

多収性水稻 F₁ 品種、汕優 63 号の個葉の光合成特性*

平尾 健二・窪田 文武・縣 和一・宋 祥甫**

(九州大学農学部・**中国水稻研究所)

1994 年 6 月 21 日受理

要 旨 : 中国産の超多収性 F₁ 品種、汕優 63 号 (SH) の個葉光合成速度 (PI) を評価するため、わが国の代表的自殖系 2 品種 (JC ; 日本晴とコシヒカリ) と比較した。各品種を生育初期から出穂直前期まで、ポット栽培した。PI と関係の深い要因として、気孔伝導度、葉肉伝導度、クロロフィル含量、可溶性タンパク質含量、リブローズ 1,5 二リン酸カルボキシラーゼ (RuBPCase) 活性等を測定した。結果を以下に述べる。1) SH の PI は、JC に比較し、生育期間中、常に高く維持された。特に、生育初期では、SH ($26.98 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) と JC (平均 ; $21.15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) との差が大きかった。2) 生育初期に SH の PI が高いのは、気孔伝導度と葉肉伝導度の双方が高いことによるものであった。また、出穂直前期には、葉肉伝導度が高いことが SH の PI を高める主要因となっていた。3) 可溶性タンパク質含量とクロロフィル含量は SH で有意に低かった。一方、RuBPCase 活性には SH と JC との間で有意差は認められなかった。4) このように、SH の葉内のクロロフィル含量や可溶性タンパク質含量は少ないが、PI は高く、また、RuBPCase 活性も JC と同じ水準の活性を示すことが明らかとなった。個葉光合成に関して、高い窒素利用効率を示すことが SH の特性の一つであると考えられた。

キーワード : RuBPCase 活性, F₁ 雑種水稻, 可溶性タンパク質含量, クロロフィル含量, 光合成窒素利用効率, 個葉光合成速度。

Characteristics of Leaf Photosynthesis in Chinese F₁ Hybrid Rice Cultivar, Shanyou 63 : Kenji HIRAO, Fumitake KUBOTA, Waichi AGATA and Xiang Fu SONG** (*Faculty of Agriculture, Kyushu University, Hakozaki, Higashiku, Fukuoka 812 Japan ; **China National Rice Research Institute, Hangzhou, Zhejiang, China*)

Abstract : Leaf photosynthetic rate (PI) of Shanyou 63 (SH), a Chinese F₁ hybrid cultivar with exceedingly high yield, was evaluated in comparison with those of two Japanese leading pure-line cultivars (JC), Nipponbare and Koshihikari. The three cultivars were grown in pots from early to pre-heading stage. Stomatal and mesophyll conductances, chlorophyll content, soluble protein content and ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase (RuBPCase) activity were measured. The results obtained are as follows : 1) PI of SH was constantly higher than those of JC through the growth stage. Particularly at the early growth stage, the difference in PI between SH and JC was large : SH and JC showed 26.98 and $21.15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectively. 2) The high PI of SH at the early growth stage depended on both high stomatal and mesophyll conductances, while at the pre-heading stage the high mesophyll conductance was the main cause of increasing PI. 3) Contents of chlorophyll and soluble protein of SH were significantly lower than those of JC, and there was no significant difference in RuBPCase activity between cultivars. 4) Thus SH, having low contents of chlorophyll and soluble protein in leaf, had a high PI and maintained an almost similar level to those of JC in RuBPCase activity. A higher efficiency in nitrogen use for photosynthesis is one of the features observed in this cultivar.

Key words : Chlorophyll content, Efficiency in nitrogen use for photosynthesis, F₁ hybrid rice, Leaf photosynthetic rate, RuBPCase activity, Soluble protein content.

F₁ 雑種水稻は、すでに中国では実用品種として、広く栽培されており、その特徴は高い乾物生産を基盤に超多収性を示すことにある¹⁴⁾。葉面積生産が高いことが F₁ 雑種水稻の多収性を支える要因の一つであり、これに関する報告は多い^{8,14,16)}。個葉の光合成能力が高いことも乾物生産を有利にする要因であるが、F₁ 品種の個葉光合成に対するヘテロシスの有無については、統一した見解は得られていない^{2,7,12,13)}。

著者らは、これまでに中国産 F₁ 品種について光合成、乾物生産の面から解析を続けてきているが、

中でも汕優 63 号が優れた乾物生産性を有し、その原因は高い葉面積生産力と個葉光合成能力にあることを確認している^{3,4,5)}。本報では、このうち、個葉の光合成を対象にする。本品種の光合成特性を明らかにすることは、高い乾物生産性を解明する上での「鍵」となるとともに、個葉光合成に関するヘテロシス発現機構の解明に有意な資料を提供するものである。

