

蔬菜種子靜態真空吸附特性之探討

A Study on Stationary Vacuum-Suction Properties of Vegetable Seeds

國立中興大學
農業機械工程學系助教
陳澤民
Jert-min Chen

國立中興大學
農業機械工程學系教授
陳俊明
Jiunn-ming Chen

國立中興大學
農業機械工程學系副教授
林聖泉
Tshen-chan Lin

摘 要

本研究建立一套室內真空播種測試實驗設備，以靜態吸附實驗，量測並分析相關因子對真空播種效能之影響。由對清江白菜、蘿蔔、芫荽、芥藍與小白菜等五種種子樣本之測試結果可知：種子質量、長短軸徑、周長以及靜置截面積，都是靜態有效作業真空值的顯著相關因子，其中質量最為顯著。圓度的相關性則較不顯著。大孔徑之吸孔可降低作業真空度需求，但在實際作業時卻易造成複粒的現象。因此作業真空度之選用是否得宜，將直接影響真空播種機之作業性能。

關鍵詞：蔬菜種子，真空播種，作業真空度。

ABSTRACT

In this study, an indoor experimental device for vacuum seeding test was established. Five kinds of seeds, i.e. Chinese mustard, Radish, Coriander, Chinese Kale, and Pak-Choi, were investigated. In stationary suction experiments, we used the device to measure and analyze the effects of physical and geometric factors of seeds on the effectiveness of vacuum seeding. The results showed that, the effective operation vacuum was influenced by the mass, axes lengths, perimeter and cross-sectional area of the seed; the mass was the most significant. The roundness was not a significant factor. The vacuum could be relaxed with a larger pick-up orifices, but several seeds might be picked up at the same time. It was concluded that the vacuum could directly affect the performance of the drilling operation.

Keywords: Vegetable seeds, Vacuum seeding, Operation vacuum.

一、前 言

本省蔬菜年栽培面積約 19 萬公頃，總產量高達 287⁽³⁾ 萬公噸，栽培方式主要以直播栽培與移

植栽培為主。而大部份的葉菜類蔬菜如清江白菜、芥藍、小白菜、萵菜、萵苣以及茼蒿等皆採直播栽培方式，由於此等蔬菜之種子輕微細小且形狀各異，使用一般播種機播種尚無法達到農民可接受之

效果，因此本省蔬菜直播栽培目前大部份仍以人工撒播方式進行。由於人工撒播之種子分佈不均，在栽培期間尚需人工間苗二次，不但作業辛苦同時十分耗時費工，加以農村勞力短缺工資高漲，生產成本自然偏高。因此為因應未來勞力日益嚴重短缺並降低生產成本提高農民收益，機械化與自動化的農業生產模式勢在必行。

目前傳統機械式蔬菜播種機僅適用於大顆粒種子之播種，對於輕小之蔬菜種子因其種子限量配出機構 (Metering Device) 無法有效配合，造成缺播與重株率偏高，無法為菜農所接受。本研究即利用真空吸力原理，改良種子限量配出機構田間的適用性，使其能更精確有效地配送出各式細小蔬菜種子，以達精密播種之要求。

直空技術早已廣泛地應用在科學研究^[1.11.12.16.17]與生產製造上。自1967年起即有許多應用真空原理進行精密點播之相關研究^[7.8.9.10.15.21.22.23]；由於蔬菜種子種類繁多，形狀與大小也各不相同，如何使種子限量配出機構與真空系統、種子特性相互配合，並建立有效的作業規範，將是發展、設計與改良蔬菜用真空播種系統的關鍵所在。本研究之目的即旨在建立真空式蔬菜播種機種子吸針的作業真空度、吸附口的孔徑以及種子形狀特性與整體作業效能之關係資料，提供為蔬菜真空播種機及其他相關機具作業規劃與設計的參考依據。

二、真空理論與靜態吸附力學模式之建立

(一) 真空理論：

根據現代科技大辭典之定義：真空系指理論上沒有物質存在的空間⁽²⁾；實際上，指壓力遠低於標準大氣壓，因而殘留氣體不影響正在其中進行的各種過程的空間。簡單言之，真空可定義為：一個空間，其內部氣體的壓力顯著小於周圍環境的大氣壓力⁽¹⁹⁾。真空度的量測單位為托爾 (Torr) 定義如下⁽¹⁴⁾：

$$1\text{Torr} = 1\text{mmHg(absolute)} \\ = 0.019337\text{psi}$$

一般工業界所使用的單位則為 Kgf/cm^2 換算法如下：

$$1\text{kgf/cm}^2 = 735.7\text{Torr}$$

真空度表示一個真空系統中剩餘氣體的數量，通常以剩餘氣體的壓力來作量度。依作業的需求，美國真空技術委員會 CVT(Committee on Vacuum Technipue) 將真空度分為如下五級⁽¹⁹⁾：

真空等級 (Vacuum)	壓力範圍 (Torr)
粗略真空 (Coarse)	760 - 100
中度真空 (Intermediate)	100 - 1
中高度真空 (Medium-High)	$1 \cdot 10^{-3}$
高度真空 (High)	$10^{-3} - 10^{-7}$
超高真空 (Ultra-High)	$< 10^{-7}$

