

乾草倉貯通風改良對梅雨期盤固草圓形乾草包 去濕效果測試⁽¹⁾

陳嘉昇⁽²⁾⁽³⁾ 劉信宏⁽²⁾ 游翠凰⁽²⁾

收件日期：110 年 6 月 28 日；接受日期：111 年 1 月 7 日

摘 要

臺灣夏季高溫多濕，不利乾草貯藏，本研究以現有草庫進行改造，利用物理環境控制原理，加強草庫之自然通風與去濕能力，做為一個低投入倉貯改良案例。設施改造完成後，以未改造之半邊草庫為對照，於夏季梅雨期間置入盤固草圓形乾草包，比較 6 週期間之乾草重量與品質變化。本項改造含立面與地板結構，結合草包堆疊成為通風井，以改善風壓通風 (wind-driven ventilation) 與浮力通風 (buoyancy-driven ventilation)。經兩草庫間微氣象差異之比較，改良草庫會提高草包間通風井之風速，而夜間提速更多。連續 6 週測量草包結果，改良草庫之草包於第 1 週平均減輕 0.55 kg，對照草庫之草包則增重 0.94 kg，差異達顯著水準；至第 6 週，改良草庫之乾草包平均增重 0.11 kg，對照草庫則增重 1.39 kg，差異亦達顯著水準。營養成分方面，粗蛋白質與中洗纖維含量於兩個草庫之調查期前後均無差異，而對照草庫乾草包之酸洗纖維含量在調查期前後差異達顯著水準。針對草包底部的觀察，對照草庫下層草包底部有霉斑出現，改良草庫者則無。乾草氣味評分最高者為改良草庫之上層草包，但與對照組上層差異不顯著；下層雖亦以改良草庫較高，但與對照組下層差異不顯著。初步實證結果顯示改良草庫於梅雨期的去濕效果優於對照草庫，對乾草的倉貯品質具有正面的效益。

關鍵詞：乾草庫、浮力通風、乾草品質。

緒 言

對同為熱帶禾本科牧草而言，國內盤固乾草的飼養價值與進口百慕達草相當，除可協助調整反芻動物飼糧乾物率外，也提供維持家畜健康的有效纖維，但因天候及收穫後處理因素，國產乾草長期以來存在乾燥度與耐貯性不足的問題。為提升國產乾草品質，畜試所近年除改良牧草收穫調製技術，也著手耐貯設施的探討，以提供國產優質乾草從生產到貯藏各環節的技術基礎。

乾草儲存期間品質的變化程度視打包時含水率、儲存期間環境之溫、濕度狀況而異 (劉等, 1986; Rotz and Muck, 1994; 張, 2000)。國產乾草於夏季面臨雙重不利問題，一為夏季多雨，打包時的含水率不易穩定達到安全含水率之下，二為儲存期間，乾草庫環境之高溫度及濕度使乾草品質更易於劣變。以恆春分所乾草庫為例，含水率 18 – 22% 之乾草包，在經過夏季 1 – 2 月的儲存後品質明顯劣變，外觀上，草包由黃綠轉為黃褐、深褐，出現黴斑及黴味，中洗纖維與酸洗纖維百分率提高，消化率降低 (張, 2000)。

除儘可能降低打包時含水率以減少倉貯損失外，國內尚無改善倉貯環境以維持乾草品質之研究。國外對於乾草庫建置的建議包括：適應當地氣候的方位選擇、防雨、通風及便於機械操作等 (Buckmaster *et al.*, 1989; Huhnke, 1993; 2003)，也少見透過物理環境的設計，以強化乾草庫的通風、去濕的探討。以稻穀貯藏而言，新式的穀倉雖都已有機械通風的導入 (盧, 1983)，但早在無機械通風可利用的土塊倉年代，穀倉地板須留甚大空間，空氣可由倉外之通風口進入，再由地板下面之通風口上升而進入穀層，以此達到通風及去濕的效果 (盧, 1995)。

如前述，臺灣夏季高溫多濕，乾草生產、貯藏面臨雙重不利，探討低投入的倉貯改善，以減少吸濕、結露帶來的不良效應有其實用性。若能在不耗費能源成本下，改良倉貯設施，提升乾草貯藏品質與耐貯性，對乾草產業發展具極正面效益。本研究以現有草庫進行改造，利用物理環境控制原理，加強草庫之自然通風與去溼能力，做為一個

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 2690 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所恆春分所。

(3) 通訊作者，E-mail: chencsg@mail.tlri.gov.tw。

防潮倉貯改良的案例。並於設施改造完成後，以未改造之半邊草庫為對照，於夏季梅雨季期間置入乾草包，比較 6 週間之乾草包吸濕或去濕情形、品質狀況及草庫內微氣象變化，以做為倉貯改良的參考。

