

乾燥溫度對落花生等溫水份平衡線影響性之研究¹

陳加忠 曹之祖 賴建洲²

摘要：在此研究中探討乾燥溫度對於落花生等溫水份平衡線之影響。以非線性迴歸技術評估七種不同處理條件下其最佳適稱模式與其參數。實驗結果顯示乾燥溫度對落花生水份平衡線物性有顯著性影響。在相同相對濕度條件下，乾燥溫度愈高，其持水能力愈低。在比較品種或測定方法等因素對於ERH/EMC 關係影響時，必須考慮其所受歷程。在決定貯存之含水率和其他作業條件時，必須考慮乾燥溫度之影響。

關鍵詞：落花生，平衡相對濕度，等溫水份平衡線

農產品在特定環境下，其平衡相對濕度，含水率和周圍環境溫度將成平衡狀態。一特定溫度下其平衡含水率和相對濕度之關係繪製成圖，通常為一S型或指數曲線，此稱之為等溫水分平衡線 (Sorption isotherm)。

落花生之平衡相對濕度，平衡含水率和溫度之物性關係是乾燥，貯存，包裝……等加工作業不可缺少之重要因素。此方面之物性測量和適稱模式雖然已有建立⁽¹⁾，但其樣本處理溫度為55°C，而不同之乾燥溫度對此物性之影響尚未具有詳細資料。

在農產品平衡相對濕度之影響因子研究中⁽⁶⁾，農產品收穫後處理之乾燥溫度是一項重要之因子，但其對加工作業影響卻未有詳細之探討。Tuite 等氏⁽¹⁰⁾在玉米的乾燥研究中發現乾燥溫度的增加會減少穀粒的持水能力。玉米粒以60°C和25°C加以乾燥後，在相同含水率時前者之平衡相對濕度高於後者。Iglesias等氏⁽⁷⁾在牛肉乾平衡含水率之研究中發現，提高乾燥溫度則降低牛肉之吸水能力 (Water holding capacity)。Hung⁽⁶⁾氏在四種乾燥溫度對加工花生 (Roasted Peanuts) 25°C等溫水份平衡線之研究中亦有相同之結果，但是上述之研究者皆未建立精確之量化標準。在乾燥溫度對於農產品物性之影響方面，定性之研究如 Labuza⁽⁸⁾認為乾燥溫度之增加使澱粉本身不透水性的結晶粒比例增加，因此降低了持水性。Iglesias 等氏⁽⁷⁾認為高溫對蛋白質之結構加以改變，蛋白質因受熱而凝聚、重組，因此亦降低了持水能力。

由於平衡相對濕度量測技術之開發，此物性量測可於短時間內獲得大量且準確之數據⁽⁶⁾，對於玉米粒平衡相對濕度之研究，也依此建立精確之特性曲線。本省落花生在此方面之研究一向闕如，實有加以探討之必要。因此此研究之目的如下：

1. 以已建立之平衡相對濕度依序量測法進行落花生於不同乾燥溫度下，其花生殼，仁與全莢之平衡相對濕度物性。
2. 建立各乾燥溫度及不同歷程條件之適稱方程式。
3. 探討乾燥溫度對 ERH/EMC 影響性在加工作業上之應用。

材料與方法

一、實驗材料

1. 臺灣省農業試驗所 研究報告 1580 號。
2. 本所農工系 副研究員、技士、助理研究員。

此究中落花生品種為臺南9號。處理之乾燥溫度在去濕 (Desorption) 過程中有25、50、80與110°C四種，加濕 (Adsorption) 過程有25、50與80°C三種。去濕性質之測定中，25°C之處理係將樣本置於不同之飽和鹽溶液中，使其含水率降低至平衡階段，再進行相對濕度之量測。25°C之回潮樣品係將高含水率樣本置於 Libr 飽和鹽溶液之環境空間內待得平衡後，取出置於不同之飽和鹽溶液環境空間內，使其回潮。50，80，110°C三種熱風處理之去濕樣本，係以熱風乾燥至預定含水率。50，80°C加濕樣本係以熱風乾燥至極低含水率後，再加水調製至預定含水率。

二、平衡相對濕度之量測

此研究所用之方法如同本省稻穀，落花生之量測⁽¹³⁾，等溫水份平衡線 (Sorption isotherm) 之建立溫度有5種 (5，15，25，35，45°C)。

三、平衡相對濕度模式

在此研究中以四種含三參數之 ERH 模式探討落花生果莢，殼與仁其平衡相對濕度，平衡含水率與溫度三者關係，模式描述如下：RH 代表相對濕度 (小數點)，M代表含水率 (%乾基)，T為溫度 (°C)。

1. 修正 Henderson 式。

$$RH = 1 - \text{EXP}(-A(T+C)M^b)$$

2. Chung-Pfost式

$$RH = \text{EXP} \left[\frac{-A}{T+C} \text{EXP}(-B \cdot M) \right]$$

3. 修正 Halsey 式

$$RH = \text{EXP} [-\text{EXP} [A+B \cdot T] \cdot M^{-c}]$$

4. 修正 Oswin 式

$$RH = \frac{1}{\frac{(A+B \cdot T)^c}{M} + 1}$$

四、模式適稱性評估

此研究量測所得落花生平衡相對濕度，平衡含水率與溫度之有關數據經非線性迴歸以評估 ERH 模式之適稱性 (Fitting-agreement)。適稱性之評估標準在定量方面以S.E.值 (Standard error of estimated values) 為主，定性標準則描繪殘差圖對預測值之分佈圖，觀察其是否為均勻分佈。