一般在田間作業的應用上僅止於粗略與中度真空二級，系統的精密度不高，相當符合田間作業機具與經濟面的要求。真空系統 (Vacuum System) 一般又可分為兩種型式⁽¹⁹⁾，一為靜態系統亦稱為封閉系統 (Static or Close System)，係將系統抽至所需真空度後即予封閉不再與外界流通，常用於靜態環境的維持，如燈管、罐頭等皆屬此種系統之應用，其真空無法為作動所用；另一為動態系統 (Dynamic system)，此系統主要由真空泵、管路、閥門以及襯墊所組成，而由真空泵不斷地向外界排氣以維持所需的真空度，並經由管路的連通滿足外界作業的需求，目前所有的真空播種作業均採用此種系統。

由於真空中氣體的分子數目較少，故完全氣體定律 (Perfect Gas Law) 可以適用，氣體壓力計算如下：

$$P = nKT \dots\dots\dots (1)$$

P：氣體壓力

n：單位體積的分子數

K：波茲曼常數 (Boltzmann's constant = $1.38 \times 10^{-16} \text{ erg}^\circ\text{K}$)

T：絕對溫度

有關真空系統中的數學描述，一般皆由最簡易之氣體流量平衡公式開始⁽¹¹⁾：

$$Q = SP + V_0 \frac{dP}{dt} \dots\dots\dots (2)$$

Q：氣流通量 (Torr × V/t)

V：體積 (liter)

t：時間 (Second)

S：抽氣率 (V/t)

P：氣體壓力 (Torr)

V_0 : 系統體積 (V)

$\frac{dP}{dt}$: 氣壓改變率

當於穩定狀態或管路內時，上式更可化簡為 (11.19) :

$$Q = S_1 P_1 = S_2 P_2 = \dots = S_n P_n \dots (3)$$

S_1 : 管路截面 1 處之抽氣率

P_1 : 管路截面 1 處之氣體壓力

S_2 : 管路截面 2 處之抽氣率

P_2 : 管路截面 2 處之氣體壓力

S_n : 管路截面 n 處之抽氣率

P_n : 管路截面 n 處之氣體壓力

而在作系統計算時，由於管路洩漏和阻抗皆嚴重影響系統所能達到之真空度，故相關因子皆必須列入考慮。

(二) 靜態吸附力學模式：

由圖 1 種子吸針靜態吸力分析可知，吸起質量為 M 物體所需之力 F 如下⁽²⁰⁾：

$$F = \Delta P \times A \geq Mg \dots (4)$$

式中：

F : 吸附力

ΔP : 吸孔內外壓力差

A : 吸孔截面積

M : 待吸物質量

g : 重力加速度

Short⁽²²⁾ 等在假設流體為不可壓縮後，將(4)式推演如下：

依據柏努力方程式：

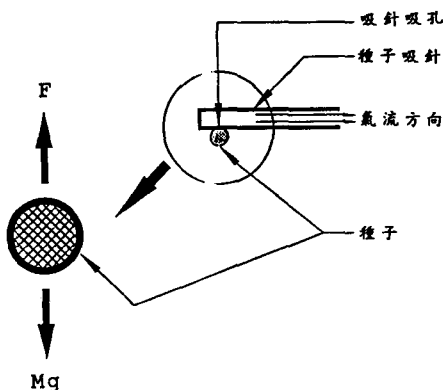


圖 1. 靜態種子吸針吸力分析

$$P_s = P_a + \frac{\gamma}{2g} V_s^2 \dots (5)$$

將(5)式代入(6)式中：

$$Mg = \pi \times \gamma^2 \times (P_s - P_a) \dots (6)$$

經化簡後，可得

$$V_s = \frac{g}{r} \sqrt{\frac{2M}{\pi \gamma_s}} \dots (7)$$

式中：

P_s : 絕對壓力

P_a : 吸孔內平均壓力

V_s : 吸氣流速

γ_s : 氣體比重

r : 吸孔半徑

三、試驗設備、材料與方法

(一) 試驗設備：

1. 真空播種測試實驗設備：

本測試實驗設備 (如圖 2 所示) 係由台座及一

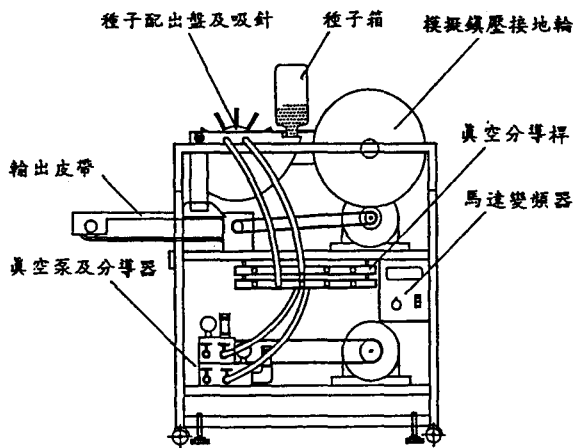


圖 2. 真空播種測試實驗設備

日製井關牌真空式蔬菜播種機組成，其種子限量配出機構採側吸吸針式，構造及作用原理如圖 3 所示；台座並配有一日製 ORION 牌 KSR5 型排氣量為 480liter/min, 1730r.p.m 之真空泵為真空源，另架有十組真空分導管路，以供模擬多行作業用，系統之管路配置如圖 4 所示，此外還裝置有變頻馬達與一組模擬播種速度之種子輸送帶，用以模擬播種機作業之可變動力源與田間作業狀況。

