

岡山地區旱地作物需水量之試算

The Estimation of Consumptive Use of Upland Crops in Kang-Shan Area

臺灣大學農工研究所研究生

蔡 明 華

一、環境條件

岡山地區自二仁溪以南，後勁溪以北，包括岡山、阿蓮、路竹以至大社、仁武等十三鄉鎮區一帶。現有耕地面積約一萬八千餘公頃，一向因水源缺乏，農業經營頗受限制。除糖廠蔗作以外，其餘一年僅能種植二期作物，其中後期作配合夏季降雨大致都能種植水稻，而前期作則除復興與約有 300 公頃灌區，私設抽水機灌區約有 3,600 公頃尚能種植水稻，而其餘尚有 10,000 公頃面積皆為旱田作物。

旱田主要栽培作物有甘藷、大豆、花生、芝麻、玉米及其他荳類等。特用作物則有麻類、甘蔗、及水果等均屬外銷農產品，但由於其種植時期氣候乾燥且無人工灌溉，其產量均不如理想。

岡山地區氣候屬亞熱帶型，冬季平均溫度在 16°~18°C，夏季約在 30°C 左右，作物全年都能生長，年平均降雨量約在 2,000 公厘上下，但主要集中在 5~9 月期間，10 月至翌年 4 月間之降雨量平均却不足 200 公厘，形成極為明顯之乾濕期之別。土壤多屬坵質壤土，理化性極佳，因此倘使作物得適當灌溉，則產量必有顯著之效果。也因此水資源之經濟利用，在本區成為極重要之問題。

在灌溉中，灌溉制度、灌溉方法及栽培方法為灌溉試驗研究之主要課題，而作物需水量之探求，則是先要之工作。為將來訂定灌溉標準之依據，及對水資源經濟利用問題做充分的探討，各種作物之需水量須有合理實用之估算標準。

依影響作物需水量之因子討論結果，一般而言，在氣候、地形及土壤相似之地區，其作物需水量頗為接近，故常借用某一測定地區之作物需水量來作為條件類似而未有作物需水量資料之地區之估算參考或依據。是以岡山地區估算之資料，可做為亞熱乾濕期明顯之坵質壤土農業區之參考應用。

二、試算資料

水利局在岡山旱作灌溉推行站，於民國五十三年七月起至五十五年十月，曾從事甘藷、大豆、花生、

玉米、高粱等作物之各項灌溉試驗。茲利用其有關作物需水量之測定資料，加以分析比較。因在二年多之觀測試驗中，其資料並非獲自同一條件，故不能直接以算術平均等方法加以結論。其中或降雨條件不同，或栽培時期有若干日子的間錯，或有其他氣象因子之變異，故亦不能任意以同權來衡算。至於其目的乃為應用，是以在不能完全以數學來分析其結果之情況下，吾人乃藉現有資料加以試算分析，期能獲得一較合理的應用標準。

為便於了解試算之過程及容易比較，下摘錄水利局岡山旱作灌溉推行站之資料：

資料中作物需水量 U 值係以土壤水分追跡法測算，蒸發量 E 及溫度由氣象資料獲得。

表一：五十三年度秋植甘藷作物需水量

項 別	11	12	1	2	計
U (mm)	53.00	102.90	70.74	13.91	240.55
E (mm)	93.20	93.40	88.30	26.00	300.90
t (°C)	21.17	17.95	16.46	18.41	—
P (%)	7.46	7.51	7.67	1.80	—
$P \left(\frac{45.7t+813}{100} \right)$	132.82	122.66	120.05	31.04	406.57
C_e	0.569	1.102	0.801	0.535	0.799
C_t	2.504	5.733	4.298	0.756	—
K	0.399	0.839	0.589	0.448	0.592

註：11月27天，2月7天生長期

表中之計算：

作物需水量與蒸發量之關係： $U = C_e E$

作物需水量與氣溫之關係： $U = C_t t$

作物需水量與氣溫日照作物關係：

$$U = KP \left(\frac{45.7t + 813}{100} \right)$$

式中： U ：月別作物蒸發散量 (mm)

