

中国産ハイブリッドライスの物質生産に関する研究

第 1 報 乾物生産特性*

宋 祥甫**・縣 和一・川 満 芳 信

(九州大学農学部)

平成元年 4 月 8 日受理

要 旨：中国産ハイブリッドライス (F_1 ライス) の多収性要因を物質生産的視点から明らかにする第 1 歩として、中国浙江省において各時代の主役となったインド型普通稲の在来品種、旧改良品種、新改良品種の中から主要なものを比較対象に、 F_1 ライスの乾物生産特性を生長解析、群落構造解析を中心に検討した。

F_1 ライスの玄米収量は在来品種の約 2 倍、新改良品種の 1.1—1.54 倍の増収を示した。その要因として収穫指数の向上よりも全乾物重の増大効果が大きかった (第 2 表)。 F_1 ライスにおける全乾物重の顕著な増大は生育期間の長さよりも平均 CGR の高いことによる効果が大きく、出穂期前 30 日間の平均 CGR は $30 \text{ g/m}^2/\text{day}$ に達した。この高い CGR は NAR よりも全生育期間にわたる大きい LAI によって支持された結果であった (第 3 表)。 F_1 ライスの高い CGR と大きい LAI は、高い草丈 (稈長) と 1 茎当り稲体が太くて重いことによって形成される強靱で、しかも受光態勢の良い群落構造に負うところが大きかった (第 5 図)。 F_1 ライスの群落吸光係数は小さく、葉の垂直分布はピラミッド型で上層から下層まで広い範囲に分布する草型を示した。 F_1 ライスの個葉光合成速度は普通稲品種に比べて大差がなく、各生育段階ともほぼ同じ値を示した。

以上から、 F_1 ライスの多収性は稈が強健で光利用効率が高い群落構造を長期にわたり維持することによって物質生産を活発にしバイオマスを大きくすることによって実現されたと結論される。

キーワード：乾物生産速度、群落構造、個葉光合成速度、純同化率、ハイブリッドライス、葉面積指数。

Studies on Dry Matter and Grain Production of F_1 Hybrid Rice in China I. Characteristics of dry matter production : Xiang fu SONG**, Waichi AGATA and Yoshinobu KAWAMITSU (*Faculty of Agriculture, Kyushu University, Hakozaki, Fukuoka 812, Japan*)

Abstract : To clarify high yielding factor of F_1 hybrid rice in China, characteristics of dry matter production was examined by means of growth analysis and canopy structural analysis with special reference to native varieties, old-improved (1960—1970) and new-improved (1970—) varieties, belonging to indica-type rice, in the Zhejiang State, China.

The brown rice of the F_1 hybrid rice showed about two times of the yield of native varieties and 1.1—1.5 times of old-and new-improved varieties. The high yield of the F_1 hybrid rice was resulted from the increased biomass (total dry weight) than the harvest index. The remarkable biomass increase in the F_1 hybrid rice was mainly due to the high CGR rather than its longer growth period as compared with other common rice varieties. The mean value of CGR for 30 days before heading stage in the F_1 hybrid rice was $30 \text{ g/m}^2/\text{day}$. This high CGR was supported by high LAI in the canopy than NAR. And the high LAI maintained during the whole growth period was due to favorable canopy structure having high plant height, and thick and heavy stems.

The light extinction coefficient of the F_1 hybrid rice at the heading stage was smaller than those of native and old-improved varieties. Distribution profile of the leaf in the F_1 hybrid rice showed pyramidal type, namely, the distribution pattern of the leaf was equally large from the top to the under layer of the canopy. Leaf photosynthetic rates in the F_1 hybrid rice were not significantly different from the other common rice varieties at four growing stages.

It can be concluded from these results that high yield of the F_1 hybrid rice was realized by the remarkable high biomass production based on high LAI and an ideal canopy structure favorable for intercepting light for the long growth period.

Key words : Canopy structure, CGR, F_1 hybrid rice, LAI, Leaf photosynthetic rate, NAR.

中国における水稻の単位土地面積当りの収量は、品種及び栽培技術の改良によって増大してきた。特

に、10 年前から普及したハイブリッドライス (以下 F_1 ライスと略す) による生産性の向上は著しく、収量は普通稲に比べ約 25 % の増大となっている。また、その栽培面積は年々拡大し、1984 年には 820 万 ha に達し、中国の全水稻栽培面積の約 25 % にも及んでいる²³⁾。

* 大要は、第 185 回講演会 (1988 年 4 月) において発表。

** 現在：中国水稻研究所。
Present address: China National Rice Research Institute, Hangzhou, Zhejiang, China.

中国産 F_1 ライスに関する研究は、1964年から湖南省試験農場専門学校で始められた。1970年には袁隆平が海南島で野生イネ自生集団から細胞質雄性不稔個体 WA を発見し、それをインド型水稻品種に導入することに成功した。1972年に江西省坪郷市農業科学研究所で雄性不稔系統と雄性不稔維持系統を同時に育成し、1973年に雄性不稔回復系統も育成した²³⁾。これによってイネにおける F_1 ライスを世界で初めて実用化することが可能になった。その後、多数の交配組合せについて組合せ能力検定が実施され、実用化し得る程度の増収 (3割以上) の可能性が確かめられるとともに優れた F_1 組合せが育成された。そして 1976 年から本格的に栽培普及されるに至った²³⁾。

