

種子平衡相對濕度與溫度對儲藏 壽命影響之研究

Studies on the Influence of Equilibrium Relative Humidity and Temperature on Seed Longevity

農業試驗所農工系副研究員

陳 加 忠

Chia-chung Chen

農林廳農產科種子檢查室

吳 瑞 香

Rey-shung Wu

摘 要

此研究之目的在於探討作物種子在不同貯存環境下之貯存壽命預測方程式，以不同作物之活力數據與 ERH-EMC 關係式進行分析。研究結果顯示以平衡相對濕度代替含水率為預測模式之參數對模式之解釋能力並未影響：大豆、豌豆與大麥之貯存活力與溫度，相對濕度值之關係並無顯著差異性存在。其模式參數與本省高粱種子活力試驗之分析結果相似，此通用模式可適用於富澱粉，蛋白質與中油性之作物種子。高油性作物種子分析所得之參數數值有其特殊性，更詳細之研究資料需要建立以驗證此型模式。

關鍵詞：平衡相對濕度，種子貯存壽命，預測模式。

ABSTRACT

The objectives of this study were to propose general models to predict the seed longevity at special storage environment. The analysis was done with different experimental data of ERH-EMC. The results indicate that the moisture content in the predicted model could be replaced by relative humidity without losing the explanation ability. No significant difference could be found for the relations of seed viability, temperature and RH among three species. The value of parameters in the general model were similar to those obtaining from sorghum seeds. The general model could serve as an adequate one for high starchy, proteinic and medium oily products. The parameters of the predicted model for high oil content products had its particular values. More detail information about the relationships among seed longevity, RH and temperature need to be collected to validate the general model.

Key words: ERH, Seed Longevity, Predicted Model.

前 言

近年來種源的保存逐漸地受到了重視，種原庫的建立更是種源保存必須具有之設施。昂貴種原庫的設置與高投資的運作成本使種源之貯存管理技術更為重要。因此，在特定貯存條件下對種子存活率之影響預測模式是種源庫管理不可或缺之技術。

為了防止種子品質的劣變，利用冷藏庫於低溫（0℃以下）之貯存方式雖然可以延長種子壽命，但是在本省高溫高濕之環境下，極低溫冷藏之設備成本和運作成本不僅高昂，更造成管理問題之複雜性，若能建立適用的模式，瞭解種子生命力受到貯存環境之量化影響，則可以依種子之貯存期限需求，配合經濟成本之考慮，以評估其最合理的規畫條件。

傳統的研究以種子含水率，貯藏溫度為決定種子存活率的主要因子，並以此建立經驗方程式，但是由於種子貯存試驗耗時且費事，曾以完整之數據建立適用之模式常數之作物並不多。種子貯存活力之變化可歸諸於其自身水份水潛能之影響，因此此文研究之目的在於以種子貯存環境中平衡相對濕度（Equilibrium Relative Humidity）為指標，期能建立一適用之模式（General Model），用以作為種子貯存壽命預測之用。

理 論 推 衍

一、種子貯藏壽命之預測

種子因其貯存特性分為兩類：(1)異貯型(Recalcitrant)：乾燥處理後立即失去活力，不耐貯藏，也無法進行0℃以下之冷凍貯存作業。(2)正貯型(Orthodox)：可進行乾燥處理以降低水份，在貯存環境下其活力隨時間逐漸降低。在進行種子貯存壽命預測方程式之研究對象以正貯型之種子為主。

以種子發芽率為縱座標，貯存日數為橫座標，所繪出的曲線通常為反S型曲線，其分佈近似常態分佈的反向累積頻率曲線（Cumulative normal distributions of negative slope）。此現象之由來是由於在恒定狀態下（Constant Conditions），貯存種子中族群內個別種子的死亡頻率成常態分佈。

上述常態分佈下之累積頻率曲線經由「變積轉換」（Probit Transformation）後成為一斜

率為負值之直線，其方程式如下（Ellis and Roberts, 1980）

$$Vi = ki - \frac{P}{\sigma} \quad (1)$$

在此，Vi為發芽率百分比之變積值（Probit of Percentage Viability），P：為貯存時日，單位為日（days），Ki為發芽率百分比變積值之最初值（Probit Percentage Viability at the Beginning of Storage）。

在公式(1)中，負斜率之倒數為 σ ，Ellis與Roberts(1980)在大麥(Barley)的研究中，提出 σ 值為貯存時種子含水率與周圍溫度的函數，且與大麥的種子來源或遺傳基因態如品種等因素無關，其 σ 值函數如下：

$$\text{Log}\sigma = K_E - C_w \log M - C_H t - C_Q t^2 \quad (2)$$

公式(2)中M值為含水率（%，濕基），t為溫度（單位℃）， K_E ， C_w ， C_H 與 C_Q 為公式之常數。自公式(2)提出後，許多研究者依此公式對不同的種子進行貯藏活力試驗，並利用迴歸技術評估公式(2)之四參數，有關之研究如羽扁豆種子（Lupinus; Dickie et al, 1985）雞豆(Chickpea)，豌豆(Cowpea)，大豆(Soybean)等豆科種子(Ellis et al., 1982)，芝麻種子(Ellis et al. 1986)，萵苣種子(Kraa and Vos, 1987)，林木種子(Tompsett, 1984, 1986)。國內已有之研究為高粱種子之參數估算(郭等人, 1989)。為便於使用者利用公式(2)和各參數，Ellis(1988)利用已完成之預測方程式繪製成各項圖表。

在作物的種源保存方面，雖然有上述研究者進行數種作物之研究，但是主要的穀物如稻穀、小麥、玉米等未有適用的模式建立，對於種源的保存作業而言，這些作物僅能以經驗法則進行作業，缺乏學理之依據。

近年來，公式(2)之適用性研究也漸趨完整，Ellis等人(1988)對三種作物於65℃貯存環境下進行種子壽命之研究，其結果顯示在特定的密閉環境下，作物含水率低於一特定關鍵值時，其 σ 值不再增加，即作物種子含水率低於一特定值之後，對其貯存壽命並無改善，在十二種作物種子的研究中(Ellis et al. 1989)，亦發現種子含水率在低於某一關鍵值後，其貯存壽命不再增加。相同的結果亦由落花生，洋蔥，甜菜子……等8種作物(Ellis

et al. 1990) 所證實。

Roberts 與 Ellis (1989) 自各實驗數據的探討中，發現公式(2)之應用範圍有其上限，例如萵苣種子為 15% (w.b.)，洋葱種子為 18% (w.b.)。由化學活性之概念，公式(2)之適用範圍定於 -350 MPa 至 -14 MPa 之水潛能(Water Potential)之內。

在公式的簡化方面，Dickie 等人 (1990) 利用 8 種作物種子於不同環境下貯存壽命之數據比較中，發現公式(2)之 C_H 與 C_Q 有通用值 (General Value) 存在， C_H 為 0.0329， C_Q 為 0.000478。因此影響作物種子壽命常數 σ 之因子僅為 K_E 與 C_W 值。雖然此研究使各種作物種子貯存壽命預測方程式之參數減少為 2 個，適用於各種作物之汎用公式仍無法以含水率為參數因子加以成立。

