

專 論

國立臺灣大學農業工程學系與農業工程學會於暑假期間聯合舉辦旱作灌溉研討會，由農工系主任張建勛教授（本會理事）主持；研討會自七月一日起至十月十六日止，共計研討八項專題，平均每兩週研討一項專題，每項專題均由專家一人主講，內容新穎精湛，極有參考價值。編者現已徵得張教授之同意，將此八項專題分載本學會出版之農工學報十一卷三期及四期，以供本會會員之參考。茲將各專題及主講人名單依主講先後順序，列如下表，以便參閱。

號序	專 題 名 稱	主 講 人	日 期
1.	作物需水量與蒸發量關係之研究	張 建 勛	七月一日
2.	以 Tension Table 控制土壤水分探求各種土壤各深度水份變化對於蒸發之影響	洪 有 才	七月十六日
3.	施灌深度與灌溉間隔之關係	張 玉 鑽	八月二日
4.	畦溝灌溉方法之研討	吳 耀 煌	八月十六日
5.	埂畦灌溉方法之研討	吳 純 宏	九月一日
6.	灌溉效率之研究	黃 金 全	九月十六日
7.	作物灌溉與品種栽培方法之關係	蘇 匡 基	十月一日
8.	有效雨量研究	秦 立 德	十月十六日

編 者 謹 白

作物需水量與蒸發量關係之研究

Studies of Consumptive Use of Crops in Correlation with Evaporation

臺大農工系教授兼主任

張 建 勛

臺大農工系研究助理

李 純 耀

臺大農工系助教

甘 俊 二

臺大農工系研究助理

曹 瑩 珠

研究作物需水量之主要目的，大致上有下列三點：

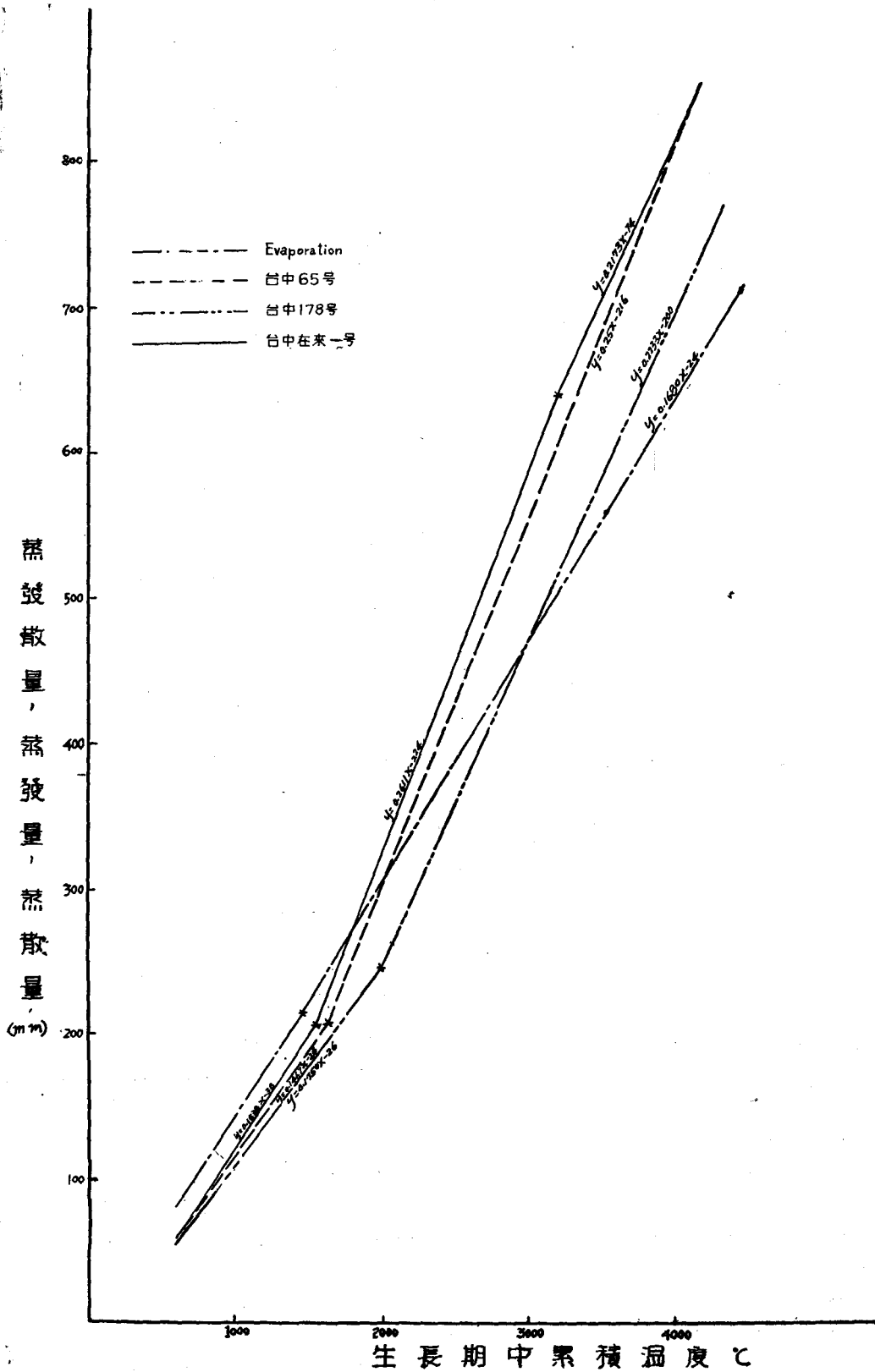
1. 作為灌溉規劃估計灌溉需水量之必要根據。
2. 設計灌溉系統時之必要參考。
3. 田間灌溉時，用為計算灌溉之適當時與量。