E ：月別蒸發皿蒸發量 (mm)

t ：月別平均溫度 (°C)

P ：月白天時間與全年白天時間之百分比

(%)

C_e : 蒸發散量與蒸發量之比。

C_t : 氣溫因子支配之係數。

K : 作物係數。

表二：五十四年秋植甘藷需水量

項別	10	11	12	1	2	計
U (mm)	80.9	90.0	86.0	86.3	11.4	354.6
E (mm)	115.6	89.1	82.2	88.0	18.5	393.4
t (°C)	23.7	22.3	18.3	17.7	18.8	—
P (%)	8.12	7.46	7.51	7.67	1.54	—
$P\left(\frac{45.7t+813}{100}\right)$	153.96	136.68	123.86	124.40	25.8	564.70
C_e	0.700	1.010	1.046	0.932	0.617	0.902
C_t	3.414	4.036	4.700	4.875	2.42	3.87
K	0.53	0.66	0.69	0.69	0.44	0.63

2月7天生長期

表三：五十三年度秋植大豆需水量

項別	10	11	12	1	計
U (mm)	34.34	77.91	91.54	30.35	234.14
E (mm)	99.10	93.30	93.40	41.20	327.00
t (°C)	27.86	21.17	17.95	14.61	—
P (%)	5.50	7.46	7.51	3.71	—
$P\left(\frac{45.7t+813}{100}\right)$	114.74	132.82	122.66	59.93	425.15
C_e	0.347	0.835	0.980	0.737	0.716
C_t	1.233	3.680	5.100	2.077	—
K	0.299	0.587	0.746	0.553	0.551

10月21天，1月15天生長期

表四：五十四年秋植大豆需水量

項別	10	11	12	1	計
U (mm)	17.9	68.0	92.3	38.9	217.1
E (mm)	79.9	88.0	82.2	48.9	300.1
t (°C)	23.2	22.3	18.3	17.7	—
P (%)	5.24	7.46	7.51	4.45	—
$P\left(\frac{45.7t+813}{100}\right)$	98.18	136.68	123.86	72.17	430.87
C_e	0.224	0.763	1.123	0.796	0.723

C_t	1.195	3.049	5.044	2.821	3.06
K	0.18	0.50	0.75	0.54	0.50

10月20天，1月18天生長期

表五：五十五年春植大豆需水量

項別	2	3	4	5	計
U (mm)	17.55	78.02	133.83	58.31	287.71
E (mm)	41.6	104.2	100.8	113.3	359.9
t (°C)	21.1	20.6	23.7	25.3	—
P (%)	3.09	8.73	8.59	7.16	—
$P\left(\frac{45.7t+813}{100}\right)$	54.8	153.6	162.87	141.78	512.61
C_e	0.421	0.749	1.327	0.51	0.798
C_t	1.94	3.784	5.647	2.980	3.68
K	0.32	0.51	0.82	0.41	0.56

2月12天，5月24天生長期

表六：五十四年度春植玉米需水量

項別	2	3	4	5	計
U (mm)	45.26	93.44	102.56	32.65	273.91
E (mm)	107.47	133.50	137.42	63.99	442.38
t (°C)	19.94	20.02	23.56	25.39	—
P (%)	7.20	8.73	8.59	4.17	—
$P\left(\frac{45.7t+813}{100}\right)$	124.15	150.85	162.32	85.48	522.80
C_e	0.421	0.700	0.746	0.510	0.619
C_t	2.220	4.667	4.353	1.286	—
K	0.365	0.619	0.632	0.382	0.524

5月14天生長期

表七：五十四年度秋植玉米需水量

項別	10	11	12	1	2	計
U (mm)	10.5	76.6	83.3	94.8	17.6	282.8
E (mm)	41.6	89.1	82.2	88.0	15.5	316.4
t (°C)	22.7	22.3	18.3	17.7	19.2	—
P (%)	2.88	7.46	7.51	7.67	1.54	—
$P\left(\frac{45.7t+813}{100}\right)$	5.33	136.7	123.9	124.4	24.6	462.9
C_e	0.252	0.860	1.013	1.077	1.135	0.893
C_t	1.304	3.425	4.552	5.356	4.280	3.65
K	0.20	0.56	0.67	0.76	0.72	0.61