二、平衡相對濕度與種子貯存

1. 平衡相對濕度之定義

農產品 (或生物性物質，Biological material) 置於一密閉環境內，在固定溫度條件經一段時期後，農產品體內之化學潛能與周圍環境成平衡狀態，而主要之潛能因子為所含水份。因此，此種

平衡又可稱為水潛勢 (Water Potential) 或水活性 (Water Activity) 平衡。為量測之方便，水活性通常以相對蒸氣壓或相對濕度代表。

上述系統在到達平衡狀態時，因農產品與周圍環境並無壓力差存在，農產品與其周圍環境不再交換水份，此時農產品之含水率稱平衡含水率 (EMC)，其相對濕度稱為平衡相對濕度 (ERH)。農產品 EMC/ERH 概念，已有詳細研究 (Chen, 1990)。將 EMC (縱座標) 與 ERH (橫座標) 之關係描繪成曲線則稱為等溫水份線 (Isotherms)。溫度對等溫水份線的影響十分顯著。數種作物種子於 25°C 之等溫水份線如圖 1 所示。在相同平衡相對濕度條件下，高澱粉含量的種子 (稻穀、小麥等) 其含水量最高，含高油量之種子其含水量最低。

2. 平衡相對濕度模式

以適當的數學模式表示種子之周圍溫度 ($T, ^{\circ}\text{C}$)，平衡相對濕度 (RH, 小數點) 和平衡含水率 (%)，乾基) 三者之關係在種子加工作業上十分重要，主要的 ERH-EMC 模式有四種 (Chen and Morey, 1989b)，以下公式中 A、B 與 C 為常數。

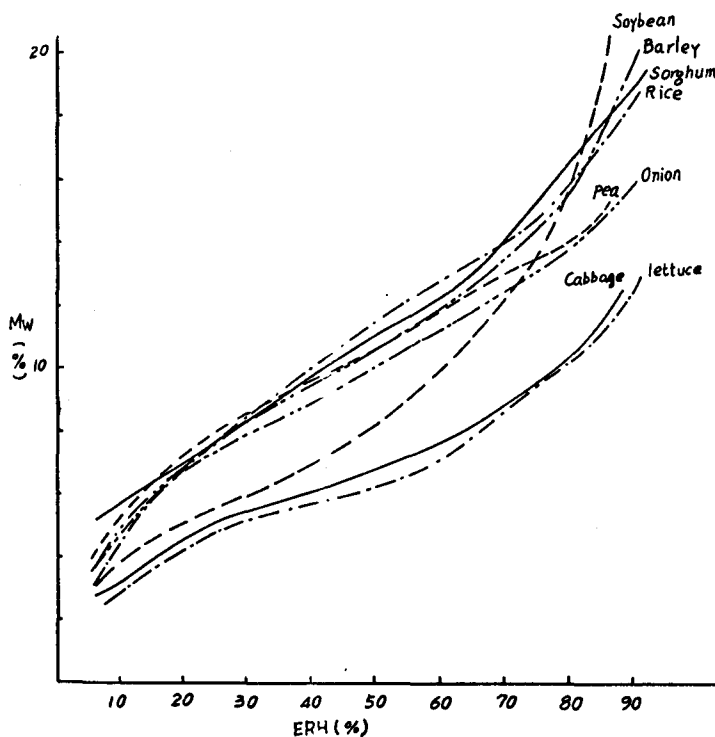


圖 1. 數種種子之 25°C 等溫水份線

Fig 1. The isotherms at 25°C for several seeds

(1)修正 Henderson 公式

$$1 - RH = \exp[-A(T+C)M^B] \quad (3)$$

(2)Chunq-Pfost 公式

$$RH = \exp\left[-\frac{-A}{T+C} \exp(-BM)\right] \quad (4)$$

(3)修正 Halsey 公式

$$RH = \exp[-\exp(A+BT)M^{-c}] \quad (5)$$

(4)修正 Oswin 公式

$$RH = \frac{1}{\left(\frac{A+B \times T}{M}\right)^c + 1} \quad (6)$$

主要農產品之適用模式和其參數值均已資料可參考利用 (Chen and Morey, 1989b)

3. ERH 物性在種子貯存之應用

種子在貯存之前通常預先乾燥至預定之含水率，由熱風溫度和其相對濕度值，可以預測種子乾燥所能到達之含水率。此原理係在於乾燥過程中，熱風風量和溫度其產生之蒸氣壓遠小於種子自身之蒸氣壓。因此種子受其影放出水份，在其平衡蒸氣壓等於熱風之蒸氣壓時，水份不再逸失，此為其平衡含水率。

種子在貯存時通常為密閉狀況 (Hermetic Storage)。如圖 2 所示，種子之數量佔貯存空間之大部份，僅在種子間隙有空氣存在，在此情況下，由於空氣中所含水份之質量極大，種子所含全部水份可忽略不計，在貯存之平衡狀況下，空氣之水

蒸氣壓與種子之水蒸氣壓相互平衡。空氣之相對濕度即相等於種子之平衡相對濕度，因此此貯存環境之主宰環境可視為種子之平衡相對濕度。在良好的包裝材料條件下，外界大氣與內部環境之蒸氣壓作用極為緩慢，因此外界大氣之 RH 值並非主要影響因子。但是在外界溫度變化時，貯存環境之溫度容易受影響，導至平衡相對濕度值亦為之改變。

4. 水份在種子內部的存在狀況

水份在種子內部的存在狀況影響了等溫水份線之分佈，更直接影響了種子之貯存壽命。水份之分佈十分複雜，研究者提出之論點亦不盡相同。

Young 與 Nelson (1967) 以多層水分子之分佈加以說明水存在農產品表面之情況，水份子以單層狀態覆蓋於表面時，水份子自身之吸引力和細胞與水份子之吸附力最強，因此在此種含水率狀態下，農產品與外界之化學作用最小，因此品質最穩定，各農產品之此種含水率數值不同，但其相應之相對濕度值約於 32% (Labuza, 1984)。

D'Arcy 與 Watt (1970) 將水份子之分佈區分為三類：(1)束縛(bound)於強勢位基 (Strong Sites)，(2)束縛於弱勢位基 (Weak Sites)，(3)以多分子形式加以吸附。其中 10% RH 為第一類強勢位基之主要作用區段。Ellis 等人 (1989, 1990) 曾發現近二十種作物種子其含水率在少於一特定值之後，其貯存壽命不再增加，雖然此水份關鍵值因作物而不同，但其對應之平衡相對濕度值近於 10% RH。由此可知以 ERH 為指標，由於以化學潛能為基本原理，可以取代含水率成為一共同指標 (General Index)。此在穀物貯存條件之研究中 (陳, 1990)，以 65% RH 為共同指標，可以代替各種穀物不同之安全貯存含水率標準。至於以 ERH 為食品品質維持之共同指標已有詳細之探討 (Labuza, 1984)。由此可知 ERH 值比含水率更能具有泛用性。

