

嘉南地區三年輪作田 旱季中土層剖面三相分佈之探討

The Studies on the Three Phases Distribution of Soil Profile in Chia-Nan Area during Dry Season

張世光

Abstract

The purpose of this paper is to study the three-phase distribution and characteristics of the soil profile in the level field and in the dry season under three years crop rotation system in Chia-Nan area. The samples are taken from 10 experiment points selected between Yen-Shui Creek and Pa-Chang Creek. By the experiment both in the field and laboratory we got the following results:

1. Large variation of soil texture occurs in the soil profile in Chia Nan plain.
2. The distribution of soil moisture is based on the change of soil texture.
3. In the dry season, the ground water table drops down, and the capillary zone moves downward. The soil moisture in the root zone is affected by capillary potential energy and capillary conductivity in the different level. The smaller the depth of soil the less the soil moisture content, and the more serious the lack of water.
4. If M. E. and F. C. are close enough, the average lift of capillary moisture is 180cm. above ground water table. The zone in 60cm. above ground water table is almost saturated by capillary water.
5. Having poorer permeability hard pan is solid but the retentive capacity is very strong and may reach to 60% of the degree of saturation.
6. The distribution of soil porosity is usually in the arrangement of solid confirm, but because of the effect of soil structure there are 38% of the soil samples having the porosity from 40% to 45%, and 31% from 45% to 50%. In other words, more than two thirds of all experiment levels have the porosity between 40% to 50%.
7. From the results of experiment we understood that the occurrence of free water does not mean the soil being saturated, otherwise, the saturation of soil is not the sufficient condition for the occurrence of free water.

The experimental values mentioned above are found out from the data of 10 experiment points only. As a matter of fact, the effective factor is quite a lot and rather complex. it is necessary to take a further study.

符號註解：

- AWC: Available-Water Capacity 有效水分含量。
 ϵ_T : Total porosity 總孔隙度。
 ϵ_C : Porosity between granular 團粒間孔隙度。
 ϵ_v : Inter-granular porosity 團粒內孔隙度。
 V_w : Volume of Pendular water of two particle 雙顆粒間之懸着水。
H. C.: Hygroscopic Coefficient 吸濕係數。
W. P.: Wilting Point 凋萎係數。
M. E.: Moisture Equivalent 水分當量。
R. M. C.: Residual Moisture Content 自然殘餘水分含量。
F. C.: Field Capacity 田間容水量。
1/3 ATM: Third-atmosphere Percentage Moisture Content 1/3 氣壓水分含量。
1/2 ATM: Half-atmosphere Percentage Moisture Content 1/2 氣壓水分含量。
V. B.: Volume Base 體積比。
W. B.: Weight Base 重量比。
VS.: 對什麼而言例如 VS. V.B. 即對體積比而言。
其他各符號在插圖中說明。

* 臺大農工系研究所畢業，現任夏威夷大學研究助理

論 文 摘 要

本文目的是研究嘉南地區三年輪作田，在旱季中土壤剖面各層次土壤三相分佈之狀況及特徵。在鹽水溪以南，八掌溪以北區域內，分別選出十測點採土，經田間實地與實驗室中之測定結果顯示：

- (1) 嘉南平原之土壤剖面各層次間質地變異很大。
- (2) 土壤水分之分佈隨土壤質地之變異，其分佈狀況亦不同。
- (3) 在旱季中，地下水位下降，毛管活動區下移，不同深度土壤中，因受毛管位能及毛管導度之影響，根系土層中之含水量愈近地表含水量愈少。缺水之程度愈嚴重。
- (4) 若視 M. E. 與 F. C. 為一致，則地下毛管水平均升高約 180cm，其中接近地下水水面之 60cm 為毛管水所飽和。
- (5) 犁底層之土壤堅實，透水性較差，但保水能力極強，高達飽和度 60%。
- (6) 土壤孔隙率之分佈，一般均以密實排列出現，但受團粒之影響，孔隙率在 40-45% 者佔 38%；45~50% 佔 31%；故孔隙率在 40-50% 間佔全部測定層次三分之二以上。
- (7) 由測定之結果顯示，自由水之出現非表示土壤完全飽和，而土壤飽和未必造成自由水之出現。

以上各測定值，乃是十測點所獲之結果，由於其影響因子過多，且相當複雜，故更進一步之研究乃屬必須。

壹、引 言

近年來，臺灣人口不斷增加，以及農工業之日趨發達，故對水之需求亦日益殷切。目前地表與地下水之源之開發，雖已有相當成就，但為使水源善加利用而發揮最大效益，同時希望有節餘之水量，能移用於尚未灌溉區域，如海埔地、山坡地、砂丘地及許多缺水之農田，使本省農田灌溉面積有進一步之拓展，是今後水資源應用上最重要之研究課題之一。

早期許多學者如 Alway & McDole (1917); Israelsen (1918); Schofield & Wright (1928); Veihmeyer & Hendricken (1931) 等⁽²⁸⁾，曾以土壤之立場，視土層為一天然儲水庫，故對土層剖面結構、土壤質地之變化，以及水分分佈等自然狀態，曾作相當深入研究，對灌溉管理，土壤水分之控制上貢獻很大。嘉南平原，為臺灣農業最發達區域之一。但限於水源，多年來均嚴格執行「三年輪作制度」，灌溉配給水量之多少，已成爲該區農業耕作方式之決定性因素。由於水源之缺乏，故對農田灌溉時，講求節水之技術更倍形重要。為要達到此目標，對該區現有自然條件，特別是自地表至地下水水面 (Ground Water Phreatic Surface) 間之土層水分變動情形，有澈底瞭解之必要。

嘉南地區屬沖積平原，地形平坦，土層質地層次

不均，地下水位高，旱季特長，而雨季集中，所以對於耕作技術，作物之選擇，影響很大。本研究之目的，是期望能就嘉南地區各種土類中，土層三相分佈，質地之變異，以及毛管水運動趨向等，能有一更深入之瞭解，供該區域內灌溉排水上之參考。

貳、土壤保持水分之理論探討

土壤保持水分之多寡，與土壤顆粒之比表面積 (Specific Surface) 有很大之關係。當單位體積內之顆粒表面積愈大，則其所能吸着之水分量愈多。在 1 厘米立方體，其面積僅爲 6cm²，當其細分成邊長 0.01μm 之立方體時，其總面積增至 6×10⁷cm² (0.6 公頃)⁽³⁰⁾。亦即說明，單位體積內，土壤顆粒細分度越高，其保水力越強，所能保持之水量亦多。茲就單顆粒，多顆粒之保水狀態，推廣至團粒及整個土層剖面之保水情況分別敘述於後：

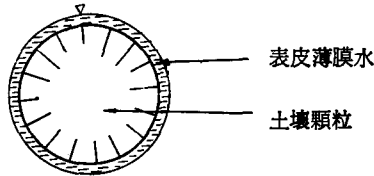
2.1 單顆粒之保水狀態

土壤單顆粒之保水能力主要因吸附力 (Adsorption) 而產生。吸附現象可分下列兩種：

甲、物理吸附：固體表面常發生吸附現象，乃基於表面原子或分子間之引力。即所謂之 Van der Waal's Forces，其吸附量可能相當於數分子水之厚度。此力與氣體壓力，溫度，溶質之濃度等有關，

但無選擇性⁽²⁸⁾。

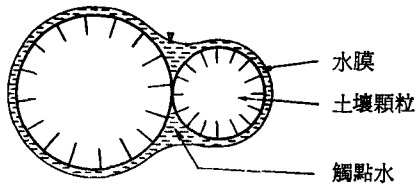
乙、化吸學附：因粘粒多為矽酸鹽礦物^(22,18)，其本身具有負電，因而產生異性電荷之相互吸附。例如固體與偶極水分子結合之離子水化作用⁽⁸⁾。但僅能吸附單分子層，具有選擇性。由於異性分子之吸附(Adhesion)與同性分子之內聚(Cohesion)，吸着現象所產生吸着力之範圍，相互踰越，土壤顆粒表面所吸着之水分亦逐漸增加，直到顆粒表面水分子不能再被吸着為止。相對地，吸着力隨顆粒表面水分子層之增加而減小。由於水分子之聚集於顆粒表面，形成一水殼(Water Hull)，稱為表皮薄膜水(Pellicular Water)。如圖(一)所示：



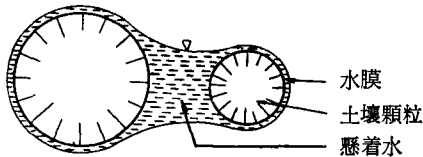
圖(一) 單顆粒之表皮薄膜水

2.2 雙顆粒之保水狀態

當單顆粒之表面水膜達平衡時，如與另一水分含量較低之顆粒接觸。由於二者水分間有勢能梯度差存在，故前者水分即往後者移動，至兩者之梯度差達平衡為止。此時兩顆粒間之水分，為彎月面所包圍，懸於二顆粒之間，形成觸點水(Contact Water)，如圖(二)所示。



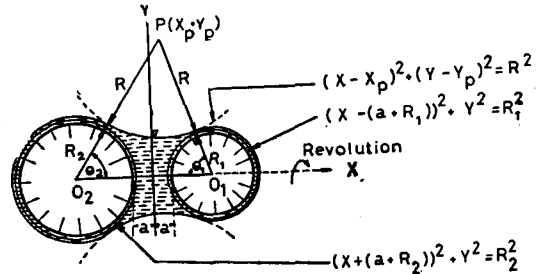
圖(二) 雙顆粒之觸點水



圖(三) 雙顆粒之懸着水

若兩顆粒保持某一距離而未接觸時，水分呈懸着狀態，即為懸着水(Pendular Water)，如圖(三)所示。其實前者為後者之一特例。在土層中，未與地下水靜壓力發生連繫所保持之水分，均以此形態出現。假若是在理想土壤(Ideal Soil)下^(21,26)，則二大小不同半徑之圓粒，其所能保持之水分量，可由(甲)式求出。

