

圓筒倉貯存稻谷之研究

(II) 結束報告

Study on the Paddy Silo Storage System

(II) Final Report

國立臺灣大學農業機械工程學系講師

盧 福 明

Fu-ming Lu

Summary

Silos have been adopted for storing corn and wheat grains by local cereal industries for years, however, up to date there is still no definite or detail report on the function of silo for long term storage of paddy under local agricultural environments. Because of the rapid increasing in rice production the improvements of old warehouses and the setting up of new paddy warehouses are deemed necessarily for successfully implementing current agricultural development programs.

Large floor area required for traditional flat bin warehouses is a possible limiting factor for setting up new flat bin warehouses in most of the local farmers' associations near cities. One of the solutions to increase the storage capacity per unit floor area is to adopt the vertical silo storage system.

In 1976 a study on the possibility of adopting silo as a new paddy storage system was initiated by Agricultural Engineering Department of National Taiwan University. 1146 tons of paddy were loaded in four tubes of vertical silo with tube dimension of 6.8m in diameter and 23m high located at Putzu Farmers' Association on October 1976. The paddy depth in each tube ranges from 10 to 20 meters in height. After 20 months of storage period the paddy were unloaded for processing on June 1978. The stored paddy with 10.5% moisture content were milled and produced 890 tons of brown rice with a milling yield of 77.68%. The checked flat bin warehouse stored 763 tons of paddy had a final moisture of 13.22% when the paddy were unloaded for processing. The brown rice production for the flat warehouse were 596 tons with a milling yield of 78.09%.

During the storage period the silo paddy moisture content, respiration rate, germination rate and microorganism producing rate were found decreasing as the storage period extended. A sharp

decrease of these variables were observed about six months after loading paddy in the silo.

By utilization of forced air ventilation devices the silo paddy temperature in silo were efficiently controlled and kept between 30°C and 38°C in summer and 30°C below in winter. However, the flat bin warehouse without the mechanical aeration equipments the paddy temperature were found above 30°C all year round. The silo paddy temperature followed closely to the changes of the outdoor air temperature. The paddy located in the middle layer of the silo were found higher in temperature than other layers. Due to the cooling effect of the low air temperature outside the silo the temperature drop caused by mechanical ventilation were found to be 0.033-0.133 °C per hour in August and 0.08-0.36 °C per hour in October. The aeration rate of the 15 hp blower was 0.1764 CMM per ton of paddy.

Compared with the traditional flat bin storage system the silo storage system need only 1/3~1/5 floor areas required for the same storage capacity in flat bin.

From the past twenty months storage period in silo we conclude that the silo storage system meet not only the requirements of maintaining reasonable paddy temperature and moisture content but also possess the potential to improve the operating efficiency for paddy loading, turning, aeration and free from damage by rodents, insects and other deteriorating factors to the stored paddy. Therefore the paddy silo storage system can be adopted as a new method for storing local paddy under long term basis.

一、前 言

傳統上臺灣每年所生產稻谷之三分之一量利用平倉貯存於各地鄉鎮農會，平倉建築型式可分類為土塊倉、磚造倉和鋼筋水泥倉。每一棟平倉皆為一獨立體，鮮少與其他倉連接一起。不同倉齡之各類谷倉大都散建於農會供銷部倉庫用地範圍內，缺少整齊畫一性。年來在倉容不足與建築基地難求之變重壓力下，促使建倉方式走向稻谷集中型倉庫類型。集中型倉係將數棟谷倉納於同一建地上，並配置以進出倉及稻谷通風機械，各倉緊靠一起，具整齊畫一及管理方便之優點。雖然集中型倉庫倉內貯谷高度較高，但仍然屬平倉之一種。平倉乃是倉庫內之有效貯谷高度小於倉庫寬度之倉庫總稱。目前傳統式平倉與集中型倉庫貯谷高度約為 4~6 公尺，每坪約可貯存稻谷 6~10 公噸，或每平方公尺可貯存 2.2~3.3 公噸稻谷。

異於平倉之另一倉庫類型即為垂直貯存方式之筒倉，即穀物貯存高度大於倉庫寬度之倉庫總稱。筒倉斷面型狀有圓型、方型、六角型等。本研究所用之圓筒倉即為圓形斷面者。圓筒倉高度大於平倉時，其單位面積貯谷量即多於平倉貯谷量。在目前適當之建倉用地短缺條件下，由於平倉佔地較大，故在有限的建地上要能貯存較多量之稻谷之方法惟有採用垂直貯存方式之筒倉，如此才能經濟有效利用建地。筒倉依建造材料之不同約有鐵皮倉和鋼筋水泥倉等。筒倉大都配備有進出倉及通風機械。一般而言，筒倉之倉貯管理效率較平倉為高，近年來歐美各國大都採用筒倉貯存穀物。

為探求在本省氣候條件下採行圓筒倉貯存稻谷之可行性，於民國65年10月首由臺大農工系利用嘉義縣朴子鎮農會新建鋼筋水泥圓筒倉，執行圓筒倉貯存稻谷之研究計畫。第一年報告已於66年7月提出⁽³⁾，本文為該研究之第二年結束報告。

二、試驗材料及方法

試驗用圓筒倉計有編號甲、乙、丙、丁等四筒，每筒內徑 6.8 公尺，最大穀物貯存高度 23.8 公尺，圓筒壁厚 20 公分，容積 792 m³。每筒約可貯存稻谷 436 公噸（稻谷比重 0.55）或貯存 500 公噸玉米（比重 0.70）。

於民國 65 年 10 月 13 日至 19 日 7 天內進倉 65 年 1 期蓬萊谷計 1,146,258 公斤，分別貯存於甲倉 398,869 公斤，丙倉 405,782 公斤，丁倉 341,607 公斤。乙倉備留為翻倉用之空倉。進倉用箕式輸送機為 15 Hp，進倉期間平均每天進倉 165 公噸稻谷，供料充足時，進倉機之正常有效輸送量為每小時 40 公噸稻谷。

圓筒倉進倉前與進倉期間施行空倉清洗消毒及施放巴拉松劑施行稻谷消毒，進倉後以 15 Hp 強制式通風機不定期施行稻谷通風作業，由稻谷底層向上層送風。倉貯期間曾施用好達勝（phostoxin）燻蒸劑。

倉貯期間逐日量測記錄圓筒倉內上中下底層谷溫，每層量測點相距 5 公尺，如圖 1 所示，並記錄大氣溫濕度。利用 1 Hp 真空取樣機械約每隔 3 個月抽取各谷層稻谷計為表層，上層（表層下 3 公尺），中層（表層下 6 公尺），下層（表層下 9 公尺）

和底層（表層下 12 公尺）等以供分析稻谷含水率、千粒重、發芽率、呼吸率、和微生物相之變化。

民國 66 年 1 月 25 日將丁倉部份稻谷翻倉轉貯入空倉乙筒內，此後因翻倉用機械故障，即不曾再施行翻倉作業。故自 66 年 2 月到各倉出倉為止，各倉貯存稻谷之高度各為甲倉 21 公尺，乙倉 20 公尺，丙倉 10 公尺，丁倉 12 公尺。