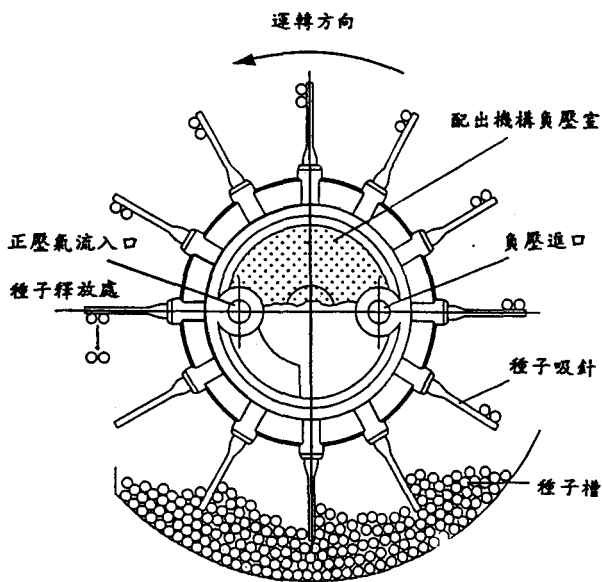


圖 3. 吸針式種子限量配出機構作用原理

範圍為 0 ~ -760Torr 最小判讀單位為 1Torr。

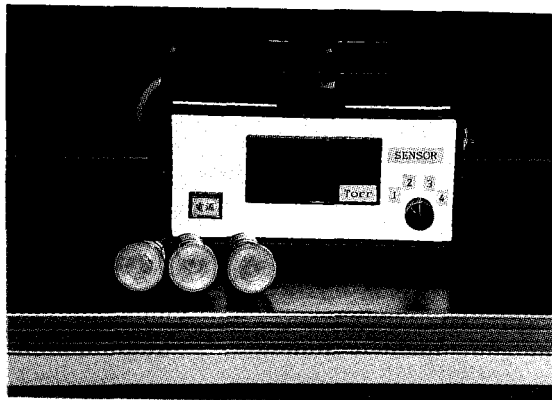


圖 5. 真空計及壓力感測器

4. 影像量測系統 (PC-Meter)

影像量測系統 (PC-Meter) 如圖 6 所示，由 CCD 攝影機、顯像器、光纖光源以及個人電腦處理主機所組成，用以量取並記錄種子的個數、長短軸徑、靜置投影面積、投影截面周長以及圓度等幾何特性，以做為種子形狀特性之量化參數。

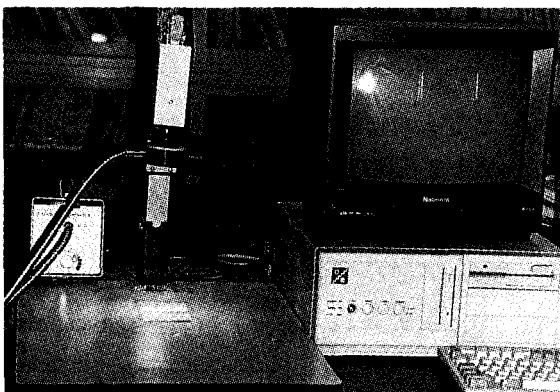


圖 6. 影像量測系統

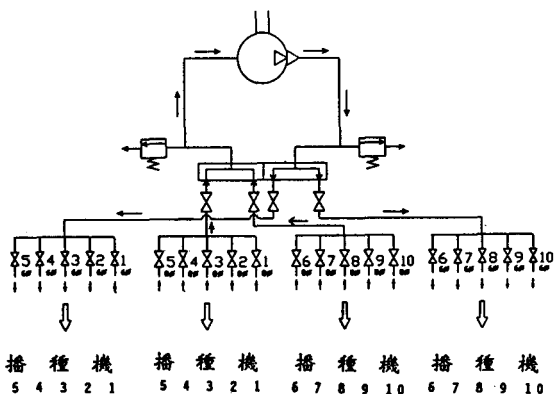


圖 4. 真空系統管路配置圖

2. 各式種子吸針：

使用之種子吸針為側吸式，有吸附口孔徑為 0.6mm 和 0.9mm 之單孔與雙孔吸針各一組，每組為十二支。

3. 半導體真空計及壓力控制器：

採用日本 Sayama frading 公司所生產之 Man-ace 10 型真空計，並搭配 ATSURYU 公司生產之畢約森電阻效應擴散型半導體壓力感測器 (Semiconductor Pressure Transducers) 四組以及一組壓力控制器，做為真空迴路中各入口出口處壓力之量測、記錄與調整控制 (如圖 5 所示)。其壓力量測