5. 平衡相對濕度與種子壽命預測

Roberts (1960) 在進行小麥、燕麥與大麥於 21°C 貯存環境時，以貯存壽命 (以半生期, Half-Viability Period) 為指標繪製成為縱座標，含水率或平衡相對濕度為橫座標 (圖 3a, 3b)，由圖中目視觀察認為貯存壽命與含水率有直線關係，平衡相對濕度則不然。因此其後之研究即以含水率為影響種子貯存活力之參數。

Roberts 與 Ellis (1989) 最先以水化學潛

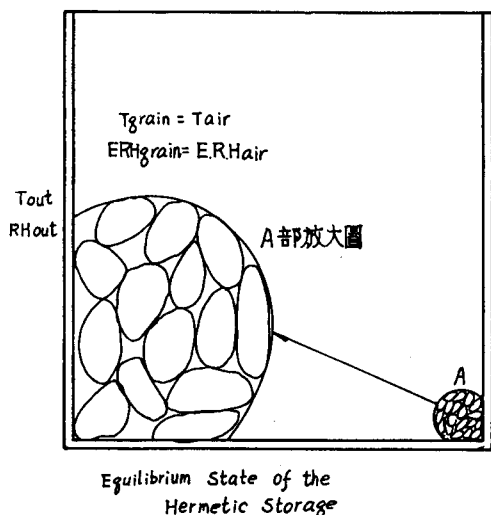


圖 2. 種子密閉儲存時平衡相對濕度與周圍環境之關係
Fig 2. The relationship between ERH of seeds in hermetic storage and ambient environment

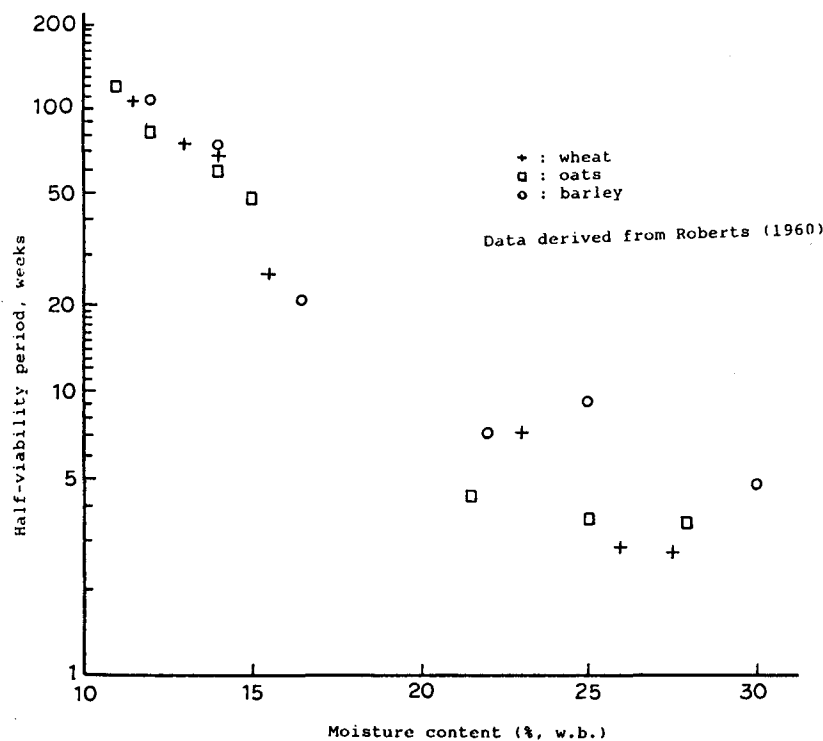


圖 3. a. 三類種子於 21°C 時其含水率與儲存期限之關係

Fig 3a. The relationship between moisture content and half-viability period at 21°C for there species

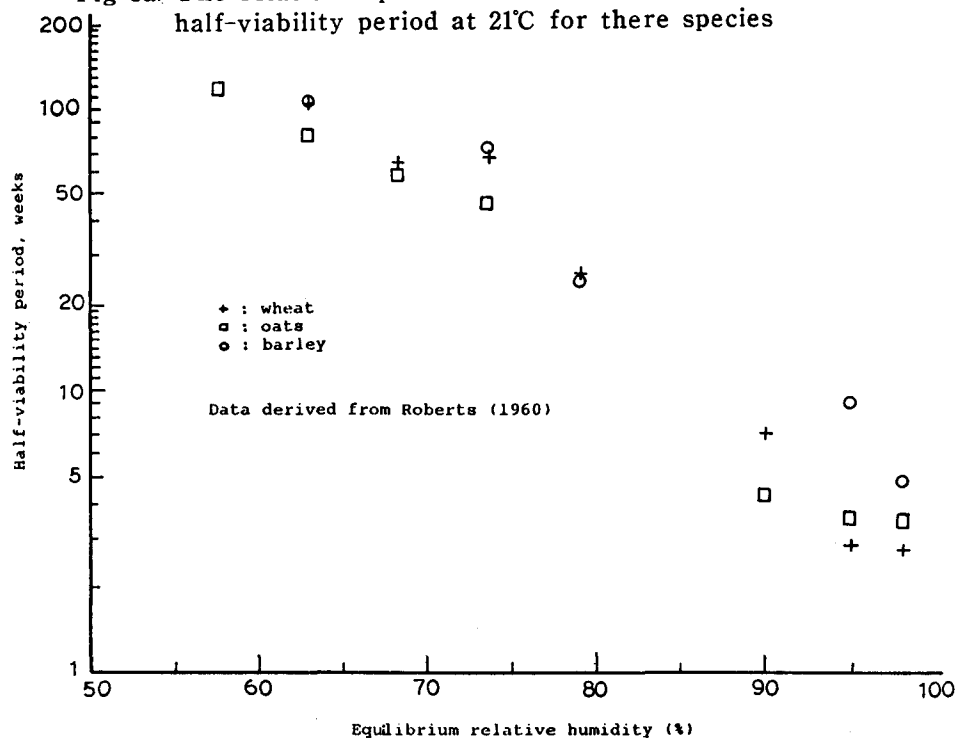


圖 3b. 三類種子於 21°C 時其平衡相對濕度與儲存期限之關係

Fig 3b. The relationship between ERH half-viability period at 21°C for three species

能 (Water Potential) 之概念解釋種子貯存壽命與含水率和平衡相對濕度之關係。利用生理現象推論種子壽命預測方程式 (公式(2)) 之適用化學潛能範圍為 -350 至 -14 Mpa, 相當於 $10\% \sim 90\%$ RH 範圍。

種子在貯存時為何會失去活力, 其原因至今尚未有明確之解釋。但是由構成種子之高分子 (如 Proteins, Nucleic Acids, Lipid 等), 在種子失去活力時, 亦趨向退化之事實可知, 其退化之主因應與水潛能有相關而非與含水率相關。