材料與方法

I. 乾草庫原況

乾草庫牆面為水泥磚造結構，屋頂為鋁鋅鋼板結構；寬 17 m、長 25 m、屋簷高 5 m，屋頂高 7.8 m，中央有高 5 m 水泥磚牆，將草庫從中分成左、右兩個空間，兩個空間各有高 4.5 m、寬 3.5 m 之前、後出口 (圖 1)。

II. 乾草庫改造

以原草庫分隔之左邊空間進行改造 (改造草庫)，右邊未改善的空間做為對照 (對照草庫)；將中央 5 m 高之隔間磚牆上方至屋脊處以塑膠布將左、右兩邊完全分隔，使成為空氣不對流，完全獨立之空間 (圖 1)。改造項目如下：

- (i) 立面：將建物前後立面封頂浪板 (由屋頂封至下方水泥牆面) 切割出長 10 cm、向外 3 cm 之開口，共 70 孔洞，以增加風壓通風 (圖 1)。

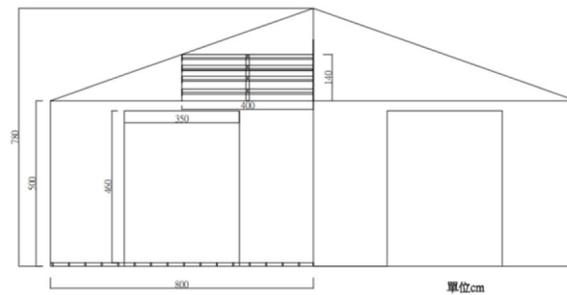


圖 1. 乾草庫正面。以左邊空間進行改造，右邊未改善的空間做為對照。左邊屋頂下方封頂浪板及下方地板均設有孔洞以利通風。

Fig. 1. Elevation view of hay barn reformed in this study. Left side: reformed space. Right side: original space as control. On the left side, the corrugated steel sheet under the roof and the floor below were provided with holes to facilitate ventilation.

- (ii) 地板結構：底層主結構材料為截面 (長×寬×厚) 4 cm × 8 cm × 0.28 cm 之扁方形鍍鋅銑管，以長 600 cm 與 26.5 cm 搭配鉚接固定，採寬面 8 cm 立於地面為主結構支撐；上鋪網孔 3.6 cm × 10.1 cm 之鍍鋅擴張網，鍍鋅擴張網寬 152 cm，長 304 cm，原料厚度 0.58 cm，網目切料寬度 0.68 cm。使底層依倉貯二端開口順向全線通風、排水及排濕。
- (iii) 設計增加浮力通風：利用日間太陽幅射使倉庫屋頂浪板產生高溫層，與地板之較低溫狀態產生之溫差，產生浮力通風效應，再以圓乾草包直立堆疊，其間隙成通風井狀 (圖 2)，以利風道形成。

III. 氣象資料及微氣候測量

大氣環境氣象資料來源為中央氣象局恆春測站。微氣候環境偵測方面，溫濕度以 HOBO U12-013 資料收集器內建溫度及相對濕度偵測器進行測量；風速紀錄器 PRODUAL IVL02 置於牧草堆形成之通風井中，距草包頂端約 40 cm 處，並串接至 Onset HOBO data logger，每 10 分鐘記錄一次量測平均值。

VI. 乾草包調查

- (i) 倉貯期間草包重量調查：

乾草庫改造施作完成後，於梅雨季開始前置入乾草包，依中央牆面左右對稱排列，乾草包之平面排列如圖 2，以上、中、下三個草包垂直堆疊成筒狀，草包堆疊整齊，確保相鄰草包堆間的上下風道暢通。108 年 5 月 1 日開始至 6 月 12 日，以選定的草包為調查對象 (如圖 2 中所示，A、B、C 三堆為對照組，D、E、F 三堆為試驗組，每堆含上、中、下層草包共 18 個)，每週進行乾草包秤重，調查倉貯期間草包重量差異 (= 調查時草包重量 - 開始調查時重量)，選定草包起始乾物率介於 86.0 - 87.6% 之間。秤重方法為每週固定時段將堆疊草包取下分別以 1 噸地磅 (地磅面積 150 cm × 150 cm) 秤重後，依原位置擺放堆疊。

- (ii) 草包一般成分分析：

5月1日及6月12日秤重調查開始前及結束後，各乾草包取樣進行一般分析，一般成分分析以 Foss-6500 NIRS 進行 (陳及王, 2004)。

(iii) 草包品質感官評分：

於秤重調查結束後，將選定之 6 個草包堆上、下層草包共 12 個取樣進行綜合感官評分。以畜試所恆春分所長於乾草調製及動物餵飼之技工同仁 12 人為評分員，依乾草色澤及是否有黴味等進行綜合評分 (Ball *et al.*, 2001)，採三級制，判定為差者 1 分，中等 2 分，優等為 3 分，由 12 位評分員個別獨立進行評分。此外亦進行 12 個草包底部是否出現黴斑的目視調查。

