

# 旱作需水量之測算方法與試算結果之檢討

水利局幫工程司

陳 尚

水利局幫工程司

蔡 奇 成

## 一、概 述

本文係就筆者之一於本(56)年2月間，由水利局召開在臺南舉辦之旱作灌溉講習會所講內容，加以整理補充者。

其內容乃先述及所用之專用名詞，及需水量之本質，而將蒸發散量與諸因素之關係，引例作扼要之敘述，以得概念。次就現今所用之各種方法加以分類，並介紹常被應用之幾種直接與間接方法。再選臺灣平地地區9處測候所歷年氣象資料，引用諸種公式試算各地之蒸發散量，再與臺灣正在進行之各地旱作灌溉推行站53、54年試驗結果比較檢討。最後提及，將來在臺灣灌溉方面，較有應用之可能性，且亦較簡便之利用蒸發計蒸發量推算之方法，以及就目前已之資料，作初步之分析探討，以供參考。

旱作作物係指水田作水稻以外之作物(包括旱作水稻)而言。目前在臺灣，對於灌溉水各種消耗量使用之專用名詞，尚未統一，因此，先就本文所稱之有關名詞加以敘述以求了解。

所謂需水量(Water requirement)，在此係指田間之蒸發量與作物蒸散量之和，簡稱：蒸發散量(Evapo-transpiration)，亦即與現今常稱之耗用水量(Consumptive Use 日文稱：消費水量)，同一意義，惟一般在使用之習慣上，討論盆栽或滲漏計(Lysimeter)之測定值時即使用蒸發散量，而敘述一個區域或流域等大面積時，乃使用耗用水量。但耗用水量一詞，在臺灣較少應用，而需水量一詞已廣被應用，如在水稻灌溉上則使用已久，故在此仍暫沿用之。

然在水稻灌溉所稱之需水量，因栽培方法之不同，除蒸發散量外更包括滲透量，而旱作雖然亦有深層之滲透損失，且如灌水操作不善亦有表面流失水量，但此種損失水量，僅發生在灌水當時，並非經常有此損失，又依灌溉方法及操作技術之不同而常有很大之變化，是以在旱作灌溉此種損失水量，為簡便計，乃視灌溉方法之不同，由需水量除以各該情形時之田間灌溉效率，而得需引至田間之總水量，(蒸發散量/田間灌溉效率)其計算處理之方法，即與加算輸水損耗相同。

此外，在地下水位較高之地區，或滲透至深層之水分，有時亦可依毛細管作用上昇一部份水份補給作物利用，而減少人工灌溉，即「地下補給水量」，如此情形時需水量即可以下式表示：

$$\text{旱作需水量} = (\text{作物蒸散量} + \text{田面蒸發量}) - \text{地下補給水量}。$$

但因此種可供補給之毛細管上昇水分之移動現象，頗為複雜，依時依地均有很大之差異，目前在實用上尚難測定或估計，故在現今為保守計，一般多略而不提。因此，本稿乃針對蒸發散量並以應用於灌溉計劃為主敘述之。

影響需水量之因素，至為複雜多歧，舉凡土壤、地形、氣候、水文、作物種類及品種、水分吸收消耗情形、栽培方法、生產物標的、灌溉方法與技術、輸水系統、配水管理狀況等等均是，而實際上，某種作物種在某種土壤、氣候、地形等環境下，需要如何灌溉，其量若干，雖有一般原則可循，但無一定規範可據。且農作物在生長過程中所消耗之水量，或需水量，在本質上，並非一項絕對值，乃有某一程度之適應範圍，是以亦可稱為需水量與作物生長、土壤、氣候等許多因素間之關係，非為一條線(Line)，或一個點(Point)，而成帶狀(Zone)關係。

因此，需水量之推算乃至決定，除以理論為基礎外，須對各種作物之栽培方法、水源、經濟條件、灌溉實施，尤其是對於大區域之實地配水等實際問題，有所認識並加以配合，而綜合衡量考慮，依時依地作適當之判斷與處理，始能獲得合理之數值，並可進一步達到預期之灌溉效果。

## 二、蒸發散量與諸要素之關係

耕地水分消失之過程中，以蒸發與蒸散佔較重之比率，此外，雖然亦有地表水之流失，與深層滲透損失，但此種損失，如前述僅發生在灌水當時。且以人為技術尚可控制至最小限度。

蒸發量之中以土面蒸發佔極大部份，其他尚有灌溉水或降雨水被作物莖葉遮斷而直接蒸發，或在地面之一時滯溜水蒸發等，但為數均極有限。至蒸散量，當以作物之蒸散為主。目前在實用上乃用蒸發與蒸散

之和。

影響蒸發散量之因素多而複雜，但若加以歸納之，可大分如下之三大項：

①土壤要素：就中影響最大者為土壤水分，即作物之水分吸收及體內水分隨不同水分張力而異，進而影響蒸散量。至對土面蒸發影響最大者亦為土壤水分。其他諸如土壤之溫度，溶液濃度亦能影響蒸發散量。

②氣象要素：氣象要素中氣溫、放射量、日射量之影響較大，而可稱為各氣象要素，綜合指標之水面蒸發量，與蒸發散量之相關係數最大，茲舉例如下。

表 1：蒸發散量與氣象要素之相關

氣象要素	Briggs and Shantz 相關係數	加藤等(1964) 相關係數
日射量	0.89	0.86
純放射量	—	0.89
氣溫	0.86	0.83
濕度	0.84	0.04
飽差	—	0.59
風速	0.35	—
蒸發計蒸發量	0.93	0.94

(資料來源：參考文獻<sup>2</sup>)

③作物要素：作物要素對於蒸發散量之影響亦大，其中以形態、生理、生育階段等諸項為主，其間之關係頗複雜，現今猶未究明之處尚多。

以下就蒸發散量與各要素之關係，略述如次：

#### 1. 土壤水分與蒸發散量之關係。

此兩者之關係極不簡單，加以氣象要素，土壤水分消耗，作物之蒸散等三者互相與之關聯，是以更加繁雜，故為簡化計，分為：土壤水分與土面蒸發量，及土壤水分與作物蒸散量敘述之。

土面蒸發與土壤水分之關係最為密切，如土壤在完全之浸水狀態下，即大體與水面蒸發之情形相若。但此種狀態時，因土壤溶液濃度較一般之池水或河水為高，尤其是施肥之耕地，由於溶液濃度之高，滲透壓亦隨之提高而抵抗蒸發，故略減少。

土壤水分減少時，即以土壤質地而異，在某一臨界值以下時，若氣象條件相同，即土面蒸發量與土壤水分成比例而減少。圖 1 為測定其關係之一例。

玉井與馬場在露地<sup>(5)</sup>試驗土壤含水量與土面蒸發量結果，提出下列之關係式：

$$b = 1.87x - 19.6$$

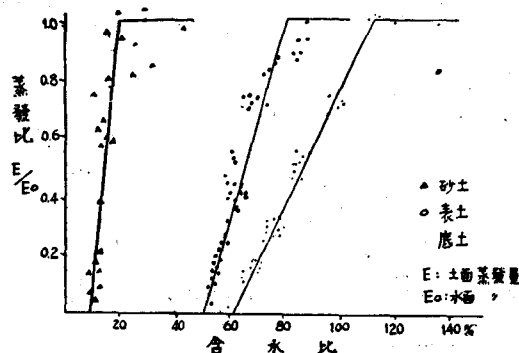


圖 1 土面蒸發量與水分含量之關係 (吉良、水之江、松本 1952)

b：土面蒸發量相對水面蒸發量之比率(%)。

x：土壤含水量(對容水量%)。

土壤水分與蒸散量之關係，乃其有效水分消耗 60% 左右，而其剩餘有效水分接近 40% 附近(約在 PF 3.7) 時，蒸散量即為減低。圖 2 為加藤等在粘質粉壤土栽培旱作水稻時所得之關係。

影響蒸散量之土壤因素，除土壤水分之外，諸如土壤溫度，土壤之空氣含量，土壤溶液濃度亦有關係。尤其此諸因子，影響作物根系之水分吸收。

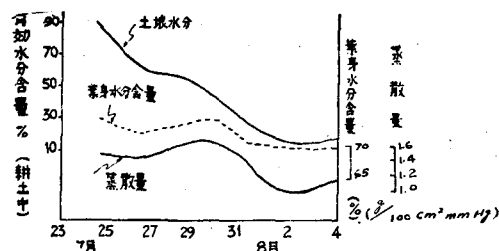


圖 2 土壤水分含量與蒸散量(旱作, 水稻)(加藤原圖)

#### 2. 日射量、純放射量與蒸發散量之關係。

此兩因素與蒸發散量之關係至為密切，由上列表 1 之相關係數及圖 3 ~ 5 亦可明瞭。是以若加以求出某種作物之日蒸發散量與日射量或純放射量之比率，即可由其他區域之日射量，或日照時數，雲量等推算其區域之蒸發散量。

#### 3. 蒸發計蒸發量與蒸發散量之關係：

土面蒸發量與水面蒸發量之比率，謂之蒸發比，蒸散量與水面蒸發量之比率，謂之蒸散比，蒸發散量與水面蒸發量之比率，謂之蒸發散比。

在植物或作物學方面，稱之為相對蒸散量。而其分母不但採用水面蒸發量，亦可換用飽差或日射量，

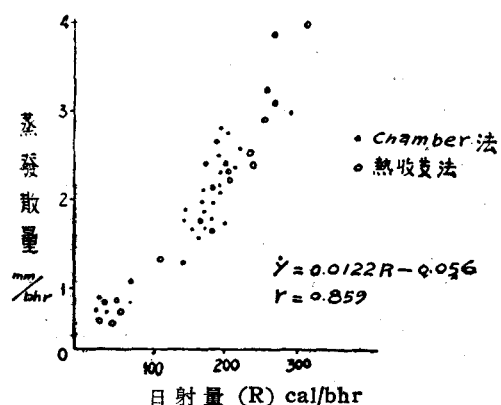


圖 3 蒸發散量與日射量 (加藤等 1964)

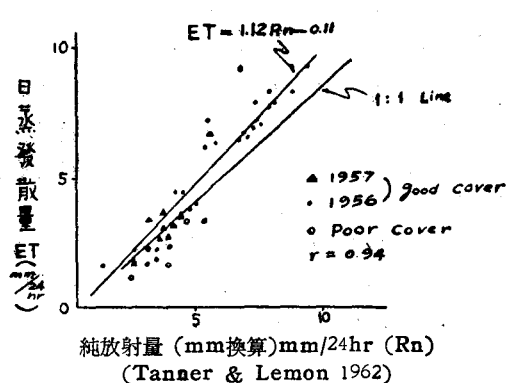


圖 4 純放射量與蒸發散量 (Alfalfa-brome)

