

旱作灌溉之有效雨量

Effective Rainfall in Irrigation of Upland Crops

臺灣大學農工系副教授

曹以松

一、前言

灌溉之定義為人工方法供給作物生長所需要之水分，在乾旱地區雨量稀少，故作物所需水分之全部或絕大部份均須仰賴灌溉之供給故此時之灌溉稱為絕對灌溉 (Absolute Irrigation)。在雨量較多之地區則灌溉僅用於補天然雨量之不足故稱為補充灌溉 (Supplementary Irrigation)。在補充灌溉中，天然降雨之降於作物生長季節而能供給作物之用水因而減少灌溉之需水量者稱為有效雨量 (Effective Rainfall)。有效雨量與同時期總雨量之比，稱為有效雨量率 (Rate of Effective Rainfall)。有效雨量率高時則對天然雨量之利用程度較高而可減少灌溉水量。在灌溉水源短缺之處，提高有效雨量率尤為有利。惟欲提高有效雨量率則必率對有效雨量先有一正確之估計，若有效雨量估算過低則不但浪費寶貴之灌溉水量，抑且形成過度灌溉 (Over Irrigation) 對作物之生長非徒無益而且有害。若估算過高則據此而灌溉之水量又不足以維持作物在生長良好時必需之水分供應。因此，不論在規劃新的灌溉工程或在經營已成之灌區，或在選定一田區之適當灌溉時間，均須先對有效雨量有一準確之估算。

本省位於亞熱帶，雨量豐沛，每年年平均雨量約為2,400mm 為全球多雨地區之一，唯雨量之分配極為不勻，大部降雨集中於雨季及颱風時之暴雨，致即使是用水量較小之旱作仍有賴於灌溉水之補充，始能確保其豐收，更無論用水量較高之稻作矣。

本省灌溉過去偏重水稻之灌溉，故對水田之有效雨量研究較為完備，而水田有效雨量之估算事實上亦較為簡單，故如桃園大圳有效雨量估算法、嘉南大圳有效雨量估算法，經濟部水資源統一規劃委員會之估計有效雨量方法及黃民復氏所創之方法均能切於實用，至於旱作灌溉之有效雨量則因牽涉之因素至多未能有深入之研究，即在目前如先進國家亦未有完善之估算法，年來經臺灣大學農工系及農復會之倡導旱作灌溉已漸受重視，解決此一問題正其時矣，本文謹就影響旱田有效雨量之因素及過去估算之各種方法加以

檢討，進而提出一種實用之估算方法，最後並提出建議以供將來改進之參考。

二、影響有效雨量之因素

影響有效雨量之因素至多，茲就其主要者說明如下：

(一) 作物

作物殆為決定有效雨量之主要因素，而作物之用水量 (Consumptive use) 又為決定作物對有效雨量之影響之主要因素。作物耗水量大者則有效雨量亦大而作物之用水量則需視作物之種類，作物生長狀態，及作物生育之階段而定。作物之有效根深對有效雨量之影響亦大，有效根深長者則有效雨量及有效雨量率大，反之則小。

(二) 土壤

土壤之有效水份密切關係着有效雨量之大小，土壤之有效水分多者則有效雨量率均大反之則小，土壤之保水能力雖亦影響有效雨量之利用，唯保水能力大者其有效水分不一定大，故其間之關係較為複雜。其次，土壤之滲透率較高則降雨滲入土壤之機會多而不易成為逕流流失，因而有效雨量率較高，唯如根區以下之土壤滲透率亦高則滲漏損失增加，有效雨量率又減低矣。

(三) 降雨

降雨之分配關係有效雨量最為密切，若降雨集中少數之暴雨，則大部雨量將成為逕流流失，反不如長時期之濛濛細雨之有裨益於作物之生長也，故雨量之分配宜均勻，均勻之雨量分配可使有效雨量率大為提高。若雨量之分配能與作物之需水量相配合，即作物需水多時雨量亦大，作物需水少時雨量亦小，則所有雨量均可充分利用。雨量之強度影響有效雨量亦大，如降雨強度大於滲透率時則不及滲入土壤之水量必成為逕流而大部流失。此外雨滴之大小亦可影響雨水之滲入土中，如雨滴過大則雨滴對地面之衝擊力大，往往引起土粒飛濺，填塞表土孔隙，因閉土中空氣，因

而引起表面封閉現象 (Surface Sealing)，此時雖土壤甚為乾燥，土壤原來之滲率亦高，而雨水亦無法進入土中矣。

(四) 灌溉

灌溉對於有效雨量之影響至鉅，以灌溉方法而言，則對灌溉水量（一次灌溉深）及灌溉間距較有彈性者有效雨量及有效雨量率較高，例如噴灑灌溉對天然降雨可有較高之利用率，以灌溉水源而言，則水源來自蓄水者，如以水庫、池塘、深井為水源則有效雨量及有效雨量率均高，以每次灌溉之間距而言，則間距小而灌溉頻者之有效雨量及有效雨量率往往較高，以灌溉管理而言則管理得法，灌溉適時適量之田區可有較高之有效雨量利用率。

