

# 影像處理技術應用於擠壓產品膨發特性量測之研究

## A Study on the Measurement of Extrudate's Expansion Properties Using Image Processing Technology

國立中興大學農機系副教授

彭錦樵

Jinchyau Peng

國立中興大學農機系研究生

陳忠智

Jong-Jyh Chen

國立中興大學農機系研究生

陳立煌

Li-Huang Chen

國立中興大學農機系碩士

許獻成

Shiann-Cheng Sheu

### 摘 要

飼料用玉米粉被用來研究單軸擠壓機之加工變數對擠壓產品膨發特性之影響。本研究之加工變數為模具溫度（120℃,140℃及160℃）及螺軸轉速（74,87,100及112rpm），實驗為3×4複因子設計。實驗之目的有二：其一為利用影像處理技術量測擠壓產品之直徑，並與傳統游標尺量測之結果比較，以探討此種技術之可行性。其二為探討加工變數對產品膨發特性之影響。

實驗結果顯示：

1. 利用影像處理技術量測擠壓產品之直徑，與傳統利用游標尺量測之結果並無顯著差異。證明影像處理技術亦可應用於擠壓產品尺寸之量測，可更快速及便捷。

2. 擠壓產品之直徑及膨發率隨模具之溫度上升而下降。本實驗之模具溫度為120℃時，可得最大之直徑(7.89mm)及膨發率(2.32)。

3. 擠壓產品之直徑及膨發率隨螺軸轉速提高而降低。本實驗之螺軸轉速為87rpm時，可得最大之直徑(7.55mm)及膨發率(2.22)。

關鍵詞：影像處理，擠壓產品，膨發特性。

### ABSTRACT

Feed corn flour was used to study the effects of process variables on extrudate's expansion properties in a single-screw extruder. The process variables were die temperature (120 °C, 140 °C and 160 °C) and screw speed(74,87,100 and 112 rpm). The experiment was a 3 × 4

factorial design. The objectives of this study were to compare the extrudates diameters between the methods of using image processing technology and using caliper, and to investigate the effects of process variables on the expansion properties.

Experimental results showed that:

1. The extrudates diameters measuring by caliper were not significantly different compared to the diameters measuring by image processing technology(machine vision technology). It was proven that the image processing technology can be applied to the measurement of extrudate's dimensions.

2. Increasing die temperature resulted in a decrease in both extrudates diameter and expansion ratio. The maximum diameter (7.89mm) and expansion ratio (2.32) were occurred at 120 °C die temperature.

3. Increasing screw speed would decrease extrudates diameter and expansion ratio. At 87 rpm screw speed resulted in the maximum extrudates diameter(7.55mm) and expansion ratio (2.22).

Keywords : Image processing, Extrudate, Expansion property.

## 前 言

擠壓機(Extruder)是一種能將原料輸送、壓縮、混合、揉捏、剪切、加熱、殺菌、組織化、成型以及膨發等作用之加工機械。利用擠壓機生產各類食品、寵物飼料,各種飼料、塑膠及化工產品,以及包裝材料等,已相當普及(Harper,1981;Mercier et al.,1989;Wiedman and Strobel,1987)。

擠壓機之加工變數影響產品品質甚大,其品質之分析可分為化學特性及物理特性兩大方面。膨發特性是物理特性中最重要的一項,而膨發率(Expansion ratio)則是測量所有膨發特性中最基本的特性。膨發率又稱為徑向膨發指標(Radial Expansion Index),它可由擠壓產品之直徑除以模孔直徑而求得。因此,要計算膨發率,首先須量測擠壓產品之直徑。截至目前,所有中外之研究人員,對於擠壓產品直徑之量測均是採用游標尺逐一量測取樣之樣本,而後再平均之。每次處理之取樣個數則分別有5個、10個、20個及50個不等(王,1994;阮等人,1993;涂,1994;許,1989;黃與張,1988;彭,1944;鄔等人,1989;蔣與呂,1989; Alvarez-Martinez et al.,1988; Chinnaswamy and Han-

na,1988; Faubion and Hosene,1982a and b; Guy and Horne,1988; Harper,1981; Hsieh et al.,1990; Janssen,1978; Launay and Lisch,1983; Lin,1991;Lue,1990; Martelli,1983; Mercier and Feillet,1975; Mercier et al.,1989; Owusu-Ansah et al.,1984; Park,1976)。若實驗之處理次數多,則以游標尺量測擠壓產品須費大量之人工。每次量測樣本之直徑,採隨機方式行之,若樣本形狀不規則,則亦容易造成量測結果之誤差加大。