結果與討論

一、各種處理下之最佳適稱模式

為便於比較乾燥溫度對於三種落花生材料其 ERH，EMC 與溫度關係之影響，在不同乾燥溫度處理和不同歷程之 ERH，EMC 與溫度量測數據，先以非線性迴歸技術進行分析，並以殘差圖和S.E.值以選擇最佳適稱模式。在進行比較時，利用最佳模式以描繪等溫水分平衡線，以避免因實驗誤差造成混淆。

各處理條件下，最佳適稱模式及其參數估計值如下：

(-)25°C乾燥，去濕歷程

A. 花生殼：Modified-Henderson 模式

$$A = 2.2667 \times 10^{-5}, B = 2.138, C = 145.25$$

B. 花生仁：Modified-Halsey 模式

$$A = 2.7069, B = -7.4904 \times 10^{-3}, C = 1.6208$$

C. 花生莢：Modified-Oswin 模式

$$A=8.4432, B=-2.5846 \times 10^{-2}, C=2.488$$

(二)25°C乾燥，吸濕歷程

A. 花生殼：Modified-Henderson 模式

$$A=9.257 \times 10^{-5}, B=1.7094, C=125.74$$

B. 花生仁：Modified-Halsey 模式

$$S=2.5308, B=-9.0526 \times 10^{-3}, C=1.5384$$

C. 花生莢：Modified-Oswin 模式

$$A=7.8846, B=-3.6432 \times 10^{-2}, C=2.2467$$

(三)50°C乾燥，去濕歷程

A. 花生殼：Chung-Pfost 模式

$$A=544.01, B=0.1588, C=125.49$$

B. 花生仁：Modified-Halsey 模式

$$A=2.7778, B=-4.949 \times 10^{-3}, C=1.752$$

C. 花生莢：Modified-Halsey 模式

$$A=2.5136, B=-5.3347 \times 10^{-3}, C=1.482$$

(四)50°C乾燥，吸濕歷程

A. 花生殼：Modified-Oswin 模式

$$A=8.525, B=-2.3876 \times 10^{-2}, C=2.395$$

B. 花生仁：Modified-Halsey 模式

$$A=2.823, B=-5.49 \times 10^{-3}, C=1.8$$

C. 花生莢：Modified-Oswin 模式

$$A=6.679, B=-1.8208 \times 10^{-2}, C=2.302$$

(五)80°C乾燥，去濕歷程

A. 花生殼：Chung-Pfost 模式

$$A=1138.4, B=0.213, C=125.6$$

B. 花生仁：Modified-Halsey 模式

$$A=2.8904, B=-6.8186 \times 10^{-3}, C=1.7957$$

C. 花生莢：Modified-Oswin 模式

$$A=7.6564, B=-2.2674 \times 10^{-3}, C=2.7184$$

(六)80°C乾燥，吸濕歷程

A. 花生殼：Chung-Pfost 模式

$$A=481.56, B=0.1564, C=145.84$$

B. 花生仁：Modified-Halsey 模式

$$A=1.901, B=-5.508 \times 10^{-3}, C=1.343$$

C. 花生莢：Modified-Oswin 模式

$$A=6.746, B=-2.2848 \times 10^{-2}, C=1.947$$

(七)110°C乾燥，去濕歷程

A. 花生殼：Chung-Pfost 模式

$$A=481.92, B=0.1802, C=131.8$$

B. 花生仁：Modified-Henderson

$$A=7.6264 \times 10^{-4}, B=-1.1483, C=126.26$$

C. 花生莢：Modified-Henderson 模式

$$A=5.2069 \times 10^{-4}, B=1.2429, C=125.63$$

在 ERH 的適用模式之研究中⁽⁵⁾，Modified-Henderson, Chung-Pfost 與 Modified-Oswin 模式，可適用於含高纖維質之農產品，Modified-Oswin 與 Modified-Halsey 模式適用於含高油質之農產品。但在此研究結果得知在高溫乾燥熱風處理下110°C的花生仁與花生莢，其適用模式為 Modified-Henderson 模式，由此可知在此種高溫之下，農產品內部結構之變化使其吸水特性變化，因而導至等溫水份平衡線之曲線亦變化，因此適用模式亦為之改變。

二、落花生之 ERH 與 EMC 之關係

典型之落花生兩種溫度下其等溫水份平衡線如圖1a，1b。樣本經25°C乾燥，去濕處理在相同的相對濕度條件時，花生殼的平衡含水率最高，花生莢次之，花生仁最小。5°C之等溫水份平衡線均高於45°C。在圖1b中，樣本為經80°C乾燥之加濕歷程，在相同的相對濕度條件下，平衡含水率亦是花生莢最高，花生仁最小，5°C之等溫水份平衡線高於45°C。自落花生的組成成份（表1）可知，花生仁介於兩者之間。高纖維質之農產品在相對濕度環境下，其持水能力最高，高油量之農產品其持水性最差⁽⁴⁾，此研究之結果與此相同。

