

噴氣式管理機械之田間試驗研究

Field Experiment of Pneumatic-injection Type Cultivator

國立中興大學農業機械工程學系講師

國立中興大學農業機械工程學系副教授

彭 錦 樵

黃 陽 仁

Jiin-chyau Pen

Yang-ren Hwang

摘 要

本省一般作物之中耕採用人力配合小型機械式中耕機械，容易因犁翻土壤而使作物根系切斷。本研究引進日本岩谷牌噴氣式深耕機進行田間作物試驗，以探討噴氣與否對不同作物之土壤貫穿阻力、土壤孔隙度以及作物產量間之關係，以尋求最適宜之作業條件及作為改進機械性能之參考。田間試驗選擇蔬菜（甘藍）、果樹（芒果）、農藝作物（高粱）作試驗，其試驗結果如下：

1. 土壤貫穿阻力在噴氣與否有很明顯地差異，噴氣處理後，土壤結構受到破壞，較為疏鬆，貫入深度較深。
2. 噴氣與否對土壤孔隙度之關係，於甘藍試區內，在25%顯著水準下有明顯地差異；於芒果試區內，在10%顯著水準下有明顯差異；於高粱試區則無明顯地差異。
3. 噴氣與否對作物產量之關係，於甘藍試區內，在5%顯著水準下有明顯地差異；於高粱試區則無明顯地差異。
4. 噴氣處理有助於高粱根系之發育。

Summary

In Taiwan, cultivation for crops is frequently taken by machine-type cultivators. The main shortage of this type of machines is that crop roots will be hurt when they turn over the soil. This is a study of pneumatic-injection type cultivators in Taiwan.

Field experiment is conducted with three crops (cabbage, mango and kaoling) to investigate the relationship of soil penetrating resistance, soil porosity and crop's production between crops which is treated with pneumatic cultivator or not.

Experimental results showed that:

1. There are apparent differences in the soil penetrating resistance diagrams between Pneumatic-cultivation soil and nonpneumatic-cultivation soil.
2. 25% significance is shown in improving the cabbage field's soil porosity, 10% significance is shown in mango field's, and there is no difference in kaoling field's between Pneumatic-cultivation soil and nonpneumatic-cultivation soil.
3. 5% significance is shown in cabbage production.
4. Pneumatic-injection type cultivator is helpful to the development of kaoling crop roots.

一、前 言

本省園藝作物和特用作物之管理作業，以人力配合小型機械為主。一般的施肥作業中，人力占其作業工時之70%，耗費大量勞工，且施肥僅及表層之土壤，容易造成雨水沖蝕之損失。中耕除草亦大部分停留在人力作業階段，機械式中耕機容易將作物之根羣切斷，影響作物之生長發育，且機械式中耕深度約僅及土壤表層 20 cm 以內，對於根羣發育較深之作物並無多大助益。日本岩谷牌噴氣式深耕機是採用高壓空氣 (10 kg/cm²) 於瞬間噴入土壤，使土壤鬆動，而達中耕效果的一種噴氣式深耕機。本研究引進日本岩谷牌噴氣式深耕機一部，選擇幾種作物做田間試驗，探討深層中耕對土壤物理性、作物產量、根系發育等之關係，以作為改良設計上之依據。

二、文 獻 探 討

作物生長靠光合作用，而光合作用有賴於根羣自土壤中吸收的水分與養分。根系之鞏固植株與吸收能力，視土壤性質而異，也影響作物之產量。因之，尋求最適宜根羣生長之土壤物理性、化學性及生物性，此乃作物管理作業上應改進之處。

(一)土壤物理性

影響根系發育之物理環境因素，一般指土壤質地、密實度、通氣性、水份含量及機械阻力等。通常，根之生長良好必須要有充份的水份及氧氣；而土壤結構緊密、通氣不良之處，根之生長便受限制。茲就土壤水份、空氣、構造及機械阻力等分別說明其與作物生長之關係：

1. 土壤水份：

土壤水份按 Briggs 氏分為三類：吸着水、毛細管水、重力水，其中植物能吸收利用者為毛細管水。按 Bouyoucos 氏亦分為三類：重力水、自由水、不自由水（包括毛細管水、結合水），其中自由水為在 -1.5°C 下結冰，可供植物利用之水份。

若土壤中之水份含量不足，則作物不但不能利用養分，且不能維持其正常之生理機能。若土壤中含有過量之水份或不足之空氣（氧氣），則作物亦不能有效地利用土壤中之養分。

土壤中之水份流動情形與土壤結構、水分張力、孔隙大小都有關係。例如：心土層中水分須通過裂隙及龜裂處，或老根遺留之小孔道，或蟲穴等後才能在該層中作有效的流動。若心土層之透水性差，

則灌溉後或下大雨後，過剩的土壤水分保留在土壤心土層以上之時間勢必延長，如果水分太多而使根之生長點浸在水中過久，則生長點易停止生長甚或腐爛，輕則作物生長停滯一段時期，重則作物死亡。又土壤經長時間耕作而壓實後，土壤容積密度增加，使全孔隙度減小，水分在土壤中運動之阻力即增大，因之，入滲率及土壤飽和導水率可因容積密度之增高而下降，使旱季時之灌溉效率減低，根系難以獲得足夠之有效水分；雨季時，土壤內部排水速率甚低，勢必造成嚴重通氣不良現象，當坡度稍大時，地面逕流水可冲刷表土，而形成水土流失問題。故土壤之排水性能必須良好，才能利於作物根系之發育。噴氣式深耕機乃能使心土層破壞，產生孔隙，增大透水性，減輕土壤壓實現象，並利於排水。