對照用試驗倉為距離圓筒倉 20 公尺之 8 號平倉，建坪 100 坪，長 26.4 公尺，寬 12.7 公尺，於 65 年 7 月 8 日至 15 日進倉貯存 65 年 1 期蓬萊谷 763,163 公斤。對照平倉係朴子鎮農會最優良之平倉，雙層壁中間有空氣隔層，地板具有通風槽，並設有小型窗式吸排兩用通風機 10 台，對照平倉貯谷高度為 4.5 公尺，缺少可自稻谷底層向上層送風之強制式通風機。

有關圓筒倉構造設備，及詳細試驗及測定方法請參看本研究第一年報告，刊載於中國農業工程學報第 23 卷第 4 期第 29 頁～43 頁⁽³⁾。

三、結 果

本試驗期間自民國 65 年 10 月至 67 年 6 月為止。稻谷貯存期間分期出倉加工甲乙丙丁各筒稻谷。為配合朴子鎮農會稻谷撥運業務之需要乙丙丁等三筒自

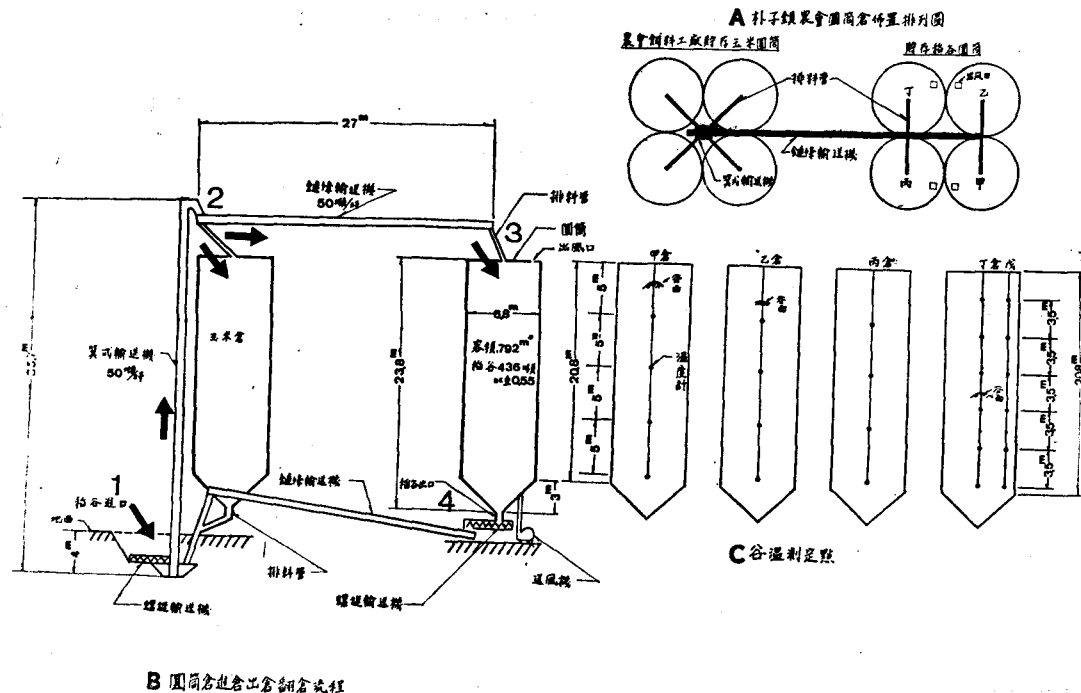


圖 1. 試驗用圓筒倉設備示意圖

民國66年12月17日起開始陸續出倉到67年1月30日為止。甲倉稻谷於67年4月1日開始出倉到67年6月9日全部出倉完畢。開始出倉後由於圓筒倉內稻谷流動產生稻谷層次之變動，為減少因此等變動影響稻谷長期貯存之穩定現象所導致之研究偏差，本文即以出倉前之記錄資料探討圓筒倉貯存稻谷之結果。計算到各倉開始出倉及結束出倉時間為止，本研究之全部倉貯期間在乙丙丁筒倉達14~15個月，甲筒長達18~20個月。對照平倉於66年11月出倉，倉貯期達16個月。圓筒甲倉最後一次抽取樣本日期為67年2月。因丙丁筒貯谷較淺，其谷面距倉頂約10公尺，取樣人員及器材無法進入筒內，故有關品質分析用之稻谷僅限於取自甲乙二筒者。因嘉義地區65年1期蓬萊谷約於65年6月收割完畢後暫貯於農家，故若總貯藏期間由收割期日起算到圓筒甲倉最後出倉加工日67年6月為止，則此次試驗用稻谷其倉貯期長達2年。

1. 稻谷溫度及含水率之變遷

因為甲倉貯谷量較多且在貯存期間未曾翻倉，仍然保持進倉後之谷層狀態一直到出倉日為止，故以甲倉為主來探討溫度與含水率變遷趨勢。稻谷溫度和含水率之變遷如表1、表2、表3及圖2。民國65年10月進倉時之稻谷含水率為11.80%，隨着貯藏期間之增長稻谷含水率呈現逐漸減低之趨勢。例如進倉後第3個月（1月）貯谷含水率為甲倉11.52%，第6個月（4月）為10.84%，第10個月（8月）為10.64%，第13個月（11月）為10.51%，第16個月（2月）甲倉含水率更低降到10.08%。

稻谷月平均溫度於進倉時甲倉為29.4°C，一個月後即升高為35.7°C，到了第2個月（12月）平均谷溫減為27.4°C，第6個月（4月）回升到28.4°C，到66年11月為止谷溫都在30°C以上介於30~38°C之間。66年12月以後氣溫開始下降，谷溫才再下降到30°C以下，谷溫具有隨着外界氣溫之升降而增減之趨勢。貯存期間外界氣溫介於14~30°C，大氣濕度介於69~85%。一般而言當外界氣溫高與相對濕度大之季節（春夏季5~10月）谷溫較高，反之谷溫較低。

圓筒倉貯谷含水率降低之現象或為谷溫高時（相當於加熱稻谷）促使貯谷發生再乾燥脫水之現象，谷溫低時因大氣濕度也較低，例如11~3月間相對濕度介於71~75%之間，如條件配合得當貯谷或許會進行緩慢脫水乾燥之現象，故從整個貯存期

來探討，貯谷隨着貯存期之延長發生再乾燥之現象而逐漸減少稻谷含水率到某一低限值，本試驗所得之低限值約為10%。反之，若貯藏環境劣化時，貯谷含水率即增加。試驗用圓筒倉具有15馬力通風機，送風量60m³/min可將貯谷進行再乾燥脫水之水氣排出倉外，若無強制式通風設備時將此水氣排出倉外之速率更為緩慢，如無法全部排出倉外時此等水氣或將因積沉倉內谷層中間，而促使某一層面稻谷含水率之增加。對照平倉含水率於66年4月到11月間介於11.05%~11.44%之間，但平倉谷溫自65年10月到66年10月即介於30~38°C，平倉稻谷含水率較圓筒倉為高之原因或為因平倉無強制通風機致使貯谷因谷溫較高所可能產生之再乾燥效果不顯着之故。平倉貯谷含水率隨貯存期之延長而減少之趨勢也曾見於其他研究報告^(1,2)。