表一、落花生乾物質之組成成份

組成成份 (%)		花生殼	花生仁	花生莢
澱粉		0.7	—	4.0
蛋白質		6.0	27.2	27.0
油質		2.0	41.2	52.1
灰質		3.1	3.3	2.4
糖份		—	—	—
纖維		72.5	1.7	1.8

資料來源：Wolff (11)

由圖1a與1b之比較可知在圖1a中，花生殼與花生莢曲線之分佈大於圖1b之分佈。可知在相同相對濕度之條件下，25°C乾燥處理之樣本，其花生殼與花生莢，仁之平衡含水率之差距遠大於80°C乾燥處理之樣本。為便於比較乾燥溫度對落花生 ERH/EMC 物性之影響，以下之討論係在相同環境下，以不同處理之等溫水份平衡線繪圖於相同圖形，如此可用以探討其影響性。

三、乾燥溫度對 ERH/EMC 物性之影響

(一)花生殼

花生殼在5°C之等溫水份平衡線如圖2所示。在相同的相對濕度環境下，25°C乾燥之去濕曲線其持水性最高，110°C乾燥之去濕曲線最低。25°C乾燥回潮曲線(2)之持水性比50°C乾燥去濕曲線(3)低，曲線(5)亦比曲線(4)有更高持水性，可知處理溫度增加25~30°C時，其對持水性之影響小於吸濕遲滯性之影響。

25°C與45°C之等溫水份平衡線在七種處理下之分佈圖形與5°C類似。

在60%相對濕度環境下，5°C曲線分佈最高（曲線1）與最低（曲線7）之含水率差異為3%，25°C時為2.8%，45°C時為2.9%。在40%相對濕度環境下，三溫度（5，25，45°C）曲線1與7含水率之差異為3.2%。

(二)花生仁

花生仁在25°C時七種處理之等溫水份平衡線如圖3所示。以25°C去濕歷程之曲線為基準時，乾燥溫度和回潮均對曲線分佈有顯著之影響。在相同平衡相對濕度時，曲線2（25°C乾燥，加濕歷程）之持水能力大於曲線3（50°C乾燥，去濕歷程），曲線4（50°C乾燥，加濕）與曲線5（80°C乾燥，去濕）近乎重合。5與45°C之等溫水份平衡線之分佈與25°C之分佈相似。

在60%相對濕度環境下，5°C之最高（曲線1）與最低（曲線7）之含水率差異為1.6%，25°C時為1.5%，45°C時為1.4%。在40%相對濕度環境下，5°C之曲線最高與最低之含水率差距為1.4%，25°C之差異1.2%，45°C之差異為1.3%。

(三)花生莢

花生莢在各溫度下之等溫水份平衡線分佈與花生仁類似。在相同的平衡相對濕度下，曲線2之持水能力大於曲線3，曲線4與曲線5近乎重合（圖4）。

在60%相對濕度環境，5°C時，最高和最低曲線之含水率差異為2.2%，25°C之差異為2.3%，45°C之差異為1.4%。

對花生殼、仁、莢，在相同相對濕度下，含水率受乾燥溫度與歷程影響之量化值比較，以花生殼最高，莢次之，花生仁最小。以其組成成份得知，高纖維質之農產品，其受不同處理之影響最大，高油份之作物處理過程最不敏感。

由上述結果可知，在比較品種，收穫季節，測定方法等因素對 ERH/EMC 性質之影響時，若未能瞭解其樣本乾燥溫度，吸濕或去濕歷程之影響，所做比較均失去意義。

四、加工作業上之應用

由上述研究結果可知落花生處理過程之乾燥與回潮歷程對於其 ERH/EMC 性質有顯著性之影響，此性質在落花生加工作業之影響性以花生莢和花生仁加以說明。

(一)乾燥作業

在乾燥作業中，ERH/EMC 性質之應用以 EMC 性質為主，由乾燥熱風之溫度和其相對濕度數值，可以以 ERH/EMC 模式預測其最終之含水率，並藉此進行系統模擬或加工程序控制。在玉米粒之乾燥作業中⁽⁹⁾，不正確的 EMC 預測值對乾燥作業之控制結果造成極大的誤差。

因乾燥溫度對落花生 ERH/EMC 之物性有顯著影響，因此在利用 ERH/EMC 模式以估算 EMC 值時，必須配合其乾燥溫度以選擇適用之模式。

(二)倉貯作業

倉貯作業中除了通風作業需預知 ERH/EMC 之關係之外，安全貯存含水率之標準極為重要，農產品貯存其安全含水率可由其65%平衡相對濕度之對應平衡含水率所決定。

在25°C之貯存環境下，花生仁之安全貯存含水率與其受處理過程之影響可以以圖3之等溫水份平衡圖加以說明。在65%相對濕度條件時，以25°C乾燥之花生仁其平衡含水率為8.2%，50°C乾燥條件下為7.7%，80°C乾燥條件為7.1%。若忽視乾燥條件之影響，以25°C處理曲線定出安全標準為8.2%。以50°C乾燥花生仁至8.2%，其貯存時平衡相對濕度為69.3%，以80°C乾燥之花生仁，其8.2%含水率條件下其平衡相對濕度為73.3%。在此大於70% RH高濕環境促使霉菌之繁殖。由此可知決定貯存安全含水率時需考慮乾燥溫度之影響。