2. 土壤空氣：

Báver 氏分析土壤空氣對土壤物理性及作物發育之關係，指出若土壤通氣不良，會造成下列結果：

- (1) 限制廣大根系之發育。
- (2) 阻礙根系所需要的呼吸作用，遲滯水分及養分之吸收。
- (3) 影響微生物作用之程度。

農機在田間之操作可直接或間接地使土壤通氣性惡化，當土壤容積密度增加後，孔隙度減少，氧氣之擴散率會因而降低，影響土壤與大氣間空氣之交換，及減低土壤儲藏氧氣之量，此為影響通氣性之直接因素。又由於飽和導水率降低，使積留於根域內之雨水不易排除，因而通氣不良，是為間接因素。

土壤空氣之組成係受季節、土壤特性、作物、耕耘、中耕與微生物活動等之影響。顯然地，土壤空氣較大氣含有多量的二氧化碳 (CO₂) 與少量的氧 (O₂)。如果土壤空氣與大氣之交換愈困難，則 CO₂ 與 O₂ 的含量相差愈大；此係正在發育中的植物根系與多數微生物，在呼吸作用時，皆利用土壤空氣中的 O₂，而排出 CO₂ 之故。一般作物生長時所適宜的土壤 O₂ 含量大約在 10~15% 之間，CO₂ 含量則比大氣中高出 5~10 倍。Gill 與 Miller 兩氏發現當土壤中 O₂ 含量低於 10% 時，根生長即告遲緩。據 Bertrand 與 Kobnke 兩氏之報告，限制玉米根系生長之臨界充氣孔隙度約在 10% 左右。楊策羣與林正鏘兩氏於民國 64 年曾指出，臺灣之砂頁岩沖積土經豪雨後，深度在 20~25 公分處

土壤氧氣濃度可降低至10%左右，而30~40公分處之土壤氧氣濃度可降至6%以下，無論在旱季或雨季，土壤氧氣濃度皆與玉米生長有顯著之相關。

至於土壤空氣之交換，係由擴散與氣象因素而發生。例如：土壤中溫度的變化、氣壓之變化、風之作用、雨水之影響等。土壤中加水後會引起擴散率的大量降低，Buckingham氏訂定空氣的擴散率與孔隙度間之關係： $D=KS^2$

式中 D ：擴散常數

K ：擴散係數(2.16×10^{-4})

S ：自由孔隙

孔隙增加一倍時，擴散速率可增加四倍。Penman氏謂，通過多孔物質(如土壤)之氣體擴散率低於通過自由孔隙中者，其原因之一為氣體分子係在較狹小的橫斷面積上(孔隙之斷面積)運動，另一原因為氣體分子所通過的通路為彎曲且狹長的通路。因之，理論上通過土壤而達於平衡狀態之擴散率可以下式表之：

$$\frac{dq}{dt} = \frac{D}{b} A \frac{P_1 - P_2}{l}$$

式中 $\frac{dq}{dt}$ ：擴散率

D ：擴散常數

b ：比例常數

A ：土壤之橫斷面積

P_1, P_2 ：土壤 l 長度兩邊之氣體分壓。

l ：土壤之長度。

若考慮擴散之有效橫面積與分子通行之有效通路長度，則可成立如下公式：

$$\frac{dq}{dt} = \frac{D_0}{b} = AS \frac{P_1 - P_2}{l_0}$$

式中 D_0 ：空氣中之擴散係數

S ：孔隙或有效之橫斷面積

l_0 ：通過土壤之有效通路長度

綜合以上兩式可得

$$D = D_0 S \frac{l}{l_0}$$

由以上之理論，可知影響空氣之擴散作用，最顯著之因素為土壤之孔隙(結構)、土層之深度等。因之，如果土壤表層孔隙大而底層堅硬，則底層之空氣不易與大氣之空氣交換；如果土壤密實而雖然底層孔隙大，仍然會引起通氣不良之狀態。故要空氣之交換良好，必需要有良好的土壤結構。Renk氏發現孔隙大小對土壤空氣擴散率最為重要，他比

較不同質地土壤之擴散率中，發現當粗砂之孔隙為37.9%，細砂為5.55%時，粗砂之空氣擴散率為細砂之1000倍，可知粗砂之粗大孔隙對空氣運動發生很大的效果。Wollny氏亦表示粒團構造之壤土，其空氣擴散速率為粉狀構造(粒徑小於0.25 mm)壤土之50~100倍。砂粒與腐植土含有多量粗大孔隙，故有巨大的非毛細管孔隙。而多數砂質土壤有過度的通氣性，因之，常失去適當的水分保持能力。反之，粘土常有較低的空氣保持力，故在粘土中欲使作物發育良好，則充分的通氣為一重要課題。

3. 土壤構造

依美國農部的土粒分級標準，土粒直徑在0.002 mm以下稱為粘粒(clay)，0.002~0.05 mm稱為粉粒(silt)，0.05~2.0 mm，稱為砂粒(sand)；Martin與Waksman兩氏發現微生物之成長，可誘使土壤粒子相互連結，隨而增加土壤粒團，有機物之型式亦對微生物之粒團生成有密切關係。

土壤粒子之排列，可決定土壤孔隙之數量與性狀，在無水之土壤中，孔隙全部為空氣所充填，但濕土之孔隙則為空氣與水兩者所充填，而空氣與水之含量比率，則多受孔隙大小影響。孔隙度(porosity)之定義為在一定體積的土壤中，孔隙所佔全部體積的百分率，亦即在100 ml的土壤中，孔隙所佔的ml數即為土壤的孔隙度。其計算公式如下：

$$\rho_b = \frac{M_s}{V_t}, \quad \rho_s = \frac{M_s}{V_s}$$

孔隙度(%) = 100% - 固體物質體積(%)

$$= 100 - \frac{\rho_b}{\rho_s} \times 100$$

$$= 100(1 - \frac{\rho_b}{\rho_s})$$

式中 ρ_b ：總體密度(Bulk density)或稱容重(Volume weight)