影像處理技術目前已廣泛地被應用於工業界,在農業界之應用大多在蔬果之分級選別、顏色判斷,以及品質之偵測等方面(李,1990及1991;林與黃,1993;許,1994;楊,1993;謝,1990;Dowell,1992; Gunasekaran et al.,1988; Miller and Delwiche,1991; Wigger et al.,1988)。如果利用影像處理技術來量測農產品之尺寸或面積,它可同時處理許多樣本,不但快速且可準確地擷取各樣本的影像。但,以此種技術應用於農產品或擠壓產品尺寸之量測上,尚未有應用之實例出現。

因此,本研究之目的為:(1)利用影像處理技術量測擠壓產品之影像,再換算成直徑,並與傳統以游標尺量測直徑之結果相比較,以探討應用

此技術之可行性。(2)同時探討加工變數(模具溫度、螺軸轉速)對擠壓產品膨發特性之影響。

## 材料與方法

### 1. 實驗材料

本實驗所使用之擠壓原料為飼料用玉米粉，購自新竹興貿產業股份有限公司，顆粒大小為 18 mesh(1mm)，含水率為 13 % (w.b.)。

### 2. 實驗設備

#### (1) 擠壓機

本實驗所使用之擠壓機，係由台北泰宇實業有限公司生產之實驗型單軸膨型擠壓機。主機以 5 HP 之馬達經減速機構驅動擠壓螺軸，物料以單軸輸送器進料，擠壓螺軸長 165mm，直徑 45mm，模具外有加熱套筒，出料之模孔有 6 孔，孔徑 3.4 mm，並附可調整轉速之切刀一組。模具溫度、進料速率、螺軸轉速(或主機轉速)及切刀轉速可由控制部予以控制。

#### (2) 影像處理設備

本實驗用以擷取擠壓產品影像之裝置包含用以擷取樣本影像之彩色 CCD 攝影機(XC-711, Sony)，觀察影像之 13 吋彩色影像監視器(PVM-1342Q, Sony)，彩色影像擷取器(DT2871)以及處理影像之微電腦(精英 486)等。

### 3. 實驗設計

本實驗採用 3 × 4 複因子設計。加工變數為模具溫度(120 °C, 140 °C 及 160 °C 等三個層級)以及螺軸轉速(74rpm, 87rpm, 100rpm 及 112rpm 等四個層級)。共計 12 組處理。

### 4. 實驗方法

#### (1) 游標尺量測擠壓產品直徑之方法

以游標尺(Mitutoyo, CD-6, Japan)量測擠壓產品之直徑一次，再將樣本旋轉 90 °量測一次，兩次之平均值即為此樣本之直徑。每組處理分別量測 50 個樣本，取其平均值，即為此處理下產品之平均直徑。分別以樣本直徑除以模孔直徑(3.4mm)，即為該樣本之膨發率，取 50 個樣本之平均值，即為此處理下產品之膨發率。

#### (2) 影像處理量測擠壓產品直徑之方法

將游標尺量測過直徑之 50 個樣本，分別插入細砂盤上或固定於黑布上，使其直徑方向與水平

面平行。取校正圓以求出校正值( $\text{mm}^2/\text{像素}$ )，再找分劃值以分辨樣本及背景。其次測量此 50 個樣本之像素個數並乘以校正值，以計算出實際面積。將實際面積除以 50，再代入  $\frac{\pi D^2}{4}$  公式，即可求出此處理下樣本之平均直徑。為求準確，可重複量測面積 5 次，求其平均值。

