

## 第 I 章 緒 言

作物収量の成立にはその作物が備えている遺伝的能力に対して多種多様な環境因子が複合的に関与しているものである。多収穫あるいは高度の生産効率、栽培環境の合理的改造と有効な諸技術とがよく適合して生育に反映し、収量に結び付いたときにはじめて実現するものであって、その実現のためには品種の能力向上は勿論、環境因子の作用機作や相互関係を明確にし、これらを合目的、かつ効率よく操作することが不可欠である。しかしながら、作物の遺伝能力の発現と環境因子の相互関係は極めて複雑であり、過去においてはこれは解明することが困難であった。最近、各分野における研究の進展に伴い作物生理機能と環境因子の把握に関する研究手法が開発され、解明の可能性が見出されている。作物収量は種々な生理機能の総合された結果として表わされるので、これらの生理機能を速度として表わし、これを律速する環境因子との関係を求め、これを基礎として作物収量に対する環境の影響力とこれらの相互関係を解析し、ひいては栽培環境の改善方向と方法を見出すことが可能になるのであろう。

作物生産の基本は太陽エネルギーであり、われわれは作物の光合成作用によってこのエネルギーを転換、固定して利用可能な形にしている。作物は光合成によって空気中の炭酸ガスから炭水化物を生産しているのであるが、一方では、太陽エネルギーを吸収して多量の水を水蒸気として大気に放出している。このように、蒸散によって根から吸収される水が土壌—作物—大気に通じる系における移動過程で環境の影響を受けて、光合成および光合成産物の移動蓄積を規制している。したがって、種々の栽培条件における光合成や蒸散の実態を把握すると同時にこれらと環境因子との相互関係を明らかにすることは、多くの太陽エネルギーを作物に吸収させ、転換、固定させるために必要な群落構造を作出し、関与する生理機能が群落の中で発揮できる栽培理論の確立に導びくものとして意義があり、また、実際農業における栽培方法の合理化に寄与することが少なくないと考えられる。

以上の立場から、北海道の主要畑作物であるテンサイを研究の対象とした。最近、北海道のテンサイ栽培においては、品種の能力向上、ペーパーポット移植栽培技術の向上、大型機械の導入による深耕条件で多肥を前提とした広畦疎植栽培などによる根重の増加が著しく、収量は新鮮根重で  $5 \text{ ton} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$  前後に達している。しかしながら、これを乾物生産量で見ると、 $1 \text{ ton} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$  に満たないのである。大島 (1975) は、太陽放射利用率を 2% とすると、移植栽培では新鮮根重で  $7.4 \sim 7.8 \text{ ton} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 、乾物根重で  $2 \text{ ton} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$  に近い生産の可能性があるとして述べている。長沼町における測定値から、生育期間中の放射量を  $60 \text{ 万 kcal} \cdot \text{m}^{-2}$  とした場合、仮りに 0.15% の太陽放射利用率を向上することができたとして計算すると、全道 6 万 ha では、その増加量は新鮮根重で 42.8 万 ton に達するのである。

群落光合成の立場からは、物質生産の実質は葉面積指数、単位葉面積当り同化能力、受光係数、放射量の積から呼吸による消費量を差引いた量として説明できる。これより、作物の生育過程においては、葉面積の拡大と個葉の光合成能力が群落の光合成量を支配し、これに呼吸量の増減が関与して乾物生産量を規定していることが理解できる。しかし、受光係数は光—光合成曲線がほぼ直線である前提で意味をもつものであるから、光合成能力が種々の条件、すなわち、生育時期、栽植様式、施肥、作物の体内水分、体温などの諸条件による影響を受けて変化する場合は受光係数の大小と光合成能力とは必ずしも比例関係にならないであろう。また、呼吸量は光合成生産の消費としてのみ関与するものではなく、一方では、呼吸は高エネルギー燐酸を生産し、炭水化物代謝に重要な役割を果たしていることから、単なる消費とは考えられず乾物生産のための積極的役割を考慮すべきである。北海道のテンサイ栽培は、生育初期の場合、とくに低温条件により呼吸能力が低下するので、この時期の呼吸量はある程度上昇するこ

とが望ましいのである。テンサイ乾物生産を問題にする場合、総体乾物生産量と目的器官である根乾物量とは、比例関係にあることはまれであり、品種の特性、栽培環境によって変化するので、光合成産物が根に配分される量の多少は極めて重要である。それ故、物質の転流に関与する諸条件の影響を考慮しなければならない。