ρ_s ：土粒密度(Particle density)或稱真比重(Actual specific gravity)

M_s ：乾土重

V_s ：乾土體積

V_t ：全體積，(乾土及孔隙等之體積)

粘土一般而言，含有多量的小孔隙，以提高水分保持能力與延緩滲透。砂粒則含有少量的大孔隙，而可迅速排水及具有較低的水份保持能力。Dorarenko氏指出土壤空氣中氧含量與硝酸生成量均與粗大孔隙含量有密切關係，亦即非毛細管孔

隙與土壤滲透性及作物根部發育有顯著的關係。理想的土壤必需含有粗略相等的大孔隙與小孔隙，然後始有充份的通氣性、滲透性以及保水性，而作物也才能使其根部獲得充分的發育，自可增加作物之產量。

4. 機械阻力

影響根系延伸的另一項因素為機械阻力。早在1948年，Veihe Meyer 與 Hendrickson 二氏即強調機械阻力為限制根生長之主要因素，彼等認為粘土之容積密度在 1.60 g/cm^3 以上時，根系延伸即受限制。臺糖研究所薛鎮江氏分別以砂壤土及重粘土研究蔗田土壤密度對甘蔗生長之影響，發現限制甘蔗根系伸長之臨界密度約在 $1.5 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$ 之間。Barley 等氏亦有相同的結果發表。Monteith 與 Banath 二氏以壤土及粘壤土壓成不同容積密度之土柱而後測定甘蔗根系貫穿情形，發現當密度自 1.35 升高至 1.73 g/cm^3 以上時，貫穿阻力即自 0.70 增至 4.5 g/cm^2 以上，根量則依密度及貫穿阻力之增加而減少，當密度為 1.73 g/cm^3 時，根之伸長即完全受阻，根之伸長量與貫穿阻力間達 1% 極顯著水準。又根據臺糖研究所楊尚仁等氏在岸內試區所做田間實測結果顯示，容積密度及貫穿阻力均隨機械輾壓次數之增加而增高，當輾壓次數達六次後，表土之容積密度已高於 1.70 g/cm^3 ，貫穿阻力亦在 4.5 g/cm^2 以上。當根系分佈之深度及密度減少後，土壤中水分及養分之有效性亦告減低；又因土壤容積密度增高後，水分及養分進入根部及在植物組織中運動之阻力隨之增加，故水分及養分吸收之能力亦告降低，最後使地上部發育減緩，產量降低。以楊尚仁等氏在岸內試區所得結果而言，若 $0 \sim 40 \text{ cm}$ 深度土層平均容積密度自 1.55 g/cm^3 增至 1.70 g/cm^3 時，蔗產量自 70 ton/hac 降至 27 ton/hac ，每增高容積密度 0.1 g/cm^3 ，宿根產量即減低 26.5 ton/hac ，其減產幅度之大，恐非其他任何土壤因素可與比擬。

(二) 土壤化學性

一般指土壤酸度 (pH 值) 及土壤養分—氮磷鉀及其他元素含量及其有效性而言。

根據 Rhanna 氏在印度研究發現，適合蔗根生長之土壤 pH 值在 6.1 至 7.7 之間，一般作物也大約在此酸度範圍 (中性 $\text{pH} = 7$) 左右；而土壤養分含量多者，作物根羣往往生長比較旺盛。土壤酸度及養分含量對根系之生育，常因土壤物理性

、化學性或有機肥料及土壤中和劑之施用而有不同之效應。土壤酸度影響土壤中各種元素之可溶性，且化學肥料、有機肥料或土壤中和劑之施用，亦可改變土壤酸度。因此，探討以噴氣式深耕機兼具地下施肥功用，以確保或求得適合於作物生長的酸度、肥份等，當屬可行之方法。

(三) 土壤生物性

土壤中存在有病毒、真菌及線蟲等地下生物，常對作物根羣造成嚴重之傷害，輕則作物生長受阻，重則作物枯死，而形成產量之減少。土壤中之生物羣，雖然對有機質肥料及植物殘體的分解暨土壤中養分之有效化有所助益，但若土壤中有害生物羣密度過高，更影響作物之正常生長。土壤長期浸水，雖然可使大部份地下害蟲窒息而死，但常造成根羣之腐爛，此乃根系受某種生物如真菌、細菌或病毒之入侵所致。因此，適當地調和土壤生物密度，減少土壤中生物羣之為害，益顯重要。噴氣式深耕機可經若干改良後兼具地下噴藥病蟲害防治之效果，以調和土壤生物密度，使其最適於作物之生長。

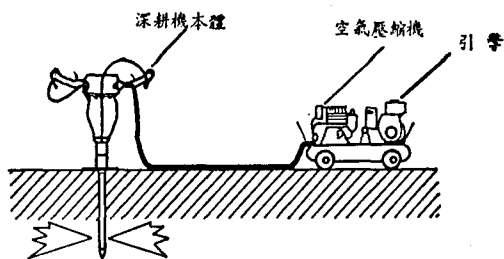
(四) 耕耘與土壤物理性

耕耘係為處理土壤之各種機械操作，藉之可鬆寬土壤，使成為適宜的狀態，而有利於作物之發育。犁耕主要是先翻轉土壤表層而將其置於下部，然後將亞表土層 (已經過植物根作用形成團粒構造者) 移至表面，亦即改變土壤結構。心土犁可將堅實之心土疏鬆，加深根部之發育範圍，而提高作物之產量。

