

主要畑作物の蒸散量と蒸発散量

北 村 亨[†] 今 友 親[†]

TRANSPIRATION AND EVAPOTRANSPIRATION AMOUNT OF THE MAIN FIELD CROPS

Toru KITAMURA & Tomochika KON

主要畑作物について、蒸散量と蒸発散量を Chamber 法で測定した結果、蒸発散量と気象要素、とくに蒸発計蒸発量と日射量との間に高い相関をえた。これをもとにした回帰式、蒸散散比から、蒸発散量を推定することができた。蒸散量と葉面積指数とは密接な関係があり、単位葉面積当たりの相対蒸散量と葉面積指数との関係は、指数曲線あるいは双曲線で近似的にあらわされ、これにより蒸散量の推定が可能となった。

I 緒 言

作物の水分消費特性を明らかにし、各種環境条件における蒸散作用と水分の必要量を知ることが、水と作物生産性との関係を追究するうえに必要であるばかりでなく、水分補給が作物の収量増大に役立つような機構を解析するためにも、きわめて重要である。

本道の気象要因からみて、作物に必要な水分の天然補給量は、生育段階別にみると著しく不安定であるといえる。すなわち、生育期間中の連続旱天日数では、全国的にみてもきわめて頻度の高い地域に属し、過去 10 年間で、毎月 11~15 日以上に及んでいる。有効降雨量では、0 mm 以下を示す地域は道南・道央の平坦地、北見・十勝の一部であるが、これらの地方では著しく水分不足状態で栽培されていることになる。また、最小降水量が 4 旬合計で 40 mm 以下の地域は、平坦部では全道のほとんどがこれに含まれ、これらを総合してみると、土壌の保水力条件を 40 mm (1 回のかん水量) とした場合、生育期間の蒸発散量を 2~4 mm/日 とすると¹⁸⁾、Table 1 に示すように、札幌・北見においては、6 月・7 月・8 月がきわめて水分不足の状態にあることがうかがわれる¹⁸⁾。

しかしながら、このような水分不足状態であっ

Table 1. Deficiency amount of water
for crop field in Hokkaido

District	Monthly water deficit					
	10 years mean (mm)			Maximum of 10 years (mm)		
	June	July	Aug.	June	July	Aug.
Sapporo	55	59	36	84	87	78
Kitami	60	63	31	86	96	63
Obihiro	42	40	33	70	90	70

Remarks: Evapotranspiration amount is 4 mm per day from June to August and is 2 mm per day at May and September.

ても、作物の生産性はある程度保持されていることから、土壌の水分特性、とくに有効水分¹⁸⁾⁹⁾¹⁵⁾¹⁶⁾と地下補給水量²³⁾²⁴⁾などの関連において、種々の気象環境条件を加味した作物の水分消費特性を明らかにする必要がある、これより、灌漑の要否の判定や生産力向上のための水分補給の方法などに関する重要な知見が得られるものと考えられる。

本道における蒸発散量に関する研究では、北農試⁷⁾の牧草についての結果から、蒸発散量と気象要因との間に強い相関関係が認められており、山本・梅田²⁵⁾は気象データに基づいて、道内各地の蒸発散量を算出し、降水量に比べて蒸散量の値が高いことを明らかにしている。また、大島²⁶⁾はてん菜について切断葉身の重量測定による蒸散量の

[†] 中央農業試験場

測定法を研究し、蒸散量と水平日射量に高い相関があることから、ほ場生育中のおおよその蒸散量を推定できることを述べている。しかし、ほ場群落条件で蒸散量と蒸発散量を区別して測定されたものではなく、したがって、自然環境条件における作物の生育、生理と蒸発散との関連づけが困難であったが、最近、加藤ら¹⁰⁾が、Chamber法による測定法を開発し、ほ場群落条件で蒸発散量の測定を可能にした。筆者らも Chamber法による湿度測定法を用い、本道の主要畑作物について、蒸散量と蒸発散量を測定し、作物の生育と気象要因との関連性について2~3の知見を得たので、その結果を報告する。

本試験の実施に当たり、ご懇篤な指導を賜った東海近畿農業試験場畑作物部加藤一郎部長、同部作物第一研究室の各位および試験研究の方向に種々ご教示を賜った放射線育種場滝野得三場長に厚く感謝するとともに、道立中央農業試験場畑作物部小山八十八部長、同畑作物部長内俊一郎長には多大なご援助と助言を頂き、本稿の校閲を賜ったことを記して感謝の意を表する。

II 試験方法

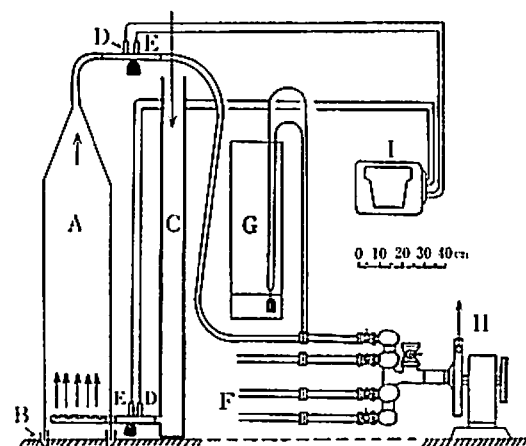
1966~1967年の2か年にわたり中央農業試験場ほ場において実験した。ほ場の土壌は、土性がCLで、第1層(0~15 cm)および第2層(15~37 cm)の粒径組成が粗砂3.05~0.61%, 細砂38.41~44.85%, シルト36.44~32.83%, 粘土22.10~21.71%で、腐植含量が各層とも2.4%であった。各作物の栽培法は Table 2 に示すとおりであり、1区制で供試面積は各作物ともに720 m²であった。

Table 2. Method of cultivation

crops	Varieties	Date of sowing	Plant density (cm)	Amounts of fertilizer (kg/10a)
Corn	Fukuko No. 8	1966, May 14	70 × 27	N: 10.0
		1967, May 10		P ₂ O ₅ : 10.0 K ₂ O: 7.0
Soybean	Kitami shiro	1967, May 23	50 × 20	N: 2.5
				P ₂ O ₅ : 8.0 K ₂ O: 4.0
Adzuki-bean	Takara shozu	1966, May 19	50 × 20	N: 3.0
		1967, May 22		P ₂ O ₅ : 8.0 K ₂ O: 4.0
Potato	Eniwa	1966, May 7	70 × 27	N: 8.0
		1967, May 10		P ₂ O ₅ : 11.0 K ₂ O: 8.0
Sugar-beet	Tsuki-sappu	1966, May 1	50 × 22.5	N: 10.9
		1967, May 6		P ₂ O ₅ : 10.4 K ₂ O: 7.2

蒸発散量の測定方法は Chamber法¹⁰⁾で行なったが、これは湿度測定法によるもので、感度の高い温度計で Chamberの出入口に乾湿球を装着して水蒸気張力を測定し、絶対湿度(g/m³)を算出し、出入口の差を蒸発散量とするもので、その装置は Fig. 1のとおりである¹¹⁾。

Fig. 1 Apparatus of chamber method



A=Transpiration chamber

B=Ring for Keeping chamber

C=Pipe for inhalation

D=Dry bulb E=Wet bulb

F=Air-flow meter with orifice

G=Manometer H=Blower

I=Electric thermometer Direction of air-flow

Remarks:

Formula to compute ET and absolute humidity

$$ET = (X_2 - X_1)Q$$

where X is absolute humidity (g/m³)

Q is air flow quantity (l/min)

X₂ is absolute humidity at the exit

X₁ is absolute humidity at the entrance of the chamber

$$X = \frac{0.622 \times 1293}{1 + 0.00366 \frac{e}{p}} \times \frac{e}{p}$$

where 0.622 is specific gravity of the water vapor

1293 is weight of the air (g/m³)