此部份之水分產生，多由於地下水位迅速下降，毛管水發生斷裂而不連繫；或在乾旱之土層，由於表土所灌之水分或降雨，不足於下滲至地下水位而懸於土層間。此種現象，在非均一層次之土壤中，尤為顯著。



圖(四) 懸着水之數學模式圖

$$\begin{aligned} \bar{V} = & \pi R^3 (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) + \pi R (R + R_1) (R + R_2) \sin \theta_1 \sin \theta_2 (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) \\ & - \pi/3 R^3 (\cos^3 \theta_1 + \cos^3 \theta_2) - 2\pi R^2 ((R + R_1) \sin^2 \theta_1 \cos \theta_1 + (R + R_2) \sin^2 \theta_2 \cos \theta_2 \\ & + (R + R_1) \sin \theta_1 (\pi/2 - \theta_1) + (R + R_2) \sin \theta_2 (\pi/2 - \theta_2)) - 2/3\pi (R_1^3 + R_2^3) \\ & - \pi (R_1^3 \cos \theta_1 + R_2^3 \cos \theta_2) + \pi/3 (R_1^3 \cos^3 \theta_1 + R_2^3 \cos^3 \theta_2) \dots \dots \dots (甲) \end{aligned}$$

式中：R, R₁, R₂, θ₁ 及 θ₂ 如圖四所示

$$R = \frac{R_2 \sin \theta_2 - R_1 \sin \theta_1}{\sin \theta_1 - \sin \theta_2}$$

$$\bar{V} = f(R_1, R_2, \theta_1, \theta_2)$$

$$P_c = \frac{2T}{R}$$

$$P_c = \frac{2T (\sin \theta_1 - \sin \theta_2)}{R_2 \sin \theta_2 - R_1 \sin \theta_1}$$

T: 表面張力

P_c: 毛管壓

*(甲) 式之證明請參閱 Appendix A.

2.3 多顆粒之保水狀態

在多顆粒保水狀態，不僅具有上述保水狀態存在，且更形複雜，顆粒間所能保持之水分，相互牽制，連成一方向不定，離奇古怪之水膜網，其間力之作用，亦相互吸引，且無明顯之界限。在理想土壤情況下，土壤水分若僅呈單獨的懸着水存在，則其懸着水總數在單位體積中應為

$$K = 1/2 \sum_{i=1}^n \chi_i \dots \dots \dots (乙)$$

式中：i: 第 i 個顆粒

χ: 每個顆粒與其他相隣顆粒呈懸着水數目。

n: 顆粒之總數⁽²⁶⁾。

今令 V_{wj} 為第 j 個懸着水所能保持之水分體積

，則在單位體積內，全部水分含量 W 為

$$W = \sum_{j=1}^k V_{w_j} \dots\dots\dots(丙)$$

式中 V_{w_j} 可由前 (甲) 式求得。

但事實上，土壤中之水分保持，非常複雜，尤其在細顆粒之土壤中，因其本身所具有之吸著力非常強大，其所能保持之吸著水，往往將顆粒所組成之孔隙空間 (Pore Space) 阻塞，使得懸着水形成一張力很強之水膜 (Water Film)，此種水膜非巨大之壓力不能突破⁽¹²⁾。因而佔據了所有有效孔隙 (Effective Porosity)，阻止水膜上之自由水下滲，造成禁閉微管聚集自由水之滯留；或下層毛管水亦因而與上層隔絕，使水分運動頻停滯狀態。多顆粒之保水狀況與顆粒質地，顆粒排列所造成之空隙空間形狀大小，有密切之關係，在理想土壤中，顆粒呈立方體 (Cubical Arrangement) 與六面體排列 (Hexagonal Arrangement)，所形成之孔隙，前者約為後者兩倍^(1,26)。

2.4 團粒及整個土壤剖面保水狀態

上述所討論，乃以原生顆粒 (Primary Particle) 為對象。當此原生粒子行密切結合為小團粒 (次生單位) (Secondary unit)，或由許多細小之次生單位結合形成大團粒時，土壤孔隙分佈，可分團聚體內，及團聚體間之孔隙，(其孔度之大小，前者遠較後者為小)。團聚體保水狀態，大致與原生顆粒者類似。惟團聚體在結構上較為複雜。假若土壤為團聚體所組成，則團聚體間與團聚體內之孔隙，有如下之關係：

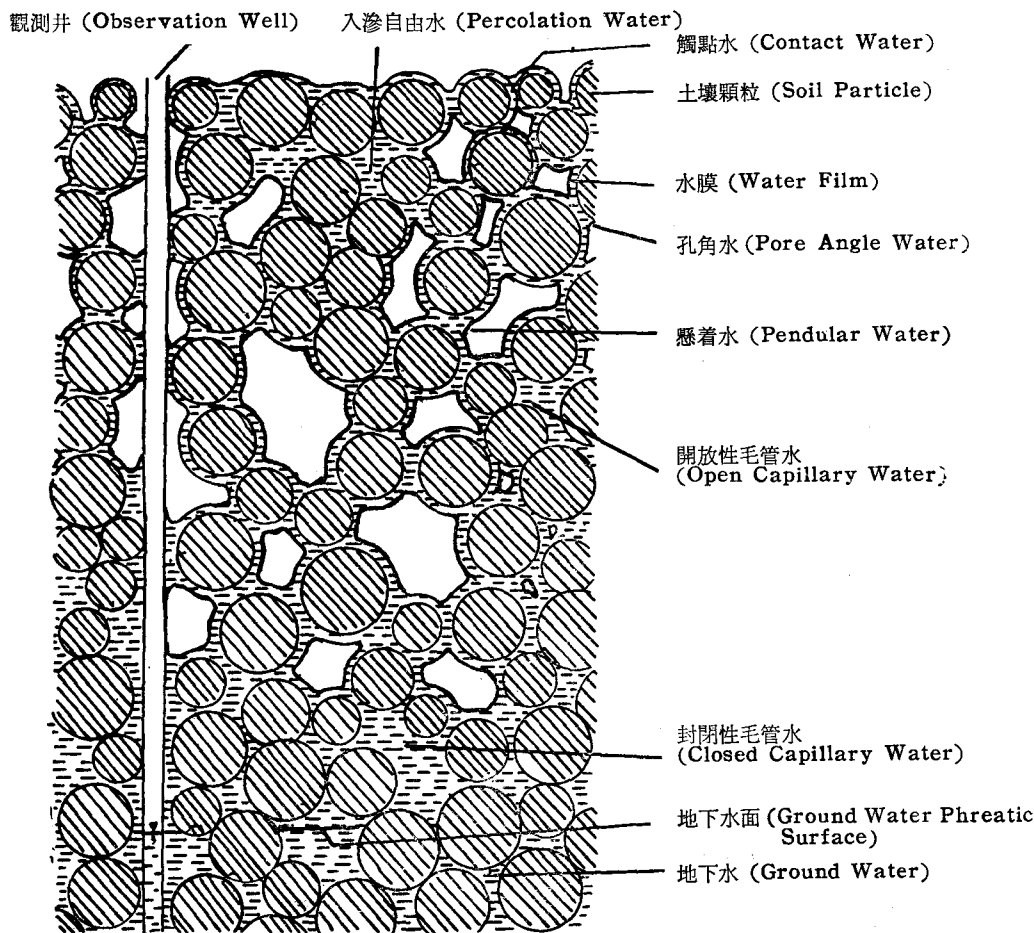
$$\epsilon_T = \epsilon_C + \epsilon_V(1 - \epsilon_C) \dots\dots\dots(丁)$$

式中 ϵ_T ：總孔隙度

ϵ_V ：團聚體內之孔隙 (佔團聚體之容積%)

ϵ_C ：團聚體間之孔隙 (佔土壤容積%)⁽³²⁾

惟實際上，土壤不僅由團粒或原生粒子所組成，亦可能由原生顆粒，團粒，甚至由許多小團粒所形成之大團粒彼此融會混雜而成。因而其持水複雜性，亦



圖(五) 土層中土壤水分保持狀態模式圖

隨之增加。在整個土層中，由於團粒及原生顆粒之排列，形成許多大小不一，形狀特殊之孔隙，此種孔隙彼此間可再連成許多微細之通道網，湊成無數管徑大小不一，曲折離奇之毛細管。對土壤水分之保持便更形複雜。茲將各種可能發生之各種形態之土壤水於圖(伍)模式圖中說明。

利用毛細管現象來說明土壤水分上升原理，首由 Buckingham (1907) 氏介紹。毛管水上升高度在圓筒狀毛管中依茹林公式⁽²⁾

$$H = 3.0/D \dots\dots\dots(戊)$$

在理想土壤念珠狀毛管 (Irregular Bore Tube) 中，其可能上升高度範圍在：

$$\frac{0.41}{D} \leq H \leq \frac{1.93}{D} \dots\dots\dots(己)$$

式中：H：毛管上升高度。

D：土壤顆粒直徑。

而此乃於理想情況下，依等毛管直徑公式計算。假若此公式應用於粘重土壤時 (若 $D = 0.00025\text{cm}$)，可計得毛管水上升高度達 308 公尺⁽⁶⁾，在自然土壤或試驗室內，根據 D.I.G. Glukov 氏⁽¹³⁾，卡慶斯基 (1949) 氏，貝柯夫斯基氏，特卡丘克⁽⁶⁾氏，A. Atterberg⁽²⁹⁾ 氏及 A. N. Puri⁽⁶⁾ 氏等所研究之結果，土壤毛管水上升最高，不超過 600cm⁽⁶⁾。造成上述原因有：