F_1 ライスに関する研究は、多収性を中心にした育種栽培技術に関する研究^{4,5,6)} とヘテロシスの生理に関する研究^{2,15,17,18)} とに大別される。それらの研究によると、 F_1 ライスの特徴として生育前期にヘテロシスがみられ根の活性が高いこと^{2,17,18)}、葉面積の早期拡大を通じて一本当りの茎重が重く、単位土地面積当りの乾物生産量が大きいことなどが報告^{4,18,23)} されている。また穂重型で、葉面積当り穎花数が多いという特徴を有する^{15,17)} 反面、登熟中期から根の生理活性が低下するため葉が早く枯死しやすく、登熟歩合が低下し易い欠点を持っていることが指摘されている^{2,18,23)}。

ところで、普通的水稻品種における収量生産性向上のための物質生産研究は数多くみられるが^{11,16,19,21,22)}、 F_1 ライスの多収性に関する物質生産的視点からの解析研究は緒についた段階である¹⁾。そこで本研究は中国産 F_1 ライスの多収性要因を解明する目的で、中国浙江省において各時代の主役となった品種の中から主要な品種を選び、 F_1 ライスの乾物及び子実生産能力を総合的に比較解析した。まず、本報では乾物生産特性を生長解析法、層別刈取法などによって検討した。

材料と方法

1. 供試材料

第1表に示したように、インド型 F_1 ライス3品種の他、浙江省における中、晩生インド型の中から各時代の奨励品種となった主要な在来品種2、旧改良品種 (1960—1970年) 2、新改良品種 (1970年以降) 3を選び、合計10品種を供試した。これらの種子は中国水稻研究所から分譲を受けたものであ

る。

2. 栽培方法

供試した品種は、1987年5月20日、常法により消毒播種し、折衷苗代で育成した。5葉齢苗を6月19日に5aの実験水田 (福岡県粕屋郡粕屋町、九州大学附属農場) に各品種とも22.2株/m² (30cm×15cm) の密度で、 F_1 ライスは1株2本 (中国浙江省の慣行に従う)、普通稲品種は1株3本植えとした。実験区は、各品種とも1区10m²とし、2反復制で行った。施肥は全品種とも複合肥料 (N:P₂O₅:K₂O;16:16:16) を用い10a当り基肥で63kg (N, P, Kとも各々10.08kg)、追肥に18kgを施用した。その他の栽培管理は慣行法に従い水管理、除草及び病害虫の防除を行った。

3. 調査項目

試料採取は、出穂期前は15日間隔、出穂期後は10日間隔で行った。サンプリングの際は予め各品種とも区毎に50株—100株の茎数を調査した後、平均的な株を選んで各区5株ずつ計10株を採取した。水田から掘り取った試料は水道水で洗い残存した根をハサミで除き、地上部を対象に調査した。調査は5株について器官別乾物重、葉面積を測定した。器官別乾物重は生体のまま葉身、稈+葉鞘、穂、枯死部に分離した後、100°Cで1時間乾燥し、その後80°Cで48時間乾燥させて秤量した。葉面積は2株について全ての緑葉を葉面積計 (林電工製) で測定し、乾燥後、重量法で残る3株の総葉面積を算出した。

収量調査は、予め水田において収穫直前に各区とも100株の穂数を調査し、そのデータを基礎に平均的な株を1区当り5株を選び、2反復制の合計10株について常法に従って行った。

4. 層別刈取

出穂期にける群落の生産構造を明らかにするために在来品種から陸財号 (Lu cai hao)、旧改良品種から原豊早 (Yuan feng zao)、新改良品種から竹菲10号 (Zhu fei No. 10)、 F_1 ライスから汕優85号 (Shan you No. 85) を選んで別層刈取りを行った。すなわち、層別に相対光度を照度計で測定した後、層別に葉重と非同化器官、穂重に分別して乾燥秤量した。

5. 光合成速度の測定

F_1 ライスの光合成速度の差異を明らかにする目的で、在来品種から陸財号 (Lu cai hao)、旧改良品種から原豊早 (Yuan feng zao)、新改良品種か

ら竹菲 10 号 (Zhu fei No. 10), F₁ ライスから汕優 64 号 (Shan you No. 64), 汕優 85 号 (Shan you No. 85) を選んで 1987 年 6 月 18 日に水田土壌をつめた 8 リットル容ポリバケツに 5 葉齢苗を 1 本ずつ植えた。各品種とも 5 ポット準備し、大型水槽内に m² 当り 12 ポットの割合で並べて栽培した。施肥は上記複合肥料をポット当り 10 g を基肥として施用した。

光合成測定は、分げつ盛期、最高分げつ期、出穂期、登熟中期 (出穂後 15 日目) の 4 生育段階で行った。測定の際は材料を光合成測定室にポットごと搬入し、最上位完全展開葉を対象に通気式同化箱法で測定した。測定は光強度 100 klx, 葉温 30°C, 空

気湿度 70 % の条件下で 2 回行った。

結 果

1. 生育経過

第 1 図に本実験が行われた 1987 年 6 月から 10 月に至る福岡市の気温、日射量の旬別変化を平年と比較して示した。1987 年の気温は平年に比べて大幅な違いはなかったが、10 月に入ってやや高めに経過した。日射量は平年に比べて 7, 8 月の 2 ケ月は少なく平年の 20 % 減であった。しかし、9 月以降晴天に恵まれ、平年に比べて日射量は多かった。生育前期の不良天候のため病害虫の発生は多かったが、その防除に努めた結果、各品種とも順調な生育を示した。

第 1 表の生育特性からわかるように、生育日数は本実験に供試した品種間では在来品種、旧改良品種、新改良品種、F₁ ライスの順で長くなる傾向を示した。特に、F₁ ライスの生育日数は顕著に長く、平均で 146 日に及んだ。