このようにみると、実際圃場条件下の乾物生産量が向上するためには、光合成、呼吸などの基本的物質代謝ばかりでなく、これに関係している生化学反応が順調に行なわれ、かつ、物質が効率よく目的器官に転流するために好適な内的、外的環境条件が伴う必要がある。生化学反応や転流の基盤となるのは作物体内における水要因であり、これに直接、間接に関係がある蒸散作用を重視しなければならないと考える。

これまでのテンサイ乾物生産に関する研究では主として生育解析の手法が用いられており、生育時期別採取調査の結果から帰納したものであった。しかし、圃場条件下の多様な環境に適応し得る普遍的なデータを得るには複合環境におけるどの条件が、作物のどの生理機能に作用し、どの形質を、どの程度変化させるかを解析する必要がある。

筆者はこのような視点から、テンサイの圃場群落条件と平行して環境調節装置を用い、種々な環境条件における生理活動を終時的にとらえながら乾物生産と環境条件との相互関係を明らかにすべく、光合成、蒸散、環境因子について同時測定による研究を着手した。

本研究はテンサイの乾物生産過程において太陽放射を最も効率よく吸収できる群落構造と生理生態の特徴を把握するとともに、光合成によって物質が生産され、根に蓄積される過程で太陽放射利用率がどのような環境条件によって規制されるかを明らかにし、目的器官である根の乾物生産量が最も高くなるような条件を見出そうとして、北海道立中央農業試験場において1971年より9年間にわたって実施したものである。

本論文をまとめるにあたり、北海道大学農学部教授津田周彌博士には終始ご懇篤なる御指導と御鞭撻をいただき、かつ詳細に本文の校閲の労をとられた。また、北海道大学農学部教授後藤寛治博士、同教授田中明博士には有益な御指摘とご助言をいただき、かつ校閲の労をとられた。

前北海道大学教授細川定治博士、北海道農業試験場作物第二部園芸作物第三研究室長大島栄司博士には本研究の遂行にあたり終始有益な御指導と御鞭撻をいただいた。

福井県立短期大学教授加藤一郎博士、果樹試験場栽培部気象研究室長鴨田福也氏、野菜試験場施設栽培部気象研究室長内藤文男博士、農業環境技術研究所環境資源部気象管理科長内嶋善兵衛博士、北海道大学農学部教授堂腰純博士、北海道農業試験場農業物理部気象研究室藤原忠氏、千葉大学園芸学部教授羽生寿郎博士には実験の手法、装備について多大な御指導と御教示をいただいた。

前北海道立中央農業場長三島京治氏、同前場長和田忠雄氏、同前場長茅野三男氏、同前畑作部長小山八十八氏、北海道立上川農業試験場長内俊一博士には研究上の便宜を計っていただき、種々御指導を賜った。

前北海道立中央農業試験場化学部長（現全農札幌支所肥料農業部技術主管）森哲郎氏および同部土壌改良科の方々にはとくに土壌物理性の研究手法について種種のご教示と実験上の便宜を計っていただいた。

また、北海道立中央農業試験場総務部管理科の方々、同畑作部畑作第二科の方々には本研究の遂行上絶大な御協力をいただいた。

以上の各位に対し心から感謝の意を表します。

## 第II章 既往の研究の概要

圃場における光合成、蒸散などの研究は厳密な条件下で行なう必要があり、このためには、高度な測定技術が要求される。したがって研究の発達過程をみるにも測定技術の進歩と切り離しては考えられない。光合成の研究は、19世紀に半葉法による測定が行なわれて以来、幾多の変遷を経て20世紀の半ばに至り、電気伝導法、赤外線吸収法が開発された後の研究は目覚ましい進歩を遂げている。既往の研究成果については、1950年代より以降を中心に述べることにする。

光合成および蒸散の基礎となる放射に関する研究は、20世紀半ばより著しい発展をみせており、多くの研究成果がある。わが国の年間全短波放射量について、日本気象協会(1978)の調査によれば、北部の $95 \text{ kcal} \cdot \text{cm}^{-2}$ 以下から南部の $124 \text{ kcal} \cdot \text{cm}^{-2}$ までの間に変化し、変動係数は北海道では小さいとしている。内嶋(1978, 1980)は、可能全短波放射量は6月においてピークに達し、冬期に直達放射の影響が大きくなるのは大気の水蒸気含量が少ないことに原因があるとしている。奥山(1980)は東京西ヶ原で6月の全短波放射量がモンスーン気候の影響を受けて著しく低下することを明らかにした。

