

自然冷源和机械制冷双向库对红薯贮藏的影响

张蕊¹, 于晋泽², 李坤³, 张娜², 刘斌¹, 董成虎², 纪海鹏²

(1.天津商业大学 天津市制冷技术重点实验室, 天津 300134; 2.国家农产品保鲜工程技术研究中心 天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384; 3.华商国际工程有限公司, 北京 100069)

摘要: **目的** 探究自然冷源和机械制冷双向自动切换库对红薯在贮藏期间中生理指标的影响, 研讨贮藏的可行性。**方法** 以普通地窖库为对照组进行实验, 测试库内温湿度变化以及红薯的含水量、硬度、淀粉含量、MDA含量和可溶性固形物含量等生理指标(含水量和含量均以质量分数计)的变化情况。**结果** 在贮藏100 d时, 双向库内红薯的含水量为72.18%, 硬度为677.263 N/cm², 可溶性固形物含量为15.32%, MDA含量为4.25 μmol/g, 淀粉含量为16.05%, 均优于普通地窖库内红薯的指标。**结论** 自然冷源和机械制冷双向自动切换库与普通窖藏库相比, 能较好地维持红薯在贮藏期间所需的温湿度, 保持了红薯硬度、含水量、淀粉含量和可溶性固形物含量等, 减少了红薯在贮藏期间的损耗, 对红薯的贮藏起着显著作用。

关键词: 红薯; 自然冷源; 双向切换库; 生理指标; 贮藏

中图分类号: TS206 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)01-0018-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.01.003

Effects of Two-way Storage of Natural Cold Source and Mechanical Refrigeration on Sweet Potato Storage

ZHANG Rui¹, YU Jin-ze², LI Kun³, ZHANG Na², LIU Bin¹, DONG Cheng-hu², JI Hai-peng²

(1.Tianjin Key Laboratory of Refrigeration Technology, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China;

2.Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, National Agricultural Products Preservation Engineering Technology Research Center, Tianjin 300384, China;

3.Huashang International Engineering Co., Ltd., Beijing 100069, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effects of natural cold source and mechanical refrigeration on physiological indexes of sweet potato storage and the feasibility of storage. Taking the ordinary cellar as the control group, the experiment tested the changes of temperature and humidity as well as the physiological indexes such as water content, hardness, starch content, MDA content and soluble solids content of sweet potato (content in mass fraction). When stored for 100 days, sweet potatoes in the bidirectional storage were superior to those in the common cellar, with water content of 72.18%, hardness of 677.263 N/cm², soluble solid content of 15.32%, MDA content of 4.25 μmol/g and starch content of 16.05%. Compared with common cellar storage, natural cold source and mechanical refrigeration can maintain the required temperature and humidity of sweet potato storage, maintain the hardness, and content of water, starch and soluble solids of sweet potato, reduce the loss of sweet potato storage, and play a significant role in the storage of sweet potato.

KEY WORDS: sweet potato; natural cold source; two-way switching library; physiological index; storage

收稿日期: 2020-05-19

基金项目: 天津市农业科技成果转化与推广项目(201701100); 天津市林果现代产业技术体系创新团队(ITTFPRS2018009)

作者简介: 张蕊(1994—), 男, 天津商业大学硕士生, 主攻冷链关键技术和果蔬保鲜技术。

通信作者: 于晋泽(1974—), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为农产品贮藏与保鲜。

红薯一种高产且适应性强的粮食作物，与工农业生产和人民生活关系密切，块根除可作主粮外，也是食品加工、淀粉和酒精制造工业的重要原料，根、茎、叶又是优良的饲料^[1-3]。红薯是一种营养齐全的天然滋补食品，富含蛋白质、脂肪、多糖、磷、钙、钾、胡萝卜素、维生素 A、维生素 C、维生素 E、维生素 B1 等，极具营养价值^[4-6]。由于红薯具有皮薄易损、组织幼嫩、易冷害、易干耗和易腐烂等特点，红薯的采后贮藏保鲜一直是困扰红薯种植者的问题，其严重影响了红薯种植者的积极性以及相关产业的发展，造成了社会巨大的经济损失^[7-8]。综上可知，贮藏保鲜是保证红薯采后商品性良好以及周边产业稳步发展的重要环节。

自然冷源是指自然界中寒冷的水、冰、空气、永久冻土等资源^[9-13]。能否利用自然冷源的一项重要指标是气温低于 0℃的时间和范围，我国的华北、东北、西北等地区，冬季气温常年处于可以利用自然冷源的范围内，自然冷源蕴藏量很大^[14-16]。随着近年来温室效应以及能源短缺等问题的加剧，开发低能耗、低排放的自然冷源节能库对于社会发展具有战略意义。文中利用智能型 PLC 自动控制系统，设计出以自然冷源为主体，以机械制冷为辅助，达到定点恒温恒湿控制、双向自动切换的微型果品贮藏保鲜装置，以满足在不同条件下果蔬贮藏对于温湿度的需求，库内加入自动加热功能，确保在外界温度极低的条件下，

