

琉球大学学術リポジトリ

沖縄におけるサトウキビの蒸発散量 第4報(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: 山城, 三郎, Yamashiro, Saburo メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/4467

沖縄におけるサトウキビの蒸発散量 第4報*

山城三郎**

Saburo YAMASHIRO: Evapotranspiration of sugarcane produced
in Okinawa IV

I 緒 言

かんがいまたは降雨により土壤に保留された有効水分は、晴天が続くと次第に減少していく。現地で土壤面蒸発量と蒸散量を別々に測定するには種々の困難がともなう。また実際のかんがいでは土壤面蒸発と作物の蒸散によって減少した水分を補給するのであるから、この二者をまとめて作物の蒸発散量と呼んでいる(7)。作物の蒸発散量は気温、日射量、降水量、風速、湿度などの気象要因のほか、土壤水分状態および作物の生育状況などにより影響されると考えられる(5,6,9,11)。

著者は、これらの各要因と蒸発散量の関係を究明するため、1966年以来琉球大学農学部附属農場で、夏植えサトウキビの蒸発散量測定を継続している。今回はこれらの測定から得られた累積蒸発散量記録を検討の結果、蒸発散量の時期的変化を曲線化し、微分することにより平均日蒸発散量曲線を求め、検討したのでここに報告する。

II 測定方法および結果

第1報～第3報(8,9,11)に述べたように、蒸発散量は圃場に埋設されたライシメーターにより測定し、供試品種には沖縄で最も多く栽培されているN:Co, 310を採用した。またできるだけ普通の栽培状況に近い環境を与えるため、サトウキビは埋設されたライシメーターの内外に、畦間1.2m、株間0.3mで植え付けている。夏植えのサトウキビは毎年7月下旬から8月上旬にかけて植え付けているが、著者の実験によると、初年度は蒸発散量の変化が少なく、またその値も小さい。従って、翌年の1月以後の蒸発散量の時期的変化、すなわち、1967年1月～1968年2月(実験1)、1968年1月～1969年2月(実験2)、1969年1月～1970年2月(実験3)および1970年1月～1971年2月(実験4)の4資料につき検討した。

上記の方法で測定した結果にもとづき、累積蒸発散量を求め、各実験年次ごとにまとめると図一1のようになる(8,9,11,)。図一1から累積蒸発散量の変化を一定期間ごとに読み取り、10日平均日蒸発散量を求めたのが表一1である。表一1のYMで示されている値を用いて累積蒸発散量の曲線化を行ない、これを微分して求めた平均日蒸発散量曲線と上記の平均日蒸発散量を比較検討した。

* 1971年11月第38回農業土木学会九州支部会(鹿児島)にて講演

** 琉球大学農学部農業工学科

琉球大学農学部学術報告 19:343~362 (1972)

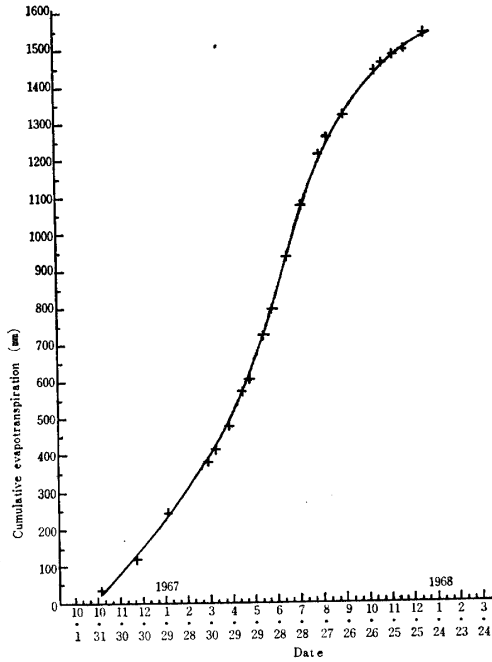


Fig. 1.1 Cumulative evapotranspiration (Exp. 1, Lysimeter No.1)

図 1.1 累積蒸発散量(実験1, 1号ライシメーター)

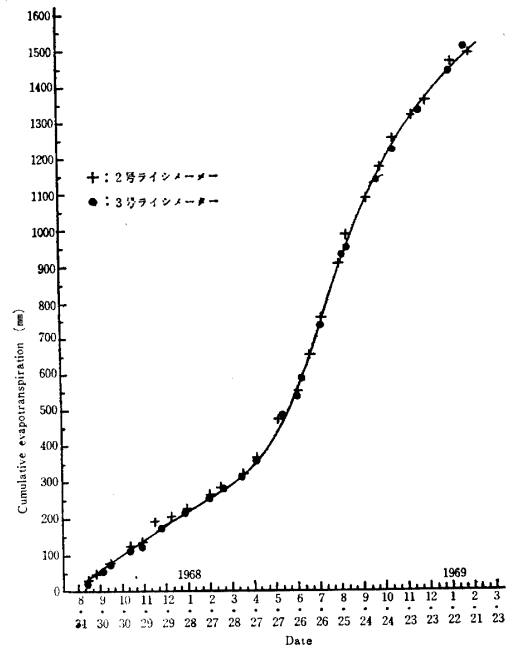


Fig. 1.2 Cumulative evapotranspiration (Exp.2, Lysimeter No.2 and No.3)

図 1.2 累積蒸発散量(実験2, 2号, 3号ライシメーター)

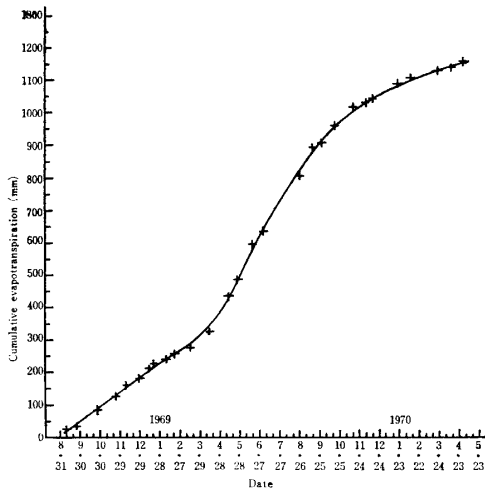


Fig. 1.3 Cumulative evapotranspiration (Exp. 3, Lysimeter No.1)

