

電子計算機計算旱作灌溉之有效雨量 方法及後龍地區旱作灌溉有效雨量之探討

A Study on Calculation of Effective Rainfall in Upland Crop Irrigation by Using of Computer and the Effective Rainfall in Huolung Area

臺灣大學農工系副教授

曹 以 松

ABSTRACT

Effective rainfall is a very useful index for supplementary irrigation in subhumid and humid regions, since not all precipitation is effective in these regions, a close estimation of effective rain fall is essential either in planning a new irrigation project or in running an existing irrigation canal system or in choosing the night time to irrigate a given field. However the effective rainfall is very hard to estimate because too many factors are involved.

In this report, a new method is suggested, by use of electronic computer to conduct a kind of soil moisture budgeting method, a more accurate and more reliable estimate of effective rainfall can be obtained. The principle, procedure, and computer program of this method are explained in detail with the Houlung Area as an illustrated example. The results obtain by this method are then compared with the results obtained by the standard methods now are in use by P.W.C.B.

Conclusions are then drawn and discussed, recommendations are made for the further research

一、前 言

近年以來，世界上各開發地區常感到水源供應缺乏，用水之供求關係緊張等情形，新水源之開發，常屬緩不濟急，或者需費太高不合經濟之要求。前者如新水庫之建造，後者如海水之淡化，因此，現有有限水資源之加強利用，實為各方所矚目，亦為全世界水利界努力之方向。現有有限水資源之加強利用，可分為二方面言之，一為減少水資源之損失，如地面水與地下水之綜合運用，渠道加鋪內面工等，二為加強天然水資源之利用，如無水庫河川天然流量之利用及有

效雨量之提高等其中有效雨量在溼潤地區（如本省）之灌溉中極關重要。本文之目的即在提出筆者所創的一種用電子計算機以計算旱作灌溉有效雨量的方法，以後龍地區為例而加以說明，進而從作物種類，土壤情形分析其與有效雨量，有效雨量率及灌溉需水量之關係，以作為設計規劃及管理灌溉系統時之根據並將來設法提高有效雨量率時之參考。

二、有效雨量之定義及其重要性

有效雨量之定義，各家所持之說頗為紛紜，本文所採用者為目前最為普遍使用之一種定義，即凡天然

降雨之降於作物生長季節而能供作物之用水或因而可減少灌溉需水量者稱為有效雨量 (Effective Rainfall) 根據此一定義，微量之降雨即使微至 0.1mm 亦視同有效，因此種微量之降雨雖無法為作物所吸收以供生長之用，但仍有減少作物之蒸發散量，因而減少灌溉需水量之功，故仍視為有效，倘依較早之定義，雨量之能為作物吸收取用方為有效，則此種微量之降雨均視為無效。某一定時間內之有效雨量則稱為該時期之有效雨量如月有效雨量 (Monthly Effective Rainfall) 有效雨量與同時期總雨量之比，則稱為該時期之有效雨量率 (Rate of Effective Rainfall) ，如作物之需水量及總雨量為定值時，則有效雨量率高時，對天然降雨之利用程度較高，因而可減少灌溉水量。故提高有效雨量率可以節省灌溉水量。而提高有效雨量率首先應對有效雨量有一正確之估計。

本省位於亞熱帶，雨量極為豐沛，年平均雨量約為 2,400mm 左右，為全球多雨地區之一。但雨量雖多而其分配則極不均勻，大部分之降雨均集中於雨季及颱風時之暴雨，致即使是用水量較少之旱作，仍有賴於補充灌溉 (Supplementary Irrigation)，始能確保其豐收，更無論用水量較高之稻作矣，因此有效雨量之研究，在本省實極為重要也。

三、影響有效雨量及有效雨量率之因素

有效雨量之難於估算，殆因可影響有效雨量及有效雨量率之因素太多。茲就其主要者說明如下：

1. 作物

由於有效雨量之定義作物殆為決定有效雨量之主要因素，而作物之用水量 (Consumptive Use) 則又為決定作物對有效雨量之影響的主要因素，作物之用水量亦稱為作物之蒸發散量 (Evapotranspiration)。作物之用水量亦稱為作物之蒸發散量，作物之用水量或蒸發散量大者則有效雨量往往亦大；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及生長時期氣候狀態而定，此外作物之有效根深對有效雨量之影響亦大，有效根深長之作物則有效雨量及有效雨量率均大。

2. 土壤

土壤之有效水份密切地關係到有效雨量之大小，土壤之有效水分多者則有效雨量及有效雨量率均大，反之則小。土壤之保水能力雖亦影響有效雨量之利用，但保水能力大，之土壤如含粘土較多之土壤，其凋萎點往往亦高，故其有效水分不一定大，其次，土壤

之滲透率對有效雨量亦有重大之影響，滲透率高之土壤，降雨滲入土中而不易成為逕流流失，因而有效雨量多而有效雨量率高。唯如根區以下土壤之滲透率高則深部滲漏損失增加，則又可能得不償失矣。

3. 降雨及其他氣象因素

降雨對有效雨量之關係最為直接，有效雨量率不能超過100%，故有效雨量恒低於總雨量，總雨量稀少之地區，有效雨量率縱為極高，有效雨量為數亦不多，不足以供應作物生長所需之水分，必須大部或全部依賴灌溉之補給，有效雨量之重要性不大。在溼潤地區，總雨量遠超過作物之需水量，如降雨集中於少數之暴雨，則大部分之雨量均成為逕流而流失，有效雨量並不多。故雨量之分配宜均勻，均勻之雨量分配，可得較高之有效雨量及有效雨量率，倘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而成為有效矣。雨量之強度影響有效雨量亦鉅，如降雨強度大於土壤之滲透率時則不及滲入土壤之水量必成為逕流而流失。此外雨滴之大小，亦可影響雨水滲入土壤，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，囚閉土中空氣，因而引致表面封閉現象 (Surface Sealing)，此時雖表面以下之土壤甚為乾燥，土壤原來之滲透率亦高，雨水亦無法進入土中矣。至於其他之各種氣象因素如日照，風速，溫度，蒸發量等因素主要在影響作物之需水量，而間接影響有效雨量。

4. 灌溉

溼潤地區之灌溉乃在補充有效雨量之不足，但因降雨之時間及分配難於預知，灌溉往往使有效雨量減少。以灌溉方法而言，則對灌溉水量(一次灌溉水深)及灌溉間距較有彈性者，有效雨量及有效雨量率較高，例如噴洒灌溉對天然之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，深井為水源者，其有效雨量之利用率可較來自渠道者為高，以每次灌溉之間距而言，則間距小而灌溉頻者之有效雨量率往往較高，但須視降雨之性質而定。以灌溉管理而言則管理得法，灌溉適時適量之田區往往可有較高之有效雨量利用率。

5. 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，故其有效雨量及有效雨量率定較坡度平坦之田區為小，同理，田間坡度之長度愈長，則其田中逕流愈速而滲入土中之水量愈少，有效

雨量隨之而小。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，因而可使滲入土中之水量增加提高對雨量之利用率，在水田中，因有田埂之存在有積蓄雨量之作用，因而可提高有效雨量，在水田種旱作時其情形亦然。

6. 栽培制度與耕作方法

選用不同作物以配合某地區之天然降雨可提高有效有效雨量率，例如在乾旱季節可選用需水量較少之作物，而在多雨季節則可採用需水量較多之作物，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。在耕作方法中如墾田，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。

7. 其他

其他如地下水位之高低，毛細管作用之旺盛與否，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。

四、有效雨量之估算方法之種類

影響有效雨量之因素之繁多，已如上述。因此欲正確地估算有效雨量，實為一非常困難的事情，而欲把所有上述各種影響有效雨量的因素，全部加以考慮，包含在一種方法之內，殆為全無可能之事。因此，在過去世界上研究此一問題的學者曾提出很多種估算雨量的方法，如 Walter 氏法，美國水土保持局法，經濟部水資源委員會估算法及逐日記賬法 (Budgeting Method) 等，此種方法均有甚多缺點而不能符合理想，筆者在「旱作灌溉之有效雨量」一文中曾有詳細之敘述與檢討。但欲以一種方法兼顧各種因素而十分精確地估算出有效雨量，固屬不可能之事，惟如欲對過去各種方法加以改進，同時將各種對有效雨量影響較大之因素包含在內則尚非太難，筆者有鑑於此曾於「旱作灌溉之有效雨量」一文中提出一種改良的逐日記賬法以估算作物之有效雨量，並設計二種計算尺以簡化有效雨量之計算，並隨時指示出土壤中之水分，此一方法請參閱農業工程學報第十二卷第一期，茲不多贅。

