

グレインソルガムの日射エネルギー利用効率

誌名	中国農業試験場研究報告
ISSN	09134239
著者	小島, 睦男 犬山, 茂
巻/号	5号
掲載ページ	p. 1-19
発行年月	1989年9月

グレインソルガムの日射エネルギー利用効率

小島 睦男*・犬山 茂**

Synopsis

Utilization efficiencies of short-wave radiation (SWR) and photosynthetically active radiation (PAR) in a grain sorghum population (cv. E-59 and Martin) were measured in 1976 and 1977.

Reflectivity of SWR by the canopy increased with the increase of LAI and the maximum values obtained in 1976 and 1977 were 27 % and 28% for E-59, 23% and 29% for Martin, respectively. Reflectivity of PAR decreased to 7% with the increase of LAI for E-59 in 1977. Canopy transmittance of SWR and PAR rapidly decreased with the increase of LAI. Absorption coefficients of SWR and PAR increased with the increase of LAI, and the maximum values of SWR obtained in 1976 and 1977 were 72 % and 73 % for E-59, 74% and 71% for Martin, respectively. Maximum value of absorption coefficient of PAR in E-59 was 90 %. Absorption of SWR under drought stress decreased by approximately 5% for E-59 and 10% for Martin, and the absorption of PAR in E-59 decreased by 3%. Utilization efficiencies of incident SWR throughout the growth period were 2.18% for E-59 and 1.96% for Martin (average of two years). Conversion efficiencies of absorbed PAR were 6.07% for E-59 and 5.61% for Martin.

Key words: Grain sorghum, *Sorghum bicolor*, Utilization efficiency of solar radiation, Conversion efficiency, Reflection, Absorption coefficient, Drought stress, Dry matter production.

目 次

I 緒 言	2	3 個体群による放射収支	5
II 材料及び方法	2	IV 考 察	11
III 結 果	2	V 摘 要	15
1 乾物重、葉面積の推移及び子実収量	2	引用文献	15
2 短波放射に占める光合成有効放射の割合	5	Summary	17

(平成元年2月3日受理)

元 作物部

* 現 農業研究センター

** 現 北海道農業試験場

I 緒 言

我が国の畜産を支える飼料穀物は、現在そのほとんどを輸入に依存しているが、畜産経営を安定させるためには、経営内における飼料の自給率向上が重要な課題である。この点ではグレインソルガム (*Sorghum bicolor* Moench) は配合飼料原料として年間約450万トン消費され、トウモロコシと共に重要な飼料用穀物であるが、さらに実用面では、単に乾燥子実としてみならず、グレインサイレージやホールクロップサイレージとして、また子実収穫後の葉稈も粗飼料として利用できる利点をもつ。また、水田転換畑における大麦とソルガムの作付体系では、生育日数約100日で10a当たり600kg以上の子実収量が得られ¹⁴⁾、耕地の高度利用を図る上からも注目すべき作物である。グレインソルガムの多収性については、著者らはさきに乾物生産及び群落構造の面から解析した結果を報告した^{12,17)}。しかしこの知見を一般化するためには、ソルガムにおける日射エネルギー利用の詳細等多収条件についてさらに検討する必要があるが、この作物では、ここ種の知見は極めて少ない。このような観点から、本研究は、圃場におけるグレインソルガムの日射エネルギー利用効率を明らかにするため、1976～1977年に中国農業試験場(福山市)で実施したものである。一部は農林水産技術会議の特別研究「飼料用穀類の栽培適地の拡大と高位生産技術の確立」のなかで行った。研究の一部は学会等^{13,15)}で既に発表した¹³⁾が、ここに全体を取り纏めて報告する。研究の実施に当たり圃場の管理並びにデータの整理に協力された業務科職員並びに小土井早苗氏に感謝の意を表する次第である。

II 材料及び方法

1. 材料の養成

1976年は海成堆積灰色低地土、佐賀統の水田転換畑、1977年は固結火成岩を母材とする褐色森林土、造成相の普通畑において、両年とも一代雑種 E-59 (米国 DeKalb 社、中晩生種) と統系品種 Martin (中生種) を供試した。両年とも東西畦で、栽植密度は a 当たり 3,000本、畦幅50cm、株間6.6cmの点播とした。1976年は各品種3区制とし、5月27日、1977年は1区制で6月8日に播種した。1976年の施肥量は a 当たり窒素 2.2kg(基肥0.8kg)、燐酸2.0kg、加里1.8kg、苦土石灰

10kg、堆肥100kg、1977年は窒素2.2kg(基肥1.0kg)、燐酸1.4kg、加里2.2kg、苦土石灰10kg、青刈えん麦300kgである。1977年は降水量が少なく、7月29日から8月16日の間に4回灌水を行った。

2. 乾物重及び葉面積の測定

乾物重の測定はおおむね2週間毎に行った。地上部重の測定のため1976年は生育途中は2㎡(2m×2畦)2反復、収穫期には2～4㎡を3反復で調査した。1977年は生育途中は1.4㎡(0.4m×7畦)、収穫期には3.5㎡(1m×7畦)を調査した。根重測定のため1976年は10株について深さ0.3mまでの根系を掘取った。1977年は中央の1畦について長さ0.4m、深さ0.3mの範囲の根系を掘取った。両年とも、同一個体の T/R 比を求め、この比から全個体の根重を算出した。枯死葉及び葉鞘はできるだけ回収した。葉面積はサブサンプルを自動葉面積計(林電工)で測定し、比葉面積から全体を推定した。個体群の葉身の角度及び層別葉面積の測定には幾何学構造測定器¹²⁾を使用した。

3. 放射エネルギー及び水分ポテンシャルの測定

短波放射の入射量は農試電試型日射計を地上約2.5mに設置して測定した。耕地からの反射量は管型日射計を個体群の最上層から約1.5m上部に南北方向下向きに設置し、上空からの放射はアルミ箔で防いだ。個体群透過量は管型日射計を南北方向に2ヶ所設置した。地面からの反射量は地上15cmの位置に管型日射計を下向きに設置し背面はアルミ箔の板で覆った。光合成有効放射量は光合成有効放射計(旭興貿易 K I-A 型)を使用し、短波放射計に準じて設置した。但し透過量は1ヶ所だけである。短波放射の利用状況は両年とも E-59 と Martin について、光合成有効放射は1977年の E-59 について測定した。測定値は1日単位で集計した。エネルギー表示単位は MJ を使用したが、cal からの換算には、積算値 $1 \text{ cal/cm}^2 = (1.022/23.89) \text{ MJ/m}^2 = 0.0428 \text{ MJ/m}^2$ ²⁰⁾ を用いた。

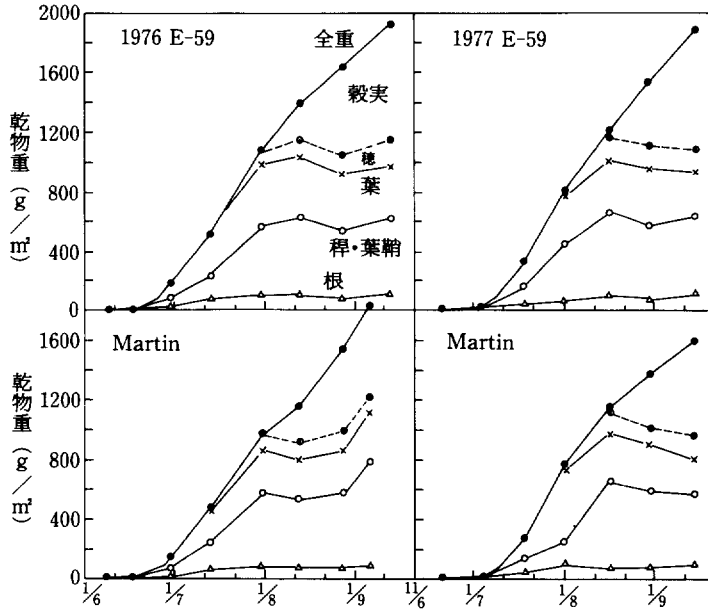
葉の水分ポテンシャルは1977年7月29日に測定した。プレッシャーチャンパー(大起理化工業社製)を用い、完全に展開し太陽光にさらされた最上位葉について、13時から14時の間に測定した。