5. 精密電子天平：

採用日本 Operating 公司所生產之 PJ-300 型電子天平，以克 (g) 為單位有效讀取位數可達小數點以下第三位，用以量測種子的質量分佈，並據以建立種子密度、比容等物理特性參數。

(二) 試驗材料：

配合本省實際栽培現況與種子形狀特色，選用下列五種蔬菜種子做為試驗材料，其中清江白菜、小白菜與芥藍三種為同科且種子形狀相近之

作物，蘿蔔雖與前三者同屬十字花科，然其種子形狀並不相同，第五種之茺葵則屬不同科作物，種子形狀特性更不相同^(5,13)，藉此試材希望能作完整之對比分析。

1. 清江白菜：

英文名稱爲 Chinese Mustard，學名爲 *Brassica rapa* L.Chinensis Group。屬十字花科(Cruciferae)，種子呈暗褐色小圓球形，全省各地四季皆有栽種，主要產區集中於田尾、西螺、二崙以及新港。

2. 小白菜：

英文名稱爲 Pak-Choi，學名亦爲 *Brassica rapa* L.Chinensis Group。屬十字花科(Cruciferae)，種子呈紅或黑褐小圓球形，全省各地四季皆有栽種，主要產區集中於竹北、西螺和二崙。

3. 芥藍：

英文名稱爲 Chinese Kale，學名爲 *Brassica oleracea* L. Albo-glabra Group。屬十字花科(Cruciferae)，種子爲暗或淺灰綠色小圓球形，全年全省各地皆有栽種，二崙、新港、田尾、西螺以及梓官爲主要產區。

4. 蘿蔔：

英文名稱爲 Radish，學名爲 *Raphanus sativus* L.。屬十字花科(Cruciferae)，種子爲赤褐色扁平形，狀如細石粒。本省產區在竹北以南，產季爲秋、冬、春三季。

5. 茺葵：

英文名稱爲 Coriander，學名爲 *Coriandrum sativum* L.。爲繖形花科(Umbelliferae)一年生植物。其種子呈黃褐色小球狀，全年全省各地皆有零星之栽種，冬季爲主要產期。

(二) 試驗方法：

1. 種子幾何形狀與物理特性之量測：

以 PC-Meter 影像量測系統搭配精密電子天平，建立並量化各種種子的幾何形狀與物理特性因子，其中包括有質量、靜置投影截面積、周長、長軸徑、短軸徑以及圓度等項目。

實際之進行方法：自各試材中，隨機選取樣本 30 個配合儀器裝置，逐一量測、標示並記錄。

2. 靜態吸附試驗

配合真空計與壓力控制器之操作，建立各種種子在各種吸針孔徑下，以 95% 有效吸附之負壓值爲靜態有效真空區域，並將其值定義爲靜態有效作業真空度，再分析其與種子幾何與物理特性間之關係。

試驗方法爲：對各試材之樣本，逐一以不同之吸針口徑搭配逐漸提高之負壓設定，進行每種壓力設定 20 次 3 重覆，吸孔垂直向下之靜態吸附試驗，直到確定有效作業真空度值爲止。

3. 數據分析：

以 95% 的有效作業爲性能下限，訂定各種種子在各種吸附孔徑下的有效作業真空值，並以統計相關係數法則分析其與種子各幾何與物理因子間之相關性，最後則以最佳迴歸模式檢驗作業真空值與種子吸針孔徑、種子幾何和物理特性間的相關優先順序。

四、結果與討論

(一) 種子幾何形狀與物理特性之量測：

表 1 爲各試驗蔬菜種子樣本經精密天平與影像量測系統處理後，各量測諸元值的簡易統計，其中各類蔬菜的種子樣本數皆爲 30，同時爲避免 CCD 攝影機取像發生誤差，部份顏色較淡之樣本在質量量測完畢後，須先做著色處理，以利影像量測。影像量測系統在使用前亦須先做校正，其方法爲用一直尺並繪製一實心真圓做直線刻度與面積校正。由表 1 可知所選用之一般市售未經特別選別處理之種子試材，除圓度外其餘特性之差異頗大。種子各特性因子的離散程度由比較變異係數⁽¹⁸⁾可知質量的相對離散程度以蘿蔔最大，茺葵最小；而其他因子的相對離散程度大小如下：截面積最大者爲茺葵最小者爲小白菜；周長、長軸徑、短軸徑最大者皆屬清江白菜最小者則分別爲小白菜、茺葵、茺葵；圓度的相對離散程度則以蘿蔔最大茺葵最小。

(二) 靜態吸附試驗：

各種子樣本在各種吸針孔徑所測得之靜態有效作業真空值，經簡易統計整理後如表 2 所示。實驗過程之記錄以單孔吸針爲主要測量值，至於雙孔吸針當其有一孔吸附時，另一吸孔之負壓值往往有 1-5Torr 不等之增益且隨大氣環境改變而變動