光合成有効放射について Nilisk (1964), McCree (1966), 岸田(1973)は、全短波放射内の光合成有効放射の割合を観察し、直達放射と散乱放射から光合成有効放射を求める換算係数については、Beryland (1960), Moldau (1963), 内嶋(1964), Efimova (1965), Guliaev (1965), Tooming and Nilisk (1967), 岸田(1973)などが調査している。内嶋ら(1980)は、全短波放射内の光合成有効放射の割合が日照率の変化に応じて指数関数的に減少することを見とめ、その理由が直達放射と散乱放射の割合の変化にあるとしている。

Monteith (1959), 大島(1975)は、テンサイ葉面上における全短波放射の反射率と葉面積指数との関係について調査し、波長別放射の反射率は、Yocum (1963)がトウモロコシで、岸田が水稻でみており、波長により特徴的变化を示すことを明らかにした。光合成有効放射の反射率は、Kondratyev (1960), Yocum et al. (1964), 岸田(1973)は各種作物について類似した値を得ており、5~7%としている。このような実験的研究に並行して、Ross and Nilson (1967)はモデル実験から放射反射率を太陽高度との関係について理論式を表わしている。

全短波放射の作物群落内透過率については、Budagovsky (1964), Tooming (1966)が葉面積指数と太陽高度との関係から近似式を求めている。光合成有効放射については、Monsi and Saeki (1953), Ross and Nilson (1963), Tooming and Ross (1964, 1965), Tooming (1966)が葉面積指数と太陽高度との関係から得られる補正係数を用いて近似式を表わした。岸田(1973)は光合成有効放射の群落吸収率を入射放射の反射率と透過率の関係から算出し、水稻群落の生産過程における全短波放射および光合成有効放射の収支を明らかにしている。

テンサイ個葉の光合成能力に関して、大島(1962), 伊藤(1965)は $20 \sim 30 \text{ CO}_2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ を示したが最近、Loomis et al. (1971)は $35 \sim 45 \text{ CO}_2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ とかなり高水準を示した。これを水稻の $22 \sim 48 \text{ mg}$ , コムギの $30 \sim 35 \text{ mg}$ , ダイズの $33 \sim 45 \text{ mg}$ (村田ら1976)と比べるとほぼ匹敵する値である。大島(1962)は、葉の受光角が日射に対して直角になる場合に光合成速度が高いことを明らかにし、テンサイの生態型の違いによって受光能率に差があるとした。更に、Ito (1972)は、圃場条件下のテンサイの光合成には光の強さばかりでなく、太陽高度と中間葉位における散乱放射の割合が大きく影響していることを指摘した。

Thomas and Hill (1949), 村田, 猪山(1960)は、光合成の日変化について一般には午後の光合成量

が午前に比べ減少する傾向にあることを示した。これに関して宮坂ら(1969)は、昇温あるいは光合成有効放射量が午後到低下することをその理由にあげている。光合成と空中のCO<sub>2</sub>濃度とは極めて密接な関係にあり、Thomas and Hill(1949)村田(1961)は、光合成がCO<sub>2</sub>濃度の増大によってある限度まではほぼ直線的に増加することを報告しており、テンサイについては大島(1962)、伊藤(1965)は圃場で空中のCO<sub>2</sub>濃度がある限度以下になると、光合成の制限因子になることをみとめている。

光合成と温度との関係について、Gaastra(1959)は、自然環境条件下でCO<sub>2</sub>濃度が低い場合には温度に左右され難く、Q<sub>10</sub>は1に近いとし、弱光条件下でCO<sub>2</sub>濃度が低い場合も温度の影響が小さいとしている。低温条件については、村田(1961)、Moony and West(1964)、Sawada and Miyachi(1974)は光合成速度が低下することをみている。一方、光合成に適温が存在することは、Murata et al.(1965 b)が多く作物についての測定結果からみとめている。伊藤(1965)は、テンサイの光合成の温度係数Q<sub>10</sub>について10~30℃の中間温度で1になることをみとめ、25℃を頂点とする単頂曲線を示すとしている。これに関連して大島(1962)は、高温条件下で葉温が40℃以上になると光合成量は減少し、時間が経過するにつれてはなほだしくなることを観察している。

呼吸と炭水化物代謝に関して、戸籍ら(1955)は、呼吸はデンプンの生成および糖の合成に際して必要なエネルギーを供給するために必要であり、不足した場合は炭水化物代謝に重大な支障があることを推察している。大島(1962)は、テンサイ個葉の呼吸量と温度との関係について観察し、伊藤(1965)は、テンサイの呼吸の温度係数を示している。