### 5. 資料分析

所有游標尺及影像處理等方法量測之直徑及膨發率等，以 SAS 統計軟體求其平均值，並以 Student T-test 比較此兩種方法量測結果之異同。同時，以 ANOVA 方法分析加工變數對膨發特性之影響。

## 結果與討論

### 1. 游標尺及影像處理方法量測擠壓產品直徑之比較

本實驗之加工變數為模具溫度(120 °C, 140 °C 及 160 °C)及螺軸轉速(74rpm, 87rpm, 100rpm 及 112 rpm)，其它條件固定，將各處理隨機取 50 個樣本，分別以傳統方法(游標尺)量測及應用影像處理技術量測其直徑，並據以計算膨發率。此兩種不同方法量測所得各處理之平均直徑如表 1 所示。

表 1. 各處理以不同方法量測之平均直徑

處理	模具溫度 (°C)	螺軸轉速 (rpm)	游標尺量測所得之直徑 (mm)	影像處理計算所得之直徑 (mm)
1	120	74	8.14 ± 0.56	8.18 ± 0.01
2		87	8.13 ± 0.63	8.51 ± 0.01
3		100	8.15 ± 0.64	8.26 ± 0.02
4		112	7.15 ± 0.57	7.58 ± 0.03
5	140	74	6.82 ± 0.56	7.29 ± 0.03
6		87	7.66 ± 0.64	7.73 ± 0.02
7		100	7.14 ± 0.53	7.29 ± 0.02
8		112	7.32 ± 0.58	7.40 ± 0.02
9	160	74	6.93 ± 0.52	7.09 ± 0.01
10		87	6.86 ± 0.66	7.22 ± 0.03
11		100	7.05 ± 0.63	7.26 ± 0.02
12		112	6.55 ± 0.85	7.12 ± 0.01

由表 1 之資料顯示，兩種方法之間似乎沒有差異，為了進一步驗證它們之異同，利用 Student T-test 分別予以比較，結果顯示它們之間確實沒有顯著差異。亦即，此兩種方法所量測之直徑，在統計學上是沒有差異的。因之，任何有關擠壓產品直徑之量測，可以選擇任何一種方法。一般傳統上使用游標尺分別量測 50 個樣本，此種方法對於

處理數多之實驗，須量測許多樣本。以本實驗為例，12個處理，每處理量測50個樣本，每樣本量測2次，故總共量測1200次直徑，須耗費許多時間及人力。若改用影像處理之方法，只須將50個樣本排放整齊，可以同時量測，因此，可以省下許多人工。根據本研究之結果，證明以上兩種量測方法所得之結果並無差異。因之，利用影像處理技術以量測擠壓產品之尺寸是非常值得推薦的，此方法亦可推廣到其它農產品或食品尺寸之量測上。

## 2. 加工變數對擠壓產品膨發特性之影響

許多學者指出，擠壓機之加工變數對產品之物理特性有直接之影響（王，1994；阮等人，1993；涂，1994；許，1989；張與李，1989；黃與張，1988；彭，1994；鄔等人，1989；蔣與呂，1989；Grenus, 1990; Harper, 1981; Hsieh et al., 1989 and 1990; Janssen, 1978; Lin, 1991; Luc, 1990; Martelli, 1983; Mercier et al., 1989; Peng, 1991）。

表2及表3分別表示模具溫度及螺軸轉速對於擠壓產品以游標尺量測之直徑及膨發率之影響。表4及表5則為模具溫度及螺軸轉速對擠壓產品以影像處理量測之直徑及膨發率之影響。表2相對於表4而言，不同的量測方法所得之膨發特性趨勢是一致的。表3相對於表5亦有相同之趨勢。而此兩種量測方法所得之最小顯著差異(LSD)亦幾乎一致。更証明了此兩種方法在應用上有一致之結果。

表 2. 不同模具溫度對擠壓產品直徑及膨發率之影響(游標尺量測方法)

