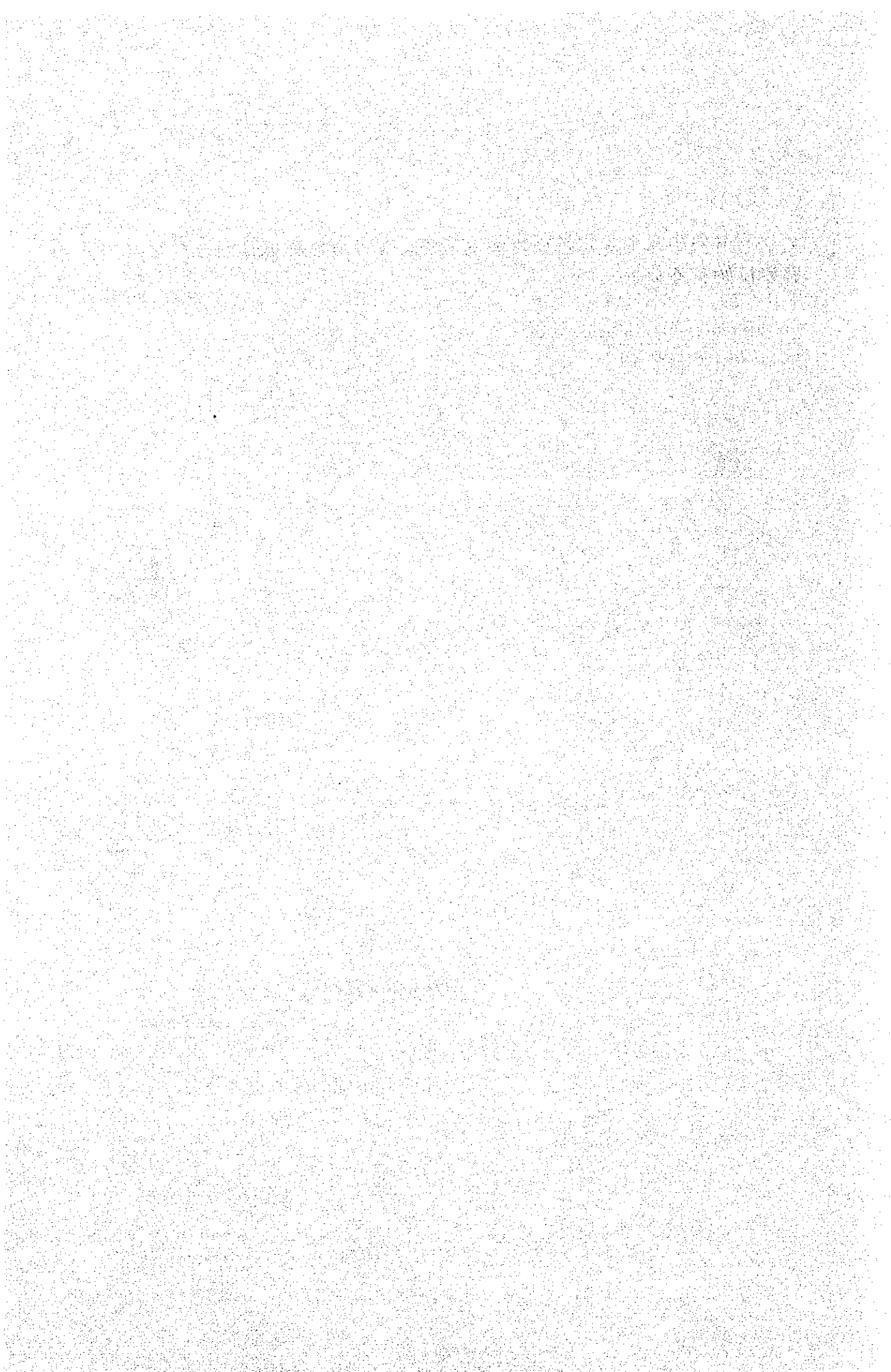


セラードの小麦の灌水及び無灌水栽培における品種の作期と多肥の  
影響に関する研究

Studies on cropping seasons in some leading cultivars of wheat  
in the Cerrados

作物栽培専門家 牧 田 道 夫

カウンターパート Edson Jair Iorczeski



# セラードの小麦の灌水及び無灌水栽培における品種の作期と多肥の影響に関する研究

作物栽培専門家 牧 田 道 夫

カウンターパート Edson Jair Iorczeski

## 緒 言

ブラジルでは小麦は唯一の大型輸入農産物であり、例えば1983年度では600万もの需要量に対して国内生産は200万tで34%の自給率に過ぎない。国内の主な生産地は南部3州(Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Parana)とSao Paulo州で、全体の92%を占め、残りがセラードの分布する諸州及びBrasilia D.F.である(1983年)。

そこでセラードの大規模機械化農業の開発開始と共に適作物の検討がなされ、小麦は主要な導入作物の一つとして奨励されてきた。その理由は、自給率の向上、大規模機械化農業に適していること、数少ない裏作物として冬期間の作付需要に応じられることなどである。しかしながらセラード開発開始以来約10年を経て、作付面積の推移は全体として増加の傾向にあるが順調に向上してきたとは云えない。1983年現在で13.2万ha(Mato Grosso do Sul州を含む)で、全国作付面積の6.9%である。夏作物の大豆、とうもろこし、陸稲に比較すると普及面積は極く少ない。この少ない最大の原因は単位面積(ha)当り収量が1t前後という低収により収益性が低いことによる。従って安定した収量性の向上はセラードに小麦が普及するためのキーポイントである。

セラードにおける小麦の栽培可能地は標高800m以上の平坦地又は緩傾斜地で、250~500万㎡あると推定されている(岩田1982)<sup>9</sup>。栽培形態は無灌水栽培と灌水栽培及びVarzeaと称する低湿地の無灌水栽培が考えられ(Silva等1980)<sup>13</sup>。現在、前2者が実際に行われている。無灌水栽培は早生大豆の収穫を終えた雨期の後期より乾期初期にかけて雨水のみで生育させる。1月中旬より2月下旬に播種し、5月に収穫するので、雨期と乾期の中間期(4月中旬~5月中旬)にかけて不安定な降水量と不十分な地下水の利用に頼るために収量の不安定性は逃れ難い。灌水栽培は4月上旬より5月下旬に播種し、灌水により生育させて8月以降に収穫する。収量は安定しており病虫害など被害に対する環境諸条件は無灌水栽培より恵まれている。灌水栽培の最大の問題点は灌水に要する諸経費との収支の関係である。現在普及面積は少なく、セラードでは4091ha(1983年)に過ぎないが、適地は中央ブラジルのセラードに70万haあると予想されている(Silva等1980)<sup>13</sup>。灌水栽培は導入されてから日が浅く、まだ栽培技術は確立されていない。

以上のような状況のもとで、本研究はセラードにおける小麦栽培の収量性の向上を計るため、収量性と作期との関係及びその生理生態的背景、現在のセラード適応性品種・系統の特性及び多肥栽培の効果の検討を行ったものである。播種適期については従来検討されて奨励播種期が地域ごとに定められているがその試験成績は公表されていない。

この研究はセラード農牧研究センター(Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados/EMB-

RAPA, 以下CPACと記す)において1984年に行われた。この研究を行うに当り、CPAC研究担当副所長 Edson Lobato氏より始終御協力をいただいた。取りまとめに際し尾形保リーダーより御校閲をいただいた。また前CPAC小麦研究職員Ady R. da Silva氏(現農務省本省勤務)より計画に当り助言と資料の提供をいただいた。また灌水栽培の実施に関してはCPAC研究員Euzebio M. da Silva氏より、病害の判定と調査に関しては同 Jose de Ribamar氏より、圃場土壌の物理的調査に関しては同僚早坂猛氏より御協力いただいた。実施に当ってはテクニコT. Kiyotsuka氏及び実習生Maria A. G. Martinさんより協力をいただいた。これらの方々に心より感謝の意を表す。

## 1. 試験方法

試験は雨季の無灌水栽培と乾季の灌水栽培に分れ、それぞれ播種期、品種及び肥料水準(灌水栽培のみ)に関する処理区を設けた。

### 1) 播種期

第1表の通りで、無灌水栽培は1月4日より約10日間隔で3月26日まで9播種期、灌水栽培は3月20日より約10日間隔で6月4日まで9播種期である。

第1表 播 種 期

無灌水 栽 培	略 号	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
	播種日	4/I	16/I	25/I	3/II	14/II	24/II	1/III	15/III	26/III
灌 水 栽 培	略 号	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
	播種日	20/III	27/III	4/IV	13/IV	25/IV	3/V	14/V	24/V	4/VI

### 2) 供試材料

第2表に示すように無灌水栽培、灌水栽培各5品種・系統で、ライ小麦PPT766は両栽培法に入っている。小麦はすべて現在奨励品種か次年度登録品種に予定されている優良種である。ライ小麦及び二条大麦はセラードへの導入が期待されている作物である。ライ小麦は小麦粉と同じように食用を目的とし、現在小麦と同一栽培法でセラードで生産力が検定されているがまだ導入作物とはなっていない(Silva等1981)<sup>15</sup>。二条大麦はビール原料として大部分は輸入に頼っているが、セラードにおける灌水条件下の生産力試験では安定して小麦より一般に多収である(Silva等1982)<sup>16</sup>。

第 2 表 供試品種・系統

無灌水栽培用

番号	品種・系統名	特 性
(1)	IAC 5-Maringá	奨励品種。ブラジル広域に適応する代表的品種。耐病性低下して過去の品種となりつつある。AL耐性で新開拓地に好適。純ブラジル種。
(2)	BH 1146	奨励品種。純ブラジル種。広域適応性でセラードに作付多い。強AL耐性で新開拓地に好適。斑点病に中程度抵抗性。
(8)	BR 8	新奨励品種。セラードへの普及が期待されている。純ブラジル種。AL耐性。諸病害に中程度強い。
(4)	BR 9-Cerrados	奨励品種。ブラジル中央部に適応。ブラジル種にメキシコ系遺伝子が入っている。AL耐性。赤さび病に中程度耐性。
(5)	PFT 766 (ライ小麦)	小麦研究センターで育成したライ小麦中の多収系統。斑点病に弱い。

灌水栽培用

番号	品種・系統名	特 性
(6)	ANAHUAC	奨励品種。広域適応性の多収タイプ。メキシコ系品種。黒さび病抵抗性。
(7)	BR 10-Formosa	奨励品種。ブラジル中央部に適応。メキシコ系品種ALONDORAよりブラジルで育成。黒さび病抵抗性。多収型。
(8)	PF 79547	次年度登録品種予定系統。ブラジル種とメキシコ種の交配種。黒さび病，うどんこ病抵抗性。
(9)	PFT 766 (ライ小麦)	(5)と同じ。
(10)	PFC 7802 (二条大麦)	小麦研究センターで育成された成績良好な二条大麦多収系統。

3) 肥料水準

CPACで使用されている標準施肥量区と、増肥によって特に増収が期待される灌水栽培のみ多肥区を設けた。標準施肥量区はha当り化成肥料 Formula 4-30-16を 500kg、微量要素混合肥料PT EBR 12を 100kgを基肥として条肥で与え、尿素 100kgを追肥として発芽後22日に条肥で与えた。多肥区はすべての肥料について標準施肥量区の2倍である。各成分の要素量は第3表に示した。

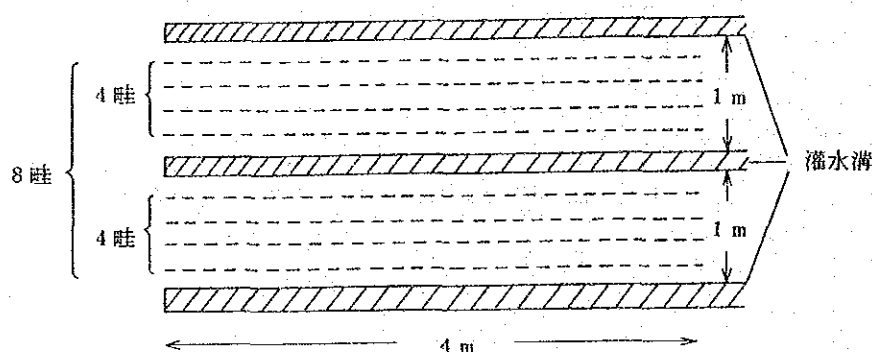
4) 試験区の配置

試験設計は無灌水栽培については、播種期を大区、品種を小区とする分割区試験法3反復である。灌水栽培についても播種期を大区とし、品種を小区とした分割区試験法3反復であるが各播種期には肥料水準が設けられており、播種期別に肥料水準を大区、品種を小区とした分割区試験法ともなっている。

一区の構成は第1図に示すように、1m間隔に灌水溝を設けてその間に畦間20cmで4畦設けこれを2組合せて8畦から成る。畦長は4mである。収穫は内側2畦ずつ4畦より、畦長3mについて行った。1区収穫面積は2.4㎡である。

第3表 標準施肥量の各成分要素量 (kg/ha)

成分	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Zn	B	Cu	Fe	Mn	Mo	成分	N
基肥	20	150	80	9	1.8	0.8	3	2	0.1	追肥	40



第1図 1区の構成

### 5) 供試圃場

圃場は chapada (高原平坦地) と Varzea (低湿地) の中間に位置する緩斜面の洪積層で、標高1007m、土性は暗赤色ラトソルである。開墾後すでに年数を経ており、前作は大豆である。耕起時に石灰を 2 t/ha 施用した。試験前の土壌特性は第4表の通りである。採取場所は畦上からはずれた位置である。PHはやゝ低いが無機成分はある程度含有しており、有機質も僅か認められる。物理的には固相率が約44%でラトソルとしてはやゝち密で、水分供給力、透水性ともに良好である。

### 6) 灌水

灌水の方法は畦間灌水で、灌水栽培についてはテンシオメーターを10cm、20cm深度に設置してPP 2.7以上にならないように灌水した。初めは約5日間隔で行っていたが、土日曜日がぶつかるので月、金曜日に灌水した。灌水直前の乾燥時の土壌水分は22~23%であった。

無灌水栽培では雨水によるのが主体であるが、播種時と、降雨が長日間ない場合は灌水を行った。これは当試験の目的が作期の移動による降水分布との関係を知るのではないので、年次変動の大きい降水分布の影響を取り除くためである。

第4表 供試土壌の性質

(1) 化学的性質

特 性	PH (H <sub>2</sub> O)	Al me/100ml	Ca+Mg m.l./100ml	有機物 %	P ppm	K ppm
測定値	5.3	0.21	3.41	2.27	11.7	59

圃場内6ヶ所の平均

(2) 物理的性質

特 性	三相分布 (PF2)%			全孔隙 %	飽水度 (PF2)%	粗孔隙 (PF 1.5)%	有効水分 PF1.5~3	透水係数 cm/sec
	固相	液相	気相					
測定値	44.4	33.9	21.7	55.6	61.0	9.3	19.9	3.37×10 <sup>-3</sup>

圃場内4ヶ所の平均

7) 栽植法

播種は畦間20cmの条播で、栽植密度が㎡当り 350~ 450個体となるように調節した。発芽数を調べると、無灌水栽培のPFT766が 500個体でやゝ多く、灌水栽培のANAHUAC, BR10, PF79547が 300~ 336個体で少なかったが、他は計画通りであった。

病害など障害については「試験結果・諸障害」の節でのべる。なお時に被害の多い害虫 *Lagarla Elasma* (モロコシマラグメイガ) は本試験では発生しなかった。

II. 試験結果

A. 雨季の無灌水栽培試験

1. 子実収量及び品質

1) 子実収量

第5表に子実収量を播種期別、品種別に示した。( )内の数値は現在奨励されている播種期が1月15日より2月下旬であることから (EMBRAPA-CPAC 1983)<sup>3</sup>, P 6 (2月24日播種) を標準とした比率である。子実収量は播種期間、品種間及びそれらの交互作用で高い統計的有意差を示した(第6表)。第5表によると各品種ともP1からP9へ、すなわち播種期が1月から3月へ移動する程、子実収量が著しく増加した。しかしその間、P4を底として

(PFT766はP5) 子実収量がこれまた著しく低下した。この低下の原因は「4. 諸障害」で述べるが、斑点病被害と一部の品種で風雨による倒伏のためである。第7表に品種をこみにした播種期別の順位を示したが、上記の事情をよく示しており、P2からP5は上記障害により最も落ち込んだがそれを除くとP1よりP9へ向けて増加し、最高約2 t/haとなった。P9の子実収量は4品種・系統でP8に比べて低下したが、これはP9から下降に向うというのではないと思われるが、稈長、穂長、乾物重等も低下しており(第3~5図)、原因は明らかでない。 第5表 子実収量の播種期別推移と品種間差 (t/ha)

播種期 (月日) 品種	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
	4/I	16/I	25/I	3/II	14/II	24/II	1/III	15/III	24/III
(1) IAC 5	1.26 (76)	1.33 (80)	1.01 (61)	0.57 (34)	1.31 (79)	1.67 (100)	1.95 (117)	1.95 (117)	1.86 (112)
(2) BH 1146	1.91 (107)	2.00 (112)	1.70 (95)	1.57 (88)	1.69 (94)	1.79 (100)	2.01 (112)	2.07 (116)	1.92 (107)
(3) BR 8	1.22 (68)	0.34 (19)	0.83 (46)	0.47 (26)	0.83 (46)	1.80 (100)	1.90 (106)	2.43 (135)	2.30 (128)
(4) BR 9	1.65 (83)	1.17 (59)	1.56 (79)	1.03 (52)	1.75 (88)	1.98 (100)	1.92 (97)	2.27 (114)	2.18 (110)
(5) PFT 766 (ライ小麦)	1.26 (264)	0.64 (134)	0.58 (121)	0.11 (23)	0 (0)	0.48 (100)	1.50 (312)	1.86 (388)	2.11 (440)

( )内はP6を標準とした比率

第6表 子実収量の分散分析表

変 動 因	自 由 度	平均平方	F 値
反 復 (A)	2	0.1143	1.97
播 種 期 (B)	8	3.3436	57.62**
誤 差 (A×B)	16	0.0580	
品 種 (C)	4	3.2318	83.64**
品種×播種期 (B×C)	32	0.3806	9.85**
誤 差 (A×B×C)	72	0.0386	

\*\* 1%水準で有意 \* 5%水準で有意

品種別にみると、標準としたP6の子実収量はライ小麦以外の小麦4品種・系統は1.7~2.0 t/haで、これは無灌水栽培では良好な方の数値であった(EMBRAPA-CPAC 1982~84)<sup>1</sup>。子実収量の播種期別推移をみると(第5表)、品種により特徴があり、IAC5とBR9は同じ傾向を示すが、子実収量はBR9が勝っていた。BH1146は播種期による変動が少なく常に2 t/ha前後を保っており環境に対する変動の少ない特徴を示した。BR8とライ小麦のPFT766は早



い播種期では子実収量が最も劣り、障害（斑点病、倒伏）による被害が最も大きい、その後の増収が著しくP9ではBR8が1位で2.3t/ha、PFT766が3位で2.1t/haとなり、好ましい環境条件下では高収性となることを示した。第8表に播種期をこみにした品種間の順位を示したが、BH1146、BR9が最もすぐれ、BR8、PFT766は播種期が遅いとよいが早いと不良であったために全体として劣った。

第7表 品種をこみにした子実収量の播種期別順位

品 種	子実収量 (t/ha)	順 位 <sup>1)</sup>
P8	2.115	a
P9	2.035	a
P7	1.853	a b
P6	1.544	b c
P1	1.461	b c
P3	1.137	c d
P5	1.116	c d
P2	1.095	c d
P4	0.749	d

1) Duncanの多重検定による群別。  
5%水準で有意。

第8表 播種期をこみにした子実収量の品種間順位

品 種	子実収量 (t/ha)	順 位 <sup>1)</sup>
(2) BH 1146	1.828	a
(4) BR 9	1.722	a b
(1) IAC 5	1.435	b c
(3) BR 8	1.347	c
(5) PFT 766	0.948	d

1) Duncanの多重検定による群別。  
5%水準で有意。

## 2) 子実の品質

第9表に子実の品質に関する形質として千粒重、ヘクトリットル重及び子実の外観品質を示した。千粒重とヘクトリットル重はP6を播種期の標準としてそれに対する比で示した。千粒重は一般にP1からP9に移動するに従って増加した。PFT766、BR8は特にP8、P9で増加が著しく、この傾向は子実収量の推移と同じで、千粒重が子実収量の推移に大きく貢献していることを示した。ヘクトリットル重、子実の外観品質もまたP1からP9に移動するに従って増加し、この形質も子実収量の増加に貢献していることを示した。なおPFT766は3形質とも値が低くて品質がすぐれなかった。

第9表 子実の品質

千粒重 ( P 6 を標準とした比で示す )										
品種	播種期	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
(1) IAC 5		61	64	66	75	95	100(32.5g)	102	107	107
(2) BH 1146		74	80	79	83	96	100(31.2g)	106	103	108
(3) BR 8		62	50	52	57	78	100(31.2g)	99	106	114
(4) BR 9		73	61	72	86	101	100(31.5g)	100	96	113
(5) PFT 766		108	87	90	60	- <sup>1)</sup>	100(17.5g)	137	145	125

ヘクトリットル重 ( P 6 を標準とした比で示す )										
品種	播種期	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
(1) IAC 5		81	83	82	- <sup>2)</sup>	97	100(77.1g)	101	104	104
(2) BH 1146		87	89	88	88	100	100(77.0g)	103	103	107
(3) BR 8		81	- <sup>2)</sup>	75	- <sup>2)</sup>	92	100(79.3g)	99	102	105
(4) BR 9		85	78	85	54	98	100(77.5g)	101	104	106
(5) PFT 766		77	- <sup>2)</sup>	64	- <sup>2)</sup>	- <sup>1)</sup>	100(70.0g)	100	100	104

外観品質 ( 指数で示す ) 3)										
品種	播種期	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
(1) IAC 5		2.0	2.7	2.8	3.0	4.0	4.0	4.0	4.8	4.0
(2) BH 1146		2.7	3.0	3.0	3.8	4.0	4.3	4.3	5.0	4.3
(3) BR 8		2.3	2.0	2.0	2.3	2.8	3.3	3.8	4.0	4.0
(4) BR 9		2.3	2.7	3.0	2.8	4.0	4.0	4.0	4.3	4.0
(5) PFT 766		1.3	1.0	1.0	1.0	- <sup>1)</sup>	2.0	3.0	3.0	3.3

1) 収穫皆無で測定せず。 2) 収穫量少なく測定せず。

3) 品質指数は粒張り, 粒大, 光沢の良否により, 5:最上, 3:並, 1:最下。

以上の結果より, 子実収量は一般に播種期が1月から3月へ向けておそくなる程多収となる。BH1146はどの播種期でも2 t/ha前後が得られて環境適応性が広いと思われ, BR 8とライ小麦のPFT766は播種日がおそい程, 增收効果が著しくP 9で2.1~2.3 t/haを得た。

千粒重, ヘクトリットル重もP 1よりP 9へ向けて増加し, 登熟期における子実の形成が子実収量の増加に貢献していることを示した。

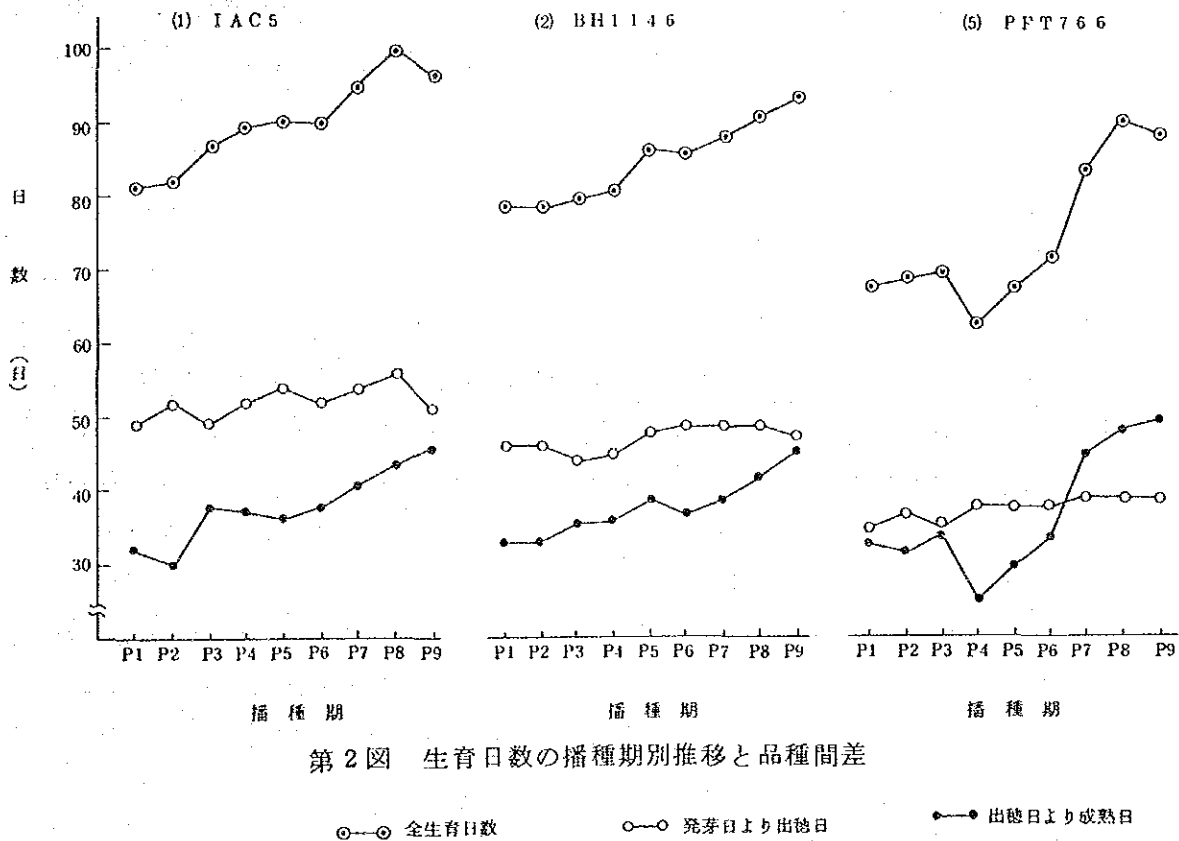
## 2. 子実収量に影響する内的要因

### 1) 生育日数

第2図に生育日数を全生育日数と発芽より出穂日迄, 出穂より成熟日迄に分けて示した。

取り上げた品種は前節で示した子実収量の播種期別推移の異なる2タイプの品種 (IAC5と

BH1146) とライ小麦である。生育日数は温度、日長条件の著しく不適當でない範囲では、長い程子実収量の増加に貢献すると考えられるが、同図によると全生育日数は各品種・系統とも P 1 より P 9 に向けて増加した。平均すると P 1 での生育日数は 74 日、P 9 で 95 日で、P 1 に比べて P 9 で 21 日増加した。これを発芽より出穂日迄と出穂日より成熟日迄に分けると、一般に前者は増加が少なく P 1 から P 9 で 3 日の増加にすぎないが、後者は 14 日の増加であった。これは前節で示した子実収量の播種期別増加が登熟期の子実の充実の向上によることによつて裏付けられる。なおライ小麦 PFT766 は発芽より出穂迄日数が他の 4 品種より 11 日も短かく、一方、出穂より成熟迄日数は他と同程度でその分、成熟期が早かった。このように出穂より成熟迄日数はどの品種・系統もほぼ同じで、発芽より出穂迄日数に品種間差があり成熟期の早晩に影響した。なお、PFT766 の生育日数が P 4、P 5 で落ち込んだのは斑点病によるものと思われる。

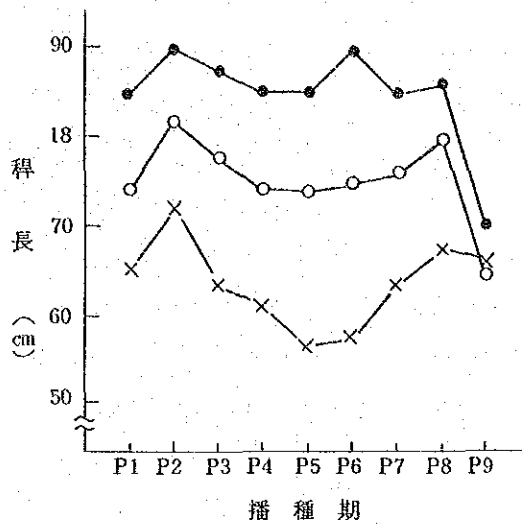


第 2 図 生育日数の播種期別推移と品種間差

○—○ 全生育日数      ○—○ 発芽日より出穂日      ●—● 出穂日より成熟日

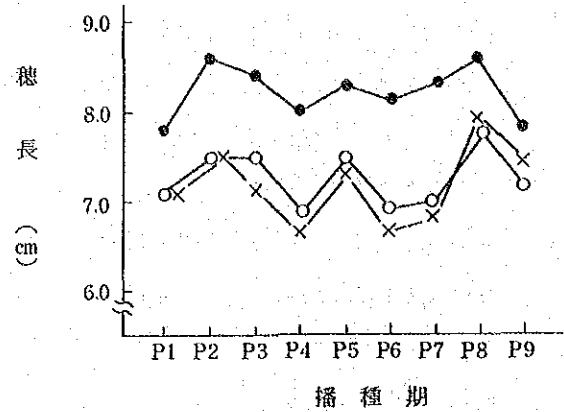
## 2) 稈長、穂長

第 3 図と第 4 図に稈長と穂長の播種期別推移を示した。両形質とも P 1 から P 9 に移動するにつれて増加することはなかった。これは発芽から出穂迄日数の増加が僅少であったことによつて栄養生長の増加がなかったことを裏付ける。同形質とも中だるみの傾向にあるのは斑点病による影響と思われる。



第3図 稈長の播種期別推移

●—● IAC5 ○—○ BH1146 ×—× PFT766



第4図 穂長の播種期別推移

●—● IAC5 ○—○ BH1146 ×—× PFT766

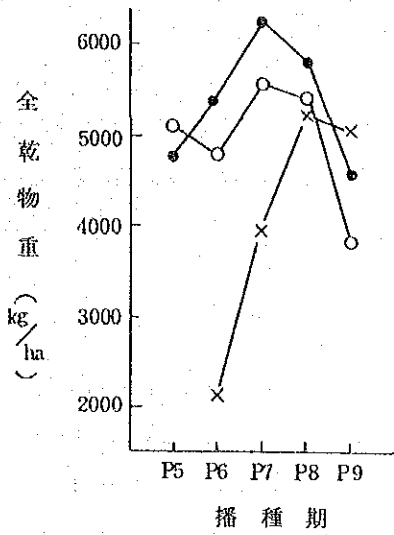
### 3) 全乾物重, 収穫指数

第5図と第6図に全乾物重と収穫指数(全乾物重に対する子実収量の比)を示した。P4までは調査しなかったし、PFT766のP5は子実収量が皆無だったので調査できなかった。全乾物重はP5からP7またはP8にかけて増加した。P9は稈長、穂長の低下にも示されたように原因は明らかでないが低下した。P5からP7またはP8への増加は、その間の稈長及び穂長が増加しなかったことから判るように子実形質の増加によることが大きく、そのことはこの間の収穫指数が増加していることによって示されている。

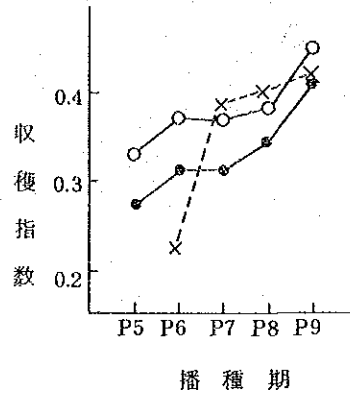
以上の結果は、全生育日数がP1からP9への移動につれて増加し、それが子実収量の増加に関係していることを示唆したが、この増加は出穂から成熟日迄日数の増加によるところが大きく、従って子実収量の増加は稈長、穂長等の植物体の大型化によってもたらされたのではなく、登熟期の子実形質の充実によることを示した。

