

# 電子相對濕度計應用於穀物含水率之測定技術

## The Determination Technique of the Moisture Content for Grains by Electrical RH Sensors

台灣省農業試驗所副研究員

台灣省農業試驗所技士

陳 加 忠

曹 之 祖

Chia-chung Chen

Chih-Tsu Tsao

### 摘 要

此研究中探討量測農產品於平衡狀態下其周圍環境之平衡相對濕度與溫度值，再以EMC公式計算農產品含水率。相對濕度計之量測值以事先建立之校正方程式轉換為直實值。EMC模式已考慮穀物乾燥溫度對此物性之量化影響。實驗所得數據與烤箱法所得之標準值比較結果顯示在不包含85%RH以上之量測值其含水率測定誤差平均值為1.0%以內。此種技術對穀物散裝貯藏之監控作業十分有用。

關鍵詞：平衡相對濕度，含水率，農產品

### ABSTRACT

In this study, the equilibrium relative humidity and temperature of the environment in equilibrium state with the agriculture Products were measured, then the moisture contents of these products were calculated by the known EMC models. These EMC models had included the quantitative effects of drying temperatures on the samples. The reading values of the RH sensors were transferred by the calibration equation that be previously established. Comparing with the moisture values determined by the oven method, the average deviations were within 1.0% for the rough rices and corn kernels excluding the RH measuring values above 85%. This technique could serve as a good monitoring system to detect the variations of temperature and moisture content for the bulk stored grains.

Key words: Equilibrium relative humidity, Moisture content, Grains.

## 前 言

農產品含水率為不僅影響品質，而在市場上更為影響售價的主要因子，因此在農產品的加工作業中，含水率的量測工作十分重要。農產品之貯存含水率在安全標準以下時，微生物、昆蟲、黴菌等有害生物均無法活動，此外其化學活性亦處於安定狀態，因此其貯存期限可加以延長。而在市場銷售時，存在農產品內部之水份其售價與乾物質相等，因此所含水份其經濟價值不可忽視，含水率量測的準確性在加工作業之重要性更無可取代。

由於農產品之平衡相對濕度 (Equilibrium Relative Humidity, ERH) 平衡含水率 (Equilibrium moisture content, EMC) 與溫度三者存有一定的關係，利用平衡相對濕度與溫度之量測用以換算含水率為一可利用的方式。

Hughes等人 (1965) 利用Honeywell RHsensor放置於麵粉內，再以量測之溫度，相對濕度值，由原先建立之ERH/EMC曲線圖查得含水率。在10~15%含水率之範圍內，此技術之誤差值平均標準差為0.2%。

Gough (1976) 利用真空抽取方式，抽出散裝穀倉內殼層間隙之空氣。被抽出之空氣利用Rotronic-spacesensor量測其溫度，相對濕度值。然而此技術所得含水率之準確性並未報導。

Bunn等人 (1986) 以此技術量測散裝穀物之含水率，其量測對象為玉米粒與大豆，其含水率計算之EMC模式係採用ASAE標準。其量測含水率與烤箱所量測之含水率比較均有高估現象。Buschermoble氏等 (1989) 利用此技術以觀察穀物貯存時溫度與含水率之變化。

Chung與Verma (1991) 利用VAISALA感測器量測稻穀乾燥後貯存時含水率 (13~16%w.b.) 時，其量測性能為0.5%之高估值，隨穀物含水率之增加，量測值有高估現象，在16% (w.b.) 時，誤差值有2.0%之高估結果。

Young氏 (1983) 對此項含水率技術評論如下：此種技術有快速與非破壞性等兩項優點，但在使用時有其限制條件：1. ERH、EMC與溫度三者之關係必須先行建立。2. 必須考慮遲滯效應之影響。3. 在高相對濕度範圍不準確。4. 受測物體必須處於平衡狀態，因此乾燥與均化作業之穀物並不適用。

國內主要農產品其平衡含水率，平衡相對濕度與溫度三者之物性關係已有完善的研究，並已探討其影響因子 (乾燥熱風溫度、遲滯效應……等) 對此種物性之量化影響模式 (Chen and Tsao, 1993)，並發現經熱風乾燥後之穀物其遲滯現象並不顯著。電子式平衡相對濕度計之校正技術已完成開發 (陳等, 1990a)，使濕度計之準確性大為提高。Young氏 (1983) 所提之限制條件已有解決，因此利用已開發之平衡相對濕度量測技術，應用以進行穀物含水率的量測。

