e - e_s)$ (3)

式中 P 是库内空气压力, e, e_s 分别是库内和水果表面空气中的水蒸汽分压力。

由于水果中水分含有糖、酸等成分的连接,且有表皮和包装等的影响,所以在(3)式中的水果表面的水蒸汽分压力 e_s 并非是温度 T 下的饱和压力 E 。因此可用系数 $k(0 < k < 1)$ 来调整。即令 $e_s = kE$, 并把 k 近似的看成常数,这样 $q_m = \alpha_m(kE - e) / P$

* 收稿日期: 1993-06-29

陈启高, 69岁,男,教授,博士生导师. 重庆建筑大学建筑城规学院(630045)

即
$$q_m = \frac{a_m R}{P} (k - \varphi_1) \quad (4)$$

式中 φ_1 是库内空气相对湿度。为了不发生水蒸汽在水果表面凝结,总要求有 $\varphi_1 < k$ 。

在时间从 τ 到 $\tau + \Delta\tau$ 时,建立湿平衡方程:

$$V_1(\rho_1(\tau + \Delta\tau) - \rho_1(\tau)) = q_m S_1 \Delta\tau \quad (5)$$

(库内之空气增湿)(水果散湿)

式中 S_1 是一个水果的表面散湿面积; V_1 是一个水果所占的平均库容空间; $\rho_1(\tau)$ 是时刻 τ 时库内空气中水蒸汽的容积浓度。

因为理想气体状态方程为:
$$e = \rho RT / \mu \quad (6)$$

式中 e 是气体压力; ρ 是气体的容积浓度; μ 是气体的分子量,对于水蒸汽 $\mu_w = 18\text{kg/kmol}$; R 是普适气体常数, $R = 8.3144\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$; T 是热力学温度。

将(6)式用于水蒸汽,再将(4)式中的 q_m 一起代入(5)式,经整理后得到湿平衡微分方程:

$$\frac{d\varphi_1}{d\tau} = \frac{S_1 a_m R T}{V_1 P \mu} (k - \varphi_1) \quad (7)$$

定义单位库容空间上的水果散湿面积 S_1/V_1 为散湿因子。令干燥综合指数

$$G = \frac{S_1 a_m K_1}{V_1 P \mu} \quad (8)$$

则
$$\frac{d\varphi_1}{d\tau} = G(k - \varphi_1) \quad (9)$$

积分得解:

$$\varphi_1 = k - (k - \varphi_0) e^{-G(\tau - \tau_0)} \quad (10)$$

式中 $\varphi_0 = \varphi_1(\tau_0)$

2 讨论

1. 由湿度曲线图 1, φ_1 是随时间递增的凸向上的曲线。当 $\tau \rightarrow \infty$ 时 $\varphi_1 \rightarrow k$ 。这表明水果在库内长期冷藏时,库内空气的湿度必然会接近水果上的饱和湿度。

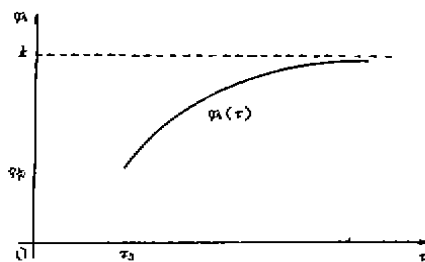


图 1 水果库的相对湿度

2. 干燥综合指数 G 是一个能够评价库内湿环境的数。 G 越大库内空气增湿就越快。 G 与 φ_1 的关系见图 2。由于 G 与 S_1/V_1 、 a_m 、 T 成正比,与 P 、 μ 成反比,因此库内空气增湿的快慢直接由散湿因子、湿交换系数、库内气温和气压四者共同决定。库温高,库内空气增湿就快;库内

气流速度快时,水果表面湿交换系数就大,从而库内空气增湿也就快;当库内水果装货量多时,散湿因子就大,因而库内空气增湿也快;增大库内气压,库内空气湿度增加就缓慢。这些都与实际情况相符合。

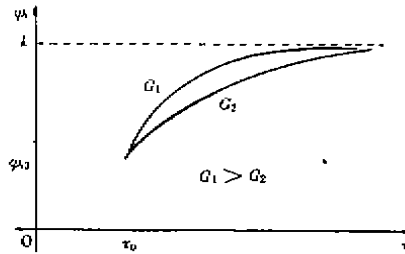


图 2 干燥综合指数的作用

3. 将(10)式代入(2)式得:

$$q_m = \frac{\alpha_m E}{P} (k - \varphi_0) e^{-\alpha(\tau - \tau_0)} \quad (11)$$

