

臺灣輪作田土壤水分運動性之研究

Study on the Movement of the Soil Moisture in Upland Crops Rotation Field

游 福 仁* 徐 玉 標**

F. J. Yu.

Y. P. Hsu.

中 文 摘 要

臺灣輪作田，水稻與旱作物輪流栽培，兩者栽培方法完全不同，又因地下水位普遍很高，土層中之土壤水分運動，有從上向下滲漏流動者，亦有因蒸發或植物之吸收，水分從地下水面向上運動者，故其對於土層土壤之影響與純水田或純旱田者完全不同。

過去，對輪作田的作物需水量和灌溉配水方法，曾作許多之研究，且獲致豐碩之成果。但是有關其土壤水分之運動很少研究，所以在這方面的知識還很缺乏。本研究之目的，即在對輪作田土壤水分之運動作概括之探討，使對於這種栽培制度下，形成之土壤水分特性，有一徹底之認識，然後，有利於作物生長環境之改善。

研究之方法，是就嘉南區域選擇土壤質地不同之三個觀測點：麻豆一黏土，新市一坵質壤土，角帶一砂壤土。在田間採土測定土壤含水量，使與當地之栽培環境相同。採土深度達1米根系土層。觀測時間自1967年6月至1970年5月。

試驗經分析獲致之結果顯示：

1. 一米根系土層之有效水分範圍，以0~20cm為最狹，40~60cm最寬。
2. 輪作造成之緊密層，若以有效孔隙最小存在之深度，依土壤質地而不同，麻豆為40cm，新市60cm，角帶80cm。
3. 新市與角帶因地下水位高，土壤水分可由地下水即時補充，所以無論在雨季或乾季，空地或有栽種作物地之土壤含水量幾乎沒有大的差異。
4. 雨季與旱季初期，地下水位高時，土壤含水量過多，種植旱作物，可能需要施行排水，降低地下水位，以利根系發展，降低之程度則有待進一步之研究。
5. 麻豆觀測點旱季各土層土壤含水量皆在水分當量以下，凋萎係數以上。以20~40cm層降低最利害。新市與角帶觀測點各土層土壤含水量皆在水分當量以上。
6. 麻豆觀測點下層土壤含水量都在19~24%之間，只有60~80cm層降雨後土壤含水量高於24%以上。旱季上層土壤水分含量呈層狀分布。新市觀測點土壤含水量大部在根層平均水分當量19%以上。角帶觀測點大部土壤含水量在根層平均水分當量加5%，即16%以上，旱季上層土壤含水量降至11~16%之間。

本研究因限於田間設備與限制因子之複雜，只能對土壤水分之運動性作定性之統計量測，關於定量則有賴於採取土柱，在實驗室內作進一步之研究。

壹、前 言

水分是作物生長必需之要素之一，水分除直接供給作物組成作物的個體外，且間接為作物營養料進入作物體之主要媒介。土壤中之水分是作物所需要水分之主要來源，所以研究提高作物產量及品質，土壤水分是首先應行探討之對象。

土壤是栽培作物的基礎，其對生產作物的能力，

除依靠供應適當量的營養分外，同時還依靠土壤中水分與空氣之間適當之平衡關係⁽¹⁾。關於土壤水分在土層中的運動性態，以及其對植物利用之有效性問題，素來被各國土壤學者及灌溉工作者所重視。⁽²⁾⁽³⁾在臺灣，已往之研究方針，歷來多偏重於作物營養肥力方面，近年來逐漸有人開始對作物水分生理⁽⁴⁾作物需水量⁽⁵⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾，灌溉方法⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾，以

* 臺大農工系研究助理

** 臺大農工系副教授

及灌溉施肥之交感效益上之探討。但對當地農田之環境，氣象水文狀況，灌溉管理上所產生之影響，尚未見到有關此方面之文獻資料。所以對實際工作者而言，往往有僅知其然而不知其所以然之感。

嘉南平原是臺灣農業主要耕作區域之一，灌溉事業非常發達。但由於灌溉水量不敷分配，所以在耕地上實行水田與旱田之輪作制度⁽⁸⁾。此種輪作制度，長期實施以來其對農田土壤之物理，化學性態，尤其是土壤構造⁽⁹⁾，土壤保水力，水分之運動性等均與一般純旱田有很大之不同。最明顯之特徵是：

1. 田面平坦：輪作田因栽培水稻，一般田面坡度很小，幾成水平狀態，平均僅約百分之零點二。因此，如非暴雨，逕流很小，增加水分下滲之機會。

2. 犁底層有粘盤存在：輪作田由於長久以來水稻與旱作輪栽結果，在耕犁層中土壤原有之團粒構造之大團聚體多已破壞，而成緊密粘閉構造。耕犁層之下因水分滲濾作用，粘粒沉積，形成滲透性極緩慢之粘盤。

3. 土層中往往有裂縫形成：輪作田由於水稻種植後改種旱作物時，土壤水分亦由飽和狀態漸降至旱田乾燥狀態，其時田面土壤產生收縮龜裂，此種龜裂土壤，在耕犁時很難破碎，增加田面之粗糙率，影響灌溉效率，同時，水分沿裂隙滲入時，土層水分分佈不易自上而下均勻分佈，其下滲過程是受裂隙分佈呈不規則的均勻分佈。

4. 地下水位高：嘉南區域內輪作田，因受水稻灌溉之影響，地下水位一般均很高，根系土層多在毛管活動區範圍之內。

5. 作物種類繁多：輪作田區域內因實行輪作制度，作物種類繁多，對土壤之影響複雜，同時，由於作物之需水量和作物生育之臨界期不一，所以對灌溉管理更趨複雜。

由於上述之特徵，所以在嘉南區域內，多年以來作物需水量試驗，結果顯示：溫室所得之需水量值往往大於滲漏桶所測定者，而後者所得的值又大於田間之需水量值⁽¹³⁾。此種情形值得說明的是：

1. 以特殊處理得到的結果，不能直接應用於田間。

2. 田間在高地下水位時，往往能由毛管作用供應，作物需要的水分⁽¹¹⁾。

所以，在田間直接調查觀測，來探討土壤水分之運動性，對作物之生產上具有特殊的意義。本研究的目：即在田間情況下，直接觀測土壤水分的週年變

化狀況來探討不同質地土壤，土層中土壤水分的運動性，尤其是毛管水活動範圍，供該地區今後灌溉管理上的參考。

貳、土層中土壤水分運動性之理論

1. 土壤水分運動性概說：

土壤中水分運行之型態可分液態水和汽態水兩種。站在灌溉立場來說，討論的是側重於各種範疇中水分運動型態對作物之有效性，其在一般狀態下，絕大部份以液態水為主，所以本文所探討之土壤水分，僅限於液態水之運動性。

作用於土壤液態水的力可大別為五種⁽¹⁴⁾即：

- (1) 吸附力
- (2) 吸著力
- (3) 滲透力
- (4) 毛管力（或稱彎月面力）
- (5) 重力

事實上，上述五種力的作用範圍並不容易劃分，因其力的性質，大小是隨著土壤濕度而轉移，且彼此互相踰越。其情形是隨著土壤濕度增減之過程中，往往一種佔優勢力逐漸消滅，另一種力即開始慢慢增大，其間並無明顯的界限，所以，為測量上之方便，表示作用於土壤水的力，祇能以各種力之合力——土壤吸力來表示它的特性。

土壤水分發生運動的主要原因是在於作用於土壤不同部位之水分的力不平衡，即相鄰兩點間產生力差。水分從保持水分較弱的地方向較強的地方運行。土壤保持水分的力隨土壤濕度不同而定。一般土壤濕度大時，保持力較小，運動性亦大；濕度小時，保持力較大，運動性亦小。由於土壤質地結構不同，其孔隙大小，形狀亦異，兩種土壤有相同之濕度，保持力的性質可能不同。所以單以土壤濕度值並不能精確說明土壤水運動性之大小。保持水分的力是以土壤水存在顆粒表面水膜厚薄決定，顆粒表面水膜厚時保持力弱水膜易運動，水膜薄時保持力強，運動性亦很低，所以土壤水之運動性亦取決土壤孔隙為水充滿之程度⁽³⁰⁾。

土壤水之運動性隨土壤濕度之增加而增快，其變化的方式不是漸變，而是呈飛躍式的變化，在各種質地與結構土壤中土壤水的運動性，在田間容水量以上時，一般都有很高之運動性，以下時運動性急速降低，若濕度降至毛管斷裂濕度時，土壤以束縛水形式保持水分，以水膜方式運動，此時土壤水所受的作用力很大，密度加大，黏度高，所以運動性變得非常慢。

就土壤水運動性與濕度之關係來說，可分三種類型：

- 易運動水 飽和持水量至田間容水量。
- 中等運動水 田間容水量至毛管斷裂濕度。
- 難運動水 小於毛管斷裂濕度。

即就土壤水之運動性來說田間容水量和毛管斷裂濕度為水分運動性之二個轉捩點⁽¹⁴⁾。

2. 土壤水之運動

(1) 不栽種作物土壤中水分之運動：

土壤不栽種作物時，其土壤水之運動性完全由作用於土壤水的力差所引起。決定土壤水運動最早之應用公式，於 1856 年 Darcy 氏⁽¹⁵⁾ 所創立：

$$V = -K_s \frac{h}{l}$$

V = 水流速度 (cm³/sec)

h = 壓力水頭差異 (cm)

l = 土柱長度 (cm)

K_s = 飽和時之比例常數，即透水係數

(cm/sec)

Darcy 定律的原始導演是由裝置砂土土柱在飽和狀態下而得到之結果⁽¹⁶⁾，惟事實上，土壤水的運動存在各種不同質地的土壤，水分亦非完全飽和，同時可向不同方向運動。雖然有許多學者建議 Darcy 氏定律，可應用於飽和與非飽和土壤中，但其適用性大可懷疑。

1899 年，Slichter⁽¹⁷⁾ 氏根據土壤中水分可向不同方向運動，修正 Darcy 氏公式為

$$\vec{V} = K_s \vec{\nabla} H$$

$$\text{式中 } \vec{\nabla} H = \frac{\partial H}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial H}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial H}{\partial z} \vec{k}$$

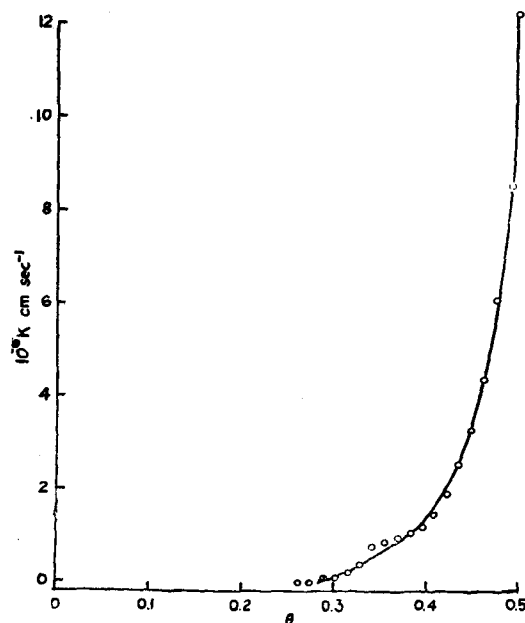
K_s = 飽和時之水力導度

由於土壤水之運動隨土壤含水量之多少而變化，欲使 Darcy 氏定律應用於飽和與非飽和土壤中，必須考慮水力導度 (K) 與土壤含水量之關係。1931 年，Richard 氏根據 Slichter 氏之觀念對 K_s 與含水量作適當之假定，而導出土壤水之運動公式：

$$\vec{V} = -K(\theta) \vec{\nabla} H$$

式中 $K(\theta)$ ：土壤含水量為 θ 時土壤水力導度。

$K(\theta)$ 值隨土壤含水量之減少而急遽降低。 $K(\theta)$ 與 θ 之關係如圖 (1)⁽¹⁸⁾。



圖(1) yolo 輕粘土水力傳導度 $K(\theta)$ 與含水量 θ 關係曲線

以上各式，對土壤之滯後作用對土壤水之運動所產生之影響都不加考慮。1955 年，Richard 氏考慮滯後現象，將土壤水之運動公式再加以修正：

$$\vec{V} = K_H(\theta) \vec{\nabla} H$$

式中： $K_H(\theta)$ ：在有高滯後作用時，土壤水力導度

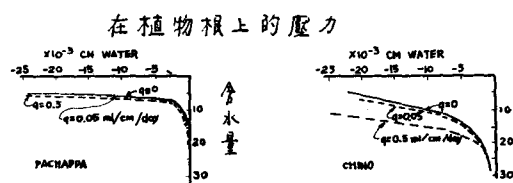
事實上土壤中之空氣，顆粒之大小排列，孔隙之形狀，以及顆粒表面之污染，對於水分之運動均有很重要之影響。

(2) 有栽種作物土壤中水分之運動：

當土地栽培作物時，作物吸收土壤中之水分行蒸散作用。其吸收水分之作用分為二類：一為主動吸收 (active adsorption)，另一為被動吸收 (passive adsorption)。所謂主動吸收，是指低蒸散時，根系對水分之吸收，其吸收壓力大約為 1~2 atm，吸收量小於總吸收量之 5%。當土壤保持水分之壓力小於 -1 或 -2 巴 (bars) 時，主動吸收即停止。所謂被動吸收是當作物蒸散作用進行很快時，木質部的水分降低量較作物吸收量為大，此時作用於作物木質部的水分的壓力，降低趨近於零。若蒸散作用繼續進行，在木質部液汁產生能力，傳達植物根表面，降低根組織水分能量，此時土壤中之水分即沿著產生水力梯度的方向，進入根之木質部。作物吸收土壤水分的作用主要為被動吸收，吸收量約為總吸收量之 90% 以上。