10月11天，2月6天生長期

表八：五十五年度春植玉米需水量

項別	2	3	4	5	計
U (mm)	47.27	66.89	100.84	11.48	226.48
E (mm)	90.9	104.2	100.8	43.3	339.2
t (°C)	19.0	20.6	23.7	24.8	—
P (%)	7.20	8.73	8.59	3.88	—
$P\left(\frac{45.7t+813}{100}\right)$	21.05	156.45	162.87	75.52	515.89
C _e	0.521	0.642	1.000	0.264	0.668
C _t	2.577	3.245	4.255	1.050	2.66
K	0.41	0.43	0.62	0.15	0.44

2月27天，5月13天生長期

表十一：五十四年度春作花生需水量

項別	2	3	4	5	6	計
U (mm)	18.02	55.01	128.47	133.08	34.98	369.56
E (mm)	74.77	133.50	137.40	159.98	59.48	565.15
t (°C)	21.48	20.02	23.56	26.00	27.55	—
P (%)	4.37	8.73	8.59	9.25	3.66	—
$P\left(\frac{45.7t+813}{100}\right)$	78.43	150.85	162.32	185.11	75.84	652.55
C _e	0.241	0.485	0.935	0.832	0.588	0.654
C _t	0.839	2.748	5.453	5.118	1.270	—
K	0.230	0.365	0.791	0.719	0.461	0.569

2月17天，6月12天生長期

表九：五十四年度春植高粱需水量

項別	2	3	4	5	計
U (mm)	28.23	95.13	100.17	63.39	286.92
E (mm)	24.77	133.50	137.42	116.35	462.04
t (°C)	21.48	20.02	23.56	25.95	—
P (%)	4.37	8.73	8.59	9.05	—
$P\left(\frac{45.7t+813}{100}\right)$	78.426	150.847	162.325	184.898	576.486
C _e	0.378	0.713	0.729	0.545	0.621
C _t	1.314	4.752	4.252	2.443	3.15
K	0.359	0.631	0.617	0.343	0.498

2月17日，5月23天生長期

三、由 Thornthwaite 法估算
作物需水量之比較

按 Thornthwaite 法之估算作物需水量，其乃假定作物蒸發散位能之最高限度殆由氣象條件決定，而與作物之種類無關。其計算公式：

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

式中：

e = 月間之蒸發散位能 (cm)

t = 月平均氣溫 (°C)

I = 年間之熱量示數。I = Σi

i = 月間之熱量示數。i = $\left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$

a = 0.0000006751 I³ - 0.00007711 I² + 0.017921 I + 0.49239

為方便比較試算結果，今以民國 53, 54, 55 年之氣象資料得岡山地區之月平均溫 t 如下，並計算各月間之熱量示數 i，以表十二示之：

表十：五十五年度春植高粱需水量

項別	2	3	4	5	計
U (mm)	10.54	56.49	95.16	66.70	228.89
E (mm)	45.1	104.2	100.8	127.2	372.3
t (°C)	20.8	20.6	23.4	25.2	—
P (%)	3.34	8.73	8.59	7.76	—
$P\left(\frac{45.7t+813}{100}\right)$	58.9	153.17	162.87	152.46	522.80
C _e	0.234	0.542	0.945	0.524	0.607
C _t	1.091	2.742	4.015	3.155	2.81
K	0.19	0.37	0.58	0.44	0.44

2月13天，6月26天生長期

表十二：月平均溫與熱量示數

月	1	2	3	4	5	6
t°C	16.2	21.2	20.3	23.6	25.6	27.6
i	5.93	8.91	8.34	10.48	11.85	13.28

月	7	8	9	10	11	12
t°C	27.7	28.2	27.5	25.8	21.7	18.1
i	13.36	13.72	13.21	11.99	9.23	7.01