2. 玄米収量、全乾物重、収穫指数からみた F₁ ライスの特徴

第 2 表に供試した時代別品種の玄米収量、全乾物重、収穫指数を示した。F₁ ライスの玄米収量は各時代の普通稲品種に比べて高く、在来品種の約 2 倍、新旧改良品種の 1.1—1.54 倍を示した。すなわち、F₁ ライスは 10 アール当り約 800 kg, 新改良品種は 650 kg, 旧改良品種 515 kg, 在来品種は 415 kg の平均玄米収量であった。

次に、F₁ ライスの全乾物重は生育期間が長いことにも関係するが、顕著に大きく、在来品種及び旧

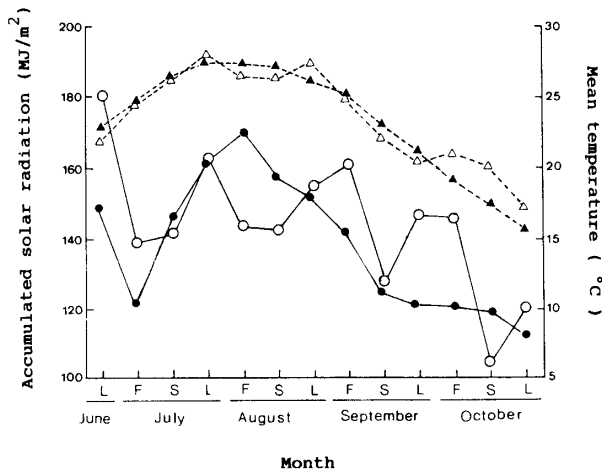


Fig. 1. Seasonal changes in accumulated solar radiation (○, ●) and mean temperature (△, ▲) of 10-day interval in 1987 in Fukuoka city. Closed circle and triangle indicate the normal value. F, S, and L denote the first, second and last ten days of a month, respectively.

Table 1. Materials used in the experiment and characters of growth.

Varieties	Heading date	Time of harvesting	Growth duration	Number of transplanting
Native				
Qi shi ri huo dao	8/6	9/3	106	3
Lu cai hao	8/3	9/2	105	3
Old-improved				
Ai jiao nan te	8/6	9/5	108	3
Yuan feng zao	7/30	9/2	105	3
New-improved				
Qing gan huang	8/6	9/9	112	3
Guang lu ai No.4	8/7	9/9	112	3
Zhu fei No.10	8/12	9/17	120	3
F ₁ hybrid				
Shan you No.85	8/25	10/17	150	2
Shan you No.63	9/1	10/17	150	2
Shan you No.64	8/20	10/6	139	2

Table 2. The difference of brown rice yield, total dry weight and harvest index among varieties.

Varieties	Brown rice yield (kg/10a)	Total dry weight (kg/10a)	Harvest index
Qi shi ri huo dao	420.8±3.5	1056.9±16.3	0.40±0.003
Lu cai hao	414.7±11.3	1132.2±67.4	0.37±0.012
Ai jiao nan te	477.1±9.9	1040.4±23.5	0.46±0.007
Yuan feng zhao	558.4±2.8	1076.0±8.5	0.52±0.012
Qing gan huang	623.2±1.4	1211.5±14.6	0.51±0.006
Guang lu ai No.4	615.8±2.9	1191.8±14.1	0.52±0.004
Zhu fei No.10	710.5±8.5	1388.4±14.1	0.51±0.007
Shan you No.85	808.9±2.1	1812.7±10.6	0.45±0.004
Shan you No.63	797.0±5.6	2044.2±19.8	0.39±0.001
Shan you No.64	780.1±2.4	1770.0±30.4	0.44±0.005

改良品種の約 1.75 倍, 新改良品種の 1.5 倍を示した。全品種を込みにすると, 全乾物重と玄米収量との間に高い正の相関関係 ($r=0.887^{**}$) が認められた。

次に収穫指数は在来品種で低く, 品種改良が進むにつれて時代の経過と共に高まり, 在来品種の 38 % に比べて新改良品種では 51 % となった。しかし, F_1 ライスの収穫指数は新改良品種に比べてむしろ 6—8 % 低い値を示した。

3. 生育期間中の全乾物重及び LAI の推移からみた F_1 ライスの特徴

第 2-A 図に, 田植期から収穫期まで (図では出穂期を中心にした表示となっている) の時代別品種の平均乾物重の推移を示した。 F_1 ライスの全乾物重の増加速度は, 普通稲品種に比べて, 生育初期から登熟期まで旺盛であった。特に出穂期前 30 日から出穂期後 10 日目までの 40 日間の乾物増加速度は顕著であった。しかし, 登熟中期から F_1 ライスの乾物増加速度は他の時代別普通稲品種に比べてやや低い傾向がみられた。次に, F_1 ライスの LAI は全乾物重と同様に普通稲品種に比べて早期から急速に大きくなり, 出穂期前 15 日目に最大値となった (第 2-B 図)。この点, 普通稲品種では LAI が出穂期に最大値となったのとは大きな違いであった。加えて出穂 30 日前より出穂後 10 日目に及ぶ 40 日間にわたって LAI は 6 以上の高い値が維持されていた。

LAI に関する F_1 ライスのもう一つの大きな特徴は, 登熟期間中に LAI は普通稲品種と同様減少したが (第 2-B 図), 普通稲に比べて高い平均 LAI を保持していたことである。普通稲品種間で全乾物重と LAI を比較すると新改良品種では在来品種, 旧改良品種に比べて両者とも全生育期間にわたって