此研究之目的在於驗證利用平衡相對濕度與溫度進行含水率測定的量測技術，以統計技術探討其量測之性能，以評估此種穀物含水率量測技術之可行性。

## 設備與方法

### 一、溫度與相對濕度感測器

此研究所用之感測器為Rotronic I-100 Transmitter，其感測端子係由溫度與平衡相對濕度感測元件同時組成。元件保護頭罩係利用透氣性金屬頭，以避免穀粒之撞擊傷害與灰塵污染。

溫度感測元件為RTD PT-100Ohm，輸出訊號0-1V，相對量測值於0-100°C，準確性為±0.1°C。

相對濕度感測元件為ROTRONIC Hygromer，為薄膜型電容感測元件，輸出為0-1V，相對量測值為0-100%，其準確性依廠高規格為±2%RH，經建立校對方程式後，準確性可改良為±0.7%RH (陳等, 1990b)。

### 二、測定材料

- a. 稻穀 (台農67號)
- b. 玉米粒 (台農1號)

### 三、樣本處理方法

所測定樣本自田間採收後量測其最初含水率，並以乾燥設備乾燥至預定含水率，乾燥所用溫度約50°C左右，每批樣本數量約有4.0公斤。乾燥完成冷卻後均勻混合置於密閉塑膠袋內，使其含水率成均勻狀態。其平衡相對濕度大於65%之樣本則放置於2°C冷凍櫃內以避免發霉。試驗前24小時取出使溫度

接近室溫。

#### 四、試驗方法

##### (一)含水率標準值測定方法

稻穀與玉米粒之樣本含水率係利用烤箱進行，乾燥熱風為103°C，時間72hr。量測之含水率以乾基表示，此研究之穀物含水率均以乾基表示。

##### (二)平衡相對濕度量測技術

此量測技術說明如下：

- 1.將量測穀物自貯存袋中取出置於500cc之塑膠瓶內，再將Rotronic感測器之感測器前端插入瓶內，感測位置約在塑膠瓶中間位置。
- 2.在假設穀物溫度，平衡相對濕度均與周圍間隙空氣處於平衡狀態時，感測器所量得穀粒間隙之空氣溫，濕度值即為穀粒之平衡溫、濕度值。
- 3.依量測時間之間隔（10分或15分鐘）記錄一次量測值，以觀察試驗時間對量測數據之影響。
- 4.量測所得相對濕度值以校正方程式再換算為真實值。
- 5.以溫度，真實相對濕度值代入EMC公式以計算其含水率。
- 6.以此計算所得含水率與烤箱所量測含水率加以比較。

#### 五、EMC公式

此研究所用之EMC公式如下：

(一)穀粒：以50°C乾燥之穀粒，其適用之EMC模式有三種（陳等，1990a）：

M：含水率（%，乾基），RH：相對濕度（小數點），T：溫度（°C）

##### 1.Modified-Henderson Equation：

$$M = \left( \frac{\ln(1-RH)}{-6.63 \cdot 10^{-5} \cdot (T+72.2)} \right) \quad \dots(1)$$

##### 2.Chung-Pfost Equation.

$$M = 32.68 - 5.168 \cdot \ln(-(T+78.32) \cdot \ln(RH)) \dots(2)$$

##### 3.Modified-Oswin Equation

$$M = \left( \frac{\text{Exp}(11.57 - 0.0486 \cdot T)}{-\ln RH} \right) \quad \dots(3)$$

##### (二)玉米粒

可利用之EMC公式如下：（陳等，1992）

##### 1.Modified-Henderson Equation

$$M = \left[ \frac{\ln(1-RH)}{(-7.98 \cdot 10^{-5} \cdot T + 82.3)} \right] \quad \dots(4)$$