図 1.3 累積蒸発散量(実験3, 1号ライシメーター)

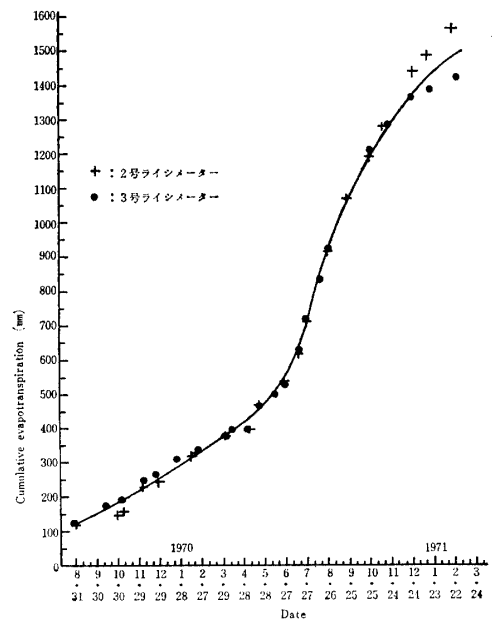


Fig. 1.4 Cumulative evapotranspiration (Exp.4, Lysimeter No.2 and No.3)

図 1.4 累積蒸発散量(実験4, 2号, 3号ライシメーター)

表1・1 図1・1から読み取った累積蒸発散量および10日平均日蒸発散量 (実験1)

Table 1.1 Cumulative evapotranspiration and 10-day averages of daily evapotranspiration at regular intervals which were taken from Fig.1.1 (Exp. 1)

Period		Cumulative evapotranspiration (mm)			10-day averages of daily evapotranspiration (mm)	
L-U	M	Y _L	Y _M	Y _U	Y _U -Y _L	ET=(Y _U -Y _L)/10
1966	12.29—1. 8	80	85	100	20	2.0
1967	1.28—2. 7	145	155	170	25	2.5
	2.27—3. 9	220	230	245	25	2.5
	3.29—4. 8	305	315	330	25	2.5
	4.28—5. 8	390	405	420	30	3.0
	5.28—6. 7	495	515	540	45	4.5
	6.27—7. 7	640	665	695	55	5.5
	7.27—8. 6	835	870	910	75	7.5
	8.26—9. 5	1040	1065	1095	55	5.5
	9.25—10. 5	1190	1215	1235	45	4.5
	10.25—11. 4	1310	1325	1345	35	3.5
	11.24—12. 4	1400	1410	1425	25	2.5
	12.24—1. 3	1465	1470	1480	15	1.5
1968	1.23—2. 2	1510	1515	1520	10	1.0
	2.22—3. 3	1535	1540	1545	10	1.0

Notes L: Lower limit M: Median U: Upper limit

表1・2 図1・2から読み取った累積蒸発散量および10日平均日蒸発散量 (実験2)

Table 1.2 Cumulative evapotranspiration and 10-day averages of daily evapotranspiration at regular intervals which were taken from Fig.1.2 (Exp. 2)

Period		Cumulative evapotranspiration (mm)			10-day averages of daily evapotranspiration (mm)	
L-U	M	Y _L	Y _M	Y _U	Y _U -Y _L	ET=(Y _U -Y _L)/10
1967	12.29—1. 8	180	190	195	15	1.5
1968	1.28—2. 7	215	225	230	15	1.5
	2.27—3. 8	255	265	270	15	1.5
	3.28—4. 7	290	300	310	20	2.0
	4.27—5. 7	345	355	365	20	2.0
	5.27—6. 6	420	440	455	35	3.5
	6.26—7. 6	540	560	590	50	5.0
	7.27—8. 5	715	750	785	70	7.0
	8.25—9. 4	905	930	960	55	5.5
	9.24—10. 4	1050	1075	1095	45	4.5
	10.24—11. 3	1175	1195	1210	35	3.5
	11.23—12. 3	1280	1295	1310	30	3.0
	12.23—1. 2	1370	1380	1395	25	2.5
1969	1.22—2. 1	1440	1450	1460	20	2.0
	2.21—3. 2	1495	1505	1510	15	1.5

Notes L: Lower limit M: Median U: Upper limit

表1・3 図1・3から読み取った累積蒸発散量および10日平均日蒸発散量(実験3)

Table 1.3 Cumulative evapotranspiration and 10-day averages of daily evapotranspiration at regular intervals which were taken from Fig. 1.3 (Exp. 3)

Period		Cumulative evapotranspiration (mm)			10-day averages of daily evapotranspiration (mm)		
L-U	M	Y _L	Y _M	Y _U	Y _U -Y _L	ET=(Y _U -Y _L)/10	
1968	12.29—1.8	1.3	190	195	200	10	1.0
1969	1.28—2.7	2.2	230	235	240	10	1.0
	2.27—3.9	3.4	260	265	270	10	1.0
	3.29—4.8	4.3	305	315	325	20	2.0
	4.28—5.8	5.3	380	395	410	30	3.0
	5.28—6.7	6.2	490	510	535	45	4.5
	6.27—7.7	7.2	615	640	655	40	4.0
	7.27—8.6	8.1	725	745	760	35	3.5
	8.26—9.5	8.31	820	835	850	30	3.0
	9.25—10.5	9.30	900	915	925	25	2.5
	10.25—11.4	10.30	970	980	990	20	2.0
	11.24—12.4	11.29	1020	1025	1030	10	1.0
	12.24—1.3	12.29	1055	1060	1065	10	1.0
1970	1.23—2.2	1.28	1080	1085	1090	10	1.0
	2.22—3.3	2.27	1105	1110	1115	10	1.0

Notes L: Lower limit M: Median U: Upper limit

表1・4 図1・4から読み取った累積蒸発散量および10日平均日蒸発散量(実験4)

Table 1.4 Cumulative evapotranspiration and 10-day averages of daily evapotranspiration at regular intervals which were taken from Fig. 1.4 (Exp. 4)

