

# 有效雨量研究

## Study on the Effective Rainfall

農復會水利組工程師

秦 立 德

### 一、有效雨量概論

天然降雨及人工灌溉係供給作物生長所需水份之主要來源，如何使水份能够大量保持並平均分佈於作物根系土層之中，隨時供應作物生長之需要，為今日「灌溉科學」研究之重心。過去灌溉科學方面之研究，多以乾旱地區之人工灌溉為對象，因為乾旱地區雨量稀少，有效雨量之估計與利用遂未獲重視，近年來灌溉事業逐漸發展至濕潤地區，天然降雨與人工灌溉如何配合運用以降低灌溉成本提高灌溉效益，遂成為「灌溉科學」之新課題，人工灌溉可藉不同之地面處理，灌溉方法及配水設備來控制田間水份之分佈，提高灌溉水源之利用效率，唯天然降雨之時間、地點、雨量及強度，均變化無常而為人力所無法控制者，故「有效雨量」之估計與利用，甚感困難，目前各國雖已有不同角度之研究，迄今尚乏合理之估算方式。

### 二、有效雨量之定義

有效雨量之定義，尚頗有商榷之餘地。有謂降落田間之雨水，能減少人工灌溉用水者，稱作有效雨量，有謂滲入土層之雨水，可供作物根系吸收者，稱作有效雨量。事實上，有效雨量最基本之定義，係使作物生長不受抑制，產量可維持正常之適時適量之降雨也，如以公式表示之則可寫作：

$$\begin{aligned} \text{有效雨量} &= \text{降雨量} - \text{排水量} \\ &= \text{降雨量} - (\text{地面逕流量} + \text{地下滲漏量}) \end{aligned}$$

上式中地面逕流量，如係直接自地面排除者，則與田埂高度及強度有關，地下滲漏量則無疑與土層質地、結構、厚度等均有密切關係，這是工程師們，最容易想到的，但是地面逕流量及地下滲漏量以外，所有貯存於土層中之雨水是否均能供作物根系吸收，達成有效雨量之基本定義，則需有充分之農業智識，始可解決這項問題。尤有進者，地下滲漏量與降雨當時土壤含水量有關；土壤含水量之多寡又與作物耗水量之高低有關，如是，則有效雨量之研究，決非工程師可單獨完成者，農業方面必需提供作物根系深度，作物耗水因數等有關資料也。故有效雨量之公式表示可

以引伸如下：

$$\begin{aligned} \text{有效雨量} &= \text{降雨量} - \text{地面逕流量} - \text{地下滲漏量} \\ &\quad + \text{根系土層容水量} \\ &= \text{降雨量} - \text{地面逕流量} + \text{根系土層田間} \\ &\quad \text{容水量} - \text{根系土層含水量} \end{aligned}$$

如果再考慮作物生育時期之因素，則對於作物之真正有效雨量，應視其接近臨界發育期（Critical growing period）之程度及臨界期以後氣溫係屬上昇抑或下降而有所不同，例如秋植作物播種後兩週中之降雨與春植作物收穫前兩週中之降雨，其雨量雖屬相同，其有效雨量之程度，却不大相同也。故有效雨量之定義，除用公式表示外，尚需加以文字說明，估計有效雨量時，除應按照公式定義，做刻板之計算，尚需考慮作物之發育情形，對於臨界發育期之有效程度及作物之栽培季節及其前後氣候變化情形，予以適度之判斷也。

### 三、水稻灌溉之有效雨量

水稻作物宜生長於土壤濕潤狀態，亦即土壤含水量經常大於田間容水量之狀態，故水稻灌溉，有效雨量之估算，較重視如何減少地面逕流量，以提高有效雨量利用率，對於地下滲漏量多視作常數，而無能為力，對於土層容水量亦因經常大於田間容水量而視作需值，而不予考慮，本省對於水稻灌溉有效雨量估算方式之發展，即基於這項假定而演出者。

本省位居亞熱帶濕潤地區，水稻灌溉一向配合天然降雨，故對於有效雨量之利用已不乏成例，其估算前提，均係假想田區為一土造水池，其容許灌水深度與田埂高度成正比，每次灌溉水深依水稻生長時期而異，每日田間消失水深隨土質而異，每次降雨有效雨量之大小，則視當時田區容許補充水深而定，故每一灌溉工程均需單獨計算其有效雨量，相當繁雜。

本省大型灌溉工程之規劃，最先考慮水稻灌溉之有效雨量者，當屬北部之桃園大圳及南部之嘉南大圳，二者均係利用蓄水配合降雨進行灌溉，於工程規劃，灌溉計劃及配水管理等階段，均有不同之規定，茲扼要蒐集如下，以供參考。