(五) 地形

田間之坡度愈大則雨水滲入土中之機會愈少而成為逕流流失之機會愈多故有效雨量及有效雨量均小，同理田間坡度之長度愈長則田量逕流愈速而滲入土中之水量愈少，有效雨量隨之愈小。此外田面愈粗糙，則可因糙率之增加，而減低流速增高田面水深及靜水壓力因而可使滲透率及滲入土中之水量增加，提高對雨量之利用率。

(六) 栽培制度與耕作方法

選用不同作物以配合天然降雨可提高有效雨量之利用，例如在乾旱季節可選用需水較小之作，而在多雨季節則可採用需水量較大之作物，此種有計劃的栽培制度可配合天然降雨及灌溉供水情形而使天然降雨及有限之水資源可得最大之利用，在耕作方法中如增田，等高耕作，間作，及各種覆蓋均可提高對天然降雨之利用而使有效雨量及有效雨量率增大也。

(七) 其他

其他如地下水位之高低，不透水層或硬盤之位置，排水之情形，肥料尤其是有機肥料之使用均可影響有效雨量之大小。

三、旱作灌溉有效雨量估算之各種方法及其檢討

(一) Walter氏法

Walter 氏在 Mauritius 島上倡出此法，其法以一月內平均日雨量乘以下雨之日數以表該月之濕度及有效雨量及有效雨量即

$$\frac{R \cdot t'}{t}$$

R = 該月之總雨量

t = 該月之日數

t' = 該月下雨之日數

此法並無適當之理論根據，用於雨量均勻而下雨天數較多之區尚勉可適用，在他區則誤差太大。例如二月總雨量相同，均為三百公厘，唯其中一月降雨集中於一日，另一月則有十五個雨天則前者之有效雨量由此引算出者僅為十公厘而後者則達 150 公厘。倘後者之十五個雨天中雨量亦集中於一日餘均為濛濛之細雨則二月有效雨量相差十五倍之鉅，其為不合理可知。

(二) 美國水土保持局法

美國水土保持局 (Federal Soil Conservation Service) 倡導以下表計算每月之降雨量：

可能發生之月降雨量 (吋)	估算為有效之月雨量 (吋)	
	每增加一吋降雨所增加之有效雨量	累計有效雨量
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	—

此法甚為簡單，在美國西南部使用，結果尚稱良好，故除水土保持局之外尚為農業研究所 (Agricultural Research Service) 及墾務局所樂用。唯此法對於作物方面之因素全未考慮，雨量之分配亦未顧及，實際上其所重視者僅月雨量一項而已，故由此所得之結果，實不可能十分精確故僅可作粗略之估計。

(三) 前雨指數法

此法由 Fisher 及 Leuke 兩氏所倡導，其式如下：

$$E_n = R_n + K \cdot r_{n-1} + K_2 r_{n-2} + \dots + K^{n-1} r$$

$$E_n = R_n + K \cdot E_{n-1}$$

上式中：R_n為第n日所降之雨量

K為小於1之常數，二氏所用之值為19/20，但K值在其他地區即不一定為19/20。而隨土壤與氣候之關係而變動。

KE_{n-1}為殘餘有效雨量

此法可將降雨之影響計算至降雨後之第n日，通常一般n<60，此法計算費時，同時未顧及作物方面雨量分配及逕流之因，素例如，一日降雨10吋，則60

日後仍有 0.47 吋有效，故祇能用於無強度極大之暴雨之處。

(四) 經濟部水資源統一規劃委員會
在濁水溪北岸灌區之規定

此法之要點如下

(1) 單獨降雨：指降雨當日之前與後二日以上無雨之單一日降雨，其日雨量在 20mm 以下者，因補充此水量在操作上甚為困難，效視為無效，其日雨量在 20mm 至 60mm 時，(超過 60mm 者以 60mm 計) 以 50% 作為有效。