在25%貯存環境，落花生莢之安全貯存含水率可由圖4得知。以常溫25°C乾燥時，其65%平衡相對濕度之含水率為10.0%，經50°C乾燥之落花生莢，在65% RH 之含水率為8.7%，以80°C乾燥之落花生莢其65% RH 平衡含水率為8.2%，若以25°C處理之安全含水率10.0%為貯存標準，50°C之水份平衡曲線其10.0%含水率之平衡相對濕度為71.3%，80°C水份平衡曲線在10.0%含水率之平衡相對濕度為74%。在大於70% RH 之環境，已構成霉菌良好成長之條件。

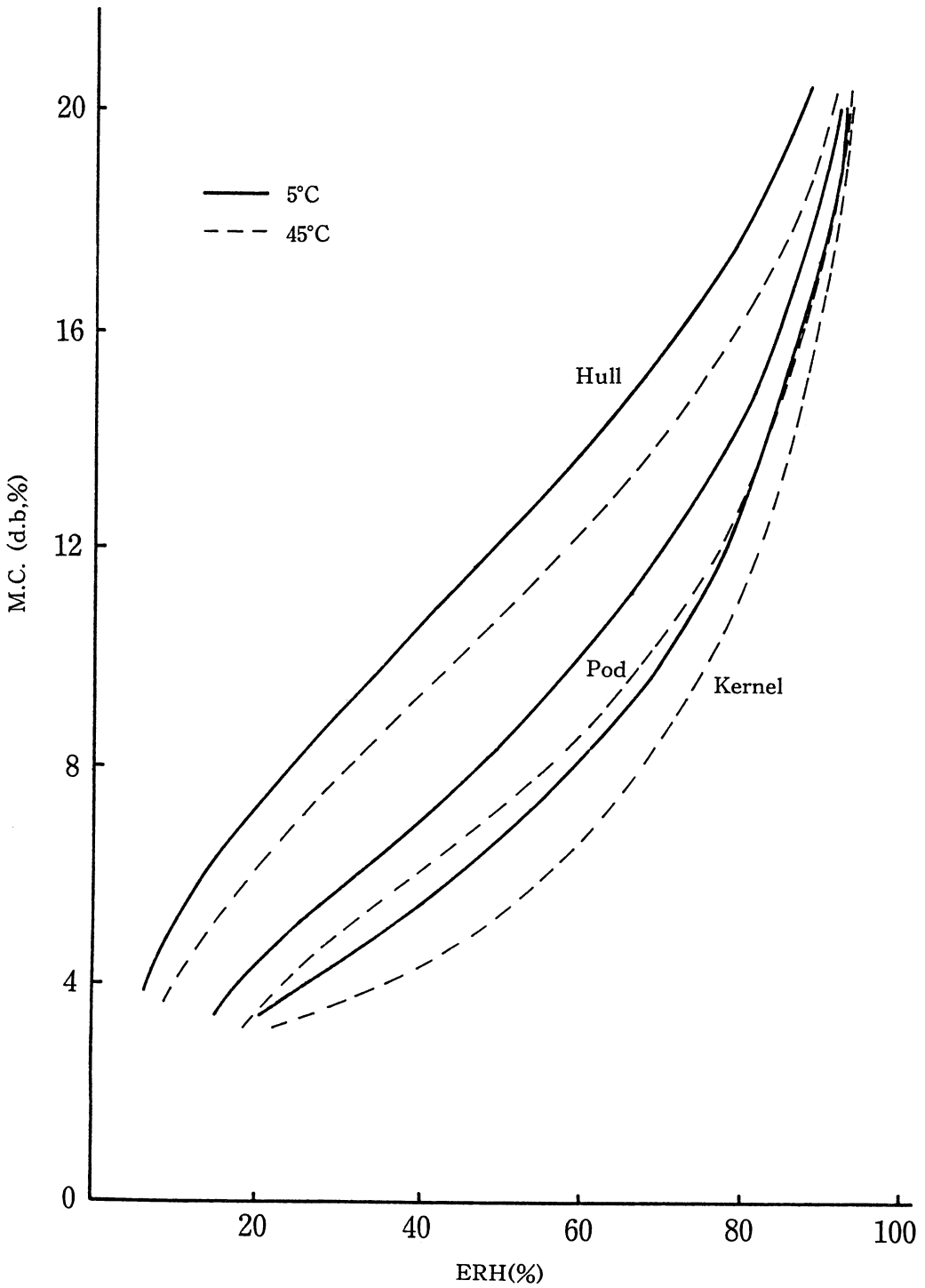


圖1a. 落花生去濕等溫水份平衡線 (25°C乾燥)
Fig 1a. Desorption isotherms of peanuts (Dried at 25°C)