##### 2.Chung-Pfost Equation

$$M = 39.03 - 6.32 \cdot 32 \cdot \ln(-(T+85.03) \cdot \ln(RH)) \dots(5)$$

#### 六、實驗數據分析

此研究中以烤箱所量測之三組數據平均值為標準值，用以評估其此種含水率測定技術之性能。相關之統計技術說明如下：

在全部量測範圍內，繪製標準值對量測值和誤差值之數據分佈，觀察不同測定設備在測定範圍之性能表現，並以量化方式比較其性能，統計量DM之計算公式如下：

$$DM = \sum |Y-X| / N \quad \dots(6)$$

$$= \sum |e| / n$$

Y為標準值，X為量測值，e為誤差值，N為數據數目。

#### 結果與討論

##### 一、稻 穀

以此相對濕度與溫度量測技術，在樣本放入容器10分鐘後所量測之典型結果與標準值之比較如圖1，2所示。其計算公式係利用Chung-Pfost式（Eq. 2）。由圖1可知，量測點均勻分佈於Y=X直線之周圍，無高估或低估之趨勢，誤差分佈圖（圖2）並未有規則性誤差趨向，顯示此量測方式之誤差為隨機分佈，並無固定誤差存在。三具感測器在兩種量測時間下之量測結果，以三方程式加以計算，其誤差量化性能DM值如表1所示。

表1. 以相對濕度量測技術量測稻穀含水率之性能

sensor NO.	平衡時間	M.-Hend. Eq.	C.-Pfost Eq. DM	M.-Oswin Eq.
1	10	1.33	1.28	1.41
	20	1.16	1.06	1.19
2	10	1.54	1.26	1.39
	20	1.26	1.06	1.06
3	10	1.35	1.52	1.31
	20	1.00	0.87	1.18

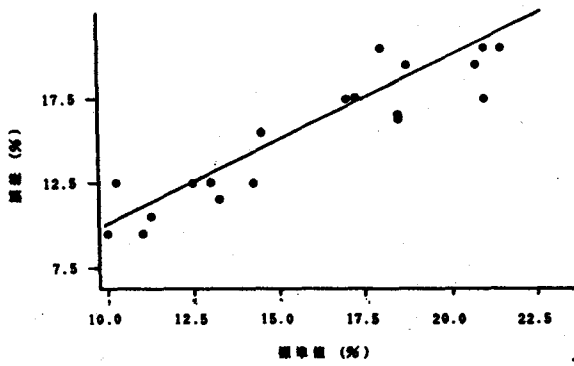


圖1. 利用相對濕度量測技術量測稻穀含水率之性能

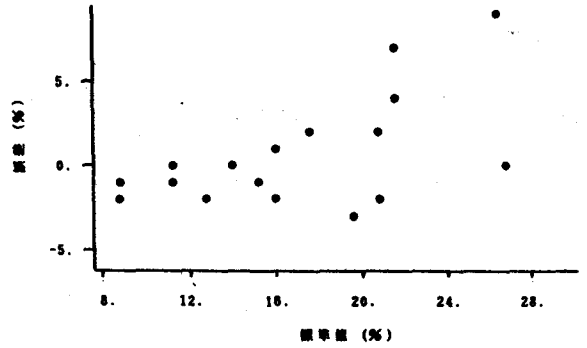


圖4. 利用相對濕度量測技術量測玉米粒含水率之誤差分佈(1 min)

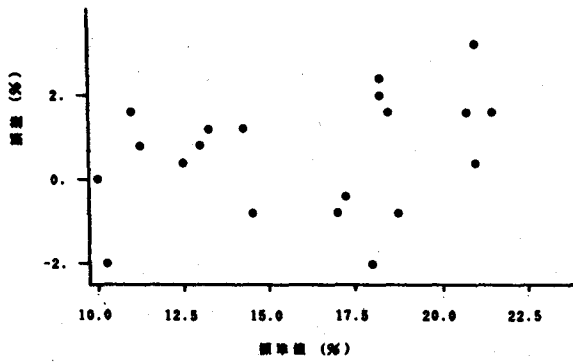


圖2. 利用相對濕度量測技術量測稻穀含水率之誤差分佈

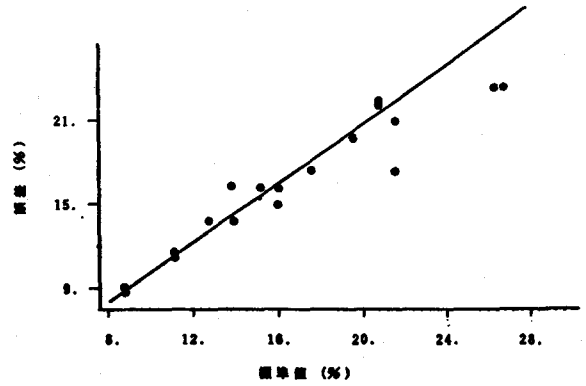


圖5. 利用相對濕度量測技術量測玉米粒含水率之性能(15 min)