(一) 桃園大圳有效雨量之估計

A. 工程規劃階段

1. 灌區內各貯水池經整理後，估計可收集田間排水量，達總雨量之98%。

2. 各貯水池如尙可經由河水堰，將灌區內小溪流量導引入池，則收集排量，可達總雨量之48%。

3. 總雨量係指灌溉期間之全部雨量，若未被收集之雨量，均保持於土層中供作物消耗，則有效雨量百分率當在52%左右。

B. 灌溉計劃階段

1. 田間每日消失水深，平均估作6公厘，單獨日雨量在5公厘以下者視作無效（降雨日前二日及後二日均無雨者謂之單獨日雨量）。

2. 超過5公厘之日雨量，田間雖可貯至水深100公厘，為安全計僅考慮36公厘為有效（即貯水深度30公厘及當日消失水深6公厘之和）。

3. 連續降雨其間隔不超過一日者，視作一次降雨。其總雨量若不超過30公厘，則全部有效，若超過30公厘，則其超過部分，按照連續日數每日6公厘估計有效量）。

C. 配水管理階段

1. 單獨日雨量在5公厘以下者，灌溉配水照常進行。

2. 單獨日雨量介於5~9公厘、10~15公厘、16~21公厘、22~27公厘、28~33公厘之間者，灌溉斷水日數各為1、2、3、4、5天。

3. 單獨日雨量超過34公厘者，斷水日數為6天，如為6天輪灌則停止一次灌溉配水。

4. 連續降雨其間隔不超過一日者，視作一次降雨，其有效雨量及消失水深均按照計劃估算，其應予斷水日數則視雨後田間剩餘水深而定，唯日雨量在1公厘以下者，視作無效。

(二) 嘉南大圳有效雨量之估計

A. 工程規劃階段

1. 水稻整田時灌溉水深為150公厘，本田時每日消失水深隨土質而異，插秧後最初十日，田間容許水深為105公厘，其後增至150公厘，因插秧期間，田間

保持最低水深為74公厘，故插秧前期十日有效雨量為31公厘，後期十五日則為96公厘。

2. 插秧完畢以後之本田灌溉，田間最低保持水深為80公厘，故有效雨量最大為90公厘。

3. 水稻插秧後，田間每日消失水深，自第二日至第四十二日估作每日13公厘；第四十二日以後，估作每日消失10公厘。

B. 灌溉計劃階段

1. 中間作水稻六月秧田，插秧期及十月收穫期，一切雨量均視作無效。

2. 七、八、九，三個月水稻生長期間，每個月之日雨量在30公厘以下者，全部視作有效，可代替部分灌溉水量，而提高灌溉率數值。

3. 七、八、九三個月，日雨量介於30公厘至60公厘之間者，視作部份有效，根據長期經驗，嘉南大圳灌溉區七月間30公厘以上之有效雨量相當7天之灌溉水量，八月及九月者各相當7天及5.5天之灌溉水量。

C. 配水管理階段

1. 中間作水稻六月秧田，插秧期，灌溉配水不扣除有效雨量，十月收穫期雖有降雨，亦視作無效。

2. 七、八、九三個月間，每月之日雨量在30公厘以下者，均可由田間需水量扣除，以增加配水灌溉率，根據過去五年雨量資料統計平均，得各月日平均有效雨量為七月6.6公厘，八月8.7公厘，九月3.4公厘。

3. 七、八、九三個月間，日雨量30公厘以上者之利用方式如下：

日雨量 (公厘)	中、小給水門減配水量	
	百分率	延續日數
40	20%	2~3天
50	50%	2~3天
60以上	100%	3天以上

桃園大圳灌溉計劃階段與嘉南大圳工程規劃階段，對於有效雨量估計之規定較為具體，並有演算結果，可供參考，桃園大圳第十二支線根據民國二十四年至四十三年間雨量資料，演算結果如下：

月份	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月
雨量(公厘)	183.7	191.9	219.3	233.4	633.9	129.2	133.2	103.1	75.5
有效雨量(公厘)	114.1	131.8	121.6	117.7	115.6	76.8	77.9	64.2	61.2
有效百分率 %	62.1	68.2	55.4	50.4	31.8	59.4	58.5	62.3	81.1

嘉南大圳於建設當時，按照規定估算中間作水稻有效雨量如下：

1. 六月至十月五個月間，總雨量1,178公厘，有效雨量567公厘，有效百分率48.13%。

2. 經分別統計七、八、九三個月之有效雨量各為55.6%、61.1%及59.8%。

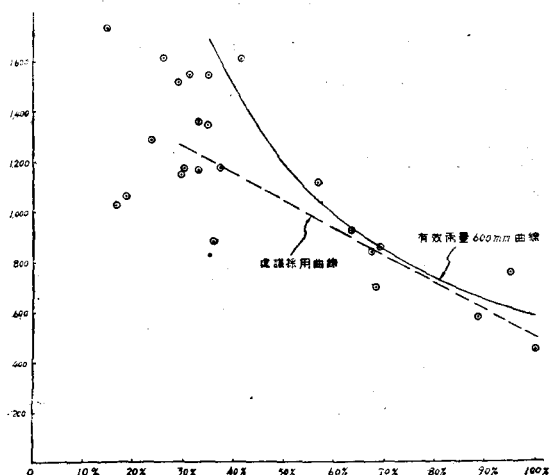
嘉南大圳於營運期間，曾考慮固定之水稻計劃田間需水量水深為1,212公厘、1,154公厘、1,163公厘及

1,183公厘等值，並統計諸年田間灌溉水深，求得田間需水深及田間灌溉水深之差值視作水稻生育全期之有效雨量，據此算得民國三十年至民國四十九年之間之資料如下：

年 別	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
估計田間需水深	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212	1,212
統計田間灌溉水深	1,016	816	774	1,041	954	895	912	859	741	779	874
有效雨量	196	396	438	171	258	317	300	353	471	433	338
總雨量	1,066	1,177	1,183	1,026	1,762	884	1,293	1,176	1,357	1,521	1,155
有效百分率	18.4%	32.8%	37.1%	16.7%	14.7%	35.9%	23.2%	30.0%	34.7%	28.5%	29.3%

41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
1,212	1,212	1,154	1,163	1,183	1,183	1,183	1,183	1,183	1,183	1,183	1,183	1,183
770	794	684	685	640	703	589	519	549	627	636	530	653
442	418	470	478	543	460	594	664	634	556	547	653	530
1,361	1,620	470	1,554	1,558	707	864	1,619	1,124	325	865	688	597
32.5%	25.8%	100.0%	30.8%	34.9%	68.0%	68.8%	41.1%	56.4%	67.4%	63.2%	94.9%	88.8%

茲將嘉南中間作水稻降雨有效率繪圖如附圖1



圖一 嘉南地區中間作水稻期間降雨有效百分率

由桃園大圳及嘉南大圳各二十年間雨量資料，統計分析結果證明各月有效雨量百分率，常依該月降雨大小而異，即某一月降雨量大，有效率較小，降雨量小，則有效率加大，換言之各月水稻灌溉有效雨量之絕對值大致相差無幾也。

石門水庫及達見水庫工程規劃階段，對於水稻有效雨量之考慮，均曾將各月降雨量及有效雨量之關係繪成曲線推算之，其用意至善，唯其有效雨量，應如何計算，尙有待商榷之餘地，例如達見水庫大甲溪灌溉計劃有效雨量之估算，係按照固定之輪灌期距配水至計劃水深，田間可能容納之降雨僅為配水以後田間

之消失水深，如此演算則頗有喧賓奪主，以天然降雨補充人工灌溉之嫌，按以水庫或池塘為水源之灌溉系統，灌溉配水不必保持一定之期距，可視田間雨水消失情形，機動補充田間需要水分，則可大量提高天然降雨之利用率，減低水庫蓄水量及其建造工程費，唯如不保持一定之期距，則輪流灌溉制度不易澈底執行，究應如何權衡得失，就灌溉配水設備及制度方面求得一合理之答案，實為當務之急，此點對於正在推行之旱作灌溉，影響更大。

