

以土壤水分當量推算水稻灌溉需水量之研究

Estimation of water Requirements for Rice Irrigation by Moisture Equivalent

水利局幫工程師

水利局副工程師

陳 尚 李 德 滋

Sang Chen and Tei-tze Lee

During investigation of water requirements and irrigation Soil at different area in Taiwan, authors found high correlations among Soil texture, moisture equivalent, and percolation, and the following data was used for estimation of water requiremenets.

- (1) Moisture equivalent for differnt types of soil.
- (2) 433 field percolation tests and soil sampling of different areas.
- (3) Evapo-transpiration experimental data on rice.
- (4) Records of evaporation from pan.
- (5) Data of saving percentage of water requirents for rotational irrigation compared to continuons irrigation.

According to statical and sysematical study of above data, the tollowing step and method of estimation on rice water requirements had been tried.

- (1) Estimate moisture equivalent from soil texture.
- (2) Estimate percolation rate of paddy field from moisture equivalent or soil texture.
- (3) Estimate rice water requirements of main field period, rotational irrigation. from moisture equivalent or soil texture,

Finally, the water requirements had been checked by record of 13 rotational irri gation demonstration area at different

place in Tainan, and their reliability was confirmed.

一、前 言

灌溉需水量，為擬定灌溉開發計劃或實施配水的主要資料之一。但目前在臺灣，對此方面之試驗研究資料，可供實際應用者仍屬不多；且大都限於小區試驗田。

然以較大區域之不同土壤，氣象及其他環境條件為對象作有系統之一貫性研究，而可供決定或推算需水量之準繩者，更屬少見。

僅在1935年八田⁽¹⁹⁾依極微土(土壤粒徑0.005mm以下)平均含量，編訂「土壤別用水量」標準(水稻本田澆灌灌溉率)。1955年作者^(20,21)等為應本省輪灌推廣工程設計之用，仍依土壤粒徑0.005mm以下之含量百分數，根據當時之粗放資料，擬定一種水稻本田輪灌灌溉率之暫行標準。

惟此等標準，係僅依土壤粒徑0.005mm以下之含量百分率一項因素而定，但該因素在土粒級配均勻之土壤雖有某一程度之代表性，然在級配不均勻之土壤，即不具代表性，應用上頗受限制，且所根據者又係當時粗放之資料，故在一切影響因素(尤其是土壤)變化範圍甚大之全省耕地，難免發生較大之偏差。

作者等，於此數年來從事臺灣各地灌區土壤與需水量實地調查試驗所得結果，發現土壤水分當量與水田滲透有密切之相關關係，故可用水分當量推求滲透量，進而再配合其他有關因素，求出田間需水量。(註1)

另一方面，可利用質地與水分當量之關係，在質地三角圖表上，或用機械(顆粒)成分，以各不同土壤實驗而得之公式，求出水分當量之近似值。

換言之，若在短時間內，需要估計大區域之需水量時，可不經實地滲透測定，逕行利用質地(機械或

分)或水分當量等任何一項,再配合當地之其他有關因素,可推求滲透量及需水量之近似值。在一般情形下,諒能合於灌溉開發計劃或配水計劃上之需要,方法、手續均至簡便。

本文係根據實地調查、採樣、試驗之累積資料為基礎,應用統計方法處理,並配合實用為目標,以水分當量或質地推算水稻本田輪灌需水量為研究之中心。

最後就本研究推算結果與全省各地輪灌示範區用水記錄比較,檢討其可靠程度,以供應用上之參考。

二、水田滲透率與水分當量之關係

滲透為構成稻作需水量之田面蒸發、蒸散、滲透等三因素中,在同一地域,局部變化最大,因此,成為研究需水量,最重要之對象。水田之滲透受①土壤,②地形,③田埂,④地下水位,⑤灌溉與耕作管理等五項主要因子互相交織影響,變化多端,情形複雜。

在飽和水狀態下之土壤滲透率有各種求法,如Darcy之由水頭、土層、斷面積、滲透時間,等因素求出滲透係數公式;Schlichter以粒子直徑與孔度;Kozeny之經由孔隙量(可流動水分者),孔隙形狀,流路扭曲又比表面積關係;Fair與Hatch經孔隙量及比表面積;以及Zunker之徑由比表面積。粒子形狀,排列及未為水分充填之空隙量(在田間容量時)而誘導之方法。

但在水田中飽和狀態下之滲透現象,即如上述,係受眾多之複雜因子錯綜影響之結果。利用上列諸公式與方法推算滲透量,在應用上有許多困難與限制,且不比大量而經多次重覆之實測可靠又簡便。因此本研究採取之滲透資料仍以實地測驗為基礎。

水田滲透:為統計處理及應用上之簡便,可分為垂下滲透與橫向滲透,合稱為總滲透。

橫向滲透:係指滲出田埂、排水溝、灌區周圍或耕地高差處之滲透損失。其多寡、視土壤種類,管理情形,田間因乾濕交互而發生之龜裂,虫鼠類所穿之孔穴,以及地面坡度之緩急等原因而有差異。此項損失,如以一坵田而言,因單位面積所佔之田埂長度較長,故估總滲透量之比例相當之大。但若以同時積水之較大灌溉面積為對象時,因相鄰各坵間,橫向滲透可互相抵制或重覆利用,故除靠排水溝一面或不同時積水之區界外,實際上所損失者不多。因此,在一般情形下,橫向滲透損失,佔總滲透量之比例不大。

垂下滲透,係從田面向下滲透之水量,而將土壤

水分達到飽和後之單位時間垂下滲透水深,稱為垂下滲透率,以日滲透水深mm/day表示之。垂下滲透為總滲透之主要部份,在目前直接測出可應用之橫向滲透,尚有困難,且其佔總滲透之比例亦較少,故本研究採用之總滲透仍以實測垂下滲透率為基礎,再計算橫向滲透。

1. 垂下滲透率之測驗方法

A.測驗器具:滲透之實地測驗,有幾種方法,大別之:為田區法及筒測法兩種。田區法,係將整個田區供為測驗,故能得到較為精確之結果,但需設法防止田埂之漏水,一切設備與規模人力,時間,經費等均較筒測法為大,故測驗處數容易受到限制。筒測法,因受測筒之影響不如田區法之精確(惟較室內土柱測驗接近實際),但設備,觀測均較簡單,容易施行,測驗地點容易增加;若選點得宜,增加測驗重覆及處數,注意操作,仍可得到相當接近實際之結果;在目前仍不失為一個簡便之方法,故一向均廣被⁽²²⁻³⁰⁾採用。本研究為大量增加測驗處數及重覆,以究明土壤及其他不同土地條件之固定垂下滲透率的關係,乃採用測筒法在田間測驗。

作者等最初(1960年以前)係採用同心圓式兩重圓筒^(12 13 22)法(Concentric Ring Infiltrometer)施測。自1961年調查白河水庫灌區^(14 18)時起,改用山崎⁽²³⁾等(1960)之定水頭馬利奧(Mariott)管法⁽²²⁾,並加設無蓋無底直徑60cm之大圓筒外套,以供田面乾露時積水之用,並防止施測進行中因田面水位變化而引起之誤差(本測驗經常保持40mm左右水深),期能獲得測筒本身較正確之垂下滲透率。前述兩種方法,均屬有蓋之測筒,故可防止蒸發。

B.滲透之時間變化與測驗時間:垂下滲透之變化,可分為地點變化與時間變化兩種;地點變化即為地點不同之變化,地點變化之幅度,遠大於時間變化,即為本測驗擬加以施測究明者。

時間變化,乃指在同一地點因時間之不同而發生之變化;此項變化,亦可再分為兩種情形考慮。第一種情形為在乾田情形下,開始灌水漸至飽和後之變化;此一種變化,如前面所述,本測驗係用於水田,而採取達到飽和後之數值,故在採用之測驗數值上,已無此項變化。

第二種情形,即為水稻全灌溉期間內之變化,而影響此一變化之因素,主要為蒸散地下水、灌溉與耕作管理狀況等。此諸因素之中,灌溉與耕作管理狀況係屬人為因素,如因缺水或灌溉管理不善而致田面乾

露過久，即發生龜裂，此後之滲透，就顯著增加；由此種原因而增加之滲透，係屬非正常，故在測定時，此種原因而增加之滲透，即不考慮在內，蓋吾人在此需要究明者，係在施行正常灌溉時之數值。

在同一地點而言，地下水水位高時滲透即小，反之即增加。但若地下水水位降低至土壤之負壓一定位以下時，任其如何降低，其土壤中之壓力水頭，仍為一定，故滲透量亦為一定。根據大島⁽⁹⁾之實驗，其影響之界限為：砂土2.0至1.5m，砂壤土1.0至0.9m，壤土0.65m；若土層存在俗稱「牛踏層」之不透水層時，該層以下之地下水水位任何變動，亦不致影響滲透。由上述之實驗結果可見，如無明顯之牛踏層存在時，其影響之界限即在2.0至0.65m，實際上，因砂土之現成水田甚少，故本研究定為測定時若地下水水位淺於1.5m（如有明顯之不透水層存在時即淺於0.5m）者，視為受其影響另行統計。

至蒸散，因水稻係在土壤根層中吸收垂下滲透中之水量，故田間之滲透量，即隨生育階段而變化。但因本研究觀測所用之小測筒，係插在水稻株間，插入時自然將根系切斷，故可避免蒸散之干擾，至分蘖終期以後，因根系蔓延，有時可伸至測筒以下，故亦避免在該時期觀測。

關於每一測點之觀測時間，即採用單位時間滲透率達到固定後經過24小時為準。

C. 測驗地點之選定原則：因本測驗主要在求土壤與水田垂下滲透之關係，故為統計處理上之需要，參照土壤調查所得資料，注重平均分配於測驗區內現成水田之各種土壤的適當代表地點，而非平均分佈於全區，並避免設於特殊情形或局部變化之地點，各灌區施測之處數如表1。

D. 測驗重覆：每處之測驗均採取三重覆，即每處在同一田坵裝設三套測筒同時施測，求其測驗平均值，即得該點之垂下滲透率。

2. 測驗結果之統計

影響滲透之因素，固然相當之多，但本研究以適當之測驗方法及地點之選定，已將前面所述各項非土壤本身之影響因素，不包括在垂下滲透之內，因此所測出之垂下滲透結果，可與比較固定之因素—土壤—找出關係，而其他作為修正因素。

惟土壤一項因素內，與垂下滲透率可能有關之因子亦甚複雜，在目前可以想像者，即有下列十幾種之多。這些因子，有基本的，從屬的，一般的，特殊的，固定不變的，隨時在變的，今若試以其性格分類，大

表1 各灌區滲透測驗處數一覽表

灌 區	測驗處數	測驗年份	測 驗 方 法
大 甲 溪 灌 區	63	1957	同心圓式兩重圓筒法
卑 南 灌 區	45	1958	"
濁水溪北岸灌區	97	1959~1960	定水頭馬利奧管法
白河水庫灌區	52	1961	"
後龍水庫灌區	36	1961	"
花 連 地 區	45	1962	"
臺 東 地 區	38	1962	"
寶山水庫灌區	80	1963	"
龍池水庫灌區	42	1963	"
高高大圳灌區	54	1963	"
新城圳灌區	31	1963	"
豐田圳灌區	40	1963	"
鹽埔圳灌區	117	1963	"
志學,林田,光復地區	48	1964	"
大埔水庫灌區	39	1964	"
計	828		

約可歸納如下：

A. 基本或固定的因子：

- ①質地、②微細土粒含量、③土粒級配、④土粒比表面積、⑤水分當量、⑥粘土礦物。

B. 從屬的因子

- ⑦孔隙量、⑧孔隙徑、⑨微密度、⑩構造。

C. 一般的因子

- ⑪還元作用、⑫有機質、⑬地溫。

D. 特殊或隨時在變的因子

- ⑭動物之孔穴、⑮龜裂。

上列D項：係特殊與隨時在變的因子，故難作統計之依據。C項：雖為一般的因子，但同於水田狀態，而在一定的氣候條件下，有一定的上下極限，變化幅度不大，故暫不加考慮。B項：大體而言，可謂A、C、D三項內多數因子綜合影響結果之從屬因子，以人為之耕作，及成田之久暫亦有影響，但熟田（本研究以應用於熟田為準）之水田土壤構造及剖面特性多形成相同或相似型態⁽¹³⁾，尤其是牛踏層之存在為其最明顯之特徵。故此一方面之影響可視為類似，在統計上可不另加以考慮。

至A項內之6個基本或固定因子，除施行客土或放淤改良外，仍難改變其性狀，且與滲透之關係最為密切，故可作為直接尋求垂下滲透之因子。但經過許多地區之測驗統計結果，大體可看出同一種質地或水分當量之間，亦與土類及母質來源之不同而有些差異

圖1 研究區域位置圖

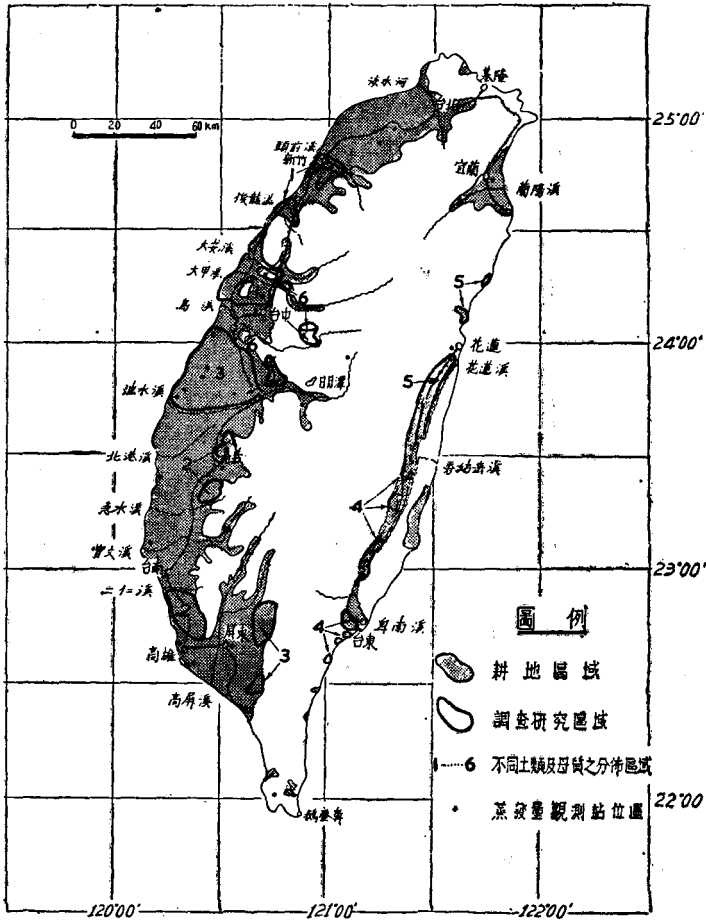


表2 滲透統計區分表

滲透統計上之土壤區分		測驗灌區	參加統計處數
區分號碼	土類及母質		
1	西北部砂岩、頁岩沖積土(包括小部份風積土)	寶山(新竹)後龍(竹南)能高(埔里)(大甲溪)	58
2	西南部砂岩、頁岩沖積土(包括小部份之層積土及風積土)	龍池(大林)白河	67
3	粘板岩沖積土	濁水溪、高屏溪及蘭陽溪沖積平原(隘寮溪)	138
4	東部片名、粘板岩、雜岩、沖積土	池上、關山、知本、卑南	25
5	東部結晶石灰岩片岩沖積土	新城、北埔、吉安圳、豐田志學、鳳林、光復	91
6	紅棕壤	寶山後龍、大埔等	54
計			433