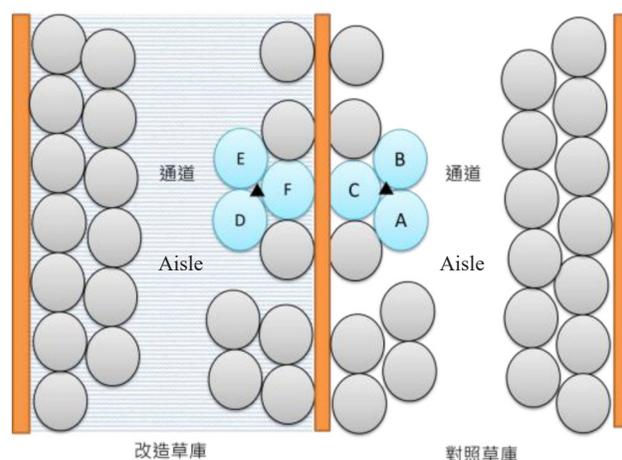


圖 2. 乾草包排列之上視圖，草包依同樣的方式對稱堆疊放置於左右倉庫，各疊有上、中、下三個乾草包。▲所示為偵測器位置。

Fig. 2. Plan view of the arrangement of hay bales. The hay bales were laid and stacked on left and right sides of the barn symmetrically in the same way. Three hay bales were vertically stacked from bottom, middle, to top. ▲ The position of the detector shown.

V. 統計分析

(i) 兩草庫間微氣象差異之比較：

擷取試驗期間雨天及非雨天各 3 天中，白天 (11 時至 15 時) 及夜間 (23 時至 3 時) 各 4 小時資料平均，進行改良草庫及對照草庫間之風速、溫度及相對濕度成對 t 值測驗 (paired t test)。差值 (= 改良草庫測值 - 對照草庫測值) 再進行雨天與否及日夜時段兩因子變方分析，以 SAS 軟體 (SAS, 2002) 進行。

(ii) 草包重量變化：

草包重量變化以 SAS 軟體 (SAS, 2002) 之 GLM Procedure 進行兩因子變方分析，主效應為草庫 (改良及對照) 及草包分層 (上、中、下層草包)，各主效應均為固定型，以鄧肯氏法 (Duncan's test) 測驗比較處理間的差異顯著性。

(iii) 草包品質變化：

一般成分分析以各處理試驗前及試驗後平均值 t 值測驗 (t test) 進行。感官分數進行兩因子變方分析，主效應為草庫 (改良及對照) 及草包分層 (上、下層草包)，各主效應均為固定型，以鄧肯氏法 (Duncan's test) 測驗處理間的差異顯著性。

結果與討論

本研究以改善原乾草庫之通風性為主要目的，並於梅雨季測試改良之效果。通風可依其驅動力來源區分為自然通風與機械通風，自然通風是依靠建築物內外的氣壓差異或溫度差異所造成的空氣流動；機械通風雖風量穩定，可隨需要來控制通風量，但缺點為消耗能量。由於乾草價格不高，基於節能與經濟性，本項改造以增強自然通風為考量。自然通風又可分為風壓通風與浮力通風，風壓通風是由自然風力作用在建築上所形成的風壓差異，造成空氣流動與室內外的空氣交換；浮力通風則藉由空氣溫度差異所造成的浮力，促使空氣對流 (李, 2008)。本項改造含：(1) 風壓通風 (有風狀況)：依靠建築物內外的氣壓差異所造成的空氣流動，增加倉貯內部通風及導引空氣流向；(2) 浮力通風 (無風狀況)：依靠太陽熱能在倉貯內改變不同微氣候，利用冷與熱空氣產生的空氣對流所引發的效應及 (3)

改變地板結構：地板結構結合草包堆疊成為通風井，以利通風、排水、排濕。

設施改造完成後，以未改造之半邊草庫為對照，於夏季梅雨季開始前置入乾草包，觀測草庫內微氣象變化，比較 6 週期間之乾草包吸濕或去濕，以及品質變化狀況。

I. 乾草觀測期間氣象狀況

108 年 5 月 1 日開始入梅，較往年為早，試驗期間 42 天中有 22 天有雨量紀錄，日雨量介於 1 – 40 mm 之間；試驗期間每日最高溫 23 – 30°C，每日最低溫 21 – 28°C，日平均相對濕度達 80% 以上之天數佔一半以上 (圖 3、4)，為典型臺灣梅雨季及夏季高溫多濕之氣候狀態，適於測試改造乾草庫與對照之差異。

