

利用蒸發量推算蒸發散能法

(蒸發散位の計器蒸發量による一算出法*)

A Method of Calculating Potential Evapotranspiration from Pan Evaporation Data

鈴木重義 福田仁志著

甘 俊 二 譯

一、引 言

筆者自 1956 年 5 月起，在神奈川縣相模原裝設 Thorntwaite 式蒸發散量測定計，以陸稻為中心實測蒸發散量，作為決定灌溉用水量的基準。這次從 1956 年 11 月起至次年 6 年中旬的秋播大麥，以及延至 10 月下旬收割的陸稻（6 月 1 日大麥收割前播種），觀察這一年中的實測值，特別是對氣象記錄中的水面蒸發量加以研討。

二、實驗方法及條件

(1) 裝置：在田間埋設滲漏計，分別設置給水槽及排水槽，並有自動調節水位裝置，使試驗期間恆保持 45cm 地下水水位。降雨時的地下排水量以及蒸發散量的消耗，分別擴大為五及十六倍的水深自動記錄下來。滲漏計面積為 4m²，土層的裝置，先在底層鋪設卵石，在其上為與周圍田區相同狀態的土壤 50cm。同時與田面保持同一水面。生育期間為了要盡量接近大面積的蒸發散量，故在試區四周給於適當的灌溉，使內外的生育保持一致。氣象觀測站設置於滲漏計近旁的田區內。

(2) 試區的土壤水分：

求蒸發散能（後簡稱 PE）時，由於每月初及末的土壤水分量間有差異而成問題。故在 1956 年 7 月至

9 月末，陸稻栽植期間，每日測定其土壤水分含量，用此段期間的平均水分含量，求每月的標準偏差，各土層的水分變化如下，表層 74.1±4.5%，5cm 70.7±3.1%，10cm 70.9±3.7%、30cm 74.0±3.8%，各土層的土壤水分，雖在變動最易的盛夏，由於給排水迅速，所以土壤水分的變動不大，試區中土壤水分的總含量約為 26.3±1.1cm、其變化有限，若用一個月的 PE 值相比，則可省略而不計。土壤中水分變化及地表的蒸發量，可用下式表示：

$$E = a + b \log W$$

W: 最初的土壤水分含量百分率

E: 總蒸發量（克）

但以地表至 10cm 深土壤為主要影響層，本試驗使用的粉質壤土，含水量在有效水分 70~75% 時，有 ±3.1~4.5% 的水分含量變化，對於土壤表面蒸發量可以說不發生影響⁽¹⁾。因此本試驗對土壤表面蒸發以及土壤中水分的變化兩因子假設為一定，PE 的變化只受氣象要素及作物生長的諸因子而變。作物的蒸發散量在 Veihmeyer⁽²⁾ 的學說，土壤水分保持在田間容水量至凋萎點的有效水分範圍時，作物的蒸散量是一定的。所以土壤水分的影響似乎可以省略。

(3) 試驗地區的氣象

試驗期間氣象月別記錄列如表 1：

表 1 氣象記錄 (1956 年 11 月 11 日至 1957 年 10 月 31 日)

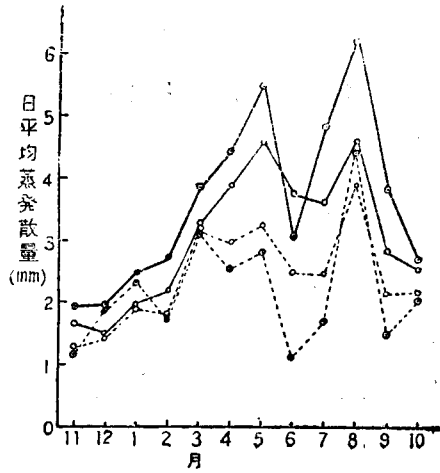
項 目	年		1956年	1957	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11月	12月	11月中旬	1									
平均氣溫 °C	10.5	3.8	5.0	3.2	6.1	13.4	15.9	19.4	23.9	26.6	20.3	16.3	
日照時間 hr	3.82	6.15	4.80	4.45	6.70	4.84	5.80	3.33	2.29	5.00	2.27	5.13	
降雨量 mm	31.4	8.4	5.6	9.76	65.3	125.1	222.8	249.7	61.5	101.1	347.0	102.4	