，此種差異可能受其他之諸因子互相關聯影響之結果。

因此，本研究為一併考慮前列諸因子(①~⑥)之綜合影響，採取下列兩個步驟統計：

第一個步驟：根據土壤分類，以不同土類及不同母質來源，將過去在各地實測之資料，分成下列(表2、圖1)六種土壤(註4)分別統計。

第二個步驟：根據上列所分之六種土壤實測測之各點資料，以土壤諸因子分別與垂下滲透率，求相關關係(Corrolation)及其顯著性之測驗；而尋求相關程度較密切且在應用上亦較為簡便之土壤因子，作為推求滲透之基本因子。

3. 水分當量與垂下滲透率之關係

上列之質地、微細土粒含量、土粒級配、土粒比表面積等因子，以表示方法之不同，亦可舉出更多之不同因子。最初在大甲溪灌區調查時^(11,12)(1957)，用這些因子(該時尚未發現水分當量一項與水田垂下滲透率有關係，故未列入)與垂下滲透率實測值作相關分析結果，即如表⁽¹¹⁾³。

表3 大甲溪計劃灌溉區垂下滲透率與土壤諸因子相關係數及顯著性測驗結果

土壤因子	樣本數目 N	相關係數 r	相關方向	$\frac{1}{N} \sum r_i$ 或然誤差 $\frac{1}{N} \sum r_i / \sqrt{0.6745(1-r^2)}$	虛無假設之測驗			相之無有
					$\frac{5}{100}$ 顯著點	$\frac{1}{100}$ 顯著點	$\frac{1}{1000}$ 顯著點	
1. Hazen氏之有效粒徑(註5)	56	0.19	正	2.2	± 0.26	± 0.35	± 0.40	無
2. Hazen氏之有效粒徑平方值	56	0.41	"	5.5	± 0.26	± 0.35	± 0.40	有
3. Zunker氏之有效粒徑(註6)	56	0.64	"	12.0	± 0.26	± 0.35	± 0.40	有
4. Zunker氏之有效粒徑平方值	56	0.65	"	12.5	± 0.26	± 0.35	± 0.40	有
5. 細土粒徑在0.005mm以下之%	56	-0.52	負	7.9	± 0.26	± 0.35	± 0.40	有
6. 細土粒徑在0.002mm以下之%	56	-0.47	"	6.7	± 0.26	± 0.35	± 0.40	有
7. 土粒累積曲線之彎曲係數(註7)	56	-0.04	"	0.4	± 0.26	± 0.35	± 0.40	無
8. 土粒均勻係數(註8)	56	-0.35	"	4.4	± 0.26	± 0.35	± 0.40	對 $\frac{5}{100}$ 顯著點有相關
9. 表土質地級(註9)	56	0.38	正	4.9	± 0.26	± 0.35	± 0.40	對 $\frac{1}{100}$ 顯著點有相關
10. 底土質地級	56	0.03	"	0.3	± 0.26	± 0.35	± 0.40	無

由上表可見，在10項因子中，有相關者計有五項，綜合顯著性測驗結果，發現 Zunker 氏之有效粒徑及其平方值與粒徑 0.005mm 以下所佔之百分數等三項，對於垂下滲透有特別重要之關係。前兩項雖相關程度略深，但大量應用時其計算手續頗感繁雜，而三者均顯示在足可信賴之合格限度之內，故為應用上之簡便，乃選擇土壤顆粒小於 0.005mm 之重量百分數

作為推求滲透之因子。

但 0.005mm 因子，雖在大小顆粒級配較均勻之土壤，乃不失為一個代表性相當高之因子，然若顆粒級配過度集中於某一段粒徑之土壤（例如濁水溪灌區土壤偏集於粉粒 (Silt)，圖 2 即乏代表性故 0.005mm 因子與滲透的關係之適用範圍，仍有。其限度，並不能代表任何級配之土壤。

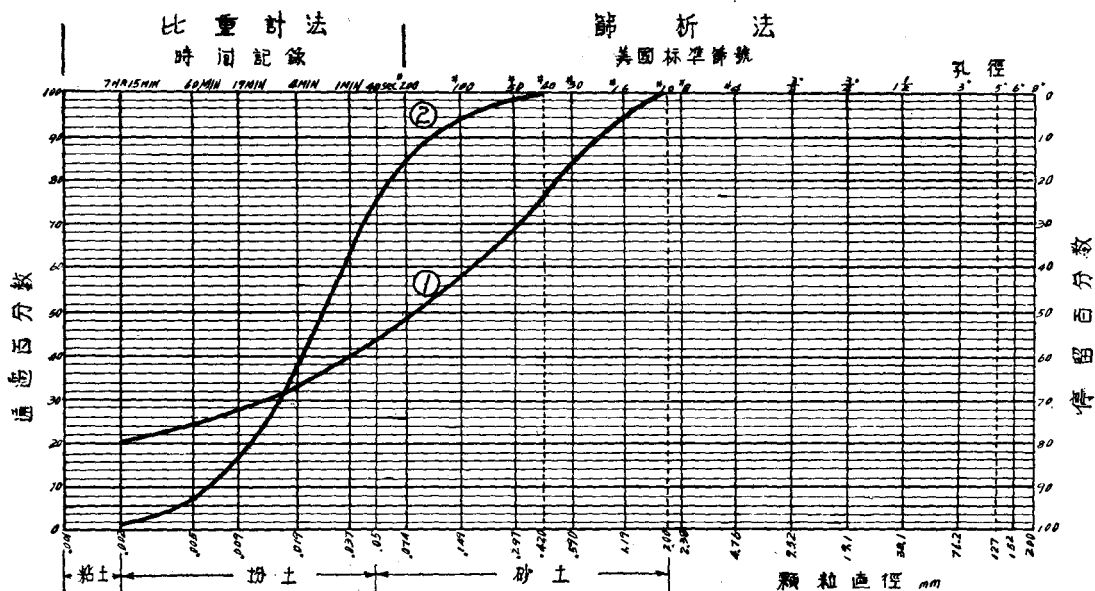


圖2 土粒累積曲線趨勢之比較

①大甲溪灌區土粒累積曲線②濁水溪灌區土粒累積曲線

後來為探求較適合於任何級配之因子，以彌補上述缺點，於濁水溪灌區調查時⁽¹³⁾ (1958~1959)，進一步研討結果，發現土壤之水分當量，頗適合於上述之要求，因水分當量係表示土壤保水能力之一種指標，且與質地級配等有密切關係⁽⁴⁸⁾ (將於三章詳述)

，嗣後經應用於各灌區與滲透實測值作相關分析比較⁽¹²⁻¹⁸⁾結果，均顯示水分當量之相關程度較 0.005mm 因子為高，較可信賴。

茲就過去在各灌區實測之 828 處資料中，取有水分當量實測記錄者^(註10)，並捨去受地下水影響^(註11)或

特殊變化部份，即擇較具代表性之資料，計 433 處依據表 2 之六種區分，分別以水分當量及 0.005mm 因子

(兩因子均指土層 30~40cm 以上部份) 與滲透作相關分析結果比較於表 4。

表 4 各種土壤區分之垂下滲透率與水分當量及土粒 0.005mm 以下 % 之相關係數及顯著性測驗結果

1. 水分當量

土 壤 區 分	樣本 數目 N	相關 係數 r	相關 方向	1 rl 或然誤差 = $\frac{1 \text{ rl} \gamma}{N}$ $\frac{1}{0.6745(1-r^2)}$	虛無假設之測驗			相 關 有 之 無
					$\frac{5}{100}$ 顯著點	$\frac{1}{100}$ 顯著點	$\frac{1}{1,000}$ 顯著點	
1. 西北部砂岩、頁岩沖積土 (包括小部份之風積土)	58	-0.72	負	17.2	± 0.26	± 0.34	± 0.40	有
2. 西南部砂岩、頁岩沖積土 (包括小部份之盤層土及風積土)	67	-0.55	〃	9.7	± 0.24	± 0.32	± 0.37	有
3. 粘板岩沖積土	138	-0.55	〃	13.9	± 0.17	± 0.22	± 0.26	有
4. 東部片岩、粘板岩、雜岩沖積土	25	-0.77	〃	14.0	± 0.40	± 0.53	± 0.61	有
5. 東部結晶石灰岩片岩沖積土	91	-0.61	〃	13.7	± 0.21	± 0.27	± 0.32	有
6. 紅 棕 壤	54	-0.52	〃	7.8	± 0.26	± 0.35	± 0.41	有

2. 細土粒徑在 0.005mm 以下之 %

土 壤 區 分	樣本 數目 N	相關 係數 r	相關 方向	1 rl 或然誤差 = $\frac{1 \text{ rl} \gamma}{N}$ $\frac{1}{0.6745(1-r^2)}$	虛無假設之測驗			相 關 有 之 無
					$\frac{5}{100}$ 顯著點	$\frac{1}{100}$ 顯著點	$\frac{1}{1,000}$ 顯著點	
1. 西北部砂岩、頁岩沖積土 (包括小部份之風積土)	58	-0.64	負	12.3	± 0.26	± 0.34	± 0.40	有
2. 西南部砂岩、頁岩沖積土 (包括小部份之盤層土及風積土)	67	-0.29	〃	3.4	± 0.24	± 0.32	± 0.37	對 $\frac{5}{100}$ 顯著點有相關
3. 粘板岩沖積土	138	-0.50	〃	11.8	± 0.17	± 0.22	± 0.26	有
4. 東部片岩粘板岩雜岩沖積土	25	-0.78	〃	14.8	± 0.40	± 0.53	± 0.61	有
5. 東部結晶石灰岩片岩沖積土	91	-0.57	〃	11.9	± 0.21	± 0.27	± 0.32	有
6. 紅 棕 壤	54	-0.43	〃	5.8	± 0.26	± 0.35	± 0.41	有

由上表綜合而言，水分當量之相關程度深於 0.005mm 因子。茲以水分當量為橫軸 (x)，垂下滲透率為縱軸 (y)，以 3. 粘板岩沖積土為例，將實測值之分佈情形點繪於圖 3。由該圖可見，點之分佈乃相當分散，由此亦可看出滲透變化幅度之大與其情形之複雜性。但依其趨勢亦可察出似具有拋物線或對數直線關係，前在大甲溪調查^(11,12)時乃先用下列之三種回歸線基本方式，分別以最小方法求出各線之回歸方程式 (equation of regression)。

A. 直線回歸方程式： $y = a_0 + a_1x$ (式 1)

B. 二次拋物線回歸方程式： $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$
..... (式 2)

C. 直線對數曲線方程式： $\log y = a_0 + a_1x$
..... (式 3)

次再根據此三線試算各線之估計標準誤差 (Standard error of estimate) 比較結果，以 C 直線對數曲線較為適合兩函數之關係，故以後即選用該式推求兩者之關係。

茲依表 2 之六種土壤，分別用上述之方法，推求回歸方程式於後，並繪示比較於圖 3 及 4，(該項曲線如繪於半對數格紙可成直線，但為應用之方便及容易比較計，仍繪示於普通方格紙)。

① 西北部砂岩、頁岩沖積土

$\log y = 1.7694 - 0.0430x$ (式 4)

② 西南部砂岩、頁岩沖積土

$\log y = 2.0852 - 0.0599x$ (式 5)

③ 粘板岩沖積土

$\log y = 1.8960 - 0.0411x$ (式 6)

④ 東部片岩、粘板岩、雜岩沖積土

$\log y = 1.9643 - 0.0383x$ (式 7)

⑤ 東部結晶石灰岩、片岩沖積土

$\log y = 2.0749 - 0.0400x$ (式 8)

⑥ 紅棕壤

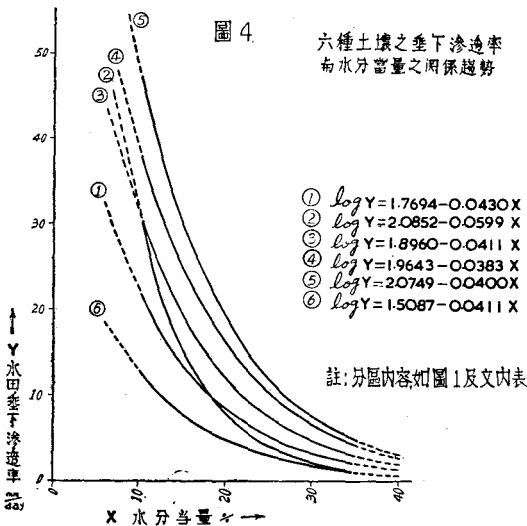
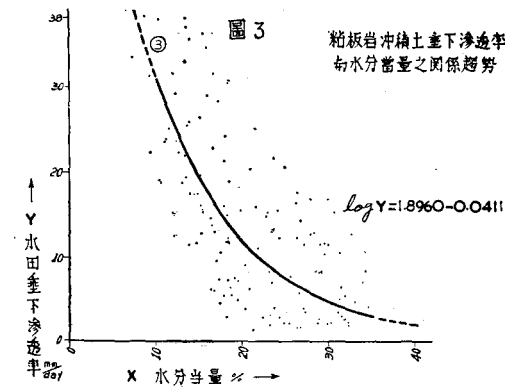
$\log y = 1.5087 - 0.0411x$ (式 9)

上列各式中 y：垂下滲透率 (mm/day)，x：水分當量 (重量%) 由圖 4 之比較，可綜合如下數點：

A. 各區之趨勢均相當類似，但絕對值即有高低，以⑤東部結晶石灰岩、片岩沖積土為最高。第二為④東部片岩、粘板岩、雜岩沖積土。第三為③粘板岩沖積土，且大致在中間。第四為①西北部砂岩、頁岩沖積土。第五為②西南部砂岩、頁岩沖積土，但約在水分量18%附近與①相交而扶揚直上，後在10%左右又與③相交。第六位即最低為⑥紅棕壤。