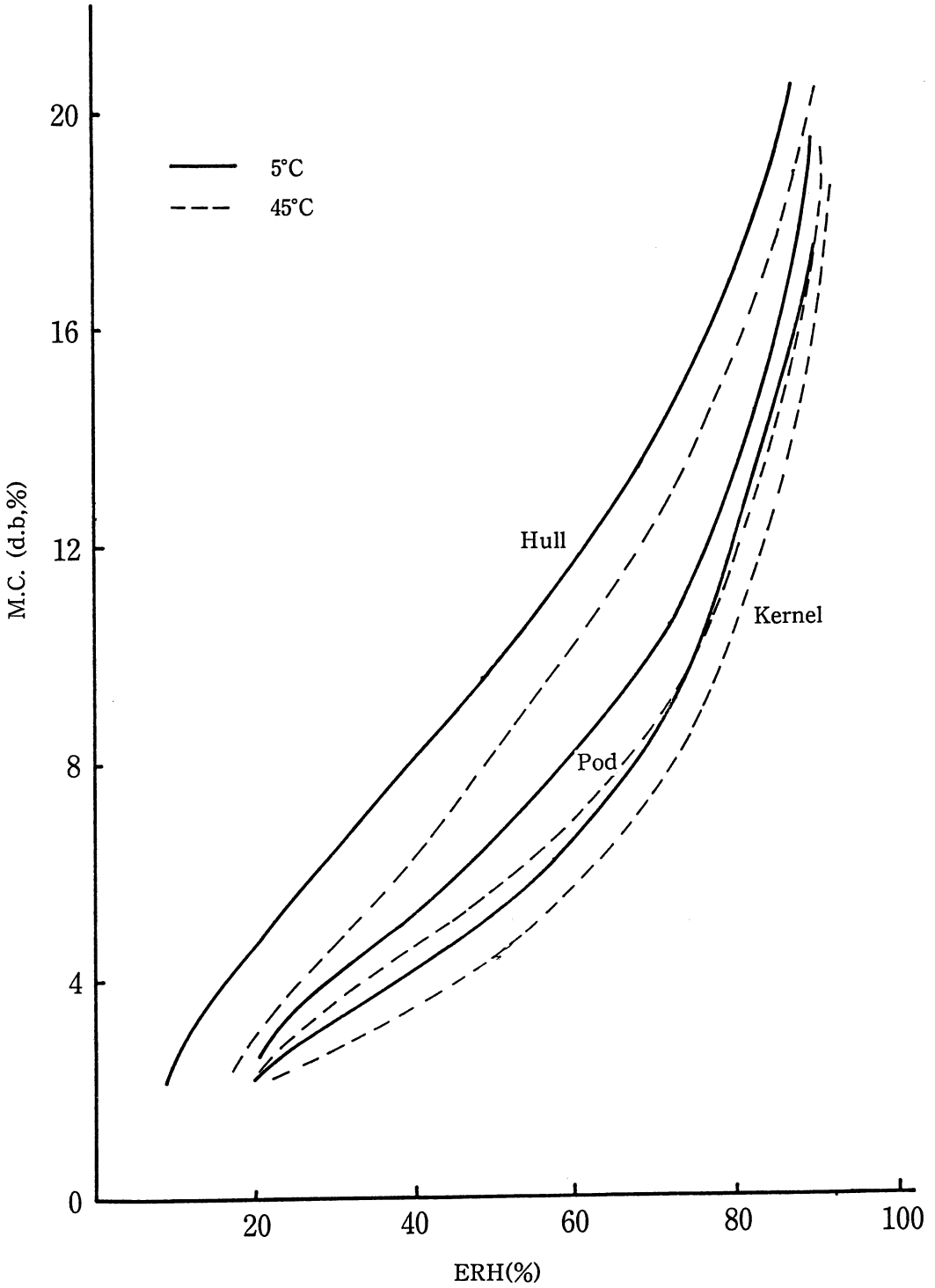


圖 1b. 落花生吸濕等溫水份平衡線 (80°C乾燥)
Fig 1b. Adsorption isotherms of peanuts (Dried at 80°C)