表 1. 蔬菜種子樣本之幾何與物理特性量測統計值

蔬 菜 別	質 量 (g)	截面積 (mm ²)	周 長 (mm)	長軸徑 (mm)	短軸徑 (mm)	圓 度
清 江 白 菜						
平 均 值	0.003	1.83563	5.14896	1.69200	1.49631	0.83475
最 大 值	0.005	3.03370	6.71700	2.26060	1.98100	0.89690
最 小 值	0.001	0.65550	3.19290	1.05730	0.93050	0.77030
變 異 數	0.000002	0.504369	1.062791	0.106677	0.086630	0.000926
標 準 差	0.001414	0.710189	1.030917	0.326614	0.294330	0.030433
變 異 係 數	47.133333	38,68911	20.02184	19.30342	19.67038	3.645762
蘿 蔔						
平 均 值	0.0064	4.98252	8.70089	2.98029	2.28595	0.80500
最 大 值	0.012	8.8322	11.5288	3.8838	2.9637	0.8510
最 小 值	0.002	2.4286	6.6997	2.2414	1.6730	0.6799
變 異 數	0.000010	2.685125	1.870925	0.203707	0.152460	0.001367
標 準 差	0.003169	1.638635	1.367818	0.451340	0.390461	0.036973
變 異 係 數	49.51562	32.88767	15.72043	15.14416	17.08090	4.592919
芫 荽						
平 均 值	0.0206	15.25203	15.26727	4.92679	4.33753	0.81402
最 大 值	0.034	23.0512	18.7454	6.2211	5.2119	0.8900
最 小 值	0.011	9.3532	11.4919	3.6243	3.5137	0.7810
變 異 數	0.000036	9.796726	2.456742	0.270547	0.190033	0.000727
標 準 差	0.006028	3.129972	1.567400	0.520142	0.435928	0.024153
變 異 係 數	0.174757	64.23227	16.09156	5.491344	4.381133	0.089309
芥 藍						
平 均 值	0.0045	2.81522	6.50395	2.10674	1.85691	0.82383
最 大 值	0.008	4.2186	8.1556	2.6232	2.3305	0.9077
最 小 值	0.002	1.2437	4.3198	1.4070	1.3730	0.7581
變 異 數	0.000003	0.526279	0.795278	0.078848	0.056495	0.001064
標 準 差	0.001668	0.725451	0.891784	0.280799	0.237686	0.032624
變 異 係 數	37.06666	25.76889	13.71142	13.32860	12.80008	3.960040
小 白 菜						
平 均 值	0.002	1.38352	4.58779	1.51098	1.32782	0.81778
最 大 值	0.003	2.2102	5.6927	1.9269	1.5575	0.8839
最 小 值	0.001	0.8488	3.6382	1.1923	0.9868	0.7312
變 異 數	0.0000004	0.078324	0.194192	0.020716	0.019644	0.001232
標 準 差	0.0006324	0.279863	0.440672	0.143931	0.140158	0.035106
變 異 係 數	31.62000	20.22833	9.605321	9.525672	10.55549	4.292841

表 2. 蔬菜種子樣本靜態作業真空量測統計值

單位：Torr

蔬 菜 別	0.6mm單孔吸 針作業真空值	0.6mm 雙孔吸 針作業真空值	0.9mm單孔吸 針作業真空值	0.9mm 雙孔吸 針作業真空值
清 江 白 菜				
平 均	1.8	1.7	1.5	1.0
最 大 值	3.0	3.0	3.0	1.0
最 小 值	1.0	1.0	1.0	1.0
變 異 數	0.445556	0.676667	0.316667	0.000000
標 準 差	0.667499	0.822598	0.562731	0.000000
蘿 蔔				
平 均	2.0	2.9	1.4	1.1
最 大 值	3	5	3	2
最 小 值	1	2	1	1
變 異 數	0.432222	0.823333	0.298889	0.062222
標 準 差	0.657436	0.907377	0.546707	0.249444
芫 荽				
平 均	6.5	6.7	4.6	3.1
最 大 值	9.0	9.0	6.0	5.0
最 小 值	5.0	5.0	3.0	2.0
變 異 數	1.423977	1.723018	0.802843	1.094744
標 準 差	1.228202	1.312638	0.942032	1.046300
芥 藍				
平 均	2.7	2.1	1.3	1.4
最 大 值	4	4	2	2
最 小 值	1	1	1	1
變 異 數	0.328889	0.448889	0.222222	0.232222
標 準 差	0.573488	0.669992	0.471405	0.481894
小 白 菜				
平 均	1.3	1.3	1.0	1.0
最 大 值	2	2	1	1
最 小 值	1	1	1	1
變 異 數	0.222222	0.195556	0.0	0.0
標 準 差	0.471405	0.442217	0.0	0.0