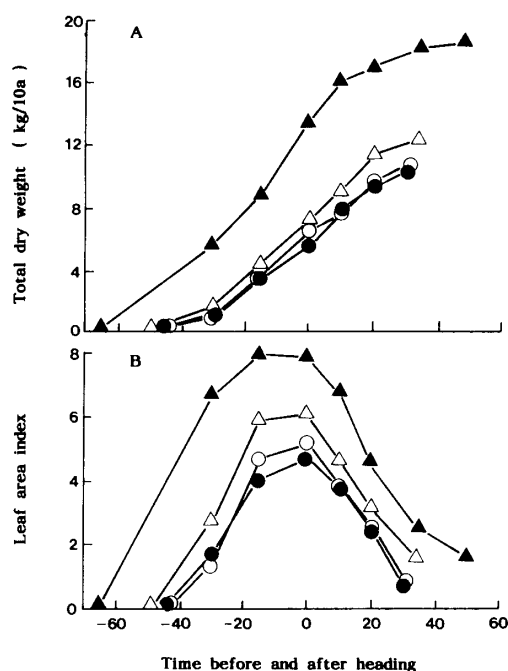


Fig. 2. Time changes in total dry weight (A) and leaf area index (B) for native rice (○), old-improved rice (●), new-improved rice (△), and F_1 hybrid rice (▲) in China. Cultivars used in the experiment as follows; Native rice: Qi shi ri huo dao and Lu cai hao; Old-improved rice: Ai jiao nan te and Yuan feng zao; New-improved rice: Qing gan huang, Guang lu ai No.4 and Zhu fei No.10; F_1 hybrid rice: Shan you No.63, Shan you No.64, and Shan you No.85.

高い値を示した。

4. 生長解析からみた F_1 ライスの特徴

第 2 図の全乾物重と LAI を基礎にして生長解析を行った結果を第 3 図に示した。各品種グループとも個体群生長速度 (CGR) は出穂期前に高く, 登熟期に入ると減少した (第 3-A 図)。出穂期前 30 日間の F_1 ライスの CGR は普通稲品種に比べて特に大きかった。また, F_1 ライスの CGR は登熟期に

漸減したのに普通稲品種では10日目に急減し、その後一時的に増加する傾向が見られた。

そこで、CGRの構成要素の一つであるNARの推移を第3-B図に示した。F₁ ライスのNARは全生育期間を通じて低く、特に登熟期におけるNARは収穫期まで減少を続けた。これに対して、在来品種、旧改良品種では出穂後10日までNARは急激に低下した後、再び増加する推移を示した。CGRのもう一つの構成要素であるLAIについては、第2-B図で見た通り登熟過程では、各品種群とも一貫して収穫期まで低下する傾向を示した。

以上の生長解析結果を生育時期別にとりまとめた

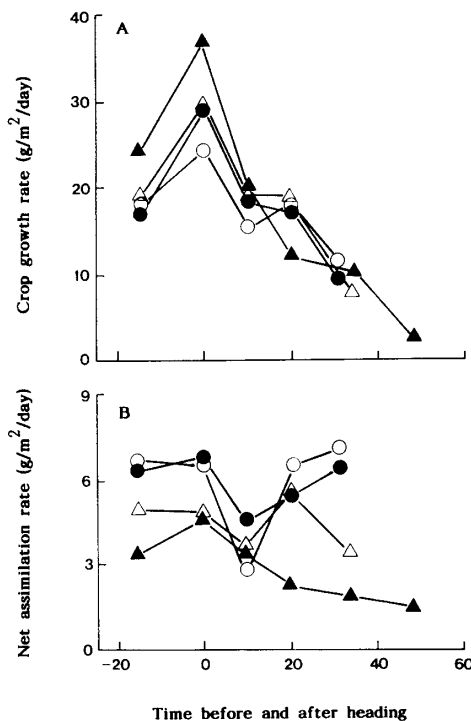


Fig. 3. Time changes in crop growth rate (A) and net assimilation rate (B) for native rice (○), old-improved rice (●), new-improved rice (△), and F₁ hybrid rice (▲) in China. See Fig. 2 for the symbols.

示したのが第3表である。また各生育時期別の平均気温及び平均日射量を第4表に示した。全生育期間(田植期から収穫期まで)の平均CGRはF₁ ライスで大きく、特に田植期から出穂期までのCGR及び出穂期前30日間のCGRは普通稲品種に比べて顕著に大きい値を示した。第4表におけるF₁ ライスの上記期間の平均気温及び平均日射量が普通稲品種のそれに比べてほとんど大差がないことから、F₁ ライスの高いCGRは気温の影響ではないことは明らかである。

出穂期前の高いF₁ ライスのCGRに対して、登熟期間中のCGRは普通稲品種に比べてむしろ小さい値を示した。これは気象的にはF₁ ライスは晩生のためこの期間の平均気温が普通稲品種に比べて低いことと関係しているようである。次にNARについて見ると、出穂期前30日間及び登熟期間中の平均NARは普通稲品種に比べてF₁ ライスでは著しく小さい値を示した。また、普通稲の品種間では新しい品種になるとともに両時期におけるNARは低下する傾向を示した。NARに強く影響する日射量を上記二つの時期について各品種間で比較すると、NARと日射量との間に一貫した傾向は認められない。

5. 光合成速度からみたF₁ ライスの特徴

光合成速度はNARの支配要因の一つとして重要である。そこで、在来品種から陸財号(Lu cai hao)、旧改良品種から原豊早(Yuan feng zao)、新改良品種から竹菲10号(Zhu fei No. 10)、F₁ ライスから汕優64号(Shan you No. 64)、汕優85号(Shan you No. 85)を選んで、生育時期別に個葉光合成速度を測定した(第4図)。各生育段階ともF₁ ライスの光合成速度は普通稲品種とほぼ同じ値を示した。また、生育段階の進行につれて低下する傾向も類似していた。

Table 3. Comparison of CGR, NAR and LAI in each growth period of native rice, old- and new-improved rice and F₁ hybrid rice.