0.00366 is expansion coefficient of the air

e is water vapor pressure

p is atmospheric pressure

蒸散量は Chamberの底面をビニールフィルムで被覆して測定したが、蒸発散量は前者と生育量が

Table 3. Actual measurement in various crop fields

Crops	Date of measurement			Measur- ed time	Transpi- ration amount (T) (mm)	Evapotran- spiration amount (ET) (mm)	Relative transpiration amount				Evapora- tion from the soil (ES) (mm)	ES/ET (%)
							T/EW	T/R	ET/EW	ET/R		
Corn	1966	Jul.	18-19	18-18	2.79	4.65	0.78	0.45	1.29	0.75	1.86	40.0
		Jul.	19-20	6-6	2.38	3.39	0.66	0.39	1.09	0.64	1.01	29.8
		Jul.	19-20	18-18	1.36	2.28	0.31	0.30	0.44	0.50	0.92	40.3
		Aug.	9	6-24	2.83	3.25	0.64	0.41	0.74	0.47	0.42	12.9
		Sep.	20-21	11-6	1.35	2.09	0.41	0.33	0.63	0.51	0.74	35.4
		Sep.	30	7-19	1.65	2.73	0.66	0.27	1.09	0.44	1.08	39.6
		Oct.	12	6-18	1.91	2.62	0.74	0.39	1.01	0.53	0.71	27.1
	1967	Jun.	23-24	6-6	1.21	3.00	0.17	0.11	0.43	0.26	1.79	59.8
		Jun.	24-25	6-6	1.03	2.22	0.21	0.13	0.44	0.28	1.19	53.5
		Jun.	25-26	6-6	1.19	3.27	0.30	0.15	0.70	0.34	2.08	63.7
		Aug.	30-31	6-6	3.46	4.01	0.77	0.36	0.89	0.42	0.55	13.9
		Aug.	31-1	6-6	2.40	2.82	0.45	0.34	0.53	0.40	0.42	15.0
Soybean	1967	Jul.	10-11	12-6	2.31	3.19	0.50	0.41	0.78	0.57	0.88	27.7
		Jul.	11-12	6-6	3.20	4.37	1.00	0.67	1.37	0.91	1.17	26.8
		Jul.	21-22	6-6	4.72	7.03	0.91	0.56	1.35	0.83	2.31	32.8
		Jul.	22-23	6-6	5.85	8.40	0.92	0.61	1.32	0.88	2.55	30.3
		Jul.	23-24	6-6	5.41	7.86	0.80	0.61	1.16	0.88	2.44	31.1
		Aug.	1-2	6-6	4.88	6.66	0.99	0.69	1.35	0.94	1.78	26.8
		Aug.	25-26	12-12	5.44	7.32	1.37	0.76	1.85	1.02	1.88	25.7
		Sep.	9-10	13-6	2.58	4.06	1.07	0.78	1.69	1.23	1.48	36.5
Adzuki bean	1966	Jul.	29-30	11-6	2.62	5.06	0.51	0.39	0.99	0.76	2.44	48.2
		Jul.	29-30	18-18	2.14	4.30	0.63	0.49	1.27	1.00	2.16	50.2
		Aug.	8-9	9-6	1.78	4.05	0.71	0.43	1.62	0.98	2.27	56.0
		Sep.	16-17	6-6	2.31	3.09	1.13	0.47	1.51	0.63	0.78	25.2
		Sep.	16-17	18-18	2.66	3.45	1.48	0.48	1.92	0.63	0.79	22.9
		Sep.	27-28	12-6	1.08	1.97	—	0.51	0.64	0.93	0.89	45.2
	1967	Jul.	18-19	6-6	1.95	3.14	0.54	0.37	0.87	0.60	1.20	38.1
		Jul.	19-20	6-6	3.17	5.10	0.66	0.49	1.06	0.79	1.93	37.9
		Jul.	28-29	6-6	2.63	3.60	0.85	0.44	1.16	0.61	0.97	27.0
		Jul.	29-30	6-6	3.28	5.04	0.77	0.45	1.19	0.69	1.76	35.0
		Jul.	30-31	6-6	4.68	7.02	0.79	0.51	1.19	0.77	2.25	32.1
		Aug.	11-12	6-6	3.61	—	1.00	0.50	—	—	—	—
Potato	1966	Jun.	27-28	18-18	1.05	1.34	—	0.39	—	0.50	0.29	21.6
		Jul.	12-13	18-18	4.67	5.42	0.97	0.50	1.15	0.60	0.75	13.8
		Jul.	13-14	6-6	4.18	4.95	0.89	0.45	1.05	0.54	0.77	15.6
		Jul.	27-28	8-8	3.57	4.28	0.97	0.57	1.16	0.68	0.71	16.6
		Aug.	10-11	6-6	2.70	3.25	0.97	0.56	1.16	0.68	0.55	16.9
	1967	Jul.	24-25	12-6	0.83	1.01	0.31	0.37	0.37	0.45	0.18	16.9
		Jul.	25-26	6-6	3.16	3.83	0.51	0.36	0.62	0.44	0.67	17.2
		Jul.	26-27	6-6	2.71	3.48	0.46	0.38	0.59	0.49	0.77	22.1
		Aug.	24-25	9-9	2.03	2.10	0.56	0.29	0.57	0.30	0.07	3.2
Sugarbeet	1966	Jun.	11-12	6-6	2.01	8.20	0.34	0.18	1.38	0.73	6.11	74.5
		Jun.	12-13	6-6	1.85	7.90	0.39	0.17	1.68	0.74	6.01	76.1
		Jun.	24-25	6-6	4.36	5.96	1.32	0.75	1.81	1.03	1.60	26.8
		Jul.	7-8	18-18	2.24	3.31	—	0.75	—	1.11	1.07	32.3
		Aug.	3	6-22	3.70	3.43	1.16	0.89	1.07	0.83	0	0
		Sep.	22-23	18-18	5.76	5.28	1.86	0.78	1.70	0.71	0	0
		Oct.	1	11-18	2.29	2.57	0.62	0.59	0.69	0.67	0.28	10.9
		Oct.	2	10-18	1.57	1.93	0.83	0.54	1.01	0.67	0.36	18.6
		Oct.	25-26	11-6	1.04	0.87	1.04	0.71	0.88	0.61	0.17	19.5
	1967	Jun.	21-22	6-6	0.76	2.50	0.32	0.12	0.43	0.21	1.35	54.1
		Jul.	2-3	6-6	2.56	1.27	0.46	0.21	0.53	0.19	0.51	40.3
		Jul.	13-14	11-9	1.62	2.02	0.50	0.31	0.62	0.39	0.40	19.9
		Jul.	15-16	18-18	2.85	3.58	0.46	0.26	0.58	0.37	0.73	20.3
		Aug.	2-3	18-18	4.87	7.33	0.72	0.47	1.08	0.71	2.46	33.6
		Sep.	7-8	6-6	4.07	5.44	1.63	0.52	—	0.70	1.37	25.2
		Sep.	27-28	6-6	3.26	3.17	1.63	0.46	1.59	0.45	0	0
		Sep.	28-29	6-6	3.75	3.12	1.98	0.53	1.64	0.44	0	0
		Oct.	10-11	6-6	4.20	3.89	1.20	0.62	1.11	0.58	0	0
		Oct.	20-21	6-6	1.67	1.60	1.52	0.36	1.45	0.34	0	0

Remarks: EW=Pan-evaporation amount

R=Insolation amount

類似した株を選び、底面を被覆しないで測定した。土壌面蒸発量は蒸発散量と蒸散量との差で示した。

とうもろこし、ばれいしょではそれぞれ2株について底面積3,847 cm²、高さ2 mの Chamber を用い、空気流量を300~350 l/min. とした。大豆、小豆、てん菜等では、それぞれ1株について、底面積961 cm²、高さ1.2 mの Chamber を用い、空気流量を150~200 l/min. とした。測定開始の24~48時間前には十分灌水し、土壌水分がほぼ場容水量付近になるよう調節した。

Ⅲ 試験結果と考察

各作物の蒸散量(T)、蒸発散量(ET)を測定して、両者の差から土壌面蒸発量(ES)を算出し、さらに蒸発計蒸発量(EW)、日射量(R)に対する相対蒸散量(T/EW, T/R)と相対蒸発散量(ET/EW, ET/R)について算出した数値を Table 3 に示した。