模具溫度 (°C)	直徑* (mm)	膨發率**
120	7.89 <sup>c</sup>	2.32 <sup>c</sup>
140	7.22 <sup>b</sup>	2.13 <sup>b</sup>
160	6.85 <sup>a</sup>	2.01 <sup>a</sup>

\* : LSD = 0.13

\*\* : LSD = 0.04

不同英文字母註腳表示具有顯著差異(5%)

觀察表2或表4之結果，發現模具溫度與擠壓產品之直徑呈現反比之關係。模具溫度為120°C時，其產品之直徑最大(7.89mm)，亦有最大之膨發

率(2.32)；反之，模具溫度為160°C時，其產品之直徑最小(6.85mm)，膨發率亦最小(2.01)。模具溫度對產品直徑有顯著之影響，提高模具溫度會降低產品之直徑，亦會降低膨發率。王(1994)，阮等人(1993)，許(1989)，張與李(1989)等人亦有類似之結果。Lin and Armstrong(1989)亦指出若加工之溫度過高會使得澱粉糊化過度，物料黏度降低及降低膨發率等特性。本實驗模具溫度在120°C時有最優之直徑及膨發率，顯示此時之糊化程度最好；於160°C時可能造成過度糊化，而導致降低膨發率。

表 3. 不同螺軸轉速對擠壓產品直徑及膨發率之影響(游標尺量測方法)

螺軸轉速 (rpm)	直徑* (mm)	膨發率**
74	7.30 <sup>b</sup>	2.15 <sup>b</sup>
87	7.55 <sup>c</sup>	2.22 <sup>c</sup>
100	7.45 <sup>c</sup>	2.19 <sup>c</sup>
112	7.00 <sup>a</sup>	2.06 <sup>a</sup>

\* : LSD = 0.15

\*\* : LSD = 0.04

不同英文字母註腳表示具有顯著差異(5%)

表 4. 不同模具溫度對擠壓產品直徑及膨發率之影響(影像處理方法)

模具溫度 (°C)	直徑* (mm)	膨發率**
120	8.13 <sup>c</sup>	2.39 <sup>c</sup>
140	7.43 <sup>b</sup>	2.19 <sup>b</sup>
160	7.17 <sup>a</sup>	2.11 <sup>a</sup>

\* : LSD = 0.14

\*\* : LSD = 0.04

不同英文字母註腳表示具有顯著差異(5%)

觀察表3或表5之結果，發現擠壓產品在螺軸轉速87rpm以上時，其膨發率與螺軸轉速呈反比關係，但螺軸轉速在74rpm時，其膨發率與100rpm及112rpm間並無差異。螺軸轉速在87rpm時，有

最大之產品直徑(7.82mm)及最大的膨發率(2.30)；螺軸轉速在112rpm時有最小的產品直徑(7.37mm)及膨發率(2.17)。王(1994)，黃與張(1998)，彭(1994)，Hsieh et al.(1990)，Luc(1990)，Lin(1991)，Peng(1991)等均指出當螺軸轉速提高時，擠壓機內部物料充填度減少，因之會降低模孔之壓力及物料黏度，亦隨之降低糊化程度而使得產品之膨發率降低。本實驗之螺軸轉速從87rpm升至112rpm時，擠壓產品之膨發特性完全符合上述之現象。螺軸轉速在74rpm時，其膨發率明顯低於87rpm時之膨發率，但與100rpm及112rpm無明顯差異，表示在本擠壓機之操作條件下，螺軸轉速於87rpm時可得最大的膨發率，低於87rpm或高於87rpm均會降低膨發率。

表 5. 不同螺軸轉速對擠壓產品直徑及膨發率之影響(影像處理方法)

螺軸轉速 (rpm)	直徑* (mm)	膨發率**
74	7.52 <sup>ab</sup>	2.21 <sup>ab</sup>
87	7.82 <sup>c</sup>	2.30 <sup>c</sup>
100	7.61 <sup>b</sup>	2.24 <sup>b</sup>
112	7.37 <sup>a</sup>	2.17 <sup>a</sup>