生態的变化と温度との関係についての研究成果をみると、Brawn et al.(1966)、内嶋ら(1969)は、純放射量や風などが要因になって葉温が左右され、気温と体温に差が生じることがあるとしている。これに関連して、大島(1962)は、テンサイについて葉温が受光角や風速によって変化することを示した。武田・梶(1965, 1971)は、牧草の草丈や葉の大きさ、C/F比などが温度によって変化することを明らかにしている。

光合成と地温との関係については、研究例が少ないが、生長および乾物生産に関した成果を中心に述べる。竹島(1964)は、水稻の水分および養分の吸収は地下部の低温により抑制されるとし、武田・梶(1966)は、牧草において地下部温度が適温以上になると、根の乾物生産量が低下することをみとめている。佐藤・伊東(1969)は、寒地型イネ科牧草について、地温と気温の相互関係を検討し、乾物生産量には好適範囲があることを示した。立道(1969)は、光合成能力および呼吸が地下部温度の低温で低下し、呼吸は高温で上昇することをみている。大島(1975)は、テンサイの生育が旺盛になるための必要な地温の最低限界は15℃附近にあるとしている。

植物体内の水分状態に関する研究成果では、Totska and Monsi(1959, 1960)は葉内水分の不足が生じるのは根の吸収能力に関係していることをみとめ、Brix(1962)津野(1965)は、植物の葉で葉内水分含量が低下すると気孔閉鎖が生じ、光合成速度が低下することをみとめている。これに関連する気象要因として、CO<sub>2</sub>濃度(Heath 1959)、気温(Ketellapper 1963)、土壤水分(Murata et al.1966, 上堂 1975)、放射(大島 1975)などが示されている。鳥潟ら(1965)は、作物の葉内水分が気象要素と密接な相関関係にあることを示し、川竹ら(1967)、鳥潟ら(1967)、加藤ら(1967)は葉内水分と土壤水分との関係が極めて密接であることをみとめている。Tazaki and Ushijima(1968)は、クロロプラストの水分不足が生じた場合に光合成速度の低下があることを観察している。また、石原ら(1971 a, 1971 b)は放射の増大に伴う蒸散量の増加が気孔開度を小さくし、水分収支が不均衡になることをみとめている。

光合成と土壤水分との関係について、猪山・村田(1961)、鴨田ら(1974)は乾燥条件下で蒸散および光合成が低下するが、しおれ時のかん水後の回復には時間を要するとし、蒸散の回復は早い光合成は遅れることをみている。土壤水分が生態の変化に及ぼす影響に関して、大島(1975)は、テンサイ生育中

の降水量の差が地上部の生育とくに葉面積の大小に著しく影響を及ぼすとしている。牛島(1971)は、作物の単位葉面積1日当りの余剰生産量について、乾燥時に著しく減少することをみている。

作物の蒸散に関する研究は、19世紀末において植物体の水の輸送機構に関する研究が開発された後、急速に発展し、20世紀の初め、Briggs and Shanz(1914, 1915, 1916)は秤量法を用いて作物の蒸散量を測定し、蒸散と気象要因との関係、作物の要水量などを研究した。その後、蒸散量の測定方法が開発され、chamber法(Thomas and Hill 1937, 加藤ら1960)、気象学的方法(Taylor and Dyer 1958, Tanner 1960)、Lysimeter法(Pasquill 1950, 吉良ら1952)などが研究に応用されるようになった。

蒸散量と作物形質との関係について、加藤ら(1962, 1963, 1965)は葉面積との相関係数が最も高い値を示した蒸散比と葉面積指数との関係について、葉面積指数が3以上になる作物では類似した蒸散比を示し、蒸散力は葉面積指数の増大に伴い減衰する指数関数で近似できるとした。蒸散量と環境要因との関係について、長谷場(1973)は、葉面蒸散量と全短波放射量および気温との関係を葉の熱収支解析から定量的に明らかにした。大島(1975)は、テンサイの切葉において、蒸散量は日射量と密接な関係にあることをみとめ、熱収支法による測定方法を検討し、北海道各地の蒸散量を推定した。内藤(1969)は、蒸散量と土壤水分に関して、圃場容水量水分がpF 1.5附近を示す土壤において蒸散量が低下しない土壤水分の限界をpF 2.8~3.0であることをみている。