Period		Cumulative evapotranspiration (mm)			10-day averages of daily evapotranspiration (mm)		
L-U	M	Y _L	Y _M	Y _U	Y _U -Y _L	ET=(Y _U -Y _L)/10	
1969	12.29—1.8	1.3	255	260	265	10	1.0
1970	1.28—2.7	2.2	290	300	305	15	1.5
	2.27—3.9	3.4	330	340	345	15	1.5
	3.29—4.8	4.3	375	380	385	10	1.0
	4.28—5.8	5.3	415	425	430	15	1.5
	5.28—6.7	6.2	470	480	490	20	2.0
	6.27—7.7	7.2	550	570	590	40	4.0
	7.27—8.6	8.1	705	750	780	75	7.5
	8.26—9.5	8.31	910	940	965	55	5.5
	9.25—10.5	9.30	1060	1085	1105	45	4.5
	10.25—11.4	10.30	1185	1205	1220	35	3.5
	11.24—12.4	11.29	1285	1300	1315	30	3.0
	12.24—1.3	12.29	1370	1380	1395	25	2.5
1971	1.23—2.2	1.28	1435	1445	1450	15	1.5
	2.22—3.3	2.27	1485	1490	1500	15	1.5

Notes L: Lower limit M: Median U: Upper limit

III 累積蒸発散量の曲線化

サトウキビの累積蒸発散量は、はじめ極めて徐々にではあるが、その速度（蒸発散量）は絶えず増加し、ついに一点において最大に達し、その後は次第にゆるやかになり、やがて曲線は次第に水平の位置をとり、その環境で規定される有限の累積蒸発散量に漸近すると考えられ、単調増加傾向がある。したがって Logistic 曲線と称する一種の指数曲線を適用してみた(10)。

Logistic 曲線は一般に次式で示される (1,4)

$$Y = \frac{K}{1 + e^{\phi(t)}} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 $\phi(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n$

K : Yの極限值

この曲線の最も簡単な形は、 $\phi(t) = a_0 + a_1 t$ の場合であって、狭義の Logistic 曲線はこの場合を指す。

$$Y = \frac{K}{1 + e^{a_0 + a_1 t}}$$

ここで $e a_0 = m$, $a_1 = -a$ とおくとこの式は(2)式で示される。

$$Y = \frac{K}{1 + m e^{-at}} \dots\dots\dots(2)$$

(2)式を t で微分すると

$$\frac{dY}{dt} = aY \left(1 - \frac{Y}{K}\right) = aY - \frac{a}{K} Y^2 \dots\dots\dots(3)$$

上式から Y の増加速度は Y に比例して増加するとともに、 Y^2 に比例して阻止されると考えられる。(2)式の曲線は

- $a > 0$ ならば
 - $t \rightarrow -\infty$ のとき $Y = 0$ に収束
 - $t \rightarrow +\infty$ のとき $Y = K$ に収束する
- $a < 0$ ならばその反対である。

$Y = 0$ と $Y = K$ 以外の値に対して(3)式が 0 となることはないから、この二つの極限值の間には極大、極小値は存在しない。したがって曲線の変化は単調である。

(3)式を再び微分すると

$$\frac{d^2Y}{dt^2} = a^2 Y \left(1 - \frac{Y}{K}\right) \left(1 - \frac{2Y}{K}\right) \dots\dots\dots(4)$$

であるから、 $(1 - 2Y/K) = 0$ すなわち $Y = K/2$ において曲線はたゞ一つの変曲点をもつ。変曲点における時間 t を t_r とすれば、 t_r は(5)式で与えられる。

$$t_r = \frac{1}{a} \log_e m \dots\dots\dots(5)$$

Logistic 曲線は非線型であり、一般に用いられている最小自乗法を、この曲線の母数計算に適用するのは困難である。したがってその計算法としては、(2)式において両辺の逆数を取り、修正指数曲線の型にして解く方法および Hottelling の方法などが一般に用いられている。こゝでは、図一1でわかるように、生育初期において累積蒸発散量が直線で示されるため、このいずれの方法によってもいい結果が得られなかったため、母数計算は表一2で示すように試算法で行ない、適合度は χ^2 分布を用いて検定し

た。また図-1で示される直線部は最小二乗法で計算し、相関係数を求めて検討した。

1. Logistic曲線の計算および適合度の検定

表-1で10日を単位とする時間変数を t とし、各期間の中央における累積蒸発散量の読み取り値に Logistic曲線を適用すると表-2のようになる。また計算の都合上、全期間のほぼ中央に位置する期間の t を0とした。なお、表-2は試算法で計算した最後の値である。

実験 1

表2・1 累積蒸発散量曲線の計算および適合度の検定 (実験1)

Table 2・1 Calculation of cumulative evapotranspiration curve and check by the χ^2 distribution (Exp.1)

Date	t	-0.0695t	$\log e^{-0.16t}$	$e^{-0.16t}$	$1+0.82e^{-0.16t}$	\hat{Y}	Y	$Y-\hat{Y}$	$(Y-\hat{Y})^2$	$(Y-\hat{Y})^2/\hat{Y}$
1967 1. 3	-21	1.4595	1.4595	28.807	24.622	64	85			
2. 2	-18	1.2510	1.2510	17.824	15.616	101	155			
3. 4	-15	1.0425	1.0425	11.028	10.043	158	230			
4. 3	-12	0.8340	0.8340	6.823	6.595	240	315			
5. 3	-9	0.6255	0.6255	4.222	4.462	355	405			
6. 2	-6	0.4170	0.4170	2.612	3.142	504	515	11	121	0.24
7. 2	-3	0.2085	0.2085	1.616	2.325	682	665	-17	289	0.42
8. 1	0	0.0000	0.0000	1.000	1.820	871	870	-1	1	0.00
8.31	3	-0.2085	1.7915	0.619	1.508	1051	1065	14	196	0.19
9.30	6	-0.4170	1.5830	0.383	1.314	1206	1215	9	81	0.07
10.30	9	-0.6255	1.3745	0.237	1.194	1327	1325	-2	4	0.00
11.29	12	-0.8340	1.1660	0.147	1.121	1414	1410	-4	16	0.01
12.29	15	-1.0425	0.9575	0.091	1.075	1474	1470	-4	16	0.01
1968 1.28	18	-1.2510	0.7490	0.056	1.046	1515	1515	0	0	0.00
2.27	21	-1.4595	0.5405	0.035	1.029	1540	1540	0	0	0.00
Total										0.94