作物種植後必需實行中耕，中耕之目的主要為改良土壤物理性；給予作物以通氣良好及適宜的根床；保持水分以應付乾旱；促進土壤質地產生不同程度之疏鬆，亦即增加土壤粗大之孔隙度。中耕之深度依土層密實情形及作物根系特性而定，深根性作物需作深層中耕，淺根性作物若作深層中耕亦可促進排水，避免雨水浸蝕之危害。一般中耕方法為機械式鬆土或翻土的犁耕法，至於噴入高壓空氣以鬆動土層，亦為一種可行之深層中耕法。茲說明如后。

(a) 噴氣式深耕機

此機之原理乃是利用高壓空氣瞬間注入土壤深層，以鬆動土壤之一種深層中耕機。(如圖一所示)。引擎之動力驅動空氣壓縮機，產生高壓之空氣，再經過軟管輸送至深耕機本體，將深耕機本體打入土壤深層 (最深約 45 cm)，然後控制高壓空氣充



圖一、噴氣式深耕機示意圖

放闊，使高壓空氣（約 10 kg/cm^2 ）於瞬間噴入土壤中。此機械若操作良好，具有下列優點：

- 1.令土壤結構產生變化，增加土壤孔隙。
- 2.提高大氣與土壤內空氣之交換程度，增加作物所需之氧氣量。
- 3.土壤鬆動後，促進土壤微生物之生長繁殖，增加土壤有機質之含量。
- 4.土壤鬆動後，有利於作物根系的發育，提高根系吸收養分、水分之能力，促進作物之生長，增加產量。

5.底層堅硬之土壤經鬆動後，可提高排水效果，避免因雨水過多而使根部生長點浸水腐爛之現象。

此機於 1976 年由日本岩谷產業株式會社出廠，取名為「壓榨空氣式心土破碎機」或「バンダー深耕機」。嗣後，在島根縣農業試驗場及愛媛大學等進行試驗工作，至 1979 年發表正式之研究成果。日本進行此項試驗，偏重於作物生長性狀、產量等之調查，而對於土壤物理性之改變則較少試驗。至於處理後是否會造成作物之傷害，以及在不同作物下，應如何選擇處理點的位置才對作物最有利，及處理點周圍土壤物理性的變化等均缺乏具體之試驗資料。有鑑於此，與大農機系在農機基金會的經費補助下，購置一部噴氣式深耕機進行試驗。本文探討在本省之土壤條件及作物生長環境下，使用噴氣式深耕機對土壤物理性、作物產量、根系發育等之關係，以作為將來改良設計之參考。

三、材料與方法

(一)試驗材料與設備

土壤、土壤取樣器、取樣皿、刀片、天平、烘箱、100 ml 量筒、特製 1000 ml 量筒、土壤貫穿阻力測定器、噴氣式深耕機整套設備、甘藍、芒果、高粱等作物。

(二)測定項目

1.土壤孔隙度之測定

以土壤取樣器在欲測定之土壤取樣之，立即以天平稱重，然後放入烘箱內，以 110°C 烘乾 24 小時，再稱重（以求取乾土重）。其次測量乾土體積，以特製之 1000 ml 量筒放入約 500 ml 之水，將乾土磨碎倒入量筒內，待其溶解後，水位上升之量即為乾土體積。再依公式孔隙度 (%) = $100(1 - \frac{\rho_b}{\rho_s})$ 即可計算出土壤之孔隙度。

2.土壤貫穿阻力之測定

以圓錐形土壤貫穿阻力測定器 (Cone Soil Penetrator) 在欲測定之土壤上徐徐下壓，則貫土阻力 (Penetrating Resistance) 與貫土深度 (Penetrating Depth) 之關係可同時以線圖表示在 Penetrator 上。當土壤結構鬆軟時貫土阻力較小，當土壤結構堅硬時貫土阻力大。

3.產量之測定

依各作物之特性而訂定之。例如甘藍以每種處理下之平均每株重量為依據，高粱以每試區內之平均穗重為依據。

4.根系之測定

將各試區內之作物，抽樣挖出完整之根系，洗淨後量出主根長度、根數、以及觀察比較深耕與否其根系發育之情形。

(三)試驗方法

1.蔬菜 (甘藍) 之試驗

試驗地點：臺中霧峯農業試驗所園藝系農場。

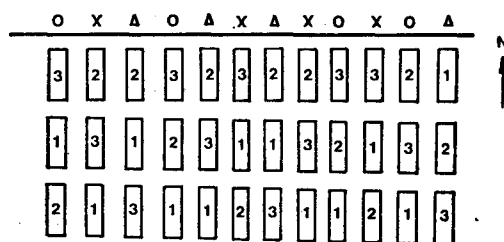
試驗方法：

(1)甘藍品種分為三種：春陽、早秋、夏秋。

處理方式亦分為三種：不中耕、人工(鋤頭)中耕、噴氣式中耕。

採用完全逢機區集設計，四次重複。

(2)甘藍於民國70年11月16日播種，12月22日定



符號說明：

- | | |
|--------|------|
| Δ：人工中耕 | 1：春陽 |
| O：不中耕 | 2：早秋 |
| X：噴氣中耕 | 3：夏秋 |

圖二、甘藍試區之設計圖

植於試區內，每畦種 2 行，每行 20 株，試區內共計 36 畦。試區之設計如圖二所示。

(3) 每次土壤取樣都以中耕完畢後行之，中耕三次（71 年 1 月 20 日、2 月 10 日、3 月 10 日）。取樣時每畦取三個（在兩端及中間各取一樣本），每次中耕後共取 108 個土壤樣本。噴氣中耕作業如圖三所示。