圓筒倉與對照平倉貯存期間最高平均谷溫為38°C，仍低於目前糧食局規定之貯谷安全溫度上限40°C以下。圓筒倉貯谷之表層含水率大都較中層和底層為高，但仍低於13%安全含水率。例如66年11月10日貯存期達13個月時，甲倉各層含水率為表層12.51%，上層9.58%，中層11.62%，下層9.46%，底層9.38%。由圖3之上中下層谷溫變化可看出圓筒倉谷溫以中間層谷溫較高。同期間圓筒倉內各層稻谷溫度差距約介於2~10°C。由整個貯存期觀之，隨着季節氣溫之變動，圓筒甲倉谷溫變動範圍為17~38°C，對照平倉為30~38°C，也即貯存期間圓筒倉谷溫之起伏度較大，也即受到大氣溫度之影響較為顯着。有關圓筒乙倉和丁倉之溫度及含水率之變動與甲倉之變動趨勢略同，如圖4、5及表1、2、3所示。

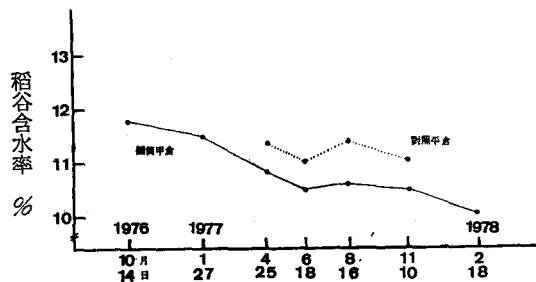


圖2. 稻谷含水率之變動

圓筒倉表層稻谷含水率高於上中下和底層稻谷含水率，例如圓筒甲倉66年4月表層為11.70%，下層為10.15%；到了66年11月表層增為12.51%，下層反減為9.46%。平倉稻谷表層之含水率也高於平倉上層和底層含水率，例如對照平倉表層稻谷於

表1. 圓筒倉與對照平倉月平均谷溫

倉貯月別	年 月 份	大氣溫度 (°C)	大氣濕度 (%)	圓筒甲倉				乙倉				丁倉								對照平倉	
				(°C)				(°C)				(°C)				(°C)				(°C)	
				上層	中層	下層	底層	上層	中層	下層	底層	上層	中層	下層	底層	上層	中層	下層	底層	上層	下層
0	65年10月	25.5	—	29.4	—	—	—	空	倉	—	—	—	—	28.0	28.2	27.3	27.3	36.5	36.5		
1	11月	20.9	73.3	35.7	—	—	—	空	倉	—	—	—	—	27.0	26.4	25.8	26.4	36.7	36.7		
2	12月	18.8	76.8	27.4	—	—	—	空	倉	—	—	—	—	21.2	20.4	20.0	20.4	34.3	34.2		
3	68年1月	14.0	72.3	—	—	—	—	空	倉	—	—	—	—	20.8	20.4	20.1	20.6	31.1	31.1		
4	2月	14.0	72.0	—	—	—	—	23.3	24.8	22.2	20.3	24.2	25.2	19.4	—	23.4	26.0	22.4	21.5	29.9	29.9
5	3月	22.5	69.0	31.0	26.0	21.0	—	24.8	21.0	23.5	21.8	25.3	27.0	23.5	—	23.8	26.5	23.0	23.5	30.0	30.0
6	4月	26.0	74.3	27.3	27.5	30.6	—	28.3	27.2	23.9	31.9	31.4	32.1	31.1	—	30.5	31.8	30.4	23.0	31.5	31.1
7	5月	23.6	77.5	32.0	35.2	36.0	—	31.6	34.7	35.2	35.9	33.4	34.2	36.2	—	33.7	34.4	34.5	30.6	33.0	31.9
8	6月	23.4	84.6	34.1	37.2	36.9	—	35.9	34.4	34.8	36.5	36.6	37.7	36.1	—	34.8	34.8	34.6	29.4	35.1	34.4
9	7月	29.4	83.2	33.2	36.9	36.6	—	35.6	36.8	37.3	37.5	30.9	37.7	36.2	—	35.8	36.7	35.2	29.7	36.5	36.4
10	8月	23.9	83.4	34.1	37.6	36.1	—	36.3	37.3	37.5	37.2	30.2	37.0	36.2	—	36.0	36.7	35.2	29.4	36.4	36.6
11	9月	29.2	80.6	32.3	38.0	36.7	—	35.4	36.1	36.6	37.0	30.8	37.4	36.0	—	36.1	37.4	36.0	23.5	37.0	37.8
12	10月	25.6	77.4	30.8	36.8	35.9	—	34.9	35.9	36.4	34.9	27.4	35.9	33.8	—	35.9	36.9	34.7	27.2	35.7	36.1
13	11月	21.4	75.4	27.4	32.5	30.8	—	30.2	30.1	31.0	31.7	23.0	33.2	29.6	—	34.4	34.7	31.1	22.6	加工	加工
14	12月	19.8	71.4	24.0	31.7	31.1	—	24.0	26.0	27.6	27.4	19.3	21.2	22.5	—	21.3	21.7	23.5	19.8	—	—
15	67年1月	17.9	72.9	18.0	26.9	24.8	—	加工	—	—	—	加工	—	—	—	—	加工	—	—	—	—
16	2月	17.7	69.9	17.3	27.3	24.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	3月	22.4	74.0	22.1	27.2	26.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	4月	25.3	77.0	25.0	27.8	29.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

66年4月為11.82%，8月為12.30%，11月時增加到13.05%，而底層稻谷含水率仍低於11%。表層稻谷係稻谷面與表面下約20公分深之稻谷。表層稻谷含水率較高(隨貯存期之增長而遞增)之原因推測為(1)表層稻谷與大氣接觸較易於吸收大氣濕氣發生回

潮現象(2)平時或通風期間由底層上升之較熱空氣碰觸表層較低溫之稻谷，若熱空氣與表層稻谷溫差較大時，較易產生結露現象而增加稻谷含水率。是故倉貯期間應儘量通風減低谷層間溫差，並把翻表層稻谷減少回潮現象。