由於已背離原始設定值，故應僅能視其為參考值處理之，而此現象由(3)式

$$Q = S_1 P_1 = S_2 P_2 = \dots = S_n P_n$$

穩態平衡公式作合理的解釋：當一孔吸附時，系統進氣截面以長度單位二次方率減小，由於吸氣流速僅能以長度單位一次方率增加且受大氣環境溫壓條件限制，有其極限，為維持固定排量Q值，系統之負壓值必然升高以保持平衡，由此亦可預測在同樣的壓力值設定下，單就缺播率而言，雙孔吸針吸附效果應較單孔者為佳。圖7為各蔬菜種子樣本在各種吸針徑下作業真空值的對比圖，由此圖可發現若使用0.9mm吸針可降低有效作業真空值，平均降幅單孔吸針約為30%，雙孔吸針則更高為43%。

為進一步分析作業真空值與種子各物理與幾何特性因子間的相關性，分別針對全體種子樣

本、各類種子樣本平均值與各分類樣本群本身作相關係數分析⁽⁶⁾，結果如表3所示。在顯著水準為0.005大樣本 $N \geq 30$ 的情況下，臨界檢定值 $R_c = 0.478$ ，據此可知就全體樣本而言，各式吸針之有效作業真空值與質量、截面積、周長、長軸徑與短軸間皆有顯著正相關性，圓度所表現出的相關性則偏低，此與一般經驗不甚吻合，究其原因乃是因為圓度直接影響吸針吸附圓孔之氣密程度，氣密愈佳者，系統真空度自然增益值也愈大，吸附能力隨之提增而有較佳的後續吸附效果，然而在限量配出機構初次起動進行吸附作業之際，因系統之自我增益效果尚未產生，故圓度並未發生特別之影響。在檢視各蔬菜類樣本群本身時，各類蔬菜對各式吸針所顯現之有效作業真空值與各檢定因子間的明顯相關性並不全然相同，且相關水準亦不若不分種類全體樣本一般地

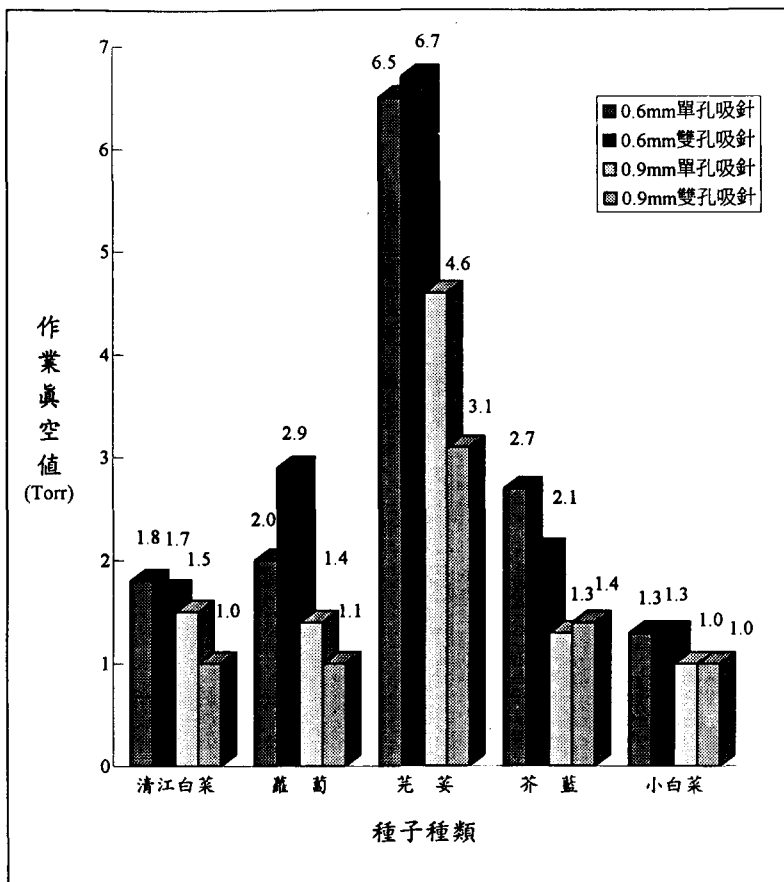


圖 7. 各式種子吸針之作業真空值

表 3. 靜態作業真空值相關係數分析

(N > 30 α > 0.005 臨界值(RC)=0.478)