从时间 τ_0 到 τ , 单位表面积水果的总散湿量 Q_m 为:

$$\begin{aligned} Q_m &= \int_{\tau_0}^{\tau} q_m d\tau = \int_{\tau_0}^{\tau} \frac{\alpha_m E}{P} (k - \varphi_0) e^{-\alpha(\tau - \tau_0)} d\tau = \frac{\alpha_m E}{PG} (k - \varphi_0) (1 - e^{-\alpha(\tau - \tau_0)}) \\ &= \frac{V_1 E \mu}{S_1 TR} (k - \varphi_0) (1 - e^{-\alpha(\tau - \tau_0)}) = \frac{\rho_s}{S_1} (k - \varphi_0) (1 - e^{-\alpha(\tau - \tau_0)}) \end{aligned}$$

取 $\tau \rightarrow \infty$ 时就得到极限散湿量:

$$Q_{lim} = \frac{\rho_s}{S_1} (k - \varphi_0) \quad (13)$$

Q_{lim} 的意义如下:

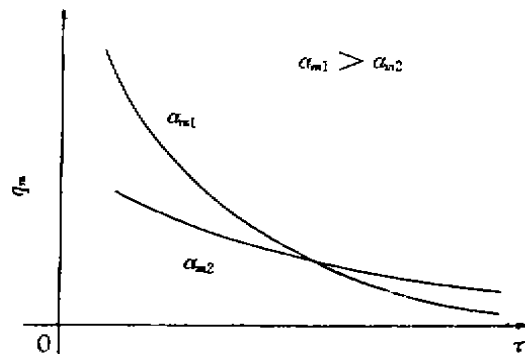


图 3 湿交换系数对散湿过程的影响

(1) Q_{lim} 与水果表面湿交换系数 α_m 无关。这可以从(11)式得到解释。 q_m 与 α_m 的关系见图 3。对于大的湿交换系数,比湿流开始很大,后来急聚减小,呈现出“大起大落”的样子。对于小的湿交换系数,比湿流则缓慢减小,呈现出“细水长流”的样子。不管是“大起大落”还是“细水长流”,它们各自的总和是相等的。在实际中,湿交换系数大时,库内空气增湿就快,这反过来又抑制了水果表面的散湿,使得散湿量减少。但总的散湿量基本保持不变。

(2) Q_{lim} 由 $\rho_s, S_1/V_1, k - \varphi_0$ 三者共同决定。由于 ρ_s 与 T 成正比, 因此极限散湿量实际是与库温成正比、与散湿因子成反比, 随库内初始湿度减小而线性增加。库内水果的干耗直接由这些因素决定。

3 结论

水果干耗与多种因素有关。在恒温冷藏的情况下, 水果冷藏的最大干耗量只与库温、库内湿度和散湿因子有关。因此尽可能的降低水果冷藏温度, 提高库内湿度、增大散湿因子就能保证将水果的干耗减小到最低程度。如果水果是短期冷藏, 那么还应该减小库内气流速度, 减小水果表面湿交换系数才能保证干耗尽量小。当然这些措施还必须要与文献 [1][2][3] 中提出的措施一起采用才能真正起到将干耗减小到最低程度的作用。

参 考 文 献

- 1 陈启高. 冷库与地下冷库的最佳冷藏热状态的建立. 科技资料81-69号. 重庆建筑工程学院科技情报科
- 2 陈启高. 地上冷库热功能的质量检测及优化设计. 科技资料84-001号 重庆建筑工程学院科技情报科
- 3 陈启高. 房屋围护结构中的热湿迁移计算与设计理论. 重庆建筑工程学院印刷厂. 1990
- 4 陈启高. 建筑热物理基础. 西安交通大学出版社. 1991

(编辑:徐维森)

STUDY ON THE PROCESS OF MASS LOSS FOR FRUIT IN A COLD STORAGE

Chen Qigao Tang Minefang

(Faculty of Architecture and Urban Planning)

ABSTRACT This paper discusses the process of mass loss for fruit in a cold storage with theory of mass transfer and shows that fruit mass loss under constant storage temperature is relative to the temperature, humidity and moisture diffusive factor, which can give theoretical base for some actual methods for measuring technique decreasing mass loss.

KEY WORDS mass loss by drying, humidity, moisture diffuse factor, dry summing index