(a) 自然土壤孔隙所連成之毛細管，並非等直徑毛管，由於毛管之幾何形狀有隨時改變之可能。故吾人可利用念珠毛管作為模型加以研究^(31,2)。當念珠毛管在未充滿水與充滿水後矗立於水面，其所能升高之水柱高度往往不一致。前者水柱上端彎月面 (Wetting-Non-Wetting Interface)，往往停滯於管徑較大處。後者則於管徑較小之位置。造成上述毛管水之滯後作用 (Hysteresis of Water)，乃由於大氣壓力對毛管彎月面張力與所升高之水柱靜壓力和是恆等的。在大氣壓不變之情況下，毛管水上升惟賴水柱靜壓力與彎月面力之相互消長來調整。或曰毛管水上升高度完全取決於彎月面力；或毛管上端彎月面所處之孔隙空間形狀大小來決定。故 P. C. Carman (1941)⁽²⁹⁾ 氏將毛管水上升至平衡高度考慮為水之表面張力對毛管潤週大小之作用與水柱靜壓力所致。即

$$\sigma \times \text{Perimeter} = \rho gh \times \text{Area}$$

而導出 $h = \frac{\sigma S}{\rho g \epsilon_c} \dots\dots\dots(庚)$

$$S = (1 - \epsilon_c) S_0$$

式中 h：毛管上升高度

σ ：水之表面張力

ρg ：水之比重

ϵ_c ：土壤孔隙率

S_0 ：土壤顆粒之比表面積

Perimeter：潤週

Area：毛管斷面積

(b) 由於毛管過細，毛管壓無法突破土壤顆粒所產生之吸附力。或因粘滯力過大，毛管水無法上升。再者，土壤中之禁閉空氣 (Trapped Air) 亦往往隔絕毛管水之連繫，阻塞毛管水之上升。由上觀之土壤水分之保持，並非一般理想模式中所能完全解釋。

參、土壤水文常數在灌溉上之意義

本研究主要是於土壤剖面三相分佈之探討。同時對土壤質地之差異與 H.C.；W.P.；M.E.；R.M.C. 之關係，以及對土壤整個剖面之保水狀況作一研究，以期能獲得若干結果，作為灌溉與排水上之參考。茲將各土壤水分常數，在灌溉排水上之意義簡述如下：

A. 吸濕係數 (Hygroscopic Coefficient)

H. C.

吸濕係數 (Hygroscopic Coefficient)，根據 Mitscherlich (1910) 氏之定義⁽²²⁾，即乾燥土壤，在吸水過程中，當濕潤熱量達最大時之土壤濕度。(即在一定之溫度與空氣濕度下，乾燥土壤對空氣中水分子所能吸着之最大量；或濕潤土壤因空氣中濕度低而釋出水分子至二者平衡止之土壤濕度)，吸濕係數之大小，主要視土壤之質地與環境狀況而定。此部份之水分屬不運動，非植物所能利用。由於其對顆粒之比表面積非常敏感，故許多學者利用此關係作為土壤質地之探討。

B. 凋萎係數 (Wilting Coefficient) W.P.

凋萎係數首由 Lyman J. Brigg & H.L. Shantz (1912) 氏提出。利用向日葵作試驗，至土壤水分對植物供應不足而呈凋萎現象。縱使將植物處於飽和濕度空氣中而不增加土壤水分量，亦不能恢復常態，此時之土壤濕度值稱凋萎係數⁽³⁾。W.P. 為結合水與自由水之分界⁽⁴⁾，故其水分傳導度為零⁽²²⁾。即在 W.P. 值以上之土壤水分易於運動，以下則不運動或難運動。由於此時之土壤濕度值，與經 15ATM 壓力作用後，土壤所保持之濕度很接近，故 L.A. Richards & L.R. Weaver (1943) 二氏，首先利用壓膜法 (Pressure Membrane) 代替植物試驗法。二氏所作之試驗顯示，利用植物所求出之濕度值，介於 15ATM 與 15ATM+15%ATM 之間⁽¹⁷⁾，雖然

稍偏低，但很可靠。P. J. Salter & J. B. Williams (1965) 亦曾利用未破壞結構之土壤測定，亦獲理想之結果⁽¹⁶⁾。因土壤水分在此濕度值以下，非植物所能利用，故在灌溉上，視為灌溉下限。

C. 水分當量 (Moisture Equivalent) M.E.

水分當量，由 Lyman J. Brigg 及 J. W. McLane (1910) 二氏定義⁽²⁰⁾；在溫度 20°C 時，土壤受 1000 倍重力作用四十分鐘後：土壤所能保持之濕度。在試驗室一般均利用離心機測定，至於 M.E. 之範圍，前人已有相當之研究，如 Burr & Russel (1925); Israelsen (1918); Schofield & Wright (1928); Mathews (1923); Harding (1919); Alway & McDole (1917); Shaw (1917); Veihmeyer & Hendricksen (1931); L. A. Richard & L. R. Weaver (1943) 等，均期望能就 F.C. (Field Capacity) 與 M.E. 間獲得一理想關係。諸氏一致認為，粗質地土壤其 M.E. < F.C.，中質地土壤 M.E. 與 F.C.，頗為接近。較粘重之土壤，M.E. > F.C.，但相差不大。一般言，在中，細質地土壤所測出之 M.E. 與 F.C.，相差無幾。故可作為灌溉之上限。M.E. 濕度值，在土壤毛細管研究中，常視為毛細管孔隙 (Capillary Porosity) 與非毛細管孔隙 (Non-Capillary Porosity) 之臨界值⁽¹⁾，意即被 M.E. 濕度所佔據之孔隙空間，對自由水運動言是無效的。在 M.E. 濕度以上之孔隙空間是為有效孔隙。在灌溉排水上，具有重大之意義。

D. 利用 M.E. 替代 F.C. 作為灌溉有效上限之原因

(1) M.E. 乃於一定條件情況下測得，可靠性高，不受環境因子影響。

(2) F.C. 值，往往受季節，地勢高地之不同而改變。此外如終止下滲之臨界點 (指時間)，不易確定。F.C. 在土壤充水後，測定之前尚有部份水分因蒸發散 (Evapo-Transpiration) 之損失而影響其穩定性。

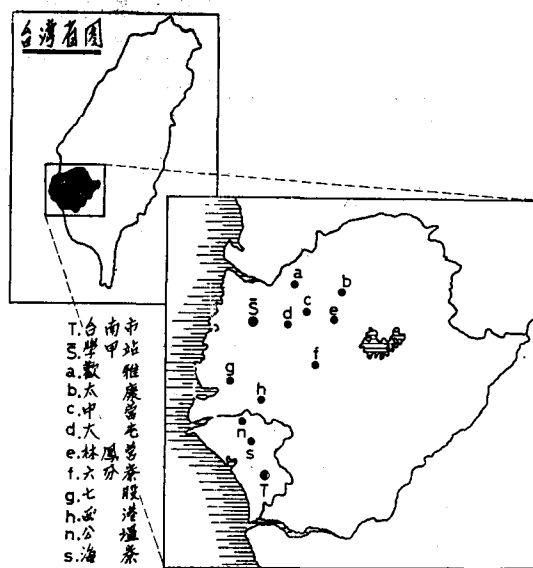
(3) 在深層土壤毛管活動區中，土壤水分受毛管水支配，除非降低地下水位，否則無法測得理想之 F.C. 值。

(4) M.E. 對土壤質地之敏感度較高^(3,7,19)。

肆、研究方法

A. 測點之選定與採土前後之降雨狀況

本研究土壤剖面之選定及採集係以八掌溪以南，



圖(六) 本試驗測點位置圖

鹽水溪以北之區域為對象，在該區域內，選定十處，即歡雅、太康、林鳳營、中營、大屯、七分、西港、公塭、海寮及六分寮。根據 1969 年~1971 年先後三年間雨量統計，此區域之雨季在每年 5 月~9 月。旱季則於 9 月至翌年 4 月。旱季長而雨季短，旱季平均月雨量最高僅達 33.1mm。距離本試驗採土前之七個月 (本試驗採土為 1970 年 5 月，為嘉南地區之乾旱末期) 之降雨情況如表(-)，七個月總雨量最高為中營之 75.8mm (月平均為 10.83mm)，在此期間最大日降雨量為大屯之 19.6mm。地下水位可說降至相當低，對本研究相當適宜。

表(-) 1970 年 10 月至採時日十測點降雨記錄表

測 點	降雨量 mm	月平均 降雨量	最大日 降雨量	最接近 採土時 日降雨量	降 雨 總次數
歡 雅	55.70	7.96	11.20	6.10	11
太 康	65.90	9.41	12.00	2.20	14
林鳳營	70.90	10.12	17.60	16.30	13
大 屯	75.10	10.73	19.60	1.50	18
七 股	51.20	7.31	16.00	1.00	16
西 港	69.50	9.88	12.90	1.40	14
公 塭	40.20	5.74	13.10	7.80	13
海 寮	37.30	5.33	7.00	2.50	7
六分寮	43.80	6.26	10.50	1.50	10
中 營	75.80	10.83	12.90	1.00	10

B. 剖面觀測方法與試驗分析項目

在選定測點掘 2m×1m 深穴，於根系層每隔 10cm 採一試樣，以下則每 20cm 採一次，分層測定，至地下自由水出現為止，採土分兩部份，一利用 DIK III 型採土器採土（不破壞土壤結構），另一部份則直接採土，用塑膠袋分裝，帶回試驗室分析。

甲、田間部份：

- (1) 降雨量利用各測點附近工作站之雨量觀測記錄。
- (2) 採土時之地下水位，與採土同時測定，其餘部份則在測點附近鑿地下水水位觀測井，每間隔約十日測一次。
- (3) 田間容水量則在測點附近，擇適宜地區充水 48 小時後測定。

乙、試驗室部份：

- (1) 土壤機械分析利用 Bouyoucos 氏之比重計法測定。
- (2) 假比重；孔隙率；旱季各土層三相分佈，利用 DIK 100 型採土器測定。
- (3) M.E. 依 Brigg & McLane 之定義；利用離心機法測定。
- (4) 1/2 ATM.；1/3 ATM. 水分含量，利用壓力鍋在多孔壓板 (Pressure Plate) 上測定。
- (5) W.P. 用 15 ATM 含水量替代；利用壓膜法 (Pressure Membrane) 測定。
- (6) H.C. 依 Mitscherlich 氏之定義，用 10% H₂SO₄，在玻璃真空缸 (Discator) 中測定^(4,9,22)。