曲線の計算

$$Y = \frac{K}{1 + me^{-at}} \text{ において}$$

$$m=0.82 \quad a=0.16 \quad K=1585 \text{ とすると}$$

$$Y = \frac{1585}{1 + 0.82e^{-0.16t}} \dots\dots\dots(6)$$

$$x = e^{-0.16t} \text{ とおくと}$$

$$\ln x = -0.16t \quad 2.303 \log x = -0.16t$$

$$\log x = -\frac{0.16}{2.303} t = -0.0695t$$

$$\therefore \log e^{-0.16t} = -0.0695t$$

適合度の検定(1)

自由度を n , 階級数を k , 曲線の係数の数を q とすれば

$$n = k - q = 10 - 3 = 7$$

有意水準を0.05にとると、 $n = 7$ の $\chi^2_{0.05}$ 分布の値は χ^2 表より、 $\chi^2_a = 14.07$

また表-2・1より $\chi^2_0 = 0.94$

χ^2_0 と χ^2_a を比較すれば

$$\chi^2_0 < \chi^2_a$$

したがって曲線は採択される。

実験 2

表 2・2 累積蒸発散量曲線の計算および適合度の検定 (実験 2)

Table 2・2 Calculation of cumulative evapotranspiration curve and check by the χ^2 distribution (Exp.2)

Date	t	$-0.0695t$	$\log e^{-0.16t}$	$e^{-0.16t}$	$1+1.03e^{-0.16t}$	\hat{Y}	Y	$Y-\hat{Y}$	$(Y-\hat{Y})^2$	$(Y-\hat{Y})^2/\hat{Y}$
1968 1. 3	-21	1.4595	1.4595	28.807	30.671	49	190			
2. 2	-18	1.2510	1.2510	17.824	19.359	78	225			
3. 3	-15	1.0425	1.0425	11.028	12.358	122	265			
4. 2	-12	0.8340	0.8340	6.823	8.028	188	300			
5. 2	-9	0.6255	0.6255	4.222	5.349	282	355			
6. 1	-6	0.4170	0.4170	2.612	3.690	409	440	31	961	2.35
7. 1	-3	0.2085	1.2185	1.616	2.664	567	560	-7	49	0.09
7.31	0	0.0000	0.0000	1.000	2.030	744	750	6	36	0.05
8.30	3	-0.2085	1.7915	0.619	1.638	922	930	8	64	0.07
9.29	6	-0.4170	1.5830	0.383	1.394	1083	1075	-8	64	0.06
10.29	9	-0.6255	1.3745	0.237	1.244	1214	1195	-19	361	0.30
11.28	12	-0.8340	1.1660	0.147	1.151	1312	1295	-17	289	0.22
12.28	15	-1.0425	2.9575	0.091	1.094	1380	1380	0	0	0.00
1969 1.27	18	-1.2510	2.7490	0.056	1.058	1427	1450	23	529	0.36
2.26	21	-1.4595	2.5405	0.035	1.036	1458	1505	47	2209	1.52
Total										5.02

$$Y = \frac{K}{1+me^{-at}} \text{ において}$$

$m=1.03 \quad a=0.16 \quad K=1510$ とすると

$$Y = \frac{1510}{1+1.03e^{-0.16t}} \dots\dots\dots(7)$$

$x = e^{-0.16t}$ とおくと

$$\ln x = -0.16t \quad 2.303 \log x = -0.16t$$

$$\log x = -\frac{0.16}{2.303}t = -0.0695t$$

$$\therefore \log e^{-0.16t} = -0.0695t$$

$$n = k - q = 10 - 3 = 7$$

$$\chi^2_a = 14.07$$

表 2・2 より $\chi^2_0 = 5.02$

$\chi^2_0 < \chi^2_a$ 曲線採択

実験 3

表 2・3 累積蒸発散量曲線の計算および適合度の検定(実験3)

Table 2・3 Calculation of cumulative evapotranspiration curve and check by the χ^2 distribution (Exp.3)

Date	t	-0.0651t	$\log e^{-0.15t}$	$e^{-0.15t}$	$1+0.50e^{-0.15t}$	\hat{Y}	Y	$Y-\hat{Y}$	$(Y-\hat{Y})^2$	$(Y-\hat{Y})^2/\hat{Y}$	
1969	1. 3	-21	1.3671	1.3671	23.287	12.644	88	195			
	2. 2	-18	1.1718	1.1718	14.853	8.427	132	235			
	3. 4	-15	0.9765	0.9765	9.473	5.737	194	265			
	4. 3	-12	0.7812	0.7812	6.042	4.021	277	315			
	5. 3	-9	0.5859	0.5859	3.854	2.927	381	395	14	196	0.51
	6. 2	-6	0.3906	0.3906	2.458	2.229	500	510	10	100	0.20
	7. 2	-3	0.1953	0.1953	1.568	1.784	625	640	15	225	0.36
	8. 1	0	0.0000	0.0000	1.000	1.500	743	745	2	4	0.01
	8.31	3	-0.1953	1.8147	0.638	1.319	845	835	-10	110	0.12
	9.30	6	-0.3906	1.6094	0.407	1.204	926	915	-11	121	0.13
	10.30	9	-0.5859	1.4411	0.260	1.130	986	980	-6	36	0.04
	11.29	12	-0.7812	1.2188	0.160	1.083	1030	1025	-5	25	0.02
	12.29	15	-0.9765	1.0235	0.106	1.053	1059	1060	1	1	0.00
1970	1.28	18	-1.1718	2.8282	0.067	1.034	1078	1085	7	49	0.05
	2.27	21	-1.3671	2.6329	0.043	1.022	1091	1110	19	361	0.33
Total											1.77

$Y = \frac{K}{1+me^{-at}}$ において

m=0.50 a=0.15 K=1115とすると

$Y = \frac{1115}{1+0.50e^{-0.15t}}$ (8)

x = e^{-0.15t} とおくと

ln x = -0.15t 2.303 log x = -0.15t

log x = - $\frac{0.15}{2.303}$ t = -0.0651t

∴ log e^{-0.15t} = -0.0651t

n = k - q = 11 - 3 = 8

$\chi^2_8 = 15.51$

表-2.3より $\chi^2_8 = 1.77$

$\chi^2_8 < \chi^2_8$ 曲線採択

実験 4

表2・4 累積蒸発散量曲線の計算および適合度の検定 (実験4)