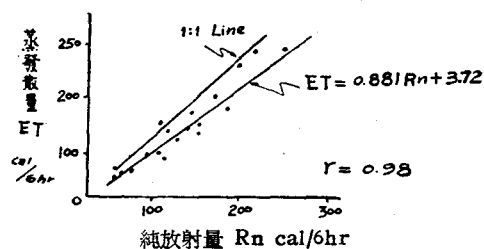


圖 5 純放射量與蒸發散量 (Alfalfa 加藤等 1964)

加以比較。蒸散量與生產乾物量之比率，謂之蒸散係數。

影響蒸發散量之氣象要素，象多而複雜，此等要素綜合影響蒸發計蒸發量。是以常用蒸發計蒸發量為此等氣象要素之綜合指標。因如前述，在氣象要素之中，與蒸發散量相關最高者，為蒸發計蒸發量之 0.93~0.94 (表 1)，故若在某處測定蒸發散比，加以分析研究其變化，即可應用此種比率乘不同地區或不同年份蒸發計蒸發量而可推算其蒸發散量之近似值。

因此，在灌溉方面，常用此種簡便之蒸發散比為

指標，但在氣象方面，則以蒸發計蒸發量之變異頓大，缺乏可靠性，而屢有所批評。惟若對蒸發計之大小形狀與設置地點等之規格，加以劃一，或求出其相互間之關係，加以修正，仍可得到相當之可靠性。關於蒸發散比，在臺灣亦已開始測定，容後將提及之。

#### 4. 其他之諸因素與蒸發散量之關係：

除上述諸項之外，尚有許多因素與蒸發散量，具有密切之關係，茲擇要略述之：

(一) 蒸發散面之大小：設置在同一地點之大型與小型蒸發計之蒸發量，以及大型與小型滲漏計 (Lysimeter) 之蒸發散量均有差異，依 Pruitt (1959~1960) 之試驗：在蒸發計蒸發量，以小型 (U. S. W. B. Pan) 為 100 時，大型 (U. S. D. A. Pan) 為 71，自由水面之蒸發量 (Penman 之  $E_0$ ) 為 79。臺灣亦有此現象，但大小型之比率應依實測為準。至蒸發散量，以小型滲漏計 (直徑 2.4 英尺) 為 100 時，大型 (20×3.2 英尺) 為 106，因兩者均種牧草，而同設置於牧草地，故測出之結果相若，不如蒸發計蒸發量相差之大。

(二) 作物覆蓋與土面蒸發量之關係：有作物覆蓋之耕地，隨作物之繁茂遮蔽而減少土面蒸發量，蒸散即反此，隨作物之繁茂乃增加日射之利用面積，而增加蒸散量。茲將其土面蒸發量佔蒸發散量之比率變化，例示於圖 6。

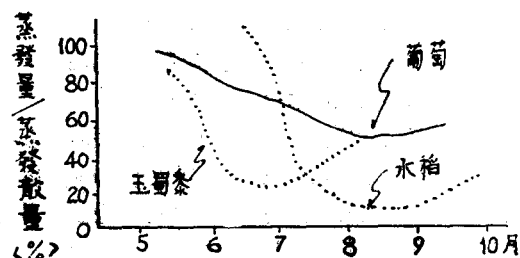
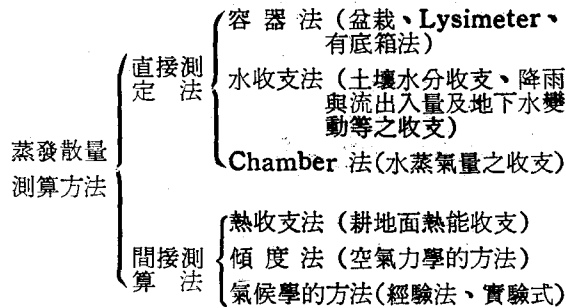


圖 6 土面蒸發量佔蒸發散之比率變化 (加藤等 1963~64)

(三) 葉面積指數與蒸發散量之關係：葉面積指數 (葉面積/土地面積) 與蒸發散量具有密切之關係。葉係對地面，具有某一角度而成一定之葉序，上下重覆排列在莖上，是以葉面積指數為 1 之時，並未能完全覆蓋地面。葉係蒸散面之主要部份，故葉面積指數之最大出現時期，與蒸散量之最大時期將為一致或接近。蒸散量乃隨葉面積指數之增大而增加，但達到 4 至 5 以上時，即不隨之增加，而略固定在一定值。

### 三、蒸發散量測算法之分類

蒸發散量之測算，有許多種方法，茲若加以分類，即如下列：



上列各種方法之中當以直接測定方法，較為精確而符合實際，但並非每一地區均能適用。如將直接法應用於新開發地區，即須預先設置完全之各種試驗區測定，始可進行，是以僅能在極有限之地點，或已有灌溉之地區施行。

一般而言，如擬樹立某一地區之新開發計劃時，對於開發後各種情形之詳細資料，未能確定者佔大部份，是以從事計劃之技術人員，須以間接法試算後判斷應用，或在已灌溉區，為了種種原因無法採用直接法時，亦可選擇簡便之間接法，因此，間接法亦頗有實用上之意義。茲將各種方法分述於以下各章。

#### 四、直接測定法

##### 1. 容器法：

有小型之盆栽至大型之滲漏計 (Lysimeter)，容器型式及設備之種類繁多，但原理相同，最簡單者為盆栽，大型滲漏計可達幾公尺大，此法即將土壤放置於容器中，下端置滲漏層及收集滲透水容器。土壤中，種植被試驗之作物，定時秤量其水分重量差，而求得所消耗之水量。試驗盆有經常放置於玻璃室內，以控制微細氣象；或用移動方式晴天置於屋外，於降雨時移入室內，以避免降雨之干擾，更有設於田間，儘量接近田間之實際環境等各種方法，當依試驗之目的及設備，管理之難易與所需經費等而衡量選擇之。圖 7 為其各種方法之例。

盆栽僅適用於單體作物，而形態不甚大者，例如旱作水稻、陸稻、小麥、茄子等，大型滲漏計之作物即不受此限制。此種方法由於土壤水分之調節，秤量等相當費時而繁雜，故有採用裝設水分張力計 (Tensiometer) 加以自動灌水，並附設自記裝置。

或利用浮力，就滲漏計浮置於水中，且將其水位變化加以擴大，連動自記裝置之 Floating Lysimeter，(圖 7-B)。更有在土壤層下端設一自由水面，如水分消失，可依毛管上昇由地下給水，該水面即可降低，補給降低之水量，即為消耗之水量 (圖 7-C) 等等之方式。

此種用容器測定之方法，因需填充土壤於容器中，故與自然土壤之堆積形態難免不同。土壤與容器牆壁之間，即能生成一種特殊之境界層，且作物根系之伸長，亦與自然土壤之情形相異等缺點。因此，對於此諸種影響應儘量設法改進避免。

##### 2. 水收支法：

本方法有：①利用降雨與流出入量以及地下水變動之方法，②在田間測定土壤水分之變動，即水分追跡法等兩種。前者需選擇大區域之現灌區作為測定之對象，其測定及控制均需龐大之設備與經費，管理觀測亦頗費力，加以干擾之因素繁多而複雜，且在目前已有之儀器又難一一測出，因此，除特別時外，甚難應用，故在此僅說明後者。

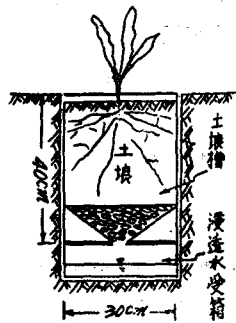
容器法因需使用容器填充土壤，是以作物生育環境與實際田間相異，故依生育環境之不同而能敏感影響蒸發散量之作物，或如果樹類，即較難應用。

土壤水分追跡法，乃在實際田間測定土壤水分，追跡其減少過程，計算水分減少量而得其消耗水量。此種方法，如對土壤水分之測定，能得正確施行，即任何旱作物均可適用，且可同時測出適當之一次灌水量，對於灌溉方面而言，實為一種簡便實用之方法。但在地下水位較高，即依毛管上昇水分之地下補給水量多之地區，用本方法測出之結果，並非真正之蒸發散量，均較作物實際消耗者為小，因此，如不設法測定該地下補給水量，其結果仍難應用至不同地下水位環境之其他地區。

土壤水分之測定有：直接採土烘乾法，水分張力計 (Tensiometer) 法，電氣抵抗法，實容積測定法，中子水分計法等方法。無論使用何種方法，在原則上，均須在深每 10cm 測定 1 處，測定深度應至土壤水分不變化之處，當視作物之根系及水分變化深度而定，測定範圍亦視根系之橫向伸長而定。

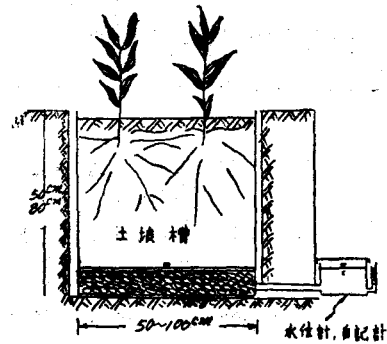
##### 3. Chamber 法：

即將作物之地上部份，以塑膠特製之 Chamber (蒸發散室) 覆蓋，送入空氣，在出入口處測定水蒸氣量，求其差數而計算蒸發散量之方法，故亦可稱為水收支法之一種。近年來本方法在日本已廣被



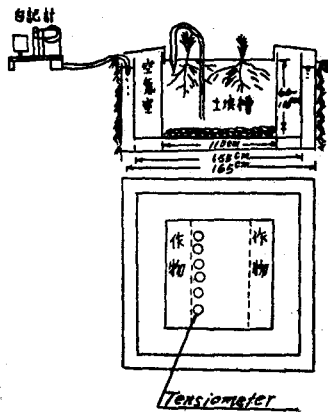
土壤槽抽取秤量  
土壤槽：四方形或圓形均可

### A. 秤量法

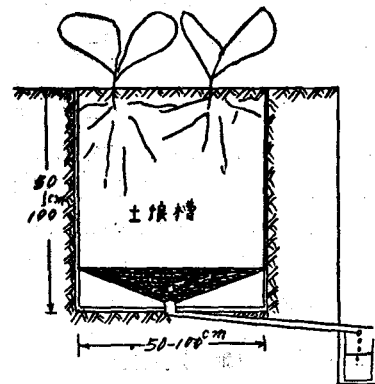


水位計(用自記更好)

### C. 地下吸水法



### B. 浮式滲漏計 (Floating Lysimeter)



### D 水分收支法

(准名原圖)