伍、研究結果

根據試驗結果所繪製之圖中顯示，土壤質地與土壤保水力之間，有極高之相關。H.C. 主要受粘粒含量所左右。W.P. 與 M.E. 則受粉粒與粘粒影響很大。在十測點剖面三相分佈圖亦可清楚看出，同一地點不同深度土層中，土壤質地極不均一。此係沖積土之特性。茲僅擇七股、中營、六分寮三測點為例加以說明，然後對整個地區再加以討論。

5.1 七股

(1) 土壤容重與孔隙率

七股土壤容重在土層 20~50cm 最大 (1.61)，即在犁底層土壤孔隙，較其他層次為低，不及 40% (v.v.)。由於 0~50cm 土壤固相往下逐層增加，至 50cm 增至最大。自 55~90cm 土壤容重不及 1.4。孔隙增大。其他各層次之容重均在 1.45~1.52 之間，

孔隙率平均在 46% (v.v.) 左右。

(2) 土壤質地：

土層在 170cm 以上，粘粒與粉粒含量很高，尤以犁底層 35~50cm 及 110~160cm 為最顯著。170cm 以下土層質地屬壤質砂土，砂粒含量為粘粒與粉粒和之三倍以上。

(3) M.E. 曲線：

M.E. 之含水量高低，可以說完全受土壤質地所支配。在根系土層 0~40cm 中，M.E. 在 25~30% (v.v.)，而孔隙率在 40~49% 之間，因此，非毛管孔隙度尚在 15% (v.v.) 左右。至 40~60cm，由於土壤質地較粘重，保水力特強，非毛管孔隙僅達 1% (v.v.)。嚴重阻碍上層水分之下滲及下層毛管水之上升。同時對作物根系之發育，影響亦很大。在土層 170cm 以下，M.E. 不及 10% (v.v.)。非毛管孔隙雖大，但因接近地下水位，為毛管支持水所佔據。

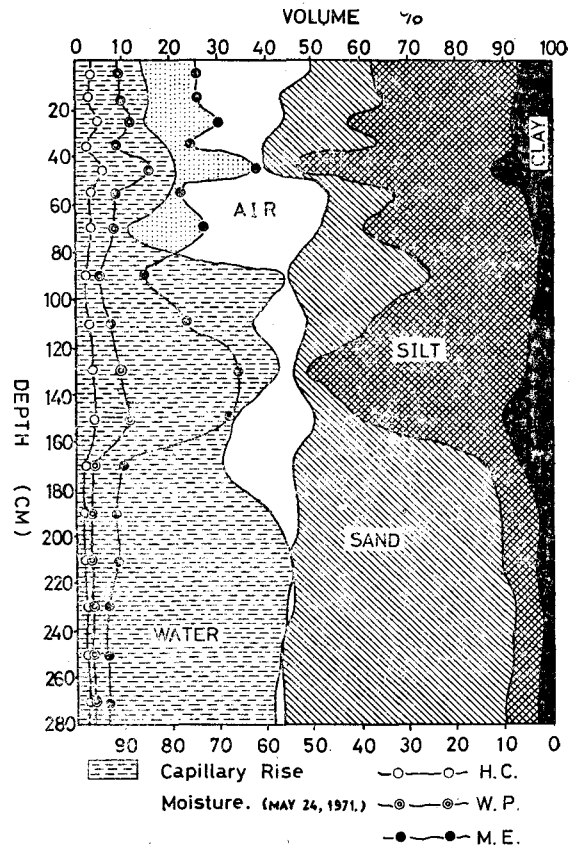


圖 (七) 七股測點土層三相分佈圖

註：採土日期為 1971 年 5 月 24 日。
採土當日地下水位高度為 242cm。
距採土最近降雨日期為 5 月 16 日，
當日降雨量為 1.0mm。

表(二) 七股測點土層剖面三相分佈資料分析結果

Depth of Sampling (cm)	Soil Texture	Soil Mechanical Composition			Apparent Specific Gravity (g/cc.)	Bulk Density (g/cc.)	Total Porosity %	Three Phases Distribution			Field Capacity		Moisture Equivalent		Wilting Point		Hygroscopic Coefficient	
		Sand %	Silt %	Clay %				Solid %	Liquid %	Air %	By Wt. %	By Vol. %	By Wt. %	By Vol. %	By Wt. %	By Vol. %	By Wt. %	By Vol. %
0-10	Si. L.	27.44	59.00	13.56	1.46	2.65	49.1	50.9	14.1	35.0	17.55	25.10	17.53	25.59	6.27	9.15	2.21	3.23
10-20	Si. L.	37.44	49.00	13.56	1.54	2.69	43.5	56.5	15.5	28.0	22.00	33.88	16.32	25.13	6.03	9.29	1.88	2.90
20-30	Si. L.	23.44	61.00	15.56	1.61	2.61	44.0	56.0	14.0	30.0	22.28	35.65	18.81	30.28	7.43	11.96	2.85	4.59
30-40	L.	40.44	47.00	12.56	1.60	2.69	39.7	60.3	18.7	21.0	22.68	36.29	15.59	24.94	5.10	8.16	1.79	2.86
40-50	Si. L.	11.44	68.00	20.56	1.61	2.74	39.2	60.8	21.2	18.0	24.41	39.00	23.73	38.20	9.80	15.78	3.53	5.68
50-60	Si. L.	29.44	59.00	11.56	1.39	2.69	53.5	46.5	20.5	33.0	23.72	32.73	16.02	22.28	6.31	8.77	2.17	3.02
60-70																		
70-80	Si. L.	19.44	71.00	9.56	1.39	2.68	51.3	48.7	11.3	40.0			19.62	27.27	5.91	8.21	2.33	3.24
80-90																		
90-100	L. S.	55.44	38.00	6.56	1.47	2.73	44.1	55.0	44.1	0.9			10.09	14.83	3.51	5.16	1.36	2.00
100-120	Si. L.	27.44	64.00	8.56	1.44	2.72	48.8	51.2	37.8	11.0			16.38	23.59	4.96	7.14	1.89	2.72
120-140	Si.	5.44	85.00	9.56	1.48	2.69	45.6	54.4	42.6	3.0			23.94	34.47	6.58	9.48	2.57	3.80
140-160	Si. L.	19.44	60.00	20.56	1.46	2.58	50.1	49.9	33.1	17.0			22.43	32.75	7.80	11.39	2.71	3.96
160-180	S. L.	74.44	14.00	11.56	1.52	2.69	44.9	55.1	30.9	14.0			6.43	9.77	2.19	3.33	0.87	1.32
180-200	L. S.	79.44	16.00	4.56	1.46	2.68	46.9	53.1	40.9	6.0			5.90	8.61	2.43	3.55	1.23	1.80
200-220	L. S.	80.44	13.00	6.65	1.46	2.69	45.0	55.0	45.0	0			5.68	8.29	2.27	3.31	1.29	1.88
220-240	L. S.	85.44	10.00	4.56	1.48	2.66	45.2	54.8	44.2	1.0			4.61	6.82	2.06	3.05	1.53	2.26
240-260	L. S.	85.44	10.00	4.56	1.51	2.68	42.5	57.5	42.5	0			4.30	6.49	2.04	3.08	1.60	2.42
260-280	L. S.	81.44	13.00	5.56	1.53	2.69	43.7	56.3	41.7	2.0			4.33	6.62	1.99	3.04	1.30	1.99

(4) 地下水位與毛管水上升高度：

在旱季中，土層在 0~90cm，土壤容積中 30% 為空氣所佔據。由圖(七)中可清楚地看出自表土 80cm 以下，M.E. 低於 RMC。即表示毛管支持水在該層以下已超過 M.E.，因而出現過剩之餘水。然而，在 0~80cm 之上部土層因 M.E. 高於 RMC，因而造成土壤乾燥而缺水現象，至於地下水是在 242cm 出現。在此之下應屬飽和，但實際上尚有少部份無法逃逸之禁閉空氣存在。

(5) 本測點之特點：

- a. 本測點臨海，地勢稍低，地下水位高。
- b. 土層在 0~80cm；140~190cm 空氣佔據大部份空隙。242cm 以下，雖有自由水出現，但不飽和。
- c. 土壤質地 170cm 以上，Clay、Silt 含量甚高，但各層次間分佈頗不均一。170cm 以下，砂粒佔盡優勢。
- d. 犁底層在 35~50cm 處，其非毛管孔隙極低，嚴重阻碍空氣與水分之通透性。

5.2 中營

(1) 土壤容重與孔隙率：

自 10~80cm，土壤容重均在 1.62 以上，即表示該層之土壤緊密度很高，故其孔隙率僅為 33.7%。自 90~160cm 土壤容重減低至 1.5。孔隙率亦高達 44% 以上。土層 160cm 以下孔隙率又降低，就整個土層剖面言，10~80cm 及 160cm 以下較為密實。中間 90~160cm 較疏鬆。

(2) 土壤質地：

本測點土層質地可分三明顯層次。0~80cm 及 180cm 以下為坩質壤，坩粒與粘粒含量很高。至於中間 80~180cm 砂含量為坩粒與粘粒之和兩倍以上屬砂壤土及壤質砂土。由於表層及底層兩端粘重，心層疏鬆，形成「三明治」狀態。