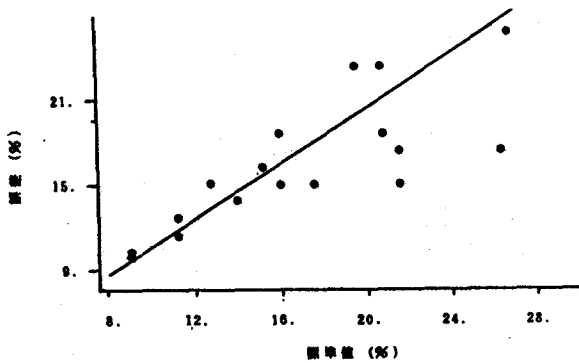


圖3. 利用相對濕度量測技術量測玉米粒含水率之性能 (1 min)

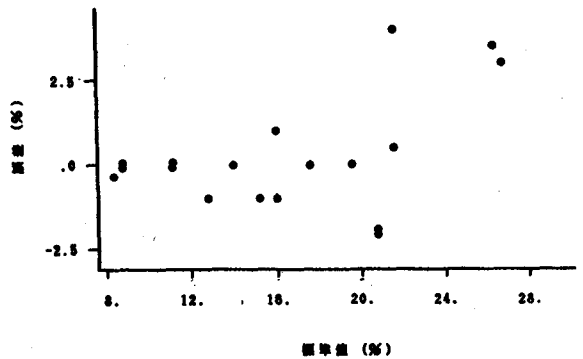


圖6. 利用相對濕度量測技術量測玉米粒含水率之誤差分佈(15 min)

對測定所需時間而言，20分鐘後之量測值優於在10分鐘後之量測值。三具感測器性能並未有顯著之影響。以三項方程式之計算結果而言，以Chung-Pfost方程式所得之誤差最小，Modified-Oswin公式次之，Modified-Hendenron公式之誤差值最大，此模式對量測含水率之準確性之影響能力與稻穀ERH/EMC模式之評估量化標準值恰為一致（陳等，1990a）。以Chung-Pfost公式計算之含水率，在10分鐘量測時間，DM平均值為1.3%，以二十分鐘量測時間其DM值則為1.0%。所有較大的誤差均來自超過85%RH之量測值。以不包含85%RH之量測技術數據所計算之含水率誤差均在1.0%之內。Chung與Verma（1991）利用此量測技術之結果，其計算所得之含水率與標準值比較有0.5~2.0%之高估值，其利用之EMC模式係引用ASAE Standard之公式，該公式係為常溫（25°C）處理樣本之結果。而由稻穀之ERH/EMC影響因子研究中（Chen and Tsao,1993），以50°C熱風乾燥之樣本，在同一相對濕度環境下，其含水率比25°C乾燥之樣本低約1.0~2.0%。Chung氏等（1991）之樣本係利用45°C熱風乾燥，而其利用之EMC公式卻僅適用於常溫乾燥之樣本。由於EMC公式之不適切，因此其量測技術有0.5~2.0%之高估值。而此研究結果顯示誤差並無高估現象。因此適切之方程式對此項量測技術十分重要。Bunn等人（1986）之量測含水率亦有高估現象，其原因與Chung等人（1991）相同，均係利用不適切EMC模式。

## 二、玉米粒

玉米粒之含水率係Chung-Pfost公式加以計算。隨著量測時間之增加，誤差值逐漸降低。各量測時間之性能曲線與誤差分佈如圖3~7所示。

由圖3,4可知，在量測時間為1分鐘時，16%以下含水率之樣本有良好的量測性能，其測量測之相對濕度值為75%RH以下範圍。在量測時間15min條件下，其量測性能（圖5，6）顯示，含水率20%以下之樣本有良好之性能，其量測相對濕度值為85%以下之範圍。

圖7為量測時間30min時其誤差分佈，在含水率20%之量測值其誤差分佈仍然未收斂，其對應相對濕度值為85%。由上述結果可知，大於85%RH之量

測數據並不適用此項含水率量測技術。由於穀物之安全基準值為65%（陳，1990），因此此量測技術有其實用性。包含與不包含85%RH量測值所得含水率之誤差統計量比較如表2所示。可知此技術對玉米粒含水率之量測誤差約為1.0%以內。