#### 四、旱作灌溉之有效雨量

本省旱作灌溉對於有效雨量之規劃，始自民國四十八年經濟部水資源統一規劃委員會對於濁水溪北岸灌區土壤及需水量之研究，當時搜集之參考資料以甘蔗作物為主，所擬定之估算標準，受水稻灌溉考慮方式之影響頗大，茲扼說明如下以供參考。

濁水溪下游灌區旱作需水量暫以4mm/day為代表，有效雨量暫分單獨降雨與有效連續降雨估算如下：

(1) 單獨降雨：指降雨當日與後二日以上無雨之單日降雨也，其日雨量在20mm以下者，因補充此水量，在供水操作方面甚感困難，故視作無效，其日雨量為20mm~60mm時，以50%為有效；超過60mm者均視為無效。

(2) 有效連續降雨：指一連串之斷續或連續之降

雨也，由其最初降雨日起，每三日連成一組，各組計算如下：

a. 單獨一組（即只降雨三日），合計雨量小於30mm時，如無某一日之日雨量超過20mm時，則均視為無效；如其中某日雨量超過20mm時，則該日降雨量依單獨降雨計算之，單獨一組合計雨量為30~60mm時，以其50%為有效。

b. 連續數組中第一組合計雨量在30mm以下時，且無任一日雨量超過20mm時，則均視作無效，而由第一組中第二或第三日起重新連組計算，第一組合計雨量為30mm~60mm時，以其50%為有效，超過60mm者，均視為無效。

c. 連續數組中第二組以後各組合計雨量，在12mm以下時，全部視作有效，超過12mm者，均視作無效。

d. 一次連續降雨，未連成組之末一日，或末二日之日雨量在4mm以下時，全部視作有效，超過4mm者，視作無效。

(3) 有效雨量計算時以月為單位，即某月末一日與翌月第一日之降雨不連續計算。

水資會擬定之估算標準，有過於保守之嫌，單獨日雨量在20mm以下者，視作無效，連續三日雨量在30mm以下，且無任一日雨量超過20mm者，亦視作無效，連續三日雨量在30mm~60mm之間者，只視作50%有效及60mm以上視作無效諸點均嫌過於保守，所謂20mm單獨降雨，意即五天以內只有一天降雨20mm，折合每日4mm恰等於估計每日作物耗水深度，故視作無效，似不恰當，因水庫配水可以停止4~5天也，所謂連續三日雨量在30mm~60mm之間者只算50%有效，用意不甚明顯，或係看作土壤最大容許保水能量為30mm然則何故60mm以下者均視作30mm為有效，均有商榷之餘地。

臺灣大學農工系田間旱作灌溉試驗，對於有效雨量之考慮計有民國五十一年秋作大豆，民國五十二年春作大豆，民國五十年秋植甘藷，民國五十一年春植甘藷，對於大豆有效雨量之估算，係假定連續降雨二日以上，每日降雨量介於60mm~30mm之間時，其有效率以70%計，超過60mm之雨量，一律視作無效。

對於甘藷有效雨量之估算，係假定全部雨量之60%為有效。

臺灣省水利局旱作灌溉推行站工作須知中，對於

有效雨量之估算規定如下：

1. 日雨量5公厘以下者，視為無效。

2. 灌溉後24小時以內之降雨視作無效。

3. 超出根系土層田間容水量之降雨量，視為無效。

4. 根系土層田間容水量與降雨時土壤有效水份之差數，視作有效雨量，在定時定量之灌溉處理區內，每次灌溉水深應扣除灌溉間距之有效雨量，降雨時之土壤有效水份估計方法，將於後面述及。

美國最近將各州作物生育季節中，有效雨量與總雨量之比值，曾作分析，茲將其結果摘要陳述如下：

1. 一般而言，作物耗水率（Consumptive Use Rate）高者有效雨量與總雨量之比值較高，反之耗水率低者，有效雨量亦較低。

2. 每次容許灌溉水深較大之作物和土壤，其有效雨量與總雨量之比值較高，反之則較低。

3. 美國西部乾旱地區，有效雨量之利用比值較高，東部濕潤地區，有效雨量利用比值較低。

4. 美國西部各比值，最高作物耗水率者，介於73%及98%之間，最低作物耗水率者，介於57%及90%之間，美國東部各比值，最高作物耗水率，介於50%及87%之間，最低作物耗水率者，介於46%及82%之間。

水利局旱作灌溉推行站工作須知中對於有效雨量之估計，開始注意降雨前田間土層，容水份之程度，美國最近對於全國二十二州有效雨量之分析，顯示作物耗水率及土層容水量對於有效雨量利用百分率，亦有影響，故旱作灌溉有效雨量之估計與利用，必須考慮根系土層中水份消長情形及作物耗水率變化程度，可比照流水賬收入支出一樣方式估算之。收入部份主為天然降雨及人工灌溉，支出部分主為作物耗水量，天然降雨資料，本省有長年之記錄可供應用，天然降雨及人工灌溉之有效量與土壤質地及土層厚度有密切關係，本省自民國四十八年起，始進行此種土壤調查，作物耗水量之試驗資料，本省雖自民國五十一年起，即在臺灣大學及臺南、學甲兩地進行有關試驗，唯因降雨之干擾，每種作物均乏生育全期逐旬或逐月耗水量之完整資料，加以同一作物每旬耗水量高低與第一天土壤濕潤程度及旬間天氣晴陰變化有密切關係，故甚難擬定一合理作物耗水率標準，作為估算有效雨量之依據。

### 五、有效雨量之三項重要因素

降雨量，作物耗水量及土壤含水量即為估算旱作灌溉之三項主要因素，茲就本省已有之資料，分析作物耗水量及土壤含水量之一般情形，以供進一步研究之參考。

(一) 土壤含水量—土壤含水量中隨時可供作物吸用部份，通常稱為易被吸取水份 (Total Readily

Available Moisture, T. R. A. M.)，作物根系土層中易被吸取水份之多少，與根系深度，土壤質地，及作物吸取能力，均有密切關係，本省近年來水利工程之灌溉規劃，對於根系深度多採用60cm~80cm，易被吸取之土壤最低含水百分率多採取其有效含水量之50%~75%，再根據試驗室分析所得之土壤有效含水百分率 (即土壤田間含水量與凋萎係數之差也)，求得易被吸取水份諸值：