1 蒸散量および蒸発散量測定結果

(1) とうもろこし

1966年より2か年間測定したが、2年目は補足的な測定である。6月下旬から10月中旬までの期間に調査した蒸散量の実測値は1.03~3.46 mm/日で、平均は1.93 mm/日であった。この値は気象条件によるふれが大きい、生育初期は比較的少なく、中期では多くなり、末期になるにしたがって、しだいに減少する傾向を示した。蒸発散量は生育時期によって変動することは少なく、2.09~4.65 mm/日の範囲で、平均は3.3 mm/日であった。すなわち、生育初期は蒸散量との差が大きく、土壌面からの蒸発が占める割合が大きいことを示しているが、茎葉が繁茂する8月から9月の間では最も少なくなる。土壌面蒸発量の蒸発散量に対する割合は13.0~40.3%で平均32.1%であった。相対蒸散量、T/EW および T/R はそれぞれ0.17~0.70 および0.11~0.45で、平均値は前者が0.49、後者が0.29を示したが、この場合も蒸散量と同傾向の生育時期による変動がみられた。相対蒸発散量、ET/EW および ET/R はそれぞれ0.43~1.29, 0.26~0.75で、平均値は前者が0.75、後者が0.45であったが、これは蒸散量の場合と異

なり、土壌面蒸発があるため、生育初期の植被形成が不十分のときでも比較的大きい値を示した。T/EW および ET/EW について東海近畿農試の T/EW=0.53, ET/EW=1.23 と比較するとやや低い値を示しているが、これは作季が異なることと、生産量が著しく異なることに原因があるものと推察されるので、さらに詳細な実験が望まれる。

(2) 大豆

1967年の7月から9月までの期間における測定結果を示したが、蒸散量の実測値は2.31~5.85 mm/日、蒸発散量のそれは、3.19~8.40 mm/日で、平均値は前者が4.3 mm/日、後者が6.11 mm/日となり比較的大きい値をえた、生育初期と末期の蒸散量の測定回数が少ないので詳細な検討はできないが、これらの期間ではやや少ない傾向を示し、7月下旬から8月にかけての生育最盛期には最高値がえられている。相対蒸散量 T/EW および T/R はそれぞれ0.50~1.37, 0.41~0.78で、平均値は前者が0.95、後者が0.64であった。また、同様に相対蒸発散量 ET/EW および ET/R はそれぞれ0.78~1.85, 0.57~1.23で、平均値は前者が1.36、後者が0.91を示した。これについて、石川農試、東海近畿農試、京都農試、岡山農試の結果¹⁰⁾からえられた ET/EW 平均値、0.68, 0.96, 1.41, 1.15 と比較すればやや多い傾向であるが、東海近畿農試の結果とはよく類似している。土壌面蒸発量は0.88~2.55 mm/日で平均値は1.81 mm/日であったが、ES/ETは平均29.7となつて、測定期間中の変動は比較的少なかった。

(3) 小豆

1966年より2か年間の測定結果を示したが、1966年度は低温のため生育が異常に遅延したので、主として1967年の結果について述べる。7月中旬から8月中旬までの蒸散量は、1.95~4.68 mm/日で平均値は3.22 mm/日となり、蒸発散量は3.14~7.02 mm/日で平均値は4.78 mm/日であった。開花期は7月下旬であり、生育の最盛期は8月上旬にみられているが、蒸散量の最大値も7月末から8月上旬にえられた。相対蒸散量 T/EW 及び T/R はそれぞれ0.54~1.00, 0.37~0.51で、平均値は、前者が0.77、後者が0.46となつてお

り、大豆より小さな値であった。また生育初期に比較的小さく、生長とともに増大するが、その変動の幅が小さいのは大豆と同様である。ET/EW および ET/R はそれぞれ 0.87~1.19, 0.60~0.79 で、平均値は、前者が 1.09, 後者が 0.69 となり、やはり大豆より小さい傾向であるが、これは小豆の植被形成の発達程度が大豆に比べてかなり小さいことが一因となっているものと思われる。土壌面蒸発量は 0.97~2.25mm/日 で、平均 1.62mm/日 となったが、ES/ET は平均 34.0 % を示し、大豆よりやや大きい値を示した。

(4) ばれいしょ

1966 年より 2 か年間の測定結果を示したが、1967 年度は補足的な調査であったから、主として、1966 年度の結果について述べる。6 月下旬から 8 月上旬までの蒸散量は 1.05~4.67 mm/日 で平均値は 3.23 mm/日 であった。蒸発散量は 1.34~5.42 mm/日 で、平均値は 3.85 mm/日 であった。ばれいしょは生育期間が短く、生育進度も比較的早いのであるが、7 月中旬~下旬には開花期に達するもので、この間に蒸散量の最高値がえられるものと思われる。相対蒸散量 T/EW および T/R はそれぞれ 0.89~0.97, 0.39~0.57 で、平均値は前者が 0.95, 後者が 0.49 となり、相対蒸発散量 ET/EW および ET/R はそれぞれ 1.05~1.16, 0.50~0.68 で、平均値は前者が 1.13, 後者が 0.60 であった。この場合も前述のような理由で変動の幅は小さい。初期生育中の測定回数が少ないので、詳細な推移は把握できないが、相対蒸散量、相対蒸発散量ともに、7 月下旬~8 月上旬の間で最大値がえられた。土壌面蒸発量は 0.29~0.77 mm/日 で、平均値は 0.42 mm/日 であるが、ES/ET は 16.9 % となって、測定作物中で最も小さい値を示した。

(5) てん菜

1966 年より 2 か年間の測定結果を示したが、実測値については、1966 年の 6 月中旬から 10 月下旬に至る間の結果について述べることにする。蒸散量は 1.04~5.76mm/日 で、平均値は 2.76mm/日 となり、蒸発散量は 0.87~8.20 mm/日 で平均値は 4.38 mm/日 であった。蒸散量は生育初期と末

期で少なく植被が発達して、土壌面を完全に被覆し始める 8 月上旬ころに最大値がえられるようである。しかし蒸発散量の生育時期による変動は比較的小さい。相対蒸散量 T/EW および T/R はそれぞれ 0.34~1.86, 0.17~0.89 で、平均値は前者が 0.95, 後者が 0.60 であった。6 月中旬までの生育初期は小さいが、その後はしだいに大きくなり、8 月から 9 月にかけて最高になって、それから漸減の傾向を示すようになる。相対蒸発散量 ET/EW および ET/R はそれぞれ 0.69~1.81, 0.61~1.11 で、平均値は前者が 1.28, 後者が 0.79 であった。相対蒸発散量の生育期間中の変動は比較的少ないが、ET/EW でやや変動が大きいのは、計器蒸発量の変動による影響が大きいと思われる。てん菜の相対蒸散量は大豆よりやや小さいが、ほかの作物より大きい傾向を示した。土壌面蒸発量は 0~6.11mm/日 で、平均値は 1.73mm/日 となったが、ES/ET は 0~76.1 % に及び、平均値は 28.7 % となって、ばれいしょよりはやや大きい。しかし、8 月に至り、植被が発達してくると、土壌面の蒸発はほとんどなくなり、その後 10 月に入って枯死葉が増加してくると、再び増加してくるものである。

2 蒸発散量と気象要素との関係

蒸散量および蒸発散量と気象要素との関係については多くの報告があり、一般に高い相関を認めている。すなわち、BRIGGS & SHANTZ²³⁾ が多数の作物を使用してえられた時間蒸散量との相関は、蒸発計蒸発量、日射量、気温等で、 $r=0.65\sim0.93$ と高く、風速では $r=0.22\sim0.35$ と低い傾向を認めており、NUTMAN²⁰⁾ はコーヒーの蒸散量について、とくに日射量と高い相関を認め ($r=0.6\sim0.8$) 風速にはあまり関係がないと述べている。氷高⁶⁾ は水稻について、日射量、気温、飽差等に $r=0.63\sim0.97$ 、湿度に $r=-0.86$ と高い相関をえている。また、東海近畿農試²⁵⁾ では蒸発散量について、アルファルファでは、気温、日射量、純放射量、蒸発計蒸発量等で $r=0.83\sim0.94$ と高い相関係数を算出しているが、飽差では $r=0.53$ とやや低い値を示している。さらに牧草の蒸発散量について、北海道農試²⁾ では、蒸発計蒸発量、飽

