

てん菜の日射利用に関する研究1

誌名	てん菜研究会報 = Proceedings of the Sugar Beet Research Association
ISSN	09121048
著者	北村, 亨
巻/号	17号
掲載ページ	p. 211-221
発行年月	1976年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



てん菜の日射利用に関する研究

1. 圃場群落条件と蒸散および光合成との関係

北 村 亨

(北海道立中央農業試験場)

1. 緒 言

従来、作物の多収穫を追求する研究の多くは養分収支を基本として進められており、日射利用との関連において検討された例は甚だ少ない。作物の蒸散および光合成は日射エネルギーが基本となって営まれる生理作用であり、物質生産の基礎となるものである。これらは、日射エネルギー、温度、炭酸ガス、水蒸気張力、風、土壌物理条件、土壌水分および栄養分などの諸要因と密接且つ複雑な関係にある。¹⁾したがって、ほ場環境における、蒸散と光合成の実態を明らかにし、更に、作物生産性との定量的関係を解明することが必要で、合理的な多収栽培法を見出すためにきわめて重要である。

我国では、てん菜のほ場群落条件における蒸散と光合成を同時測定した例はなく、それらと群落条件との相互関係についても検討されていない。蒸散と光合成は、ほとんど同時に、主として気孔を通じて行なわれているガス交換作用であり、これらが環境要因との関連で変化するものであるから、実際ほ場環境におけるこれらの諸特性を明らかにし、日射利用効率を向上するための知見を得る必要がある。

本研究は、てん菜について、生産力が異なる群落の生産過程における日射の利用状態を把握しようとして、蒸散と光合成の同時測定により、これらの相互関係、群落間差異および群落内日射エネルギーとの関係を検討した。

2. 実験方法

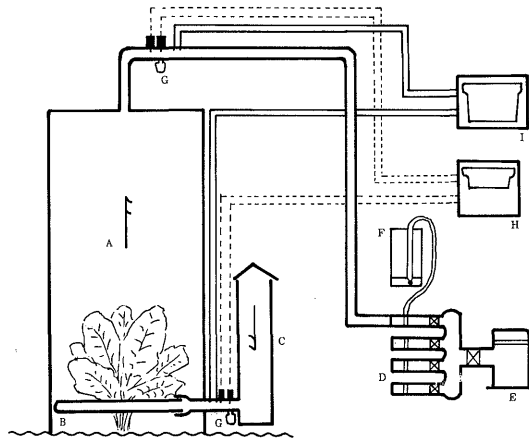
北海道立中央農業試験場において、1972年～1973年の2年間実施した。群落条件の設定および栽培条件は表-1に示した。蒸散および光合成の測定は、Chamber法により実施し、土壌面からの蒸発とCO₂の放出を防止するためにビニールフィルムで土面を被覆した。測定装置の概要を図-1に示した。Chamberは厚さ3mmの硬質塩化ビニール製で、巾40cm、長さ70cm、高さ120cm、(底面積2800cm²、容積336ℓ)と、巾50cm、長さ70cm、高さ120cm(底面積3500cm²、容積420ℓ)の2種類を用い、畦巾37cm、45cmの群落では

KITAMURA, T. (Hokkaido Central Agric. Exp. Stn., Naganuma, Sorachi): Studies on utilization of solar energy in sugar beet plants. 1. The relationship between transpiration and photosynthesis with differences structure of community in sugar beets under field conditions.