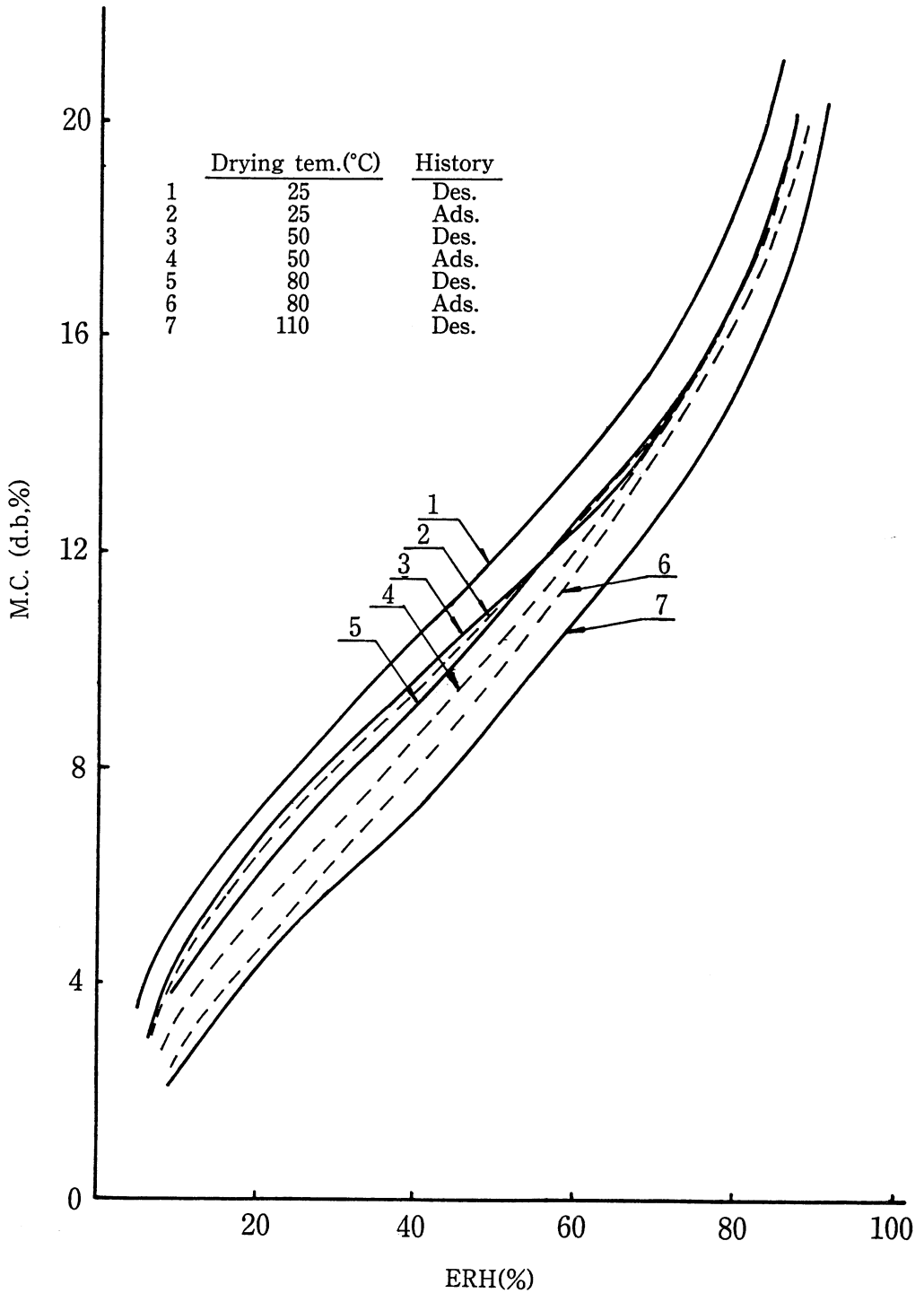


圖2. 落花生殼 5°C等溫水份平衡線之特性圖

Fig 2. Characteristic curves of sorption isotherms for peanut hulls at 5°C

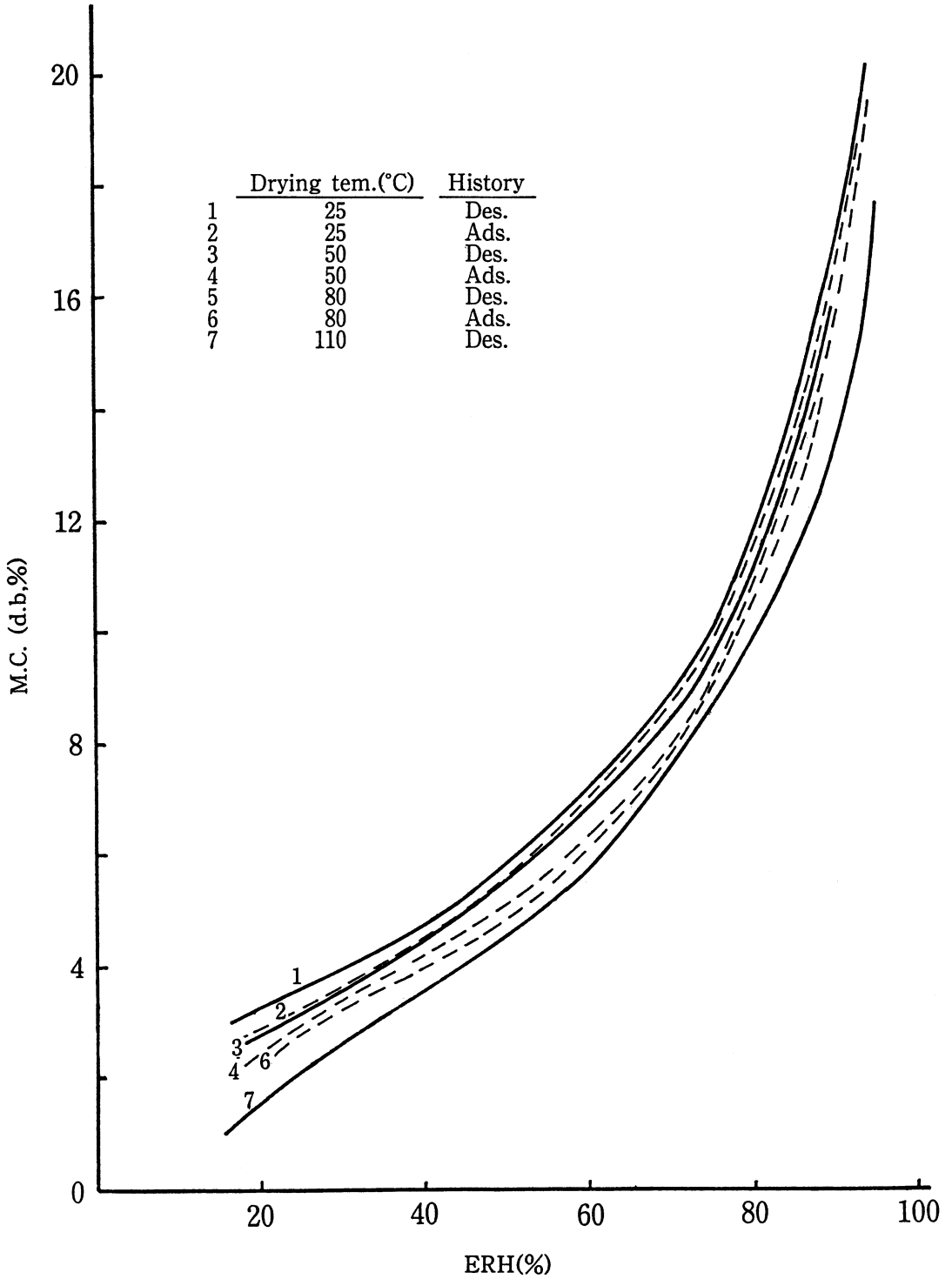


圖3. 落花生仁25°C等溫水分平衡線之特性 (4, 5重合)

