

琉球大学学術リポジトリ

熱収支法による沖縄におけるパインアップルの蒸発散量の測定(農業工学科)

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 城間, 理夫, Shiroma, Michio メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/4432

熱収支法による沖縄におけるパイナップルの 蒸発散量の測定

城 間 理 夫*

Michio SHIROMA : Evapotranspiration of pineapple in Okinawa
measured by heat balance method

I 緒 言

沖縄におけるパイナップルの蒸発散量は水収支法によつてかなりよい精度で測定することができた(12)。圃場にある作物からの蒸発散量を測定する他の1つの方法として熱収支法があげられる。この方法による測定はこれまで水田においてさえも日本ではあまり多くは行なわれておらず(5)、特に畑地における測定例は少ないようである。しかし、この方法は特に放射エネルギーの測定機器の精度が向上するにつれて次第に利用されるようになって来た(5)。

熱収支法の長所としては、圃場を全く自然の状態に保ったままで蒸発散量を測定することができ、また、圃場における各熱収支項の大きさについても1時間ないし30分間の時間単位で推定できることなどがあげられる。このため筆者は水収支法と並行して熱収支法により、おもに昼間におけるパイナップルの蒸発散量を測定した。この実験は1972年7月上旬から8月上旬にかけての約1カ月間にわたり行なったものであって、この報告に使用した資料は日中に降雨がなく、また、風も著しく強くなかった9日間の測定結果をまとめたものである。実験場所の周囲の状況は、少し離れた所に建物があつたためにじゅうぶんに満足できるものではなかったが、同じ場所における水収支法による測定結果とよい精度で一致しており、また、パイナップル圃場における各熱収支項の大きさの測定についても興味のある結果が得られたので以下にこれを報告したい。

II 実 験 方 法

実験は1972年7月上旬から8月上旬にかけて行なつた。測定は那覇市琉球大学構内に設置した面積 $165 \times 150 \text{cm}^2$ のライシメータ内に植付けたパイナップル株を使って行なつた。ライシメーターの周囲には芝を植えてあつた。場場所が校庭であるためにパイナップルの圃場を代表するための条件はじゅうぶんではなかったが、風通しもよく、また、陽当たりもよい場所であつた。

夜間における測定は、測定場所の都合上機器の管理の安全性の面から見て長期間継続して行なうこ

* 琉球大学農学部農業工学科

とができなかった。このため、測定はおもに午前7時から午後7時までの昼間に行ない、夜間の測定は随時に行なった。

実験期間中は土壌へのかん水は各旬ごとに1回50mmずつ行なったので土壌含水量は常にじゅうぶんであった。

実験に使用したパイナップルの株は、品種はスムースカイエン種で、植付後15カ月~16カ月経ったものを使ったが、生育が早かったために各株とも結実期の後期に入っており、葉面積指数も4.1~4.3で土壌面の約85%は葉でおおわれていた。

1. 測定機器の配置の状況

図1-aには各測定機器の配置の状況を示す。

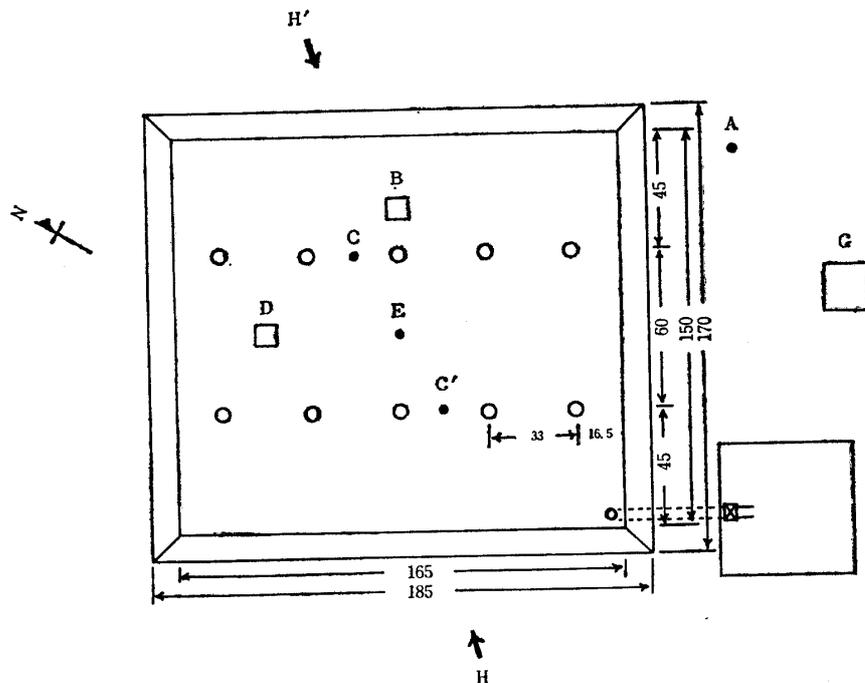


Fig. 1-a. Arrangement of instruments

A : Gorczynski pyr heliometer

B and D: Earth thermometers

C and C': Thermocouples for air temperature and vapor pressure measurement

E : Albedometer

G : Rain-gauge

H and H' : Direction of prevailing winds

Small circles : Location of the stem of pineapple

Numbers for the dimension in cm

気温および水蒸気圧力の測定のための熱電対受感部は、測定日の風向（主風向は図中のHまたはH'）により図中のC又はC'の位置に移動した。次に図1-bには鉛直方向の測定機器配置状況を示す。

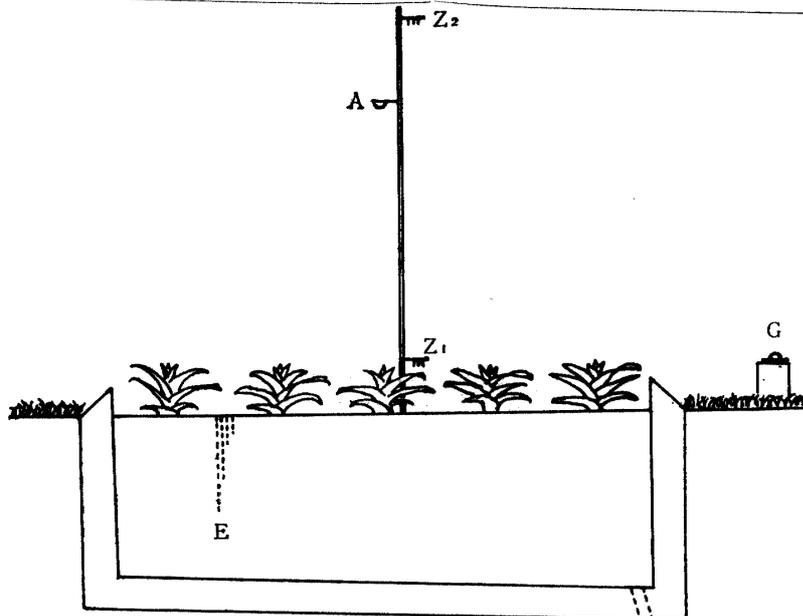


Fig. 1-b. Vertical arrangement of instruments
A : Albedometer at 80cm above pineapple canopy
E : Earth thermometers at depths 1 cm, 5 cm, 10cm, 20cm, and 30cm
G : Gorchzynski pyr heliometer
Z₁ : Thermocouples for air temperature and vapor pressure measurement at the height of pineapple canopy
Z₂ : Thermocouples at 110 cm above pineapple canopy

2. 気温および水蒸気圧力の測定

(1) 気温

気温の測定は直径0.6mmの銅-コンスタンタン線を使って自作した熱電対を用いて行なった。その起電力と温度差との検定結果を図2に示す。

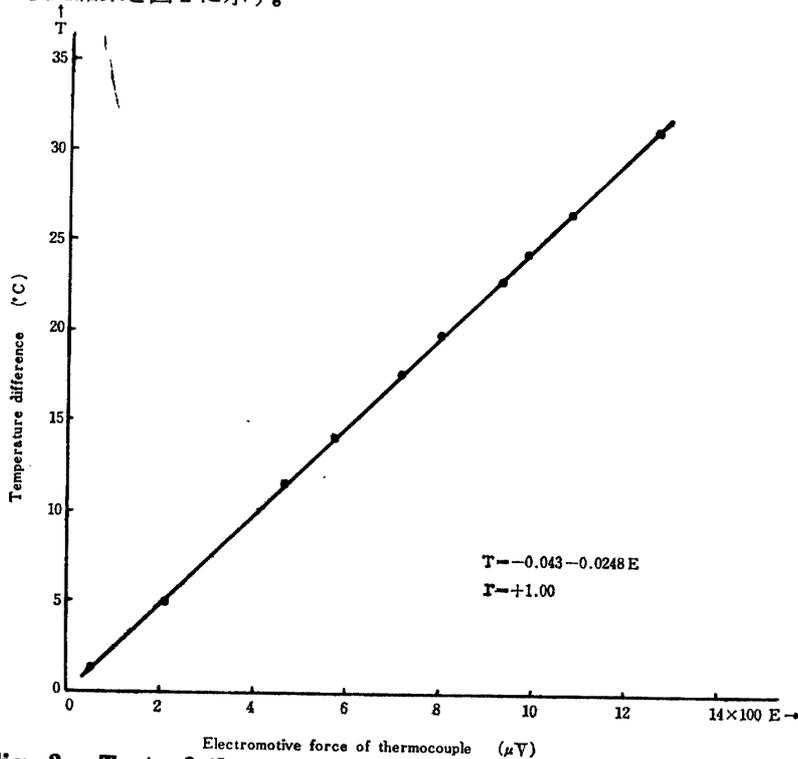


Fig. 2. Test of thermocouple for air temperature measurement

測定に当っては熱電対と冷接点用魔法瓶との連結は距離の都合上補償導線を使用した。

(2) 水蒸気圧力

水蒸気圧力を求めるための湿球は次のようにして自作した。すなわち、直径0.3 mmの銅-コンスタンタン線を使って熱電対の受感部を作り、これを固形パラフィンに溶かして包みこみ、さらにこれが固まった後に削って成形してからガーゼでおおって完成した。この湿球の大きさおよび形などを図3に示す。