位 置	土 型	估計易被吸取水份 (mm)	計 劃 栽 培 物
1. 豐田圳，花蓮縣	沖積土	39~49	雜作
2. 新城地區，花蓮縣	洪積土	11~45 (放淤前) 32~45 (放淤後)	雜作
3. 隘寮地區，屏東縣	洪積土	17~35	雜作
4. 後龍水庫，苗栗縣		49~92	裡作
5. 濁水溪北岸，彰化縣	沖積土	27~85	裡作
6. 濁水溪南岸，雲林縣	沖積土	30~120	輪作、裡作

由上表可得知本省土壤質地變化甚鉅，且作物根系較淺，故易被吸取水份或容許補充水份介於30mm 7~90mm之間 (1.2~3.6吋之間)，有效雨量之估計，宜考慮土壤質地及土層或根系深度。

(二) 作物耗水量—根據近來嘉南農田水利會及臺灣大學農工系在臺南學甲及臺北兩地試驗結果，得知同一栽培作物在同一生長時期之耗水量，常依當時土壤含水量之高低，有顯著之差異，同時又得知根系土層之瞬間水份分佈情形與其生長全期之吸水型亦有

顯著之不同，如何求得各種作物於不同生長時期最佳含水量 (即最佳產量時之含水量) 時之耗水量？如何求得不同根深及不同含水量情形下之平均含水量代表性土樣？均為正確估計耗水量之先決條件。

茲為闡明其重要性，特將學甲之試驗資料分析如下，以供參考：

1. 花生—50年8月21日種植，同年12月11日收穫共112天，種植後第49天開始取土樣

取 樣 間 距	Oct. 9-15	Oct. 16-22	Oct. 23-29	Oct. Nov. 30-5	Nov. 6-12	Nov. 13-19	Nov. 20-26	Nov. Dec. 27-3
水份消失量 (%)	5.1	4.0	2.9	2.9	—	—	3.4	2.2
開始含水量 (%)	23.7	18.6	14.6	16.4	—	—	18.5	15.1
水份消失量 (%)	4.3	3.1	2.3	1.8	1.2	—	3.3	1.4
開始含水量 (%)	19.6	15.2	11.8	9.5	7.7	—	12.5	9.2
雨 量 (mm)	0	0	0	0	0	26.0	0	0

2. 玉米—51年2月27日種植，同年6月5日收穫，共98天。

取 樣 時 距	Mar. 6-12	Mar. 13-19	Mar. 20-26	Mar. Apr. 27-2	Apr. 3-9	Apr. 10-16	Apr. 17-23	Apr. 24-30	May. 1-7	May. 8-14	May. 15-21	May. 22-28	May. June. 29-4
水份消失量 (%)	2.0	1.5	—	3.0	4.0	—	—	5.0	5.7	3.8	—	—	5.0
開始含水量 (%)	17.8	15.2	—	20.8	19.3	—	—	17.1	20.2	17.7	—	—	16.5
水份消失量 (%)	1.6	1.5	—	2.8	3.3	—	—	4.4	2.5	1.0	—	—	4.3
開始含水量 (%)	16.8	16.8	—	21.8	17.8	—	—	18.4	12.1	4.6	—	—	18.2
雨 量 (mm)	0	0	53.5	18.0	0	17.0	34.5	1.0	0	0	0	20.3	2.0

3. 大豆—51年7月16日種植，同年10月5日收穫，共81天。

取 樣 時 距	July, Aug. 30-5	Aug. 6-12	Aug. 13-19	Aug. 20-16	Aug. Sept. 27-2	Sept. 3-9	Sept. 10-16	Sept. 17-23	Sept. 24-30
水份消失量 (%)	—	—	4.8	4.0	—	—	4.0	3.3	2.7
開始含水量 (%)	—	—	20.5	15.7	—	—	22.8	21.0	18.5
水份消失量 (%)	—	4.0	3.5	3.5	3.0	—	3.4	2.7	1.8
開始含水量 (%)	—	24.0	19.7	22.3	23.4	—	24.4	18.8	12.3
雨 量 (mm)	38.3	8.0	8.4	7.5	15.0	99.6	0	0.7	0

4. 甘藷—51年10月13日種植，52年4月1日收穫，共170天。

取樣時距	Oct. 20-26	Oct. Nov. 27-20	Nov. 3-9	Nov. 10-16	Nov. 17-23	Nov. 24-30	Dec. 1-7	Dec. 8-14	Dec. 15-21	Dec. 22-28	Dec. Jan. 29-4
水份消失量(%)	—	—	1.3	1.3	1.5	1.4	—	2.6	2.8	1.9	3.2
開始含水量(%)	—	—	18.1	17.0	15.9	14.1	—	20.2	18.7	15.9	18.8
水份消失量(%)	1.2	1.2	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	0.8	0.8	0.7	0.5
開始含水量(%)	20.0	19.0	17.1	17.0	16.4	15.4	13.5	12.0	10.8	10.0	9.3
雨量(mm)	0	0	1.5	2.5	0	0	0	0	0	0	1.5

Jan. 5-11	Jan. 12-18	Jan. 19-25	Jan. Feb. 26-1	Feb. 2-8	Feb. 9-15	Feb. 16-22	Feb. Mar. 23-1	Mar. 2-8	Mar. 9-15	Mar. 16-22	Mar. 23-29
1.6	3.1	2.6	2.5	0.3	3.3	1.9	1.5	3.1	3.7	2.2	—
15.7	18.5	18.5	18.3	15.8	19.6	16.3	13.7	19.7	19.5	15.8	—
0.5	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	—
8.8	8.5	8.2	8.0	7.8	7.7	7.6	7.6	7.5	7.5	7.4	—
霜	霜	0	霜	4.5	0.8	0	0	0	4.5	0.5	0

5. 黃麻—52年4月8日種植，同年8月16日收穫，共130天

取樣時距	Apr. 15-21	Apr. 22-28	Apr. May. 29-5	May. 6-12	May. 13-19	May. 20-26	May. June. 27-2	June 3-9
水份消失量(%)	—	2.0	1.7	1.5	1.4	3.6	—	3.7
開始含水量(%)	—	16.5	14.6	13.0	11.4	18.1	—	20.4
水份消失量(%)	2.3	1.5	1.1	1.0	0.7	1.0	—	0.7
開始含水量(%)	19.2	17.4	15.8	13.6	12.6	10.0	—	17.1
雨量(mm)	0	0	0	0	0	0	26.0	44.5

June 10-16	June 17-23	June 24-30	July. 1-7	July. 8-14	July. 15-21	July. 22-28	July. Aug. 29-4	Aug 5-11
2.8	4.1	—	1.2	7.0	—	5.5	5.1	2.4
16.4	13.6	—	21.5	19.0	—	22.5	17.4	12.4
—	—	—	0.9	—	—	4.9	4.4	2.0
—	—	—	20.2	—	—	22.2	16.5	12.1
17.5	0.9	33.5	58.6	4.0	435.0	0.5	0	14.5