為探討平衡相對濕度值對種子貯存壽命之影響, Roberts 與 Ellis (1989) 提出下列公式, (RH 以%表示)。

$$\text{Log}\sigma = K_r - C_r \cdot rh - C_{Ht} - C_{qt}^2 \quad (7)$$

其驗證數據係以高苳種子 (Kraak and Vos, 1987) 和大麥種子 (Ellis and Roberts, 1980b) 之試驗數據 (σ , m 值) 以各貯存環境之含水率與溫度求得相對濕度值, 在此 ERH/EMC 與溫度之關係係來自不同之研究報告。大麥種子之 ERH/EMC 數據係利用 Pixton 等人 (1971a) 建立之關係圖內插而得。高苳係利用亞麻種子 (Linseed) 之數據圖 (Pixton et al. 1971b) 內插而得。其迴歸結果如下 (RH 值以小數點代表)：

大麥：

$$\text{Log}\sigma = 6.066 - 3.76RH - 0.049t - 0.000167t^2 \quad (8)$$

高苳：

$$\text{Log}\sigma = 5.484 - 3.76RH - 0.029t - 0.000388t^2 \quad (9)$$

上述方程式中 RH 之影響性有難以置信之相同值 (3.76)。顯示以 RH 取代 M 對種子貯存壽命之應用更為廣泛。因此 Roberts 與 Ellis 認為以相對濕度為基準可能使作物種類對預測方程式參數值 (Cr) 不產生影響。然而此二研究者由 16 年前之研究報告 (Nellist and Hughes, 1973) 認為在種子貯存壽命預測方程式中以平衡相對濕度值取代含水率為影響參數有如下困難：

- (1) 種子平衡相對濕度不易量測, 而含水率之量測技術十分簡易。
- (2) 平衡相對濕度物性受到遲滯效應 (Hysteresis) 影響。

因此 Roberts 與 Ellis (1989), 仍認為僅以含水率為影響種子活力之指標方有實用之價值。

Ellis et al. (1989) 在十二種作物種子於 65°C 之貯存試驗中, 發現在低於一關鍵含水率時, 種子

貯存壽命不再增加, 各作物此含水率數值不同, 但對應之相對濕度值約 10.6% RH, 各作物種子含水率與平衡相對濕度之關係係利用 20°C 之數據。在固定溫度條件下, 公式(2)、(3)簡化為：

$$\text{Log}\sigma = K - C_w \text{Log}M \quad (10)$$

$$\text{Log}\sigma = K_{rh} - C_{rh} RH \quad (11)$$

以十二種作物數據以公式(11)迴歸之結果 C_{rh} 值為 3.58, 與公式(9)、(10)之係數 3.76 十分接近。但是研究者並不認為以公式(11)取代公式(10)較為恰當, 其理由如下：

(1) 以 $\text{Log}\sigma$ 對 RH 值 (在此研究中包含 10% RH 以下之數據) 之關係圖形為 S 型而非線性。

(2) 以公式(10)迴歸所得 R^2 值為 0.985 (每個作物其 C_w 值皆不同), 公式(11)所得 R^2 值為 0.945, 以公式(11)迴歸所得結果雖然 C_{rh} 值相同可能是因為高的均方差 (Error Mean Square) 產生的結果。

此研究羣以另外八種作物種子進行同樣之試驗 (1990), 以公式(11)對所有數據進行迴歸, 其 C_{rh} 值為 3.46, 由於公式(11)所得 R^2 值大於公式(10)之結果, Ellis 等人仍然認定以公式(11)取代公式(10)並不恰當。

在探討種子貯存活力方程式時, 若能簡化作物種類對預測公式參數之影響性, 可使預測公式能廣泛應用各種作物, 由於貯存溫度影響性已證實不受作物種類之影響 (Dickie et al. 1990)。更廣的種子貯存活力預測方程式為值得研究之對象。在近年來平衡相對濕度之測定方法和其影響因子已有詳細之研究 (Chen and Morey, 1989a, Chen, 1989)。平衡相對濕度、含水率與濕度三者關係之量化模式也已驗證 (Chen and Morey, 1989b, Chen, 1990), 利用已有之種子貯存試驗數據配合平衡相對濕度原理可用以評估以 ERH 為參數值之種子貯存壽命預測方程式是否能建立其通用公式。

研究所用資料與分析方法

一、實驗數據之收集

利用種子貯藏之條件以建立預測方程式之研究數據雖非少數。在此研究中為探討貯存溫度對預測方程式之影響, 選擇之數據以包含數種貯存溫度之研究結果為主。9 種作物種子其貯存溫度範圍與預測模式 $\text{Log}\sigma = K_e - C_w \text{Log}M_w - C_{Ht} - C_{qt}^2$

之參數值，迴歸係數 (R^2) 列於表一。由表中可知各種子之 Ke 與 Cw 值差異極大，每個作物必需有其特定之預測模式。

在考慮評估平衡相對濕度物性對種子貯存壽命之影響時，作物平衡相對濕度，含水率與溫度之關係必須建立，因此在此研究所選擇之作物種類，以已具有此 ERH 模式之作物為主，包含高澱粉類（大麥，高粱），高蛋白質類（雞豆，豌豆），多油質類（大豆含油量約18%，苡仁含油量約35%，資料來源為 Dickie et al. 1990）等6種作物。

二、ERH/EMC 方程式

上述6類作物之 ERH/EMC 模式其參數和數據來源描述如下：

1. 高粱種子

利用 ERH/EMC 之數據 (Chen, 1991)，所得之最佳 ERH/EMC 模式為 Chung-Pfost 公式：

$$RH = \exp\left[\frac{-797.33}{T+52.24} \exp[-0.1816M]\right] \quad (12)$$

2. 大麥種子

由其原始數據所得之最佳模式為 Chung-Pfost 公式 (Chen and Morey, 1989b)，

$$RH = \exp\left[\frac{-475.16}{T+72.01} \exp[-0.1484M]\right] \quad (13)$$

3. 豌豆種子 (Cowpea)

ERM/EMC 數據來自 Pappas與Rao (1987) 之研究資料，其代表公式為修正 Oswin 公式

$$RH = \frac{1}{\left(\frac{13.99 - 6.617 \times 10^{-2} \cdot T}{M}\right)^{1/N} + 1} \quad (14)$$

$$N = 0.292 + 4.35 \times 10^{-3} T, \quad (15)$$

4. 雞豆種子 (Chickpea)

完整之雞豆 ERH/EMC 數據並未存在，因此以乾豆 (Dried Pea) 的數據 (Pixton et al., 1979) 用以進行研究，通用之修正 Oswin 公式如下：

$$RH = \frac{1.0}{\left(\frac{14.15 - 5.177 \times 10^{-2} \cdot T}{M}\right)^{2.732} + 1} \quad (16)$$

5. 大豆種子

利用之數據來自 Pixton 與 Warburton (1975) 之研究，適用模式為修正 Halsey 公式。

$$RH = \exp[-\exp(3.045 - 5.432 \times 10^{-3} \cdot T) M^{-1.5245}] \quad (17)$$

6. 苡仁種子

由 Justice 與 Louis (1979) 之資料顯示已知文獻中僅有 25°C 之一組 ERH/EMC 數據，因此參考 Roberts 與 Ellis (1989) 研究採用亞麻種子 (Linseed, Pixton et al., 1971b) 之數據，其適用方程式為修正 Oswin 公式：

$$RH = \frac{1.0}{\left(\frac{8.197 - 0.0451T}{M}\right)^{2.464} + 1} \quad (18)$$