光合成産物の転流に関して、環境要因との関連でみると、星野ら(1972)は、ラジノクロマーにおいて $^{14}\text{CO}_2$ の転流速度は低温条件で低下し、高温条件で増大することをみとめた。大島(1975)は、テンサイにおいて、篩部内の下降流についてTTC溶液を用いて観察した結果、葉を欠いた場合は移動はなく、葉身より蒸散している状態では移動があり、圃場条件でも蒸散が旺盛な場合に移動し、干ばつに近い状態では下降しないことを観察している。

作物の物質生産に関して、群落光合成の立場から研究した成果についてみると、Watson(1947)は、葉面積指数が2~3程度の条件では葉面積が大きいかほど物質生産が増大するとしている。武田・政村(1957)は、水稲群落の生長解析から、乾物生産量は、生育の初期は葉面積によって大きく規定されるが、生育中期以降は、個葉の光合成速度が乾物生産を強く支配するとし、葉面積は窒素施用量に大きく支配され、個葉の光合成能力は葉身内の窒素濃度に強く規定されることを明らかにした。村田(1961)は、水稲について個体群の乾物生産量は総同化量と総呼吸量の差で表わされ、生育初期は主として葉面積によって支配されるが、それ以後は個葉の同化能力および受光能率に支配されるとしている。津野(1975)は水稲の群落光合成を葉面積指数、平均光合成速度、受光能率の積として表現し、受光能率の内容を日射強度および吸光係数によって規定する数式を得、これによって解析を試みている。政村(1977)は耕地におけるエネルギー利用効率を高める条件として、土地利用率の向上、生育前半の葉面積の速やかな増大、生育後半における葉の老化の抑制、水不足などの阻害要因の除去、群落受光態勢の改善、個葉の光合成特性の改善、とくに光飽和点の向上をはかることをあげている。

### 第III章 太陽放射量および蒸散量，光合成量の測定方法

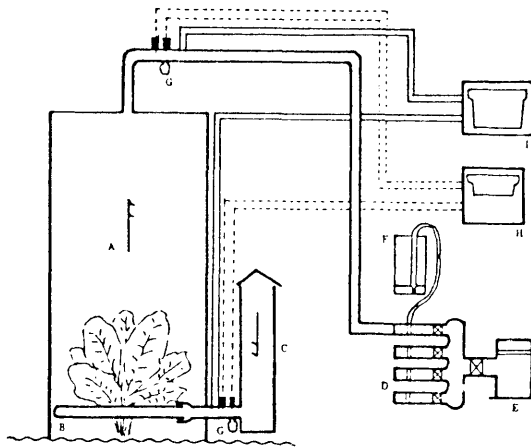
#### 第1節 放射量の測定方法

実験を進めるに当り，試験地における作物生産力の基礎となる放射状態を知る必要から全短波放射量と光合成有効波長域放射量について測定した。

全短波放射量の測定はエプリー型水平面日射計と称されている差温式日射計（英弘精機産業株式会社製）を使用し，打点式自動平衡記録計に接続して連続測定した。波長別放射量の測定器は波長帯別輻射エネルギー記録装置（飯尾電気株式会社製 SRP—1462 型）を使用した。この装置の波長測定範囲は  $0.3 \sim 0.9 \mu$  で，そのうち  $0.4 \sim 0.7 \mu$  の波長域では放射量の絶対値が測定できる。しかし，それ以外の波長域では比較値の測定に限定されている。

#### 第2節 蒸散量および光合成量の測定方法

蒸散量および光合成量の測定は加藤ら（1960）が開発した chamber 法で実施した。測定装置の概要は第1図に示すとおりである。



第1図 蒸散量および光合成量の測定装置

A ; chamber, B ; 環状分配管, C ; 吸気筒, D ; オリフィス流量計,  
E ; フローラー, 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,  $\longrightarrow$  ; 空気の流れ方向

測定用 chamber の光透過特性については，前述の測定器 SRP—1462 型の検出器を用いて調査した。これによれば，光合成有効放射域 ( $0.40 \sim 0.70 \mu$ ) では透過率が 83% 前後で，これより短い波長域では，透過率が著しく低下し， $0.70 \sim 0.90 \mu$  以上では比較的高く，90% 前後を示した。