(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，各組之計算如下

A. 單獨一組(即只降雨三日)，合計雨量小於 30mm 時：

(i) 如無某一日之雨量超過 20mm 以上者，視為無效。

(ii) 如其日雨量超過 20mm 以上時則該日降雨量依單獨降雨計算之。

B. 第一組合計雨量在 30mm 以下時且無日雨量超過 20mm 以上時則視為無效由次日起重新連組計算。

C. 第一組(包括單獨一組)合計雨量為 30mm 至 60mm 時(超過 60mm 者以 60mm 計)以 50% 作為有效。

D. 第二組以後各組合計雨量在 12mm 以內時(超過 12mm 者 12mm 計)全部作為有效。

E. 一次連續降雨未連成組之末一日或二日，其日雨量在 4mm 以內時全部視為有效，超過 4mm 時則以 4mm 計。

此法規定極為繁瑣而各項規定類皆缺乏根據，雖對雨量分配之因素已加重視，但其規定如單獨日雨量在 20mm 以下者均作為無效之類實不合理，對於作物與土壤方面之各因素均未曾加以考慮，其他諸因素更無論矣，此法之估算標準過於保守，如日雨量不及 20mm 即全部認為無效，超過 20mm 至 60mm 者又僅認作 50% 有效，超過 60mm 之部份又認為全部無效，換之單獨一日之有效雨量最多僅為 30mm，實屬過小，又在連續三日降雨時合計之最大有效雨量亦僅為 30mm，尤不合理，故由此法算出之有效雨量偏於過小，有浪費水資源引致過度灌溉之嫌，在灌溉水源豐沛之區用此法以估計灌溉系統之容量，安全有餘，用此以作灌溉之指針則不甚相宜。在水源缺乏之地區則此法更不宜使用也。

(五) 逐日記賬法(Budgeting Method)

此法在目前似為最精確合理之方法，倡用此法者計有美國之 Hershfield 氏，King 氏，及 Jamison 氏，以及日本之川上榮一氏等，雖各氏所用之名稱不同，方法亦略有差異，但所用之原理均為以逐日計算日雨量及作物之用水量，算出土壤中剩餘之有效水分以決定旱作需要灌溉之時間，因降雨而可減少之灌溉水量即為有效雨量，所以在此類方法中雖極小之日雨量亦認為有效，因此種微小之雨量雖不能滲入土中供作物生長所需，但至少可減少土壤蒸發之損失也。茲據 Hershfield 氏之一例為下表以明之：

日期	降雨量 (吋)	作物用 水量 (吋)	剩餘 灌溉水量 (吋)	有效雨量 (吋)	灌溉 水量 (吋)	備註
6月			0.20			上月結存
1日		0.19	0.01			
2	0.43	0.19	0.25	0.43		
3		0.19	0.06			
4		0.19	0.87		1.00	
5		0.19	0.68			
6		0.19	0.49			
7		0.19	0.30			
8		0.19	0.11			
9		0.19	0.92		1.00	
10	0.02	0.19	0.75	0.70		
11	0.02	0.19	0.58	0.02		
12	0.09	0.19	0.48	0.09		
13		0.19	0.29			
14	0.03	0.19	0.13	0.03		
15		0.19	0.94		1.00	
16		0.19	0.75			
17		0.19	0.56			
18	0.86	0.19	1.00	0.63		
19		0.19	0.81			
20		0.19	0.76	0.14		
21		0.19	0.57			
22	0.52	0.19	0.90	0.52		
23	0.14	0.19	0.85	0.14		
24		0.19	0.66			
25		0.19	0.47			
26		0.19	0.28			
27	1.15	0.19	1.00	0.91		
28		0.19	0.81			
29		0.19	0.62			
30		0.19	0.42			
總計	3.40	5.70		2.93	3.00	

上例係用於美國塞爾衛州 Dover 區，一次最大灌溉水量為一吋，即當降雨量與土壤中剩餘灌溉水量之和大於一吋時則超出之部分視為無效，低於一吋時則全部有效。作物用水量在此例中為每日 0.19 吋為該月該作物之平均用水量。在六月五日，九日，及十五日均需灌溉一次，因當其時土壤中剩餘灌溉水已接近於零也。在六月十八日以前之降雨均為有效。六月十八日降雨 0.86 吋，土壤中剩餘灌溉水為 0.37 吋，二者合

計為1.23吋，因此其中0.23吋之雨量視為無效，因此該次降雨之有效雨量為0.86吋減0.23吋，等於0.63吋。

此法之缺點為使用作物之月平均用水量，因一月之間作物之用逐日均有變化，相鄰二日間用水量之值相差有時極大，故以月平均用水量計算可導致頗大之誤差。Jamison 氏及 Beale 氏之法則根據當日之陰晴及月份而抉擇作物之用水量。下表即為 Jamison 氏及 Beale 氏用以抉擇作物之用水量之根據

緯度及月份	玉米之日用水量 (吋)		
	陰曇天氣	正常天氣	暗熱天氣
北緯 48°—40°			
四月、九月	0.06	0.09	0.13
五月、八月	0.07	0.12	0.18
六月、七月	0.12	0.17	0.22
北緯 40°—34°			
四月、九月	0.08	0.11	0.14
五月、八月	0.11	0.14	0.19
六月、七月	0.14	0.17	0.23
北緯 34°—30°			
四月、九月	0.09	0.13	0.16
五月、八月	0.13	0.16	0.22
六月、七月	0.14	0.17	0.23