Table 2.4 Calculation of cumulative evapotranspiration curve and check by the χ^2 distribution (Exp.4)

Date	t	-0.0695t	$\log e^{-0.16t}$	$e^{-0.16t}$	$1+1.03e^{-0.16t}$	\hat{Y}	Y	$Y-\hat{Y}$	$(Y-\hat{Y})^2$	$(Y-\hat{Y})^2/\hat{Y}$
1970 1. 3	-21	1.4595	1.4595	28.807	30.671	50	260			
2. 2	-18	1.2510	1.2510	17.824	19.359	79	300			
3. 4	-15	1.0425	1.0425	11.028	12.358	123	340			
4. 3	-12	0.8340	0.8340	6.823	8.028	189	380			
5. 3	-9	0.6255	0.6255	4.222	5.349	284	425			
6. 2	-6	0.4170	0.4170	2.612	3.690	412	480			
7. 2	-3	0.2085	0.2085	1.616	2.664	571	570	- 1	1	0.00
8. 1	0	0.0000	0.0000	1.000	2.030	749	750	1	1	0.00
8.31	3	-0.2085	1.7915	0.619	1.638	928	940	12	144	0.16
9.30	6	-0.4170	1.5830	0.383	1.394	1090	1085	- 5	25	0.02
10.30	9	-0.6255	1.3745	0.237	1.244	1222	1205	-17	289	0.24
11.29	12	-0.8340	1.1660	0.147	1.151	1321	1300	-21	441	0.33
12.29	15	-1.0425	2.9575	0.091	1.094	1389	1380	- 9	81	0.06
1971 1.28	18	-1.2510	2.7490	0.056	1.058	1437	1445	8	64	0.04
2.27	21	-1.4595	2.5405	0.035	1.036	1467	1490	23	529	0.36
Total										1.21

$$Y = \frac{K}{1+me^{-at}} \text{ において}$$

m=1.03 a=0.16 K=1520 とすると

$$Y = \frac{1520}{1+1.03e^{-0.16t}} \dots\dots\dots(9)$$

x=e^{-0.16t} とおくと

$$\ln x = -0.16t \quad 2.303 \log x = -0.16t$$

$$\log x = -\frac{0.16}{2.303} t = -0.0695t$$

$$\therefore \log e^{-0.16t} = -0.0695t$$

$$n = k - q = 9 - 3 = 6$$

$$\chi^2_d = 12.59$$

表-2.4より $\chi^2_0 = 1.21$

$\chi^2_0 < \chi^2_d$ 曲線採択

2. 直線部の計算および相関係数

直線は Y=a+btとし、表-3 から最小二乗法により定数a, bを求めた。また、表-4により相関係数を計算し、これらの直線の適非を検討した。

実験 1

直線の計算

表 3・1 累積蒸発散量曲線 (直線部) の計算 (実験 1)

Table 3・1 Calculation of cumulative evapotranspiration (Linear part, Exp.1)

Date	t	Y	t Y	t ²	26.7t	Ŷ
1967 1. 3	-21	85	-1785	441	-560.7	78
2. 2	-18	155	-2790	324	-480.6	158
3. 4	-15	230	-3450	225	-400.5	238
4. 3	-12	315	-3780	144	-320.4	318
5. 3	- 9	405	-3645	81	-240.3	398
Total	-75	1190	-15450	1215		

Y=a+btとすると

$$\sum Y = na + b \sum t$$

$$\sum tY = a \sum t + b \sum t^2$$

表-3.1より

$$1190 = 5a - 75b$$

$$-15450 = -75a + 1215b$$

この式を解くと, a=638.5 b=26.7

$$\therefore Y = 638.5 + 26.7t \dots\dots\dots(10)$$

相関係数

表 4・1 累積蒸発散量曲線 (直線部) の相関係数 (実験 1)

Table 4・1 Correlation coefficient of cumulative evapotranspiration (Linear part, Exp.1)

Date	t	Y	t - \bar{t}	Y - \bar{Y}	(t - \bar{t})(Y - \bar{Y})	(t - \bar{t}) ²	(Y - \bar{Y}) ²
1967 1. 3	-21	85	-6	-153	918	36	23409
2. 2	-18	155	-3	- 83	249	9	6889
3. 4	-15	230	0	- 8	0	0	64
4. 3	-12	315	3	77	231	9	5929
5. 3	- 9	405	6	167	1002	36	27889
Total	-75	1190			2400	90	64180
Average	-15	238					

表-4.1 により相関係数を求めると

$$r = \frac{\sum(t - \bar{t}) \cdot (Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(t - \bar{t})^2 \cdot \sum(Y - \bar{Y})^2}} = \frac{2400}{\sqrt{90 \times 64180}} = 0.999$$

実験 2

表3・2 累積蒸発散量曲線(直線部)の計算(実験2)

Table 3・2 Calculation of cumulative evapotranspiration
(Linear part, Exp.2)

Date	t	Y	t Y	t ²	13.5t	Ŷ
1968 1. 3	-21	190	-3990	441	-283.5	186
2. 2	-18	225	-4050	324	-243.0	227
3. 3	-15	265	-3975	225	-202.5	267
4. 2	-12	300	-3600	144	-162.0	308
5. 2	-9	355	-3195	81	-121.5	348
Total	-75	1335	-18810	1215		

表-3.2より

$$1335 = 5a - 75b$$

$$-18810 = -75a + 1215b$$

これを解くと、 $a = 469.5$ $b = 13.5$

$$\therefore Y = 469.5 + 13.5t \dots\dots\dots(11)$$

表4・2 累積蒸発散量曲線(直線部)の相関係数(実験2)

Table 4・2 Correlation coefficient of cumulative evapotranspiration
(Linear part, Exp.2)

Date	t	Y	t - \bar{t}	Y - \bar{Y}	(t - \bar{t})(Y - \bar{Y})	(t - \bar{t}) ²	(Y - \bar{Y}) ²
1968 1. 3	-21	190	-6	-77	462	36	5929
2. 2	-18	225	-3	-42	126	9	1764
3. 3	-15	265	0	-2	0	0	4
4. 2	-12	300	3	33	99	9	1089
5. 2	-9	355	6	88	528	36	7744
Total	-75	1335			1215	90	16530
Average	-15	267					