個葉光合成能力を評価する場合、単位葉面積当りのガス交換速度だけではなく、それを構成する要因、特に炭素固定系のキー酵素であるリブローズ 1,5 二リン酸カルボキシラーゼ (RuBPCase) の活性を対象とすることが重要である¹⁰⁾。また、クロロフィル含

* 大要は第 195 回講演会 (1993 年 4 月) において発表。

量および可溶性タンパク質含量等も RuBPCase 活性や個葉光合成能力と関係する形質として検討する必要がある¹⁾。汕優 63 号の個葉光合成がこれらに形質と如何なる連関をもち、特徴付けられるかを明確にすれば、より明確な評価を得ることができよう。F₁ 雑種水稻の高位生産性が旺盛な葉面積生産によるところが大きいことは前述した通りであるが、本論文ではこれに加え、個葉光合成能力の重要性を指摘したい。そこで、高位生産性が注目されている汕優 63 号の個葉光合成およびその関連形質をわが国に代表的な自殖系品種と比較し、それらの特徴を明らかにした。

材料と方法

1. 供試材料および栽培条件

F₁ 品種として中国産の汕優 63 号 (印度型)、および比較対象としてわが国の代表的自殖系品種の日本晴およびコシヒカリを用いた。これら 3 品種を 1991 年 1992 年の両年にわたって九州大学農学部実験圃場でポット栽培した。6 月上旬 (1991 年: 6 月 6 日, 1992 年: 6 月 3 日) に催芽処理を行った種子を育苗箱に播種し、6 月下旬、第 4 葉完全展開以降に砂壤土を充鎮した 8L 容量ポットに 1 株 1 本植えて移植した。基肥として、化成肥料 (N: P₂O₅: K₂O = 16: 16: 16) を 1 ポット当り、1991 年には 5 g, 1992 年には 10 g ずつ施用した。追肥には、各系統の分けつ最盛期に硫酸を 5 g/ポット、また、幼穂形成期直前に上記化成肥料を 5 g/ポット施用した。これらにポットを大型水槽内に配置し、常時湛水状態で栽培した。

2. 光合成および光合成関連要因の測定

各品種とも止葉の完全展開時までの生長期間に、以下に示した方法で測定を行った。

(1) **個葉光合成速度**: 携帯型光合成・蒸散速度測定装置 (ADC 社製, SPB-2H) を使用し、光合成速度、気孔伝導度、葉肉伝導度および気象要因を測定した。主稈または主稈に準じる分けつの最上位完全展開葉を対象に、分けつ開始期から、出穂期付近までの栄養生長期間に適時行った。1991 年度は移植後 21 日目から 69 日目までの間、4 回、また、1992 年度は移植後 25 日目から 72 日目までの間、6 回、生育段階を追って、測定した (日本晴のついては一部のデータが欠損)。なお、1 品種、1 回の測定には 4~5 枚の葉を用いた。同化箱内への導入空気の CO₂ 濃度は 364.4 ± 2.4 ppm, 相対湿度は 35.2 ± 0.1% とした。メタルハライドランプ (OSRAM, 150W, HQI-TS)

を光源に使用し、光強度条件は光合成速度の光飽和点を越える 1600 μmolm⁻²s⁻¹ 以上とした。

(2) **クロロフィル含量**: 光合成測定直後に液体窒素中に凍結、-30°C 下で冷凍保存した葉身をリーフパンチで 10 枚 (合計約 3 cm²) 打ち抜き、暗所下で、95% エタノール 10 ml 中に 24 時間以上浸して、クロロフィルを浸出させ、波長 649 および 665 nm における吸光度を測定し、クロロフィル含量を算出した。吸光度の測定には分光光度計 (島津製 UV-2100) を使用した。