Varieties	CGR of whole period (g/m ² /day)	CGR up to heading (g/m ² /day)	30 days before heading			After Heading		
			CGR (g/m ² /day)	NAR (g/m ² /day)	LAI	CGR (g/m ² /day)	NAR (g/m ² /day)	LAI
Native	14.47	14.10	21.16	6.60	4.37	14.68	5.48	3.15
Old-improved	13.81	13.10	22.71	6.54	3.70	14.88	5.47	2.96
New-improved	14.88	14.76	24.26	4.84	5.33	15.06	4.74	3.83
F ₁ hybrid	16.05	19.99	30.33	3.96	7.78	10.64	2.40	4.84

Table 4. Comparison of mean temperature (T) and solar radiation (SR) in each growth period of native, old- and new-improved rice and F₁ hybrid rice.

Varieties	Whole period		Up to heading		30 days before heading		After heading	
	T	SR	T	SR	T	SR	T	SR
	(°C)	(MJ/m ²)	(°C)	(MJ/m ²)	(°C)	(MJ/m ²)	(°C)	(MJ/m ²)
Native	25.4	16.5	25.5	15.5	27.3	14.9	27.5	14.5
Old-improved	25.5	16.5	25.1	15.3	27.0	14.4	27.1	14.9
New-improved	25.4	15.3	25.5	15.6	26.7	15.0	26.4	14.4
F ₁ hybrid	23.7	14.6	25.4	15.1	27.3	14.7	23.4	14.3

Table 5. Comparison of plant length, culm length, ear length, number of tillers and dry weight of one stalk at heading stage among varieties.

Varieties	Plant length (cm)	Culm length (cm)	Ear length (cm)	Number of tiller (no/stock)	Dry weight of one stalk (g)
Qi shi ri hu dao	120.1±3.3	91.0±2.1	17.1±2.8	25.6±4.3	1.13±0.03
Lu cai hao	128.0±3.8	99.6±2.3	20.1±2.1	19.2±3.7	1.89±0.04
Ai jiao nan te	84.6±3.2	57.8±1.9	21.7±1.6	22.4±3.6	1.22±0.04
Yuan feng zao	91.8±2.8	58.0±1.3	19.7±2.0	18.2±2.9	1.36±0.03
Qing gan huang	85.0±2.1	57.2±1.6	19.4±1.4	22.4±3.1	1.28±0.03
Guang lu ai No.4	82.6±1.8	55.1±1.4	18.6±1.4	20.4±3.2	1.38±0.04
Zhu fei No.10	100.6±2.3	64.0±1.4	22.1±1.8	20.2±3.0	2.11±0.05
Shan you No.85	129.2±1.8	94.0±1.3	23.7±2.0	15.0±2.1	4.27±0.06
Shan you No.63	129.8±1.3	92.0±1.3	25.6±2.3	1.35±1.9	5.18±0.07
Shan you No.64	119.9±1.6	88.0±1.3	23.2±2.1	15.4±1.9	2.98±0.04

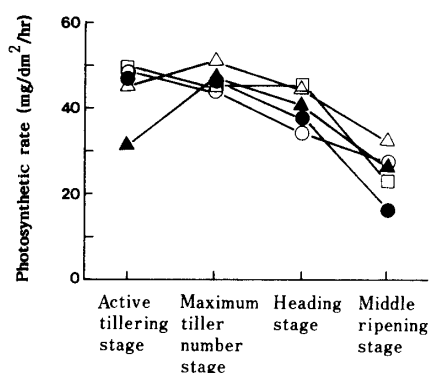


Fig. 4. Leaf photosynthetic rate at different growth stages in rice varieties. △, Lu cai hao; □, Yuan feng zao; ▲, Zhu fei No.10; ○, Shan you No.85 ●, Shan you No.64.

6. 群落構造及び吸光係数からみた F₁ ライスの特徴

群落構造の骨格となる草丈、稈長、分げつ、稈重について F₁ ライスと普通稲品種を比較し、第5表に示した。草丈、稈長とも普通稲品種の改良過程で著しく短くなっているが、F₁ ライスは在来品種とほぼ等しかった。また、分げつについては、F₁ ライスは初期分げつが多かったが、出穂期に至るまで

に有効茎は少なくなり、最終的に1株当たり平均14-15本で普通稲品種に比べて少なかった。しかし、有効茎1本当たり重量は普通稲品種に比べて格段に重く、草丈がほぼ同じ在来品種の約4倍であった。

次に、在来品種では陸財号 (Lu cai hao)、旧改良品種では原豊早 (Yuan feng zao)、新改良品種では竹菲10号 (Zhu fei No. 10)、そして F₁ ライスでは汕優85号 (Shan you No. 85) の生産構造図を第5図に示した。普通稲品種に比べて F₁ ライスの稈は量的にも多く、しかも下層に行くほど増大する末広がり型で、稈が下部で太くがっちりした体形を示した。これに対して、普通稲、特に在来品種は非同化器官の大部分を構成する稈は上部と下部の差が小さかった。

次に、葉の垂直分布についてみると、F₁ ライスは群落としての葉量が圧倒的に多く、群落の上層から下層 (80 cm の深さ) まで末広がりに分布し、普通稲品種、特に在来品種に比べて著しく異なった。普通稲品種の改良過程では短稈化と同時に葉の垂直分布はピラミッド型に移行したが、F₁ ライスの垂直分布に比べると、その程度は小さかった。