保持库温的恒定，防止库内贮藏的果蔬受到冷害。文中以红薯为实验材料，验证以自然冷源为主体，以机械制冷为辅助，达到定点恒温恒湿控制、双向自动切换的微型贮藏保鲜装置对果蔬贮藏的可行性。

1 实验

1.1 材料

主要实验材料：红薯，采自北京密云石匣村，品种为西瓜红，于 2018 年 10 月 12 日采收，采收时选用外观良好、大小均匀、无机械损伤、无病虫害、成熟度一致（八成熟，果实硬）、品种一致及采摘前无化学保鲜剂施用的红薯块。在采后 1 h 内由产地运送至当地冷藏库进行愈伤，愈伤温度为 30~33℃，相对湿度为 90%~95%，处理时间为 2~3 d，愈伤完毕之后，放入自然冷源和机械制冷双向自动切换库（下文称双向库）贮藏，每次随机挑选 4 筐（20 个/筐）红薯测量其各项指标。

1.2 仪器与试剂

实验中所采用的主要仪器见表 1，所需实验试剂见表 2。贮藏库由聚氨酯双面采钢保温库板+自然冷源循环系统+制冷机组+自动切换控制及库内温度、湿度、气体监测系统等 5 个部分组成。

表 1 主要实验仪器
Tab.1 Main instruments needed for the experiment

编号	仪器名称	仪器型号	产地（公司）
1	电子分析天平	FA1004	上海精品天平
2	数显恒温水浴锅	HH-1	金坛市金南仪器制造有限公司
3	台式高速冷冻离心机	HR/T20M	湖南赫西仪器装备有限公司
4	物性测定仪	TAXT.PLUS	英国 SMS 公司
5	手持折射仪	PLA-1	日本 ATAGO 公司
6	双向库		国家农产品保鲜工程技术研究中心
7	红外线快速水分仪	SFY-20	杭州三永德仪器仪表有限公司
8	质构仪	EZ-TEST	日本岛津公司

表 2 主要实验试剂
Tab.2 Main reagents and drugs needed for the experiment

编号	试剂/药品名称	规格	生产商
1	氢氧化钠	分析纯	天津科威公司
2	三氯乙酸	分析纯	天津博美科生物有限公司
3	石英砂	分析纯	天津科威公司
4	丙二醛（MDA）测定试剂盒（TBA 法）	100 管/96 样	南京建成生物工程研究所有限公司
5	淀粉含量测试盒	50 管/48 样	南京建成生物工程研究所有限公司

注：“100 管/96 样”表示试剂盒可以测定 100 个样品，其中 4 个作为标样使用，剩余 96 个为试验样品用；“50 管/48 样”表示试剂盒可以测定 50 个样品，其中 2 个作为标样使用，剩余 48 个为试验样品用

1.3 实验方法

实验设置一个普通地窖保鲜的对照组,地窖库位于改造库同一平面南侧 20 m 处,按照红薯的贮藏周期,每 25 d 取样测定指标 1 次,具体实验安排见表 3。

1.4 双向自动切换库原理

结合北京密云地区环境温度以及红薯适宜贮藏温度,制造自然冷源和机械制冷双向自动切换的保鲜贮藏库,运行示意图见图 1。对原有的地下窑洞通风库进行改造,以聚氨酯双面彩钢保温板为基础构架建成库体,库体尺寸为 8350 mm×3450 mm×3450 mm (长×宽×高),库内安装一台制冷量为 5.95 kW 的冷风机,用来进行机械制冷;安装一台风量为 3675 m³/h 的轴流风机,用于将走廊内的自然冷源吹入库内进行制冷。在库内安装多个温湿度传感器,统一将数据传到自动控制柜,并进行数据记录和处理。在走廊以及室外内安装多个温湿度传感器,用于感知外界温湿度变化和记录数据,在走廊尽头安装了智能型 PLC 自动控制系统柜,用于记录所有库的温湿度数据,并实现对自然冷源和机械制冷的双向切换。在廊顶设有通风阀和风道,为防止因外界低温过低导致直接引入的外界低温空气对库内红薯造成的冷害,将风从外界先引入走廊内进行适度回温处理,待到合适温度后再通入