表-1 実験圃場の栽培条件

供試作物	年度	群落条件 畦巾×株間 cm	本数/10 a	移植期月日	収穫期月日
てん菜 (Kawe erta)	1972	37×37	7307	5. 8	10. 25
		45×30	7407		
	1973	60×22.5	7407	5. 1	10. 15

施肥量：1972 N-16.0, P₂O₅-24.0, K₂O-17.3, Mg-0.53, Br-0.4 kg/10 a,
 1973 同上施肥量のほか有機物3.3 t/10 a 施用
 施肥法：1972~3 全層施肥
 土壌水分：1972 補給せず但し、測定時24~48時間前に補給
 1973 生育中PF値2.6前後で畦間かんがいにより補給
 区制：1972~3 1区40 m² 2反復



- A. Chamber
- B. 環状分配管
- C. 吸気筒
- D. オリフィス流量計
- E. プロアー
- F. マノメーター
- G. 乾・湿球温度計
- H. 温度記録計
- I. 赤外線ガス分析計

図-1 蒸散および光合成測定装置

前者、畦巾60 cmの群落では後者を使用した。蒸散量は Chamber の出入口の絶対湿度差に通気量に乗じて求め、その算出は(1)、(2)式によった。

$$X = \frac{e}{760} \cdot \frac{1.293 \times 0.622}{1 + 0.00367t} \dots\dots\dots (1)$$

$$T = \sum (X_o - X_i) Q \dots\dots\dots (2)$$

ここでXは絶対湿度 (g/m³), eは水蒸気張力 (mmHg)で Sprungの公式によって算出, 1.293は760 mm Hg 0℃における乾燥空気 の比重量 (kg/m³), 0.622は水蒸気の空気に対する比重, 0.00367は温度1℃に対する空気の膨張率, tは空気の温度 (℃), Tは蒸散量 (gH₂O/株・時間), X_o, X_iは Chamber 出口と入口の絶対湿度 (g/m³), Qは通気量 (m³/時間), なお単位葉面積 (dm²), 単位時間当りの蒸散量を蒸散速度 (gH₂O/dm²・h)とした。

光合成量は赤外線ガス分析計で測定した。Chamber 出入口のCO₂濃度差に通気量を乗じて求め、その算出は(3)式によった。

$$P = \Sigma (C_i - C_o) Q \dots\dots\dots (3)$$

ここでPは見かけの光合成量 (mg CO₂/株・時間), C_i, C_oはChamber 出入口のCO₂濃度 (mg/m³), Qは通気量 (m³/時間)を示す, なお, 単位葉面積 (dm²), 単位時間当りの光合成量を光合成速度 (mg CO₂/dm²・h)とした。

日射量は, エブリ型日射計を用い, 打点記録した。群落内外の放射エネルギーは波長別エネルギー記録計を用い, 670 mμの波長について, 小型検出器で畦間内を属別に移動して測定した。

3. 実験結果

1) 群落の葉面積と吸光度

葉面積示数の経過は図-2に示すように, 1972年は1973年に比べ, 全般に小さい値を示し, 畦巾60 cmでかなり低下している。畦巾37 cmと45 cmで大差がないが, 前者がやや大きい。属別葉面積と群落との関係は図-3に示すように, 畦巾が広がるほど上属部の葉量が少なくなり下屬で多くなっている。とくに, 畦巾が最も広い60 cmの群落では, 生育後期の茎葉の下垂が著しく, 隣接畦と葉の重なり合いが生じ, 局部的に密集する現象がみられる。