植物吸收水分。受植物因子與土壤因子之影響。植物因子包括植物之種類，根系的分布與吸水之有效性等。土壤因子則包括土壤中有效水分，土壤溶液濃度，土壤空氣含量，與土壤溫度高低等。

植物吸收水分時，在根內產生之壓力與土壤含水量之關係⁽¹⁷⁾如圖(2)



圖(2) 植物吸水速率，土壤含水量，與其根上的壓力之關係曲線

根羣吸收土壤中水分若不考慮重力對土壤水之作用則可以下面公式表示：

$$C(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \nabla \text{div} [K(h) \nabla H] + G$$

式中：C(h)：係數

h：土壤保持水分之壓力

K(h)：土壤保水壓力h時之土壤水力導度

G：為一函數，表示單位體積土壤在單位時間產生之水體積。在吸收水過程中，G為負值，視根所在位置或生長時間而定。

3. 土壤毛管水運動性之探討

所謂土壤毛管水是指在土壤中受毛管力之作用而存在之水分。此種受毛管力作用而存在之水分依水體存在之環境可分為：

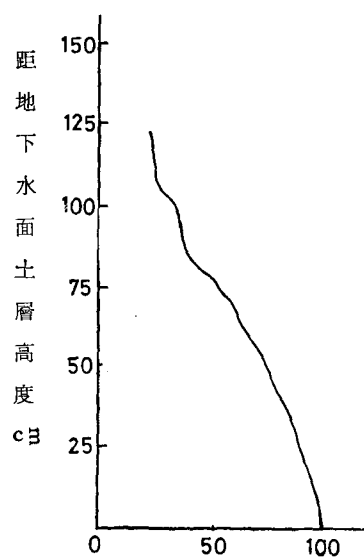
(1) 毛管懸著水

(2) 毛管支持水

毛管支持水之水體與地下水有靜壓力之聯繫，而毛管懸著水則否⁽¹⁴⁾。通常討論地下水對作物之補充，主要指毛管支持水。

毛管支持水存在之範圍稱為毛管水活動區，介於地下水面與支持重力水上限之間。支持重力水是指當土壤含水量達田間容水量以上時，水分受重力之作用向下層運動。在運行過程中遇到不透水層，則該受重力作用而下行之水分停滯在不透水層之上，如同被不透層支持一樣。此時水分滲透性態變為潛在性。在毛管水活動區內，水分含量隨距自由水面愈遠自由水量亦逐漸減少，因而總水量亦逐漸減少。區內土壤含水

量之分布如圖(3)。



濕度% (佔飽和持水量)

圖(3) 土壤層中毛管支持水的分佈

在毛管水活動區內，土壤中之水分，若因蒸發或植物吸收而消耗時，水分借毛管力之作用，由自由水面向上移動來補充損失之水量，因此，在活動區內之土壤含水量沒有明顯之變化。土壤含水量值介於飽和持水量至田間容水量值之間。

毛管水活動區的範圍，視土壤質地，孔隙的大小，土壤水含鹽濃度等而定。在愈黏重土壤中，水分上升之高度愈高，即毛管水活動範圍愈大，但因磨擦阻力很大，所以上升速度很慢。在較輕土壤中，活動範圍較低，上升速度較快。

關於毛管水上升之最大高度，曾有許多研究，茲將已得之結果，依不同之限制因子分別試述：

A. 根據茹林公式求出：

$$H = \frac{0.15}{r}$$

式中：H：毛管上升高度

r：毛管半徑

此式主要應用於圓柱狀毛管，在自然狀態之土壤，因土壤孔隙即非均勻又非圓柱狀，所以應用此式求得之毛管上升高度並不適合。此式只是最原始之公式而已。

B. Terzaghi 氏根據土壤孔隙比 (porosity) 與有效粒徑而導出⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾。

$$h_c = \frac{C}{\epsilon d_{10}}$$

式中： h_c ：毛管水上升最大高度
 ϵ ：孔隙比(%)
 d_{10} ：有效粒徑(按機械分析曲線通過篩的成分為10%時之最大粒徑)(mm)。
 C ：經驗常數，由0.1~0.5
 (mm²)。

C. 1941年 P.C. Carman 氏根據孔隙比與土壤固相單位體積之顆粒表面積，導出⁽²¹⁾：

$$h_c = \frac{\sigma S_0 (1-\epsilon)}{\rho g \epsilon}$$

式中 h_c ：毛管上升最大高度
 σ ：液體之表面張力
 ϵ ：孔隙比(porosity)
 S_0 ：土壤固相單位體積之顆粒表面積。
 ρ ：液體之密度
 g ：重力加速度

D. I. G. Glukov 對各種不同土壤質地，土層均一時，於實驗室得出毛管上升高度⁽²²⁾為：

土 壤 質 地	毛管上升高度 (cm)
粗 砂	2 — 5
中 等 砂	12 — 35
細 砂	35 — 70
砂 質 壤 土	70 — 120
壤 土	120 — 150
黏 土	150 — 300

上述諸公式，在求毛管上升高度時，皆以孔隙比，有效粒徑或假定土層均一之情況下推導出者。事實上，影響毛管上升高度之最重要因素為孔隙之大小。而自然狀態之土壤，其土層非均一，且影響孔隙大小之因素非常複雜。所以毛管上升高度並不容易正確求得。例如在黏土中，依茹林公式毛管上升高度可達308米⁽¹⁴⁾，但是實際測定時不過3米，因此，上述各式只可說是實驗室的公式，應用於土層非均一，質地各不同時非常困難。

毛管上升高度取決於毛管彎月面力的大小⁽²³⁾彎月面力愈大則上升愈高。而彎月面力的大小，依毛管中水面之曲率半徑而定，即毛管上升高度視曲率大小而定。若以毛管中力之平衡來討論時，可分兩類：

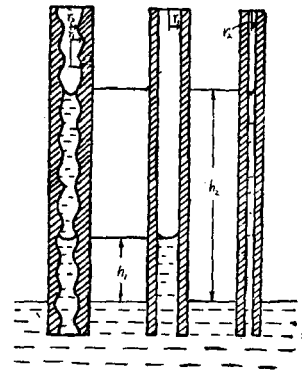
(1)半徑均一毛管插於水中時，水分上升處於大氣

壓力，表面壓力，水柱靜壓力之平衡，可以下式表之：

大氣壓力=表面壓力+水柱靜壓力

而水柱靜壓力決定於水柱高度，亦即水柱高度與表面壓力互為消長。

(2)念珠狀毛管中(如圖(4))水柱存在之高度⁽²³⁾，亦如(1)是為水柱高度與表面壓力之消長。其最大不同的地方是：若水分從地下水面向上升時，毛管停止於大孔隙中，高度與毛管半徑等於大孔隙者相等。若在地下水位向下降



圖(4)念珠狀毛管中水分的平衡

低時，此時毛管停止在

細孔隙中，存在高度與

毛管半徑等於細孔隙者相等。所以，當地下水位在上升或下降過程中，毛管上升高度不同，下降時毛管高度常較上升時為高。念珠狀毛管近似於自然狀態土壤孔隙，所以以它來考慮探討自然狀態土壤中毛管上升現象最合適。

所以，當地下水位在上升或下降過程中，毛管上升高度不同，下降時毛管高度常較上升時為高。念珠狀毛管近似於自然狀態土壤孔隙，所以以它來考慮探討自然狀態土壤中毛管上升現象最合適。

參、研 究 方 法

本研究主要為針對臺灣輪作田在不同季節降雨分佈及地下水位變動情形下，對其根系土層中水分運動性作全面性之檢討。臺灣輪作田，以嘉南平原烏山頭灌溉系統灌區最為集中，面積廣達75,000公頃，本文筆者因時間及經費所限，所以僅能就該系統內選擇土壤質地完全不同之三觀測點，就輪作田之特徵，作初步之研究，研究項目可分如下幾種：

(1)在旱季及雨季中，根系土層中水分分佈之情況及其對植物有效水分貯藏量之估計。

(2)地下水位升降對其上層毛管活動區活動情形，及其上限之變化範圍之判斷。

(3)不同深度土層中，土壤機械組成分及土壤結構之差異對水分保持及運動性態所產生之影響。

(4)有種植及無種植作物對根系土層水分分佈差異之比較。

1. 選擇三觀點為麻豆、新市、角帶。茲將其田間環境及土壤剖面性狀簡介如下：

(1)麻豆觀測點：

位於曾文溪下游，標高9.52米，年雨量1,474公

厘，地下水位旱季都在3米以下，雨季亦常在1.5米以下。輪栽作物為甘蔗、甘藷、水稻。黏粒含量在50%以上，代表黏土區。其土壤剖面依機械分析及現地調查列於表(1)

表(1) 麻豆觀測點土層土壤機械組成及剖面徵狀

土層深度 cm	土 壤 別	土 壤 機 械 組 成 分 (%)			土 層 剖 面 徵 狀
		砂 粒	坩 粒	粘 粒	
0 - 10	粘 土	33.12	10.88	56.00	表土 5cm 淡色，多蟲孔，植物遺根，滲透性良好。
10 - 20	"	25.04	18.96	56.00	色棕黃，構造緊密，多蟲孔，及植物遺根，滲透性中等，間有少許蚯蚓分泌物。
20 - 40	"	15.04	28.96	56.00	
40 - 60	"	16.04	31.96	52.00	色暗棕，構造緊密，有大團膠體，大孔隙頗多，濕潤有灰化作用，蟲孔根孔多，有蟻及土生動物存在。
60 - 80	"	21.04	21.36	57.60	
80 - 100	"	35.04	14.96	50.00	色棕黃，質地較鬆，構造密實，頗均一，透水性中等，根毛孔多。

* 土壤別依照 USDA 三角形分類法

(2)新市觀測點：輪栽作物有甘蔗、田菁、水稻、甘藷、大豆。代表坩質壤土區。其土壤剖面依機械分析及現地調查如表(2)。
位於鹽水溪中游，標高9.43米，年雨量1,582公厘，地下水位旱季2米以內，雨季高至0.5米以內。

表(2) 新市觀測點土層土壤機械組成及剖面徵狀

土層深度 cm	土 壤 別	土 壤 機 械 組 成 分 (%)			土 層 剖 面 徵 狀
		砂 粒	坩 粒	粘 粒	
0 - 10	坩 壤 土	23.12	58.40	18.48	0~30cm 色棕黑，構造緊密，屬耕犁層，蟲孔及植物根孔多，透水性中等。
10 - 20	"	27.12	50.24	22.04	
20 - 40	"	20.04	53.00	26.96	
40 - 60	坩 質 壤 土	16.04	55.00	28.96	30~55cm 色棕黃，構造緊密，大孔隙及蟲孔多，有植物根。
60 - 80	壤 土	42.04	43.00	14.96	55cm 以下，淡黃色，間有棕紅色斑紋，緊密，底層有潛水灰化現象，有植物根及根孔，透水性良好。
80 - 100	壤 土	44.04	41.00	14.96	

(3)角帶觀測點：栽作物有甘蔗，瓜子瓜，水稻及甘藷。代表砂性壤土。
位於急水溪下游，標高7.92米，年雨量1,330公厘，地下水位旱季在2米以內，雨季在1米以內，輪。其土壤剖面依機械分析及現地調查如表(3)：

表(3) 角帶觀測點土層土壤機械組成及剖面徵狀

土層深度 cm	土 壤 別	土 壤 機 械 組 成 分 (%)			土 層 剖 面 徵 狀
		砂 粒	坩 粒	粘 粒	
0 - 10	砂 壤 土	55.12	34.00	9.88	灰白色，單粒構造、疏鬆，多植物根，有蟲孔。
10 - 20	"	55.96	35.00	9.04	暗棕色，結構1~2mm之團粒多，大孔隙，疏鬆，耕犁層，蚯蚓蟲孔多。
20 - 40	"	64.96	26.00	9.04	
40 - 60	"	57.96	32.04	10.00	20~30cm 淡棕色，較緊密，仍有1~2mm團粒分布其間，30~55cm 淡黃色細砂層，單粒。
60 - 80	壤 土	40.96	48.00	11.04	
80 - 100	砂 壤 土	58.96	31.04	10.00	

表(4) 麻豆觀測點各層次土壤質地及土壤水分常數記錄表

採集深度 (cm)	土壤機械成分				真比重	容重	孔隙率 (%)	飽和含水量 (%)		田間含水量 (%)		水分當量 (%)		$\frac{1}{2}$ 有效 水分 (%)	15atm	備註
	土壤別	砂粒%	粉粒%	粘粒%				實測值	計算值	實測值	計算值	$\frac{1}{3}$ 氣壓	離心機			
0 - 10	粘土	33.12	10.88	56.00		1.24				29.40			13.68		3.69	
10 - 20	"	25.04	18.96	56.00	2.70	1.24	54.1		54.07	23.63		18.34	17.33		5.64	
20 - 40	"	15.04	28.96	56.20	2.72	1.39	48.9		48.90	22.03		25.17	23.39		8.72	
40 - 60	"	16.04	11.96	52.00	2.76	1.32	52.2		52.17	21.46		25.75	23.44		9.41	
60 - 80	"	21.04	21.36	57.60	2.64	1.30	50.8		50.76	22.70		21.97	20.32		9.49	
80 - 100	"	35.04	14.96	50.00	2.69	1.44	46.5		46.47	24.23		17.07	16.71		5.76	