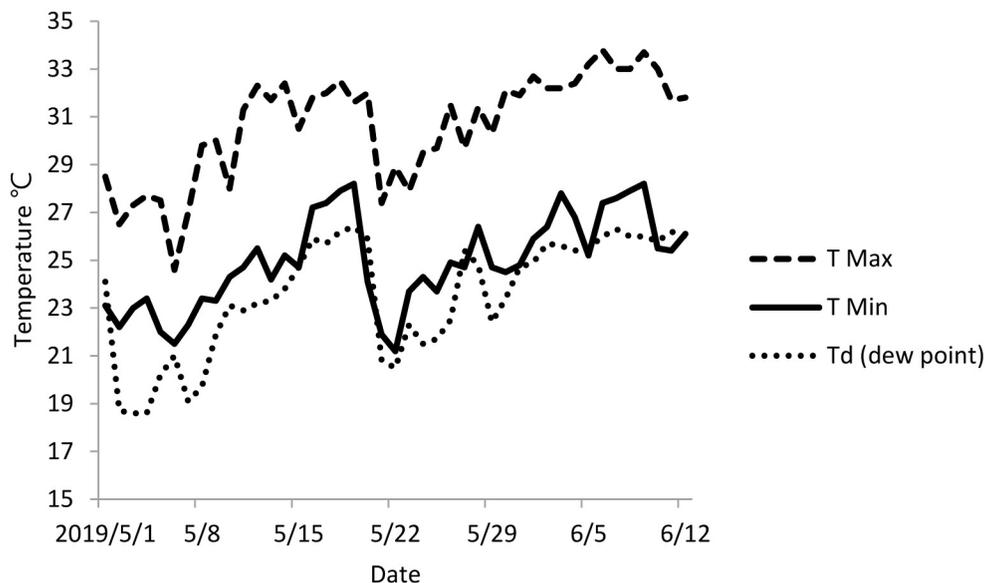


圖 3. 試驗期間每日大氣最高溫、最低溫及露點溫度。

Fig. 3. The daily maximum, minimum air temperatures and dew point during the experimental period.

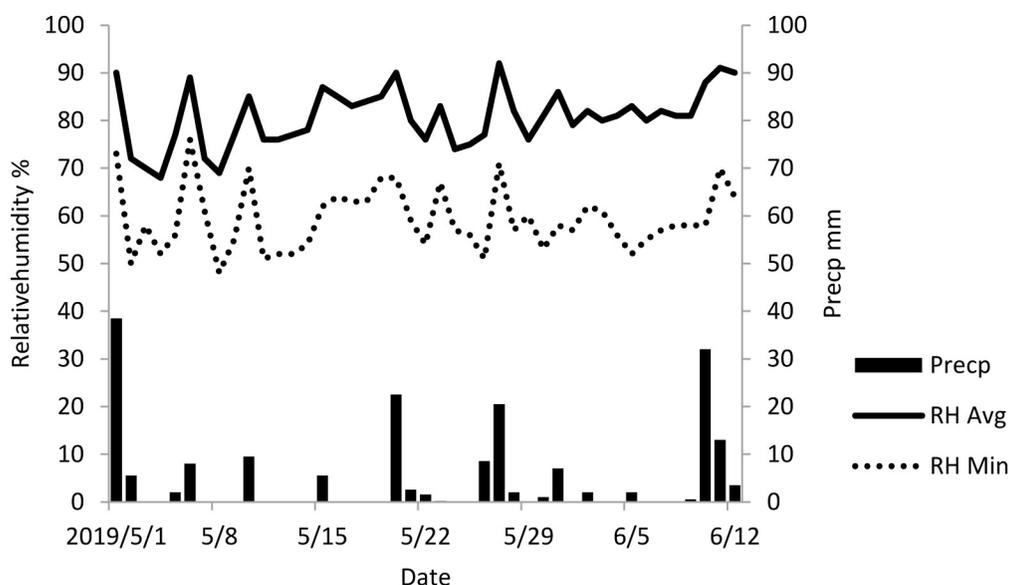


圖 4. 試驗期間每日平均相對濕度、最低相對濕度及降雨量。

Fig. 4. The daily mean and minimum relative humidity and precipitation during the experimental period.