氣溫係最高最低溫度的平均，日照時間是每日的平均日照值，降雨量係全月的合計值。試驗期間蒸發

量的每月日平均值，以及旬疊積值分別列於圖 1 及圖 2；試驗期間假定無降雨時，與 PE 相對應的水面蒸發

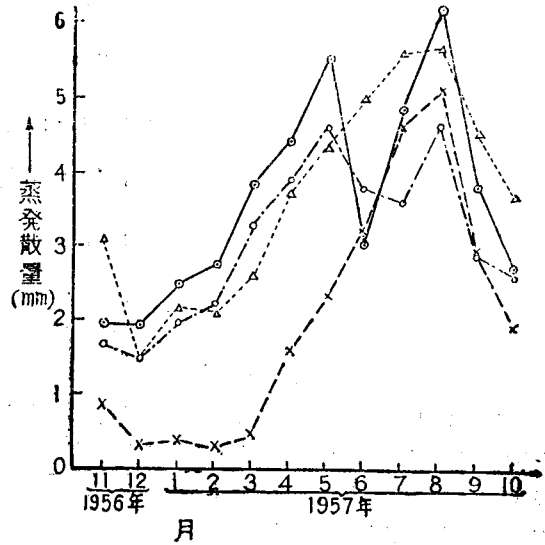
* 本文刊於農業氣象第 13 卷 3 號，承東京大學農學部農業水利學研究室福田教授提供，並得同意譯成中文。

量之每月日平均值及每旬的疊積值，分別列於圖1、圖3及圖4。



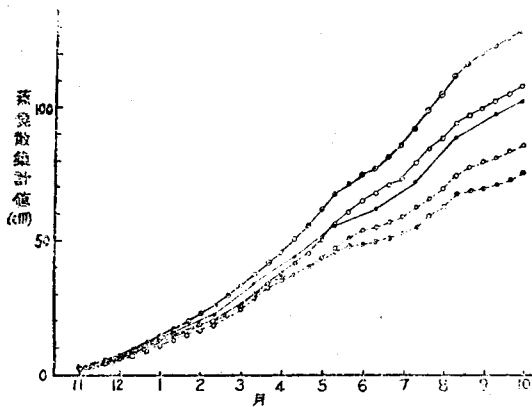
- 測定PE (無雨期)
- 測定PE (滲透計)
- 測定蒸發量 (無雨期)
- 測定蒸發量

Fig.1. 每月之日平均蒸發散量 (1956-1957年)



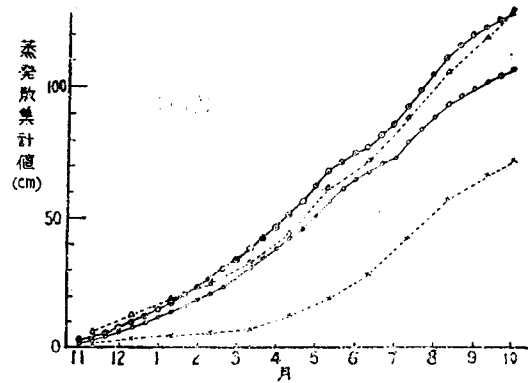
- 測定PE (無雨期)
- 測定蒸發量 (無雨期)
- △— 用Blaney & Criddle公式計算PE
- x— 用Thornthwaites公式計算PE

Fig.3. 每月之日平均蒸發(散)量 (1956-1957年)



- 測定PE (無雨期)
- 測定PE (滲透計)
- 蒸發量估計PE比值
- 測定蒸發量 (無雨期)
- 測定蒸發量

Fig.2. 蒸發散量集計值 (1956-1957年)



- 測定PE (無雨期)
- 測定蒸發量 (無雨期)
- △— 用Blaney & Criddle公式計算PE (K 20.9)
- x— 用Thornthwaites公式計算PE

Fig.4. 蒸發散量集計值 (1956-1957年)