表(5) 新市觀測點各層次土壤質地及土壤水分常數記錄表

採集深度 (cm)	土壤機械成分				真比重	容重	孔隙率 (%)	飽和含水量 (%)		田間含水量 (%)		水分當量 (%)		$\frac{1}{2}$ 有效 水分 (%)	15atm	備註
	土壤別	砂粒%	粉粒%	粘粒%				實測值	計算值	實測值	計算值	$\frac{1}{3}$ 氣壓	離心機			
0 - 10	粉壤土	23.12	58.40	18.48		1.35				29.8			21.36		6.30	
10 - 20	"	27.12	50.44	22.04	2.66	1.35	49.3		49.25	23.8		25.19	21.43		5.61	
20 - 40	"	20.04	53.00	26.96	2.69	1.40	48.0		47.96	24.6		27.39	23.58		6.59	
40 - 60	粉粘壤土	16.04	55.00	28.96	2.68	1.50	44.1		55.97	24.1		27.15	23.50		7.55	
60 - 80	壤土	42.04	43.00	14.96	2.67	1.55	42.0		41.48	24.5		14.80	12.91		3.48	
80 - 100	"	44.04	41.00	14.96	2.65	1.55	41.6		41.51	25.3		16.12	13.38		4.12	

表(6) 角帶觀測點各層次土壤質地及土壤水分常數記錄表

採集深度 (cm)	土壤機械成分				真比重	容重	孔隙率 (%)	飽和含水量 (%)		田間含水量 (%)		水分當量 (%)		$\frac{1}{2}$ 有效 水分 (%)	15atm	備註
	土壤別	砂粒%	粉粒%	粘粒%				實測值	計算值	實測值	計算值	$\frac{1}{3}$ 氣壓	離心機			
0 - 10		56.12	34.00	9.88		1.25				27.9			11.56		3.19	
10 - 20	砂壤土	55.96	35.00	9.04	2.69	1.39	48.4		48.33	25.0		12.17	9.87		3.02	
20 - 40	"	64.96	26.00	9.04	2.68	1.41	47.4		47.39	24.4		10.28	8.90		2.98	
40 - 60	"	57.96	32.04	10.00	2.69	1.27	52.7		52.79	21.1		10.24	9.65		3.37	
60 - 80	壤土	40.96	48.00	11.04	2.70	1.36	49.6		49.63	21.4		15.27	13.71		3.75	
80 - 100	砂壤土	58.96	31.04	10.00	2.69	1.45	46.1		46.10	23.1		11.23	10.41		2.92	

2. 田間佈置與測定項目：

觀測點測定田區面積為 30 平方公尺，耕作方式完全與該周圍地區相同，為避免人為處理所引起機差，在測定區內不加灌溉。同時在同一丘塊內保持一面積為 15 平方公尺的空地不栽種作物。並在空地上打入直徑 10 厘米長 4 米塑膠管，管之底部 1 米中鑽數十小孔，以尼龍網包捆；使土壤水分容易滲入管內，以觀測地下水位升降。塑膠管露出地面部分，以洋鐵片蓋住，防止降雨時雨水進入及減少管中水面蒸發。雨量記錄設於該地附近水利工作站。蒸發皿則設於灌溉管理處。

A. 田間部分：

(1)各土層土壤含水量變化之觀測：用螺旋土鑽探土，採取土壤深度分為 0—10, 10—20, 20—40, 40—60, 60—80, 80—100 厘米。以烘乾法測定土壤含水量。原則為每五日測定一次。

(2)地下水位觀測：與土壤含水量同時觀測。

(3)雨量記錄：人為觀測每日記錄。

(4)充分灌水後 24 小時，48 小時，72 小時各土層田間容水量之觀測：旱季地下水位最低時測定。

(5)從地下水位以上至表土為止，各土層之三相分佈：旱季末期，地下水位最低時測定。挖出土層剖面，逐層測定。

B. 實驗室部分：

(1)土壤機械組成分：用 Bouyoucos (25) 氏比重計法測定。

(2)飽和持水量：用 Hilgard 氏法測定。

(3)水分當量：用離心機法測定。

(4)1/3 氣壓含水量：用 Pressure plate 法。

(5)凋萎係數（15 氣壓含水量）：用 Pressure membrane 法。

(6)土壤真比重，容重，孔隙率：用 DIK-III 型採土器分層採取土樣測定。

肆、結果與討論

自 1967 年 5 月至 1970 年 5 月在麻豆、新市、角帶三地田間進行三年之觀測，茲將觀測所得之記錄與分析之結果討論分列如下：

1. 觀測記錄：

圖(5)，(6)，(7)，是觀測得到之記錄，以曲線與圖表示各觀測點各土層土壤含水量與降雨量及地下水位之關係曲線。圖中最左邊有觀測點之土壤機械組成分，砂粒，粉粒，粘粒依百分比列出，可看出每一層土

壤之質地，以備由土壤質地探討土壤水分變化與地下水位升降之影響。其他還有日降雨量、地下水位、空地與栽種作物地之土壤水分變化曲線，栽種作物之種類，及乾季與雨季之時期等。為了便於根系土層土壤水分的探討，在 1 米根系土層與 1 米以下的土層深度使用不同之比例。斜線陰影部分是表示栽種作物地之土壤含水量較水分當量為低之程度。土壤含水量變化曲線以容積比表示，是因為這樣可以使曲線在同一比例上變動顯得大些。

表(4)，(5)，(6)，則為各觀測點各層次土壤質地及土壤水分常數記錄表。

2. 關於各土層之有效孔隙度：

有效孔隙度等於土壤總孔隙度與水分當量時所佔孔隙度之差 (14)。水分當量時之水分受顆粒吸附力與吸着力之作用，緊緊吸收在土壤顆粒之表面，不易運動，而在水分當量以上之水分則較易運動。所以土壤滲透性取決於其有效孔隙度之大小。表(7)，(8)，(9)，為各觀測點各土層有效孔隙度值。有效孔隙度最小之土層，麻豆為 20~40cm 層，新市為 40~60cm 層，與各層所含之粘粒含量有密切之關係，粘粒含量高則有效孔隙度低，表示滲透性差。

表(7) 麻豆觀測點各土層之有效孔隙度值

土層深度 cm	土壤別	總孔隙 度值(%)	水分當量 所佔 孔隙度 (%)	有效孔 隙度(%)
0 - 10	粘 土	54.1	16.96	37.14
10 - 20	"	54.1	21.66	32.44
20 - 40	"	48.9	32.51	16.39
40 - 60	"	52.2	30.94	21.26
60 - 80	"	50.8	26.42	24.38
80 - 100	"	46.5	24.06	22.44

表(8) 新市觀測點各土層之有效孔隙度值

土層深度 cm	土壤別	總孔隙 度值(%)	水分當量 所佔 孔隙度 (%)	有效孔 隙度(%)
0 - 10	坩 壤 土	49.3	28.84	20.46
10 - 20	"	49.3	28.93	20.36
20 - 40	"	48.0	33.01	14.99
40 - 60	坩粘壤土	44.1	35.25	8.85
60 - 80	壤 土	42.0	20.01	21.99
80 - 100	壤 土	41.6	20.74	20.86

表(9) 角帶觀測點各土層之有效孔隙度值

土層深度 cm	土壤別	總孔隙 度(%)	水分當量 所佔 孔隙度 (%)	有效孔 隙度(%)
0 - 10	砂壤土	48.4	14.45	33.95
10 - 20	"	48.4	13.72	34.68
20 - 40	"	47.4	12.55	34.85
40 - 60	"	52.3	12.26	40.74
60 - 80	壤土	49.6	18.65	30.95
80 - 100	砂壤土	46.1	15.09	31.01

3. 根系土層土壤水分變化之情形：

以三年之土壤水分測定記錄分析之。將土壤含水量分為凋萎係數， $\frac{1}{2}$ 有效水分， $\frac{3}{4}$ 有效水分、水分當量及水分當量加5%等五種含水量、前面四種是取1米土層之平均值，第五種是隨意值並沒有特殊意義。用繪等高線方法，繪此五種含水量等高線圖，如圖(8)，(9)，(10)，得各觀測點降雨量及地下水位對土層中含水量分佈之影響。以上三圖是就空地土壤水分變化來探討。

角帶地下水位較高，土壤含水量大都維持高於水分當量加5%以上，只有旱季土壤水分較低，但仍維持在水分當量以上。40~80cm間土壤含水量較表層與80cm以下者為低，此原因是該層有效孔隙度大，砂粒含量較高。這是值得注意的。若由圖(7)來看各土層之含水量情形：在空地上因蒸發或地下水位降低而降低之土壤含水量，各土層除40~60cm和60~80cm兩層1970年4月土壤含水量較水分當量為低外，其他時候各層皆在水分當量以上。在有栽種作物地上只有1967年11月至12月間在80cm以上之土層土壤含水量低於水分當量。其原因為此時遇長久乾旱及甘蔗吸收水分最多。在同一土壤狀況下，降雨後土層中能增加之土壤含水量依降雨之多少與地下水位之高低，如1967年7月7日與15日降雨量為141.4mm，地下水位高達0.11m，土壤含水量皆在27%以上，而在1968年3月23日至4月2日之間，降雨量171.0mm，地下水位1.06m，土壤含水量60cm以上只有22.3%，前面情形土壤水分在毛管活動區內，屬毛管支持水。且若一次降雨使土壤含水量達27%時；則即使繼續降雨土壤含水量增加並不顯著。土層土壤含水量降低情形是這樣的：地下水位在1米以內時則水分之降低以0~10cm最快，但若地下水位在1.5米以下時表層水分因蒸發損失達13%時蒸發即很不容易，而地下水位之降低引起之土壤

含水量降低以20~60cm為最速。

新市土壤含水量大都在水分當量以上，只有在旱季表層土壤水分才降至水分當量與有效水分之間，降雨或灌溉後土壤水分成垂直帶狀增加，表示保持水分性能很好，土壤滲透性亦佳。降雨後水分之運動，自上向下滲透，在40~60cm間有效孔隙小，在此層移動較慢，故在該層土壤含水量較高，表層水分因蒸發而損失不明顯，但地下水位降低而減低之土壤含水量以40~60cm最利害。

若由圖(6)來探討論土壤含水量情形：在空地上0~60cm土壤含水量常較水分當量為低，60cm以下則較高，在有栽種作物地亦有相同之情形。

麻豆由於地下水位較低，土壤含水量變化較為顯著。因土面蒸發損失關係，表層0~10cm之土壤含水量最低，旱季常在凋萎點以下。土壤因蒸發而形成風乾層(15)，此時土壤蒸發是逐層進行，所以土壤含水量成為水平層狀降低。降雨量10mm以下時只能供應表層之蒸發損失，對下層土壤含水量沒有影響。表面蒸發很利害。若由圖(5)討論土壤含水量：在空地上80cm以上土層含水量皆較水分當量為低，有栽種作物地亦相同，但以20~40cm欠缺最大。大量降雨後使1米土層含水量皆在24%以上，表層由於蒸發很快下降在24%以下，下層則由於水分再分配，下降運行之繼續，使水分亦達24%以下，如1968年3月底至4月初。

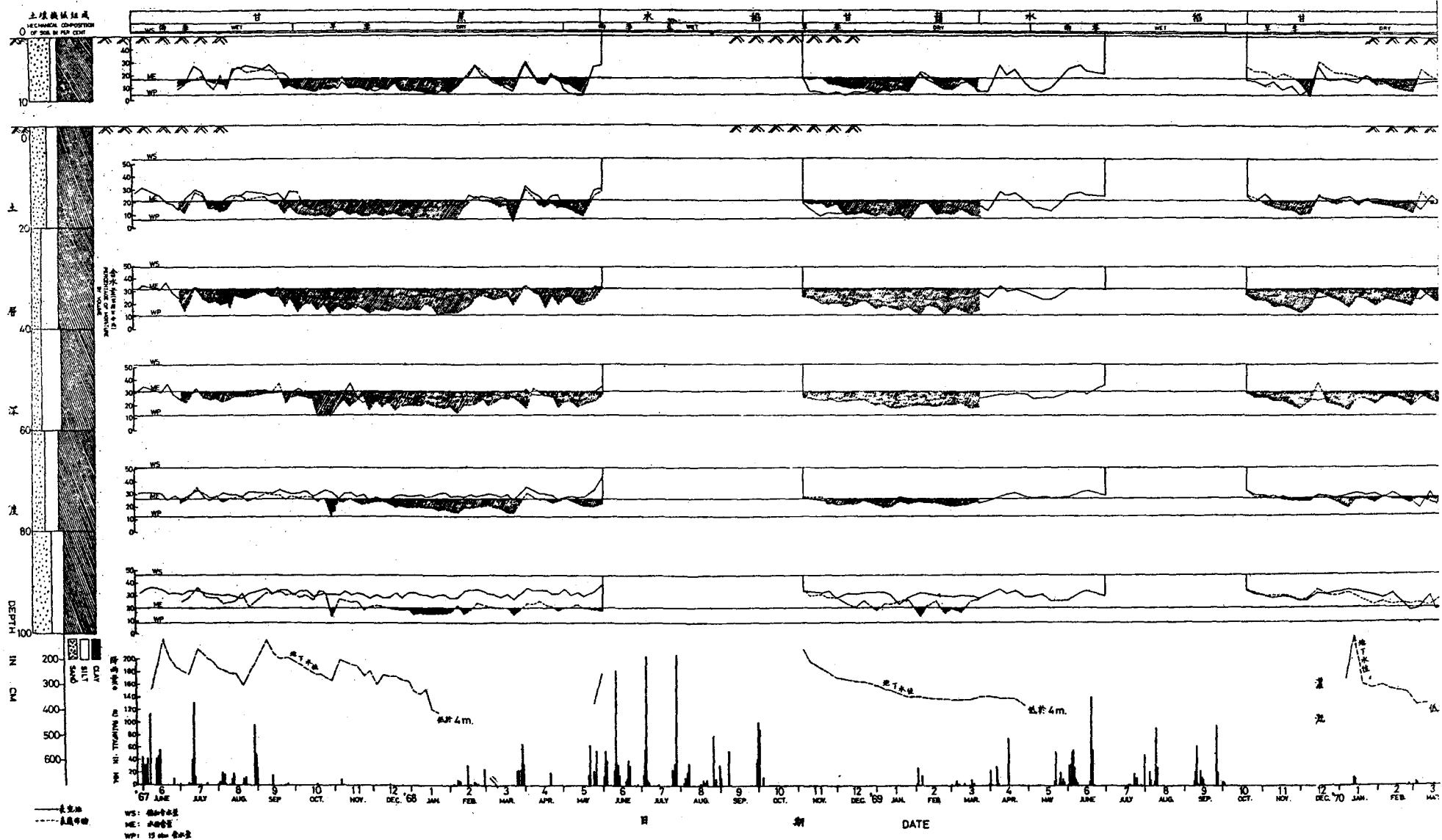
影響蒸發之因子很多，其中以粒子大小與團粒狀態對蒸發可產生顯明之影響，尤以土壤濕潤時為然。Eser氏(1884)研究1000平方公分表面上之已篩土粒的水分蒸發量⁽¹⁵⁾。若以粒徑少於0.071mm土粒部分之蒸發量為100%，則0.25至0.5mm部分之蒸發量為81%，而1.0-2.0mm至土粒部分為22.2%。即細土粒部分因其毛細管能力甚大，所以其蒸發量亦隨之加大。