Table 4. Relation between evapotranspiration amount and meteorological factors

Crops	Measure- ment period	Correlation coefficients	Regression equations
Corn	1966 June to Oct.	t: 0.046	—
		sd: 0.197	—
		EW: 0.531	ET=0.495 EW+1.670
		R: 0.637	ET=0.481 R+0.595
Soybean	1967 July to Sept.	EW. R: 0.636	ET=0.038 EW+0.455 R+0.619
		t: 0.999*	ET=0.466 t-5.738
		sd: 0.908	—
		EW: 0.929**	ET=1.206 EW+0.450
Adzuki bean	1967 July to Aug.	R: 0.965**	ET=0.833 R+0.379
		EW. R: 0.965**	ET=-0.462 EW+1.231 R-0.083
		t: -0.417	—
		sd: 0.389	—
Potato	1966 June to Aug.	EW: 0.950*	ET=1.330 EW-0.957
		R: 0.973*	ET=1.000 R-2.014
		EW. R: 0.999*	ET=0.446 EW+0.607 R-1.283
		t: 0.660	—
Sugarbeet	1966 June to Oct.	sd: 0.976*	ET=0.421 sd+1.252
		EW: 0.951**	ET=0.883 EW ₁ +1.830
		R: 0.956**	ET=0.406 R+1.500
		EW. R: 0.971**	ET=0.428 EW ₁ +0.225 R+1.543
Sugarbeet	1966 June to Oct.	t: 0.383	—
		sd: 0.900**	ET=0.855 sd-0.655
		EW: 0.939**	ET=1.263 EW ₁ +0.686
		R: 0.975**	ET=0.728 R-0.301
Sugarbeet	1966 June to Oct.	EW. R: 0.980**	ET=0.468 EW ₁ -0.500 R-0.170

Remarks; t =Mean temperature (°C)

sb =Difference between saturation vapor pressure and vapor pressure

EW=Pan-evaporation amount (mm/day)

EW₁=Pan-evaporation amount of the crop covering zone (mm/day)

R =Insolation amount (mm/day)

ET=Evapotranspiration amount (mm/day)

* Significant at 5 % level, ** at 1 % level

差, 最高気温, 日射量等で $r=0.62\sim0.92$ を認めている。筆者らが各作物について, 蒸発散量と気象要素との相関係数と回帰式を求めた結果, Table 4 に示されるように, 蒸発散量と気象要素とは一般に高い正の相関が認められた。

気温との相関係数は, $r=0.04\sim0.99$ と, 作物による変動が大きく, とくに小豆では負の関係がみられているが, これは, 既往の結果や, ほかの作物と傾向を異にするので, 原因について検討を

要する。しかし, 一般には正の相関が認められ, BRIGGS & SHANTZ^{23) 24)} の $r=0.86$, 東海近畿農試^{25) 26)} の $r=0.83$ (アルファルファ), $r=0.53$ (大豆), 北農試²⁷⁾ の $r=0.77\sim0.87$ (チモン) とほぼ類似した結果がえられた。

飽差との相関係数は, ばれいし, てん菜, 大豆等で高い値がえられたが, とうもろこし, 小豆で低い傾向がみられた。これについて, 氷高²⁸⁾ は $r=0.97$ (水稲), 東海近畿農試^{25) 26)} では $r=0.59$

(アルファルファ), $r=0.77$ (大豆), 北海道農試⁷⁾では $r=0.73\sim0.76$ (チモシー), 京都農試¹⁹⁾では $r=0.67$ (ばれいしょ), 鹿児島農試¹⁹⁾では $r=0.51$ (てん菜) を算出しており, 一般にやや低い値を示している。

蒸発計蒸発量との相関係数は, とうもろこしでやや低いほかは, 全般にきわめて高い値がえられた。これについてほかの報告をみれば, BRIGGS & SHANTZ³⁾ は $r=0.93$, 東海近畿農試²⁵⁾²⁶⁾では $r=0.96$ (とうもろこし), $r=0.94$ (アルファルファ), $r=0.93$ (大豆), 京都農試¹⁹⁾では $r=0.90$ (ばれいしょ), 鹿児島農試¹⁹⁾では $r=0.88$ (てん菜) 等を算出しているが, いずれも高い相関を認め, 筆者らの傾向と類似している。

日射量との相関係数は, 各作物ともに, 最も高い値を示した。この傾向は, NUTMAN²⁰⁾の $r=0.6\sim0.8$ (コーヒー), 中村ら¹⁷⁾の $r=0.84$ (水稲) にみられるように, 蒸発計蒸発量よりも高い値をえている結果と類似している。また, BRIGGS & SHANTZ³⁾ は, $r=0.89$, 東海近畿農試²⁵⁾²⁶⁾では $r=0.86$ (アルファルファ), $r=0.72$ (大豆), 山形農試¹⁹⁾では $r=0.57$ (大豆), 京都農試¹⁹⁾では $r=0.90$ (ばれいしょ), 鹿児島農試¹⁹⁾では $r=0.75$ (てん菜), 北海道農試⁷⁾では $r=0.73\sim0.92$ (チモシー) が算出されているが, いずれも高い値を示している。

以上の結果からみると蒸発散量に及ぼす気象要因は複雑であるが, これらの気象要因の総合指標として蒸発計蒸発量を考えれば, 蒸発散量と相関が高いことから, これをもとにしてえられた蒸発散比や回帰式から, 異なる場所や年度について, 蒸発散量を推定することが可能である。同様にして, 筆者らが, 算出した結果からも日射量との相関が高いことから, これをもとにした蒸発散比や回帰式からも推定できる。さらに, 蒸発計蒸発量と日射量との重相関係数は, それぞれの単相関係数より大きい値がえられることから, これらより算出された重回帰式を用いると, より的確な推定が可能であろう。

3 相対蒸散量と生育との関係

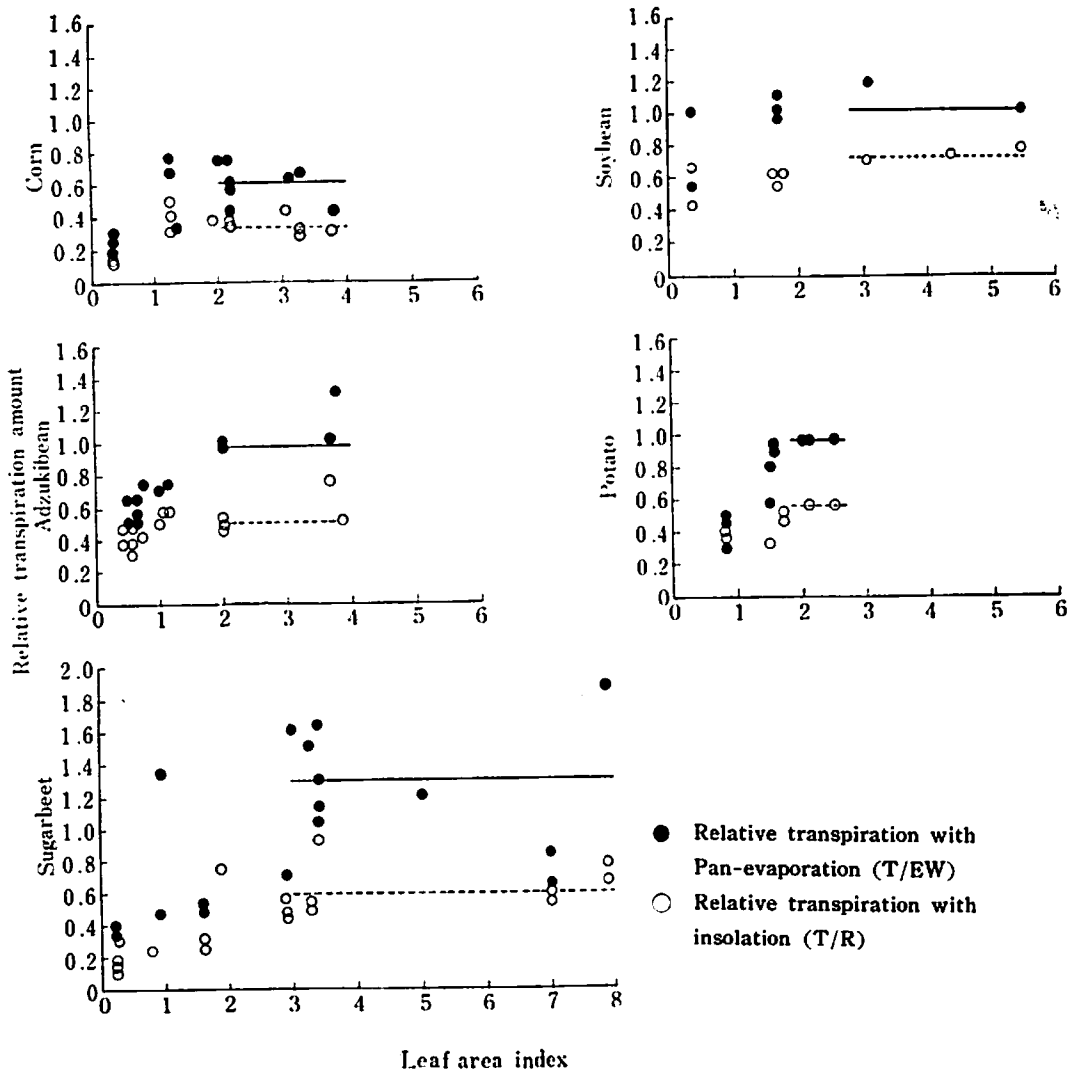
蒸発散量は気象条件, 土壌条件, 作物の生育条件等によって支配されるが, 土壌条件については,