三、ERH 參數之預測模式分析：

以迴歸分析技術評估種子貯存壽命預測方程式：

$\log \sigma = Kr - CrRH - C_1t - C_2t^2$ 之參數，其方法如下：

1. 將實驗數據中濕基含水率換算為乾基含水率，配合貯存溫度 T 值代入 ERH/EMC 公式求算 RH 值。 RH 值大於90%之數據則加以刪除。

2. 以對應之 $\log \sigma$, T , RH 值 (小數點)，依多重迴歸技術評估 Kr , Cr , C_1 , C_2 參數， R^2 , $S.E.$ 值 (Standard error of estimated Value)，並以 Cook's Distance 檢查離羣值 (Myers, 1986)。

為比較作物種類對於預測模式之參數是否有顯著性影響， N 組數據彼此顯著性差異之比較技術如下 (Weisberg, 1980)：

1. 將各組數據代入迴歸模式，並計算每組數據之殘差平方和 (Sum of Squares errors), SS_1 , SS_2 。

2. 綜合全部數據，代入同一模式，求得其 SSc 值。

3. 進行下檢定：

$$F_1 = \frac{(SSc - SS_1 - SS_2 \dots) / (Dfc - Df_1 - Df_2 \dots)}{(SS_1 + SS_2 + \dots) / (Df_1 + Df_2 \dots)} \quad (19)$$

Df_i 為第 i 組數據之自由度

4. 以 F_1 值與 $F(P, V_1, V_2)$ 比較進行差異性是否顯著之比較。 P 為顯著性程度 (Level of Significance)， V 為自由度，計算公式如下：

$$U_1 = Dfc - Df_1 - Df_2 \quad (20)$$

$$U_2 = Df_1 + Df_2 + \dots \quad (21)$$

Table 1. Values of the seed viability constants K_e , C_w , C_q and C_n for eight species and the source of data.

Species	No. of Data	Model: $\text{Log } \sigma = K_e - C_w \cdot \text{Log } M_w - C_n t - C_q \cdot t^2$					Temp. (°C)	Date	Source
		K_e	C_w	$C_h \times 10^3$	$C_q \times 10^4$	R^2			
Sorghum	15	10.589	6.305	4.1	3.49	0.92	9.5-44.7	郭等 (1988)	
Barley	20	9.983	5.896	4.0	4.28	0.994	3.0-90.0	Ellis and Roberts(1980)	
Chickpea	65	9.658	4.855	4.72	3.12	0.973	20-70.0	Ellis et al. (1982)	
Soybean	58	8.603	4.178	5.19	2.16	0.941	20-70	Ellis et al. (1982)	
Cowpea	50	9.075	4.686	2.52	5.16	0.957	20-70	Ellis et al. (1982)	
Lettuce	39	8.218	4.797	4.90	3.65	0.990	5-75	Kraak and Vos (1987)	
Terb	46	4.999	2.149	3.50	4.10	—	-4-42	Tompsett (1986)	
Elm	24	5.715	2.966	3.40	4.08	—	-75-52	Tompsett (1986)	
Araucaria Columnaris	16	5.667	2.683	5.33	—	—	21-36	Tompsett (1984)	

Table 2. Values of the seed viability constants K_r , C_r , C_1 and C_2 for six species and the source ERH/EMC data.

Species	No. of Data							Data range of RH (%)	Source of ERH/EMC Data
		K_r	C_r	$C_1 \times 10^3$	$C_2 \times 10^4$	R^2	S. E.		
Sorghum	9	6.667	4.597	6.377	1.078	0.94	0.23	54-91	Chen (1991)
Barley	19	6.724	4.284	3.175	5.10	0.992	0.091	45-90	Chen (1991)
Chickpea	47	7.048	5.684	3.481	3.05	0.976	0.164	35-90	Pixton and Henderson (1979)
Soybean	51	6.812	4.225	4.432	3.03	0.938	0.246	33-90	Pixton and Warburton (1975)
Cowpea	43	6.706	4.251	3.557	3.439	0.946	0.202	30-90	Pappas and Rao (1987)
Lettuce	35	6.037	3.768	3.871	3.389	0.997	0.087	30-90	Pixton and Warburton (1971b)

結果與討論

一、預測方程式參數值之迴歸分析：

6種作物種子其各組 σ ，RH與T數據，以 $\text{Log } \sigma = K_r - C_r \text{RH} - C_1 t - C_2 t^2$ 模式進行迴歸分析，其結果和各統計量如表二所示。

由表一可知，在 $\text{Log } \sigma = K_e - C_w \text{Log } M - C_h t - C_q t^2$ 之模式，其 K_e 之範圍自5.0~10.6， C_w 值之範圍自2.2至6.3，因此可知每類作物必須有其特定之模式。在表二中， K_r 值之範圍自6.0~7.0， C_r 值之範圍自3.8~4.7。參數值之分佈已十分接近。在比較模式對數據之解釋性中，Ellis等人(1989, 1990)之研究以 R^2 為

標準，在比較表一，表二之 R^2 值可知，以 $\text{Log } M$ 為參數之公式其 R^2 值並未顯著地優於以 R_H 為參數之公式。而 R^2 值受到樣本數影響(Myers, 1986)，表一數據中，六個作物種子以 $\text{Log } M$ 為參數之數據數目皆大於以 R_H 值為參數之數據〔 R_H 值限制於90%以下〕，在兩公式之比較下，包含 $\text{Log } M$ 參數之公式並未在 R^2 值統計量有顯著之優越性。

Roberts (1960)在進行大麥，燕麥與小麥貯存環境與貯存壽命之研究中亦涉及平衡相對濕度之測定，以 $\text{Log } \sigma = K_E - C_w \text{Log } M_w$ 之模式對21°C之相關數據進行分析時，三作之迴歸常數(R^2)值如下：0.98(小麥)，0.96(燕麥)與

0.93 (大麥)，以 $\text{Log } \sigma = K_r - C_r RH$ 公式迴歸結果之 R^2 值為 0.97 (小麥)，0.97 (燕麥) 與 0.94 (大麥)，可知兩預測方程式對數據之解釋能力無顯著差異。

Ellis 等人 (1989, 1990) 先後比較十二種作物和八種作物種子之 σ 值與 RH 或 Log M 之關係性，認為前者，迴歸之結果 R^2 值遠比以 Log M 值為小，由 ERH/EMC 之關係可對此加以解釋：