麻豆土壤質地最細，新市次之，角帶最粗，由其土壤水分因蒸發損失變動之情形來說與Eser氏之實驗相符合。

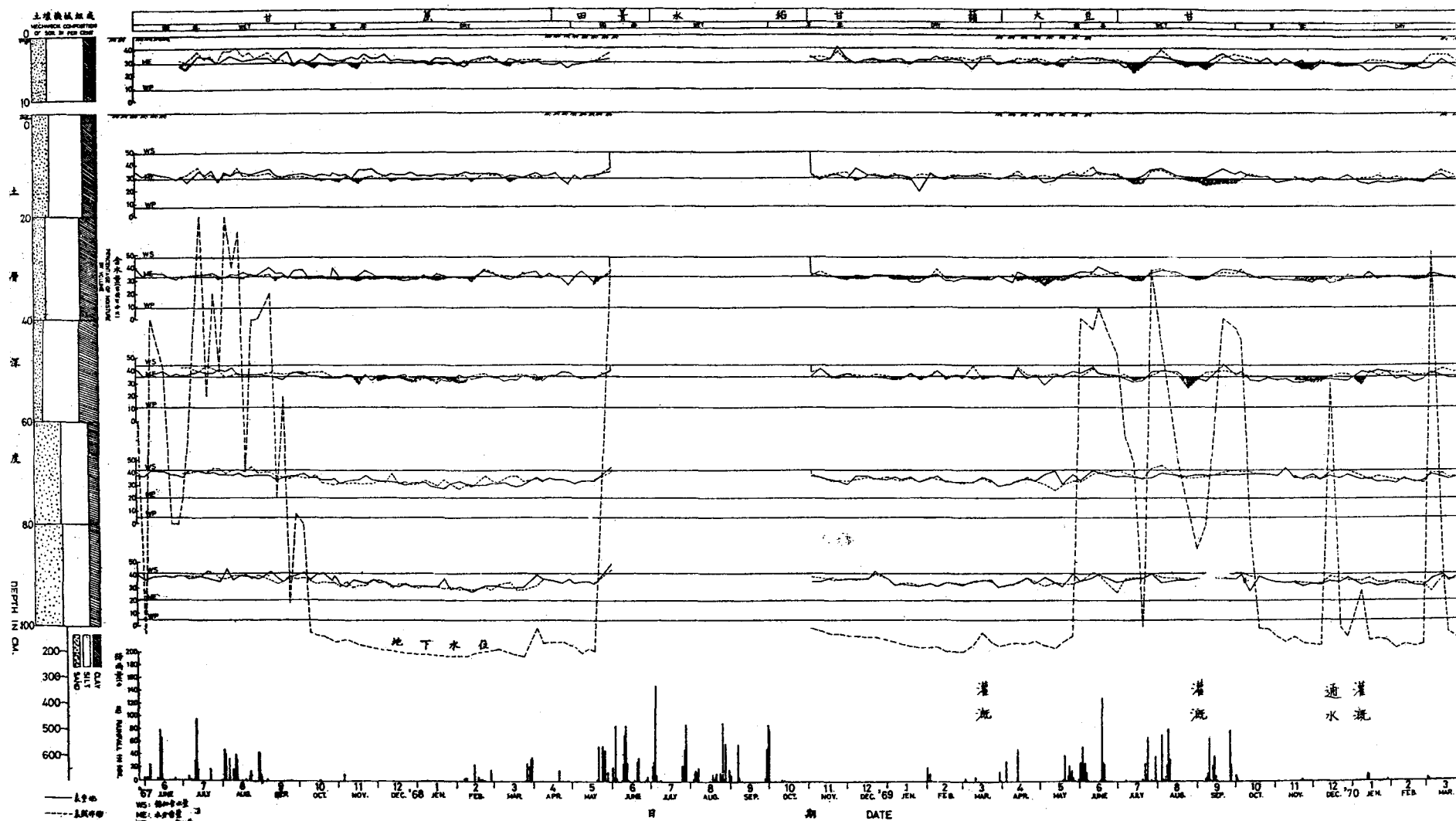
4. 降雨與地下水位之關係：

由圖(5)，(6)，(7)觀察可得，降雨皆提高地下水位，一次降雨對地下水位之影響為20天左右，即10天為地下水位之升高到最高，再10天回復到原來高度。假若栽培水稻時期地下水位不計，麻豆之地下水位在200~350cm，新市在150~200cm，角帶在100~200cm，表(10)，表示三年觀測期間內，觀測所得各高度地下水位所佔之百分比。

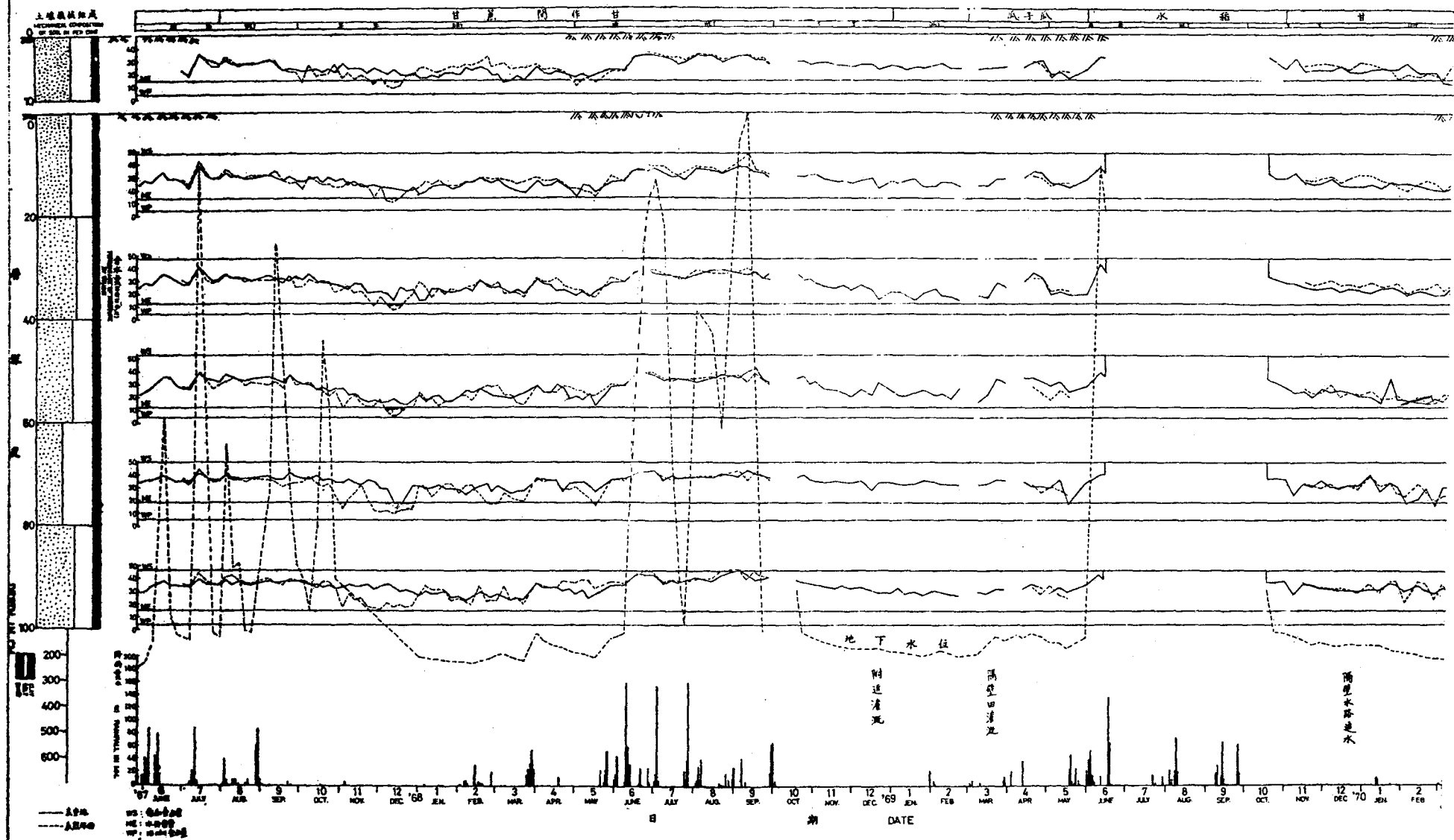
圖(5) 麻豆觀測點各土層土壤含水量與降雨量及地下水位之關係曲線
THE RELATIONSHIP BETWEEN SOIL MOISTURE CONTENT AND RAINFALL, GROUND WATER TABLE AT MA-TOU



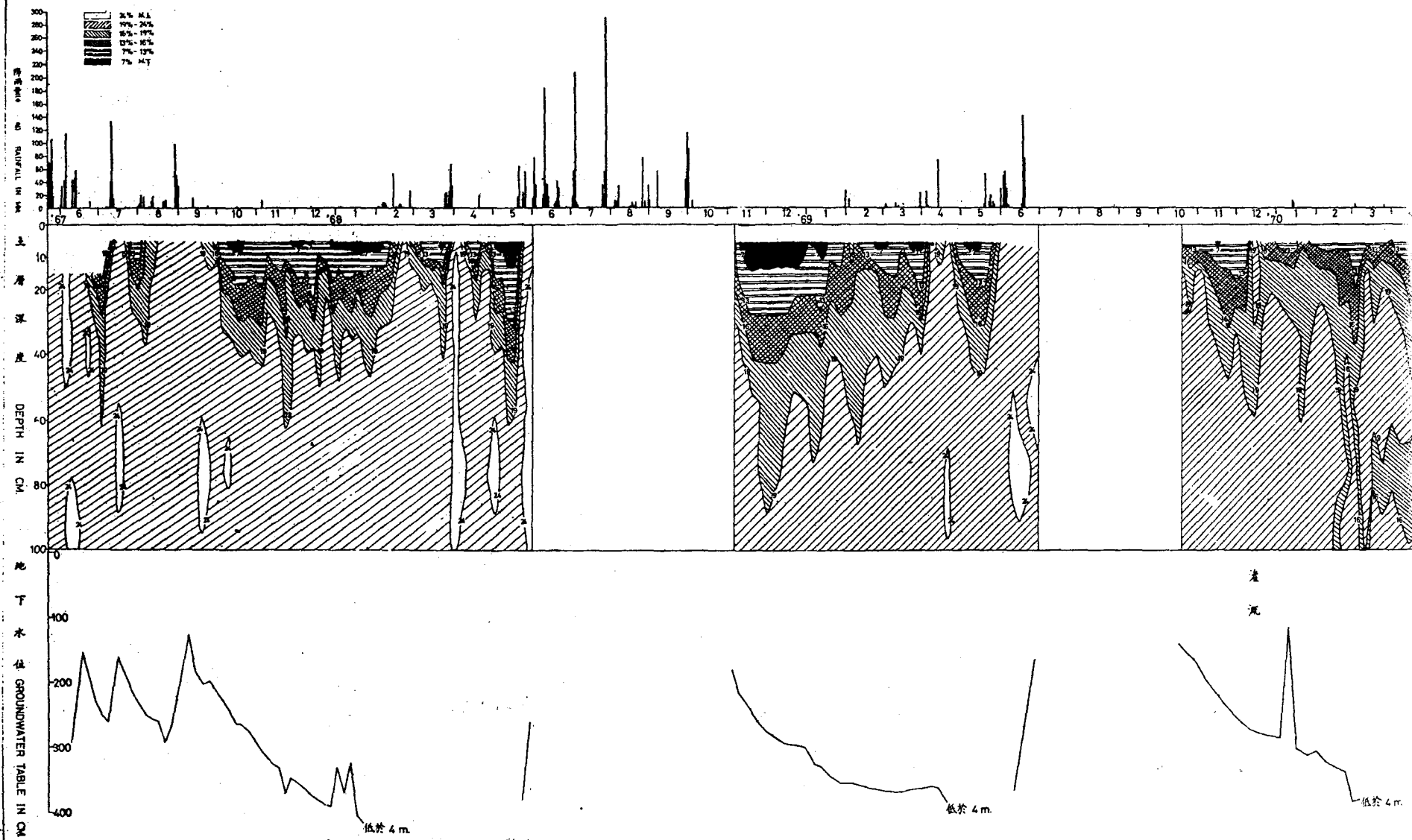
圖(6) 新市觀測點各土層土壤含水量與降雨量及地下水位之關係曲線
THE RELATIONSHIP BETWEEN SOIL MOISTURE CONTENT AND RAINFALL, GROUND WATER TABLE AT HSIN-SHIH