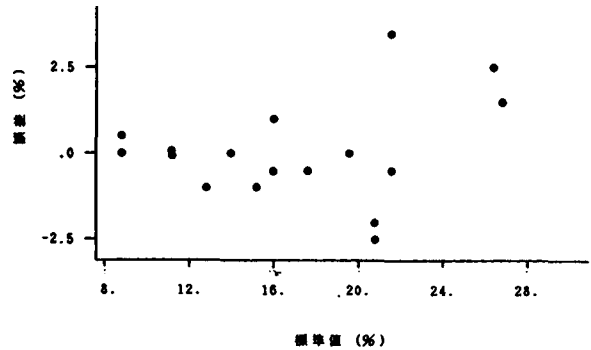


圖7. 利用相對濕度量測技術量測玉米粒含水率之誤差分佈(30 min)

## 三、倉貯之應用

在散裝之穀物貯存作業中，穀物之安全監控作業需要量測穀物含水率與溫度的變化，以為通知之依據。穀溫之量測已有實用技術，穀物含水率則需要以人工取樣，再加以量測，因此耗時費用。利用此研究之量測技術，將電子式濕度計直接置於穀層之間，由量測所得之溫度與相對濕度值即可求得含水率之變化值。國內之倉貯方式逐漸由袋裝改為散裝作業，未來散裝貯存之倉庫其監控作業即可利用此研究所得之技術。

表2. 以相對濕度量測技術量測玉米粒含水率之性能

量測時間(min)		1	15	30	45	60
DM	含85%RH 以上數據	2.84	1.12	0.95	0.89	0.88
	不含85%RH 以上數據	2.04	0.57	0.49	0.49	0.48

## 結 論

此研究中利用電子式相對濕度計以量測穀物之平衡相對濕度與溫度值，再依EMC公式計算其含水

率。相對濕度計先建立校正公式以改良其準確性。所用之EMC公式均考慮乾燥熱風對樣本之影響。所測得含水率與標準值比較其準確性於1.0%之內。誤差值並無高估式低估等規律性誤差之存在。此技術之適用局限為85%RH之量測範圍。此技術適用於散裝之倉貯作業之監控系統。

### 參考文獻

- 1.陳加忠，1990，穀物平衡相對濕度性質在農產品貯存上之應用，省農試所技術服務季刊。1(1):4-7。
- 2.陳加忠，賴建洲，曹之祖，1990a，稻穀平衡相對濕度性能之研究，中華農業研究，39(4):347-366。
- 3.陳加忠，曹之祖，賴建洲，1990b，電子相對濕度計之性能評估，農業工程學報，36(4):79-96。
- 4.陳加忠，曹之祖，1992，玉米平衡相對濕度物性質之研究。農業工程學報38(3)：86-97。
5. Bunn, J. M, and M. J. Buschermohle, 1985, Evaluating relative humidity sensors for measuring moisture content of stored grains. The Fifth International drying symposium, Cambridge, M. A.
6. Bushermohle, M. J, J. M. Bunn and R. A. Spray. 1989. Temperature and moisture distribution in

stored grains in Southeastern climates. ASAE Paper No. 85-6542. St. Joseph, MI.

- 7.Chen, C and C. T. Tsao. 1993. Effect factors on the equilibrium relative humidity of agricultural products. ASAE Paper, No. 93-6004. St. Joseph, MI.
- 8.Chung. J. h. and L.R. Verma, 1991, Dynamic and quasi-static rice moisture models using humidity sensors. Trans of the ASAE 34(6):2477-2483。
- 9.Gough, M. C. 1976, Remote measurement of moisture content in bulk grain using and air extraction technique. JAER 21:217-219。
- 10.Hunghes, F. J., J. L. Vaala, and R. B. Xoch, 1965, Rapid measurement of moisture in flour by hygrometry. In:Humidity and Moisture Vol: II PP. 133-136, Reinhold Publ, CO., N.Y.
11. Young, j. H. 1983, Moisture. In: Instrumention and Measurement for Environmental Sciences. Mitchell, B. W.(EDS.)Chap. 7. ASAE, St. Joseph, MI.

收稿日期：民國82年7月21日

修正日期：民國82年8月3日

接受日期：民國82年8月18日

專營土木、水利、建築等工程

宜盟營造有限公司

地址：花蓮市民享二街54號

電話：(089)861325, (038)222575