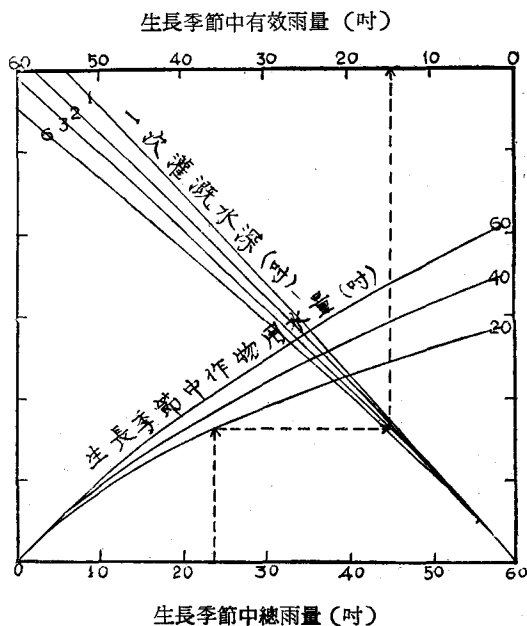
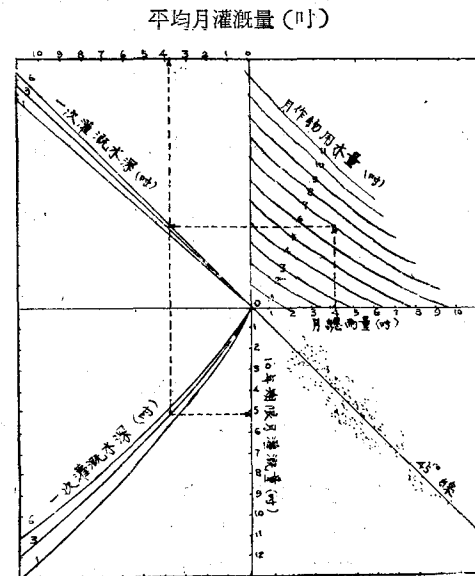


圖1. 作物生長季節有效雨量與，生長季節總雨量生長季節作物總用水量及一次灌溉水深之關係

唯天氣之變化多端，上表僅列有三種情形，陰晴不定之天氣，應如何計算？同時，除陰晴及溫度外影響作物用水量尚有風速，濕度，蒸汽壓，作生長之階段等在此均未能顧及，故由此算得之用水量仍難與實際相符。

Hershfield 氏用此法計算有效雨量後，將長期之紀錄繪成圖一及圖二，圖一為作物生長季節總雨量，有效雨量，作物總水量及一次灌溉水深之關係，圖二係根據圖一而來，由此可估計平均之每月灌溉水量及十年中最大灌溉需水量。圖二在用於新灌溉工程之規劃極為方便，唯其精確性仍須視有效雨量計算之精確度而定耳。



計數10年期限月灌溉量 (吋)

圖2. 由月總雨量，月作物用水量及一次灌溉水深估計十年中最大月灌溉需水量及平均月灌溉需水量之圖解

四、建議之方法

影響有效雨量之因素之多已如前述，而以往所用以估算有效雨量之各種方法又均欠理想。雖欲以一種方法兼顧各種因素而十分精確地估計有效雨量殆不可能，惟如欲對過去各種方法加以改進，同時將對有效雨量影響較大之各因素均包含在內則尚非太難，筆者有鑑於此，特建議下列之方法。

此法雖不必逐日計算但實際上亦為逐日記賬法之一種變型，其計算較普通之逐日記賬法為簡，而精確度則較高，無以名之，名之曰有效水分收支平衡法此法之步驟有五，茲分述之如下：

(一) 作物用水量之決定

在逐日記賬法中，Jamison 及 Beale 二氏之根據月份及當日天氣之陰晴以估計作物每日之用水量，雖較一般以月平均用水量作為日用水量為進步，但影響作物用水量之其他因素諸如風速、濕度、蒸汽壓、作物生長之階段等均未能考慮入內，故其估計之結果仍不够精確。

求取大面積或一普通田區中作物之用水量甚為困難，其所用之方法以氣候相關因素法 (Correlation with Climatic Data) 較為實際可行，在各種氣象資料中，尤以蒸發量與作物之用水量息息相關，因當土壤中含水量在凋萎點以上時，影響蒸發與作物蒸散及用水量之各項因素幾完全相同。

希臘 Halkia 氏首先指出作物之用水量係與黑球與白球李文斯頓式蒸發瓶蒸發量之差成為近於直線之關係。因此種蒸發瓶 (Porous-Capatometer of Livingston Type) 上之蒸發情形與作物之蒸散最為相似，用於估計作物之需水量原最為相宜。唯此種蒸發計上之多孔蒸發球之性質不能均勻，因此必須加一校正係數，同時所用水必需為蒸餾水，球上如受少量灰塵準確性又大受影響，在冷凍之地又不能使用。故其使用仍不普遍。