B. 上述各種土壤之高低差異，雖尚有其他因素影響，但大致可反映出各區土類及母質之特徵與滲透之關係，尤其是紅棕壤特別低，東部縱谷特別高一點，亦與一般之經驗及觀察有相符之處，此點當然有待日後從多方面進一步去研究。

C. 水分當量愈低，滲透之變化幅度愈大（事實上，此種田地之滲透本身亦較不安定），愈高即變化幅度愈小，而逐漸收斂，至35%附近相差約僅在4mm。此點無論在某一區或在全部而言，均為滲透共同之現象（由原始樣本之分佈亦可看出），故水分當量愈高曲線之可靠性亦愈高，反之即愈低。



D. 本測驗因現成水田之關係，原始測驗樣本以水分當量在15至35%間所佔比例較多，故此範圍之可靠性亦較高。事實上，超出此範圍以外之水田亦極少；低於10~15%者，以地力之保持及水資源經濟利用之觀點而言，作為水田較不適宜。而高於35%以上之土壤，在臺灣之耕地區域，所佔比例亦極少。

上段所求出之六條曲線趨勢，係依不同土類及不同母質區分者，故如已知某一地區之土類及母質後，可由該六條曲線選擇符合其條件者以推算垂下滲透率。但若對於某一地區之土類及母質，難予分別，而欲先求一近似值時之用，將上列①~③區即西部沖積土合併為I曲線（式10），④~⑤即東部沖積土合併為II曲線（式11），繪示於圖5，以供選用。

I. 西部沖積土： $\log y = 1.9394 - 0.0478x$ (式10)

II. 東部沖積土： $\log y = 2.0752 - 0.0409x$ (式11)

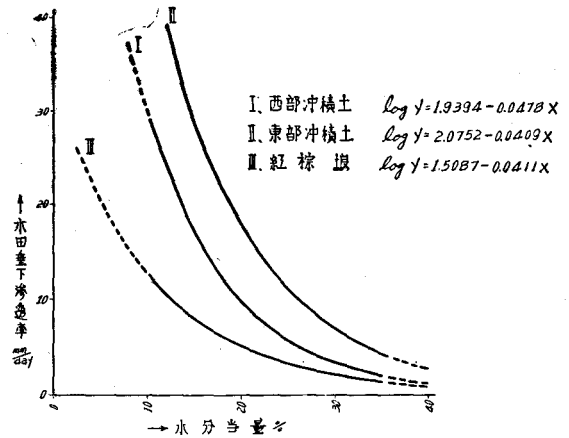


圖5 三種土壤之垂下滲透率與水分當量之關係趨勢

4. 橫向滲透及總滲透量之推算

橫向滲透已分析如上，在此即指靠排水溝一面及非同時積水之他區埂界部份而成為損失者。此項損失，在濁水溪調查時⁽¹³⁾，曾根據嘉南中營輪灌試驗田間滲透試驗資料（1955~1957）分析，並設定一標準之輪灌單區，其面積為10公頃（200×500m），佈置給水排水系統，依下列劃分之不同地面坡度，分別推算橫向滲透損失增加率結果採用如下之標準，本研究亦採用此一標準加算之。

地面坡度級	坡度範圍 (%)	橫向滲透損失增加率 (S) (以垂下滲透為1時)
A ₁	1%以下	0.06
A	1~3	0.08

B	3~8	0.01
C	8~15	0.12

依據上列之分析，總滲透量可以下式計算。

$$\text{即：} P = P_v(1+S) \dots\dots\dots \text{(式12)}$$

P：總滲透量 (mm/day)

P_v ：垂下滲透率 (mm/day) 圖4、5。

三、質地與水分當量之關係

依據前章之分析可見，滲透與水分當量有密切之關係，故可用水分當量推算水田滲透量。而質地與水分當量亦有密切之關係⁽⁴⁸⁾，故在質地三角圖表上，可直接求出水水分當量之近似值，並可間接求出水田滲透量，進而求出需水量之近似值故質地與水分當量關係之尋求，乃具有實用上之意義。

本章即應用質地與水分當量之關係，就以往調查之各地區代表土樣，按前章表2所分之不同土類及母質，分別處理分離為：粘粒、粉粒、砂粒等三種質地要素，再加以多次重複測定個別之水分當量後，統計

分析求出各區機械成分與水分當量之關係公式，再繪示於質地三角圖表上，以供推算水分當量之用。並在下章利用本章所得結果，配合滲透之關係，以及蒸發散量，直接在質地三角圖表上求出需水量之近似值。

至土粒與質地之分類，現在本省採用者，有美國農部及國際標準兩種，尚未統一。茲為考慮應用之方便，本項研究分別求出此兩種標準之數值。

1. 試驗方法

Bodman 與 Mahmud⁽⁴⁸⁾ (1932) 發現全土壤 (係指未經分離之土壤) 之水分當量等於土壤分離為粘粒、粉粒、砂粒等三項質地要素之個別權度水分當量之和。並用美國 California 州 Yolo 土壤之質地三要素 (以後簡稱三要素) 測得其數值。以後 Gardner⁽⁴⁸⁾ 根據大量之土壤機械分析與水分當量資料修正數值如下：

$$Me = 0.027 Sa + 0.187 Si + 0.553 C \text{ (Gardner)}$$

表5 各種土壓質地與水分當量之關係測驗樣本分組表

土壤區分號碼 (表2)	分組	土類及母質來源	土系	採樣地區
1	1-1	沖積土	冷水坑系	冷水坑、關東橋、金山面、埔頂、新庄
		北部砂岩、頁岩、礫岩、紅土	大山脚系	香山、鹽水溪口
	1-2	沖積土	半眠山系、埔里系	埔里盆地
		眉溪(烏溪上流)砂岩、頁岩、板岩、石英石	眉溪系	
1-3	沖積土	大甲系、鴨母寮系、大肚系、臺中系、北溝系	石岡、大甲、清水、鴨母寮、沙鹿、沙鹿、賴厝、潭子、北溝	
2	2-1	沖積土 (海成沖積) 南部砂岩、頁岩、海積	大林系、溝背系	中林、大林、大埔美、頂員林、溝背、林子前
	2-2	盤層土、沖積土 南部砂岩、頁岩及海積	東山系、八掌系、斗六系、虎尾系	東山、白河、糞箕湖、斗六、海豐崙
	2-3	盤層土 南部砂岩、頁岩及海積	新營系	中營
	2-4	盤層土 南部砂岩、頁岩及海積	高雄系	高雄覆、鼎金
3	3-1	濁水溪粘板岩沖積土	員林系、濁水系、路上厝系	港尾示範區、溪州、北斗、大村
	3-2	隘寮溪粘板岩沖積土	老埤系、鹽埔系、番子寮系、隘寮系	老埤、鹽埔、德協、長治、振興、新園、番子寮、頂學圳、錦隆、景興、頂隘寮、頂大新
4	4-1	沖積土 知本溪、大南溪、卑南大溪、太麻里溪	大南系、知本系、太麻里系	知本、卑南、大南、太麻里
	4-2	沖積土 新武呂溪	新武呂系	關山示範區、關山、池上試驗田、池上
5	5-1	沖積土 秀姑巒溪、樂樂溪、馬蘭鈎溪、清水溪、加路蘭溪、豐坪溪、萬里溪	長良系、木瓜系、豐田系	臺東縱谷池上以北至吉安止
	5-2	沖積土 老沖積層、力霧溪	北埔系、新城系	新城、秀林、三棧、富世、順安、農場、加灣、新興
6		紅棕壤	鏡湖系、大雅系	金山面、埔頂、關東橋、竹南、頭份

)⁽⁴⁸⁾ (式13)

Me : 水分當量, Sa : 砂粒%, Si : 坩粒%, C : 粘粒%。

作者等曾用濁水溪北岸灌區土樣機械分析資料引用上式推算 Me, 試與實測數值對照結果, 有相當之差異, 且均較實測值為低⁽¹³⁾。嗣後在白河、東部、屋東鹽埔等地區作同樣之比較結果, 均有若干之差異, 且實測值均略高於上式推算值, 究其原因, 可能由於各地區土壤, 因理化性質之不同所致。因此, 需要以不同性質之土壤, 分別求出其關係公式, 較能符合實際。本研究為配合滲透之關係, 先按表 2 所分之原則區分, 再依分佈地點之不同細分後, 視實測結果歸併之。茲分述如次:

A. 樣本之歸併與分組: 茲依上列之原則例如表5。

B. 樣本之處理與分離: ①先將上列各組之原始個別樣本 (取30~40cm 以上部份), 風乾過 2mm 篩後, 以四分法取出同量, 以組為單位加以混合。②混合後之樣本再以四分法取適當數量 (視各三要素之含量而定) 後, 分別依照處理機械分析樣本之方法, 加以分散。③再應用 Stokes Law 之原理分別分離粘粒、坩粒、砂粒等三要素, 此項分離每要素均作五次以上重覆行之。④前列三要素樣本, 分別使其沉降後將清水抽離風乾。⑤將風乾後之樣本取出適量, 再以機械分析之方法檢定其純度, 如他要素含量在 5% 以上時, 即重行分離; 在 5% 以下時即依其純度, 於測定水分當量後調整之。

C. 測定方法: 以遠心分離機測定, 各樣本之測定均採取六重覆以上, 取其平均值。

2. 試驗統計結果及分類歸併

經測定結果, 在每種土壤內各組間之差異不大, 且第1與2種土壤之間, 及第4與5種土壤之間之差異亦屬有限, 故將全部資料加以歸納為四種統計結果可列出其各種土壤之機械成分與水分當量之關係公式, 並將西部兩種沖積土加以合併平均, 茲統列如下:

①西部砂岩、頁岩沖積土 (包括小部份之風積土及盤層土)

a. 美國農部標準: $Me = 0.024Sa + 0.185Si + 0.545C$ (式14)

b. 國際標準 : $Me = 0.036Sa' + 0.255Si' + 0.545C$ (式15)

②粘板岩沖積土

a. 美國農部標準: $Me = 0.025Sa + 0.247Si + 0.661C$ (式16)

b. 國際標準 : $Me = 0.037S' + 0.341Si + 0.661C$ (式17)

①與②即西部兩種沖積土之平均

a. 美國農部標準: $Me = 0.025Sa + 0.216Si + 0.603C$ (式18)

b. 國際標準 : $Me = 0.037Sa' + 0.298Si' + 0.603C$ (式19)

③東部片岩、結晶石灰岩、雜岩沖積土

a. 美國農部標準: $Me = 0.019Sa + 0.224Si + 0.801C$ (式20)

b. 國際標準 : $Me = 0.032Sa' + 0.346Si' + 0.801C$ (式21)

④紅棕壤

a. 美國農部標準: $Me = 0.021Sa + 0.151Si + 0.592C$ (式22)

b. 國際標準 ; $Me = 0.042Sa' + 0.264Si + 0.592C$ (式23)

上列各式內, Sa : 美國農部標準之砂粒%

Sa' : 國際標準之砂粒%

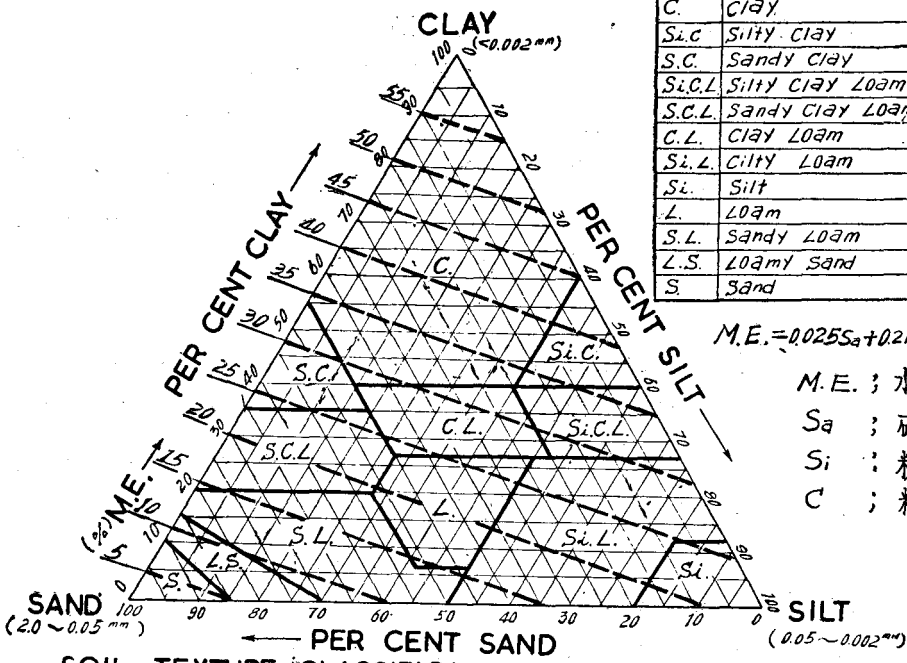
Si : 美國農部標準之坩粒%

Si' : 國際標準之坩粒%

C : 粘粒%, 兩種標準相同

Me : 水分當量 (對乾土重量%)