三、試驗結果

由給水槽供給滲漏計的補給水量 (由於降雨而增加滲漏計的水分保留量，以供蒸發散量，所以補給水量較實際的 PE 值少。) 每月日平均值及旬疊積值，列如圖1及圖2。另外在生育期間對不受降雨影響而有正常蒸發散量 (給水槽的供水日變化曲線穩定的日

數) 的每月日平均值也列於圖1及圖3，又各旬中若用上項不受降雨影響的日平均值作為旬間疊積值列於圖2及圖4。以上是假定生育期間全無降雨的結果。此值相當於後將述及的 Blaney & Criddle 式以及 Thornthwaite 式。滲漏計 PE 實測值 (灌溉給水量降雨量 - 排水量) 之每月日平均值及月別疊積值分別

列於圖5及圖6；由圖2所示大麥及陸稻從發芽至收穫的生育期間的PE分別各為600mm及450mm。

四、討 論

(1) 與 Blaney and Criddle 式的比較

將生育期間的氣象因子用 Blaney and Criddle 式 $U = KF_3 F = \sum t.P[U: 作物的 PE]$ ，用 t 表示 t ：月平均溫度 (F°)； P ：每月日長時間 (小時) 與全年日長時間 (小時) 之百分數， K ：作物係數。生育期間假定全無降雨時，計算出來的每月日平均值以及每月的疊積值列如圖3及圖4。若大麥及陸稻的作物係數用 $K=0.9$ 時，PE 的計算量為 1305.0mm，如同圖4中無降雨時的 PE (1,267.8mm) 值大略一致。然圖2所示每月的疊積數，兩者間差異很大，主要是式中日照時間，係採用每月日長時間與全年日長時間之百分數，但實際上在無降雨時的日照也不能達到上述日照時間的全量，特別在日照時間較長的夏季差異更顯著。因此 Blaney and Criddle 式的 K 值，若能取適當的數值，可用於計算全生育期的 PE 值，但對每月無降雨時的 PE 值之推算似乎有些困難。

(2) 與 Thornthwaite 式的比較

用氣象因素 $e = 1.6(10t/I)^a$ 、 $[I = \sum i \cdot i = (t/5)^{1.514}$

$a = 0.000000675 I^3 - 0.0000771 I^2 + 0.01792 I + 0.49239$ ， $e =$ 每月的 PE (cm) $t =$ 每月平均氣溫 ($^\circ C$) 的 Thornthwaite 式，假定全生育期間在無降雨的條件下，PE 每月的日平均值及每月的疊積值計算結果列如圖3及圖4。此數值雖修正實驗地緯度的日照時間，然同無降雨時的 PE 實測值差異甚顯。本式的主要因素月平均溫度用 $^\circ C$ 表示，比 Blaney and Criddle 式的溫度用 $^\circ F$ 時的差異更大。這表示氣溫因素的影響較大。特別在夏季，無降雨時的實際日照時間較短，但以日照時間為基數，在夏季乘上較大的修正係數，在冬季乘上較小的係數，這可能是發生偏差的原因。因此以上所述兩式，每月無降雨時的 PE 計算值，用於決定作物灌溉用水量似乎不大理想。

(3) 與蒸發計蒸發量的比較

根據各方面的研究 (例如^(5,6,7))，蒸發計的水面蒸發量和 PE，以及實際灌溉的旱作田之蒸發散量之間形成相互的關連性，而最近 Pruitt 氏⁽⁸⁾ 提倡利用此等關係作為決定灌溉用水量的基準。

筆者從1956年夏作起的測定實驗，也認為用此方法較為合理，故進一步加以研討，現將無降雨時的 PE 及蒸發計蒸發量 E 的每月日平均值列表如表2：

項 目	年 月											
	1956 11	12	1957 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
無 降 雨 時 之 PE	1.95	1.92	2.50	2.70	3.86	4.43	5.51	3.09	4.87	6.24	3.85	2.72
無 降 雨 時 之 E	1.65	1.52	1.93	1.87	3.29	3.92	4.62	3.83	3.63	4.93	2.92	2.61
PE/E	1.18	1.27	1.29	1.25	1.17	1.13	1.21	0.81*	1.34	1.35	1.32	1.04*