(3) **RuBPCase (EC 4. 1. 1. 39) 活性**: 冷凍保存中の葉身 5~6 枚を活性測定のために用いた。測定部位による活性の変動をできるだけ小さくするため葉身中央部の中肋を含まない部分のみを測定対象とした。まず冷却した乳鉢に葉面積 1 cm² に対し、1 ml の摩砕用混合液 (100 mM トリシン-NaOH 緩衝液 (pH: 8.0), 8 mM MgCl₂, 2 mM Na₂-EDTA, 50 mM 2-メルカプトエタノール, 12.5% (v/v) グリセロール) を加え、サンプル葉身片を入れて摩砕した。これを 13,000 × g で 5 分間遠心分離処理し、その上清を粗抽出酵素液として活性測定に用いた。0.5 ml の反応混合液 (以下に記述) 中で酵素を活性化させた後、反応基質 (RuBP) を加え、反応を開始させ、分光光度計により波長 340 nm の吸光度の減少速度を測定した。測定値から 3-PGA の生成速度を算出し RuBPCase 活性 (最大活性) とした。反応混合液組成: 100 mM トリシン-NaOH 緩衝液 (pH: 8.0), 1 mM Na₂-EDTA, 16 mM MgCl₂, 2 mM DTT, 5 mM ATP, 40 mM NaHCO₃, 0.24 mM NADH, 10 mM ホスホクレアチン, 4.0 IU NAD-グリセルアルデヒド-3-ホスフェートデヒドロゲナーゼ, 4.0 IU ホスホグリセレートキナーゼ, 0.3 IU ホスホクレアチンキナーゼ, 0.8 mM RuBP。

(4) **可溶性タンパク質含量**: 1992 年には、RuBP-Case 活性測定に用いた葉身の可溶性タンパク質含量を定量した。Lowry, *et al.*, の方法⁹⁾ を用い、牛血清タンパクを標準タンパク質とした。

(5) **葉面積**: 光合成速度測定後に、測定した葉身、あるいはそれに準じる葉身の面積を測定し (自動面積計; 林電工製 AAM-8), その乾物重から比葉重 (SLW) を求めた。さらに、個体の全葉面積も算出した。

結 果

第 1 図に 1991 年に得られた個葉光合成速度の推

移を示した。測定値はすべて完全展開後の主稈およびそれに準じる分げつの最上位葉について得られたものである。なお、出穂日は品種ごとに異なり、最終測定日（移植後 69 日目）には、汕優 63 号は出穂 7 日前の状態であった。また、コシヒカリと日本晴は出穂 5 日後および 2 日後であった。移植後 42 日目（栄養生長期前期）までは品種間差が明確であった。特に、第 1 回目（移植後 21 日目）の汕優 63 号の光

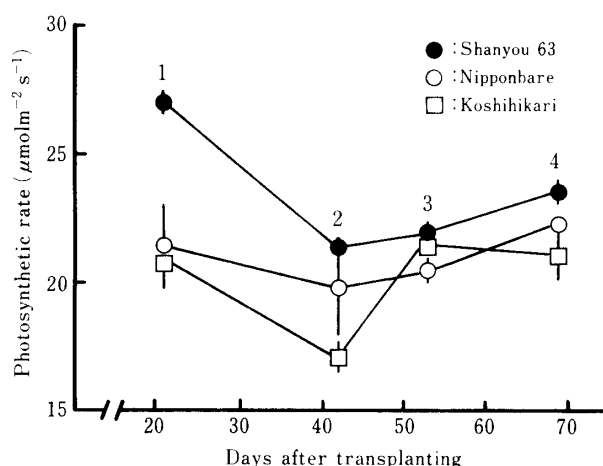


Fig. 1. Leaf photosynthetic rates of the three cultivars. The top expanded leaves were measured in light intensities over 1,600 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. 1, 21st day after transplanting (DAT); 2, 42nd DAT; 3, 53rd DAT; 4, 69th DAT. Bars indicate the standard error.

合成速度は高く、 $26.98 \pm 0.49 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ であり、コシヒカリや日本晴の約 1.3 倍の値であった。しかし、最高分げつ期以降の栄養生長期後期、すなわち、第 3 回目（移植後 53 日目）および第 4 回目（最終測定日）では汕優 63 号が若干高いものの、第 1, 2 回目の測定ほどの大きな差は認められなかった。

次に、栄養生長期前期および後期のうち、測定第 1 回目（移植後 21 日目）と第 4 回目（移植後 69 日目）における光合成関連要因（光合成速度、気孔伝導度および葉肉伝導度）を第 1 表に示した。第 1 回目の測定では、汕優 63 号は全ての形質の値が日本晴およびコシヒカリを超え、統計的に有意差が認められた。これを、日本晴とコシヒカリの平均値に対する相対値でみると各形質とも 125% 以上の値であった。一方、第 4 回目の測定では、品種間差は小さくなり、汕優 63 号の光合成速度および葉肉伝導度はコシヒカリや日本晴に比較して、多少高い値であったが、気孔伝導度は日本晴よりも低く、統計的に有意な差が認められた。

生育の早い段階に認められた汕優 63 号と自殖系 2 品種との間の光合成速度の差は生育とともに小さくなる傾向にあったが、これとは対照的に、個体当りの葉面積生産の差は生育を通して常に大きく、汕優 63 号の葉面積の増大は著しかった。そこで、汕優 63 号とコシヒカリの 2 品種 (1991 年) の移植後 21 日

Table 1. Leaf photosynthetic rates and the related characters of the three cultivars on the 21st and 69th day after transplanting.