圖 7 各種滲漏計 (Lysimeter) 示意圖

應用。

容器法即地下部份與自然狀態相異，而 Chamber 法則可在田間栽培狀態下測定，但因測定時，需覆蓋地上部份，是以反而地上部份與自然狀態略異。

出入口水蒸氣量之測定亦有數種方法，加藤等 (1960) 以高感度之溫度計裝設乾濕球，置於出入口測定水蒸氣張力，而算出絕對濕度，由其差數即可求得蒸發散量。

將進入 Chamber 內之空氣加以二分，一為導入對照區，另一導入 Chamber 內，而就對照區及

Chamber 出口之空氣加以冷却凝縮至露點以下，自動記錄其水量，亦可求得蒸發散量。

亦可導入用填充吸濕劑之吸濕筒，求出測定前後之吸濕劑重量變化，以取代冷却之方法，亦可求得蒸發散量。

J. P. Deker (1962) 即用赤外線透過率測定 Chamber 出入口之水分，而求蒸發散量。

測定濕度或冷却方法，可用連續自記其時時刻刻之蒸發散量變化，但用吸濕劑時，實際上在每 3~4 小時，交換一次。故不能自記。

本方法，需以 Chamber 覆蓋作物地上部份，

雖然與自然狀態有異趣，例如溫度、濕度、日射量透過率、風速等變化，但據實測之報告稱：用熱收支法，水收支法同時施測檢討結果，乃相當一致，並稱：可能係影響因子互相抵消之綜合結果，是以，此點需要繼續究明之必要。但本方法在應用上相當簡便，且除測定蒸發散量之總和外，並可將蒸發量分別測定，亦為其特點之一。又以本裝置係一種移動式故更簡便。

## 五、間接測算法

### 1. 熱收支法：

蒸發散係為水得到氣化熱，從土面及植物表面氣化之現象，此種熱源，當然依靠太陽放射熱。是以在太陽放射較低之高緯度地帶之蒸發散量較低。太陽放射熱之中，一部份為植物覆蓋層反射，剩餘部份乃為植物覆蓋層所利用。則純放射量之一部份，為氣化潛熱所利用。即：

$$R_n = A + B + L_E$$

$R_n$ ：純放射量。  
 $A$ ：顯熱量。  
 $B$ ：地中熱傳達量。  
 $L_E$ ：氣化潛熱量。

用 net radiometer 測定  $R_n$ 、 $A$ 、 $B$  即各在植物覆蓋層上及地中兩點測定之溫度差而得。

$L_E = R_n - A - B$ ，氣化潛熱量除以水之氣化熱而得蒸發散水量。

綠葉因吸收太陽放射，故通常葉溫較空氣溫度為高，因此以蒸散降低葉溫，是以若抑制蒸散即可昇高葉溫，如此即溫暖周圍空氣成為顯熱而消散。

地面之情形亦屬相同，土壤乾燥時，因無蒸發可奪取潛熱，致地溫上昇，一部份溫暖近傍之空氣，而成顯熱化，一部份傳達到地中。土壤水分多時，即由蒸發取去潛熱，故地溫之上昇較少。如水田之水面則蒸發較多，因水之熱容量較大而使水溫上昇，成為貯熱池而在夜間放熱。

本方法之實施，對於儀器之精度要求頗高，測定亦須要細心之注意，其計算又頗費力，但可在完全之自然栽培狀態下測定為其特點，據報告與 Pruitt 等之大型滲漏計測定結果符合。

### 2. 傾度法：

水若得到太陽放射熱而氣化，其水蒸氣流之移動速度即與水蒸氣濃度差之大小成比例。氣孔內細胞間隙之水蒸氣，在靜止空氣中，以水蒸氣特有之傳導性（分子擴張係數）而達氣孔。

從氣孔而出之水蒸氣，以葉面之水蒸氣濃度與大氣中之水蒸氣濃度差，則與水蒸氣傾度成比例而移動，亦即蒸發散與傾度成比例。

本方法即利用此種關係，測定各項因子，演算而得者，已提出數種之實驗式，但在實際灌溉方面尚未實用化，故從略。

### 3. 氣候學的方法：

此種方法，係用已往之氣象要素為資料，以公式推算者，茲將常被引用之諸家公式及其假定條件分列如下：

#### (一)日度法 (Day-degree Method)

此方法係將蒸發散量與氣溫之關係加以關聯者，為 Hedke (1924) 在 Rio Grand 地區所做之需水量與有效熱量關係之論文為發端，其基本假定即：

①一日中或其他任意之期間中，某一特定之作物所消耗之熱量，乃由於為發芽或維持最低生育所需要之溫度以上，而利用可能之總熱量所決定。

②在良好之農耕作業下，作物消耗之水量，與上述所定義之有效熱量成直線關係。

③土壤水分及肥料分，可視為受充分之供給，因之作物之收量，僅由有效熱量所左右。

④風速、相對濕度、蒸氣壓對水分消耗之影響，遠比熱量為小。

根據此諸假定，提出下列簡單之公式：

$$U = K \cdot Q \dots\dots\dots(1)$$

$U$ ：生育期間內作物之總耗用水量（需水量）；呎。

$Q$ ：生育期間之日度 (Day-degree)，即平均氣溫超過  $32^\circ\text{F}$  ( $0^\circ\text{C}$ ) 之總和。

$K$ ：常數：Hedke 建議使用 0.000423，但美國需水量委員會，在多處流域之數字比較檢討結果，建議採用 0.00039，（如將  $U$  之單位改為 mm，即  $K$  應為 0.1189）。

關於日度法有種種之議論，茲摘列如下，以供應用上之參考。

A、此種方法，僅以溫度或有效熱量為基礎，與農學研究者所得之結果不一致。

B、對於基本假定，未得充分之瞭解，至有效熱量之計算基準，有採用  $32^\circ\text{F}$ ，或有採用更高之溫度者，又有人選用最高氣溫，或有稱採用平均氣溫較為相宜者。

C、對於需水量，僅以溫度條件來判斷一點，有疑問。

(二) Blany-Criddle 法：

本方法係用月平均氣溫與日長時間，來推算需水量，但又認為依作物而異，故需依各種作物測出作物係數，以資推算。本公式之來源，主要係利用美國西部之已有需水量資料，與月平均氣溫，各月之日長時間比率、降水量、生育期間等等因子加以關聯，而演算者。其公式如下：

$$U = KF \dots\dots\dots(2)$$

$$F = \sum t \cdot P \dots\dots\dots(3)$$

U：某一期間內作物所消耗之水量（需水量）：吋

K：由實驗所得之作物係數（表 2）

F：該期間內月消耗（需水）係數之和（ $F = \sum f = \sum t \cdot P$ ）

t：月平均氣溫（°F）。

P：月間日長時間對年間日長時間之百

分率（%）（表 3）

$$f : t \cdot P = \text{月消耗係數。}$$

表 2：美國西部之灌溉作物係數

	生育期間	作物係數(K)*
玉 米	4 個月	0.75—0.85
棉	7 個月	0.60—0.65
亞 麻	7~8個月	0.80
蜀 黍 類	4~5個月	0.70
小 穀 類	3 個月	0.75—0.85
柑 橘	7 個月	0.50—0.65
落 葉 果 樹	無霜期間	0.60—0.70
禾本科牧草	" "	0.75
馬 鈴 薯	3~5個月	0.65—0.75
稻	3~5個月	1.00—1.20
蕃 茄	4 個月	0.70
蔬 菜	3 個月	0.60

\* 低值為海岸地帶，高值為乾燥地帶。

表 3：北緯 20° 至 26° 之各月日長時間百分率

月		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計
北	20°	7.72	7.26	8.20	8.51	9.14	9.02	9.25	8.95	8.30	8.19	7.58	7.88	100.00
	22°	7.76	7.22	8.41	8.57	9.22	9.12	9.31	9.00	8.30	8.13	7.50	7.56	100.00
	24°	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46	100.00
緯	26°	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.30	9.49	9.10	8.31	8.06	7.36	7.35	100.00

(資料來源：參考文獻 1)

但對於作物係數之引用，即需要充分之檢討，因作物係數乃具有地域性，一地區之係數，不能照樣適用於環境條件相異之另一地區。例如在美國最普遍之苜蓿 (Alfalfa)，係灌溉效果甚大之作物，是以從其實績求得之作物係數，即較其他作物為大。然若在臺灣檢討，即可能變成另一個數值，其原因，為苜蓿係一種極深根性之作物，其根系有時能伸長至 7~8 公尺，發育旺盛，但若在淺層之酸性土壤，即可能難期如此良好之發育，若是即該作物係數可能與其他作物相接近。

因此對於新開發地區，即需加以實驗該地區之作物係數，若擬引用他地區之已有係數，即應明瞭該數值係如何求得，其類似之條件與對象地區是否適合，均應預先加以查明之必要。惟若有關灌溉水量之其他部份的精度，如不均衡，雖求出精確之係數，亦無意義。總之，當引用時應對其本質有充分之瞭解，而不誤認目的，較為重要。

(三) Thornthwaite 法：

Thornthwaite 係假定為「植物無論受到如何充分而自由之水分供給，由植物覆蓋之地域蒸發散之比率，均不超出某一定之限度，而植物在營養生長之時期，並對土壤表面作有效覆蓋之時，其蒸發散之最高限度，殆由氣象條件而定，與植物之種類無關，均呈同一數值」。彼對此可能最高限度之蒸發散量，名為「蒸發散位(Potential exapo-transpiration)」。其公式為：

$$e = 1.6 \left( \frac{10t}{I} \right)^a \dots\dots\dots(4)$$

e：月間之蒸發散位 (cm)

t：月平均氣溫 (°C)

I：年間之熱量示數 =  $\sum i$

i：月間之熱量示數：i =

$$\left( \frac{t}{5} \right)^{1.514} \dots\dots\dots(5) \dots (\dots \text{表 4})$$

$$a : 0.0000006751I^2 - 0.00007711I^2 + 0.017921I + 0.49239 \dots\dots\dots(6)$$

表4：由月平均氣溫求月熱量示數(i)表

t°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	—	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07
1	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.20	0.21	0.23
2	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.42	0.44
3	0.46	0.48	0.51	0.53	0.56	0.58	0.61	0.63	0.66	0.69
4	0.71	0.74	0.77	0.80	0.82	0.85	0.88	0.91	0.94	0.97
5	1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.22	1.25	1.29
6	1.32	1.35	1.39	1.42	1.45	1.49	1.52	1.56	1.59	1.63
7	1.66	1.70	1.74	1.77	1.81	1.85	1.89	1.92	1.96	2.00
8	2.04	2.08	2.12	2.15	2.19	2.23	2.27	2.31	2.35	2.39
9	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.64	2.69	2.73	2.77	2.81
10	2.86	2.90	2.94	2.99	3.03	3.08	3.12	3.16	3.21	3.25
11	3.30	3.34	3.39	3.44	3.48	3.53	3.58	3.62	3.67	3.72
12	3.76	3.81	3.86	3.91	3.96	4.00	4.05	4.10	4.15	4.20
13	4.25	4.30	4.35	4.40	4.45	4.50	4.55	4.60	4.65	4.70
14	4.75	4.81	4.86	4.91	4.96	5.01	5.07	5.12	5.17	5.22
15	5.28	5.33	5.38	5.44	5.49	5.55	5.60	5.65	5.71	5.76
16	5.82	5.87	5.93	5.98	6.04	6.10	6.15	6.21	6.26	6.32
17	6.38	6.44	6.49	6.55	6.61	6.66	6.72	6.78	6.84	6.90
18	6.95	7.01	7.07	7.13	7.19	7.25	7.31	7.37	7.43	7.49
19	7.55	7.61	7.67	7.73	7.79	7.85	7.91	7.97	8.03	8.10
20	8.16	8.22	8.28	8.34	8.41	8.47	8.53	8.59	8.6	8.72
21	8.78	8.85	8.91	8.97	9.04	9.10	9.17	9.23	9.29	9.36
22	9.42	9.49	9.55	9.62	9.68	9.75	9.82	9.88	9.95	10.01
23	10.08	10.15	10.21	10.28	10.35	10.41	10.48	10.55	10.62	10.68
24	10.75	10.82	10.89	10.95	11.02	11.09	11.16	11.23	11.30	11.37
25	11.44	11.50	11.57	11.64	11.71	11.78	11.85	11.92	11.99	12.06
26	12.13	12.21	12.28	12.35	12.42	12.49	12.56	12.63	12.70	12.78
27	12.85	12.92	12.99	13.07	13.14	13.21	13.28	13.36	13.43	13.50
28	13.58	13.65	13.72	13.80	13.87	13.94	14.02	14.09	14.17	14.24
29	14.32	14.39	14.47	14.54	14.62	14.69	14.77	14.84	14.92	14.99
30	15.07	15.15	15.22	15.30	15.38	15.45	15.53	15.61	15.68	15.76