库内。通风风阀受到 PLC 自动控制系统柜的控制,当控制柜监测到库内和库外温度差达到预定值时,进行通风风阀的开启度调节。

1.5 品质指标测定方法

1.5.1 含水量

果蔬中的水分含量通常用果蔬中水分的质量与果蔬质量之比的百分数表示,见式(1):

$$\text{含水量} = \frac{m_0 - m_i}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_0 为放入红外水分分析仪前的红薯样本质量; m_i 为放入红外水分分析仪后的红薯样本质量。

取红薯赤道线表面和中心果肉各 1 g,利用红外水分分析仪测定含水量,随机选取 3~5 个红薯作为实验样品,各实验组重复测定 3 次,计算其平均值和标准偏差。

1.5.2 硬度

硬度的测定选用仪器质构仪,使用直径为 2 mm 的柱型探头(P2)进行穿刺试验,每组分别取 3 个红薯进行质构实验。在每个红薯赤道线的上、中、下等 3 个部位选取测试点,即每组红薯分别获得 9 组质构数据,重复实验 3 次。质构指标包括红薯的果皮硬度、果肉硬度、果皮厚度及果肉紧实度。

表 3 保鲜实验安排
Tab.3 Preservation experiment schedule

序号	实验组名称	编号	愈伤时间/d	处理方法
1	对照组(普通地窖)	CK	5	不处理,直接进窖。每 25 d 取样测定指标 1 次
2	贮藏(双向库)	ZM	5	贮藏温度为 12~15℃,相对湿度为 85%~90%。指标测定同对照组,采集降温阶段红薯的温度变化情况及库温变化情况

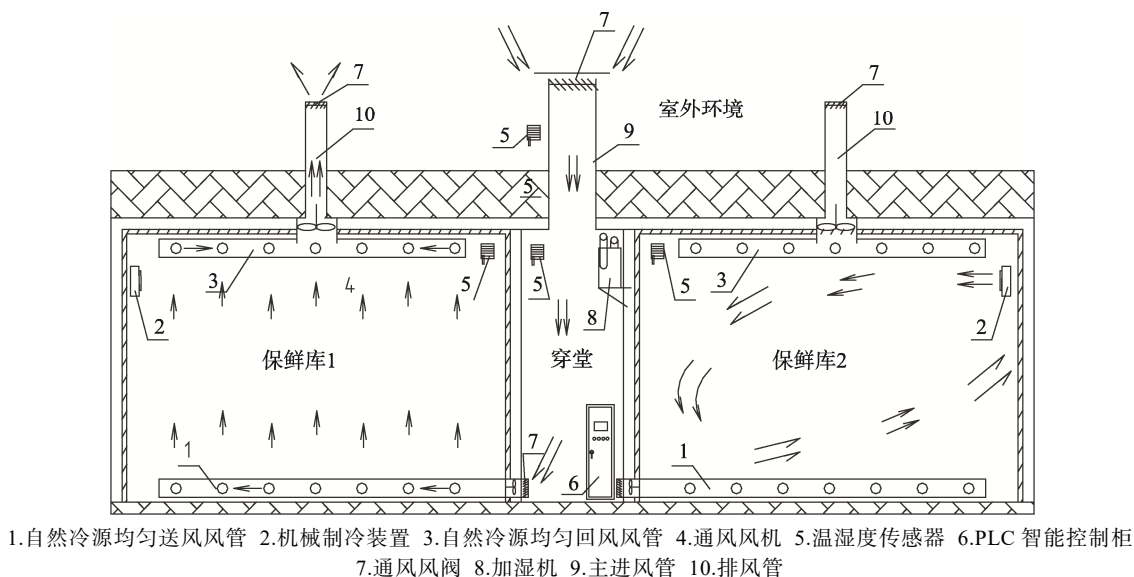


图 1 双向自动切换保鲜库运行原理

Fig.1 Schematic diagram of operation principle of bidirectional automatic switching storage

1.5.3 可溶性固形物

使用手持式折光仪进行测定可溶性固形物的含量。每组分别取 3 个红薯进行测定,在每个红薯赤道线中部重复取样 2 次并测定,各实验组重复测定 3 次,利用压蒜器直接获取汁液,使用手持式折光仪进行测定,读数并记录。

1.5.4 丙二醛含量

丙二醛含量选用南京建成丙二醛 (MDA) 测定试剂盒 (TBA 法) 进行测定。

1.5.5 淀粉含量

淀粉含量选用南京建成淀粉含量测试盒进行测定。

1.5.6 数据处理与分析

利用 Microsoft Excel 软件进行实验数据的汇总和计算,利用 Origin 绘图软件进行绘制图形。

2 结果与分析

2.1 贮藏过程中自然冷源可利用时间的分析

在贮藏期间,自然冷源可利用时间的变化情况见图 2。针对红薯的贮藏可行性,将室外环境温度低于 10 °C 作为引入自然冷源的分界点。当室外环境温度低于 10 °C 时,判定为可利用自然冷源对红薯进行贮藏。贮藏周期内从 2018 年 10 月 8 日至 2019 年 1 月 14 日,发现在贮藏前期 (0~30 d),由于在秋季室外存在气温高于 10 °C 的现象,所以每日所能利用的自然冷源时间处于 15 h 以下;在贮藏的中期 (31~60 d),随着室外温度的下降,每日可利用自然冷源的时间在逐步提升,并在贮藏 61 d 以后逐步稳定在 23~24 h 内。说明随着室外环境温度的下降,自然冷源在双向库内的时间占比越来越大,在保证库内红薯所需温度的前提下,减少了机械制冷产生的能耗。