\* : LSD = 0.16

\*\* : LSD = 0.05

相同英文字母註腳表示不具顯著差異(5%)

不同英文字母註腳表示具有顯著差異(5%)

## 結 論

由本實驗結果之分析，可得如下結論：

1. 利用游標尺量測與利用影像處理技術量測擠壓產品之直徑，發現兩者之結果並無顯著差異，證明影像處理技術亦可應用於擠壓產品尺寸之量測上，可更快速便捷。
2. 擠壓產品之直徑及膨發率隨模具溫度之上升而下降。本實驗之模具溫度為120℃時，可得最大之直徑(7.89mm)及膨發率(2.32)。
3. 擠壓產品之直徑及膨發率隨螺軸轉速之提高而降低。本實驗中，當螺軸轉速為87rpm時，可得最大的直徑(7.55mm)及膨發率(2.22)。

## 謝 誌

本系影像處理實驗室提供相關設備以量測擠壓產品之直徑，王村銘、涂春木等先生協助擠壓機試驗之進行，陳淳和先生幫忙資料之處理等，謹於此一併致最高之謝忱。

## 參考文獻

1. 王村銘。1994。單軸擠壓機加工飼料玉米之研究。碩士論文。台中：中興大學農業機械工程學研究所。
2. 李芳繁。1990。以影像處理量測檸檬之幾何性質。中國農業工程學報36(3):36~42。
3. 李芳繁。1991。檸檬顏色分級方法之建立。中國農業工程學報37(2):59~64。
4. 阮進惠、周正俊、呂政義。1993。進料水分與套筒溫度對擠壓米一些物化特性之影響。食品科學20(5):441~449。
5. 林達德、黃俊誠。1993。育曲箱種苗影像特性與背景雜訊之去除。中國農業工程學報39(2):65~77。
6. 涂春木。1994。單軸擠壓機加工米穀粉物理特性之研究。碩士論文。台中：中興大學農業機械工程學研究所。
7. 張康榮、李錦楓。1989。利用稻米與花生製造直接膨發產品之研究。食品科學16(1):45~58。
8. 許順堯。1989。加工條件對直接膨發米與香蕉擠壓製品之影響。食品科學16(1):36~44。
9. 許獻成。1994。使用彩色機器視覺選別落花生仁。碩士論文。台中：中興大學農業機械工程學研究所。
10. 彭錦樵。1994。加工變數對雙軸擠壓產品膨發特性之影響。農林學報43(2):37~54。
11. 鄔文盛、陳輝煌、龔鳴盛、孫寶年。1989。米之雙軸擠壓加工—(I)水分和油脂添加對米擠壓產品特性之影響。食品科學16(4):305~318。
12. 楊清富。1993。應用機器視覺進行蕃茄顏色分級之研究。碩士論文。台中：中興大學農業機械工程學研究所。