但由上式計算所得之e，係以月間日數為30天，應再以各該月份之日長時間（表5）及日數予以修正。日可照時間（日長時間）為12小時之標準數值，因此正。

表5：臺灣各地之月平均日長時間

單位：小時

月	宜	蘭	臺	北	新	竹	臺	中	高雄—臺南	花	蓮	臺	東	恒	春
1	10.6		10.9		10.9		10.9		10.9		10.9		10.9		11.0
2	10.8		11.2		11.2		11.2		11.2		11.2		11.2		11.2
3	11.8		12.0		12.1		11.9		12.0		11.9		12.0		12.0
4	12.6		12.8		12.8		12.8		12.8		12.8		12.8		12.7
5	13.2		13.2		13.2		13.2		13.1		13.2		13.1		13.1
6	13.6		13.4		13.4		13.4		13.3		13.4		13.3		13.3
7	13.4		13.3		13.3		13.3		13.2		13.3		13.2		13.2
8	12.9		13.0		13.0		13.0		12.9		13.0		12.9		12.9
9	12.1		12.3		12.3		12.3		12.4		12.3		12.3		12.3
10	11.7		11.7		11.6		11.6		11.6		11.7		11.8		11.8
11	10.7		10.9		10.9		11.0		11.0		11.0		11.0		11.0
12	10.5		10.7		10.7		10.8		10.8		10.8		10.9		10.9

（資料來源：由臺灣省氣象局『天文日曆』平均）



本方法由其立論根據可知計算所得之數值，與其他方法所得之數值未盡相符。因為本方法計算所得者，係為作物蒸發散之最大限。

該氏之假定，如以一般之實際農耕情況而言，在作物種植初期，並不存在如該氏所假定之作物生長狀況，而在成熟期通常均予限制水分之供給，以促進作物生理枯渴之必要。至營養生長期，各種作物亦基於經驗，以一定之栽植方法栽培，並非任其自由之最大限生長繁殖狀態，此點亦與實際情形不同。但對於水源地帶繁茂旺盛之林相，或較合適。

#### 四) Penman 法：

本方法乃假定：「土壤如保持濕潤狀態，而地表有完全覆蓋之情形下，其蒸發散作用，悉由環境條件所調節，與植物之性質質量及土壤之型態無關皆為相同，此種情形時，其蒸發散量可用氣象資料計算而得」。

彼根據上述之立論，並在英國 Rothamsted 試驗研究結果，依熱收支理論演算，發表下列之公式，並認為蒸發散比（蒸發散量／自由水面蒸發量）在各季節雖然不同。但常小於 1，且認為蒸散及蒸發之大小，均由於太陽之放射（即太陽之輻射）與地表放射差之熱量大小而定。

$$H = R_A(1-r)(0.18 + 0.55 \frac{n}{N}) - \sigma Ta^4 \cdot a \cdot$$

$$(0.56 - 0.092\sqrt{ed})(0.1 + 0.9 \frac{n}{N}) \dots\dots(7)$$

$$E_0 = 0.35(ea - ed)(1 - 0.0098u) \dots\dots(8)$$

$$Et = HT + 0.27E_0T + 0.27 \dots\dots(9)$$

H：於地球表面一日中所損失之熱量 (mm H<sub>2</sub>O/日)

R<sub>A</sub>：大氣圈外放射量(mmH<sub>2</sub>O/日)(圖11)

r：地球表面之反射率。

n：日照時數。

N：可照時數。

σ：2.01×10<sup>-9</sup>(mm/日)

σTa<sup>4</sup>：可由表 6 及圖10查出 (mmH<sub>2</sub>O/日)

ed：空氣中實際蒸氣壓 (mmHg) ed = ea × 平均濕度%)。

ea：平均氣溫之飽和蒸氣壓(mmHg)(圖8)

E<sub>0</sub>：自由水面之日蒸發量 ((mm/日)

U：地表 2 公尺高之平均風速 (英里/日)

Et：日蒸發散量 (mm/日)

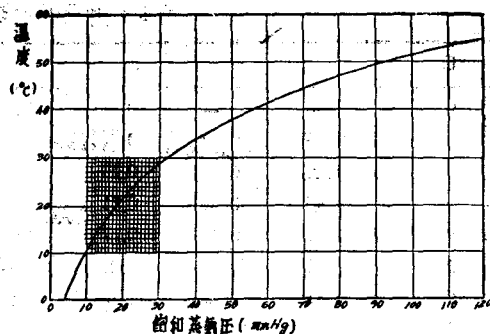


圖 8 氣溫與飽和蒸氣壓之關係

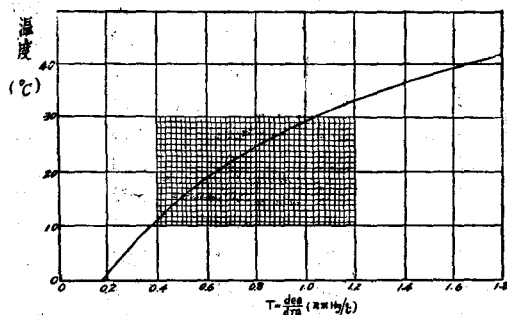


圖 9 氣溫與飽和蒸氣壓變化之比率

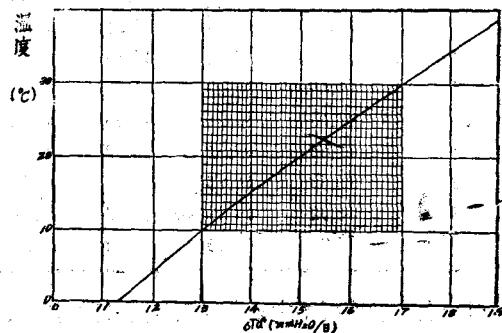


圖10 σTa<sup>4</sup> 值 (以上三圖均鈴木原圖)

T : dea/dTa : de 為絕對氣溫 Ta 之飽和蒸氣壓 (圖 9)

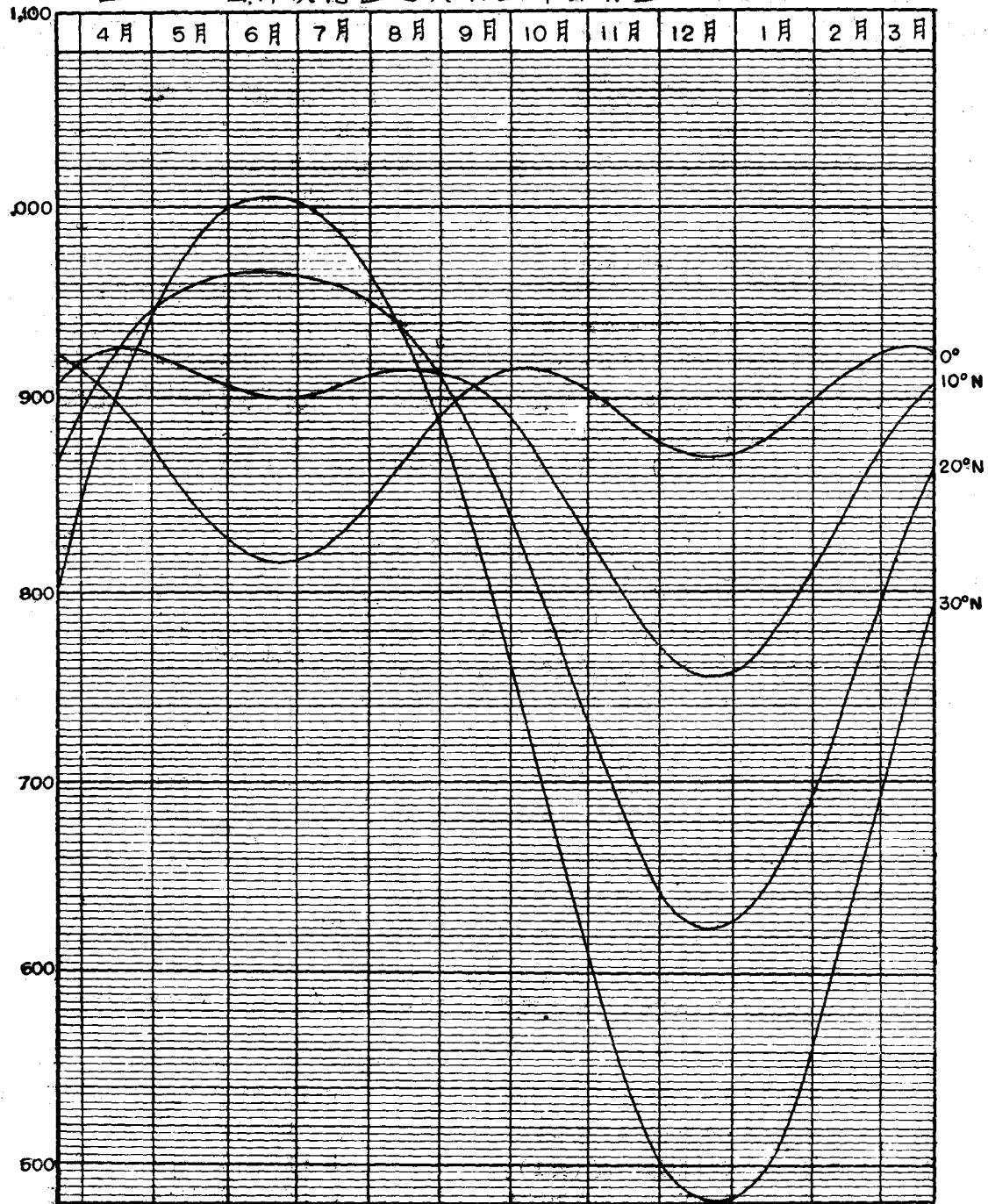
本方法之計算頗為繁雜，雖然其中之幾項已有圖表可查，但仍感頗為費力。

對於本方法，即有頗多議論，茲摘列如下：

①據世界各地區研究者之試驗研究，認為蒸發散比並不常小於 1，臺灣與日本之很多實例，皆常超過 1 者。

②雖然入射之太陽放射與作物之種類無關，然而所反射之短波長放射，却因作物顏色而異之反射能不無關係。

圖11 低緯度地區之大氣圈外日射量 (CAL/CM<sup>2</sup>)