最後に吸光係数 (K)¹³⁾ は F₁ ライスの場合、新

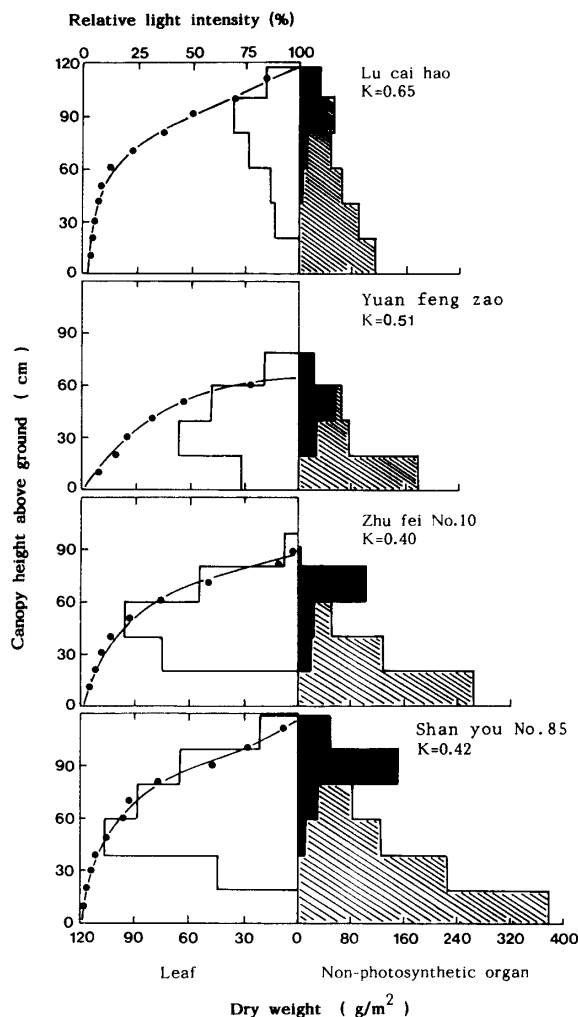


Fig. 5. Distribution profile of leaf area, panicle dry weight (black portion), stem and leaf sheath (shadowed portion), and relative light intensity (closed circle) in the canopy of four varieties at the heading stage. K in the figure indicates the light extinction coefficient.

改良品種の竹菲 10 号 (Zhu fei No. 10) とほぼ同じ 0.42 の値を示し、在来品種や旧改良品種に比べてその値は小さかった。また、普通稲品種では新しい品種ほど K は小さくなる傾向が認められた。 K は葉量だけでなくその角度、葉の形態、葉厚などいろいろな要因が総合的に関係している¹³⁾。そこで、第 5 図に示した品種について上位 3 葉の角度及びその長さを出穂期に圃場で調査した結果を模式的に第 6 図に示した。 F_1 ライスの上位 3 葉の角度は普通稲品種に比べて鋭角に着生し、茎を中心に集中的に着生した。また葉長も止め葉、第 2 葉、第 3 葉の順に長くなっていた。これに対して在来品種の陸財号 (Lu cai hao) の場合、上位 3 葉中、第 2 葉が最も長く葉の角度も大きく、全体的に分散型の葉の着き

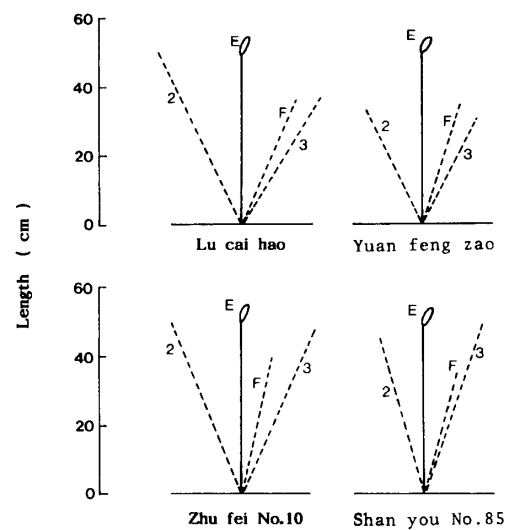


Fig. 6. Leaf blade length and the inclination angle for the upper three leaves including the ear. E, F, 2 and 3 in the figure denote ear, flag leaf, 2nd leaf and 3rd leaf, respectively.

方をしていて、普通稲における品種の改良過程をみると、在来品種の分散型から、新改良品種まで漸次集中型に変化する傾向はみられたが、 F_1 ライスのような極端な集中型にはなっていなかった。

考 察

本報では、中国産 F_1 ライスの多収性要因を物質生産的視点から明らかにする研究の第 1 歩として、まず、 F_1 ライスの乾物生産特性を生長解析、群落構造解析を中心にして検討した。 F_1 ライスの比較対象として、中国浙江省において各時代の主役となったインド型普通稲の在来品種、旧改良品種、新改良品種の中から主要な品種を選んで品種改良の過程で乾物生産特性がどのように変遷してきたのかについても併せて検討した。

本研究の結果、 F_1 ライスの玄米収量は普通稲品種に比べて在来品種の約 2 倍、新改良品種の 1.1—1.54 倍の増収を示した。これは日本の西南暖地という気象条件下で得られた最初の値であるが、中国における栽培農家の平均実収量にほぼ近いものである²³⁾。このことは F_1 ライスが多収であること、広域適応性を持っていることを立証するものである。さらに、第 2 表からも分かるように、中国におけるインド型水稻の品種改良の過程では着実な玄米収量の向上がみられるが、 F_1 ライスの出現はそれに比べて飛躍的な増収になっている点は注目される点である。このような F_1 ライスの多収性がどの様