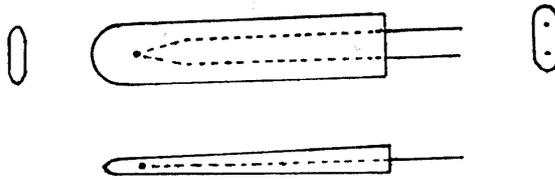


Fig. 3. Copper-constantan thermocouple for vapor pressure measurement, enclosed in molded solid paraffin, figure in full-size

次に図4には、この湿球の精度について標準のガラス水銀温度計による乾湿球と比較して百葉箱内で検定した結果を示す。

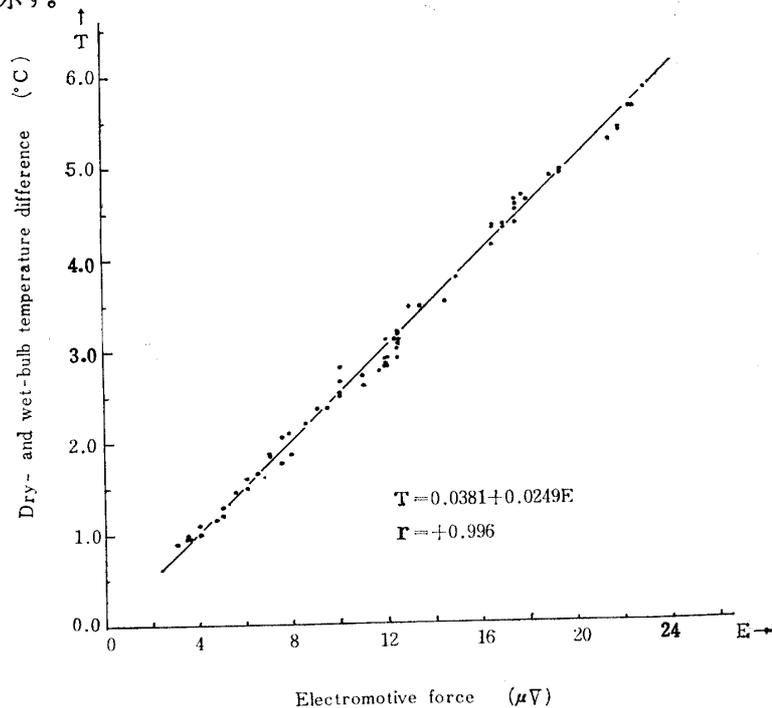


Fig. 4. Test of thermocouple-made wet-bulb for vapor pressure measurement

なお、冷接点用として使用する魔法瓶の数の都合上、湿球温度のかわり乾球-湿球温度差を記録計に記録させるようにし、魔法瓶は乾球温度の測定のためにだけ使うようにした。このために乾球-湿球温度差は、乾球と全く同じ太さの銅-コンスタンタン線の一方の接点を高温部とし、湿球を冷接点とする熱電対回路を作り、その起電力を乾球-湿球温度差に換算した。図5にはこれらの各受感部の組合せの状況を示す。

次に図6には実際に測定中の状況を示す。

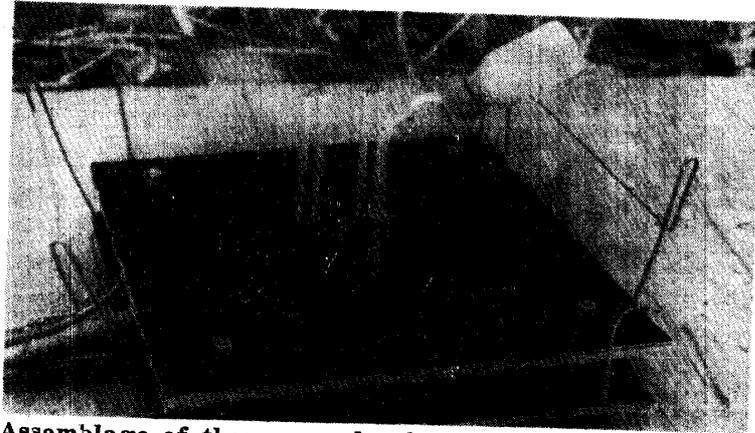
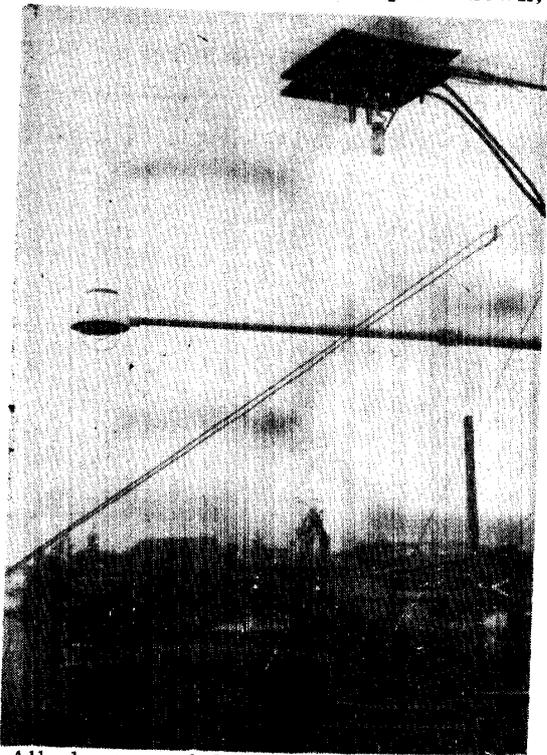
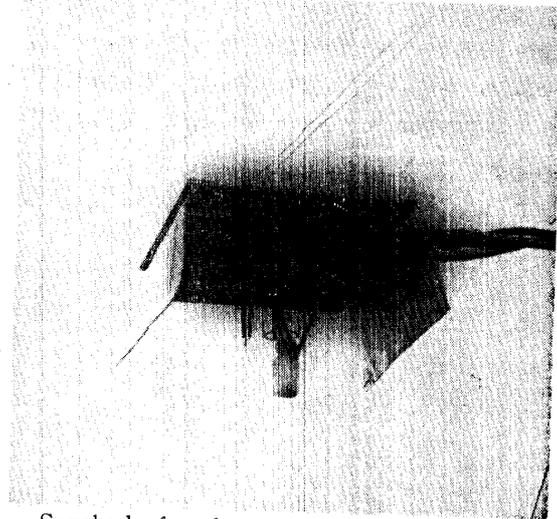


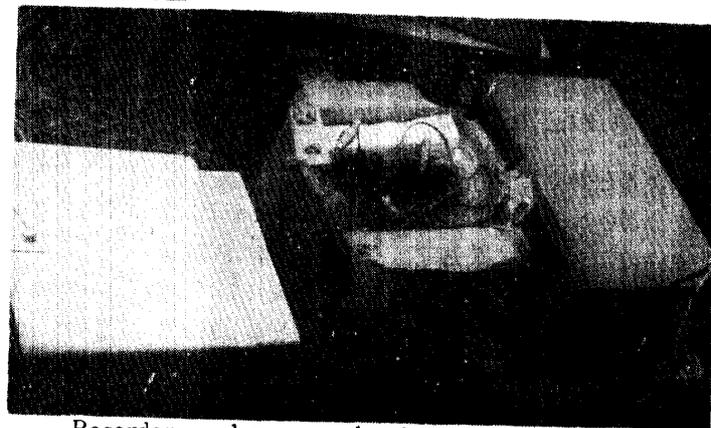
Fig. 5. Assemblage of thermocouples for air temperature and vapor pressure measurement, upside down, with the bottle for wet-bulb



Albedometer and Gorchynski pyrliometer also visible



Sunshade for thermocouples against sun at low altitudes



Recorders and vacuum bottles for thermocouples

Fig. 6. Air temperature and vapor pressure measurement in the field

これらの各要素のための記録計は横河製作所製のERB 6-30M-123 熱電温度記録計を使用した。

(3) 記録紙から気温および湿球温度の求め方

この実験では蒸発散量は30分の時間単位で求めた。このため気温および湿球温度も30分間ごとの時間平均値を使用することにした。このような時間平均値を出すために、記録紙からの実際の値の読取りは3.75分おきにとることとした。Berger-Landefeldtら(1)のアルファルファ上での測定によると、日中は気温および水蒸気圧力の時間変動は晴天にはかなり大きいようであるが、筆者のこんどの実験において上にのべたように3.75分おきに読み取るとは次の理由によって妥当であると考えられる。すなわち、この実験における記録紙上では気温および乾球-湿球温度差ともに時間変動の最小周期は3分ないし4分までのものが認められた。一方、Suomi(13)によるとsampling frequencyはこの最小周期とほぼ同一頻度であれば満足できることが知られている。