圖(7) 角帶觀測點各土層土壤含水量與降雨量及地下水位之關係曲線
 THE RELATIONSHIP BETWEEN SOIL MOISTURE CONTENT AND RAINFALL, GROUND WATER TABLE AT CHIAO-TAI



圖(8) 麻豆觀測點降雨量及地下水位對土層中含水量分佈之影響
THE EFFECT OF RAINFALL AND GROUNDWATER TABLE ON THE DISTRIBUTION OF SOIL MOISTURE AT MA-TOU



圖(9) 新市觀測點降雨量及地下水位對土層中含水量分佈之影響
 THE EFFECT OF RAINFALL AND GROUNDWATER TABLE ON THE DISTRIBUTION OF SOIL MOISTURE AT HSIN-SHIH

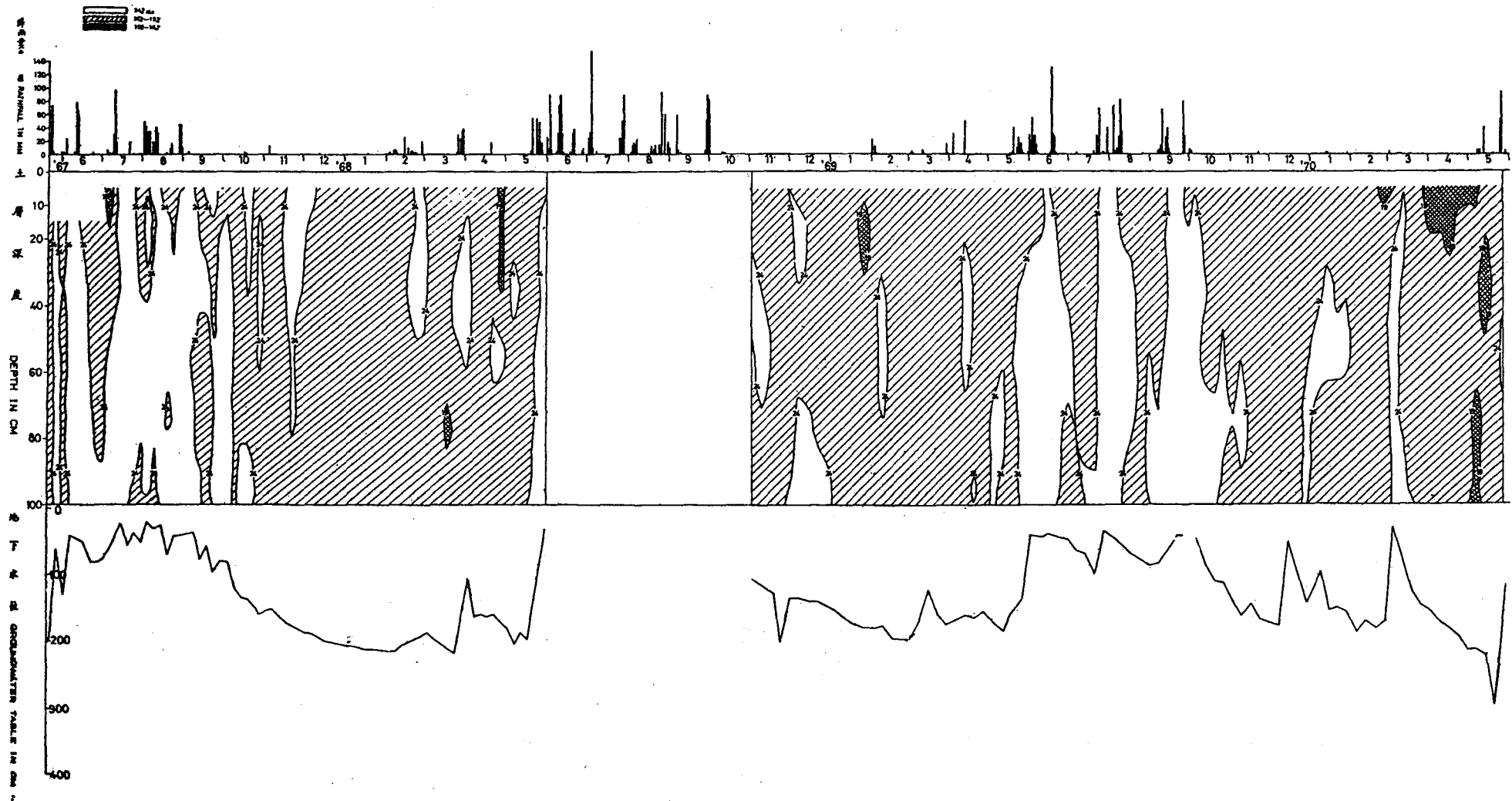
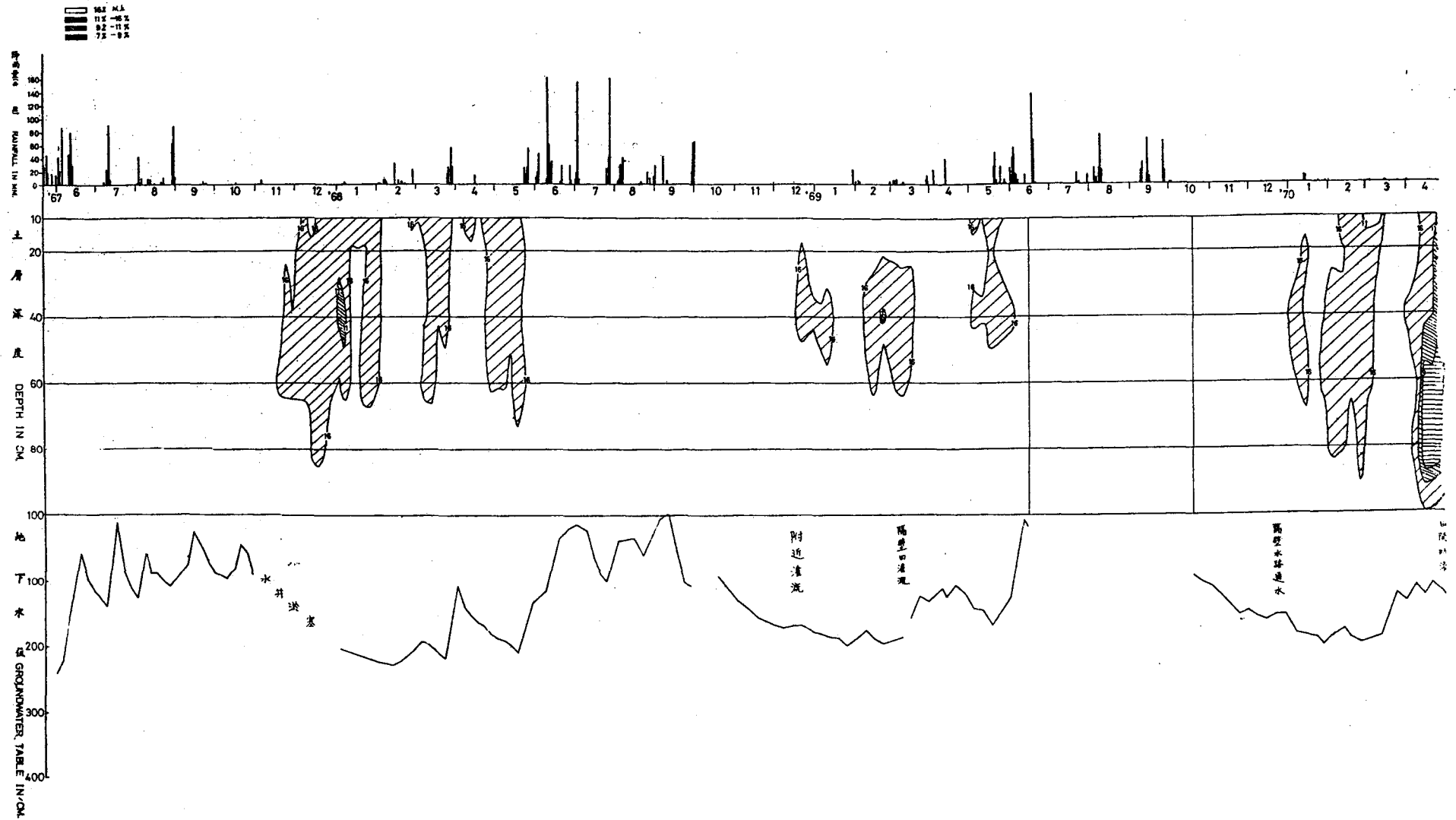


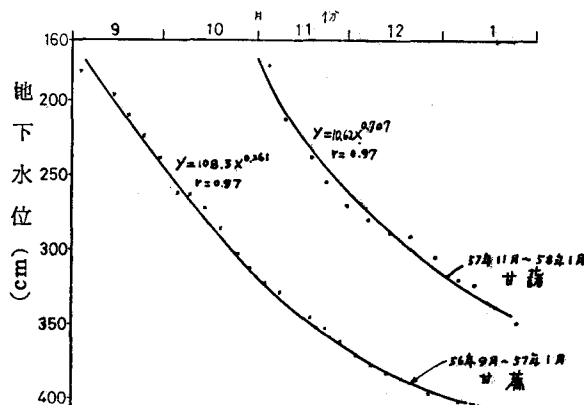
圖 (10) 角帶觀測點降雨量及地下水位對土層中含水量分佈之影響
THE EFFECT OF RAINFALL AND GROUNDWATER TABLE ON THE DISTRIBUTION OF SOIL MOISTURE AT CHIAO-TAI



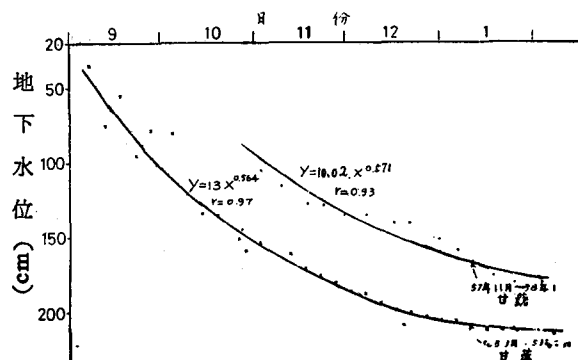
表(10) 各觀測點三年中地下水位在各高度所佔之百分比

地下水位 觀測點 cm	70 以內	71—120	121—170	171—220	221—270	271—320	321 以下
麻豆	5.8	2.5	10.0	18.4	19.6	16.6	26.7
新市	18.9	14.1	35.8	31.2	—	—	—
角帶	12.7	30.0	30.0	23.0	4.3	—	—

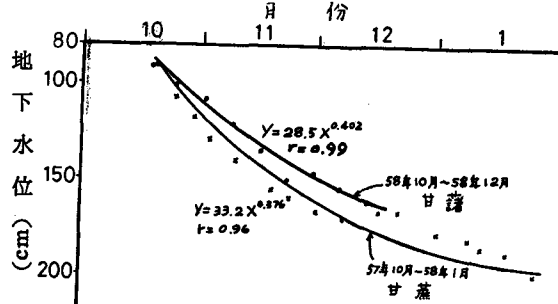
在旱季降雨對地下水位不發生補充時，地下水位之下降速度，以麻豆、新市較快，角帶較慢。麻豆地下水位下降沒有達穩定狀態，但新市與角帶大約在 2 米即達穩定，圖(11)，(12)，(13)表示旱季地下水位下降曲線。在圖上皆有二條曲線，表示不同時期，不同作物影響下之下降性狀。二條相當一致。下降之原因有：①蒸發散之消耗。②地下水之流動，以第②種原因最重要。



圖(11) 麻豆觀測點旱季地下水位降曲線



圖(12) 新市觀測點旱季地下水位下降曲線



圖(13) 角帶觀測點旱季地下水位下降曲線

5. 雨量對根系土層土壤含水量之影響：

田間容水量通常被認為是土壤能够儲留之最大含水量，影響田間容水量之因子⁽²⁶⁾有①土壤質地，②土層深度，③地下水位，④土壤溫度，⑤土壤水分中不溶解質之含量與種類，⑥土壤結構。所以欲正確測

定土壤之田間容水量並不容易，尤其像臺灣輪作田，土層中常有一緊密粘閉構造存在，地下水位又高，測定田間容水量更屬不易。表(11)是各觀測點田間土壤於充分灌水後經 24 小時，48 小時，72 小時其土壤含水量值。

表(11) 三觀測點田間土壤充分灌水後土壤水分含量值(%)

觀測點	麻豆			新市			角帶		
地下水位 m	2.97	2.99	3.08	1.17	1.20		1.29	1.30	1.30
經過時間									
土深 層度 cm	24	48	72	24	48		24	48	72
0 - 10	24.7	24.6	20.1	24.7	24.2		21.7	21.5	20.8
10 - 20	24.4	23.1	22.7	24.7	23.4		21.0	21.0	21.2
20 - 40	22.5	22.2	21.4	23.3	23.8		20.1	19.8	19.4

40 - 60	22.5	22.2	20.3	26.9	25.6		27.0	26.3	25.9
60 - 80	21.9	20.0	19.0	23.2	22.7		26.5	26.7	26.9
80 - 100	18.3	18.1	17.5	27.0	26.9		23.9	25.2	24.4