土壌水分⁴⁾²²⁾²⁴⁾, 地温³⁰⁾, 土壌溶液濃度²⁹⁾, 外界気象条件の影響などが土壌面蒸発量および蒸散量に関係している要素と考えられ, これが作物の生育による遮蔽度および純放射量の差異¹⁴⁾が生ずることと関連して複雑であるが, 本実験では, 土壌水分をほ場容水量付近に設定して測定しており, 耕種法も同一条件としているから, 土壌条件としては一応一定であると仮定して論議を進めることにする。

蒸発散量は土壌面蒸発量が含まれるので, 土壌水分と, 気象条件に大きく影響されるが, いま, 土壌水分を一定とすると, 前述のように, 気象要素との相関が高く, とくに蒸発計蒸発量と日射量との関係が密接であることから, これらの要素と蒸発散量との比, あるいは回帰式を用いて, 蒸発散量を推定することは容易である。しかし, 作物の生育条件が異なる場合は, 蒸発散量のうち蒸散量に左右される場面が大きいため, 単に気象との関係ばかりで解決できない問題が残る。すなわち, 作物の生育が進むにしたがって, 植被の繁茂による土壌面の遮蔽度が増し, 蒸発散量のうち, 土壌面蒸発量の占める割合は低下してゆくが, 逆に, 作物は植被の繁茂によって, 日射の利用面積が増大して, 蒸散量の占める割合が増加してくる。また, 蒸散量は葉面積の増加とともに増大するが, 単位葉面積当たりの蒸散量は若い葉で大きく, 葉面積が増加するにしたがい相互遮蔽を大きくして, 単位葉面積当たりの蒸散量は低下するものである。それで, 葉面積指数 (LAI) が4~5以上になると蒸散量は増加しないで, ほぼ一定値となり, 加藤ら¹³⁾は各種園芸作物の蒸散比 (蒸散量/蒸発計蒸発量) の最大値は約1.28であるとしている。また, 東海近畿農試²⁷⁾では生育初期において, 植被形成が発達するまで (LAI, 0~3) は, 蒸散量は葉面積や体内水分の作物要因に左右されやすく, 生育中期以降で植被形成が十分発達されてからは, 気象要因とくに日射量に左右されやすくとされ, 大豆における各要因の蒸散量に対する影響力指数を計算し, 植被形成前期では LAI が49.8%, 植被形成期以後では日射量が56.9%としている。

筆者らが測定した各作物の蒸散量について, 相

Fig. 2 Relation between relative transpiration amount and leaf area index in various crops



対蒸散量と LAI の関係を Fig. 2 に示した。とうもろこしでは、LAI が 0.13~3.77 の間で測定したが、T/EW, T/R は LAI が 2 付近まで漸増しており、それ以上になるとほとんど増大しないでほぼ一定の値を示すようになる。LAI が 2 以上の T/EW, T/R の平均値はそれぞれ 0.61, 0.35 であった。東海近畿農試²⁵⁾の結果では、LAI が 6 までは漸増しており、以上の結果はこれよりも早期に一定となっているが、これは、とうもろこしの作季が異なることと、品種、生育量が異なることにも一因があると考えられるので、今後の検討に待たなければならない。

大豆では LAI が 0.35~5.47 の間で測定されたが、T/EW, T/R は、LAI が 3 付近に達するまではやや増加しており、その後はほとんど増加していない。LAI が 3 以上の T/EW, T/R の平均値は、それぞれ 1.14, 0.74 を示し、東海近畿農試²⁵⁾の結果と類似している。

小豆では LAI が 0.43~3.80 の間で測定されたが、T/EW, T/R は LAI が 2 付近で増加が緩慢となり、LAI 2 以上の T/EW, T/R の平均値はそれぞれ 0.95, 0.48 であった。

ばれいしょでは LAI が 0.83~2.55 の間で測定された。この場合は LAI が 3 以上の期間が含ま

れていないので、十分な考察はできないが、やはり、LAIが2付近で増加の頭うちがあるようである。LAIが2以上のT/EW, T/Rの平均値は、0.97, 0.57であり、これについて京都農試¹⁹⁾ではLAIが2.7以上のT/EW, T/Rの平均値がそれぞれ0.96, 0.39となっているので、筆者らの場合とほぼ類似している。

てん菜ではLAIが0.20~7.84の間で測定されたが、LAIが3付近でほぼ頭うちになっている。LAIが3以上のT/EW, T/Rの平均値はそれぞれ1.31, 0.60であり、ほかの作物に比べてやや大きい値を示している。

以上から、植被形成以後の蒸散に潜熱として消費される日射エネルギーをみると、大豆では、日射量の75%で最も多く、てん菜60%、ばれいしょ57%、小豆48%、とうもろこし35%の順であった。しかし、測定期間が作物によってはやや不十分なものもあるので、的確な比較はできないが、作物の日射利用特性に差のあることを意味するものと考えられる。

4 蒸散力と生育との関係

植被が形成されるまでの生育初期では、日射を十分に利用できるので、蒸散量は作物の蒸散能力に左右されるところが大きい。植被形成の発達にともない、日射は植被上層で受けとめられて透過光が少なくなってくるから、蒸散量は蒸散能力以外に、植被形成の推移に左右されるようになる。この関係を明らかにするために、気象条件を一定とした相対蒸散量と葉面積指数の推移との相互関係をみる必要がある²⁹⁾。いま、作物群落中の株について、単位葉面積当たりの相対蒸散量を蒸散力¹³⁾と仮称すると、蒸散力とLAIの関係を作物別に比較したものをFig.3に示した。図にみられるように、LAIが小さい間は、蒸散力は大きく、葉面積が増大するに従って、しだいに小さくなるが、その過程は作物によってかなり異なる。

とうもろこしでは、蒸散力(Tp)とLAI(F)は $Tp=3.94 e^{-0.432F}$ の指数曲線で近似的にあらわされるが、生育初期で3.94を示し、LAIが3以上になると、0.7程度まで低下し、ほぼ一定の値を示すようになる。

大豆では、蒸散力(Y)とLAI(X)は、 $Y=7.35X^{-1}$ の双曲線で近似的にあらわされる。生育初期の蒸散力は著しく高いが、生育の経過とともに急激に低下し、LAIが3付近では、ほぼ一定の値となり2程度になっている。

小豆では、同様にして、 $Tp=11.99 e^{-0.772F}$ の近似的な指数曲線で示されるが、生育初期の蒸散能力は、大豆に次いで高く、LAI3以上になると、蒸散力は1.2位となって、ほぼ一定になった。蒸散力の減衰係数は式にみられるとおり-0.772で大きい値を示した。これは測定に用いた品種が早生型であるため、生育の進度が早いことも一因であろうと思われる。