### 3. 子実収量に影響する外的要因

気象的外的要因として、日長時間、気温、日射量及び水分条件があるが、水分条件は試験方法の章で述べたように無降水日や降水の少ない日が続いた時は灌水を行ったので子実収量へ影響する条件とはならなかった。また日射量は他の条件が満たされている時は多い程、子実収量に好影響を与えると云われるが(武田 1981)<sup>1)</sup>、生育期間中の日射量は附表2に示したように子実収量と特に相関するデータを示さなかった。



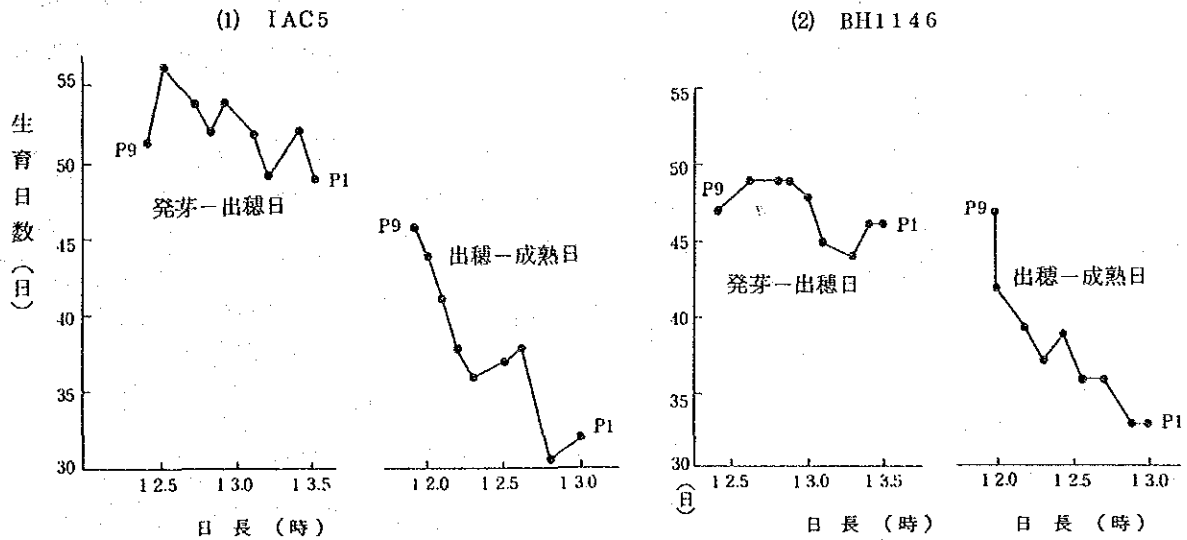
第5図 全乾物重の播種期別推移



第6図 収穫指数の播種期別推移

●● IAC5 ○○ BH1146  
×× PFT766

●● IAC5 ○○ BH1146  
×---× PFT766



第7図 生育期間平均日長と生育日数との関係

1) 日長時間

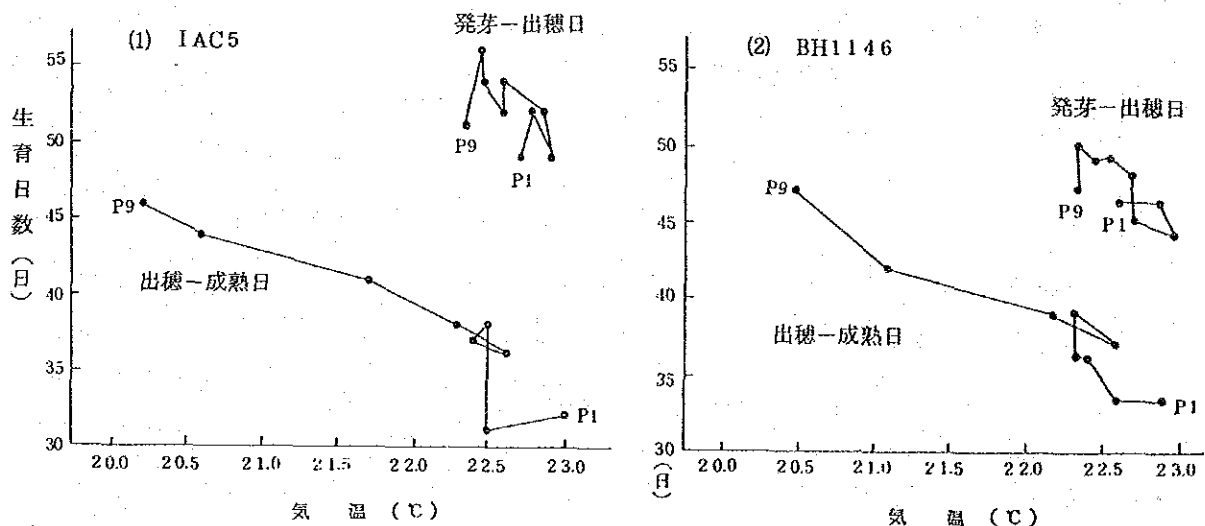
第7図と第8図に日長時間と気温の成績を、子実収量と関係深い生育日数との関係で示した。両図には IAC5 とBH1146の成績をのせ、ライ小麦PFT766の成績は第18図と第19図で説明する。一般に5品種・系統ともよく似た傾向を示した。P1からP9の生育期間は1月4日より7月6日までで、その間の日長時間は附表1に示すように約13時間42分から11時間55分に1時間45分短日化へ向っている。第7図で各播種期の生育期間平均日長時間(生育期間の

日長合計時間を生育日数で除した値)と生育日数との関係を見ると、発芽より出穂日迄は一般に短日に向う程、生育日数が増加する傾向がみられるが播種期別変動が大きくてははっきりしなかった。一方、出穂より成熟日迄日数については短日化による生育日数の増加が著しく、この期間の生育日数がP1よりP9に向けて増加したのは短日化によることが大きいことを示した。

## 2) 平均気温

同様の方法で第8図に生育期平均気温(生育期間の日平均気温の合計を生育日数で除した値)と生育日数との関係を見ると、発芽から出穂日迄は気温の変異幅が小さいことにもよるが両者の関係がはっきりせず、一方、出穂から成熟日迄は気温の低下に伴って生育日数はほぼ一次直線的に増加した。しかし例えばIAC5についてみるとP1よりP6にかけては生育期間平均気温が僅か0.7℃の低下に過ぎないが、P6よりP9にかけては2.1℃も低下したにも拘らずその間の生育日数は急激に増加することなく直線関係を保っていた。これは生育日数の増加は気温よりも先に述べた短日化による効率が低いことを示唆するものと思われる。しかしこの間に、気温は2.1℃も低下しており、効果の点では気温の方が生育日数の増加に大きな影響を与えたものと思われる。

以上の結果はP1からP9への出穂より成熟日迄日数の著しい増加はその期間の短日化と低温化によるもので、特に後者の影響が大きくそれが登熟期の子実の充実を促進し子実収量を増加させたことを示した。



第8図 生育期間平均気温と生育日数との関係

#### 4. 諸障害

##### 1) 斑点病 (Helminthosporium sativum)

P1の播種(1月4日)後、1ヶ月目より斑点病の発生が認められ、3月下旬にピークに達した。その後、4月中旬より激減し、P7、P8はすでに発生していた斑点も減少した如くみられ、P9は発生しなかった。斑点病の発生は気温が20℃以上で増加すると云われるが、発生していた期間の平均気温は22~23℃であった。激減し始めたのは乾期の始まりと一致した。発生し始めてから4月18日までマンネブ剤又はプロピコナゾル剤を7~10日間隔で散布し、3月からは銹病類の防止のためにトリアジメホン剤を併用した。しかし蔓延を防ぐことは出来なかった。雨期のため病害管理作業の効率は悪かった。第10表に茎葉の罹病状況を示した。

第10表 斑点病 (Helminthosporium sativum) の葉部の罹病程度 (指数) 1)

播種期 品種	P1*	P2*	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
(4) BK 9	1	2	8	6	3	3	2	1	0
(1) IAC 5	1	3	9	6	3	3	2	1	0
(2) BH 1146	2	3	10	7	4	3	2	1	0
(3) BR 8	2	4	10	8	6	4	2	1	0
(5) PFT 766	2	4	10	10	9	7	4	2	1

1) 指数 1: 下葉に僅かに病斑が認められる。

10: 茎葉、穂のすべてに罹病し、葉部は枯死している。

\* P1, P2は3月19日~30日の調査結果, P3~P9は4月12日の調査結果。

第11表 斑点病 (Helminthosporium sativum) の粒の罹病程度 (指数) 1)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
(4) BR 9	1	2	1	2	1	1	0	0	0
(1) IAC 5	1	2	2	2	2	1	1	0	0
(2) BH 1146	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(3) BR 8	0	1	1	1	1	1	0	0	0
(5) PFT 766	2	2	1	2	-	2	2	0	0

1) 指数 0: 無, 1: 微, 2: 少, 3: 中, 4: 多, 5: 極多。

第12表 斑点病 (Helminthosporium sativum) の根の罹病程度 (%)

品種	P7
(4) BR 9	4.0%
(2) BH 1146	4.3
(1) IAC 5	5.8
(3) BR 8	7.8
(5) PFT 766	17.8

播種期がP7の区でのみ調査

同表に示すように、P 1 から発生が認められ罹病程度が急速に激しくなり P 3（生育期 1 月 25 日～ 4 月下旬）及び P 4 で最も激しく、その後、漸次減少した。罹病程度の推移は子実収量の減少の推移と一致し、子実収量の項で述べたように子実収量に大きな影響を与えた（第 5 表）。品種別では PFT766 が最も罹病性で、その他程度の差はあるが抵抗性の強いものはなかった。第 11 表に示すように子実にも罹病しており、減収ばかりでなく子実の品質の低下、次代の種子伝染の可能性を示した。品種間で、理由はよく判らないが茎葉への罹病程度と傾向が一致せず、BH1146 は茎葉にかなり罹病したに拘らず種子には罹病せず、子実収量の減収も少なかった（第 5 表）。第 12 表に根への罹病程度を示したが、茎葉への罹病程度と傾向が一致した。

## 2) 倒伏

降雨による倒伏が雨期栽培の重要な障害であることを示した。第 13 表にその結果を示した。P 1 及び P 2 では全品種・系統が倒伏し、BR 8 は特に弱稈で P 7 まで倒伏が続いた。子実収量への影響があったと思われる。

第 13 表 茎部の倒伏程度

播種期 品種	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
(5) PFT 766	*	***							
(4) BR 9	**	**							
(1) IAC 5	**	*	*						
(2) BH 1146	**	**	**						
(3) BR 8	***	***	**	***	**	*	*		

\* 茎部が傾いた程度, \*\* 部分的に倒伏, \*\*\* 完全に倒伏。

その他、病害ではふ枯病 (*Septoria nodorum*) の菌が検出され、P 8 及び P 9 で赤銹病 (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*) が軽度認められたが子実収量への影響はなかった。孫工(1984)<sup>17</sup>によるとセラードの小麦の主要病害として 11 種記載され、そのうち重要度の高いものを 6 種あげられている。現在育種の対象として取り上げられている病害は斑点病、赤銹病、黒銹病、うどんこ病、赤かび病（これは孫工 1984<sup>17</sup>に記載されていない）であり、このうち雨期の無灌水栽培で最重要なのは斑点病であるが、本試験でも斑点病が唯一の重要病害であった。



## B. 乾季の灌水栽培試験

播種は3月10日より6月4日まで約10日間隔で9回行った。以下は標準施肥量栽培下の試験である。

### 1. 子実収量及び品質

#### 1) 子実収量

第14表に子実収量を品種別、播種期別に示した。( )内の数値は、現在奨励されている播種期が4月10日から5月下旬であることからP14(5月25日播種)を標準とした比率である。

第14表 子実収量の播種期別推移と品種間差 (t/ha)

( )内はP14を標準とした比率。

播種期 (月日)	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
	20/III	27/III	4/IV	13/IV	25/IV	3/V	14/V	24/V	4/VI
(6) ANAHUAC	1.29 (32)	2.20 (55)	3.08 (77)	3.88 (97)	3.97 (100)	3.12 (78)	3.89 (98)	4.02 (101)	3.90 (98)
(7) BR 10	1.81 (42)	1.97 (45)	2.70 (62)	3.30 (76)	4.29 (100)	3.93 (91)	3.70 (86)	4.29 (100)	4.19 (97)
(8) PF78547	2.40 (57)	2.38 (56)	3.04 (72)	3.29 (78)	4.21 (100)	4.14 (98)	4.93 (117)	5.23 (124)	4.66 (110)
(9) PFT 766 (ライ小麦)	1.01 (27)	1.99 (54)	2.57 (70)	3.43 (93)	3.66 (100)	4.98 (136)	5.48 (149)	5.38 (147)	5.39 (147)
(10) PFC 7802 (二条大麦)	1.89 (39)	2.13 (44)	3.83 (79)	4.57 (95)	4.80 (100)	4.78 (99)	5.65 (117)	5.11 (106)	5.18 (107)

第15表 子実収量の分散分析表

変 動 因	自 由 度	平均平方	F 値
反 復 (A)	2	0.1457	0.81
播 種 期 (B)	8	19,7681	109.82**
誤 差 (A×B)	16	0.1799	
品 種 (C)	4	3.5686	19.53**
品種×播種期 (B×C)	32	0.7184	3.93**
誤 差 (A×B×C)	72	0.1827	

\*\* 1%水準で有意。 \* 5%水準で有意。

分散分析の結果、子実収量は品種別、播種期別及びそれらの交互作用で高い統計的有意差を示した(第15表)。第14表によると、子実収量は各品種・系統ともP10よりP14までは播種期が移動するにつれて著しく増加した。その間の増加率は低い品種で43%から高い品種で73%に達した。その後、2つのグループに分れ、ANAHUACとBR10はP14を最高として4t/ha前後で頭打ちとなった。PF79547、ライ小麦のPFT766及び二条大麦のPFC7802は更に増加を続けP16で最高となり、5.2t/haから5.5t/haに達して頭打ちとなった。P15でANAHUAC、PF79547及びPFC7802が落ち込んだのは、播種直後の灌水の際に灌漑水が溢れて一部の区の種子を流したためと思われる。第16表に品種をこみにした子実収量の播種期別推移を示した。同表によると、上記の事情がよく示されており、P10よりP14までは著しく増加し、P16~P18の間では大差なかった。これらの点より播種適期はP14以降であることが予想される。品種別にみると、第17表に播種期をこみにした品種・系統間の差を示したが、前述のP14で最高となりその後頭打ちとなったANAHUAC及びBR10は子実収量が低かった。一方、P16で最高となりその後頭打ちとなった他の3品種・系統は高い子実収量を示し、殊に二条大麦のPFC7802とライ小麦のPFT766は播種期がおそくなると増加率が著しく、最高5.5t/ha前後となって多収性を示した。この播種期別推移の品種による差が播種期と品種の交互作用を統計的に有意とした。

第16表 品種をこみにした子実収量の播種期間順位

品 種	子実収量 (t/ha)	順 位 <sup>1)</sup>
P17	4.80	a
P16	4.73	a
P18	4.66	a
P14	4.18	b
P15	4.07	b
P13	3.60	c
P12	3.04	d
P11	2.13	e
P10	1.68	f

1) Duncanの多重検定による群別  
5%水準で有意。

第17表 播種期をこみにした子実収量の品種間順位

品 種	子実収量 (t/ha)	順 位 <sup>1)</sup>
(10) PFC7802	4.16	a
(9) PFT 766	3.77	b
(8) PF79547	3.74	b
(7) BR 10	3.35	c
(6) ANAHUAC	3.26	c

1) Duncanの多重検定による群別  
5%水準で有意。

## 2) 子実の品質

第18表に子実の品質に関する形質として千粒重、ヘクトリットル重及び子実の外観品質を

示した。千粒重とヘクトリットル重はP14を播種期の標準としてそれに対する比率で示した。

第18表 子実の品質

千粒重 (P14を標準とした比で示す)

播種期 品 種	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
(6) ANAHUAC	77	86	83	94	100(39.8g)	96	89	93	90
(7) BR 10	77	85	85	92	100(47.8g)	96	98	96	91
(8) PF79547	84	84	90	96	100(44.9g)	88	93	90	87
(9) PFT 766	61	70	73	88	100(38.8g)	90	94	93	88
(10) PFC7802	90	85	82	97	100(48.2g)	96	96	93	93

ヘクトリットル重 (P14を標準とした比で示す)

(6) ANAHUAC	100	100	101	100	100(84.8g)	96	86	94	96
(7) BR 10	99	96	100	99	100(82.4g)	97	92	95	95
(8) PF79547	102	101	101	100	100(82.0g)	98	98	97	98
(9) PFT 766	93	98	97	104	100(74.6g)	97	98	93	96
(10) PFC 7802	96	93	95	96	100(68.8g)	93	95	93	92

外観品質 (指数で示す) 1)

(6) ANAHUAC	4.7	4.7	4.3	4.5	4.3	4.3	4.0	4.0	4.7
(7) BR 10	5.0	5.0	5.0	4.7	5.0	4.7	4.0	5.0	4.3
(8) PF79547	5.0	4.7	4.7	4.7	5.0	4.7	4.7	5.0	4.7
(9) PFT 766	3.3	3.5	3.2	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
(10) PFC 7802	5.0	4.0	4.7	4.0	5.0	5.0	5.0	4.3	4.0

1) 指数は粒張り、粒大、光沢の良否により、5:最上、3:並、1:最下。

千粒重はP10からP18に移動するに従って全品種・系統とも一様に増加するが、P14を最高としてそのやゝ低下して頭打ちとなりP18で更に低下した。このようにP14までは子実収量の増加に貢献しその後増加しないことを示した。品種別にみると、各品種・系統とも40g近くかそれ以上の高い値で良好であり、BR10は特に大粒であった。PFC7802は皮麦なので皮の分だけ高くなるが子実も大粒であった。ヘクトリットル重はP10からP14までは変化なく、P15からP18では千粒重同様にやゝ低下した。PFT766以外は80g以上を示して品質良好であった。PFT766のみは75gで他より低く、子実の充実が不充分であることを示した。子実の外観品質はPFT766以外はどの播種期でも極めて良好で最高に近かった。PFT766のみは並の品質であった。

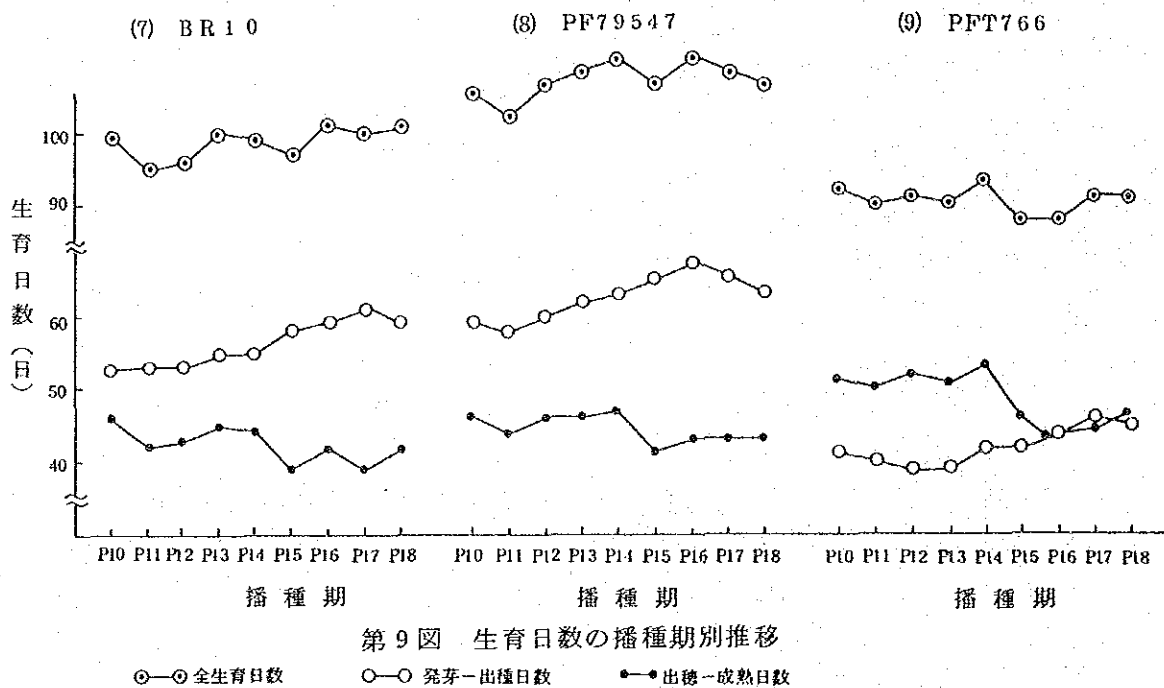
以上の結果より、子実収量は播種期がP10よりP18(3月20日より6月4日)に移動する

につれて著しく増加し、P14(4月25日)で最高4t/ha前後となる品種と、P16(5月14日)で最高5.2~5.5t/haとなる品種・系統に分れ後者が多収であった。後者には二条小麦、ライ小麦が含まれた。千粒重もP10からP14にかけて増加し、その後頭打ちとなった。ヘクトリットル重と子実の外観品質はライ小麦のPFT766を除くと各播種期とも品質良好であった。PFT766は多収にも拘らず子実の充実がやゝ不十分であった。

## 2. 子実収量に影響する内的要因

### 1) 生育日数

第9図に、前節でのべた子実収量の播種期別推移の異なるグループより2品種・系統(BR10, PF79547)とライ小麦PFT766を選んで生育日数の播種期別推移を示した。



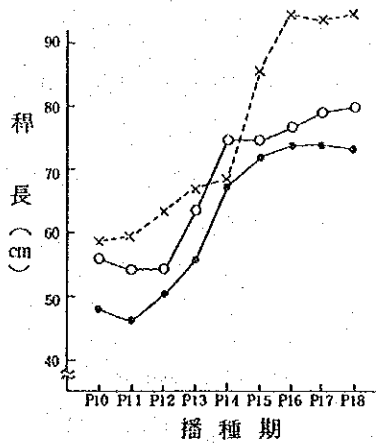
第9図 生育日数の播種期別推移

○—○ 全生育日数      ○—○ 発芽-出穂日数      ●—● 出穂-成熟日数

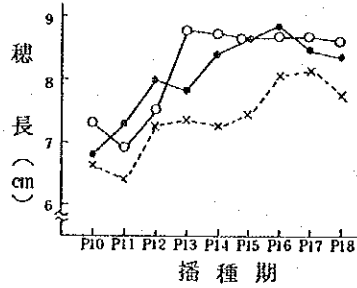
同図によると全生育日数はP10からP18への移動に従って殆んど変化がなく、無灌水栽培期間のように増加することはなかった。これはこの期間では品種の持つ生育所要日数が最高に達していることを示す。BR10は100日弱であり、PF79547は107日、PFT766は91日であった。しかし全生育期間を発芽より出穂日迄と出穂より成熟日迄に分けると、前者はP10からP18に移動するに従って漸次、5~7日増加した。一方、後者は増加することなく、P15からは急に5~6日減少した。これらは後述するように日長、気温条件によるもので、その合計として全生育日数が一定となったのである。生育日数の面より、最も生育日数の長いこれらの播種期間の中に最適播種期のあることが示唆される。ライ小麦PFT766は生育日数が91日で他より10日から2週間早熟であるが、これは無灌水栽培期間の場合と同様に発芽より出穂日迄日数が短いためである。

2) 稈長, 穂長, 穂数

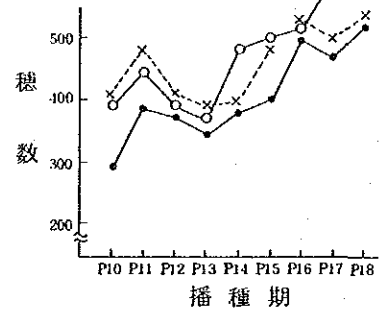
第10~12図に稈長, 穂長及び穂数の播種期別推移を示したが, いずれもP10から18へ移動するに従って増加し, はゞP14またはP16で最高となり, 子実収量の増加と同じ傾向であった。これらの形質は登熟期以前に形成される形質であり, 発芽より出穂日迄日数がP10よりP18に向って増加したことで裏づけられるように, 栄養生長期間の植物体の増加が子実収量の増加に貢献したことが示された。



第10図 稈長の播種期別推移



第11図 穂長の播種期別推移

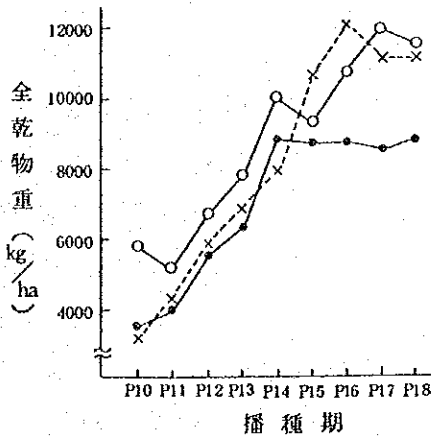


第12図 穂数の播種期別推移

●—● BR10 ○—○ PF79547 x—x PFT766 ●—● BR10 ○—○ PF79547 x—x PFT766 ●—● BR10 ○—○ PF79547 x—x PFT766

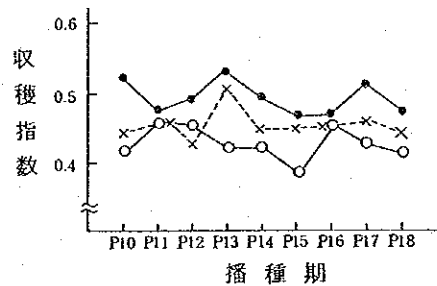
3) 全乾物重, 収穫指数

第13図と第14図に全乾物重と収穫指数の播種期別推移を示したが, 全乾物重の推移は子実収量のそれと全く同じ傾向であり, 収穫指数は0.4~0.5で各播種期とも粒重と茎葉重とのバランスが一定して良好であることを示した。



第13図 全乾物重の播種期別推移

●—● BR10 ○—○ PF79547 x—x PFT766



第14図 収穫指数の播種期別推移

●—● BR10 ○—○ PF79547 x—x PFT766

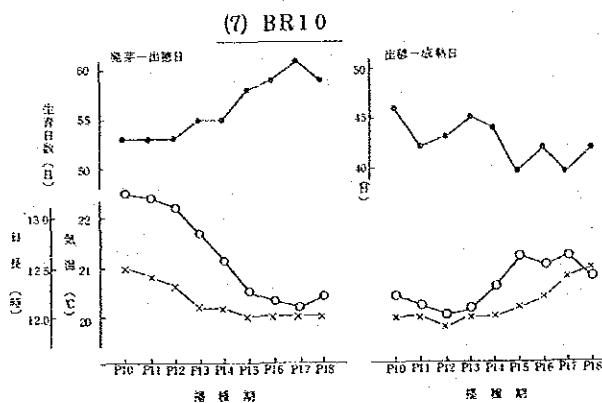
以上の結果より, P10からP18の各播種期の生育日数は本試験の条件下で最長となり, 品

種・系統により90日から107日であった。これを発芽より出穂日迄と出穂より成熟日迄に分けると、後者はP10よりP14まではほぼ一定でその後低下したのに対し、前者はP10よりP18へ増加し、それが稈長、穂長及び穂数の栄養生長期の植物体の増加を促進し子実収量を増加させた。

### 3. 子実収量に影響する外的要因

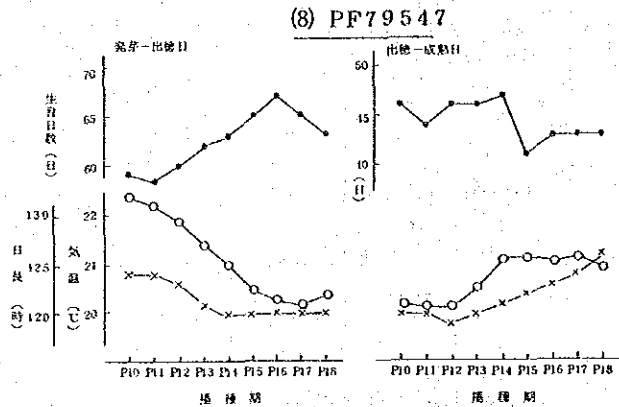
#### 1) 日長時間及び平均気温

第15図と第16図に各播種期別の生育期間平均日長及び生育期間平均気温の推移を生育日数との関係で示した。生育期間を発芽より出穂日迄と出穂より成熟日迄に分けて示した。第15図にはBR10、第16図にはPF79547の成績を示した。PFT766は第18図と第19図に示したが、各品種・系統ともよく似た傾向であった。



第15図 生育期間平均日長及び気温と生育日数との関係(1)

●-● 生育日数 ○-○ 気温 x-x 日長



第16図 生育期間平均日長及び気温と生育日数との関係(2)

●-● 生育日数 ○-○ 気温 x-x 日長

一般に生育日数は日長時間、気温と負の関係で密接に関連していた。まず発芽より出穂日迄についてみると、この期間の気温、日長時間はP10からP18に移動するに従って低下し、気温はP17で約20℃で最低となりP18から上昇に向った。また日長時間はP15あたりで12時間で最短となりP18までその状態が続いた。その結果、生育日数は負の関係で増加を続け、P16かP18から減少に転じた。減少に転じたのは気温の上昇によると思われる。これらの結果が栄養生期間の植物体の増加、子実収量の増加に影響を与えたと思われることは前述した通りである。出穂より成熟日迄日数についてみると、気温、日長時間ともに最低、最短の状態よりP13あたりから上昇に向い、特に気温はP15あたりより約1℃上昇した。そのために生育日数は5日以上短くなった。前節でのべた出穂より成熟日迄日数がP15より急激に低下したのはこのような気温と日長時間、特に気温の上昇によるもので、そのことがP15以降の千粒重及びヘクトリットル重を低下させ(第18表)、子実収量を頭打ちにした(第14表)原因と思われる。このように登熟期間の高温は子実の充実に敏感に影響し、通常、8月以降は急速に気温が上昇するので(附図1)、播種適期の晩限を規制する要因となると思われる。

以上の結果より、灌水栽培期間も気温、日長時間は生育日数と負の関係で密接に関連しておりそれが子実収量に影響した。しかしこの期間は気温、日長時間が最低、最短の最も条件のよい期間を含んでいる。子実収量がP14又はP16で最高となりその後頭打ちとなったのは、発芽より出穂日迄日数は増加を続けたものの、出穂より成熟日迄日数が気温、日長時間の高温化、長日化へ転じたことにより、特に気温の上昇により子実の充実が不良となり子実収量を抑えたためと思われた。

#### 4. 多肥栽培による増肥効果

以下は多肥栽培による試験成績である。肥料量は基肥、追肥とも標準肥の2倍量を与えた。

##### 1) 子実収量

第19表に子実収量の成績を実数と( )内に標準肥栽培に対する比率で示した。

第19表 多肥栽培における子実収量の標準肥栽培との比較 (t/ha)

( )内は標準肥栽培に対する比を示す。

播種期 (月日)	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	平均
	20/III	27/III	4/IV	13/IV	25/IV	3/V	14/V	24/V	4/VI	
(6) ANAHUAC	1.99 (155)	2.40 (110)	3.90 (127)	4.69 (121)	5.82 (147)	4.91 (158)	4.83 (124)	4.47 (111)	4.60 (118)	4.18 (130)
(7) BR 10	1.99 (110)	2.32 (118)	3.60 (134)	4.02 (122)	5.03 (117)	4.71 (120)	4.75 (128)	5.53 (129)	5.16 (123)	4.12 (122)
(8) PF79547	2.69 (112)	3.67 (154)	3.78 (124)	4.62 (140)	5.04 (120)	4.39 (106)	5.18 (105)	4.36 (83)	3.54 (76)	4.14 (113)
(9) PFT 766 (ライ小麦)	1.72 (170)	2.00 (101)	3.13 (122)	4.10 (120)	4.79 (131)	5.24 (105)	6.99 (128)	6.18 (115)	5.82 (108)	4.44 (122)
(10) PFC 7802 (二条大麦)	2.94 (156)	2.77 (130)	4.05 (106)	4.49 (98)	4.53 (94)	5.59 (117)	6.40 (113)	5.62 (110)	4.37 (85)	4.53 (112)