3. 純放射および有効放射の測定

短波放射については全天入射量を英弘精機製のゴルチンスキー日射計を用いた。この記録は前記の横河 ERB 6-30M-123 記録計で行なった。また、アルベドの測定は英弘精機製のMR-2型アルベドメーターを用いた。この記録には横河製 3046ペンレコーダーを使った。なお、アルベドメーターの据付け場所の高さによってアルベドに差があるかどうかを見るために、その高さを変えて実験した。その結果を図7に示す。

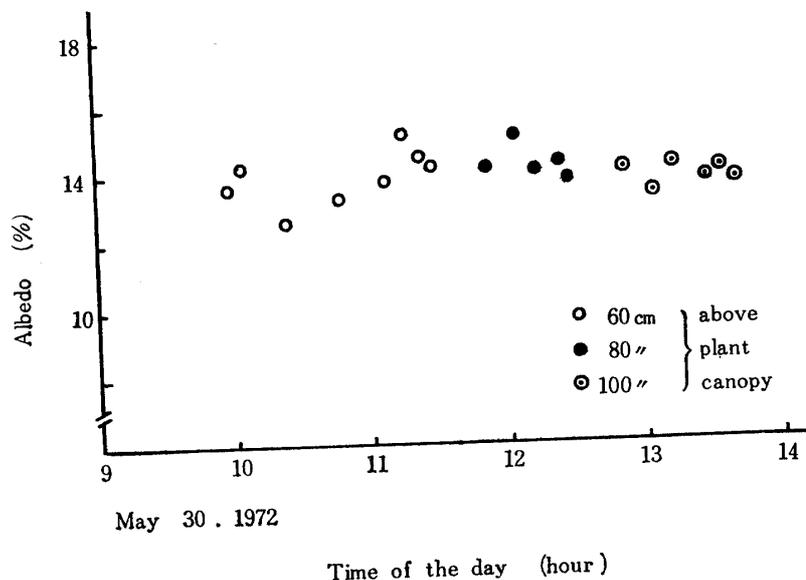


Fig. 7. Values of albedo measured at several heights

この図によると少くとも太陽高度が高い間は、アルベドメーターの高さが草丈面上60cmないし100cmの範囲内では高さによるアルベドの値の差はほとんどないと考えられる。したがってこの実験ではアルベドメーターの高さは常に草丈面上80cmに保つこととした。

次に有効放射は、いわゆる Brunt タイプの式(2)により、Berliandら(9)の求めた係数を使って計算し、さらにこれを雲量により補正することにした。この補正はKondratev(10)の求めた有効放射の計算値と実測値との比 n' を補正係数として行なった。これらの式を示すと次のとおりである。

$$R_e^* = \sigma T^4 (0.39 - 0.058 \sqrt{e})$$

$$R_e = n' R_e^*$$

- ここで R_e^* : 雲が全くないときの有効放射
 R_e : 実際の有効放射
 σ : ステファン・ボルツマン常数, $8.26 \times 10^{-11} \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2, \text{min}, ^\circ\text{K}^4}$
 T : パインアップルの草丈面上における気温 $^\circ\text{K}$
 e : 同じく草丈面上における水蒸気圧力 mm-Hg
 n' : 雲量に対する補正係数, その値は次の表 1 のとおり

Table 1. Relations between effective long-wave radiation and cloud amount, after Kondratev(10)

Cloud amount	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\frac{R_e}{R_e^*} \times 100$	100	96	90	84	78	70	61	52	42	30	17

以上の結果から純放射は次の式により計算することができる。

$$S_o = (1 - \alpha)(Q + q) - R_e$$

- ここで S_o : 純放射
 α : アルベド
 Q : 太陽からの短波長入射エネルギー
 q : 天空からの短波長入射エネルギー

4. 地中伝熱量の測定

この値は地中温度の経時変動を利用して温度積分法(15)により求めた。地中温度は通常のL型ガラス水銀温度計により、図 1-a に示す2つの場所でそれぞれ深さ 1cm, 5cm, 10cm, 20cm, および 30cm において測定し、これら2つの場所における測定の平均値により求めた。また、地中伝熱量は次の式により算出した。

$$\int_{t_1}^{t_2} B_o dt = - \sum_{n=1}^m H_n \cdot \overline{C_{v,n}} \cdot \overline{\Delta T_n}$$

- ここで B_o : 地表面を通しての地中熱フラックス $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2, \text{min}}$
 t_1, t_2 : はじめと終りの時刻
 H_n : 第 n 番目の土層の厚さ cm
 $\overline{C_{v,n}}$: 第 n 番目の土層の平均の体積熱容量 $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^3, ^\circ\text{C}}$
 $\overline{\Delta T_n}$: 第 n 番目の土層における時刻 $t_1 \sim t_2$ 間の地温の変化量の平均値 $^\circ\text{C}$
 m : 1日の周期で温度変化の認められる深さまでの土層の数

体積熱容量 C_v は次の Chudonovsky の式 (15) により求めた。

$$C_v = 0.2 \rho_v + \frac{W_v}{100} \frac{\text{cal}}{\text{cm}^3, ^\circ\text{C}}$$

ただし ρ_v : 土壌の仮比重

W_v : 土壤の容積水分含量 %

この実験では C_v の値を実際に求めるには、異なつた数日において深さ10cmまでの土層のみについてそれぞれ ρ_v , W_v を測定してから求めた。さらに、これら数日について各日の C_v の値を平均した結果を求めて0.475 cal/cm³/°cなる値を得た。実際の地中伝熱量の計算には C_v の値は日により深さにより一定として常にこの平均値を使った。その理由は次のとおりである。すなわち、この実験期間中かん水は常にじゅうぶんであつたので C_v の毎日の変動は非常に小さかつたと考えられる。また、地温の日変化も図12に示されるようにパインアップルの植被下では小さく、したがって深さ10cmよりも深い所における地中伝熱量は小さかつたので、深さ10cmまでの C_v の値を使用しても全体の地中伝熱量の計算の誤差は大きくはないと考えられる。表2には C_v の値の計算例と、各測定日における測定結果およびそれらの平均値を示す。

Table 2. Example of computation for volume heat capacity C_v , and its value for each day

Example of computation for C_v : July 14, 1972

Sample No.	Weight of container (gr)	Moist weight (gr)	Dry weight (gr)	weight of soil W_s (gr)	Weight of water W_w (gr)
1	55.11	187.00	159.13	104.02	27.87
2	58.33	187.00	160.69	102.36	26.31

Sample No.	Dry density γ_d (gr/cc)	Apparent specific gravity $\rho_v = \gamma_d / \gamma_w$	Volume water content $W_v = \rho_v \frac{W_w}{W_s}$ (%)	Volume heat capacity $C_v = 0.2 \rho_v + \frac{W_v}{100} \left(\frac{\text{cal}}{\text{cc}, ^\circ\text{c}} \right)$
1	1.0402	1.0402	27.87	0.4867
2	1.0236	1.0236	26.31	0.4678
				average : 0.477

C_v on each day :

Date	1972						Average
	July 8	13	14	Aug. 3	7	11	
C_v (cal/cc, °c)	0.485	0.477	0.477	0.471	0.471	0.470	0.475
Number of days after irrigation	5	10	1	1	5	9	-

次に表3には温度積分法による地中伝熱量の計算例を示す。

Table 3. Example of computation for heat conduction into soil

July 3, 1972

Initial time	Final time	Number of soil layer	Depth of thermometer	Depth range and thickness of soil layer	Mean temperature of soil layer at initial time	Mean temperature of soil layer at final time	Mean value of temp. difference	Heat capacity of soil layer	Heat storage in soil layer	Heat storage in whole soil layer	Heat storage in whole soil layer
t_1	t_2		(cm)	H (cm)	(°C)	(°C)	$\bar{\Delta T}$ (°C)	$H \cdot C_v$ ($\frac{cal}{cm^2}$)	$H \cdot C_v \cdot \bar{\Delta T}$ ($\frac{cal}{cm^2, 2hrs}$)	($\frac{cal}{cm^2, 2hrs}$)	($\frac{cal}{cm^2, min}$)
07:00	09:00	1	1	0 ~ 3 3	26.30	27.15	-0.85	1.425	-1.211	-1.163	-0.01
		2	5	3 ~ 7 4	26.35	26.70	-0.35	1.900	-0.665		
		3	10	7 ~ 15 8	26.40	26.40	±0.00	3.800	±0.000		
		4	20	15 ~ 25 10	26.80	26.70	+0.10	4.750	+0.475		
		5	30	25 ~ 30 5	27.35	27.25	+1.10	2.375	+0.238		