茲應用式18~23, 將相應之水分當量分別繪示於圖6~8以供推算。

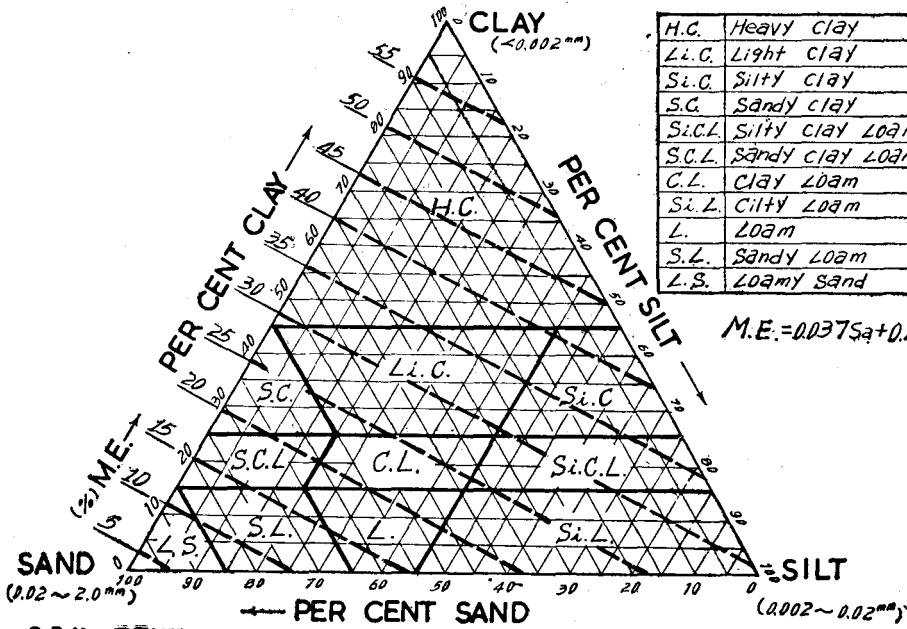


SOIL TEXTURE CLASSIFICATION—U.S.D.A SYSTEM
土壤質地分類—美國農部標準

C.	Clay	粘 土
Si.C	Silty clay	粉質粘土
S.C.	Sandy clay	砂質粘土
Si.C.L	Silty clay loam	粉質粘壤土
S.C.L	Sandy clay loam	砂質粘壤土
C.L.	Clay loam	粘質壤土
Si.L.	Silty loam	粉質壤土
Si.	Silt	粉 土
L.	Loam	壤 土
S.L.	Sandy loam	砂質壤土
L.S.	Loamy sand	壤質砂土
S.	Sand	砂 土

$$M.E. = 0.025S_a + 0.216S_i + 0.603C$$

M.E. ; 水分當量(重量%)
 S_a ; 砂 粒 %
 S_i ; 粉 粒 %
 C ; 粘 粒 %

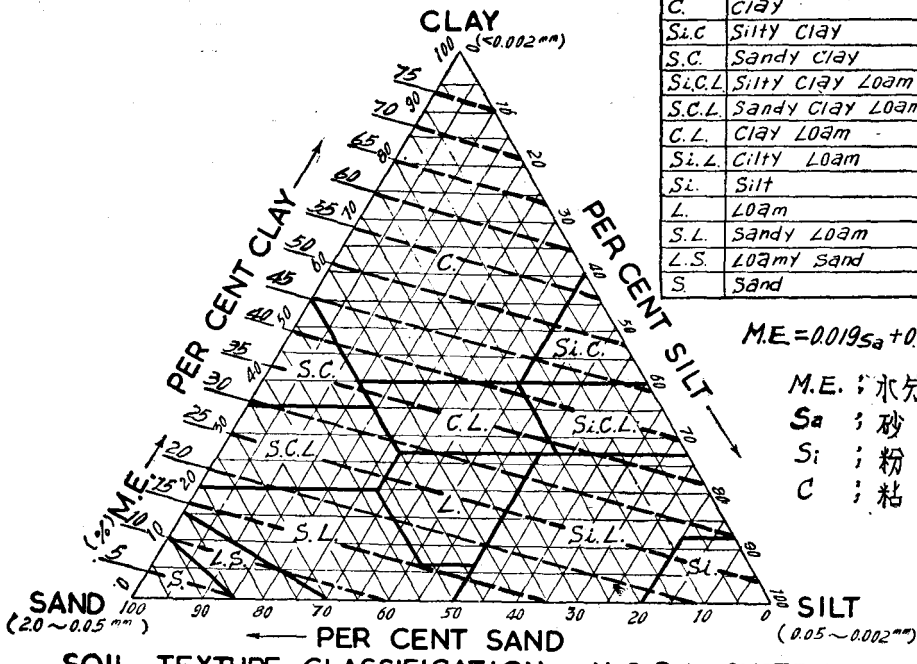


SOIL TEXTURE CLASSIFICATION—INTERNATIONAL SYSTEM
土壤質地分類—國際標準

H.C.	Heavy clay	重粘土
Li.C.	Light clay	輕粘土
Si.C	Silty clay	粉質粘土
S.C.	Sandy clay	砂質粘土
Si.C.L	Silty clay loam	粉質粘壤土
S.C.L	Sandy clay loam	砂質粘壤土
C.L.	Clay loam	粘質壤土
Si.L.	Silty loam	粉質壤土
L.	Loam	壤 土
S.L.	Sandy loam	砂質壤土
L.S.	Loamy sand	壤質砂土

$$M.E. = 0.037S_a + 0.298S_i + 0.603C$$

圖 6 西部沖積土質地與水分當量之關係圖

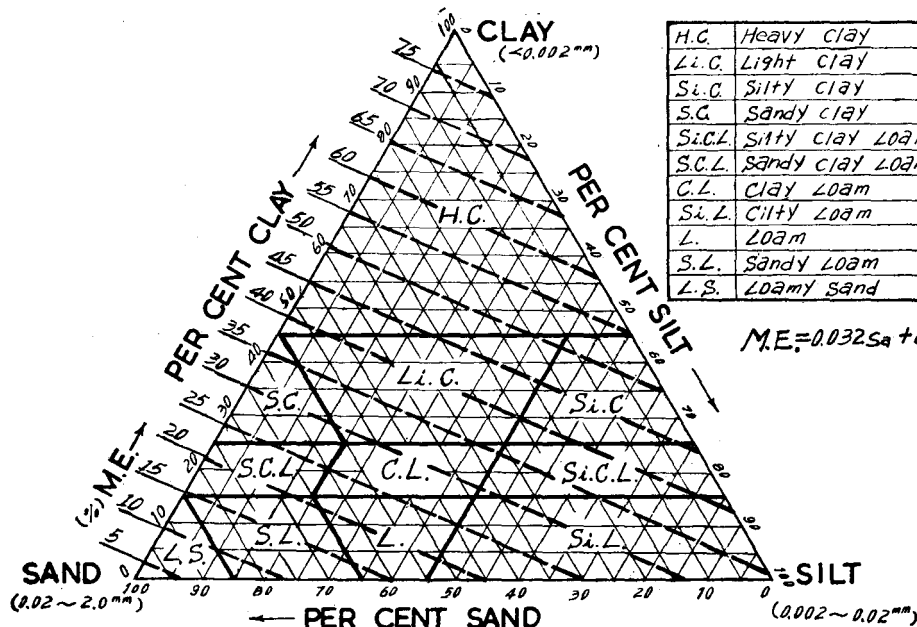


C.	Clay	粘土
Si.C	Silty clay	粉質粘土
S.C	Sandy clay	砂質粘土
Si.C.L	Silty clay loam	粉質粘壤土
S.C.L	Sandy clay loam	砂質粘壤土
C.L	Clay loam	粘質壤土
Si.L	Silty loam	粉質壤土
Si.	Silt	粉土
L.	Loam	壤土
S.L	Sandy loam	砂質壤土
L.S	Loamy sand	壤質砂土
S	Sand	砂土

$$M.E. = 0.019s_a + 0.224s_i + 0.801c$$

M.E. ; 水分當量(重量%)
 s_a ; 砂粒 %
 s_i ; 粉粒 %
 c ; 粘粒 %

SOIL TEXTURE CLASSIFICATION—U.S.D.A SYSTEM
 土壤質地分類—美國農部標準

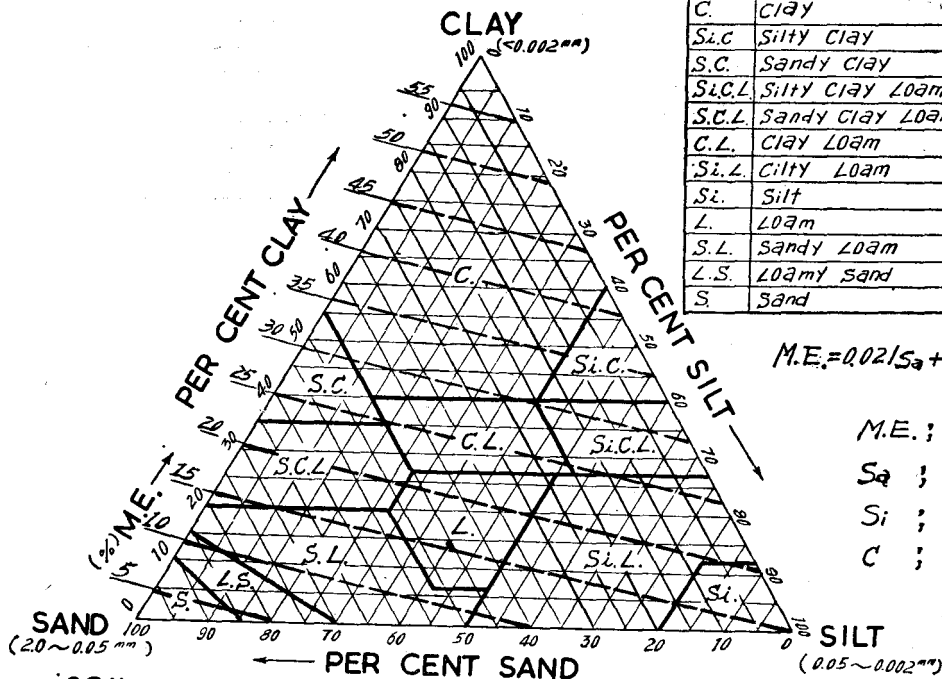


H.C	Heavy clay	重粘土
Li.C	Light clay	輕粘土
Si.C	Silty clay	粉質粘土
S.C	Sandy clay	砂質粘土
Si.C.L	Silty clay loam	粉質粘壤土
S.C.L	Sandy clay loam	砂質粘壤土
C.L	Clay loam	粘質壤土
Si.L	Silty loam	粉質壤土
L.	Loam	壤土
S.L	Sandy loam	砂質壤土
L.S	Loamy sand	壤質砂土

$$M.E. = 0.032s_a + 0.346s_i + 0.801c$$

SOIL TEXTURE CLASSIFICATION—INTERNATIONAL SYSTEM
 土壤質地分類—國際標準

圖 7 東部沖積土地與水分當量之關係圖



C.	Clay	粘土
Si.C	Silty clay	粉質粘土
S.C.	Sandy clay	砂質粘土
Si.C.L	Silty clay loam	粉質粘壤土
S.C.L	Sandy clay loam	砂質粘壤土
C.L.	Clay loam	粘質壤土
Si.L	Silty loam	粉質壤土
L.	Loam	壤土
S.L.	Sandy loam	砂質壤土
L.S.	Loamy sand	壤質砂土
S.	Sand	砂土

$$M.E. = 0.021S_s + 0.151S_i + 0.592C$$

M.E. ; 水分當量(重量%)

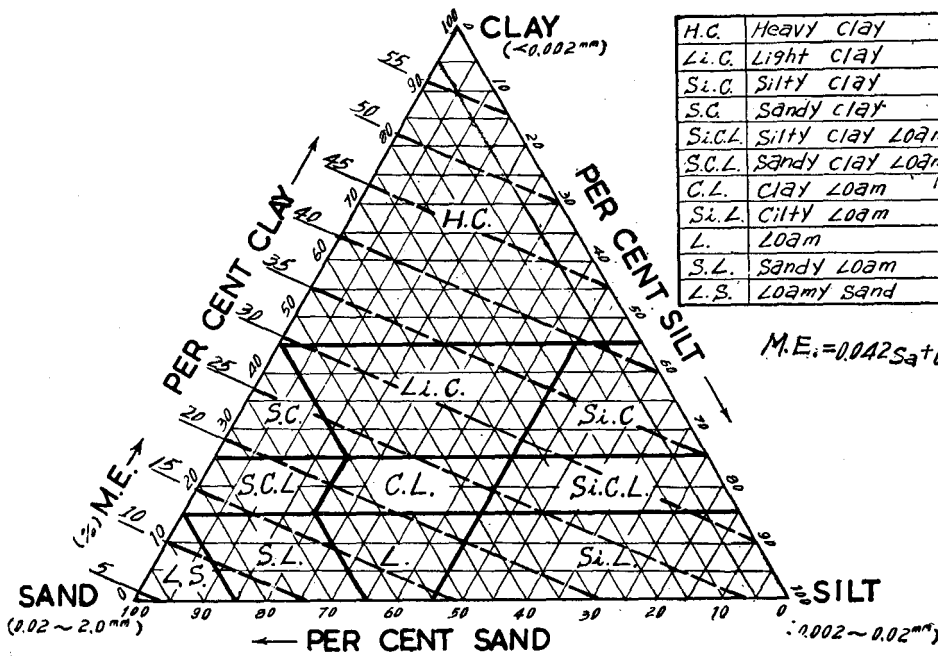
S_s ; 砂粒 %

S_i ; 粉粒 %

C ; 粘粒 %

SOIL TEXTURE CLASSIFICATION—U.S.D.A SYSTEM

土壤質地分類—美國農部標準



H.C	Heavy clay	重粘土
Li.C	Light clay	輕粘土
Si.C	Silty clay	粉質粘土
S.C.	Sandy clay	砂質粘土
Si.C.L	Silty clay loam	粉質粘壤土
S.C.L	Sandy clay loam	砂質粘壤土
C.L.	Clay loam	粘質壤土
Si.L	Silty loam	粉質壤土
L.	Loam	壤土
S.L.	Sandy loam	砂質壤土
L.S.	Loamy sand	壤質砂土

$$M.E. = 0.042S_s + 0.264S_i + 0.592C$$

SOIL TEXTURE CLASSIFICATION—INTERNATIONAL SYSTEM

土壤質地分類—國際標準

經棕壤質地與水分當量之關係圖

圖 8

3. 推算值與實測值之比較檢討

茲就以以往在各灌區有實測水分當量受機械分析資料之中取 514 樣本，應用上列相應之公式及土壤質地三角圖表，推算各樣本之水分當量後與實測值比較於圖9，並將估計標準誤差計算於表6。

表6 實測與推算水分當量估計標準誤差

土 壤 區 分	實 測 樣本數	實測與推算之估計標準誤差(%)	
I 西部頁岩、砂岩沖積土	109	美國①: 2.10 美國②: 2.45	(I II合併)
II 西部粘板岩沖積土	83	美國: 2.39 國際: 2.64	美國 2.59 國際 2.48
III 東部片岩、結晶石灰岩、雜岩、粘板岩、沖積土	179	美國: 2.54 國際: 2.53	
IV 紅 棕 壤	143	美國: 3.90 國際: 5.36	

註：①美國：係以美國農部質地分類標準三角圖表所推算者。

②國際：係以國際質地分類標準三角圖表所推算者。

四、水稻本田需水量之推算

水稻灌溉在臺灣現行之插秧栽培法^(註12)，依其田間操作過程，可分為秧田、整田及本田等三個用水階段，其中以本田之需水量及期間佔極大部份；本章以輪灌為前提之本田需水量為研究之對象。但在目前，以現有之輪灌試驗資料，直接求出輪灌狀態下之蒸發散及滲透量，尚有困難，故仍先求繞灌狀態下之各數值後，再分析繞灌與輪灌之關係，據以間接求得輪灌需水量。

1. 蒸發散量

A. 蒸發散量與蒸發計蒸發量之關係

蒸發散量 (Evapo-transpiration) 即指田面 (水面或土面) 蒸量與作物蒸散量之和而言。蒸發散量係受氣溫、濕度、風、日照、氣壓諸氣象條件、水溫及作物生長狀態等複雜因素綜合影響之結果。但大體而言，在相同或相似氣象環境下，以同一方式栽培，生育情形相似的同品種作物，其蒸發散量亦相近，而且尚與蒸發計蒸發量有一比例關係，此一比例幅度亦都在某一限度之內，對整個需水量言，其變化程度不大。因此，利用欲求地區附近，或在相似氣象環境 (生長期間) 地區之實驗值為依據，求出蒸發散量與蒸發計蒸發量之比例關係。再以欲求地區之長期蒸發計蒸發量觀測資料，來推算該區的蒸發散量。在實用上，亦不失為一個簡便之方法，且有某一程度之可靠性。故若能獲得灌區內或附近之蒸發計蒸發量資