由上列數表所示諸值得知同一作物同一時期之耗水量 (Consumptive Use)，你當時土壤含水量高低而異，大致為含水量高者，耗水量大，含水量低者，耗水量小，則該時期應採用何種耗水量，尚大有商榷之餘地，按作物生產數量及品質最佳者，並非生長全期土壤水份均保持在水份當量以上也，臺大農工系分析作物季節用水係數K值時，係按照產量高而最合於實際灌溉配水管理之灌溉處理之用水量U值估計乙點，值得參考，基於臺大農工系之假定，學甲花生土壤水份自第1週至第15週間只有第10及第11兩週低於50%有效水份；學甲玉米土壤水份自第1週至第14週間只有第7、11、12、13、14等五週低於50%有效水

份；學甲甘藷土壤水份自第1週至第24週間，只有第12、13、14、20、21、22、23等八週低於50%有效水份，則花生 1/7 之生育時期，玉米 1/3 之生育時期，甘藷 1/3 之生育時期，土壤含水量均低於50%有效水份一點，值得注意，因與所謂 Potential Evapotranspiration 之定義不相符合，蓋 Potential Evapotranspiration 之假定是土壤水份隨時都在田間容水量程度也，唯 Potential Evapotranspiration 情形下之作物產量並非最高。欲求得產量最高之相應 Evapotranspiration Rate，需能機動控制不同程度之土壤含水量，欲求機動控制土壤含水量，則需設置自動遮雨棚 (Automatic Rainfall Shelter)，

以隨時防止降雨之干擾，故吾人在濕潤地區對於最佳作物耗水率之確究，尚需增加設備。

### 六、有效雨量與田間耗水量及作物生育期關係之推敲

上列數表中，所謂開始含水量，係指表層20公分土壤之含水量，所謂水份消失量，係指取樣時距兩端土壤含水量之差數，至於表層20公分土壤含水量，是

否可以代表根系土層全部水份之平均值，尚有商榷之餘地，茲就臺南、學甲旱作灌溉試驗田，自52年8月至53年6月之間，對於玉米及花生之灌溉試驗資料分析如下，以供參考：

1. 玉米 - 52年8月26日種植，同年12月2日收穫，共計97天，今選擇不灌溉處理區，兩種採取土樣方式之含水百分率資料，比較其代表含水量如下：

a. 每20公分逐層含水量：（暫不考慮表層土壤及60公分以下土壤之水份變化）。

週數		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
日	期	9	9	9	9	10	10	10	10	10	11	11	11	11	
	月日	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12	19	26	
土層深度 (公分)	20	含水量(%)	15.5		23.5	18.4	17.7	13.4	14.7	11.9	10.7	10.6	10.5	9.4	11.6
		與 M. E. 比較	- 2.2		+ 5.8	+ 0.7	0	- 4.3	- 3.0	- 5.8	- 7.0	- 7.1	- 7.2	- 8.3	- 6.1
	40	含水量(%)	15.3		22.6	19.3	19.6	18.2	15.6	14.7	11.7	12.7	13.5	12.2	10.5
		與 M. E. 比較	- 2.4		+ 4.9	+ 1.6	+ 1.9	+ 0.5	- 2.1	- 3.0	- 6.0	- 5.0	- 4.2	- 5.5	- 7.2
	60	含水量(%)	21.2		26.1	20.6	21.2	16.6	18.8	20.8	20.4	16.1	17.7	19.3	15.1
		與 M. F. 比較	+ 3.5		+ 8.4	+ 2.9	+ 3.5	+ 1.9	+ 1.1	+ 3.1	+ 2.7	- 1.6	- 3.0	+ 1.6	- 2.6
全層與 M. E. 比較(%)		- 1.1		+ 19.1	+ 5.2	+ 5.4	- 1.9	- 4.0	- 5.7	- 10.3	- 13.7	- 14.4	- 12.2	15.9	
全層與 M. F. 比較(公厘)		- 3.41		59.21	16.12	16.74	- 5.89	- 12.40	- 17.67	- 31.93	- 42.47	- 44.64	- 37.82	- 49.29	
水份消長情形				- 43.09	+ 0.62	- 22.63	- 6.51	- 5.27	- 14.26	- 10.54	- 2.17	+ 6.82	- 11.47		

b. 表層20公分五處平均含水量：

20公分	含水量(%)			28.6	20.9	18.9	17.1	14.8	11.9	10.2	9.5	9.3	9.1	8.6
	與 M. E. 比較			+ 10.9	+ 3.2	+ 1.2	- 0.6	- 2.9	- 5.8	- 7.5	- 8.2	- 8.4	- 8.6	- 9.1
全層與 M. E. 比較(%)				+ 32.7	+ 9.6	+ 3.6	- 1.8	- 8.7	- 17.4	- 22.5	- 24.6	- 25.2	- 25.8	- 27.3
全層與 M. E. 比較(公厘)				101.37	29.76	11.16	- 5.58	- 26.97	- 53.94	- 66.75	- 76.36	- 78.12	- 79.98	- 84.63
水份消長情形				- 81.61	- 18.60	- 16.74	- 21.39	- 26.97	- 15.81	- 6.51	- 1.86	- 1.86	- 1.86	- 4.65