(3) M.E. 曲線：

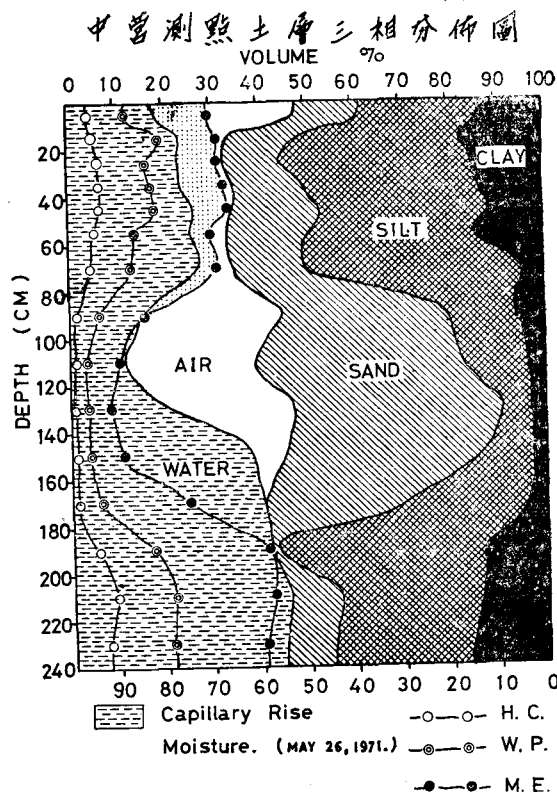
M.E.，在 0~80cm 約在 29~33%(v.v) 間。因 M.E. 含水量所佔之體積多，故自由水能移動之有效孔隙很小，不及 5%(v.v)。然而，180cm 以上土層之 M.E.，增至 40%(v.v) 以上，排水困難更形嚴重。但在 80~180cm 間，M.E. 却不及 16%，有效孔隙相對增加。因此，就整個剖面而言，表層 80cm 排水困難，80cm 以下土層排水良好。

(4) 地下水位與毛管水上升高度：

自 0~70cm，RMC 在 M.E. 之下，從而構成缺水現象，惟水分仍佔據三分之二的孔隙空間。由此可見在根層土壤之通氣性極差。自 90~140cm 層，空氣却佔據了 62% 之孔隙。與上層恰成對比。在 90cm 以下 RMC > M.E.，即土層在此之下受毛管支持水之影響而有剩餘水分之出現。地下自由水在 232cm 出現，故在 170cm 以下土壤為毛管支持水所飽和。

(5) 本測點之特點：

- a. 土層層次極不均一。呈「三明治」狀。
- b. 根系層保水力強，有效孔隙度低，不及 5%(v.v)，造成排水困難；80~160cm 空氣佔據大部份空隙。其濕度較上層為低。
- c. 在旱季中，0~80cm 土層，呈缺水現象，80~170cm 層有毛管支持水存在，水分隨深度增大而逐漸過剩，170cm 以下成飽和狀態。



圖(六) 中營測點土層三相分佈圖

註：採土日期為 1971 年 5 月 26 日。
採土當日地下水位為 232cm。
距採土最近降雨時日 5 月 16 日。
當日降雨量 1.0mm。

表四 中營測點土層剖面三相分佈資料分析結果

Depth of Sampling (cm)	Soi Texture	Soil Mechanical Composition			Apparent Specific Gravity (g/cc.)	Bulk Density (g/cc.)	Total Porosity %	Three Phases Distribution			Field Capacity		Moisture Equivalent		Wilting Point		Hygroscopic Coefficient	
		Sand %	Silt %	Clay %				Solid %	Liquid %	Air %	By Wt. %	By Vol. %	By Wt. %	By Vol. %	By Wt. %	By Vol. %	By Wt. %	By Vol. %
0- 10	Si. L.	24.42	49.02	26.56	1.39	2.67	48.0	52.0	18.0	30.0	28.25	38.70	21.55	29.95	8.94	12.43	3.15	4.38
10- 20	Si. L.	23.44	50.00	26.56	1.65	2.74	32.6	67.4	23.6	9.0	18.64	31.50	19.07	31.46	11.70	19.31	3.60	5.94
20- 30	Si. L.	17.44	60.00	22.56	1.66	2.65	32.3	67.7	23.3	9.0	19.05	32.20	19.08	31.58	9.84	16.38	3.63	6.03
30- 40	Si. L.	21.44	57.00	21.56	1.63	2.69	34.8	65.2	23.8	11.0	20.73	34.00	20.19	32.90	10.66	17.38	4.11	6.66
40- 50	Si. L.	27.44	54.00	18.56	1.62	2.57	34.3	65.7	26.3	8.0	19.81	32.48	20.40	33.05	11.24	18.21	4.14	6.70
50- 60	Si. L.	23.44	53.00	23.56	1.69	2.69	33.9	66.1	25.9	8.0	19.88	33.00	17.23	29.30	8.28	13.99	3.23	5.46
60- 70											19.45	32.28						
70- 80	Si. L.	21.44	71.00	7.56	1.67	2.73	34.0	66.0	28.0	6.0	20.18	32.43	18.87	31.51	7.80	13.03	2.67	4.46
80- 90											24.22	41.42						
90-100	S. L.	61.44	27.00	11.56	1.52	2.73	44.6	55.4	15.6	29.0			10.16	15.44	3.84	5.84	1.18	1.79
109-120	S. L.	71.44	22.00	6.56	1.51	2.72	38.5	61.5	11.5	27.0			6.78	10.24	2.33	3.52	0.88	1.33
120-140	L. S.	82.44	11.00	6.56	1.47	2.69	47.1	52.9	21.1	26.0			6.08	8.94	2.70	3.97	0.71	1.04
140-160	L. S.	76.44	18.00	5.56	1.49	2.69	44.8	55.2	38.8	6.0			7.38	11.00	2.79	4.16	0.70	1.04
160-180	S. L.	51.44	43.00	5.56	1.57	2.68	40.1	59.9	40.1	0			16.23	25.48	4.21	6.61	1.15	1.81
180-200	Si. L.	1.44	75.00	23.56	1.55	2.74	42.0	58.0	42.0	0			26.83	41.62	11.34	17.58	3.72	5.78
200-220	Si. L.	21.44	54.00	24.56	1.50	2.73	45.3	54.7	45.3	0			28.31	42.47	14.44	21.66	5.35	7.03
220-240	Si. L.	17.44	52.00	30.56	1.51	2.69	44.5	55.5	44.5	0			26.56	40.11	13.77	20.79	4.81	7.26

表四 六分察測點土層剖面三相分佈資料分析結果

Depth of Sampling (cm)	Soil Texture	Soil Mechanical Composition			Apparent Specific Gravity (g/cc.)	Bulk Density (g/cc.)	Total Porosity %	Three Phases Distribution			Field Capacity		Moisture Equivalent		Wilting Point		Hygroscopic Coefficient	
		Sand %	Silt %	Clay %				Solid %	Liquid %	Air %	By Wt. %	By Vol. %	By Wt. %	By Vol. %	By Wt. %	By Vol. %	By Wt. %	By Vol. %
0-10	L.	51.44	39.00	9.56	1.30	2.66	54.5	45.5	12.5	42.0	18.58	23.41	14.30	18.24	4.34	5.64	1.42	1.85
10-20	S. L.	58.44	29.00	12.56	1.47	2.72	51.0	49.0	18.0	33.0	18.60	27.34	15.36	22.58	6.33	9.31	2.22	3.26
20-30	L.	45.44	44.00	10.56	1.59	2.74	41.6	58.4	20.6	21.0	19.51	30.44	13.86	22.04	4.01	6.38	1.26	1.91
30-40	Si. L.	29.44	59.00	11.56	1.52	2.86	45.0	55.0	26.0	19.0	22.85	34.50	16.94	25.75	4.54	6.90	1.45	2.20
40-50	Si. L.	25.44	62.00	12.56	1.49	2.58	44.0	56.0	29.5	14.5	23.78	35.43	16.69	24.87	3.97	5.90	1.93	2.88
50-60	Si. L.	30.44	56.00	13.56	1.59	2.58	41.5	58.5	28.5	13.0	23.66	36.91	18.66	29.67	5.09	3.09	1.90	3.02
60-70	Si. L.	31.44	59.00	9.56	1.56	2.63	43.5	56.5	28.5	15.0	22.50	34.88	16.97	26.47	4.61	7.19	1.54	2.40
70-80	Si. L.	29.44	55.00	15.56	1.67	2.68	38.3	61.7	29.3	9.0	21.85	36.05	17.57	29.34	8.52	14.23	2.13	3.56
80-90	Si. L.	39.44	49.00	11.56	1.56	2.70	42.9	57.1	25.9	17.0	22.93	35.77	15.01	23.42	7.01	10.94	1.99	3.10
90-100	Si. L.	21.44	63.00	15.56	1.50	2.71	44.6	55.4	32.6	12.0	28.53	42.80	17.96	26.94	11.83	17.75	3.02	4.53
100-120	Si. L.	9.44	67.00	23.56	1.49	2.71	46.7	53.3	44.7	2.0			27.63	41.17	16.04	23.09	4.12	6.14
120-140	Si. L.	36.44	54.00	9.56	1.44	2.67	49.8	50.2	27.8	22.0			15.35	22.10	7.12	10.25	2.13	3.07
140-160	Si. L.	26.44	59.00	14.56	1.45	2.71	46.0	54.0	42.0	4.0			22.62	32.80	11.17	16.20	3.28	4.76
160-180	Si. L.	25.44	64.00	10.56	1.41	2.57	47.8	52.2	46.8	1.0			19.92	28.09	8.36	11.80	2.74	3.86
180-200	Si. L.	21.44	68.00	10.56	1.39	2.70	48.2	51.8	48.2	0			18.35	25.51	7.91	10.99	2.60	3.61
200-220	Si. L.	15.44	73.00	11.56	1.43	2.68	46.9	53.1	49.9	0			23.36	33.40	6.22	8.89	3.22	4.61
220-240	L. S.	77.44	18.00	4.56	1.37	2.63	49.3	50.7	22.3	27.0			6.69	9.17	3.64	5.00	1.21	1.66
240-260	S. L.	52.44	40.00	7.56	1.47	2.72	45.6	54.4	44.6	1.0			13.11	19.27	5.40	7.94	1.69	2.48
260-280	S. L.	71.44	22.00	6.56	1.39	2.65	46.7	53.3	46.7	0			8.29	11.52	2.11	2.93	1.11	1.54
280-300	S. L.	75.44	17.00	7.56	1.45	2.64	41.1	58.9	41.1	0			6.53	9.47	2.84	4.12	0.69	1.00
300-320	S. L.	73.44	19.00	7.56	1.49	2.69	43.1	56.9	43.1	0			6.99	10.42	3.25	4.84	0.78	1.16