表-4.2より

$$r = \frac{1215}{\sqrt{90 \times 16530}} = 0.996$$

実験 3

表3・3 累積蒸発散量曲線(直線部)の計算(実験3)

Table 3・3 Calculation of cumulative evapotranspiration
(Linear part, Exp.3)

Date	t	Y	t Y	t ²	12.7t	Ŷ
1969 1. 3	-21	195	-4095	441	-266.7	195
2. 2	-18	235	-4230	324	-228.6	234
3. 4	-15	265	-3975	225	-190.5	272
4. 3	-12	315	-3780	144	-152.4	310
Total	-66	1010	-16080	1134		

表-3.3より

$$1010 = 4a - 66b$$

$$-16080 = -66a + 1134b$$

これを解くと, $a = 462.1$ $b = 12.7$

$$\therefore Y = 462.1 + 12.7t \quad \dots\dots\dots(12)$$

表4・3 累積蒸発散量曲線(直線部)の相関係数(実験3)

Table 4.3 Correlation coefficient of cumulative evapotranspiration
(Linear part, Exp.3)

Date	t	Y	$t - \bar{t}$	$Y - \bar{Y}$	$(t - \bar{t})(Y - \bar{Y})$	$(t - \bar{t})^2$	$(Y - \bar{Y})^2$
1969 1. 3	-21	195	-4.5	-57.5	258.75	20.25	3306.25
2. 2	-18	235	-1.5	-17.5	26.25	2.25	306.25
3. 4	-15	265	1.5	12.5	18.75	2.25	156.25
4. 3	-12	315	4.5	62.5	281.25	20.25	3906.25
Total	-66	1010			585.00	45.00	7675.00
Average	-16.5	252.5					

表-4.3より

$$r = \frac{585.00}{\sqrt{45.00 \times 7675.00}} = 0.995$$

実験 4

表3・4 累積蒸発散量曲線(直線部)の計算(実験4)

Table 3.4 Calculation of cumulative evapotranspiration
(Linear part, Exp. 4)

Date	t	Y	t Y	t ²	14.8t	\hat{Y}
1970 1. 3	-21	260	-5460	441	-310.8	253
2. 2	-18	300	-5400	324	-266.4	298
3. 4	-15	340	-5100	225	-222.0	342
4. 3	-12	380	-4560	144	-177.6	386
5. 3	-9	425	-3825	81	-133.2	431
6. 2	-6	480	-2880	36	-88.8	475
Total	-81	2185	-27225	1251		

表-3.4より

$$2185 = 6a - 81b$$

$$-27225 = -81a + 1251b$$

これを解くと, $a = 564.0$ $b = 14.8$

$$\therefore Y = 564.0 + 14.8t \quad \dots\dots\dots(13)$$

(3)式で, $a=0.16$ $K=1585$

$$\therefore \frac{1}{10} \frac{dY}{dt} = 0.16Y - \frac{0.16}{1585} Y^2 = 0.16Y - 0.0001009Y^2$$

適合度の検定 (曲線部)

$$n = k - q = 10 - 2 = 8$$

有意水準を0.05にとると, $n=8$ の $\chi^2_{0.05}$ 分布の値は χ^2 表より, $\chi^2_0 = 15.51$

表-5.1より $\chi^2_0 = 0.66$

χ^2_0 と χ^2_0 を比較すれば

$$\chi^2_0 < \chi^2_0$$

したがって曲線は採択される。

実験 2

表5・2 10日平均日蒸発散量曲線の計算および適合度の検定 (実験2)

Table 5・2 Calculation of 10-day averages of daily evapotranspiration from the cumulative evapotranspiration curve and check by the χ^2 distribution (Exp. 2)

Date	t	Y	Y ²	0.16Y	0.0001060Y ²	$\frac{dY}{dt}$	$\hat{ET} = \frac{1}{10} \frac{dY}{dt}$	ET	$(ET - \hat{ET})^2 / \hat{ET}$
1968 1. 3	-21	49	2401	7.8	0.3	7.5	0.8	1.5	
2. 2	-18	78	6084	12.5	0.6	11.9	1.2	1.5	
3. 3	-15	122	14884	19.5	1.6	17.9	1.8	1.5	
4. 2	-12	188	35344	30.1	3.7	26.4	2.6	2.0	
5. 2	- 9	282	79524	45.1	8.4	36.7	3.7	2.0	
6. 1	- 6	409	164836	65.4	17.5	47.9	4.8	3.5	0.35
7. 1	- 3	567	821489	90.7	34.1	56.6	5.7	5.0	0.09
7.31	0	744	553536	119.0	58.7	60.3	6.0	7.0	0.17
8.30	3	922	853084	147.5	90.1	57.4	5.7	5.5	0.01
9.29	6	1033	1172889	173.3	124.3	49.0	4.9	4.5	0.03
10.29	9	1214	1473796	194.2	156.2	38.0	3.8	3.5	0.02
11.28	12	1312	1721344	209.9	182.5	27.4	2.7	3.0	0.03
12.28	15	1380	1904400	220.8	201.9	18.9	1.9	2.5	0.19
1969 1.27	18	1427	2036329	228.3	215.9	12.4	1.2	2.0	0.53
2.26	21	1458	2125764	233.3	225.3	8.0	0.8	1.5	0.61
Total									2.03

$$(1)式より \frac{1}{10} \frac{dY}{dt} = \frac{1}{10} \times 13.5 \approx 1.4$$

(3)式で $a=0.16$ $K=1510$

$$\therefore \frac{1}{10} \frac{dY}{dt} = 0.16Y - \frac{0.16}{1510} Y^2 = 0.16Y - 0.0001060Y^2$$

$$n = k - q = 10 - 2 = 8$$

$$\chi^2_0 = 15.51$$

表-5.2より, $\chi^2_0 = 2.03$

$$\chi^2_0 < \chi^2_0 \quad \text{曲線採択}$$

実験 3

(13式より $\frac{1}{10} \frac{dY}{dt} = \frac{1}{10} \times 14.8 \approx 1.5$

(3式で $a=0.16$ $K=1520$

$\therefore \frac{1}{10} \frac{dY}{dt} = 0.16Y - \frac{0.16}{1520}Y^2 = 0.16Y - 0.0001053Y^2$

