

柑桔湿冷通风贮藏库的设计及效果分析

王日葵, 周 炼, 韩爱华

(国家柑桔工程技术研究中心, 中国农业科学院柑桔研究所, 西南大学柑桔研究所, 北碚 400712)

摘 要: 为开发节能高效的柑桔贮藏保鲜库, 通过设计、性能测试、贮藏试验, 研制出湿冷通风库。库体总热阻为 $5.07 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$, 耗能为 $2.27 \text{ kW} \cdot \text{h}/100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}$, 比普通冷库减少能耗 50%; 温度可降至 -5°C 以下, 自动控制精度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$; 相对湿度可升到 99%, 自动控制精度 $\pm 2\%$ 。锦橙、椪柑在湿冷通风库中贮藏的呼吸强度分别为 4.29 、 $2.34 \text{ mg/kg} \cdot \text{h}$, 锦橙湿冷通风贮藏 150 d 腐烂率为 6.32%, 椪柑湿冷通风贮藏 120 d 腐烂率为 5.38%, 腐烂率明显低于在改良通风库贮藏 (锦橙 10.67%、椪柑 12.04%)。锦橙湿冷通风库贮藏 150 d, 有机酸质量浓度 $0.58 \text{ g}/100 \text{ mL}$ 、总糖质量浓度 $8.33 \text{ g}/100 \text{ mL}$ 、维生素 C 质量浓度 $41.11 \text{ mg}/100 \text{ mL}$, 椪柑湿冷通风库贮藏 120 d, 有机酸质量浓度 $0.22 \text{ g}/100 \text{ mL}$ 、总糖质量浓度 $6.41 \text{ g}/100 \text{ mL}$ 、维生素 C 质量浓度 $15.62 \text{ mg}/100 \text{ mL}$, 品质和风味也优于通风库贮藏。结果表明, 湿冷通风贮藏是具自然冷源降温、机械制冷、加湿功能节能的贮藏设施, 柑桔贮藏效果良好。

关键词: 贮藏, 制冷, 湿度控制, 湿冷通风库, 地下通风, 柑桔

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.11.060

中图分类号: S379 TS203

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-11-0355-06

王日葵, 周 炼, 韩爱华. 柑桔湿冷通风贮藏库的设计及效果分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 355—360.

Wang Rikui, Zhou Lian, Han Aihua. Design and effect analysis of citrus ventilating storehouse with refrigerating and wetting systems[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11): 355—360. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

贮藏保鲜库是提供新鲜农产品适宜的温度、湿度和气体成分的场所, 在生产中需考虑其使用效果和运行成本, 以高效、节能、适用于多种农产品、可周年使用为发展方向。目前, 应用于农产品贮藏保鲜的设施主要有地窖^[1]、联拱窖^[2]、通风库^[3]、冷库^[4-7]、气调库^[8-9]等。地窖、联拱窖、通风库等设施无法按要求控制温度和湿度, 地窖还存在操作不方便、贮量小、占地面积大、利用自然冷源降温速度慢等缺点; 联拱窖建库地形要求高、操作不方便、利用自然冷源降温速度慢。冷库能按要求调节温度和湿度, 但无法利用自然冷源, 运行成本高; 气调库能按要求调节温度、湿度和气体成分, 但同冷库一样无法利用自然冷源, 建库和运行成本高, 操作技术复杂, 适用于呼吸高峰型果蔬的贮藏。冷库可通过保温外围结构、制冷设备合理使用和电脑控制实现节能^[10-14], 蓄冷技术的应用也可节能^[15], 自然冷源的利用是实现冷库节能的重要途径, 机冷通风库作为自然冷源利用和机械制冷相结合的节能贮藏设施已开始应用^[3,16]。

为解决目前柑桔贮藏设施存在问题, 如常温贮藏设施在高温季节和高温地区贮藏效果差、制冷贮藏设施能耗高, 开发了高效、节能的柑桔贮藏库。参考了改良通风库的库体结构和冷库的保温结构, 通过设计、性能测试、贮藏效果试验等, 旨在研发出具有利用自然冷源、

制冷、加湿功能的节能库。

1 材料与方法

1.1 库房的研制

1.1.1 库房设计的性能要求

在对现有通风库、冷库等柑桔贮藏设施调查研究的基础上, 参考了改良通风库的库体结构和冷库的保温结构^[3-7], 采用了先进制冷和加湿系统, 以高效、节能、实用为主要目标进行湿冷通风库设计, 即库房可周年使用、能耗比普通冷库低 30% 以上、贮藏柑桔量 $0.75 \text{ t}/\text{m}^2$ 。