圖三、甘藍試區內噴氣中耕作業情形

(4) 取回土樣經過稱重、烘乾及測定乾土體積，可分別求得各土樣之孔隙度，進而求取各種處理方式下之孔隙度。

(5) 土壤貫穿阻力線圖之測定如圖四所示。以同一品種選擇不中耕與噴氣中耕作比較。



圖四、土壤貫穿阻力測定情形

(6) 收穫時（71 年 4 月 12 日），每畦逢機取樣 20 株，各登記其重量，並求取各種處理方式及品種下，每株之平均產量。

(7) 抽樣調查主根之長度並記錄之。

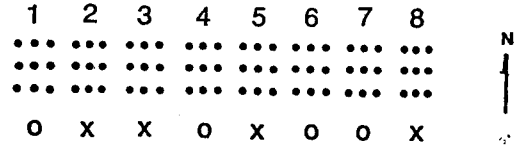
(8) 統計分析各種處理方式、品種、土壤物理性及產量之關係。

2. 果樹（芒果）之試驗

試驗地點：雲林縣莿桐鄉翁有澄先生果園

試驗方法：

(1) 芒果為二年生，品種為愛文種，處理方式分為兩種（不中耕及噴氣式中耕），採完全逢機區集設計，四次重複。試區之設計如圖五所示。

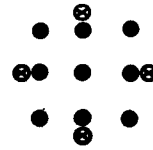


○：不中耕區

X：噴氣中耕區

圖五、芒果試區之設計圖

(2) 本試區計分 8 個集區，每集區有 9 棵芒果樹。如為噴氣處理區者，在每棵樹四周（90° 間隔方向）各作噴氣中耕，處理完畢後在 ⊗ 位置作土壤孔隙度及貫穿阻力之測定，如圖六所示。



圖六、土壤取樣點之分佈圖

(3) 對照區（不中耕），亦在相對應位置作土壤孔隙度及貫穿阻力之測定。

(4) 收穫時登記各區之產量。

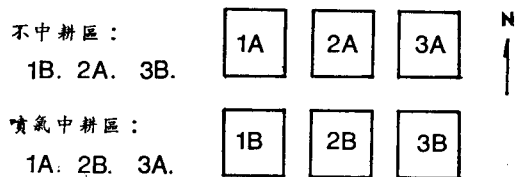
(5) 分析比較處理與否之間的差異。

3. 農藝作物（高粱）之試驗

試驗地點：中興大學農機系農場。

試驗方法：

(1) 高粱品種選擇雜交高粱臺中五號，處理方式分為不中耕與噴氣中耕兩種。採逢機區集設計、三次重複。試區之設計如圖七所示。



圖七、高粱試區之設計圖

- (2)每畦大小為3m×4m，間隔1m，高粱採條播方式，每行間隔50cm。於70年12月3日播種，時值冬季，發育緩慢，復於71年2月10日移植補株。每區之管理方式相同。
- (3)於71年3月20日作噴氣中耕處理，中耕後每區各逢機抽取四個土壤樣本測定其土壤孔隙度及貫穿阻力。
- (4)於71年4月26日採收高粱，採收時在各試區隨機採收180穗，量其穗長，並置於烘箱內以55°C溫度烘乾兩天後再稱其穗重。分別記錄之。
- (5)在各區集分別取10株高粱，測其根系發育情形，量主根長度、根數、植株長、穗長等，並記錄之。
- (6)分析孔隙度、貫穿阻力、產量、以及根系之發育等之關係，並比較其差異。

四、結果與討論

(一)蔬菜(甘藍)之試驗

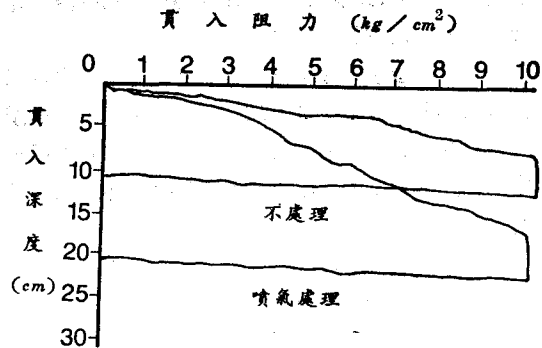
1.土壤貫穿阻力之測定：

對於三種品種(春陽、早秋、夏秋)，均作相同之管理。各區作噴氣中耕處理後與未處理前各抽樣測定土壤貫穿阻力線圖，如圖八、圖九、圖十所示。經測定後發現噴氣後各畦所能貫入之深度約在20cm左右，而未噴氣前只能貫入約10cm深度。實地調查發現此地土壤屬粘壤土，20cm以下深度為硬盤，甚為堅硬，雖經噴氣處理較為疏鬆，可是以貫穿阻力測定器仍不容易貫入太深。

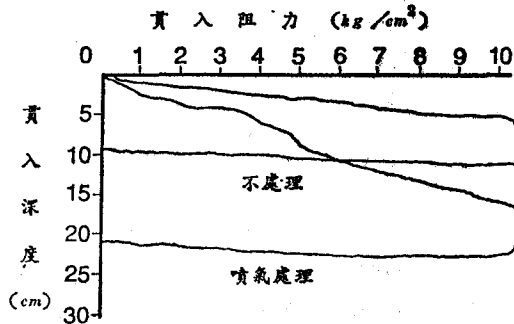
表一、甘藍試區土壤孔隙度(%)之測定結果

品 種	處 理 方 式		
	不 中 耕	人 工 中 耕	噴 氣 中 耕
春 陽	59.88	58.67	59.85
早 秋	59.40	59.48	60.98
夏 秋	59.58	59.73	60.19