Cultivar	Gs	Gm	Pn
The 21st day (The 1st measurement)			
Shanyou 63	0.450 ± 0.013^a (135)	0.123 ± 0.003^a (126)	26.98 ± 0.49^a (128)
Nipponbare	0.344 ± 0.050^b	0.098 ± 0.009^b	21.45 ± 1.55^b
Koshihikari	0.325 ± 0.019^b	0.098 ± 0.011^b	20.85 ± 1.03^b
(Average of pure line)	0.335 —	0.098 —	21.15 —
The 69th day (The 4th measurement)			
Shanyou 63	0.396 ± 0.029^a (92)	0.129 ± 0.006^a (117)	23.51 ± 0.46^a (108)
Nipponbare	0.502 ± 0.012^b	0.106 ± 0.003^b	22.23 ± 0.34^{ab}
Koshihikari	0.362 ± 0.030^a	0.115 ± 0.006^{ab}	21.12 ± 1.02^b
(Average of pure line)	0.432 —	0.111 —	21.67 —

Gs, stomatal conductance ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); Gm, mesophyll conductance ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); Pn, leaf maximum photosynthetic rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Number represents mean \pm standard error. Figures followed by the same letters within a column are not significant at the 5% level. Number between parentheses shows a ratio (%) to the average of Nipponbare and Koshihikari. Data are from the measurement in 1991. Measurement days are consistent with those in Fig. 1.

日から 69 日目における 4 時期の個体当りの葉面積と個葉光合成速度を第 2 表に示した。個体当りの葉面積は、生育の早い段階から圧倒的に汕優 63 号の方が大きく、汕優 63 号は生育を通して常にコシヒカリの 2 倍以上の葉面積を保持していることが明らかとなった。個葉光合成速度は汕優 63 号で高く、品種間差は初めは大きく、統計的に有意であったが生育とともに小さくなった。汕優 63 号は常にコシヒカリよりも高かった。さらに、生育期間中の平均値で比較した場合、汕優 63 号では、葉面積はコシヒカリの約 2.5 倍、また、光合成速度はコシヒカリの約 1.2 倍であった。

次に、個葉光合成能力に関連する主要 4 形質 (SLW, クロロフィル含量, 可溶性タンパク質含量および RuBPCase 活性) と個葉光合成速度の平均値を第 3 表に示した。可溶性タンパク質含量に関しては

1992 年の値、他は全て 1991 年と 1992 年両年の値である。止葉展開時までの生育期間に得られた全測定値を平均した。なお、測定対象は最上位完全展開葉とした。3 品種間で比較すると、SLW, クロロフィル含量および可溶性タンパク質含量については、いずれも汕優 63 号が最も低く、コシヒカリとの間には統計的に有意な差が認められた。汕優 63 号の測定値を自殖系 2 品種に対する相対値でみると可溶性タンパク質含量は少なく、76%であった。また、RuBP-Case 活性には 3 品種間で有意差は認められなかった。一方、光合成速度の平均値は汕優 63 号で高く ($23.35 \pm 1.00 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)、続いて、コシヒカリ ($20.79 \pm 0.77 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)、日本晴 ($20.32 \pm 0.63 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) の順であり、統計的にも自殖系 2 品種に対して汕優 63 号が有意に高い値 (自殖系品種に対する相対値は 114%) であった。

Table 2. Leaf photosynthetic rate and leaf area of a plant in Shanyou 63 and Koshihikari on different measurement days.

