蒸発散位の計器蒸発量による一算出法

鈴木重義・福田仁志

(東京大学農学部農業水利学研究室)

A Method of Calculating Potential Evapotranspiration from Pan Evaporation Data

S. SUZUKI, and H. FUKUDA

(Institute of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture,
University of Tokyo)

1. は し が き

筆者らは昭和31年5月、神奈川県相模原に Thornthwaite 式の蒸発散測定装置を設け、以来陸稲を中心とする作物のかんがい用水量決定の基礎として、蒸発散位の実測を行つて来たが、今回は、昭和31年11月より32年6月中旬までの秋播き大麦、引続いて10月下旬までの陸稲(6月1日麦間に播種)について得た1年間の実測値について種々検討を加え、蒸発散位算定のための気象データ特に計器蒸発量の処理について考察を加えた。尚この研究は神奈川県委託試験の一部であることを附記し県当局に敬意を表する。

2. 実験の方法と条件

a) 装置

装置は、野外に埋設したタンクと、地下測定室に設置した給水タンク・排水タンクおよび自動水位調節器より成る測定部分にわかれ、期間中野外タンク内の地下水位を常に地表下45cmに保ちながら、降雨の地下排水量および蒸発散に伴う地下給水量を、夫々5および16倍に自記するようにしたものである。野外タンクは面積4m²で、下方に砂利をつめ、上方には周囲の土層と同じ状態を保つように注意しながら50cmの深さに土を入れ、表面は周囲の圃場と同じ高さにした。作物はタンク内および周辺一帯のかなりの面積にわたって栽培され、大面積からの蒸発散量に近くなるように努めた。又タンク周辺の圃場にも適宜かんがいを行つた結果、タンク内外の生育の状態を殆んど一様ならしめることができた。気象の観測は隣接地に観測圃場を設けて並行して行つた。

b) 蒸発散位測定タンク内の土中水分

真の蒸発散位(以後PE)を求める際、毎月初めに野外タンク内に含まれている土中水分量と終りに含まれる量との差が問題となつてくるので、昭和31年7月末より9月末まで、陸稲植栽中の野外タンク内の土中水分を、各深さについて毎日測定を行つた。その間の平均水分含量と各々の標準偏差を求めた処、表層は74.1±4.5%、5cmは70.7±3.1%、10cmは70.9±3.7%、30cmは74.0±3.8であつて、各層内の土中水分は、変動の生じやすい盛夏にあつても、給排水が迅速に行われる結果大幅に変動することなく、その間の土中水分のタンク内総量も26.3±1.1cm³で、その変化はPEの1ヶ月の値に比して殆んど無視しうることが判つたので、特にこの変化に対する処理は行わなかつた。又土中水分と土壤面からの蒸発量は、 $E=a+b \log W$ (W: 最初の土壤含水量を%で表わしたもの、E: 全蒸発量をグラムで表わしたもの)で表わされ、表面から10cmまでの含水量が主として影響を与える事が判つており、埴質壤土を用いた実験によれば、70~75%の含水量の土壤では±3.1~4.5%の含水量の変化は、土壤面蒸発量に殆んど影響を与えない⁽¹⁾。従つてこの実験では、土壤面蒸発に及ぼす土中水分の因子は殆んど一定と考えてよいので、PEの変化は気象要素および作物的諸要因に限定されたと見ることができよう。植物の蒸散力は、土中水分が圃場容水量から永久萎凋点に達する間殆んど変ることがないことが報告されてもいるので⁽²⁾、土中水分による影響を問題にする必要がないと考えられる。

表1 気象表(昭和31年11月11日より昭和32年10月31日まで)

年 月	31.11	12	32. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
項 目	中・下旬											
平均気温 °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 水 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

1957年12月6日 関東支部例会において発表

c) 試験地の気象

測定期間中の気象状況を月別に示すと表1の通りである。気温は最高最低の平均を、日照時間は毎日の平均の値をとり、降水量は合計の値を示してある。なおこの間の蒸発計蒸発量の月毎の日平均値および旬毎の集計値は夫々 Fig. 1 および Fig. 2 の通りであり、全期間無降雨であつたと仮定した際の PE に対応する蒸発計蒸発量