蒸散量は chamber の出入口に装置した乾湿球温度計で水蒸気張力を測定し，その絶対温度差を算出してこれに通気量を乗じて求められる。蒸散量の算出方法は (1) 式によった。

$$T = (X_i - X_o) Q \dots\dots\dots (1)$$

ここで  $X_i$ ,  $X_o$  は chamber の出口と入口の絶対湿度 ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ),  $Q$  は通気量 ( $\text{m}^3, \text{h}^{-1}$ ) なお, 単位葉面積 ( $\text{dm}^2$ ), 単位時間当りの蒸散量を蒸散速度 ( $\text{H}_2\text{Og}\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ) とした。光合成量は赤外線ガス分析計(日立堀場)によって測定し, chamber の出入口の  $\text{CO}_2$  濃度差に通気量を乗じて求められる。その算出は (3) 式によった。

$$P = (C_i - C_o) Q \dots\dots\dots (2)$$

ここでは  $P$  は見かけの光合成量 ( $\text{CO}_2 \text{ mg}/\text{株}\cdot\text{時間}$ ),  $C_i$ ,  $C_o$  は chamber の出入口の  $\text{CO}_2$  濃度 ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )  $Q$  は通気量 ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )。

なお, 単位葉面積 ( $\text{dm}^2$ ), 単位時間当りの光合成量を光合成速度 ( $\text{CO}_2 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ) とした。

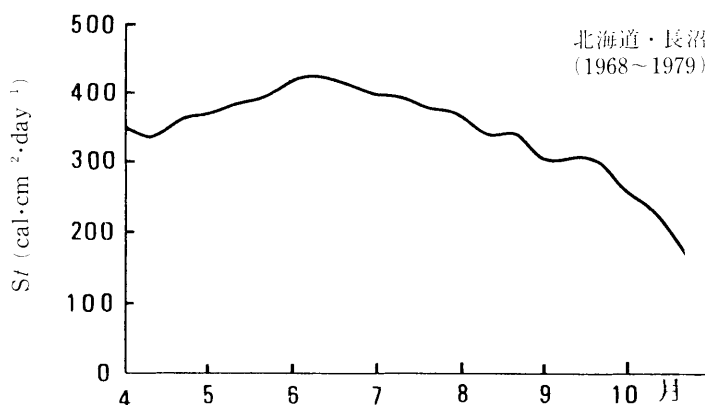
## 第IV章 太陽放射利用率に関する基本調査

従来、テンサイ群落については放射量との相互関係を追求した例は極めて少なく、テンサイ取量と放射量とくに波長別放射量との相互関係については明確にされていない。これらの関係を追究する前提として、圃場に入射する全短波放射および波長別放射の季節変化と日変化の特徴を把握する必要がある。

全短波放射量の季節変化および日変化には太陽高度の他に大気混濁度（透明度）が大きく影響しているため、地域によって変化の様相が異なることは当然考えられる。また、波長別放射エネルギーは作物の生理反応に重要な作用を及ぼしているため、作物の発育、生長、生産性と放射との関係を明らかにするためには、圃場に入射する放射の波長組成についても測定する必要がある。

### 第1節 圃場に入射する全短波放射量

実験圃場に入射するテンサイ生育期間中の全短波放射量はエプリー型日射計を用いて測定した。測定値について、その季節変化は日出から日没までの日総量を旬毎に平均し、第2図に示した。日変化は各月の測定値の代表例について第3図に示した。