ばれいしょでは、 $Tp=8.15 e^{-0.565F}$ で近似的に示されたが、品種の特性もあって、LAIが小さく、蒸散力の推移を十分は握できないが、LAIが3以上になれば、ほぼ一定になるものと推察される。また、生育初期の蒸散能力は、豆類より小さいが、とうもろこしより著しく大きい。

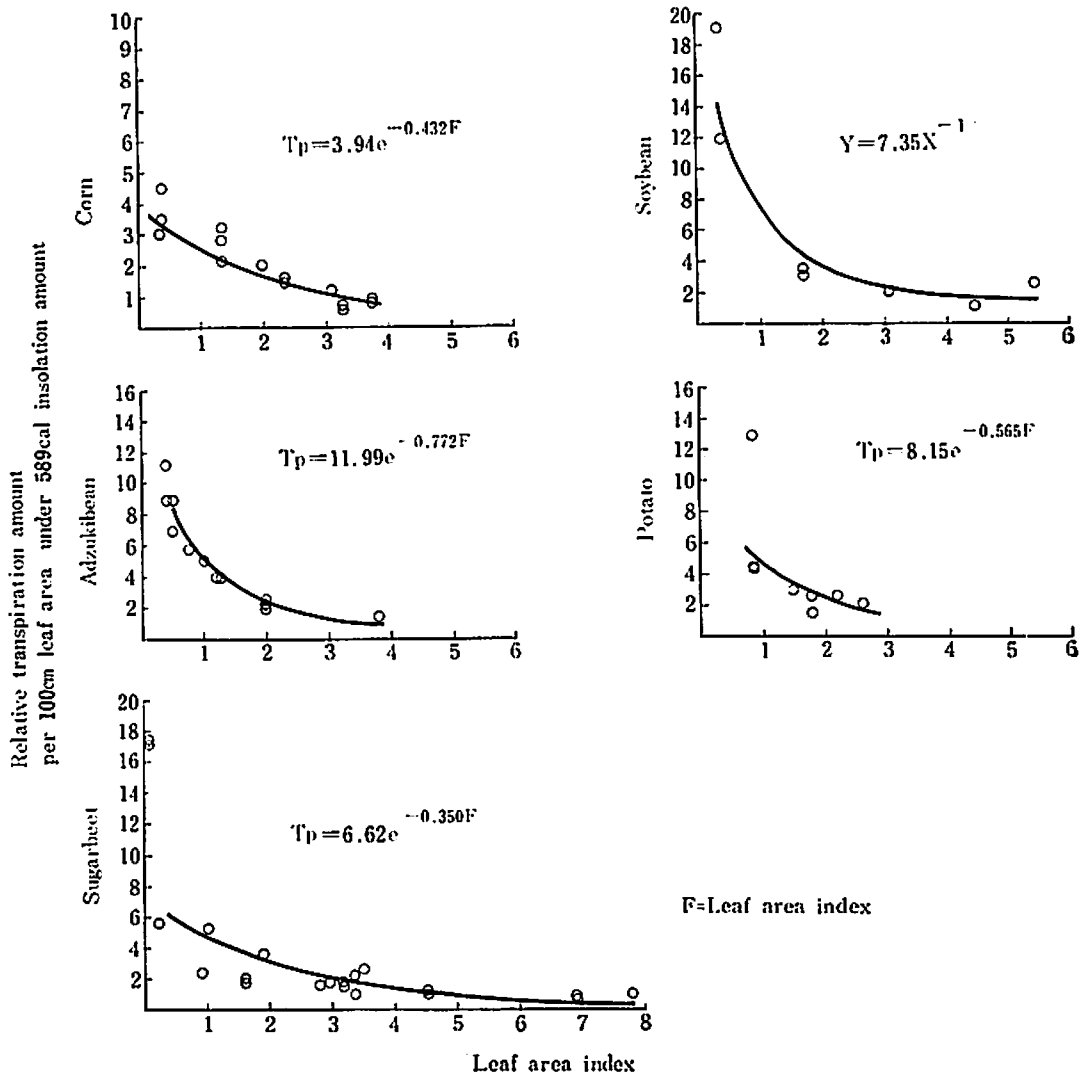
てん菜では、蒸散力は $Tp=6.62 e^{-0.350F}$ で近似的に示されるが、生育期間が長く、LAIも8近くまで達する植被構成であった。生育初期の蒸散力は6.62でばれいしょよりやや小さいが、LAIの増加にともなう減衰係数が小さく、LAIが4以上で、蒸散力はほぼ一定に達し、0.9~1.4付近に集束した。これらの結果は、加藤ら¹²⁾¹³⁾の傾向とほぼ類似している。

このような場群落における蒸散力を生育時期別に追求し、これを基礎にして、気象要素との関係式から、場所年次、生育量を異にした場合のほ場蒸散量を容易に推定することができると考えられる。

5 蒸発散量と蒸散量の推定

蒸発散量については、前述のように、蒸発計蒸発量や日射量をもとにした蒸発散比、あるいは回帰式による推定が可能であるが、いま、蒸発散量の平年値を蒸発計蒸発量をもとにした回帰式から推定し、また測定年度の蒸発散量を日射量をもとにした回帰式から推定した結果をFig.4, Fig.5に示した。蒸発量の平年値は7月上旬にピークがあり、その後しだいに減少しているが、蒸発散量も

Fig. 3 Relation between relative transpiration amount per unit leaf area and leaf area index in various crops



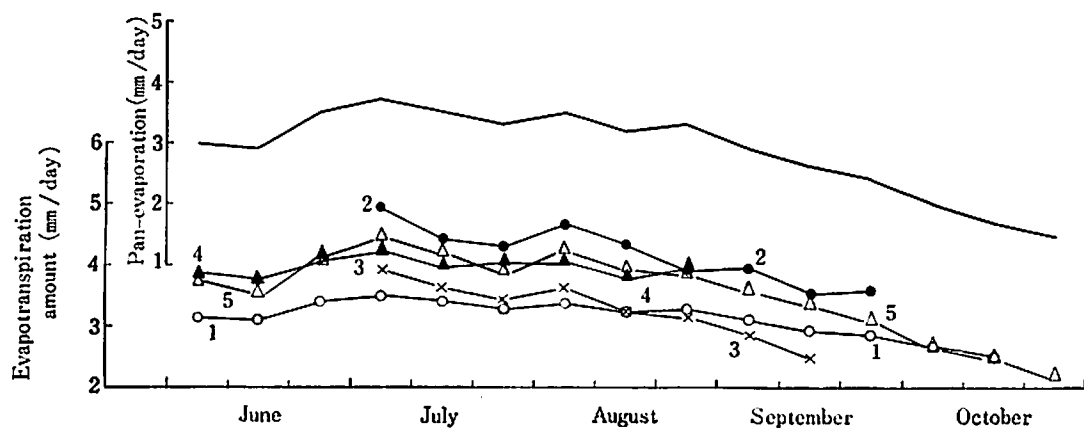
ほぼ一致した傾向が認められた。1日当たりの蒸発散量は大豆が最も多く、てん菜、ばれいしょはほぼ等しくこれに次いでいるが、とうもろこし、小豆はやや低い値を示した。各作物の生育期間中の蒸発散量は、とうもろこしで384.1 mm、大豆で391.9 mm、小豆で274.5 mm、ばれいしょで366.8 mm、てん菜で546.2 mmであった、また蒸発計蒸発量に対する蒸発散化は、それぞれ1.03, 1.39, 1.03, 1.20, 1.27で、大豆が最も大きく、小豆、とうもろこしが比較的小さかった。

1966年と1967年では気象条件がかなり異なり、

日射量では1967年の6月下旬から8月中旬の間で著しく低く経過しているから、1966年に測定したとうもろこし、ばれいしょ、てん菜と、1967年に測定した大豆、小豆とは絶対値では比較が困難であるが、相対蒸発散量では気象条件が一定と考えられるので比較できる。

1966年度の生育期間中の蒸発散量は、とうもろこしではTable 3に示した蒸発量と日射量の重回帰式から算出し、380.2 mmをえた。同様にして日射量の回帰式からは、ばれいしょで361.5 mm、てん菜で562.6 mmをえた。また、1967年度は、