吸針型式	質量	截面積	周長	長軸徑	短軸徑	圓度
全體種子樣本						
0.6mm單孔	0.91830	0.91994	0.90523	0.88479	0.92206	-0.03663
	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.6563
0.6mm雙孔	0.97159	0.96334	0.95856	0.95033	0.95581	-0.07802
	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.3426
0.9mm單孔	0.92920	0.92959	0.89960	0.88166	0.91582	-0.03017
	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.7140
0.9mm雙孔	0.91604	0.88689	0.83358	0.80596	0.85154	-0.04155
	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.6136
各種種子樣本平均						
0.6mm單孔	0.97799	0.96683	0.94661	0.92939	0.96659	-0.23247
	0.0039	0.0072	0.0147	0.0223	0.0073	0.7067
0.6mm雙孔	0.99826	0.99882	0.99439	0.98858	0.99895	-0.40968
	0.0001	0.0001	0.0005	0.0015	0.0001	0.4934
0.9mm單孔	0.98237	0.97601	0.94380	0.92871	0.96361	-0.22039
	0.0028	0.0044	0.0159	0.0226	0.0083	0.7217
0.9mm雙孔	0.97614	0.96622	0.93798	0.91940	0.96026	-0.25361
	0.0044	0.0074	0.0184	0.0271	0.0095	0.6806
清江白菜種子樣本						
0.6mm單孔	0.77685	0.81784	0.82018	0.79603	0.83165	0.15351
	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.4180
0.6mm雙孔	0.85960	0.88510	0.86132	0.86715	0.81928	0.10406
	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.5842
0.9mm單孔	0.71205	0.69847	0.69325	0.67237	0.69937	0.11785
	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.5351
0.9mm雙孔	—	—	—	—	—	—
蘿蔔種子樣本						
0.6mm單孔	0.52097	0.50940	0.51953	0.54434	0.48064	0.22202
	0.0032	0.0040	0.0033	0.0019	0.0072	0.2383
0.6mm雙孔	0.89595	0.84359	0.85691	0.86966	0.78351	0.12081
	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.5248
0.9mm單孔	0.75473	0.74328	0.72896	0.69996	0.73820	0.22780
	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.2260
0.9mm雙孔	0.46940	0.46478	0.44189	0.36960	0.38567	0.07014
	0.0089	0.0097	0.0145	0.0444	0.0353	0.7126
芫荽種子樣本						
0.6mm單孔	0.73983	0.64353	0.62632	0.50334	0.64077	0.00409
	0.0001	0.0001	0.0002	0.0046	0.0001	0.9829
0.6mm雙孔	0.94354	0.85927	0.83790	0.76599	0.80705	0.09040
	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.6347
0.9mm單孔	0.76209	0.72237	0.70287	0.64161	0.68337	0.13469
	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.4780
0.9mm雙孔	0.93357	0.85364	0.82423	0.69563	0.82417	0.08321
	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.6620
芥藍種子樣本						
0.6mm單孔	0.52259	0.37368	0.37100	0.38637	0.32389	-0.08799
	0.0030	0.0419	0.0436	0.0349	0.0808	0.6438
0.6mm雙孔	0.71571	0.64029	0.63596	0.67882	0.50608	-0.10432
	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0043	0.5833
0.9mm單孔	0.55099	0.44068	0.44652	0.47340	0.36799	-0.22469
	0.0016	0.0148	0.0134	0.0082	0.0454	0.2326
0.9mm雙孔	0.10365	0.15145	0.15415	0.17694	0.16369	0.01295
	0.5857	0.4244	0.4160	0.3496	0.3874	0.9459
小白菜種子樣本						
0.6mm單孔	0.33541	0.35388	0.31295	0.35692	0.30570	0.19101
	0.0700	0.0550	0.0922	0.0528	0.1004	0.3120
0.6mm雙孔	0.35755	0.38236	0.32329	0.30415	0.18897	0.20846
	0.0524	0.0370	0.0814	0.1022	0.3173	0.2690
0.9mm單孔	—	—	—	—	—	—
0.9mm雙孔	—	—	—	—	—	—

表 4. 最佳迴歸模式檢驗靜態作業真空值與種子形狀特性相關優先順序

吸針型式	優先相關因子1 (partial R ²)	優先相關因子2 (partial R ²)	優先相關因子3 (partial R ²)	優先相關因子4 (partial R ²)
全體種子樣本				
0.6mm單孔	短軸徑(0.8502)	質量(0.0148)	長軸徑(0.0130)	-----
0.6mm雙孔	質量(0.9440)	長軸徑(0.0117)	-----	-----
0.9mm單孔	截面積(0.8641)	長軸徑(0.0125)	質量(0.0055)	短軸徑(0.0040)
0.9mm雙孔	質量(0.8391)	長軸徑(0.0262)	截面積(0.0208)	-----
各種種子樣本平均				
0.6mm單孔	質量(0.9565)	截面積(0.0412)	-----	-----
0.6mm雙孔	短軸徑(0.9979)	-----	-----	-----
0.9mm單孔	質量(0.9651)	-----	-----	-----
0.9mm雙孔	質量(0.9529)	-----	-----	-----
清江白茶種子樣本				
0.6mm單孔	短軸徑(0.6916)	-----	-----	-----
0.6mm雙孔	截面積(0.7834)	-----	-----	-----
0.9mm單孔	質量(0.5070)	-----	-----	-----
0.9mm雙孔	無顯著相關因子	-----	-----	-----
蘿蔔種子樣本				
0.6mm單孔	長軸徑(0.2963)	-----	-----	-----
0.6mm雙孔	質量(0.8027)	長軸徑(0.4881)	-----	-----
0.9mm單孔	質量(0.5969)	-----	-----	-----
0.9mm雙孔	質量(0.2203)	-----	-----	-----
芫荽種子樣本				
0.6mm單孔	質量(0.5474)	-----	-----	-----
0.6mm雙孔	質量(0.8903)	-----	-----	-----
0.9mm單孔	質量(0.5808)	-----	-----	-----
0.9mm雙孔	質量(0.8715)	-----	-----	-----
芥藍種子樣本				
0.6mm單孔	質量(0.2713)	-----	-----	-----
0.6mm雙孔	質量(0.5122)	-----	-----	-----
0.9mm單孔	質量(0.3036)	-----	-----	-----
0.9mm雙孔	無顯著相關因子	-----	-----	-----
小白菜種子樣本				
0.6mm單孔	無顯著相關因子	-----	-----	-----
0.6mm雙孔	截面積(0.1462)	-----	-----	-----
0.9mm單孔	無顯著相關因子	-----	-----	-----
0.9mm雙孔	無顯著相關因子	-----	-----	-----