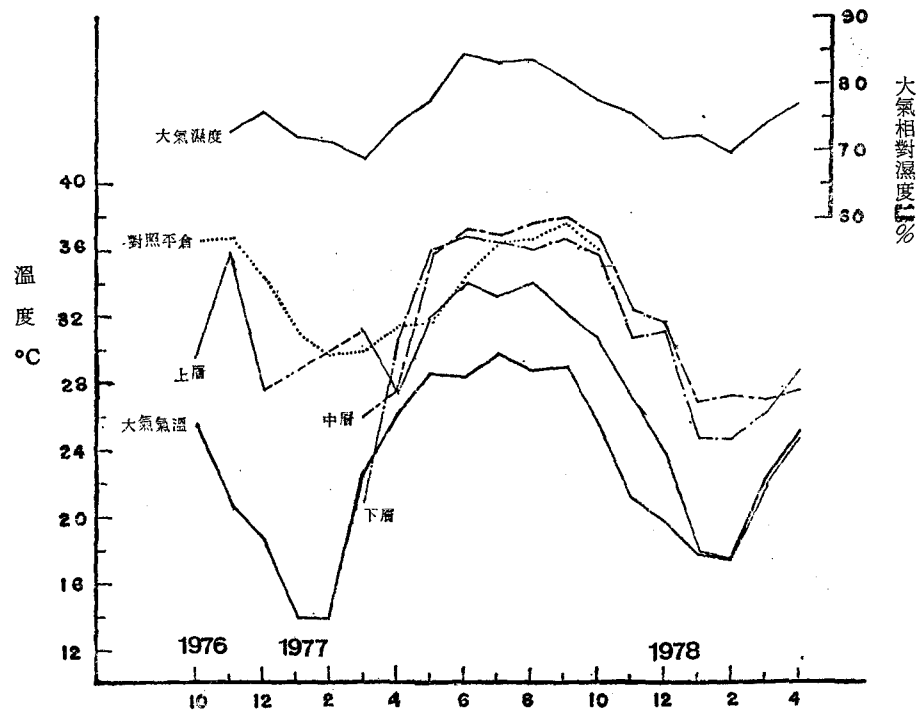


圖3. 圓筒甲倉上中下層貯谷月平均谷溫

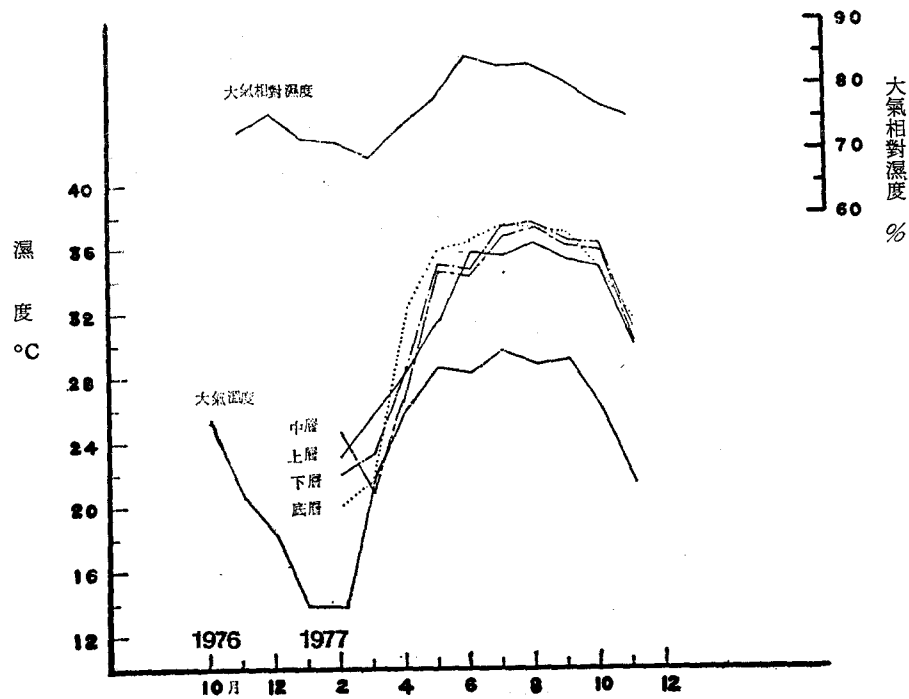


圖4. 圓筒乙倉上中下和底層貯谷月平均谷溫

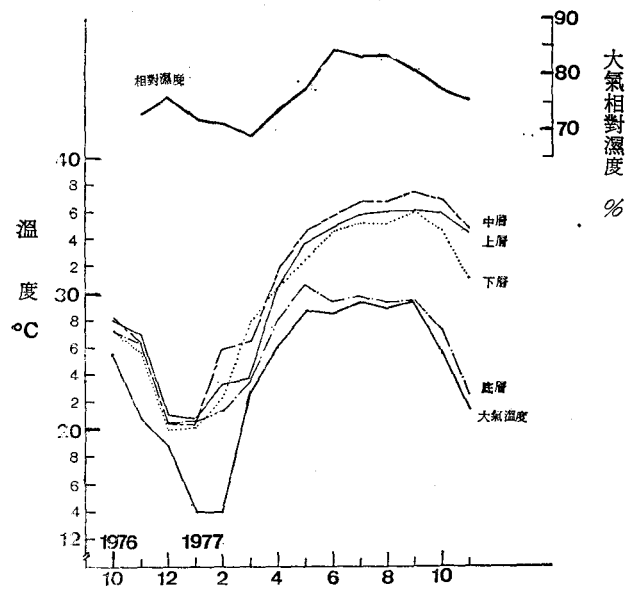


圖5. 圓筒丁倉上中下和底層貯谷月平均谷溫

2. 谷層通風降低谷溫之效果

稻谷貯存期間若由於外界氣溫的升高，稻谷本身呼吸放熱，及倉內谷層間存在之昆蟲及微生物之呼吸放熱等等現象所積聚之熱量不能有效的予以抑止或排出倉外將導致谷溫逐漸升高之結果。

一般而言，降低谷溫之方法有翻倉及通風兩種

方法，在翻倉過程中可將原有谷層之高溫熱點打破，故翻倉後谷溫普遍降低。翻倉係將原有稻谷轉移貯存於另一空倉內之方法。以圓筒倉而言，翻倉作業降低谷溫之效果約可維持二個月⁽³⁾。但因翻倉作業係一費工費時之繁重工作，故於目前農會倉貯管理上非到不得已時，如無法以其他方法控制谷溫時才實施翻倉。比較翻倉更為簡易可行之控制谷溫之方法即為通風作業，此種通風法以強制式通風方式效果最佳，強制式通風方式係利用送風機輸送足夠之風量由下向上或由上向下通過谷層之方法。

圓筒乙倉貯谷高度20公尺，由於稻谷安息角之影響谷面呈傾斜狀。66年8月15日在乙筒倉內施行通風測定通過稻谷面之風速，圓筒內稻谷表面中心點與週邊不同谷層高度（最高20.2公尺，最低17.1公尺）之各點之風速介於3.0~9.1m/min平均為5.2m/min（表面測定點共計17點）。將倉頂呈傾斜狀之稻谷面耙平使倉內中心與週邊各點之貯谷高度相等約為19公尺，再行通風測定稻谷面之風速介於3.0~4.87m/min，平均為3.62m/min。谷面高度均一時，通過谷層之風速比較均勻，圓筒貯谷高度19公尺時，若稻谷比重0.55計約可貯存340公噸

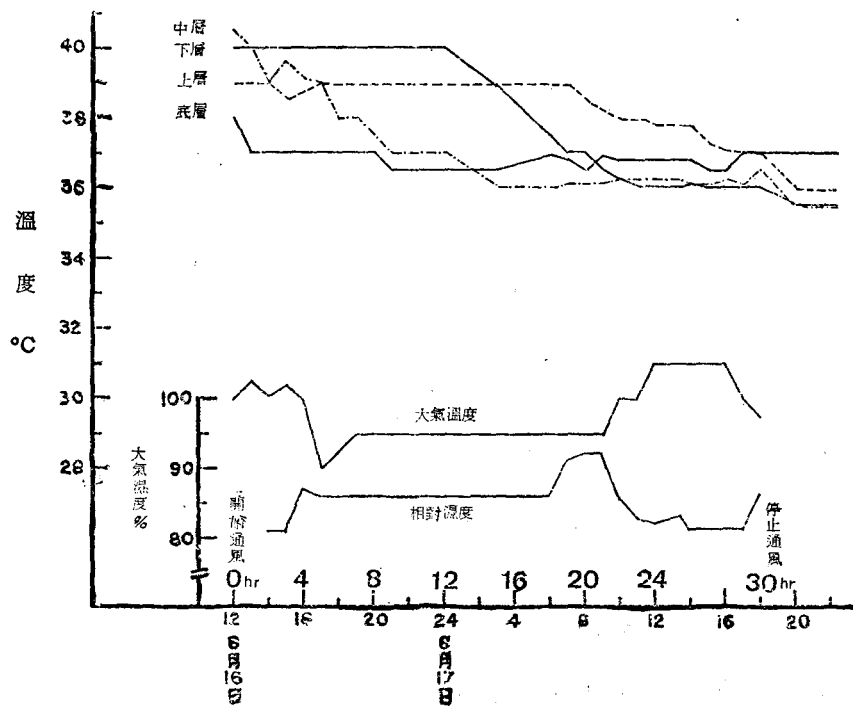


圖6. 圓筒倉連續通風降低谷溫之效果(乙倉連續通風80小時)