圖(14)則爲上表以圖表示。角帶之土壤含水量經24 土壤含水量繼續下降。
小時後即可達穩定，但是麻豆經 72 小時仍未穩定，

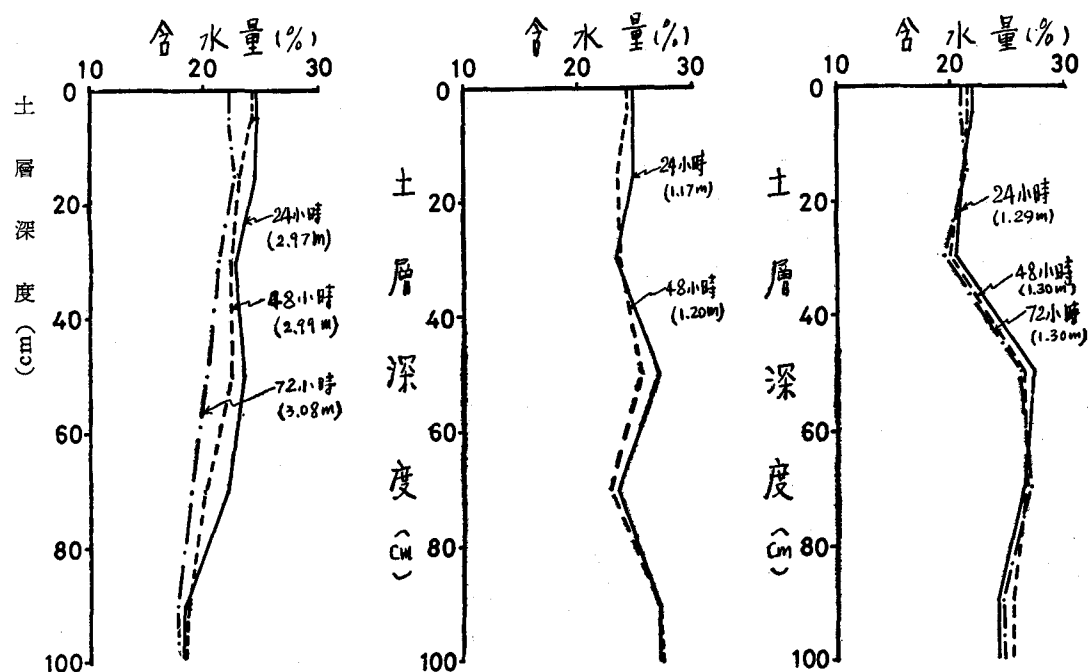


圖 (14) 麻豆觀測點充分灌水後土壤含水量變動圖

新市觀測點充分灌水後土壤含水量變動圖

角帶觀測點充分灌水後土壤含水量變動圖

圖 15~20 表示三觀測點在不同降雨量時，土壤能够保留之水分性態。影響土壤保留水分之因素有：降雨強度、土壤質地、孔隙之多少與性狀，降雨前之土壤含水量及地下水位等。其中以降雨前之土壤含水量及地下水位高低最有關係。降雨前土壤含水量低則保持之水量多，地下水位高，毛管支持水之存在，亦使土壤保有較多之水量。比較圖 16~21，顯出各不同土壤，土層能保留之水分有一定之趨勢，尤其在不受地下水位影響時更明顯。如麻豆降雨量爲 192.3mm 與 179.0mm 者相同，其他兩地亦相符合。角帶降雨量 162.7mm 大於 141.4mm，但降雨後土壤含水量較少。這是因爲測定時間之差距，降雨前土壤含水量在 8 月 25 日測定，降雨後在 9 月 8 日測定，且大部雨量降於前數日，地下水位亦低。栽種作物地之土壤含水量因有作物存在，依不同生長期其形狀很不規則。連續降雨對土層土壤含水量之影響視第一次降雨量

後土壤含水量之增加量而定，若一次降雨能使土層即在毛管活動區高濕度區內則即使再降雨亦不會使含水量增加，此種情形可由角帶、新市、麻豆在 1967 年 8 月至 9 月看出。

6. 空地與栽種作物地土壤含水量之比較

空地之土壤水分減少是因蒸發與地下水位之降低，種植作物則還有作物之吸收，所以在不受地下水位影響時，土壤含水量在空地應較種植作物者爲多。

圖 21~23 爲三觀測點三年平均空地與栽種作物地土壤含水量比較圖。麻豆觀測點，旱季地下水位常在 3 米以下，加以土壤質地粘重，地下水來不及補充根層損失之水分，所以空地與栽種作物地之土壤含水量有明顯之差異，空地者較高。土層之土壤含水量自上向下遞增，40~100cm 有相同土壤所水量，表示上層蒸發損失較多。

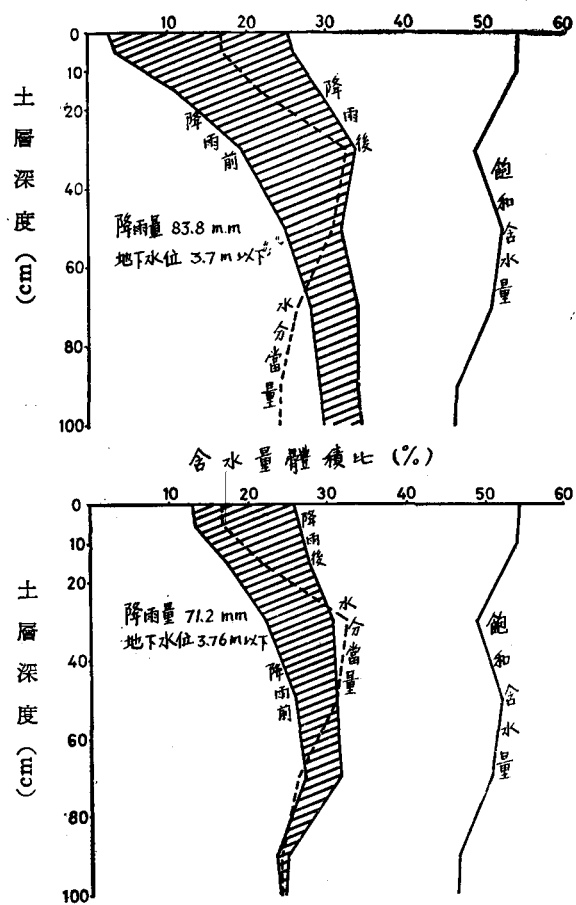


圖 (15) 麻豆觀測點降雨後存留根系土層中之水分比較圖

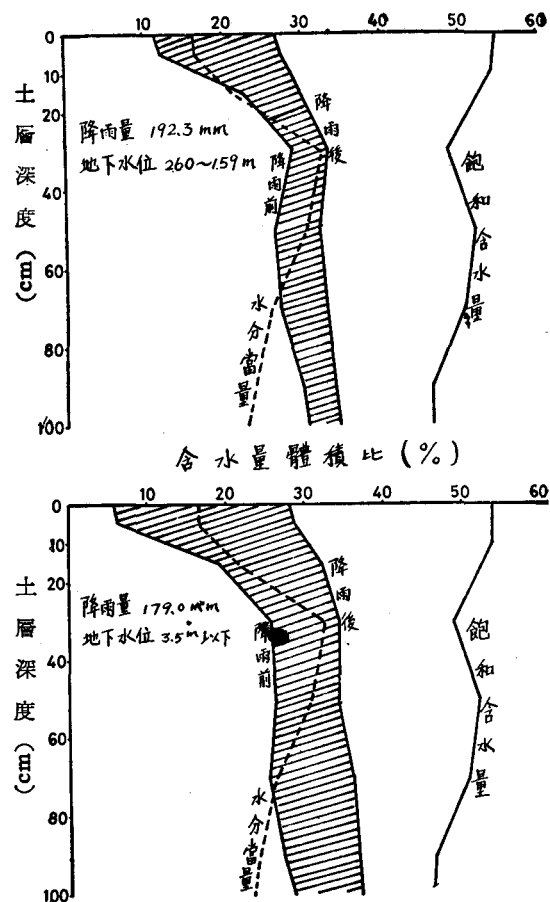


圖 (16) 麻豆觀測點降雨後存留根系土層中之水分比較圖

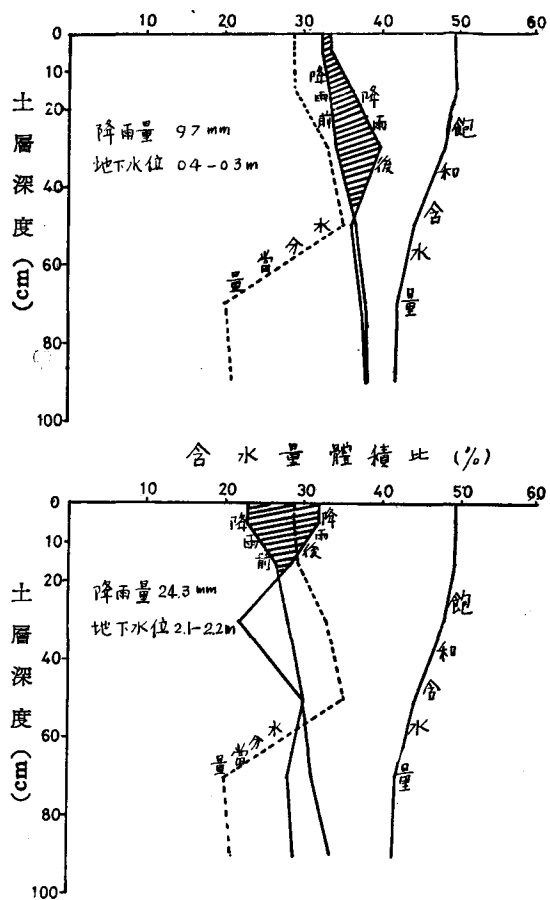


圖 (17) 新市觀測點降雨後存留根系土層中之水分比較圖

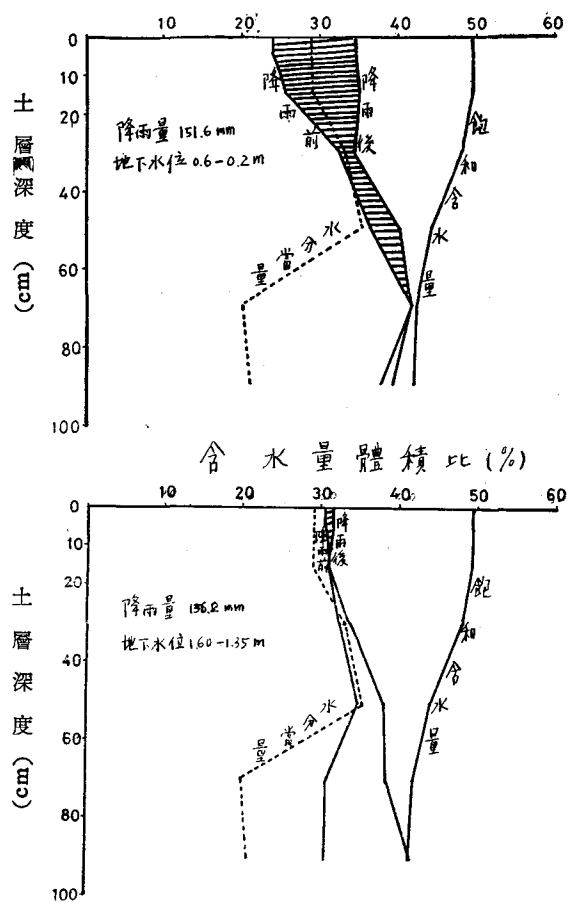


圖 (18) 新市觀測點降雨後存留根系土層中之水分比較圖

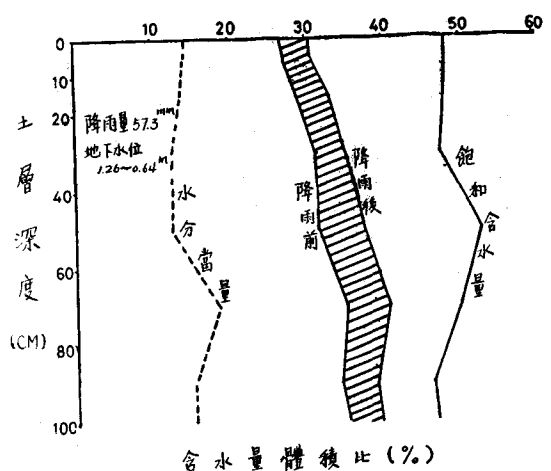


圖 (19) 角帶觀測點降雨後存留根系土層中之水分比較圖

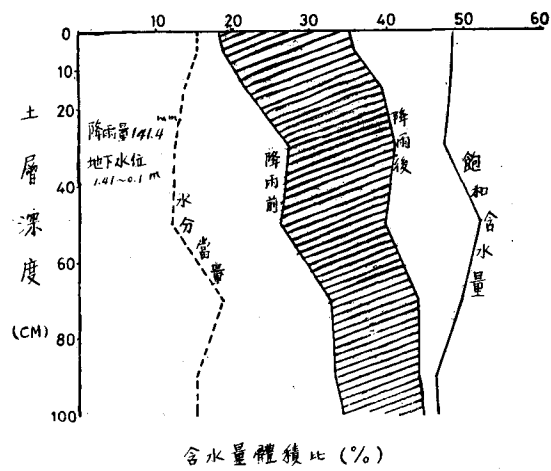


圖 (20) 角帶觀測點降雨後存留根系土層中之水分比較圖

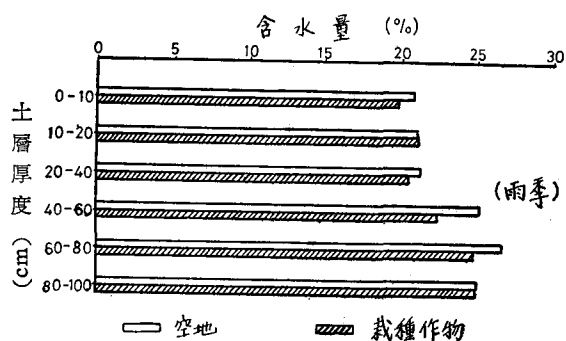


圖 (23) 角帶觀測點三年平均空地與栽種作物地土壤含水量比較

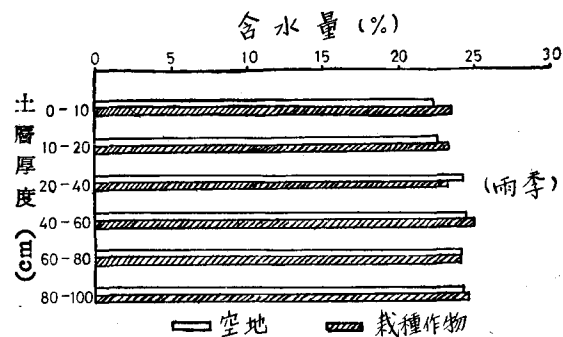
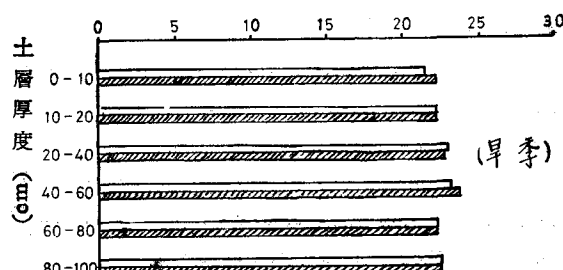
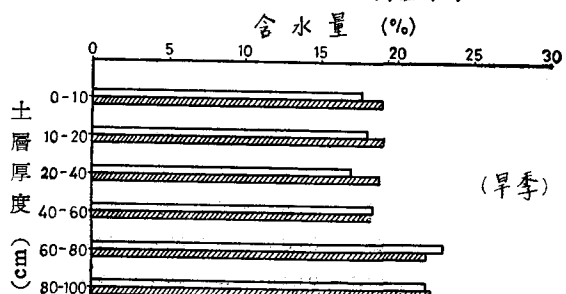