柑桔贮藏保鲜库设计的基本性能要求: 国家行业标准《NY/T1189—2006 柑橘贮藏》要求柑桔贮藏库内适宜条件^[17], 温度: 甜橙类和宽皮柑桔类 $5\sim 8^\circ\text{C}$, 柚类 $5\sim 10^\circ\text{C}$, 柠檬 $12\sim 15^\circ\text{C}$; 相对湿度: 甜橙类和柠檬 90%~95%; 宽皮柑桔类和柚类 85%~90%; 平均风速: 非制冷贮藏为 $0.05\sim 0.10 \text{ m/s}$, 制冷贮藏为 $0.15\sim 0.30 \text{ m/s}$ 。本试验要求温度控制范围 $-5\sim 50^\circ\text{C}$, 精度 0.1°C ; 相对湿度测定范围 40%~99%, 精度 3%; 贮藏间容量 $10\sim 100 \text{ t}$; 柑桔制冷贮藏设施的保温性能, 参照国家标准《GB 50072—2001 冷库设计规范》中的冷间楼面保温指标, 总热阻应大于或等于 $4.08 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (温差 $23\sim 28^\circ\text{C}$), 并参考了龚海辉^[18]、巩增友^[19]、刘斌^[20]等研究结果进行保温设计。

1.1.2 性能测试

总热阻: 测定空库某一时段的耗电量, 记录库内、外温度, 测算库体表面积, 测得库房墙体、库顶、库底六面的总热阻。库内、外温度, 用意大利帝思 (DIXELL) 自动温控器测定; 库内温度: 设计温度 $0\sim 5^\circ\text{C}$, 平均温度 2.5°C 为库内温度; 库外温度: 记录每天昼夜最高到最低多点温度, 计算出平均温度为库外温度。库体表面积:

收稿日期: 2010-01-21 修订日期: 2010-07-14

基金项目: “十一五”国家科技支撑项目 (2006BAD22B01、2006BAD22B03、2006BAD22B04、2007BAD47B02); 农业科研专项 (nyhyzx07-023)

作者简介: 王日葵 (1962—), 男, 广西合浦人, 副研究员, 从事果蔬采后机理、贮藏保鲜及商品化处理技术研究。北碚 中国农业科学院柑桔研究所, 400712。Email: ewrk@163.com

用标尺测量库房的底、顶、前、后、左、右六面边长, 计算面积总和为库体表面积。热阻计算按公式: 热阻 ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$) = 库体表面积 (m^2) \times 库内外温差 ($^\circ\text{C}$) \times 运行时间 (h) / 实际耗电 ($\text{kW} \cdot \text{h}$)。

平均风速: 用热球式电风速计 (北京环境保护仪器厂产, 测量范围 $0.05 \sim 10 \text{ m/s}$, 误差 $< 2\%$) 测定风速, 在贮藏间前端的左面、中间和右面取 3 个测定点, 同样在贮藏间中部、后端分别取 3 个测定点, 测定每个测定点上、中、下 3 个高度的风速, 计算平均值。

降温加湿测试: 温度用意大利帝思 (DIXELL) 自动温控器测定 (测定范围 $-50 \sim 150^\circ\text{C}$, 精度 0.1°C), 湿度用意大利帝思 (DIXELL) 自动湿度控制器测定 (相对湿度测定范围 $0 \sim 99\%$, 精度 3%)。

1.2 库房的贮藏效果

1.2.1 贮藏柑桔品种

在重庆北碚区歇马镇冯家槽果园 10 年生树采收八成熟的锦橙、椪柑, 经防腐保鲜处理、塑料薄膜单果包装后, 贮藏于湿冷通风库和改良通风库, 设锦橙湿冷通风库贮藏、锦橙改良通风库贮藏、椪柑湿冷通风库贮藏、椪柑改良通风库贮藏 4 个处理, 每处理 300 个果, 分 3 次重复, 湿冷通风库中温度 $6 \sim 8^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $90\% \sim 95\%$, 改良通风库中温度 $10 \sim 20^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $80\% \sim 90\%$ 。

1.2.2 呼吸强度测试

果实的呼吸强度测试, 按杨振生^[21]用碱液静置吸收法, 分别在湿冷通风库和改良通风库中测定, 将样品置于干燥器中, 干燥器底部放入定量碱液, 果蔬呼吸释放出的 CO_2 被碱液吸收, 静置一定时间后取出碱液, 用酸滴定, 计算出样品的呼吸强度。

1.2.3 腐烂率观测

每月定期对各处理 3 个重复 (300 个果) 调查果实腐烂率; 因机械伤、病菌入侵或生理病变使果皮或果肉出现溃烂、水渍状软化状的果实为腐烂果; 计算公式, 腐烂率 = (腐烂果数 / 调查果实总数) $\times 100\%$ 。

1.2.4 品质测定

总糖的测定, 按标准《GB/T 6194—1986 水果、蔬菜可溶性糖测定法》^[22]; 有机酸的测定, 按标准《GB/T 12456—2008 食品中总酸的测定》中酸碱滴定法^[23]; 维生素 C 的测定, 按标准《GB/T 6195—1986 水果、蔬菜维生素 C 含量测定法 (2,6-二氯酚酚滴定法)》^[24]; 可溶性固形物的测定, 按标准《GB 12295—1990 水果、蔬菜制品可溶性固形物含量的测定—折射仪法》^[25]。果汁率测定: 果实称质量、对半切开、榨取果汁后, 果皮和果渣剥离, 果渣榨干, 对果皮和果渣称质量, 计算得出果汁率, 计算公式, 果汁率 = ((果实质量 - 果皮质量 - 果渣质量) / 果实质量) $\times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 湿冷通风库的结构设计