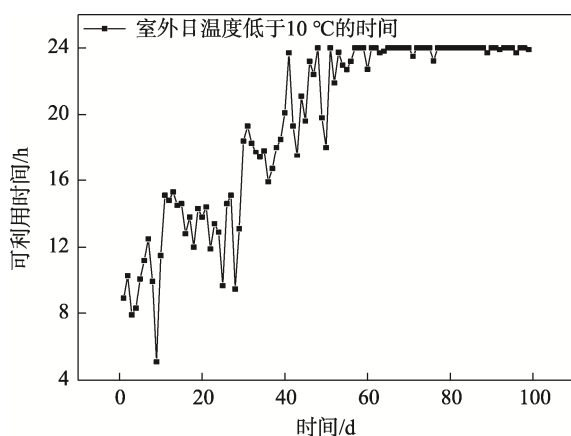


图 2 自然冷源可利用时间的变化
Fig.2 Variation diagram of available time of natural cold source

2.2 贮藏过程中温湿度的变化情况

在贮藏周期内,室外温度、双向库温度和普通地窖窖保鲜库内温度的变化情况见图 3。在整个红薯贮藏期间,双向库内因 PLC 自动监控系统和自动加热装置的设置,在室外环境温度过低和室外自然冷源温度过高不适合引入的情况下,采取自动加热或自动切换机械制冷的措施,保证了库内温度的平稳,未出现较大的温度波动,始终维持在红薯保鲜所需的 10~14 °C 范围内;在普通地窖内,冷源单一,无法随温度变化进行自动调节,导致普通地窖温度波动较大,较大的温度波动极易引起红薯的腐烂或冷害等生化反应,进一步影响库内的温度波动,引起恶性循环,不利于红薯的贮藏。

在贮藏期间,室外湿度、双向库湿度和普通地窖窖保鲜库内湿度的变化情况见图 4。室外环境湿度受温度影响,波动范围较大。与普通库对比可知,在双向库内的湿度始终高于普通库,双向库的自动加湿系统在室外环境湿度过低的情况下,受到自动监测控制系统的调节,会进行自动加湿,以保证库内湿度的稳定,相对湿度始终维持在 85%~95% 内,符合红薯保鲜对于湿度的要求;普通地窖由于无法进行精确的湿度

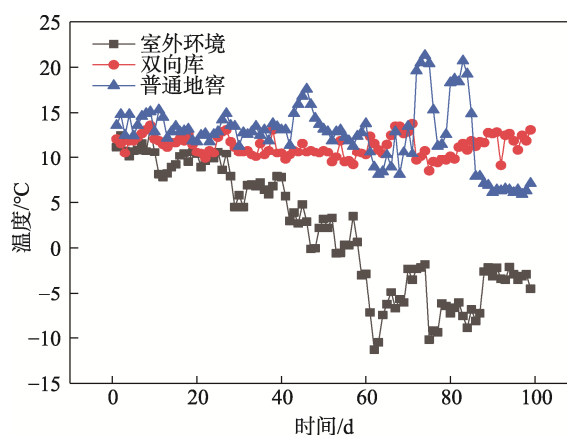


图 3 贮藏过程中温度的变化
Fig.3 Temperature variation during storage

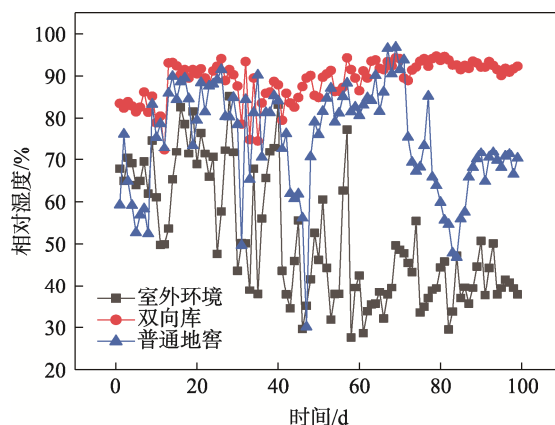


图 4 贮藏过程中湿度的变化
Fig.4 Moisture variation during storage

控制,整体波动幅度较大,并在贮藏 65 d 后,呈现明显的下降趋势。针对果蔬保鲜库,对湿度的控制是比较重要的环节,湿度过高会引起较严重的腐烂现象,湿度过低又会造成果蔬的干耗现象,严重影响果蔬的商品性。