料，即可求得田間之蒸發散量。

圖9內之斜線係45度，表示如推算值與實測值剛相符時，即該點適在該線上，如在該線以上部份表示推算值大於實測值，在該線以下時即相反。

由該圖可見，除紅棕壤較分散外，其餘之推算值與實測值都相當接近，其估計標準誤差在 2.10~2.64 %之間。

料，即可求得田間之蒸發散量。

水稻蒸發散量過去在臺灣已有數處之試驗 (表7)，此項試驗均在澆灌狀態下試驗者，而在輪灌狀態下試驗之資料，現尚付缺如，但吾人現在欲求者係輪灌需水量。故利用此一澆灌狀態下之資料，先求澆灌之蒸發散量，再與滲透合併後，間接求出輪灌需水量。因此，本節乃以澆灌時之蒸發散量為中心討論之。

蒸發散量與蒸發計蒸發量之關係，能獲得資料者，即如表7所示。由表可見，水稻蒸發散量日平均值，在臺灣除一處特殊者外，均在 4.66至6.23mm 之間，平均 5.91mm，其與蒸發計蒸發量之比率多在 1.2倍至 1.5倍之間，平均 1.26倍。中國大陸變化較大，日平均除一處特大外，在 4.38~7.80mm，平均 6.11mm，1.69倍。日本一般較小，日本均在 3.90至 6.09mm，平均 5.11mm，1.37倍。

在臺灣之數處試驗，大致可歸納為下列三種情形：

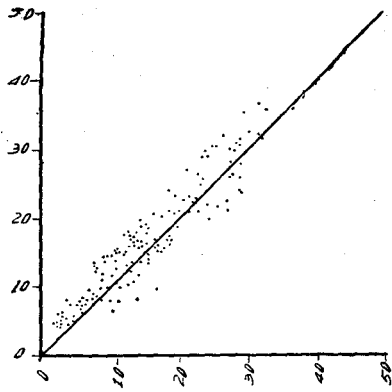
①嘉南大圳之烏山頭、崙背、番子寮等三地四年平均：

中間作 1.24倍

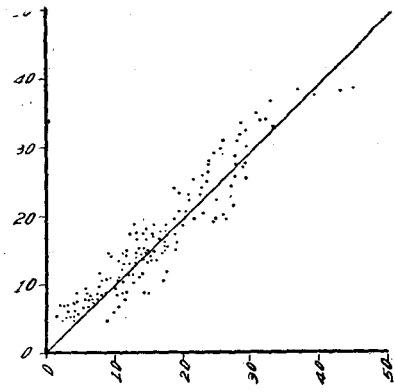
②嘉南中營輪灌研究區實驗田三年平均：

第一期作 1.42倍 } 平均 1.45倍
第二期作 1.48倍 }

③臺中輪灌實驗田及大甲溪灌區內14地點一年平均：

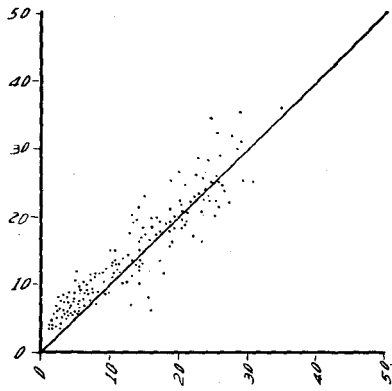


美國農部標準

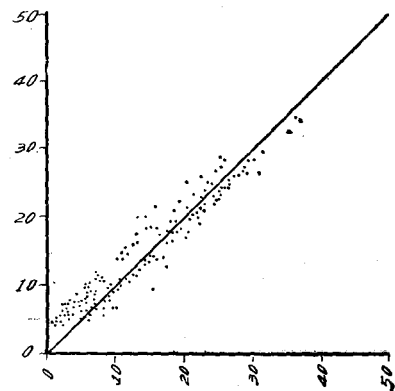


國際標準

西部沖積土

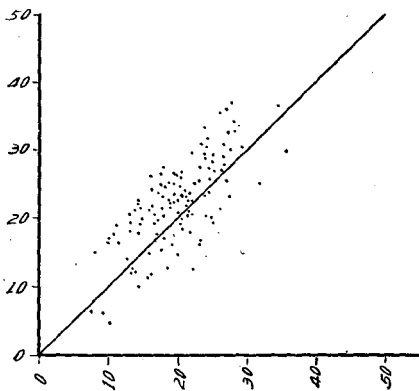


美國農部標準

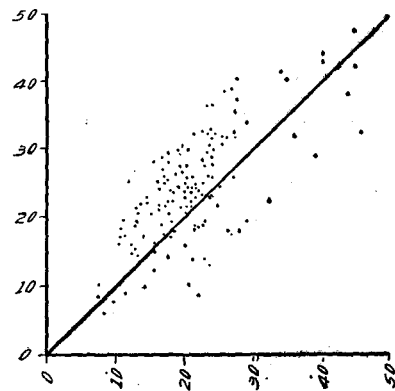


國際標準

東部沖積土



美國農部標準



國際標準

紅棕壤

↑ 水分當量推算值 %

水分當量實測值 % →

圖9 水分當量實測值與推算值之比較

表7 各地水稻蒸發散量試驗結果摘要

地區	試驗地點	試驗年份	試驗機關	灌溉 日數	T	E	E.T.(T+E)		P.E.		E.T. P.E. 100 %	備註
					葉面 蒸散量 mm	水面 蒸散量 mm	全期 mm	日平均 mm	全期 mm	日平均 mm		
臺	臺南烏山頭	1922至1925	嘉南大圳水利組合	95.75	250.60	295.45	546.05	5.70	504.90	5.27	108	中間作四年平均(1)
	雲林崙背	"	"	103.25	303.08	340.12	643.20	6.23	549.88	5.33	117	"
	蕃子寮	"	"	92.75	478.40	292.35	770.75	8.31	519.85	5.60	148	"
	臺南中營	1955至1957	臺灣省輪灌委員會與嘉南大圳合辦	123.67	406.41	293.74	700.15	5.66	491.00	3.97	142	第1期作三年平均(52)
				99.67	345.00	233.14	578.14	5.80	389.80	3.91	148	第2期作三年平均
	臺中	1958	臺灣省輪灌委員會與臺中區農林改良場合辦	113	260.53	265.80	526.33	4.66	520.60	4.61	101	第1期作(53)
				96	233.20	245.55	478.75	4.99	487.20	5.08	98	第2期作
灣	大甲溪灌區	1951	臺灣省水利局				419.50		264.10		159	第1期作11處平均(51)
							437.40		385.4		113	第2期作12處平均
								5.91		126		
中 國 大 陸	遼寧熊岳城	1919至1922	熊岳城農業試驗場	83	259.00	388.00	647.00	7.80				四年平均(1)
	廣東	1926至1928	廣東中山大學	85	168.62	232.79	401.41	4.72	277.73	3.27	144	早稻三年平均(1)
				90	132.48	261.65	394.13	4.38	347.80	3.86	113	晚稻 "
	江蘇吳江	1935	江蘇吳江模範灌溉管理局	84	355.10	178.50	533.60	6.35				秈稻(1)
				91	268.70	263.40	532.10	5.85				粳稻
	四川成都	1937至1938	四川省農業改進所	77	267.88	168.00	435.88	5.66				1937(1)
				80	192.96	180.01	372.97	4.66				1938(1)
	四川合川	1939	"	84	243.71	207.18	450.89	5.37				秈稻(蟲害)
	四川瀘縣	"	"	125	377.44	228.42	605.86	4.85				1937粳稻
	雲南草壩	"	雲省草壩開業墾殖局試驗場	129	154.78	797.39	952.17	7.38				水面蒸發量特多待證(1)
	廣西柳州沙塘	1940	廣西柳州沙塘農業試驗場	78	216.00	299.70	515.70	6.61				早晚稻一年平均(1)
	湖南芷江	"	中央農業試驗所湖南芷江工作站	92	576.20	254.40	830.60	9.03	333.80	3.63	249	
	寧夏	1945	寧夏省農林處黃河水利會合辦	94	340.44	296.93	637.37	6.78				
		平均					6.11					
日 本	西原	1898	西原農事試驗場	90		199.0			400.0	4.44		早稻(4)
				120		224.0			475.0	3.96		中稻
				140		234.0			520.0	3.71		晚稻
		1933	狩野德太郎松尾欣二	92			511.60	5.56	413.3	4.49	124	灌溉日數原資料無記載故由另列之滲透資料推算(4)
	大阪光明池	1955		92	1.6 147.20	2.3 211.60	358.80	3.90	377.2	4.10	95	(4)
	千葉茂原	1959	茂原高農校、川上榮一	93	413.40	152.95	566.35	6.09	270.95	2.91	209	(50)
	平塚	1951至1953	農業技術研究所					4.87			120	三年平均(26,27)
		平均					5.11			137		

第一期作 1.51倍 } 平均 1.35倍
 第二期作 1.18倍 }

上列第①地區，係在1922~1925年試驗者，離今已經過40年，各項情形恐有若干之改變，後兩地區平均為1.4倍。故採用 1.4 倍由蒸發計蒸發量資料推算蒸發散量。

B. 臺灣耕地之蒸發計蒸發量及蒸發散量：

臺灣耕地區域之蒸發計蒸發量觀測記錄，經選擇較完整而較長期者計有表8所列之27站（位置如圖1），該27站分佈於全省各地區，茲依地形及氣候條件，並參酌各站之月平均蒸發量，劃分為11區，分別統計各區水稻本田期間之蒸發計蒸發量，並依上述關係推算水稻蒸發散量結果統列如該表。

C. 水稻蒸發散量在生長過程中之變化：

蒸發散量在生長過程中，隨水稻之生長蒸發逐減，而蒸散漸增，兩者之增減，雖互相抵消，但其合計在各生育期仍有多少變化，而在生育後期，有增加之趨勢，尤其在分蘖盛期至抽穗期一段時間。茲繪中營試驗田1955至1957三年平均為例，示於圖10。由圖可以看出一、二期作，略有差異，可能係由於，氣候條件之不同所致，此種差異，隨各地氣候因子及生長狀況之不同而諒或有若干之變化。

然而在較大區域之實際灌溉，尤其是在規劃階段，由於下列原因一般多採取全期平均值：

①在較大區域之整田插秧，為便於水源及勞力之調配，通常將插秧日期錯開（一般多在20至40天），因此，其區內水稻之生育階段，亦隨之有早者及較晚者，故蒸發散量雖在生育後期較多，但就整個區域言，在同一時間內，即互相抵減，自然其蒸發散量之各生育時期別之變化，較全灌區同時插秧或單一田坵時為不顯著。

②在實施輪灌之水稻田，於生育初期，為縮短田面乾露時間，以保持土壤之柔軟，而便於除草，一般需要供給略多於生育上所消耗之水量。

③生育後期之根系當較初期為深，故雖供給略少於該時期所需水量，仍能吸收土壤較深層的水分。且水稻本身原就對於水圍分之適應範圍相當之廣⁽⁹⁾。

因此，在灌溉計劃或大區域之實際灌溉時，採取平均值，仍可合用。但實際灌溉配水上，視水源情形，亦可酌以調整配水量配合稻作生育期間之蒸發散量變化。

2. 繞灌與輪灌需水量之關係

輪灌係水稻之一種節水灌溉方法，其所以能得節

水，係在灌溉期間中預先在給水量上計劃控制，使田面不發生龜裂或過乾而致影響正常生育之前提下給予週期性之乾露機會，而與田面經常不斷積水之澆灌情形比較，可節省一大部份之滲透損失。

表8 臺灣各地區水稻蒸散量推算結果

（一期作二期作平均）

分區	觀測站	統計年份	水稻本田期間平均蒸發計蒸發量		日平均蒸發散量推算結果	
			期間全平 (月)	期間平均 (mm)		
1 桃園臺地	桃園	1950~1959	1,2期 (月) 3~10	931.70	3.80	5.32
	平鎮	1947~1958				
2 中北部海岸	新竹	1928~1959	3~10	1,158.55	4.73	6.62
	大甲	1926~1959				
3 臺中盆地	臺中	1900~1958	2~10	1,274.00	4.66	6.52
4 埔里南投盆地	鼻子頭	1939~1958	2~10	900.43	3.30	4.62
	能高	1941~1959				
	南枝	1930~1959				
	集集	1939~1959				
5 濁水溪平原	鼻子頭	1939~1958	2~10	1,189.51	4.35	6.09
	溪州	1939~1958				
	大城	1939~1958				
	萬興	1939~1958				
	路上	1939~1958				
	海埔	1640~1959				
	萬全	1946~1959				
6 嘉南平原	嘉義	1923~1959	2~10	1,287.84	4.71	6.59
	新厝	1937~1959				
	鹽埕	1944~1959				
	臺南	1902~1958				
	鹽田	1948~1959				
7 高雄平原	高雄	1932~1958	1~10	1,699.75	5.59	7.83
	桓春	1902~1951				
8 屏東平原	屏東	1943~1962	1~10	1,084.50	3.56	4.98
9 臺東區	臺東	1901~1957	2~10	1,269.00	4.64	6.50
10 花蓮區	大農	1938~1959	2~10	1,018.15	3.73	5.22
	花蓮	1938~1959				
11 蘭陽平原	宜蘭	1936~1959	3~10	950.0	3.88	5.43

但目前在臺灣之輪灌試驗研究⁽⁴⁹⁾，除僅中營、臺中、桃園等三處實驗田最初數年之資料（後一階段均改為土壤理化性及肥料試驗，故不適作為分析需水量之用），略可供為分析灌與輪灌之關係外，其餘與需水量有關各因素之試驗研究，實尚感不足。故仍難直接求出輪灌需水量，因此，採取下述之輪灌需水率，間接推求，茲述如下：

輪灌需水率，係指同一田地之輪灌需水量佔繞灌需水量之百分率，故需水率高者即表示節水少，低者即節水多。

輪灌需水率，前於濁水溪調查⁽¹⁸⁾時，會根據上述三處輪灌實驗田資料，分析實驗成果較佳（指需水量低而產量高者）之輪灌需水率結果，與水分當量之關係如下：

實驗田	水分當量 (%)	輪灌需水率 (%)
臺中	20	53
中營	24	62
桃園	28	68

故根據上列結果，以需水率為縱座標，水分當量為橫座標，繪如圖11曲線②，惟此曲線，係在小區實驗田嚴密控制下之結果，在一般區域之灌溉，其配水操作乃至田間之管理等多未能達到小區實驗田之精密程度，且由各地之滲透實測統計結果，發生同一土壤之滲透變化幅度頗大，故在實地應用上，其需水率需要略加提高，如該圖曲線①。

