

主要糧食與蔬果利用天然低溫之貯藏系統研發

王怡玓^{1,3} 劉富文²

摘要

本計畫擬研發適合臺灣獨特氣候環境的窯洞貯藏系統，用於儲存主要糧食及蔬果，俾助民生糧食之穩定供需。2012-2013 年之重要工作項目包括 (1) 收集現有窯洞利用天然冷卻情形之下溫度、普通貯藏庫庫溫與戶外氣溫等資料，(2) 提高利用冬、春季之冷風、冷雨以維持窯洞低溫之效能，(3) 夏、秋高溫季節以遮陰及防雨設施降低高溫之入侵，並以簡單制冷系統輔助維持低溫，(4) 實物貯藏與效果評估。結果 2012 年之窯洞溫度資料顯示，1-3 月溫度頗為冷涼與平穩，旬均溫 $\leq 15^{\circ}\text{C}$ ，為單靠天然冷源而能貯藏農產品之最佳時期。4-5 月雖逐漸升溫，但仍比普通庫或氣溫冷涼許多。6-9 月為夏季高溫期，洞溫可升至 25°C 以上，到 10 月之後才又緩慢降溫，12 月可低至 1°C 。窯洞溫度波動幅度小，1-5 月各旬內高低溫差平均 $< 4^{\circ}\text{C}$ ，遠低於普通庫之 10°C 。2013 年 1-3 月窯洞仍可維持 15°C 以下的旬平均溫度，具有無電之冷藏效果。4-5 月溫度緩升至 22°C ，5 月 31 日起啟動小型制冷系統輔助降溫。6-10 月借助降溫系統以調節洞溫至 $15-18^{\circ}\text{C}$ 。用電量每立方米貯藏容積每日 < 1 度電 (kw/h)。窯洞之實物貯藏結果，柳橙貯藏 5 個月，稻穀、糙米、白米、薏苳貯藏 8 個月，效果與 15°C 冷藏組相近似。

關鍵詞：窯洞貯藏、普通貯藏、冷藏。

前言

全球氣候日趨暖化，採收後的農產品易因高溫腐損，冷藏用電成本也會提高，有必要研發價廉且節能低排碳的貯藏方法。目前已有利用天然『冷』源貯藏農產品成功之實例，如日本以採石岩穴貯藏柑橘，中國以窯洞或地窖貯藏蘋果與柑橘。此二例皆是利用冷涼且穩定的深層土（或岩石）溫進行水果之保鮮貯藏。

臺灣北部或中高海拔地區每年冬、春季有相當長的 $\leq 15^{\circ}\text{C}$ 的低溫。此一天然的冷資源值得善加運用。本計畫擬研發適用於臺灣風土氣候的窯洞貯藏系統，建立相關硬體設備與操作管理方法，另亦評選可適用於窯洞貯藏之主要糧食與蔬果種類，期能透過此一獨特的窯洞系統節能儲存糧食蔬果，有助穩定民生糧食之供需。

1 行政院農業委員會農業試驗所。

2 國立臺灣大學園藝暨景觀學系。

3 通訊作者 電子信箱：etwang@tari.gov.tw；電話：04-23317131。

研究方法

本研究利用苗栗地區的冬、春季低溫，將天然冷源貯蓄於窯洞周邊的土壤，用以調控洞內溫度，甚至低溫期過後仍能慢慢吸收貯藏品所釋出之熱能，達到無電或省電的冷藏效果。窯洞是農友自建之簡易設施，採用預鑄圓筒形水泥涵洞連接起來，周圍堆砌土石而成。地點位於苗栗縣大湖鄉富興村水尾後龍溪上游溪旁。海拔約 250 m，東、西面有山。窯洞採南北走向，有利冬季北風貫穿窯洞而降溫。窯身長約 15 m，圓洞形，直 (內) 徑 210 cm，覆土約 3 m 厚。

收集窯洞之天然溫度變化資料

收集現有窯洞外部氣溫、窯洞內部與隔鄰普通庫之溫度資料，比對三者之間的溫度消長，評估窯洞可利用的低溫貯藏期限。

提高窯洞貯藏冷源之效能利用

包括 (1) 儘量利用冬、春季之冷風或冷雨冷卻窯洞周圍之土層，將冬、春之『冷』大量貯存於深厚的土中，慢慢吸收洞內之『熱』，以維持洞內適宜之貯藏溫度。(2) 以遮陰及防雨設施降低夏季高溫之入侵，避免夏季洞內溫度上升過快或過大。普通庫則是有保麗龍隔熱的簡易貯藏庫，夜間通風，白天關閉。

改良現有的窯洞貯藏設施

設計及建構機械制冷輔助降溫系統。該系統供天然冷源不足時補充之用，特別是幫助夏、秋季之低溫維持。輔助降溫系統經運轉試用之後，再予修改及調整細部硬軟體，包括小型機械冷卻系統與通風循環系統。貯藏溫度以 $\leq 15^{\circ}\text{C}$ 為目標。