$n=K-q=9-2=7$

$\chi^2 = 14.07$

表-5.4より $\chi^2_0 = 1.74$

$\chi^2_0 < \chi^2$ 曲線採択

V 考 察

以上の計算により求めた累積蒸発散量曲線およびこれらを微分して求めた10日平均日蒸発散量曲線と表-1の値とを各実験年次ごとにまとめると図-2のようになる。曲線Iは累積蒸発散量曲線，曲線IIは10日平均日蒸発散量曲線 ($\frac{1}{10} \frac{dY}{dt}$) である。図で+、•印は実測値であり、よく適合していることがわかる。これらの図をみると平均日蒸発散量のピークは、1969~1970年の値を除くと、7~9月になっている。蒸発散量曲線は、各実験年次によって異なるが、これは気象条件、土壌水分およびサトウキビの生育状況が異なるためであると考えられる。特に(実験3)すなわち1969~1970年の累積蒸発散量

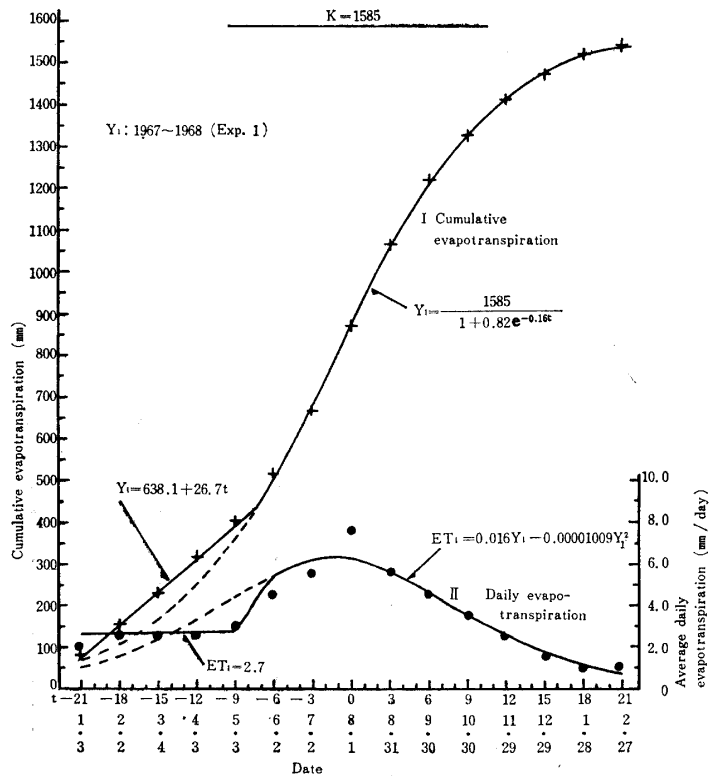


Fig. 2.1 Evapotranspiration curves (Exp.1)

図2.1 蒸発散量曲線(実験1)

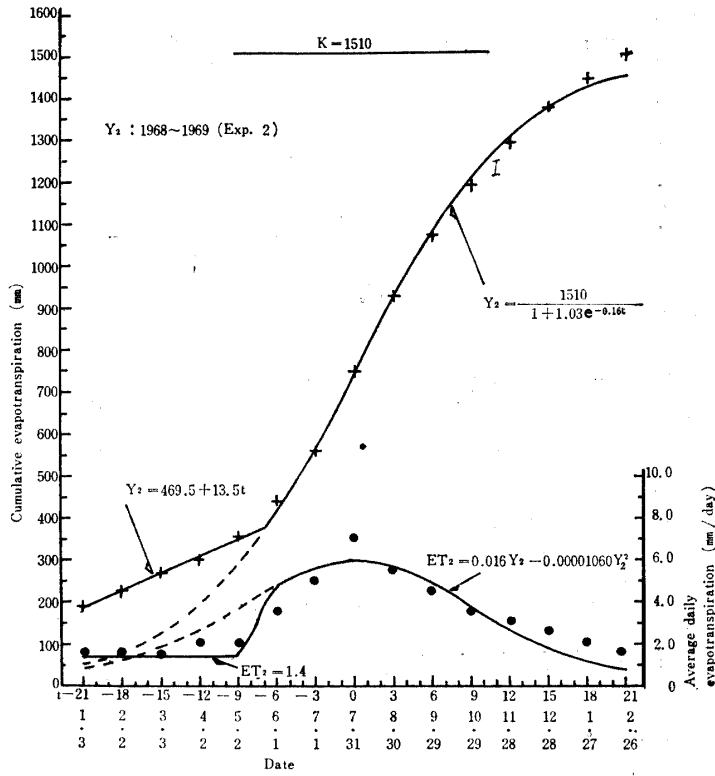


Fig. 2.2 Evapotranspiration curves (Exp.2)
 図 2.2 蒸発散量曲線 (実験2)

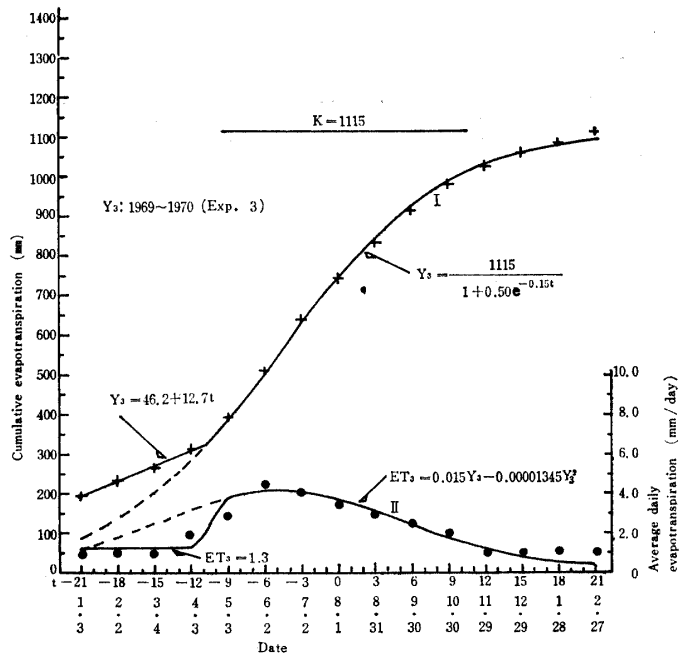


Fig. 2.3 Evapotranspiration curves (Exp.3)
 図 2.3 蒸発散量曲線 (実験3)