稻谷，通風機送風量為 $60\text{m}^3/\text{min}$ ，風壓 400mm 水柱， 15 Hp 。故乙筒內每噸稻谷通風量相當於每分鐘 0.1764 立方公尺即 0.1764 CMM 。若圓筒貯滿稻谷時即貯谷高度 23.8 公尺時，稻谷通風量減為 0.132 CMM 。有關每公噸貯谷通風量之設計標準於日本為 0.15CMM ，美國為 $0.062\sim 0.124\text{ CMM}$ 。

於本研究計畫執行期間採機動方式實施圓筒倉通風控制稻谷溫度。66年夏季8月16日乙筒上中下底層谷溫曾高達 $38\sim 40.5^\circ\text{C}$ ，8月16日12時開始通風，到8月17日18時止，日夜連續通風 30 小時後各層谷溫即下降到 $36\sim 37^\circ\text{C}$ ，當時大氣溫度介於 $28\sim 31^\circ\text{C}$ ，相對濕度介於 $81\sim 92\%$ （見圖6）。在此等氣溫與濕度居高之氣候下實在是不適合施行通風，但因部份谷溫已超過 40°C 之安全限度，雖然此時氣候條件不適合於通風，但惟有首先採取緊急通風措施來降低谷溫。故圓筒倉配備有通風機可有效的控制谷溫，避免谷溫升高超過容許安全溫度以上。

66年8月16日通風前乙筒各層溫度為上層（谷面下2公尺） 39°C ，中層（谷面下7公尺）， 40.5°C ，下層（谷面下12公尺） 40°C ，底層（谷面下17公尺） 38°C ，連續通風2小時後中層谷溫減為 39°C ，10小時後只有中層降低到 37°C ，降溫幅度較大，比通風前谷溫減少 3.5°C ，底層減為 36.5°C ，但上下層谷溫仍無增減。通風 20 小時後谷溫為上層 38.5°C ，中層 36°C ，下層 37°C ，底層 36.5°C ，即 20 小時後各層稻谷溫度才呈現全面低降趨勢。 30 小時後谷溫為上層 37°C ，中層 36.5°C ，下層 36°C ，底層 37°C 。第 20 小時到第 30 小時之間各層谷溫降低量較小。也即谷溫隨著通風時間之增長逐漸降低到趨近於一低限溫度值後溫度降低速率即緩慢下來。通風前谷溫介於 $38\sim 40.5^\circ\text{C}$ ，氣溫為 30°C ，兩者相差 $8\sim 10.5^\circ\text{C}$ ，經過 30 小時連續通風後谷溫介於 $36\sim 37^\circ\text{C}$ ，氣溫為 30°C ，兩者相差 $6\sim 7^\circ\text{C}$ 。欲再縮小谷溫與氣溫差距，似可再連續通風達 30 小時以上。在通風期間部份谷層溫度雖有上下起伏之現象，但通風結束後都可達到使各層谷溫降低之目的。各層谷溫降低量為上層 2°C ，中層 4°C ，下層 4°C ，底層 1°C 。通風 30 小時期間每小時谷溫降低速率為 $0.033\sim 0.133^\circ\text{C}$ 。原來谷溫較高之中下層稻谷谷溫降低速率較大。乙筒稻谷通風過程谷溫變化如圖6所示。8月17日停止通風後直到9月14日中層谷溫才回升 1°C 為 37°C ，而其他層谷溫仍維持

在通風後之谷溫，即 $35.5\sim 37^\circ\text{C}$ 之間，由圖6可看出在夜間通風時因氣溫較白天為低，故降低谷溫效果較顯著。若夜間相對濕度不高時，採行夜間通風方式可提高降低谷溫之速率，如此可減少通風時間與電力消耗。

初冬時節氣溫逐漸低降，谷溫也隨之低降，故藉通風降低谷溫之需要性不若夏天那麼顯著，也即谷溫超過限度 40°C 之可能性逐漸減少，但此時施行通風降低谷溫之效果較大。例如66年10月20日氣溫 24°C ，濕度 70% ，乙筒於當日14時開始通風，連續通風到10月21日15時，共計通風 25 小時。通風前乙筒各層稻谷溫度為上層 36°C ，中層 38°C ，下層 38°C ，底層 36°C ，以中間層谷溫較高。通風 25 小時後各層谷溫及其溫度降低值即溫降各為上層 34°C ，溫降 2°C ；中層 31°C ，溫降 7°C ；下層 29°C ，溫降 9°C ；底層 29.5°C ，溫降 6.5°C 。即原來谷溫較高之谷層通風後其溫降較大，此與上述8月中旬之通風結果相似。初冬時通風 25 小時期間各層稻谷每小時谷溫降低速率介於 $0.08^\circ\sim 0.36^\circ\text{C}$ ，比上述夏季8月通風時之降低速率大 2 倍，也即氣溫低時通風降低谷溫之速率較快。乙筒於連續通風 25 小時後於10月21日15時起停止通風 18 小時，於第二日（氣溫 25°C 濕度 77% ）9時重新開機通風 8 小時到10月22日17時，通風結束時，谷溫為上層 31°C ，中層 29°C ，下層 30°C ，底層 31°C 。第二日通風前即上午9時谷溫為上層 33°C ，中層 30°C ，下層 29°C ，底層 30°C ，故第二日通風結果其最大溫降為 2°C ，即溫降量低於第一日通風之最大溫降量（ 9°C ）。每小時溫降速率之最大值为 0.25°C 。10月22日通風結束後，雖氣溫逐日下降，但約隔 2 週時間，底層谷溫首先回升到 34°C 接近於通風前之 36°C 谷溫。而上中下層谷溫仍維持在通風結束後之較低谷溫。通風降低谷溫之效益似可維持達兩週以上。

冬天谷溫較低，施行通風之頻度可減少，甚至不通風也可維持在安全溫度 40°C 以下。但若圓筒內各層谷溫間之差距較大，或谷溫與氣溫差距較大時，為減少倉內某一谷層產生凝結水之可能性，施行通風減少谷層間之溫差或與氣溫之差距乃為一合宜之辦法。例如乙筒稻谷於66年11月15日連續通風 27 小時，通風期間白天氣溫介於 $20\sim 23^\circ\text{C}$ ，通風前谷溫上層 31°C ，中層 30°C ，下層 32°C ，底層 34.5°C ，通風後底層溫度 24°C ，其溫降較大，而

上中下層溫降較小，只降到 30°C，通風後即可縮小谷溫與氣溫之差距。冬季通風時靠近送風口之底層稻谷溫降速率較快，例如11月15日通風4小時後底層谷溫即自 34.5°C 降到 30.5°C，而其他各層谷溫降較緩慢。