Measurement day (Day after transplanting)	Leaf area of a plant (m ² /plant)		Pn ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	
	Shanyou 63	Koshihikari	Shanyou 63	Koshihikari
1. The 21st day	$0.401 \pm 0.010^{***}$ (280)	0.143 ± 0.008	$26.98 \pm 0.49^{**}$ (129)	20.85 ± 1.03
2. The 42nd day	$0.453 \pm 0.032^{**}$ (205)	0.221 ± 0.010	$21.38 \pm 0.36^{***}$ (125)	17.13 ± 0.55
3. The 53rd day	$0.889 \pm 0.012^{***}$ (278)	0.320 ± 0.020	21.95 ± 0.38 (102)	21.50 ± 0.25
4. The 69th day	$0.843 \pm 0.024^{***}$ (246)	0.342 ± 0.016	23.51 ± 0.46 (112)	21.12 ± 1.02
Average	$0.647 \pm 0.128^*$ (253)	0.256 ± 0.046	23.46 ± 1.26 (116)	20.15 ± 1.02

Pn, maximum photosynthetic rate of the top expanded leaf. Number represents mean \pm standard error. *, ** and *** indicate statistical significance at 5%, 1% and 0.1% level, respectively. Number between parentheses shows a ratio (%) relative to Koshihikari. Data are from the measurements obtained in 1991. Measurement days are consistent with those in Fig. 1.

Table 3. Averages of leaf photosynthetic rates and the related characters measured during the vegetative stage in the three cultivars.

Cultivar	SLW (gm ⁻²)	SPC (gm ⁻²)	Chl (mgdm ⁻²)	RCA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Pn ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Shanyou 63	39.06 ± 1.35^a (85)	4.04 ± 0.34^a (76)	3.81 ± 0.20^a (84)	54.11 ± 3.46^a (101)	23.35 ± 1.00^a (114)
Nipponbare	43.74 ± 1.20^{ab}	5.15 ± 0.55^{ab}	4.34 ± 0.15^{ab}	48.53 ± 3.96^a	20.32 ± 0.63^b
Koshihikari	47.79 ± 1.87^b	5.52 ± 0.39^b	4.75 ± 0.20^b	59.15 ± 5.32^a	20.79 ± 0.77^b

SLW, specific leaf weight; SPC, soluble protein content; Chl chlorophyll (a+b) content; RCA, RuBPCase activity; Pn, leaf maximum photosynthetic rate. Number represents mean \pm standard error. Figures followed by the same letters within a column are not significantly different at the 5% level. Number between parentheses shows a ratio (%) to the average of Nipponbare and Koshihikari. All the values, except SPC are from the data in 1991 and 1992. SPC was data obtained in 1992.

さらに、上述の4形質について、形質ごとに光合成効率を算出し第2図に示した。すなわち、第2図では、各形質の全測定値をX軸にとり、これに対応させて個葉光合成速度を各形質の測定値で除した値(各形質当りの光合成効率)をY軸にプロットした。SLW、クロロフィル含量、可溶性タンパク質含量およびRuBPCase活性の4つの形質に関してすべてに負の相関関係(1%で有意)が認められた。このことは、形質の値が大きくなるに従って、光合成効率が低下することを示す。前3者において、汕優63号と自殖系品種とでは分布の状態が明らかに異なっており、汕優63号は各形質の値は低いにも関わらず、光合成効率は高く、しかも、光合成速度の絶対値も第3表で確認したように有意に高い値であったことは、本品種の特長とされる。しかし、RuBPCase活性に関しては、このような品種間差は認められな

った。

考 察

中国産 F₁ 品種の CGR は極めて高く、その原因は葉面積生産に優れることにあり、宋ら¹⁴⁾は指摘している。本研究においても供試した F₁ 品種である汕優63号の葉面積が生育の初期から極めて大きいことは明らかであり、著者らは汕優63号とコシヒカリについて、個体当りの光合成速度は、汕優63号がコシヒカリの2倍以上の値になることを確認している⁵⁾。このように、これまでの F₁ 雑種水稻に関する報告では、葉面積の拡大能力、すなわち光合成の「量」の大小によって高い乾物生産性を結論づけていることが多く^{14,16)}、「質」となる葉面積当りの光合成能力について詳細な検討を行った報告は少ない^{7,12)}。しかしながら、植物個体における乾物生産は、これら「量」