在保鲜库性能要求的基础上, 设计出湿冷通风库, 结构如图 1、2、3。库体由缓冲间和贮藏间构成。缓冲间和贮藏间均为长方体结构, 缓冲间在贮藏间库门侧并与贮藏间相连; 缓冲间: 墙体是中空砖墙, 库底为混凝土结构,

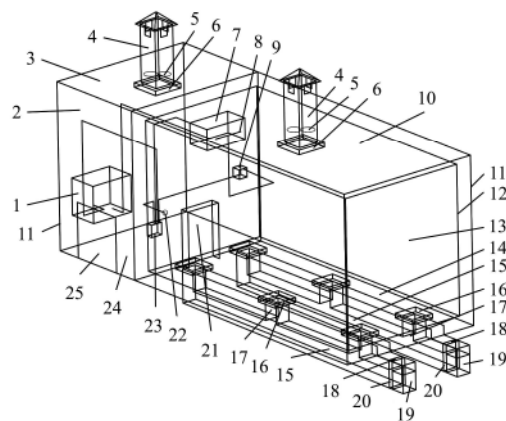
库顶为空心混凝土结构; 贮藏间: 墙体由中空砖墙和保温板构成, 库底由混凝土层、防水层和保温板构成, 库顶由空心混凝土和保温板构成。贮藏间设两条地下通风道, 通风道从贮藏间地下通向库外 (不与缓冲间连通)。试验库的每个贮藏间高度 5 m 、面积 13.4 m^2 、体积 66.78 m^3 。

制冷系统, 冷凝机组 (压缩机组和冷凝器) 安装在库外, 冷风机和温度感应器安装在贮藏间, 温度控制器安装在缓冲间, 压缩机、冷凝器、冷风机和温度感应器连接在温度自动控制器上, 连接电源, 构成自动控制的制冷系统。

加湿系统, 安装电极式加湿器时, 湿度感应器安装在贮藏间内, 加湿喷头安装在冷风机出风口, 加湿器和湿度控制器安装在缓冲间内, 加湿器连接自来水管, 加湿器、冷风机连接在湿度自动控制器上, 连接电源, 构成加湿和湿度自动控制系统。安装超声波加湿器时, 与电极式加湿器不同的是, 超声波加湿器不需加湿喷头, 而安装了与贮藏间相通的进汽管和回汽管。电极式加湿器价格较低, 但加湿时水汽温度升高, 易使库房温度波动; 超声波加湿器价格较高, 但具有加湿时水汽温度不变的优点, 本试验因经费等原因, 用电极式加湿器。

通风系统由地下通风道、库顶通风窗和机械排风设备构成。贮藏间和缓冲间设库顶通风窗并安装排风扇, 连接电源, 即可机械排风。

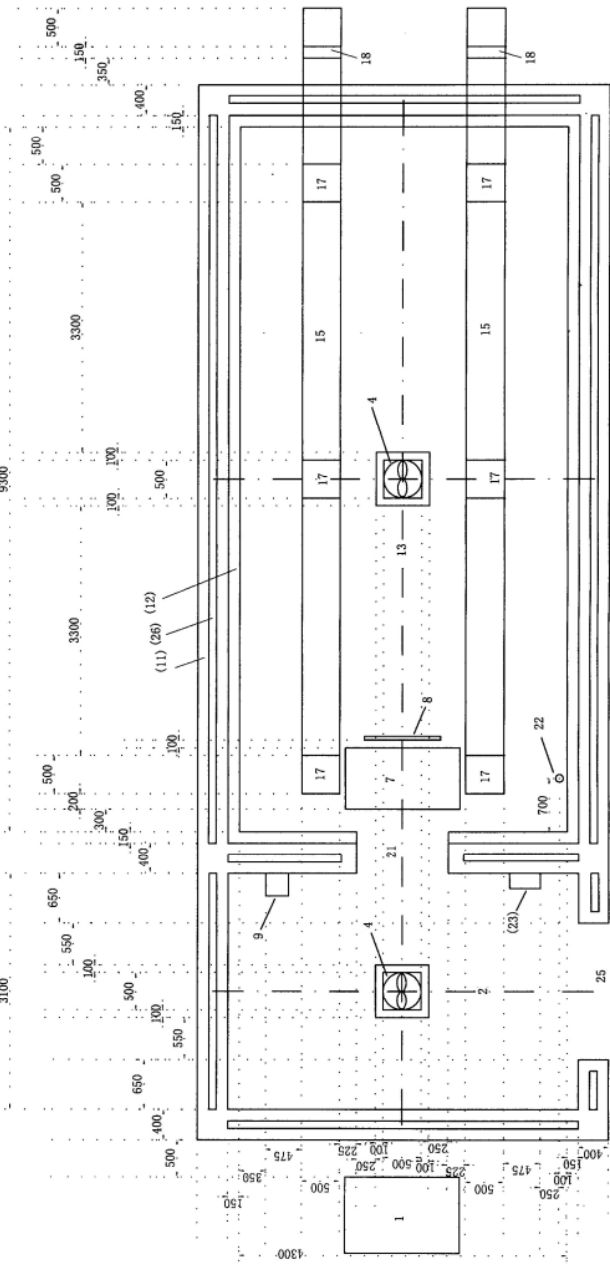
自然冷源利用和制冷降温功能结合及运转模式转换: 1) 当室外平均气温低于柑桔适宜贮藏温度时, 关闭制冷系统, 启动通风贮藏模式, 该模式通过人工操作地下通风系统, 利用自然冷源调节库内温度。2) 当室外平均气温高于柑桔适宜贮藏温度时, 关闭地下通风系统, 开启制冷系统, 转换成制冷贮藏模式, 在温度自动控制器中把温度设置在所需范围内, 实现制冷和温度自动控制。3) 在通风贮藏模式或制冷贮藏模式中, 如湿度过低, 开启加湿系统, 在湿度自动控制器中把相对湿度设置在所需范围内, 湿度即可自动调节。