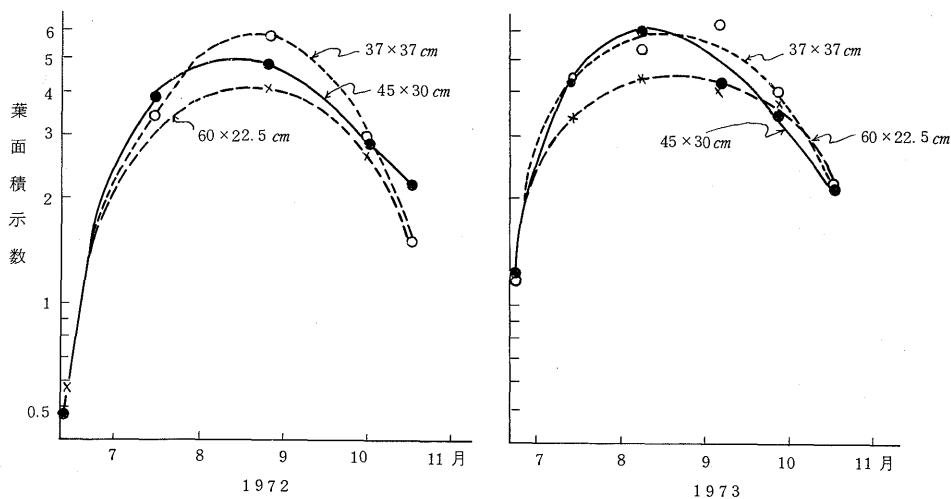


図-2 群落葉面積示数の推移

群落内光環境と葉面積示数との関係について, 670 mμの波長エネルギーの群落吸光係数を Monsi u. Saeki (1953)²⁾の方法を用い, 生育経過を追って調査し, 表-2に示した。一般に, 生育

表-2 群落吸光係数の推移(1973)

畦巾×株間	6月21日	7月10日	8月7日	9月5日	9月26日
37×37	-0.92	-0.71	-0.89	-0.49	-1.12
45×30	-0.92	-0.57	-0.69	-0.79	-1.52
60×22.5	-1.05	-0.75	-0.85	-0.81	-1.03

注 吸光係数は670 mpeの波長のエネルギー強度をもとにして算出した。

積算葉面積 (m^2/m^2)

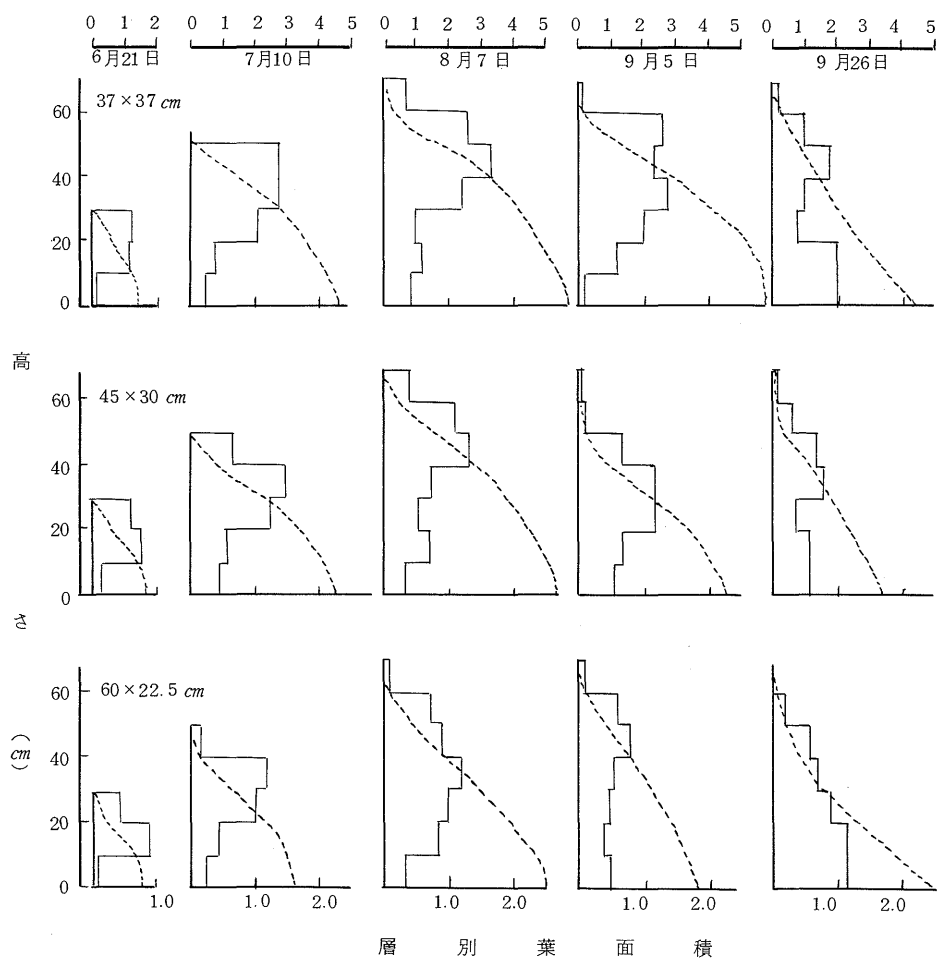


図-3 群落の属別葉面積(1973)