五、建議之計算方法

過去估算有效雨量方法之缺點甚多，同時均未能將影響有效雨量之各主要因素，包括在內，故準確性亦差，筆者在「旱作灌溉有效雨量」一文所提出之方

法，因本省大部份作物之蒸發量與蒸發散量之係數未能確定，有關此方面之資料又常相互抵觸，且此一方法如在田區使用較為合宜，規劃大區域之有效雨量時使用此一方法仍有相當困難，筆者有鑑於此，特再加以改進，使用電子計算機對一較大區域。根據氣象資料作有系統之統計計算，作成圖表。由此該區域內之有效雨量，不論田區之大小，祇須知道作物之種類，種植之時間，田區之土壤，即可按圖索驥，一查即得極為簡易方便。茲將該一方法之要點，敘述於下：

(1) 作物用水量之決定

在用逐日記賬法計算有效雨量時，必須對作物之需水量有一精確之估計。Hershfield 氏以每月之平均用水量估計作物之用水量，其結果顯然謬誤甚大，Jamison 及 Beale 二氏，根據緯度，月份及當日之陰晴以估計作物每日之用水量，雖較前者進步，但一則該法陰晴之情形祇列三種，二則影響作物用水量之其他重要因素諸如風速，濕度，蒸汽壓，作物生長階段等均未能考慮入內，故其估計之結果仍不够準確。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，且相當精確。在各種氣象因素中，尤以蒸發量與蒸發量息息相關最為密切，表一為美國 Briggs 與 Shantz 二氏及日本 Kato 氏等對各種氣象因素與作物用水量相關程度研究之結果：

表一、各氣象因素與作物用水量之相關係數 (Correlation Coefficient)

氣象因素	相關係數	
	日本 Kato 氏等	Briggs 與 Shantz
日照	0.86	0.89
淨輻射量	0.89	—
溫度	0.83	0.86
濕度	—	0.84
蒸汽飽和差	0.59	—
風速	—	0.35
蒸發量	0.94	0.93

由上表可見蒸發量與作物用水量之關係，遠較其他氣象因素與作物用水量之關係為密切，其相關係數達 0.94 之鉅，其餘各因素中最大者祇 0.89 而已。事實上，當土壤水分在永久凋萎點以上時，影響蒸發與作物用水量之各項因素幾完全相同。同時，測定蒸發量甚為簡單，祇須蒸發皿一具而已，蒸發皿之價格甚廉

，設置亦易，且各處往往有現存之長期蒸發皿蒸發量之記錄可以利用。

蒸發量如無紀錄可供利用時則可以下列二式計算之

(1)英制 $E_p = 0.38d (1.0 - H_n) (T - 32) \dots\dots\dots(1)$

中 $E_p = A$ 級蒸發皿蒸發量以英吋計
 $d =$ 晝長係數，即月平均晝長與十二小時之比

$H_n =$ 平均月中午相對濕度

$T =$ 平均月溫度 (F°)

(2)公制 $E_p = 17.4dT (1.0 - H_n) \dots\dots\dots(2)$

中 E_p 為 A 級蒸發皿蒸發量以公釐計， T 為月平均溫度以 C° 計餘同前

(2)式如求其更精確可寫成下式

$E_p = 17.4dT F_H F_W F_S F_E \dots\dots\dots(3)$

中 F_H 為相對濕度之函數即

$F_H = 0.59 - 0.55 H_n^2 \dots\dots\dots(3a)$

F_W 為風速之函數，如 W_{kd} 為離地地面二公尺高度之平均風速以每日公里數計則

$F_W = 0.75 + 0.0255 \sqrt{W_{kd}} \dots\dots\dots(3b)$

F_S 為日照百分比則

$F_S = 0.478 + 0.585 \dots\dots\dots(3c)$

F_E 為標高之函數，如 E 為海拔高度以公尺計則

$F_E = 0.950 + 0.0001 E \dots\dots\dots(3d)$

由 (1) 式 (2) 式或 (3) 式所計算得之蒸發量，與實測之結果常有相當之差異，且其計算頗為繁複，計算所需之資料往往難於獲得，故不如用實測蒸發量為便。同時，由於相隣地區，蒸發量之差異極小，故不得已時，可採用相隣地區之蒸發量記錄，其結果可能仍較

計算所得為佳也。

作物用水量與蒸發量之比通常以 k 或 a 代表之，根據張建勛先生等在臺南學甲試驗區之研究作物用水量與蒸發量之間有近乎直線之關係即

$\Delta C = a \Delta E$

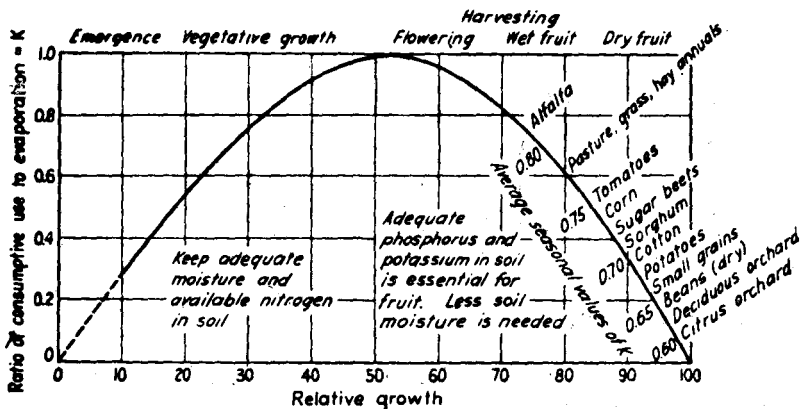
作物在不同之生長時期可能有不同的 a 值，如水稻及玉米可分為早期，中期及晚期，每期作物用水量與蒸發量之關係仍為直線，唯各期有不同之 a 值，即各段直線之坡度不一致，各線聯接後成為折線耳，茲摘錄臺南學甲試驗區之各種作物之 a 值如下：

表 二

作物	a 值	累積溫度 (C°)
落花生	0.5644	0~1,600
綠豆	0.2254	0~1,350
	0.5942	1,350以上
玉米	0.4519	0~490
	1.1954	490~1,360
	0.7434	1,360以上
秋作甘藷	0.5479	

美國猶他州立大學之漢生氏。綜合各種作物之用水量與蒸發之關係量，而得出一條適合所有作物的無因次的曲線，(圖一) 該圖之橫坐標為作物生長之時期，縱坐標則為作物用水量與蒸發量之比，此一曲線可用於任何作物，故甚為方便，但其缺點則為各種作物用水量變化之情形頗有參差，故由此曲線求得之作物用水量與蒸發量之比，與實際情形之差異頗大。

哈合河氏 (Hargreaves) 亦將作物生長時期分為百分之一百，然後研究各種作物之作物用水量與蒸發皿蒸發量之比。



圖一 漢生氏之作物用水量發蒸與量關係曲線

表三 作物用水量與 A 級蒸發皿蒸發量係數之變化

作物	生 長 時 期 (百 分 比)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
苜 蓿	0.55	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95	0.95	0.95	0.90	0.80	0.65
豆 類	0.20	0.30	0.40	0.65	0.85	0.90	0.90	0.80	0.60	0.35	0.20
常綠果樹及酪樹	0.5	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.55	0.60	0.55	0.50
玉 米	0.20	0.30	0.50	0.65	0.80	0.90	0.90	0.85	0.75	0.60	0.50
棉 花	0.10	0.20	0.40	0.55	0.75	0.90	0.90	0.85	0.75	0.55	0.35
落 葉 果 樹	0.20	0.30	0.50	0.65	0.70	0.75	0.70	0.60	0.50	0.40	0.20
果樹(有覆蓋作物)	在覆蓋作物及酪梨 1.00										
高 粱	0.20	0.35	0.55	0.75	0.85	0.90	0.85	0.70	0.60	0.35	0.15
穀 類(春作)	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75	0.85	0.90	0.90	0.30
穀 類(冬作)	0.15	0.25	0.35	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.90	0.30
葡 萄	0.15	0.15	0.20	0.35	0.45	0.55	0.55	0.45	0.35	0.25	0.20
胡 桃	0.30	0.35	0.55	0.70	0.75	0.75	0.75	0.65	0.55	0.30	0.15
馬 鈴 薯	0.20	0.35	0.45	0.65	0.80	0.90	0.95	0.95	0.95	0.90	0.90
花 生	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.60	0.65	0.65	0.60	0.45	0.30
稻 米	0.80	0.95	1.05	1.10	1.20	1.30	1.30	1.20	1.10	0.90	0.50
甜 菜	0.25	0.45	0.60	0.70	0.80	0.85	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
甘 蔗	從 0.55 至 1.0 視生長率及生長時期而定										
蔬 菜(深根)	0.20	0.20	0.25	0.35	0.50	0.65	0.70	0.60	0.45	0.35	0.20
蔬 菜(淺根)	0.10	0.20	0.40	0.50	0.60	0.60	0.60	0.55	0.45	0.35	0.30