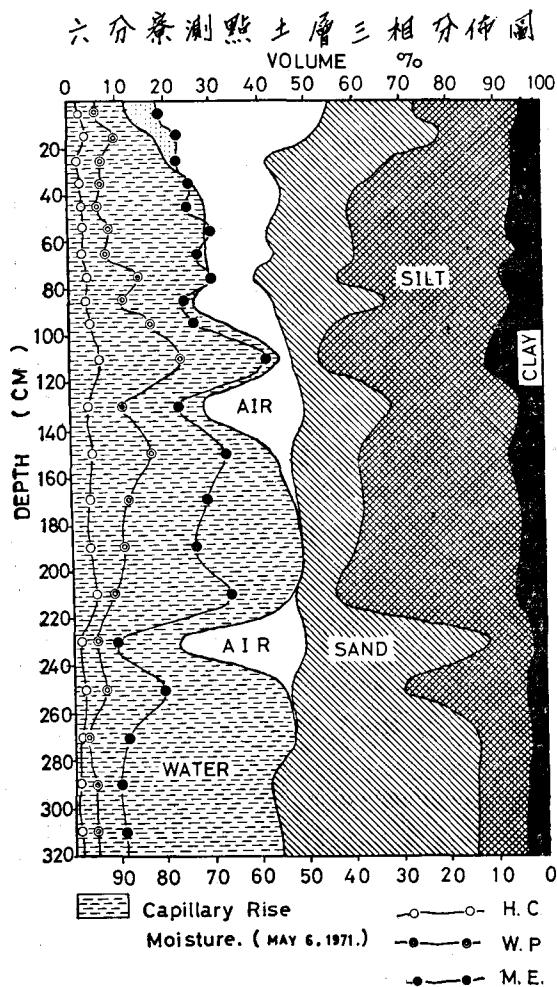
5.3 六分寮

(1) 土壤容重與孔隙率：

土壤容重在 20~100cm 平均在 1.5 以上，土壤固相所佔之體積比，往下逐層增加，空隙率相對減少。至土層 80cm 僅達 38.3% (v.v)。其餘各層次土壤容重均在 1.5 以下。固相所佔之容積比約在 50~55% (v.v) 間，相當均勻。

(2) 土壤質地

粘粒含量由表層逐次增加，至 100~120cm 最高，往下則減少。至 220cm 以下，粘粒含量不及 8% (對固相言)。20~220cm 坩粒佔盡優勢，220cm 以下，砂粒含量佔固相一半以上。



圖(九) 六分寮測點土層三相分佈圖

註：採土日期 1971 年 5 月 6 日。
採土當日地下水位高度 320cm。
距採土最近降雨時日 4 月 9 日。
當日之降雨量：1.5mm。

(3) M.E. 曲線：

由於質地之影響，在 0~80cm，M.E. 曲線亦往下逐層增加。非毛管有效孔隙在此層達 28% (v.v)，至土層 80cm，僅為 9% (v.v)，顯示可能發生排水困難。在 80cm 以下因 M.E. 小於 RMC. 有剩餘水分存在。在土層 30cm 以上，則缺水，惟欠缺不多。在 140~210cm 層 M.E. 較大。210~240cm 層，因坩粒含量顯著減少，為砂壤土層，故空氣空隙相對增加，至 240cm 以下，呈飽和狀態，幾無空氣空隙存在。

(4) 地下水位之高低與毛管上升高度

本測點採土時之地下水位在 320cm。但土層在 270cm 以下即為毛管水所飽和。由於 0~210cm 土壤較為粘重，故保水力強，在 180~210cm 土壤即已飽和。此部份飽和水分可能大部份為土壤之強大吸附所產生之結合水，然在此層次之下，土壤質地突然劇變成疏鬆之砂壤土層，土層中尚有大量空氣 (27% (v.v)) 存在而無法逃逸。此種情形對毛管水上升有嚴重之影響，但從測得之記錄顯示，毛管上升水並未完全阻塞而斷絕連繫。毛管水上升仍可上達 240cm 以上。

(5) 本測點之特點：

- a. 本測點地勢高，地下水位低，達 320cm 左右。
- b. 土壤質地在土層 210cm 以下突變，與上層 (0~210cm) 之粘重土壤迥然不同。
- c. 210~250cm 層，在旱季中，可能有禁閉空氣出現。雖不至隔絕毛管水之連續性，但對毛管水之上升，將會產生某種程度之影響。

陸、討 論

6.1 土壤容重與孔隙率之探討

嘉南地區為沖積平原，土壤剖面具有明顯之層次性。土壤容重除表層外，其餘均在 1.32~1.70 範圍內，平均約 1.54。耕犁層因受農具耕作之影響，土壤較為疏鬆，固相容積稍偏低，而孔隙率偏高，一般均在 50% (v.v) 以上。犁底層以下，土壤固相偶有低於 50% (v.v) 以下者，(如海寮 100~120cm；七股 50~70cm；公塢 50~60cm，70~90cm；大屯 120~140cm，170~210cm，240~280cm)，其他各層次均在 50~60% (v.v) 之間。關於嘉南地區，土層中各層次孔隙率高低之統計，本研究在 187 個土壤測定層次中，所佔之百分比如下：

表(六) 187 個土壤測定層次中不同孔隙率所佔之百分比

Porosity By Vol.	35-40%	40-45%	45-50%	50-55%	Over 55%
Numbers of Sampling	34	71	58	21	3
Percentage	18.2	37.9	31.2	11.2	1.4

由表中之統計結果顯示，自然土壤空隙率均在35~57%之間，其與理想土壤立方體排列所形成之孔隙率47.64%⁽¹⁾相比較，孔隙率在45~50%者佔全部測定層次之31.2%。若在40~45%者佔37.9%，即在40~50%者佔全部測定層次三分之二以上。六面體排列之孔隙率25.95%者⁽¹⁾，未曾出現。按理一般土壤應為密實排列與六面體排列近似。但由測定結果顯示

，實際上並非如此，此乃由於團聚體之存在所致。此外土壤質地不同，所組成之土壤孔隙率大小，可參閱表(六)。由表中可知在單位容積之土壤中，機械組成愈粗，其所組成之孔隙空間雖大，但其孔隙率反小。說明了土壤質地與空隙密切關係。

6.2 犁底層 (Hardpan) 之特徵

在十測點中，除中營、六分寮二測點之犁底層較不明顯外，其餘八測點平均在30~50cm間均有犁底層出現。此種犁底層是由耕犁層之土壤，受雨水或灌溉之淋洗後，將較細之粉粒或粘粒澱積於該層所致。依實際之觀察及試驗之結果顯示，犁底層之土壤容重，平均在1.59以上。為整個土層剖面中容重最大者，故土壤硬實，密度大，透水性弱。茲將各測點所測之結果列於表(七)中：

表(七) 各測點犁底層之三相分佈記錄

Location	Hardpan Depth (cm)	Porosity By Vol. %	Air Content By Vol. %	RMC (Saturated Ratio) %	F. C. By Vol. %	W. P. By Vol. %	Effective Porosity vs. F. C. %	Si+C %	Bulk Density (g/cc.)
大屯	35-50	40	10	75	39.0	8.6	1.0	82.12	1.60
歡雅	25-45	36	16	54	34.2	10.7	1.8	58.06	1.64
公塢	35-45	39	10	75	27.1	6.8	11.9	83.16	1.42
太康	50-70	37	14	62	34.2	15.6	2.8	61.10	1.67
七股	35-50	39	19	50	37.7	11.9	1.3	79.56	1.61
西港	15-40	38	14	60	37.7	15.5	0.3	77.62	1.57
林鳳營	25-40	38	19	50	35.9	16.9	2.1	81.12	1.63
海寮	30-50	39	11	72	33.8	8.2	5.2	70.12	1.55

* 不很顯著

由表(七)結果中顯示，犁底層之平均孔隙度約38%。而RMC(自然殘餘水分)含量高達60%(佔飽和度)以上；亦即說在長時期乾旱之情況下，犁底層之土壤濕度仍能保持在二分之一有效水分左右(1/2AWC約62%)。為所有測點土層在0~100cm中水分含量飽和率最高之層次。由於犁底層土壤保水力極強，因此其有效通氣孔隙度(v.s.F.C.)除公塢測點在11.9%左右，其餘均在5%以下。此種現象，即說明犁底層

若稍加灌溉，土壤即達飽和，同時排水不良，空氣極不流暢。對較深根作物之根系發育影響很大。

6.3 地下水位之高低與毛管水上升之影響

在乾旱季節，土壤水分分佈，主要受地下水位之影響。根據1969~1971年三年雨量記錄顯示，嘉南地區月平均雨量如表(八)。自每年6~10月間偏高屬雨季，11月至翌年5月雨量少為乾季。

表(八) 嘉南地區 1969~1971 年三年平均雨量記錄 (月平均)

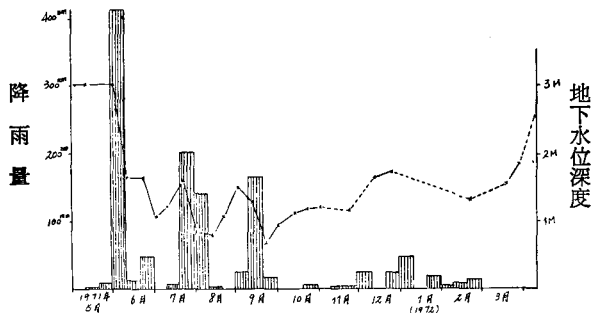
Month	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Depth of R. F.	33.10	11.86	1.73	31.70	100.5	320.1	184.3	170.8	215.7	10.4	3.5	14.40

表(九) 1971年5月~1972年3月止十測點平均雨量與地下水位平均深度(旬平均)