第20表 子実収量の分散分析表 (F値で示す)

変動因	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
品 種 間	15.1 <sup>**</sup>	8.9 <sup>**</sup>	5.1 <sup>**</sup>	2.9 <sup>*</sup>	1.6	6.5 <sup>**</sup>	24.7 <sup>**</sup>	21.9 <sup>**</sup>	9.3 <sup>**</sup>
肥料水準間	3.43	2.2	2.8	5.3 <sup>+</sup>	11.4 <sup>+</sup>	7.1 <sup>+</sup>	21.1 <sup>*</sup>	6.9 <sup>+</sup>	0
品種 × 肥料	1.9	3.5 <sup>*</sup>	0.6	1.0	4.0 <sup>*</sup>	1.5	1.5	9.0 <sup>**</sup>	5.8 <sup>**</sup>

\*\* 1%水準で有意, \* 5%水準で有意, + 20%水準で有意。

一般に各品種、播種期とも増収が認められ、播種期別を平均すると品種・系統により12～30%の増収であった。しかし分散分析の結果を第20表に示すように、肥料水準間で統計的有意差は高い水準では認められなかった。これは誤差要因となる肥料・反復要因の自由度が僅か2で誤差分散が大きく、有意差が出にくかった為であるが、平均値では殆んど全ての区が増収しており、圃場での立毛の様子も多肥区が明らかに勝っていたので増収効果があったとして検討を進める。

播種期別推移をみると標準肥の場合と同様にP14でピークに達する群とP16でピークとなる群があった。前者は小麦3品種・系統で、後者は二条大麦とライ小麦であった。後者はピーク後、子実収量が低下した。これは茎葉の過繁茂で収穫指数が低下した為で(第25表)、肥料水準が多すぎるか栽植密度を変える必要のあることを示した。品種間で増肥効果をみると、ANAHUACが標準肥では子実収量が最下位であったが第3位となって統計的有意に1ランク上り、増収効果の高いことが示された。また小麦品種・系統は最高5t/ha以上となり、二条大麦、ライ小麦はそれぞれ6.4～7t/haとなり、標準肥に比べて1～1.5t/ha増収した。

## 2) 子実品質

第21表に千粒重とヘクトリットル重の成績を標準肥栽培に対する比率で示した。両形質とも、またデータを示していないが外観品質も、標準肥栽培と同様に極めて良好であった。たゞライ小麦PFT766は子実の充実が不十分であった。標準肥に比べて千粒重は高い値となり、増収に貢献した。ヘクトリットル重は変らなかった。

第21表 子実の品質

千粒重の標準肥栽培との比較(数値は標準肥栽培に対する比)										
播種期 品 種	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	平均 (実数, 9)
(6) ANAHUAC	103	108	108	109	106	99	105	95	94	(36.9)103
(7) BR 10	106	104	90	111	101	105	102	99	99	(44.5)102
(8) PF 79547	102	107	102	103	104	107	100	88	82	(40.5) 99
(9) PFT 766	95	92	108	106	97	108	104	99	97	(33.2)102
(10) PFC 7802	105	108	121	104	105	106	103	102	103	(47.5)106

ヘクトリットル重の標準肥栽培との比較(数値は標準肥栽培に対する比)										
播種期 品 種	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	平均 (実数, 9)
(6) ANAHUAC	100	100	100	99	101	104	106	101	100	(83.0)101
(7) BR 10	101	100	100	101	98	100	102	100	100	(89.4)100
(8) PF 79547	99	101	101	101	100	98	100	98	93	(81.2) 99
(9) PFT 766	98	95	101	98	104	102	102	100	98	(72.9)100
(10) PFC 7802	100	101	104	102	95	102	100	105	99	(66.0)101



第22表 稈長（数値は標準肥栽培に対する比を示す）

品 種	播種期										平 均 (実数, cm)
	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18		
(7) BR 10	113	118	111	122	106	111	108	107	106		(76.2)111
(8) PF 79547	109	116	113	120	108	114	106	104	103		(74.9)110
(9) PFT 766	113	115	102	110	110	107	100	108	102		(81.9)107

第23表 穂長（数値は標準肥栽培に対する比を示す）

品 種	播種期										平 均 (実数, cm)
	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18		
(7) BR 10	115	103	106	114	120	103	106	108	107		(8.9)109
(8) PF 79547	97	120	105	106	107	105	103	107	104		(8.6)106
(9) PFT 766	112	122	104	108	118	109	96	100	103		(7.8)108

第24表 茎数（数値は標準肥栽培に対する比を示す）

品 種	播種期										平 均 (実数, 本)
	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18		
(7) BR 10	100	110	108	147	118	113	92	127	119		(466) 115
(8) PF 79547	100	94	128	116	104	114	106	103	100		(511) 107
(9) PFT 766	90	79	115	129	118	104	119	126	120		(508) 111

第25表 収穫指数（数値は標準肥栽培に対する比を示す）

品 種	播種期										平 均 (実数)
	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18		
(7) BR 10	90	111	100	92	104	96	116	100	100		(0.49)101
(8) PF 79547	105	102	100	107	100	113	98	81	83		(0.42) 99
(9) PFT 766	110	87	107	92	87	91	100	88	90		(0.42) 95

3) 稈長, 穂長, 穂数及び収穫指数

第22表～第25表に各形質の成績を標準肥に対する比率で示した。稈長, 穂長及び穂数は標準肥に比べて増加し, 播種期をこみにすると6～15%の増加であった。このように多肥によ

る増収は植物体の大型化、多穂による影響も大きいことが示された。収穫指数は標準肥に比べて変化ない場合が多かったが、PF79547、PFT766及びPF7802の各系統はP17とP18で低下した。これは茎葉の過繁茂によるため、子実収量も低下し（第19表）、施肥過多によることを示した。

以上の結果より、2倍量の多肥栽培により増収効果は、統計的裏付けは低い、12~30%増加し、植物体の大型化、穂数の増加、千粒重の増加によるものであった。収穫指数は多くの場合標準肥と変わらないので肥料量が過多ということにはなかったが、PF79547、PFT766及びPFC7802はP17とP18で過多であるか栽植密度を考慮する必要があることを示した。

### 3) 諸障害

灌水栽培では無灌水栽培に比べて病害の発生が少なかった。5月上旬より8月にかけて銹病類、うどんこ病防除のためにトリアジメホン剤を4回散布した。第26表に示すようにうどんこ病 (*Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*) が小麦3品種・系統で中程度発生した他、赤銹病 (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*) が軽微発生し、二条大麦で裸黒穂病 (*Ustilago nuda* K. et S.) が各播種期で散見された。しかしこれらの子実収量への影響は軽微であった。

無灌水栽培で問題となった稈の軟弱による倒伏は乾期であること、品種が強稈性であることにより問題が少なかった。たゞライ小麦PFT766は長稈で稈が細くなびき型の上に多収なので成熟期に穂が乱れ一部倒伏した。PF79547と二条大麦のPFC7802は多肥栽培で穂が乱れ一部倒伏するものがあった。

第26表 うどんこ病 (*Erysiphe Graminis* f. sp. *tritici*) の播種期別発生状況 (指数) 1)

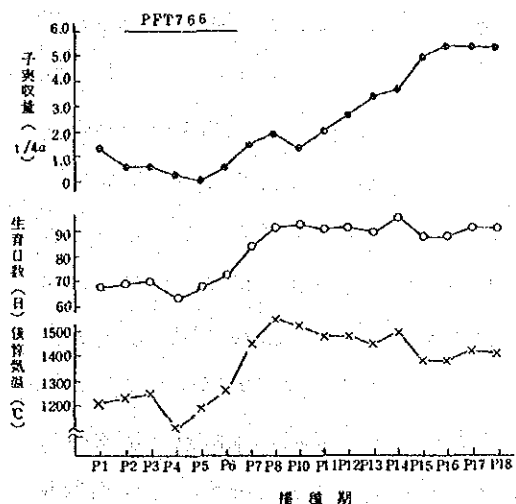
品 種	播種期									
	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	
(6) ANAHUAC	0	0.6	2.3	0	0	0	1.3	3.0	2.0	
(7) BR 10	0	2.7	3.3	0	0	1.3	2.3	3.0	2.0	
(8) PF 79547	0.3	1.0	3.3	0	0	0.8	2.0	2.3	2.0	
(9) PFT 766	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(10) PFC 7802	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

1) 指数 0:無, 1:微, 2:少, 3:中, 4:多, 5:甚

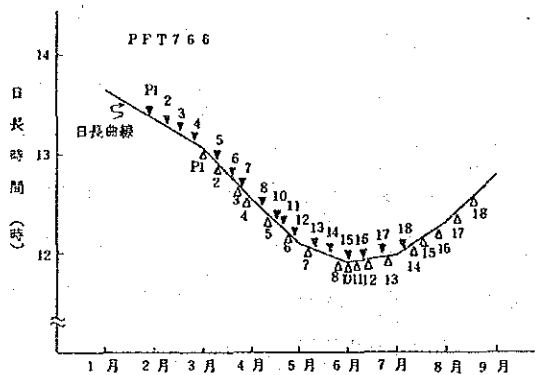
### III. 考 察

#### 1. 作期により子実収量へ影響する要因

本試験では無灌水及び灌水期間を通してPFT766を供試したので、同系統のP1からP18の播種期別推移に沿って検討を進めることにする。第17図は同系統の播種期別の子実収量、生育日数及び積算気温の変化を示したものである。なおP9はP11と作期が重複するので除いてある。また第18図と第19図は試験期間中の月別日長時間及び平均気温の推移曲線にP1からP18までの各作期の生育期間平均日長及び生育期間平均気温をプロットしたものである。上段の黒印は発芽より出穂日迄、下段の白印は出穂より成熟日迄を示している。

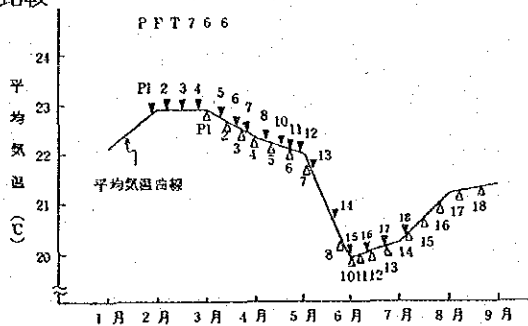


第17図 播種期別積算気温、生育日数及び子実収量の比較



第18図 播種期別生育期間平均日長の月別日長曲線へのプロット

▼ 発芽より出穂日迄    ▲ 出穂より成熟日迄



第19図 播種期別生育期間平均気温の月別平均気温曲線へのプロット

▼ 発芽より出穂日迄    ▲ 出穂より成熟日迄

第17図をみると、子実収量はP1よりP18に推移するにつれて（P2～P6は斑点病のために落ち込むが）増加の一途をたどり、P16で最高となりその後頭打ちとなった。他の品種・系統もほぼ同じ傾向で、P14で最高となるものとP16で最高となるものがあり、その後頭打ちとなった。このように、P1からP8の無灌水期間は生育日数及び子実収量が上昇へ向っている過程にあり、P10よりP18の灌水栽培期間は生育日数及び積算気温が最高に達し、子実収量も最高となる期間を含んでいる。これを第18図及び第19図で年間の日長、気温条件の変化との関係でみると、無灌水栽培期間（P1～P8）は日長条件が長日から短日へ向う過程にあり、気温は出穂迄期間

が22~23℃の高温下にあり、出穂期後は23℃から21℃へ低下しつつある過程にある。一方、灌水栽培期間（P10~P18）は日長時間及び気温が短日化、低温化へ向かい、最短日、最低温を経て長日化、高温化へ向う過程にある。このように日長と気温条件は子実収量の推移に密接に関連している。当地方の最短日、最低温は附図1、附表1のように約12時間と20℃と思われるが、当地方では長日、高温が子実収量への制限要因となっている。平野（1981）<sup>1</sup>によると、日本の小麦では多収穫の最適気温は17~18℃であると述べられており、20℃より低い。

以下で灌水栽培と無灌水栽培について子実収量の推移とそれに関連する要因の解析を行ない、播種適期を検討する。第17図に示すように、生育日数はP8で最長となりその後P18まで一定であった。最長の生育日数は品種・系統により91日より107日であった。このP8からP18まで長期にわたって生育日数が一定となったのは試験結果でのべたように、発芽より出穂日迄日数はP18に向けて5~7日増加したが、出穂より成熟日迄日数は増加することなく、P15より急に5~6日減少した結果、両者の合計として一定となったのである（第9図）。また生育日数が一定となった後も子実収量が増加しP14ないしP16で頭打ちとなったのは、すでに述べたように次の理由によると思われる。P10よりP18に向けて、発芽より出穂日の間の短日化、低温化により、栄養生長期の植物体の大型化、穂数の増加が促進され子実収量が増加した（第10~12図）。しかし一方で、出穂より成熟日迄期間は最短日、最低温期を過ぎて長日、高温へ向う時期であるために生育日数は増加せず、P15あたりより気温が急激に上昇したために5日以上、生育日数が短くなり（第15、16、18、19図）、その間の千粒重など登熟期の子実の充実が不充分となって子実収量の増加を抑え（第18表）、その結果、子実収量が頭打ちとなったものである。このように灌水栽培期間は最短日、最低温時期をはきんで前者に発芽より出穂日迄の期間があり、後者に出穂より成熟日迄の期間があるという関係の中で、播種日の移動により生育日数及び子実収量に変化している。そこで播種適期についてみると、早限は子実収量の成績（第14表）より生育日数100日程度の品種が最高収量となるP14（4月25日播）附近である。P14は出穂期がほぼ最短日、最低温の時期である（第18、19図）。晩限については次のようである。前述したようにP15以降より出穂より成熟日迄の期間の気温の上昇により子実の充実がはっきり低下したように、登熟期の気温の上昇による子実収量への影響は大きい。当地方は附図1に示すように8月上旬以降より気温が急に上昇するようである。この時期に登熟期がかかるのはP15以降であり、P18は出穂期以後がすべて8月上旬以降となる。子実収量が小麦3品種・系統でP18以降で低下したのは（第14表）登熟期の高温による影響が大きかったのであろうと思われる。第17、18図をみるとP18の出穂より成熟日迄は12.5時間に長日化しており気温も上昇している。従って播種適期の晩限はP17（5月24日播）附近である。

次に無灌水栽培期間について検討する。この期間は短日化、低温化へ向う途中にあり、子実収量は低いことは先に述べたが、従って播種期はおそい方がよい。しかし降水量分布の関係で強い制約をうける。次は無灌水栽培期間の日長、気温の影響について若干考察すると、P1から9へ

の子実収量の増加は、この間の出穂より成熟日迄の短日化及び低温化によって生育日数が増加し（第7, 8図）、その結果、子実の充実によってもたらされた（第9表）。興味あることは日長時間の影響が発芽より出穂日迄の期間では小さくなく、出穂より成熟日迄の期間で大きかったことである（第7, 8図）。日長時間は生殖生長への転換の早晚に関与するのが普通である。このように登熟期間の生育に影響を及ぼすことは大豆でも報告されており（丹波1983）<sup>11</sup>、大豆は小麦と違って短日作物なので、登熟期間の短日化による登熟日数の短化は子実の發育不充分を招いたと述べられている。このように日長反応が出穂前で小さく、登熟期間に大きく認められた事は更に検討する必要がある。

次節では日長、気温反応以外の自然的、経営的要因を加えた多収穫の最適作期について検討を加える。

## 2. 諸要因からみた最適作期

### 1) 無灌水栽培

現在、ブラジル中央高地（Brasilia D.F., Goias州の800m以上の高地）における無灌水小麦の奨励作期は1月15日より2月下旬までとされている（EMBRAPA-CPAC 1983）<sup>3</sup>。播種期決定のために行われた試験成績は公表されておらず入手出来なかったが、無灌水栽培の適期決定に考慮された条件は第一に降水量分布であり、第二に前作の早生大豆の収穫期との関係であると思われる。Brasiliaの降雨量は3月までは200mm台を維持し（しかし2月にはベラニコと称する小乾期があり、3月は雨期終期で不安定）、4月は極端に少くなり乾期に入る（附図2）。従って2月中旬播種とすると生育後半が4月に入り、登熟期は僅かの降水と土壤に残余した僅かの水分に頼らざるを得ない。更に多収穫という観点からみると、本試験で明らかとしたように水分供給の他に長日長時間、高温が制限要因となって高収量を望めない。子実の品質も低く、その他の阻害要因も多い。すなわち本試験では2月上旬より3月下旬まで大発生した斑点病の発生、2月に発生の多いベラニコ、播種期が雨期の最中のため降雨による土壤、作物管理の困難性、倒伏、および前作大豆を早生種にするための低収性などである。このように無灌水栽培に対する栽培諸条件はきびしいと云わざるを得ない。Silva, A. R. da等（1980）<sup>13</sup>は無灌水栽培による子実収量を500~2000kg/ha、平均1000kg/haと予想している。本試験でも2月24日播（P6）の小麦品種平均で1800kg/haを得た。CPACが各地で実施している近年の生産力試験（EMBRAPA-CPAC1982~1984）<sup>4</sup>も1000kg/ha前後である。1983年のセラード各州の子実収量をみるとMinas Gerais州1.62t/ha、Mato Grosso do Sul州1.0t/ha、Goias州とBrasilia D.F.は少面積だが2.0t/haである。従って現在の品種、技術下ではSilva, A. R. da等（1980）<sup>13</sup>の如く1.0~1.5t/haと予想される。

この収量が経営的にどのような位置を占めるかについてみる。セラードで農場経営調査を行なった堀内（1984）<sup>8</sup>の資料を参考にすると、1984年3月の小麦生産費は資材費、管理費、労働費を合せて1ha当り40万Cr（クルゼイロ）であり、1984年6月での予想販売価格はt当り204

ドルである。生産費を収穫後に支払うとしてその間の利息40%を加えると56万Crとなり、生産費に見合う収量は1.53t/haとなる。従って無灌水栽培は経営的にみてもきびしい状況である。無灌水栽培で高収性を制限する要因は水分供給の不安定と日長、気温条件及び病虫害である。従ってこれら要因の変化によってセラードでの高収量への可能性が異ってくる。そのことについては「5」項で考察する。また高収量のための技術改良で最も求められるのは適応性品種の育成であるが、それについては「4」項で考察する。

## 2) 灌水栽培

次に灌水栽培の奨励播種期はブラジル中央高地では4月10日より5月下旬とされている(EMBRAPA-CPAC1983)<sup>3</sup>。この適期の決定に考慮された条件は第一に高収性であると思われる。本試験の結果より提案した播種期は4月下旬より5月下旬なのでこの期間とは一致する。Silva, A. R. da等(1981)<sup>11</sup>でも3月6日、4月10日、5月15日の播種期で、後2者を高収量の播種期としている。Silva, A. R. da等(1980)<sup>13</sup>によると、灌水栽培は平均2500~3000kg/haが可能でRio Grande do Sul州の水田作のように安定しており安全であると述べられている。本試験では小麦品種・系統で4~5t/ha余の子実収量を得た。またCPACで実施している各地の生産力試験(EMBRAPA-CPAC1982~84)<sup>4</sup>では本試験と同じ3品種・系統の平均で3.34t/haであった。従って現在の品種、技術で3.5~4t/haの子実収量は可能であると思われる。更に他の要因を考えると、病害(赤錆病、黒錆病、うどんこ病等)の発生が無灌水栽培の斑点病より発生が少なく、これら病害に対しては耐病性品種の育成が可能である。また土壌、作物管理作業が雨期に比べて容易である。更に収穫物の子実の品質が極めて良好である。また夏作物の作期との間に時間的余裕があるので多収の晩生大豆及び他の生育期間の長い作物の作付が可能となる。また灌水施設を有することによって夏作物のペラニコ(小乾期)に対しても対応可能となる。最後に冬期間の土地、農機具、労力の活用が可能となりこれらの効率的利用ができる。

最大の問題点は灌水のための水資源と灌水に要する施設とその費用である。しかし、幸いにセラードにはバルゼア(低湿地)が存在し年間を通じて水源が得られる。またセラードの地形を代表する、バルゼアから100~150m高地のシャパーダ(高原平坦地)にも水源が存在し、CPACでセラードにおける水の動態の調査を行っている早坂(1985)<sup>8</sup>によるとシャパーダでは乾期も地下水位が比較的高く揚水が可能であると予想されている。堀内(1984)<sup>9</sup>の資料を参考にすると、灌水栽培による生産費増加は灌水費用と種子、肥料の増費合せて無灌水栽培の25%増となり、Silva, A. R. da等(1980)<sup>13</sup>によると10~25%増であると云われる。3~4t/haの子実収量が得られ、ば経営的に充分成り立つ数値である。しかし灌水栽培の普及には適切な灌水方法の確立、土地条件、水源、電力の普及等の制約をうける。

## 3. 品種について

### 1) 無灌水栽培用品種

無灌水栽培用品種は全て先祖がブラジル種、あるいはBR9のようにメキシコ種の血が入って

いるものもあるが、ブラジル国内で交配、育成されたものである（第2表）。これら品種の特徴は不良環境への適応性が強く、アルミニウム（Al）害耐性であるが、収量性が低く機械化適性（短強稈性）に劣っている。Camargo 等（1980）<sup>1</sup>によると高いAl害耐性を有する品種は草丈が高く倒伏し易く、低収であると云われる。無灌水栽培が低収量であった一因は品種の低収特性にもよると思われる。無灌水栽培期間というのは高温、長日長、生育後半の強い乾燥という不利な条件下であり、灌水栽培期間のような有利な条件下では生育過剰となるような条件下である。実際、無灌水用品種を灌水栽培期間に生育させた報告（Silva, A. R. da等1979）<sup>12</sup>では IAC 5 及びBH1146は約 4.3t/haの子実収量となったが、生育過剰となり倒伏している。

無灌水栽培用品種は、低収性、長弱稈という欠点がある以上、品種の改良が収量性を向上させる重要な一つの方向である。しかし上述した不良環境下で適性を有する特性を備えることは容易でない。改良の目標としては高温、長日長条件に鈍感で生育日数の長いこと、土壤の乾燥条件に対する耐性などがあげられる。GOTOH, T（1979）<sup>5</sup>によると、日長反応は地域間、品種間に変異が大きく、温度反応は敏感ではあるが品種間の差は小さいので、日長反応で地域適応性を規制しその後で温度反応性をつけると述べられている。また無灌水栽培にはAl害耐性が必要なので低収性、長・弱稈性とAl害耐性の関連を明らかにすることも必要である。

## 2) 灌水栽培用品種

灌水栽培に適する品種はメキシコ系が多く、これはAl害耐性を含めた不良環境下には弱いが、良い環境下で高収量となる。比較的短強稈で耐倒伏性も改良されている。ANAHUAC 及びBR10は 4 t/ha台が得られ、PF79547 は 5 t/ha余で高収量であった。二条大麦 PFC7802は最高5.65t/haを示し、ライ小麦、小麦に比べて有意に最高収量を示した（第14, 17表）。子実の品質も極良好で大粒である。Silva, A. R. da等（1982）<sup>10</sup>の成績によってもこの二条大麦は灌水栽培で5ヶ年間の検定の結果、IAC 5 より40%増収で品質がよく安定していると述べられている。従ってセラードの灌水栽培で有望であると思われる。

## 4. 多肥栽培について

化成肥料 4-30-16をCPACの標準量の2倍である1000kg/haを基肥とし、尿素 200kg/haを追肥として与えた。農家では基肥を 420kg/ha程度与えているようである。子実収量は各播種期こみで、品種・系統により12~30%増収した（第19表）。しかし増収の統計的信頼水準は低かった（第20表）。標肥区で最も低収だった ANAHUACが30%の最も増収効果を示した。増収効果は稈長、穂長などの植物体の大型化、穂数の増加、千粒重の増加によるもので（第21~24表）、収穫指数が標肥区に比べて低下しないので（第25表）、2倍肥が過多でなかったと思われる。しかし、PFC7802、PFT766及び PF79547はP 17、P 18で収穫指数が低下し、茎葉の繁茂、子実収量の低下、倒伏傾向が認められたので（第19, 25表）、2倍肥は過多である。

多肥の経済的効果を見ると、生産費の増加は肥料代のみなので、標準肥が 4.5t/haとすると、

0.8t/haの増収すなわち18%以上の増収があると利益が生ずることになる。従って2倍量増肥は慎重でなければならない。

#### 5. セラードにおける小麦栽培

本試験の結果をもとにセラードにおける小麦栽培の地域的可能性について若干の考察を試みる。セラードの小麦栽培の地域的可能性を制限する自然生態的条件は基本的には降水量の時期的分布、日長時間及び気温である。病虫害も勿論重要な要因であるが、前記3要因程、地域性を制限する要因ではない。この3要因で無灌水栽培は低収量とならざるを得ないことは今までに述べた。無灌水栽培のブラジル中央高地（南緯13°30′～24°、西経42°～54°、800m以上）における播種適期は1月15日より2月下旬とされているが、Brasilia D. F. より直線距離で約450km南のMinas Gerais州 Sao Gotardo市（南緯19°18′、西経46°）にはセラード開発の先進農場が在り、播種適期の晩限が3月15日までと半月間おそくともよい（EMBRAPA-CPAC1983）<sup>3</sup>。これはこの地域は雨期と乾期の境がはっきりせず、4月まで降雨が長引くためである。従って大豆との二毛作が比較的良好に実施され、小麦収量もコチア農協の資料によると開拓後年々増加し、77/78年 1.3 t/ha、78/79年 1.5t/haと水準は低いが増加している。一般的に云って、この緯度附近以南が降水の時期的分布が片寄らず、気温、日長条件も僅かながら好条件へ向い、無灌水栽培への可能性が増すのでないかと思われる。それ以北のMinas Gerais, Goias, Bahia, Mato Grosso 州及びD. F. は無灌水栽培がきびしい地域と思われる。セラード第2次開発の試験的開発予定地であるBahia 州（南緯12°～13°、西経44°～46°）及びMato Grosso 州（南緯12°27′～14°40′、西経55°15′～59°27′）についてみると、更に低緯度となり、調査報告書（1984）<sup>10</sup>によると、高温（D. F.より2～4℃高温）と冬期間の水分不足により不適とされている。将来、灌水施設が設置されるならば、小麦栽培の可能性は存在すると思われる。

### IV. 要 約

1. 本研究はセラードにおける小麦栽培の収量性の向上を計る為の栽培的条件とそれに関連する要因の解析を行ったものである。自然生態的観点より多収性のための最適作期の検討、及び栽培技術的観点よりセラード適応性品種の特性の検討、多肥栽培の効果の検討を行った。

播種期は無灌水栽培期間と灌水栽培期間に分け、前者では1月4日より3月26日まで約10日間隔で9回（P1よりP9）、後者では3月20日より6月4日まで約10日間隔で9回（P10よりP18）設けた。供試品種は無灌水及び灌水栽培用の現在の主要品種を中心に7品種・系統と、他にセラードへの導入が期待されているライ小麦及び二条大麦各1系統である。施肥水準は、高収が期待出来る灌水栽培のみに標準量とその2倍量の2水準である。

#### 2. 播種適期

##### 1) 無灌水栽培

一般に播種日がおそくなる程、生育日数が増加し、子実収量は増加した（第2図、第5表）。



品種をこみにした播種期別の子実収量はP 1よりP 9へ1.46t/haから2.04t/haに増加した(第7表)。この変化は日長時間、気温条件が短日化、低温化へ向っている過程にあるため、特に出穂より成熟日迄期間の短日化、低温化による影響が大きく(第7, 8図)、その結果、登熟期の子実の充実が子実収量の向上に貢献した(第9表)。

このように無灌水栽培の作期は、降水量分布、病虫害の影響もさることながら、生育期間の日長時間及び気温の影響を強く受けた。すなわち長日長時間、高温は子実収量の制限要因となった。従って播種期はおそい程、子実収量は良好であるが、降水量分布の関係で強い制限をうける。無灌水栽培はその他、自然生態的、栽培技術的に不利な点が多く、高収量栽培のためにきびしい条件下にある。過去のデータも合せて検討すると、子実収量は平均1~1.5t/h程度と思われ、試算によると収益を得るためにはha当り1.53t以上の子実収量が必要であった。

## 2) 灌水栽培

灌水栽培期間は年間を通じて日長時間が最短日の12時間、気温が最低の20℃となる期間を含み、最高収量が得られる期間である(第18, 19図)。P 10よりP 18に向けて生育日数は最長(品種・系統により90~107日)となり(第9, 17図)、子実収量はP 10より増加を続けてP 14(4月25日播種)で最高となるものと、P 16(5月14日播種)で最高となるものがあり、その後、頭打ちとなった(第14表)。前者は最高収量が4t/ha前後、後者は5.2~5.5t/haに達した。

灌水栽培期間も生育日数及び子実収量は日長時間及び気温と負の関係で密接に関係していた(第15, 16図)。P 10よりP 18に向けて発芽より出穂日迄期間の短日化、低温化による生育日数の増加によって、栄養生長期間の植物の大型化、穂数の増加により子実収量は増加した(第10~13図)。しかし播種期がおそくなるにつれて(P 15以降)、出穂より成熟日迄期間が長日化、高温化に転ずることにより、その間の生育日数が短化して(第15, 16図)、登熟期の子実の充実が抑制されて子実収量も頭打ちになった(第18表)。

最適播種期を4月下旬より5月下旬と提案した。これは従来の奨励播種期である4月10日から5月下旬より早限が10日程度おそいが、ほぼ一致した。過去のデータも合せて検討して、子実収量は平均3.5~4.0t/ha程度と思われ、高収量が期待できる。灌水栽培はその他、自然生態的、栽培技術的に好条件が多い。問題は灌水を可能とする条件と方法及び設備に要する費用である。

## 3. 品 種

無灌水栽培用品種はブラジル育成種が多く、灌水栽培用品種はメキシコ系品種が多いが、前者は不良環境での適応性、AI害耐性及び一部の病害に対する抵抗性ですぐれているが、多収性及び強稈性が劣っており、これが無灌水栽培で低収量となる一因である(第5表)。従って品種の改良が無灌水栽培の子実収量にある程度向上させる可能性を示している。

一方、灌水栽培用のメキシコ系小麦は多収性、短強稈性、子実の品質でかなり改良が進んでお

り、高収量、高品質であった(第14, 18表)。ライ小麦PFT766及び二条大麦PFC7802は灌水栽培に適し、小麦に比べて高収量であった(第14表)。前者は小麦より約10日から2週間も早熟種であるが品質、耐倒伏性で劣っており、後者は肥料の過多を避ければ高収量、高品質で有望である。

#### 4. 多肥栽培

標準量の2倍多肥栽培は稈長、穂長、穂数等の栄養体を増加させ、千粒重を増加させて子実収量は12~30%増収した(第19, 21~24表)。しかし経済的見地よりみて、標準肥の子実収量は4.5t/haとして多肥による利益を得るためには18%以上の増収が必要であり、実施には慎重を要する。