圖 (22) 新市觀測點三年平均空地與栽種作物地土壤含水量比較



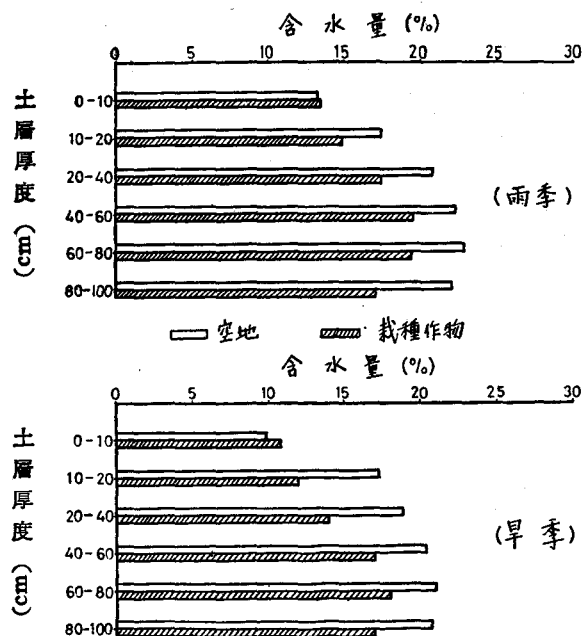


圖 (21) 麻豆觀測點三年平均空地與栽種作物地土壤含水量比較

角帶雨季與旱季之土壤含水量沒明顯差異，在雨季以 40cm 為界限，這是受質地之影響，旱季因地下水位降低，土壤含水量以 60cm 為界限。不論是雨季或旱季，根層皆在毛管水活動區內，水分消耗可由地下水補充故空地與栽種作物地之土壤含水量沒有明顯之差異。

新市土壤含水量不論是雨季與旱季，空地與栽種作物地、或是上下層都沒有差異表示該地受地下水位之影響，且壤土有利於毛管水之上升。

所以，土壤含水量受土壤質地與地下水位之影響，壤土有利於水分運動，地下水位高，根系土層在毛管水活動範圍內，水分之損失不明顯。

圖 (24)~(26) 是雨季和旱季土壤含水量，土壤汽態與固態之比較圖。土壤含水量是空地上三年平均值。表層土壤含水量較底層為低。

麻豆 20cm 以上土層由於旱季土面蒸發，雨季雨量之補充，地下水位又低，雨季與旱季土壤含水量差異特別顯著；20cm 以下則相差不大。

新市在 60cm 以上兩者非常接近，以下則差別幾乎相等。原因可能是質地均一在 60cm 深度粘粒與粉粒含量較多，其含水量亦較亂。

角帶 1 米深土層之含水量相差相當均勻，在 20~60cm 層之砂粒含量特多，在該層旱季之含水量亦低

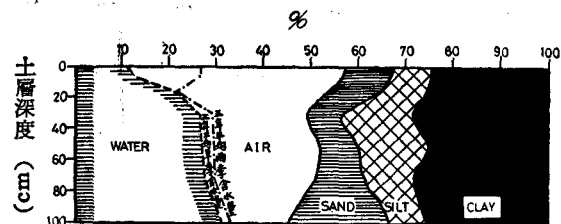


圖 (24) 麻豆觀測點乾雨季中根系土層液，固，氣三態分佈比較圖

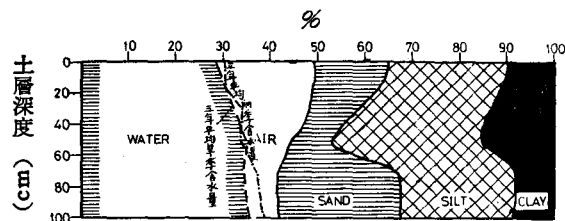


圖 (25) 新市觀測點乾雨季中根系土層液，固，氣三態分佈比較圖

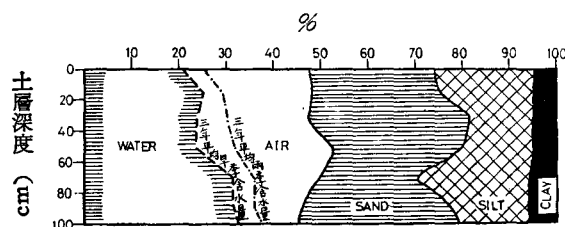


圖 (26) 角帶觀測點乾雨季中根系土層液，固，氣三態分佈比較圖

，這是因為砂粒多量存在，切斷毛管水之向上運動。

從水分佔孔隙之百分比來檢討三地作物生長之土壤環境，雨季水量佔孔隙之百分比皆在 60 % 以上，旱季亦達 50 %，尤其新市 60cm 土層以上含水量佔孔隙之 60 % 以上，60cm 以下則達 80 % 以上。表(12)是三年平均旱雨季含水量佔孔隙之百分比。

表(12) 三觀測點三年平均旱雨季土壤含水量佔孔隙之百分比

觀測點	季節	麻豆		新市		角帶	
		雨季	旱季	雨季	旱季	雨季	旱季
土層深度 cm	5						
	15	40.1	39.7	61.9	60.7	60.6	51.7
	30	59.1	53.7	70.6	66.8	63.4	50.6
	50	59.4	51.6	83.0	78.9	60.5	44.3
	70	58.3	54.0	88.6	82.4	72.7	63.1
	90	68.4	64.4	91.3	83.9	78.3	68.9

7. 地下水位對空地土層含水量之影響：

圖 (27)~(29) 是將三年記錄，依地下水位變動範圍 40cm，規納統計之結果，繪成在不同地下水位根層土壤含水量曲線，變動範圍為 40cm 是表示若地下水位為 50cm 時，將 30~70cm 間之資料拿來統計，求其平均值。

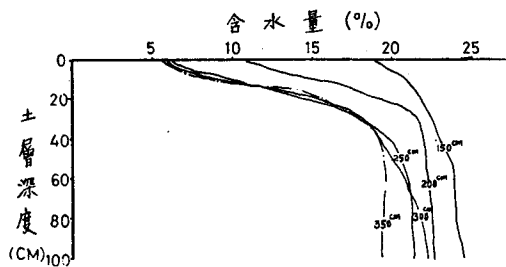


圖 (27) 麻豆觀測點在各不同地下水位根系土層土壤水分含量分佈圖

圖中數字代表地下水位，由圖可知，當地水位降低時土壤含水量亦跟著降低。麻豆觀測點因地下水位降低引起之土壤含水量降低，表層土壤為最顯著，但在 250cm, 300cm, 350cm 時表層土壤含水量幾乎一致，底層變異較大，這是由於表層已在毛管活動區之外，含水量已很低，蒸發損失不容易。角帶則以

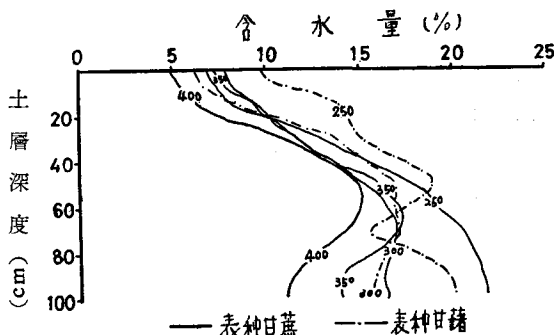


圖 (30) 麻豆觀測點種植作物地在不同地下水位根系土層水分含量分佈圖

新市因地下水位降低，引起之土壤含水量變動差異不大，50cm 與 100cm 者幾乎相等，50cm 與 200cm 地下水位者，最大相差只有 2%，顯示出，根系土層皆在毛管活動區範圍內，表層受不同氣候影響，蒸發損失不同，故其含水量不規則。

B. 地下水位對栽種作物地土壤含水量之影響：

栽種作物時土壤含水量由於作物之吸收，故常較空地者為低，減低之情形視作物種類，生長時期而不同，以生長時期而言，蒸發散量隨作物之成長而增加，至開花期達最高，然後慢慢降低，所以土壤含水量在沒有其他因素影響時應沒有減少，減少速度亦跟著改變。

60~80cm 層降低最厲害，其他變化反而較小，這是因為該層粉粒含量較多，砂粒少，保水能力强。

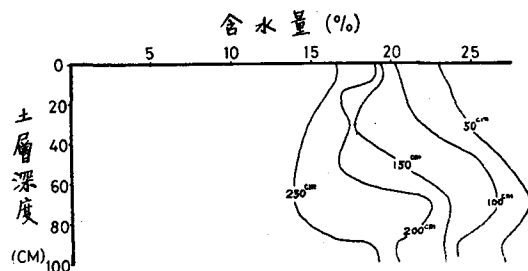


圖 (28) 角帶觀測點在各不同地下水位根系土層土壤水分含量分佈圖

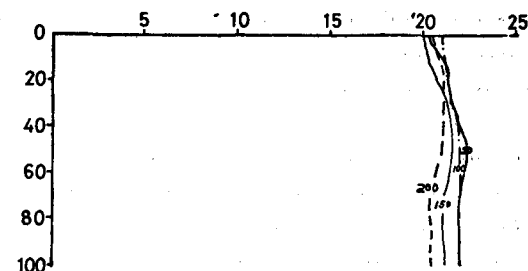


圖 (29) 新市觀測點在各不同地下水位根系土層土壤水分含量分佈圖

作物種類	地下水位 (cm)	生長日期 種植後
甘蔗	250	4 個月
甘蔗	300	5 個月
甘蔗	350	2 個月
甘蔗	400	7 個月
甘蔗	250	1 個月
甘蔗	300	2 個月

圖 (30)~(32) 是栽種作物時，地下水位對土壤含水量之影響圖，其統計方法與空地者相同。圖右邊

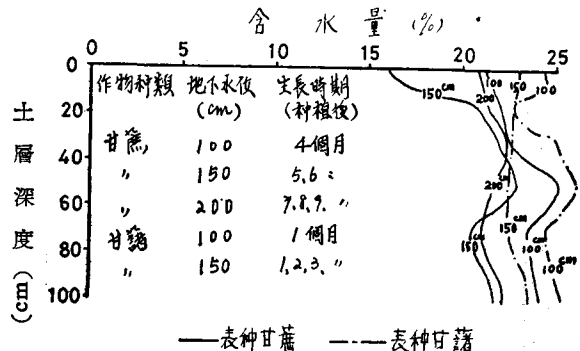


圖 (31) 新市觀測點種植作物地在不同地下水位根系土層土壤水分含量分佈圖

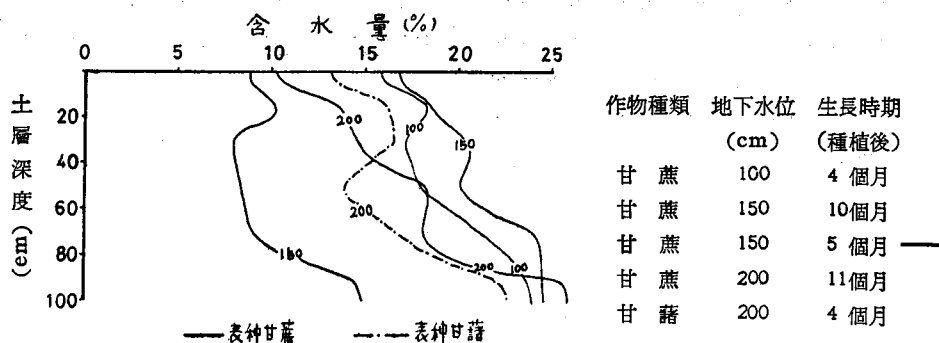


圖 (32) 角帶觀測點種植作物地在不同地下水位根系土層土壤含水量分佈圖

是說明在該地下水位時作物之種類與生長時期，從圖中來看，一般下層土壤含水量隨地下水位降低而減少，但根系發展層則很不規則，有時地下水位高其土壤含水量反較低者為低，這可能是因根系生長之性狀不同，種植作物地土壤含水量較在同一地下水位空地者為低，這種情形在新市並不明顯。其原因當與毛管水活動範圍，毛管水補及速度有關，若就同一地點不同作物比較，不同之作物在同一地下水位時土壤含水量不同，甘蔗之土壤含水量在上層較種甘藷地者為低，但在下層則情形却相反。這與根系分佈，吸水型態有關。