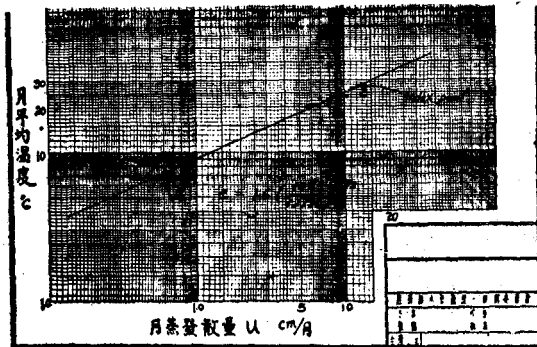
$$I = \sum_i = 127.31$$

$$a = 0.0000006751(127.31)^3 - 0.00007711(127.31)^2 + 0.017921(127.31) + 0.4289 = 2.91712847 = 2.92$$

$$\therefore e = 1.6 \left(\frac{10t}{127.31} \right)^{2.92}$$

當 $t = 20^\circ\text{C}$

$$e = 1.6 \left(\frac{10 \times 20}{127.31} \right)^{2.92} = 60.3$$



圖一 Thornthwaite Method 之月平均溫度與蒸發散量之關係圖。

在全對數紙上劃出此蒸發散位與月平均溫度之關係直線 A (圖一)。

由上圖關係直線所讀出之各月蒸發散量 (mm/月) 與實測之各蒸發散量比較如表十三。由表十三之比較及圖一所示之比較，知由 Thornthwaite Method 所得之結果比實測較為偏低。陳尚及蔡奇成先生在旱作需水量之測算方法與試驗結果檢討文中，亦得此結

論。另從表十三所列之各作物月別需水量值觀之，顯然有作物種類不同之別，生長階段不同之差異，及各月別之氣象因子差異影響。因此，若單以某一影響因子作為作物蒸發散量之估算依據，很難得到理想的效果。除非已證明在該地區某一影響因子之影響力量很大，其他影響因子可受其支配或掩蓋。否則，若欲得較理想之結果，似應對各不同影響因子加若干修正。

表十三：Thornthwaite Method 測算值與試驗值比較表

說明		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全 生 期	
月 平 均 溫 (t°C)		16.2	21.2	20.3	23.6	25.6	27.6	27.7	28.2	27.5	25.8	21.7	18.1		
Thornthwaite method 測 算 值		44	66	64	90	105	130	131	139	129	109	75	50		
實 測 蒸 發 散 量	甘 藷	70.74	13.91									53.00	102.90	240.55	
		86.30	11.40								80.90	90.00	86.00	354.60	
	大 豆	30.35									34.34	77.91	91.54	234.14	
		38.90	17.55	78.02	133.83	58.31					17.90	68.00	92.30	287.71	
	玉 米	94.80	45.26	93.44	102.56	32.65						10.50	76.6	83.30	273.91
			17.60												282.80
			47.27	66.89	100.84	11.48									226.48
	高 粱		28.23	95.13	100.17	63.39									286.92
			10.54	56.49	95.16	66.70									228.89
	花 生		18.02	55.61	128.47	133.08	34.98								369.56

四、合理的修正試算方法

根據以往對作物需水量之研究知，影響作物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

理狀況等均是。對作物需水量之研究，可分兩個角度，一為農藝方面的植物水分生理研究，純粹以植物之最適生長，因此這方面之研究較為單純，可在實驗室試驗；另一方面為站在灌溉方面的研究，此方面之研究，不但要考慮作物之水分生理情形，同時對土壤及灌溉方法技術，也作配合研究，以期對作物之需水有

合理之供應。

綜前人對作物需水量研究試驗，得知作物需水量與作物生長、土壤、氣候等許多因素之間關係，非為一條線，或一個點，而是成帶狀關係。亦即言作物在生長過程中所消耗的水量，在本質上並非有一絕對值，而是有某一程度之適應範圍。是以對於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，尤其是在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，依時依地作適當的判斷與處理，始能獲得合理之數值，並可進而達到預期的灌溉效果。

上敘述影響蒸發散量之因子多而複雜，但可以以下三大項歸納之，即土壤要素，氣象要素、作物要素等三大項。筆者在此擬提出之合理修正試算方法，乃依上述三大項影響因子，作簡單的試算。因此，筆者根據此三大項影響因子作下列之試算假定。