即 K 值(或 a 值)在生長過程中之變化,而得表三之結果。表三之結果與由圖一所得者頗有差異,其中以表三之結果較為準確,在理論上, K 值不受地域性之限制,因此哈合河氏實驗所得之 K 值,在臺灣各地亦應適用,故在本省缺乏完整之資料以建立一相當於表三之表以前,似可逕採用表三之各值。至於本省現有之資料,因大部係得自田間試驗,而本省大部分地區地下水均高,因此此種實驗田間作物之作物用水量,有相當可觀之數量得自地下水毛細作用之補充,故測得之作物用水量常較實際為小。由於地下水水位各處不同,季節性之變化亦大,各種土壤毛細管作用之旺盛又相差甚鉅,故作物由地下水所供給之水量既隨時隨處而變化又難於測定,因此除少數不受地下水影響之田區外大部田間實驗所得之作物用水量,祇可用於該地區而不能隨意引用。

盆栽試驗之結果,亦不宜使用,因其生長環境與田間之情形截然不同也。

如 K 值已定則某日作物之用水量可以 K 值乘

以該日之蒸發量即可得出。

(2)一次最大灌溉水深之決定

降雨量及作物需水量二者決定以後,殆已將影響有效雨量之作物及氣象二大因素全部全部考慮在內,其次最重要之因素為土壤因素,影響有效雨量之諸土壤因素有土壤之粒構,構造,有效水份,假比重,保水力,滲透性等,正因為可影響有效雨量之土壤因素太多,筆者乃提綱挈領採取一次灌溉最大水深作為土壤因素之指標,一次灌溉最大水深可以下式表示之:

$$B_{max} = P_{ac} \times A_s \times D \times x$$

中 B_{max} = 一次灌溉最大水深 m mm 計

x = 一次灌溉水深與根區有效水分之比

P_{ac} = 土壤有效水分,以重量百分比示之

A_s = 土壤假比重

D = 作物根區有效深度, m mm 計

B_{max} 為通常每次灌溉之深度,但在若干情形下,灌溉水深可小於此值。如本文因用電子計算機根據

以往之降雨量記錄及蒸發量記錄推算，故在土壤中水分不足以應付次日之消耗時，先加灌溉，故每次灌溉之水深常不相等而其值恒小於 B_{max} 如於土壤中即可取用有效水分 **Readily Available Moisture** 為零時，即加灌溉，則每次灌溉水深均等於 B_{max} 如 B 為土壤中剩餘即可取用有效水分，則 B_{max} 為土壤中剩餘即可取用有效水分之最大值。同一土壤 B_{max} 之值須視 x 之大小而定。一般約自 $\frac{1}{4}$ 至 $\frac{1}{2}$ 在本研究中採用 $X = \frac{1}{2}$ 。因此

$$B_{max} = \frac{1}{2} P_{ac} \times A_s \times D$$

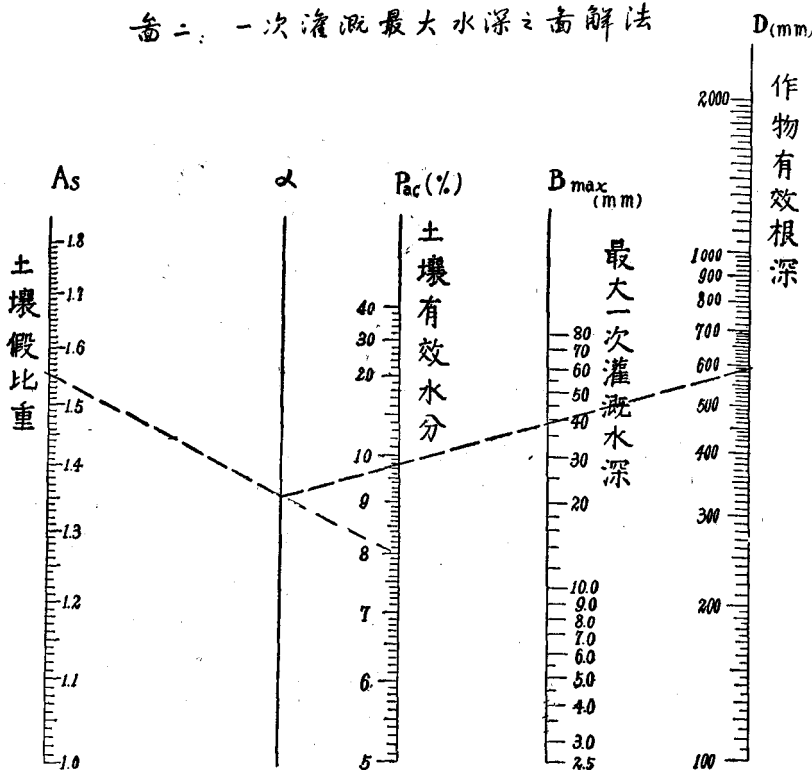
其中 P_{ac} 為田間含水量與永久凋萎點二者之差，與假

比重均視土壤之性質而定。作物之根深則視作物之種類，生長之時期，生長之環境而定。如前二者已知，後者可採用平均值則 B_{max} 之值即可自圖二中求得：

例一、某試驗田之土壤為粉質壤土，有效水分為 8%，假比重為 1.55，作物根區深度為 60 公分， $X = \frac{1}{2}$ ，則 B_{max} 為若干？

聯結 P_{ac} 線上 $P_{ac}=8$ 之點與 A_s 線上 $A_s=1.55$ 之點交 α 線於 M ，再聯結 M 點與 D 線上 $D=60$ 公分之點交 B_{max} 線於 N ， N 處 $B_{max}=37.2mm$ 即為所求之值。

圖二：一次灌溉最大水深之图解法



(3)有效雨量之計算

作物用水量及一次灌溉最大水深一經決定，即可開始以逐日記賬法計算有效雨量。在開始逐日記賬以進踪土壤中水分之變化時，通常土壤中之水分為已知或假設為已知，其中尤以採取後者為多，一般均假設開始計算時土壤水分為飽和，即其所含之水分等於該土壤之田間含水量，採取此種假設時，開始計算之日期，往往選擇在雨季時，最好在大雨之後，以減少假設與實際情形之差異而減低誤差。惟倘作長時間之計算，則此項因假設與實際情況之差異而引起之誤差，隨

時間而減少，最後乃成為微不足道而可加以忽略也。

計算之方法為：

(一)確定土壤中之剩餘立可取用之有效水分 (**Balance of Readily Available Moisture**) 由實測，假定，或上期結存得來。

(二)根據蒸發量計錄，將每日之蒸發量乘以作物之蒸發散量一蒸發量比值而得作物該日之用水量。

(三)由前一日之剩餘立可取用有效水分減去作物該日之用水量而得該日之剩餘立可取用有效水分。

(四)如該日發生降雨，則如前一日之剩餘立可取用

有效水分。減去該日作物用水量，再加上該日之降雨量其結果不超過一次灌溉最大水深，則此結果即為該日之剩餘立可取用有效水分，而該日之降雨量全部視作有效雨量。

因如該日發生降雨，而前一之剩餘立可取用有效水分減去該日作物用水量再加上該日之降雨量所得之結果超過一次灌溉最大水深時，則該日之剩餘立可取用有效水分即等於其最大值亦即等於一次灌溉最大水深。

因在(因)之情形下，前一日之剩餘立可取用有效水分，減去該日作物用水量，加上該日降雨量之結果與一次灌溉最大水深之差為無效雨量亦即降雨成為逕流及深部滲漏之部分，該日之降雨量減去無效雨量即為該日之有效雨量。

(七)久不降雨在土壤中剩餘立可取用有效水分遞減

至零或接近於零時應即加以灌溉，前者為一般常用之方法，後者則在實際灌溉時較為方便，在本研究中因使用者為以往之降雨量及蒸發量，故對次日是否阻雨業已先知，故在次日無降雨而土壤中剩餘立可取用有效水分已不足供給次日作物用水量之消耗時即先行灌溉，故每次灌溉水深往往小於一次灌溉最大水深亦即 B_{max} 。如採用前一種方法時，則每當土壤中剩餘立可取用有效水分消耗淨盡之後即加水灌溉。故每次灌溉水深均等於 B_{max} 。亦即一次灌溉最大水深也。

表四為採用 $a=0.50$ $B_{max}=40$ 之一個計算例，因九月份雨水較多，有效雨量較大，故整月均無須灌溉如採取降雨較少之月份，則情形不同，即須灌溉以供作物生長之用，否則土壤中剩餘立可取用有效水分必降至零以下矣。