5. 蒸発散量の求め方

一般に地表面付近の熱収支の式は次のようにして表わすことができる。

$$S_o + L_o + \ell E_o + B_o = 0 \quad (\text{各項とも } cal/cm^2/min \text{ 単位})$$

ただし、 S_o は純放射、 L_o は顕熱伝達量、 ℓ は水蒸気の潜熱 $590 cal/g$ 、 E_o は蒸発散量 $g/cm^2/min$ 、 B_o は地中伝熱量である。

ここで $L_o = \rho C_p K_T dT/dz$ 、 $\ell E_o = \ell \rho K_w dq/dz$ となるので上の式は次のように書くことができる。

$$S_o + \rho C_p K_T \frac{dT}{dz} + \ell \rho K_w \frac{dq}{dz} + B_o = 0$$

ここで C_p と ρ はそれぞれ空気の定圧比熱と密度、 dT/dz と dq/dz は気温と混合比の垂直傾度、 K_T と K_w は顕熱と水蒸気の乱流拡散係数である。いま $K_T = K_w$ と仮定してこの式を変形すると、

$$\begin{aligned} \ell E_o &= - \frac{S_o + B_o}{1 + \frac{C_p}{\ell} \frac{dT}{dz} / \frac{dq}{dz}} = - \frac{S_o + B_o}{1 + \frac{C_p}{\ell} \frac{T_2 - T_1}{q_2 - q_1}} \\ &\doteq - \frac{S_o + B_o}{1 + 0.5 \frac{T_2 - T_1}{e_2 - e_1}} = - \frac{S_o + B_o}{1 + \beta} \end{aligned}$$

ただし、 $\beta = 0.5 (T_2 - T_1) / (e_2 - e_1)$ はボーエン比で、 T_1 、 T_2 、 e_1 、および e_2 はそれぞれ草丈面および草丈面上高さ $110cm$ における気温 (°C) と水蒸気圧力 (mm-Hg) である。表 4 には実際の計算の 1 例を示す。

Table 4. Example of computation of evapotranspiration

July 3, 1972

Time	Air temperature difference $T_2 - T_1$ (°C)	Vapor pressure difference $e_2 - e_1$ (mm-Hg)	Bowen ratio β	Net incoming short-wave radiation $(1-\alpha) \times (Q+q)$ ($\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2, \text{min}}$)	Effective long-wave radiation R_e ($\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2, \text{min}}$)	Net radiation for all wave-lengths S_o ($\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2, \text{min}}$)	Heat conduction into soil B_o ($\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2, \text{min}}$)	$S_o + B_o$ ($\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2, \text{min}}$)	$1 + \beta$	Latent heat LE_o ($\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2, \text{min}}$)	Evapo-transpiration E_o ($\frac{\text{mm}}{30 \text{min}}$)
7:00~7:30	+0.3	-0.50	-0.30	+0.07	-0.04	+0.03	-0.01	+0.02	+0.70	0.00	0.00
7:30~8:00	+0.3	-0.60	-0.25	+0.08	-0.04	+0.04	-0.01	+0.03	+0.75	0.00	0.00
8:00~8:30	-0.1	-0.59	+0.08	+0.48	-0.04	+0.44	-0.01	+0.43	+1.08	-0.40	0.20
8:30~9:00	-1.7	-1.88	+0.45	+0.63	-0.04	+0.59	-0.01	+0.58	+1.45	-0.40	0.20
9:00~9:30	-1.2	-0.58	+1.03	+0.52	-0.04	+0.48	-0.05	+0.43	+2.03	-0.21	0.11
9:30~10:00	-1.2	-0.17	+3.53	+0.66	-0.04	+0.62	-0.05	+0.57	+4.53	-0.13	0.07
10:00~10:30	-1.4	-0.64	+1.09	+0.70	-0.04	+0.66	-0.05	+0.61	+2.09	-0.29	0.15
10:30~11:00	-0.7	-0.54	+0.65	+0.55	-0.04	+0.51	-0.06	+0.46	+1.65	-0.28	0.14
11:00~11:30	-1.2	-0.14	+4.29	+0.84	-0.04	+0.80	-0.10	+0.70	+5.29	-0.13	0.07
11:30~12:00	-1.1	-0.67	+0.82	+0.52	-0.04	+0.48	-0.10	+0.38	+1.82	-0.21	0.11
12:00~12:30	-2.0	-0.60	+1.67	+0.93	-0.04	+0.89	-0.10	+0.79	+2.67	-0.30	0.15
12:30~13:00	-2.4	-0.49	+2.45	+1.15	-0.05	+1.09	-0.10	+0.99	+3.45	-0.29	0.15
13:00~13:30	-2.6	-0.37	+3.51	+1.15	-0.06	+1.09	-0.07	+1.02	+4.51	-0.23	0.12
13:30~14:00	-2.5	-0.66	+1.89	+1.08	-0.07	+1.01	-0.07	+0.94	+2.89	-0.33	0.17
14:00~14:30	-2.5	-0.05	+25.00	+1.11	-0.07	+1.04	-0.07	+0.90	+26.00	-0.04	0.02
14:30~15:00	-2.7	-0.33	+4.09	+1.04	-0.07	+0.97	-0.07	+0.90	+5.09	-0.18	0.09
15:00~15:30	-2.4	-0.36	+3.33	+0.84	-0.07	+0.77	+0.05	+0.82	+4.33	-0.19	0.10
15:30~16:00	-1.8	-0.52	+1.73	+0.70	-0.07	+0.63	+0.05	+0.68	+2.73	-0.25	0.13
16:00~16:30	-1.5	-0.45	+1.67	+0.53	-0.06	+0.47	+0.05	+0.52	+2.67	-0.19	0.10
16:30~17:00	-1.7	-0.39	+2.18	+0.46	-0.06	+0.40	+0.05	+0.45	+3.18	-0.14	0.07
17:00~17:30	-0.6	-0.40	+0.75	+0.19	-0.06	+0.13	+0.03	+0.16	+1.75	-0.09	0.05
17:30~18:00	-0.5	-0.68	+0.37	+0.15	-0.06	+0.09	+0.03	+0.12	+1.37	-0.09	0.05
18:00~18:30	-0.2	-0.11	+0.91	+0.10	-0.06	+0.04	+0.03	+0.07	+1.91	-0.04	0.02
18:30~19:00	±0.0	-0.67	+0.00	+0.04	-0.06	-0.02	+0.03	+0.01	+1.00	-0.01	0.01
Total										-4.42	2.28

III 実験結果および考察

1. 純放射

表5には純放射の測定結果を示す。

Table 5. Net radiation for all wave-lengths for each daytime, $\frac{cal}{cm^2, min}$

Date	1972									Total	Average
Time	July 3	4	5	8	10	11	18	19	Aug. 2		
7:00~ 7:30	0.03	0.09	0.06	0.04	0.01	0.00	0.03	0.08	0.07	0.41	0.05
7:30~ 8:00	0.04	0.12	0.12	0.11	0.09	0.02	0.10	0.12	0.12	0.84	0.09
8:00~ 8:30	0.44	0.17	0.18	0.32	0.35	0.26	0.16	0.21	0.30	2.39	0.27
8:30~ 9:00	0.59	0.23	0.34	0.66	0.53	0.37	0.16	0.46	0.19	3.53	0.39
9:00~ 9:30	0.48	0.25	0.27	0.69	0.60	0.81	0.53	0.48	0.21	4.32	0.48
9:30~10:00	0.62	0.35	0.36	0.40	0.55	0.64	0.33	0.66	0.17	4.08	0.45
10:00~10:30	0.66	0.45	0.44	0.45	0.75	0.75	0.34	0.77	0.11	4.72	0.52
10:30~11:00	0.51	0.66	0.59	0.63	0.82	0.77	0.46	0.83	0.19	5.46	0.61
11:00~11:30	0.80	0.78	0.74	0.72	0.73	0.82	0.66	0.70	0.21	6.16	0.68
11:30~12:00	0.48	0.95	0.41	0.76	0.83	0.67	0.86	0.83	0.44	6.23	0.69
12:00~12:30	0.89	0.68	0.69	0.95	0.69	0.51	0.78	0.70	0.25	6.14	0.68
12:30~13:00	1.09	0.93	0.80	0.95	0.86	1.16	0.87	0.65	0.68	7.99	0.89
13:00~13:30	1.09	0.67	0.61	0.97	0.89	1.00	0.52	0.73	0.85	7.34	0.82
13:30~14:00	1.01	0.50	0.47	0.94	0.48	0.83	0.68	0.71	0.58	6.20	0.69
14:00~14:30	1.04	0.73	0.61	0.87	0.24	0.47	0.70	0.64	0.51	5.81	0.65
14:30~15:00	0.97	0.46	0.52	0.66	0.52	0.55	0.68	0.56	0.37	5.29	0.59
15:00~15:30	0.77	0.35	0.42	0.66	0.38	0.54	0.60	0.71	0.34	4.77	0.53
15:30~16:00	0.63	0.38	0.26	0.60	0.25	0.59	0.70	0.51	0.21	4.13	0.46
16:00~16:30	0.47	0.17	0.38	0.55	0.29	0.27	0.30	0.30	0.19	2.92	0.32
16:30~17:00	0.40	0.30	0.09	0.38	0.41	0.34	0.22	0.19	0.15	2.48	0.28
17:00~17:30	0.13	0.20	0.09	0.13	0.25	0.30	0.13	0.16	0.12	1.51	0.17
17:30~18:00	0.09	0.10	0.07	0.04	0.06	0.08	0.07	0.07	0.06	0.64	0.07
18:00~18:30	0.04	0.05	0.04	0.01	0.01	0.06	0.06	0.01	0.01	0.29	0.03
18:30~19:00	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02	0.00	-0.05	0.02	-0.01	-0.02	-0.13	-0.01
Total:											
$\frac{cal}{cm^2, min}$	13.25	9.56	8.54	12.47	10.59	11.76	9.96	11.07	6.32	93.52	10.42
$\frac{cal}{cm^2, daytime}$	397.5	286.8	256.2	374.1	317.7	352.8	298.8	332.1	189.6	2805.6	312.6