上列結果雖僅由三處實驗田所顯示之趨勢，但與輪灌節省滲透之實情相符。因水分當量高者滲透小，由之節水少；低者滲透大，而節水亦多故有相當之可靠性。當然此點亦有待日後之試驗加以充實，但本次研究以資料所限，仍採用此一趨勢曲線，推算輪灌需水量。

3. 本田日平均需水量

滲透、蒸發散，以及輪灌需水率等諸因子已分別討論如上，因此，可由下式綜合該諸因子推算輪灌本田需水量。

$$W_r = C \cdot W_r' \quad (\text{式25})$$

W_r : 輪灌本田需水量
 C : 輪灌設計需水率

$$W_r : \text{繞灌本田需水量} = P + E_T$$

P : 總滲透量

E_T : 發散蒸量

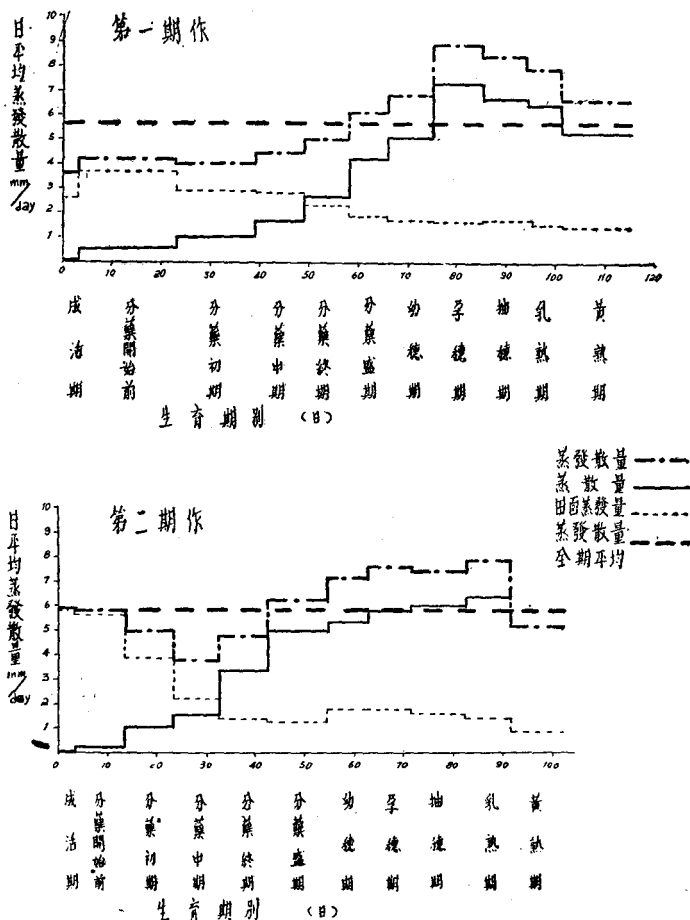


圖10 蒸發散量在水稻生長過程中之變化
 註：中營試驗田1955至1957三年平均。

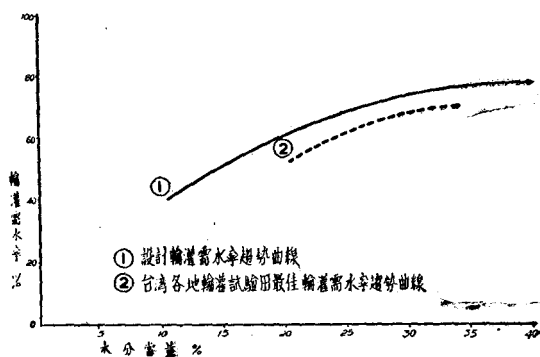


圖11 水分當量與輪灌需水率之關係曲線

故若能獲得某一地點之質地或水分當量任何一項資料，即可應用上列各相應之圖表或公式，推算需水量。

次為應用之方便，就臺灣東部與西部之各平均滲透率與水分當量之關係，（圖5），進一步製成①需水量與水分當量（圖12）及②需水量與土壤質地關係三角圖表（圖13~圖16）。其計算條件及資料，除橫向滲透採用地面坡度1%以下之平坦地為準，並計算需水量不及7mm/day者一律採用7mm/day，水分當量10%以下之粗質地土壤，在一般情形下如非經過放淤或客土改良，不適於種植水稻，故不包括在本文討論外，茲將其餘部份分述如下：

a. 東部沖積土，質地與水稻本田需水量之關係圖（圖15、16）

①垂下滲透率，根據東部兩種沖積土之平均，即圖5。②蒸發散量取臺東、花蓮兩地區平均之整數，6mm/day。

b. 西部沖積土，質地與水稻本田需水量之關係圖（圖13、14）

①垂下滲透率，根據西部三種沖積土之平均（圖5）②蒸發散量取西部九區之象數，6.5mm/day。

C. 純粹之紅線壤因在本質上其滲透性較其他土壤為小，且事實上紅線壤之粗質地亦甚少，經實測結果其質地間之差異亦不顯著，而推算需水量結果僅可分為7及8mm/day兩種（不包括紅線壤之再沖積土），

故其質地與水稻本田需水量之關係，合併在西部沖積土圖13、14表示。

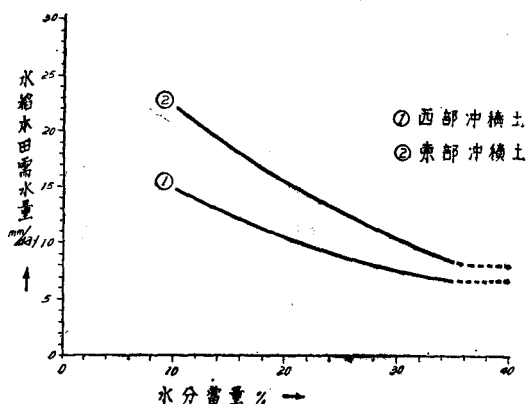
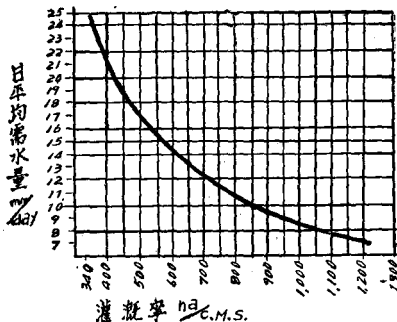


圖12 水分當量與水稻本田需水量曲線

4. 以輪灌示範區之用水記錄比較推算結果

本省在各地區推廣輪灌之初，為求推行順利，自1955年起先後在各地設置13處輪灌示範區及一處研究區計14處，各區設置期間即自2~3年，面積約在7公頃至100餘公頃不等。此種示範區之設置目的係給與水利會工作人員，實地管理操作之訓練，及予農民觀摩之場所，並非作需水量之試驗。但各示範區均有用水量之觀測紀錄，其觀測雖較粗放，且配水受當時水源之豐枯及過去之用水習慣影響，故以此種用水紀錄來作為比較本方法推算結果雖不盡適當，但仍可看出一種大概之趨勢。



C.	Clay	粘 土
Si.C.	Silty clay	粉質粘土
S.C.	Sandy clay	砂質粘土
Si.C.L.	Silty clay loam	粉質粘壤土
S.C.L.	Sandy clay loam	砂質粘壤土
C.L.	Clay loam	粘質壤土
Si.L.	Silty loam	粉質壤土
Sl.	Silt	粉 土
L.	Loam	壤 土
S.L.	Sandy loam	砂質壤土
L.S.	Loamy sand	壤質砂土
S.	Sand	砂 土

本圖內所列之需水量推算條件：

- ① 以輪灌方法為前提。
- ② 蒸發散量取 6.5 mm/day 。
- ③ 垂下滲透根據西部三種沖積土之平均(圖5)並不受地下水影響者為準。
- ④ 橫向滲透以地面坡度1%以下之平坦地為準。
- ⑤ 土層深於30~35cm以上者。
- ⑥ 最低需水量採用 7 mm/day 。
- ⑦ 水分當量在10%以下之粗質地上壤不包括在本圖推算之內。

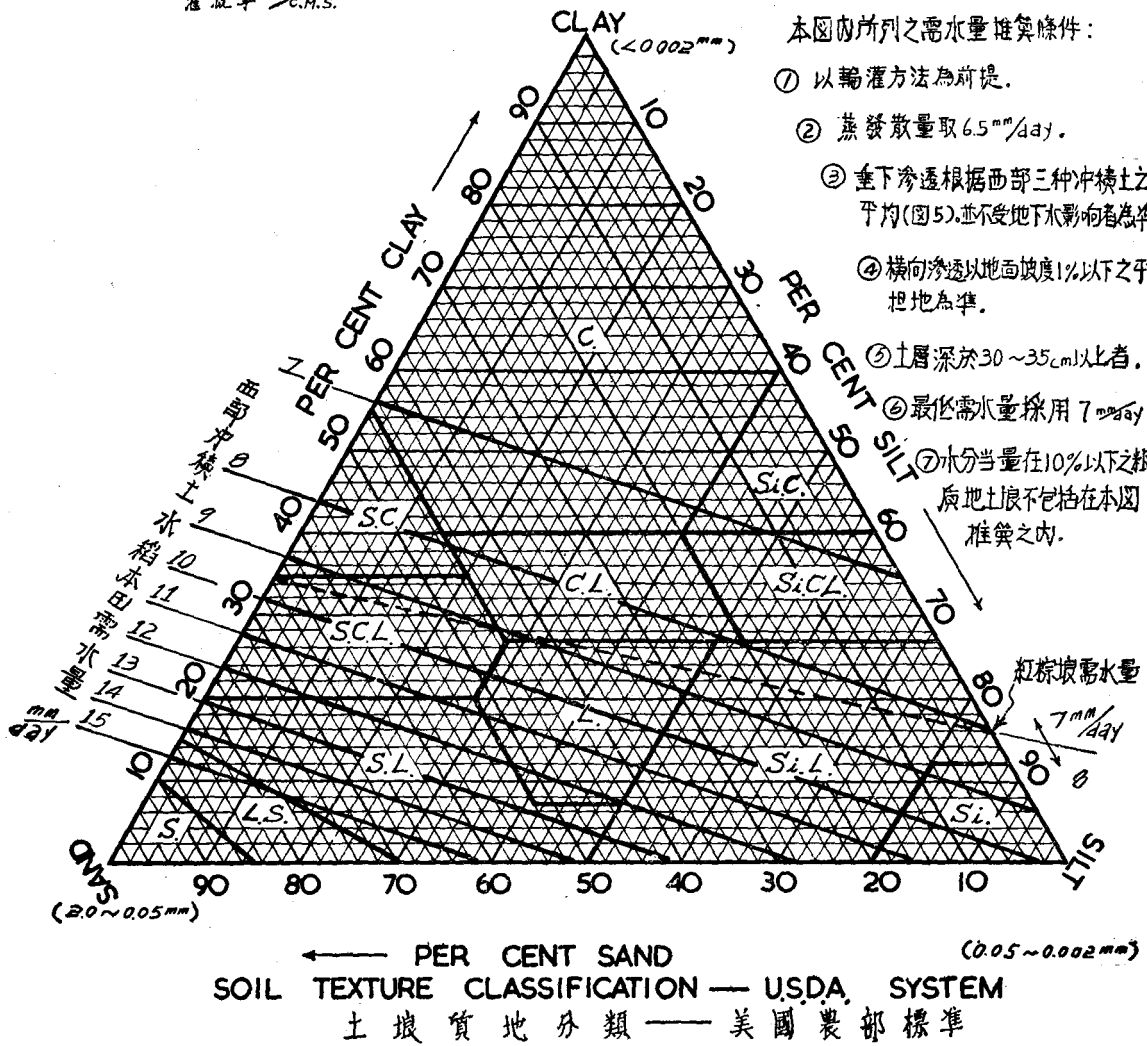
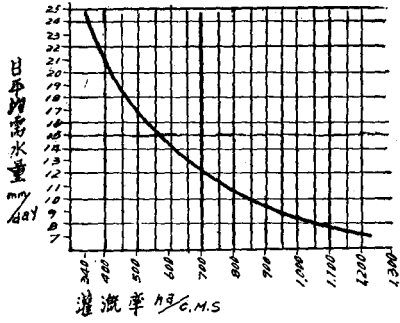


圖 13 西部沖積土質地與水稻本田需水量之關係圖 (I)



H.C.	Heavy clay	重粘土
Li.C.	Light clay	輕粘土
Si.C.	Silty clay	粉質粘土
S.C.	Sandy clay	砂質粘土
Si.C.L.	Silty clay loam	粉質粘壤土
S.C.L.	Sandy clay loam	砂質粘壤土
C.L.	Clay loam	粘質壤土
Si.L.	Silty loam	粉質壤土
L.	Loam	壤土
S.L.	Sandy loam	砂質壤土
L.S.	Loamy sand	壤質砂土