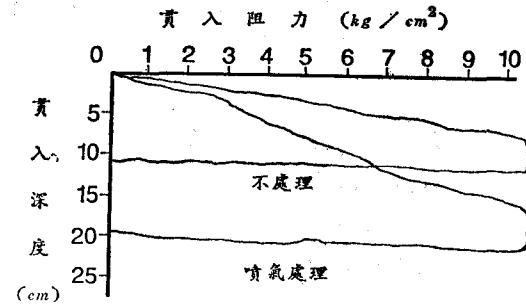
將以上資料代入變異數分析表(表二)，可得到表三之結果。



圖八、春陽品種、噴氣與否之土壤貫穿阻力線圖



圖九、早秋品種、噴氣與否之土壤貫穿阻力線圖



圖十、夏秋品種、噴氣與否之土壤貫穿阻力線圖

2.土壤孔隙度之測定

經過三次的抽樣試驗，測得土壤孔隙度如表一所示。

表二：變異數分析表

原因	平方和	自由度	不偏變異數	F	F _{0.05}	F _{0.10}
因子	Q _A	f' ₁ =k-1	V _A =Q _A /(k-1)	F ₁ =V _A /V _R	由 f' ₁ f ₂ 查表	由 f' ₁ f ₂ 查表
集區	Q _B	f'' ₁ =ℓ-1	V _A =Q _B /(ℓ-1)	F ₂ =V _B /V _R	由 f' ₁ '' f ₂ 查表	由 f' ₁ '' f ₂ 查表
誤差	Q _R	f ₂ =(k-1)(ℓ-1)	V _R =Q _R /(k-1)(ℓ-1)			
總和	Q _T	N-1				

表中，Q_T (總平方和) = Q_A (因子之平方和) + Q_B

(集區之平方和) + Q_R (誤差之平方和)

K：因子個數

ℓ：集區個數

N=K×ℓ

$$Q_T = \sum_i \sum_j X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N}$$

$$Q_A = \frac{1}{k} \sum_i T_i^2 - \frac{T^2}{N}$$

$$Q_B = \frac{1}{K} \sum_j T_j^2 - \frac{T^2}{N}$$

$$Q_R = Q_T - Q_A - Q_B$$

表三：甘藍試區土壤孔隙度之變異數分析表

原因	平方和	自由度	不偏變異數	F	F _{0.05}	F _{0.10}	F _{0.25}
品種	0.38	2	0.19	0.76	6.94	4.92	2.00
處理方式	1.72	2	0.86	3.44	6.94	4.92	2.00
誤差	1.02	4	0.25				
總和	3.12	8					

假設 H₁：品種與孔隙度間無差異

H₂：處理方式與孔隙度間無差異

結果 F₁=0.76 < F_{0.10} < F_{0.25}，承認 H₁，故知品種之間對土壤孔隙度無明顯地差異。

F_{0.25} < F₂ (=3.44) < F_{0.10}，故知處理方式對土壤孔隙度在10%顯著水準下無明顯地差異，在25%顯著水準下有明顯地差異。

由土壤貫穿阻力線圖可知噴氣處理區比不處理區之土壤貫穿阻力要小，亦即土壤較為疏鬆。然而根據實際之抽樣測定土壤孔隙度，却發現在10%顯著水準下，處理與否對土壤孔隙度無明顯地差異，在25%顯著水準下，噴氣處理對土壤孔隙度才有明顯地差異。究其原因，乃因為甘藍於種植前均先經過整地、作畦，土壤已經過鬆動，且甘藍之生長期不長（約四個半月），故每畦之孔隙度差異不大，雖然噴氣處理者比不處理者稍大，可是要在25%的顯著水準下才能顯現出明顯地差異。

3.產量之測定

甘藍試區內產量之測定結果如表四所示，其變異數分析表如表五所示。

表四：甘藍試區內產量之測定結果(單位：公克)

品 種	處 理 方 式	處 理 方 式		
		不 中 耕	人 工 中 耕	噴 氣 中 耕
春	陽	1998	1928	1954
早	秋	1391	1266	1226
夏	秋	2257	2152	2102

表五：甘藍試區內產量之變異數分析表

原因	平方和	自由度	不偏變異數	F	F _{0.05}
品 種	1254729	2	627365	538.5	6.94
處理方式	25177	2	12589	10.8	6.94
誤 差	4660	4	1165		
總 和	1284566	8			

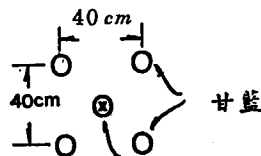
假設 H_1 : 品種與產量間無差異。

H_2 : 處理方式與產量間無差異。

結果 $F_1 = 538.5 > F_{0.05}$, 放棄 H_1 , 故知產量在品種間有 5% 水準的顯著差異。

$F_2 = 10.8 > F_{0.05}$, 放棄 H_2 , 故知在 5% 顯著水準下, 處理方式對產量亦有顯著差異。

仔細分析, 發現噴氣式中耕區之產量最低, 而不中耕區之產量最高。究其原因為甘藍種植時, 行株距為 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$, 而噴氣中耕操作點選擇在四株甘藍中間, 如圖十一所示, 因此噴氣點距離甘



噴氣處理點

圖十一: 甘藍噴氣處理點位置圖

藍種植位置約 25~30 cm 左右, 由於太靠近作物根部, 而造成作物根系之傷害, 根羣被切斷, 使得根部吸收水分養分之能力減低, 導致產量之降低。三種處理方式中, 由於整地後才種植甘藍, 各區之孔隙度差異不太大, 在 25% 顯著水準下才有明顯差異。但是不中耕區因沒有中耕, 不致傷及作物根系, 所以產量最高 (平均每株 1882 公克), 人工中耕區稍微傷及根系, 產量次之 (平均每株 1782 公克), 而噴氣式中耕區由於處理的距離太近, 傷及根系, 因之, 產量最低 (平均每株 1761 公克)。由以上之結果可知, 對於短期性作物, 尤其是整地後再種植的短期性作物, 不適宜作噴氣式中耕處理。如欲作噴氣處理, 其作業距離至少應距植株 40cm 以上, 以免造成植株根系之傷害而降低產量。至於應採用之最適作業距離為若干, 才能造成有利於植株根系生長之條件, 需作許多基本試驗才能獲知具體之資料。