測定を行なった日は天気のよい日が多かったが、この表に見られるとおり日によっては昼間の各時刻の純放射の大きさにはかなりの差があった。しかし全測定日についての時刻別の合計量は太陽南中時前後が最大であって、太陽高度が低くなるにつれて次第に小さくなっている。

2. アルベド

この実験期間中のパイナップルは結実期の後期に当っていて葉面積指数も4.1~4.3の範囲にあったが土壌面の露出部は全面積の約15%位であった。この条件の下で測定したアルベドの経時変化を図8に示す。

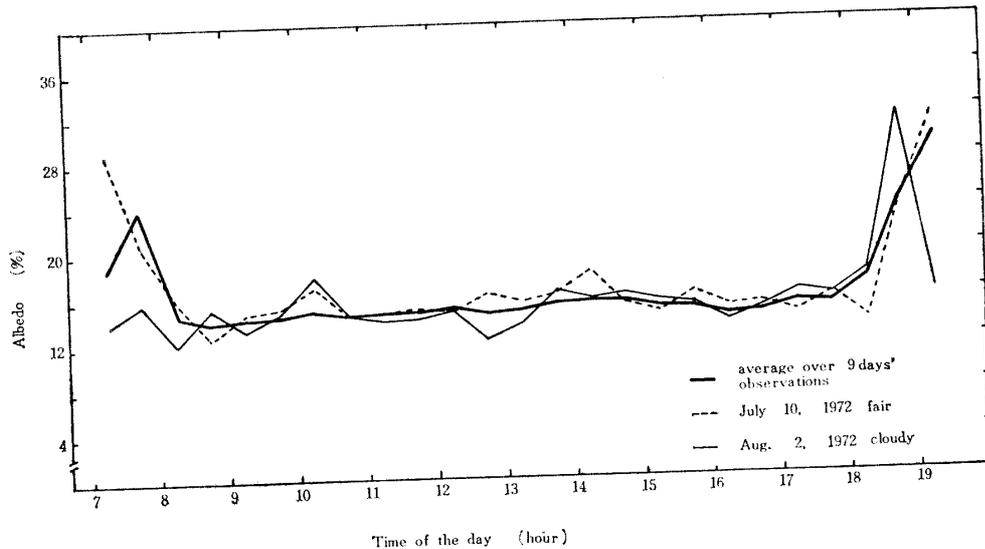


Fig. 8. Variation with time of albedo of pineapple canopy

この図には測定日全部についての平均値と、晴天およびくもりの日における例とを示してある。この図によるとこれらのアルベドの経時変動はかなり小さく、日出および日入のころの前後を除いてほとんどいつでも約15%を示している。これは、他の作物等においてアルベドが太陽高度が低いときに大きく、太陽南中時のころにもっとも小さくなっている例(6)と比べてかなりの差がある。

3. ボーエン比

この実験を行なった全部の日について昼間の30分おきに求めたボーエン比を図9に示す。

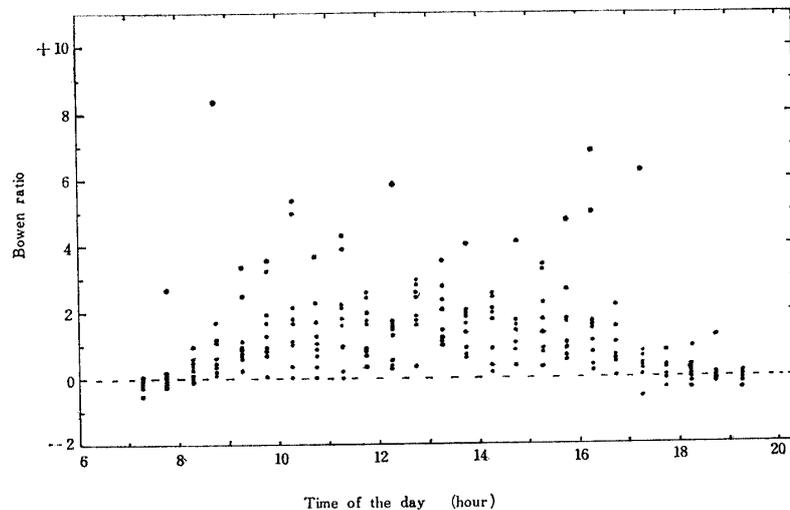


Fig. 9. Variation with time of Bowen ratio above pineapple canopy

図に見られるようにパインアップル植被上においてはボーエン比は変動の大きい量であることがわかる。しかし、朝夕に太陽高度が低くなってくるとボーエン比の変動は小さくなり、また、その値も小さくなる。この実験において朝夕および夜間にはボーエン比がマイナスの値になることがあったが、これはおもに気温の逆転によるものであった。

この図に示されるように、パインアップルの圃場では日中のボーエン比はかなり大きく、その大部分が+1.0以上になっている。このような値は自然状態にある裸地面(4)または水田上(8)における値と比べて大きな差がある。したがって、パインアップルの圃場ではその土壌含水量がじゅうぶんであっても、その草丈面より上の気層ではあたかも乾燥した裸地上のようになっているものと推察される。

4. 有効放射

表6には有効放射の測定結果を示す。

Table 6. Effective long-wave radiation for each daytime, $\frac{cal}{cm^2, min}$

Date										
Time	1972									Average
	July	4	5	8	10	11	18	19	Aug.	
	3								2	
7:00~ 7:30	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
7:30~ 8:00	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
8:00~ 8:30	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
8:30~ 9:00	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
9:00~ 9:30	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
9:30~10:00	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
10:00~10:30	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
10:30~11:00	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
11:00~11:30	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
11:30~12:00	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
12:00~12:30	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
12:30~13:00	0.06	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05
13:00~13:30	0.06	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05
13:30~14:00	0.07	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.03	0.04	0.03	0.05
14:00~14:30	0.07	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.05
14:30~15:00	0.07	0.04	0.04	0.05	0.02	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
15:00~15:30	0.07	0.04	0.04	0.05	0.02	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
15:30~16:00	0.07	0.04	0.04	0.05	0.02	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
16:00~16:30	0.06	0.04	0.04	0.05	0.02	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
16:30~17:00	0.06	0.04	0.04	0.05	0.02	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
17:00~17:30	0.06	0.04	0.04	0.05	0.02	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
17:30~18:00	0.06	0.04	0.04	0.05	0.02	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
18:00~18:30	0.05	0.04	0.04	0.05	0.02	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
18:30~19:00	0.06	0.04	0.04	0.04	0.02	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
Total :										
$\frac{cal}{cm^2, daytime}$	38.1	28.8	27.9	34.8	25.2	36.3	22.2	28.8	21.6	29.7

この表から見て沖縄の夏にはパイナップル圃場からの有効放射は晴天の日には昼間に約 $40\text{cal}/\text{cm}^2/\text{daytime}$ 、くもりの日には昼間に約 $20\text{cal}/\text{cm}^2/\text{daytime}$ になっていることがわかる。これらの値は純放射全体の大きさに比べると小さい方であるが、後に示すようにパイナップルの蒸発散量も小さな値であるために、これらの有効放射の大きさは潜熱伝達量のおよそ15%ないし25%のオーダーになる。