8. 毛管水活動區範圍：

圖 (33)~(35) 是各觀測點於地下水位最低者，自地下水水面至表土之土壤三相分佈圖。在田間從表土挖掘，每 20cm 採取土壤測定之。麻豆在 180cm 至

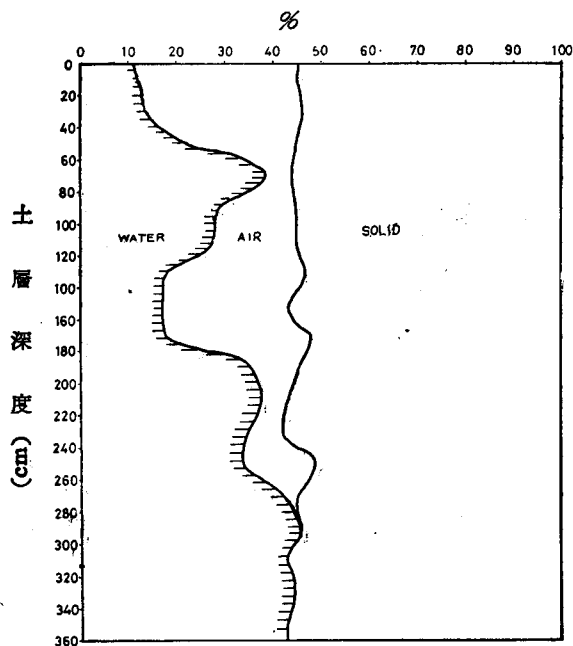


圖 (33) 麻豆觀測點地下水位以上土層三相分佈圖

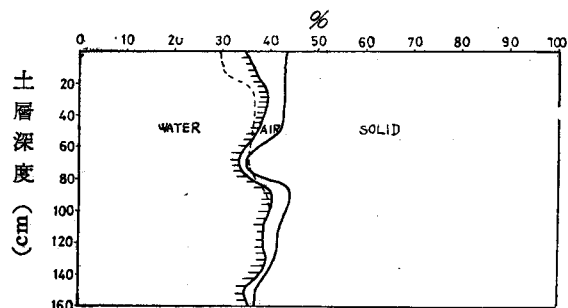


圖 (34) 新市觀測點地下水位以上土層三相分佈圖

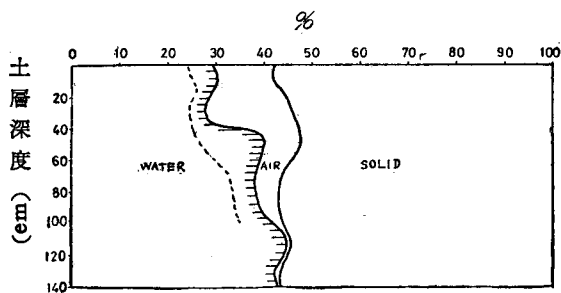


圖 (35) 角帶觀測點地下水位以上土層三相分佈圖

140cm 土壤含水量急遽降低，在 60~80cm 土壤含水量幾達飽和，這是因該層粘粒含量較高，質地較粘重，水分呈懸着水狀態存在。從 360~180cm 為該地田間狀態下實際上之毛管水活動區，高度為 180cm。新市超過 160cm，角帶為 100cm 以上。即麻豆根系土層可在毛管活動區範圍內，但因質地粘重，旱季時毛管水活動不能到達，或土壤水分由毛管補充較其損失為慢，所以其表層土壤含水量很低，而新市與角帶根系土層無論在雨季或旱季，皆在毛管水活動區內。

伍、結 論

1. 嘉南平原乾季和雨季很明顯。雨季從每年之五月至九月，雨量佔年雨量之 85% 以上；乾季從十月至翌年之四月。

2. 地下水位因地區不同而有相當大的變動，大部

分地區地下水位在1米至2米之間。乾季地下水位，成穩定下降，下降變動範圍除麻豆為2.5米外，其他在1米左右。

3. 輪作田因栽種方式之變換，三年中種一次水稻，細顆粒沉澱，土層中之土壤不均一，往往有一較緊密之土層存在，該層之有效孔隙較低，減低水分滲透性。根系土壤層中有效孔隙最低的深度，依土壤質地而不同。黏土為40cm，壤土為60cm，砂壤土為80cm。滲入土中之水分，到此深度運動性降低，土壤含水量較高。

4. 一米深的根系土層有效水分含量，以壤土最大，黏土次之，砂壤土最低。有效水分範圍以0~20cm層最狹，40~60cm層最寬。

5. 三年之土壤含水量變化，麻豆在40cm土層以下者大部份在平均水分當量以上，40cm以上旱季水分當量常低於凋萎點以下。新市與角帶土壤含水量皆在水分當量以上。

6. 根系土層若不受毛管重力水之影響，充分灌水使該土層浸透，則其土壤水分運動達平衡所需之時間麻豆72小時，新市48小時，角帶24小時。

7. 降雨後土層中能够保存之水分，視降雨前土壤含水量，降雨量之多少，土壤質地與構造及地下水位高低而定。保存水分最大量並不是田間容水量，在高地下水位時，因毛管支持水之存在，保存水量大於田間容水量值。

8. 地下水位高時，土壤水分能由毛管作用而補充，故旱季與雨季土壤含水量差異不大。

9. 降雨能使土層之土壤含水量提高。小雨時僅能濕潤表層供蒸發損失，大雨或連續降雨則土壤含水量有一定最高值，超過此值則降雨對土壤含水量之提高無裨益。降雨後水分在土層內運動性態是這樣的：

(1)麻豆觀測點：水分進入土中，表層水分因蒸發損失，使表層土壤含水量很快降低。下層土壤水分則一面行水分之再分配，一面向下滲漏補充地下水。表層土壤水分蒸發損失利害，故很快達凋萎點以下。土壤含水量降低是逐層進行的。

(2)新市觀測點：降雨後水分之運動，自上向下滲透，在40~60cm層土壤含水量常較高。表層之蒸發損失不明顯，但地下水位降低引起之土壤含水量減少以40~60cm層最利害。

(3)角帶觀測點：地下水位在1米內時土壤水分降低以0~10cm最快，地下水位在1.5米以下時表層土壤含水量在13%時蒸發損失不容易，此時因地下水降低引起之土壤含水量減少以20~60cm層最快。

10. 空地與有栽種作物地土壤含水量比較，麻豆因地下水位低，土質黏重，由地下水之補充不及損失之

水量，所以兩者差異顯著。新市與角帶則幾乎沒有差異。

11. 土壤空氣不論雨季或乾季皆以麻豆最高佔孔隙之45%，角帶次之40%，新市最低25%。

12. 有栽種作物地土壤含水量隨地下水位降低而減少的數量，依根系吸水型態而不同，一般以表土差異最大。在相同地下水位時，種甘藷之土壤含水量，在表土層較種甘蔗為高，低土層則有相反之趨勢。此種現象，原因還不十分清楚，有待進一步之研究。

13. 麻豆觀測點根系土層雨季時在毛管水活動區內，旱季則否，新市與角帶兩觀測點，不論雨季或旱季，根系土層皆在毛管水活動區之內。

陸、建 議

1. 灌溉之主要目的在於補充土層中之不足水量，以供作物生長之需要，所以若非為某種特別目的，應求灌溉水量能全部保留於土層中，使灌溉效率達到最大。土壤能保留之水量有一定之限度，灌溉太多大部之水量將成深層滲漏損失，浪費水量或提高地下水位，不利根系發展，所以灌溉用水量之多少，應先了解田間土壤水分運動狀態。

2. 土壤水分運動性受土壤質地與結構，土層之均一程度，黏粒之含量及有效孔隙度之影響，有效孔隙度小的土層土壤水分運動性減慢，該層土壤含水量亦較高，可應用作為考慮灌溉之深度。

3. 地下水位高時，根系土層在毛管水活動區內。該區內之土壤含水量介於飽和容水量與水分當量之間，區內水分，若因蒸發或作物吸收損失時，能由地下水來補充。所以若能長期觀測確定旱季地下水變動範圍，配合毛管水活動區，則可減少灌溉次數及用水量。

4. 地下水位高，減少土層中之孔隙度，空氣缺乏，影響作物呼吸作用，阻碍根系發展，產生毒害物質，妨害作物生長。所以雨季與旱季初期，是否需加排水，降低地下水位之程度，製造良好之土壤環境⁽²⁸⁾，以利作物生長，有待進一步之探討研究。

5. 有效雨量之估算，因水田與旱田栽培方法不同，所以其估算方法也不同。水田之耗水量是以田面水深之降低估算⁽²⁷⁾，故雨量對水田之有效率也是視降雨能使水深增加多少而定。但在旱田是依降雨能增加之土壤含水量而定，故旱田之有效雨量估算，可長期測定每月之降雨與土壤含水量之變動來探討之。

6. 地下水位高低與土壤含水量之關係，在本研究

中因限於田間環境，無法求其定量，只能探討其性態之變化，關於量之探討，有待於利用土柱在實驗室內之測定研究。

柒、誌 謝

本文得以完成，應歸功於所主任張建勛教授與指導教授徐玉標教授之鼓勵與教導。尤其是徐師平日耳提面授，悉心教誨，諄諄教導獲益尤多。文成後復承蒙徐師在百忙中抽暇連夜核正，至深銘感五內。

田間之觀測承葉政秀學長及學甲旱作灌溉試驗站主任黃卷重先生與黃俊雄、黃春賢先生之指導與協助，使觀測試驗得以順利進行。農工系湯松義、游輝榮兩位先生協助分析土樣，測定水分常數。以及黃碧雲、駱梅芬兩位小姐熱心協助資料整理，圖表描繪與抄寫。本研究曾接受農復會之經費補助，謹此一併致謝。

此外，平日師長們的指教與同學們的互切互磋，林淑琴小姐的鼓勵，及嚴父慈母的教誨，都有助於本文之完成，謹此記之。

捌、參 考 文 獻

1. C. A. Black
Soil-Plant Relationship p.81
2. F. S. Harris & H. W. Turpin
Movement and Distribution of Moisture
in the Soil Jour. of Agr. Res. V. 10
1917 p. 113
3. Israelsen & Hansen
Irrigation Principle and Practices
Third Edition
4. 傑姆斯、龐納、約瑟、W 蓋斯登合著 植物生理
學原理(一) 1955
5. 張建勛、甘俊二、陳益榮 嘉南地區旱作灌溉綜合
試驗研究 農工——灌溉第十二號研究報告
59年10月
6. 張建勛、徐玉標、吳銘塘 旱地作物灌溉方法之研
究 農工——灌溉第十號研究報告 57年7月
7. 施嘉昌 烏山頭蓄水庫灌溉系統埤間灌溉方法試驗
資料之研究分析報告 農工——灌溉第十二號研
究報告 58年3月
8. 臺灣省嘉南農田水利會 民國五十七年業務中心工
作計劃暨民國五十六年業務成果檢討案 p. 6.
9. 吳純宏 臺灣輪作田埤間灌溉斷水點之研究 碩士
學位論文 58年6月
10. 甘俊二 輪作田灌溉方法之研究 農工學報第 14
卷第 3.4 期 57 年 12 月
11. 徐玉標 地下水位毛細管作用對旱作灌溉之影響
農工學報第 12 卷第 5 期 56 年 9 月
12. 蔡明華 毛管活動區不同地下水位對旱地作物需水
量影響之研究 碩士學位論文 59 年 6 月
13. 張建勛、徐玉標、施嘉昌、甘俊二 嘉南地區及臺
大旱作灌溉試驗報告 53 年 6 月
14. 徐玉標 灌溉土壤學講義 59 年 9 月
15. 陳振鐸譯 土壤物理學 58 年
16. C. A. Black, Editor-in-Chief, and D. D.
Evans, J. L. White, L. E. Ensminger,
and F. E. Clark, Associate Editors:
Method of Soil Analysis, Part I 1965
17. R. M. Hagan, H. R. Haise, and T. W.
Edminster, Editors:
Irrigation of Agricultural Lands p. 24
1967
18. Ven Te Chow
Advances in Hydrosience V.5 p.219 1969
19. Terzaghi
Soil Mechanics in Engineering Practice
1968
20. R. H. Karol
Soil and Soil Engineering p.49 1960
21. P. C. Carman
Capillary Rise and Capillary Movement
of Moisture in Fine Sands
Soil Sci V. 52 1941
22. 福田仁志 ベーバー土壤物理學 灌溉地水收支
東京大學出版社 1955
23. 徐玉標 土壤水(2)水之特性及水在土壤中之現象與
本質 科學農業第十八卷第七、八期 59 年 7 月
24. 徐玉標 土壤水(3)土壤水與植物之關係 科學農業
第十八卷第十一、十二期 59 年 11 月
25. 臺大農工系 灌溉排水實習講義 56 年
26. F. J. Veinmeyer & A. H. Hendrickson
The Moisture Equivalent As a Moisture
of the Field Capacity of Soils
Soil Sci. 32
27. 農業工程學會 灌溉排水規劃手冊 1964
28. 包敦樸、洪瑞麟 地下水位高低對甘蔗生育產量及
根系之影響 臺灣糖試所研究彙報 24 號
29. 陳清義 數種旱地作物氣孔開閉習性之研究 中華
農學會報第六十八期 58 年 12 月
30. 山崎不二夫監修 土壤物理 養賢堂發行 1969
31. 張玉鑽 甘蔗旱地灌溉土壤水分收支動態研究
臺灣水利 灌溉專輯 59 年 3 月