- measured PE (no-rain Period)
- measured PE (apparent) by the tank.
- measured Pan Evaporation (no-rain Period)
- measured Pan Evaporation

Fig. 1 月毎の日平均蒸発散量 (1956~1957 年)

の月毎の日平均値および旬毎の集計値は Fig. 1, Fig. 3 および Fig. 4 に示す通りである。

3. 実験の結果

給水タンクから野外タンクに補給された水の量 (降雨により増加保留量として野外タンクに貯留され後に蒸発

- measured PE (no-rain Period)
- measured Pan Evaporation (no-rain Period)
- △— calculated PE by Blaney and Criddle method
- x— calculated PE by Thornthwaite's method

Fig. 3 月毎の日平均蒸発(散)量 (1956~1957 年)

- measured PE (no rain Period)
- measured PE (apparent) by the tank
- PE estimated from Pan evaporation ratio
- measured Pan Evaporation (no-rain Period)
- measured Pan Evaporation

Fig. 2 蒸発蒸散量集計値 (1956~1957 年)

- measured PE (no-rain Period)
- measured Pan Evaporation (no-rain Period)
- △— PE calculated by Blaney and Criddle method (K 20.9)
- x— PE calculated by Thornthwaite's method

Fig. 4 蒸発散量集計値 (1956~1957 年)

散に使用された分だけ実際の値より少い)の月毎の日平均値および各旬毎の値を測定期間中に集計した値は夫々 Fig. 1 および Fig. 2 に示されている。更に期間中の降雨の影響を受けることなく蒸発散を行つたと考えられる日(給水量の日変化の曲線が平常な型をしている日)の値の月毎の日平均値は Fig. 1 および Fig. 3 に、また各旬中のそれらの日の平均値をその旬中の日平均値とした場合の期間中の集計値を Fig. 2 および Fig. 4 に示した。これらの値は、全期間中無降雨であつたと仮定したものに相当し、後述の Blaney and Criddle 式および Thornthwaite 式よりの算出値に対応するものである。又 PE の真の値(給水タンクから野外タンクへの補給水量+降水量-排水タンクへ排除された水量)の月毎の日平均値および毎月の値の集計値は夫々 Fig. 5 および Fig. 6 に示した通りであつた。Fig. 2 によると、大麦および陸稲の発芽から収穫までの期間内の PE は夫々 600 mm および 450 mm である。

Fig. 5 月毎の日平均蒸発散量 (1951~1957 年)

Fig. 6 蒸発散量集計値

4. 考 察

a) Blaney and Criddle 式よりの算出値との比較

期間中の気象ファクターを $U=KF$, $F=\sum t_p$ (U : 作物の PE を時で表わしたもの, t : $^{\circ}F$ で表わした月平均

気温, p : その地の可照日照時数の月毎の日平均値の, 年間の値の合計に対するパーセンテージ, K : 作物係数)なる Blaney and Criddle の式⁽³⁾に適用して、全期間無降雨であつたと仮定した時の PE の月毎の日平均値および月毎の集計値を算出したものは夫々 Fig. 3 および Fig. 4 に示される通りであつた。ここで大麦および陸稲の作物係数として $K=0.9$ を用いた所、PE の合計は 1,305.0 mm となり、Fig. 4 に見るように無降雨時の PE (合計 1,267.8 mm) の値とかなりよく一致した。しかし Fig. 2 に見られるように、月毎の値は両者に大分喰違いを示している。これは、式中日照時間として可照時間が採られているが、実際には無降雨の時でも日照は可照時間一杯あるわけではなく、可照時間の長い夏季には特に差が大きくなってしまい易いのである。従つて Blaney and Criddle の式は、 K を適当にとつて年間の PE を概算するには適するけれども、月毎の無降雨時の PE を算出するには都合がわるいことを示している。