## VI. 引用文献

1. CAMARGO, C. E. O., KRONSTADT, W. E. & METZGER, R. J. Parent-progeny regression estimates and associations of height level with aluminum toxicity and grain yield in wheat. *Crop Sci.* 20:355 ~ 358, 1980.
2. CARVALHO, L. J. C. B., FILHO, G. U., LUCHIARI JR., A., GOMIDE, R. L. & SOUSA, M. C. de. Uma equação e um programa para microcomputador para o cálculo do fotoperíodo: diário. Programa Nacional de Aproveitamento de Recursos Naturais dos Cerrados. dos. Subprojeto No. 29, 1-12, 1980.
3. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Recomendações da comissão Norte Brasileira de Pesquisa de Trigo para o ano de 1983. IX Reunião da Comissão Norte Brasileira de Pesquisa de Trigo 1~ 54, 1983.
4. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Trabalho com trigo no CPAC. 1982, 1983, 1984.
5. GOTOH, T., Ecological and Genetic Studies on Heading Behavior of Common Wheat. *Bull. Tohoku Natl. Agric. Exp. Stn.* 59, 1-69, 1979.
6. 早坂猛。セラード土壌における水分の動態ならびに関連する硝酸流亡・機械の走行性の解明。ブラジル農業研究協力プロジェクト研究報告書, 国際協力事業団 1986(予定)。
7. 平野寿助。多収のための基礎理論。畑作全書 ムギ類編, 農文協, P 447~ 478, 1981.
8. 堀内一男。セラード地域における農場経営調査。EMBRAPA-CPAC, P 1~18, 1984(私信)。
9. 岩田文男。セラードの農業開発。ブラジルの農業, 国際農林業協会, P 101~ 107, 1982.
10. 国際協力事業団。日伯農業開発協力(セラード農学開発)拡大計画試験的事業に係る基礎二次調査報告書。国際協力事業団, P98~ 113, 1984.
11. 丹羽勝。ダイズ品種の日長反応に関する一考察(2) —亜熱帯地方の栽培品種を中心に—。農業技術 38(00):16~19, 1983.
12. SILVA, Ady R. da, LEITE, J. C. & ANDRADE, J. M. V. Experimentação de variedades e linh-

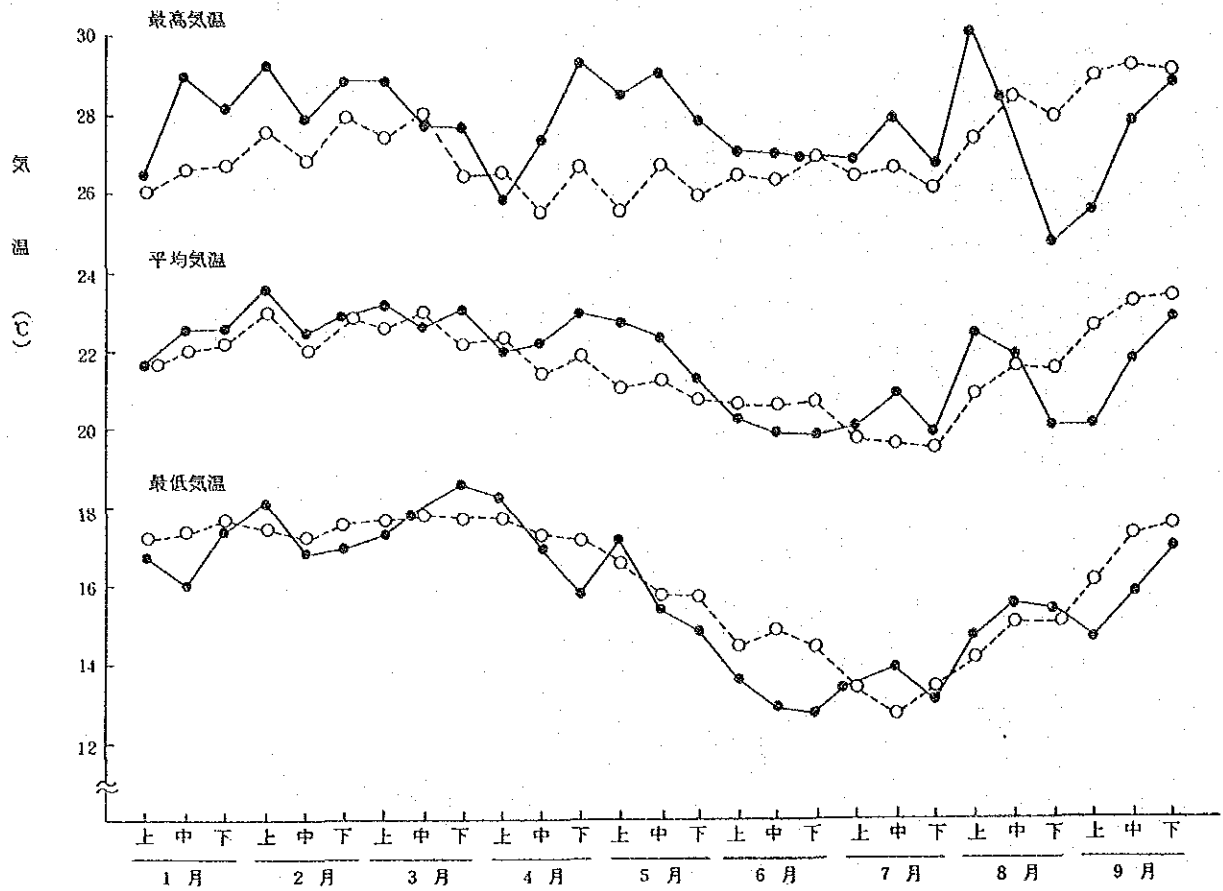
- agens de trigo no Planalto Central em 1979. Trabalho apresentado na VI Reunião da Comissão Norte Brasileira de Pesquisa de Trigo 1-25, 1979.
13. SILVA, Ady R. da, ANDRADE, J.M.V. & LEITE, J.C. Possibilidade do trigo no Brasil Central. EMBRAPA-CPAC, Comunicado técnico 12, 1980.
  14. SILVA, Ady R. da, ANDRADE, J.M.V. & LEITE, J.C. Ensaio de irrigação por infiltração-corrugação de trigo e triticale em latossolo vermelho escuro. Trabalho apresentado na VII Reunião Anual da Comissão Norte Brasileira de Pesquisa de Trigo 14-18, 1981.
  15. SILVA, Ady R. da, ANDRADE, J.M.V. & LEITE, J.C. Orientação para o plantio de triticale no Brasil Central. EMBRAPA-CPAC, 1-6, 1981.
  16. SILVA, Ady R. da, & ANDRADE, J.M.V. Experimentos com a cultura da cevada na estação seca com irrigação nos cerrados do DF, de 1976 a 1981. Trabalho apresentado na VIII Reunião Anual da Comissão Norte Brasileira de Pesquisa de Trigo 1-7, 1982.
  17. 孫工弥寿雄。Cerrado における主要作物病害の発生実態調査と地理的分布。ブラジル農業研究協力プロジェクト研究報告書（その4）、国際協力事業団、P 5～67, 1984.
  18. 武田元吉。麦類の生育と生理、生態。畑作全書（ムギ類編）、農文協、P 365～416, 1981.



## V 附図及び附表

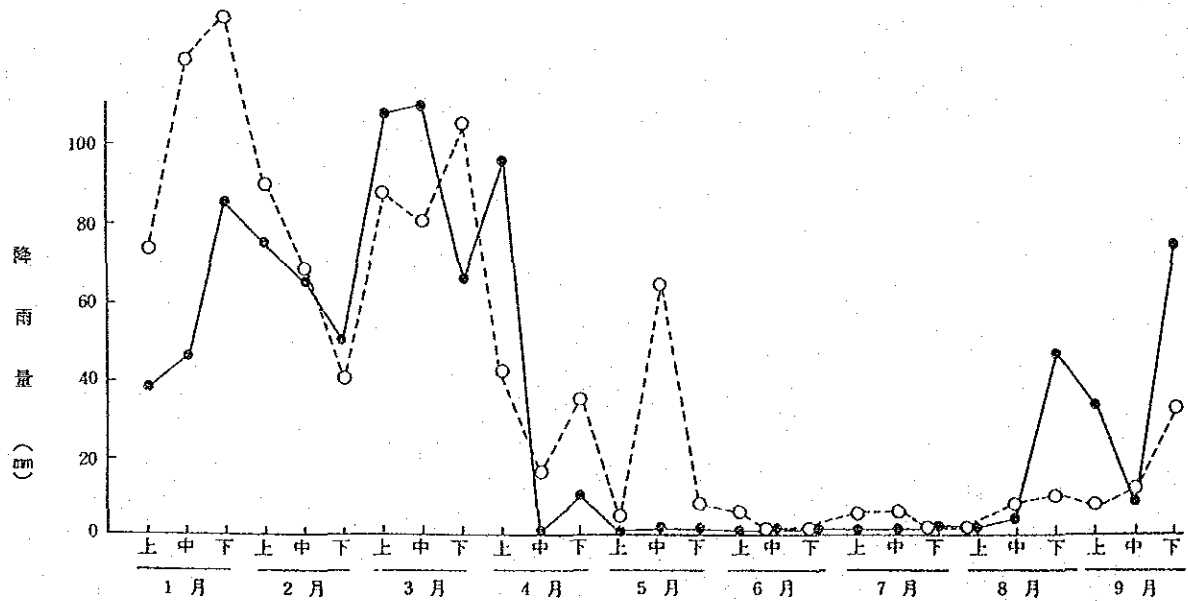
( 附図 1, 2 )

( 附表 1, 2 )



附図1 生育期間の気温

●—● 1984年      ○---○ 1980~1984年5ヶ年の平均



附図2 生育期間の降雨量

●—● 1984年      ○---○ 1980~1984年5ヶ年平均

附表1. 旬別の日長時間(時・分で示す)

日 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	13.42	13.27	13.06	12.39	12.14	11.56	11.55	12.11	12.36	13.03	13.27	13.42
15	13.39	13.20	13.04	12.30	12.07	11.54	11.59	12.19	12.45	13.11	13.33	13.44
30(28)	13.34	13.10	12.44	12.18	11.59	11.54	12.07	12.31	12.58	13.23	13.40	13.44

CPAC

(Carvalho, L.J.C.B等1980) 2)

附表2. 月別の日射量(cal/cm<sup>2</sup>/日)

水準 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9
平均	441	464	397	375	378	351	356	345	369
最高	633	599	586	483	439	404	419	454	514
最低	140	113	208	205	216	219	190	84	103

CPAC

# 小麦における穂基部小穂の不稔現象の原因解明

牧 田 道 夫

Edson Jair Iorczeski

## 緒 言

セラードで栽培されているブラジル育成の小麦の多くは穂基部の小穂が4～5個位発育が不十分で不稔化している。殊にセラードで現在かなり栽培され、新墾地に需要の多い品種、IAC5にこの不稔化現象が多くみられる。通常、1穂中の小穂段数は22～24個前後でそのうちの4～5個が不穂小穂なので、もしこれが稔実化すれば増収への効果が大きい。

一方、メキシコ系小麦品種はこのような不稔化現象は少ない。しかしながらIAC5のような現在の主要品種にみられる基部小穂不稔性を栽培技術の改良によって稔実化出来るならばこれら品種の子実収量の向上に役立つであろう。

そこで本研究はIAC5を対象として、基部小穂不稔現象の原因を主として栄養的な面より検討を加え、栽培技術的な手段により稔実化させるための資料を得ようとした。

穂基部の発育不良に基く不稔性の改良に関する研究報告は著者の調査範囲ではブラジルでは見当らなかった。日本では小麦では見当らず、大麦で木根淵(1960)<sup>2)</sup>及び山本(1951)<sup>3)</sup>、他)の詳しい報告があるが、前者からは本研究の設計に当って示唆を得ることが多かった。

本研究は1983年より1984年にセラード農牧研究センター(CPAC)で行われた。研究を行うに当り、CPAC研究担当副所長、Edson Lobato氏より始終御協力をいたゞいた。取りまとめに際し尾形保リーダーより御校閲をいたゞいた。また実施に当って温室主任Fernando A. Filho氏及び実習生Maria A. G. Martinさんより協力をいたゞいた。これらの方々的心より感謝の意を表する。

## 試験 I

### 土壌の肥沃性と穂基部不稔との関係(ポット栽培)

穂基部不稔は基部穎花への栄養の配分不足という観点より、有機質肥料及び化学肥料による3要素、微量元素を各種段階に施用して不稔との関係を調査した。供試品種は不稔の多発するIAC5である。また一方で、不稔を発生させる目的で、不稔発生の少ない品種・BH1146を用いて3要素及び微量元素の欠乏状況を与えて不稔発生との関係を調査した。

#### 1. 試験方法

2万分の1ポットを使用して、温室で1983年12月より1984年3月に実施した。前述のようにIAC5を用いて、処理は第1表に示すように有機質肥料として鶏フンを施用、無施用処理し、その各々に3要素及び微量元素を標準量から3倍量まで施用した区と窒素の追肥を施用した区を設けた。鶏フンは水分15～20%のものをポット当り60g(1.2t/10a)を全層に混和した。3要素の標準量はポット当り硫酸2g(40kg/10a)、磷酸4.2g(84kg/10a)及び塩化カリ1.6g(32kg/10a)を表土部分に施用した。微量元素は総合微量元素肥料(商品名FTE-BR12)をポット当り



0.6g施用した。この肥料にはZn, B, Cu, Fe, Mn, Moが含まれている。3要素及び微量要素の標準量はその後のポット栽培も同量であった。追肥は硫酸2gを止葉抽出始期に施した。栽植密度はポット当り2個体(40個体/m<sup>2</sup>)で極く疎植である。なお参考区としてポット当り9個体の密植区を設けた。

第1表 処理区(品種IAC5)

番 号	鶏フン	3要素, 微量要素*
1	6.0 g/ポット	標準量
2	"	2倍量
3	"	3倍量
4	"	標準量+追肥
5	無施用	標準量
6	"	2倍量
7	"	3倍量
8	"	標準量+追肥
参 考	無施用	標準量(密植)**

\* 総合微量要素剤 FTE BR12。

\*\* 参考区はポット当り9ヶ体植, 他は2ヶ体植。

第2表 処理区(品種BH1146)

番 号	3要素及び微量要素*
11	0.5倍量
12	標準量
13	N無施用
14	P無施用
15	微量要素無施用

\* 総合微量要素剤 FTE BR12。

一方、第2表のように、品種BH1146を用いて不稔を発現させるために3要素及び微量要素の欠乏区及び0.5倍量区を設けた。栽植密度はポット当り2個体である。土壌は全てのポット栽培に共通だが、長年作物栽培を行わず草原化した場所より採取した暗赤色ラトソルなので3要素はじめ微量要素含量は低いと思われる。

各区とも3反復(3ポット)で、PHを5.6に調整した。調査は各ポット2個体、穂は主稈の穂について行った。

## 2. 試験結果及び考察

まず写真1に穂基部不稔の穎花を示した。下部より、穎花が形成されないものから内外穎が小さく雌雄ずいが共に未形成のもの、雌ずいのみ形成されたものがある。第3表に各処理による穂及び粒形質の値を示し、第4表に分散分析の結果を示し、第5表と第6表にはそれぞれ、鶏フン処理間の比較と化学肥料水準間の比較した成績を示した。

まず鶏フンの施用効果を見ると(第5表)、不稔小穂数は施用によってかえって2.2個(穂当り)も増加した。しかし鶏フン施用によって植物体は極めて生育旺盛となり穂数は3穂(個体当り)も増加し、子実収量が増加した。化学肥料により3要素及び微量要素の水準を変えた結果は第6表に示したが、概して2倍量、3倍量施用すると鶏フンを施用した場合と似た傾向となった。

すなわち、小穂数は変化なく、不稔小穂数は施用によってかえって統計的有意差はないが1個程度（穂当り）増加した。そして植物体は大型化して穂数、粒数、千粒重が増加してその結果、子

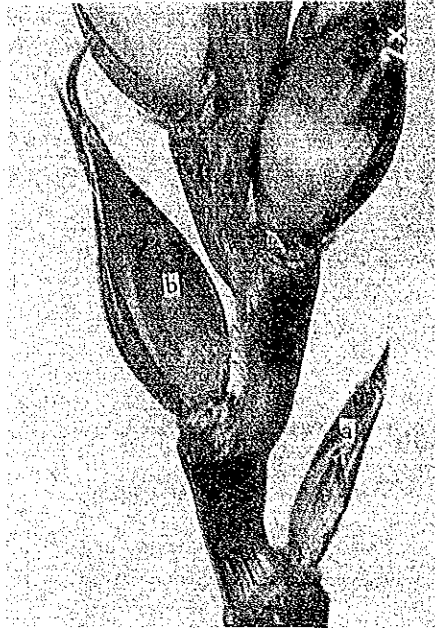


写真1. 穂基部不稔の穎花

- a: 雌ずいも雄ずいも形成されない。
- b: 雌ずいが形成されない。
- c: 正常に稔実中。

第3表 IAC5における肥料の種類、水準による穂と粒形質の値

番 号	処 理 区		穂 数 (個体当)	小穂数 (穂当り)	不稔小穂数 (穂当り)	不稔小穂 率(%)	稔実小穂数 (穂当り)	子実重 (個体♀)	粒 数 (個 体)	千粒重 (%)
	鶏フン	3要素等								
1	60	標準量	11.3	25.8	2.9	11.2	22.9	11.2	336	33.4
2	60	2倍量	13.2	25.5	5.0	19.6	20.5	12.6	390	32.6
3	60	3倍量	13.8	26.3	4.5	17.1	21.8	13.0	380	34.2
4	60	標+追	13.2	26.0	3.5	13.5	22.5	11.6	362	31.8
5	0	標準量	9.0	26.5	1.9	7.2	24.6	9.2	324	28.4
6	0	2倍量	10.8	26.2	2.0	7.6	24.2	11.4	362	31.0
7	0	3倍量	10.5	26.3	2.2	8.4	24.1	11.8	330	35.2
8	0	標+追	9.8	26.5	1.1	4.2	25.4	11.0	350	30.2
参 考	0	標(密植)	3.6	24.0	4.3	7.9	19.7	9.7	296	32.7

第4表 分散分析表(F値で示す)

変 動 因	自由度	穂 数	小穂数	不 稔 小穂数	子実重	粒 数	千粒重
鶏フン(A)	1	10.75*	1.89	15.27**	5.52+	7.26*	2.16
3要素等(B)	3	6.51**	0.31	1.09	6.83**	3.04	5.49**
A × B	3	0.66	0.61	0.43	0.77	1.01	2.70

\*\* 1%水準, \* 5%水準, + 10%水準で有意。

実収量が増加した。以上のように、有機質肥料及び化学肥料を播種時より充分に与えると栄養は植物体の大型化、多穂化に配分され、穂基部小穂のような末端の部分へは配分が増加しないどころかかえって減少する傾向がみられた。その傾向は有機質肥料の施用の場合に強かった。従って穂基部小穂不稔の稔性回復には穂基部小穂の発育に関係深い時期をねらって施肥する必要が示唆された。そこで、止葉抽出直前に硫酸を追肥した区をみると、標準区と2、3倍量区の中間の成績を示した。

第5表 鶏フンの処理間順位(3要素等処理こみ)

鶏フン 処 理	穂 数		小 穂 数		不稔小穂数		子実重		粒 数		千粒重	
	平均値 (個体当)	順位	平均値 (穂当り)	順位	平均値 (穂当り)	順位	平均値 (g)	順位	平均値 (個体当)	順位	平均値 (g)	順位
60g	12.9	a	25.9	a	4.0	a	24.1	a	733	a	32.9	a
0g	10.0	b	26.4	a	1.8	b	21.5	b	689	b	31.3	b

a, bはDuncanの多重検定による群別。5%水準で有意。a>bの順に高数値。

第6表 3要素等の処理間順位(鶏フン処理こみ)

3要素等 処 理	穂 数		小 穂 数		小稔小穂数		子実重(g)		粒 数		千粒重(g)	
	平均値	順位	平均値	順位	平均値	順位	平均値	順位	平均値	順位	平均値	順位
標準量	10.2	b	26.2	a	2.4	a	20.3	b	660	b	30.8	b
2倍量	12.0	a	25.8	a	3.5	a	24.0	a	752	a	31.8	b
3倍量	12.7	a	26.3	a	3.3	a	24.6	a	709	ab	34.8	a
標+追	11.5	a	26.3	a	2.3	a	22.3	ab	725	ab	31.0	b

a, bはDuncanの多重検定による群別。5%水準で有意。a>bの順に高数値。

参考として加えた密植栽培区は、第3表に示すように、対照となる番号5の不稔小穂数が1.9個(穂当り)なのに対して4.3個と著しく増加した。密植条件が基部小穂不稔を増加させ、疎植条件が減少させるということは、根部への栄養供給の競合及び地上部の受光量の不足が考えられる。

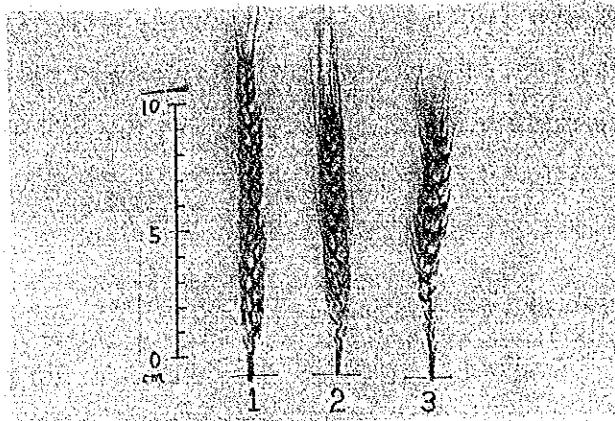


写真2. 栽植密度と穂基部不稔の発生(品種 IAC 5)

1. 疎植条件
2. 密植条件
3. 止葉抽出前に基部を折ってみた場合。

第7表 BH1146における肥料処理による穂及び粒形質の値

番号	処理区	穂数 (個体数)	小穂数 (穂当り)	不稔小穂数 (穂当り)	子実重 (個体 $\bar{g}$ )	粒数 (個体当り)	千粒重 ( $\bar{g}$ )
11	0.5倍量	8.7 a	20.8 a	1.5 ab	7.8 b	260 ab	30.0 b
12	標準量	9.5 a	20.0 ab	1.0 b	10.0 a	360 a	32.4 ab
13	N無施用	6.5 b	20.7 a	1.5 ab	6.6 b	212 b	30.8 ab
14	P無施用	4.5 c	18.7 b	2.1 a	3.2 c	124 c	25.8 c
15	微量元素無施用	6.3 b	20.8 a	2.0 ab	7.2 b	208 b	34.2 a

a, b, cはDuncanの多重検定による群別。5%水準有意。a>b>cの順で高数値。

第8表 分散分析表(F値で示す)

変動因	自由度	穂数	小穂数	不稔小穂数	子実重	粒数	千粒重
肥料処理	4	12.8 **	3.6 *	2.1	1.45 **	8.9 **	7.1 **

\*\* 1%水準, \* 5%水準で有意。

写真2に疎植と密植条件による基部小穂不稔穂を示した。

第7表に基部小穂不稔の少ないBH1146を用いて、各栄養要素欠乏と基部小穂不稔の増加との関係を示した。第8表には分散分析の結果を示した。第7表によると、不稔小穂数は標準肥の場合が1個(穂当り)であるのに対して磷酸無施用区で2.1個と統計的有意に増加した他は、窒素無施用区、微量元素無施用区および各要素0.5倍量区とも1.5~2.0個の間で標準肥区に比べて統

計的有意な差はなかった。使用した土壌は先述のように長年改良されていない草地化したセラードの土壌で各栄養成分はかなり欠乏している。そのような土壌で各成分を無施用にしたにも拘らず基部小穂不稔の増加が僅か認められたに過ぎないとは、この現象が品種固有の遺伝的特性に強く支配されていることを示している。また、この現象は窒素、リン酸、微量元素の単一成分によって著しく引き起されるものでないことを示唆する。無施用による影響が最も大きかったのはリン酸で、他の形質についても各処理間で、 $\text{標準肥} \geq 0.5\text{倍肥} \geq \text{窒素無施用} = \text{微量元素無施用} > \text{リン酸無施用}$ の関係が認められた。

## 試験II

### 施肥の時期、種類及び受光量の影響（ポット栽培）

試験Iで密植条件によって基部小穂不稔が多発したことは、その原因として根部における栄養供給の競合、地上部における受光量の不足が考えられる。それでこれらの要因によるものかを検討するために2種類の試験を実施した。一つは根部における栄養供給の競合についてであるが、この場合、播種時より多用すると基部小穂不稔回復に効果がなかったため、追肥として窒素を2時期の処理で施用することにした。この時期のうち、止葉抽出始期は木根淵(1960)<sup>2)</sup>により、大麦で下部小穂不稔を著しく回復させる時期で、この時期は小穂への栄養供給が終了する時であると述べられている。施用する窒素は $\text{NH}_4$ 態と $\text{NO}_3$ 態に分けた。

二つ目の試験は地上部における受光量の影響の有無を検討することで、遮光により受光量を調節して栽植密度と組合せて検討した。

#### 1. 試験方法

試験は2万分の1ポットを使用して温室で、1984年6月より9月にかけて行った。根部の栄養供給に関する試験については第9表の処理を行った。供試品種はIAC5で、基部小穂不稔の多発する密植条件で行った。密度はポット当り18個体で $\text{m}^2$ 当り360個体で圃場の標準密度に近い。3要素及び微量元素を標準量区(試験Iと同量)と2倍量区を設け、その各々に追肥の慣行処理として発芽後22日目に硫酸2g施用区と、幼穂伸長開始期に硫酸2g又は硝酸ソーダ2.8g施用区と、止葉抽出始期日に硫酸又は硝酸ソーダ施用区を設けた。地上部の受光量に関する試験については第10表の処理を行った。自然光と遮光処理を行ない、その各々に密植(18個体/ポット)と疎植(3個体/ポット)を組み合わせた。自然光は屋根に黒色寒冷紗を1枚張った温室内光線で15,000~18,000 luxであり、遮光処理は温室内で黒色寒冷紗を張った木枠の中に止葉抽出始期より收容したもので、2,300~2,500 luxでかなりきつい処理であった。各処理区3反復(3ポット)で、調査は各個体より1穂供試した。

第9表 処理区（肥料水準，時期と種類）

番号	肥料水準	追 肥	
		時 期	種 類
1	標 準	慣行（発芽後22日）	硫 安
2	"	幼穂伸長開始期	硫 安
3	"	"	硝酸ソーダ
4	"	止葉抽出始期	硫 安
5	"	"	硝酸ソーダ
6	2倍量	慣行（発芽後22日）	硫 安
7	"	幼穂伸長開始期	硫 安
8	"	"	硝酸ソーダ
9	"	止葉抽出始期	硫 安
10	"	"	硝酸ソーダ
参考	品種BH1146。他の条件は番号1と同じ。		

第10表 処理区（日射量と栽植密度）

番号	日射量	栽 植 密 度
11	自 然 光	密 植
12	"	疎 植
13	遮 光	密 植
14	"	疎 植

## 2. 試験結果および考察

根部における栄養供給の影響に関する試験の結果は第11～13表に示した。第11表では各処理区の穂形質の値を示したが、基部不稔小穂数は番号1の標準区で5.8個（穂当り）と多発し、一方参考のBH1146は3.1個と少なかった。第12表の分散分析の結果、肥料水準の標準、2倍量間には殆んど差がなく、試験Iの結果と同じであった。施用時期と窒素の種類の間には統計的に有意な差が認められたので第13表にその処理間差を示した。しかしこれによると、不稔小穂数は最大差でも標準区の硫安を慣行施用した区に対して止葉抽出始期に硝酸ソーダを施用した区が僅か1個（穂当り）統計的に有意に減少したのみであった。同様に他の形質も処理間差は小さく、実用的な意味のある効果は認め難かった。

地上部の受光量に関する試験の結果は第14表～第17表に示した。第15表に分散分析表を示したがどの処理も形質も高い有意差を示した。それで第16表と第17表に日射量の処理間差と栽植密度の処理間差を示した。第14表に戻って各処理区の穂形質の値をみると、不稔小穂数は自然光のもとでは密植条件で5.8個（穂当り）と多く、それに対して疎植条件で2個と少なかった。ところが遮光のもとでは密植条件で14.5個と著るしく増加したのに対して疎植条件では2.5個と殆んど自然光の場合の2.0個と変わらなかった。即ち、密植条件では遮光と重なることによって極端に増加し、一方、疎植条件では遮光の影響をあまり受けなかった。この関係は小穂数、不稔小穂率、稔実小穂数でも同じ傾向が顕著に認められた。このように日射量も栽植密度も基部小穂不稔の発生には大きく影響するが、疎植条件では遮光の影響が現われにくく、密植条件で加速化されるということは、根部の栄養供給条件の良否が最も大きく作用しその上に受光量の影響が加わること

を示唆している。

第11表 肥料水準、時期及び種類による穂形質の値

番号	小穂数 (穂当り)	不稔小穂数 (穂当り)	不稔小穂率(%)	稔実小穂数 (穂当り)
1	25.1	5.8	23.1	19.3
2	24.5	6.2	25.3	18.3
3	24.7	5.9	23.7	18.9
4	24.8	5.8	23.4	19.0
5	24.3	5.3	22.2	18.9
6	24.2	6.3	25.5	18.5
7	25.1	5.2	21.2	19.8
8	26.0	6.0	23.1	20.3
9	25.6	6.1	24.2	19.3
10	24.4	4.7	18.8	20.4
参考 BH1146	19.5	3.1	16.0	16.5

第12表 分散分析表(F値で示す)

変動因	自由度	小穂数	不稔小穂数	不稔小穂率	稔実小穂数
肥料水準(A)	1	5.7 <sup>+</sup>	0.5	1.4	3.8
追肥時期種類(B)	4	19.4 <sup>**</sup>	9.4 <sup>**</sup>	9.8 <sup>**</sup>	3.5 <sup>*</sup>
A × B	4	19.6 <sup>**</sup>	6.0 <sup>**</sup>	8.2 <sup>**</sup>	8.2 <sup>**</sup>

\*\* 1%水準, \* 5%水準, + 10%水準で有意。

第13表 追肥時期と種類の処理間順位(肥料水準処理こみ)

追肥時期・種類	小穂数 (穂当り)	不稔小穂数 (穂当り)	不稔小穂率(%)	稔実小穂数 (穂当り)
慣行 - 硫酸安	24.7 bc	6.0 a	24.3 a	18.9 c
幼穂伸長開始 - 硫酸安	24.8 b	5.7 a	23.3 a	19.1 bc
幼穂伸長開始 - 硝酸ソーダ	25.4 a	5.9 a	23.4 a	19.5 ab
止葉抽出始期 - 硫酸安	25.2 a	5.9 a	23.8 a	19.1 abc
止葉抽出始期 - 硝酸ソーダ	24.4 c	5.0 b	20.5 b	19.7 a

a, b, c: Duncanの多重検定による群別。a > cの順で高数値。

第14表 日射量と栽植密度による穂形質の値

番号	日射量	栽植密度	小穂数 (穂当り)	不稔小穂数 (穂当り)	不稔小穂率(%)	稔実小穂数 (穂当り)
1.1	自然光	密植	25.1	5.8	23.1	19.3
1.2	"	疎植	26.7	2.0	7.6	24.7
1.3	遮光	密植	21.3	14.5	68.1	6.8
1.4	"	疎植	25.9	2.5	9.7	23.1

第15表 分散分析表 (F値で示す)

変動因	自由度	小穂数	不稔小穂数	不稔小穂率	稔実小穂数
日射量 (A)	1	38.5**	15.5**	20.6**	56.9**
栽植密度 (B)	1	55.2**	23.9**	32.4**	35.2**
A × B	1	24.4**	18.7**	22.9**	21.0**

\*\* 1%水準で有意。

第16表 日射の処理間順位 (栽植密度処理こみ)

日射量	小穂数 (穂当り)	不稔小穂数 (穂当り)	不稔小穂率(%)	稔実小穂数 (穂当り)
自然光	25.9 a	3.9 b	15.3 b	22.0 a
遮光	23.6 b	8.5 a	39.0 a	15.0 b

a, b : Duncan多重検定による群別。5%水準有意。a > bの順に高数値。

第17表 栽植密度の処理間順位 (日射量処理こみ)

栽植密度	小穂数 (穂当り)	不稔小穂数 (穂当り)	不稔小穂率(%)	稔実小穂数 (穂当り)
密植	23.2 b	10.1 a	45.6 a	13.0 b
疎密	26.3 a	2.3 b	8.7 b	23.9 a

a, b : Duncanの多重検定による群別。5%水準で有意。  
a > bの順に高数値。

### 試験III

#### 施肥の時期及び種類 (圃場栽培)

試験IIとは同じ目的で圃場条件で行った。基部小穂不稔が栽植密度で異なるということ及び根部の栄養供給条件と追肥の時期との関係を圃場条件で検討した。

#### 1. 試験方法

圃場で1984年5月より8月に行った。処理区は第18表に示すように、基肥として3要素及び微量要素を標準量と2倍量とし、その各々に密植と疎植を行い、その各々に追肥を慣行法(発芽後22日目に施用)と止葉抽出始期に行った。乾期中なので畦間灌水を行った。基肥の標準量は化成