III 結 果

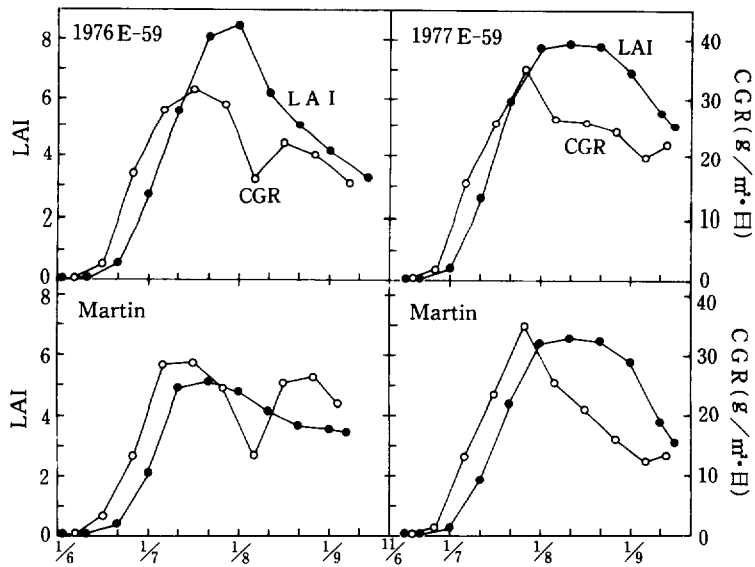
1. 乾物重、葉面積の推移及び子実収量

E-59及びMartinの乾物重及び個体群生長速度(CGR), 葉面積の推移を第1, 2図に示す。葉面積は発芽後3週目頃から拡大し, それに伴ない乾物重及びCGRは急速に増大した。収穫期においても4~6枚の生葉が存在し, CGRは収穫期においても高い値が維持

されていた。CGRの最大値は両品種とも約30g/m²・日(1976)~35g/m²・日(1977)であった。E-59の収穫期における全重は水田転換畑と普通畑との間に大差なく約1,900kg/10aであったが, Martinは転換畑の1,827kgに対して普通畑では1,588kgと劣った。



第1図 乾物重の推移



第2図 LAI及びCGRの推移

第1表 生育特性及び収量

年 度	品 種 名	発芽期 (月 日)	出穂期 (月 日)	開花期 (月 日)	収穫期 (月 日)	稈 長 (cm)	穂 長 (cm)	全葉数 (数)	収穫期 生葉数 (枚)	全 重		子実重 m ² 当り 粒 数 (×100)	千粒重 (DM, g)	収 穫 指 数	
										開花期 (DM, kg/10a)	収穫期 (DM, kg/10a)				
1976	E-59	6.1	7.29	7.31	9.13	103	25	17.5	5.3	1110	1920	774	245	31.6	0.403
	Martin	6.1	7.24	7.26	9.6	106	20	17.1	4.3	900	1827	609	267	20.6	0.333
1977	E-59	6.14	8.5	8.7	9.14	103	28	—	6.1	973	1881	791	389	20.3	0.421
	Martin	6.13	8.4	8.6	9.14	93	24	—	5.8	900	1588	632	340	18.6	0.398

子実収量(乾物重)はE-59が774~791kg/10a, Martinは609~632kgで, Martinは兩年ともE-59の約80%であった(第1表)。根重を含む全乾物生産量をベースとした収穫指数は, E-59が0.40~0.42, Martinは0.33~0.39で, E-59が優っていた。子実収量は第1図から明らかなように開花期以降の乾物生産量に依存し, 登熟期間中の乾物生産量に対する子実重の割合は, 1976年のE-59が96%, Martin66%, 1977年はそれぞれ

87%及び92%であった。1976年は両品種とも登熟後期には光合成産物の稈への蓄積が認められ, シンク容量(粒数)を増加させることができるならば子実収量はさらに増加する可能性のあることが示唆された。

水田転換畑で登熟期の8月17日に測定した傾斜角別葉面積の層別分布は第2表の通りである。水平面に対し傾斜角45度以上の葉面積の割合はE-59が40.8%, Martinは22.9%, 傾斜角30度未満の割合はそれぞれ

第2表 傾斜角別葉面積の垂直分布(頻度)

品 種 名	高 さ (cm)	0~	15~	30~	45~	60~	75~	計 (%)	LAI
		14.9 (%)	29.9 (%)	44.9 (%)	59.9 (%)	74.9 (%)	90 (%)		
E-59	100~120	33.3	49.2	16.2	0	1.3	0	100	0.324
	80~100	25.5	27.3	21.6	15.7	8.8	1.1	100	1.947
	60~80	12.7	11.5	30.8	33.8	10.5	0.7	100	4.010
	40~60	1.2	6.3	36.3	35.3	18.6	2.2	100	1.589
	20~40	0	0	14.6	85.4	0	0	100	0.002
	全 層	14.4	15.9	29.0	28.4	11.3	1.1	100	7.892
Martin	100~120	96.0	0	4.0	0	0	0	100	0.059
	80~100	39.9	34.6	18.6	6.7	0.2	0	100	1.716
	60~80	26.7	20.9	19.5	25.8	7.1	0	100	2.306
	40~60	0.9	33.1	32.2	28.9	4.9	0	100	0.510
	20~40	0	0	0	0	0	0	0	0
	全 層	29.7	27.1	20.4	18.7	4.2	0	100	4.591

注) 傾斜角は水平面からの角度。1976年8月17日測定。

30.3%, 56.8%であり、E-59は直立的な葉の割合が多く、Martinは水平的な葉の割合が多かった。葉の単位重量当たり葉面積 (SLA) は開花期までの平均がE-59は355(1976)~375cm²/g(1977), Martinは323~341cm²/gで、E-59はMartinよりも葉がやや薄い傾向が認められた。

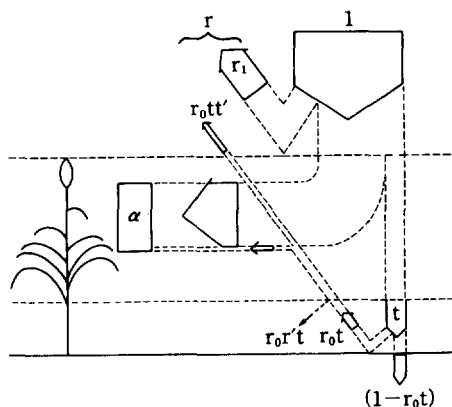
2. 短波放射に占める光合成有効放射の割合

1977年6月1日から8月10日までの測定値の平均は0.538で、雨天や曇天では比率が高く、晴天では低かった。8月12日に光合成有効放射計が故障したので、以後は0.538の値を使用することとした。この値は水高³⁾の福山における夏季の値0.500よりは高く、岸田⁶⁾の0.535とほぼ同じ値であった。