- (1) 在 Ellis 等人之研究中 (1989, 1990)，其 RH 值之範圍低於 10%，此時 ERH/EMC 曲線已有顯著之曲線分佈，因此迴歸分析時 R^2 值將降低。
- (2) 上述之研究係以 20°C 之等溫水份線做為 65°C 之等溫水份線，但是溫度對等溫水份線的水平平移在各含水率條件下並不相等 (圖 4)。以 M 值估算 RH 值時， RH_1 (20°C) 與 RH_2 (65°C) 之差異 D_i 並不為常數，由圖 4 可知 d_1 ， d_2 與 d_3 並不相等。在 $RH_2 = RH_1 + D_i$ 公式成立的條件下， $\text{Log } \sigma = K_{r1} + C_{r1} RH_1$ 與 $\text{Log } \sigma = K_{r2} + C_{r2} RH_2$ 兩模式所得的 R^2 值方為相等，而以此 R^2 值與 $\text{Log } \sigma = K_e + C_w \text{Log } M$ 之 R^2 值比較方有意義。由上述之討論可知，在預測模式中以 Log M 項為參數並未優於以 RH 項為模式參數。

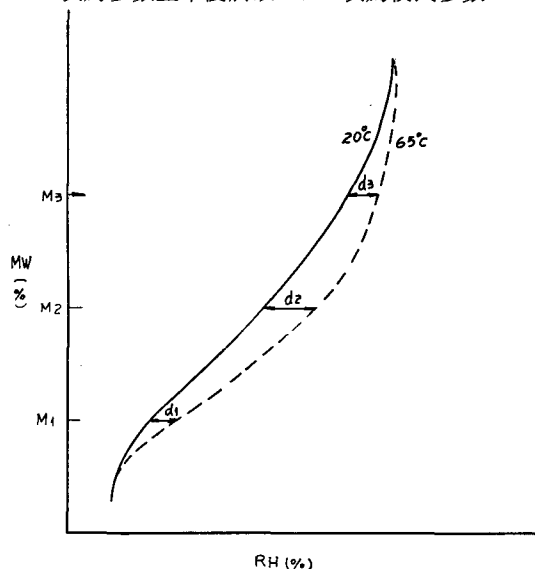


圖 4. 溫度對溫水份線之影響

Fig 4. The effect of temperature on the isotherm

二、泛用預測模式之建立

將各作物種子 Log σ 值與對應之 RH 值在各溫度下之關係繪圖於圖 5，6。圖 5 顯示苜蓿，大豆，大麥在三溫度下之數據分佈關係，由圖可知三作物種子在圖上之分佈斜率極為相近，但苜蓿種子在相同 RH 值時其 Log σ 值有低下之情況，兩者成份相差極大的作物：中油量之大豆與高澱粉質之大麥，兩者之差異性極小，兩者之數據以公式 (9) 進行 F 檢定，其 F_1 值為 0.42，與檢定值 F (0.95，4.66) = 3.0 比較，可知兩組數據幾乎無差異性存在。苜蓿之 RH 值係利用亞麻種子之 ERH/EMC 關係式加以換算求得，並非作物自身之 ERH/EMC 關係，此可能是造成誤差之原因，另一原因可能其高油量 (35%，Dickie et al., 1990) 所引起，真正之原因仍需要探究。

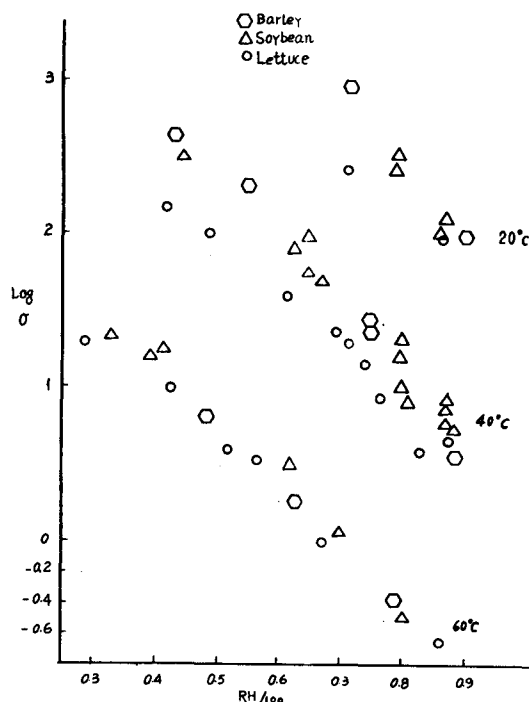


圖 5. 大麥，大豆，苜蓿在三種溫度下其 Log σ 值與 ERH 之關係

Fig 5. The relations between logarithmic value of longevity of Barley, Soybean and Lettuce, and ERH at 20, 40 and 60°C

四個作物種子，大豆 (中油性)，豌豆與雞豆 (高蛋白質) 與大麥 (高澱粉質) 之 Log σ 值與 RH 在三溫度範圍之分佈圖示如圖 6。由圖可知四作物種子數據之分佈都十分接近，至於其數據羣彼

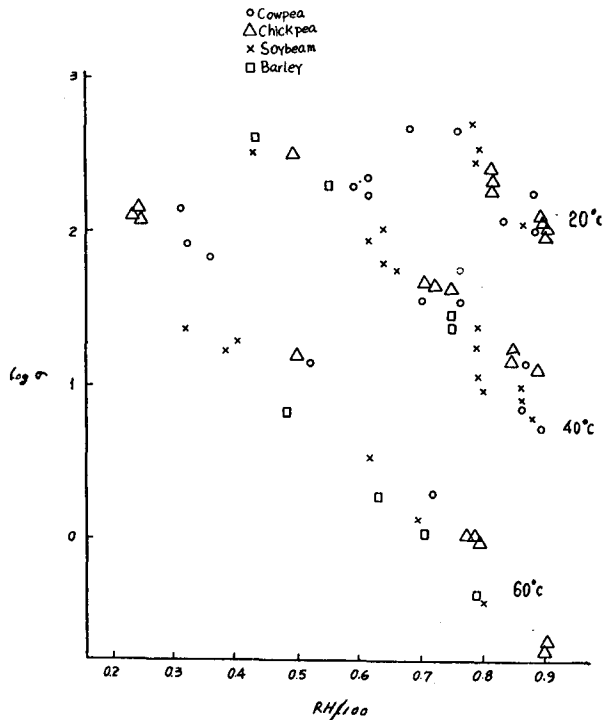


圖 6. 四作物種子於三溫度下其 $\text{Log } \sigma$ 與 ERH 值之關係

Fig 6. The relations between logarithmic value of longevity of four species and ERH at 20, 40 and 60°C

此分佈是否有顯著差異，則以統計技術之量化加以分析比較。

在執行迴歸分析技術時，樣本數 (N_i) 的數量十分重要，太小的樣本數對於常態分佈，變異數為常數等檢定都無法進行，在樣本數之選定技術， N 值通常大於 $2P + 20$ ，種子壽命預測公式之參數為 4， N 值應該為 28 以上。表 2 中高粱種子樣本數 N_i 為 9，因此僅列入參考而不參加比較。

五種種子其數據組以成對方式加以比較（共十種關係，由 F 檢定結果得知有三組聯合數據彼此無差異性存在：(1) 大豆與豌豆，(2) 大豆與大麥，(3) 豌豆與大麥。以不同數據羣結合後加以迴歸分析之結果如下：

1. 結合 5 種種子之全部數據。

$$\begin{aligned} \log \sigma &= 6.495 - 4.13RH \\ &\quad - 0.0347T - 0.000352T^2, \quad (22) \\ R^2 &= 0.92, S = 0.292 \end{aligned}$$