⑩土壤中所吸收之熱量，與地表上作物之絕緣性有其關連，而被作物完全覆蓋地域之地表，因作物之高矮，土壤所吸收之熱量當屬不同，作物高矮對氣層渦流亦具有莫大之影響，而氣層渦流對太陽放射在空

氣中被吸收之熱或潛熱具有影響。

⑪ Oliver 法：

Oliver 氏之方法亦係引用熱收支原理，乃以緯度及太陽放射之循環因子，濕球降水量與世界各地

表 6：各種溫度之  $\sigma Ta^4$  值

溫度 (°F)	$\sigma Ta^4$ (mmH <sub>2</sub> O/日)	溫度 (°F)	$\sigma Ta^4$ (mmH <sub>2</sub> O/日)
35	11.48	70	15.10
40	11.96	75	15.65
45	12.45	80	16.25
50	12.94	85	16.85
55	13.45	90	17.46
60	13.96	95	18.10
65	14.52	100	18.80

(資料來源：參考文獻1)

之氣象資料計算各月份蒸發量，而獲得與蒸發計蒸發量相似之結果，其後並根據此等處理之手續，再試以計算作物蒸發散量，並將此結果與 Penman 所求之蒸發散量相比，亦得頗為近似之結果，（但在臺灣之試算結果即相差甚大，詳如後之討論），而發表下列之簡單公式：

表 7：各緯度之月別耕地需水量特性常數

( $W\phi = L_0/L^2$ )

月	北 緯 各 度 之 $W\phi$ 值											
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
1	0.64	0.61	0.56	0.52	0.47	0.42	0.38	0.32	0.26	0.21	0.16	0.11
2	0.67	0.66	0.64	0.60	0.56	0.50	0.46	0.42	0.37	0.32	0.27	0.22
3	0.47	0.73	0.71	0.70	0.67	0.64	0.62	0.60	0.56	0.52	0.49	0.46
4	0.72	0.74	0.74	0.75	0.75	0.75	0.75	0.73	0.73	0.73	0.72	0.73
5	0.64	0.69	0.73	0.74	0.77	0.79	0.80	0.83	0.83	0.84	0.87	0.91
6	0.61	0.65	0.70	0.74	0.76	0.79	0.83	0.83	0.86	0.89	0.91	0.96
7	0.62	0.67	0.70	0.74	0.76	0.79	0.82	0.83	0.85	0.86	0.89	0.95
8	0.69	0.71	0.72	0.72	0.73	0.72	0.73	0.70	0.71	0.71	0.70	0.71
9	0.73	0.73	0.74	0.73	0.72	0.70	0.68	0.67	0.66	0.63	0.60	0.61
10	0.72	0.69	0.66	0.64	0.62	0.60	0.54	0.49	0.46	0.41	0.37	0.33
11	0.66	0.61	0.58	0.54	0.50	0.45	0.39	0.34	0.29	0.24	0.19	0.14
12	0.61	0.57	0.53	0.47	0.43	0.37	0.32	0.27	0.21	0.17	0.11	0.07

(資料來源：參考文獻1)

(內)用蒸發計蒸發量推求方法：

如前述蒸發計蒸發量係諸項氣象要素之綜合指標，經數位學者試驗研究結果，在諸項氣象要素中，仍以蒸發計蒸發量與蒸發散量相關係數為最高（表 1），因此，用蒸發計蒸發量與實驗所得之各種作物蒸發散比，推求蒸發散量，當屬適宜，若在已有蒸發計蒸發量記錄之地區，可據以推算，如無該項記錄之地區僅測定蒸發計蒸發量，亦可據以推算蒸發散量，方法至為簡便。利用此種比率推算之公式形態，一般有如下列兩種方式：其一為：

$Cu\phi = C \cdot L_0/L^2$  ..... (10)

$= C(W\phi)$  ..... (11)

C：任何月份之平均濕球降下量（°C）

$W\phi = L/L^2$  即任何月份之放射及緯度之循環因子（需水量特性常數表 7）

L：R/Rv       $L_0$ ：L之全年平均值。

R：由太陽放射之總量。

Rv：Rsinh：太陽放射量之垂直組成。

h：太陽高度即地平線上之角距離。

$Cu\phi$ ：在緯度 $\phi$ 之耕地蒸發散量（mm/日）。

此方法之公式及計算手續至為簡單，惟如該式所示係以濕球降下量乘以  $L_0/L^2$  而求蒸發散量，但缺少理論上之說明。而僅以世界各地 39 地區之灌溉記錄，作詳細之檢討後，將其實際灌溉量與用本式所求結果，並與日度法，Penman 法之計算比較結果，與實際灌溉記錄較為一致，但其灌溉記錄，究竟是否屬最適當之量亦不得而知。

$Et = C \cdot E$  ..... (12)

Et：蒸發散量（mm/日, mm/月 mm/期均可）

E：蒸發計蒸發量（單位同前）。

C：由實驗所得之各種作物蒸發散比。

其二為：

$Et = C_0 \cdot E + a$  ..... (13)

Et、E 同前

$C_0, a$ ：由實驗所得各種作物之常數。

應用此方法時，應注意該公式所指蒸發計蒸發量

係由何種型式(型態及大小)之蒸發計而來,以及蒸發散比之來源。因蒸發計蒸發量,依其使用之蒸發計型式,大小及設置場所等之不同而異,若使用之記錄與公式所指之情形不同,即應再用適當之係數加以修

正。至蒸發散比,乃具有地域性及時期性,如應用區域之地域條件及耕作時期與公式來源相差鉅大時。即不宜應用,應設法另行實驗或用其他方法推求之。茲將臺灣及日本各地實測之係數舉列於表8、9、及12。

表8:臺灣各地之蒸發散比測驗結果

作物別	期別		春 作		夏 作		秋 作		冬 作	
	C及生育期間	地名	C	生育期間	C	生育期間	C	生育期間	C	生育期間
花生	彰 岡 豐 學 瑞	化	0.348	2.28~7.1						
		山	0.654	2.11~6.1						
		田					0.678	7.21~11.9		
		甲 穗	0.792 0.679	2.27~6.5 2.10~6.17			0.500	7.19~11.2		
玉米	彰 岡 瑞	化	0.395	2.28~6.15						
		山 穗	0.619	1.30~5.14			1.23	9.1~12.18		
大豆	彰 岡 豐 學 瑞	化	0.376	2.28~6.8	0.296	7.10~9.15				
		山			0.987	6.21~10.1	0.716	10.10~1.21		
		田			0.73	7.16~10.5				
		甲 穗			0.870	6.24~10.2				
甘藷	彰 岡 豐 瑞	化			0.281	7.11~10.26	0.353	10.31~2.15		
		山 穗	1.32	2.14~7.16			0.799	9.12~2.8	2.12	11.10~5.21
			1.353					1.353	10.29~3.25	
瓜子 瓜 油 菜 高 粱 花 豆 芝 麻 碗 豆	彰 岡 豐 瑞	化			0.274	6.11~8.29				
		"					0.359	10.31~2.23		
		山	0.621	2.11~5.24					1.630	10.30~2.5
		田 穗	0.778	4.2~7.5					1.125	11.2~2.16

(資料來源:各地旱作灌溉推行站試驗報告)

C:蒸發散比。

Et=C·E E:生育期間總蒸發量(大型)mm.

Et:生育期間總蒸發散量mm.

表9:日本各地蒸發散量迴歸式之一例

Et:蒸發散量 E:小型蒸發計蒸發量

作物	地 點	期 間	迴 歸 式	備 註
首 早 玉 芋 葡 牧	愛知縣武豐	5~10月	Et=1.022E+0.404	東海近畿農試場
	"	6~9月	1.096E+1.201	
	"	5~8月	1.098E+0.21	
	"	5~9月	1.188E+0.12	
草	三重縣上野市	5~10月	0.829E+1.14	Red clover
	北海道		2.041E+0.1	

(資料來源:參考文獻2)

由該數表可見，同一作物在不同地區，同一地區之不同作物，同一作物在不同時期，均有相當之差異，且同一作物同一期作之月間變化亦相當大（表12），即隨作物之生長而異，因此，應用時應加以慎密之檢討。

至日本測出之係數，概大於臺灣，此種原因，可能自然環境及栽培方法等不同外，日本係使用徑20cm之小型蒸發計，臺灣係用徑1.2m之大型蒸發計，田間保持之水分日本亦高於臺灣，測驗方法亦不同，日本乃多用 Chamber 法，而臺灣即用土壤水分追跡法，在田間施測者，蓋因土壤水分追跡法，容

易受當時之地下水分補給量影響，而測出之結果常較實際消耗水量為少等等條件不同所致。又臺灣各推行站之數值係僅一期作之初步數字，當有待日後之資料累積修正或予補充。

## 六、用各種方法推算結果之比較檢討

茲將上述五種以公式用氣象資料推求之方法，引用臺灣平原地區之下列九處測候所歷年氣象資料平均值推算各地各月蒸發散量，列於表11，再就各地推行站實測結果試列於隣近測候所，並繪示於圖12，以資比較。日度法之係數係採用0.00039，Blaney-Criddle 法之作物係數K乃暫用1.0。

表10：蒸發散量推算地點及氣象資料統計年份

地 點 (測 候 所)	位 置				標 高 m	統 計 年 份	
	北	緯	東	經		年 份	年 數
宜 蘭	24°	46'	121°	45'	7.4	1936~1964	29
臺 北	25	02	121	31	8.0	1897~1964	68
新 竹	24	48	120	58	32.8	1938~1964	27
臺 中	24	09	120	41	83.8	1897~1964	68
臺 南	23	00	120	13	12.7	1897~1964	68
高 雄	22	37	120	16	29.1	1901~1964	64
恒 春	22	00	120	45	22.3	1897~1964	68
花 蓮	23	58	121	37	17.6	1910~1964	55
臺 東	22	45	121	09	8.9	1901~1964	64

由其推算結果加以比較檢討，可摘述如下：

①各站每月均以日度法及 Blaney-Criddle 法最高，趨勢亦相似。次為 Thornthwaite 及 Penman 兩法，惟在夏秋季 Thornthwaite 法乃高於 Penman 法，春冬季即反之。以上四種方法除 Penman 法在高雄、恒春兩站以五月最高外，餘均以七月為最高。