顯著；其中較為特殊者有小白菜樣本，不但檢定值偏低且部份值無法計測，這是因為其有效作業真空值幾為定值所顯示之意義則為該樣本測值已達本測試設備之極限，僅能以最小值表示之故。0.9mm 雙孔吸針下的清江白菜樣本亦有相同情勢。而平均值的檢定則因樣本值不足，無法判定僅作參考用。

為更明確表現出樣本和物理與幾何因子對有效作業真空限值的影響，應用最佳迴歸模式逐步迴歸法則 (stepwise) ^(4,6) 對全體種子樣本、各類種子樣本平均值與各分類樣本群本身再作統計分析，各因子與作業真空值相關的優先順序以及對最佳模式判定係數 R^2 (Coefficient of Determination) 增益值如表 4 所示。由該表亦可知，大體而言若不分樣本種類，則樣本之截面積、長軸徑、質量以及短軸徑等因子對有效作業真空值皆有顯之影響，但若以同類種子進行分析時，則此等因子所表現之相關性零星不一且顯著性偏低，其中質量是為一可提出的相關因子，但其顯著性亦不高。最後以吸針種類與種子類別對作業真空值作變異數分析 (ANOVA) ⁽¹⁸⁾，其結果如表 5 所列，由此可得知：有效作業真空值將因吸針與樣本種類的不同而有顯著差異。

表 5. 靜態作業真空值與吸針種類、種子類別變異數分析

因變數：靜態作業真空值 (SF)

變異來源	自由度	平方和 (SS)	均方 (MS)	F 值
種子類別	4	43.59700000	10.89925000	25.51**
吸針種類	3	7.22800000	2.40933333	5.64*
誤差	12	5.12700000	0.42725000	
總和	19	55.95200000		

R-Square	C.V.	Root MSE	SF Mean
0.908368	28.17429	0.653644	2.32000

**：1% 顯著水準

*：5% 顯著水準

五、結 論

依據前述各項試驗之結果與分析，獲得結論如下：

- (一) 種子之靜態有效作業真空值將隨吸針孔徑與種子種類之不同而有顯著差異。
- (二) 就同類種子樣本而言，質量是靜態有效作業真

空值顯著的相關因子，有效作業真空值隨質量增加而加大；然而在不分種子類別的情況下，質量、長短軸徑、周長以及種子靜置截面積，都是靜態作業真空值統計學上的顯著相關因子，有效作業真空值亦隨上述諸因子增大而加大。

- (三) 吸針的孔徑直接影響各種子的靜態有效作業真空值。使用 0.9mm 單孔吸針比使用 0.6mm 者可降低靜態有效作業真空值 30%，若使用雙孔者則可降低 43%。
- (四) 適當的吸針孔徑與真空值搭配，方能有效地增進有效播種率，若僅僅改變其中之任一因子，並無法保證能到，明顯之助益。

六、建 議

- (一) 為使播種測試實驗設備之測值有標準值可比較，應建立系統標準樣本與標準測值。
- (二) 為減少真空管路之損失，增加播種機的真空能力，負壓管路之接頭應改內插式為外接式，如此方能有效防止洩漏，增進系統效能。
- (三) 真空量測設備之量度範圍與精度應再予提高，以適應更微細之蔬菜種子量度的需要。
- (四) 配合本研究之結果，系統本身真空能力之理論推導應再予建立，以做為真空播種機改良與設計之完整理論依據。
- (五) 真空播種機構吸孔開口外觀形狀對有效作業真空值的影響，應再予研究，探討以吸孔外觀形狀降低真空值需求進而提高播種效能之可行性。
- (六) 本研究所得之結果，主要係以圓球型種子為出發，其它特殊形之種子的適用性，有待進一步驗證與分析。

七、參考文獻

1. 王端正、陳俊榮、許憲能、曾湖興、劉遠中。1987。鋁合金超高真空系統的釋氣及抽氣研究。真空科技 2(1)：P.26-32。
2. 牛頓出版社編輯部。1989。現代科技大辭典。P.1125。台北：牛頓出版社。
3. 行政院農業委員會。1993。中華民國農業統計要覽。八十二年版。P.20-25。台北：行政院農業委員會。