2. 結合大麥，豌豆，雞豆與大豆等四組數據

$$\text{Log } \sigma = 6.832 - 4.316RH$$

$$-0.0412T - 0.000280T^2 \quad (23)$$

$$R^2 = 0.93, S = 0.252$$

3. 結合豌豆，雞豆與大豆等三組數據

$$\begin{aligned} \text{Log } \sigma &= 6.807 - 4.317RH \\ &\quad - 0.0399T - 0.000288T^2 \quad (24) \\ R^2 &= 0.93, S = 0.259 \end{aligned}$$

4. 結合大麥，豌豆與大豆等三組數據

$$\begin{aligned} \text{Log } \sigma &= 6.852 - 4.352RH \\ &\quad - 0.03953T - 0.0003473T^2 \quad (25) \\ R^2 &= 0.94, S = 0.227 \end{aligned}$$

以公式(19)進行 F 檢定，結合大麥、豌豆與大豆之公式(25)，其三者數據組彼此差異性是否顯著之 F_1 檢定值為 2.9，而下 $(0.95, 8, 100) = 2.8$ ，可知三類作物種子其貯存環境與貯存壽命之關係數據無顯著之差異性。

兩種作物種子，高粱與雞豆其數據與其他三類數據有差異性存在。而其 ERH/EMC 之關係式係借用自其他作物，是否因不同作物 ERH/EMC 物性而引起 $\text{Log } \sigma$ 值與 RH 值之關係差異性？此為值得探討之主題：

三種成份不同的種子，大豆（中油性，18% 含油量），豌豆（高蛋白質），大麥（高澱粉質），其 RH 值係由相同作物 ERH/EMC 關係式自含水率與溫度值求得，而其 $\text{Log } \sigma$ 與 RH, T 之預測模式並無差異性。由於此差異性顯著與否係由統計技術之 F 檢定法所判定，非僅來自圖形之視覺 (Visible method) 上直覺判斷，以目前已有之實驗數據條件上，可以提供為一通用模式，用以做為種子在各貯存環境下預測活力壽命之用。

由前人研究 (Dickie et al., 1990) 已知溫度項對種子貯存壽命之影響力不因作物種類而異，Roberts 與 Ellis (1989) 之研究和 Ellis 等人 (1989, 1990) 之研究都已證明 $\text{Log } \sigma = Kr - CrRH$ 公式中，Cr 之數值均十分接近，顯示 $\text{Log } \sigma$ 值受 RH 值之影響之參數值，不受作物種類影響，在此研究中，由三種主成份不同之種子而無顯著之數據 ($\text{Log } \sigma$ 對 RH, T) 分佈差異，似乎隱含著一預測種子壽命之泛用模式可能存在。

以實用的觀點而言，表 2 中其他三類作物之 Kr 與 Cr 值，高粱 (6.67, 4.60)，雞豆 (7.05, 4.68) 與高粱 (6.04, 3.77)，與公式(25)中 Cr 值 (6.85)，Kr 值 (4.35) 均十分接近，僅高粱值之差異較大，值得注意地是高粱種子之數據，其實

驗數據雖然不多 (Ni=9)，但其迴歸參數值最為接近公式(25)。

高油性之萵苣種子其模式參數之差異性可能因其高油量特性引起，以高油性芝麻種子數據 (50°C, Ellis et al. 1986) 進行迴歸分析，其 ERH/EMC 模式係來自 Flaxseed 資料 (Jayas et al., 1989)。迴歸結果如下：

$$\text{Log } \sigma = 2.978 - 3.666\text{RH} \quad (26)$$

在假設溫度項不受作物種類影響，參考公式(25)，可將公式(26)推衍為：

$$\text{Log } \sigma = 5.823 - 3.666\text{RH} - 0.0395t - 3.473 \times 10^{-4} \cdot t^2 \quad (27)$$

此公式中參數 Kr (5.823), Cr(3.666) 與泛用公式(25)之差異性在15%以上。但與表2中高苣種子參數 Kr (6.04), Cr(3.77) 之差異均在4%以內。

由此可知，兩種高油性之作物種子，其模式參數與公式(25)相異，高油性含量之作物種子，其通用模式與其他類型之種子可能有相異性存在，更詳細之研究需要執行。

迴歸分析之結果應用有其外插範圍之限制，因此對公式(25)而言，適用於含高澱粉，高蛋白質與中油性含量之作物種子。高油性含量之種子，在缺乏可用之預測模式時，可利用萵苣種子數據迴歸所得之模式參數。

三、種子活力方程式之特性曲線

由於種子貯存試驗研究為耗時，費力之作業，完整之數據必須包含各溫度、含水率、平衡相對濕度條件下之存活曲線，再以此存活曲線求得 σ 值再進行迴歸分析。在缺乏各種作物詳細之實驗數據之下，公式(25)， $\text{Log } \sigma = 6.852 - 4.342 \text{RH} - 0.03953T - 0.000347T^2$ ，可提供為適用之模式以處理主要作物之種子貯存問題。

在不同溫度與種子平衡相對濕度條件下其 $\text{Log } \sigma$ 值之性曲線如圖7所示。其應用方式以下列說明：稻穀之最初發芽率為85%，於20°C含水率12%（濕基）條件下密閉貯存，兩年後之發芽率預測值估算如下：

1. 自變換表 (Cumulative Standard normal pdf) 可知85%值之 K_i 值為1.035
2. 由稻穀 ERH/EMC 模式可知 $T=20^\circ\text{C}$, $M=12\%$ (濕基) 時, $\text{RH}=60\%$ 。
3. $T=20^\circ\text{C}$, $\text{RH}=60\%$ 自公式(25)或圖7可知

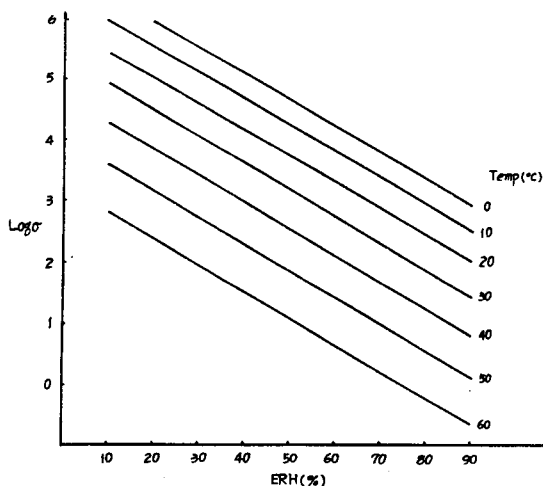


圖7. 種子儲存壽命預測公式 σ 值之特性曲線
Fig 7. The characteristic curves of the σ value for the prediction model of seed longevity