1.冷凝机组 2.缓冲间 3.缓冲间库顶 4.库顶通风窗 5.排风扇 6.库顶通风窗密封板 7.冷风机 8.加湿喷头 9.加湿器 10.贮藏间库顶 11.保温砖墙 12.库体保温板 13.贮藏间 14.贮藏间库底 15.地下通风道 16.地下通风道出风口密封板 17.地下通风道出风口 18.地下通风道进风插板口 19.地下通风道进风口 20.地下通风道进风插板 21.贮藏间库门 22.温度、湿度感应器 23.温度、湿度自动控制器 24.缓冲间库底 25.缓冲间库门

图 1 湿冷通风库结构透视图

Fig.1 Stereoscopic construction of the ventilating storehouse with refrigerating and wetting systems



注：26.墙体空心层；其它同图 1

图 2 湿冷通风库俯视图
Fig.2 Planform of the ventilating storehouse with refrigerating and wetting systems



图 3 湿冷通风库贮藏柑桔
Fig.3 Citrus store in the ventilating storehouse with refrigerating and wetting systems

2.2 湿冷通风库的主要性能

按 1.1.2 的方法测试得出，200 mm 砖墙与厚 150 mm、体积质量为 18 kg/m³ 聚苯乙烯保温板库体结构的墙体、库顶、库底六面的总热阻为 5.07 m²·℃/W。见表 1。该库总热阻高于国家标准《GB 50072—2001 冷库设计规范》中的冷间楼面总热阻指标（4.08 m²·℃/W）（温差 23~28℃），也远远高于改良通风库总热阻（1.50 m²·℃/W）。结果表明，在 200 mm 砖墙结构中，用厚 150 mm、体积质量为 18 kg/m³ 聚苯乙烯保温板作保温层是适宜的。湿冷通风库的建库材料、工艺复杂性与冷库相同，可见，其建造成本与冷库相同，为每平方米 2 000~2 500 元。

表 1 湿冷通风库房耗电量

Table 1 Electric power consumption of the ventilating storehouse							
库内温度/℃	库外温度/℃	库内外温差/℃	运行时间/h	总耗电/(kW·h)	库体耗电(交换率90%)/(kW·h)	库体表面积/m ²	热阻/((m ² ·℃)·W ⁻¹)
2.5	24	21.5	24	12	10.8	106.14	5.07

经测定得出，自然通风情况下库房内平均风速为 0.054 m/s，机械通风（每 66.78 m³ 的贮藏间及其缓冲间安装的排风扇功率 40 W）情况下库房内平均风速为 0.105 m/s，制冷情况下库房内平均风速为 1.633 m/s，符合柑桔的常温和制冷贮藏要求^[3,17]。见表 2。

表 2 湿冷通风库风速测定记录

Table 2 Wind velocity in the ventilating storehouse				m·s ⁻¹
库房部位及标准对比	通风方式			
	制冷	机械通风	自然通风	
前-中	1.033	0.063	0.067	
前-左	1.267	0.093	0.063	
前-右	1.267	0.057	0.073	
中-中	1.533	0.103	0.027	
中-左	2.233	0.367	0.037	
中-右	2.300	0.100	0.057	
后-中	1.933	0.033	0.063	
后-左	1.367	0.067	0.050	
后-右	1.767	0.063	0.047	
平均	1.633	0.105	0.054	
NY/T1189-2006 柑橘贮藏要求	0.15~0.30		0.05~0.10	

库房降温加湿速度快，经多次重复空库运转测试，库温从 27℃ 降到 0℃ 需要 39 min，每分钟降 0.70℃，库房温度可降至 -5℃ 以下，控制精度 ±0.1℃；当贮藏量为库容的 50% 时，库温从 27℃ 降到 0℃ 需要 120 min。经测算，每个贮藏间体积 66.78 m³，库容量为 10 t（利用率 70%，即高度 5 m 的库房贮藏柑桔 0.75 t/m²），围护结构每间日耗电 12 kW·h，根据刘小勇报道^[10]，小型贮量 15 t 时，果菜前期预冷、降温阶段单机日耗电量 40~50 kW·h，库温稳定后日耗电量约为 7~8 kW·h，可见 66.78 m³ 的贮藏间安装的压缩机功率以 2.0~2.5 kW 为宜，冷凝器和冷风机的功率与之相匹配。