b) Thornthwaite 式よりの算出値との比較

気象ファクターを、 $e=1.6 (10t/I)^a$, ($I=\sum i$, $i=(t/5)^{1.514}$, $a=0.000000675 I^3-0.0000771 I^2+0.01792 I+0.49239$, e =毎月の cm で表わした PE, t : $^{\circ}C$ で表わした月平均気温)なる Thornthwaite 式⁽⁴⁾に適用した時の、全期間無降雨と仮定した時の PE の月毎の算出日平均値および月毎の集計値は、Fig. 3 および Fig. 4 に示されている通りである。この算出値には、実験地の緯度に対する日照時間の修正を行つてあるが、無降雨時の PE の実測値と大分かけ離れた値を示している。本式は $^{\circ}C$ で表わした月平均気温を算出の主なファクターとしているが、Blaney and Criddle 式のように $^{\circ}F$ で気温をあらわしたものより差が甚しく、気温のファクターが強すぎることを示している。更に無降雨時の日照時間が、夏季に必ずしも長くなかつたのに、夏季に大きい修正係数(可照時間の長さに基づくもの)を乗じ、冬季に小さいものを乗じた事も喰違いの一因と考えられる。従つて、以上の両式は、月毎の無降雨時の PE を算出して作物のかんがい用水量決定に資するには十分でないようである。

c) 蒸発計蒸発量との比較

蒸発計蒸発量と PE 又は実際のかんがいを行つた畑地からの蒸発散との間には何等かの関係があることが確められ(例えば^(5,6,7)), 又この関係の予想に基いてかんがい水量を決定する実際的方法も提唱されている⁽⁸⁾。

筆者らも、昭和 31 年度夏作の測定試験においてこの方法が有利であることの目安を得ていたのをこれを検討する。今無降雨時の PE および蒸発計蒸発量 E の月毎の日平均値を示すと第 2 表の通りである。

表 2

	31年 11月	12	32年 1	2	3	4	5	6	7	9	0	10
無降雨時の 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
無降雨時の E	1.65	1.51	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*

* 播種直後で殆んど土壤面蒸発のみ

即ちこれら2つの値の比は平均 1.20 を示した。試みにこの値を、実測した各月の蒸発計蒸発量 E_0 の日平均値に乘じたものと真の PE を比較してみると Fig. 5 および Fig. 6 のようになった。又これらの値の相関係数を求めた所 +0.97 を得た。即ち $E_0 \times 1.2$ は実際の PE にかなりよく一致することがわかつた。

d) 作物の生育と PE の変化

PE は [土壤面蒸発 + 作物面よりの蒸散] であり、前者は物理的なファクターのみによつて変化するが、後者は植物生理的な要因を含み、しかも前者は作物の生育に伴つて減少し、後者は逆に増加する傾向をもっている。従つてこれら相殺し合う要因の和が PE となるのであるが、全体としては作物生育の段階に応じて消長を行うことが予想された。一方蒸発計蒸発量は作物的要因と全く離れて気象ファクターのみによつて変動する。しかるに蒸発計蒸発量からみちびかれた PE の推定値が Fig. 5 および Fig. 6 に見られるように PE の真の値と高い相関をもつて一致したことにより、PE に働く作物生育の段階による要因は有意的なものと見做し得ない。即ち作物被覆の増加による土壤面蒸発の減少と相殺し合つて、全体としては気象要因のみに支配されているのと同様の結果を呈した。しかし作物体からの蒸散は主として葉面の気孔から行われ、夜間は殆んど停止すると共に、日中も生理的機能を發揮し、単なる気象ファクターのみの関数でなく、降雨による影響も蒸発計蒸発量へのそれとは異なるので、更に検討の余地があり、この解明のため蒸散量と土壤面蒸発量とを分離して求める実験を行っている。

e) 蒸発計のデータによる PE の算定

前出 c) 項によつて、無降雨時の月平均の値と降雨日を含めた月平均の値とは、夫々の蒸発計蒸発量相互および PE 相互の間に近い関係にあることが予想されるので、実際のある月の PE の算出に当り次の式を用いた。