測量蒸發量最普遍之方法厥為蒸發皿，如能從蒸發皿之蒸發量求出作物之用水量實最為理想，臺灣大學農工系張建勛先生等指出蒸發量確與作物之用水量成直線關係而可以下式示之：

$$C = aE + b$$

其中 C = 累積物用水量 E = 累積蒸發量
a 及 b 為常數

因此 $\Delta C = \Delta E a$

作物在不同時期可能有不同之用水量，如水稻與玉米可分為早期，中期及晚期，但每期之累積用水量繪出仍近乎直線，惟每期直線之坡度不一，即有不同之 a 值耳。茲錄臺南學甲試驗區之各種作物之 a 值如下表：

作物	a 值
落花生	0.5644 (累積溫度 T=0~1,60°C)
	0.2254 (累積溫度 T=0~1,350°C)
綠豆	0.5942 (累積溫度 T=2,350°C以上)
	0.4519 (累積溫度 T=0°~490°C)
玉米	1.1954 (累積溫度 T=490,30°C)
	0.7434 (累積溫度 T=1,360°C以上)

秋作甘藷	5.4799
示範田甘藷	0.35

利用 $\Delta C = a\Delta E$ 所算得之作物水量，顯然較其他之估計方法精確得多 a 值在不同地區之變異，較作物用水量本身之變異為小，故可適用之地區較廣，同時蒸發量之記錄往往可利用現有之紀錄，即欲自行記錄設備亦極簡單，易於辦到也。如以累積之蒸發量代替逐日之蒸發量以免觀測之誤差累積，亦屬可能，蒸發量如在田區中測定更可增加此法之精確度。

(二) 灌溉水深之決定

田間含水量為灌溉及有效雨量之上限，因超過田間含水量部分之水份，無法保留在作物之根區而終致成為深部滲漏或逕流，對作物無什裨益也。至於作物所能利用之水分為在田間含水量與凋萎點之間之水分，此部分即稱為有效水分。田間含水量高者保水能力強但有效水分不一定多。因若干土壤例如含有機物多之粘土雖其田間含水量極高但其凋萎點亦極高，致其有效水分反少於田間含水量較低之壤土也，土壤中有效水分降低至何程度時應即加以灌溉以補充其有效水分至田間含水量？此一問題目前之趨勢為當土壤有效水分降至其總數之 $\frac{1}{2}$ 至 $\frac{1}{3}$ 時應即開始灌溉。在本文中所述之例，係採用當有效水分降至 50% 開始灌溉，若採取其他標準並無礙於本法之使用，事實上若採取更小之灌溉水深與更密之灌溉頻率則對天然雨量可能作更有效之利用。

一次灌溉水深復與作物之有效根深成正比，因此可以下式示之：

$$d = \frac{xP_{ac}}{100} \times A_s \times D$$

式中 d = 一次灌溉水深以 mm 計

x = 一次灌溉水深與根區有效水分之比

A_s = 土壤假比重

D = 作物根區之有效深度

作物之根區有效深度不但受作物生長之情形之影響，生長之階段，當地之氣象及土壤水分情形亦大有關聯，例如同一作物在溫和濕潤地區其根區較淺，在乾燥炎熱之區則其根區較深，故決定作物之根區有效深度時頗不易抉擇，茲摘錄美國華盛頓州普通作物之有效根區深於下，以供參考：

作物	有效根區深度(公尺)
苜蓿	1.2
豆類	0.6
黑莓	0.9
玉米	0.9
葡萄	1.5
果樹	1.5
三葉草	0.6
洋蔥	0.3~0.45
豌豆	0.9
馬鈴薯	0.6
草莓	0.3~0.45
甜菜	1.2
薯蓣	0.9
蔬菜類	0.45

(三) 降雨量與蒸發量之記錄

降雨量與蒸發量可利用區域內已有氣象站之記錄，惟為求所得之結果更為精確起見，宜於田區之中央設一小型之氣象站以觀測降雨量及蒸發量，普通雨量計及標準蒸發皿均為價廉易得之儀器，所費不多而結果之精確度可之為增加，譬如以降雨量而言，相距不遠之二處，在同一降雨中雨量相差可能極大，尤其在雷雨時，更可能一處傾盆大雨而另一處則日正當中，滴雨全無，故為使計算準確起見宜以田區之降雨量及蒸發量為準。

逐日觀察蒸發量，尤在同一人之觀察下，則在累積蒸發量時，誤差亦隨之累積，為簡化蒸發量之觀察及可直接讀出累積之蒸發量以及其他目的起見，一種新設計的蒸發觀測裝置正在臺灣大學水工試驗所試驗中。該裝置實即一標準之蒸發皿連結一自動給水箱如圖三所示：