贮藏间（66.78 m³）安装的电极式加湿器，功率选用

1.5 kg/h 出汽量, 空库中相对湿度从 70% 升到 96% 需要 3 min, 工作时间为停机时间的 25%~35%, 相对湿度每分钟提高 8.7%, 库房相对湿度可升到 99%, 控制精度 $\pm 2\%$ 。库房加湿和制冷耗电能: $2.27\text{ kW}\cdot\text{h}/(100\text{ m}^3\cdot\text{h})$, 比

单制冷多耗电能: $0.27\text{ kW}\cdot\text{h}/(100\text{ m}^3\cdot\text{h})$, 加湿效果良好。见表 3。当贮藏量为库容的 50% 时, 相对湿度从 70% 升到 96% 需要 2 min。可知, 66.78 m^3 的贮藏间安装的加湿器, 功率 1.5 kg/h 出汽量为适宜。

表 3 加湿制冷和单制冷耗能对比

Table 3 Comparison of electric power consumption of the storehouse with refrigerating between with or without wetting						
库内温度/ $^{\circ}\text{C}$	库外温度/ $^{\circ}\text{C}$	库内外温差/ $^{\circ}\text{C}$	贮藏间耗电/ ($\text{kW}\cdot\text{h}$)	贮藏间体积/ m^3	100 m^3 库容耗电/ ($\text{kW}\cdot\text{h}$)	加湿制冷与单制冷耗电差/ ($\text{kW}\cdot\text{h}$) $\cdot (100\text{ m}^3\cdot\text{h})^{-1}$
-2.5, 加湿	24	26.5	1.518	66.78	2.27	0.27
-2.5, 不加湿	24	26.5	1.333	66.78	2.00	

注: 表 3 湿冷通风库在加湿制冷、单制冷 2 种运行模式下耗能对比; “库内温度”为贮藏间的平均温度; “库外温度”为库外平均温度; “库内外温差”为贮藏间与库外平均温度之差; “100 m^3 库容耗电”为每 100 m^3 库容的耗电量; “加湿制冷与单制冷耗电差”为表中库内外温度下, 加湿制冷与单制冷 2 种运行模式每 100 m^3 库容的耗电差。

湿冷通风库、冷库、改良通风库贮藏柑桔的能耗比较, 冷库贮藏柑桔, 按贮量 15 t, 日耗电量约为 $7\sim 8\text{ kW}\cdot\text{h}$ 计算^[10], 贮藏 150 d 耗电 $1\ 050\sim 1\ 200\text{ kW}\cdot\text{h}$; 湿冷通风库贮藏柑桔, 由于柑桔主要贮藏期在 11 月至次年 4 月, 12 月至次年 2 月由于库外气温较低, 至少 75 d 可利用自然冷源而不需要制冷, 15 t 贮藏 150 d 耗电 $525\sim 600\text{ kW}\cdot\text{h}$; 而改良通风库柑桔, 贮量 15 t 的库房, 仅需功率 40 W 的排风扇 2 扇, 排风扇工作时间为贮藏时间 1/5, 可算出贮藏 150 d 耗电 $57.6\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。可见, 冷库、湿冷通风库、改良通风库贮藏柑桔的能耗依次降低, 15 t 贮藏 150 d 耗电依次为 $1\ 050\sim 1\ 200$ 、 $525\sim 600$ 、 $57.6\text{ kW}\cdot\text{h}$, 湿冷通风库比冷库减少能耗 50%。

2.3 湿冷通风库贮藏对柑桔果实呼吸代谢的影响

八成熟采后贮藏 45 d 的锦橙、椪柑在湿冷通风库(温度 $6\sim 8^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 90%~95%) 中贮藏的呼吸强度分别为 4.29 、 $2.34\text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$, 明显低于在改良通风库(温度 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 80%~90%) 中贮藏(分别为 11.35 、 $13.23\text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$)。温度是影响柑桔果实呼吸代谢的主要因素^[26-27], 湿冷通风库贮藏可通过制冷设备和自动控制系统, 使温度降低到适宜柑桔贮藏的范围, 使得柑桔在湿冷通风库中贮藏的呼吸强度明显低于在改良通风库中贮藏。

2.4 湿冷通风库贮藏对柑桔果实腐烂损耗的影响

按本文 1.2.3 的方法观测果实腐烂率, 锦橙(贮期

150 d)、椪柑(贮期 120 d) 在湿冷通风库中贮藏的腐烂率分别为 6.32%、5.38%, 明显低于在改良通风库中贮藏的腐烂率(分别为 10.67%、12.04%)。在贮藏环境温度过高时, 湿冷通风库通过制冷系统降低温度, 湿度过低时, 也可通过加湿系统进行调节湿度, 在管理过程中采用了贮藏适宜温度控制, 避免超限低温, 防止了果实冷害的发生, 而改良通风库无法按要求控制温度和湿度, 库内温度和湿度波动较大, 使得柑桔在湿冷通风库中贮藏的腐烂率明显低于在改良通风库中贮藏。