肥料 4-30-16を 500kg/haと微量要素肥料50kg/haで、密植区は 200/m<sup>2</sup>、疎植区は50個体/m<sup>2</sup>であった。追肥は硫安 200kg/haを株間に散布し、1、2反復は散水で硫安を溶解し、浸透させ、3反復芽は畦間灌水で溶解させた。試験設計は主区、細区、細々区を有する分割区試験法3反復であった。

第18表 処理区(肥料水準, 栽植密度, 追肥時期)

番 号	肥料水準	栽植密度	追肥時期
1	標準量	密 植	慣行(発芽後22日)
2	"	"	止葉抽出始期
3	"	疎 植	慣行(発芽後22日)
4	"	"	止葉抽出始期
5	2倍量	密 植	慣行(発芽後22日)
6	"	"	止葉抽出始期
7	"	疎 植	慣行(発芽後22日)
8	"	"	止葉抽出始期

## 2. 試験結果及び考察

第19表に各処理区の穂形質の値を示し、第20表にその分散分析表に示した。不稔小穂数は標準区で 5.4個(穂当り)で不稔が多発し、不稔小穂率は24.7%に達した。分散分析の結果、基肥の

第19表 肥料の水準, 栽植密度及び追肥時期による穂形質の値

番 号	小穂数 (穂当り)	不稔小穂数 (穂当り)	不稔小穂率 (%)	稔実小穂数 (穂当り)
1	22.3	5.4	24.7	16.8
2	22.3	4.8	21.5	17.8
3	22.3	4.3	19.1	18.1
4	22.4	3.9	18.1	18.3
5	23.2	5.8	25.2	17.3
6	23.1	5.0	22.1	18.0
7	22.8	4.3	18.8	18.6
8	22.4	4.7	20.7	17.7

第20表 分散分析表 (F値で示す)

変動因	自由度	小穂数	不稔小穂数	不稔小穂率	稔実小穂数
肥料水準(A)	1	2.8	5.2*	1.3	0.5
栽植密度(B)	1	0.7	35.5**	40.0**	6.7*
A × B	1	0.7	7.4*	0.6	0.5
追肥時期(C)	1	0.5	11.9*	4.1	1.3
A × C	1	0.9	4.6 <sup>+</sup>	1.5	2.8
B × C	1	0.2	5.8*	7.6*	5.6*
A × B × C	1	0.4	6.4*	1.2	0.8

\*\* 1%水準, \* 5%水準, + 10%水準で有意。

標準量と2倍量間には殆んど差がなく、試験Ⅰ、Ⅱの結果と同じであった。栽植密度の処理間では小穂数以外は有意差があり、第21表にその処理間差を示した。しかし密植で5.3個(穂当り)に対して疎植でも4.2個とかなり多く、ポット栽培程疎植で顕著に減少しなかった。追肥の施用時期処理では不稔小穂数に処理間差があり、第22表に示すように慣行追肥が5.0個(穂当り)に対し止葉抽出始期の追肥で4.6個と僅か0.4個減少した。このようにポット栽培の場合と比べて処理による効果が小さい原因の一つはポット栽培程、栄養供給条件が行届いた良好な環境下になつたためだろうと思われる。

第21表 栽植密度の処理間順位  
(肥料水準, 追肥時期処理こみ)

栽植密度	小穂数 (穂当り)	不稔小穂数 (穂当り)	不稔小穂率 (%)	稔実小穂数 (穂当り)
密植	22.5 a	5.3 a	23.4 a	17.5 a
疎植	22.7 a	4.2 b	19.2 b	18.2 a

a, b: Duncanの多重検定による群別。5%水準で有意。

第22表 追肥時期の処理間順位 (肥料水準, 栽植密度こみ)

追肥時期	小穂数 (穂当り)	不稔小穂数 (穂当り)	不稔小穂率 (%)	稔実小穂数 (穂当り)
慣行(発芽後22日)	22.7 a	5.0 a	22.0 a	17.7 a
止葉抽出始期	22.6 a	4.6 b	20.4 a	18.0 a

a, b: Duncanの多重検定による群別。5%水準で有意。

## 総合考察

小麦の基部小穂の不稔現象は栄養の供給が、穂器官の構造的、養分の量的、時期的タイミングの関係で末端の小穂まで行き渡らないために発生すると考えられる。木根淵(1960)<sup>2)</sup>は大麥で穂体の分化終了後における栄養不良によって下部小穂の栄養配分が減少するためと述べている。それで本研究では根部の栄養供給条件に焦点を当て、不稔の要因の解析を試みた。

試験Ⅰでは播種時に有機質肥料(鶏フン)と化学肥料によって充分な栄養条件とすると植物体の大型化、穂数、粒収量の増加は促進されるが基部小穂のような末端組織へは栄養の供給が増加せず、特に有機質肥料ではかえって減少した。このことより基部小穂への供給にはその発育に関係の深い時期、種類、方法が必要であろうと思われた。また基部小穂不稔は密植で多発、疎植で減少したので、不稔の原因が根部の栄養吸収の競合と地上部の受光量の不足が考えられた。また基部小穂不稔の少ないBH1146によってこの現象が遺伝的要因が栽培環境要因に比べて極めて強いこと、不稔の原因が特定の単一栄養素の欠乏により著しく多発するものでないことが認められた。

それで試験Ⅱでは根部の栄養供給の競合という観点から追肥としてNH<sub>4</sub>態とNO<sub>3</sub>態窒素を幼穂伸長開始期と止葉抽出始期に与える試験と、地上部の受光量の不足という観点から日射量を制御した試験を行った。前者では処理間に実用的な差は認められず、不稔小穂数は止葉抽出始期の追肥施用によって僅か1個(穂当り)減少したに留まった。木根淵(1960)<sup>2)</sup>によると大麥でこの時期は下部不稔の発現又は消出に最も大きな変動を与える時であり、それを実証した。本試験と追肥の量に大差はない。両者の基部小穂不稔の発生機構は同じであると思われる。しかし両試験成績で差を生じた原因は品種の差によると思われる。即ち、大麥で供試された品種の場合、通常の栽培条件では基部小穂不稔を生ぜず、北陸地方に特有な密植栽培、春先の融雪による肥料の流亡と急激な気温の上昇による生育の促進、その結果としての栄養の欠乏のために多発し、この場合は追肥によって稔性が回復する。しかし本試験の品種の場合は品種の特性として通常の栽培条件で多発が普通であり、従ってそれを栽培条件の改良によって効果が現われにくかったと思われる。遮光による日射量の制御を行った試験では、日射量も栽植密度も基部小穂不稔の発生に影響するが、根部の栄養供給の影響によるものが大きく受光量では疎植条件で小さく密植条件で著しく増大した。たゞ、密植による受光量の低下は下葉部分で著しくなり、測定によると1500~2000 luxとなったが上位葉では影響が小さい。基部小穂不稔に影響するのは上位葉のようである。木根淵(1960)<sup>2)</sup>によると上位3葉、特に止葉の影響が大きく、武田(1981)<sup>6)</sup>によると穂における粒の充実には上位葉の光合成産物の殆んどが関与すると云われる。従って下部葉と、上位葉におけるある程度の受光量の不足が影響するものと思われる。

試験Ⅲは試験Ⅱの根部における栄養供給に関する試験とほぼ同じ目的を圃場条件で行ったが、圃場条件では処理の効果が現われにくいことを示した。

以上のように本研究はその目的に達するには多くの問題を残したままに留まった。基部小穂不稔は主に根部の栄養環境条件に基くものと推定された。しかし遺伝的要因が強く、栽培条件の改良に

よる稔性回復には困難が感ぜられた。経験的にみて、多収性に改良された品種は基部小穂不稔が少ないので、この現象は多収性への品種改良の過程で意識的な改良を通じて、又は無意識的な改良を通じて解決されると思われる。

また、例えば本試験で対象とした IAC 5 は稔実小穂数がポット栽培で約19個に対し基部小穂不稔の少ないBH1146も19個であり、基部小穂不稔性が低収の原因となるとは云い難い。勿論不稔性の回復は増収に結びつく。このタイプの品種の増収を計るには試験1で示されたように不稔の回復より植物体の大型化、穂数の増加を通じて計る方が効果的であると思われる。

## 要 約

基部小穂不稔の多発する小麦品種 IAC 5 を対象としてその原因の解析を試みた。その結果、疎植条件でかなり稔性回復することから地下部の栄養環境条件と地上部の受光量の影響が考えられたが前者の影響が主因であった。しかし播種時に一度に栄養条件を充分としても基部小穂のような末端組織には供給され難く、止葉抽出始期に窒素を追肥することによって僅かに稔性が回復した。また窒素、燐酸、微量要素のうち、特定の栄養成分の欠乏によって顕著に基部小穂不稔が発生することはないが、燐酸欠乏で最も増加した。

IAC 5 の場合、この現象は遺伝的要因に強く支配されており、品種改良で改善されるのが最も正道である。

## 引 用 文 献

- (1)馬場起。大麦の硼素欠乏に関する研究（特に硼素欠乏に伴う不稔現象及びその細胞学的観察）。  
農技研報，B 4，1953.
- (2)木根淵旨光。大麦穂体下部不稔現象の発現機作に関する生態・生理学的研究。  
北陸農試報告，第 3 号，1～83，1960.
- (3)Silva, Ady R. da, Andrade, Jos'e M. V. de. Efeito de micronutrientes no chochamento do trigo de sequeiro e nas culturas de soja e arroz, em latossolo vermelho-amarelo. Pesquisa Agropecuária Brasileira Vol. 18. 593-601. 1983.
- (4)山本正。大麦の不稔性に関する研究 (1)不稔性を生ずる機作について  
日作紀 20(1-2)，80～84，1951.
- (5)武田元吉。麦類の生育と生理，生態。畑作全書（ムギ類編）。農文協。  
P. 365-416. 1981.

Studies on cropping seasons in some leading cultivars  
of wheat in the Cerrados

I. Cultivation in the rainy season

Michio MAKITA (HOKKAIDO Prefectural, KITAMI Agricultural  
Experiment Station)

Edson J. IORCZESKI (Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados)

Table 1. Planting date

Treatment symbol	P10	P11	P12	P13	P14
Planting date	March 20	March 27	April 4	April 13	April 25
	P15	P16	P17	P18	
	May 3	May 14	May 24	June 4	

Table 2. Grain yields of wheat, triticale and barley cultivars planted on different dates (t/ha).

Planting date \ Cultivar	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
(6) ANAHUAC	1.29	2.20	3.08	3.88	3.97	3.12	3.89	4.02	3.90
(7) BR 10	1.81	1.97	2.70	3.30	4.29	3.93	3.70	4.29	4.19
(8) PF 79547	2.40	2.38	3.04	3.29	4.21	4.14	4.93	5.23	4.66
(9) PFT 766 (Triticale)	1.01	1.99	2.57	3.43	3.66	4.98	5.48	5.38	5.39
(10) PFC 7802 (Barley)	1.89	2.13	3.83	4.57	4.80	4.78	5.65	5.11	5.18

Table 3. Characteristics of wheat cultivar, BR 10, related to grain yield with change of planting date.

Planting date \ Characteristics	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
Stem length	70	67	72	82	100(68cm)	106	107	107	106
Ear length	80	86	98	92	100(8.4cm)	109	105	101	100
Number of ears	73	102	97	89	100(380/m <sup>2</sup> )	105	131	123	136
Total dry matter	39	44	62	71	100(8.8t/ha)	98	99	95	100
Harvest index	106	93	100	108	100(0.49)	91	91	104	95
1000 kernel weight	77	85	85	92	100(47.8g)	96	98	96	91
Hectolitre weight	99	96	100	99	100(82.4g)	97	92	95	95
External grain quality*	5.0	5.0	5.0	4.7	5.0	4.7	4.0	5.0	4.3

\* Index 5: Good 3: Moderate 1: Bad.

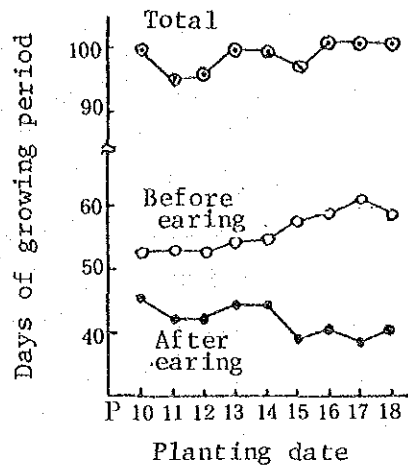


Fig. 1 Days requiring for earing and maturing of cultivar, BR10, planted on different dates.

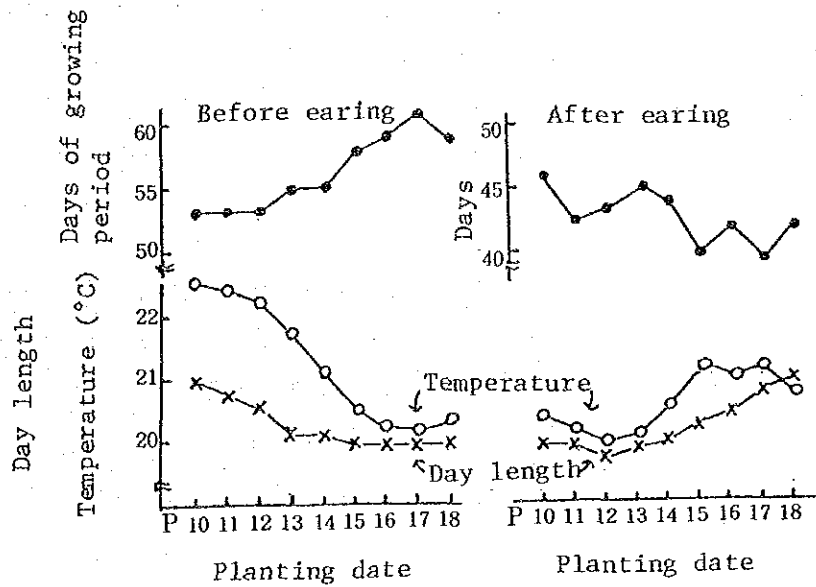


Fig.2 Relationships among temperature, day length and days of growing periods in cultivar, BR10.

— Days of growing period  
 o—o Temperature,  
 x—x Day length

## Summary

Experiments were carried out to evaluate the effect of nine planting dates staggered over the period March 20 - June 4 with about 10 day intervals on the yield of 5 leading wheat cultivars adapted to irrigated cultivation in the dry season (Table 1). In general, along with the delay in the planting date, the duration of the growth period from germination to earing increased (Fig.1). Therefore, grain yield rose from 1.7t/ha to 4.7t/ha in average associated with the increase of stem length, number of ears and total dry matter etc. (Table 2.3).

Irrigated cultivation to the dry season is associated with periods during which the temperature is the lowest(20°C) and day length the shortest(11.2 hours) in the year (Fig.2). Temperature associated severely with grain yield and short day length contributed to elongation of growing period in some degree.

The optimum planting date was estimated to range from the latter part of April to the latter part of May. This planting date was 10 days later in upper limit than the recommended planting date by CPAC in Central Brazil.

Mexican type cultivars adapted to irrigated cultivation which were high yielding due to their short and strong culm contributed to the high yield obtained under irrigated cultivation in the dry season.



Studies on cropping seasons in some leading cultivars  
of wheat in the Cerrados.

II. Cultivation in the dry season

Michio MAKITA (HOKKAIDO Prefectural, KITAMI  
Agricultural Experiment Station)

Edson J. IORCZESKI (Centro de Pesquisa Agropecuária  
dos Cerrados)

Table 1. Planting date

Treatment symbol	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
Planting date	Jan. 4	Jan. 16	Jan. 25	Feb. 3	Feb. 14
	P 6	P 7	P 8	P 9	
	Feb. 24	March 1	March 15	March 26	

Table 2. Grain yields of wheat and triticale cultivars planted on different dates (t/ha).

Planting date Cultivar	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
(1)IAC 5	1.26	1.33	1.01	0.57	1.31	1.67	1.96	1.95	1.86
(2)BH 1146	1.91	2.00	1.70	1.57	1.69	1.79	2.01	2.07	1.92
(3)BR 8	1.22	0.34	0.83	0.47	0.83	1.80	1.90	2.43	2.30
(4)BR 9	1.65	1.17	1.56	1.03	1.75	1.98	1.92	2.27	2.18
(5)PFT 766 (Triticale)	1.26	0.64	0.58	0.11	0	0.48	1.50	1.86	2.11

Table 3. Characteristics of wheat cultivar, IAC 5, related to grain yield with change of planting date.

Planting date Characteristics	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Stem length	97	99	92	91	92	100(87cm)	92	95	80
Ear length	100	110	110	106	106	100(8.1cm)	110	113	101
Total dry matter	**	**	**	66	101	100(5.9t/ha)	94	103	85
Harvest index	**	**	**	79	88	100(0.34)	103	109	126
1000kernel weight	73	60	72	80	101	100(31.5g)	100	96	113
Hectolitre weight	85	78	85	54	98	100(77.5g)	101	104	106
External grain quality*	2.3	2.7	3.0	2.8	4.0	4.0	4.0	4.3	4.0

\* Index 5: Good 3: Moderate 1: Bad. \*\* Not investigated.

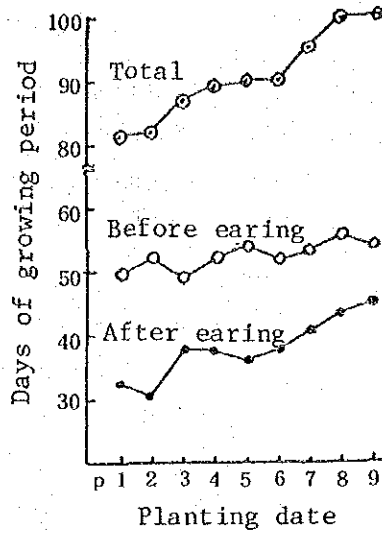


Fig. 1 Days required for earing and maturing of wheat cultivar, IAC5, planted on different dates.

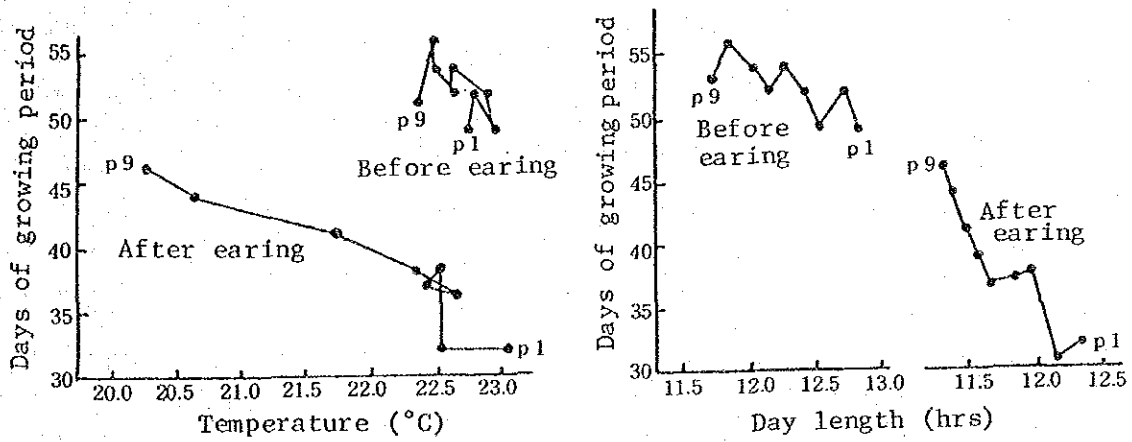


Fig. 2 Relationship between temperature and days of growing periods on different planting dates of cultivar, IAC5.

Fig. 3 Relationship between day length and days of growing period on different planting date in cultivar, IAC5.

## Summary

Experiments were carried out to evaluate the effect of nine planting dates staggered over the period January 4 - March 26 with about 10 day intervals on the yield of 5 leading wheat cultivars adapted to cultivation in the rainy season (Table 1).

In general, along with the delay in the planting date, the duration on the growth period increased and, therefore, grain yield rose from 1.46t/ha to 2.04t/ha, due to the lowering of temperature and shortening of day length in the period of growth (Table 2 and Fig.1.2.3). Especially, the effect of these conditions from the heading to the maturity stages of the crop contributed to the increase of grain yields associated with the complete filling of grain, as reflected thousand-kernel-weight and hectoliter weight (Table 3, Fig.2.3).

However the temperature and day length during cultivation period in the rainy season were too high and too long, respectively to obtain a high grain yield.

Grain yield was also low during the cultivation of wheat in the rainy season due to the low-yielding characteristics in Brazilian cultivars adapted to the rainy season.

野外における光合成と蒸散測定装置について<sup>1</sup>

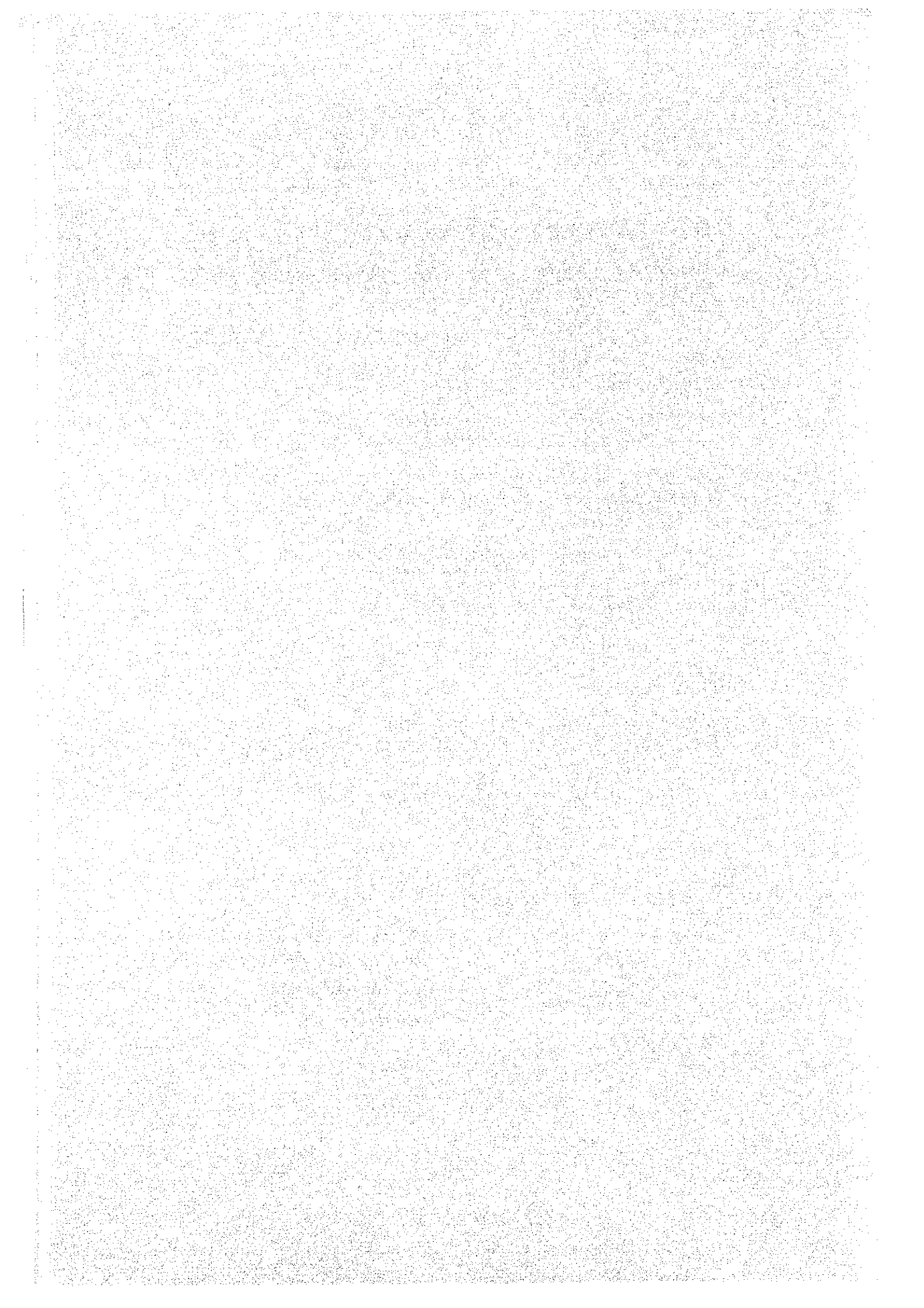
On the simultaneous measuring system of photosynthesis and  
transpiration in the field

和田 道 宏<sup>2</sup>

LUIZ J. C. B. CARVALHO<sup>3</sup>

GUSTAVO C. RODRIGUES<sup>3</sup>

石 井 龍 一<sup>1</sup>



1. 論文名 和文 野外における光合成と蒸散測定装置について  
英文 On the Simultaneous Measuring System of Photosynthesis and Transpiration in the Field
2. 著者名 和文 和田道宏 (農業研究センター, 筑波, 日本)  
英文 MICHIMIRO WADA (National Agriculture Research Center, Tsukuba, Japan)
- 和文 ルイス・ジェー・シー・ビー・カルバーリョ (EMBRAPA-CPAC, ブラジリア, ブラジル)  
英文 LUIZ J. C. B. CARVALHO (EMBRAPA-CPA Cerrados Brasilia Brasil)
- 和文 グスターボ・シー・ロドリゲス (EMBRAPA-CPAC, ブラジリア, ブラジル)  
英文 GUSTAVO C. RODRIGUES (EMBRAPA-CPA Cerrados Brasilia Brasil)
- 和文 石井龍一 (東京大学農学部, 東京, 日本)  
英文 RYUICHI ISHII (Tokyo University, Faculty of Agriculture, Tokyo, Japan)





# 野外における光合成と蒸散測定装置について<sup>1</sup>

和田 道 宏<sup>2</sup>

LUIZ J. C. B. CARVALHO<sup>3</sup>

GUSTAVO C. RODRIGUES<sup>3</sup>

石 井 龍 一<sup>4</sup>

## 緒 言

ブラジルの中央高原に位置するセラード地帯では、土壌や気象条件あるいは地理的制約によって、耕地としての開発は緒についたばかりである。従って、当地帯での作物の光合成に関する研究は見当たらない。野外における作物の光合成や蒸散を測定することは、農業技術上に有効な情報を与えるばかりでなく、自然における植物の生理や生態的研究にも役立つであろう。

本論文では、当セラード農牧研究センター（CPAC）で作成した、野外における単葉の光合成、蒸散測定装置とその測定方法について述べる。

同化箱を用いて光合成を測定する場合の問題の1つは、葉が同化箱内に長時間置かれることによって環境の急激な変化や人工的な接触を被り、野外における値とかけ離れた値をとる可能性があることである。これを避けるために、本装置では葉を同化箱に封入した直後から短時間で測定を行うと共に、同化箱内環境の制御を行なった<sup>1-6)</sup>。

## 1. 装置の作成と測定方法

### 1) 測定の概要

光合成測定装置は、移動を容易にするために、分析計をバン型自動車に積み込んだ。この分析計と同化箱とを約25mのビニールチューブで結ぶことによって、畑の作物を測定する方式とした。写真1～3にはバン型自動車の内外の様子を示す。また、第1図には測定系統図、第2図には同化箱を示す。

まず、バルーンの中に貯えられた空気は、ミニポンプによって、同化箱に送られる。同化箱内では、空気中のCO<sub>2</sub>は、セットされた葉によって吸収されて濃度が薄められ、一方、空気中の水分は、葉からの蒸散によって濃度が高められて、同化箱から出て行く。このとき、出口に設けられた開放口から余分な空気が大気中に放出される。残りの空気はミニポンプによって温

1 - この試験はJICA/EMBRAPA-CPAC の資金で行われた。

2 - 研究室長（農業研究センター、筑波、日本）

3 - 研究員（EMBRAPA-CPAC, Caixa Postal 70.0023 Planaltina, D.F., BRASILIA BRASIL）

4 - 教授（東京大学農学部、東京、日本）

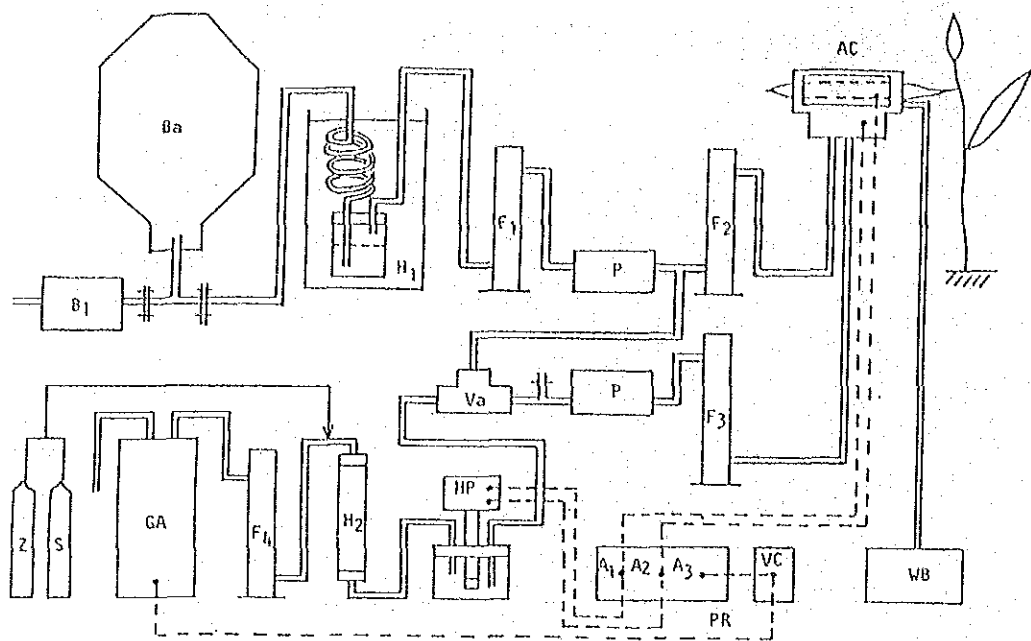


FIG. 1. PHOTOSYNTHESIS AND TRANSPIRATION EQUIPMENT FOR FIELD USE.