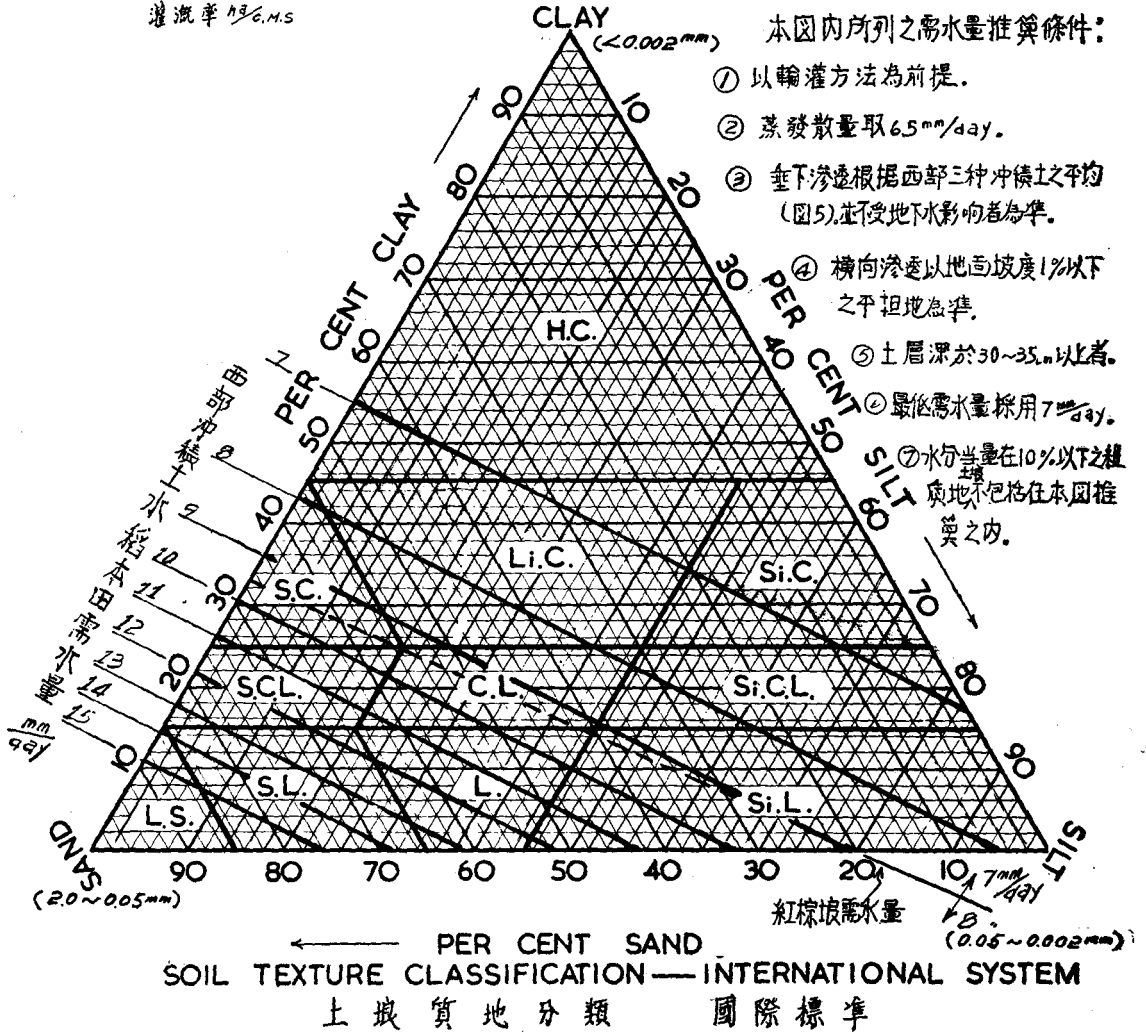
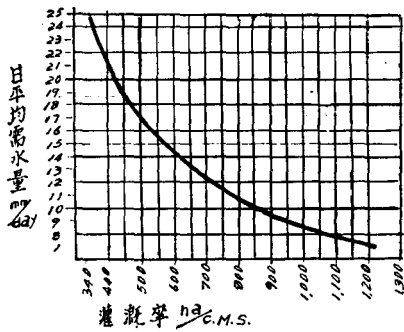


圖14

西部沖積土質地水稻本田需水量之關係圖(II)



C.	Clay	粘土
Si.C.	Silty clay	粉質粘土
S.C.	Sandy clay	砂質粘土
Si.Cl.	Silty clay loam	粉質粘壤土
S.Cl.	Sandy clay loam	砂質粘壤土
C.L.	Clay loam	粘質壤土
Si.L.	Silty loam	粉質壤土
Si.	Silt	粉土
L.	Loam	壤土
S.L.	Sandy loam	砂質壤土
L.S.	Loamy sand	壤質砂土
S.	Sand	砂土

本圖內所列之需水量推算條件；

- ① 以輪灌方法為前提。
- ② 蒸發散量取 6.0 mm/day 。
- ③ 垂下滲透根據東部二種沖積土之平均(圖5)，並不受地下水影響者為準。
- ④ 橫向滲透以地面坡度1%以下之平坦地為準。
- ⑤ 土層深於 $30 \sim 35 \text{ cm}$ 以內者。
- ⑥ 最低需水量採用 7 mm/day 。
- ⑦ 水分含量在10%以下之粗壤地不包括在本圖推算之內。

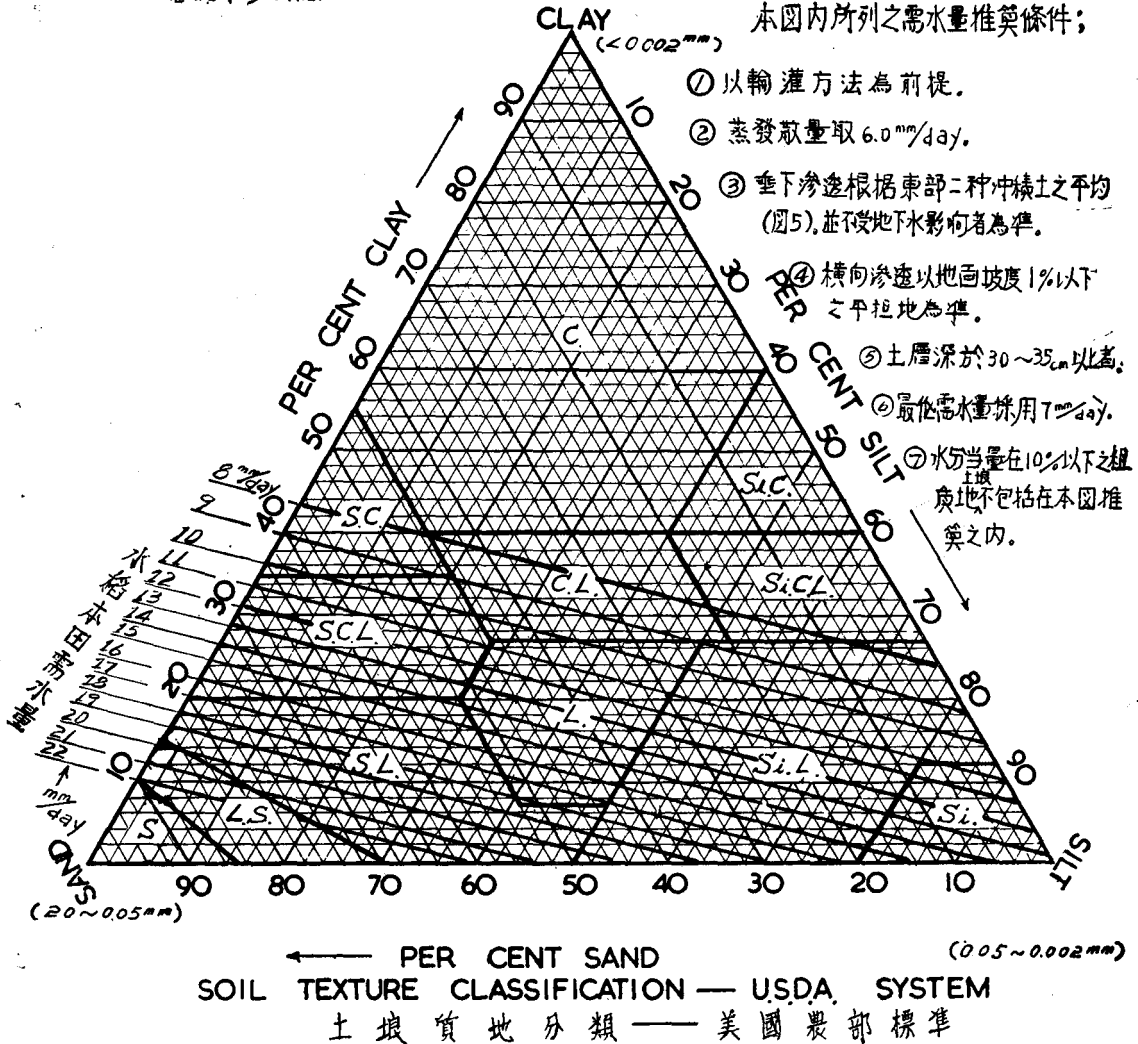
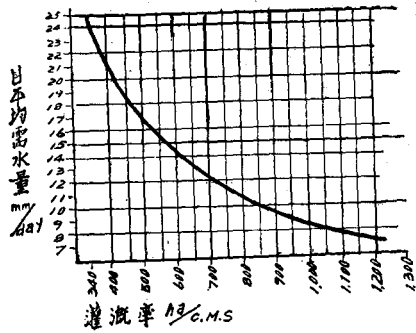


圖 15

東部沖積土質地與水稻本田需水量之關係圖(I)



H.C.	Heavy clay	重粘土
Li.C.	Light clay	輕粘土
Si.C.	Silty clay	粉質粘土
S.C.	Sandy clay	砂質粘土
Si.C.L.	Silty clay loam	粉質粘壤土
S.C.L.	Sandy clay loam	砂質粘壤土
C.L.	Clay loam	粘質壤土
Si.L.	Silty loam	粉質壤土
L.	Loam	壤土
S.L.	Sandy loam	砂質壤土
L.S.	Loamy sand	壤質砂土

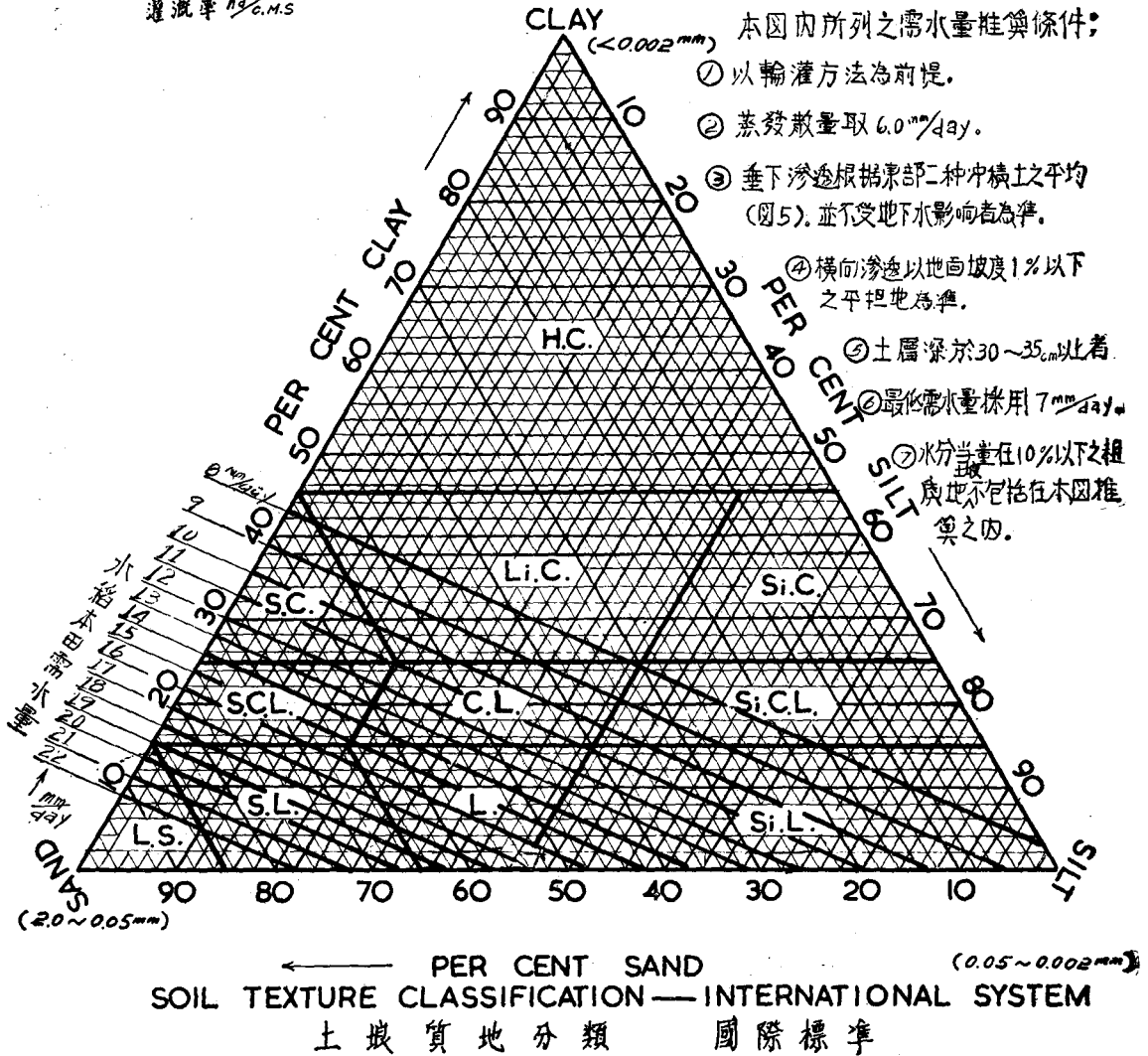


圖 16 東部沖積土質地與水稻本田需水量之關係圖 (II)

上列14處，除臺東縣新港水利會長濱示範區一處因位於東海岸山脈東側路途遙遠，未克前往採土取樣，致不能參加外，其他13處（表9），均參加推算比較。

推算之方法，即依土壤分佈情形各區採取3~5處代表性土樣，加以機械分析後分別用圖13及15估計需水量。至用水記錄，即根據各區報告加以統計者。(49,54)

茲將推算值與用水記錄兩者統列比較於表9及圖17（此圖之表示方法與圖9相同）。由該圖之比較可知，所推算需水量與各地輪灌示範區用水記錄之平均值大致相符，而在該圖45度線上下附近分佈，可見本研究推算結果，在實用上，應有相當之可靠性。

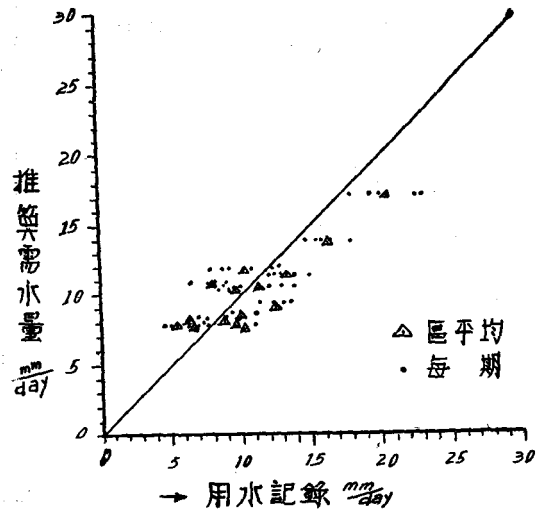


圖17 各地輪灌示範區用水記錄與推算需水量之比較圖

表9：各地輪灌示範區用水記錄與推算需水量之比較

示範區	位置及所屬水利會	土壤區分	土壤質地 (美國農部標準)	本田用水記錄 (需水量=用水量+有效雨量)			推算需水量 mm/day
				年	期別	日平均需水量 mm/day	
桃園	桃園縣桃園鎮桃園水利會	紅棕壤	Sa: 13.79 Si: 59.51 C: 26.70 (SiL)	1955	—	9.50	7.80
				1956	—	11.04	
				1955	二	9.28	
				平均		9.94	
崁頭厝	桃園縣新屋鄉桃園水利會	紅棕壤	Sa: 41.22 Si: 36.61 C: 22.17 (L)	1955	—	9.41	8.20
				1956	—	9.65	
				1955	二	9.73	
				平均		8.60	
山子脚	臺北縣樹林鎮新海水利會	西部沖積土	Sa: 42.02 Si: 47.07 C: 10.91 (L)	1955	—	12.69	11.40
				1956	—	13.86	
				1957	—	14.91	
				1955	二	12.40	
				1956	二	12.13	
平均		13.20					
西盛	臺北縣新莊鎮新海水利會	西部沖積土	Sa: 20.62 Si: 65.18 C: 14.20 (SiL)	1955	—	12.51	9.30
				1956	—	12.88	
				1957	—	12.39	
				1955	二	13.24	
				1956	二	11.43	
平均		12.49					
潭子	臺中縣潭子鄉豐榮水利會	西部沖積土	Sa: 38.14 Si: 48.05 C: 13.81 (L)	1956	—	9.81	10.60
				1957	—	13.67	
				1958	—	11.48	
				1956	二	11.93	
				1957	二	8.72	
				1958	二	12.67	
平均		11.38					
賴厝	臺中市北區賴厝廊豐榮水利會	西部沖積土	Sa: 47.06 Si: 42.35 C: 10.59 (L)	1956	—	7.75	11.80
				1957	—	10.72	
				1958	—	8.81	
				1956	二	8.84	
				1957	二	12.55	
				1958	二	12.37	
平均		10.17					