表四 有效雨量之計算算例

年 月	日 期	降雨量 (mm)	蒸發量 (mm)	a 值	作物用水量 (mm)	剩餘灌溉水量 (mm)	有效雨量 (mm)	灌溉水量 (mm)	備 註
53. 9	1		5.0	0.5	2.50	40.00			上月結存
	2	1.5	4.3		2.15	36.85	1.50		
	3		5.2		2.60	34.25			
	4		4.9		2.45	31.80			
	5		5.3		2.65	29.15			
	6		4.1		2.05	27.10			
	7		4.3		2.15	24.95			
	8		4.9		2.45	22.50			
	9		5.4		2.70	19.80			
	10	27.8	5.1		2.55	40.00	22.75		
	11		4.1		2.05	37.95			
	12		5.0		2.50	35.45			
	13		3.8		1.90	33.55			
	14		4.3		2.15	31.40			
	15		2.4		1.20	30.20			
	16	1.4	3.6		1.80	29.80	1.40		
	17	0.5	0.6		0.30	30.00	0.50		
	18		3.5		1.75	28.25			
	19	10.2	3.2		1.60	36.85	10.2		
	20		5.3		2.65	34.20			
	21		4.9		2.45	31.75			
	22	4.7	4.3		2.15	34.30	4.70		
	23		3.5		1.75	32.55			
	24		5.6		2.80	29.75			
	25		5.1		2.55	27.20			
	26		4.2		2.10	25.10			

	27		5,6		2,80	22,30		
	28		6,4		3,20	19,10		
	29		2,1		1,05	18,05		
	30		4,0		2,00	16,05		
總計		46.10	130.00		65.00		41.05	

驗算 $40 - 16.05 + 41.05 + 0 = 65.00$

(4) 灌溉需水量之計算

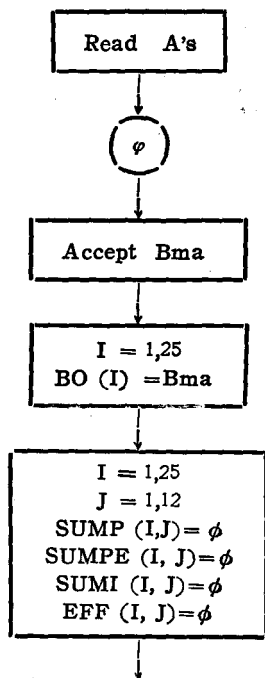
在計算有效雨量時同時亦得到每月需灌溉之次數及灌溉之水量，方可維持土壤中水分永遠在最適合作物生長之範圍之內。此時灌溉所需之水量即稱為該月該作物在該土壤中之灌溉需水量，換言之，灌溉需水量須視作物之種類，生長時期，根深，土壤種類，及有效雨量而定也，在表四中灌溉需水量為零，因該月之有效雨量已足以維持作物良好之生長也。值得注意者為此時所稱之灌溉需水量，為淨灌溉需水量 (Net Irrigation Requirement)，即指灌溉水達到田間供作物利用之水量而言。引達田間之水量必須大於此數，因尚須將灌溉效率考慮在內也。

(5) 有效雨量率之計算

有效雨量與同時期總雨量之比稱為該時之有效雨量率，故如以(3)所得之月有效雨量，除以該月之總雨量則得該月之有效雨量率。

六、電子計算機程序計劃

上節之以逐日記賬法計算有效雨量之算例看來似極簡單，但事實上作物之 a 值 (或 K 值) 既隨作物種類及該作物生長之時期而不同，一次灌溉最大水深則又隨作物根區有效深度，土壤假比重及土壤有效水分百分比而定故其變化亦極繁複，在本研究中，作者採用 a 值計二十五種， B_{max} 即一次灌溉最大水深之值則採二十七種，二者相乘共得 675 種變化，每種以四年記錄來說即需如前述計算例之表四十八張，故共須如計算例之表三萬二千四百張，實非人力計算所能完成，故採用電子計算機加以計算，即使採用電子計算機，在臺大電腦中心之 IBM 1620 電子計算機亦費去一百小時始能完成，原因在每月之剩餘水分不同，故每一種變化切需由開始至終了，遵循時間順序加以計算也，茲將電子計算機之程序計劃列述如下：



BO: initial value of B for each month. there are 25 cases of A.

Iⁱ initialization statements.

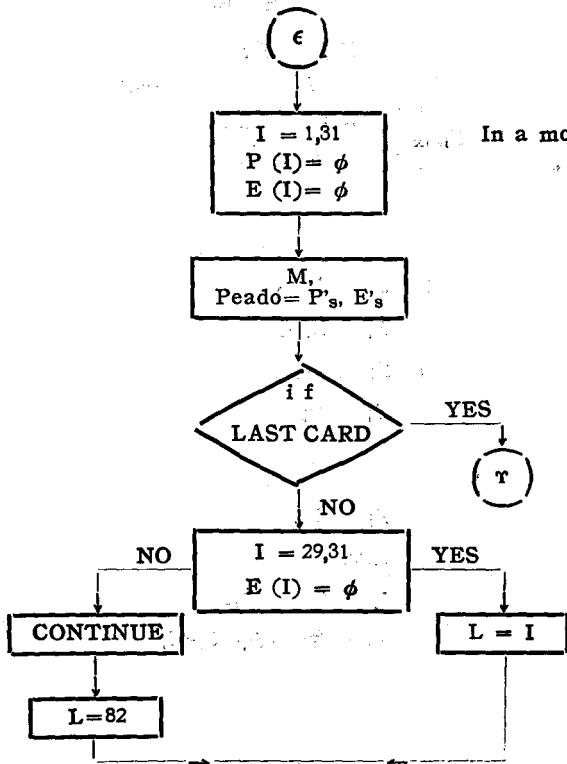
SUMP: $\sum P_i$

SUMPE: $\sum P_{ei}$

SUMI: $\sum I_i$

EFF: $\frac{\sum P_{ei}}{\sum P_e}$

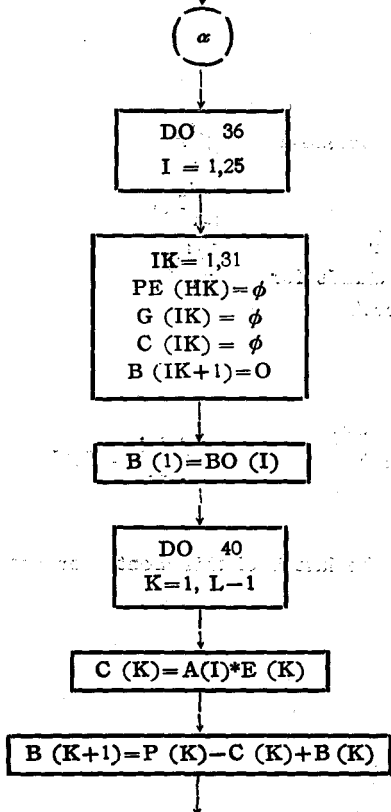
Each A calls for 12 months.



In a month there is a maximum of 31 days.

M represents the month

Check the number of days in the month. We reserve the value of L as the Last element of B's, and use it as the initial value B (1) of the next month. Here B (1) is B₀ and B (K+1) is B_k Thus B_i would be B (i+1)