な物質生産機構によって実現されたかについて、以下乾物生産特性を中心に考察することにする。

F₁ ライスのもつヘテロシスの重要な特性として、袁²³⁾ は次の諸点を上げている。すなわち、①良好な形態的特性（大きな穂、大粒、強靱な稈、良好な草型）②高い生理的機能（光合成機能、根の生理的活性、分げつ性）、③病害虫に対する抵抗性及び広範な適応性である。これらの諸特性のうち乾物生産特性の基礎である形態的、生理的特性に関しては、本研究においても確認されたものが少なくなかった。すなわち、生育前期における分げつ数が多いこと、良好な草型を支える強靱な稈などその例である。しかし、光合成速度については、各生育段階とも普通稲品種に比べて大きいとは言えなかった。Murayama ら¹⁴⁾ によると、水稻における交雑第1代の光合成速度は両親のそれより高く、51~57%に及ぶものもあるという。そして、光合成に対するヘテロシスは葉身窒素含有率の増加を介して実現されることを明らかにしている。同様に F₁ ライスの光合成速度が高いと言う報告は Lin and Yuan¹⁰⁾ によっても行われている。一方、Hayashi ら⁷⁾ 及び柊木ら⁷⁾ は水稻の F₁ 交雑稲において光合成能力は高まらないと報告し、その要因として葉身の拡大に対するヘテロシスによって窒素含有率がむしろ低くなるためであるとしている。このように F₁ ライスの光合成速度に対するヘテロシスには相反する結果が示されているのが現状である。したがって、F₁ ライスの光合成については慎重に検討する必要がある。特に耐肥性が大きい F₁ ライスの場合、窒素レベルと光合成速度との関係について詳細な検討が今後重要となる。

さて、本報で明らかになった F₁ ライスの乾物生産特性のうち、最も特徴的なものは、バイオマスとしての全乾物重が普通稲品種に比べて圧倒的に大きいということである（第2表）。これは生育期間が長いと言うことが一つの要因であるが、生長解析の結果から分かるように、生育期間中の気象条件（気温、日射量）がほぼ同じであるにもかかわらず、平均 CGR が普通稲品種に比べて高いことも密接に関係している。従って、生育期間の長短で律せられない問題と考えられる。ただ全生育期間の平均 CGR を出穂期前と出穂期後に分けてみると（第3表）、出穂期前では普通稲品種に比べて F₁ ライスの平均 CGR は顕著に高い値を示していた。これに対して、出穂期後の登熟期間中の平均 CGR は普通稲よりむ

しろ低い値を示していた。このことは F₁ ライスの物質生産は出穂期前の CGR に強く反映されているとみることができる。特に出穂期前30日間の平均 CGR は 30 g/m²/day という高い値を示したが、この値は、今までに報告された数多くの水稻の物質生産に関する研究ではみられない値である。従来の平均値としては IBP⁹⁾ で得られた 25 g/m²/day が普通である。したがって 30 g という値は普通稲品種の生育最盛期にみられる最大値に近いものである。

普通稲品種では、出穂期以降の CGR を高める方向で品種改良が行われてきたのが一般的^{19,21)} で、日本における近年の短稈穂数型及び短稈穂重型品種では、登熟期に入ってからの高乾物生産によって登熟歩合が高まり多収が実現されている。本研究で扱った中国におけるインド型普通稲の品種改良においても出穂期前30日から登熟期までを通じてみると（第3表）、在来品種よりも旧改良品種、さらに新改良品種へと CGR は高まっており、上述した日本における品種改良の方向と一致している点は興味あるところである。このような普通稲の品種改良の方向性に対して、F₁ ライスは出穂期前30日間の乾物生産が顕著に高く、登熟期間に入ると普通稲より低い CGR となったにも関わらず多収が得られた点は子実生産がどのような機構で行われているかという点とも関連して興味あるところである。この点は次報において詳しく検討する予定である。いずれにしても、F₁ ライスは平均的に高い CGR が基礎となり、さらに生育期間が長いことも加わって全乾物重は普通稲品種の約1.5倍の増大を示した。従来のデータをみる限り、全乾物重が10a当り2000kgという記録は普通稲にはなく、1800kgが限界の数字であることを考えると¹⁹⁾、F₁ ライスのバイオマス生産がいかに大きいか分かる。

そこで F₁ ライスの高い CGR がどのようにして実現されたかを生長解析の結果から更に検討することにする。F₁ ライスの場合、NAR は普通稲に比べて小さく在来品種、旧改良品種の約半分であった（第3表）。これに対して、LAI は出穂期前とはより出穂期後も普通稲品種に比べて高く維持されていたことから、高い CGR は高い LAI によってもたらされたものと判断される。第2-B図でみたように、F₁ ライスの LAI 拡大速度は生育前期から旺盛で、出穂前15日目には最大値（LAI=8）に達していた。そして出穂期前後の40日間の平均 LAI は6以上を維持していた。また、登熟期間中の

LAI も平均 4.84 であり (第3表), 普通稲品種では例をみない値であった。一般に LAI の増大は過繁茂の害を伴うので乾物生産はマイナスを示す例が多い^{12,21)}。しかし, F_1 ライスでは大きな LAI を保持していたにも関わらず過繁茂の徴候は見られず, 健全な形で高い CGR が実現されたことは F_1 ライスの草型としての群落構造がそれに適する状態になっていたものと推察される。事実, 解析の結果 F_1 ライスの群落構造は草型という視点からみて理想タイプに近いことが生産構造, 吸光係数, 上位葉の傾斜角度から明らかになった (第5, 6図)。すなわち, F_1 ライスの群落は草丈, 稈長が高いという物質生産上有利な特性を持っているのに加えて, 多くの葉量をその空間に立体的に配置し, 光及び CO_2 の群落への透過が良好になるような末広りの葉の配列をしていることがわかった。しかも上位葉の傾斜角度は小さく, 稈に集中的に着生しているため, 結果として K は小さくなり群落の下層部まで光が透過している事実が明確になった。角田²²⁾ は多収性品種の群落構造を比較する中で, 群落の空間密度が品種によって異なることを認め, 多収性品種は垂直葉の多い集中型に属することを明らかにしている。このような草型を松島は群落構造からみた理想稲と呼んでいる¹¹⁾。 F_1 ライスは, こうした意味で理想的な草型をしていると評価することができる。しかし, 同時に多くの葉群を支える骨格としての稈が太く, しかも下部に行くほど太くなる強健な構造になっていることは耐肥性, 耐倒伏性を考えた場合, この面からも理想的な群落構造であると評価することができる。