Fig 3. Characteristic curves of sorption isotherms for peanut kernels at 25°C

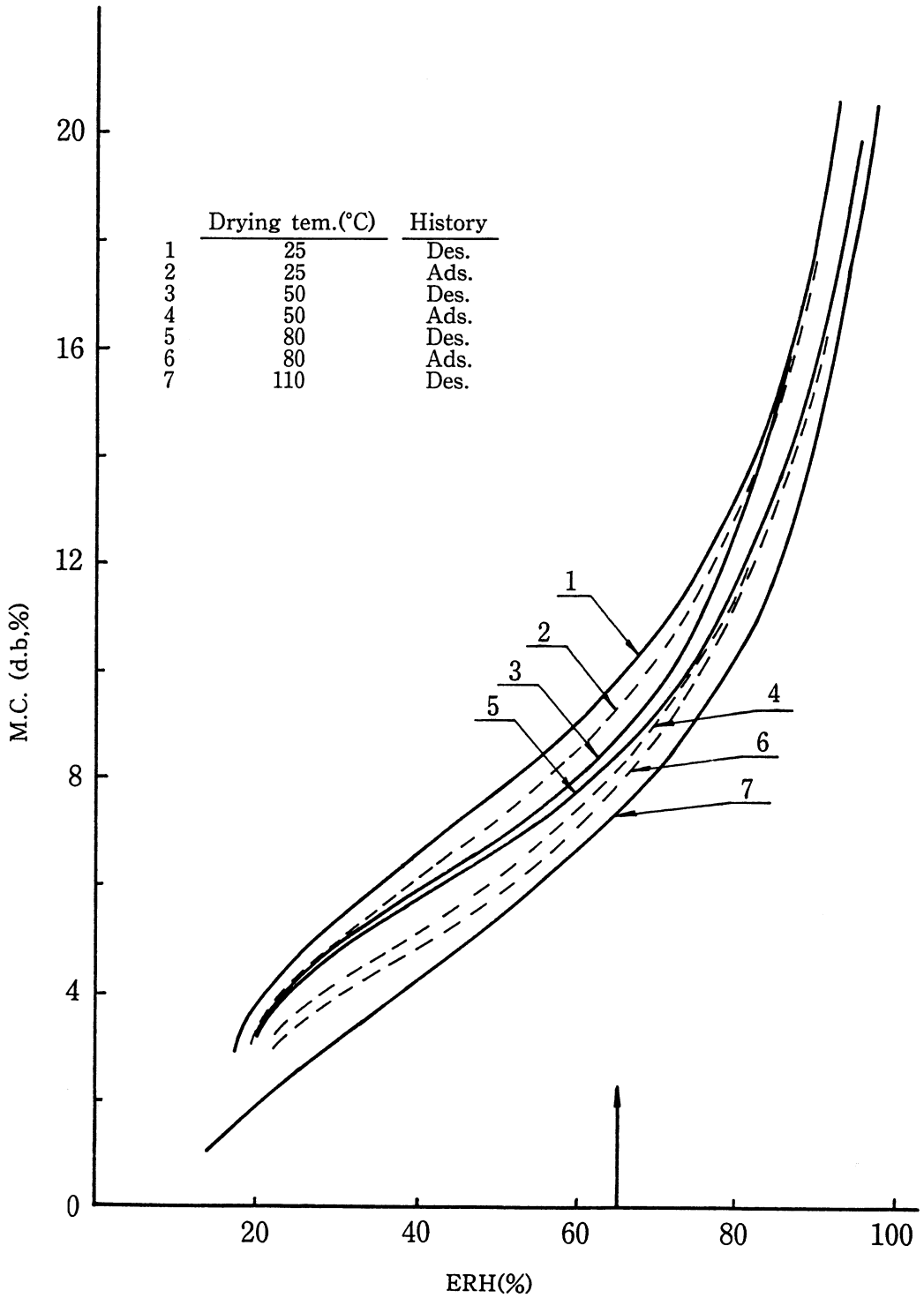


圖4. 落花生莢25°C等溫水份平衡線之特性圖

Fig 4. Characteristic curves of sorption isotherms for peanut pods 25°C

由上述討論可知，乾燥溫度對於等溫水份平衡線影響的顯著性使落花生長期貯存之安全含水率亦受到影響。以傳統日晒常溫乾燥之落花生莢長年經驗之安全貯存含水率大致上與25°C水份平衡線65% RH 對應之含水率相符合⁽²⁾。由於乾燥機之應十分普遍，落花生以高溫乾燥後其安全含水率若與25°C之條件相同，其對應之平衡相對濕度即大於65%，因而促使霉菌成長。以高溫乾燥之落花生莢其安全含水率應比常溫處理之落花生莢低於2%。而高溫處理之落花生仁之安全含水率應比常溫乾燥之落花生低於1.1%。

結 論

綜合上述研究結果，所得結論如下：

- 一、乾燥溫度對於落花生殼、仁、莢之等溫水份平衡曲線有顯著之影響，乾燥溫度之增加降低了此農產品之持水能力。
- 二、七種不同處理下各 ERH/EMC 之最佳適用模式及其參數已利用非線性迴歸技術評估求得，由於乾燥溫度對水份平衡線之影響使各處理情況之最佳適用模式為之改變。
- 三、在比較品種、量測方法……等因素對於 ERH/EMC 關係之影響時，必須考慮其乾燥溫度和歷程條件，在相同處理下比較才有意義。
- 四、在乾燥、倉貯之加工作業中，必須考慮乾燥溫度對於 EMC/ERH 性質之影響，尤其在決定安全貯存含水率更為重要，高溫乾燥之落花生其安全貯存含水率必須比常溫乾燥者更低。

參考文獻

1. 陳加忠、賴建洲、曹之祖，1990，稻穀平衡相對濕度性能之研究，中華農業研究34(4)：347—366。
2. 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P：4—7
3. 陳加忠、曹之祖、賴建洲，1991，落花生平衡相對濕度物性之研究，中華農業研究40(2)：145—160。
4. Bras, A. L. 1982. Maize drying conditions and its resulting quality for wet-milling industry. PP : 95—127. In : G. Eingliett (eds) . Maize : Recent Progress in Chemistry and Technology. Academic press, N. Y.
5. Chen, C. 1988, A study of equilibrium relative humidity for yellow-dent corn kernels, Ph.D. Thesis, University of Minnesota, St. Paul.
6. Hung Y.-C, 1988, Predicting the effect of drying conditions on the textural properties of roasted peanuts, Trans of ASAE 32 : 968—972.
7. Iglesias, H. A. and J. Chirief 1976. Equilibrium moisture contents of air dried beef-Dependence on drying temperature. J. of Food Tech. 11 : 563—573.