Treat each case of a's

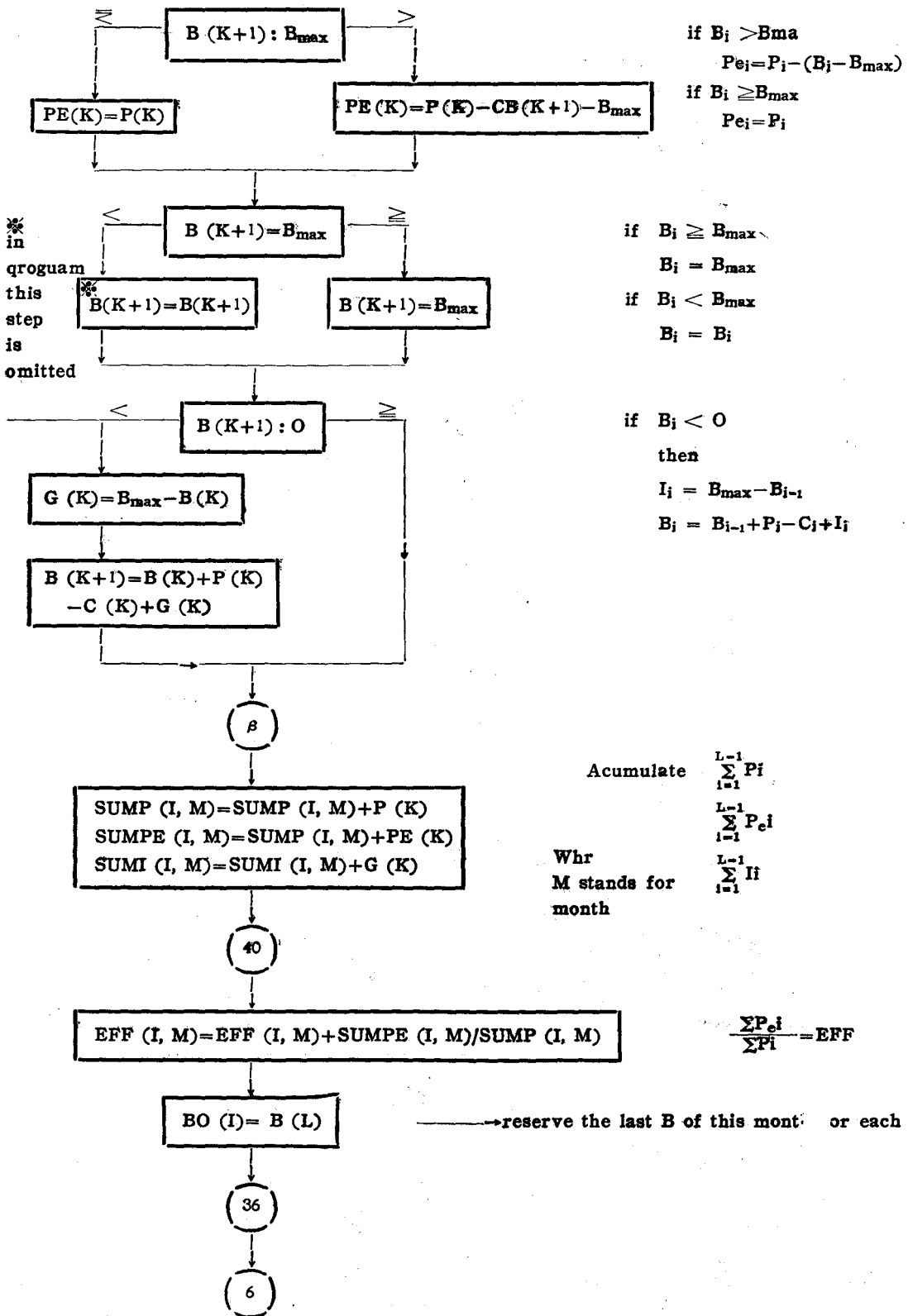
At the beginning of treating each a, all these items should be cleared, otherwise the values of them obtained in Last Will be accumulated to this one. (Where G stands for I)

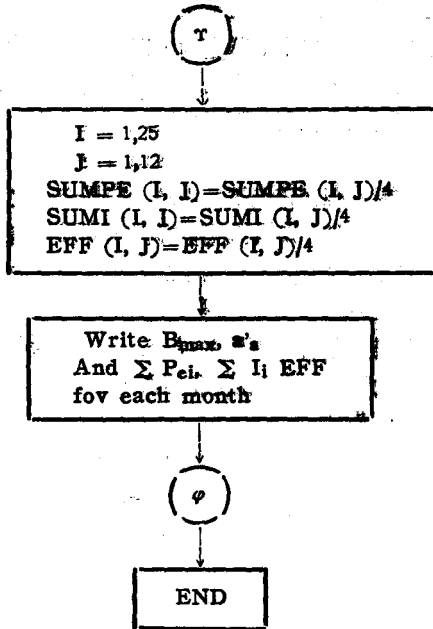
Give the initial B₀ at the beginning of a month according to the corresponding a.

Proceeding every day data.

$$C_i = a E_i$$

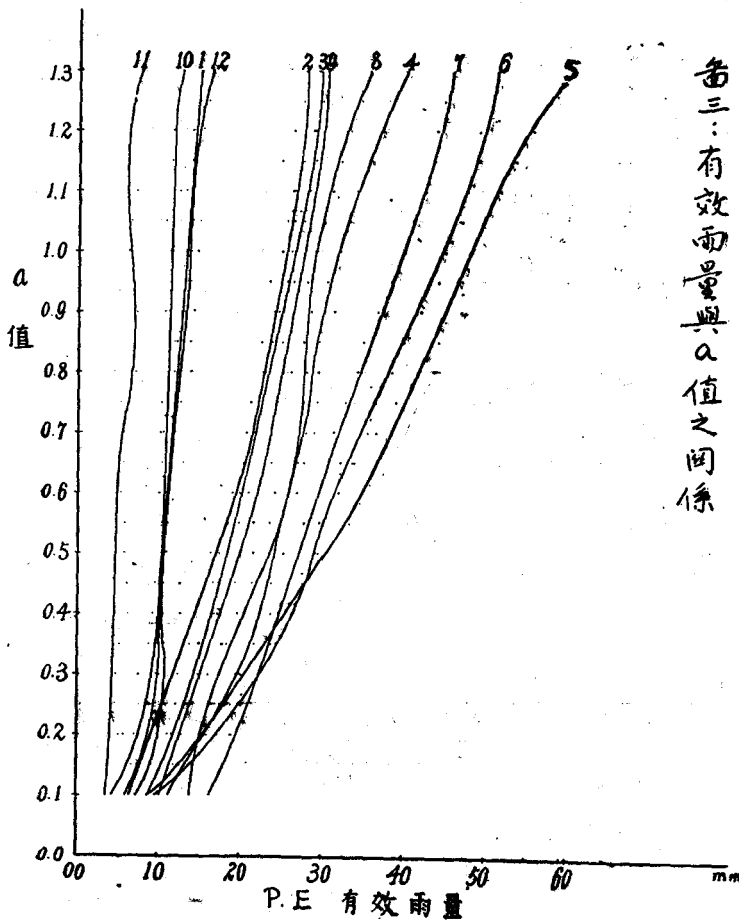
$$B_i = P_i - C_i + B_{i-1}$$





25 cases of a, each case with 12 months.
There are data of 4 years, so divided
by 4.

$B_{max} = 8mm.$



图三：有效雨量与a值之關係

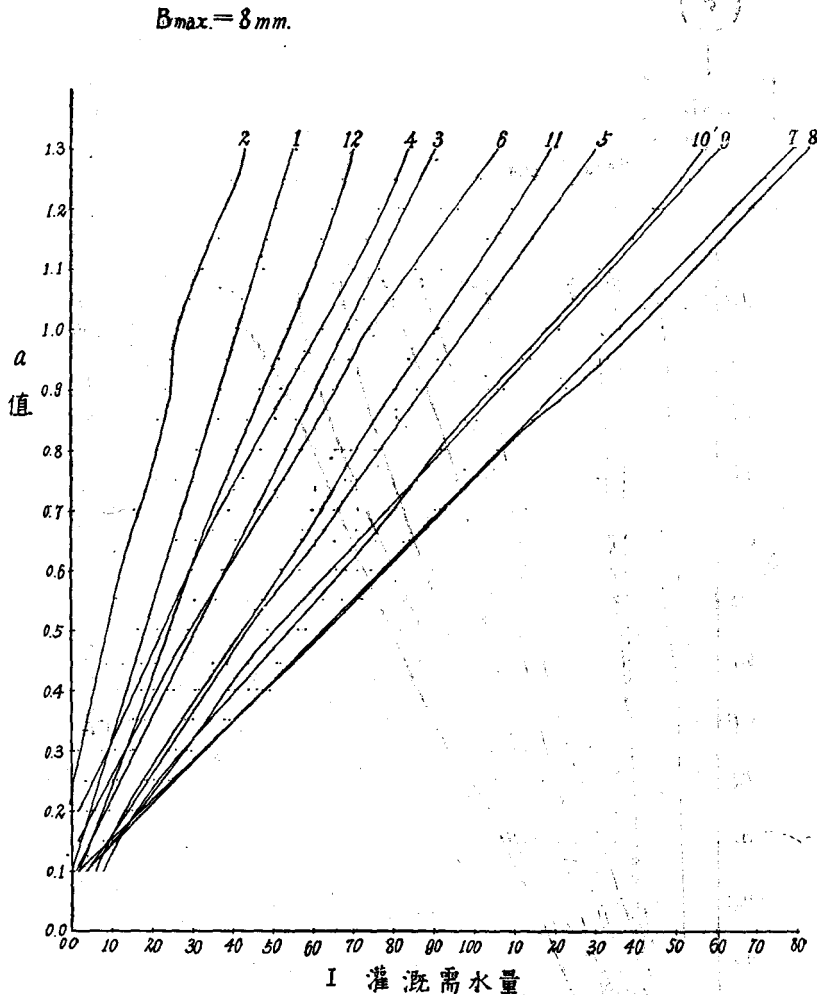
七、電子計算機計算之結果

經電子計算機計算後，所得之結果經整理後，歸納為如附錄之三十六表，其中附表一至附表十二分別為後龍地區自一月份至十二月份之有效雨量，附表十三至附表二十四分別為後龍地區自一月份至十二月份之灌溉需水量（淨灌溉需水量）附表二十五至附表三十六分別為後龍地區自一月份至十二月份之有效雨量率，因各表之篇幅太多無法遍列姑舉表五及表六分別作為例。