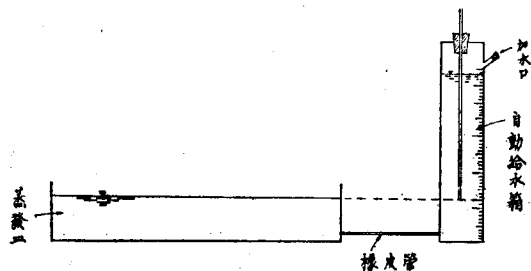


圖3. 自動給水蒸發皿

自動給水箱下端以一橡皮管與蒸發皿相聯結，該箱之上端為一大橡皮塞，一兩端開啓之玻璃管穿入此橡皮塞，其下端與蒸發皿之水面齊平，上端則仍留於橡皮塞之外，每當蒸發皿中水面因蒸發而下降時自動給水箱中流入蒸發皿中補充之而使其恢復原有之水面。從自動給水箱中水面之下降程度即可得出蒸發量及累積蒸發量。此一裝置雖仍在試驗中但其初步結果已顯示出有下列之優點：

(1) 蒸發皿中水面及水量保持一定，蒸發量不因其變化而受影響。

(2) 除蒸發量外，尚可直接讀出累積蒸發量。

(3) 在求累積蒸發量時可避免逐日觀察累積之誤差。

(4) 給水箱之面積可為蒸發皿之1/10或1/100，則在蒸發量為1mm時，給水箱下降之距離為1cm或10cm，故所讀得之結果較普通之直接於蒸發皿之水面下降測得者準確甚多。

(5) 標準之蒸發皿水深為8''每當降至7''時即需加水，用此裝置可減少加水次數。

(6) 所需費用並不較標準蒸發皿增加甚多，因雖多一自動給水箱，但可省却鈎尺也。

(7) 若僅需累積蒸發量時，則不必逐日觀測，省時省事。

(四) 計算方法

茲舉學甲灌溉試驗站作為一例以說明計算之方法，學甲實驗區之土壤為粉質壤土，有效水分為8%，土壤之假比重為1.55，若作物為花生，花生之有效根區深度為60cm；每次灌水深度為有效水分之50%則

$$d = \frac{0.5 \times 8}{100} \times 600 = 37.2 \text{mm}$$

即每次灌溉水深為37.2公厘

在使用各種逐日計賬法均應選擇灌溉當日或大雨之日開始因此時土壤中含水量恰在田間容水量也。一經開始計算則不宜中斷。以便土壤中之水分可有一連續之紀錄。下表即為學甲實驗田九月份之氣象記錄與計算方法。

月份	日期	降雨量 (mm)	蒸發量 (mm)	作物用水量 (mm)	剩餘灌溉 水 (mm)	有效雨量 (mm)	灌溉水量 (mm)	備註
9	1		4.35	2.46	15 12.54			上月結存 播種後第四十七日
	2		4.23	2.38	10.16			
	3	10.5	3.56	2.01	18.55	10.5		
	4	2.5	4.90	2.76	12.29	2.5		
	5	75.0	3.80	2.14	37.2	21.05		愛美颱風
	6	1.1	2.30	1.30	37.0	1.1		
	7	10.5	2.00	1.11	37.2	1.31		
	8		4.10	2.30	34.9			
	9		4.96	2.80	32.1			
	10		3.60	2.03	30.07			
	11		4.16	2.32	27.75			
	12		4.32	2.44	25.31			
	13		4.80	2.71	2.26			
	14		4.50	2.54	20.06			
	15		5.24	2.95	17.11			
	16		5.46	3.08	14.03			
	17		4.62	2.61	12.42			
	18		4.42	2.49	9.93			
	19		4.88	2.75	7.18			
	20		5.46	3.08	4.10			
	21		5.14	2.90	1.20			
	22		5.10	2.87	35.53			37.2
	23	0.7	4.90	2.76	32.84		0.7	
	24		5.30	2.98	29.86			
	25		4.70	2.65	27.21			
	26		4.60	2.60	24.61			
	27		4.34	2.44	22.17			
	28		4.66	2.63	19.54			
	29		4.86	2.74	16.80			
	30		4.52	2.55	14.25			
總計		100.3	133.78	75.38		37.16	37.2	月有效雨量率 = $\frac{37.16}{100.3}$ = 37.48%

在上表中降雨量及蒸發量為用區之實際記錄，作物用水量為依 $\Delta C = a\Delta E$ 計算所得（花生 $a = 0.5644$ ），剩餘灌溉水量為土壤中現有之水水減去50%有效水分後所餘之差，在每月月初之剩餘灌溉水量係由上月底結轉而來。九月三日及四日之降雨因剩餘灌溉水量不多故全部均為有效，九月五日愛美颱風帶來了75mm的雨量，75mm加上上一日之剩餘灌溉水量18.29mm等於93.29mm，93.29mm減去當日之作物用水量2.14mm後尚餘91.15mm，但土壤中祇能再容納

37.2mm，故二者之差即53.95mm的雨量成為逕流而流失。因此該日之有效雨量即為75mm—53.95mm=21.05mm。同理九月量七日所降之10.5mm亦僅有1.31mm為有效雨量，至九月廿一日時因剩餘灌溉水量僅存1.2mm不足以應付次日之作物用水量，故廿二日需灌溉一次（37.2mm），因此月雨量充沛，故全月僅需灌溉一次，事實上倘此月之雨量分配略趨均勻，則不但不需灌溉且有餘水以供下月之用矣。