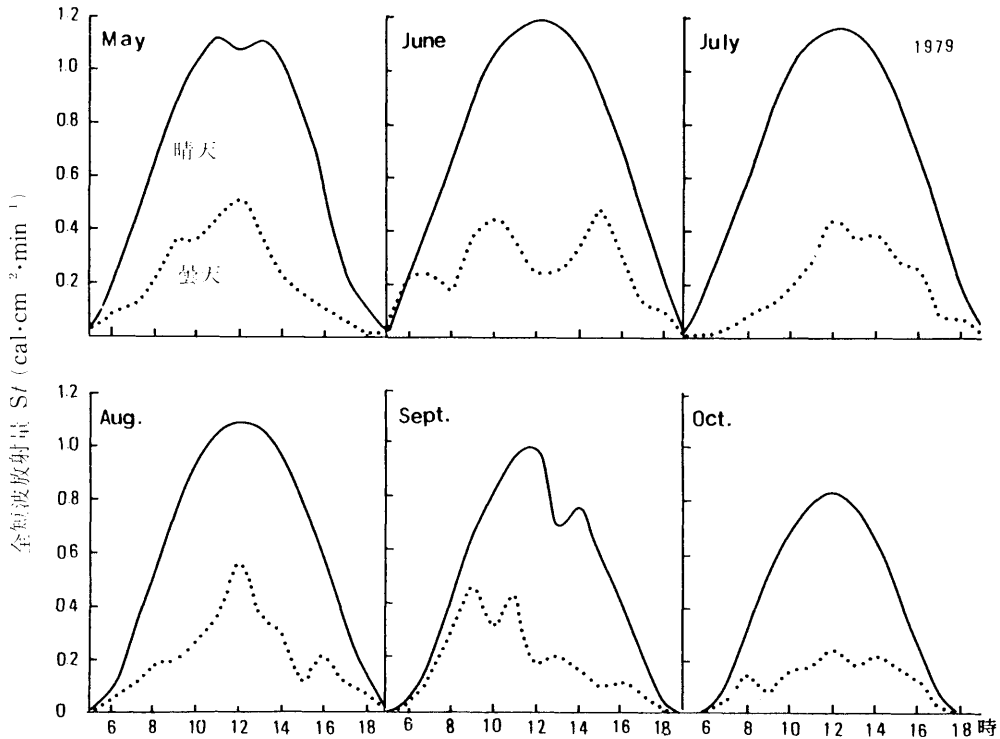
第2図 全短波放射量の季節変化

St:全短波放射量

全短波放射量の日総量(第2図)を1968~1979年までの平均でみると、4月から6月まで増加して6月上旬頃にピークに達し、その後は次第に減少する傾向がみられた。4月から10月までの合計値は74,063 kcal·cm<sup>-2</sup>であった。6月に最高値が得られることは、内嶋(1980)が計算した可能全短波放射量の傾向と類似するものであるが、奥山(1980)が東京西ヶ原で得られた6月に著しく低下する結果と異なる傾向を示すのは、北海道ではモンスーン気候の影響が少ないことによる。全短波放射量の日変化(第3図)をみると、晴天日における日最高値は6月に1.2 cal·cm<sup>-2</sup>·min<sup>-1</sup>に達し、5月と7月はほぼこれに近い位を得ているが、8月は1.1、9月は1.0、10月は0.8 cal·cm<sup>-2</sup>·min<sup>-1</sup>と夏を過ぎると次第に減少する傾向が明らかである。朝方と夕方のは6月および7月では比較的高いが、5月および8月以降は減少し、とくに9月以降の減少程度は著しい。曇天日については雲量、雲型などによって、全短波放射量は著しく異なるので、その絶対量は比較できないが、5月から8月まではほぼ0.4 cal·cm<sup>-2</sup>·



min<sup>-1</sup>以下であり、10月は0.2 cal · cm<sup>-2</sup> · min<sup>-1</sup>以下であった。



第3図 全短波放射量の日変化

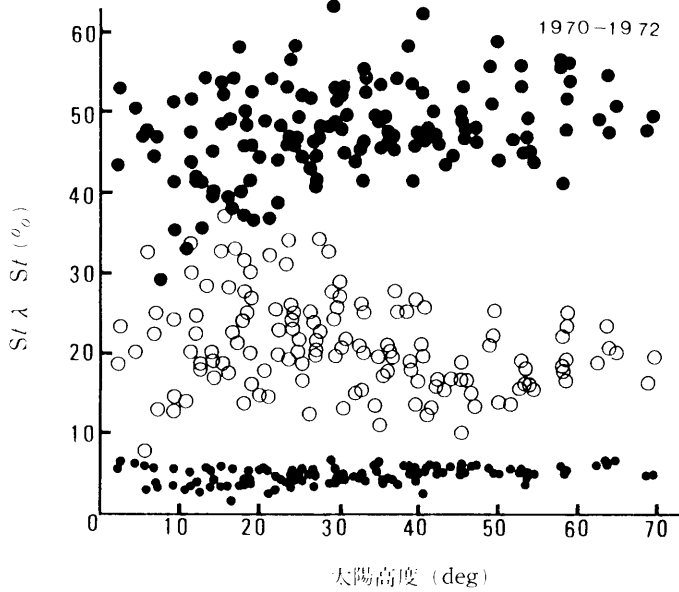
### 第2節 圃場に入射する光合成有効放射量

波長別放射は1970～1972年にかけて前述の測定器(SRP-1462)を用いて測定し、波長域を0.3～0.4 μ, 0.4～0.7 μ, 0.7～0.9 μに区分して、それぞれ全短波放射における割合Ctを求め、太陽高度別に整理したものを第4図に示した。これらはすべて、晴天時またはほぼそれに近い状態において測定した結果であり、大気透明度との関係は考慮していない。光合成有効波長を0.4～0.7 μとした場合、全短波放射における光合成有効放射割合は、平均値でC̄t=48.1%を得たが、太陽高度が低いときに小さく、30°以上ではほぼ一定になる傾向がみられた。