2.5 湿冷通风库贮藏对柑桔果实品质的影响

从表 4 可见, 锦橙、椪柑在湿冷通风库中贮藏后的有机酸质量浓度分别为 $0.58\text{ g}/100\text{ mL}$ 、 $0.22\text{ g}/100\text{ mL}$, 明显高于在改良通风库中贮藏(分别为 $0.47\text{ g}/100\text{ mL}$ 、 $0.16\text{ g}/100\text{ mL}$)。该结果与果实在湿冷通风库中贮藏呼吸强度减弱相符, 呼吸强度的降低, 减少了主要呼吸底物有机酸的消耗^[27]。锦橙、椪柑在湿冷通风库中贮藏后的总糖含量、维生素 C 含量、可溶性固形物含量、果汁率均有高于在改良通风库中贮藏的趋势, 但未达到显著差异水平。在品质分析同时对果实风味品尝, 组织 5 位有经验的研究人员品尝, 每处理品尝 20 个果实, 结果表明, 湿冷通风库贮藏的锦橙、椪柑平均得分为 93 分、86 分, 而改良通风库贮藏的锦橙、椪柑平均得分为 76 分、65 分, 湿冷通风库贮藏的果实风味较好, 可见, 湿冷通风库贮藏的果实品质优于改良通风库贮藏。

表 4 柑桔贮藏后品质 (锦橙 150 d、椪柑 120 d)

Table 4 Quality of citrus fruit after storage (Jinchen after storage 150 days, Ponkan after storage 120 days)						
品种	库型	总糖/($\text{g}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$)	有机酸/($\text{g}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$)	维生素 C/($\text{mg}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$)	可溶性固形物/%	果汁率/%
锦	湿冷通风库	8.33b	0.58a	41.11b	10.3b	60.23b
橙	改良通风库	8.02b	0.47b	39.95b	9.5b	59.54b
椪	湿冷通风库	6.41a	0.22c	15.62a	8.4a	46.92a
柑	改良通风库	6.06a	0.16d	14.99a	8.0a	44.22a

3 结 论

1) 湿冷通风库使利用自然冷源降温和风冷式制冷系统降温相结合, 具有良好的降温、加湿、通风、保温功能, 充分吸收了通风库和冷库的优点。在自然冷源充足

时, 关闭制冷系统, 启动通风贮藏模式, 利用地下通风系统引进湿的冷空气, 进行降温、保湿, 实现了节能, 湿冷通风库贮藏柑桔的能耗高于改良通风库贮藏, 而明显低于冷库贮藏, 柑桔湿冷通风库贮藏比冷库减少能耗 50%。

2) 柑桔湿冷通风库具有地下通风、自控机械制冷、地下通风和自控加湿、自控机械制冷和自控加湿等运行模式。在外界温度过高时, 启动制冷贮藏模式, 能按不同贮藏产品的需要提供适宜温度。配置了加湿器, 能按需提供恒定湿度。配置了温湿自动控制器, 实现制冷和加湿自动控制。

3) 建造湿冷通风库时, 可按高度 5 m、按照贮藏柑桔 0.75 t/m^2 设计库容; 在 200 mm 厚度砖墙结构中, 用 150 mm 厚、 18 kg/m^3 体积质量聚苯乙烯保温板作保温层是适宜的, 库体总热阻为 $5.07 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$, 库房加湿和制冷模式下耗电能 $2.27 \text{ kW} \cdot \text{h}/(100 \text{ m}^3 \cdot \text{h})$; 每 66.78 m^3 的贮藏间配置压缩机功率 $2.0 \sim 2.5 \text{ kW}$ 、加湿器功率 1.5 kg/h 出汽量为宜。

4) 锦橙、椪柑等柑桔湿冷通风库中贮藏, 与改良通风库贮藏相比, 果实腐烂率明显降低, 呼吸代谢明显减弱, 明显减少有机酸等营养物质损耗, 贮藏效果良好。锦橙湿冷通风贮藏 150 d 腐烂率为 6.32%, 椪柑湿冷通风贮藏 120 d 腐烂率为 5.38%, 明显低于在改良通风库贮藏。

[参 考 文 献]