いずれにしても, このような理想的な群落構造によって, F_1 ライスは乾物生産を高め, 生産したバイオマスを玄米へ移行させることによって多収を実現していると言える。しかし, バイオマスが子実生産に結び付くためには, 生産されたバイオマスの何割が子実生産にまわされたかという収穫指数が問題となる。普通稲では, 収穫指数を高める方向で品種改良がおこなわれてきたことが多くの研究者によって指摘されている^{19,21)}。本研究でも中国におけるインド型品種の改良過程では着実に収穫指数は高まってきたことが明らかになった (第2表)。しかし, F_1 ライスの場合, 収穫指数は必ずしも高くはなく, 在来品種と旧改良品種の中間的な値であった。Akita¹⁾ によると, 一般に生育期間が長いと収穫期の全乾物重は増大し, 収穫指数は低下するとい

う。本研究の場合, F_1 ライスと同じような生育期間の品種を比較対象に供試しなかったため F_1 ライスの収穫指数を正しく評価できないくらいがある。事実, Akita¹⁾ は同じ生育期間の IRRI 品種より F_1 ライスの収穫指数が高いことを明らかにしている。これらを考えると, F_1 ライスの収穫指数は改善されたとみるべきかもしれないが, この点に関しては今後の検討課題とする。それにしても, 玄米収量において 800 kg/10 a を上げることができたのはバイオマスとしての全乾物重が圧倒的に大きかったためといえる。Donald³⁾ が言うように, 収量を高めるためには全乾物重を高めるか収穫指数を高めるかの2つに帰せられるが, F_1 ライスは前者を高めると同時に後者を低下させない方向で収量を高めたとみることができる。全乾物重が増大した主要因は LAI の拡大であり, それを支える合理的な群落構造にあると言える。

引用文献

1. Akita, S. 1987. Physiological aspects for improving yield potential in tropical rice cultivation. Proceedings of International Rice Research Conference. China, 1-48.
2. 莫 家讓 1978. 雑交水稻の根系活力. 廣西農業科学 11: 11-14.
3. Donald, C.M. 1962. In search of yield. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 28: 171-178.
4. 顔 振徳 1981. 雑交水稻高産群体の物質生産と分配的研究. 作物学報 7: 11-17.
5. 吳 志強 1980. 雑交水稻の高産結構. 福建農学院学报 9: 27-81.
6. ———・林 菲・梁 義元 1985. 雑交水稻栽培特性研究. 福建農学院学报 14: 298-305.
7. Hayashi, K., T. Yamamoto and M. Nakagahara 1977. Genetic control for leaf photosynthesis in rice, *Oryza sativa* L. Japan. J. Breed. 27: 49-56.
8. 柗木信幸・秋田重誠・田中一郎・雨宮 昭 1976. 栽培稲および雑種第一代の光合成と光呼吸特性. 日作紀 45 (別 2): 177-178.
9. Kanda, K. 1975. Efficiency for solar energy utilization. In "JIBP Synthesis", Vol. 11, (Ed.) Y. Murata, University of Tokyo Press, Tokyo, 187-198.
10. Lin, S.C. and L.P. Yuan 1980. Hybrid rice breeding in China. Innovative approaches to rice breeding. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. 35-51.
11. 松島省三 1957. 水稻収量の成立と予察に関する作物学的研究. 農技研報 A5: 1-127.
12. ——— 1974. 稲作の改善と技術 養賢堂, 東京, 17-45.
13. Monsi, M. und T. Saeki 1953. Über den Licht-

- factor in den Pflanzen Gesellschaften und seine Bedeutung fur die Stoffproduktion. Jap. J. Bot. 14: 22—52.
14. Murayama, S., K. Miyazato and A. Nose 1987. Studies on matter production of F_1 hybrid in rice. 1. Heterosis in the single leaf photosynthetic rate. Japan. Jour. Crop Sci. 56: 198—203.
15. 王 永銳 1984. 雜交水稻及其生理優勢的研究. 植物生理生化研究進展 3: 22—29.
16. 翁 仁憲・武田友四郎・縣 和一・箱山 晋 1982. 水稻の子実生産に関する物質生産的研究. 第1報 出穂期前に貯蔵された炭水化物及び出穂後の乾物生産が子実生産に及ぼす影響. 日作紀 51: 500—509.
17. 陸 定志 1984. 雜交水稻及其優勢利用的生理基礎. 植物生理生化研究進展 3: 1—21.
18. ———— 1987. 雜交水稻根系生理優勢及其地上部性状的關聯研究. 中国水稻科学 1 (2): 81—94.
19. 武田友四郎・岡 三徳・縣 和一 1983. 暖地における水稻品種の物質生産に関する研究. 第1報 明治期以降の新旧品種の乾物生産特性. 日作紀 52: 299—306.
20. ————・—————・————— 1984. 暖地における水稻品種の物質生産に関する研究. 第3報 本邦暖地品種と韓国新品種の乾物生産特性の比較. 日作紀 53: 22—27.
21. 津野幸人 1970. イネの科学. 農文協, 東京, 115—176.
22. 角田重三郎 1973. 草型育種. 育種学最近の進歩 15: 21—28.
23. Yuan Longping 1986. Hybrid rice in China. Chin. J. Rice Sci. 1: 8—18.