*剛播種大部份均係土面蒸發。

上表 PE/E 之比的平均約為 1.20。若此數值乘以實測的月水面蒸發量 (E_0) 的日平均值時，與實際的

PE 值比較的結果列如圖5及圖6。此數值的相關係數為 +0.97，即 $E_0 \times 1.2$ 與實際的 PE 值極為一致。

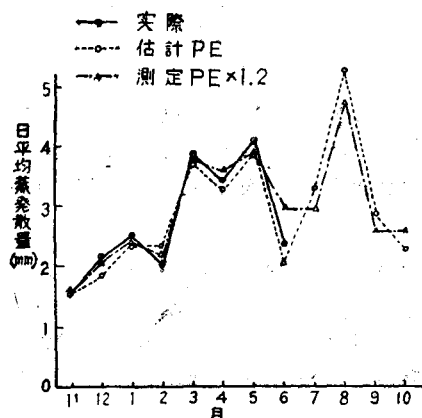


Fig.5. 每月之日平均蒸發量 (1951-1957年)

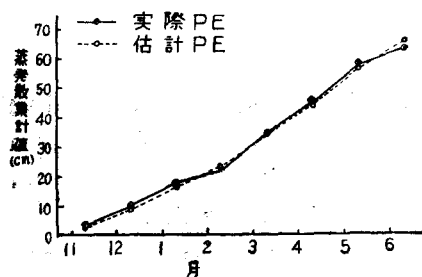


Fig.6. 蒸發量集計值

(4) 作物的生育及 PE 的變化

PE 是指土壤面的蒸發加作物的蒸散而言。前者是根據物理性的因素而變，後者則含有植物生理的影

響，同時土面蒸發量則依作物的生長而遞減，而後者則相反的有增加的趨勢。因此兩項變化之合計為 PE 值。所以隨作物的生育階段而消長。至於蒸發計的蒸發量係隨氣象因子而變動與作物的生長無關。雖然圖 5 及圖 6 所示從蒸發量推算的 PE 值與實測的 PE 值之間，成相關而一致。然作物生育階段的因子對 PE 變化似乎並無多大意義。因為隨着作物的生長增加地面的覆蓋而漸少了土壤面的蒸發，所以作物蒸散量的增加與地面蒸發量的減少相互抵消，結果呈顯 PE 值的

$$\text{每月的月平均 PE} = \frac{\text{月中實際蒸發量的日平均值}}{\text{同月中無降雨日的蒸發量的日平均值}} \times \text{同月中無降雨日的 PE 日平均值}$$

利用上式推算的 PE 同實測 PE 之比較列如圖 5 及圖 6；其各月值的相關係數為 +0.99，結果甚為一致。

(6) 對 PE 的有效雨量

對旱作灌溉而言，除了貯留在根系中的水分可有效的被作物應用外，降雨的表面流失以及根系以下的浸透水，均屬無效雨量，因此有效水分的估計是一項重要的問題。此數值可用降雨前土壤中的含水量，根系深，田間容水量及降雨量推算。本試驗係從降雨量

減變化受氣象因子的支配。但作物體主要是葉面氣孔的蒸散，但此等現象在夜間幾乎完全停止，所以是一種白天生理機能的發揮，並非只是氣象因子的關係，同時降雨對蒸散及蒸發的影響也不同，因此將蒸散量及土壤面蒸發量分離，作進一步的研究。

(5) 應用蒸發計的數據的 PE 推算法

如前 c) 項所述，PE 無降雨時之月平均值及含有降雨日的月平均值，均同蒸發量有關，因此可用下式推算每月的 PE 值：

去排水槽的浸出量而求得有效雨量，此數值相當於田間 45cm 根系深時的有效雨量。若前項算出的 PE 值是正確的話，此推算值同圖 2 測定值之差，即相當於每月降雨量貯留在土層的疊積值。因此只要給水槽的供給量能記錄下來的話，可正確的推算出有效雨量。然此值與降雨量的強度，月降雨日數，以及日照時間互有關連。茲將各月的有效雨量列如下表：

項 目	年 月		1956	12	1957	2	3	4	5	6	計
	11	12	11	12	1	2	3	4	5	6	
由降雨增加的貯留量(mm)	6.9	8.4	5.6	17.59	17.70	26.35	39.80	42.67	165.01		
降 雨 量 之 %	100%	100	100	18.0	27.0	21.0	18.0	31.0	20.5		