B<sub>1</sub> : BLOWER. Ba : BALLOON. H<sub>1</sub> : HUMIDITY CONTROLLER. F<sub>1</sub> - 4 : FLOW METER  
P : PUMP AC : ASSIMILATION CHAMBER VA : 3 WAY VALVE HP : HUMIDITY  
PROBES H<sub>2</sub> : HUMIDITY ABSORBING CHEMICALS GA : CO<sub>2</sub> GAS ANALYSER  
Z : CO<sub>2</sub> ZERO GAS S : CO<sub>2</sub> 400 PPM GAS PR : PEN RECORDER VC : VOLTAGE  
CONTROL DEVICE WB : WATER BATH A<sub>1</sub> : SOLAR RADIATION AND HUMIDITY  
A<sub>2</sub> : LEAF AND AIR TEMPERATURE A<sub>3</sub> : CO<sub>2</sub> CONCENTRATION

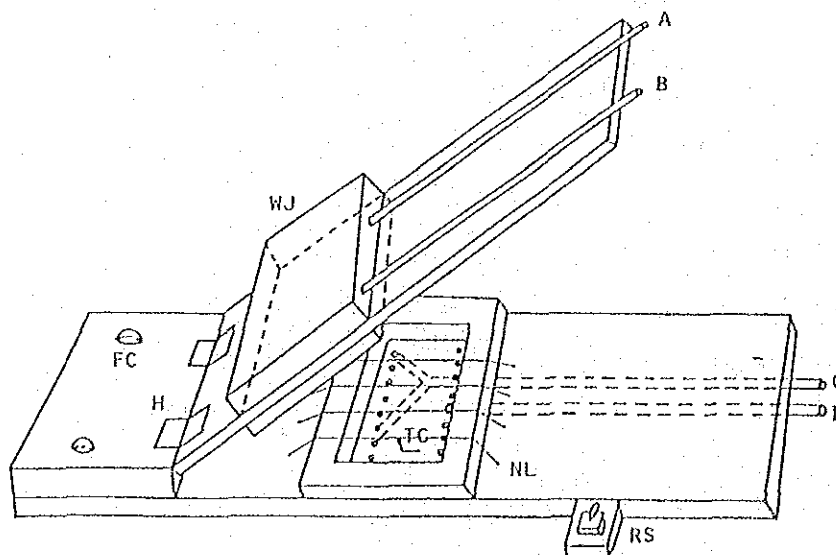
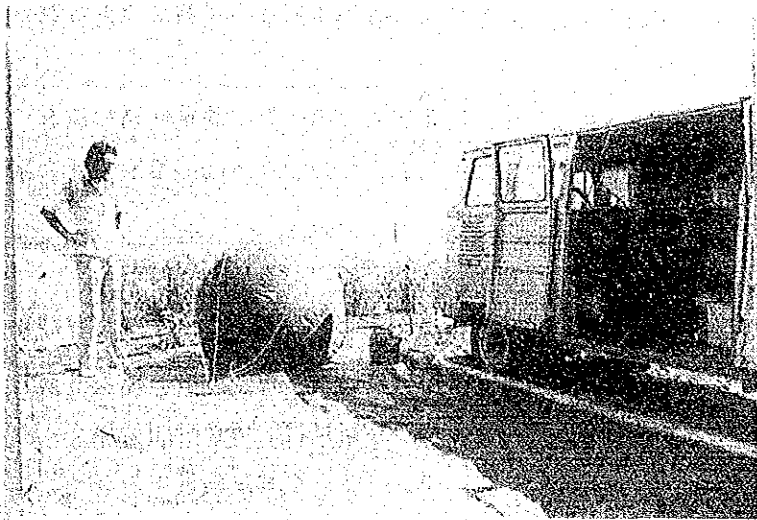
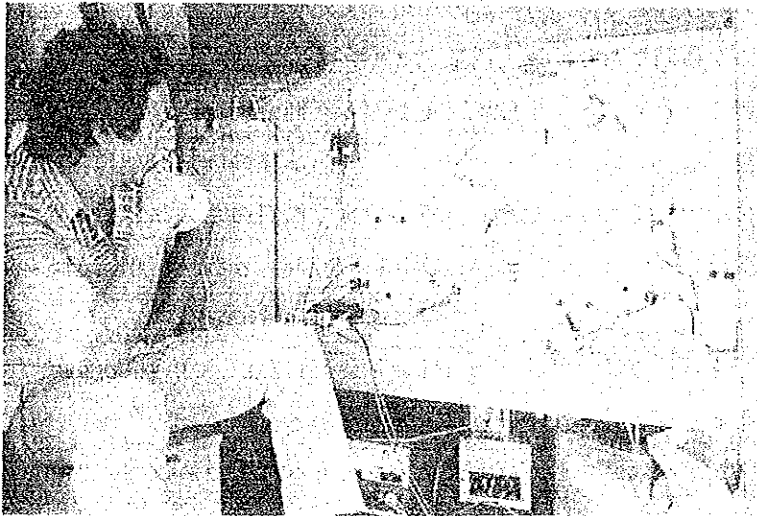


FIG. 2. ASSIMILATION CHAMBER FOR SINGLE LEAF

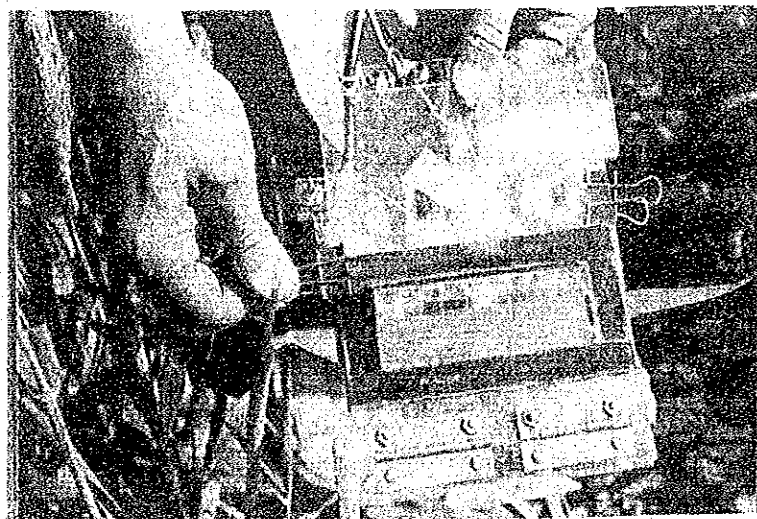
FC : PHOTOCELL TC : THERMOCOUPLE WJ : WATER JACKET  
NL : NYLON LINE RS : REMOTE SWITCH H : HINGE  
A : WATER INLET B : WATER OUTLET C : AIR INLET D : AIR OUTLET



Fot. 1. Photosynthesis and transpiration equipment installed in a van.



Fot. 2. Arrangement of the gas analyzer.



Fot. 3. Setting of wheat leave in the assimilation chamber which connect with the gas analyzer by 25m of vinyl tube.

度・湿度センサーに送られて、含水量が測定される。その後、この空気は除湿剤で除湿された後に、赤外線分析計に送られてCO<sub>2</sub>濃度が測定される。

次に、ブランクの値は、電磁弁の切り換えによって、同化箱入口の空気が測定回路に流れ、含水量とCO<sub>2</sub>濃度が同様に測定される。結局、同化箱の入口と出口におけるCO<sub>2</sub>濃度差と含水量差から光合成と蒸散が計算される。

## 2) 装置と構成する主要機材

付表には装置を構成している計測器および必要機材の仕様を示す。まず、供給空気を貯溜する容器として、移動に便利なように軽いゴム製バルーンを用いた。同化箱の供給空気を3ℓ/minとして約4～5時間使用できる。往復約50mの空気の輸送経路には、応答時間を短くするために、内径4mmの細いビニールチューブを用いた。ミニポンプは、鑑賞魚飼育用のダイヤフラム型ポンプを、単独又は並列接続して用いた。この種のポンプは小型ではあるが強力であり、細長いビニールチューブの抵抗に十分耐えられる。

同化箱前後の空気の分析計への切り換えは、三方電磁弁を用いて迅速化を計った。流量計は流量調節用ニードル弁付きのものが便利であり、最大流量が2ℓと5ℓ/minのものを用いた。

次に、測定機材として、日射測定のためには、半導体フォトセル (Hamamatsu Photonics Cop・model S-1133) を同化箱上に設置した。葉温測定のためには、0.1mm径のCu-Co熱電対を同化箱内に設置し、測定葉の裏面に接触するようにした。空気中の水分測定のためには、小型で応答の速い高分子薄膜静電式湿度センサー (Vaisala Cop・model HMP23u) とCu-Co熱電対を空気溜の中に入れて用いた。

空気中のCO<sub>2</sub>濃度の測定には、赤外線ガス分析計 (Fuji Cop・model ZAL . 0~500 ppm 絶対値型) を用いた。この機種は耐震性に優れ、移動式装置に適している。

以上の測定値の電圧信号は、スイッチによる切り換えによって、3ペンレコーダー (Yokogawa Cop・model 3056-33, 最少電圧DC 2 mV付) に記録した。赤外線炭酸ガス分析計からの電圧信号は、定電圧発生機 (Yokogawa Cop・model 2555) とペンレコーダーのアンプによって、5~10倍に拡大して記録した。

一定湿度の空気を供給するための水温調節では、冷凍機の連続運転と、サミスター・サイリスタ式調節器によるヒーターとを用いて、±0.1℃の精度を実現した。同化箱の冷却も同じ方式である。熱電対用には、0℃基準温度装置 (Komastu electronics Cop・model ZC-114) を使用した。この装置は冷却素子とベローズおよびマイクロスイッチの組合わせで±0.03℃の精度を実現した。

## 3) 同化箱の構造

同化箱はシールド用のゴム板と、チョウツガイをつけたアクリル製の上下の蓋から成り、この間に葉をはさむことによって、同化箱内に葉をセットする方式とした。同化箱の大きさは、葉の先端部と基部が同化箱の外に出る程度の小型のものとし、流通空気のデッドスペースを無

Appendix Equipments and necessities for photosynthesis studies in field

ITEM	CHARACTERISTICS	QUANTITY
CO <sub>2</sub> infrared gas analyser	Fuji Cop. model ZAL. 0 ~ 500ppm	01
Electric stabiliser for above	2 KVA	01
O gas	N <sub>2</sub> Gas, with 10l cylinder	01
Span gas	CO <sub>2</sub> 400ppm, "	01
Two step regulation valve	for above cylinder	03
Couple joint for above	for 4mm I.D. vinyl tubes	03
Humidity sensor	Vaisala Cop. model HMP 23 UT	01
Photocell	Hamatsu Fotonics Cop. Model S-1133	04
Copper-Const. thermocouple	0.1mm	10 m
" " "	0.3mm covered with vinyl	100 m
Cold junction apparatus for above	Komatsu Electric Cop. model ZC-114 and ZA-20	01
Three pen recorder	Yokogawa Cop. Model 3056-33	01
Terminal socket for above		09
Voltage control device	Yokogawa Cop. Model 2555	01
Flow meters	0-2L.mi <sup>-1</sup> with needle valve, PT 1/4	02
Flow meters	0-5L.mi <sup>-1</sup> " "	02
Solenoid valve	PT 1/4, three way valve	01
Joint for above	4mm I.D. vinyl tube	15
Seal tape for above		02
Air pump	Seiko Sangyo Cop. model DF 305 (33l.mi <sup>-1</sup> )	01
"	Nissei Cop. " NS-S1 (2l.mi <sup>-1</sup> )	04
Automatic leaf area meter	Hayashi Cop. model AAM-7	01
Water bath	Taiyo Cop. model CL-30 (Heat/Cooler)	01
Water bath	Taiyo Cop. model DX-80 (Heater)	01
Cooler unit	Taiyo Cop. model 75-L (Cooler)	01
Baloon	capacity 1m <sup>3</sup>	01
Gas washing bottle	catalog n. 1464-500	01
Calcium chloride drying tower	catalog n. 1798-200	01
T-TYPE joint tube	glass, 4mm I.D.	20
Vinyl tube	4mm I.D., 6mm O.D.	200 m
"	8mm I.D., 11mm O.D.	5 m
Glass tube	3mm I.D., 5mm O.D.	2 m
Rubber tube	6mm I.D., 12mm O.D. soft tube	2 m
Rubber tube	6mm I.D., 10mm O.D. hard tube	100 m
Rubber plate	4mm x 300mm x 300mm soft plate	02
Rubber stopper	catalog n. 153-4	10
" "	" 153-5	10
" "	" 155-10	10
" "	" 155-11	10
Acrylic pipe	4mm I.D., 8mm O.D.	02 m
" "	10mm I.D., 14mm O.D.	02 m
" "	20mm I.D., 24mm O.D.	02 m
Acrylic plate	3mm	01 m <sup>2</sup>
" "	2.5mm	01 m <sup>2</sup>
Copper spiral tube	3mm $\phi$ copper, 5 ~ 6 spiral in 7cm $\phi$	02
Chemical		
Dichloro methan	extra pure, 500ml	01
Soda lime	" , 500g	05
Calcium chloride	chemical pure, for drying, small grain, 500g	20
Silica gel	" , blue, 4mm D., 500g	10
Electric necessities		
Electric cable	15A, 2 wire, 8mm x 5mm O.D.	120 m
" "	20A, 2 wire, 12mm O.D.	200 m
Shielded electrical cable	7 ~ 8 wire, 5mm O.D.	100 m

くした。同化箱内の葉は、ナイロン糸によって中空に固定し、空気が上下の層を一定方向に流れるようにした。

細葉用の同化箱の内径は、縦×横×厚さ=4.0×10.0×0.8 cm、広葉用では、9.0×3.3×0.8 cmとした。

同化箱への空気流量を2.5ℓ/min、同化箱から分析計へは、1ℓ/minとして、光合成を測定した。この場合、葉のセットから光合成の最大値に達するまでの所用時間は1.3～1.5分であり、これは葉全体が入る大型同化箱の1/2～1/3の所用時間であった。

#### 4) 同化箱内の温度および日射の調節

野外の測定において最も問題になるのは、同化箱内の昇温である。1サンプルの測定が2～3分であっても、セラードのように日射が強い場合には、箱内の葉温はしばしば40℃以上の高温に達する。本装置では、同化箱の上面に設けたwater jacketと循環式冷却装置(1kw, 5ℓ/min)とを、内径5mm、長さ25mの肉厚ゴム管で接続して、水を循環させて同化箱を冷却した。この方法によって、日中の酷暑下においても、葉温を外気温程度に下げ、長時間測定し得ることを確かめた。ただし、日中の高温時にwater jacketを使用する場合は、葉面に近接した同化箱内の上面に、蒸散した水分が凝縮し易い。これを避けるためには、比較的温度の高い水を循環させること、葉と同化箱上面との間隔を拡げること、および空気流量を増加することなどが必要であった。

日射量の調節は、同化箱上の水準器、あるいはフォトセルに直結したミリアンペアメーターを用いて、同化箱を傾斜させる方法によった。

#### 5) 供給空気中のCO<sub>2</sub>濃度および含水量の調節

同化箱に送る空気のCO<sub>2</sub>濃度の安定を知るために、CPAC圃場(大豆畑横5m、地上高1.5m)の大気中CO<sub>2</sub>濃度を測定した結果CO<sub>2</sub>は、日没後から日の出1時間後までは375±50ppmと変動が大きい。一方、日中は345±2.5ppm程度で変動が小さく、光合成の測定には好都合と言える。しかし、光合成測定の基礎となる同化箱前後のCO<sub>2</sub>濃度差は多くの場合、0～30ppmの範囲にあり、CO<sub>2</sub>濃度の微小な変化は測定障害になり得る。従って、本装置では地上高度約5mの空気を1m<sup>3</sup>のバルーンに一時貯溜する方法をとり、CO<sub>2</sub>濃度の安定した空気を供給するようにした。

蒸散に対する湿度の影響は大きい。従って、水分含量が一定の空気を同化箱に送ること、空気の流路において低温による水分凝結を防ぐことは、最も大切な問題である。

このため、バルーンからの空気を5～10℃の冷水中を通すことによって、比較的乾燥した一定含水量(6.8～9.4mg/ℓ)の空気を同化箱に送った。

今、2.5ℓ/minの空気を10℃の水中に通した場合、例えば葉の蒸散量が10mg H<sub>2</sub>O/minとすると、同化箱通過後の含水量は13.4mg/ℓとなり、露点温度は15.7℃となる。従って、蒸散の正確な測定のためには同化箱以前の空気は10℃、以後は15.7℃以下にならないように注意が

必要である。

#### 6) CO<sub>2</sub> 分析計前における除湿

赤外線分析計で分析する空気については、水分による測定誤差を除くために除湿する必要がある。除湿方法には吸湿剤の使用や冷水による凝縮除湿法がある。本装置では通気時間の短縮と簡便さのために、シリカゲル（粒径4mm）や塩化カルシウムを吸湿剤として用いた。

吸湿剤を用いた場合の問題は、これらの物質中を空気が通過する過程で、水分の吸収ばかり

TABLE 1. CO<sub>2</sub> absorption by chemicals

Chemical	Column*	CO <sub>2</sub> absorption ppm/min	The time needed to reach the left value (min)
Silicagel	small	3.0	5
	middle	4.5	18
	big	8.5	over 100
Calcium chloride	small	1.5	2
	middle	3.5	7
	big	4.0	25

\* Small column ( 1cm Dia. x 8cm long ), middle column ( 1cm x 24cm )  
big column ( 2cm x 24cm )

でなく、CO<sub>2</sub> についても、吸収や放出が起こる点である。第1表には、約25℃、湿度30~40%の通常の大気を、吸湿剤を充填したアクリルパイプに通して除湿した場合の、CO<sub>2</sub> 吸着の程度を示す。通気量は 0.5 l/min である。この結果によれば、シリカゲルを用いた場合や、中や大のカラムを用いた場合にCO<sub>2</sub> の吸着が著しかった。また太いカラムを用いた場合、空気の流路が局所的になり、CO<sub>2</sub> の吸着程度が変化し易い。このため、吸湿剤の使用に当っては、細いカラムの中に、少量の吸湿剤を充填して用いる。そして頻りに交換すること、十分な予備通気をした後に用いること、および通気速度によってCO<sub>2</sub> の吸着程度が異なるので、常に一定量の空気を通す等の注意が必要である。

なお、短時間の光合成測定では、同化箱前後のCO<sub>2</sub> 濃度差から光合成量を計算するので吸湿剤使用による誤差は小さい。一方、CO<sub>2</sub> 濃度を長時間測定する場合は吸湿剤は使用できない。

#### 7) 測定記録

第3図には、本装置を用いて小麦の光合成を測定した場合の記録を示す。

図中の①は同化箱内に葉をセットした後、同化箱出口のCO<sub>2</sub> 濃度が低下する様子を示す。約

1 ~ 1.5分後に一定値に達する。②は同化測定中の葉温を示し、③は日射量を示す。④は同化箱出口における空気の温度を示し、⑤は同相対湿度を示す。⑥は電磁弁を切り変えることによって、同化箱入口のCO<sub>2</sub>濃度を測定している。約1分後に一定値に達する。⑦は同化箱入口に

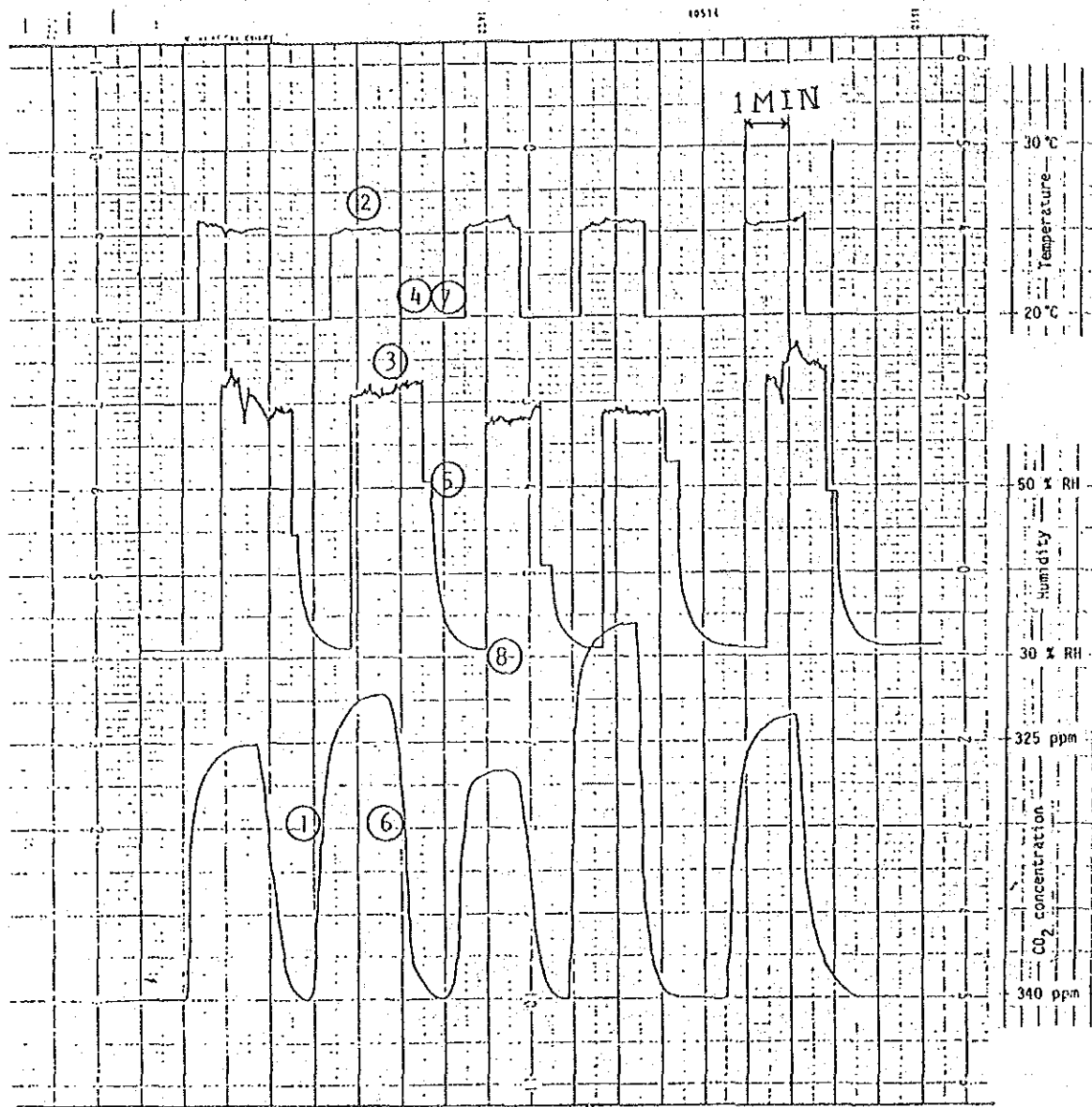


FIG. 3. RECORDER CHART OF PHOTOSYNTHESIS AND TRANSPIRATION OF WHEAT CULTIVARS IN FIELD EXPERIMENT.

- ① CO<sub>2</sub> CONCENTRATION AT AIR OUTLET
- ② LEAF TEMPERATURE
- ③ SOLAR RADIATION
- ④ TEMPERATURE AT AIR OUTLET
- ⑤ HUMIDITY AT AIR OUTLET
- ⑥ CO<sub>2</sub> CONCENTRATION AT AIR INLET
- ⑦ TEMPERATURE AT AIR INLET
- ⑧ HUMIDITY AT AIR INLET



おける空気の温度を示し、⑥は同相対湿度を示す。

以上が1サンプルの測定サイクルであるが、⑥の電磁弁を切り変えた時点で新しい葉を同化箱にセットし得るので、1サンプルの測定所用時間は2.5分以内であった。実際にこの装置を用いて乾期に小麦品種の測定をした結果、日中4時間で約80のサンプルを測定し得た。

## 2. 光合成、蒸散およびガス拡散抵抗の算出

第3図に示したデータから光合成(PS)と蒸散(TP)を次式に従って算出した。

$$PS = ([CO_2]_{out} - [CO_2]_{in}) \cdot F \cdot \frac{273}{273+T} \cdot \frac{44}{22.4}$$

$$TP = ([H_2O]_{out} - [H_2O]_{in}) \cdot F \cdot \frac{273}{273+T} \cdot \frac{18}{22.4}$$

ここで、 $[CO_2]_{out}$ と $[CO_2]_{in}$ はそれぞれ同化箱の出口と入口における $CO_2$ 濃度、同様に $[H_2O]_{out}$ と $[H_2O]_{in}$ は $H_2O$ (水蒸気)濃度を示す。Tは流量計の場所の温度、Fは同化箱への空気の流量を示す。

## 3. 測定例

TABLE 2. Relationships between air flow rate of assimilation chamber and photosynthesis, transpiration and water use efficiency (W.U.E.)

Plant (chamber)	Air flow rate (l/min)	Photosynthesis ( $CO_2$ mg/dm <sup>2</sup> /hr)	Transpiration ( $H_2O$ g/dm <sup>2</sup> /hr)	W.U.E.* (mg/g)
brachi- ara (narrow leaf chamber)	4.0	49.3	5.51	8.9
	3.5	48.2	4.91	9.8
	3.0	47.6	4.43	10.7
	2.5	47.8	4.20	11.4
	2.0	47.8	3.93	12.2
	1.5	45.9	3.58	12.8
	1.0	44.6	2.52	17.7
soy bean (wide leaf chamber)	4.0	16.7	4.01	4.2
	3.5	16.4	3.74	4.4
	3.0	16.5	3.45	4.8
	2.5	16.4	2.91	5.6
	2.0	15.5	2.67	5.8
	1.5	14.4	2.43	5.9
	1.0	13.5	1.92	7.0

\*W.U.E: photosynthesis/transpiration

第2表には同化箱への空気流量を1.0~4.0 l/min (風速2~25cm/sec)の範囲で変えた場合の、“ひえ”と“大豆”の光合成と蒸散の測定例を示す。“ひえ”では細葉用の同化箱，“大豆”では広葉用の同化箱を使用した。この結果

(1) 1.0~4.0 l/minの空気流量の範囲では、流量の増加につれて、光合成および蒸散が増加する。

- (2) 空気流量の増加による、蒸散の増加の程度は、光合成のそれより大きい。この結果、水利用効率  $W, U, E$  (光合成/蒸散比率) は、空気流量の増加につれて著しく減少した。
- (3) “ひえ”と“大豆”の比較において、“ひえ”の光合成は大豆の約 3.0 倍、蒸散は約 1.4 倍、水利用効率は 2.2 倍に達した。
- (4) 以上のことから、測定条件として、光合成、特に蒸散の測定には常に一定流量の空気を送る必要があることがわかった。著者らは測定には  $2.5 \ell / \text{min}$  の一定流量を用いた。

#### 4. 考 察

野外での測定は、室内の測定と異って、自然の土壌や気象条件あるいは栽培条件に則して測定できる利点がある。また、測定技術の面からみて、生理活性が安定で測定しやすいこと等の利点もある。この反面、同化箱内条件が気象的影響を被り易いので、特に、測定時間の短縮と同化箱内環境の制御を心がけた。

測定の迅速化については、同化箱の小型化が効果的であった。また、空気流通路の容積は最少限にするように努めた。次に測定機によって測定された  $\text{CO}_2$  濃度、湿度、温度、および日射等 8 つの信号はリレーとスイッチ回路によって 3 ペンレコーダー一台に記録した。この記録の集中化は測定操作を簡便化したほか、同化箱上におけるリモートスイッチの操作を可能とした。

また、将来、タイマーを使用することによって一定時間毎の自動測定装置に改造することを容易にした。

同化箱内の温度、湿度、 $\text{CO}_2$  濃度および日射については、いずれも自然条件を利用しつつ、人工的制御を加えた。従って、初期の目的通り、同箱内条件を日中数時間にわたって一定に保たせるためには、測定条件をできるだけ自然条件に近く設定すること、気象の安定な季節に試験を行なう事が大切であった。セラードの乾期においては、毎日快晴が続き、同化箱内条件は十分に制御し得た。一方、セラードの雨期では、一般に日射が強い反面、雲の通過が頻繁であり、日射と葉温の急変に対し、本装置では即応できない。

いずれにしても、日射は同化箱内環境を乱す最大の原因となっているので、今後試験によっては遮光や、補助的な人工光源の利用が有効かもしれない。

流量試験において、同化箱へ導入した空気量  $1 \sim 4 \ell / \text{min}$  は風速に換算すると約  $2 \sim 25 \text{ cm} / \text{sec}$  に相当する。この風速の範囲では、強日射下においても、風速のために気孔が閉じることなく、蒸散が追隨した。従って、風速の増加につれて、気孔内外の  $\text{CO}_2$  濃度差が大きくなること、葉の表面を流れる層流の減少などによって光合成が増加したと見られる<sup>7, 9)</sup>。

#### 5. 謝 辞

本装置の作成に当たり、光合成および蒸散研究の必要性を深く理解され、多くの御援助を頂いた、EMBRAPA/CPAC の Wagner 前所長、Edison 副所長、Edward 氏、並びに日本プロジェクトリーダー尾形氏に深く感謝を捧げると共に、当初より機械の購入、送付に対し多くの御協力を頂いた JICA 各位に対して厚くお礼申し上げます。

## 6. 摘 要

- (1) 野外における作物の単葉の光合成および蒸散を測るための装置を作成した。分析計、記録計などの主要機械はバン型自動車に積み込み、分析計と同化箱とを約25mのビニールチューブで結ぶ事によって畑の中の作物を測定した。
- (2) 測定は葉を同化箱に封入した直後から短時間で測定するために、同化箱を小型化し、赤外線分析計、高分子薄膜静電式湿度計、フォトセルおよび Cu-Co熱電対等高感度のセンサーを用いた。また記録の集中化によって、測定時間の簡易化に努めた。この結果、葉の同化箱へのセットを含め、1サンプル当たり 2.5分で測定し得た。
- (3) 同化箱内の環境については、気温、湿度、CO<sub>2</sub>濃度および日射の制御に努めた。同化箱内温度のコントロールのためには、同化箱上に設けたウォータージャケットに水を循環させた。この結果、日中の強日射下においても、葉温を外気温程度に下げ得た。
- (4) 赤外線CO<sub>2</sub>分析計へ通す空気の乾燥のためには、出来るだけ少量の塩化カルシウム、又はシリカゲルを細いカラムに充填して用いる方法がよかった。
- (5) “ひえ”と“大豆”の測定例では、同化箱への空気量（風速）が多くなると、光合成と蒸散が増加したが、水利用効率（光合成／蒸散比）は低下した。これは、光合成に比べ蒸散の増加割合が著しく大きいためである。“ひえ”は“大豆”に比べ、光合成で 3.0倍、蒸散は 1.4 倍、水利用効率は 2.2倍の差があった。

### 参 考 文 献

1. CLEGG, M.D., C.Y.SULLIVAN and J.D.EASTIN 1978. A sensitive technique for the rapid measurement of carbon dioxide concentrations. *Plant Physiol.* 62 : 924-926.
2. ISHIHARA, K. and k. SAITO 1981. An example of the diurnal changes in photosynthetic rate, transpiration rate and diffusion conductance of rice leaves grown in a paddy field. *Japan. Jour. Crop Sci.* 50 (Extra-1) : 203-204.
3. KANDA, A., K. IMAI and T. MORIYA 1984. A gas exchange measurement system and its application to rice and cassava leaves. *Japan. Jour. Crop Sci.* 53 : 472-478.
4. KURODA, E., A.KUMURA and Y.MURATA 1980. A System for Measuring Single Leaf Photosynthesis and Related Factors Simultaneously under Field Conditions. *Japan. Jour. Crop Sci.* 50(Extra-1):105-106.
5. TAKEDA, T., Y. KAWAMITSU, W. AGATA, S. HAKOYAMA AND Y. SHIBA 1983. Simultaneous measurement of photosynthesis and transpiration based on the relative humidity regulation inside assimilation chamber with changing air flow rate. *Japan. Jour. Crop Sci.* 52 (Extra-2) : 94-95.
6. WILLIAMS, B.A. and P.J. GURNER and R. B. AUSTIN 1982. A new infrared gas analyzer and portable photosynthesis meter. *Photosynthesis Research* 3 : 141-151.
7. YABUKI, K., H. MIYAGAWA and A. ISHIBASHI 1970. Studies on the effect of wind speed upon the photosynthesis. (1) Boundary layer near leaf surface. *Jour. Agric. Met.* : 65-70.
8. YABUKI, K. and H. MIYAGAWA 1970. Studies on the effect of wind speed upon the photosynthesis. (2) The relation between wind speed and photosynthesis. *Jour. Agric. Met.* : 137-141.

## On the Simultaneous Measuring System of Photosynthesis and Transpiration in the field

The photosynthesis and transpiration measuring system was designed for rapid measurements on single leaves of crops in varietal trials and other field studies.

- (1) In order to move the system in the field, it is installed in a van. The infrared gas analyzer (IRGA) and assimilation chamber in this system are connected by about 25 m of vinyl tube to measure plants in successive field plots (Fig. 1 and 2, and Fot. 1~3).
- (2) In order to take measurements quickly, the system incorporated a CO<sub>2</sub> IRGA, a moisture sensor of static electricity type made of a thin film of high polymer, a thermocouple and a photocell (Table 1).

The assimilation chamber used was of low volume. Measuring operation of the system was simplified by combination of the electric signals from the sensors onto one recorder.

In these experiments measurement was completed within 2.5 minute per sample.