2.3 含水量的变化情况

含水量是表示果蔬组织水分状况的一个常用指标。对于水果、蔬菜而言,含水量的多少对于品质有着很大的影响。新鲜的红薯饱满多汁,实验测定红薯含水量(均以质量分数计)的初始值高达 79.24%,见图 5。随着贮藏时间的变化,整体均呈现下降趋势。在贮藏 0~25 d 期间,含水量下降得较快,可能因为采收后的红薯呼吸代谢仍比较旺盛,水分散失较为迅速。在贮藏中后期(50~100 d),双向库内的红薯含水量对比普通地窖库下降得较为平缓,普通地窖库含水量持续大幅下降,可能的原因:普通地窖库采用直接通风方式,没有加湿措施,造成库内红薯干耗严重,加大了水分散失;贮藏中后期,北京室外环境温度偏低,普通地窖库没有库温加热措施,库内红薯受到低温环境胁迫,体内代谢加快,失水严重。在贮藏 100 d 时,双向库内红薯含水量变化了 7.06%,普通地窖红薯含水量变化了 15.3%,双向库内红薯含水量照比普通地窖红薯高 7.69%,表明双向库与普通地窖相比,能更好地维持红薯在贮藏期内的水分,减少红薯在贮藏期间水分含量的损失。

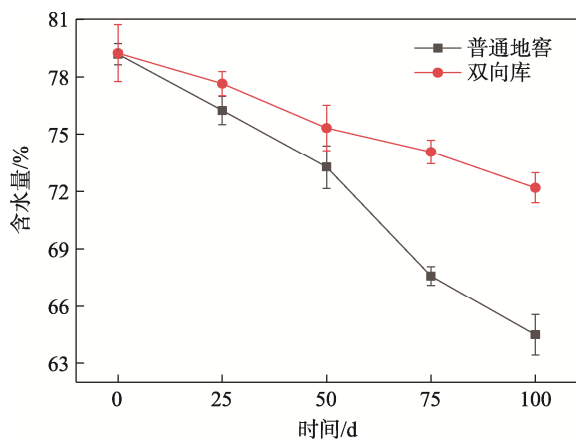


图 5 含水量随贮藏时间的变化情况

Fig.5 Water content variation with storage time

2.4 硬度的变化情况

果实硬度是衡量果实成熟度和贮藏品质的重要指标之一。通过果实的硬度可以了解果实的成熟程度或后熟软化程度。由图 6 可知,2 组红薯的硬度总体均呈现先上升后下降的趋势。双向库内红薯硬度的峰值出现在贮藏 50 d 时,峰值为 866.24 N/cm²,普通地窖库的红薯峰值出现在贮藏 25 d 时。当贮藏至 100 d

时,双向库内的红薯硬度值为 678.93 N/cm²,远高于普通地窖库的红薯硬度(410.56 N/cm²)。表明双向库对比普通地窖库能够较好地维持红薯贮藏所需环境,使得库内红薯硬度保持得较好,避免了库内红薯因低温胁迫出现冷害以致果实皱缩、质地变软等情况的发生,较好地维持了红薯的品质。普通地窖库内的红薯在贮藏中后期的下降幅度远大于双向库内的红薯,此时普通地窖库内的红薯在低温胁迫和持续通风的作用下,开始出现冷害和失水现象,品质变得较差,质地变软。