Month	*	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.
Depth of R. F.	10	0	412.02	2.86	141.62	27.85	1.13	0	22.78	51.08	4.27	0
	20	3.45	13.26	6.87	6.35	162.93	0.21	0.74	0	0.87	7.48	0
	30	7.99	54.24	204.35	1.42	19.07	6.11	0.74	22.22	19.40	15.02	0
Depth of G. W.	10	—	3.09	1.15	0.91	1.54	0.88	1.20	—	—	—	—
	20	3.01	1.63	1.23	0.81	1.29	1.13	—	1.62	—	—	1.57
	30	—	1.64	1.61	1.10	0.67	1.18	1.16	1.72	—	1.26	1.82

R.F.: Rainfall (mm); G.W.: Ground Water. (M.) * 旬別

因地下水位與降雨有高度之密切相關。可知每年地下水位偏高者，應於每年6~12月間。根據表(九)自1971年5月~1972年3月止降雨量與地下水位變動，繪於圖(十)。在圖中可看出在7~9月間地下水位升高至平均不及1m者。是項資料尚未收集完整，故無法作更進一步之探討。

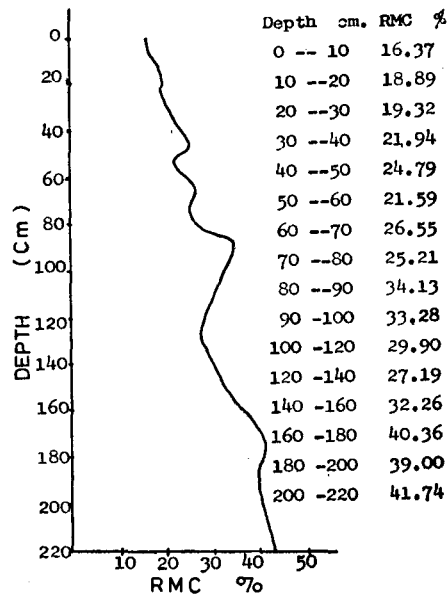


圖(十) 嘉南地區 1971年5月~1972年3月平均降雨量與地下水變化圖(十測點平均結果)

據前所討論，毛管水上升高度完全取決於毛管水上端彎月面所在孔徑大小。依十測點土層剖面殘餘水分量(Residual Moisture Content)之統計結果，繪於圖(十一)，可知各層次土壤水分含量，隨土層深度增加而增加，通過毛管飽和區與地下水位相連，然而其間之變化，並非完全呈直線增減，主要乃依土層質地不同而變異。造成土層水分往上逐層減少之原因，乃由於毛管位能與毛管導度之不同所致；同時上層土壤孔隙空間往往較下層為大，水分受靜壓力之作用排去；再者表層受蒸發之影響亦是原因之一。

在自然狀況下，毛管水上升之高度，在本試驗中很難精確地作一論斷。主要是因為無法獲得真正之實測值。但可作一假定，假若 M.E. 與土壤真正 F.C. 一致。根據 F.C. 值之定義，在久旱無雨或灌溉之情況下，如果田間土壤水分含量超過真正 F.C. 濕度值，則必為毛管水所致。(低過此值並非意味不受毛管

水之影響)。所以在十測點中，除公塢、林鳳營二測點無法確定外，其餘八測點土壤水分均超過 M.E. 值，至地下水面距離高度，可列如表(十)。



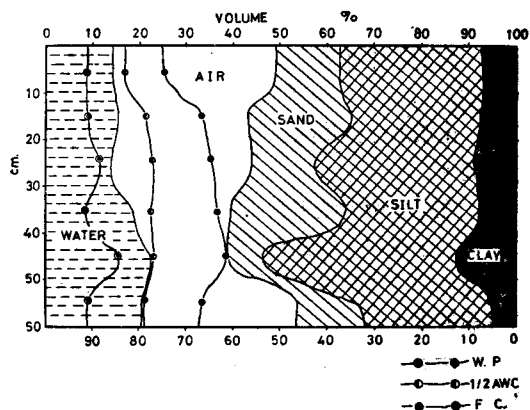
圖(十一) 旱季時期土層剖面水分分佈

表(十) 自然狀況下，土壤水分上升高度(以 M.E. 為準)

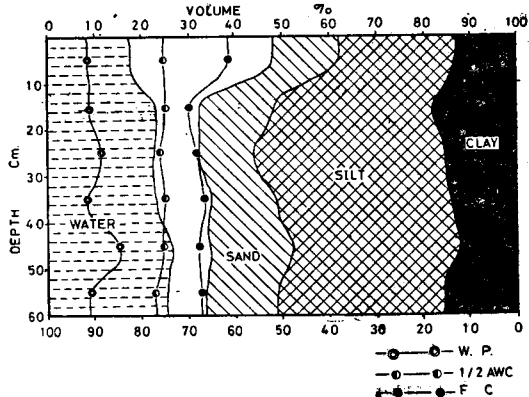
項目	毛管飽和高度 (cm)	毛管水上升之高度 (以 M.E. 為準)	距地表高度 (cm)
海寮	50	150	40
中營	42	142	90
西港	68	178	200
歡雅	70	130	150
大屯	124	224	80
七股	32	162	80
太康	50	240	120
六分寮	50	240	80

由上求資料顯示，毛管水上升高度約為 180cm，而接近地下水面約 60cm 之土層為毛管水所飽和。此結果與徐玉標 (1966)⁽⁸⁾ 教授，在室內控制下進行試驗所獲得之結果，稍為偏高。關於毛管水上升問題，在質地不同，層次不均一之土層情況下，往往所測出之結果差異很大。為想更澈底，更深入之瞭解，進一步之試驗與研究是必要的。

另外一方面，根系層土壤由於久旱之關係，土壤中之水分欠缺很大。根據嘉南學甲旱作灌溉研究試驗結果⁽³³⁾ 顯示。當土壤水分降低至 1/2AWC 時，作物產量即有顯著之減低。依查依澤夫氏之認定，田間最適宜之土壤濕度下限約為田間含水量之 70%⁽⁸⁾。由於 1/2AWC 及 70% F.C.，均受不同質地之土壤影響。以七股圖(㉔)；中營圖(㉕)；六分寮圖(㉖)；三測點為例，若以 1/2AWC 為準，在根系層 60cm 中，七股測點欠缺之水分量最多，達 33.90mm。中營測點則為 12.24mm，六分寮測點最少，只需加灌 2.36mm，即可達 1/2AWC 之要求。然而 1/2AWC 僅為有

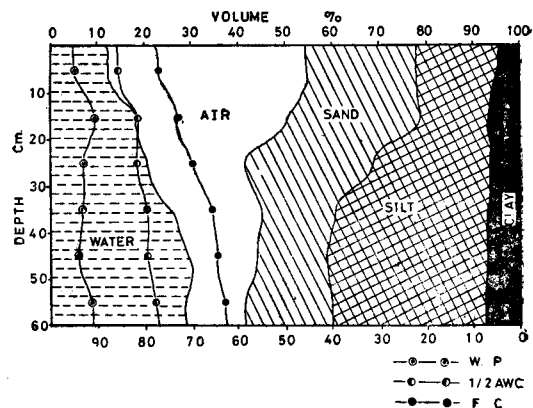


圖(㉔) 七股測點根系層土壤三相分佈圖



圖(㉕) 中營測點根系層土壤三相分佈圖

效水分之下限，為達到 F.C. 濕度含量，七股在 60cm 根系土層中，必需加灌 88.65mm 的水。中營則應加 60.98mm，而六分寮測點 52.98mm。



圖(㉖) 六分寮測點根系層土壤三相分佈圖

6.4 非均一質地土層乾季中水分含量之特徵

嘉南區域沖積土，各層質地多不均一，此種非均一性土壤在乾季中之保水力各有其不同之特徵，如表層粘重而心層或底層粗疏者，則當地下水位下降至相當深度之後，在質地粗疏層便造成毛管斷袋，而使其上層土壤嚴重缺水，反之，表層疏鬆而心層粘重者，由於粘細土壤之毛管直徑小，水分上升慢，亦易造成上層之缺水現象，至於根系土層中呈現中細及粘質地間層者，其水分之上升或下滲將受最粘重間層或最粗疏間層之影響，前者能使其運動速度減緩，後者有使毛管上升產生切斷之危險，因此，在非均一土層，土壤質地變化甚大時，因毛管大小交替，影響水分之連續性，在乾旱季節，地下水位下降時，能使旱田土壤表層部分，發生水分失調現象。

6.5 不同質地土壤保持水分之狀況

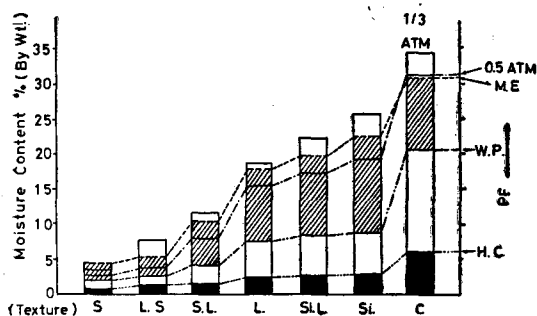
茲將 187 層次土壤分析結果，歸納成七類加以研究。土壤之粗細度由左至右順序繪於圖(㉗)。

由圖中，可瞭解在同一 P.F. 值之下，土壤愈細，所能保持之水分愈高。當 P.F. 增大時，所保持之土壤濕度逐漸減低。在此必須注意的是，土壤對灌溉之有效水量（繪斜線者），以中質地保持量最大。粗質地最小。細質地界於二者之間。這主要原因是粗質地土壤保水力弱。細質地保水力雖強，但其龐大之吸附力影響下，使得一部份之水份，並非植物所能利用。再者 M.E. 之範圍，亦可自圖中獲知，粗質地土壤之 M.E. > 1/3 ATM. 水分含量，壤質砂土一坩土之