13. 黃謙勝、張為憲。1988。糙米擠壓條件及添加蛋白質對產品品質之影響。食品科學 15(4):315 ~ 322。
14. 蔣丙煌、呂幸江。1989。利用擠壓技術製造脆米。食品科學 16(3):218 ~ 229。
15. 謝青霖。1990。數位影像處理在蔬果大小選別之應用。碩士論文。台北：台灣大學農業機械工程學研究所。
16. Alvarez-Martinez, L., K.P. Kondury, and J.M. Harper. 1988. A General Model for Expansion of Extruded Products. *J. Food Sci.* 53:609-615.
17. Chinnaswamy, R. and M.A.Hanna. 1988. Optimum Extrusion-Cooking Conditions for Maximum Expansion of Corn Starch. *J. Food Sci.* 53(3):834-836,840.
18. Dowell, F. E. 1992. Identifying Undamaged and Damaged Peanut Kernels Using Tristimulus Values and Spectral Reflectance. *Transactions of the ASAE* 35(3): 1264-1271。
19. Faubion, J.M. and R.C.Hoseney. 1982a. High-Temperature Short-Time Extrusion Cooking of Wheat Starch and Flour. I. Effect of Moisture and Flour Type on Extrudate Properties. *Cereal Chem.* 59:529-533.
20. Faubion, J.M. and R.C. Hoseney. 1982b. High-Temperature Short-Time Extrusion Cooking of Wheat Starch and Flour. II. Effect of Protein and Lipid on Extrudate Properties. *Cereal Chem.* 59:534-537.
21. Grenus, K. 1990. Extrusion of Rice Flour with Rice Bran, Salt and Sugar. M.S. Thesis. MO:University of Missouri-Columbia, Dept. of Agricultural Engineering.
22. Gunasekaran, S., T.M. Copper and A. G.Berlage. 1988. Evaluating Quality Factors of Corn and Soybeans Using a Computer Vision System. *Transactions of the ASAE* 31(4):1264-1271.
23. Guy, R.C.E. and A.W.Home. 1988. Extrusion and Co-Extrusion of Cereals. Pages 331-349 in: *Food Structure -Its Creation and Evaluation*. J.M.V. Blanshard and J. V. Mitchell, eds. Butterworths, London.
24. Harper, J.M. 1981. *Extrusion of Foods-Volume I and II*. Boca Raton (FL):CRC Press, Inc.
25. Hsieh, F., S.J.Mulvaney, H.E.Huff, S.Lue and J. Brent. 1989. Effect of Dietary Fiber and Screw Speed on Some Extrusion Processing and Product Variables. *Lebensmittel-Wissenschaftund-Technologie.* 22:204-207.
26. Hsieh, F., I. Peng and H.E.Huff. 1990. Effect of Salt, Sugar and Screw Speed on Processing and Product Variables of Corn Meal Extruded with a Twin-Screw Extruder. *J. Food Sci.* 55(1):224-227.
27. Janssen, L.P.B.M.1978. *Twin Screw Extrusion*. New York:Elsevier Scientific Publishing Co.
28. Launay, B. and J.M.Lisch. 1983. Twin Screw Extrusion Cooking of Starches: Flow Behavior of Starch Pastes, Expansion and Mechanical Properties of Extrudates. *J. Food Eng.* 2:259-280.
29. Lin, J. 1991. The Effects of Die Geometry and Screw Speed on Extrusion of Corn Meal. M.S.Thesis. MO: University of Missouri-Columbia, Dept. of Agricultural Engineering.
30. Lin, J.K. and D.J.Armstrong. 1988. Residence Time Distributions of Cereals During Extrusion. ASAE Paper No. 88-6518. Chicago, MI:ASAE.
31. Lue, S.J. 1990. Extrusion Cooking of Corn Meal and Dietary Fiber. Ph.D.Dissertation. MO:University of Missouri-Columbia, Dept. of Agricultural Engineering.
32. Martelli, F.G. 1983. *Twin-Screw Extruders: A Basic Understanding*. New York: Van Nostrand Reinhold Co. Inc.
33. Mercier, V. and P.Feillet. 1975. Modification of Carbohydrate Components by Extrusion Cooking of Cereal Products. *Cereal Chem.* 52:283-297.
34. Mercier, C., P.Linko and J.M.Harper. 1989. *Extrusion Cooking*. St.Paul (MN):Americam Association of Cereal Chemists, Inc.
35. Miller, B. K. and M. J. Delwiche. 1991. Peach Defect Detection with Machine Vision. *Transactions of the ASAE* 34(6):2588-2597。
36. Owusu-Ansah, J., F.R.van de Voort and D.W.Stanley. 1984. Textural and Microstructural Changes in Corn Starch as a Fuction of Extrusion Variables.Can. Inst. Food Sci. Technol. J. 17:65-70.
37. Park, K.H. 1976. Elucidation of the Extrusion Puffing Process. Ph.D.Dissertation. IL: University of Illinois-Ur-