港 尾	彰化縣大村鄉彰化水利會	西部冲積土	Sa : 35.79 Si : 52.29 C : 11.74 (SiL)	1958	—	8.15	10.80	
				1959	—	6.41		
				1958	—	7.74		
				1959	—	9.06		
				平 均		7.84		
高 雄	高雄市三民區覆鼎金 高 雄 水 利 會	西部冲積土	Sa : 16.44 Si : 61.84 C : 21.7 ₂ (SiL)	1957	—	8.97	8.30	
				1958	—	7.57		
				1959	—	6.79		
				1957	—	9.65		
				1958	—	8.49		
				1959	—	9.74		
平 均		8.54						
關 山	臺東縣關山鎮臺東水利會	東部冲積土	Sa : 46.81 Si : 44.80 C : 8.39 (L)	1960	—	22.98	17.20	
				1961	—	19.90		
				1962	—	17.82		
				1959	—	24.53		
				1960	—	19.41		
				1961	—	22.74		
平 均		21.23						
林 田	花蓮縣鳳林鎮花蓮水利會	東部冲積土	Sa : 23.01 Si : 67.20 C : 9.79 (SiL)	1960	—	15.82	13.85	
				1961	—	16.29		
				1962	—	15.74		
				1959	—	14.77		
				1960	—	17.93		
				1961	—	15.59		
平 均		16.02						
斗 六	雲林縣斗六鎮斗六水利會	西部冲積土	Sa : 36.03 Si : 50.21 C : 13.76 (SiL)	1962	—	9.19	10.50	
				1963	—	8.47		
				1961	—	9.23		
				1962	—	11.51		
				平 均		9.60		
萬 巒	屏東縣萬巒鄉屏東水利會	西部冲積土	Sa : 10.90 Si : 72.95 C : 16.15 (SiL)	1962	—	9.43	8.60	
				1963	—	9.38		
				1962	—	11.00		
				平 均		9.94		
中 營	臺南縣下營鄉嘉南水利會	西部冲積土	Sa : 11.75 Si : 63.60 C : 24.65 (SiL)	10 日 輪 距	1955	—	4.94	7.86
					1956	—	5.40	
					1957	—	7.05	
					1955	—	6.29	
					1956	—	7.75	
					1957	—	7.52	
			平 均		6.49			
			Sa : 14.56 Si : 59.32 C : 26.12 (SiL)	8 日 輪 距	1955	—	4.65	7.85
					1956	—	5.03	
					1957	—	5.26	
					1955	—	5.80	
					1956	—	6.51	
1957	—	6.42						
平 均		5.61						
Sa : 17.48 Si : 58.44 C : 24.08 (SiL)	6 日 輪 距	1955	—	4.59	8.10			
		1956	—	6.10				
		1957	—	6.51				
		1955	—	6.35				
		1956	—	6.31				
		1957	—	7.16				
平 均		6.17						

五、結 論

1. 水田滲透率與水分當量具有高度之相關關係。
 2. Bodman 與 Mahmud 報告：未分離前之原土水分當量等於分離後三要素（砂粒、粉粒、粘粒）權度水分當量之和，經實驗結果可以信賴，此點對於本研究有甚大之幫助。故各種土壤之水分當量，能在

土壤質地三角圖表上表示，並可用該圖表估計水田滲透量。

3. 應用上述兩項關係，由質地或水分當量，可以推算水稻本田需水量（輪灌）。並得在土壤質地三角圖表上，表示其需水量。因此，可用質地資料，能直接在該圖表上估計其需水量，方法至為簡便。

4. 水田滲透與水分當量，因土類、母質與分佈地區之不同，同一質地（或水分當量）之間，亦有其一定程度之差異。故以土類及母質來源之不同，分別試驗統計，將性質相似者加以歸併，避免其他不明因子綜合影響所發生之偏差。

5. 水甲滲透率，因影響因子之複雜多端，在同一母質之同一水分當量或質地，亦有某一定程度之變化幅度。但于推算需水量時，所採用之輪灌設計需水率，已考慮此種現象之影響而取較保守數值，且水稻本身對於灌溉水量之適應範圍甚大⁽⁹⁾，亦可抵補其幅度變化。惟如應用本推算值時，應瞭解上述各種內容，隨時隨地參酌水源、水價等情形作適當之調整。

6. 本文所推算需水量，經比較，大致與全省各地輪灌示範區用水記錄之平均值一致，在實用上，應有相當之可靠性。

誌 謝

本研究之完成，承水利局副總工程師徐田璋及第一規劃隊副隊長陳震基兩位先生之鼓勵，並允許使用該隊試驗設備，同仁陳金定、何進財、葉森雄、劉文雄、吳金助、江維五諸兄與張貴蓮小姐等協助大量之採樣、試驗、統計、繪圖等工作，日以繼夜，併此謹誌謝忱。

附 註

註 1. 目前在臺灣，對於灌溉水各種消耗量之專用名詞，有些不一致，本文採用金城所用者⁽¹⁾。

註 2. 山崎等（1960）之「水田滲透量之新測定方法」⁽²³⁾有二，一為滴定管（Bullet）式，另一為馬利奧（Mariott）式。作者等曾先就此兩種方法之器具加以試製，並於調查白河灌區時，就此兩種與原來之同心圓式計三種在實地作8處3重覆之比較試驗結果，三種方法之間，並無顯著之差異^(14,18)，而其中馬利奧管法最為簡便，故以後均採用此一方法測驗（詳已述於參考文獻14、18、23在此從略）。

註 3. 故土壤分類學方面已有人主張另立「水稻土」一土類⁽³⁹⁾。

註 4. 該六種土壤之區分，係根據各灌區土壤調查及滲透測驗資料統計結果所顯示之差異，並參照其母質來源與地質、地形、土壤等資料綜合（12~16、39、43~47）作概略之劃分者。

註 5. Hazen 氏之有效粒徑^(40,41)，係指通過 10%之

粒徑。

註 6. Zunker 氏之有效粒徑^(40,41)，係指單位重量之混合粒子的表面積比之逆數。

註 7. 彎曲係數⁽⁴²⁾（ C_c ），係指通過土重30%（ d_{30} ）之相當粒徑的平方與60%（ d_{60} ）及10%（ d_{10} ）之粒徑乘積之比值，即： $C_c = d_{30}^2 / d_{60} \cdot d_{10}$ 。

註 8. 均勻係數⁽⁴²⁾，即通過 60%之粒徑除以通過 10%之粒徑所得之商。

註 9. 質地級，即依據土壤質地，由細而粗，粘土成分由多而少之次序先後分為12級。

註 10. 1958年以前施測部份（大甲溪及卑南大溪灌區）未測水分當量，土樣與資料亦均已失散。

註 11. 受地下水影響部份，因實測點數太少，且情形亦較複雜，故待以後實測資料較充實後，另行統計推求。

註 12. 水稻依栽培方法之不同，可大分為直播與插秧兩種。前者係直接播種在本田直至成熟收穫，如在美國均採用此法，晚近在日本亦有採用。後者之插秧法，係先播種於秧田，育成秧苗後移植（插秧）於本田至收穫者，即臺灣現行之栽培方法。

註 13. 該報告⁽¹³⁾內對分析輪灌需水率所採用之資料為臺中三年四期（1957~1959）、中營五年九期（1955~1959）、桃園四年七期（1956~1959）。以後雖仍繼續進行，但其試驗目的，三處均改變為土壤理化性之變化及肥料方面之探究，故其資料難符合分析輪灌需水率之用，因此，本研究未列入補充。

參 考 文 獻

1. 金城，中國之水稻灌溉試驗，中華農學會報，No. 2, 1953。
2. 金城，東南亞之水稻灌溉試驗，科學農藝，Vol. 4, No. 6, 1956。
3. 金城，美國之水稻灌溉試驗，科學農藝，Vol. 4, No. 7, 1956。
4. 金城，日本之水稻灌溉試驗，科學農藝，Vol. 5, No. 8, 1957。
5. 金城，水稻之灌溉用水量與灌溉方法，臺灣省輪流灌溉推進委員會推行小組，1956。
6. 狩野德太郎、椎名乾治、中川昭一郎、小菅孝利、新しい水田減水深測定法，農業土木研究，Vol. 28, No. 8, 1961。

7. 陳振鐸，紅棕壤水田之滲透度，臺灣大學農學院研究報告 Vol. 7, No. 1, 1963。
8. 中村志春，土の粘土分，土地改良，Vol. 5, No. 5-6, 1955。
9. 富士岡義一，水田かんがい，土地改良の動向，大枝益賢定年退官紀念論文集，1960。
10. G.B. Bodman, Lectures on the Elementary Physics of soil Moisture with Applications, College of Agriculture, National Taiwan University, Special Publication No. 3, 1956。
11. 經濟部水資會，大甲溪計劃灌區灌溉需水量調查研究報告（未刊印），1959。
12. 同上，大甲溪流域開發，達見水庫計劃定案報告，1959。
13. 經濟部水資會濁水溪工作處，濁水溪北岸灌區土壤及需水量調查研究報告，29—灌—128, 1961。
14. 水利局，白河水庫灌區土壤及需水量調查研究報告 1961。
15. 水利局第一規劃調查隊，新城區灌溉計劃土壤及需水量調查研究專題報告，壹規—東灌—003, 1963。
16. 同上，豐田圳改善工程計劃土壤及需水量調查研究專題報告壹規—東灌—006, 1963。
17. 同上，鹽埔灌區土壤及需水量調查研究報告，1963。
18. 陳尙，臺灣水稻灌溉需水量之調查研究，現階段農業改進與建設問題講座，Vol. 13, 臺灣大學農學院，1962。
19. 八田與一，土地改良基本計劃用設計定規，臺灣水利協會發行，1935。
20. 李德滋，輪流灌溉規劃及設計，水利局設計組灌溉課（油印本）1956。
21. 蔡崑源，輪流灌溉實務，嘉南農田水利局，1957。
22. 吉良八郎，Infiltration Capacity の測定法，土地改良，Vol. 13, No. 7-8, 1953。
23. 山崎不二夫等，水田の降下滲透量の新しい測定法，農業土木研究，Vol. 27, No. 6, 1960。
24. 根岸久雄等，水田用水の測定法，土地改良，Vol. 5, No. 10, 1955。
25. 松本衛等，水田用水量測定の一例，土地改良，Vol. 6, No. 4, 1956。
26. 水之江政輝，水田減水深測定結果，農業技術研究所資料 F1號，農林省農業技術研究所，1952。
27. 吉良芳夫，椎名乾治，水田用水量に関する實驗，農業技術研究所資料同上，F4 號，同上，1956。
28. 狩野德太郎等，新しい水田減水深測定法，農業土木研究 Vol. 28, No. 8, 1961。
29. 日本農林省農地局，土地改良事業計劃設計基準，第二部第一篇。
30. 日本農業土木學會，農業土木ハンドブック，第12篇，1957。
31. 同上，乾田化に伴なう用水量の變化，同上。
32. 須藤清次等，水田用水量算定における團地區分のあり方について，同上，1961。
33. 福田仁志等，廣い水田地域における水收支の考へ方，同上，1961。
34. 立花一雄，適正用水量（水田），同上，1961。
35. 内山修男，水稻の浸透性に関する土壤の諸問題（I-IV）農業及園藝，Vol. 32, No. 7-Vol. 33, No. 1957, 1958。
36. 五十崎恒，水稻の生育に適正な減水深について，土地改良，Vol. 8, No. 8, 1958。
37. 同上，水田の適正用水量，土地改良の動向，大枝益賢定年退官紀念論文集，1960。
38. 山中金次郎，水田土壤中における水の運動様式，Vol. 3, No. 6-No. 7, 1956。
39. 席連之，張守敬：臺灣省土壤調查報告，及臺灣省土壤肥力概述，臺灣肥料公司叢刊第5種，1950。
40. 佐佐木八郎著，賴經都譯，以圖解求滲透係數近似值之方法，臺灣水利，Vol. 3, No. 3, 1955。
41. 山本莊毅，地下水調査法，1957。
42. 薛履坦，統一土壤分類制度，臺灣水利，Vol. 4, No. 3, 1956。
43. 林朝榮，臺灣省通志稿，卷一，土地志，地理篇，第一冊地形，臺灣省文獻委員會，1957。
44. 張麗旭、畢慶昏、臺灣地質圖，臺灣省地質調查所，1953。
45. 張麗旭、臺灣之地層，臺灣銀行季刊，Vol. 7, No. 3, 1955。
46. 梁鉅榮、陳振鐸，臺灣之土壤，中華農學會報新20期抽印本，1957。
47. 楊培森，臺灣不同土類之土壤粘土礦物之研究（一、二），臺灣省立農專校農專學報 Vol. 4-5 抽印本，1962, 1963。
48. U.S.D.I. Bureau of Reclamation Manual Vol. V, Irrigated Land Use。
49. 臺灣省輪流灌溉推進委員會推行小組，臺灣省推行輪流灌溉工作報告，1961。
50. 川上榮一，畑地，水田かんがいと用水の調査設計法，理工圖書，1960。
51. 黃慶銓、陳尙、大甲溪水系灌溉率及分水率之檢討，臺灣省水利局（未刊），1952。
52. 嘉南輪流灌溉研究區中營工作站輪流灌溉實驗記錄。
53. 臺中區農林改良場輪流灌溉試驗田記錄。
54. 臺灣省水利局，50及51年度年報，1961, 1962。