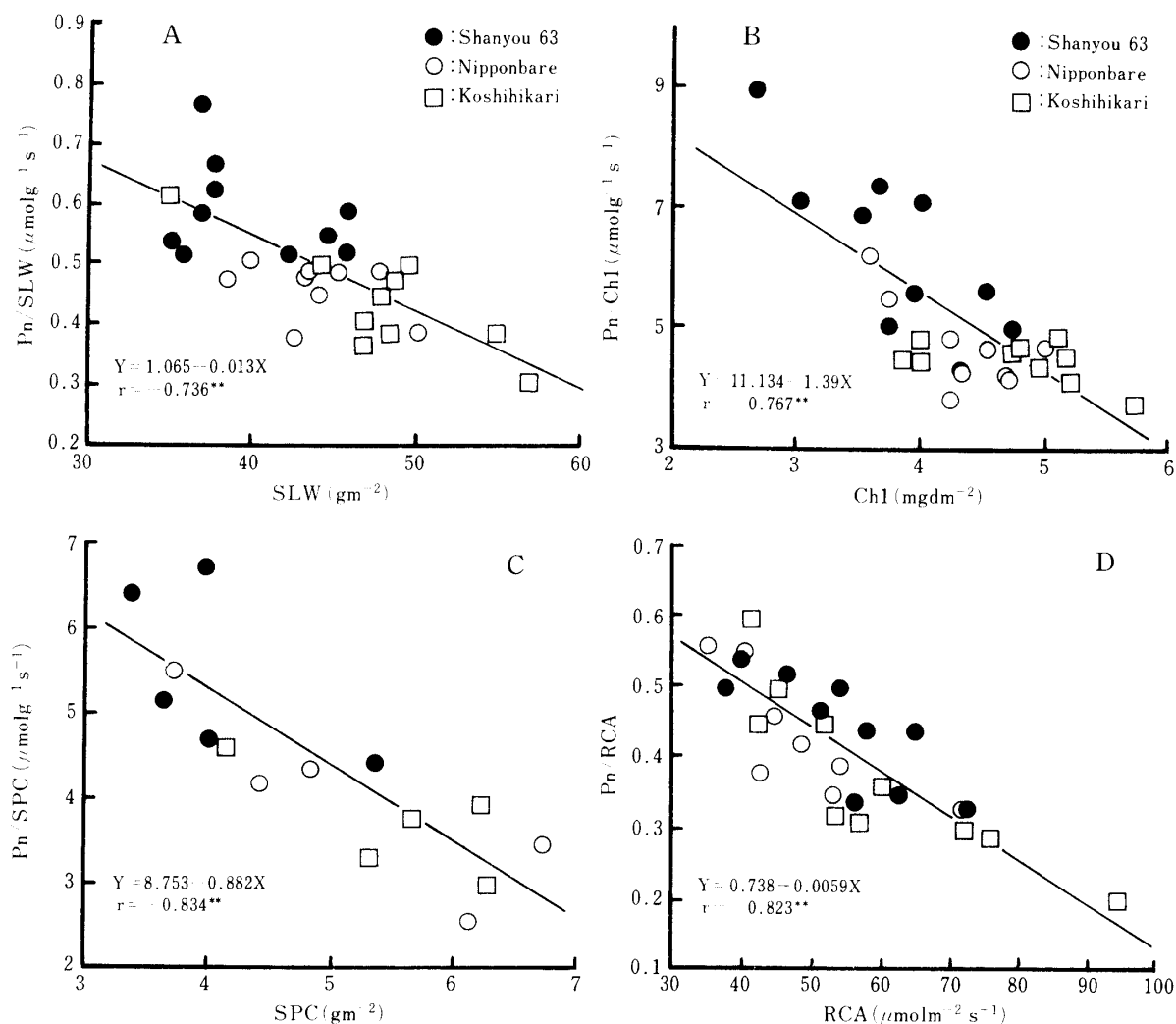


Fig. 2. Relationships between photosynthetic efficiency, and SLW (A), Chl (B), SPC (C) and RCA (D) at vegetative stage. **, statistical significance at the 1% level.

と「質」の積を基礎に成り立つ。従って、個葉の光合成能力にも大きな役割が存在するものと考えられる。本報では、生育経過およびこれに伴う葉内成分の動態を捉え、F₁品種、汕優63号の個葉光合成能力について考察を試みる。

汕優63号は、優れた収量性を持ち、高い個葉光合成能力をもつF₁品種である。著者らは本品種の個葉光合成能力にヘテロシスが生じているものと予測し、両親系統との比較、解析に関心を持ってきた。ヘテロシスの解析は、両親系統およびそのF₁雑種における発現形質を比較することから始まるが、汕優63号の両親系統を育成地から入手することは不可能であったため、本研究では、汕優63号と現在わが国で栽培されている代表的自殖系2品種、コシヒカリと日本晴、を同一条件下で栽培、比較し、汕優63号の個葉の光合成特性を明らかにした。このため、ここでは個葉光合成におけるヘテロシス現象を親子間で比較する形で明確にすることはできなかったが、汕優63号の光合成能力に関する「優位性」を明確に捉えており、これを自殖系品種と比較し論議することは、F₁品種の個葉光合成の特性を明確にする上で十分意義あるものと考えられる。