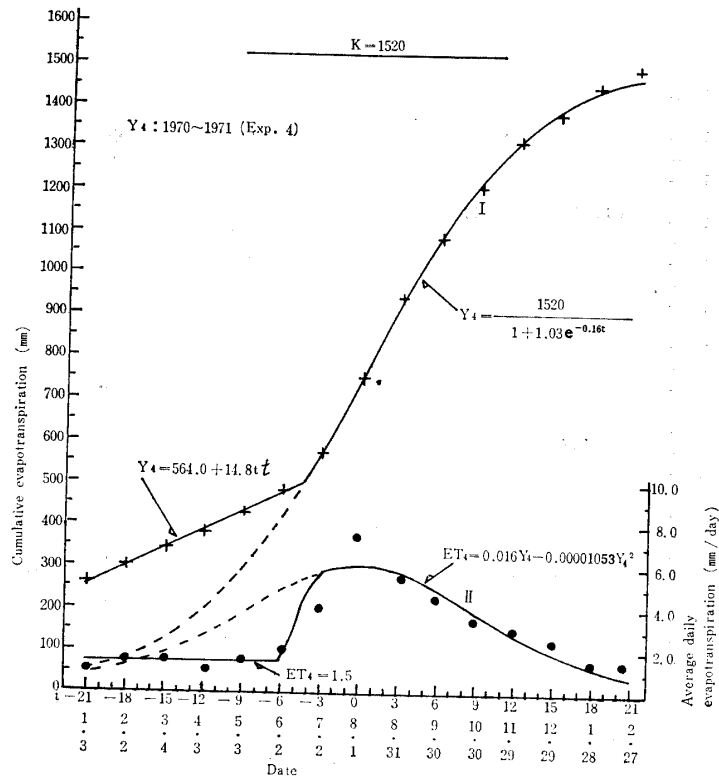


Fig. 2-4 Evapotranspiration curves (Exp. 4)
 図2-4 蒸発散量曲線 (実験4)

および平均日蒸発散量が小さいが、これは1969年5月、6月、8月および10月に超過確率の再現期間がそれぞれ34年、26年、6.5年、22年の異常な降水量があったためと考えられる(10)。また、各実験を通じ、1月から3～4月までは平均日蒸発散量の時期的変化が少ないが、これはこの期間が無効分けつ期にあたり、気温も低いために蒸発散量が小さくほとんど一定値を示すものと思われる。したがって、この期間の累積蒸発散量の変化は直線で表わされ、その後は Logistic 曲線で示される。また適合度の検定の結果、かなりよく合うことがわかる。

IV 総 括

1. 本研究は沖縄におけるサトウキビの蒸発散量の曲線化について検討したものである。
2. 資料としては1966年9月～1972年2月に琉球大学農学部附属農場で測定した夏植えサトウキビの累積蒸発量記録を用いた。
3. サトウキビの累積蒸発散量は 植え付け翌年の1月から3～4月までは直線で示され、その後は Logistic 曲線で示されることがわかった。
4. 累積蒸発散量曲線を微分して求めた平均日蒸発散量曲線と実測値とを比較検討した結果、かなりよく合うことがわかった。
5. 平均日蒸発散量は、だいたい7～9月にピークを示す。
6. 以上は4ケ年のデータにもとづくものであり、長期にまたがる測定の結果、本文の各式の定数はいくらか変わるものとする。

本研究は九州大学農学部灌漑利水研究室の田辺教授、野村助教授ほか職員一同の御指導御協力によるものであり、深く感謝の意を表します。

引用文献

1. 岸根卓郎 1970 理論, 応用統計学, 東京, 養賢堂
2. 玉井虎太郎 1956 畑作用水法の合理化に関する研究, 愛媛大学紀要 第6部, 2: 1~161
3. 田辺邦美, 野村安治 1963 作物の蒸発散量曲線について (I) 水稻の蒸発散量曲線, 農業土木研究, 別冊9: 21~24
4. ———, ——— 1963 ———, (II) ラジノクローバーの蒸発散量曲線, 農業土木研究, 別冊9: 25~30
5. ———, ———, 坂東孜郎, 長勝史, 舟越保 1970 サトウキビの蒸発散量と気象要素との関係についてのファイトトロンによる実験的研究, 第36回農業土木学会九州支部沖縄学会講演集 p129~132
6. ———, ———, 舟越保, 山城三郎 1971 サトウキビの蒸散量と気象要素との関係について, 第38回農業土木学会九州支部講演集 p173~176
7. 山崎不二夫, 長谷川新一 1959 畑地かんがい, 東京, 農山漁村文化協会
8. 山城三郎 1968 沖縄における甘蔗の蒸発散量 第1報, 琉球大学農学部学術報告, 15: 193~198
9. ——— 1969 ——— 第2報, 琉球大学農学部学術報告, 16: 207~217
10. ———, 田辺邦美, 野村安治 1971 沖縄におけるサトウキビの蒸発散量について, 第38回農業土木学会九州支部講演集, p169~172
11. ——— 1971 沖縄におけるサトウキビの蒸発散量 第3報, 琉球大学農学部学術報告, 18: 109~119

Summary

- 1 This study was done in order to investigate the variation to growth period of evapotranspiration of the sugarcane grown in Okinawa.
- 2 The cumulative evapotranspiration data used in this investigation were measured from September, 1966 to February, 1971 at the University of the Ryukyus farm. The variety used in this investigation is N:Co, 310. The sugarcane was planted in Summer.
3. According to the data, the cumulative evapotranspiration curve is linear in the period from January to March or April and shown with logistic curve after the period.
4. The daily evapotranspiration curves, calculated by differentiating the cumulative evapotranspiration curves, fit well the daily evapotranspiration data.
5. The daily evapotranspiration curves have peak for the period from July to September.

-
6. The constants in the formulars in this report may vary to some extent, if data are accumulated in the future.