- (3) Temperature increases in the assimilation chamber were prevented by a cooled water jacket. This enabled the leaf temperature in the chamber to be maintained near the outside air temperature, even under strong solar radiation.
- (4) Several methods of drying the air carried to the IRGA were examined. One results clearly showed that H<sub>2</sub>O-absorbant chemicals such as calcium chloride and silicagel had to be used in small quantities and renewed regularly (Table 2).
- (5) Trial measurements in brachiara and soybean showed that photosynthesis and transpiration increased with increasing air flow rate (wind speed). The increase in transpiration was much greater than that of photosynthesis. It was also found that water use efficiency (photosynthesis/transpiration) greatly decreased with increasing air flow rate.

Photosynthesis of brachiara was about 3 times greater than that of soybean, transpiration was about 1.4 times greater, and water use efficiency was about 2.2 times greater (Table 3).



1. 論文名 和文 セラードにおける小麦の光合成、蒸散および水ポテンシャルの日変化  
英文 Diurnal Variation of Photosynthesis, Transpiration and Water Potential of Wheat in the Cerrados.
2. 著者名 和文 和田道宏 (農業研究センター, 筑波, 日本)  
英文 MICHIMIRO WADA (National Agriculture Research Center, Tsukuba, Japan)
- 和文 ルイス・ジェー・シー・ビー・カルバーリョ (EMBRAPA-CPAC, ブラジリア, ブラジル)  
英文 LUIZ J. C. B. CARVALHO (EMBRAPA-CPA Cerrados Brasilia Brasil)
- 和文 グスターボ・シー・ロドリゲス (EMBRAPA-CPAC, ブラジリア, ブラジル)  
英文 GUSTAVO C. RODRIGUES (EMBRAPA-CPA Cerrados Brasilia Brasil)
- 和文 石井龍一 (東京大学農学部, 東京, 日本)  
英文 RYUICHI ISHII (Tokyo University, Faculty of Agriculture, Tokyo, Japan)





# セラードにおける小麦の光合成、蒸散および水ポテンシャルの日変化

和田 道 宏

LUIZ J. C. B. CARVALHO

GUSTAVO C. RODRIGUES

石 井 龍 一

## 緒 言

ブラジルのセラード地帯では、半年にわたる乾季は農業開発にとって大きな障害となっている。作物の光合成や水分状態の測定は乾物生産や灌漑の重要な指標になると考えられるが、野生植物での研究を除き、まだ十分な研究が行なわれていない。

この論文ではセラードの乾季に光合成や蒸散等の生理形質がどのような日変化をするか、また、灌漑指標としてどのような生理形質が有効であるか検討した。

## 1. 試験材料および方法

試験は1984年と1985年の乾季にアルミニウム (Al) 耐性の異なる小麦品種を灌漑および無灌漑圃場で栽培した。そして、開花期に着生している止葉の光合成、蒸散および水ポテンシャルの日変化を測定した。本報告では、代表的な3つの測定例を、試験 I、II および III として以下に述べる。

### 1) 試験区分と使用小麦品種

Table 1. Experimental plot, wheat cultivar and experimental date

Experiment	Wheat cultivar	Seeding date	non-irrigated period in dry plot	Measuring date
I	BR9 (Brazilian, Al tolerant) BR10 (Mexican, Al non-tolerant)	1984.6.7	7.12-8.14	8.14
II	BR9 (Brazilian, Al tolerant) CHIKUSHI (Japanese, unknown)	1985.5.15	6.23-7.26	7.26
III	TIPTON (Brazilian, unknown)	1984.6.7	7.12-8.14*	9.13

(\* In the experiment III, there were several rainy days before the measuring date.)

表1に示すように試験Ⅰでは、BR9（ブラジル育成のAI耐性強品種）とBR10（メキシコ系のAI耐性弱品種）を1984年6月7日に播種し8月14日に測定した。試験ⅡではBR9とCHIKUSHI（日本品種）を1985年5月15日に播種して7月26日に測定した。試験ⅢではTIPTON（ブラジル品種）を試験Ⅰと同時日に播種したが晩生種であるため9月13日に測定した。

1984年は4月8日以降、1985年は4月20日以降に乾季に入った。このため試験区では播種前日から測定日まで3～5日間隔で灌漑を行ったが、乾燥区では光合成測定前に33日間にわたって灌漑を止めて、土壤の乾燥処理を行った。ただし試験Ⅲでは8月下旬には降雨期に入ったために、測定日における乾燥区と灌漑区の別は無かった。播種から測定日までの灌漑量は、試験ⅠとⅡでは乾燥区で128mm、灌漑区で412mmであった。

## 2) 耕種方法

試験はCPAC内の暗赤色ラトソル土壌で行われた。施肥はha当たり、カルカリオ3t、硫酸130kg、 $K_2O$ 60kg、 $P_2O_5$ 250kgおよび微量要素を加えた。小麦の作付は、80cm間隔毎の平畦に2条ちどりの点播とし、株間は8cm、条間は12cmとした。播種は4～5粒とし、3葉期に間引いて、1本立ちとした。

## 3) 光合成等の測定方法

光合成と蒸散は、和田ら<sup>1)</sup>の方法を用いて、出穂～開花期の小麦の止葉を野外で測定した。また、葉の水ポテンシャルはプレッシャーボンベ<sup>2)</sup>を用いて測定した。

## 2. 試験結果

### 1) 光合成(PS)と蒸散(TP)の日変化

光合成および蒸散の日変化には、(1)午前中最高値型、(2)正午最高値型、(3)日中一定値型の3つの型が見られた。

第1図に示す試験Ⅰでは、光合成と蒸散は、乾燥区、灌漑区のいずれにおいても“午前中最高値型”の日変化を示した。すなわち、光合成は日の出と共に急速に増加し、8時半には最高値に達する。その後、光合成は回復することなく夕方にかけて低下し続けた。また、9時半以降16時頃まで灌漑区は乾燥区より高い値を維持した。

蒸散は光合成に追従して日変化したが、灌漑区でやや遅い9時半に最高値が出現すること、最高値からの低下が小さいことから光合成の日変化と若干異なっていた。また、灌漑区は乾燥区より高い値を維持したがその差は光合成より小さかった。

第2図に示す試験Ⅱでは、光合成は乾燥区で“午前中最高値型”を示し、灌漑区では日射の日変化に似た“正午最高値型”の日変化を示した。このため、灌漑区と乾燥区の日中の差は大きかった。一方、蒸散は光合成と異なり、乾燥区、灌漑区ともに、“正午最高値型”の日変化を示し、乾燥区と灌漑区に差は認められなかった。

第3図に示す試験Ⅲでは、光合成および蒸散は、“日中一定値型”の日変化を示した。すなわち、光合成、蒸散共に、日の出から急速に増加し、9時～9時半に最高値に達する。その後、

14時半頃までの日中は一定値を保ち、以後夕方にかけて急速に低下した。なお、試験Ⅲでは8月下旬からの降雨によって光合成、蒸散のいずれも、乾燥区と灌漑区との差は見られなかった。

## 2) 葉の水ポテンシャル(L.W.P.)の日変化

第2、3図には試験ⅡとⅢの葉の水ポテンシャルの日変化を示す。試験Ⅱでは乾燥区と灌漑区の差は大きい、試験Ⅲでは差が無かった。日変化の型はいずれも、“正午最高値型”に近いが、光合成や蒸散の日変化と異なるのは、一日の変化がゆるやかで安定していること、日中と同様に、朝夕においても乾燥区と灌漑区の差が大きいことである。

## 3) 光合成等に対する小麦の品種間差

光合成、蒸散については、試験ⅠとⅡを通して、乾燥区ではブラジルのAI耐性品種の値は、メキシコや日本品種よりも、日中に高く推移した。これに対し、灌漑区では、一定の傾向がなかった。葉の水ポテンシャルについては第2図のごとく、乾燥区でも品種間差は明らかではなかった。

14, Aug. 1984  
 Wind 1.5 m/sec.

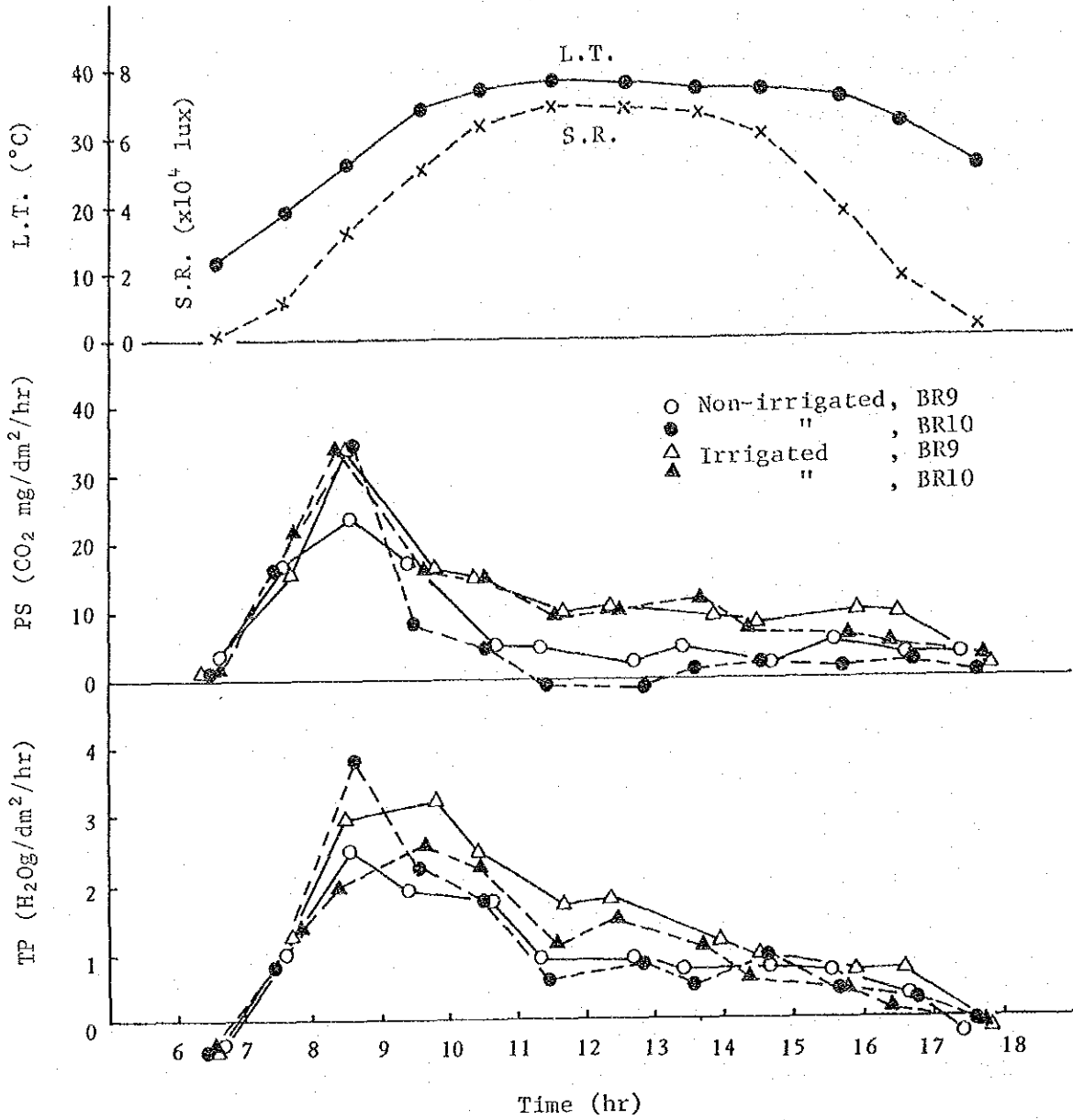


Fig. 1. DIURNAL VARIATION OF PHOTOSYNTHESIS (PS), TRANSPIRATION (TP) AND LEAF TEMPERATURE (L.T.) IN WHEAT, AND SOLAR RADIATION (S.R.) IN DRY AND WET CONDITION OF THE CERADOS, (Exp. I)

(BR9 : Brazilian cultivar, BR10 : Mexican cultivar)

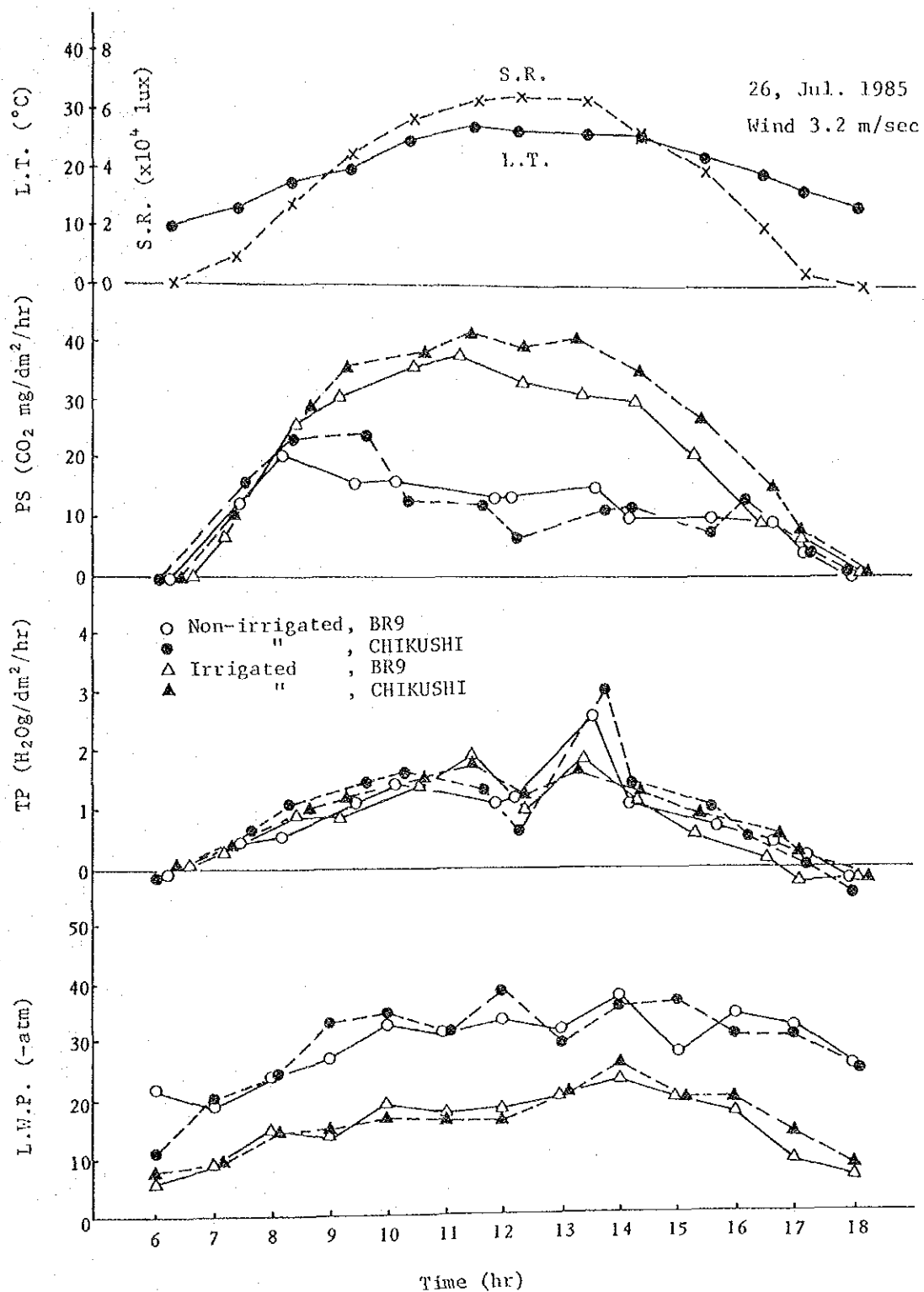


Fig. 2. DIRNAL VARIATION OF PHOTOSYNTHESIS (PS), TRANSPIRATION (TP), LEAF WATER POTENTIAL (L.W.P.) AND LEAF TEMPERATURE (L.T.) IN WHEAT, AND SOLAR RADIATION (S.R.) IN DRY AND WET CONDITION OF THE CERRADOS, (Exp. II).

(BR9 : Brazilian cultivar, CHIKUSHI : Japanese cultivar)

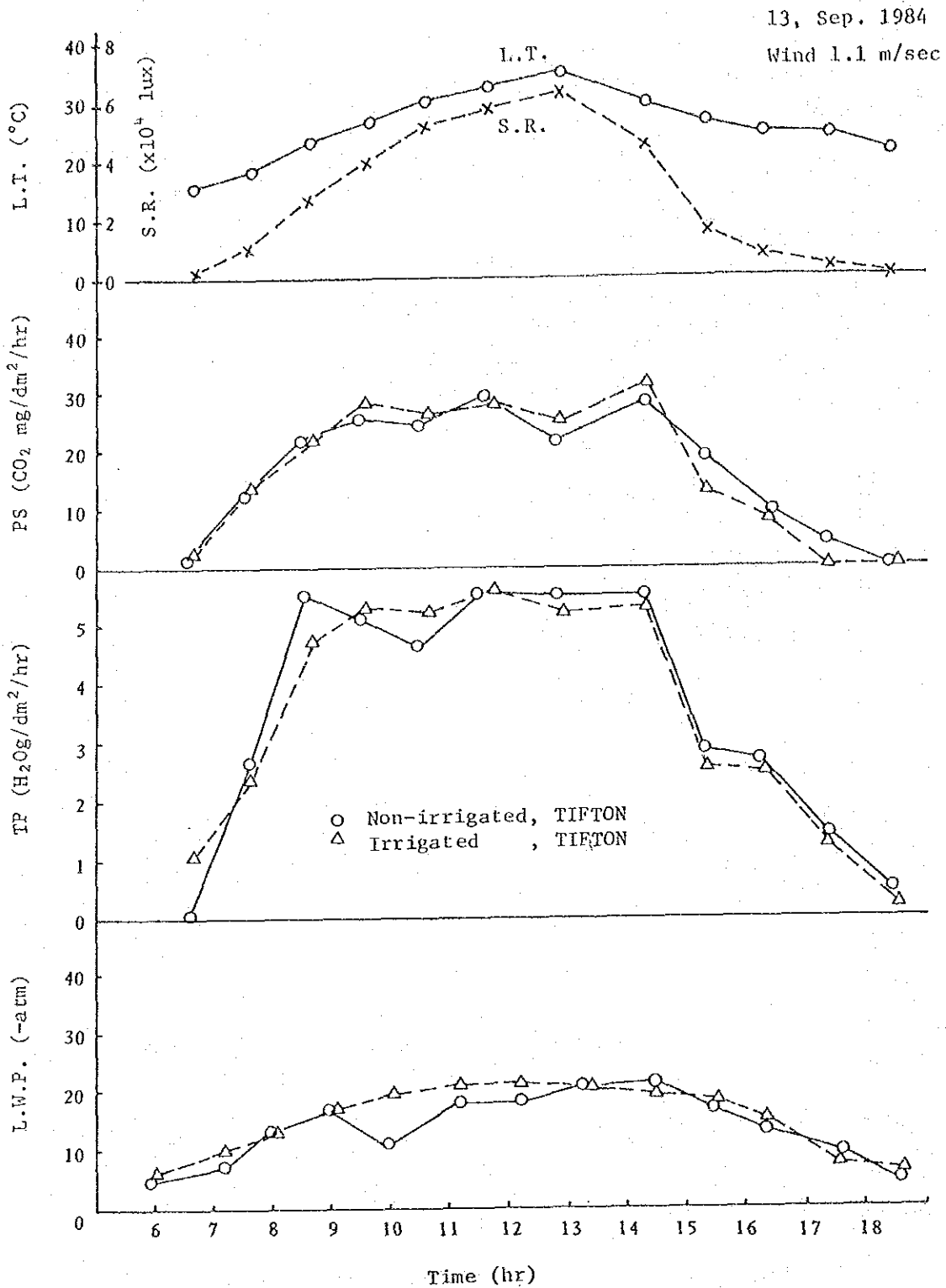


Fig. 3. DIURNAL VARIATION OF PHOTOSYNTHESIS(PS), TRANSPIRATION(TP), LEAF WATER TEMPERATURE(L.W.T.) AND LEAF TEMPERATURE(L.T.) IN WHEAT, AND SOLAR RADIATION(S.R.) AFTER RAINING (IN DRY AND WET CONDITION) OF THE CERRADOS, (Exp. III).

(TIFTON : Brazilian cultivar)

### 3. 考 察

#### 1) 光合成、蒸散の日変化と環境要因

作物の光合成の日変化については、いくつかの報告があり、晴天日にかかわらず気象や土壤水分によって、正午を中心に必ずしも対称形を示さないことが知られている。<sup>2, 4, 5, 6)</sup>

セラード地帯で日変化の型に特徴を与える最大の要因は土壤水分である。まず、光合成と蒸散における、“午前中最高値型”の日変化は、一般に土壤の乾燥区で現われた。試験Ⅰの灌漑区においても“午前中最高値型”が現われた理由は、測定日が灌漑後5日目であり、灌漑間隔が長かったこと、試験Ⅱよりも乾季の開始が早く、測定日が逆に遅かったことなど、灌漑区においても、土壤がかなり乾燥していたためと思われる<sup>7)</sup>。

また、“午前中最高値型”において、光合成の最高値は約 $30\text{mg}/\text{dm}^2/\text{hr}$ の高い値に達し、しかも乾燥区と灌漑区との間に差がみられない。セラードでは気温の日較差が大きいいため、乾季においても夜間から早朝にかけて、地表面および植物葉の表面に湿度の上昇が ocorrênciaやすい。このため、早朝には植物の生理作用が回復したと考えられる。

ちなみに、試験Ⅰでは $17.7^\circ\text{C}$ 、Ⅱでは $13.5^\circ\text{C}$ 、Ⅲでは $13.8^\circ\text{C}$ の気温日較差が記録されている。

次に、“正午最高値型”は十分な土壤水分と好適な気象条件下で現われる。試験Ⅱの蒸散では灌漑と乾燥区に差がなく、最高値の低いならかな“正午最高値型”を示した。これは蒸散が光合成ほど乾燥の影響を受けないことと、終日の強風による葉表面水分の低下のためであろうと思われる。

最後に“日中一定値型”は、土壤水分は十分であるが、高気温、高日射のために光合成や蒸散が頭打ちとなった型と考えられる。この型はセラードの夏季の大豆においても観測された。

なお、気温や日射の反映である葉温については、土壤水分が十分な場合には、第3図のごとく約 $28^\circ\text{C}$ 以上で光合成や蒸散の頭打ちが現われる。一方、第2図のごとく土壤水分が不十分な場合には $23^\circ\text{C}$ 程度でも日中の急激な低下が現われる。

#### 2) 灌漑指標としての生理作用

光合成は乾物生産の指標としてばかりでなく、灌漑指標として重要で、日中において、土壤水分の差や品種間差等をかなりの程度反映する。これに対し蒸散は光合成に追従するが、気象環境の影響を受けやすく変動が大きい。特に風の強い日には土壤水分の差、品種間差が不明瞭となる。

葉の水ポテンシャルは変動の小さい“正午最低値型”の日変化をし、乾燥区と灌漑区との差を日出から日没まで明瞭に反映する。これは水ポテンシャルが蒸散よりも土壤水分と密接であり、気象の急激な変化に影響され難いためと考えられる。このため光合成との関係が詳細に研究されれば、今後灌漑の有効な指標になるかもしれない。<sup>1)</sup>

#### 3) Al耐性品種と光合成

セラードのように乾燥が強く、土壤が強酸性でAl害の強い地帯では、土壤を中和し、Al耐性

品種を用いることは、根の伸長を良くし、耐干性を増すうえで大切である。本試験は、土壌改良を十分行いAl害を除去した条件下で行われたが、なおブラジルのAl耐性強の品種は、乾燥区の光合成や蒸散でメキシコや日本品種よりも高い値を示し、生育も優っていた。今後、ブラジル品種の耐干性について、根の発達や吸水力を含めた詳細な生理、生態的な研究が望まれる。

#### 4. 謝 辞

本研究をすすめるに当って、試験の検討や測定に多くの協力と援助を頂いた、セラード農業研究センターの Dr. Timothy Warner, Mr. Reinaldo L. Gomide氏に心からの感謝を捧げる。

#### 5. 摘 要

セラードにおける小麦の光合成、蒸散および葉水分ポテンシャルの日変化を開花期に測定した。小麦の光合成と蒸散の日変化は、“午前中最高値型”、“正午最高値型”、“日中一定値型”の3つの型に分けられた。これら、日変化の型は、主に土壌水分に対応しており、その他気温、日射、風速に影響された。アルミニウム耐性をもつブラジル品種は、メキシコや日本品種にくらべて、乾燥区の日中に、光合成や蒸散で高い値を示した。しかし、灌漑等、水分条件の十分な場合には品種間差はなかった。

葉の水ポテンシャルは、変動の小さい正午最高値型の日変化を示した。また気象変動にもかかわらず日出から日没まで土壌水分の違いを明瞭に反映していた。以上、葉の水ポテンシャルは光合成と共に灌漑の良い指標となり得ることが判明した。



## 参 考 文 献

- 1) Arihara, J. and K. Watanabe 1977 Method of water potential measurement and some results of experiment with that method. Japan, Jour. Crop Sci. 46: 137-144.
- 2) Gaastra, P. 1959 Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature and stomatal diffusion resistance. Mended, Landbouwhogeschool Wageningen, Nederland 59: 1-68.
- 3) Koh, S. and A. Kumura 1973 Diurnal changes in carbon dioxide exchange of wheat plant under field conditions. Japan, Jour. Crop Sci. 42: 227-235.
- 4) 宮坂 昭, 棟方 研, 秋田重誠, 村田吉男 1969 水稲個体群の光合成の日変化に関する研究 日作紀 38 (別号 2) : 41-42
- 5) Moss, D.N., R.B. Musgrave and E.R. Lemon 1961 Some effects of light, carbon dioxide, temperature, respiration and transpiration of corn. Crop Sci. 1: 83-87.
- 6) Murata, Y., J. Iyama and T. Honma 1965 The influence of soil moisture content on the photosynthesis and respiration of seedling in various forage crops. Japan, Jour. Crop Sci. 34: 385-390.
- 7) 和田道宏, Luiz J. C.B. Carvalho, Gustavo C. Rodrigues and 石井龍一 1986 野外における光合成と蒸散測定装置について. 日本・ブラジル農業研究協力報告書. 5. 日本国際協力事業団.

Diurnal Variation of  
Photosynthesis, Transpiration, Water Potential and  
CO<sub>2</sub> Diffusion Resistance of Wheat in the Cerrados

In order to measure the real growth of wheat cultivars and to gain an indicator for irrigation requirement in the Cerrados, the diurnal variation of photosynthesis and water status of wheat were measured at flowering time.

- (1) There are three types of diurnal variation in the photosynthesis and transpiration of wheat.

In "type of maximum value in the morning", the photosynthesis and transpiration reach a maximum value around 8:30-9:30, (Fig. 1,2).

In "type of maximum value at noon", they reach a maximum at noon, (Fig. 2). And in "type of constant value at noon", they maintain the almost constant value during several hours around noon, (Fig. 3).

The factors affecting these types are mainly soil water condition and next air temperature, solar radiation and wind speed.

- (2) The photosynthesis and transpiration of Brazilian cultivars are greater than Mexican or Japanese ones in water deficit condition. However, there is not difference among them in the case of the well-irrigated condition.
- (3) Leaf water potential showed the stable diurnal variation and reflected clearly the difference of soil water condition from sun rise to sun set in spite of weather fluctuation.
- (4) Photosynthesis and leaf water potential measurements seem to be potentially valuable as good indicators of irrigation requirement.