實物貯藏與效果評估

包括可供長期 (6 個月以上) 貯藏的乾穀類，如稻穀、糙米、白米及薏苡；中期 (3-5 個月) 貯藏的柑橘類，如柳橙。定期調查出庫的外觀品質、良品率與食用品質等。以 15°C 冷藏庫貯藏為對照組。

結果與討論

一、2012 年窯洞利用天然冷卻時洞溫、普通庫庫溫與氣溫之比較

1. 平均溫度方面，窯洞洞溫較為冷涼而平穩，普通庫庫溫與氣溫則相對偏高且震盪幅度較大；普通庫庫溫係隨氣溫之升降而波動，常比氣溫高出 0.7 至 2.5°C 。窯洞 1 至 3 月的平均溫度 ($14.9 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$) 極為理想，4 月上旬之後洞溫緩慢上升，但皆低於普通庫或氣溫。7-9 月為夏季高溫期，洞溫升至 25°C 以上，10 月之後才緩慢降溫，12 月又低到 15°C 。
2. 最低與最高溫方面，窯洞與普通庫於 1 至 3 月期間平均最低溫皆 $\leq 12^{\circ}\text{C}$ ，最高溫分別為 17°C 、 24°C 。4 月起二庫升溫明顯，但窯洞比普通庫冷涼且平穩；窯洞最高與

最低溫分別為 21°C、18°C，普通庫則為 27°C、19°C；普通庫的溫差約為窯洞的 3 倍。5 月中旬以後氣溫不斷攀升，普通庫最高與最低溫為 31°C 與 23°C，窯洞為 24°C 與 23°C；普通庫的溫差達 8°C，是窯洞的 8 倍。

3. 若以貯藏溫度 $\leq 15^{\circ}\text{C}$ 為條件，估算原有窯洞可利用的低溫貯藏期限，1-3 月完全符合要求。如要貯藏更久，則必須再改良。

二、2013 年窯洞經提高冷源利用與加裝輔助降溫系統之改良及貯藏實物結果

1. 2013 年著重提高窯洞之冷源利用效能，儘量利用冬、春季每日有低溫時段開門通風，氣溫升高時關門，將冬、春之『冷』大量貯存於深厚的土中。同時自 4 月裝設西面遮陽及上面防(熱)雨設施以減少熱能輸入。結果 1-3 月可維持 15°C 以下的旬平均溫度；1-4 月期間窯洞之夜溫可低於 12°C，日均溫則為 15-17°C。
2. 利用輔助降溫系統協助夏季降溫方面，5 月 31 日起實際啟動窯洞機械冷卻輔助系統。此系統能在 5 小時內將窯洞洞溫由 22°C 降至 15-16°C，並於夏季 6-9 月高溫期間一直維持 15-18°C 之窯溫。此高溫期之用电量每 1 m³ 貯藏容積不及 1 度電。
3. 實物貯藏方面，窯洞之貯藏效果頗為良好。以窯洞貯藏稻穀、糙米、白米與薏苡 8 個月仍能維持很高的新鮮度 (表 1)，新鮮度與冷藏組差異不大。柳橙之窯洞貯藏與冷藏效果比較 (表 2)，窯洞貯藏之果實腐爛率較高，可售果率略低；但中果皮崩潰之障礙較輕，乾米率略低而榨汁率略高。因此，兩種貯藏之果實「可售果汁率」相仿，綜合效果相若。由於腐爛率與採收工仔細與否關係大；若是小心採收果實，窯洞貯藏之腐爛率可降到甚低，則窯洞貯藏的優點更能顯現。

窯洞的應用價值在於低溫貯藏農產品而仍可節能減碳。本試驗使用之窯洞是農友自建之簡易設施，構造簡單維護費低。冬季利用天然低溫維持洞溫低而穩定，並蓄冷於周邊深厚土層中；當春季洞外氣溫上升時慢慢吸收熱，仍能維持洞內低溫好一段時間。2012 年之資料顯示在不用電情形下，窯洞 1-3 月洞溫冷涼與平穩，可維持 15°C 以下的旬平均溫度。4-5 月雖然緩升至 22°C，但仍比普通庫或氣溫冷涼許多。窯洞還具有洞溫平穩而波動幅度小之優點；1-5 月各旬內窯洞的高低溫差幅 (平均值) 僅為 4

表 1. 窯洞與冷藏庫貯藏稻米 8 個月後之品質比較。

貯藏作物	貯藏種類	白米分數	白米蛋白質	白米水分	白米直鏈性澱粉	白米白度	白米透明度	白米碾白度	新鮮度 (1 劣-5 優)
稻穀	窯洞	75.5	6.0	15.1	17.9	47.7	3.45	134	4.82
	冷藏	75.5	6.0	15.1	18.0	48.6	3.52	139	4.94
糙米	窯洞	76.0	5.9	14.9	17.9	48.0	3.41	136	4.34
	冷藏	74.0	6.2	14.9	18.0	45.9	3.31	125	4.68
白米	窯洞	74.5	6.3	13.5	18.0	47.2	3.47	132	4.00
	冷藏	73.0	6.0	13.6	17.9	47.7	3.47	134	3.99