- [1] 李中东. 甜橙的南充地窖贮藏[J]. 广西柑桔, 1995, (2): 21—22.
Li Zhongdong. The research of orange storage in the cellar[J]. China Citrus, 1995, (2): 21—22. (in Chinese with English abstract)
- [2] 陈启高, 王凯旋. 连拱沟窖热过程的研究[J]. 地下空间, 1991, 11(2): 89—102.
Chen Qigao, Wang Kaixuan. The research of thermal performance of Root Cellar[J]. Underground Space, 1991, 11(2): 89—102. (in Chinese with English abstract)
- [3] 胡西琴, 陈力耕, 任志祥. 柑桔通风贮藏库的改良及其效果分析[J]. 农业工程学报, 2001, 17(4): 83—85.
Hu Xiqin, Chen Ligeng, Ren Zhixiang. Improvement of the ventilated storage house of citrus and its effectiveness analysis[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(4): 83—85. (in Chinese with English abstract)
- [4] 李喜宏, 关文强, 胡云峰, 等. 便携式微型保鲜冷库研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 245—248.
Li Xihong, Guan Wenqiang, Hu Yunfeng, et al. Research and development of portable mini cold storage room[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(4): 245—248. (in Chinese with English abstract)
- [5] 李喜宏, 夏秋雨, 陈丽, 等. 微型冷库的优化设计研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(3): 88—91.
Li Xihong, Xia Qiuyu, Chen Li, et al. Optimized design of mini cold storage house[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(3): 88—91. (in Chinese with English abstract)
- [6] 胡云峰, 李喜宏, 陈丽. 微型节能冷库的库群设计[J]. 天津农业科学, 2000, 6(3): 7—9.
Hu Yunfeng, Li Xihong, Chen Li. Studies on structural design of energy-saving mini cold storage complex rooms[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2000, 6(3): 7—9. (in Chinese with English abstract)
- [7] 胡云峰, 李喜宏, 朱志强, 等. 果蔬保鲜温度梯度试验冷库的设计与效果分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 132—135.
Hu Yunfeng, Li Xihong, Zhu Zhiqiang, et al. Design and effect analysis of the gradient temperature cold store for fruit and vegetable preservation[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(7): 132—135. (in Chinese with English abstract)
- [8] 邓泽华. 果蔬气调库的建筑设计[J]. 低温与特气, 2006, 24(6): 10—12.
Deng Zehua. The construction design of fruits and vegetables CA storage[J]. Low Temperature and Speeahy Gases, 2006, 24(6): 10—12. (in Chinese with English abstract)
- [9] 王志平, 王文生, 阎师杰. 果蔬气调库的设计和使用[J]. 天津农业科学, 2003, 9(2): 42—44.
Shi Zhiping, Wang Wensheng, Yan Shijie. Design and application of CA room[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2003, 9(2): 42—44. (in Chinese with English abstract)
- [10] 刘小勇. 微型节能冷库的特点及应用前景展望[J]. 甘肃农业科技, 2006, (6): 46—47.
Liu Xiaoyong. The characteristics and application of the energy-saving mini cold storage house[J]. Gansu Agr Sci and Techn, 2006, (6): 46—47. (in Chinese with English abstract)
- [11] 戴美芹. 冷库的节能设计[J]. 制冷技术, 2008, (2): 9—12.
Dai Meiqin. Energy-saving design of cold store[J]. Refrigeration Technology, 2008, (2): 9—12. (in Chinese with English abstract)
- [12] 申江, 李圆圆, 刘 斌, 等. 冷藏库的节能途径[J]. 农产品加工·学刊, 2006, (4): 59—61.
Shen Jiang, Li Yuanyuan, Liu Bin, et al. The research on the energy saving of cold storage[J]. Academic Periodical of Farm Products Processin, 2006, (4): 59—61. (in Chinese with English abstract)
- [13] 李夔宁, 王 贺, 吴治娟, 等. 冷库节能途径探讨[J]. 制冷技术, 2008, (2): 1—4, 12.
Li Kuining, Wang He, Wu Zhijuan, et al. Discussion on ways of energy-saving in cold storage[J]. Refrigeration technology, 2008, (2): 1—4, 12. (in Chinese with English abstract)
- [14] 孙倩, 黄逸胜. 冷库微机控制节能技术[J]. 节能, 2004, (1): 19—22.
Sun Qian, Huang Yisheng. The technology of energy-saving in cold storage by microcomputer control[J]. Energy Conservation, 2004, (1): 19—22. (in Chinese with English abstract)
- [15] 周东一, 石楚平, 袁文华, 等. 蓄冷节能技术在冷库中的应用研究[J]. 制冷与空调, 2009, 23(8): 75—78.
Zhou Dongyi, Shi Chuping, Yuan Wenhua, et al. Applied research of cool storage and energy conservation technology on Cold Storage[J]. Refrigeration and Air Conditioning, 2009, 23(8): 75—78. (in Chinese with English abstract)
- [16] 于遵功, 宫明波, 位绍文, 等. 产地节能机冷通风库保鲜蒜苔技术[J]. 北方园艺, 1998, 122(5): 12—13.
Yu Qiugong, Gong Mingbo, Wei Shaowen, et al. The technology of Garlic Sprouts energy-saving cold ang ventilating storage in Growing area[J]. Northern Horticulture, 1998, 122(5): 12—13. (in Chinese with English abstract)
- [17] 王日葵, 胡西琴, 王成秋, 等. NY/T 1189—2006 柑橘贮藏[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.