五、利用灌溉計算尺以省却計算

上述之計算方法，仍為逐日計算，所用之蒸發量亦為每日之蒸發量，如此除增加計算及觀測之次數外，同時又有累積觀測誤差之弊，筆者有鑑於此特設計一種雙滑尺灌溉計算尺，如圖四所示：

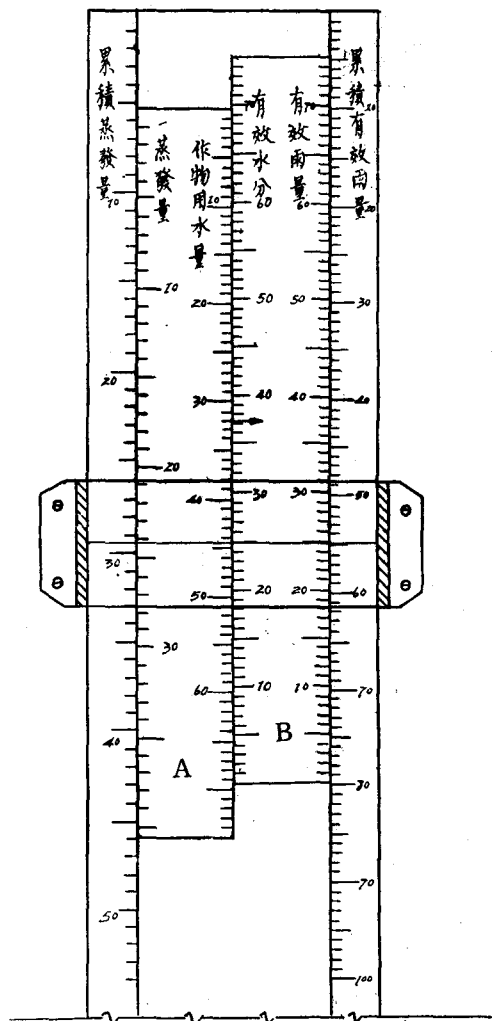


圖4. 雙滑尺灌溉計算尺(花生, 學甲實驗田)

滑尺A與滑尺B同在一槽內可以上下滑動，滑尺A左邊之刻度為蒸發量，其右邊則為作物用水量，單位雖均為公厘，但二刻度之比例尺不同，其比例，須視 $\Delta C = a\Delta E$ 中之 a 值而定，滑尺B左邊之刻度為土壤中有效水份，在有效水分50%之處有一記號，當有效水份降至此記號時，應即灌溉，灌溉水深採取不同之標準時，記號即作於他處(如75%處)，滑尺B之右端則為有效雨量之刻度。在固定尺之左邊為累積蒸發量之刻度，固定尺之左邊則為累積之有效雨量。

另有一遊標尺可在尺上任意移動，其作用在減少移動滑尺時及讀數時之誤差。

啓用雙滑尺灌溉計算尺時應在灌溉或大雨之後，因此時土壤中有效水分達100%，故二滑尺均位於計算尺之頂點。經過若干日後(例如五日，三日或一週但中間需無降雨或灌溉)觀測累積蒸發量，將遊標之刻絲移至測得之累積蒸發量處，然後將滑尺A下移，使其刻度之頂端與游標之刻絲齊平，此時游標在有效水分刻度上之讀數，即為土壤中剩餘之有效水分，如無降雨發生則繼續如此隨蒸發量而將滑尺A下移，直至剩餘有效水分接近尺上記號即需要灌溉時為止。

若有降雨發生，則依降雨量將滑尺B下移，但滑尺B刻度之頂端永不得低於滑尺A刻度之頂端而至多與滑尺A刻度頂端相齊平，故滑尺B每次下降在距離即為有效雨量，累積之有效雨量則可從固定尺之右端讀出。

固定尺之長度，約為滑尺長度之四倍至五倍，每次灌溉前應將累積蒸發量，累積有效雨量記錄然後將兩滑尺恢復至頂端之位置。同時在降雨前或有降雨之跡象時，宜舉行觀測一次，並將滑尺移至其應在之位置。在土壤有效水分已減至漸近需要灌溉時，觀測宜稍動，以免貽誤灌溉之時機。

若干作物在生長過程中之不同時期有不同之 a 值，如玉米，此時蒸發量需有不同之刻度以適應不同之 a 值，同時此種情形下累積蒸發量之刻度須以累積作物用水量代之矣。第六圖即為此種情形下，所用之雙滑尺灌溉計算尺。

六、檢討與建議

檢討本法之優劣，可綜合如下列

(一)對於影響有效雨量之各種因素，本法列入考慮者計有田區之位置，土壤之有效水份，作物之根深，作物之種類，雨量之分配，及各種氣象因素，灌溉水量及灌溉時間等，其所考慮與計算之因素較其他方法為多，但降雨強度及地形之因素亦如其他之方法未能計入。(二)因所計入之因素較任何其他方法為多，故其精確性較高，結果較為可靠。