①土壤要素：土壤要素為一影響因子，因一地有一地之土壤類型，尤以地下水之供應情形應為注意。是以此項地區需水量試算具有地域性。如岡山地區即

代表粉質壤土，地下水位中等之地域特性。將來引用此資料時，需符合上述之土壤條件方可應用。

②氣象要素：氣象要素中氣溫、放射量、日射量之影響較大。Briggs氏及 Shanty氏認為日射量與蒸發散量有0.89之相關係數，氣溫為0.86，濕度為0.84。風速為0.35。而蒸發計蒸發量則有0.93之相關係數。加藤氏等亦作出相近的相關係數。且影響蒸發散量之氣象要素等均綜合影響蒸發計蒸發量，因此吾人乃取蒸發計蒸發量為氣象要素之綜合指標。

③作物要素：蒸發散量因作物種類，生長時期、生長季節不同而有異。因此得依作物種類、生長時期、生長季節而有修正係數。

根據上述之假定，將製表試算方法及其應用說明如下：

(一)製表試算方法及步驟

①以試驗之蒸發散量與蒸發量之比值，做一無生長時期及作物種類區別之蒸發散量與蒸發計比值表。如表十四下欄C值。

表十四：蒸發散量與蒸發量之比值表

月 別			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全 生 期	
項 別	別	別														
試 驗 值 表	甘 藷	}	0.801	0.535									0.569	1.102	0.799	
			0.932	0.617									0.700	1.010	1.046	0.902
	大 豆	}	0.737										0.347	0.835	0.980	0.716
			0.796	0.421	0.749	1.327	0.510						0.224	0.763	1.123	0.798
	玉 米	}	1.077	0.421	0.700	0.746	0.510						0.252	0.860	1.013	0.619
				1.135	0.642	0.945	0.524									
	高 粱	}		0.378	0.713	0.729	0.545									0.621
				0.234	0.542	0.945	0.524									0.607
	花 生	}		0.241	0.485	0.935	0.832	0.588								0.654
	C			1.055	0.726	0.639	0.944	0.771	0.950				0.679	0.896	1.053	1.000

上表中下欄之蒸發散量與蒸發量比值C，係由試驗比值將之以生長階段差異轉化為同一平準之平均值。一般作物之耗水量與生長階段有如圖二之變化關係（甘藷、玉米、大豆、花生、高粱等均有此種變化），因此以作物之耗水量與各氣候因素間之各係數計算，均有生長初期及生長末期較低之顯示，（如表十四

試驗值所示）。是以為將來應用方便，乃將各階段轉化為同一平準，方能平均比較。為計算方便，吾人將耗水量與生長階段之關係曲線圖，以砌柱形圖表示而不更變其總量。（如圖中虛線示）設生長盛期之蒸發散量為1，則全生長期之前20%階段為其56%，最後之15%階段，則為其62%。