出穂期付近までの個葉光合成速度の推移をみると、栄養生長期前期では汕優63号が高く、光合成関連形質（気孔伝導度および葉肉伝導度）は両自殖系品種より明らかに高かったが、後期（出穂期付近）では、その優位性は小さくなった（第1図、第1表）。汕優63号において、生育に伴う気孔伝導度の変動は葉肉伝導度よりも大きく、後期には相対値で自殖系品種よりも低く、個葉光合成速度低下の原因の一つであった可能性がある。しかしながら、そのような状況下においても、汕優63号の個葉光合成速度は両自殖系品種を上回っており、これは、後期においても葉肉伝導度が高く、維持されていたためであると推察される。

Yamauchi and Yoshida¹⁶⁾は多くのF₁雑種の葉の厚さは中間親と同じか、あるいは、より薄いことを報告している。本研究においても、栄養生長期後期に汕優63号の葉が薄くなる（SLWが減少する）傾向が認められた⁴⁾。一般に、SLWと光合成能力との間には正の相関関係があるとされている¹⁵⁾。これはSLWが、葉内の光合成関連成分（クロロフィル、可溶性タンパク質等）量を間接的に表す指標であるためであり、SLWが低いことは、個葉の光合成能力が低いことを示し得る。汕優63号は生育に伴う葉面

積生産によって自殖系2品種に比較してSLWが低くなるため、個葉の光合成能力も低下すると予測されたが、実際には、第2表からも明らかにように、汕優63号は生育期間を通してSLWが高い自殖系品種を下回ることなく、それ以上の高い光合成速度を示した。一般的にSLWと光合成速度との間に認められる関係とは逆の関係にあり、注目すべき点である。旺盛な葉面積生産と光合成速度の維持という2要因の両立が、汕優63号の高い乾物生産性の基盤であると考えられる。

次に、この点を光合成速度にかかわる4成分（第3表）との関連で検討する。葉内のタンパク質はクロロフィルあるいは光合成関連酵素として合成、利用され、葉内の光合成反応系を構成する¹⁾。このため、葉内の可溶性タンパク質の含量が多いことが、個葉の光合成を高める要因となり得るが、汕優63号における単位葉面積当りの可溶性タンパク質含量やクロロフィル含量は、自殖系品種に比較して有意に少ない値であった。しかし、汕優63号の光合成速度は有意に高く、葉内の関連成分に対する光合成効率が高いことが指摘される。

これに関連し、次に、炭素固定系における主要酵素であるRuBPCaseの活性について検討する。RuBPCaseは、葉内の可溶性タンパク質の内の約50%を占め、その活性は光合成に直接的に結び付くものと考えられる。しかし、一般的にはイネのRuBPCaseの諸性質は、品種、系統間の差が小さく、光合成能力の変異幅を限定する要因となると報告されている¹¹⁾。著者らの測定においてもRuBPCase活性には品種間差は認められず、汕優63号が高い活性を示すことはなかった（第3表）。しかし、汕優63号では、葉内の可溶性タンパク質含量は少ないにも関わらず、自殖系2品種と同等のRuBPCase活性を維持していたことが注目される点である。それに加え、第1表に示したように、汕優63号の葉肉伝導度は自殖系品種に比較して常に高いことから、*in vivo*でのRuBPCaseの活性が高まっていることも推察される。これらの理由として、可溶性タンパク質に占めるRuBPCaseタンパク質の割合が高いこと、あるいは*in vivo*においてRuBPCaseの比活性が高いことなどが考えられるが、本研究ではその解明に至らなかった。

葉内関連成分に関する光合成効率についてはすべて成分量との間に負の相関関係がみとめられた（第2図）。このことは、成分量が多いほど効率が低くな

ることを意味している。汕優 63 号は自殖系品種に比較して葉内のクロロフィル含量や、可溶性タンパク質含量が少ないにも関わらず、常に高い光合成効率を発揮していた。このように、限られた葉内成分を効率的に光合成反応に反映させることが汕優 63 号の優れた光合成能力の一つであると考えられた。

若い展開直後の葉においては、光合成速度に対して過剰量の RuBPCase タンパクが存在するという報告がある¹⁷⁾。自殖系 2 品種においては、その傾向が強く、葉内の RuBPCase タンパクは量的には優れていると予測されるが、そのことが光合成作用に必ずしも効果的に結びついていないものと推察される。汕優 63 号では量的には少ない RuBPCase タンパクで高い光合成効率を得られたものと考えられる。