次に図10には夜間における有効放射（夜間の純放射）と地中伝熱量の測定の一例を示す。

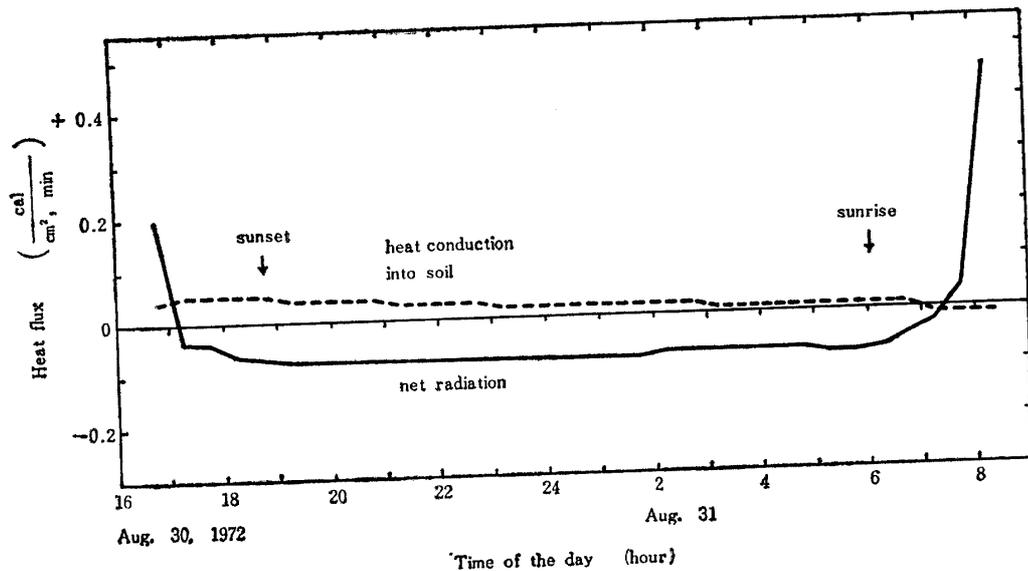


Fig. 10. Example of heat balance term measurement at night

この例における夜間には天気はよく雲量は各時刻ともほとんど1~2以下で、また、この夜に先立つ昼間もよい天気であった。したがってこの例における有効放射量は沖縄の夏の夜間における値としてはかなり大きい方で、また、地中伝熱量もパイナップル植被下における値としては大きい方であったと考えてよい。このような条件にもかかわらず夜間の有効放射（夜間の純放射）は約 $0.08\text{cal}/\text{cm}^2/\text{min}$ 、地中伝熱量は約 $0.04\text{cal}/\text{cm}^2/\text{min}$ 以下のオーダーであった。

5. 蒸発散量

表7には各測定日の昼間における30分間ごとの蒸発散量の値とその集計結果とを示す。この表によると全9日の測定日について昼間の蒸発散量は最大 $2.69\text{mm}/\text{daytime}$ 、最小 $1.29\text{mm}/\text{daytime}$ 、全平均が $2.11\text{mm}/\text{daytime}$ になっている。この表には夜間の蒸発散量は含まれていない。しかし、熱収支法による測定では夜間の蒸発散量はほとんどゼロになることがわかった。その理由は次のとおりである。図10にも見られるとおり夜間の有効放射は晴天の時に約 $0.08\text{cal}/\text{cm}^2/\text{min}$ のオーダーである。また、表1中の補正係数から見てくもりの時の夜間の有効放射は $0.02\sim 0.03\text{cal}/\text{cm}^2/\text{min}$ 程度になるものと考えられる。しかし、夜間に地中から地表面に上って来る地中伝熱量は約 $0.04\text{cal}/\text{cm}^2/\text{min}$ のオーダーであって夜半を過ぎるとこの値はさらに小さくなる。これら有効放射と地中伝熱量の大きさから見ると、夜間にはこの2つの熱収支項は相殺されるオーダーにあり、むしろ有効放射の方が大きい位である。したがって上に示したパイナップルの昼間の蒸発散量は全1日間の蒸発散量にほとんど等しいと考えてよい。

Table 7. Evapotranspiration for each daytime, $\frac{mm}{30 min}$

Date Time	1972									Total	Average
	July 3	4	5	8	10	11	18	19	Aug. 2		
7:00~ 7:30	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
7:30~ 8:00	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.10	0.01
8:00~ 8:30	0.20	0.04	0.00	0.10	0.14	0.13	0.04	0.07	0.14	0.86	0.10
8:30~ 9:00	0.20	0.01	0.06	0.20	0.13	0.17	0.05	0.10	0.08	1.00	0.11
9:00~ 9:30	0.11	0.03	0.07	0.18	0.18	0.24	0.16	0.07	0.09	1.13	0.13
9:30~10:00	0.07	0.04	0.08	0.08	0.10	0.16	0.09	0.10	0.08	0.80	0.09
10:00~10:30	0.15	0.07	0.04	0.10	0.14	0.12	0.11	0.06	0.06	0.80	0.09
10:30~11:00	0.14	0.12	0.06	0.09	0.19	0.19	0.16	0.16	0.10	1.21	0.13
11:00~11:30	0.07	0.08	0.03	0.11	0.13	0.20	0.26	0.10	0.11	1.09	0.12
11:30~12:00	0.11	0.15	0.05	0.19	0.14	0.12	0.23	0.01	0.16	1.16	0.13
12:00~12:30	0.15	0.05	0.12	0.18	0.14	0.17	0.23	0.12	0.09	1.25	0.14
12:30~13:00	0.15	0.04	0.10	0.12	0.14	0.20	0.15	0.08	0.25	1.23	0.14
13:00~13:30	0.12	0.10	0.13	0.19	0.13	0.13	0.11	0.17	0.20	1.28	0.14
13:30~14:00	0.17	0.05	0.09	0.17	0.09	0.13	0.20	0.18	0.16	1.24	0.14
14:00~14:30	0.02	0.13	0.09	0.14	0.11	0.12	0.09	0.10	0.18	0.98	0.11
14:30~15:00	0.09	0.09	0.01	0.13	0.19	0.13	0.00	0.10	0.09	0.83	0.09
15:00~15:30	0.10	0.07	0.05	0.13	0.14	0.14	0.00	0.11	0.09	0.83	0.09
15:30~16:00	0.13	0.08	0.08	0.06	0.08	0.09	0.00	0.14	0.07	0.73	0.08
16:00~16:30	0.10	0.05	0.08	0.04	0.14	0.09	0.03	0.06	0.08	0.67	0.07
16:30~17:00	0.07	0.07	0.04	0.10	0.21	0.12	0.08	0.04	0.00	0.73	0.08
17:00~17:30	0.05	0.07	0.05	0.07	0.13	0.02	0.06	0.00	0.07	0.52	0.06
17:30~18:00	0.05	0.05	0.03	0.05	0.00	0.01	0.06	0.00	0.00	0.25	0.03
18:00~18:30	0.02	0.04	0.03	0.00	0.00	0.01	0.06	0.00	0.02	0.18	0.02
18:30~19:00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.04	0.00
Total: $\frac{mm}{daytime}$	2.28	1.49	1.29	2.47	2.65	2.69	2.24	1.77	2.12	19.00	2.11

次にこんどの実験と同じ時期に、同じ場所で水収支法によって測定した蒸発散量の値(12)を表8に示す。なお、比較のためにこんどの熱収支法による結果も併せて示す。

Table 8. Evapotranspiration obtained by water balance method and heat balance method

8-a Water balance method :

Period	1972 June 26-July 3	July 4-13	July 14-24	July 25-Aug. 2	Average
Average of evapotranspiration (mm/day)	2.00	1.74	1.71	1.71	1.79

8-b Heat balance method :

Date	1972 July 3	4	5	8	10	11	18	19	Aug. 2	Average
Evapotranspiration (mm/daytime)	2.28	1.49	1.29	2.47	2.65	2.69	2.24	1.77	2.12	2.11

これら2つの方法による各平均値を比べると熱収支法による値の方が約20%多くなっている。その理由については後に「考察」の項でのべたい。

こんどの実験の結果からパイナップル圃場における昼間の蒸発散量の経時変動の傾向がわかった。これを図11に示す。

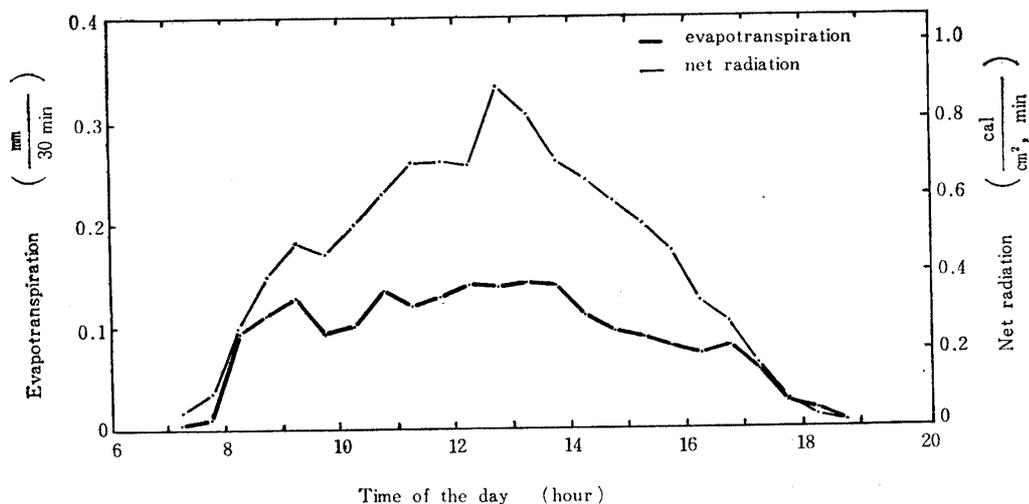


Fig. 11. Daily march of evapotranspiration of pineapple and net radiation for all wave-lengths, averaged over 9 days' observations by heat balance method

この図は全測定日についての平均値を示す。この図から次のことが注目される。すなわち、パイナップルの蒸発散量は日出後の午前8時ごろに日射がある程度強くなって来ると急激に増加する。しかし、太陽南中時のころには日射が強い割には蒸発散量は増加しない。このことは図9のボーエン比の経時変化の傾向からも推察されることである。