但研究作物需水量似無一定之方法，甚至作物需水量似乎亦無一十分確實之定義，因此更難有一定之數值。歸納過去之研究資料，則似可指出如下兩點：

1. 作物需水量因作物而不同。
2. 作物需水量受栽培環境，生育情形，氣候因素等之影響。

如上述兩點無誤，則研究作物需水量，須分別以作物在某種條件之下為對象。因作物產量之差異，表示各種因素之綜合結果，水與產量純粹之直接關係似難成立。因此作物需水量之研究，本質上缺乏純理論之基礎，而須強調其適用性，以某一實際問題為對象。例如嘉南地區之旱作灌溉須受配水之時限，亦為必須適應之條件之一，設如不考慮此點，研究結果即缺少其應用之價值。

作物需水量為作物維持正常生育的消耗之水量。但此一定義，非常籠統，可以有相當程度之差異。因此所能企求者，僅可為一約略估計，在如此設想之下



盆栽水稻需水量與累積溫度及累積蒸發量之直線關係

，產生各種不同方式以計算作物需水量，大致如下：

1. 流入及流出計算法 (Inflow and Outflow Method)
2. 地下水貯存測量法 (Measurement of Ground Water Storage)
3. 氣候因素相關計算法 (Correlation with Climatological Data)
4. 滲漏計研究計算法 (Lysimeter study)
5. 土壤水分控制法 (Moisture Depletion Method)
6. 累積法 (Integration Method)

以上六種方式，過去在臺灣所作之試驗，主要為第三至第五項。過去四年在臺大與學甲試驗區所作之試驗結果，曾彙集以 Blaney & Criddle 方法計算各種作物需水量之係數 k 。此項試驗結果詳載於嘉南水利會學甲試驗區民國54年1月之報告。報告上所列之數值，大致可看出：

1. k 值之月份差異較季節 K 值差異幅度為大。
2. k 值在南部較北部大。
3. 溫室較田區大。

此外當然栽培時期，不同土壤，不同品種等均可產生不同之 k 值，但頗難加以判斷。

此項資料為在四年中之試驗結果，共有52項。測定土壤水分，在溫室用秤重，在田間與滲透計則為採樣烘乾，但採土在 25cm 深，而假定根系深度以計算消耗水量，可能不甚理想，因生育期中，根系之發展，土壤水分之消耗似不應根據一假定之深度計算，因月份 k 值之誤差將較全季節 K 之誤差為大。Blaney & Criddle 公式之計算結果請參考上述報告。

由於用 Blaney & Criddle 公式用於計算任一灌溉間距應灌之水量頗感不便，Blaney & Criddle 公式較適用於灌溉規劃而非田間施灌。故擬另作分析，試用累積溫度與累積蒸發量期能導出公式關係。

臺大溫室曾作三品種水稻旱作盆栽試驗。發現作物需水量與蒸發量在不同生育期中之累積數，均接近直線之形狀。(如附圖) 此項關係可導出如下之方程式：

1. 蒸發量與溫度間

全生育期：

$$E = 0.1680T - 24 \quad [E = \text{累積蒸發量}, T = \text{累積溫度}]$$

2. 作物用水量與溫度間

a. 臺中在來1號

初期 (累積溫度 $0 \sim 1,600^\circ\text{C}$)

$$C = 0.1538T - 38$$

中期 (累積溫度 $1,600 \sim 3,200^\circ\text{C}$)

$$C = 0.2611T - 224$$

末期 (累積溫度 $3,200^\circ\text{C}$ 以上)

$$C = 0.2173T - 74$$

b. 臺中65號

初期 (累積溫度 $0 \sim 1,600^\circ\text{C}$)

$$C = 0.1467T - 26$$

中期 (累積溫度 $1,600 \sim 3,200^\circ\text{C}$)

$$C = 0.2500T - 216$$

末期 (累積溫度 $3,200^\circ\text{C}$ 以上)

$$C = 0.2500T - 216$$

c. 臺中178號

初期 (累積溫度 $0 \sim 2,000^\circ\text{C}$)

$$C = 0.1750T - 26$$

中期 (累積溫度 $2,000 \sim 3,200^\circ\text{C}$)

$$C = 0.2233T - 200$$

末期 (累積溫度 $3,200^\circ\text{C}$ 以上)