筆者於本研究第一年報告指出⁽³⁾春季與初夏氣溫開始回升時，通風作業可緩和谷溫隨氣溫之回升而繼續增高之趨勢，在此季節通風僅能小幅度降低谷溫。

由圖3所示冬季圓筒甲倉月平均谷溫，低於平倉之原因除了因圓筒倉筒徑小於平倉寬度受氣溫影響較大之因素外，另一原因為低溫時，施行強制通風可有效的降低圓筒谷溫。

由於圓筒倉谷層高，實施通風時往往發生某一谷層首先降低溫度，但另一谷溫仍維持不變甚或略為上升，此現象發生在中上層較多，為求全面降低各谷層溫度應多採連續通風方式，若不可能實施夜間連續通風方法，可採用在 2~3 天內，每日只於白天通風 6~8 小時之斷續通風方式。谷溫較高之情況下，此種斷續通風方式之效益較不顯著。

綜觀之，試驗期間僅靠通風方式即可控制圓筒倉稻谷溫度，倉貯管理上若要求儘量縮短谷溫與氣溫之差距時，可增加通風頻度與時間，若只要求控制谷溫不超過 40°C 以上，則通風頻度可減少。一般而言，貯谷若能維持在較低溫度下，其品質較佳。倉貯管理上應該確實逐日記錄圓筒內各層稻谷溫度以供決定通風時機及頻度之參考，如此才能發揮通風控制谷溫之效益。

3. 貯谷品質與損耗

圓筒倉貯存稻谷含水率隨貯存期之增長而逐漸遞減之現象已於前節討論，除了稻谷含水率逐漸減少之外，千粒重、發芽率、呼吸率及微生物相發生率也都隨貯存期之增長而逐漸減低，其趨勢如表 2、表 3。對照平倉貯谷也呈現相同之趨勢。

由於稻谷含水率之降低使得甲筒稻谷千粒重，由進倉時 22.8431 克減為進倉後 13 個月之 20.6380 克，乙筒和平倉稻谷千粒重也呈減少趨勢。

本省農會倉谷之貯谷經長期貯存後出倉時其稻谷發芽率甚低約 0~5% 幾乎大都不能發芽⁽³⁾。本研究所用稻谷圓筒倉貯存期在 6 個月以前，發芽率仍在 60% 以上，但第 8 個月之發芽率即降到 11.88% (甲倉) 和 8.13% (乙倉)，此時對照平倉稻谷發芽率也已低降到 5.83%。貯存期達 13 個月後發芽率已低到

0.3~2.46%，圓筒甲倉於 67 年 5 月 23 日出倉時測定之發芽率為 4%。發芽率低降表示稻谷漸失生機，此時測得之稻谷呼吸率也呈低值，稻谷喪失生機以後，不良之倉貯管理促使貯谷品質敗壞之機會將逐漸增大。例如貯存期在第 3 個月之稻谷平均呼吸率為 8.5709 ul/2g/hr，但第 8 個月時即低降到 5.9853~6.8437 ul/2g/hr。貯存期在第 6 個月以後，發芽率急劇低降之現象，說明稻谷貯存期達 6 個月以後，稻谷活力低降，此後若倉貯管理不妥時，貯谷品質敗壞耗損之機率將大增。此現象吻合目前糧食局規定稻谷貯存期在 6 個月以前不計損耗之標準，即貯存期達 6 個月以後，才會逐漸發生品質敗壞耗損之現象。

微生物相之發生頻度隨稻谷含水率之低降而減低，貯存期第 10 個月含水率減到 11% 以下，此時微生物相發生頻度也呈大幅度之低降，如表 2、3 所示。影響稻穀儲藏期間品質改變之最重要因素為穀粒之微生物相以及儲藏環境之良好與否。儲藏環境之好壞，取決於場所之大氣相對濕度及溫度。然而儲藏物之含水量會直接影響微生物相之外，亦可改變相對濕度。因此含水量之多寡常是決定儲藏性病害之主要因素。如果穀物上含有極多之微生物，且環境適合其滋長時，則稻谷即會受某些細菌或真菌為害，不得不特加注意。

收穫前之稻穀微生物相以寄生菌為主。收穫後則以腐生性較占優勢，所含之微生物相種類繁多，出現頻率則依環境而有所改變。但是一般均以嫌濕性真菌如 *Aspergillus* 及 *Penicillium* 兩屬為主，亦間有少數植物寄生性病原菌如 *Helmenthosporium*, *Monilia*, *Fusarium* 以及 *Alternaria* 及細菌之出現頻率亦相當高。前二屬真菌中，不少成員屬於真菌毒素 (Mycotoxin) 生產者，細菌中，例如 *Pseudomonas* spp 亦會造成黃變米，本研究發現，儲藏期間越長，水份含量漸減，13 個月後平倉內穀粒水份含量減少至 11.09%；甲倉及乙倉各由 11.8 降為 10.51% 及 10.80%。發芽率在倉儲期間，都有很大的改變，貯存 8 個月後，圓筒甲倉及乙倉之發芽率各降為 11.88% 及 8.13%，13 個月後則全部降得更低。

此暗示稻米在貯存數個月後，雖尚未見微生物之為害，然稻米品質已有改變，其生命力急遽下降，呼吸率之依貯存時間之加長而下降之結果，亦可證實此一說法。Tsuruta⁽⁴⁾ 調查日本進口

表3. 圓筒倉及對照平倉稻谷品質分析平均值

取樣日期	含水量 %			千粒重 克			發芽率 %			呼吸率 ul/2g/hr			微生物相 (25粒谷子中出現之谷粒百分率)														
													Aspergillus spp			Pencillum spp			Monilia spp			Other Fugi			Bacteria		
進倉																											
65年 10月 14日~20日	11.80			22.8431			—			—			—			—			—			—			—		
66年 1月 27日 (3個月)	11.52			22.8461			74.4			8.5709			62			22			31			4			34		
	平倉	甲倉	乙倉	平倉	甲倉	乙倉	平倉	甲倉	乙倉	平倉	甲倉	乙倉	平倉	甲倉	乙倉	平倉	甲倉	乙倉	平倉	甲倉	乙倉	平倉	甲倉	乙倉	平倉	甲倉	乙倉
4月 25日 (6個月)	11.4	10.84	11.35	23.96	23.36	23.56	57.3	60	60.25	7.0734	6.4767	10.2339	52	55.2	55.2	18.7	16.8	16.8	21.3	15.2	15.2	6.7	3.2	1.6	29.3	39.2	40
6月 18日 (8個月)	11.05	10.53	11.01	23.0043	22.4499	23.6923	5.83	11.88	8.13	3.9829	5.9853	6.8437	45	45	51	16	14	15	24	17	6	2.7	5	9	29.3	29	37
8月 16日 (10個月)	11.44	10.64	10.9	—	—	—	—	16.52	11.0	—	—	—	22.3	21.6	15.5	4.7	3.8	4.3	1.7	2.3	5.0	3.5	2.2	2.0	5.7	5.4	9.0
11月 10日 (13個月)	11.09	10.51	10.80	20.9395	20.6380	20.1974	5.5	2.46	0.3	—	—	—	15.7	16.6	16.6	6.7	6.8	5.2	1.6	3.0	3.0	2.5	3.2	3.0	7.0	9.6	12.2
67年 2月 18日 (16個月)	—	10.08	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16.2	—	—	4.0	—	—	3.6	3.6	—	2.8	—	—	8.2	—