8. Labuza, 1968. Sorption phenomena in foods. Food Tech. 22 : 263—272.
9. Lynch, B. E. and R. V. Morey, 1989, Control strategy for ambient air corn drying. Trans of ASAE. 32 : 1727-1736.
10. Tuiite, J. and G. H. Foster, 1963. Effect of artifical drying on the hygroscopic propertirs of corn. Cereal Chem. 40 : 630—637.
11. Wolff, Ivan. A. 1982. CRC Handbood of processing and utilization in agriculture. Vol II. Plant Products. CRC Press, INC. FC.

The effect of drying temperature on sorption isotherms of peanuts¹

C. C. Chen, C. T. Tsao and C. C. Lai²

Summary

The effect of drying temperature on sorption isotherms of peanuts were studied in this research. The best fitting agreement models and its parameters were evaluated by nonlinear regression analysis. The experimental results indicate that the drying temperatures have the significant effect on the sorption properties of peanuts. The higher the drying temperature is, the lower the water holding capacity at the same RH value is. It is necessary to consider the grain history for the comparison of EMC/ERH properties that effecting by varieties or determinaing methods. The effect of drying temperatures should be considered in developing moisture content recommendations for safe stor-age and other's processing works.

Key word : Peanuts, ERH, Sorption Isotherm

1. Contribution No. 1580 from Taiwan Agricultural Reseach Institute.

2. Associate researcher, Junior Specialist, assistant researcher, respectively TARI, Taichung, Taiwan, R. O. C.