初期でやや高く、その後減少するが、生育盛期で高まり、末期になると最も増大した。また、畦巾 60 cm では、生育初期に比較的高く、日射利用上不利であった。生育盛期では畦巾 45 cm が有利になるが、登熟期になると、上述のように、茎葉の下垂もあって畦巾が広いほど吸光度は高まり、畦巾 37 cm では減少した。

2) 群落の蒸散および光合成

蒸散と光合成の測定結果を表-3に示した。1972年は1973年に比べて明らかに低く、日射量に対する相対値は、蒸散で84%、光合成で49%となっている。群落間差についてみると、一般に畦巾の広いほど減少の傾向を示すが1973年の生育最盛期では、畦巾45cmの光合成が最も高い値を示した。P/T比は蒸散量gに対する光合成CO₂mgの比を示すものであるが、生育前半に大きく、後半に小さくなる傾向があり、また1972年では光合成が蒸散に比べて低いことを示している。

表-3 てん菜生育中の蒸散および光合成

年度	測定月日	時刻 h	気温 ℃	日射量 cal	蒸散量(T) g/株・日			蒸散速度 g/dm ² ・h			光合成量(P) g/株・日			光合成速度 mg/dm ² ・h			P/T比		
					3.7	4.5	6.0	3.7	4.5	6.0	3.7	4.5	6.0	3.7	4.5	6.0	3.7	4.5	6.0
					×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
					3.7	3.0	22.5	3.7	3.0	22.5	3.7	3.0	22.5	3.7	3.0	22.5	3.7	3.0	22.5
					cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1972	6.14	9~18	15.6	378	—	47.3	59.3	—	0.82	0.87	—	1.44	1.19	—	17.9	17.4	—	22.0	20.1
	7.14	6~18	27.1	492	383.7	442.8	334.5	0.45	0.63	0.54	3.35	3.35	2.38	4.1	4.8	3.8	9.0	7.6	7.1
	8.24	"	25.6	558	548.6	646.8	503.2	0.63	0.67	0.53	2.75	2.42	2.14	3.2	2.5	2.3	5.0	3.7	4.3
	9.29	"	17.8	273	219.7	267.5	188.8	0.30	0.38	0.30	1.20	1.19	0.89	2.0	2.0	1.7	5.5	4.4	4.7
	10.16	"	14.2	117	120.2	66.8	85.3	0.83	0.42	0.34	0.46	0.60	0.45	3.7	3.9	1.9	3.8	9.0	5.3
1973	6.20	9~16	20.8	306	206.0	170.6	148.4	1.26	1.11	1.14	2.10	1.90	0.97	12.8	12.5	7.5	10.2	11.1	6.6
	7.10	10~16	21.3	272	230.2	219.2	203.8	0.66	0.67	0.61	3.81	5.07	3.21	10.9	15.5	4.6	16.5	23.1	15.8
	8.7	9~16	30.3	352	407.6	441.7	362.0	0.83	0.69	0.78	3.24	3.73	2.61	6.6	5.4	5.6	7.9	8.5	7.2
	9.5	"	23.2	341	458.6	387.5	351.3	0.71	1.00	0.78	3.91	3.25	3.06	6.1	8.4	6.8	8.5	8.4	8.7
	9.26	"	23.5	332	424.7	403.7	324.9	1.25	1.15	1.20	2.15	2.89	1.44	6.3	8.2	5.3	5.1	7.2	4.4