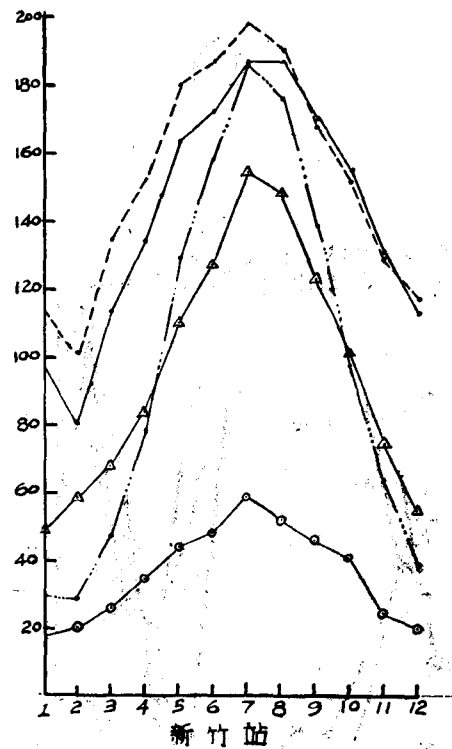
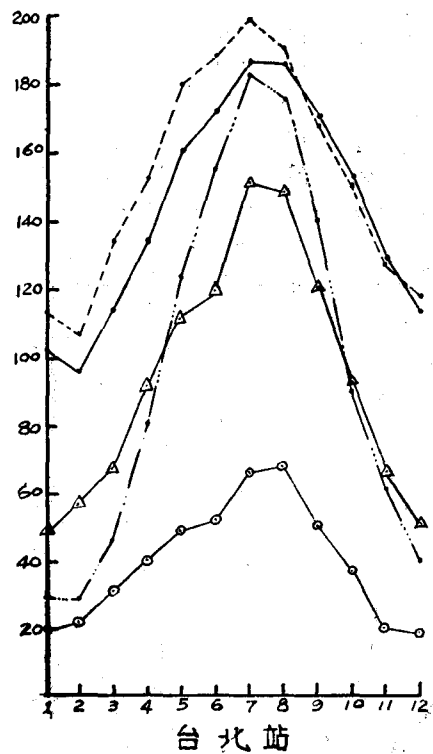
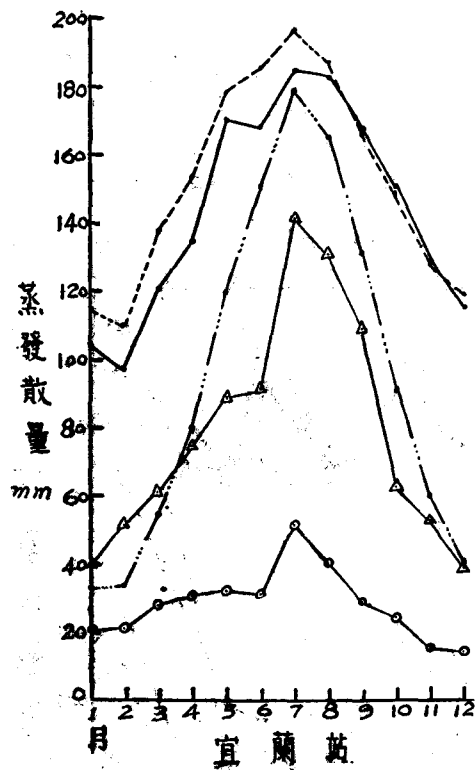
②Oliver 法即顯得極低，其趨勢亦與前列四種相異，尤其是臺中以南各站月間之差異甚少。

③各地旱作灌溉推行站實測結果與該五種方法，就隣近測候所比較結果，除小數較為接近外，無論在量或趨勢均有相當之差異，且實測值大都小於前四種方法之推算值。雖然所用於推算之氣象資料非推行站之當年資料，而係隣近測候所之歷年平均值，但其差異亦不致如此之大。當然實測之作物均係短期作物，在種植初期及生育後期成熟階段之生理枯竭亦為減少蒸散量之原因，以及如前所述，實測值因係在田間用土

壤水分追跡法測定，受地下補給量之影響而實測值較實際蒸發散量為少，亦可能為其因之一，但實情如何，當有待日後就廣汎之實測值檢討，始得明瞭。

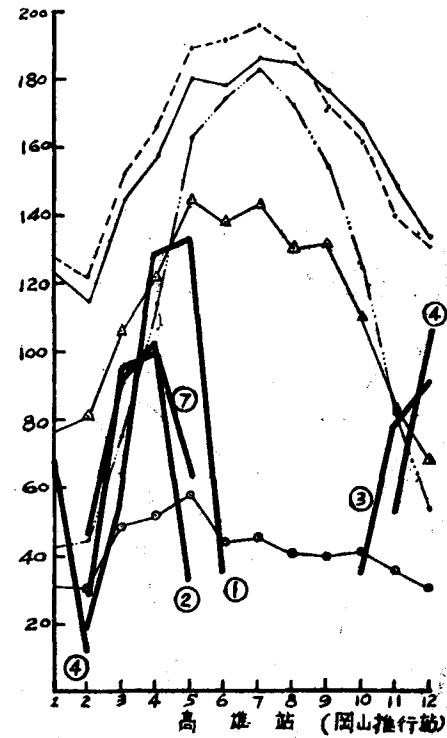
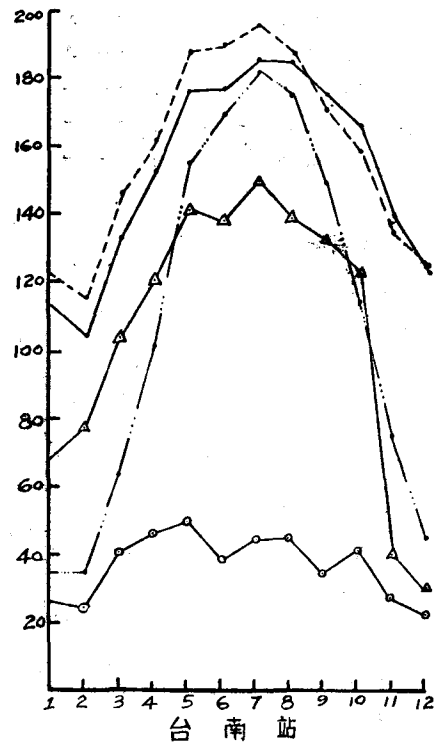
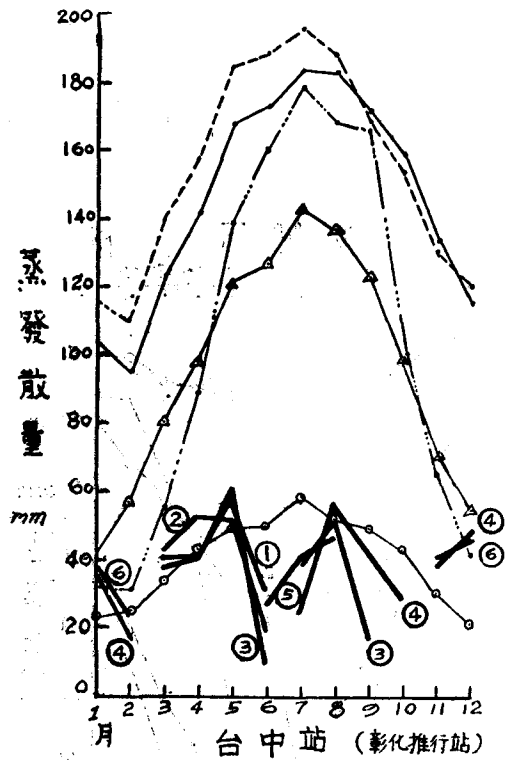
④Thornthwaite 之蒸發散位，較用實際灌溉水量為基礎之日度法或 Blaney-Criddle 法為低，以作物實際栽培情形而言，即不應有此現象。若以 Thornthwaite 法為基準，即日度法或 Blaney 法似嫌過大，惟用於推算 Blaney-Criddle 法之作物係數 K 暫假定為 1.0，而在美國西部之一般作物，除稻外大都在 1.0 以下（表2），故僅以此比較，或令人覺得過大。

⑤日度法之係數或 Blaney-Criddle 法之作物係數，若以臺灣之作物為對象時，究竟過大與否，即須廣汎施行試驗，由各角度檢討各作物之最適需水量，始可斷定。本推算例暫用之係數，係以栽培環境完全不同之美國西部灌溉實績為基礎之數字，將其引用於臺灣，是否能得到適當合理之數值，實為疑問。



- Day-degree method
- - - Blaney-Criddle method
- · - Thornthwaite method
- △-△ Penman method
- Olivier method

圖12 用各種方法推算蒸發散量結果之比較(-)

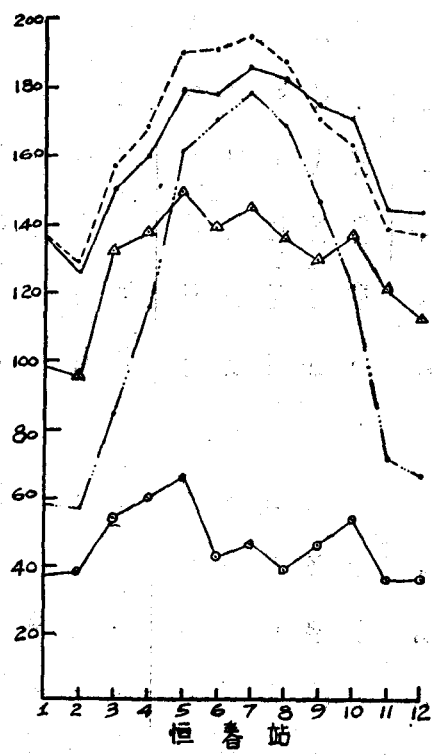
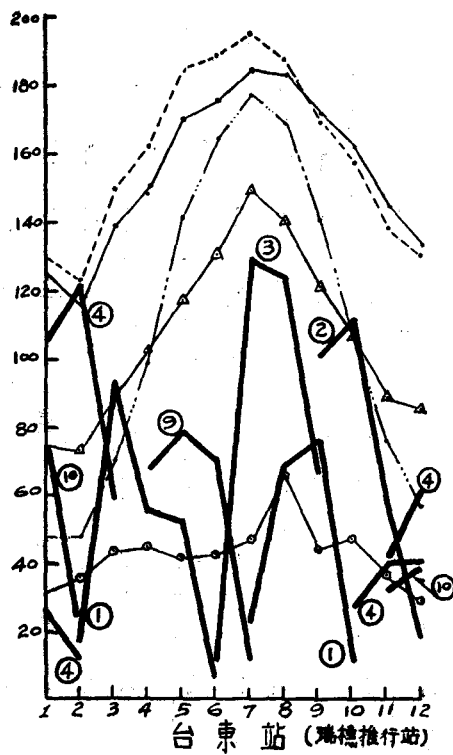
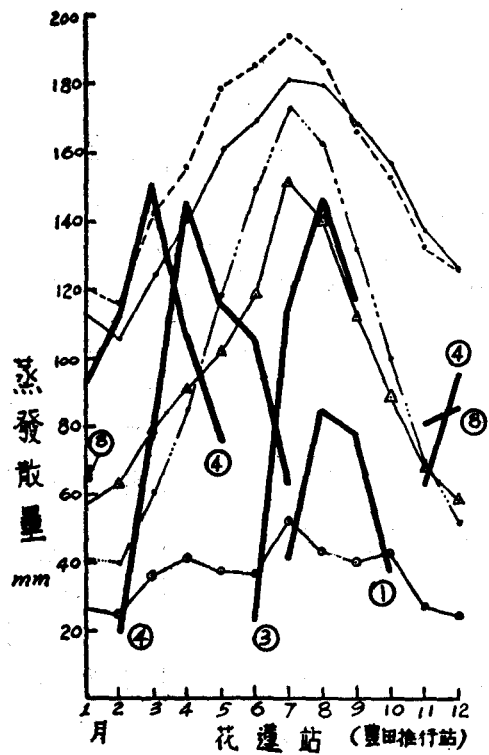