その月の日平均 PE の推定値

$$= \frac{\text{その月の実際の蒸発量の日平均値}}{\text{その月の無降雨日の蒸発量の日平均値}}$$

× その月の無降雨日の PE の日平均値

この式によつて算出した PE を真の PE と比較すると Fig. 5 および Fig. 6 のようによく一致している。今これらの各月の値の相関係数を求めた所 +0.99 であつた。

f) PE に用いられる降雨

畑かんがいにおいては、降雨のうち表面流去を行うものおよび根群域より下方へ浸透したものは損失となり、降雨中の根群域内に貯留されるもののみが PE として使用されるので、この量の評価は重要な問題である。この量は、降雨前の土の含水量および根群域の深さ、圃場容水量、及び降雨量から算定できるが、本実験においては排水タンクに浸出した量を降雨量から差引いたものが、根群域を地表下 45cm までとした時の実際の PE に用いられた降雨量に相当する。一方、前項によつて算出した PE の推定値が正しいとすれば、この推定値と Fig. 2 における Measured PE by the apparatus の値との差が土層中に貯留された降雨量のその月までの集計値に当るわけである。従つて給水タンクのみさえ記録されれば降雨の貯留分の値をかなり正確に算出できることになる。この値は降雨の量および強度、月の降雨日数、更に日照時間等と関係がある事が予想される。次に各月の降雨のうち PE に有効であつた分を示す。

表 3

	31年 11月	12	32年 1	2	3	4	5	6	計
降雨の増加 貯留分(mm)	6.9	8.4	5.6	17.59	17.70	26.35	39.80	42.67	165.01
降雨量との%	100%	100	100	18.0	27.0	21.0	18.0	31.0	30.5

5. 摘 要

a) 大麦と陸稻を用いて、圃場に設置した蒸発散計から得たデータを処理し、真の PE を求める方法を検討した結果、Blaney and Criddle 式や Thornthwaite 式を用いた算出値は、蒸発計蒸発量を用いて算出した値より精度が低いことが判つた。

b) PE は作物の生育の段階に応じては見掛け上変化せず、気象ファクターのみの関数としてあらわれた。

c) 期間中の各月の PE は、蒸発計蒸発量の約 1.2 倍であつた。

d) 無降雨時の PE が求めた場合、これに [月平均の蒸発計日蒸発量/その月の無降雨日の月平均日蒸発量] をかければ、真の PE に近いものが得られる

参 考 文 献

- 1) 福田仁志: 含水量を異にする土壌よりの表面蒸発

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 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

Résumé

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 more than 15m.

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

- a) The evapotranspiration by Blaney and Criddle, Thornthwaite's methods were of less accuracy comparing 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 $\times \frac{\text{mean daily amount of pan evaporation in each month}}{\text{mean daily amount of pan evaporation in no-rain period of the corresponding month}}$

本 会 記 事

——本 会 記 事——

中国四国支部秋季例会開催報告

例会は昭和 32 年 11 月 6, 7 日の両日, 徳島市鮎喰町県立農事試験場において開催された。研究発表及びシンポジウムは 6 日 10 時より 17 時まで下記の如く行われたが参加者は約 60 名で盛会であつた。又 7 日は徳島県勝浦郡生比奈町県果樹試験場を見学した。○印は講演者

- 1) 光周性より見たる生物日長について
岡山大学 高須 謙一
- 2) 階段状ミカン畑の微細気象の一観測例
岡山大学 高須 謙一
- 3) 果樹の風害と枝葉の物理的性質について
愛媛大学 飯塚 一郎
- 4) 水稻の風害に関する生理的研究
岡山大学 志茂山貞二

- 5) 筒型熱伝導率測定器におけるサンプルの影響について
岡山大学 ○中峠哲郎, 坂手邦夫
- 6) 露点計による湿度測定について
岡山大学 ○坂手邦夫, 中峠哲郎
- 7) サツマイモ直播と土壌温度分布の関係
大阪府立大学 西内 光
- 8) (イ)河川水温の測定について(灌漑水温の研究 I)
(ロ)河川合流部附近における水温の分布(Ⅱ)
岡山大学 ○松原 茂, 奥田節夫
- 9) 稲と春の季節と気候の関係
気象庁 ○大後美保, 高谷 悟
- 10) 麦類赤カビ病の流行と気象
徳島農試 石井 博

ミカンのミクロクリマの懇談会, 16時~19時懇親会