3) 蒸散および光合成と各要因との関係

蒸散および光合成と葉面積示数, 吸光係数, 環境要因との相関係数を表-4に示した。葉面積示数では一般に高い値を示すが, 植被属葉面積, 吸光係数との相関に示されるように, 光合成で高い値を示すことから, 蒸散と光合成では日射利用の特性が異なることを示している。1973年の温度と日射量に対する値が異常であるのは, 測定値の基礎となる時間帯が日中の高温多照時であったことによるものと推察される。

表-4 蒸散および光合成と各種要因との相関関係

項目	年度	葉面積示数	植被属葉面積示数 [※]	吸光係数	温度	日射量
蒸散	1972	0.9025 ^{※※}	—	—	0.8853 ^{※※}	0.5793 [※]
	1973	0.7456 ^{※※}	0.4856	0.0807	0.6560 ^{※※}	0.8071 ^{※※}
光合成	1972	0.6974 ^{※※}	—	—	0.9521 ^{※※}	0.8475 ^{※※}
	1973	0.7376 ^{※※}	0.8675 ^{※※}	-0.6311 ^{※※}	0.1614	-0.1693

※ てん菜植被上属部20cm~40cmの積算葉面積算値

4) 群落の乾物生産量

乾物生産量は図-4に示すように, 1972年と1973年では著しい差があり, 根重では48.8%~62.0%に過ぎなかった。群落間差も明らかで, 畦巾の増大とともに生産性は低下している。また表-5に示すように日射利用率も同様に畦巾が広がるほど低下した。要水量は1973年の畦巾37cmで205.8(根部)を示し, 蒸散比は40.7%と最も高い。なお, 全蒸散量は図-5に示した蒸散力とLAIとの関係式により導びいたものである。

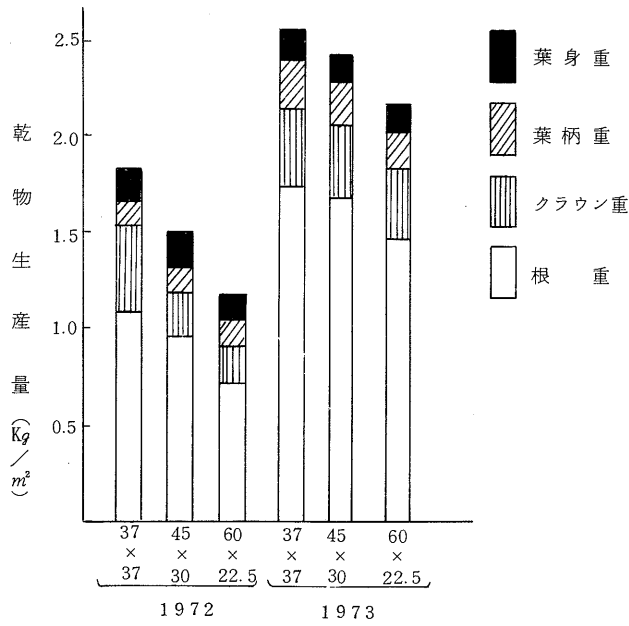


図-4 てん菜群落の乾物生産量

表-5 てん菜乾物生産量と日射量との関係

年度	畦巾×株間 cm	乾物生産日射利用率 %		要水量		蒸散比 %	蒸散量 mm	日射量 kcal/m²(mm)
		総体	根 部	総体	根 部			
1972	37×37	1.08	0.65	175.4	29.24	2.72	317.6	6873.00
	45×30	0.89	0.56	217.0	34.43	2.78	324.7	(1166.9)
	60×22.5	0.70	0.43	221.8	36.58	2.24	261.7	
1973	37×37	2.00	1.37	141.4	20.58	4.07	360.6	5217.57
	45×30	1.89	1.33	124.1	17.60	3.37	298.5	(885.8)
	60×22.5	1.70	1.15	117.7	17.34	2.88	254.9	