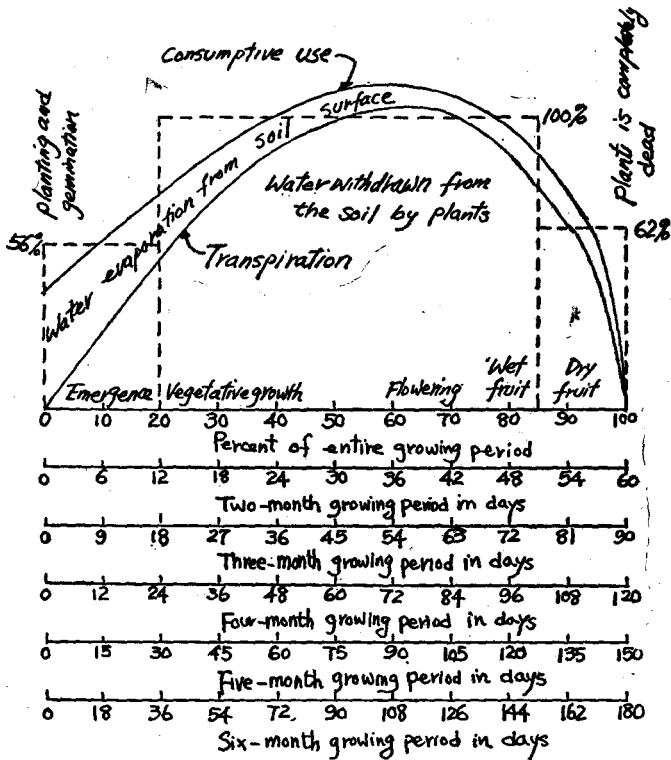


Fig. 2 Consumptive use of water for various periods of growth

根據上述之數據轉化平均計算如下說明：

一月：

0.801
0.932
 $0.787 \div 0.62 = 1.180$
 $0.796 \div 0.62 = 1.285$
1.077

Σ = 5.275

平均 = 1.055

二月：

$0.535 \div 0.62 = 0.861$
 $0.617 \div 0.62 = 0.998$
 $0.421 \div 0.56 = 0.752$
 $0.421 \div 0.56 = 0.752$
1.185... (受地下水影響大，不用)
 $0.521 \div 0.56 = 0.931$
 $0.378 \div 0.56 = 0.675$
 $0.234 \div 0.56 = 0.418$
 $0.241 \div 0.56 = 0.421$

Σ = 5.808

平均 = 0.726

六月：

$0.588 \div 0.62 = 0.950$
平均 = 0.950

十月：

$0.700 \div 0.56 = 1.25$
 $0.347 \div 0.56 = 0.62$
 $0.224 \div 0.56 = 0.395$
 $0.252 \div 0.56 = 0.450$

Σ = 2.715

平均 = 0.679

十一月：

$0.569 \div 0.56 = 1.014$
1.010
0.835
0.763
0.860

Σ = 4.482

平均 = 0.896

十二月：

1.102
1.046
0.980
1.123
1.013

Σ = 5.264

平均 = 1.058

三月：

0.749
0.700
0.642
0.713
0.542
0.485

Σ = 3.881

平均 = 0.6385

四月：

1.327
0.726
1.000
0.729
0.945
0.985

Σ = 5.682

平均 = 0.9437

五月：

$0.51 \div 0.62 = 0.823$
 $0.51 \div 0.62 = 0.823$
 $0.264 \div 0.62 = 0.426$
 $0.545 \div 0.62 = 0.878$
 $0.524 \div 0.62 = 0.844$
0.832

Σ = 4.626

平均 = 0.771

② 製定作物種類之修正係數

其計算過程如下表說明：

表 十 五

作物類別	全生長季之蒸發散量與蒸發量比值	平 均	作物種類之修正係數
(1) 秋植甘藷	0.799 0.902	0.850	1.170
(2) 秋植大豆	0.716 0.723	0.720	0.990
(3) 春植大豆	0.798	0.798	1.080
(4) 春植玉米	0.619 0.668	0.643	0.885
(5) 秋植玉米	0.893	0.893	1.227
(6) 春植高粱	0.621 0.607	0.614	0.845
(7) 春作花生	0.654	0.654	0.900
	$\Sigma = 8.000$	計算總平均 = $\frac{8.000}{11} = 0.727$	1.000

上表之作物類別修正係數，係假定各作物之總平均為 1 之平準。即以各作物之平均係數除以計算總平均係數。如秋植甘藷即 $0.850 \div 0.727 = 1.170$

(二)應用：

綜上述製表試算二表（即表十四、十五），配合圖二之生長階段變化修正，即可用於岡山地區旱地作物之需水量之估算依據。為應用方便計，再將十四、十五表及圖二簡摘結果數據如下：

表十六：蒸發散量與蒸發量比值表

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C	1.055	0.726	0.639	0.944	0.771	0.950				0.679	0.896	1.053

表十七：作物類別修正係數表

作物類別	修正係數
秋植甘藷	1.170
秋植大豆	0.990
春植大豆	1.080
春植玉米	0.885
秋植玉米	1.227
春植高粱	0.845
春作花生	0.900