発芽期から収穫期までの光合成有効放射量の積算値は、両品種を平均した場合、1976年は870MJ/m², 1977年は733MJ/m²であった。

3. 個体群による放射収支

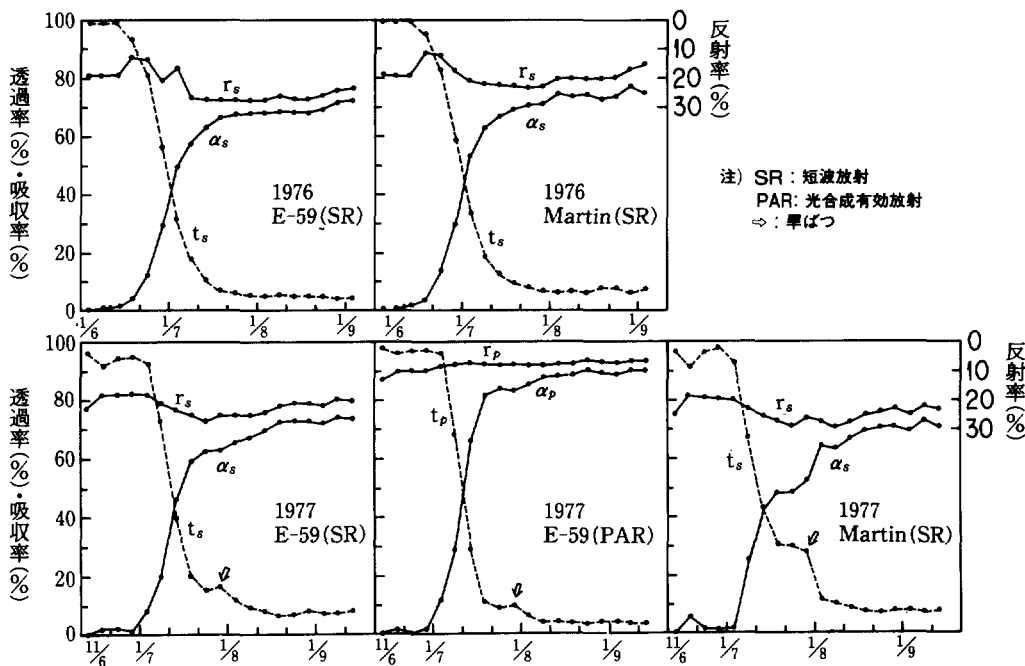
個体部の内外における放射収支の模式図を第3図に示した。岸田⁶⁾によれば個体群の放射吸収率 (α) は次式で表される。



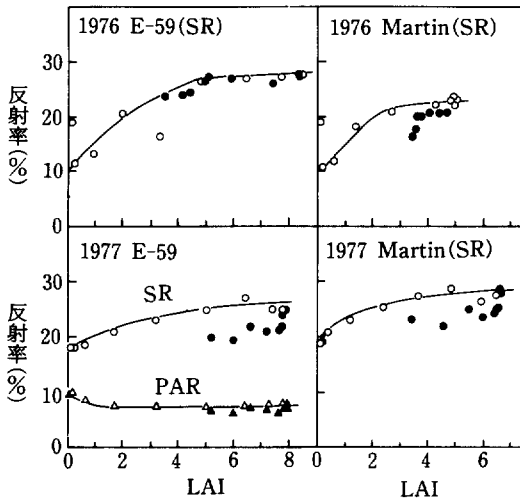
第3図 放射エネルギーの収支模式図

$$\alpha = 1 - (r_1 + r_0 t t') - (1 - r_0 + r_0 r') t \dots\dots(1)$$

- 但し、 r_1 : 個体群の上向反射率
- r_0 : 地面の反射率
- r' : 個体群の下向反射率
- t : 個体群の下向透過率
- t' : 個体群の上向透過率
- $r_1 + r_0 t t' = r, r_0 r' = 0$ とみなすと、



第4図 短波放射及び光合成有効放射の反射率(r), 透過率(t), 吸収率(α)の推移



第5図 個体群の反射率(r)と葉面積の関係
○, △: 開花期前, ●, ▲: 開花期後

$$\alpha = 1 - r - (1 - r_0) t \dots (2)$$

但し, r: 耕地の反射率

次項以下においては(2)式の各因子について検討を行うが, 測定値は1日単位で集計したデータを基に5日毎の平均値を使用することとした。

1) 反射率

裸地状態における短波放射の反射率(r_s)は, 水田転換畑が平均19%, 普通畑は6月1日~10日の平均値が21.4%であった。

生育に伴う短波放射及び光合成有効放射の反射率の推移を第4図に, 葉面積との関係を第5図に示した。

短波放射の反射率は発芽後3週目頃を境に葉面積の拡大に伴ない増大し, 葉面積指数(LAI)が4となる5週目頃には最大値に達した。最大値は1976年のE-59が28%, Martin23%, 1977年のE-59は27%, Martin29%であった。両年とも開花期の1週間後頃から反射率が2~3%低下し, 収穫期頃は葉面積の減少も加わって更に低下した。開花期以降は開花期前と同じLAIの下であっても反射率は低い傾向が認められた。発芽期から開花期までの平均の反射率は1976年のE-59が21.8%, Martin19.3%, 1977年のE-59は22.5%, Martin24.4%であった。登熟期間の平均反射率は, 1976年のE-59が25.9%, Martin20.1%, 1977年のE-59は21.6%, Martin25.0%であった。また, 2品種2か

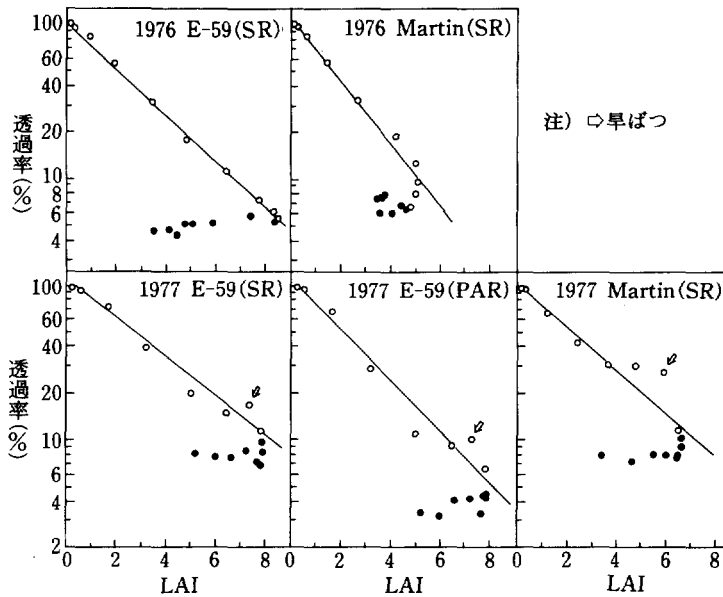
年を平均した生育全期間の反射率は22.4%であった。

光合成有効放射の反射率(r_p)は, 1977年6月1日から10日までの裸地の平均が11.6%であった。葉面積の拡大に伴ない光合成有効放射の吸収量が增大するため反射率は減少し, 葉が十分繁茂した状態では開花期前が約7.5%, 登熟期間の平均は7.0%であった。水稻では成熟期に近づくにつれて再び上昇すると報告されているが⁹⁾, 本実験では収穫期においても4~6枚の緑葉が着生しているので, 再増加傾向は認められなかった。

第3表 開花期までの放射反射率のパラメータ及び吸光係数

放射	品種名	年度	r_∞	r_0	K_r	K_t
短波放射	E-59	1976	0.28	0.19	0.495	0.346
		1977	0.27	0.21	0.314	0.281
	Martin	1976	0.24	0.19	0.523	0.464
		1977	0.29	0.21	0.374	0.324
光合成有効放射	E-59	1977	0.07	0.12	0.186	0.378

注) K_t : 吸光係数



第6図 個体群の透過率(t)とLAIとの関係
記号は第5図に同じ。

反射率と葉面積との関係は次式で表わされる⁹⁾。

$$r = r_{\infty} - (r_{\infty} - r_0) \exp(-KrL) \dots\dots(3)$$

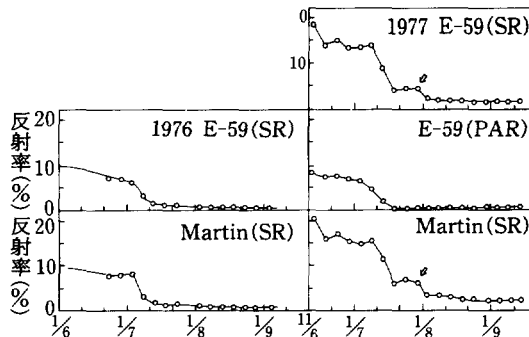
- 但し、 r : 植被の反射率
- r_{∞} : 十分繁茂した植被の反射率
- r_0 : 裸地の反射率
- Kr : 反射係数
- L : LAI

開花期以前を対象にした場合、短波放射及び光合成有効放射の反射率構成因子の値は第3表の通りである。短波放射の反射係数は両年も Martin が E-59 よりもやや大きい傾向が認められた。