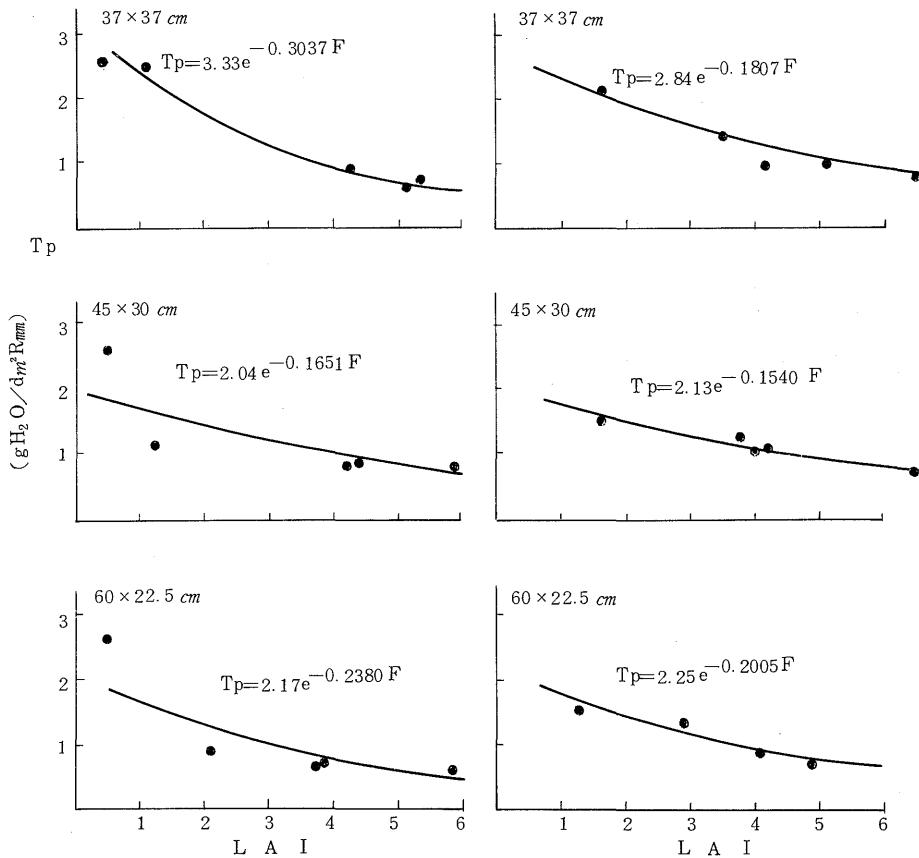
注、日射量；1972，5月上旬～10月中旬 } 積算値
 1973，5月上旬～10月上旬

日射利用率； $\frac{\text{乾物生産量} \times \text{発熱量}}{\text{積算日射量}} \times 100$

蒸散量； $T_p = A e^{-KF}$ ， $T = T_p \times L A / 100 \times R m m$

(T_p = 蒸散力， $g/dm^2 \cdot R m m$ ， A = 定数， K = 係数， $F = L A I$ ， T = 全蒸散量， $L A$ = 葉面積)

要水量； $\frac{\text{全蒸散量}}{\text{乾物生産量}}$



注 T_p = 蒸散力 ($g H_2 O / dm^2 R mm$)
 e = 自然対数の底
 F = 葉面積示数

図-5 蒸散力と葉面積示数との関係

4. 考 察

実験条件として、天候が比較的安定した条件を選び測定しており、また chamber を用いているので、測定株は或程度群落構造が変化していることから、厳密な意味での群落間差異としては問題が残るが、その点を考慮して考察することにする。

1) 蒸散と光合成の群落間差異

蒸散と蒸発量或は日射量および葉面積示数との関係については、Katoら(1962, 1963)³⁾⁴⁾が蒸散力(T_p)と葉面積示数(F)との関係式、 $T_p = Ae^{-KF}$ ($g / dm^2 EW$)を示している。この式で A は生育初期の蒸散力を表わし、 K は葉面積示数の増大にもなる蒸散力の減衰度を表わすものとしている。また直播てん菜では、Kitamura(1970)⁵⁾は日射量を基礎として、 $T_p = 6.62e^{-0.350F}$ を得た。すなわち、蒸散力は日射エネルギーと作物の生理要因との関数として表わされ、作物の日射利用特性を示すものと考えられる。それで、本実験結果から得られた各群落の