1. 論文名. 和文. セラードの水分不足下における小麦品種の光合成, 蒸散,  
水利用効率および収量性  
英文. Varietal Differences of Photosynthesis, Transpiration,  
Water Use Efficiency and Yield Ability of Wheat,  
under Water Deficit Conditions of the Cerrados
2. 著者名. 和文. 和田道宏 (農業研究センター, 筑波, 日本)  
英文. MICHIMIRO WADA (National Agriculture Research Center, Tsukuba,  
Japan)
- 和文. ルイス・ジェー・シー・ビー・カルバーリョ (EMBRAPA-CPAC, ブラジリア,  
ブラジル)  
英文. LUIZ J. C. B. CARVALHO (EMBRAPA-CPA Cerrados Brasilia Brasil)
- 和文. グスターボ・シー・ロドリゲス (EMBRAPA-CPAC, ブラジリア, ブラジル)  
英文. GUSTABO C. RODRIGUES (EMBRAPA-CPA Cerrados Brasilia Brasil)
- 和文. 石井龍一 (東京大学農学部, 東京, 日本)  
英文. RYUICHI ISHII (Tokyo University, Faculty of Agriculture, Tokyo,  
Japan)



# セラードの水分不足下における小麦品種の光合成、蒸散、水利用効率および収量性

和田 道 宏

LUIZ J. C. B. CARVALHO

GUSTAVO C. RODRIGUES

石 井 龍 一

## 緒 言

ここ数年セラードの小麦の作付は必ずしも増加していない。これは雨季の終りから、乾季にかけて栽培する無灌漑小麦の収量が低いためと、乾季の灌漑小麦では収量は高いが、栽培コストが非常に大きいことによる。このためにセラードでは耐干性、高収量性の品種が望まれている。

作物生産を増加させるためには、光合成から見た場合、圃場内の総葉面積を増加させ、適正に保つと共に、葉面当たりの光合成能力を増すことが重要である。葉面当たりの光合成を増すために、光合成能力の高い品種を利用することも一つの手段であり、過去、品種差や遺伝性についての研究が多く行なわれて来た<sup>1)~3)</sup>。本研究では、ブラジル、メキシコおよび日本の小麦品種をセラードの乾燥および灌漑圃場で栽培し、移動式の単葉光合成測定装置を用いて、開花期における光合成と蒸散を測定した。また、これら生理形質と乾物生産や子実収量との関係を調べた。

1. 試験材料および方法

1) 試験区分および使用品種

TABLE 1. Wheat cultivars used in the experiment. (exp.1)

Cultivar	Al tolerance	Breeding station
BR 8	○	E. Passo Fundo
BUTUI	unknown	R.G. Sul
BH 1146	○	N. Gerais
BR 9	○	E. CPAC
IAC 24	middle	S.P. Campinas
IAC 21	○	S.P. Campinas
NOBRE	○	R.G. Sul
IAC 5	○	S.P. Campinas
IAC 18	○	S.P. Campinas
CANDEIAS	X	Paraná
MIRIANO 82	○	R.G. Sul
SANTIAGO	unknown	R.G. Sul
PAT 7219	○	R.G. Sul
PELADINHO	○	R.G. Sul
BUCKBUCK	X	MEXICO E. CPAC BR-12 ARUANA
ALONDRA 4546	X	MEXICO
NAHBU	X	MEXICO Paraná
BR 10	X	MEXICO E. CPAC
ANAHUAC	X	MEXICO
ASAKAZE	unknown	JAPAN
CHIKISHI	unknown	JAPAN

○ Aluminium tolerant  
X Non-aluminium tolerant

試験は1984年の乾季にブラジル、メキシコおよび日本品種を乾燥区と灌漑区で栽培し、出穂～開花期に止葉の光合成能力と蒸散を測定した。使用した品種は7月30日～8月13日に出穂した早生穂のみを用いた。灌漑区の出穂は乾燥区より約4日遅れた。試験結果は使用品種によって、次の2試験区に分けて分析した。

試験Ⅰ…既存のブラジル14品種、メキシコ5品種、日本2品種の合計21品種を使用。測定は乾燥区と灌漑区。

試験Ⅱ…ブラジルで育成中の24系統を使用。測定は乾燥区のみ。

なお第Ⅰ表の通りブラジル品種の大部分はアルミニウム (Al) 耐性強に対し、メキシコ品種はAl耐性は弱く、日本品種のAl耐性は不明であった。

2) 耕種方法および土壌の乾燥と灌漑処理

試験ⅠとⅡは、CPAC内の暗赤色ラトソル土壌で行なわれた。施肥はha当たり、カルカリオ3t、硫酸120～140kg、K<sub>2</sub>O 60kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 250kg、を施し、微量要素を加えた。小麦の播種方法は、80cm毎の平畦に、2条ちどりの点播とし、株間は8cm、条間は12cmとした。播種は4～5粒とし、3葉期に間引いて1本立ちとした。

播種は6月に行なったが、本年は4月8日以降乾季に入っていたため、十分な灌漑後に播種

した。灌漑はその後3～5日間隔で、8月下旬の降雨期の始めまで行なった。

一方、土壌の乾燥区は、幼穂形成を認めた7月2日から、光合成測定後の8月14日までの33日間にわたって灌漑を止めて、乾燥区とした。灌漑量はCPACの慣例に従ったが、灌漑区では約400mmに達した。

### 3) 光合成、蒸散および収穫物の調査方法

光合成と蒸散は圃場で開花期に止葉を用いて、和田ら<sup>11)</sup>の方法を用いて測定した。灌漑区では灌漑後1～2日のうちに測定した。測定反復数は試験Ⅰの乾燥区で8葉、灌漑区で5葉、試験Ⅱの乾燥区では3～5葉であった。葉面積は切り取った葉を室内で葉面積計で測定した。光合成と蒸散の測定は8月5～13日の、11～14時の間に行なった。収穫物は、平均的な株を1品種当たり20株選び、全乾物重、収量、収量構成要素および草丈を測定した。

TABLE 2. Photosynthesis and transpiration of wheat cultivars in the irrigated and non-irrigated field. (exp. 1)

Cultivar	NON - IRRIGATED		IRRIGATED	
	Photosynthesis (mg CO <sub>2</sub> /dm <sup>2</sup> /hr)	Transpiration (g H <sub>2</sub> O/dm <sup>2</sup> /hr)	Photosynthesis (mg CO <sub>2</sub> /dm <sup>2</sup> /hr)	Transpiration (g H <sub>2</sub> O/dm <sup>2</sup> /hr)
BR 8	22.7 ± 6.9	3.86 ± 0.67	39.2 ± 7.5	5.54 ± 0.61
BUTUI	21.4 ± 4.8	3.80 ± 0.89	32.9 ± 4.4	5.58 ± 0.58
BH 1146	21.0 ± 4.4	4.38 ± 0.77	32.3 ± 5.5	5.27 ± 0.53
BR 9	19.9 ± 5.6	4.50 ± 0.37	30.5 ± 2.5	4.73 ± 0.34
IAC 24	19.6 ± 7.6	4.12 ± 1.13	40.8 ± 5.8	5.46 ± 0.79
IAC 21	19.5 ± 4.9	3.76 ± 0.83	33.4 ± 4.2	5.09 ± 0.37
NOBRE	19.3 ± 2.9	3.84 ± 0.80	40.3 ± 5.2	6.39 ± 0.83
IAC 5	19.1 ± 7.0	4.25 ± 0.53	31.8 ± 3.9	4.87 ± 0.21
IAC 18	18.8 ± 6.5	5.01 ± 0.60	39.3 ± 3.5	5.91 ± 0.47
CANDEIAS	18.5 ± 5.0	3.98 ± 0.63	45.2 ± 2.9	6.44 ± 0.34
MINUANO 82	17.9 ± 7.2	4.15 ± 0.83	34.7 ± 3.4	4.20 ± 0.52
BUCKBUCK	17.0 ± 9.8	3.35 ± 0.99	38.4 ± 5.0	5.87 ± 0.23
SANTIAGO	16.4 ± 4.7	3.67 ± 0.65	45.8 ± 7.3	7.04 ± 0.91
ALONDRA 4546	14.6 ± 6.7	3.98 ± 0.95	30.5 ± 8.2	4.07 ± 0.88
NAMBU	12.7 ± 5.8	3.20 ± 0.74	36.0 ± 4.8	5.72 ± 0.39
BR 10	12.1 ± 6.1	3.53 ± 1.52	36.8 ± 5.0	5.27 ± 0.50
PAT 7219	11.6 ± 6.5	3.28 ± 0.80	35.6 ± 6.3	5.57 ± 0.42
ASAKAZE	9.5 ± 5.6	2.66 ± 0.69	29.6 ± 5.7	4.67 ± 0.69
PELADINHO	8.3 ± 3.4	2.91 ± 0.37	28.6 ± 6.4	5.00 ± 0.85
CHIKUSHI	6.0 ± 4.9	2.78 ± 0.47	33.8 ± 5.3	4.79 ± 0.25
ANAHUAC	5.0 ± 2.0	2.27 ± 0.31	39.8 ± 2.9	5.50 ± 0.16
mean	15.8 ± 5.6	3.68 ± 0.72	36.0 ± 5.1	5.38 ± 0.52
S	± 5.2	± 0.67	± 4.9	± 0.73
C. V.	33.2%	18.1%	13.6%	13.5%

TABLE 3 Photosynthesis and transpiration of wheat strains in the non-irrigated field (exp. II)

Strain	NON - IRRIGATED	
	Photosynthesis (mg CO <sub>2</sub> /dm <sup>2</sup> /hr)	Transpiration (g H <sub>2</sub> O/dm <sup>2</sup> /hr)
PF 8158	22.3 ± 2.3	5.31 ± 0.41
PF 79606	21.4 ± 2.4	4.50 ± 0.49
OC 8148	20.9 ± 2.7	4.49 ± 0.12
PF 79814	19.8 ± 3.3	5.86 ± 0.77
PF 79545	19.1 ± 3.3	4.01 ± 0.35
PF 79687	18.3 ± 3.4	5.65 ± 0.25
PF 79793	17.6 ± 3.0	4.11 ± 0.42
PF 79519	17.3 ± 3.6	4.47 ± 0.38
PF 7836	17.3 ± 8.6	2.51 ± 0.17
PF 79639	17.3 ± 4.4	3.81 ± 0.35
PF 79819	17.0 ± 3.5	4.48 ± 1.01
OC 8160	17.0 ± 9.1	4.89 ± 1.67
PF 79637	16.2 ± 6.8	4.78 ± 0.69
LD 7821	15.5 ± 3.5	3.59 ± 0.69
PF 79678	15.4 ± 1.1	3.65 ± 0.35
PF 81207	14.0 ± 1.9	3.58 ± 0.10
PF 81160	13.8 ± 8.2	3.36 ± 0.83
CPAC 831228	14.3 ± 6.0	5.88 ± 0.53
CPAC 7727	12.9 ± 1.4	2.84 ± 0.05
PF 79474	11.8 ± 4.1	3.74 ± 0.29
CPAC 831230	10.7 ± 4.1	4.19 ± 0.37
PF 8049	9.7 ± 5.7	3.75 ± 0.72
CPAC 8108	8.9 ± 1.1	3.37 ± 0.49
CPAC 8127	8.3 ± 3.8	3.18 ± 0.34
mean	15.7 ± 4.2	4.16 ± 0.50
S	±3.9	±0.91
C.V.	24.8%	21.7%

## 2. 試験結果

### 1) 光合成および蒸散の土壌水分による変動

第2表には試験Ⅰの品種別光合成と蒸散を示し、第3表には試験Ⅱのそれを示す。先ず、乾燥区と灌漑区の比較であるが、試験Ⅰでは乾燥区の水合成の品種平均は15.8mg CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>/hrで、これは灌漑区の36.0mg CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>/hrの約44%である。一方、乾燥区の水蒸散の品種平均は3.68g H<sub>2</sub>O/dm<sup>2</sup>/hrで、灌漑区の5.38g H<sub>2</sub>O/dm<sup>2</sup>/hrの約68%である。このことから土壌の乾燥処理は水合成と蒸散を低下させるが、その割合は水合成で大きい。

次に品種間の変動をみると、乾燥区の水合成の変異係数33.2%に対し、灌漑区では13.6%で



あり、乾燥区の品種間差は大きい。一方、蒸散の品種間変動は光合成より小さく、乾燥区で18.1%、灌漑区で13.5%であった。同一品種内の個体変動についても、乾燥区では光合成、蒸散ともに変動が大きく、乾燥下での栽培の均一化が難しいことを示唆している。

次に、試験Ⅱの乾燥区では、品種間変異係数と同一品種内の個体変動は、試験Ⅰと同じく光合成の方が蒸散より大きかった。

## 2) 光合成および蒸散の品種間差異

表2には、試験Ⅰの乾燥区における光合成値が高い順に品種を並べてある。この結果によれば、上位にはブラジル品種が並び、下位にメキシコ品種と日本品種が並んだ。乾燥区における光合成のブラジル品種平均は18.1mg/dm<sup>2</sup>/hr、メキシコ品種12.3mg、日本品種7.8mgで大きな差が見られた。これに対し、灌漑区での光合成の品種順位は乾燥区の順位と一致しない。ちなみに光合成の乾燥区と灌漑区との相関は $\gamma = 0.186$ で有意ではなく、また、灌漑区のブラジル品種平均は36.5mg、メキシコ品種36.3mg、日本品種31.7mgとその差も極く小さかった。

蒸散については、光合成との関係が深く、乾燥区では表の上位のものほど高く、灌漑区では光合成の高い品種で蒸散も高かった。蒸散と光合成の相関は乾燥区で $\gamma = 0.838^{**}$ 、灌漑区で $\gamma = 0.882^{**}$ と有意であった。

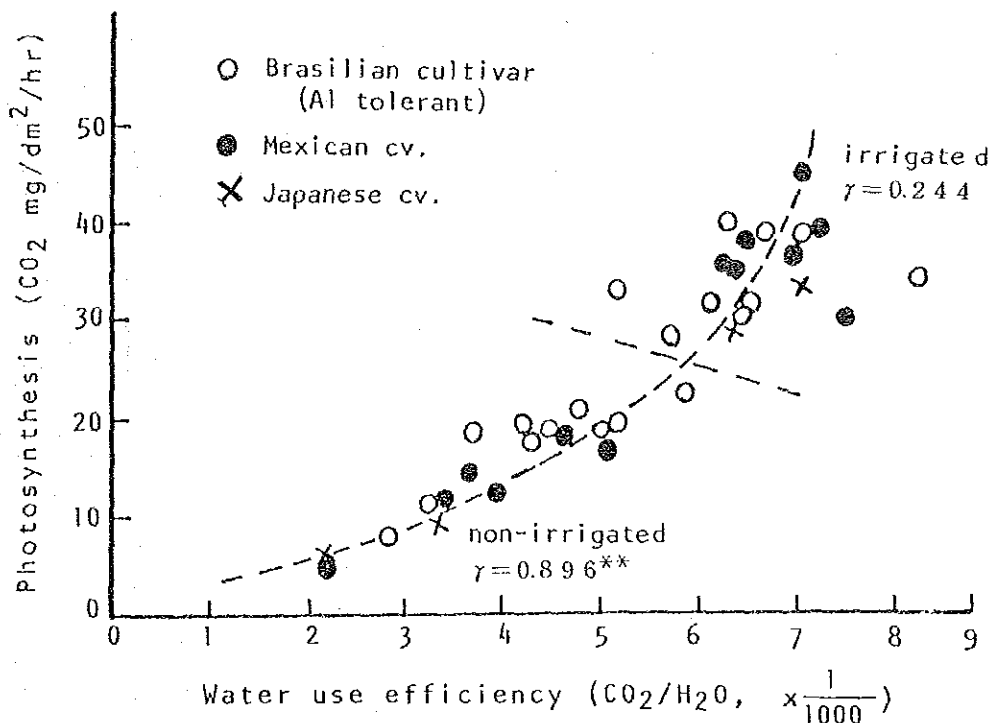


FIG. 1 RELATIONSHIP BETWEEN WATER USE EFFICIENCY AND PHOTOSYNTHESIS IN WHEAT CULTIVARS.

試験Ⅱでは、乾燥区における光合成と蒸散の相関係数は  $\gamma = 0.509^*$  でやはり有意であった。

### 3) 光合成と水利用効率との関係

光合成を蒸散で割った値は水利用効率を表し、乾燥地では作物生育にとって有用な指数である。第2表から計算した水利用効率を第1図に示す。この図によれば乾燥区の水利用効率では、ブラジル品種の値が平均で  $4.54 \text{ mg CO}_2/\text{gH}_2\text{O}$  と高く、メキシコ品種は3.55、日本品種は2.81と低かった。即ち、同じ量の水分を使って、ブラジル品種は他の品種の36%増しの光合成を行なう。これに対し、灌漑区では育成地別の品種差はみられなかった。

次に第1図に示すように水利用効率と光合成との関係を見ると、乾燥区では両者間に  $\gamma = 0.896^{**}$  の高い相関が認められた。これに対し、灌漑区では  $\gamma = 0.244$  で有意な相関は認められなかった。また、試験Ⅱの乾燥区では  $\gamma = 0.665^{**}$  で、試験Ⅰと同じ有意差が認められた。

作物の生育にとって、光合成の高い品種は望ましいが、先に述べた通り、一般に光合成の高い品種は蒸散も多い。従って、乾燥地では、光合成と水利用効率が共に高い品種が望ましい。この観点から、第2表、第1図を参考に乾燥圃場に適する品種を選ぶと、次のようである。

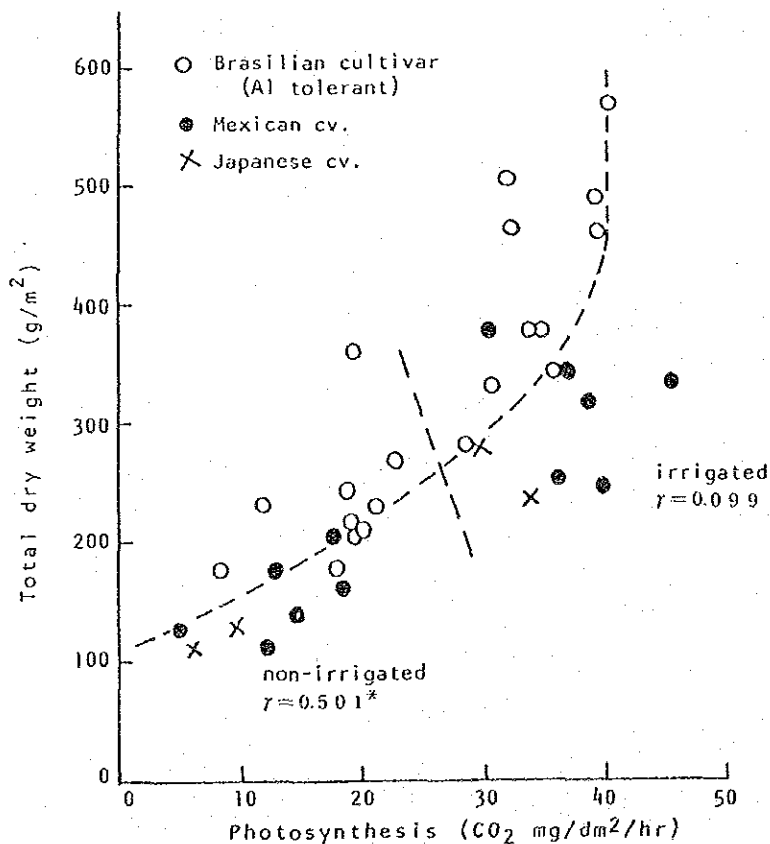


FIG. 2 RELATIONSHIP BETWEEN PHOTOSYNTHESIS AND TOTAL DRY WEIGHT IN WHEAT CULTIVARS.

BR8, BUTUI, IAC21, BHI146, NOBRE, IAC24, BR9, IAC5

これらの品種は主にブラジル育成のAl耐性強の品種である。一方、光合成と水利用効率が共に低い品種は次のようである。

BR10, ASAKAZE, PELADINHO, CHIKUSHI, ANAHUAC

これらの品種は主にメキシコと日本育成のAl耐性弱の品種である。

#### 4) 品種の光合成と収量性

第2図には出穂期における止葉の光合成能力と、収穫期における全乾物重との関係を示す。この図によれば、乾燥区では両者間に高い相関があり、高い光合成能力をもつブラジル品種は高い乾物生産を示す。これに対し、光合成の低いメキシコと日本品種は比較的低い全乾物重を示す。一方、灌漑区では、光合成と全乾物重の間に相関は無く、ブラジル品種には高い全乾重を示す品種も多いが、必ずしも光合成は高くない。

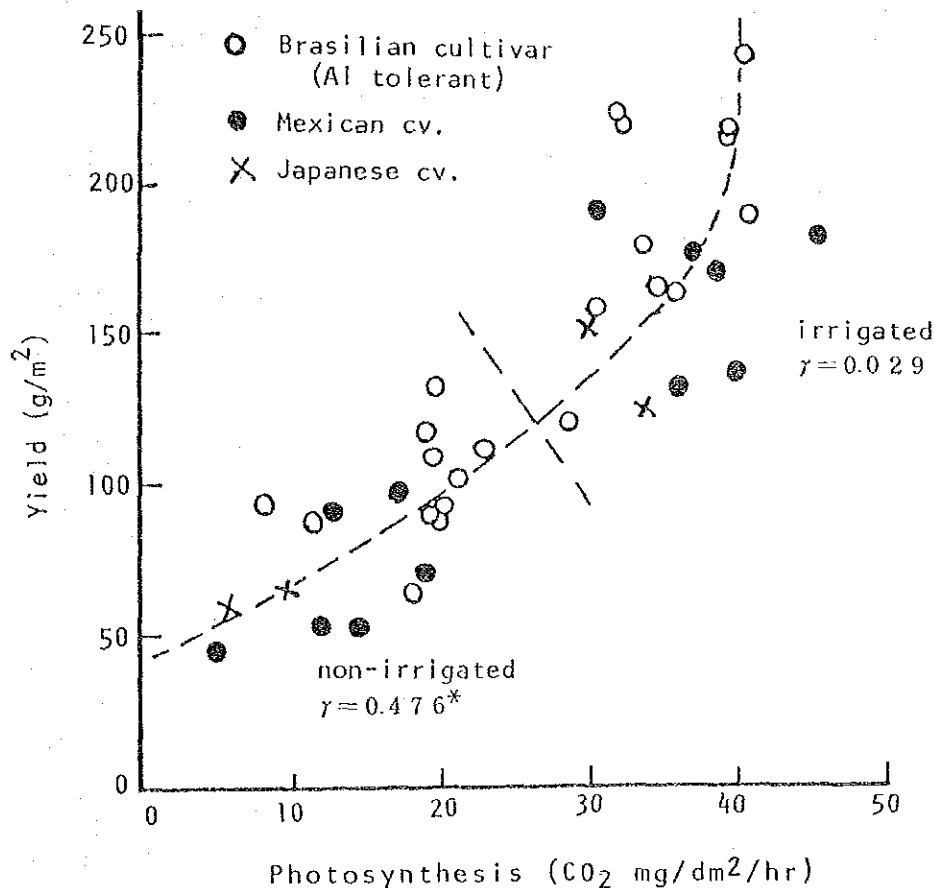


FIG. 3 RELATIONSHIP BETWEEN PHOTOSYNTHESIS AND YIELD IN WHEAT CULTIVARS.

第3図に示す光合成と子実重の関係も、全乾物重の関係とほぼ同じである。

次に第3表と第4表には、それぞれ試験IとIIの光合成、蒸散および水利用効率の相互の相

TABLE 4 Correlations amongst the physiological and ecological characteristics in wheat cultivars. (exp. I)

Characteristic	NON - IRRIGATED			IRRIGATED		
	Photo-synthesis	Transpiration	Water use efficiency	Photo-synthesis	Transpiration	Water use efficiency
Transpiration	0.838 <sup>**</sup>	—	—	0.882 <sup>**</sup>	—	—
Water use efficiency	0.896 <sup>**</sup>	0.546 <sup>*</sup>	—	0.244	-0.327	—
Total dry weight	0.501 <sup>*</sup>	0.385	0.511 <sup>*</sup>	0.099	0.276	-0.328
Grain yield	0.476 <sup>*</sup>	0.394	0.449 <sup>*</sup>	0.029	0.198	-0.330
1000 Grain weight	0.822 <sup>**</sup>	0.681 <sup>*</sup>	0.747 <sup>**</sup>	0.202	0.180	0.072
Total dry weight per ear	0.477 <sup>*</sup>	0.360	0.427	0.179	0.373	-0.314
Grain yield per ear	0.210	0.131	0.117	0.086	0.243	-0.257
Ear number	0.312	0.233	0.353	-0.029	0.087	-0.253
Grain number	0.164	0.133	0.167	-0.119	0.083	-0.415
Grain number per ear	-0.091	-0.197	-0.219	-0.148	0.051	-0.352
Grain yield per t.d.w	-0.452 <sup>*</sup>	-0.371	-0.465 <sup>**</sup>	-0.106	-0.274	0.268
Plant height	0.554 <sup>**</sup>	0.393	0.457 <sup>*</sup>	-0.085	0.087	-0.250

\*: 5% significance level

\*\* : 1% " "

TABLE 5. Correlations amongst the physiological and ecological characteristics in wheat strains. (exp. II)

Characteristic	NON - IRRIGATED		
	Photo-synthesis	Transpiration	Water use efficiency
Transpiration	0.509 <sup>*</sup>	—	—
Water use efficiency	0.665 <sup>**</sup>	-0.273	—
Total dry weight	0.404 <sup>*</sup>	0.244	0.240
Grain yield	0.350	0.390	0.051
1000 Grain weight	0.191	-0.175	0.396
Total dry weight per ear	0.526 <sup>**</sup>	0.230	0.422 <sup>*</sup>
Grain yield per ear	0.458 <sup>*</sup>	0.454 <sup>*</sup>	0.140
Ear number	-0.060	0.017	-0.103
Grain number	0.221	0.436 <sup>*</sup>	-0.141
Grain number per ear	0.343	0.548 <sup>**</sup>	-0.074
Grain yield t.d.w	-0.171	0.306	-0.462 <sup>*</sup>
Plant height	0.468 <sup>*</sup>	0.019	0.532 <sup>**</sup>

\*: 5% significance level

\*\* : 1% " "

関係数を示すと共に、それぞれの生理形質と収穫期における乾物重、子実重、収量構成要素および草丈との相関係数を示した。

先ず、乾燥区では試験ⅠとⅡを通して、光合成は、前述したように全乾重、子実重と有意な相関があるが、このほか、1穂全乾重、1穂子実重および草丈と有意な相関があった。蒸散や水利用効率と収量性との関係では、光合成の傾向と似ているが相関係数は低くなり、関係が光合成より低いことを示している。

一方、灌漑区においては、光合成、蒸散および水利用効率のいずれも、乾物重、子実重、収量構成要素および草丈と有意な相関は示さなかった。

TABLE 6. Correlation between dry weight, yield and other characteristics (exp.1 and 2)

Characterisitic	NON - IRRIGATED				IRRIGATED	
	exp. 1		exp. 2		exp. 1	
	Total dry weight	Grain yield	Total dry weight	Grain yield	Total dry weight	Grain yield
Total dry weight	-	0.898 <sup>**</sup>	-	0.899 <sup>**</sup>	-	0.938 <sup>**</sup>
Ear number	0.872 <sup>**</sup>	0.646 <sup>**</sup>	0.597 <sup>**</sup>	0.588 <sup>**</sup>	0.841 <sup>**</sup>	0.866 <sup>**</sup>
Grain number per ear	-0.118	0.254	0.323	0.476 <sup>*</sup>	-0.036	0.008
1000 Grain weight	0.367	0.196	0.047	-0.010	0.481 <sup>*</sup>	0.478 <sup>*</sup>
Plant height	0.787 <sup>**</sup>	0.656 <sup>**</sup>	0.592 <sup>**</sup>	0.348	0.846 <sup>**</sup>	0.757 <sup>**</sup>

\*: 5% significance level

\*\* : 1% " "

第6表には収穫期の全乾重、子実重と収量構成要素の相関係数を示す。これによれば乾燥区では、全乾重や子実重は、穂数、草丈と有意な相関を示した。一方、灌漑区では穂数、草丈のほか1000粒重と有意な相関を示した。

なお、乾燥区において、光合成および全乾物重の高い品種を選ぶとNOBRE, BR8, IAC24, BH1146, IAC18, SANTIAGO, IAC5, BR9, IAC21等であり、光合成、全乾物重の低い品種は、CHIKUSHI, ANAHUAC, ASAKAZE, BR10, ALONDRA4546等であった。これらのグループは先に示した光合成と水利用効率の大小によるグループとよく一致していた。

以上のことから、乾燥区では、全乾重や子実重の品種間差に対し、光合成等の生理形質が穂数や草丈と共に直接関与していること、灌漑区では光合成等の関与は少なく、穂数や草丈や1000粒重のみが関与していることが判明した。

なお、本試験の範囲では過剰な生育は行なわれず、草丈の高いブラジル品種においても倒伏

は見られなかった。今後、より高収量の品種を育成するためには耐旱性を失わずに、耐倒伏性や耐肥性の形質を導入することが必要と考えられる。

### 3. 考 察

#### 1) ブラジル品種の耐旱性

本試験では、品種を育成地別に見た場合、乾燥下ではAI耐性の強いブラジル品種の光合成、蒸散、水利用効率、および乾物重や子実重が他の品種よりも高いことを示した。乾燥下でブラジル品種の光合成が高い理由の一つは、吸水が多いためであろう。これは蒸散が高いことからもうかがわれる。小麦の作付に当たり、土壌改良し、AI害は除去されたと考えられるので、少なくとも耕土の浅い部分ではメキシコや日本品種の根にとって不利であったとは考えられない。このため、ブラジル品種は単位根の吸水力の強さか、根の深層への分布のいずれかに有利な点があると考えられる。

一般にブラジル品種は、メキシコや日本の多収品種より草丈は高いので、根が深い可能性があるが、逆にブラジル品種の高い光合成力が根の伸長を促したり、吸水機能あるいはAI耐性機能を強化しているかもしれない。これらの点について今後より詳細な品種比較が望まれる。

#### 2) 光合成、蒸散および水利用効率の相互関係

既に述べたように光合成は蒸散と密接な関係にあり、品種および乾燥、灌漑両区を通しての相関係数は  $\gamma = 0.928^{**}$  と高い。試験 I の光合成 (P) と蒸散 (T) の関係式は次の直線式で表わされる。

$$P = 10T - 20 \dots \dots (1)$$

(ただし P:  $\text{CO}_2 \text{mg}/\text{dm}^2/\text{hr}$ , T:  $\text{H}_2\text{Og}/\text{dm}^2/\text{hr}$ )

一方、 $P/T$  を水利用効率 (W) とすると、(1) 式は次式で表わされる。

$$P = \frac{20W}{10 - W} \dots \dots (2)$$

(ただし, W:  $\text{CO}_2 \text{mg}/\text{H}_2\text{Og}$ )

この式は、Wが増加するとPが指数的に増加する事を意味する。従って、光合成や蒸散の低い乾燥区では第 I 図のように光合成 (P) と水利用効率の相関は高いが、灌漑区では水利用効率に比べ、光合成は急増し、相関は相対的に低くなっている。

また、乾燥区で水利用効率の品種間差が比較的大きいのは、一般に乾燥によって生ずる光合成の低下が蒸散以上に大きく、光合成と蒸散の差が相対的に大きいためである。一方、灌漑区では光合成と蒸散が比例的でその差が相対的に小さいことも、水利用効率の品種間差を小さくしている原因であろう。

#### 4. 謝 辞

本研究に当たり、セラード農牧研究センターのMr. Edson J. Lorezeski 氏から品種選定について、また、Mr. Djalma 氏から肥料設計について協力を頂いた。ここに心からの感謝を捧げる。

#### 5. 摘 要

セラードの土壌水分を変えた圃場で、21の小麦品種および24の育成中の系統を用いて、開花期における止葉の光合成能力と蒸散を測定した。また収量性についての調査も行なった。

この結果、乾燥区ではブラジルのアルミニウム (Al) 耐性品種群はメキシコや日本品種よりも光合成、蒸散、水利用効率が高く、かつ全乾物重や子実収量も多かった。また、光合成は、蒸散、水利用効率、全乾物重、子実重および草丈等と相関が高かった。一方、灌漑区では、品種の育成地による差は光合成等の生理形質や乾物重、子実重で見られなかった。また光合成は蒸散と高い相関を示すが他の形質との相関は低かった。今後、ブラジル品種に高収量性を付与するためには、耐旱性を失わずに耐倒伏性や耐肥性の導入が望まれる。

## 参 考 文 献

- 1) Denmead, O.T. and R.H. Shaw 1962. Availability of soil water to plants as effected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agron. Jour.* 54: 385-390.
- 2) Irvine, J.E. 1967. Photosynthesis in sugar cane varieties under field conditions. *Crop Sci.* 7: 297-300.
- 3) Khan, M.A. and S. Tsunoda 1970. Difference in leaf photosynthesis and leaf transpiration rates among six commercial wheat varieties of West Pakistan. *Japan Jour. Breed.* 20: 344-350.
- 4) Mahon, J.D. and S.L.A. Hobbs 1981. Selection of pears for photosynthesis CO<sub>2</sub> exchange rate under field conditions. *Crop Sci.* 21: 616-621.
- 5) 村田吉男 1957. 水稻品種の光合成特性. *農業技術* 12: 460-464.
- 6) Murata, Y., J. Iyama and T. Honma 1965. The influence of soil moisture content on the photosynthesis and respiration of seedlings in various forage crops. *Japan Jour. Crop Sci.* 34: 385-390.
- 7) Ojima, M. and R. Kawashima 1968. Varietal differences in photosynthetic rate of soybean. *Japan Jour. Crop Sci.* 37: 667-675.
- 8) Ojima, M., R. Kawashima and S. Sakamoto 1968. Relationship between the activity of photosynthesis of improved varieties and that of the parent ones. *Japan Jour. Crop Sci.* 37: 676-679.
- 9) 和田道宏, Luiz J. C.B. Carvalho, Gustavo C. Rodrigues, and 石井龍一 1986. 野外における光合成 蒸散測定装置について. 日本ブラジル農業研究協力報告書No.5. 日本国際協力事業団.



Varietal Differences of  
Photosynthesis, Transpiration, Water Use Efficiency and Yield  
Ability of Wheat under Water Deficit Conditions of the Cerrados

In order to know that physiological and ecological characteristics of wheat cultivars which are adaptable to the Cerrados, the photosynthesis and transpiration rates were measured at flowering time.

- (1) 21 wheat cultivars, including Brazilian (Aluminum tolerant, and suitable for non-irrigated cultivation), Mexican (Aluminum susceptible, and suitable for irrigated cultivation), and Japanese cultivars, and 24 Brazilian-bred wheat strains were sown at the same time in June, 1984 (Table 1-3).
- (2) In non-irrigated plots photosynthesis transpiration and water use efficiency (photosynthesis/transpiration) of Brazilian cultivars were greater than Mexican and Japanese ones, but in irrigated plots, the varietal difference was unclear (Table 2 and Fig. 1).
- (3) Photosynthesis had a high correlation with transpiration rate and water use efficiency in non-irrigated plots. Mean water consumption per unit of photosynthesis in Brazilian cultivars was about 2/3 that of other cultivars. On the contrast, photosynthesis in irrigated plots has a high correlation with transpiration rate only. Photosynthesis has a high correlation with yield and total dry matter at harvesting time in non-irrigated plots but not in irrigated plots (Table 4, 5 and Fig. 1-3).
- (4) Yield and total dry matter at harvesting time are correlated with ear number, plant height and photosynthesis in non-irrigated plots. In irrigated plots, they are correlated with ear number, plant height and 1000 grains weight (Table 4-6).
- (5) Wheat cultivation has not always developed well in the Cerrados in recent years. This seems to be due to reduced yield of Brazilian cultivars in non-irrigated cultivation, and the high cost of Mexican cultivars in irrigated cultivation.

In this experiment, it was clarified that Brazilian cultivars have some good characteristics, such as high photosynthesis and high water use efficiency in dry conditions. It is desirable, however, to introduce adaptability to heavy manuring and a high tillering capacity, amongst other characteristics to produce higher-yielding Brazilian cultivars.