另一值得注意為露點溫度。露點，是指含有一定量水蒸氣 (絕對濕度) 的空氣，當溫度下降到一定程度時，空氣所含的水蒸氣會達到飽和狀態 (飽和濕度) 並開始液化成水，這種現象稱為結露，水蒸氣開始液化成水時的溫度叫做「露點溫度」，簡稱「露點」。本試驗期間露點溫度介於 19 – 27°C 之間，42 天之中，日最低溫相等於、或低於露點溫度者有 9 天 (圖 3)，尤其地板散熱較快，試驗期間草包底部具備充分的結露條件。

II. 微氣象觀測

微氣象偵測器置於受測草包通風井中(圖2)，每隔10分鐘紀錄風速、溫度及相對濕度之平均值，48小時之風速連續紀錄如圖5。

擷取試驗期間雨天及非雨天各3天中，白天(11時至15時)及夜間(23時至3時)各4小時資料平均，進行改良草庫及對照草庫間成對t值測驗(paired t test)結果，兩草庫間的風速差異達0.05顯著水準，溫度及相對濕度差異均達0.001極顯著水準(表1)，顯示風速、溫度及相對濕度三者在兩個草庫間具明顯的差異。探討造成差異的因子，結果發現，雨天與非雨天間二草庫之風速、溫度及相對濕度三項微氣象差均無差異，白天與夜晚之間則三項差值數據均顯有不同，顯示日夜因子較晴雨因子重要(表2)。綜言之，相較於對照草庫，改良草庫會提高風速，而夜間提速更多；會降低室內溫度，而白天降低更多；也會升高相對濕度，而白天升高更多。

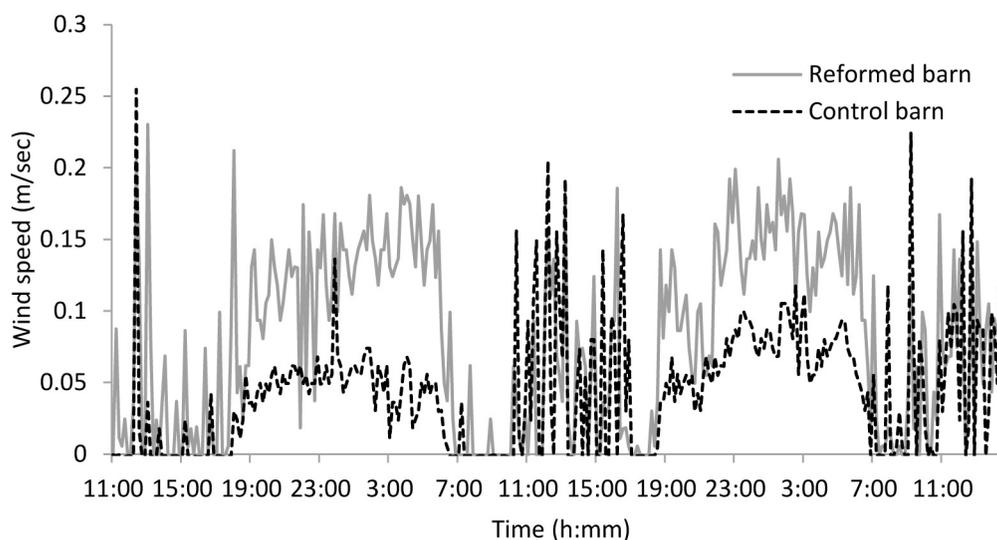


圖 5. 改造草庫及對照草庫之 48 小時風速連續紀錄。

Fig. 5. The continuous records of wind speed in the reformed and control barns for 48 hours.

表 1. 10 個不同時段微氣象資料於改造草庫與對照草庫間成對 t 值測驗

Table 1. The paired t-test of microclimate data between reformed and control barns for ten different periods

Item	N	*Difference	Stand deviation	t-value	Pr > t
Wind speed, m/sec	10	0.038	0.016	2.27	0.049
Temperature, °C	10	-1.160	0.207	-5.59	0.0003
Relative humidity, %	10	3.074	0.453	6.78	< .0001

* Difference = reformed – control.

由表 2 及圖 5 顯示，促進通風的主要效果發生於夜間通風。夜間降溫後由於倉庫屋頂與底部的溫差變大，屋頂的較高溫度氣流持續逸出，帶動室外較低溫氣流進入草庫底部，形成穩定的浮力通風，改造草庫頂部之排氣孔可以讓高溫氣流快速排出，地板及堆疊似通風井的草包間隙形成暢通風道，風速穩定高於對照草庫，雖然大多於每秒 0.5 公尺以下，但相較於對照草庫，增加了長時間穩定的夜間風流。白天之風速相對較不穩定(圖 5)，兩個草庫間白天風速平均差異不顯著(表 2)，應為草庫內外溫差不明顯，無法形成穩定的浮力通風(吳，2010)，相對的風壓通風影響力較大所致。

本觀測結果，改造倉庫有降低通風井溫度的效果(表 2)，尤其白天約低 1.5°C。利用通風以達到降溫效果是建築物或穀倉通風的目的，而其幅度依狀況而異(盧，1983；李，2008；吳，2010)。另，改造倉庫草包間隙的相對濕度高於對照，其一可能為在絕對水分不變之下，溫度降低致使相對濕度提高，另亦可能在部分情況下由於通風帶動微量水氣散出。

表 2. 改造草庫與對照草庫間微氣象資料差值於晴雨及日夜之比較

Table 2. Comparison of the * difference of microclimate data between reformed and control barns in rainy/non-rainy day and day/night time

Effect	Wind speed, m/sec	Temperature, °C	Relative humidity, %
Rainy day	0.039	-0.95	0.66
Non-rainy day	0.037	-1.37	0.49
Day time	0.012 ^b	-1.56 ^b	3.92 ^a
Night time	0.078 ^a	-0.55 ^a	1.81 ^b

^{a, b} Means with different superscripts are significantly different at 5%.