$$\text{Log } \sigma = 3.31, \sigma = 2042$$

$$\text{由公式(1) } V_i = 1.035 - 730/2042 = 0.678$$

$$\text{5. 自變換表, } 0.678 \text{ 之相對值為 } 46.5\%。$$

由此可知在此貯存狀況下，稻穀發芽率兩年後自85%降至46.5%。

結 論

綜合上述研究，所得結論如下：

1. 以作物種子平衡相對濕度物性取代含水率為種子活力預測方程式之參數，對模式之解釋能力並未減弱。而以相對濕度（水活性）為影響參數在學理上有其解釋之依據。
2. 以種子含水率為參數項，每個作物必須具備其特定活力方程式，而以平衡相對濕度為參數項，三種作物種子、大豆、豌豆與大麥，其實驗所得數據以 F 檢定並無顯著異性。
3. 本研所得一般作物之通用模式： $\text{Log } r = 6.852 - 4.352 \text{RH} - 0.03953T - 0.0003473T^2$ ，其係數與本省高粱種子之試驗數據分析結果十分相似，在種子貯存環境對其活性影響之預測，有其實用性。
4. 高油性含量之種子，其預測模式之參數值與一般作物之泛用模式參數值差異性高，因此必須建立其特定方程式，詳細之研究有待探討。
5. 詳細之種子貯存研究和種子 ERH/EMC 物性

資料應加以配合，以深入探討並驗證以相對濕度參數之適用模式。

參 考 文 獻

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卷1期，P4-7。

郭華仁，1984，種子的壽命及其預測，科學業農 32:361-369。

郭華仁，沈明來，曾美倉，1989，溫度與種子水份含量對屬黍種子儲藏壽命的影響，中華農學會報 149:32-41。

劉英德，1990，種子生理，初版，P351-361，臺北，五洲。

Chen, C. C and R. V. Morey. 1989a. Equilibrium relative humidity (ERH) relationships for yellow-dent corn. Trans. of ASAE 32(3):999-1000.

Chen, C. C and R. V. Morey. 1989b. Comparision of four EMC/ERH equations. Trans. of ASAE 32(3):983-990.

Chen, C. 1990. The concept of water activity and its models, Journal of Chinese Agricultural Engineering. Vol 36 (3):43-49.

Chen, C. 1991. Desorption data and models of sorghum seeds. Unpub. data, TARI, Taiwan.

Chen, C. 1989. The measurement and application of the equilibrium relative humidity of agricultural products: Determination methods and effect factors. J. of Chinese Agri. Engi. Vol 35: 59-67.

D'Arcy, R. L. and I. C. Watt. 1970. Analysis of sorption isotherms of non-homogeneous sorbents. Trans of the Faraday Society, 66:1236-1245.

Dickle, J. B., S. Mcgrath and S. H. Linington. 1985. Estimation of provisional seed viability constants for *Lupinus Polyphyllus* Lindley, Annals of Botany 55:147-151.

Dickle, J. B, R. H, Ellis, H. L. Kraak, K, Rydere and P. B. Tompsett. 1990. Temperature and seed storage longevity, Annals of Botany, 65:197-204.

Ellis, R. H. and E. H. Roberts. 1980a. Improved equations for the prediction of seed longevity, Annal of Botany 45: 13-30.

Ellis, R. H. and E. H. Roberts. 1980b. The influence of tempesature and moisture on seed viability period in Barley (*Hordeum distichum* L). Annals of Botany 45:31-37.

Ellis, R. H, K. Osei-Bonsu and E. H. Roberts, 1982, The influence of genotype, temperature and moisture on seed longevity in Chickpea, Cowpea and Soya bean, Annals of Botany 50:69-82.

Ellis, R. H, T. D. Hong and E. H. Roberts. 1986. Logarithmic relationship between moisture content and longevity in Sesame seeds, Annals of Botany, 57: 499-503.

Ellis, R. H. 1988. The viability equation, seed viability nomographs. and practical advice on seed storage, Seed Science & Technology 16:29-50.

Ellis, R. H., T. D. Hong and. E. H. Roberts. 1988. A low-moisture-content limit to logarithmic relations between seed moiture content and longevity, Annals of Botany, 61:405-408.

Ellis, R. H, T. D. Hong and E. H. Roberts. 1989. A comparison of the low-moisture-content limit to the logarithmic relation between seed moisture and longerity in twelve species, Annals of Botany 63:601-611.

Ellis, R. H, T. D. Hong, E. H. Roberts and K.-L. Tao. 1990. Low moisture content limits to relations between seed longevity and moisture, Annals of Botany, 65:493-504.

Myers, R. H. 1986. Classical and modern regression with application, New York, Pws and Kent Publ.

Nellist, M. E. and M. Hughes. 1973. Physical and biological processes in the drying of seeds, Seed Science and Technology 1:613-643.

Jayas, D. S, G. Mazza and N, D. G. White. 1989. Equilibrium moisture content-equilibrium relative humidity relationship of flax seed ASAE Paper 89-6603, St. Joseph. MI.

Justice, O. L. and Lenis N. Bass. 1979. Principles and practices of seed storage, 1st ed., P36-48. U. K. C. H. P. Publisher.

Kraak, H. L. and J. Vos. 1987. Seed viability constants for lettuce. Annals of Botany, 59:343-349.

Labuza, T. P. 1984. Moisture sorption: Practical aspects of isotherm. measurement and use. AACC press, St. Paul, MN.

Pappas, G. and V. N. M. Rao. 1987. Sorption isotherms of Cowpeas from 25°C to 70°C, Trans. of ASAE, 30:1478-1483.

Pixton, S. W. and S. Warburton. 1971a. Moisture content-relative humidity equilibrium at different temperatures of some oilseeds of economic importance, Stored Products Research. 9:189-197.

Pixton, S. W. and S. Warburton. 1975. The moisture content/equilibrium relative humidity relationship of Soya. J. Stored Products Research. 11:249-251.

Pixton, S. W. and S. Henderson. 1979. Moisture relations of dried peas, shelled almonds and Lupins, J. Stored Products Research, 15:59-63.

Pixton, S. W. and S. Warburton. 1971b. Moisture content/relative humidity equilibrium of some cereal grains at different temperatures, J. of Stored Products Research, 6:283-293.

Roberts, E. H. 1960. The viability of cereal seed in relation to temperature and moisture, Annals of Botany, 24: 13-31.

Roberts, E. H. 1989. Water and seed survival, Annals of Botany 63:39-52.

Tompsett, P. B. 1984. The effect of moisture content and temperature on the seed storage life of Araucaria columnaris, Seed Science & Technology, 12:801-816.

Tompsett, P. B. 1986. The effect of temperature and moisture content on the longevity of seed of Ulmus carpinifolia and Temninalia brassii, Annals of Botany, 57:875-883.

Weisberg, S. 1980. Applied linear regression, 2nd ed, P.179-183, New York: John Wiley & Sons.

Young, J. H. and G. L. Nelson. 1967. Research on hysteresis between adsorption and desorption isotherms of wheat. Trans. of ASAE 10:756-761.

收稿日期：民國80年 8月28日

修正日期：民國80年 9月12日

接受日期：民國80年 9月18日

專營土木、水利、建築等工程

逸林營造工程有限公司

負責人：江 香 琴

地 址：台東市仁三街266號

電 話：(089) 225570