°C；普通庫則達 10°C。6-9 月為夏季高溫期，2012 年閒置不用的窯洞洞溫升高至 25°C 以上，10 月之後才會緩慢降溫。2013 年窯洞經提高冷源利用與加裝輔助降溫系統改良之後，純天然冷源利用期為 1-5 月；而自 5 月 31 日起啟動輔助降溫系統，在 6-9 月夏季高溫期維持 15-18°C 穩定的低溫。在貯藏柳橙 5 個月之後還繼續貯藏稻穀、糙米、白米、薏苳等，後者貯藏 8 個月後新鮮度仍極高。未來將增加測試可能適合窯洞貯藏的作物若干種，提高窯洞的應用潛力。

表 2. 窯洞與冷藏庫貯藏之柳橙腐損及品質比較¹。

貯藏月數	貯藏種類	腐爛 (%)	綠蒂 (%)	中果皮崩潰 (%)	可售果 (%)	乾米 (%)	榨汁率 (%)	可售果汁率 (%)
3	窯洞	6.0	87.3	0.4	89.7	2.5	41.8	37.5
	冷藏	2.8	83.7	0.0	94.0	9.0	39.9	37.5
4	窯洞	12.4	78.5	4.1	81.2	20.7	36.6	29.7
	冷藏	6.4	86.8	3.4	88.4	21.2	37.6	33.2
5	窯洞	16.3	84.4	2.8	82.1	25.1	33.6	27.6
	冷藏	8.7	85.7	10.9	85.7	29.2	30.8	26.4

¹表中每一數字為採自 10 株，每株 25 粒中果，共 250 果合計計算之結果。

誌謝

本研究承賴明信博士協助貯藏後的稻米品質分析，敬表謝忱。

引用文獻

- 陳如茵、錢明賽，1993。臺灣蔬菜的儲存，食品工業研究所編印，131。
- Booth, R. H. and R. L. Shaw. 1981. Principles of potato storage. International Potato Center, Lima, Peru. 105 pp.
- Hardenburg, R.E., A.E. Watada and C.Y. Wang. 1986. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. U.S. Dept. of Agric., Agriculture Handbook No. 66. P. 59.
- Hasegawa, Y., 1988. Energy-saving storage of citrus fruit in Japan. p. 92-103. in : Postharvest Handling of Tropical and Subtropical Fruit Crops. (Bay-Petersen, J., eds.) FFTC Book Series No. 37. 135 pp.
- Kader, A. A., 2002. Post harvest technology of horticultural crops. University of California Agriculture and Natural Resources Publication 3311.
- Kobata T, N Uemuki, T Inamura, H Kagata., 2004. Shortage of assimilate supply to grain increases the proportion of milky white rice kernels under high temperatures. (in Japanese) Jpn. J. Crop Sci. 73: 315-322.
- Liu, F.W., 2010. Development and Application of citrus storage technologies with concurrent consideration of fruit quality preservation, energy use, and costs. AARDO Workshop on Technology on Reducing Post-harvest Losses and Maintaining Quality of Fruits and Vegetables. p. 26-47.

Research and Development on Long-Term Storage of Staple Crops, Fruits and Vegetables in Naturally-Cooled Storage Systems

Yee-Ting Wang^{1,3} and Fu-Wen Liu²

Abstract

This study is aimed at developing a cave storage method for storing Taiwan agricultural products with or without minimal consumption of electricity. Major work of this year includes (1) improvement in the utilization of cool ambient air in the winter months by proper manual control of cave ventilation, (2) maintaining desirable storage temperature in the summer months by using shading and rain shield to reduce heat input and employing a supplementary mechanical cooler, and (3) trial storage of several products in the cave. The results seemed promising. Mean cave temperature remained $< 15^{\circ}\text{C}$ during January through March without using electricity. Cave temperature increased slowly in April and reached 22°C at the end of May. Daily temperature fluctuation in the cave was negligible. With the aid of supplementary cooler, the cave temperature was maintained at $15^{\circ}\sim 18^{\circ}\text{C}$ during the period of June to September. Average electricity use was less than 1 kw-h per day per 1 m^3 storage space. ‘Liucheng’ orange was stored for 5 months; and rice, with or without husks, polished or un-polished, and *Coix lacryma-jobi* L. were stored for 8 months. The storage losses and product quality after storage in the cave were comparable to those stored in a conventional cold storage at 15°C .

Keywords: Cave Storage, Common Storage, Cold Storage.

1 Assistant Researcher of Crop Science Division, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

2 Department of Horticulture and Landscape Architecture, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.

3 Corresponding Author, Email: etwang@tari.gov.tw ; Tel: 04-23317131.