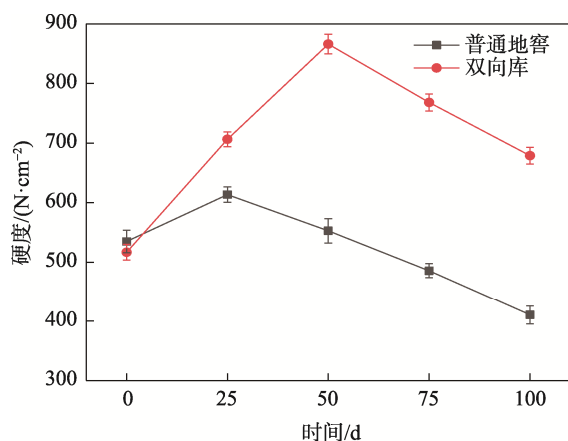


图 6 硬度随贮藏时间的变化情况

Fig.6 Hardness variation with storage time

2.5 可溶性固形物含量的变化情况

果蔬样品中的可溶性物质(主要是可溶性糖)含量能直接反应果蔬的成熟程度和品质状况,是判断适时采收和耐贮性的一个重要指标。由图 7 可知,2 组红薯的可溶性固形物含量的变化趋势相同,均为先上升再下降。在贮藏前中期(0~50 d),2 组红薯的可溶性固形物均上升的原因是在红薯淀粉酶的作用下,红薯体内淀粉被水解为可溶性糖,导致可溶性固形物含量上升。在贮藏 50 d 时,2 组红薯的可溶性固形物含量达到峰值,双向库内红薯的可溶性固形物含量(均以质量分数计)为 20.34%,普通地窖库内红薯的可溶性固形物含量为 17.22%。这段时间是红薯风味最好的时期,此时期红薯的可溶性固形物含量较高,糖分含量较大,比采摘初期更甜,硬度和含水量均保持在最佳水平,是食用或者进行工艺加工的最好时期。随着贮藏时间的延长,红薯体内糖分物质被降解消耗,可溶性固形物含量逐渐降低。当贮藏至 100 d 时,双向库内红薯的可溶性固形物含量为 15.32%,普通贮藏库内的含量为 9.38%,与普通窖藏库相比,双向库内红薯的可溶性固形物含量高出 5.94%。由此可见,相较于普通窖藏库,双向库能够更好地维持红薯体内可溶性固形物的含量。

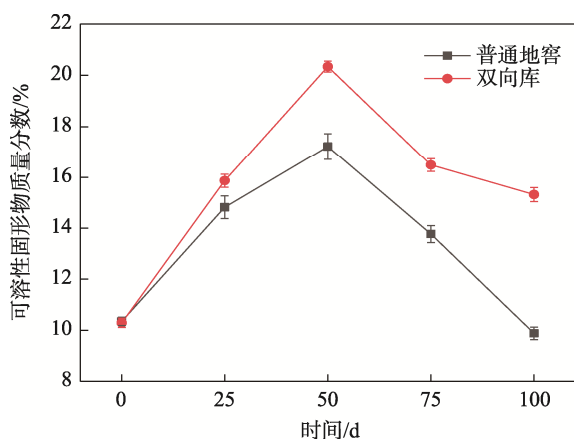


图 7 可溶性固形物含量随贮藏时间的变化情况

Fig.7 Soluble solids content variation with the storage time

2.6 丙二醛含量的变化情况

果蔬组织在后熟衰老过程中，会遭受到病害、冷害或其他伤害等逆境胁迫，此时会因过氧化反应产生脂质自由基，导致细胞膜透性增加，细胞受到损失或死亡^[17]。植物器官衰老或在逆境下遭受伤害，往往发生膜脂过氧化作用，丙二醛是膜脂氧化的最终分解产物，其含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度。由图 8 可知，2 组红薯的丙二醛含量均随着贮藏时间的增加呈现上升趋势。在贮藏前期（0~25 d），2 组红薯的丙二醛含量上升缓慢，这是因为库内贮藏环境良好，红薯贮藏效果好，细胞受损程度小；在贮藏 25~100 d 期间，随着红薯持续的呼吸作用以及某些有害物质的堆积，导致库内贮藏环境变差，红薯受贮藏环境的胁迫较为严重，细胞的损害程度会不断加大。在贮藏结束时，与贮藏初值相比，双向库内红薯的丙二醛增加了 2.97 $\mu\text{mol/g}$ ，普通地窖内红薯的丙二醛增加了 7.62 $\mu\text{mol/g}$ ，相较于双向库，普通地窖内红薯的丙二醛含量高 4.65%，表明普通地窖库内红薯受到贮藏环境胁迫更为明显，双向库内贮藏环境对于红薯的胁迫性较小，能较好地维持红薯的贮藏环境，有益于红薯的贮藏。