* As shown in Table 1.

III. 乾草包重量變化

以草庫 (改良與對照) 及分層草包 (上、中、下層) 兩因子變方分析結果, 草庫的 F 值從第一週至第六週均達顯著水準, 分層則前期不顯著, 至第五週及第六週達顯著水準; 交感則不顯著。因交感不顯著, 僅列草包累積重量變化之主效應平均值比較於表 3, 改良草庫之草包於第一週平均失重 0.55 kg, 對照草庫之草包則增重 0.94 kg, 差異達顯著水準; 之後兩者之間維持大於 1 kg 的差距, 直至第六週, 改良草庫平均增重 0.11 kg, 對照草庫之草包則增重 1.39 kg, 差異亦達顯著水準 (表 3)。

表 3. 圓形乾草包於貯存試驗期間與起始值之重量變化

Table 3. The changes of round bale weight from beginning to the end of the storage experiment

Main effect	Time of storage (weeks)					
	1	2	3	4	5	6
Layer	kg/bale					
Upper	0.33	0.58	0.58	0.75	0.83 ^a	1.00 ^a
Middle	0.25	0.50	0.50	0.75	0.75 ^a	0.82 ^a
Lower	0.00	0.42	0.25	0.33	-0.17 ^b	0.33 ^b
Barn						
Control	0.94 ^a	1.28 ^a	1.17 ^a	1.39 ^a	1.11 ^a	1.39 ^a
Reformed	-0.55 ^b	-0.28 ^b	-0.28 ^b	-0.17 ^b	-0.17 ^b	0.11 ^b

^{a, b} Means with different superscripts in the same main effect are significantly different at 5%.

由表 3 結果, 改良草庫去濕效果主要發生於第一週, 對照草庫的吸濕亦主要發生於第一週, 且上、中、下層草包的表現一致, 第一週調查結果上層的改良與對照組分別為 0 與 +0.67 kg, 中層分別為 -0.83 與 +1.33 kg, 下層分別為 -0.83 與 +0.83 kg。第一週之後, 改良組與對照組草包均緩慢吸濕與增重。

改良草庫去濕效果主要發生於第一週的原因, 推測可能與第一週為本試驗調查期間大氣日平均相對濕度較低的一週, 且露點溫度較低有關, 第一週雖有 4 天降雨, 但僅 5 月 1 日雨量較多 (38.5 mm), 平均相對濕度達 90% 外, 之後的大氣日平均相對濕度與露點溫度均較低, 因此, 在通風較佳的條件下, 改良草庫中的草包發生去濕效果; 而對照草庫並無改善通風, 一週內顯著發生吸濕現象, 因而增加重量。一週之後各草庫內乾草進入相對較平衡狀態, 之後逐漸平衡, 變化減小; 而大氣濕度高於第一週的狀況, 即使通風較多者 (改造草庫) 因通風之濕度高, 除減少凝結水氣外, 無法再進一步排除乾草包內水分, 因此兩草庫乾草呈現些微增重。此結果亦可印證張 (2000) 之觀察, 中及低含水率草包於第一期草第一個月均呈現吸濕, 高含水率者於前兩週亦吸濕增重, 之後又下降; 劉等 (1986) 以小方包之試驗則於第一個月草包失重最明顯, 蓋因其大氣環境不同與試驗處理草包之含水率均較高之故。

雖然草庫與草包分層位置之交感未達顯著水準, 但從數據可看出兩草庫間上層草包的差異較小, 而中、下層的差異較大, 推測可能對照組上層水氣仍較下層易於往上蒸散, 改良組則由於風道暢通, 中、下層草包水分較易帶出之故。

VI. 品質成分分析與感官調查

因跨區收穫及田間均勻度等因素，草包間存有相當程度的差異，故本成分調查採各處理草包倉貯前後差異之 t 值測驗 (表 4)，結果顯示，4 個處理的粗蛋白質含量於調查期前後均無差異，中洗纖維亦無顯著差異；而對照草庫上層與下層的酸洗纖維含量在調查期前後均提高，差異達顯著水準，改良草庫之上層與下層的酸洗纖維含量在調查期前後則無改變。