6. 地中伝熱量

図12には深さ10cmにおける裸地とパイナップルの植被下(図1-aのDの位置)の地温の変動の1例を示す。

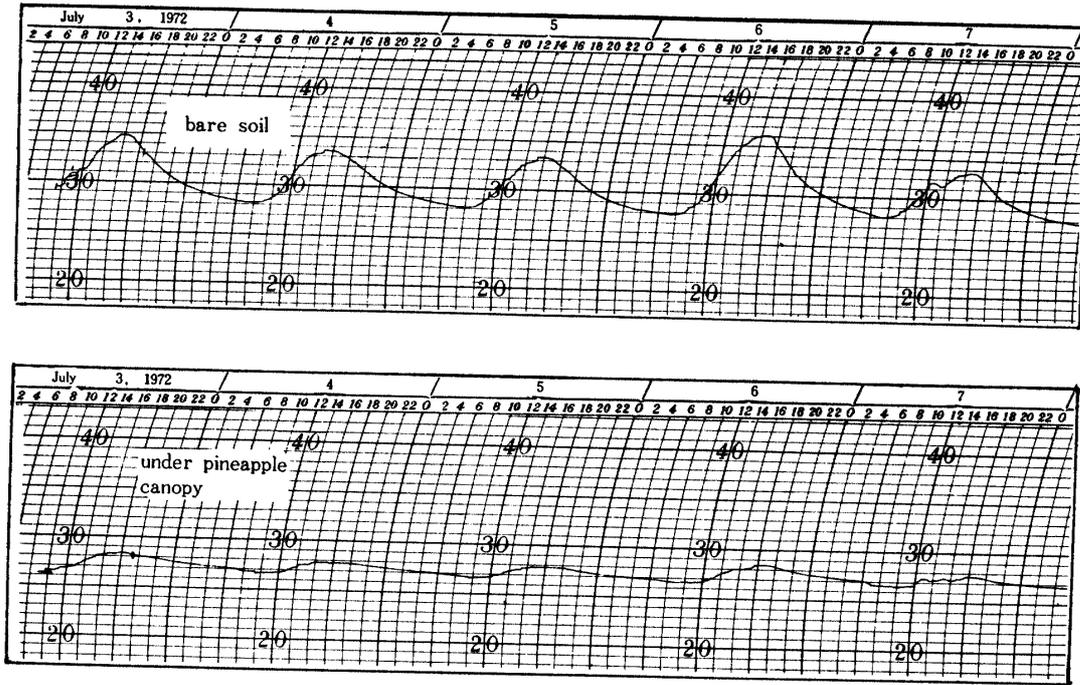


Fig. 12. Earth temperature at depth 10cm for bare soil and soil under pineapple canopy, °C

この図によるとパイナップルの植被下では地温の変動の振幅がかなり小さいことがわかる。このことはまた、この植被下の地中伝熱量はかなり小さいことを示すものである。次に表9にはこの実験期間の各測定日における昼間の地中伝熱量の測定結果を示す。

Table 9. Heat conduction into soil for each daytime, $\frac{cal}{cm^2, min}$

	1972 July 3	4	5	8	10	11	18	19	Aug. 2	Average
7:00~ 9:00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.03	-0.01	±0.00	-0.03	-0.03	-0.01	-0.02
9:00~11:00	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06	-0.04	-0.08	-0.04	-0.10	±0.00	-0.05
11:00~13:00	-0.10	-0.08	-0.07	-0.07	-0.06	-0.05	-0.09	-0.07	-0.03	-0.07
13:00~15:00	-0.07	-0.01	-0.03	-0.05	±0.00	-0.03	-0.06	-0.04	-0.04	-0.04
15:00~17:00	+0.05	+0.03	+0.30	+0.03	+0.02	+0.04	+0.02	+0.02	+0.01	+0.03
17:00~19:00	+0.03	+0.03	+0.03	+0.06	+0.04	+0.04	+0.05	+0.05	+0.03	+0.04
Total : $\frac{cal}{cm^2, daytime}$	-18.0	-10.8	-12.0	-14.4	-6.0	-9.6	-18.0	-19.2	-4.8	-112.8

図1-aに示されるように、地温の測定位置が畦間や太陽の動きに対して対称性がなかったために、午後における地中伝熱量は実際よりもわずかながら少な目に計算されたものと考えられる。このことを考慮に入れても第9表の値はかなり小さいものである。

7. 各熱収支項の大きさの比較等について

図13にはこんどの実験における全9日間について昼間における各熱収支項の大きさを各時間別に平均をとった結果を示す。

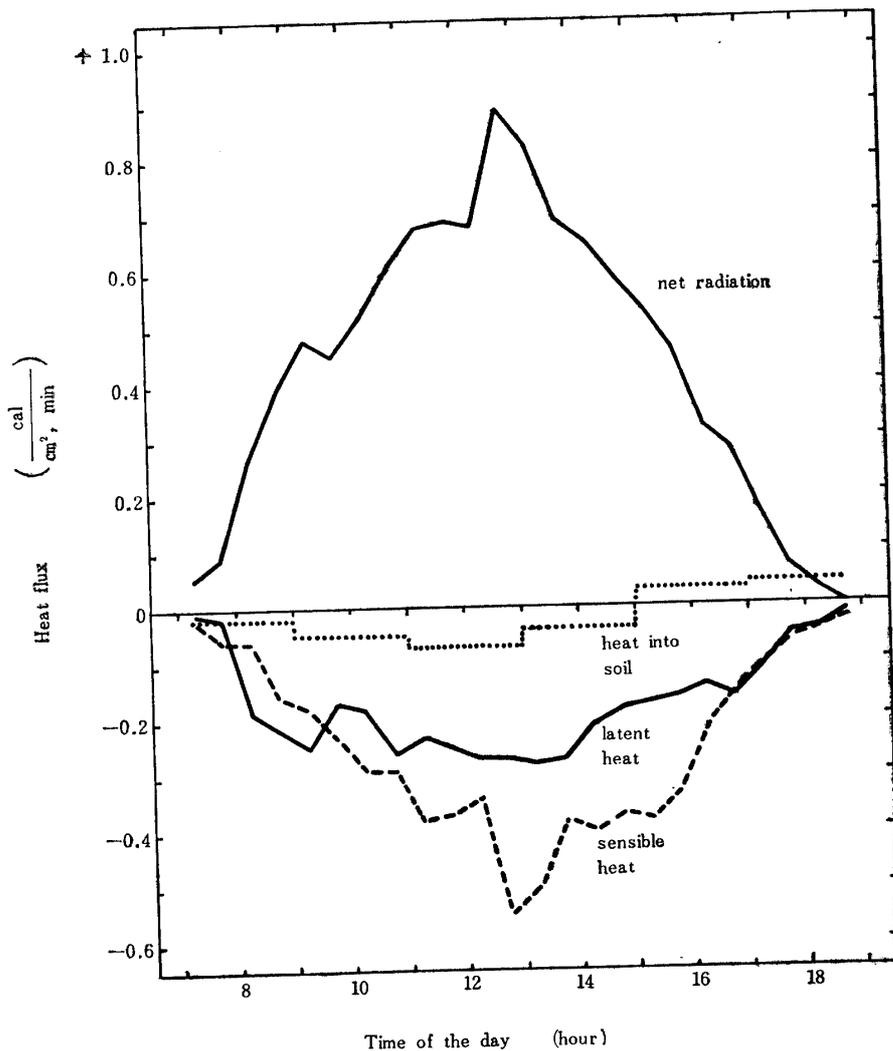


Fig. 13. Comparison of each heat balance term in the daytime for pineapple canopy, averaged over 9 days' observations

この図によるとパイナップルの植被上では顕熱伝達量がかなり大きいことが注目される。また、潜熱伝達量(蒸発散量)は純放射が特に大きい太陽南中時のころにおいても著しい増加はないことも注目に値する。このことはパイナップルの群落内における蒸発散量と植被下の土壌面からの蒸発量とが太陽高度の影響を受けるために、必ずしも純放射量に比例するものではないことを示すものであると考えられる。

次に表10には、全9日間についておのおのの日の昼間の各熱収支項の大きさ等を集計したものを示す。

Table 10. Each heat balance term in $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \text{ daytime}}$ for each daytime and other parameters