2. 落花生 - 53年3月9日種植，同年6月27日收穫，共計110天。

a. 每20公分逐層含水量：（表層及60公分以下土壤暫不考慮）

週數		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	
日	期	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	
	月日	16	23	30	6	13	20	27	4	11	18	25	8	15	
土層深度 (公分)	20	含水量(%)	17.5	16.5	13.0	10.3	8.0	6.5	7.8	6.1	6.2	8.3	5.9	21.1	28.0
		與 M. E. 比較	- 0.2	- 1.2	- 4.7	- 7.4	- 9.7	- 11.4	- 9.9	- 11.6	- 11.5	- 9.4	- 11.8	+ 3.4	+ 10.3
	40	含水量(%)	18.1	17.4	13.3	13.4	8.0	7.4	9.6	6.3	7.2	8.5	6.1	18.7	22.2
		與 M. E. 比較	+ 0.4	- 0.3	- 3.9	- 4.3	- 9.9	- 10.3	- 8.1	- 11.4	- 10.5	- 9.2	- 11.6	+ 1.0	+ 4.5
	60	含水量(%)	18.8	17.9	16.7	14.1	12.6	14.3	14.8	7.0	8.0	10.4	7.8	16.9	24.1
		與 M. E. 比較	+ 1.1	- 0.7	- 1.0	- 3.6	- 5.1	- 3.4	- 2.9	- 10.7	- 9.7	- 7.3	- 9.9	- 0.8	+ 6.4
	80	含水量(%)	22.2	24.0	22.7	17.9	20.5	20.9	18.2	13.5	10.4	11.9	11.3	12.5	24.5
		與 M. E. 比較						+ 3.2	+ 0.5	- 4.2	- 7.6	- 5.8	- 6.4	- 5.5	+ 6.8
	100	含水量(%)	25.2	24.6	24.4	23.6	23.8	23.0	20.9	17.0	16.7	16.6	11.4	14.3	25.3
		與 M. E. 比較						+ 5.3	+ 3.2	- 0.7	- 1.9	- 1.1	- 6.3	- 3.4	+ 7.6

60cm以上與M.E.比較 (%)	+ 1.3	- 2.2	- 9.6	- 15.3	- 24.5	- 25.1	- 20.9	- 33.7	- 31.7	- 25.9	- 33.3	+ 3.6	+ 21.2
60cm以上與M.E.比較 (公厘)	+ 4.03	- 6.82	- 29.76	- 47.43	- 75.95	- 79.81	- 64.79	104.47	- 98.27	- 80.29	103.23	+ 11.16	+ 65.72
60-10cm與M.E.比較 (%)	+ 10.4					+ 8.5	+ 3.7	- 4.9	- 8.6	- 6.9	- 12.7	- 8.6	+ 14.4
60-10cm與M.E.比較 (公厘)	+ 32.24					+ 26.35	+ 11.47	+ 15.19	- 26.66	- 21.39	- 39.37	- 26.66	+ 44.44
水份消長情形 (公厘)	60cm 以上	-10.85	-22.94	-17.76	-28.52	-1.86	+13.02	-39.68	+6.20	+17.98	-22.94	+114.39	+54.56
	100-60cm	0	0	0	0	-5.89	-14.88	26.66	-11.47	+5.27	-17.98	+12.71	+71.30
	100cm以上	-10.85	-22.94	-17.76	-28.52	-7.75	+27.90	-66.34	-5.27	+23.25	-40.92	+127.10	+125.86

b. 表層20公分五處平均含水量

20公分含水量(%)	19.2	17.2	15.2	12.2	9.0	6.1	5.8	5.0	5.3	5.9	4.7	21.1	23.1
60cm 以上與 M.E. 比較 (%)	+ 7.5	- 1.5	- 7.5	- 16.5	- 26.1	- 34.8	- 35.7	- 38.1	- 37.2	- 35.4	- 39.0	- 10.2	+ 16.2
	+ 13.95	- 4.65	- 23.25	- 51.15	- 80.91	107.88	110.67	118.11	- 85.32	109.74	120.90	- 31.62	+ 50.22
60cm以上水份消長情形 (公厘)	-18.60	-18.60	-27.90	-29.76	-26.97	-2.79	-7.44	+32.79	-24.42	-11.16	+89.28	+81.84	
雨量 (公厘)						0.9		7.3	12.0		112.8	142.0	

1. 玉米—52年8月26日至同年12月2日

週數	1	2	3	4	5	6	7	2	9	10	11	12	13	14
按表層20cm折算			+ 101.37	+ 29.76	+ 11.16	- 5.58	- 26.97	53.94	69.75	76.26	78.12	79.98	84.63	
按全層60cm估算			+ 59.21	+ 16.12	+ 16.74	- 5.89	12.40	17.67	31.93	42.47	44.64	37.82	49.29	
雨量	245.8	0	2.0											26.0

2. 落花生—53年3月9日至同年6月27日

週數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14
按表層20cm折算	+ 13.95	- 4.65	- 23.25	- 51.15	- 80.91	- 107.88	- 110.67	- 118.11	- 85.32	- 109.74	- 120.90	- 31.62	+ 50.22
按全層60cm估算	+ 4.03	- 6.82	- 29.76	- 47.43	- 75.95	- 77.81	- 64.79	- 114.47	- 98.27	- 80.29	- 103.23	+ 11.16	+ 65.72
雨量						0.9	7.3	12.0				112.8	142.0

玉米種植在雨季末期，收穫於旱季中期，播種以後兩週內共降雨245.8公厘，故自第1週至第5週（35天間）土壤含水量均超過水份當量，其後第6、7、8、9等4週按全層60公厘估算土壤含水量亦均在50%有效水分以上，對於生長抑止現象不會顯著，故無灌溉與有灌溉各處理之玉米產量相差無幾（1~5%），但如果僅按表層20公厘折算土壤含水量，則僅第6、7兩週在50%有效水份以上，第9週以後則均在凋萎點以下，與真實情形相差甚大，故宜按照600公厘全層土壤含水量，解釋作物生長及產量情形。至於第9週以後之根系土層含水量，亦即有效雨量，採表層200公厘折算者，高達80公厘；難按全層60公厘土樣估算者，則僅50公厘左右，故根系土層水份消失量（或有效雨量）之估計，採用一點全層取樣似較五點表層取樣

更具代表性。

落花生種植在旱季中期，收穫於雨季初期，收穫以前兩週內共降雨254.8公厘，播種時600公厘土層僅濕潤至田間容水量，播種後第4週降至50%有效水份點，第7週以後降至凋萎點以下，故作物生長自第4週即受抑止，故無灌溉與有灌溉各處理之落花生產量相差高達40%，第5週開始，按表層20公厘折算之含水量，均較按全層60公厘估算者低20~40%，至於第4週以後之根系土層含水量（或有效雨量）均介於800~1200公厘之間，但因作物生長已受顯著抑止，不宜採用作有效雨量之參考。

綜合上述玉米及落花生之分析，得初步結論為：

1. 估算根系土層水份消長情形時，土樣採取深度宜在600公厘左右。



2.60cm 全層土壤水份容許減少程度可低至有效水份之40%，學甲土質則相當水深50公厘左右。

3. 降雨量大於50公厘（或有效水份之60%）時，根系土壤含水量將超出水份當量，如玉米情形超出達有效水份一倍左右時，但仍能在根系土層內緩緩消失，延續5週以後始達水份當量，7週以後始達有效水份50%，故超出水份當量或田間容水量限度之雨量，仍屬有效。