(三)估算方法與步驟

- (1) 將作物之生長時期分 0~20%、20%~85%、85%~100% 等三個生長階段，計算其所所在之月份及日數。
- (2) 於表十六，分別查出所在月分之 C 值。
- (3) 由氣象資料查算各階段在各月分之日平均蒸發量。
- (4) 0-20% 之生長階段之計算：
日平均蒸發量 × 所在月分之 C 值 × 56% × 日數

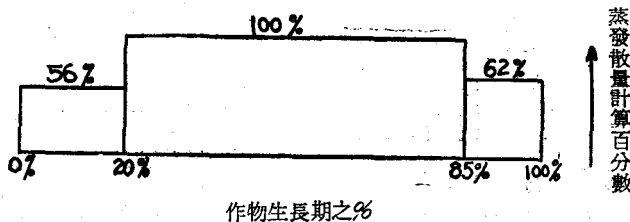


圖 三

(5) 20~85%之生長階段之計算：

日平均蒸發量×所在月分之C值×100%×日數。(若有跨月，則以累計各月分之計算)

(6) 85~100%之生長階段之計算：

日平均蒸發量×所在月分之C值×62%×日數

(7) 累加(4)、(5)、(6)步驟所得之結果，乘該作物之修正係數，即得全生長期之該作物需水量。

(四)計算例：舉53年秋植大豆試驗為例計算，其生長時期(10月10日~1月15日，共102天。)

項 別	10	11	12	1	總 計	備 註
天 數	21	20	31	15	102	
月累別計蒸發量 (mm)	99.10	93.30	93.40	41.20	327.0	
查 表 十 六 之 C	0.67	0.896	1.053	1.055		
未修正之蒸發散量(mm)	66.4	83.7	98.4	43.45		
生長階段變化修正後	37.2	83.7	98.4	26.9		10月修正56% 1月修正62%
作物係數修正後之蒸發散量	36.8	82.9	97.4	26.6	243.70	秋植大豆作物修正係數 為0.99
實測所得之蒸發散量U	34.34	77.91	91.54	30.35	234.17	

由上述之計算例與實驗測值比較。在全生長期之需水總量，兩值頗為接近，即各月之需水量比較，也甚為接近。試算結果堪稱理想。

(四)試算方法及應用之討論

以上之估算表應用，除可用計算單獨一種作物之需水量外，尚可用於估算一地區各種作物之需水量。如表中所列之作物修正係數表中無該作物，亦可利用其他地區已測定之值，以其與已列之某一作物需水量之比，比例代入得修正值。惟該作物之需水形態須與圖二相仿。故可計算多種旱作物。又計算一地區之各月所需作物需水量亦很方便，僅須有其各栽培作物之面積及蒸發量資料即可估算，計算頗為靈活，在灌溉計劃及灌溉實施中應用，頗為合理方便。對於水庫之運用，亦可得較合理正確的依據。

上述估算應用表僅係由岡山地區資料求得，由於資料之樣品有限，如欲應用於其他地區，則尚須注意其他地域特性是否相似，否則應將表值測定修正。若將臺灣各地，依農業氣候之特性不同而分區，將各區之需水量之已有資料，整理或補充成上述之表，則對臺灣之灌溉，在配水上將有無比的方便。

第十六表，表中之C值並不因溫度之增加而成正比例變化，此在應用上並無違悖，因其資料乃由生長期之各階段分別平均求得，而從事試驗測定時，其作

物之栽植，考慮及季節之合適及當地的習慣，故將該地之所得值應用於該地，可互相消去若干偏性誤差，是以推得之結果與實際極為接近。但若將栽培季節前後挪動過多，則所得結果將較差，故應用時，此亦應注意。