$$C = 0.2233T - 200$$

以上關係式為直線方程式 $C = K_1T - K_2$ [K_1, K_2 為常數] 故 $\Delta C = K_1\Delta T$

欲求一期間內之作物用水量，可由該期間內溫度累積數代入 $\Delta C = K_1\Delta T$ 求得。例如臺中在來一號生育中期 $\Delta C = 0.2611\Delta T$ ，欲求五天之作物用水量，則該五天溫度累積 121°C 代入

$$\Delta C = 0.2611 \times 121 = 31.59\text{mm}$$

3. 蒸發量與作物用水量間：

蒸發量與溫度間關係為 $E = K_1'T + K_2'$

$$\therefore T = \frac{E - K_2'}{K_1'} \quad \text{代入}$$

$$C = K_1T + K_2 \quad \text{式中}$$

$$C = K_1 \frac{E - K_2'}{K_1'} + K_2$$

$$= \frac{K_1}{K_1'} \cdot E + \left(K_2 - \frac{K_1 K_2'}{K_1'} \right)$$

$$= aE + b \quad (a, b \text{ 為常數})$$

如 $E = 0.1680T - 24$

$$C = 0.2611T - 224$$

$$\text{則 } C = \frac{0.2611}{0.1680} E - \left(224 + \frac{0.2611 \times 24}{0.1680} \right)$$

$$= 1.554E + 251.3$$

$$\Delta C = a\Delta E$$

上述之直線公式如可成立，對田間實施灌溉之估

計用水量，至為便利。設如在一灌區內，作物之種類與栽培之時期不一，但灌溉系統之配水則有期限。工作站可以根據當地之蒸發記錄估計每一田區之田間需水量，加以補給水路之損失及有效雨量之校正，可以計算給水門所需之流量與時間。

作物在不同生育階段可能有不同之用水率。如水稻可分初期、中期與末期。但繪出之每期累積用水量均接近直線形狀。而作物用水量導入蒸發累積量之關係公式，應用上更為方便。若此方法可行，則以往之試驗資料，可以計算各種作物之蒸發常數 'a' 而予以表列。每次灌溉所需水量，只須根據蒸發皿之累積量乘以 'a'，即可求得。茲將過去學甲試驗區之試驗資料彙列其計算 'a' 值。

學甲灌溉試驗區各種作物計算 a 值

作物	$\Delta C = a \cdot \Delta E$ 中之 a 值
落花生	0.5644 (T=0~1,600°C)
綠豆	0.2254 (T=0~1,350°C) 0.5942 (T=1,350°C以上)
玉米	0.4519 (T=0~490°C) 1.1954 (T=490~1,360°C) 0.7434 (T=1,360°C以上)
秋作甘藷	0.4799
示範田甘藷	0.35
玉米(水林)	0.235 (T=0~1,640°C) 0.939 (T=1,640°C以上)
秋作甘藷 (肥料試驗田)	0.6948

以上資料未甚完整，難以即下結論，但需水量與蒸發量之直接關係，可以證明此一原則應用上之便利。甘藷之 a 值由 0.35 至 0.69，表示肥料試驗田生育良好之需水量。示範田則為一般之農家栽培。作物之需水量當然不僅受氣候因素之影響，其生育情形良好者需水量較多。故作物需水量之估計，勢須有若干屬於判斷之成份。例如在有灌溉及適當栽培環境之下，甘藷之 a 值假定為 0.5 至 0.6 當不失為一保守之估計。若

資料較多，應不難定出某一地區內各種作物之適當 a 值。

討 論

由於過去之灌溉試驗結果，雨季栽培之旱作灌溉效果並不顯著，有灌溉之需要為在旱季。旱季之降雨少有流失或滲漏機會，大致上可認為有效。臺灣之旱作栽培多為旱季之短期作物，除甘蔗與甘藷生長期較長，大多數旱作生育期為四個月左右，曾經試驗之秋作與春作，其需水量與蒸發量均有如上述之直線關係。但僅代表嘉南地區之中質土壤，土層深厚而保水能力尚佳。在砂質而土層淺薄之地區，需要頻繁之灌溉，需水量可能較多，'a' 值當有差異。但砂土之頻繁灌溉，在臺灣灌溉系統之營運上，究為一難以解決之困難，必須另行檢討。上述之計算作物需水量之方法，似屬簡便可行，但仍有待於資料之補充，將可更為確實。

學甲田間灌溉需水量之計算，乃根據連續之土壤水分觀測及一假定之根系深度。此一假定根系深度為估計作物用水量之缺點。但假定根深之不同，將影響 'a' 值而不致改變作物用水量與累積溫度與累積蒸發量之直線關係。保水力佳之土壤應可保持相當時期作物消耗之水量，採用累積數將可避免短暫期間之過大差異。計算之 'a' 值，當可應用於栽培時間相同之秋作與春作。

由於臺灣灌溉系統之配水，將無可能隨時供旱作灌溉，換言之，即栽培必須配合灌溉，例如秋作花生栽培通常在八月下旬，如僅有一次之灌溉，其時期應在十月下旬至十一月上旬，即可用秋作花生之 'a' 值乘以土壤水分開始下降期間之累積蒸發量以估計其作物需水量。故應用上頗為便利。

參 考 文 獻

學甲試驗區 51~53 年灌溉試驗報告