2) 透過率

透過率(t)の推移は第4図の通りである。葉面積の増大に伴ない短波放射、光合成有効放射の透過率は急速に減少した。しかし、登熟期間中は葉面積の減少にもかかわらず透過率はほぼ一定で、短波放射の透過率(t_s)は7~8%、光合成有効放射の透過率(t_p)は3~4%であった。1977年7月の早ばつ時には、捲葉に伴う透過率の上昇が認められた。

透過率と葉面積との関係は第6図の通りである。両者間に Lambert-Beer の式を適用し、吸光係数を Kt とすると、



第7図 個体群上面の到達放射に対する地面反射率(r_0t)の推移

$$t = \exp(-KtL) \dots\dots\dots(4)$$

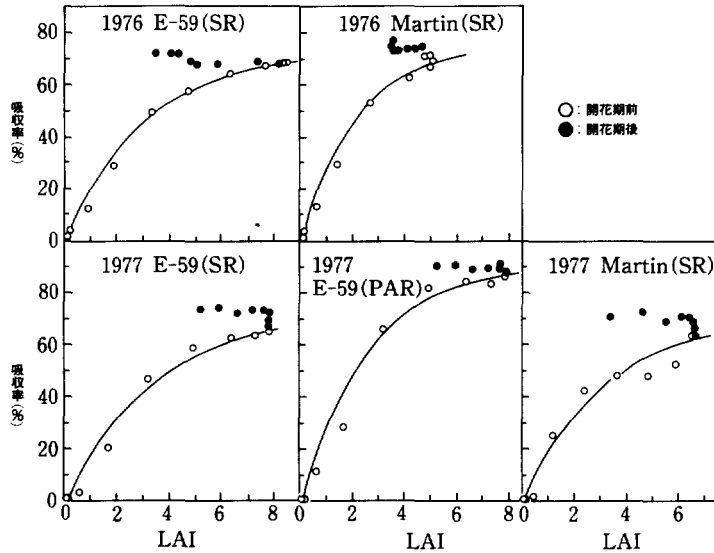
開花期までを対象とすると、短波放射の吸光係数は第3表の通りである。E-59は0.28~0.35, Martinは0.32~0.46で、両年ともE-59の個体群内の光透過はMartinよりもやや優れている傾向が認められた。E-59では直立葉の割合が多いという特性が現れていると考えられる。E-59の光合成有効放射の吸光係数は約0.38で、短波放射の吸光係数よりも大きかった。

3) 地面反射率

個体群上面の到達放射に対する地面反射率 (r_0t) は第7図の通りである。葉面積の増大する7月以降地面反射率は低下し、登熟期間中は短波放射の反射率が平均2%, 光合成有効放射は約0.3%で極めて小さかった。

4) 個体群の吸収率

生育に伴う個体群吸収率 (α) の推移は第8図の通りである。両品種とも発芽後約3週間を經過して吸収

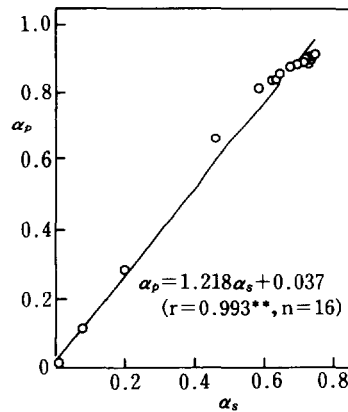


第8図 個体群の放射吸収率とLAIとの関係

率は急速に増大した。出穂期における短波放射の吸収率 (α_s) は、1976年のE-59が68%, Martin71%, 1977年はE-59が65%, Martin64%, E-59における光合成有効放射の吸収率 (α_p) は86%であった。吸収率は出穂後も約2~4週間は増加が続き、短波放射吸収率の最大値は1976年のE-59が72%, Martin74%, 1977年のE-59は73%, Martin71%であった。また、E-59における光合成有効放射吸収率の最大値は90%であった。登熟後期には葉面積の減少にもかかわらず吸収率の低下は認められなかった。

個体群の吸収率と葉面積との関係を第8図に示した。両者間の関係の近似式は(2)式に(3)式及び(4)式を代入して得られる。

$$\alpha = 1 - \{r_{\infty} - (r_{\infty} - r_0) \exp(-K\tau L)\} - (1 - r_0) \exp$$



第9図 短波放射の吸収率 (α_s) と光合成有効放射の吸収率 (α_p) との関係 (E-59)

(-KtL).....(5)

各パラメータの値として第3表の値を代入し、第8図の中に実線で示した。LAI 3以下では水平葉の多いMartinの短波放射吸収率はE-59よりも大きい傾向が認められた。

短波放射吸収率と光合成有効放射吸収率との関係は第9図の通りである。全期間を対象とした場合、両者間には一次式 $\alpha_p = 1.22\alpha_s + 0.037$ (相関係数0.99) が成立する。光合成有効放射の反射率約7%を考慮するならば、この式は $\alpha_p \leq 0.93$ の範囲で成立する。

5) 土壌水分ストレスの影響

1977年は7月10日以降ほとんど降雨がなく、7月25日頃から日中は捲葉が認められた。7月29日の葉水分ポテンシャルは、E-59が-16.2bar, Martinは-19.4barまで低下した。第4図に示した反射率、透過率、吸収率の推移からこの影響を推定すると、短波放射の反射率は両品種とも絶対値で約2%の低下、透過率はE-59が約3%、Martinは最高11%まで増大した。個体群の吸収率はE-59が約5%、Martinは約10%の低下であり、MartinはE-59よりも早ばつの影響が強く現われていた。

E-59の光合成有効放射については、反射率が約0.5%、透過率は約2%増大し、個体群吸収率は約3%低下したと推定される。両放射にみられるこのような変化は、葉水分の低下に伴う葉の光学的特性の変化と捲葉による葉面積のみかけ上の減少によるものと推察

される。

6) 穂の影響

前述のように出穂に伴ない反射率及び透過率の低下、吸収率の増大が認められたが、その原因が穂にあることを確かめるため、E-59とMartinの成熟期後の10月1日に穂を切除し、その前後における各因子の変化を測定した。

結果は第4表の通りである。穂の切除により短波放射の反射率は5%、透過率は1.4%、光合成有効放射の反射率は1.2%、透過率は0.8%増加した。また、短波放射の吸収率は6%、光合成有効放射の吸収率は2%低下した。すなわち、穂揃期以降の放射吸収率の増大は穂が主要因であることが確認された。粒の肥大や、肥大に伴う枝梗の散開なども、開花期後の吸収率の経時的上昇に関与していると考えられる。

7) 生育全期間の放射収支

生育の全期間にわたる放射収支の状況は第5表の通りである。短波放射についてE-59の2か年の平均は、発芽後開花期までの反射による損失22.2%、地面吸収による損失38.0%、個体群による吸収39.9%、登熟期間はそれぞれ23.8%、5.3%、71.0%であった。Martinについては、開花期までの反射による損失が21.9%、地面吸収による損失42.0%、個体群による吸収36.2%、登熟期間はそれぞれ22.6%、6.0%、71.5%であった。MartinはE-59に比べ葉面積が小さいので、開花期までの地面吸収率がやや大きい傾向があり、そのため個

第4表 穂の切除による反射率(r)、透過率(t)、地面反射率(r₀t)及び個体群吸収率(α)の変化

品種名	処 理	短波放射 (%)				光合成有効放射 (%)			
		r	t	r ₀ t	α	r	t	r ₀ t	α
E-59	(1)切 除 前	19.3	7.9	1.5	74.3	5.7	3.6	0.0	90.8
	(2)切 除 後	24.3	9.1	1.5	68.1	6.9	4.4	0.0	88.8
	差(2-1)	5.0	1.2	0	-6.2	1.2	0.8	0	-2.0
Martin	(1)切 除 前	24.7	7.7	2.3	70.0				
	(2)切 除 後	29.6	9.2	2.2	63.5				
	差(2-1)	4.9	1.5	-0.1	-6.5				
	平 均	5.0	1.4	-0.1	-6.4	1.2	0.8	0	-2.0