- bana, Dept. of Food Science.
38. Peng, J. 1991. RTD Modeling for Twin-Screw Extrusion of Rice Flour. Ph.D. Dissertation. MO: University of Missouri-Columbia, Dept. of Agricultural Engineering.
39. SAS/STAT User's Guide. Release 6.03 Edition. 1991. Cary(NC):SAS Institute Inc.
40. Wiedman, W. and E. Strobel. 1987. Extrusion Technology for the Food Industry-Processing and Economic Advantages of Extrusion Cooking in Comparison with Conventional Processes in the Food Industry. New York: Elsevier Applied Science Publishers Ltd.
41. Wigger, W. D., M. R. Paulsen, J. B. Litchfield and J. B. Sinclair. 1988. Classification of Fungal-Damaged Soybeans Using Color-Image Processing. ASAE paper No. 88-3053.

收稿日期：民國 84 年 2 月 10 日

接受日期：民國 84 年 3 月 9 日

(上接第 58 頁)

4. 何培基。1991。SAS/PC 入門與語言手冊。五版。P.3-510。台北：松崗電腦圖書公司。
5. 梁鵬。1980。專業栽培蔬菜 30 種。增訂三版。P.12-39。台北：豐年社。
6. 倪安順。1993。SAS 基礎與統計應用手冊。再版。P.13-1-16-19。台北：儒林圖書公司。
7. 陳俊明、尤瓊琦、雷震寰、游俊明、張金發。1993。多用途真空式育苗播種機之開發研究。農林學報 42 (1) :P.1-18。
8. 陳俊明、陳世銘、張金發、馮丁樹、尤瓊琦、游俊明、朱益增、呂昆忠、王大立。1993。振盪式多用途真空育苗播種機之研製。農業機械學刊 2 (4) :P.33-40。
9. 陳俊明、尤瓊琦、游俊明、張金發。1993。蔬菜園真空播種機之研究開發。經濟部工業局 82 年度專案計畫執行成果報告。
10. 陳澤民。1994。真空系統應用在蔬菜播種之基礎研究。國立中興大學碩士論文。
11. 陳俊榮、王端正、陳錦山、劉遠中。1987。利用氣壓增建法測試超高真空系統之研究。真空技術 2 (1) :20-25。
12. 陳俊榮。1985。超高真空系統釋氣及處理。科儀新知 6 (6) :P.73-84。
13. 黃涵、洪立。1988。台灣蔬菜彩色圖說。P.48-81。台北：豐年社。
14. 黃博治。1979。真空幫浦的技術。二版。P.1-72。台北：大豐機械公司。
15. 游俊明、張金發。1986。蔬菜育苗箱用真空播種機之研製。農業工程學報 32 (4) :P.180-186。
16. 劉遠中、陳俊榮。1985。國立清華大學超高真空系統介紹。科儀新知 6 (6) :P.85-88。
17. 謝澤仁。1989。超高真空系統的設計與建立。科儀新知 10 (5) :P.32-52。
18. 顏月珠。1980。商用統計學。初版。P.325-326。台北：三民圖書公司。
19. 蘇青森。1992。真空技術。四版。P.1-148。台北：東華書局。
20. Beer Ferdinand P. and E. Russell Johnston. 1987: Mechanic for Engineers-Static. 4ed. P.15-181. New York:McGRAW-HILL.
21. Giannini G.R., W.J. Chancellor, and R.E. Garrett. 1967 Precision Planter Using Vacuum for Seed Pickup. Transactions of the ASAE 10 (5) :607-611.
22. Short Ted H. and Samuel G. Huber. 1970. The Development of a Planetary-Vacuum Seed Metering Device. Transactions of the ASAE 13 (6) :803-805.
23. Sial Fallak S. and Sverker P.E. Presson. 1984. Vacuum Nozzle Design for Seed Metering. Transactions of the ASAE 27 (3) :688-696.

收稿日期：民國 84 年 2 月 15 日

修正日期：民國 84 年 4 月 26 日

接受日期：民國 84 年 5 月 5 日