食米微生物相時，發現 *Aspergillus* 及 *Penicillium* 兩屬之真菌，出現機率最多，此類真菌能在低濕度下殘存一段期間，但在25°C，60%相對濕度時，一年內即會逐漸死亡。此一條件之下，稻穀平衡含水量為13%。貯存期間圓筒倉稻穀含水量均在13%以下，顯示儲藏條件不適合微生物發生。經一年之儲藏，*Aspergillus* 出現頻度從50%以上依平倉、甲、乙倉各降為15.7%，16.6%及16.6%。*Penicillium*則從15%以上各降為6.7%，6.8%，5.2%。細菌數與真菌一樣逐漸降低。儲藏一年以後，於稻米上雖尚可分出某些微生物，但是此類微生物由於稻米含水量低，因此只是殘存於穀粒上，並不能繁殖為害。呼吸率之降低，一方面表示稻米生活力之下降外，亦暗示穀粒微生物量之減少。綜言之，圓筒倉適合於一般稻穀之長期貯藏，但不適合於種子用稻米之儲藏。

圓筒倉於65年10月進倉65年1期蓬萊稻谷量為1,146,258公斤，含水率11.80%。貯谷分別於66年12月~67年2月，貯存期達14~16個月時，與67年4月~6月，貯存期達18~20個月時出倉乙丙丁三筒與甲筒貯谷。出倉期間稻穀含水率都低於11%。加工後生產糙米總量為890,448公斤，碾糙率為77.68%。由於出倉稻穀含水率低於進倉稻穀含水率，若貯谷無損耗，只有含水率減低造成之失重現象，則出倉含水率為10.5%時，出倉稻穀只重1,129,638公斤，將失重短少16,620公噸稻穀，即短少1.45%，由出倉稻穀含水率10.5%換算進倉稻穀總重1,129,638公斤與產生糙米總重890,448公斤計算碾率為78.82%，比原值77.68%提高1.14%。含水率之變化影響出倉稻穀之重量，若不加以修正將影響實際之倉貯損耗及碾糙率之計算。本研究之出倉稻穀含水率低於進倉稻穀含水率，故以進倉稻穀量為基準測得之進倉碾率會低於用出倉稻穀重量為基準測得之出倉碾率。合理方法應採用出倉稻穀重量來計算碾率。雖然本研究於出倉期沒能磅秤出倉稻穀總重量以計算貯谷損耗，但由進倉碾率與出倉碾率都超過糧食局規定蓬萊谷最低碾率標準77%來看，圓筒倉長期貯谷之損耗即使有的話，其損耗率也甚小而在容許耗損率以內。也即在目前糧食局之標準下圓筒貯谷後仍有碾餘米量。本次圓筒倉稻穀出倉加工之糙米都為合格米供外銷白米之用。對照平倉進倉量763,161公斤，加工後生產糙米量為596,028公斤，碾糙率為78.08%，雖比圓筒倉略

高，但平倉出倉稻穀含水率高(13.22%)而圓筒倉出倉稻穀含水率只10.5%，若將圓筒倉出倉稻穀含水率換算為13.22%時，圓筒倉貯谷碾率仍將大於對照平倉碾率。

四、討 論

1. 圓筒倉長期貯存稻穀之可能性

在臺灣利用圓筒倉做為農產物貯存倉庫者以雜糧業居多，貯存物如玉米、小麥、黃豆等，其倉貯期較短，鮮有超過半年以上者，品質維護上問題較少，也即在短期間利用圓筒倉貯存穀物導致穀物變質或耗損機率均較少。然而臺灣稻穀貯存期一般都超過一年以上介於1年~2年之間，傳統上，皆使用平倉貯存稻穀。至今仍未利用圓筒倉長期貯存稻穀之研究試驗資料。在本省氣候條件下利用圓筒倉可否長期貯存稻穀，在本研究執行之前仍被大眾置疑。本研究經過18~20個月的倉貯期，測定圓筒倉貯谷出倉碾率仍達77%以上，且也無品質敗壞跡象。據農會倉貯人員報告，其品質較平倉貯谷為佳。在平均氣溫29°C大氣相對濕度76~85%之夏季倉貯期間利用強制通風方式可控制谷溫在38°C以下排除稻穀發熱現象之發生。微生物相在貯存後期之發生頻度甚低，稻穀因而不受感染變質。此外圓筒倉配備有進出倉設備，進倉與出倉作業需人工較少，在人工日益缺乏之趨勢下愈發可以顯示其倉貯經營潛力。研究結果顯示圓筒倉長期貯存稻穀確有其可能性，今後如擬推廣利用圓筒倉貯存稻穀時，在倉貯管理上應加強各層稻穀溫度之測定，妥善配合實施機動通風和定時取樣檢視貯谷品質，方可發揮圓筒倉維護貯谷品質之效益。進出倉或翻倉用輸送機應避免在運輸過程中破損稻穀，為避免因不精準之輸送機具之裝配導致輸送稻穀破損率之增加，儘可能多採用帶式輸送機和箕斗式昇降機，避免採用空氣輸送機、螺旋輸送機、鏈式輸送機。若擬利用舊有雜糧用圓筒倉貯存稻穀時，應詳加檢視原有設計，必要時應加予修改使其適合於長期貯存稻穀之用。

有關谷倉內溫度分佈情形與通風效果等資料，於本試驗中只能取得單一垂直截面內不同谷層高度之谷溫紀錄。將來擬利用數值分析法或有限元素法來探討谷倉內縱向與橫向之谷溫變化，用以詳盡瞭解倉內谷溫分佈情形。

近年來，歐美各國圓筒倉庫時有穀倉爆炸發生導致生命與財產之損失，據報此等爆炸之主因為塵

爆，於大氣相對濕度低時才易發生，本省年平均濕度雖然高約80%以上，谷倉爆炸機率甚小，但是在倉貯管理上仍應注意防範措施以防萬一。

2. 經濟分析

圓筒倉貯谷出倉時，由進倉稻谷總重和出倉稻谷產生糙米總重計算貯谷之碾糙率為 77.68 % 仍高於蓬萊谷規定碾率之下限值 77 %，因出倉稻谷重量無法取得故無法得知實際貯谷耗損率，但從碾率大於 77 %，倉貯期間且無蟲害發生和貯谷未曾變質等現象觀之，貯谷損耗即使存在的話，其損耗量應該甚少。

圓筒倉造價分析已見於本研究第一報⁽³⁾。於民國 61~63 年間，其造價依每公噸稻谷貯存量計算，不同圓筒數之組合之造價為 4 支圓筒 5,200 元/噸，8 支圓筒 3,000 元/噸，16 支圓筒 2,500 元/噸，也即較多支圓筒集中一塊興建時其造價可大幅度下降。66 年度平倉（包括機械進倉機和通風機）造價以每坪貯谷 6 噸計時約為 4,100 元/噸，若每坪貯谷 10 噸時，其造價約為 2,050 元/噸。是故圓筒倉圓筒支數較多時，其造價即與平倉造價相差不多。但就單位倉庫面積貯谷量而言，圓筒倉貯谷量約為平倉之 3~5 倍。例如每座圓筒倉一般由 4 支圓筒組成，佔地約 15×15m²，合約 68 坪，貯谷量 2,000 噸，而相同坪數之平倉只能貯谷 400~680 公噸。