表 4. 貯存試驗開始 (5 月 1 日) 及結束 (6 月 12 日) 時乾草包營養成分之比較

Table 4. Comparison of nutrient components at the beginning (May 1st) and the end (Jun 12th) of the storage experiment

Bale	CP ¹		NDF ¹		ADF ¹	
	May 1 st	Jun 12 th	May 1 st	Jun 12 th	May 1 st	Jun 12 th
	----- % -----					
Upper of control barn	9.7	9.0	68.1	69.0	36.4 ^b	37.9 ^a
Lower of control	9.7	10.2	69.5	70.2	38.4 ^b	39.6 ^a
Upper of reform	9.5	9.3	72.3	70.3	40.3	39.1
Lower of reform	8.6	8.6	71.0	72.3	41.2	41.5

^{a, b} Means with different superscripts in the same component at the same location between May 1st and Jun 12th are significantly different at 5% level by t-test.

¹ CP: crude protein; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber.

酸洗纖維含量一般隨儲存時間而提高，尤其儲存狀況不良之下更為顯著 (Rotz and Muck, 1994; 張, 2000; Rhein, 2002)；在前人研究中，儲存期間粗蛋白質含量的變化較不一致，但品質劣變者的蛋白質消化率大幅降低 (劉等, 1986; Neres *et al.*, 2014)。

除成分分析外，本試驗於第 42 天觀察草包底部霉斑之有無，及進行乾草氣味的外觀與嗅覺評分。針對草包底部的觀察，對照組下層草包底部局部區塊有黑色霉斑，處理組草包底部壓出網狀印痕，呈現膨鬆狀，無霉斑出現。乾草感官評分改良組與對照組兩組間差異不顯著；上層草包之氣味評分均顯著高於下層草包，下層改良組與對照組差異不顯著 (表 5)。處理組下層草包底部雖無觀察到霉斑，但由氣味評分結果可知，即使在有設計改良通風狀況下，相對於上層草包，下層 (底層) 仍是相對較為不良的儲存狀態，然因風流改善、防止草包底部緊貼地面，減少水氣凝結 (或排出露點下凝結的露水)，有減少霉斑出現的效果。

表 5. 貯存試驗結束時改良草庫與對照草庫上、下層乾草的綜合感官評分及乾草包底部霉斑觀察

Table 5. Comparison of the sensory score and observed appearance of mold spot of the hays at upper and lower locations for control and reformed barns at the end of storage experiment

Bale	Sensory score	Mold spot
	Mean ± SD	
Upper of control barn	2.28 ± 0.78 ^a	-
Lower of control	1.67 ± 0.72 ^b	+
Upper of reform	2.53 ± 0.65 ^a	-
Lower of reform	1.83 ± 0.81 ^b	-

^{a, b} Means with different superscripts in the same column are significantly different at 5% level by t-test.

+, - : appearance or absence of mold spot.

通風是倉庫去濕的重要手段，建物的通風、降溫或去濕設計是一門古老的智慧，至講求節能減碳的今日，以設計之綠色建築又重新獲得重視 (李, 2008; 吳, 2010)；導入機械通風或降溫設備前的穀倉，以及目前的非環控的畜舍建築，如何通風、降溫設施都是不可或缺的設計。經本研究改造之乾草庫，對乾草的倉貯品質具有正面的效益。在高溫多雨的乾草貯藏危險期，可降低夜間低溫時導致水氣凝結的風險，及其後續帶來之劣變。本項改造之材料成本約 30 萬元 (新建草庫則僅工項取代，成本應更低)，所改造草庫底層可放置 120 個乾草包，售價 20 萬以上，無另附加成本，有助保全商品價值，甚具經濟效益。

結 論

- I. 本研究依原草庫現況加以三項改造：增加風壓通風、改變地板結構，再以草包堆疊間隙形成通風井，導入浮力通風，於梅雨期實證優於對照草庫的去濕的效果，對乾草的倉貯品質具有正面的效益。
- II. 本研究為現況改造之一案例，其效果仍有加強的空間。如：提高屋脊高度、利用自然通風裝置、提高地板通風量及降低亂流等，新建乾草庫若以物理環境控制為優先設計考量，應可獲更大效果。
- III. 國草乾草大都為商品型生產，優質與穩定是良好商品的前提，因應夏季高溫多濕環境，改善乾草庫的耐貯性可協助保全商品價值，也是國產優質乾草產業發展重要一環。本改造構想不僅可應用於供貨端，也可用於畜牧場倉貯。