各表均列有二十五種 a 值及二十七種 B_{max} 值，共有六百七十五種變化，一查即得甚為方便，若所

需之 a 值不在表列之二十五種以內，或所需之 B_{max} 值不在表列之二十七種之內，則可以逐差法推算得之，亦甚方便，因表列之點數已可謂頗多，故二相隣之間可認為係直線變化而不致引起誤差也。

上述各表亦可以曲線或線陣圖表示之，使用時當更為方便，但各線既不甚規則，縱橫相交之處頗多，繪製既極困難，所費人工亦極多，非目前情形所能容許，祇能俟之異日，現姑舉二例以說明，曲線變化之情形；圖三為當 B_{max} 為 8mm 時，各種 a 值之有效雨量變化情形，圖四則為 B_{max} 為 8mm 時，各種 a 值之灌溉需水量變化情形。



圖四：灌溉需水量與 a 值之關係

表五 後龍地區一月份有效雨量表

單位：公厘

Bmax a	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
0.10	4.32	5.30	4.32	6.82	6.31	5.82	5.30	4.80	4.29	10.26	10.76	10.76	10.76	10.76	10.76	10.76	10.76	10.76	10.76	10.76	10.76	10.76	9.53	10.76	9.53	10.76	10.76
0.15	7.61	8.13	6.62	8.54	7.61	6.43	10.56	9.93	9.43	8.94	8.54	7.92	7.46	6.93	6.43	15.40	15.40	20.29	20.29	20.29	20.29	20.29	16.96	20.29	16.96	20.29	20.29
0.20	7.03	8.06	8.62	10.01	8.46	11.40	10.49	9.41	8.30	13.73	13.24	14.75	13.52	12.77	11.65	10.84	10.34	9.78	9.26	8.76	8.22	7.78	25.54	20.22	25.54	29.49	29.49
0.25	8.71	8.52	10.31	11.31	9.48	11.65	10.16	13.88	12.76	12.98	10.79	9.86	9.07	16.38	15.77	19.68	18.88	17.59	16.86	15.80	14.59	13.70	10.70	11.69	9.65	10.31	9.79
0.30	7.78	11.23	9.70	12.80	10.22	12.02	10.57	13.44	12.69	10.69	15.96	14.99	16.94	14.66	12.57	10.91	9.96	19.47	18.73	18.40	24.29	23.73	18.19	21.67	16.10	19.42	18.80
0.35	9.67	11.15	11.71	10.87	13.51	13.10	14.91	11.61	12.28	13.93	16.91	14.21	11.36	18.45	17.01	20.40	18.69	16.34	14.52	12.53	11.15	22.45	26.92	21.31	25.23	29.70	28.25
0.40	7.41	10.29	11.74	12.66	12.52	13.06	11.44	13.99	16.65	14.31	13.26	18.44	16.12	17.73	14.68	12.34	20.42	19.43	24.60	22.74	20.43	18.38	22.48	14.59	19.69	25.59	25.00
0.45	10.50	10.04	11.14	13.69	12.37	15.89	15.22	15.00	16.87	16.61	18.49	20.09	15.13	20.55	18.85	22.14	19.10	15.93	13.08	22.82	22.40	28.34	20.42	24.34	17.54	20.54	18.29
0.50	9.93	9.12	13.42	14.52	14.77	13.23	13.23	14.20	16.03	14.09	16.20	16.17	20.91	21.22	18.10	13.60	21.90	26.19	22.96	19.37	17.79	15.02	29.21	24.37	25.37	29.40	28.48
0.55	10.68	12.36	10.70	13.05	15.51	18.16	15.26	14.53	19.07	17.61	17.86	20.09	21.22	17.22	22.01	26.35	19.45	17.06	24.09	29.45	27.93	25.14	25.16	18.32	20.18	27.74	27.47
0.60	10.84	13.12	10.71	12.32	14.28	16.57	20.17	16.36	18.57	22.27	15.76	20.58	17.09	21.33	20.22	16.50	23.60	27.23	25.06	18.82	26.36	25.35	23.44	28.31	27.85	21.97	20.20
0.65	9.35	12.57	13.60	13.20	14.88	16.10	18.60	21.20	17.91	20.48	25.94	18.63	26.92	21.88	24.17	27.42	21.28	17.41	15.52	28.04	27.33	23.54	20.43	28.17	27.72	30.11	29.10
0.70	10.03	13.48	14.88	13.22	12.89	17.60	19.18	20.94	18.74	18.37	22.39	17.65	25.67	24.54	28.33	19.47	21.86	26.89	22.41	18.75	17.04	30.41	28.06	24.02	22.52	17.26	34.10
0.75	12.60	9.54	13.46	14.86	15.27	18.35	19.88	19.38	21.18	20.01	19.84	24.65	19.21	27.14	20.97	29.01	26.53	19.68	30.68	28.13	24.33	19.46	16.78	31.84	31.05	27.11	24.40
0.80	13.84	11.13	15.06	16.56	15.54	14.52	19.42	20.04	15.49	24.22	21.50	21.32	26.75	20.76	27.69	25.48	22.91	30.17	25.00	20.13	31.47	28.37	25.15	20.19	30.04	32.71	30.93
0.85	11.42	12.68	13.59	14.98	16.59	16.33	16.62	18.78	18.13	16.13	24.73	18.80	22.50	27.24	24.94	17.28	21.60	22.37	31.23	27.60	23.47	22.04	32.56	27.60	26.36	22.34	22.04
0.90	12.65	12.72	11.16	15.22	16.47	15.66	14.74	21.59	20.60	19.07	24.79	21.59	19.17	22.72	24.22	27.42	21.49	28.12	25.23	18.97	30.46	29.18	26.09	21.93	32.16	30.46	25.77
0.95	13.40	15.48	12.57	17.55	17.10	18.55	15.10	16.32	20.99	23.56	23.64	24.81	19.91	20.35	23.18	25.61	29.84	25.23	31.10	26.87	23.43	21.60	30.05	26.87	25.99	34.10	34.10
1.00	13.50	16.02	15.65	18.70	17.52	21.05	17.13	13.52	19.92	21.22	18.75	21.85	25.15	22.10	20.50	24.72	26.30	31.22	28.28	23.15	26.82	25.92	23.47	31.75	28.98	23.68	19.72
1.05	14.82	13.38	14.82	13.46	16.71	21.66	18.79	15.64	16.24	17.51	25.60	26.07	19.55	20.95	22.58	21.04	27.66	29.30	28.29	29.21	23.76	31.34	25.85	21.87	22.29	31.84	29.18
1.10	12.60	15.92	15.18	14.96	16.51	21.36	21.66	18.83	15.77	17.24	19.20	21.90	26.72	26.49	30.17	26.03	20.53	25.04	30.10	25.70	29.71	24.87	22.92	31.06	28.27	20.84	34.05
1.15	13.82	15.66	18.23	17.26	13.08	18.28	23.62	20.69	17.97	20.34	16.96	22.39	20.69	22.91	24.49	30.16	24.11	21.13	25.30	30.90	26.71	32.04	29.38	23.79	30.39	29.85	22.41
1.20	13.92	16.20	19.88	16.19	15.20	17.07	17.66	21.64	14.96	17.75	20.74	21.12	28.02	27.48	18.59	21.58	31.15	23.21	21.73	26.46	23.67	27.93	30.82	28.62	26.27	34.10	30.69
1.25	14.36	16.08	17.65	16.39	17.17	19.43	17.00	24.73	22.17	19.25	22.53	20.23	20.41	21.20	29.34	22.40	25.23	31.71	23.70	20.78	25.76	24.13	30.78	34.10	30.51	24.70	24.21
1.30	14.82	17.56	17.61	18.78	15.40	14.67	18.17	19.76	21.64	17.92	24.21	22.31	22.10	25.51	20.90	26.44	23.29	21.32	30.54	26.95	31.14	22.32	25.92	30.09	22.34	32.91	23.33