作物生育期間中の光合成有効放射量を推定するには、比較的簡単な方法として上述のC̄tを用いても良いが、大気の状態によって変動が大きいため精度が低い。ここで、内嶋(1980)の方法により、直達放射及び散乱放射内の光合成有効放射を求めるための換算係数※を得、次の関係式を用いて直達放射と散乱放射の日総量から光合成有効放射の日総量を推定した。

$$S_{PAR} = \bar{C}b\Sigma S_b + \bar{C}d\Sigma S_d \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、S<sub>PAR</sub>は光合成有効放射量、C̄bは直達放射から光合成有効放射への平均換算係数、C̄dは散乱放射から光合成有効放射への平均換算係数、S<sub>b</sub>は直達放射量、S<sub>d</sub>は散乱放射量を示す。



第4図 全短波放射における光合成有効放射の割合

• 0.3~0.4μ, ● 0.4~0.7μ, ○ 0.7~0.9μ  
 Stλ; 波長別放射量, St; 全短波放射量

$$\begin{aligned}
 \ast \quad Cb &= \frac{\int_{0.38}^{0.71} Sb(\lambda) d\lambda}{\int_{0.28}^{4.0} Sb(\lambda) d\lambda} & Cd &= \frac{\int_{0.38}^{0.71} Sd(\lambda) d\lambda}{\int_{0.28}^{4.0} Sd(\lambda) d\lambda}
 \end{aligned}$$

ここで、 $Sb(\lambda)$  は波長  $\lambda$  での直達放射の強度、 $Sd(\lambda)$  は波長  $\lambda$  での散乱放射の強度を示す。

(3) 式において  $\bar{C}b$  は Tooming, Niilisk (1967) が示した第1表のなかで北緯50°、透過率0.8における月別の値を用い、 $St$  は1968~1978年の測定値を用いた。 $\bar{C}d$  は Efimova(1965), Guliaev(1965), 岸田(1973)が示した値から0.57を用い、 $Sb, Sd$  については Berlyand(1960), 岸田(1973), 内嶋(1964)などが示した値  $Sb=0.7 St, Sd=0.3 St$  を用いて(4)式により算出した結果を第5図に示した。

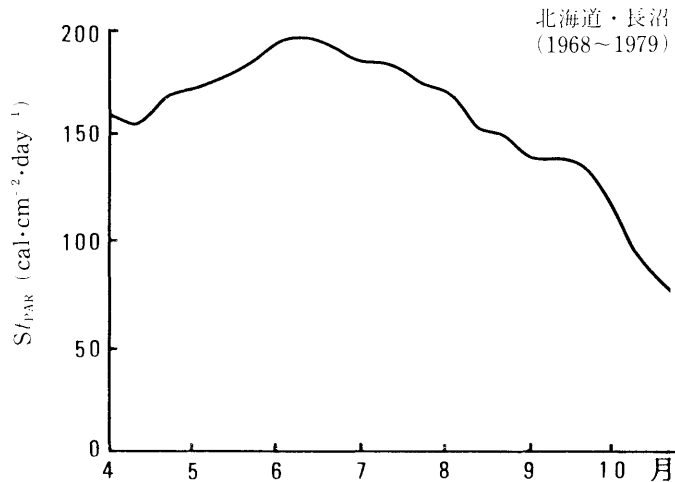
第1表 直達太陽放射の日量を直達光合成有効放射の日量に換算するための有効換算係数

北緯度	50°						23°								
	月	5	6	7	8	9	10	5	6	7	8	9	10	11	12
透過率%	0.6	0.41	0.42	0.42	0.41	0.41	0.39	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.41	0.41	0.405
	0.8	0.41	0.42	0.42	0.41	0.40	0.38	0.425	0.425	0.425	0.425	0.42	0.415	0.41	0.41

注 Tooming, Niilisk (1967)による

$$St_{PAR} = (0.42 \sim 0.38) \sum_{day} 0.7St + 0.57 \sum_{day} 0.3St \dots\dots\dots (4)$$

これによれば、全般に全短波放射とほぼ同様の季節変化を示した。すなわち、光合成有効放射の日総量は6月まで増大して  $195 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}$  に達したが、その後は急激に低下する傾向であった。これは、内嶋(1964)が示したわが国6地点における最高値  $190\sim 210 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$  の範囲内にあり、札幌における値とよく類似している。また、北から南に移動するにつれて、4月と8月に最大値をもつ双頭型になるのは、6、7月の梅雨の影響のためである。本調査で得た夏期間における光合成有効放射量は本州関東地域と比べて大差がないといえる。



第5図 光合成有効放射量の季節変化

$St_{PAR}$ ; 日平均光合成有効放射量