4. 為期增加降雨有效利用率，濕潤地區應進行各種作物播種初期土壤最大容許含水量之研究，並進行控制田間局部土壤含水量之栽培方式。

5. 如果種子不受高度土壤含水量影響，則播種後降雨 250 公厘可使土壤水份在50天以內保持於有效水份50%以上。

### 七、美國對於有效雨量及作物耗水量之實際應用

旱作灌溉有效雨量之估計，因水在土中移動現象之複雜，根系在土中發展情形之瞬息等變及作物真正耗水量（True Evapotranspiration）之莫測，加以天然降雨分佈，強度、深度等問題之不易捉摸，目前甚難推薦一合理可行之方法，茲將手中有關研究資料提供如下，以作參考。

#### 一、美國農業部 Tech. Bulletin No. 1275

Determining Consumptive Use and Irrigation Water Requirements”一書中曾提及，夏季之降雨量與降雨率，對於作物耗水量均有輕微影響，酷夏中陣陣細雨雖無補於增加土壤水份，但却有助於減低耗水，盛夏豪雨，常形成地面逕流，亦會大部被土層吸收供作物生長之用，如何估計可用之有效雨量，若干專家曾就不同氣候，不同土質，及不同作物情形之下，進行研究，茲取其一，列表如下供作參考。

可報生之月降雨量 (吋)	看作有效之月降雨量 (吋)	
	每增加一吋 之有效值	累計有效值
1	0.95	0.95
2	0.90	1.85
3	0.82	2.67
4	0.65	3.32
5	0.45	3.77
6	0.25	4.02
6以上	0.05	—

該書中又稱，美國大西洋岸濕潤地區之補助灌溉，發展甚速，該等地區月雨量及季節雨量之分析，甚

屬重要，各代表年生長期間降雨記錄宜按暴雨單位分析，俾得正確估計補助灌溉水量，前表各有效值，用於濕潤地區時，常需修正，又因濕潤地區作物耗水係數較低，美國西部各係數亦均需修正，唯目前尚乏是項資料。

二、美國農業部 Farmer's Bulletin No. 2143 “Irrigation Corn in Humid Regions” 一書中曾指出，一般農民可只取表層20公厘土壤，以手測驗其含水是否已降至50%有效水份，灌溉指導員可按照逐日作物蒸散量、降雨量，並假設土層容水量推算灌溉時期及水深，唯估計水量均按照60公厘根系深度推算，至於作物耗水量（或蒸散量）及土層容水量可按照下表各值估計：

#### 1. 玉米作物之日蒸散量

緯度及月份	玉米日蒸散率(吋)		
	陰曇氣候	正常氣候	光熱氣候
北緯 48°-40°			
4月, 9月	0.06	0.09	0.13
5月, 8月	0.07	0.12	0.18
6月, 7月	0.12	0.17	0.22
北緯 40°-34°			
4月, 9月	0.08	0.11	0.14
5月, 7月	0.11	0.14	0.19
6月, 8月	0.14	0.17	0.23
北緯 34°-30°			
4月, 9月	0.09	0.13	0.16
5月, 8月	0.13	0.16	0.22
6月, 7月	0.14	0.17	0.23

#### 2. 不同土質之保(容)水量。

土質	單位深度之保水量 (吋/呎)
砂土(Sand Soils)	0.7
砂質壤土(Sandy Loams)	1.3
壤土(Loams)	1.8
粉質壤土(Silt Loams)	2.2
粘質壤土(Clay Loams)	1.9
粘土(Clays)	1.8

三、美國土木工程師學會 Proceeding Paps 3638, “Separation of Evapotranspiration and Deep Percolation” September, 1963. 指出土壤含水未達飽和時之排水現象，係測驗作物耗水量時應考慮之重要因素，實地測得土壤水份之消失，將包含部份滲漏損失，吾人測得灌溉後土壤水份消失率逐漸減少之現象，係因土壤滲漏量及作物純蒸散量均有逐漸減少之趨勢，故水份消失率直線變化之假設，將與事實有出入，如果吾人試於 Tarpaulin Covered

Plots 及 Cropped Plots 分別取土壤，分析水份變化，並繪成曲線，則可據以求得純蒸散量及純滲漏量，來解釋實則土壤水份消失各種現象。

根據第一、二兩項資料，得知美國對於濕潤地區有效雨量之研究，正在開始之階段，第一項資料係用於工程規劃階段，第二項資料係用於灌溉配水規劃階段，二者之間，關係錯綜，不易領略，其直接相互影響其因素，唯基於第二項資料說明作物耗水量，受緯度及天氣之影響甚大，土層含水量又與土壤質地有密切關係，故不同地點之有效雨量，亦應有顯著之差異，第四節中所提到美國最近對於各州有效雨量之分析，已經開始。

### 八、區域有效雨量及平均有效雨量之考慮

廣大之灌溉區域中，星佈之雨量站及長期之雨量記錄，應如何整理，始可求得在面積方面及時間方面具有代表性之有效雨量，宜慎加考慮，水資會瀋水溪北岸灌區土壤及需水量調查研究報告中，曾作如下之探討。

1. 站級有效雨量之估算
  - a. 雨量站之選用及估算期間之決定。
  - b. 站級有效雨量之估算。
  - c. 站級有效雨量之補遺。
2. 區域有效雨量之估算
  - a. 區域平均月有效雨量。
  - b. 區域實用月有效雨量。
  - c. 平均月有效雨量頻率曲線。
3. 全灌區降雨量與有效雨量之關係
  - a. 統計各項逐月之降雨量及有效雨量。
  - b. 繪製各月降雨量及有效雨量之關係曲線。

南美洲烏拉圭因其種植作物中，除水稻及甘蔗有灌溉外，其餘雜糧作物均靠天然降雨，故對於夏日雨季降雨之可靠性頗多研究，其方法大致為沿該國西北至東南與西南至東北兩斜向對角線上，各選擇八站及五站共計十三個雨量站之降雨資料，分析其①平均月雨量 (Mean monthly rainfall)；②中間月雨量 (Median monthly rainfall)，亦即發生率為50%之月雨量；③每六年中有五年發生之月雨量，亦即發生率為83%之月雨量；④記錄期間最低月雨量，再行求得第②、③、④各項雨量與第一項雨量之比值，以檢討其可靠性。茲將烏拉圭情形列表如下，以供參考：