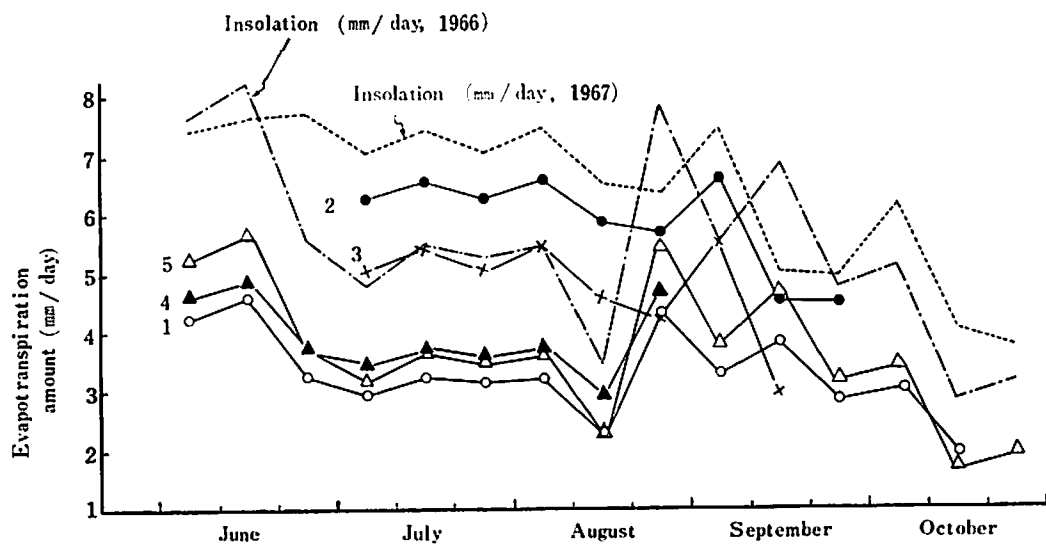
Fig. 4 Seasonal variations in evapotranspiration amount of various crops and average pan-evaporation



Numbers in the figure show the name of crops as below:

1. Corn 2. Soybean 3. Adzukibean 4. Potato 5. Sugarbeet.

Fig. 5 Seasonal variations in evapotranspiration amount of various crops and insolation amount



Numbers in the figure show the name of crops as below:

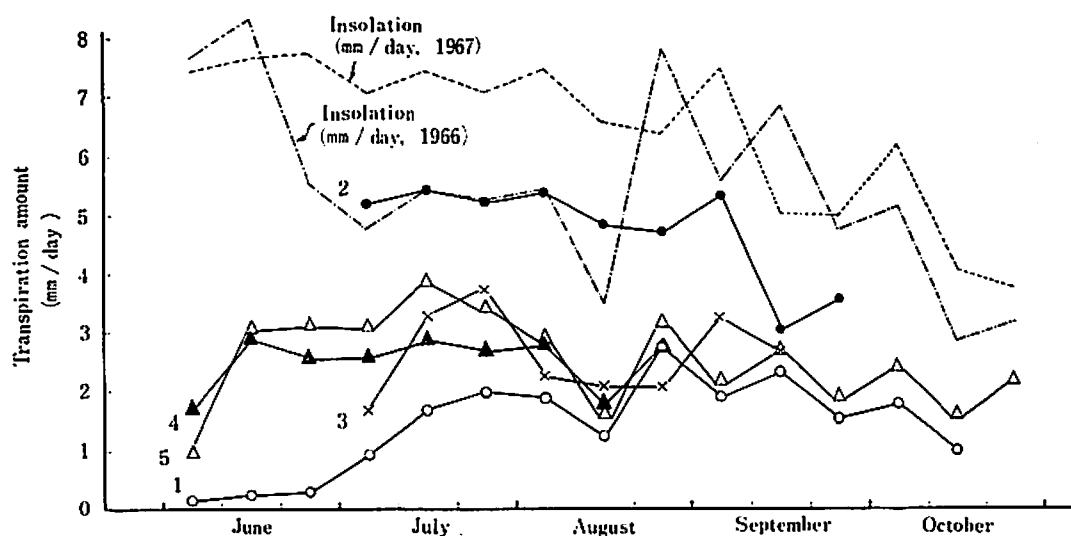
1. Corn(1966) 2. Soybean(1967) 3. Adzukibean(1967) 4. Potato(1966) 5. Sugarbeet(1966)

大豆と小豆についてそれぞれ 541.2 mm, 392.2 mm を算出した。日射量に対する 相対蒸発散量は、とうもろこしで 0.63, 大豆で 0.91, 小豆で 0.70, ばれいしょで 0.66, てん菜で 0.70 となり、大豆で高く、とうもろこしではやや低い傾向がみられたのは、実測値の場合と同傾向を示すもので

ある。

蒸散量についての推定は、各作物の実測年度について行なったが、生育期間中の経過を Fig. 6 に示した。これは Fig. 3 の蒸散力についての関係式から推定したものである。1966 年度の生育期間中の蒸散量は、とうもろこしで 192.5 mm, ばれい

Fig. 6 Seasonal variations in transpiration amount of various crops and insolation amount



Numbers in the figure show the name of crops as below:

1. Corn(1966) 2. Soybean(1967) 3. Adzuki bean(1967) 4. Potato(1966) 5. Sugarbeet(1966).

しょで241.0 mm, てん菜で389.8 mmを示し, 1967年度の大豆では435.9 mm, 小豆では214.7 mmをえた。また, 日射量に対する相対蒸散量は, とうもろこしで0.32, 大豆で0.72, 小豆で0.38, ばれいしょで0.44, てん菜で0.49となったが, 大豆の蒸散比はきわめて大きかった。

摘 要

北海道における主要畑作物について, 1966年より2か年間にわたり, 蒸散量および蒸発散量をChamber法を用いてほ場条件で測定した。

1) 蒸散量および蒸発散量の実測値については, 測定年次が異なるため, 厳密な比較は困難であるから, 蒸発計蒸発量および日射量に対する相対蒸散量および相対蒸発量について比較した。その結果, 相対蒸散量では, 大豆, てん菜, ばれいしょ, 小豆, とうもろこしの順になり, 相対蒸発量は大豆が最も大きく, てん菜がこれに次いだ, ばれいしょ, 小豆はほぼ類似しており, いずれもてん菜よりやや小さかった。とうもろこしはやはり最も小さい値を示した。

2) 蒸発散量と気象要素との相関は一般に高かったが, とくに蒸発計蒸発量と日射量に対しては

強い相関が認められた。これらをもとにして算出した蒸発散比, あるいは回帰式から蒸発散量が求められた。これによって, 各作物については生育期間中の推移や, 平年値を知ることができた。しかし, この場合, 作物の生育経過がほぼ等しく, 類似の植被形成を示さなければ的確な推定は困難となろう。

3) 相対蒸散量は, 作物が生長し, 葉面積の増大にともない増加する。しかし, 葉面積指数が2~3以上になると増加しないで, ほぼ一定の値を示すようになる。植被形成が完成された後における相対蒸散量の平均値は次のとおりで, 日射の利用特性に顕著な差異を示した。

	T/EW (mm/mm)	T/R (mm/mm)
とうもろこし	0.61	0.35
大豆	1.14	0.74
小豆	0.95	0.48
ばれいしょ	0.97	0.57
てん菜	1.31	0.60

4) 単位葉面積当たりの相対蒸散量(蒸散力)は生育が進み, 葉面積の増大にともない減少するが, 葉面積指数が3~4以上になるとほぼ一定の値に

集束するようになる。蒸散力と葉面積指数の関係は、近似的に指数曲線、または双曲線であらわされたが、作物の種類によって異なる傾向が認められた。これらの関係式は作物の蒸散特性を示すもので、これより異なる場所や平年の蒸散量を合理的に推定することができる。

5) 気象要素と蒸発散量との回帰式を用いて、生育期間中の総蒸発散量の平年値を求めた結果、とうもろこしでは 384.1mm、大豆では 391.9mm、小豆では 274.5 mm、ばれいしょでは 366.8 mm、てん菜では 546.2 mm となった。