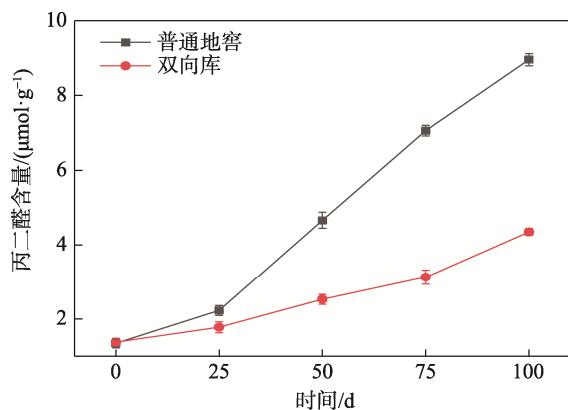


图 8 丙二醛含量随贮藏时间的变化情况

Fig.8 Malondialdehyde content variation with storage time

2.7 淀粉含量的变化情况

淀粉（Starch）是植物体内贮藏能量物质的主要形式。通过测定果蔬组织中的淀粉含量，可以了解果蔬产品的农艺性状、食用品质、成熟程度等，以改进采后贮藏的加工条件。红薯体内淀粉含量较高，见图 9，刚采摘的红薯体内淀粉含量（均以质量分数计）达到 14.28%。2 组红薯的淀粉含量的变化趋势相同，均为先上升后下降。在贮藏前中期发现，淀粉含量随着贮藏时间的增加而逐渐增加，在贮藏 40~50 d 内出现峰值，相较于贮藏初期，双向库内的红薯淀粉含量增加了 4.37%，普通地窖库内红薯增加了 1.37%。淀粉含量上升的原因主要有：红薯为了维持自身生理代谢的平衡，体内其余复杂化合物分解，合成了淀粉，导致含量增加^[18-19]；贮藏前期含水量和淀粉含量下降的速率不同，含水量下降的速率大于淀粉含量的下降速率，导致实测淀粉含量增加。在贮藏后期（50~100 d），淀粉含量逐渐减少，在贮藏 100 d 时，双向库内红薯的淀粉含量为 16.05%，普通地窖库内红薯的淀粉含量为 12.16%，双向库内的红薯淀粉含量比普通地窖库高出 3.89%，表明双向库比普通地窖库能更好地维持红薯体内的淀粉含量，减少红薯体内物质的损耗，保证了红薯的商品性。

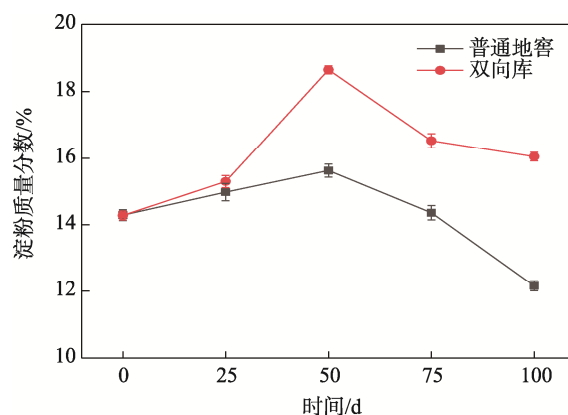


图 9 淀粉含量随贮藏时间的变化情况

Fig.9 Starch content variation with storage time

3 结语

通过对贮藏期间库内温湿度变化和红薯薯块生理指标的分析研究表明，与普通地窖贮藏方法相比，自然冷源和机械制冷双向库能较好地维持红薯贮藏所需的温湿度，保持红薯的硬度、含水量、淀粉含量、可溶性固形物含量等，避免了因较大的温湿度波动对红薯产生的不利影响，截止到贮藏 100 d 时，双向库内红薯的含水量为 72.18%，硬度为 677.263 N/cm^2 ，可溶性固形物含量为 15.32%，MDA 含量为 4.25 $\mu\text{mol/g}$ ，淀粉含量为 16.05%，均优于普通库（64.94%，410.56 N/cm^2 ，9.88%，8.96 $\mu\text{mol/g}$ ，12.16%），减少

了红薯的贮藏损耗,保证了红薯的品质和商品性,贮藏效果显著。

参考文献:

- [1] 史高峰,吕玲玉,陈学福,等.甘薯叶浸膏抑菌活性的研究[J].中成药,2010,32(1):133—134.
SHI Gao-feng, LYU Ling-yu, CHEN Xue-fu, et al. Study on Antibacterial Activity of Extract from Sweet Potato Leaf[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2010, 32(1): 133—134.
- [2] 王钊,刘明慧,樊晓中,等.甘薯收获与安全贮藏[J].中国种业,2008(5):21—23.
WANG Zhao, LIU Ming-hui, FAN Xiao-zhong, et al. Sweet Potato Harvest and Safe Storage[J]. China Seed Industry, 2008(5): 21—23.
- [3] YOSHIMOTO M, OKUNO S, YOSHINAGA M, et al. Antimutagenicity of Sweet Potato (*Ipomoea Batatas*) Roots[J]. Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan, 1999, 63(3): 537—541.
- [4] 邵虹.论红薯的营养价值与药用价值[J].食品工业科技,2002,23(5):74—75.
SHAO Hong. Nutritional and Medicinal Value of Sweet Potato[J]. Science and Technology of Food Industry, 2002, 23(5): 74—75.
- [5] MIYAZAKI Y, KUSANO S, DOI H, et al. Effects on Immune Response of Antidiabetic Ingredients from White-skinned Sweet Potato(*Ipomoea Batatas* L)[J]. Nutrition, 2005, 21(3): 358—362.
- [6] TEOH C C, TRUONG V D, MCFEETERS R F, et al. Antioxidant Activities, Phenolic and β -carotene Contents of Sweet Potato Genotypes with Varying Flesh Colours[J]. Food Chemistry, 2007, 103(3): 829—838.
- [7] 朱志强,张平,任朝晖,等.甘薯改良式贮藏库设计与贮藏效果[J].保鲜与加工,2008,8(6):18—21.
ZHU Zhi-qiang, ZHANG Ping, REN Chao-hui, et al. Design of Improved Storage Room and Effect on Quality of Postharvest Sweet Potato[J]. Storage & Process, 2008, 8(6): 18—21.
- [8] 李臣,薛冠炜,黄静艳,等.甘薯贮藏期主要营养成分及香味组分的变化[J].浙江农业学报,2018,30(6):1056—1062.
LI Chen, XUE Guan-wei, HUANG Jing-yan, et al. Dynamics of Main Nutritional Components and Aroma Components of Three Sweet Potato Varieties during Storage[J]. Acta Agriculturae ZheJiangensis, 2018, 30(6): 1056—1062.
- [9] 王喆,臧润清,张秋玉,等.利用自然冷源的蔬菜贮藏装置设计与适用区域[J].中国果菜,2017,37(4):9—12.
WANG Zhe, ZANG Run-qing, ZHANG Qiu-yu, et al. Design and Applicable Region of Vegetable Storage Device Using Natural Cold Source[J]. China Fruit & Vegetable, 2017, 37(4): 9—12.
- [10] 王学喜,颜敏华,张永茂,等.自然冷源通风库的节能效果及对苹果贮藏品质的影响[J].甘肃农业科技,2014(2):17—20.
WANG Xue-xi, JIE Min-hua, ZHANG Yong-mao, et al. Energy-saving Effects of Ventilation of Natural Cool Source and Their Impact on The Quality of Apple Storage[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2014(2): 17—20.
- [11] 张名安,蒲传奋,张岩,等.自然冷源在果蔬贮藏保鲜中的应用效果研究[J].食品科技,2010(3):44—47.
ZHANG Ming-an, PU Chuan-fen, ZHANG Yan, et al. A Study on the Effect of Preserving Fruits and Vegetables by Natural Coolness Resource[J]. Food Science and Technology, 2010(3): 44—47.
- [12] 宫元娟,张研,王宇宸,等.果蔬保鲜库保鲜系统的设计与试验[J].沈阳农业大学学报,2016,47(5):615—620.
GONG Yuan-juan, ZAHNG Yan, WANG Yu-chen, et al. Design and Test of Preservation System of Fruit and Vegetable Storage[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2016, 47(5): 615—620.
- [13] 刘金光,熊旭波,王世清,等.自然冷源蓄冷低温热管储粮中防止结露的方法研究[J].粮油食品科技,2017,25(1):74—79.
LIU Jin-guang, XIONG Xu-bo, WANG Shi-qing, et al. Study on Preventing Condensation in Low Temperature Heat Pipe for Grain Storage by Natural Cold Source[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2017, 25(1): 74—79.
- [14] 李里特.利用自然冷源果蔬保鲜贮藏技术[J].农机安全监理,1998(7):12.
LI Li-te. Use of Fresh-Keeping and Storage Technology of Fruits and Vegetables[J]. Agricultural Machinery Safety Mechanism, 1998(7): 12.
- [15] SUN X, QUAN Z, MEDINA M A, et al. A Study on the Use of Phase Change Materials (PCMs) in Combination with a Natural Cold Source for Space Cooling in Telecommunications Base Stations (TBSs) in China[J]. Applied Energy, 2014, 117(6): 95—103.
- [16] DESRAYAUD G, FICHERA A, LAURIAT G. Natural Convection Air-cooling of a Substrate-mounted Protruding Heat Source in a Stack of Parallel Boards[J]. International Journal of Heat & Fluid Flow, 2007, 28(3): 469—482.
- [17] 曹建康.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007:154—156.
CAO Jian-kang. Guidance on Physiological and Biochemical Experiments of Fruits and Vegetables after Harvest[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 154—156.
- [18] 林汝湘.甘薯收获后短期存放营养的变化[J].食品科学,1990,11(11):44—46.
LIN Ru-xiang. Changes of Nutrition in Short-Term Storage after Harvest of Sweet Potato[J]. Food Science, 1990, 11(11): 44—46.
- [19] 陶向,张勇为,姜玉松,等.甘薯块根储藏过程中的淀粉含量变化[J].应用与环境生物学报,2010,16(5):741—744.
TAO Xiang, ZHANG Yong-wei, JIANG Yu-song, et al. Changes in Root Starch Contents of Sweet Potato Cultivars During Storage[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2010, 16(5): 741—744.