注) 切除前:1977年9月28日, 30日の平均。切除後:10月2, 4, 5, 6日の平均。

体群の吸収率はE-59よりも若干低かった。しかし登熟期間の吸収率については2か年の平均でみた場合、両品種間にほとんど差異がなかった。生育全期間の収支

を2品種の平均でみると、反射による損失は22.4%、地面吸収率26.3%、個体群の吸収率は51.4%であった。

E-59の光合成有効放射については、開花期までの反

第5表 栄養生長期間、登熟期間及び生育全期間における短波放射及び光合成有効放射の収支

品 種	期 間	年度	r (%)	t (%)	$r_0 t$ (%)	α (%)	$(1-r_0) t$ (%)
(1) 短波放射							
E-59	発芽期～開花期	1976	21.8	45.5	7.2	39.9	38.3
		1977	22.5	46.1	8.4	39.8	37.7
		平均	22.2	45.8	7.8	39.9	38.0
	開花期～収穫期	1976	25.9	5.1	0.8	69.8	4.3
		1977	21.6	7.8	1.6	72.2	6.2
		平均	23.8	6.4	1.2	71.0	5.3
	発芽期～収穫期	1976	23.3	30.1	4.8	51.4	25.3
		1977	22.1	31.3	5.8	52.4	25.5
		平均	22.7	30.7	5.3	51.9	25.4
Martin	発芽期～開花期	1976	19.3	50.7	8.4	38.4	42.3
		1977	24.4	51.9	10.2	33.9	41.7
		平均	21.9	51.3	9.3	36.2	42.0
	開花期～収穫期	1976	20.1	7.4	1.2	73.7	6.2
		1977	25.0	8.1	2.4	69.3	5.7
		平均	22.6	7.8	1.8	71.5	6.0
	発芽期～収穫期	1976	19.6	31.9	5.3	53.8	26.6
		1977	24.6	34.7	7.1	47.8	27.6
		平均	22.1	33.3	6.2	50.8	27.1
2 品種	発芽期～収穫期	平均	22.4	32.0	5.8	51.4	26.3
(2) 光合成有効放射							
E-59	発芽期～開花期	1977	8.2	41.1	3.2	53.9	37.9
	開花期～収穫期	1977	7.0	3.9	0.3	89.4	3.6
	発芽期～収穫期	1977	7.7	26.5	2.0	67.8	24.5

射による損失8.2%，地面吸収による損失37.9%で、53.9%が作物体に吸収された。登熟期間はそれぞれ7.0%，3.6%，89.4%であった。生育全期間の平均は圃場反射率7.7%，地面吸収率24.5%，個体群吸収率67.8%であった。

8) 個体群の到達放射の利用効率及び吸収放射の転換効率

一定期間内に投下された全短波放射の利用効率 U_s は、

$$U_s = \frac{E \cdot \Delta W}{R_s} \dots\dots\dots(6)$$

但し、 E ：乾物重の熱当量 (MJ/g)
 ΔW ：乾物重の増加量 (g/m²)
 R_s ：全短波放射量 (MJ/m²)

到達光合成有効放射の利用効率 U_p は、

$$U_p = \frac{E \cdot \Delta W}{R_p} = \frac{1}{K} \dots\dots\dots(7)$$

但し、 R_p ：光合成有効放射量 (MJ/m²)
 K ：換算係数 (R_p/R_s , 0.538)

個体群に吸収された短波放射の転換効率 U'_s は、

$$U'_s = \frac{1}{\alpha_s} U_s \dots\dots\dots(8)$$

但し、 α_s ：短波放射吸収率

個体群に吸収された光合成有効放射の転換効率

U'_p は、

$$U'_p = \frac{1}{\alpha_p} U_p = \frac{1}{\alpha_p} \cdot \frac{1}{K} U_s \dots\dots\dots(9)$$

但し、 α_p ：光合成有効放射の吸収率

なお、転換効率は吸収放射量に対する総生産量（純生産量＋呼吸量）の割合であるが、ここでは純生産量を使用しているので、みかけの転換効率である。

乾物重の熱当量を1g当たり16.744Jと仮定し、全乾物重の推移から旬別の乾物重を求め、旬別の放射利用効率及び転換効率を算出した。但し、発芽後3週間は葉面積が小さいため個体群吸収率の実測値は誤差が大きいので、葉面積を用いて(5)式から吸収率を推定し、吸収放射の転換効率を算出した。1976年の両品種及び1977年のMartinについては(7)式、(9)式及び $\alpha_s \sim \alpha_p$ の一次式を使用し光合成有効放射の利用効率と転換効率を推定した。

第6表に示すように短波放射の利用効率 (U_s) の最大値は、1976年のE-59が3.00%，Martin3.15%，1977年はそれぞれ3.54%，3.04%であった。個体群に吸収された短波放射の転換効率 (U'_s) は生育初期に高く、

発芽後3週目以降の最大値としては1976年のE-59が7.33%，Martin5.66%，1977年はそれぞれ5.36%，6.03%であった。

光合成有効放射の利用効率 (U_p) の最大値は、1976年のE-59が5.61%，Martin5.89%，1977年はそれぞれ6.58%，5.79%であった。また個体群に吸収された光合成有効放射の転換効率 (U'_p) については1977年のE-59が生育初期13.7%，発芽3週目以降では7.3%が最高値であった。1977年のMartinでは生育初期の最高値は11.5%，発芽3週目以降の最高値は8.9%であった。

発芽期から開花期まで及び開花期から収穫期までの放射利用効率及び転換効率を2か年の平均でみると、栄養生長期のE-59の U_s は1.94%，Martinは1.78%，登熟期間のE-59の U_s は2.56%，Martinは2.22%で、両期間ともE-59はMartinに対し、9～15%高かった。生育全期間の U_s はE-59が2.18%，Martin1.96%であった。生育全期間の U'_s はE-59が4.20%，Martinは3.87%であった。また生育全期間の U_p はE-59が4.08%，Martinは3.66%であった。 U'_p については栄養生長期間のE-59が6.83%，Martin6.99%で両品種間に大差がなく、登熟期間はそれぞれ5.36%，4.57%でE-59はMartinに対し17%高かった。生育全期間についてはE-59が6.07%，Martin5.84%であった。

2品種2か年平均の生育全期間の U_s は2.07%， U'_s は4.03%， U_p 3.87%， U'_p 5.84%であった。

IV 考 察

ソルガムの光利用効率に関する報告は少ない。Oguntoyinbo¹¹⁾ によればソルガムの短波放射反射率は20%であった。内嶋¹²⁾ によれば十分繁茂した群落の短波放射の反射率は約20%で、垂直葉の多い群落では反射率が小さくなる傾向があるとされている。Monteith⁸⁾ は小麦、テンサイ、パレイショ、牧草等で平均26%と報告し、Oguntoyinbo¹¹⁾ はソルガム、タバコ、トウモロコシ等の平均値として17%を得ている。岸田⁹⁾ によれば直立葉型水稻16～18%，水平葉型水稻21%，カンショ、ダイズ、芝生を含む作物の平均は20%であった。広田ら¹³⁾ は水稻約22%，ダイズ約27%と報告している。本実験ではLAI 4以上における反射率は、登熟期間も含めると21～27%の範囲にあり、2か年の平均は24%で品種や栽培条件、穂の有無によって約3%は変動するとみることができる。また、E-59は