圖二所示之作物蒸發散量與生長階段之變化關係，此係根據農藝學家及灌溉學家多年研究之綜合成果，一般之作物均有如圖示之變化，岡山地區之各試驗旱作物亦均適合應用此變化分析。所以筆者乃應用為作物生長階段修正之依據。日人加藤氏曾做葉面指數與蒸散量之相關試驗，認為葉面指數在3~5之階段，蒸散作用相同。(見加藤氏之Studies on Transpiration and Evapotranspiration Amount by the Chamber Method文。)即在此階段中，土壤及作物因素均可忽略，只剩下氣象影響因子。故必須先將土壤及作物因素影響消失後才能用蒸發皿之蒸發量與作物蒸發散量之相關研究時，可將葉面指數在0~3及5以上之階段轉化成同一平準3~5階段，蓋此階段之變化一定。葉面指數在3~5之階段，為地表均被綠葉所蓋滿之階段，亦即相當於作物生長盛期。筆者於製表時因生長階段不同之影響，將生長階段之初期以56%之轉化修正，生長末期以62%之轉化修正，所持之理由亦即與上述相同，期在同一平準做分

析計算。至於作物種類之不同影響，亦用平均值得一平準比較，消去影響。於應用時，再將作物種類不同影響作係數修正，較易得合理滿意的結果。

數年來，臺灣在各地試驗站所作之報告，確定地下水對於作物之供應為估算作物需水量不可忽略之因素，尤以有水稻輪作之地區及地下水位較高之地區為要。然而，地下水對於作物之供應，其量究竟如何，此在理論上及試驗資料中尚未見提出可用之關係式，亦無肯定的結論。此即數年來研究作物需水量所遇到不能作交代的問題，亦即報告中之遺憾點。筆者認為，作物需水量之定義及其研究之目的，乃在尋求作物所不足而需要灌溉者。即在有地下水供給充裕或雨然雨水供應不缺之情況下，根本無灌溉問題發生。基於此原則，吾人乃將地下水之供應影響，以地域性條件消去其干擾。

從水利局岡山推行站之試驗報告中，對於地下水位之觀測，發現地下水位之升降隨土壤含水率有同起伏之變動，此顯然是當灌溉水無補充時，地下水即由毛細作用供給一部分於根系，因而使地下水位降低。

由於基本試驗資料，對於蒸發散量係由土壤水分追跡法測定，故筆者僅將之認定為地域性條件，而於製定比值表時，無再加干擾修正。此在應用方面並無差錯。只須注意其地域性之條件，（如岡山地區之地下水位變動範圍在 40cm~140cm）。不可相差太大，仍能有理想之結果。

五、結 論

對於作物需水量之研究，吾人了解，欲從事一地區之作物需水量估算。因一地有一地之天候及土壤條件，故誠難任意引用他區域之經驗公式或試驗係數。而應由該地區或與該地區環境相似者試驗結果推導較為合理。又因作物需水量之影響因子頗為廣泛複雜，

若依理論式推導，其計算及推導必複雜而困難。但若單憑某一單項因子來決定，則其相關係數必低，推算誤差則大。

筆者鑒於應用方便，且顧慮上述之缺點，擬定一種估算方法。對於影響因子如氣象，作物、土壤等均有若干之修正與假定交代，試算之結果頗為理想。至於理論之根據，目前僅由各因子之個別影響研究，或尚不成熟。擬日後更進一步之探討，盼能得各學者專家之指正賜教。

六、參考資料

1. 臺灣省旱作灌溉推行計劃岡山推行站試驗報告
(55年, 56年)
2. Irrigation Principles and Practices
3rd Edition Israelsen Hansen
3. Studies on the Transpiration and
Evapotranspiration Amount by the
Chamber Method. by Ichiro Kato
4. 蒸發與蒸散之控制及損失抑制討論 蔡明華
5. 旱作需水量之測算法與試驗結果之檢討
陳尙、蔡奇成 農工學報13卷4期
6. Handbook of Applied Hydrology
Ven Te Chow 1966
7. 作物需水量與蒸發量關係之研究 張建勛
農工學報11卷3期
8. 利用熱收支法測定蒸發散量 蘇匡基
農工學報11卷4期
9. 旱地需水量計算法 農工學報10卷1期
10. 利用氣象資料決定作物需水量之方法 張啓濱譯
臺灣水利氣象與水文專輯
11. 耕地之蒸發散 農林水產技術會議調查資料
1964 畑地農業研究會刊