蒸散力とLAIの関係式について検討してみる。図-5に示すように初期生育における蒸散力は一般に1972年が1973年より小さいが、群落間では両年ともに畦巾37cmが最も大きく、畦巾45cm以上では著しく減少している。K値は一般に1972年で大きいことから、この年の蒸散力の減衰度が著しいことを示している。群落間では両年ともに畦巾45cmが小さく、畦巾37cmでむしろ大きい、A値が大きいので蒸散力は高い水準にあった。畦巾60cmではA値が小さく、K値が大きいことから、蒸散量も低下しており、日射利用上不利である。

群落光合成活動に関与する光環境および作物受光態勢について、Monsiu・Saeki(1953)²⁾、Oshima(1962)⁶⁾、Ito, K.(1968)⁷⁾、Kitamuraら(1972)⁸⁾が指摘しているようにきわめて密接な相互関があることから、生育時期別に群落の吸光度と光合成の関係をみた結果によれば、生育初期で係数が比較的大きいのは、葉が水平に近い角度で展開しているために表層直下の光強度が減衰していることが主因と考えられる。生育中期では図-3に示されるように畦巾37cmの上層部葉量の発達が大きいため、畦巾45cmよりむしろ吸光度が大きくなったもので、生育最盛期についても、同様の傾向を示した。この傾向は結局、光合成の減少をもたらしている。登熟期に入ると、畦巾が広い群落では、葉の下垂による局部的密集化により、吸光度は増大し、畦巾37cmが最も有利な態勢になって光合成も増大したものと考えられる。また、蒸散と光合成の相互関についてみれば前者においては、全葉面積との相関が密接であり、後者では、植被属葉面積との関係がより密接であることがみとめられる。群落条件とP/T比の関係は、明らかに畦巾が広い条件で低下しておりこの傾向は受光態勢の悪化から蒸散よりも光合成の減衰に影響しているものと考えられる。

結局、Oshima(1964)⁹⁾が述べているように、最適葉面積の存在がみとめられ、更に、植被属における葉面積と葉の空間的配置が重要であると考えられる。

2) 乾物生産の群落間差異

蒸散および光合成と乾物生産との関係については、更に多くの因果関係を解明しなければならないし、また乾物の配分についても本報告ではふれていないので、今後の研究に待つところが大きい。したがって、この項に関しては、日射利用率と要水量を中心に考察することにする。1973年の日射利用率は、一般に高いが、とくに畦巾37cmでは高く、Oshima(1973)¹⁰⁾の0.96~1.30% (根乾物量)よりやや高い。1972年のそれは、日射量に比べて小さいが、蒸散量および光合成量の低いことが主因と考えられる。要水量は乾物生産に対する水の効率を表わすものであり、てん菜について古くはBriggs, & Schantz(1914)¹¹⁾が示しているが、最近Kitamura, Kon.(1968)¹²⁾がほ場におけるてん菜要水量、271(総体)、693(根部)を示している。本実験ではこれよりかなり小さいが、品種、栽培条件の相違を考慮しなければならない。¹³⁾1972年は1973年より各群落ともに大きいのは、乾物生産量が低く、水効率が劣ることを示している。また、蒸散比¹⁴⁾すなわち、蒸散量と日射量との比について乾物生産量との相関をみると0.8939と高い値を示している。蒸散比も1972年で小さいが、とくに1973年の畦巾37cmで高く、水効率は最もまっていた。結局、このことから、要水量は、総体で150、根部で200前後に好適条件があることのように考えられる。