4. 根部調查

抽樣調查不同品種及處理方式下, 甘藍之主根長度, (如表六所示), 發現它們並無顯著差異。

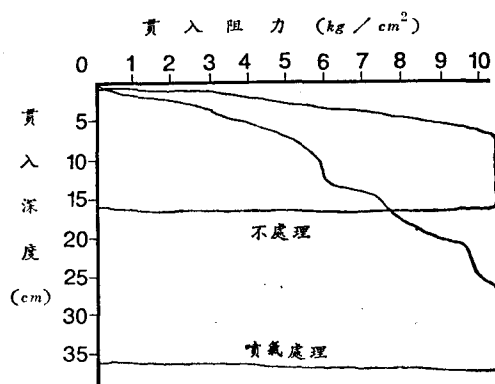
表六: 甘藍主根長度之抽樣調查表 (單位 cm.)

品 種	處 理 方 式		
	不 中 耕	人工中耕	噴氣中耕
春 陽	18	19	22
早 秋	21	15	19
夏 秋	22	20	18

芒果 (芒果) 之試驗

1. 土壤貫穿阻力之測定

芒果為二年生, 土壤貫穿阻力之測定結果如圖十二所示, 測定點距離噴氣處理點約 50 cm。



圖十二: 芒果試區內土壤貫穿阻力線圖

由圖十二可顯示, 未處理時以土壤貫穿阻力測定器只能貫入約 15 cm 深度, 經噴氣處理後, 距離噴氣點 50 cm 處可以貫入約 35 cm 之深度。

2. 土壤孔隙度之測定

土壤孔隙度之測定結果如表七所示, 其變異數分析表如表八所示。

表七: 芒果試區內土壤孔隙度 (%) 之測定結果

處 理 方 式	集 區			
	1	2	3	4
不 中 耕	46.67	47.92	47.42	45.75
噴 氣 中 耕	48.92	47.83	49.34	49.42

表八: 芒果試區內土壤孔隙度之變異數分析表

原 因	平方和	自由度	不偏變異數	F	$F_{0.05}$	$F_{0.10}$
處理與否	7.5	1	7.5	6.30	10.13	5.54
集 區	0.7	3	0.23	0.19	9.28	5.39
誤 差	3.59	3	1.19			
總 和	11.79	7				

假設 H_1 : 處理與否對孔隙度無差異

H_2 : 集區對孔隙度無差異

結果 $F_1 > F_{0.10}$, 放棄假設, 表示在 10% 的顯著水準下, 噴氣處理與否對土壤孔隙度有明

顯地差異。

$F_2 < F_{0.10}$ ，承認假設，表示在各集區內之土壤孔隙度彼此無明顯地差異。

芒果園為二年生，未經中耕，地屬壤土，經過噴氣處理發現在10%之顯著水準下，處理與否對土壤孔隙度有明顯地差異，此乃顯示噴氣式深耕機械適用於久未經整地之地區。

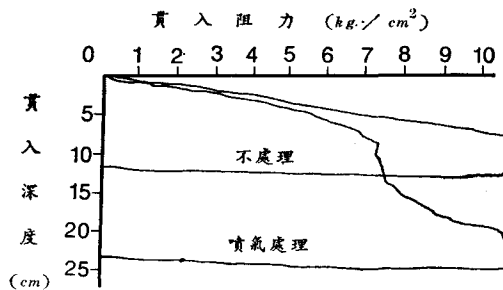
3.產量之測定

果實生長期間適逢「艾迪」等兩個颱風過境，遭致許多落果，故無法統計產量。

(二)農藝作物(高粱)之試驗

1.土壤貫穿阻力之測定

高粱試區內土壤貫穿阻力之測定線圖如圖十三所示。



圖十三：高粱試區內土壤貫穿阻力線圖

由圖十三可看出噴氣處理點附近只貫穿約25 cm深度，而未處理點貫穿深度約為12 cm，此乃因高粱試區為粘壤土，久未耕耘，在25 cm以下為硬盤。因之，此情形與甘藍試區內土壤貫穿阻力線圖頗為類似。

2.土壤孔隙度之測定

高粱試區內土壤孔隙度之測定結果如表九所示。

表九：高粱試區內土壤孔隙度(%)之測定結果

處理方式	集 區		
	1	2	3
不 中 耕	54.17	55.92	53.75
噴 氣 中 耕	54.33	55.42	52.58

噴氣處理與否對土壤孔隙度無明顯差異，此乃因為本試區的土壤屬粘壤土；高粱為旱作，因之，經太陽晒後，土壤表層易生裂痕，故噴氣與否對土壤孔隙度無明顯地差異。

3.產量之測定

每一試區抽樣180穗，分別測量其乾燥後之平均每穗重量(單位為公克)，列於表十。其變異數分析表列於表十一。

表十：高粱試區內產量之測定表(單位：公克)

處理方式	集 區		
	1	2	3
不 中 耕	828	795	613
噴 氣 中 耕	975	745	828

表十一：高粱試區內產量之變異數分析表

原 因	平方和	自由度	不偏變異數	F	$F_{0.10}$
處理方式	16224	1	16224	1.713	8.53
集 區	35002	2	17501	1.848	9.00
誤 差	18943	2	9472		
總 和	70169	5			