- [18] 龚海辉, 谢晶, 张青. 冷库结构与保温材料现状[J]. 物流科技, 2010, (2): 121—123.
Gong Haihui, Xie Jing, Zhang Qing. A review of the construction and thermal insulating materials for cold stores[J]. Logistics Sci-Tech, 2010, (2): 121—123. (in Chinese with English abstract)
- [19] 巩增友, 刘斌, 关文强, 等. 微型保鲜冷库的保温性能研究[J]. 天津农业科学, 2003, 9(2): 12—15.
Gong Zengyou, Liu Bin, Guan Wenqiang, et al. Study of insulation characteristic of mini-cold storage[J]. Tianjin Agricultural Science, 2003, 9(2): 12—15. (in Chinese with English abstract)
- [20] 刘斌, 杨昭, 谭晶莹, 等. 围护结构特性对微型冷库降温性能影响的研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(2): 233—237.
Liu Bin, Yang Zhao, Tan Jingying, et al. Effects of wall construction on the performance of the mini-cold storage[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(2): 233—237. (in Chinese with English abstract)
- [21] 杨振生, 袁唯. 果蔬呼吸强度测定方法[J]. 保鲜与加工, 2003, 3(2): 24—25.
Yang Zhengsheng, Yuan Wei. Method for determining respiratory intensity of fruit and vegetable[J]. Storage and Proess, 2003, 3(2): 24—25. (in Chinese with English abstract)
- [22] 李霞辉, 赵铁男. GB/T 6194—1986 水果、蔬菜可溶性糖测定法[M]. 北京: 中国标准出版社, 1986.
- [23] 龚玲娣, 徐清渠. GBT12456—2008 食品中总酸的测定[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [24] 江苏省农科院综合实验室. GB/T 6195—1986 水果、蔬菜维生素 C 含量测定法 (2,6-二氯酚酚滴定法) [M]. 北京: 中国标准出版社, 1986.
- [25] 杨宏福, 黄婉春, 黄巧华. GB 12295—1990 水果、蔬菜制品可溶性固形物含量的测定—折射仪法[M]. 北京: 中国标准出版社, 1990.
- [26] 王日葵, 周炼, 陈婷, 等. 制冷贮藏温度对锦橙的影响[J]. 农产品加工·学刊, 2010, (3): 8—10.
Wang Rikui, Zhou Lian, Chen Ting, et al. Effect of temperature on JinCheng orange in cold storage[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2010, (3): 8—10. (in Chinese with English abstract)
- [27] 柳建良, 陆益明, 张晚风, 等. 不同贮藏温度对贡柑采后生理和贮藏品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(5): 2035—2036, 2084.
Liu Jianliang, Lu Yiming, Zhang Wanfeng, et al. Influences of different storage temperatures on post-harvest physiology and storage quality of Citrus Reticulata Blanco Var. Gong-gan[J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2008, 36(5): 2035—2036, 2084. (in Chinese with English abstract)

Design and effect analysis of citrus ventilating storehouse with refrigerating and wetting systems

Wang Rikui, Zhou Lian, Han Aihua

(National Citrus Engineering Research Center, Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Citrus Research Institute of Southwest University, Beipei 400712, China)

Abstract: In order to study energy-saving and efficient techniques for citrus storage, the author developed a new type of storehouse—the ventilating storehouse with refrigerating and wetting systems. The system performance test and storage test were conducted. The thermal resistance of the storehouse was $5.07 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$, and the energy consumption was $2.27 \text{ kW} \cdot \text{h}/100 \text{ m}^2 \cdot \text{h}$ which was 50% of the energy consumption in cold storage. In the storehouse, temperature could fall to -5°C below, control accuracy was $\pm 0.1^\circ\text{C}$, humidity could rise to 99% and control accuracy was $\pm 2\%$. In the ventilating storehouse with refrigerating and wetting systems, the respiration rate of citrus was $4.29 \text{ mg/kg} \cdot \text{h}$ (for Jincheng) and $2.34 \text{ mg/kg} \cdot \text{h}$ (for Ponkan) respectively, which was lower than that in the simple ventilating storehouse, and the decay rate of citrus was less, which was 6.32% (for Jincheng store 150 days) and 5.38% (for Ponkan store 120 days) respectively, and the quality and the flavor were better. After 150 days storage for Jincheng, organic acid was $0.58 \text{ g}/100 \text{ mL}$, sugar was $8.33 \text{ g}/100 \text{ mL}$, vitamin C was $41.11 \text{ mg}/100 \text{ mL}$, after 120 days storage for Ponkan, organic acid was $0.22 \text{ g}/100 \text{ mL}$, sugar was $6.41 \text{ g}/100 \text{ mL}$, vitamin C was $15.62 \text{ mg}/100 \text{ mL}$. The results show that the ventilating storehouse with refrigerating and wetting systems are an energy-saving and good effect storage facility, in which the temperature decrease with nature cold source or refrigerating system, and humidity increase in the storage.

Key words: storage, refrigeration, humidity control, ventilating storehouse with refrigerating and wetting systems, underground ventilating, wetting, citrus fruit