参 考 文 献

- 1) 戸刈義次(1971); 作物の光合成と物質生産。1-420, 養賢堂, 東京。
- 2) Monsi, M. und. Saeki, T. (1953); Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. Jap. Jour. Bot. 14, 22-52
- 3) 加藤一郎, 内藤文男, 谷口利策, 鴨田福也(1962); 畑作水・陸稲の蒸散量について。日本作物学会東海支部研究発表便概。33, 17-22
- 4) ———— (1963); 作物の蒸発散量に関する研究。東海近畿農試研究報告栽培第2部。4, 1-8
- 5) 北村亨, 今友親(1970); 主要畑作物の蒸散量と蒸発散量。北海道立農業試験場集報。20, 80-94
- 6) 大島栄司(1962); 受光条件を中心としたてん菜の光合成に関する研究。北海道農業試験場報告。59, 1-59
- 7) 伊藤浩司(1968); 圃場条件下における光の強さとてん菜群落の光合成との関係。作物の物質生産, 6, 18-31
- 8) 北村亨, 志賀義彦, 今友親(1972); てん菜の蒸散と光合成について, てん菜研究報告。補巻。14, 67-74
- 9) 大島栄司(1964); てん菜生育相に関する研究, 北海道農業試験場彙報。13, 17-23
- 10) ———— (1973); てん菜試験成績概要, 北海道農業試験場作物第2部, 特作1, 1-75
- 11) Briggs, L. J., & H. L. Schantz (1914); Relative, water requirement of plants. Jour Agric. Res 3, 1-64
- 12) 北村亨, 今友親(1968); 主要畑作物の蒸発散量について, 北農, 35. №1, 25-35
- 13) 農林水産技術会議事務局(1972); 畑地かんがい, 20-21
- 14) 加藤一郎, 内藤文男, 谷口利策, 鴨田福也(1965); 各種作物の蒸散量と葉面積指数, 東海農試研究速報2, 14-17

Summary

Experiments were carried out in 1972 and 1973 to investigate the relationship between transpiration and photosynthesis with a different structure of community in sugar beets under field conditions. And then, the situation of the energy utilization of sugar beet communities in the drymatter production process was mentioned.

Sugar beets were cultured in the field and tested in three kinds of community (row width/intrarow spacing: (1) 37/37cm, (2) 45/30cm and (3) 60/22.5cm). The simultaneous measurement of the transpiration and photosynthesis of sugar beets was made under the natural light condition by using the chamber method. Both at the entrance and exit of the chamber H₂O vapour concentration was measured by a pair of dry and wet bulb thermometers and CO₂ was measured by an infrared analyser.

The results obtained were as follows:

1. The light extinction coefficient value (K) changed according with the development of LAI, the transition of growth stage and the kind of community. K value was large when LAI was low and it was decreased with the increase of LAI, but it was increased with the pile of leaf layers in the upper part of the population.
2. Notable differences were observed in transpiration and photosynthetic rates among communities and years. The transpiration and photosynthetic rates were higher in cases of a community cultured with a narrower row than that with a wider row. But the photosynthetic rate was decreased when LAI should show an increase beyond a certain critical point.
3. The higher P/T ratio observed in the early period of growth seemed to be a reflection of higher photosynthetic activity and a lower transpiration rate as compared to those of the latter period of growth. As to the relation to the community, it was clearly the smallest in the case of (3).
4. The transpiration and photosynthesis had a positive correlation with LAI, LAI in the upper part of population, K value, air temperature and solar radiation. It was observed that transpiration was correlated more closely with LAI and meteorological factors, but less closely with LAI in the upper part of the population and K value than photosynthesis.
5. The drymatter production of 1.7kg/m was obtained in (1)-community and

it had an inclination to be lower in the community cultured with a wider row than with a narrower row.

The efficiencies of solar energy utilization in sugar beet communities were shown as 0.43-0.65% in 1972 and 1.15-1.37% in 1973. The water requirement was lower in 1973 than in 1972 and it was shown as 206 (root part) in the (1)-community.