表六 後龍地區一月份灌溉需水量表

單位：公厘

Bmax a	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	
0.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.15	1.97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.20	3.84	2.38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	3.73	4.80	2.97	3.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.30	7.47	4.62	5.76	3.42	3.95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.35	7.61	7.07	5.91	6.72	3.99	4.16	4.81	5.25	0	6.48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.40	11.52	9.53	5.78	6.67	7.54	8.60	9.42	5.56	0	0	0	0	7.62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.45	12.85	11.83	11.24	6.71	7.58	8.48	9.56	5.35	5.92	0	0	0	0	0	0	9.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.63
0.50	16.47	14.31	11.42	9.81	7.46	8.81	9.58	10.45	11.48	12.38	13.80	0	0	8.46	0	0	0	0	10.95	11.41	0	0	0	0	0	13.96	0	0
0.55	19.78	15.98	17.02	13.13	11.11	8.47	9.77	10.63	11.86	12.73	13.00	14.49	7.78	0	0	9.09	9.89	0	0	0	11.89	12.38	0	0	0	0	0	0
0.60	20.29	18.29	17.23	19.52	14.59	8.67	9.64	10.78	11.52	12.45	13.82	14.53	7.90	16.57	8.58	9.32	0	10.41	10.38	0	0	0	0	0	0	14.41	14.95	
0.65	26.90	20.18	21.83	20.17	19.38	17.10	9.70	15.54	11.29	12.48	13.70	14.83	15.36	16.05	8.93	9.45	9.58	10.29	10.92	11.37	11.43	12.12	12.27	0	0	0	0	
0.70	27.14	25.23	21.97	19.61	22.67	21.09	14.14	10.44	17.32	12.64	13.44	14.31	15.87	16.58	16.83	9.22	9.62	10.02	10.89	11.37	0	11.86	0	13.49	13.53	0	0	
0.75	25.88	28.91	24.84	26.13	23.44	21.36	23.12	10.83	11.31	19.02	20.03	14.08	15.50	16.56	17.91	18.13	19.26	10.31	0	11.26	11.32	12.21	0	13.29	0	14.08	14.70	
0.80	31.00	33.46	24.73	26.23	26.06	25.37	24.09	26.43	23.06	12.69	20.24	13.82	15.71	16.54	17.49	18.15	19.49	19.77	21.62	11.00	11.76	12.13	12.99	13.42	0	0	14.66	
0.85	36.10	32.58	33.78	29.19	29.90	26.44	28.08	25.77	34.08	25.28	13.12	21.89	23.25	16.54	17.57	27.99	19.58	20.48	20.50	22.32	23.38	0	12.84	13.88	13.63	14.87	0	
0.90	36.67	33.44	34.89	32.49	29.09	29.87	33.32	26.28	33.50	30.89	13.43	21.23	23.54	24.34	34.79	18.60	29.13	20.41	21.43	33.35	23.07	24.76	12.78	12.95	13.99	13.79	14.26	
0.95	38.34	35.23	39.88	35.16	29.50	33.97	29.62	31.29	27.95	31.49	20.18	14.17	23.00	24.61	25.12	36.24	19.52	20.57	21.61	22.80	22.64	23.45	25.17	26.48	0	14.12	14.74	
1.00	40.42	38.63	38.60	34.75	32.90	33.45	33.27	41.48	33.28	30.02	33.52	21.57	14.92	15.60	26.22	17.27	38.85	20.75	21.77	22.65	35.12	23.80	24.82	26.05	27.27	14.45	14.63	
1.05	41.97	43.90	40.44	40.36	35.91	33.12	37.17	40.64	40.23	42.37	32.54	28.67	39.36	32.82	17.03	27.83	18.53	30.74	21.44	22.58	46.48	24.96	12.49	39.23	41.11	28.14	28.93	
1.10	47.18	44.88	40.17	45.49	44.16	33.49	37.10	36.73	45.78	43.28	39.92	43.95	30.16	32.89	26.01	18.02	39.37	29.70	42.80	44.47	23.81	48.36	25.34	39.28	13.09	43.18	29.09	
1.15	48.80	46.86	42.91	47.76	49.48	41.22	37.24	41.31	39.86	43.68	48.19	42.39	46.22	24.77	35.07	27.46	28.46	41.43	31.47	44.59	47.03	23.73	25.05	26.60	27.08	41.48	43.57	
1.20	50.32	48.73	45.79	52.20	46.75	41.79	41.70	46.13	46.68	49.90	39.11	35.90	37.26	40.25	34.45	36.86	29.19	30.17	43.05	33.20	34.80	49.38	25.37	26.13	26.93	28.66	28.13	
1.25	52.46	50.40	52.60	48.70	49.74	49.64	45.80	40.78	44.77	43.41	40.26	49.39	45.80	49.41	34.55	36.92	28.37	30.61	32.33	44.24	34.77	36.10	25.27	26.08	40.65	42.82	29.02	
1.30	55.06	52.23	54.87	49.59	58.65	56.76	46.49	46.57	50.37	49.28	40.65	49.48	46.97	40.01	51.98	36.21	39.03	40.42	32.14	32.96	14.43	35.23	25.49	53.51	26.61	41.96	44.44	

八、電子計算機結果之利用

上述附表一至附表三十六即為電子計算機計算之結果，此項結果之利用。方法如下：

1. 有效雨量之計算。

a. 決定作物之生長起迄時期，如計算例(1)為54年夏植花生之起迄日期為而8月9日至12月7日生長日數共為120天。

b. 決定 B_{max} 亦即一次灌溉最大水深。

c. 決定 a 值，亦即作物用水量與蒸發量之比值，此值可採用實際測定之值，或逕採用哈合河氏之值，如採用哈合河氏之值則將整個生育日期分為10個時期而採取哈合河氏之平均值如第一時期採用哈合河氏0%~10%之平均 a 值，在第二時期則採用哈合河氏10%~20%之平均 a 值……如採用本地實測之 a 值則從實測時 a 值之變化而定。

d. 月份之決定：因同一 a 值，同一 B_{max} 值。其有效雨量，灌溉需水量，有效雨量率均不相同。故每一時期之各該值均須根據其所在之月份而查得，

以計算例(1)而論，第一時期係而8月10日至8月21日，整個時期均在八月份以內。故其有效雨量可自附表八中查出，第二時期自八月二十二日至九月二日橫跨8、9兩月，故其有效雨量需分二部分查，自八月二十二日至八月三十一日凡十日之有效雨量可自附表八（八月份有效雨量表）中查得，而另九月一日與九月二日之部份則須由附表九（九月份有效雨量表）中查得。二者相加始為該時期之有效雨量。

q. 月大月小之影響，自附表一至附表查得者為月有效雨量，故換算為平均日有效雨量時須除以該月之日數故須按月大月夏分別除以31日及30日至於二月則概除以28天。詳細之計算方法如表七。

(2) 灌溉需水量之計算

灌溉需水量計算之步驟與有效雨量之計算步驟，可謂完全相同，所不同者在所用之表為附表18至附表而已。

(3) 以各該月之有效雨量除以各該月之總雨量即得各該月之有效雨量率。

表七 以本法計算有效雨量實例：

(1) 54年夏植花生： $B_{max} = \frac{1}{2}(8.22 - 2.83) \times \frac{1}{100} \times 1.65 \times 400 = 17.80\text{mm}$

$B_{max} = 18\text{mm}$

54年8月9日至54年12月7日全生育日數120天

生 百 分 率 (%)	長 率 (%)	生育日數 (天)	起 止 日 期	a 值 (哈合河氏)	有 效 雨 量 (mm)	a 值 (水利局 實測)	有 效 雨 量 (mm)
10		12.0	8.10—8.21	0.20	$22.83 \times \frac{12}{31} = 8.85$	0.526	$32.46 \times \frac{12}{31} = 12.59$
20		12.0	8.22—9.2	0.30	$31.22 \times \frac{10}{31} = 1.07$	0.526	$12.46 \times \frac{10}{31} = 10.05$
					$20.73 \times \frac{2}{30} = 1.38$	0.564	$26.20 \times \frac{2}{30} = 1.75$
30		12.0	9.3—9.14	0.40	$30.83 \times \frac{12}{03} = 12.33$	0.564	$26.20 \times \frac{12}{30} = 10.48$
40		12.0	9.15—9.26	0.50	$22.71 \times \frac{12}{30} = 9.08$	0.564	$26.20 \times \frac{12}{30} = 10.48$
50		12.0	9.27—10.8	0.575	$28.38 \times \frac{4}{30} = 3.78$	0.564	$26.20 \times \frac{4}{30} = 3.50$
					$13.42 \times \frac{8}{31} = 3.47$	0.433	$13.60 \times \frac{8}{31} = 3.51$
60		12.0	10.9—10.20	0.625	$13.42 \times \frac{12}{31} = 5.20$	0.438	$13.60 \times \frac{12}{31} = 5.27$
70		12.0	10.21—11.1	0.65	$11.67 \times \frac{11}{31} = 4.13$	0.438	$13.60 \times \frac{11}{31} = 4.83$
					$6.04 \times \frac{1}{31} = 0.20$	0.833	$8.10 \times \frac{1}{31} = 0.27$
80		12.0	11.2—11.13	0.625	$7.32 \times \frac{12}{30} = 2.92$	0.833	$8.10 \times \frac{12}{30} = 3.24$
90		12.0	11.14—11.25	0.525	$6.13 \times \frac{12}{30} = 2.45$	0.833	$8.10 \times \frac{12}{30} = 3.24$
100		12.0	11.26—12.7	0.375	$5.81 \times \frac{5}{30} = 0.97$	0.833	$8.10 \times \frac{5}{30} = 1.67$
					$15.14 \times \frac{2}{31} = 3.42$	0.367	$15.14 \times \frac{7}{31} = 3.42$
合 計		120			59.25		74.30