Date	1972										Aug. 2	Ratio to S ₀	
	July 3	4	5	8	10	11	18	19	Total Average				
Heat balance terms etc.													
Incoming short-wave radiation	Q+q	512.4	369.6	334.5	482.7	405.3	459.3	376.8	420.9	248.2	3609.7	401.1	100.0
Net incoming short-wave radiation	$(1-\alpha)(Q+q)$	436.2	315.9	284.7	409.5	342.9	390.6	321.0	361.2	211.8	3073.8	341.5	85.2
Reflected short-wave radiation	$\alpha(Q+q)$	76.2	53.7	49.8	73.2	62.4	68.7	55.8	59.7	36.4	535.9	59.5	14.8
Albedo	α	0.149	0.145	0.149	0.152	0.154	0.150	0.148	0.142	0.147	—	0.148	—
Effective long-wave radiation	Re	38.1	28.8	27.9	34.8	25.2	36.3	22.2	28.8	21.6	263.7	29.3	7.3
Net radiation for all wave-lengths	S ₀	397.5	286.8	256.2	374.1	317.7	352.8	298.8	332.1	189.6	2805.6	311.7	77.7
Heat conduction into soil	B ₀	18.0	10.8	12.0	14.4	6.0	9.6	18.0	19.2	4.8	112.8	12.5	4.0
Sensible heat	L	246.9	190.8	169.8	216.0	156.6	185.1	149.1	209.4	61.8	1585.5	176.2	56.5
Latent heat	lE ₀	132.6	85.2	74.4	143.7	155.1	158.1	131.7	103.5	123.0	1107.3	123.0	39.5
Evapo-transpiration ($\frac{\text{mm}}{\text{daytime}}$)	E ₀	2.28	1.49	1.29	2.47	2.65	2.69	2.24	1.77	2.12	190.0	2.11	—
Ratio of sensible heat to latent heat	L/lE ₀	1.86	2.24	2.28	1.50	1.01	1.17	1.13	2.02	0.50	—	1.53	—

この表によると純放射エネルギーのうちで蒸発散に使われたエネルギーは約40%であるが、顕熱伝達量は約36%もあって前者よりもかなり大きいことが注目される。地中伝熱量は約4%でかなり小さい方であった。また、アルベドは全天日射量の約5%に当り他の作物に比べると小さい方である。

なお、この実験においてもパインアップルの蒸発散量は、水収支法による値(12)とかなりよく一致していて、しかもかなり小さい値であることがわかった。

次に夜間における地中伝熱量と有効放射の測定結果から見て、夜間には蒸発散に使われるエネルギー源がほとんどないので、熱収支法によるとパインアップルの夜間の蒸発散量はほとんどゼロになるものと考えられる。したがってこの実験の結果得られた昼間の蒸発散量は夜間も含めた全1日間の蒸発散量にほぼ等しい値であったと考えてよい。

8. 考 察

こんどの実験で熱収支法によるパインアップルの蒸発散量の測定の精度は水収支法によるもの(12)にかなり近いことがわかった。熱収支法による値はいくぶん大きく測定されたが、このことは必ずしもオアシス効果によるものではないと考えられる。その1つの理由は、2つの方法とも同一の場所における測定であったからである。一般的に言えば、パインアップルの蒸発散量に関する限りオアシス効果は他の作物におけるほどに顕著ではないと思われる。パインアップルの植被上においては日中のボーエン比はかなり大きく、あたかも乾いた地面上におけるような現象を呈する。このことはパインアップルの圃場に移流によって入ってくる大気中の水分にとってはむしろ1種の“Sink”のようなものになると考えられ、したがってオアシス効果はかなり小さいものと思われる。

上にのべたように熱収支法による蒸発散量が水収支法によるよりも大きかった理由としては次のことが考えられる。

- a. 熱収支法では移流によって顕熱が圃場から失われるものがかなりあった。そしてこのような熱量があたかも蒸発の潜熱として使われたような測定結果になった。例えば移流により顕熱が失われて気温 T_1 が低下するためにボーエン比が小さくなることなどはこの現象に当る。
- b. ボーエン比を求めるための気温および水蒸気圧力を測定する受感部が同一地点に固定されていたためにこれらの値の空間平均をとる(14)ことができず、これが誤差の1つの原因になった。

次に、この実験によってパインアップル植被上のアルベドが約15%であることがわかったが、この値は他の作物に比較して小さい方である(6)。その上、パインアップルの蒸発散量も、たとえばイネ(11)やサトウキビ(8)などに比べて小さい方である。これらのことはパインアップルの圃場からは実際に顕熱の形で放出される熱量が昼間にはかなり大きいことを示すものである。以上のことはこんどの実験結果でも図13や表10によく表われている。Noffsinger(7)によるとハワイの3月~4月ごろにパインアップルの葉温は昼間には気温よりも平均 1.5°C ~ 3.5°C 高く、直射日光の下では時には 7.6°C も高かったが、パパイヤの葉温は常に気温よりも低かったと言う。このこともパイアップル植被上では顕熱伝達量が大きいことを示すものである。

こんどの実験の結果からもパインアップルの蒸発散量は他の作物に比べてかなり小さいことがわかった。したがって熱収支法によってその蒸発散量を測定する場合には各熱収支項の大きさを特に正確に測定する必要がある。有効放射や地中伝熱量の大きさなどは他の熱収支項に比べて一般にかなり小さいものであるが、パインアップルの蒸発散量に関する限り、これら2つの熱収支項のオーダーは潜熱伝達量のそれぞれ25%および10%にも達する。特に有効放射については、いわゆる Brunt タイプとか Ångström タイプのような実験式による間接測定ではなくて直接測定の容易な方法が開発されることが望ましい。

IV 摘 要

この報告は沖縄におけるパインアップルの蒸発散量について熱収支法による1つの測定実験結果をまとめたものである。測定は琉球大学構内においてライシメーターに栽培してあるスムースカイエン種の株について1972年の夏に約1か月間にわたって行なった。各株は植付後15か月ないし16か月経過していて葉面積指数は4.1~4.3であり結実期に入ったものであったが、これらの株に対するかん水は常にじゅうぶんに行なわれていた。全測定期間のうちで降雨や強風などがなくて測定条件の比較的によかった9日間の測定結果をまとめると次のとおりである。

1. 夏期、結実期に入ったパインアップルの蒸発散量はくもりの日に約1.3mm/day, 晴天の日に約2.7mm/dayで、全平均は2.1mm/dayであった。
2. パインアップルの植被上における昼間の各熱収支項の平均の大きさは、純放射100に対して潜熱伝達量40, 顕熱伝達量56, 地中伝熱量4のオーダーであった。
3. パインアップルの植被上におけるアルベドは日出, 日入のころを除き平均0.15で他の作物に比べて小さい方であった。
4. 熱収支法によるとパインアップルの夜間における蒸発散量はほとんどゼロになる。

参 考 文 献

1. Berger-Landefeldt, U., Kiendl, J., und Danneberg, H. 1957 Betrachtungen zur Temp.-u. Dampfdruckruhe über Pflanzeständen, Met. Rundsch. 10:11~20, in Geiger, R. 1966 The climate near the ground, p45~46, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts
2. Brunt, D. 1939 Physical and Dynamical Meteorology, p136~137, Cambridge University Press, Cambridge
3. Chang, Jen-hu 1961 Microclimate of sugar cane, The Hawaiian planters' Record, 56: 193~225.
4. 岩切 敏 1968 南九州における裸地面蒸発について, 農業気象, 23(4): 151~158
5. 蒸発散研究グループ 1967 水田の蒸発散, 農業気象, 22(4): 149~157
6. Monteith, J. L. 1959 The reflection of short-wave radiation by vegetation, Quart. Journ. Roy. Met. Soc., 85: 386~392
7. Noffsinger, T. L. 1961 Leaf and air temperature under Hawaiian conditions, Pacific Sci., 15: 304~305
8. 農林省振興局 1967 耕地の水収支, 農業気象学ハンドブック p47, 東京, 養賢堂
9. ———— 同上 耕地面の熱収支, 同上, p65, 同上, 同上
10. ———— 同上 同上, p66, 同上, 同上
11. 小田桂三郎・田中市郎・宇田川武俊・棟方 研 1971 耕地の生態学, p33, 東京, 築地書館
12. 城間理夫 沖縄におけるパインアップルの蒸発散量について, 未発表
13. Suomi, V. E. 1957 Double psychrometer lift apparatus, in Tanner, C. B. 1960 Energy balance approach to evapotranspiration from crops, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 24(1): 1~9
14. Tanner, C. B. 1960 Energy balance approach to evapotranspiration from crops, Soil

Sci. Soc. Amer. Proc., 24 (1) : 1 ~ 9

15. 内嶋善兵衛 1965 技術者のための農業気象学講座(V), 農業技術, 19 (6) : 290~295

Summary

This study was done to estimate the evapotranspiration of pineapple in Okinawa by heat balance method. The measurement was done for about a month in summer 1972 on the grounds of the University of the Ryukyus, Naha, Okinawa, using plants of the Smooth Cayenne variety planted in a lysimeter. The plants were 15 to 16 months old after planting and were at fruiting stage with leaf area index of 4.1 to 4.3. Irrigation to the plants was sufficiently applied during the measurement. From data obtained by the measurement of 9 days of the month when the weather was relatively good and other conditions were also favorable for the measurement, results are summarized as follows:

1. The evapotranspiration of pineapple in summer at fruiting stage was about 1.3 *mm/day* on cloudy days, about 2.7 *mm/day* on fair days, and 2.1 *mm/day* in average.
2. The average size of each heat balance term for daytime for pineapple canopy was 40 parts for latent heat, 56 parts for sensible heat, and 4 parts for conduction into soil, out of 100 parts for net radiation for all wave-lengths.
3. The albedo of pineapple canopy was 0.15 in average except for that near sunrise and sunset hours. This is fairly small value compared to that of other crops.
4. The evapotranspiration of pineapple at night may be almost nil according to heat balance method.