蒸散量については、蒸散力の関係式から、生育期間中の総蒸散量および相対蒸散量を算出したが、次のような結果をえた。

	T (mm)	T/R (mm/mm)
とうもろこし(1966)	192.5	0.32
大 豆 (1967)	435.9	0.72
小 豆 (1967)	196.7	0.38
ばれいしょ (1966)	241.0	0.44
て ん 菜 (1966)	389.8	0.49

引 用 文 献

- 1) 安藤隆夫, 五島 康, 1967; 土壌水分の変動がカンランの蒸発散量, 生育に及ぼす影響, 畑地かんがい研究集録, No 9, 93~94.
- 2) BRIGGS, L. T. & H. L. SHANTZ, 1916; Daily transpiration during normal growth period and its correlation with the weather. J. Agr. Res., 7, 155-212.
- 3) ———, ———, 1916; Hourly transpiration rate on clear days as determined by cyclic environmental factors. J. Agr. Res., 7, 583-649.
- 4) ESER, C., 1884; Untersuchungen über den Einfluss der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens auf dessen Verdunstungsvermögen. Forsch. Gebiete. Agr.-Phys., 2, 1-124.
- 5) 長部次郎, 河野 宏, 1961; 作物の水分消費と土層内水分分布の調査, 畑地かんがい研究集録, No. 6, 518~520.
- 6) 水高信雄, 1968; 水稲の倒伏と被害発生機構に関する実験的研究, 農枝研報, A-No 15, 1~178.
- 7) 北農試気象研究室, 1962~64; 試験成績書, 31~34, 24~41, 7~22.
- 8) 深井 強, 池 盛重, 伊東美和男, 増島 博, 昆忠男, 1962; 重粘土壌における砂及び泥炭客土の併用効果, 北農試集報, 77, 56~47.
- 9) 池 盛重, 片岡辰雄, 1964; 重粘地における土壌水分調査, 北農, 31, No. 5, 17~19.
- 10) 加藤一郎, 内藤文男, 谷口利策, 鴨田福也, 1960; 蒸発散量測定法に関する研究. (1), 蒸散室に通気し, 湿度測定法による方法, 日作紀, 28, 286~288
- 11) KATO, I., 1967; Studies on the transpiration and evapotranspiration amount by the chamber method. Tokin. Agric. Expt. Stat., 1-14.
- 12) 加藤一郎, 内藤文男, 谷口利策, 鴨田福也, 1965; 作物の蒸散量に関する研究, 畑地かんがい研究集録, 8, 83~90, 139~144.
- 13) ———, ———, ———, ———, 1965; 作物の蒸発散量に関する研究, 各種作物の蒸散量と葉面積指数について, 畑地かんがい研究集録, 8, 91~94.
- 14) 小林勝次, 1965; 蒸発に対するトウモロコシ植被の影響について, 農業気象, 21, 29~30.
- 15) 増島 博, 1962; 十勝火山灰土壌の土壌水分系に関する研究, 北農試集報, 77, 40~47.
- 16) 南 松雄, 沢口正利, 1967; 駒ヶ岳の火山灰地における畑地かんがいに関する土壌肥料的的研究. 第1報, かんがいによる土壌水分の動向と消費水量について, 道農試集, 15, 56~71.
- 17) 中村千里, 三原義秋, 1956; 水稲の蒸散に関する研究, (1), 農業気象, 12, 64~68.
- 18) 農林省農地局, 1968; 畑地かんがい立地区分調査, 気象資料, 68~69.
- 19) ———, 1967; 作物の消費水量, 畑地かんがい立地区分調査, 10~80.
- 20) NUTMAN, F. T., 1941; Studies of the physiology *Cofea arabica*. (111) Transpiration rate of whole trees in relation to natural environmental condition. Ann. Bot., N. S. 5, 59-81.
- 21) 大島栄司, 1967; てん菜の蒸散量測定法について, 日作紀, 36, 4, 468~471.
- 22) RAMDAS, L. A., 1952; Desert hydrology, condensation and evaporation phenomena in the jasthan desert. Bull. Nat. Inat. Sci. India., No.1, 198-210.
- 23) 椎名乾治, 1961; 畑地保留水の消費機構に関する研

- 究, 畑地かんがい研究集録. No.6, 507~509.
- 24) ———, 1963; 蒸発散による畑地水分の減少機構に関する研究, 農土試報, 1, 83~156.
- 25) 東海近畿農試栽培第二部, 1964; 作物水分消費特性に関する試験成績書, 1~73.
- 26) 東海近畿農試畑作部第1研究室, 1964; 作物の水分消費特性に関する試験成績書, 12~66.
- 27) ———, 1967; 大豆の蒸散量, 蒸発散量に関する試験(追補), 1~8.
- 28) 山本 茂, 梅田安治, 1966; 北海道における畑地かんがいのための蒸発散量に関する研究, (1) 気象条件よりみた畑地かんがい必要地域, 第15回農業土木学会支部講演会講演要旨, 95~102.
- 29) 山崎清功, 氏家 勉, 川村伏男, 1967; 土壤溶液濃度—全吸引力—が作物の吸水におよぼす影響, 畑地かんがい研究集 No.9, 43~45.
- 30) WOLLNY, E., 1884; Untersuchungen über den Einfluss der oberflächlichen Abbrechung des Bodens auf dessen Temperatur und Feuchtigkeitsverhältnisse. Forsch. Gebiete. Agr.-Phys., 3, 325-348.

Summary

Amounts of transpiration and evapotranspiration for some of the main crops in Hokkaido were measured by the chamber method under field conditions during 1966 and 1967.

1) As the weather condition of each year was different, precise comparison of the actual measured value was difficult. So that average transpiration rate, average evapotranspiration rate to the pan-evaporation and insolation were calculated and compared with them. Differences of transpiration characters among the four crops were remarkable. Namely, the transpiration rate(T-rate) of soybeans, sugarbeets and potatoes was greater than adzuki beans. The T-rate of corn was less than these crops. The evapotranspiration rate(ET-rate) of soybeans was the greatest and the sugarbeets was next. The results showed

that potatoes were similar to adzuki beans, and the ET-rates were small in comparison to the rates of sugarbeets. The ET-rate of corn was the least as expected.

2) The correlation between ET-amount and meteorological factors was generally high. The relationship between the evaporation amount from the water-pan and the insolation amount was especially remarkable.

Average ET-rate or regression equations between ET-amount and meteorological factors may be used in order to calculate the general ET-amount of all crops for various years. In this case, the same condition of green cover formation in these crops may be very useful.

3) T-rate of crops increased with the stages of growth, and the rate was closely related to the increase of leaf area. However, after the leaf area index was indicated 2-3, increments were not found, and these rates were nearly constant.

In this case, average transpiration rates were as follows:

	T/EW (mm/mm)	T/R (mm/mm)
Corn	0.61	0.35
Soybean	1.14	0.74
Adzukibean	0.95	0.48
Potato	0.97	0.57
Sugarbeet	1.31	0.60

Thus, it was found that there were differences among these crops depending on the availability of insolation.

4) Relative transpiration per unit leaf area decreased gradually with the progress of growth, namely, the increase of leaf area index. However, after the leaf area index was indicated 3-4 relative transpiration per unit leaf area was nearly constant. The above relation was shown applicably by the approximate exponential equation or hyperbolic equation,

and they were varied considerably between the crops.

It might be quite all right to consider that these equations were shown the characteristics of transpiration of the crops, consequently, the estimation of T-amount became possible in different cultivated locations and years.

5) Average ET-amount was obtained by multiplying the regression equation as shown in Table 4 based on pan-evaporation of 10-years mean. The obtained various average ET-amount was as follows: Corn, 384.1 mm; Soybeans, 391.9 mm; Adzuki beans, 274.5mm;

Potato, 366.8mm; and Sugarbeet, 546.2mm.

Furthermore, the average T-amount was obtained by the multiplying exponential equation or hyperbolic equation as shown in Fig. 3 based on the insolation amount for the mean of the two years, 1966 and 1967.

Various average T-amount and T-rate were as follows:

		T (mm)	T/R (mm/mm)
Corn	(1966)	192.5	0.32
Soybean	(1967)	435.9	0.72
Adzukibean	(1967)	196.7	0.38
Potato	(1966)	241.0	0.44
Sugarbeet	(1966)	389.8	0.49