第6表 生育各期の到達放射利用効率及び吸収放射転換効率

品種名	期 月	間 日 (日)	ΔW (g/m ²)	SWR (MJ/m ²)	PAR (MJ/m ²)	α^s (%)	α_p (%)	U_s (%)	$U's$ (%)	U_p (%)	$U'p$ (%)
1976	6.2	~10	4	105	56.3	(0.5)	(4.3)	0.07	(13.4)	0.12	2.91
E-59	11	~20	36	164	87.8	3.2	7.6	0.37	11.5	0.70	9.14
	21	~30	172	171	91.6	23.4	32.2	1.72	7.33	3.21	9.96
	7.1	~10	279	164	87.5	52.7	68.0	2.92	5.54	5.45	8.02
	11	~20	314	179	95.8	65.2	83.2	3.00	4.60	5.61	6.74
	21	~31	317	228	121.9	67.9	86.5	2.38	3.51	4.46	5.15
	8.1	~10	159	150	80.3	68.6	87.4	1.81	2.64	3.38	3.87
	11	~20	218	186	99.4	68.3	87.0	2.01	2.94	3.76	4.32
	21	~31	219	159	85.1	70.6	89.8	2.36	3.34	4.41	4.91
	9.1	~13	202	141	75.4	72.2	91.8	2.45	3.40	4.58	4.99
	A*	(60)	1110	1011	541	39.9	52.4	1.88	4.71	3.51	6.70
	B	(44)	810	636	340	69.8	88.9	2.18	3.12	4.08	4.59
	全期間	(104)	1920	1647	881	51.4	66.5	2.00	3.88	3.73	5.61
1976	6.2	~10	3	105	56.3	(0.5)	(6.7)	0.04	(8.8)	0.08	1.22
Martin	11	~20	37	164	87.8	3.0	7.3	0.39	12.9	0.73	9.91
	21	~30	135	171	91.6	23.8	32.7	1.35	5.66	2.52	7.69
	7.1	~10	284	164	87.5	57.1	73.3	2.97	5.20	5.56	7.58
	11	~20	287	179	95.8	68.1	86.8	2.74	4.02	5.12	5.90
	21	~31	269	228	121.9	70.8	90.0	2.02	2.86	3.79	4.21
	8.1	~10	132	150	80.3	74.2	93.0	1.51	2.03	2.82	3.03
	11	~20	256	186	99.4	73.6	93.0	2.36	3.21	4.41	4.75
	21	~31	293	159	85.1	74.9	93.0	3.15	4.21	5.89	6.33
	9.1	~6	131	99	53.1	74.4	93.0	2.26	3.04	4.23	4.55
	A*	(55)	900	903	483	38.4	50.7	1.71	4.44	3.19	6.29
	B	(42)	927	702	376	73.7	92.5	2.26	3.07	4.23	4.57
	全期間	(97)	1827	1605	859	53.8	69.0	1.95	3.62	3.64	5.28

1977	6.15~20	1	61	31.5	0.2	3.0	0.03	15.4	0.06	1.76
E-59	21~30	19	167	63.0	2.9	4.9	0.28	9.66	0.52	10.6
	7.1~10	156	152	81.6	15.7	23.8	1.76	11.2	3.27	13.7
	11~20	256	158	85.4	51.8	72.8	2.78	5.36	5.12	7.04
	21~31	384	217	114.0	63.0	83.7	3.03	4.82	5.77	6.89
	8.1~10	262	179	93.8	66.3	86.8	2.51	3.78	4.78	5.51
	11~20	255	139	74.7	71.5	88.7	3.13	4.38	5.83	6.57
	21~31	263	127	68.5	73.2	90.0	3.54	4.84	6.58	7.32
	9.1~10	197	144	77.6	73.1	89.6	2.34	3.20	4.35	4.86
	11~14	88	71	38.3	73.5	90.1	2.11	2.87	3.93	4.36
	A*(54)	973	835	444	39.8	53.9	1.99	5.01	3.74	6.96
B (38)	908	529	284	72.2	89.4	2.94	4.07	5.47	6.12	
全期間 (92)	1881	1364	728	52.4	67.8	2.36	4.51	4.42	6.52	
1977	6.14~20	1	79	41.1	0.2	3.9	0.02	11.0	0.04	1.09
Martin	21~30	15	167	63.0	2.3	6.5	0.22	9.63	0.42	6.39
	7.1~10	134	152	81.6	17.0	24.5	1.52	8.90	2.82	11.5
	11~20	236	158	85.4	45.0	58.6	2.56	5.69	4.72	8.05
	21~31	386	217	114.0	50.6	65.4	3.05	6.03	5.79	8.86
	8.1~10	255	179	93.8	64.0	81.8	2.44	3.82	4.66	5.70
	11~20	211	139	74.7	68.2	86.9	2.59	3.81	4.83	5.56
	21~31	174	127	68.5	70.7	90.0	2.34	3.30	4.34	4.82
	9.1~10	122	144	77.6	70.8	90.1	1.45	2.05	2.69	2.99
	11~14	54	71	38.3	70.8	90.1	1.30	1.84	2.43	2.69
	A*(54)	900	840	446	33.9	44.9	1.84	5.41	3.45	7.69
B (39)	688	543	292	69.3	88.3	2.17	3.13	4.04	4.57	
全期間 (93)	1588	1383	738	47.8	62.0	1.97	4.11	3.68	5.94	
1976~1977	A*(56)	971	897	479	38.0	50.4	1.86	4.89	3.48	6.91
2品種平均	B (41)	833	603	323	71.3	89.8	2.39	3.34	4.46	4.96
	全期間 (97)	1804	1500	802	51.4	66.3	2.07	4.03	3.87	5.84

- 注 1) U_s : 到達全短波放射の利用効率, $U's$: 吸収全短波放射の利用効率。
 U_p : 到達光合成有効放射の利用効率, $U'p$: 吸収光合成有効放射の利用効率
 2) A: 発芽期~開花期, B: 開花期~収穫期
 3) 1976年の両品種及び1977年の Martin の α_p は, α_s からの計算値。

Martinよりも直立葉の割合が多いが、1976年はE-59の反射率がMartinよりも大きく、1977年は逆にE-59が小さく、草型との間に一定の傾向は見出せなかった。

光合成有効放射の反射率は水稻では5～6%^{4,6)}、ダイズ7～8%^{4,6)}と報告されている。本実験のE-59は7%であったので、作物の種類による差異はかなり小さい。

短波放射の吸光係数はE-59がMartinよりも小さく、群落内への光透過がまされた。これは、E-59の葉がMartinよりも薄く、しかも直立的な葉の割合が多いという特性によるものであり、水稻の場合²⁾と同様であった。

栄養生長期間及び登熟期間における全短波放射の吸収率は、E-59では2カ年とも大差なかったが、Martinでは水田転換期に比べ普通畑では栄養生長期間、登熟期間ともに低かった。Martinは品種特性として土壤水分ストレスへの適応性がE-59よりも劣っており、土壤水分の不足しやすい普通畑では葉の水分ポテンシャルの低下に伴い反射率、透過率及び透過放射の地面反射率が増大し吸収率の低下をもたらしたと考えられる。また、登熟期間における両品種の全短波放射の吸収率(69～73%)は、水稻の登熟期間の吸収率68%⁶⁾～70%⁴⁾と著しい差異はなかった。

登熟期間におけるE-59の光合成有効放射の吸収率は89%に達し、水稻89%⁶⁾やダイズ92%⁶⁾と大きな差異はなかった。Nichiporovich¹⁰⁾はLAI 4～5の最適状態にある作物の光合成有効放射吸収率は80～85%に達すると述べており、十分繁茂した個体群では作物の種類による差異は比較的小さいと考えられる。また、光合成有効放射の反射率は約7%であるから、入射する光合成有効放射吸収率の増加の余地は、4%程度と考えられる。

出穂に伴う反射率及び透過率の低下、吸収率の増大は穂が主要因となっていた。出穂による吸収率の増大は水稻^{2,9)}でも認められているが、ソルガムの穂型は多様であり放射吸収率への影響は一様でない可能性がある。

ソルガムは光合成能力の高い作物の一つであるが、この特徴は個体群に吸収された光合成有効放射の転換効率($U'p$)によく現われていた。すなわち、生育期間中の最大値は1976年が9.96% (Martin), 1977年は13.7% (E-59)であり、水稻の5～6%⁴⁾よりも高い。子実収量を左右する登熟期間についてみると、水稻の $U'p$ は岸田⁶⁾によれば3.98%、鈴木ら¹⁶⁾のデータか