- Day-degree method
- - - Blaney-Criddle method
- · - · - Thornthwaite method
- ▲ Penman method
- Olivier method

粗線係各地旱作灌溉推行站之實測結果

- |       |      |
|-------|------|
| ① 花生  | ⑥ 油菜 |
| ② 玉米  | ⑦ 高粱 |
| ③ 大豆  | ⑧ 花豆 |
| ④ 甘藷  | ⑨ 芝麻 |
| ⑤ 瓜子瓜 | ⑩ 豌豆 |

圖12 用各種方法推算蒸發散量結果之比較(二)



粗線係各地旱作灌溉推行站之實測結果

- |       |      |                               |
|-------|------|-------------------------------|
| ① 花生  | ⑥ 油菜 | — Day-degree method           |
| ② 玉米  | ⑦ 高粱 | - - - Blaney-Criddle method   |
| ③ 大豆  | ⑧ 花豆 | - · - · - Thornthwaite method |
| ④ 甘藷  | ⑨ 芝麻 | ▲ Panman method               |
| ⑤ 瓜子瓜 | ⑩ 豌豆 | ○ Olivier method              |

圖12 用各種方法推算蒸發散量結果之比較(日)



表11：用各種方法推算蒸發散量結果之比較表

單位：mm

站名	方法或作物	1月	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計
宜 站	Day-degree	104	97	121	135	171	168	185	183	168	150	129	115	1,726
	Blaney-Criddle	114	110	138	152	177	185	195	187	166	149	128	118	1,819
	Thornthwaite	33	33	54	80	120	150	179	166	132	91	60	40	1,138
	Penman	40	52	61	76	89	91	142	132	109	62	53	38	945
	Olivier	20	22	28	32	32	31	52	41	30	25	15	14	342
臺 北 站	Day-degree	102	96	114	134	161	172	187	186	170	153	129	113	1,717
	Blaney-Criddle	113	107	133	152	179	188	200	179	168	151	128	117	1,815
	Thornthwaite	30	29	46	80	123	155	184	176	139	86	61	40	1,149
	Penman	49	51	67	92	112	119	151	148	121	93	66	51	1,120
	Olivier	20	21	32	41	49	52	66	63	50	37	20	20	471
新 竹 站	Day-degree	98	80	114	134	163	172	187	187	170	155	131	112	1,703
	Blaney-Criddle	114	101	134	152	180	187	197	190	168	152	129	117	1,821
	Thornthwaite	30	29	47	78	130	158	186	176	139	98	64	39	1,174
	Penman	49	58	68	84	110	127	155	149	123	109	74	56	1,162
	Olivier	19	20	26	34	45	48	60	52	47	42	25	20	438
臺 中 站	Day-degree	104	95	123	142	168	173	184	183	171	159	133	115	1,750
	Blaney-Criddle	116	110	139	156	184	188	196	184	168	154	130	120	1,845
	Thornthwaite	32	31	55	88	138	160	179	169	167	103	65	41	1,228
	Penman	53	59	80	98	122	127	143	137	124	100	70	55	1,168
	Olivier	24	24	34	43	50	50	60	52	49	43	30	21	480
彰 化 推 行 站	①花生			40	42	58	31							
	②玉米			42	54	52	20							
	③大豆			38	41	60	10	39	52	18				
	④甘藷	37	17					25	54	42	28	39	47	
	⑤瓜子瓜						17	40	46					
	⑥油菜	39	25									41	46	
臺 南 站	Day-degree	113	104	133	152	177	177	186	185	176	166	140	123	1,832
	Blaney-Criddle	122	115	146	162	188	189	197	188	171	158	135	125	1,896
	Thornthwaite	35	36	64	102	156	170	182	175	150	115	75	45	1,305
	Penman	70	79	104	122	143	140	150	140	133	124	85	69	1,359
	Olivier	27	25	42	47	51	39	45	46	35	42	28	24	451

高 雄 站	Day-degree	123	115	144	157	180	178	186	185	177	167	149	134	1,895
	Blaney-Criddle	128	122	151	166	189	192	196	188	171	161	140	131	1,936
	Thorntwaite	43	44	75	111	164	175	184	173	154	123	82	54	1,382
	Penman	74	81	107	122	144	138	143	130	128	110	83	68	1,323
	Olivier	32	36	49	52	58	44	46	41	41	42	36	31	508
岡 山 推 行 站	①花生		18	55	128	133	35							
	②玉米		45	93	103	33								
	③大豆	30									34	78	92	
	④甘藷	71	14									53	103	
	⑦高粱		28	95	100	63								
花 蓮 站	Day-degree	114	105	124	140	161	169	181	180	168	157	137	127	1,763
	Blaney-Criddle	121	116	142	155	178	185	194	186	166	153	132	126	1,854
	Thorntwaite	40	39	60	85	118	150	173	162	132	100	69	51	1,179
	Penman	59	57	79	86	103	119	152	140	112	88	68	58	1,121
	Olivier	28	26	36	41	37	36	52	43	41	43	28	25	436
豐 田 推 行 站	①花生							41	85	78	38			
	③大豆						22	114	145	117				
	④甘藷 53年	91	111	150	106	75						63	96	
	④甘藷 54年		20	77	146	114	104	64						
	⑤花豆	62										80	85	
臺 東 站	Day-degree	125	115	139	150	170	175	184	183	171	162	144	133	1,851
	Blaney-Criddle	129	122	149	161	184	188	194	187	168	157	138	130	1,907
	Thorntwaite	47	47	69	98	141	164	177	168	140	107	76	56	1,290
	Penman	74	73	90	102	117	130	149	140	121	107	88	86	1,277
	Olivier	31	36	44	45	41	43	47	65	44	47	37	30	510
瑞 穗 推 行 站	①花生		162	94	56	52	6	23	69	76	11			
	②玉米									100	111	59	18	
	③大豆						10	129	124	67				
	④甘藷 53年	104	121	59								40	60	
	④甘藷 54年	25	11								27	40	40	
	⑤芝麻				67	79	70	12						
	⑩豌豆	81	21									34	39	
恒 春 站	Day-degree	135	124	149	158	178	176	184	181	173	169	142	142	1,911
	Blaney-Criddle	135	127	154	166	187	189	193	186	169	161	136	135	1,938
	Thorntwaite	57	56	83	115	160	169	177	167	145	120	71	65	1,385
	Penman	97	94	131	136	148	138	144	134	128	136	119	111	1,516
	Olivier	36	38	53	59	65	42	45	38	45	53	35	36	545

附註：各推行站所列之數值，係在田間用土壤水分追跡法實測者。

表12：各推行站之各種作物蒸發散比試驗結果

作 別	月 別	彰化推行站				岡山推行站				豐田推行站				瑞穗推行站			
		日數	ET	E	C	日數	ET	E	C	日數	ET	E	C	日數	ET	E	C
春 作 花 生	2					18	18.0	74.8	0.241					18	16.2	31.1	0.521
	3	31	40.4	119.6	0.338	31	55.0	133.5	0.487					31	93.6	66.5	1.410
	4	30	41.5	121.4	0.341	30	128.5	137.4	0.935					30	55.9	82.5	0.678
	5	31	58.0	122.5	0.493	31	133.1	160.0	0.832					31	52.1	97.2	0.536
	6	30	31.0	127.5	0.243	12	35.0	59.5	0.588					7	6.0	52.0	0.115
	全期 日平均	122	170.9	491.0	0.348	122	369.6	565.2	0.654					117	223.8	329.3	0.679
			1.40	4.02										1.91	2.81		
秋 作 花 生	8									30	59.8	155.1	0.385				
	9									30	82.6	138.6	0.597				
	10									27	36.4	88.4	0.412				
	全期 日平均									87	178.8	382.1	0.468				
花 生	7									10	41.5	39.8	1.04	13	22.6	55.7	0.406
	8									31	110.8	147.0	0.754	31	68.5	141.0	0.486
	9									30	72.4	89.7	0.806	30	75.5	84.4	0.895
	10									31	39.8	72.6	0.547	31	11.2	74.7	0.163
	全期 日平均									102	264.5	349.1	0.758	105	177.8	355.8	0.500
														1.69	3.39		
春 作 玉 米	2					28	45.3	107.5	0.421								
	3	31	42.2	119.6	0.352	31	93.4	133.5	0.700								
	4	30	53.7	121.4	0.442	30	102.6	137.4	0.746								
	5	13	51.9	122.5	0.415	14	32.6	64.0	0.510								
	6	15	20.4	62.8	0.325												
	全期 日平均	107	168.2	426.3	0.395	103	273.9	442.4	0.619								
			1.57	3.98			2.66	4.30									
秋 作 玉 米	9													30	100.3	102.3	0.98
	10													31	110.8	66.2	1.67
	11													30	59.2	47.0	1.26
	12													18	17.9	19.2	0.93
	全期 日平均													109	288.2	234.7	1.23
														2.64	2.15		
春 作 大 豆	3	31	38.0	119.6	0.317												
	4	30	40.5	121.4	0.333												
	5	31	60.2	122.5	0.492												
	6	8	9.9	31.0	0.319												
	全期 日平均	100	148.6	394.5	0.376												
			1.49	3.95													