假設 H_1 ：處理方式與產量無差異

H_2 ：集區之間與產量無差異

結果 $F_1 = 2.01 < F_{0.10}$ ，承認 H_1 ，表示噴氣與否對高粱之產量無顯著之差異。

$F_2 = 0.96 < F_{0.10}$ ，承認 H_2 ，表示各集區間之產量亦無明顯地差異。

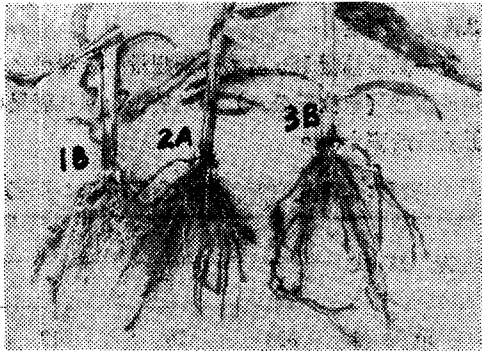
4.根系及植株之關係

各集區逢機抽樣10株，分別測量其主根長度、根數、植株長度及穗長，求取平均值列於表十二。

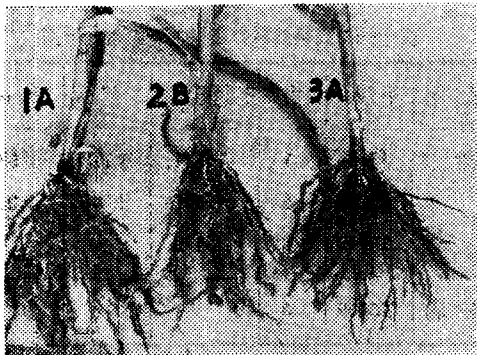
表十二：高粱試區內根系及植株之關係

	集 區					
	1A	1B	2A	2B	3A	3B
主根長(cm)	24.8	23.6	22.4	22.4	22.2	22.0
根 數	20.8	18.4	20.2	23.4	25.4	17.6
植株長(cm)	122.8	122.0	122.6	130.6	127.4	98.2
穗 長(cm)	22.2	21.6	20.0	21.8	21.0	21.6

表中 1A, 2B, 3A 為噴氣處理區。由表十二可發現噴氣處理區植株之發育及根系之發育比不中耕區要好，其差異在數字上雖無明顯地差別，但根系發育情形可由圖十四、圖十五顯示出其差異。



圖十四：高粱不中耕區之根系發育情形



圖十五：高粱噴氣處理區之根系發育情形

五、結 論

- 噴氣式深耕機經過三種不同作物（甘藍、芒果、高粱）之試驗，得到如下之結論：
- (一)土壤貫穿阻力線圖在噴氣處理與否有很明顯地差異，噴氣處理後，土壤結構受到破壞，較為疏鬆，因之，能貫入之深度也較深。
 - (二)噴氣與否對土壤孔隙度之關係，於甘藍試區內，在25%顯著水準下有明顯地差異；於芒果試區內，在10%的顯著水準下有明顯地差異；於高粱試區內則無明顯的差異。
 - (三)噴氣與否對作物產量之關係，於甘藍試區內，在5%的顯著水準下有明顯地差異，而是噴氣區距離作物太近（25~30 cm）以導致作物根羣受傷而減產，故知噴氣作業點距離植株之距離不能小於30 cm。於高粱試區內作物產量與噴氣與否並無明顯地差異，然而噴氣處理區作物根系生長較不處理區要好。
 - (四)為了避免農民不瞭解噴氣式中耕機之作業特性，而導致作物根系之傷害，影響產量，因之，本研究結果具有相當之參考價值。

六、建 議

為使噴氣式深耕機能充份發揮其機械之特性，作如下之建議：

- (一)選擇一種作物，對此作物作不同距離的噴氣處理，以觀測其生長性狀及產量之變化，求取最適宜此種作物之噴氣作業距離。
- (二)作噴氣式深耕機進一步的基本試驗，同時測定作物根系在不同壓力下承受剪力受傷之情形，以與實際之田間試驗結果相對照，求取噴氣式深耕機能增產之最佳作業條件。
- (三)改良設計噴氣式深耕機之機構，使其兼具施液態肥料以及地下病蟲害防治之功效，以達農業機械多角化利用之目標。

七、謝 誌

本試驗研究承經濟部農業機械化基金保管運用委員會之經費補助，農發會農機小組諸位先生提供寶貴意見與指導，農試所園藝系蕭吉雄博士熱心協助甘藍之試驗，翁有澄先生慨允借用芒果試驗場地，與大土壤系王明果教授、楊策羣教授提供寶貴資料，本系江耀宗、奚同熙同學等多人協助試驗，始克順利進行，謹於此致最高之謝忱。

八、參 考 文 獻

1. 陳振鐸，民國60年，土壤物理學，正中書局。
2. 陳振鐸，民國71年，基本土壤學，徐氏基金會。
3. 郭魁士，民國68年，土壤學，中國書局。
4. 楊尚仁，民國65年，機械採收對土壤密實度及宿根甘蔗產量之影響。臺灣糖業研究所彙報72號。
5. 楊策羣、林正鏘，民國64年，臺中砂頁岩沖積土中氧的季節性變化及其對旱作的可能影響。國科會研究彙報。
6. 楊策羣、許義祥、楊尚仁，民國67年，土壤氧氣濃度對新植甘蔗生育影響之初步研究，臺灣糖業研究所研究彙報第80號。
7. 黃陽仁，民國60年，農業機械於水田行走性能之研究，農林學報。
8. 譚克終，民國67年，果樹園藝大要論，徐氏基金會。
9. 岩崎一男，昭和56年，作物栽培と土壤空氣，岩谷產業株式會社。
10. 島根縣農業試驗場，昭和53年，農業試驗場研究成果發表會，發表要旨集。
11. 農業生產工學研究會，昭和56年3月，壓縮空氣の注入による土層改良および作物の生育効果に關する試驗成績概要——(1)果樹園に對する効果，(2)野菜園に對する効果。
12. George E. P. Box. etc. 1978. Statistics for Experimenters. John Wiley & Sons, Inc.