參考文獻

- 吳玉婷。2010。太陽熱能煙囪之自然通風效益解析—以綠色魔法學校展覽室為例。國立成功大學建築研究所，碩士論文，臺南市。
- 李芝嫻。2008。垂直導光通風塔於室內通風性能之研究。國立臺灣科技大學建築與都市設計研究所，碩士論文，臺北市。
- 陳嘉昇、王紓愍。2004。盤固草化學成分近紅外光分析檢量線之建立。畜產研究 37：97-104。
- 張定偉。2000。盤固草倉儲期間品質變化之研究。畜產研究 33：339-351。
- 劉明宗、李春芳、陳茂墻。1986。打包時含水率及貯存時間對盤固草品質的影響。畜產研究 18：43-54。
- 盧福明。1983。穀倉機械化作業之研究 II。機械強制通風方式控制貯倉稻穀溫度之效果。農業工程學報 29：52-61。
- 盧福明。1995。稻穀儲存管理技術。稻穀倉儲加工作業技術手冊。財團法人農業機械化發展中心，臺北市，第 27-39 頁。
- Ball, D. M., M. Collins, G. D. Lacefield, N. P. Martin, D. A. Mertens, K. E. Olson, D. H. Putnam, D. J. Undersander, and M. W. Wolf. 2001. Understanding Forage Quality. American Farm Bureau Federation Publication 1-01, Park Ridge, IL.
- Buckmaster, D. R., C. A. Rotz, and D. R. Mertens. 1989. A model of alfalfa hay storage. Trans. Amer. Soc. Agric. Eng. 32: 30-36.
- Huhnke, R. L. 1993. Round bale hay orientation effect on alfalfa hay storage. Appl. Eng. Agri. 9: 349-351.
- Huhnke, R. L. 2003. Round bale hay storage. Oklahoma State Coop. Ext. Serv. F-1716.
- Neres, M. A., D. D. Castagnara, L. M. Mufatto, T. Fernandes, C. A. Hunoff, J. R. Wobeto, and C. D. Nath. 2014. Changes in Tifton 85 bermudagrass hay storage in the field or under shed. Arch. Zootec. 63: 555-558.
- Rhein, R. T. 2002. Changes in nutritive value of bermudagrass hay during storage. Agron. J. 94: 109-117.
- Rotz, C. A. and R. E. Muck. 1994. Changes in forage quality during harvest and storage. In: Forage quality, evaluation and utilization. ed. Fahey, Jr. G. C. American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society of America, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. pp. 828-868.
- SAS. 2002. SAS® 9.0. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Evaluation of the moisture removal effect of pangolagrass round bales with reformed hay barn in the rainy season ⁽¹⁾

Chia-Sheng Chen ⁽²⁾⁽³⁾ Hsin-Hung Liu ⁽²⁾ and Tsui-Huang Yu ⁽²⁾

Received: Jun. 28, 2021; Accepted: Jan. 7, 2022

Abstract

The high temperature and humidity in summer are unfavorable for the storage of hay in Taiwan. This study aimed to use the existing hay barn reformed as a low-input storage improvement case by adopting the principles of physical environment control and strengthening the natural ventilation and moisture removal capacity. After completing the renovation of the facility, the unmodified half of the barn was used as the control. The round hay bales were placed in the barn for six weeks to compare the weight and quality of the hay during the rainy season. This transformation included the facade and floor structures, combined with the stacking of bales to become a ventilation funnel to improve the wind-driven ventilation and buoyancy-driven ventilation. Comparing the micro-climate difference between the two barns, the reformed barn increased the wind speed of the ventilation funnel between the bale stacks and increased the wind speed more at night. The reformed barn also decreased the temperature and increased the relative humidity. For the results of measuring the baled weights for 6 consecutive weeks, the bales of the reformed barn lost 0.55 kg per bale in average in the first week, while the weight of the bales of the control barn increased by 0.94 kg per bale, which reached a significant difference. At the sixth week, the hay bales of the reformed barn increased 0.11 kg per bale in average, while those of the control barn increased 1.39 kg per bale, and the difference was significant. In terms of nutrient content, there was no difference in the contents of neutral detergent fiber and crude protein before and after the survey period, while the acid-washed fiber content of the hay bales in the control barn had a significant difference before and after the storage experiment. According to the observation of the bottom of hay bales, mold spots appeared on the bottom of bales in the control barn, but not in the reformed barn. The upper layer of bale had the highest hay smell score in the reformed barn. It was not significantly different from that the upper of the control barn. No difference was observed for the scores of lower layers of bales between reformed and control barns. This study empirically demonstrate that the reformed barn had better moisture removal effect than that of the control barn during the rainy season, and had positive effect on the storage quality of hay.

Key words: Hay barn, Buoyancy-driven ventilation, Hay quality.

(1) Contribution No. 2690 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

(2) Hengchun Branch, COA-LRI, Pingtung 94644, Taiwan, R. O. C.

(3) Corresponding author, E-mail: chencsg@mail.tlri.gov.tw.