夏 作	6										7	9.81	23.2	0.423			
	7	22	39.0	114.4	0.340					26	113.5	158.4	0.716	31	129.0	129.6	0.995
	8	31	52.0	163.6	0.318					31	182.5	157.0	1.164	31	123.5	141.0	0.877
	9	15	17.5	88.3	0.198					29	152.3	138.6	1.099	30	66.5	84.4	0.789
	全期 日平均	68	108.5	366.3	0.296					86	448.3	455.0	0.987	99	328.1	378.2	0.870
大 豆	6									9	22.4	39.3	0.57				
	7									31	114.5	157.1	0.72				
	8									31	106.8	146.2	0.73				
	9									30	82.4	89.5	0.92				
	全期 日平均									101	356.1	432.1	0.83				
秋 作 大 豆	10					22	34.3	99.1	0.347								
	11					30	77.9	93.3	0.835								
	12					31	91.5	93.4	0.980								
	1					21	30.4	41.2	0.737								
	全期 日平均					104	234.1	327.0	0.716								
春 作 甘 藷	2									15	19.7	18.9	1.04				
	3									31	77.1	50.1	1.54				
	4									30	145.5	58.9	2.47				
	5									31	114.2	85.5	1.34				
	6									30	104.2	97.2	1.08				
	7									16	64.0	85.9	0.75				
	全期 日平均									153	524.7	396.5	1.32				
夏 作 甘 薯	7	21	25.1	108.3	0.232												
	8	31	54.3	163.6	0.332												
	9	30	41.8	148.1	0.282												
	10	26	28.4	112.7	0.251												
	全期 日平均	108	149.6	532.7	0.281												
秋 作 甘 藷	11	30	38.6	132.6	0.291	30	53.0	93.2	0.569								
	12	31	47.0	138.0	0.340	31	102.9	93.4	1.100								
	1	31	37.1	84.7	0.437	31	70.7	88.3	0.801								
	2	15	16.6	39.7	0.418	8	13.9	26.0	0.535								
	全期 日平均	107	139.3	395.0	0.353	100	240.5	300.9	0.799								

冬 作	11									21	62.6	40.0	1.57	30	40.0	44.8	0.893
	12									31	96.0	44.1	2.18	31	59.9	40.9	1.453
	1									31	90.5	42.4	2.14	31	104.0	47.3	2.200
	2									28	111.1	43.7	2.54	28	120.8	50.0	2.420
	3									31	150.4	50.1	3.00	25	59.3	53.1	1.117
	4									30	105.9	58.9	1.80				
甘 薯	5									21	75.0	47.3	1.59				
	全期 日平均									193	691.5	326.5	2.12	145	384.0	236.1	1.625
											3.58	1.69					
	10													28	26.6	72.2	0.369
	11													30	40.0	60.7	0.660
	12													31	40.4	51.2	0.790
夏 作 瓜 子 瓜	1													31	25.3	58.0	0.436
	2													13	10.6	23.5	0.452
	全期 日平均													133	142.9	265.6	0.538
秋 作 油 菜	6	21	16.9	82.8	0.204												
	7	31	40.2	163.6	0.246												
	8	29	46.2	131.5	0.351												
	全期 日平均	81	103.3	377.9	0.274												
			1.28	4.67													
春 作 高 粱	11	30	40.8	132.6	0.308												
	12	31	46.4	138.0	0.336												
	1	31	38.8	84.7	0.458												
	2	23	25.4	66.2	0.383												
	全期 日平均	115	151.4	421.5	0.359												
		1.32	3.67														
冬 作 花 豆	2					18	28.2	74.8	0.378								
	3					31	95.1	133.5	0.713								
	4					30	100.2	137.4	0.729								
	5					24	63.4	116.3	0.545								
	全期 日平均					103	286.9	462.0	0.621								
						2.78	4.50										
冬 作 花 豆	11									30	80.1	57.1	1.40				
	12									31	85.2	41.8	2.04				
	1									31	62.2	40.6	1.54				
	全期 日平均									92	227.5	139.5	1.63				
											2.47	1.51					

春 作 芝 麻	4											29	67.4	82.8	0.813
	5											31	79.0	97.2	0.813
	6											30	70.0	87.3	0.802
	7											5	12.0	27.2	0.440
	全期 日平均											95	228.4	294.5	0.778
													2.40	3.10	
冬 作	11											29	33.7	44.0	0.766
	12											31	38.7	42.5	0.911
	1											31	81.0	47.3	1.715
	2											16	21.2	30.8	0.687
	全期 日平均											107	174.6	164.6	1.060
													1.63	1.54	
豌 豆	11											29	49.0	41.6	1.175
	12											31	72.0	51.2	1.405
	1											31	58.1	58.0	1.001
	2											16	36.8	41.1	0.895
	全期 日平均											107	215.9	191.9	1.125
													2.02	1.79	

(資料來源：臺灣各地旱作灌溉推行站試驗報告)

⑥此種實驗式，與工學方面之實驗式不同，乃在特定條件下所實驗之結果為依據者，是以盲信其超地域性，即屬危險之事。有一報告稱：Blaney-Criddle 法，在氣溫變化較少之夏威夷 (Hawaii)，即屬不能適用。於栽培環境完全不同之臺灣，或可能發生不能僅以氣溫之函數表示需水量之基本問題，亦未可知。對於日度法之係數，又可作同樣之看法。

⑦蒸發散位之觀念，似未盡吻合實際農耕情況，除以地上部份之營養生長為主要目的之牧草外，依其基本觀念條件栽培之作物似屬甚少，生育期內之相當部份，作物並未完全蓋覆地表，而接近成熟期時，為促進生理上之乾燥狀態，乃需調節土壤水分。對於水價能成問題之地區，即須衡量用水量與收量之關係，而考慮經濟經營方面之要素。因之，由此等觀點而言，蒸發散位與最適需水量，在觀念上乃有相當之距離。為了究明其相差之程度，即須與前述 Blaney-Criddle 法作同樣廣泛之檢討，若有如此廣泛而齊全之資料時，即無需用到似 Thornthwaite 法之繁雜計算。對於 Penman 法，亦可作類似之看法。

⑧至 Oliver 法之推算結果，雖不可僅憑常識判

斷，但如此之低值，除特殊情形時外，似屬罕見。

⑨總而言之，以氣象要素推算蒸發散量之方法，在新開發區域，實屬需要，但必須留意者，在目前此數種方法均尚未達到精確決定實際灌溉需水量之精度。又從來在國外之此諸種實驗式，係基於局部地區之試驗，而欲以地域性變化多端之氣象要素為對象者，因此，不如他部門之實驗公式具有超地域性。是以應用於高溫多濕之臺灣時，對於其公式演變之來歷及性格，需要作慎重之檢討。

⑩由上述各點綜觀之，目前在臺灣似利用蒸發計蒸發量推算之方法，較簡便而實用，惟臺灣各地蒸發散比之實驗資料，仍甚有限，實有待有關方面之努力補充。

茲就目前臺灣實驗所得之資料加以統計分析結果，在同一時期同類作物，非單蒸發散比有差異，而且在生長期內各月之需要情形亦各有差異 (表12)。由此得知，作物蒸發散量與栽培時期，生育情形：栽培地區等均有關連。因此將臺灣各地所得之資料予以引用於各月時，實有將其資料中所含有之濃厚地域性與微域氣候性等因子消去，方能廣泛引用至其他地區。

基于上述，將臺灣各地推行站資料依各作物生育期內各月之蒸發散量，分析生育期內各月之分配率列如13表，至于作物生育期內全期蒸發散比，已列於表8。

表13：期別作物蒸發散比分配率

作物別	期作別	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月
花生	春	0.09	0.17	0.37	0.21	0.16		
	秋	0.17	0.23	0.40	0.20			
玉米	春	0.20	0.28	0.31	0.21			
	秋	0.20	0.35	0.26	0.19			
大豆	春	0.22	0.23	0.34	0.21			
	夏	0.16	0.34	0.26	0.24			
	秋(襄)	0.12	0.29	0.34	0.25			
甘藷	春	0.13	0.19	0.30	0.16	0.13	0.09	
	夏	0.21	0.30	0.26	0.23			
	秋	0.12	0.16	0.25	0.32	0.15		
	秋(糊)	0.19	0.36	0.27	0.18			
瓜子瓜	冬	0.11	0.15	0.15	0.17	0.20	0.12	0.10
	夏	0.25	0.31	0.44				
油菜	秋	0.20	0.23	0.31	0.26			
高粱	春	0.16	0.30	0.31	0.23			
花豆	冬	0.28	0.41	0.31				
芝麻	春	0.28	0.28	0.28	0.16			
豌豆	冬	0.20	0.25	0.36	0.19			

(資料來源：由臺灣各地旱作灌溉推行站試驗報告內資料分析者)

上列二表，當使用之時，則依作物別與期作別先由表8中選出較近測站之蒸發散比，而後由表13查出生育期內分配率，則可由蒸發計蒸發量求得蒸發散量。其式如下：

$$Et = C \cdot E \dots\dots\dots(12) \text{前已列出}$$

$$C' = N \cdot C \cdot C_n \dots\dots\dots(14)$$

$$et = C' \cdot e \dots\dots\dots(15)$$

- 式中
- Et：全期總蒸發散量。(mm)
  - E：生育期內總蒸發量。(mm)
  - C：全期蒸發散比。(表8)
  - C'：期別月份蒸發散比。
  - C<sub>n</sub>：期別蒸發散比分配率(表13)
  - N：生育期間(月)
  - et：期別月份蒸發散量(mm/日)
  - e：期別月份蒸發量(mm/日)

惟上述蒸發散比係根據大型蒸發計所測得之蒸發量資料分析者，因此若使用于推算之蒸發量係屬小型蒸發計時，應再乘以校正係數校正之。

此項校正係數因時因地或有不同，且此項資料之搜集與測驗尚未達成熟之階段，是以擬就現今所有之資料予以整理，以供暫用。但此項數值，有需隨時加以測驗補充修正之必要。至于表8之數值亦然。校正係數如下表。

表14：大型與小型蒸發計蒸發量校正係數表  
(大型/小型)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
係數	0.93	0.93	0.93	0.93	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97

(資料來源：由臺灣各地旱作灌溉推行站觀測記錄分析者)

### 參 考 文 獻

1. 鈴木博彦，要水量と氣候要素，畑地灌溉計劃設計資料，No.1. 1962。
2. 日本農林省東海近畿農業試驗場栽培第二部，作物の消費水量について，1965。
3. 椎名乾治，畑地カンガイ調査計劃法，農業土木學會誌，Vo. 33, No.1~No.7. 1965。
4. 中川昭一郎，水田用水量調査計劃法，農業土木學會誌，Vo.34. No. 1.2.6. 1966。
5. 玉井虎太郎，畑作用水法の合理化に關する研究，日本愛媛大學紀要第六部農學第2卷2號 1956。
6. 臺灣省水利局，臺灣省旱作灌溉推行計劃，彰化推行站試驗報告，1966。
7. 同前，岡山推行站試驗報告 1966。
8. 同前，豐田推行站試驗報告 1966。
9. 同前，瑞穗推行站試驗報告 1966。
10. 張建勛等，嘉南地區及臺大旱作灌溉試驗報告1964。
11. 同前，嘉南學甲地區旱作灌溉研究試驗與示範報告 1965。
12. 同前，嘉南學甲地區旱作灌溉研究試驗報告（54年度）1966。
13. 臺灣省農林廳旱作灌溉技術小組，旱作灌溉參考文獻，1965。
14. 臺灣省氣象所，氣象資料累年報告。