五、摘 要

(1) 在田間設置滲漏計，栽培大麥及陸稻，從試驗所得的 Data 分析 PE 的求法，結果利用 Blaney and Criddle 式及 Thornthwaite 式求出的 PE 值，較蒸發計蒸發量推算值精度差。

(2) PE 對作物生育階段間的變化差異不明顯，

然可同氣象因子形成關數。

(3) 試驗期間各月的 PE，約為蒸發計蒸發量的 1.2 倍。

(4) 無降雨時求得的 PE 值，乘上月平均日蒸發量/該月晴天的日平均蒸發量，則與實際田間的 PE 值極為接近。

Summary

In order to measure the actual value of potential-evapotranspiration (PE) (tank PE + rain - drained water) of upland rice and barley in field with volcanic ashy loamy soil, we used the tank. diameter 4m, depth 50cm, ground water level 45cm from field surface, like that by Thornthwaite.

The tank was surrounded by the same crops raised by ordinary method, where ground water level is below morethan 15m.

The amount of water evapotranspired from the tank and also from a standard pan used in Japan, its diameter 20cm, high 10cm, were measured, and we obtained the following results.

a) The evapotranspiration by Blaney and Criddles, Thornthwaite's methods were of less accuracy compareing to that from the pan.

b) PE was found to be a function only of meteorological factors, regardless of the growth stages of crops.

c) PE was about 1.2 times the amount from the pan in each month of the growing season.

d) The actual PE is calculated with considerable accuracy by actual PE=tank PE in no-rain

period $\times \frac{\text{mean daily amount of pan evaporation in each month}}{\text{mean daily amount of pan evaporation in no-rain period of the corresponding month}}$

六、參考文獻

- 1) 福田仁志：含水量を異にする土壤よりの表面蒸發後における垂直分布，農業土木研究 Vol.6, p. 22 1934。
- 2) Halkias, N. A., Veihmeyer, F.J., and Hendrickson, A.H.: Determining water needs for crops from climatic data, Hilgardia, Vol. 24, No. 9, p. 230, 1955。
- 3) Blaney, H. F. and irrigation data. Criddle, W. D.: Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data USDA. SDS-TP-96, 1952
- 4) Thornthwaite, C.W.: An approach toward a rational classification of climate. The Geophysical Review, Vol. 38, No. 1, p. 55, 1948。
- 5) Pruitt, W.O. and Jensen, M.C.: Determining when to irrigate. Agric. Eng. June. 1955。
- 6) Krimgold, D.B.: Determining time and amount of irrigation. Agric. Eng. Vol. 33, No. 12. 1952。
- 7) Van Babel, C. H. M. and Wilson, T.V.: Evaporation as criteria for determining time of irrigation. Agric. Eng. Vol. 33, No. 12, 1952。
- 8) Pruitt, W.O.: Irrigation scheduling guide simplifies task of estimating moisture reserves. Agric. Eng., Vol.37, No. 3, 1956

順榮塑膠公司

專營：塑膠、硬質、軟質、
管、板。

P.P. (聚丙烯管)：

耐酸、耐熱、耐冷、適用溫度 120°-20°
衝擊強度 kg-cm/cm² >10

P.E. (聚乙烯管)：

耐酸、耐熱、耐冷、適用溫度 60°-0°
衝擊強度 kg-cm/cm² >15

P.V.C. 管、板：

耐酸、耐熱、耐冷、適用溫度 60°-0°
以上 P.E. 管 2'' 以下可以每 100 公尺捲成一圈 (直徑 > M) 可節省工程費用，及輕便柔軟容易操作，並附設加工配裝

代客按裝：

山地、農田、農園、牧場、水利等、給水、排水管、按配裝設工程，各種塑膠製品訂做加工

歡迎惠顧

臺北市重慶北路一段 83 巷 43 號 電話：49807
基隆市安一路 51 號 電話：4459、2856

慶祝中國農業工程學會十一週年年會

台灣省新竹農田水利會

會長 陳錦相