表(四) 不同質地之土壤，在一定 P.F. 情況下之保水記錄

Texture	1/3 Atm. By Wt. %	1/2 Atm. By Wt. %	M. E. By Wt. %	W. P. By Wt. %	H. C. By Wt. %	AWC. By Wt. %	Porosity By Vol. %	Eff. Poro. By Vol. %
Sand	3.37	2.26	4.02	1.73	0.53	2.29	—	—
L. S.	7.49	3.79	5.22	2.43	1.10	2.79	43.38	35.34
S. L.	11.50	7.57	10.28	4.01	1.30	6.27	44.38	28.75
Loam	18.45	15.28	17.73	7.40	2.28	10.33	44.86	18.26
Si. L.	22.24	17.19	19.73	8.42	2.59	11.31	45.37	16.17
Silt	25.62	19.11	22.50	8.57	2.76	13.93	47.47	14.62
Clay	34.18	31.03	30.69	20.36	5.71	10.33	—	—

M.E. 界於 1/3ATM 與 1/2ATM. 水分含量之間。粘土之 M.E. 雖在 1/2ATM 以下，但非常接近。此外，根據資料統計結果（見表(四)）顯示。細質地之土壤孔隙率比粗質地土壤者為大，而其有效孔隙度（對 M.E.），則恰為相反。此足以說明何以粗質地土壤中自由水，比細質地者，流失較迅速之原因。



圖(四) 不同質地土壤保水之狀況

6.6 地下水位深淺對作物影響之文獻探討

根據包敦樸、洪瑞麟 (1961)⁽¹¹⁾ 二氏，張玉鑽氏 (1970)⁽¹⁰⁾ 曾利用甘蔗，在控制地下水位情況下，觀察其對甘蔗產量之影響。渠謂：甘蔗產量與地下水位呈 150cm > 100cm > 50cm。而自然地下水位之甘蔗產量又介於 100cm 及 50cm 之間。寺澤四郎 (1963)⁽¹⁰⁾ 氏，在旱地土壤水分運動研究中，利用陸稻等作物試驗，認為作物之莖葉風乾重與穗數，均以有地下水位者，高於無地下水位者，而均勻質地之土層所獲之結果較非均一土層為高。造成上述現象，不無理由。根據本試驗測定，自然地下水位變動非常大，由表層 300cm 以下到數十公分間變動。而且層次性土壤，往往有禁閉空氣杜絕毛管水而發生斷袋。失去其連續性。使下層水分無法上升，作物無法獲得適當之水分供

應。

柒、結 論

本文目的是研究嘉南地區三年輪作田在旱季中土壤剖面各層次間三相分佈之狀況及特徵。以八掌溪以南鹽水溪以北之區域中，分別選掘十代表性測點，經田間實地觀測與實驗室觀測結果顯示：

- (1) 嘉南平原各類土壤剖面層次間質地之變異頗大。
- (2) 土壤水分分佈隨土壤質地之變異，其分佈狀況亦不同。
- (3) 在旱季中，地下水水位下降，毛管活動區下移，不同深度土壤中。因受毛管位能及毛管導度之影響，根系土層中之含水量，愈近地表含水量愈小，缺水之程度愈嚴重。
- (4) 土壤質地與土壤保水力之間，有極高度之相關。
- (5) 輪作田因與水稻輪栽，耕犁層下多有犁底層出現，其容重較大，孔隙度低，不利土壤通氣及排水。
- (6) 根據乾季中土壤所能保有之水量，一般多在 1/2 有效水分含量上下，表示應補充灌溉，至於灌溉水量、期距，則視土壤質地，原有含水量，地下水位及季節等因素而定。
- (7) 非均一質地之土層中，由於毛管直徑大小不一，在交替部位容易失去毛管之連續性，所以影響毛管水上升之速度，因此在根系土層中，往往容易造成缺水之現象。
- (8) 不同質地土層中，其有效水分含量亦有不同，以中質地之壤土及粉質壤土有效水分範圍最大，粗質地最小，粘質地介乎兩者之間。

(9) 根據本研究所參考之各方面文獻，嘉南地區甘蔗之產量與地下水位呈 $150\text{cm} > 100\text{cm} > 50\text{cm}$ ，陸稻以有地下水位者高於無地下水位。

捌、誌 謝

本文蒙所主任張建勛教授的鼓勵與徐玉標教授細心指導，始得順利完成。文成後，復蒙徐師於百忙中抽暇核正，不勝感激。

吾師施嘉昌教授，施清吉教授，劉佳明教授及系中各位師長平日悉心教導，使我獲益非淺。田間觀測及實驗室測定，蒙學甲站黃主任、葉政秀講師、湯松義、游輝榮諸先生之協助，此外游福仁、林俊男、鄧東茂諸學長之幫忙，以及李美慧同學協助整理資料，相互切磋，謹此一併致謝。在此，我得向慷慨捐助土地作為實驗之農友致敬。

最後，我謹向遠隔重洋的父母親及哥哥們致最大的敬意，謝謝他們給我的培養與鼓勵。謝謝！

玖、參 考 文 獻

1. 土壤水(1) 土壤之孔隙度，徐玉標，科學農業第18卷，第5,6期，1970年5月。
2. 土壤水(2) 水之特性及水在土壤中之現象與本質 徐玉標 科學農業第18卷，第7,8期 1970年7月。
3. 土壤水(3) 土壤水與植物之關係，徐玉標 科學農業，第18卷第11,12期，1970年11月。
4. 土壤水(4) 土壤保持水分的位能觀念，徐玉標，科學農業，第19卷第7,8期，1971年7月。
5. 土壤水(5) 土壤水分常數及土壤水形態之分類。徐玉標，科學農業，第19卷第11,12期，1971年11月。
6. 土壤水(6) 自由重力水，徐玉標，科學農業，第20卷第3,4-9,10期，1972年3月。
7. 慣用土壤水分常數與水分性能曲線之研究，陳振鐸，國立臺灣大學農學院研究報告，二卷五期，1953年3月。
8. 地下毛細管作用對旱作灌溉之影響，徐玉標，農業工程學報，第12卷，第3期，1965年9月。
9. 灌溉實習講義，臺大農工系。
10. 控制地下水位與土層深度對甘蔗灌溉之效果。張玉鑽，臺灣糖業試驗所彙報，第51號 1970年9月。
11. 地下水位高低對甘蔗(N:Co 310)生育、產量及根系之影響(1961) 洪瑞麟、包教樸，糖試所研究彙報第24期。
12. 灌溉土壤學講義~土壤懸着水。徐玉標，臺大農工系。
13. 臺灣輪作田土壤水分之研究。游福仁，碩士學位論文。
14. 土壤學 T. L. Lyon 著，朱海帆譯，正中書局。
15. 耕地排水學 蔡文仲譯，徐氏基金會出版。
16. The Influence of Texture on the Moisture Characteristics of Soils. By P. J. Salter and J. B. Williams
A. A Critical Comparison of Techniques for Determining the Available-Water Capacity and Moisture Characteristic Curve of a Soil. In J. of Soil Science. Vol. 16, No. 1, 1965.
B. Available-Water Capacity and Moisture Release Characteristics. In J. of Soil Science. Vol. 16, No. 2, 1965.
C. Quantitative Relationships Between Particle Size Composition and Available-Water Capacity. In J. of Soil Science. Vol. 17, No. 1, 1966.
D. A Method of Estimating the Available-Water Capacity of Profiles in the field. In J. of Soil Science, Vol. 18, No. 1, 1967.
E. Relationships Between Particle-Size Composition and Moisture Contents at the Upper and Lower Limits of Available-Water. In J. of Soil Science. Vol. 20, No. 1, 1969.
17. Fifteen-Atmosphere Percentage as Related to the Permanent Wilting Percentage. L. A. Richards and L. R. Weaver. In Soil Science. Vol. 56, 1943.
18. Physical Theory for Capillary Flow Phenomena. E. E. Miller and R. D. Miller. In J. of Applied Physics. Vol. 27, 1956.
19. The Moisture Equivalent as a Measure of the Field Capacity of Soils. In Science Vol. 32, F. J. Veihmeyer and A. H. Hendrickson.
20. Moisture Equivalent Determinations and Their Application. In Pro. of the Amer. Soc. of Agr. By Lyman J. Briggs and J. W. McLane.
21. A Physical Theory of Soil Moisture Relations. In J. of Agr. Science. Vol. 14, B. H. Wilsdon.
22. Soil Physics. Third Edition. L. D. Baver.

- 1961.
23. Field Measurement and Use of Soil-Water Properties. J. M. Davidson etc., In Water Resources Research. Vol. 5, No. 6. 1969.
 24. Application of Wilting Coefficient Determination in Agronomic Investigation. Lyman J. Briggs and H.L. Shantz. In Pro. of the Ame. Soc. of Agronomy.
 25. Studies in the Physical Properties of Soils. 11. A Note on the Cohension Developed by Capillary Forces in an Ideal Soil. William B. Haines. In J. of Agr. Science Vol. 15.
 26. On the Moisture Relationships in an Ideal Soil. Bernard A. Keen. In J. of Agr. Science. Vol. 14.
 27. Physics of Pesaturation in Porous Materials. N. F. White, H. R. Duke, D. K. Sunada, A. T. Corey. In Asce. Vol. 96, No. IR 2, 1970.
 28. Physical Chemistry. Third Edition, Daniels and R. A. Alberty, 1966.
 29. Movement of Moisture in Fine Sand. P. C. Carman, In Soil Science. Vol. 52. 1941.
 30. Introduction to Soil Mechanics. Alfreds R. Jumikis. 1967.
 31. Clay in Engineering Geology. J. E. Gillott.
 32. The Volume and Poroeity of Soil Crumbs. J. A. Currie. J. Soil Science. Vol. 17, 1966.
 33. Upland Crops Irrigation Experiments in Chia-Nan Area. Kent. F. Chang etc., 1965, 1966. In Chinese.



美國強鹿公司
各式曳引機及農具
JOHN DEERE
TRACTORS &
IHPLEMENTS

臺灣總代理

晉大實業有限公司

地址：臺北市仁愛路二段一一〇號四樓

電話：3 2 5 6 7 1. 3 2 5 6 7 2

服務中心

中華柴油技術服務社

地址：臺北市八德路一段十九號

電話：3 4 7 9 6 1