ら計算した値は2.60～2.68% (普通期～早期)であるが、これらに比べE-59の登熟期間中の $U'p$ は平均5.36% (1976年4.59%, 1977年6.12%), Martinは4.57% (1976年, 1977年ともに4.57%)でかなり高い値である。登熟日数約40日間で乾物約830kg/10aを生産する生理的基礎は吸収光合成有効放射の転換効率が著しく高いことにあることが理解できる。同じC₄植物であるトウモロコシでは、Loomisら⁷⁾によれば $U'p$ は4.6～9.8%, Ustenkoら²¹⁾は最高12.9%, 生育期間の平均は6.9～9.4%と報告している。これらに比べて1977年のE-59の測定値は最高13.7%, 生育全期間の平均値は6.52%であり、生育全期間の平均値が低い。この値はソルガムに関するLoomisら⁷⁾の6.7%とほぼ同値であった。

短波放射の利用効率(Us)は本実験の最大値は1976年が3.15%, 1977年は3.54%であるが、この値はIBPのトウモロコシの最高値4.63%⁵⁾やGEPのトウモロコシの最高値3.98%¹⁸⁾よりは小さかった。グレインソルガムは短稈であるため葉層の間隔が狭く、個体群内の光分布がトウモロコシよりも劣ることが主要因と考えられる。

グレインソルガムの子実収量は開花期前の光合成産物の蓄積に依存する割合が10%以内¹⁷⁾で、大部分は登熟期の生産量に依存している。本実験においても両年とも登熟期間中の乾物生産量は子実収量を上廻っていた。登熟期間の乾物生産量(ΔW)は(9)式から

$$\Delta W = \frac{1}{E} KR \alpha_p U'p \text{ で表わされる。Eは16.744Jで一定とすると、}\Delta W \text{は登熟期間の積算光合成有効放射量}$$

(KR), 光合成有効放射の吸収率(α_p), 吸収放射の利用効率($U'p$)に影響される。日平均 $K\bar{R}$, α_p , $U'p$ の変動に伴う1日当たりの ΔW を求めると、 $K\bar{R}$ の影響は $\alpha_p=0.90$, $U'p=0.05$ の下で0.428MJ/m²の増減により1.13g/m²の増減となる。また、 α_p の影響は比較的小さく、 $K\bar{R}=8.56$ MJ/m² (全短波放射15.88MJ/m²), $U'p=0.05$ の下で1%の増大は0.25g/m²の増加であった。最高4%の改善が行われたとすれば1.0g/m²・日の増加が期待できる。 $U'p$ の影響は $K\bar{R}=8.56$ MJ/m², $\alpha_p=0.90$ の場合 $U'p$ 0.1%の増大により0.45g/m²増加し、その程度は日射量が強くなる程大きい。また、 $U'p$ が大きい場合には弱日射量の下においても高い乾物生産を維持できることが認められる。他方、グレインソルガムの登熟は積算気温約1,000°Cで完了する¹⁾の

で、登熟日数は気温が高い場合に短く、気温が下がると延長し、作期により変動する。上位葉は成熟期においても緑色を保ち光合成を行っているので、登熟日数の増減は光合成有効放射の積算量の増減を通じて ΔW に影響する。したがって ΔW の差は主に積算光合成有効放射量と $U'p$ に支配されることになる。日射量はかなり変動するが、 $U'p$ は作物側の条件として制御の可能性がある。また、1976年のMartinにみられたように、光合成産物の増大を子実収量の増大に結びつけるためには、光合成産物の受容体である粒数の増大を図り、光合成産物の子実への分配を高める栽培の改善技術もまた重要である。

V 摘 要

1. 海成堆積灰色低地土、佐賀統の水田転換畑(1976)及び褐色森林土、造成相の普通畑(1977)において、グレインソルガムの一代雑種E-59と純系品種Martinを用い、短波放射及び光合成有効放射の利用状況を解明した。

2. 実験に供したE-59の全乾物生産量は10a当たり1,920kg(1976)~1,881kg(1977), Martinは1,827kg~1,588kgであり、子実収量(乾物重)はE-59が774kg(1976)~791kg(1977), Martinは609kg~632kgであった。

3. 個体群における短波放射(SWR)の反射率はLAIの増大に伴い増大し、LAIが4となる時期に最大値に達した。最大値はE-59が27~28%, Martinは23~29%であった。反射率は開花期以降低下した。光合成有効放射(PAR)の反射率はLAIの拡大に伴い減少し、開花期前の十分繁茂した状態では7.5%, 登熟期間は7%であった。

4. SWR及びPARの透過率はLAIの増大に伴い急速に減少し、登熟期間中はSWRは7~8%, PARは3~4%で推移した。

5. 個体群上面の到達放射に対する地面反射率(r_0)はLAIの増大に伴い減少し、登熟期間中はSWRは2%, PARは0.3%であった。

6. 個体群による放射吸収率は発芽3週後から急速に増大した。SWRの吸収率の最大値は、E-59が72%(1976)~73%(1977), Martinは74~71%であった。E-59のPAR吸収率の最大値は90%であった。登熟後期にはLAIの減少にもかかわらず吸収率の低下は認められなかった。

7. 早ばつにより葉の水分ポテンシャルはE-59が-16.2bar, Martinは-19.4barまで低下した。個体群によるSWRの反射率は低下し、透過率は増大した。PARの反射率及び透過率は増大した。個体群によるSWRの吸収率はE-59が約5%, Martinは約10%低下した。E-59のPARの吸収率は約3%低下した。

8. 発芽から開花期までの短波放射の収支は、2か年平均でE-59の圃場反射率が22.2%, 地面吸収率38.0%, 個体群吸収率39.9%, 登熟期間はそれぞれ23.8%, 5.3%, 71.0%であった。Martinについては、栄養生長期間中の反射率21.9%, 地面吸収率42.0%, 個体群吸収率36.2%, 登熟期間はそれぞれ22.6%, 6.0%, 71.5%であった。また生育全期間の2品種平均の反射率は22.4%, 地面吸収率26.3%, 個体群吸収率51.4%であった。

9. E-59の光合成有効放射の収支は、栄養生長期間中の圃場反射率8.2%, 地面吸収率37.9%, 個体群吸収率53.9%であり、登熟期間はそれぞれ7.0%, 3.6%, 89.4%, 生育全期間の平均はそれぞれ7.7%, 24.5%, 67.8%であった。

10. 生育全期間の到達SWRの利用効率は、2か年平均でE-59は2.18%, Martinは1.96%であり、また、個体群に吸収された短波放射の転換効率はE-59が4.20%, Martin3.87%であった。到達PARの利用効率はE-59が4.08%, Martin3.66%, 個体群に吸収されたPARの転換効率はE-59が6.07%, Martin5.61%であった。

11. 登熟期間中の乾物生産に対しては、個体群吸収率よりも積算日射量及び吸収放射の転換効率の影響が大きいことが示唆された。

引用文献

- 1) 檀上隆信 1982. 中国地方における品種の早晚生別作期と生育収量. 飼料用穀類の栽培適地の拡大と高位生産技術の確立. 農林水産技術会議事務局編: 21-23.
- 2) 林 健一 1972. 水稻品種の日射エネルギー利用効率に関する研究. 農技研報告D23: 1-67.
- 3) 水高信雄 1985. 中国地方における日射気候. 中国農試報A33: 1-140.
- 4) 広田 修・武田友四郎・村田裕治・木場明倫 1978. 数種作物の太陽光利用率に関する研究 第2報 水稻並びに大豆個体群における短波放射と光