月份	平均月雨量 (吋) mean rainfall	中間月雨量 相當平均之 百分率 (%)	83%機會月 雨量相當平 均之百分率 (%)	最小月雨量 相當平均之 百分率 (%)
十月	3.5	86 %	46 %	29 %
十一月	2.3	86 %	47 %	27 %
十二月	3.0	72 %	33 %	13 %
一月	3.9	88 %	37 %	13 %
二月	3.5	90 %	47 %	19 %
三月	5.0	89 %	51 %	28 %
六個月 合計或 平均	21.78	85 %	43 %	22 %

### 九、結 論

1. 濕潤地區作物需水量具有相當彈性，天然降雨、人工灌溉及土壤媒介等滿足作物需水諸因素，又屬變化萬千難以捉摸，吾人實難以擬定一刻板之有效雨量估算公式，據以算出固定之數值，配合人工灌溉水量，適時適量滿足作物水分之需求。

2. 濕潤地區有效雨量之利用率可以儘量提高，水稻灌溉有效雨量蓄於田面，可藉田埂之加高與加強來提高利用率。旱作灌溉有效雨量蓄於土層，可設法加強土層保水能力以提高其利用率。本省期作田及輪作田，田面水平土層底部且有不透水層（牛踏層），有效雨量利用率可否提高一點值得研究。

3. 濕潤地區如果有可靠之人工灌溉水原，則有效雨量之可靠程度，可以大量提高，例如嘉南地區因有烏山頭水庫之可靠水源，過去廿五年以來七、八、九三個月降雨，雖有僅470公厘者，仍可配合684公厘之人工灌溉栽培一期水稻。又根據廿五年來長期經驗，可以大膽地假定500~600公厘有效雨量，只計劃供給600~700公厘之人工灌溉，來運營水庫之昂價水源。

4. 本省雜糧作物多與水稻及甘蔗輪作栽培，每年雨季水稻旱季雜作之栽培制度，頗有利於有效雨量之高度利用，水稻雜糧輪作栽培制度下，有效雨量之估計，可將全年栽培作物及全年降雨情形，視作整體規劃之，例如嘉南地區中間作水稻，糊仔雜作及春季雜作一年三作栽培制度，配合降雨之灌溉計劃，可按水稻600~700公厘，糊仔雜作60公厘，春季雜作120公厘配水，如果三作需水總量2,000公厘，則三作有效雨量可高達1,100~1,200公厘也。可見有效雨量與栽培制度應有密切關係也。

5. 有效雨量利用率之高低與水源情形及灌溉管理

亦應有密切關係，水源流量較安定者，如水庫及深井水源，利用率可提高；水源地點接近灌區者，如池塘及抽水水源，利用率可提高；灌溉配水系統完整人員健全者，利用率亦可酌予提高；吾人似可試行按照水源可靠程度及灌溉管理情形，擬定利用率數值表供工程規劃之參考。

6. 降雨以後，如何可以使扣除灌溉水量之數值，儘量接近降雨量之數值，也是提高有效雨量利用率之重要措施。一般而言，噴灑灌溉最近似天然降雨，可考慮較高之利用率，地面灌溉因流佈費時，雖有降雨，亦不克減低配水量，故利用率較低。近來正擬研究高度利用溝灌法配水之便利，提高地面灌溉法之有效雨量利用率。

7. 土壤水份消失情形之測定，為估計作物耗水量及有效雨量或灌水量之重要工作，應加強研究合理之測定方法，本省濕潤地區時受降雨之干擾，如無靈活

之自動遮雨棚 (automatic rainfall shelter)，甚難控制土壤水份含量，測定土壤水份消失之完整資料，為求加速測定各種作物於不同土壤水份含量及不同季節時之耗水情形，建議各試驗站加設自動遮雨棚以分離降雨因素之干擾。

8. 本省有效雨量之研究，宜就大處着眼，將全省按照氣象、地形、土質等因素，分作若干栽培制度區域，再行擬定各區各種作物之栽培及生育時期、統計各時期內之降雨資料，估計各種作物灌溉之必需水量及時期。如果再進一步考慮水源之可靠程度及灌溉之管理情形，則可據以增減灌溉必需水量，所謂有效雨量，應為作物需水量與灌溉必需水量之差值也，建議水利及農業當局，參照目下已有之經驗及資料，先行擬定一分區有效雨量利用數值表，以供工程規劃人員及灌溉管理人員之參考應用。

(上接第 5 頁)

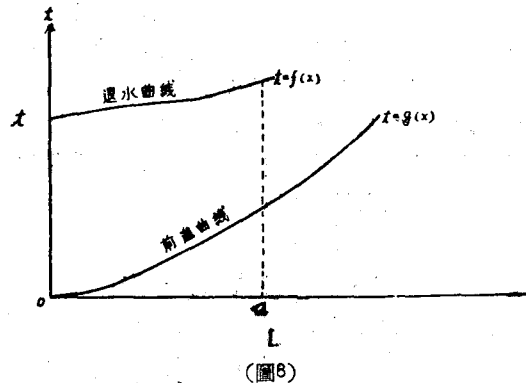
是否正確。但一般之田區，其坡度，整地優劣各有差異，退水時間很難判斷，下列的方法可能得到滿意的結果。

a. 坡度 0.5% 以上的田區——若整地良好，則斷水後，水均勻的往下流，此種田區，觀測點的退水時間，即觀測點上游湛水消失之時間。

b. 整地不良的田區——當觀測點上游段浸水面積與該觀測點下游段退水的面積相等時，則此時即為該觀測點之退水時間。

c. 坡度 0.5% 以下的田區——此種田區，有時會積水於低窪處，往往觀測點附近已退水，而低窪處尚湛水。在這種情形下，若觀測點與其上一測定點之間的面積之 280~90% 湛水已消失，則此時即為此觀測點的退水時間。

2. 圖 5 求效率之方法，其誤差是否在容許範圍以內。關於這個問題，取點愈多則愈正確，或用前進曲線，退水曲線，滲入率等方程式，用數學的方法解析，茲述我個人的想法如下：(圖 6)



(圖 6)

誤前進曲線，退水曲線，滲入率等方程式皆為已知，則平均施灌水深 (田區長度為 a)

$$d = \frac{1}{a} \int_0^a \frac{k}{n+1} [f(x) - g(x)]^{n+1} dx$$

註：假設退水曲線為  $t=f(x)$

前進曲線為  $t=g(x)$

$$\text{累積滲入量方程式 } D = \frac{k}{n+1} t^{n+1}$$