表八 有效雨量因計算方式不同所得數值之比較

時季作物	計算方式		水利局估算法所得結果						
	本法計算結果		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	B	C	D
54年夏植花生	59.25	74.30	116.1	116.1	116.1	116.1	110.2	110.2	110.2
55年春植花生	145.73	149.81	80.0	71.7	64.8	63.9	74.6	72.9	87.7
55年春植大豆	144.24	128.12	27.9	26.4	60.8	49.2	48.3	58.2	49.9
55年夏植甘藷	181.08	188.90	97.5	93.3	102.6	89.4	83.6	91.6	87.7
55年夏植大豆	74.95	76.42	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
55年秋植甘藷	76.46	77.80	88.7	88.7	88.7	88.7	88.7	88.7	88.7
56年春植花生	175.00	120.87	193.0	191.6	133.9	135.6	190.6	178.0	201.2
56年春植玉米	137.66	93.80	110.6	112.2	120.8	124.2	106.6	107.8	121.4
36年春植高粱	172.92	144.04	130.1	116.5	130.5	108.7	119.7	112.1	130.5
56年宿根高粱	94.33	135.18	57.6	57.6	74.6	55.4	55.0	57.6	59.0

表九 灌溉需水量因計算方式不同所得數值之比較

計算方式	時季作物	55年秋植甘藷			56年春植花生			56年春植玉米			56年春植高粱		
		灌溉		有雨 效量	灌溉		有雨 效量	灌溉		有雨 效量	灌溉		有雨 效量
		次數	水深		次數	水深		次數	水深		次數	水深	
本法計算	a 值(哈合河氏)		223.23	76.46		112.59	175.0		116.12	137.66		148.36	172.92
	a 值(水利局實際)		242.30	77.8		45.51	120.8		43.42	93.8		71.45	144.04
水利局計算法(即實際灌溉)	A ₁	20	487.5	88.7	4	77.7	193.0	3	62.5	110.6	2	45.9	130.1
	A ₂	15	343.3	88.7	4	76.6	191.6	2	37.0	112.2	0	0	116.5
	A ₃	7	155.9	88.7	2	38.1	133.9	2	39.6	120.8	2	44.6	130.5
	A ₄	0	0	88.7	3	58.3	135.6	1	26.7	124.2	0	0	108.7
	B	4	280.0	88.7	4	160.0	190.6	4	160.0	106.6	4	160.0	119.7
	C	4	252.0	88.7	4	128.0	178.0	4	128.0	107.8	4	128.0	112.1
D	4	224.0	88.7	1	32.0	201.2	0	0	121.4	0	0	130.5	

九、結論與建議

本研究選擇後龍地區作為研究之原因有二：一為配合後龍水庫建設後灌溉工程之規劃，二則為本研究之經費有限無法選擇記錄較長之地區。由於僅有四年之蒸發量及雨量記錄所得之結果自難臻於理想。但從所得結果而論，已得到預想的收穫，茲就所得結果及今後應加改良之事項分別討論之如下：

(1)使用本法以計算有效雨量適用於各種土壤及作物頗為簡便實用。

(2)有效雨量隨 a 值及 B_{max} 之值而遞增，其間偶有例外，唯此種例外現象乃係記錄年數不足所肇致如有較長之記錄，此種情形應即可消除。

(3)灌溉需水量亦隨 a 值及 B_{max} 之值而遞增，換言之雖 a 值增加後有效雨量增加，但因 a 值增加後作物用水量之增加較有效雨量之增加為速，故灌溉需水量仍增加 B_{max} 增加則灌溉需水量減少。

(4)有效雨量率之變化較不規則可能係受降雨分配之影響過大之故，但大致之趨勢仍與有效雨量及灌溉需水量相同。倘記錄之年數較長則其變化似亦可趨於

規律化。

(5)利用本法以計算有效雨量時，可利用哈合河氏之 a 值亦可利用當地實測之 a 值，比較二者計算所得之結果，發現二種 a 值雖往往有相當可觀之差異而所得之有效雨量相差並不甚大。有時以哈合河氏 a 值所得之有效雨量較大，當地實測 a 值所得之有效雨量較小，但有時情形則正好相反。故二種 a 值似可任意選用。在無當地實測之 a 值可供利用時，可逕採用哈合河氏之 a 值。

(6)利用本法所計算之有效雨量與水利局現行有效雨量估算方法之結果相比較。因後者之結果視灌溉處理而異，水利局現行之處理方法有 $A_1, A_2, A_3, A_4, B, C, D$ 等七種，其中以 A_1 處理之有效雨量最小， D 處理之有效雨量最多。用本法計算時所得之有效雨量，不論用哈合河氏之 a 值或當地實驗所得之 a 值，除少數外，大致位於二極端之中間部分，以 55 年及 56 年春植花生而論，本法所計算得者較為穩定，水利局估算法則二年之差在 250% 以上。因此在規劃灌溉工程時使用此法估計有效雨量當無過分偏高過分或偏低之弊。表八即為各計算方式所得有效雨量之比較。

(7)利用本法所算得之灌溉需水量，往往較高，此可由表九所列結果得知。此一現象之主要原因，係在計算時忽略由地下水所補給之水量。因美國地下水位低故哈合河氏之 a 值完全未考慮及地下水補給之因素。故其灌溉量偏高。在當地用盆栽或 *Lysimeter* 所得之 a 值與哈合河氏之 a 情形正復相同，至於當地田間實驗所得之 a 值，多少已包含了地下水補給之因素，唯相隣之田地地下水位之高低可能相差頗鉅，地下水補給之情形因此相差倍蓰，同時地下水水位隨季節及周圍水井抽水情形等有巨幅的變化，地下水補給情形亦隨之而變化，因此由間實測之 a 值，即用於當地仍有誤差，無論相隣及其附近之土地矣，以表九 56 年度各作物而論，用水利局實測 a 值所計算而得之灌溉需水量不及用哈合河氏 a 值所得之 50%，此一差額可視為地下水補給之緣故。有效雨量二者亦差 10% 20% 原因亦同，因水利局之 a 值已加入地下水補給之因素也。

(8)本省大部地區地下水位均高，今後宜就地下水供應作物生長之水量加以研究，確定並分離此一部份之水量，則使用本法所得之有效雨量及灌溉需水量之精確性當可大為增加。

(9)本省其他地區之有效雨量亦當依照本研究以電子計算機加以計算，以供使用，並與本研究之結果相

比較。

(10)嗣後其他地區依照本法作同樣研究，附表一至附表十二之有效雨量，附表十三至附表二十四均宜除以各該月之日數，則使時當更形方便。

(11)嗣後作同樣研究時，宜將作物每月之用水量列出以供參考。

(12)有效雨量率如採用平均有效雨量除以平均總降雨量，與採用各該月有效雨量率之平均值結果頗有差異，本研究採用者為後者，究以採用何者為是尚待商榷。

十 後 記

本研究係得農復會水利局之補助。並蒙臺灣大學電子計算機中心朱攬衣教授陳維龍先生之協助始克完成此外林國綱君搜集資料及計算，出力甚多，周問梅同學、張延庶同學、吳康寧同學馮維軍同學、林誠三同學等代為繪圖及繕寫謹此誌謝。

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. 曹以松 旱作灌溉之有效雨量
農業工程學報第十二卷第一期
4. 黃民德 濕潤地區之有效雨量
台灣大學土木工程論文集第二集
5. 薛觀瀛 田間有效雨量估計
台灣水利第十卷第三期
6. 劉如松 旱作物灌溉
台灣水利第十二卷第三期
7. D. M. Hershfield "Effective Rainfall and Irrigation Water Requirement"
Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE Vol. 90, NO. IR 2, Jun 1964.
8. C. H. M. Van Bavel and T. V. Wilson, "Evapotranspiration Estimates as Criteria for Determining Time of Irrigation", *Agricultural Engineering*, July 1952
9. G. H. Hargreaves, "Consumptive use Derived From Evaporation Pan Data"
Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE Vol 94 No IR1 March 1968

(文轉18頁)