本次試驗所用圓筒倉所裝置之機械包括進出倉機、通風機、吸塵機等總動力為 64 hp，其流動電費約為 19.64 元/噸/年，主要為通風用電，由於通風具有控制谷溫維護貯谷品質之效益，將來如能採用稻米品質分級議價之標準時，圓筒倉流動電費之支出仍然符合經濟利益。

五、結 論

圓筒倉貯存稻谷之研究，自民國 65 年 10 月利用嘉義縣朴子鎮農會圓筒倉庫進倉 65 年 1 期蓬萊谷 1146.2 公噸，到 67 年 6 月全部出倉，貯存期達 1 年 8 個月。有關本次試驗所獲主要結論敘述如下：

1. 圓筒倉貯存稻谷期間，谷溫隨著外界氣溫因季節之變動而變動之趨勢比較平倉貯谷溫度之變動為顯著。夏季時圓筒倉與平倉谷溫相差不多，其平均谷溫介於 30~38°C，但冬季氣溫低時（20°C 以下），圓筒倉谷溫可控制在 30°C 以下，但平倉谷溫仍然在 30°C 以上。貯存期間，圓筒倉以中層谷溫較

高，上層和下層谷溫較低。

2. 翻倉可降低稻谷溫度，翻倉後約隔 2 個月後谷溫才再回升。

3. 強制通風方式可有效控制圓筒內谷層溫度。增加通風頻度與時間降低谷溫之效果較顯著。有效通風時間至少應達 8 小時以上。夜間通風降低谷溫效果顯著。每次通風後約隔 2 週以上谷溫才開始緩慢回升到通風前之谷溫。圓筒內各谷層間之溫度差距可利用通風減低此差距。

4. 圓筒倉內稻谷含水率，進倉時為 11.8%，但隨貯存期之增長含水率有遞減之趨勢。上層含水率高於中層稻谷含水率，貯存期間各層稻谷含水率都低於 13%。

5. 圓筒倉內貯谷呼吸率，發芽率於貯存期達 6 個月之後即呈現顯著之驟減現象。發芽率於出倉時低於 5%，對照平倉貯谷出倉時發芽率也甚低。

6. 由於控制谷溫得宜在倉貯後期，微生物發生頻度仍低，不適於真菌毒素生產菌之生長，故稻谷品質不易受微生物之侵蝕變質。

7. 圓筒倉 65 年 1 期蓬萊谷進倉量 1146.2 公噸，出倉加工碾製成糙米量為 890.4 公噸，碾糙率為 77.68%，倉貯結果仍有碾餘米。

8. 圓筒倉造價依圓筒支數之不同而異，一般介於 5200 元~2500 元/公噸稻谷，而平倉造價為 2050 元/公噸，故圓筒支數增加時其造價與平倉造價相差不多，但圓筒倉單位佔地面積貯谷量約為平倉之 3~5 倍。

9. 圓筒倉配備有高效率之機械進倉，出倉和通風機械，倉貯作業機械化程度高，可提高倉貯管理效率。

10. 經過 1 年 8 個月之長期貯存稻谷之結果，指出於本省氣候條件下可以利用圓筒倉貯存稻谷，今後於推廣使用圓筒倉貯存稻谷時應該詳加設計新倉或修改舊倉使其適合於稻谷貯存專用圓筒倉庫，如此才能發揮圓筒倉貯谷之效益。

六、摘 要

圓筒倉貯存稻谷之研究，開始於民國 65 年 10 月，利用嘉義縣朴子鎮農會圓筒倉庫貯存 65 年 1 期蓬萊谷（約於 6、7 月間收割者），共計 1,146 公噸，分別貯存於三支圓筒。每支圓筒內徑 6.8 公尺，高 23.8 公尺，倉貯期間僅行翻倉作業一次，並配合燻蒸〔施用好達勝 (phostoxin)〕及隨機通風方式

以減低病蟲害及降低谷溫。

爲配合農會倉貯稻谷調配及外銷白米等作業，兩支圓筒貯谷於66年12月出倉，一支圓筒貯谷於67年6月出倉，圓筒倉內貯存期間計達1年2個月及1年8個月。出倉碾製糙米量爲890.4公噸，碾糙率爲77.68%，仍有碾餘米。倉貯期間貯谷月平均溫度約比大氣溫度高出1~10°C，大多數月份谷溫在35°C以下，6月~9月間爲谷溫最高月份但都在38°C以下，對照平倉谷溫與圓筒倉貯谷溫度之差距甚小，約在1°C以內。秋、冬季平倉谷溫較圓筒倉谷溫爲高，春、夏季圓筒倉谷溫較高。稻谷含水率於進倉時爲11.8%，隨貯存期之增加而逐漸降低水分到10%，但表面谷層水份含量仍在11%~13%之間，故圓筒倉貯谷仍在糧食局倉貯規定中之安全谷溫40°C以下及安全稻谷含水率13%以下。

微生物之分析結果顯示圓筒倉內並無真菌毒素(Mycotoxin)生產菌存在，主要原因爲稻谷含水率仍維持在13%以下之故。

因圓筒倉封閉性高，故全無鼠害損失，施用好達勝(photoxin)燻蒸劑也使蟲害減至最低。

由本次長達1年8個月之圓筒倉貯存稻谷之試驗結果，顯示在本省利用圓筒倉貯存稻谷之方式有其可行性，但在貯存期間之倉貯管理必須配合谷溫記錄、通風或必要的翻倉作業，亦即加強科學化的倉貯管理，才能使圓筒倉效益顯示出來。圓筒倉單位面積之貯谷量約爲平倉之3~5倍。但圓筒倉造

價於64年2月時約爲每公噸谷需2,220元，平倉造價約爲每公噸2,050元。兩者造價差異並不是二、三倍之多。

七、誌 謝

本試驗計劃承農復會計劃[78-ARDP-1, 1-R-165]資助，並承糧食局、嘉義糧管分處與朴子鎮農會合作，謹致謝意。

試驗期間承農復會農民輔導組黃欽榮技正及朴子鎮農會侯長庚總幹事，供銷部侯清貴主任，侯明良先生協助甚多，試驗儀器安裝與稻谷取樣承台大農機系賈精石先生，游誠一先生，林華火先生和曾瑞雄先生之協助，品質分析承台大植病系侯信雄教授和陳炳照先生鼎力相助，謹此一併致謝。

八、參 考 文 獻

1. 盧福明、陳貽倫 1978. 改善稻谷倉庫機械設備之研究。中國農業工程學報 24(1):28-40。
2. 盧福明、江榮吉、李廣武、馮丁樹、穆克剛、黃淑郁 1978. 稻穀儲藏耗損及加工成本之調查與測定報告第1部份：稻穀儲藏耗損及加工性能測定研究。台灣大學農業工程系研究報告第324號。
3. 盧福明、賈精石、侯信雄 1977. 圓筒倉貯存稻谷之研究。中國農業工程學報 23(4):9-23。
4. Osamu Tsuruta, 1970. Microorganism in Stored Grains. In: Esmay, M. L. (Editor). Training in Storage & Preservation of Food Grains. Asian Production Organization, Tokyo.

承包土木、水利、建築等工程

德成土木包工業

負責人：陳宗霖

地址：桃園縣大園鄉竹圍村九〇號

電話：(〇三三) 八三五二九九