(三)可節省計算之手續。

(四)有自動給水及維持蒸發皿水面位置之蒸發量觀測裝置配合，由累積蒸發量可直接得出累積作物用水量，避免誤差之累積。

(五)利用灌溉計算尺，對土壤中有效水分之變化一目了然，故能把握灌溉之適當時機。

(六) a 值之變化較小，故可適用較廣之地區。

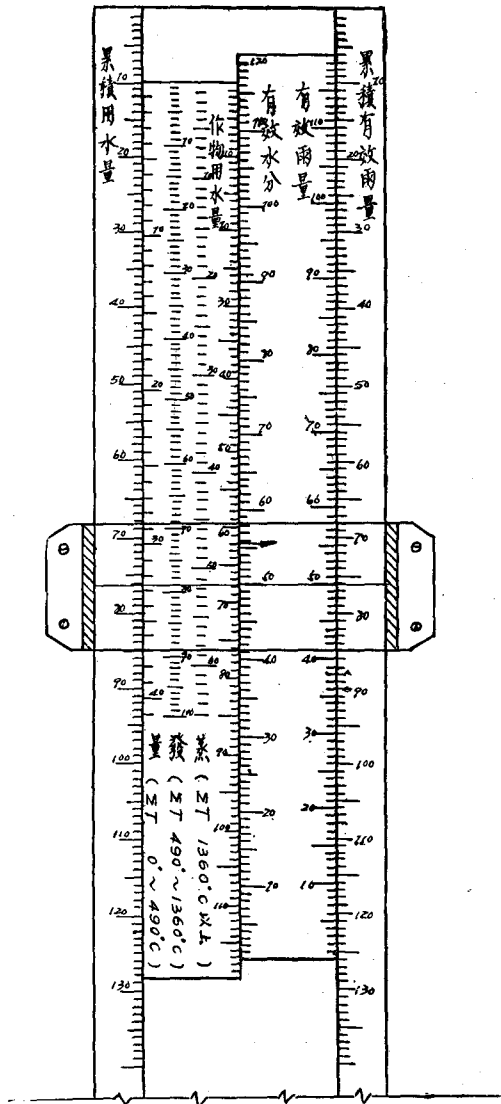


圖5. 雙滑尺灌溉計算尺(玉米, 學田實驗田)

最後建議三點：

(一) 降雨強度之因素應如何計入，降雨強度之變化甚鉅，既有隨降雨延時之變化又有不同地點之變化，且欲計算降雨強度對有效雨量之影響，顯然又牽涉到土壤滲率之變化，故如何解決此一問題，頗為棘手，特別是自記雨量記錄不足之情況下，更為困難。

(二) 各種作物之 a 值應作廣泛之研究，同時並對其地域性之變化加以研究。

(三) 地形及坡度對有效雨量之影響如作？如有適當之試驗資料，則此一問題較降雨強度問題似易於解決。

如有適當之人力物力則可就現有之氣象資料將本省分為北部、中部、南部或更小之區。就各種旱作以筆者建議方法計算有效雨量，加以統計，而繪成與圖 1，圖 2 類似之圖，則對於旱作灌溉有效雨量估計必可較以往精確，以此作為規劃與管理之基礎必可使灌溉水源之利用更為經濟有效，對本省之旱作灌溉之貢獻當非鮮淺矣。

七、後記

文中插圖承陳長秀小姐及王如意君繪製謹此致謝。

參考文獻

1. 張建助等 作物需水量與蒸，發量關係之研究農業工程學報叢刊第一號，民國五十四年十一月十二日。
2. 秦立德 有效雨量研究，農業工程學報叢刊第一號，民國五十五年十一月十二日。
3. 黃民德 潤濕地區之有效雨量，臺灣大學土木工程論文集第二集。
4. 薛觀瀛 田間有效雨量估計，臺灣水利第十卷第三期。
5. 劉如松 旱作作物灌溉，臺灣水利第十二卷第三期。
6. 張建助等 嘉南地區及臺大旱作灌溉試驗報告，民國五十三年六月。
7. 張建助等 嘉南學甲地區旱作灌溉研究試驗與示範報告，五十四年一月。
8. 張玉鑽 農田灌水深度與灌溉間隔之關係，農業工程學報叢刊第一號，民國五十四年十一月十二日。
9. D. M. Hershfield: Effective Rainfall and Irrigation Water Requirements, Proceeding ASCE, Vol. 90, No. IR2, June, 1964
10. V. C. Jamison and O. W. Beale: Irrigating Corn in Humid Regions. Farmer's Bulletin No. 2143, U.S.D.A.
11. A. L. King: Drainage A Vital Need in Irrigated in Irrigated Humid Areas, Proceeding ASCE, Vol. 126, IR3, 1961.
12. C.V. Dillewijn: Botany of Sugarcan