- 合成有効放射の利用率及び転換率, 日作紀47: 133-140.
- 5) Kanda, M. 1975. Efficiency for energy utilization. Ed. Y. Murata. JIBP Synthesis Vol, 11, Crop productivity and solar energy utilization in various climates in Japan. Univ. Tokyo Press. Tokyo. 187-198.
- 6) 岸田恭允 1973. 耕地の放射エネルギー利用に関する農業気象学的研究(1) 緒論および植物群落の波長帯別放射収支. 九州農試報17: 1-79.
- 7) Loomis, R. S., W. A. Williams and A. E. Hall 1971. Agricultural productivity. Ann. Rev. Plant Physiol. 22: 431-468.
- 8) Monteith, J. L. 1959. The reflection of short-wave radiation by vegetation. Quart. J. R. Met. Soc. 85: 386-392
- 9) 村田吉男・宮坂 昭・棟方 研・秋田重誠 1968. 水稻個体群のエネルギー収支の生育に伴う変化について. 日作紀37: 685-690.
- 10) Nichiporovich, A. A. 1986. 生産因子としての植物の光合成活動の研究に関する諸問題. 内嶋善兵衛・岩切 敏訳 Nichiporovich, A. A. 編 光合成と多収穫. 畑地農業振興会, 東京. 9-48. (1967).
- 11) Oguntonyinbo, J. S. 1970. Reflection coefficient of natural vegetation, crops and urban surfaces in Nigeria. Quart. J. R. Met. Soc. 96: 430-441.
- 12) 小島睦男・館野宏司 1976. グレインソルガムにおける群落構造の生育に伴う変化. 近畿中国農研 52: 41-44.
- 13) ——— 1978. グレインソルガムの日射エネルギー利用率. 日作紀47 (別1): 233-234.
- 14) ——— 1979. 水田輪換畑における耕起・堆肥施用の有無がグレインソルガムならびに大麦の生育・収量に及ぼす影響. 中国農試報A26: 7-14.
- 15) ——— 1982. グレインソルガムの日射利用効率. 飼料用穀類の栽培適地の拡大と高位生産技術の確立. 農林水産技術会議事務局編: 31-32.
- 16) 鈴木 守・村田吉男 1975. 圃場における水稻の光合成のエネルギー転換効率の測定. 日作紀44: 109-113.
- 17) 館野宏司・小島睦男 1973. グレインソルガムの乾物生産からみた多収条件の解析. 日作紀42: 555-559.
- 18) 豊田政一・四方俊一 1986. C₃型, C₄型, CAM型作物個体群における太陽エネルギー利用に関する作物間比較. C₃型, C₄型, CAM型作物個体群における太陽エネルギー利用. 農林水産技術会議事務局編: 284-314.
- 19) 内嶋善兵衛 1977. 農業におけるエネルギー生産と省エネルギーに関する諸問題. 日本農業技術懇談会昭和52年講演会, 講演要旨: 5-18.
- 20) ——— 1981. 日射の測定法. 農業気象37: 137-138.
- 21) Ustenko, G. P. and S. N. Iagnova 1966. 多収穫のための計画栽培テスト. 内嶋善兵衛・岩切 敏訳 Nichiporovich, A. A. 編 光合成と多収穫. 畑地農業振興会, 東京. 165-178. (1967).

Utilization Efficiency of Solar Energy in Grain Sorghum Population

Mutsuo OJIMA* and Shigeru INUYAMA**

Summary

The Japanese Government is promoting the implementation of crop rotation including the cultivation of soybean, wheat, vegetables, forage crops and rice instead of single cropping of rice to alleviate the overproduction of rice. Therefore, methods of cultivation to achieve high yields of grain sorghum are being developed at the Chugoku National Agricultural Experiment Station.

The purpose of this investigation was to determine the effect of short-wave radiation (SWR) and photosynthetically active radiation (PAR) on a grain sorghum (*Sorghum bicolor* Moench) production. Grain sorghum cv. DeKalb E-59 and Martin were grown in a converted upland field from paddy field in 1976, and in a permanent upland field in 1977.

1. Total dry matter weights per 10a at harvest time in 1976 and 1977 reached 1,920 kg and 1,881 kg for E-59, 1,827 kg and 1,588 kg for Martin, respectively. Dry weights of grain per 10a in 1976 and 1977 were 774 kg and 791 kg for E-59, 609 kg and 632 kg for Martin, respectively.

2. Reflectivity of SWR in the sorghum population increased with the increase of leaf area index (LAI), and the maximum values obtained in 1976 and 1977 were 27% and 28% for E-59, 23% and 29% for Martin, respectively. After the flowering, the reflectivity of SWR in both cultivars decreased by about 3% compared with the values at the vegetative stage of the same LAI. Reflectivity of PAR for E-59 in 1977 decreased to 7.5% with the increase of LAI before the heading time, and reached a value of approximately 7% during the ripening period.

3. Canopy transmittance of SWR and PAR rapidly decreased with the increase of LAI. During the ripening period, the canopy transmittance remained at a level of 7 to 8% for SWR in both cultivars, 3 to 4% for PAR in E-59 in spite of the decrease of LAI. Before the flowering time, the extinction coefficients of SWR in 1976 and 1977 were 0.346 and 0.281 for E-59, 0.464 and 0.324 for Martin, respectively. The extinction coefficient of PAR for E-59 was 0.378.

4. Reflectivity of the ground surface to incident radiation (r_{ot}) rapidly decreased with the increase of LAI. The values during the ripening period were approximately 2% for

Department of Agronomy, Chugoku National Agricultural Experiment station

* National Agriculture Research Center

** Hokkaido National Agricultural Experiment Station

SWR in both cultivars, and 0.3% for PAR in E-59.

5. Absorption coefficients of SWR and PAR by the canopy rapidly increased with the increase of LAI. Absorption coefficients at the heading time in 1976 and 1977 were 68% and 65% for E-59, 71% and 64% for Martin, respectively. The maximum values of absorption coefficients in 1976 and 1977 were 72% and 73% for E-59, 74% and 71% for Martin, respectively. The absorption coefficient for PAR at the heading in 1977 was 86%, and the maximum value over the whole growth period was 90%. The absorption coefficient did not decrease in the later stage of the ripening period in spite of the decrease of LAI.

6. Drought stress was observed toward the end of July in 1977. Leaf water potential of the uppermost fully expanded leaf exposed to sunlight decreased to -16.2 bars for E-59 and -19.4 bars for Martin. Changes in the utilization of solar energy were determined before and after the drought stress. Due to the drought stress, reflectivity of SWR decreased by 2% in both cultivars. Transmittance of SWR increased by 3% for E-59 and 11% for Martin with the rolling of leaves. The reflectivity and transmittance of PAR for E-59 increased by 0.5% and 2%, respectively. The absorption coefficient of SWR decreased by 5% for E-59 and 10% for Martin, and that of PAR in E-59 decreased by 3%.

7. The balance of SWR was summarized as follows. During the period from the emergence to the flowering (vegetative growth period) of E-59, the average value of the field reflection (r) was 22.2%, the absorption by the ground ($(1-r_0)t$) was 38.0%, and the absorption by the sorghum population (α) 39.9% as an average of the two years. In the period from the flowering to the harvest time (ripening period), the values of r , $(1-r_0)t$, and α of E-59 were 23.8%, 5.3% and 71.0%, respectively. For Martin during the vegetative growth period, the values of r , $(1-r_0)t$ and α were 21.9%, 42.0% and 36.2%, respectively. During the ripening period, the corresponding values were 22.6%, 6.0% and 71.5%, respectively. Throughout the growth period, the values of r , $(1-r_0)t$ and α were 22.4%, 26.3% and 51.4% (average of two cultivars and two years), respectively.

8. In the balance of PAR in E-59, during the vegetative growth period, the values of r , $(1-r_0)t$ and α were 8.2%, 37.9% and 53.9%, respectively. During the ripening period, the r , $(1-r_0)t$ and α values were 7.0%, 3.6% and 89.4%, respectively, and the corresponding values over the whole growth period were 7.7%, 24.5% and 67.8%, respectively.

9. Absorption coefficient of PAR was closely related to the that of SWR for E-59 in 1977. By use of this relationship, the absorption coefficients of PAR for the two cultivars in 1976 and for Martin in 1977 were estimated, and conversion efficiency from the absorbed PAR to the biomass was determined. The utilization efficiencies of incident SWR in the sorghum population throughout the growth period were 2.18% for E-59 and 1.96% for Martin (average of two years). The conversion efficiencies of absorbed SWR were 4.20% for E-59 and 3.87% for Martin. The utilization efficiencies of incident PAR were 4.08% for E-59 and 3.66% for Martin. The conversion efficiencies of absorbed PAR were 6.07% for E-59 and 5.61% for Martin.

10. The results obtained suggested that dry matter production during the ripening period

was more affected by the amount of solar radiation and conversion efficiency of absorbed radiation than by the absorption rate of solar radiation.