光合成速度は、気孔の開度に伴う CO₂ 拡散伝導度による制限を受ける。ここで検討してきた光合成速度は、測定対象葉に飽和光を十分に照射し (10 分以上)、気孔伝導度が安定したのちに測定した最大光合成速度である。著者らは、これまで多数の水稻品種を用いた実験の結果から、ある程度以上の気孔伝導度 (0.3 molm⁻²s⁻¹ 以上) おいては光合成速度が飽和する傾向を示し、光合成速度に与える影響が小さくなることを確認している⁶⁾。本研究では全測定値の気孔伝導度が 0.325±0.019 molm⁻²s⁻¹ 以上であったことから、CO₂ 拡散系の制限を可能な限り小さくした状態の光合成能力を評価できたものと考ええる。第 1 表にあったように栄養生長期前期での気孔伝導度の品種間差は大きかったが、このことが光合成速度に与えた影響は小さかったものと考ええる。このため、気孔が開き、ガス交換が十分行える条件下では、汕優 63 号の光合成能力の優位性は、葉肉内の反応系の活性状態がその決定要因となると判断される。しかし、気孔開度は環境によって多様に変化し、また、開閉能力は遺伝的にも特徴付けられることから、個葉光合成能力や特性の評価については、さらに気孔との関連での検討が必要である。

引用文献

1. Evans, J. R. 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C₃ plants. *Oecologia* 78: 9—19.
2. 春原嘉弘・矢島正晴・鈴木 守・関 寛三 1985. 水稻 F₁ 雑種の物質生産、初期生育及び Sink Size におけるヘテロシス. *日作紀* 54 (別2): 132—133.
3. 平尾健二・窪田文武・縣 和一・宋 祥甫 1991. 水稻 F₁ 雑種の光合成・物質生産特性に関する研究. 第 1 報 F₁ 雑種の物質生産特性. *日作紀* 60 (別2): 169—170.
4. 平尾健二・窪田文武・縣 和一・宋 祥甫 1992. 水稻 F₁ 雑種の光合成・物質生産特性に関する研究. 第 4 報 F₁ 品種・系統の個葉光合成速度と RuBPCase 活性および比葉重との関係. *日作紀* 61 (別2): 107—108.
5. Hirao, K., F. Kubota, W. Agata and X. Song 1992. Dry matter production and photosynthesis in hybrid rice. In Korean Soc. Crop Sci. ed., *Low-Input Sustainable Crop Production Systems in Asia*. KSCS, Korea. 209—217.
6. 平尾健二・窪田文武・小賦あずさ・縣 和一 1994. 水稻 F₁ 雑種の光合成・物質生産特性に関する研究. 第 8 報 種間 F₁ 雑種の最大光合成能力、ガス代謝要因および RuBPCase 活性について. *日作紀* 63 (別1): 130—131.
7. 梶本信幸・秋田重誠・田中一郎・雨宮 昭 1985. 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.
8. Kawano, K., K. Kurosawa and M. Takahashi 1969. Heterosis in vegetative growth of the rice plant. *Jpn. J. Breed.* 19: 335—342.
9. Lowry, O. H., N. J. Rosebrough, A. L. Farr and R. J. Randall 1951. Protein determination with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193: 265—275.
10. 前 忠彦 1991. 葉身窒素に関する栄養生理学的研究. *土肥誌* 62: 203—206.
11. Makino, A., T. Mae and K. Ohira 1987. Variation in the contents and kinetic properties of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase among rice species. *Plant Cell Physiol.* 28: 799—804.
12. Murayama, S., K. Miyazato and A. Nose 1987. Studies on matter production of F₁ hybrid in rice I. Heterosis in the single leaf photosynthetic rate. *Jpn. J. Crop Sci.* 56: 198—203.
13. Po, H., N. Oishi and K. Ishihara 1984. Heterosis in rice with reference to agronomic characters and leaf photosynthesis. *Jpn. J. Crop Sci.* 52 (Extra Issue 2): 102—103.
14. 宋 祥甫・縣 和一・川満芳信 1990. 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. *日作紀* 59: 19—28.
15. Tsunoda, S. 1960. A developmental analysis of yielding ability in varieties of field crops. III. The depth of green colour and the nitrogen content of leaves. *Jpn. J. Breed.* 10: 39—42.
16. Yamauchi, M. and S. Yoshida 1985. Heterosis in net photosynthetic rate, leaf area, tillering and some physiological characters on 35 F₁ rice hybrids. *J. Exp. Bot.* 36: 274—280.
17. 和田義春 1988. イネ個葉の光合成特性の老化にともなう変化. *宇都宮大農学報特輯* 49: 1—44.