

水稻多収性品種の乾物生産特性の解析

第3報 個葉光合成速度の比較

斎藤 邦行*・下田 博之*・石原 邦

(東京農工大学農学部)

平成2年7月25日受理

要 旨: 前報において乾物生産特性の比較を行なった早生, 中生水稻計5品種を用いて, 最高分げつ期から収穫期まで完全展開した上位5葉の個葉光合成速度を1986, 87年に測定した。

その結果, 各葉位の葉身の最大光合成速度は中生品種に比べ早生品種が大きく, また早生品種では南京11号に比べアキヒカリで, 中生品種では止葉(第I葉)と第II葉については, 日本晴, むさしこがねに比べ密陽23号で大きかった。葉位が下がるのに伴う光合成速度の減少割合はアキヒカリに比べ南京11号で, 日本晴, むさしこがねに比べ密陽23号で著しく, 葉位間の相対的關係は兩年でほぼ等しかった。完全展開完了後日数の経過に伴う光合成速度の減少割合はアキヒカリに比べ南京11号で, 日本晴, むさしこがねに比べ密陽23号で著しかったが, 中生品種間の相違は小さかった。さらに, 全品種, 測定期間を通じて葉身窒素含量, クロロフィル含量, 拡散伝導度と光合成速度との間には, それぞれ密接な正の相関關係があったが, クロロフィル含量が 4 mg dm^{-2} 以上では光合成速度は $10 \sim 45 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ の範囲で変化していた。これらの關係は品種間で異なった。

本研究の結果から, 南京11号の光合成速度がアキヒカリに比べ下位葉ほど, また日数の経過するほど小さくなる特性は, 登熟期の純同化率を小さくする要因として働くこと; 中生3品種の光合成速度には実測値で見ると著しい相違は認められず, この時期の純同化率の相違には個葉光合成速度以外の要因, すなわち前報で検討を行なった個体群の受光態勢が關係することが推察された。

キーワード: 拡散伝導度, 乾物生産, 個葉光合成速度, 多収性水稻品種, 葉身クロロフィル含量, 葉身窒素含量, 老化。

Characteristics of Dry Matter Production Process in High Yielding Rice Varieties III. Comparisons of leaf photosynthesis: Kuniyuki SAITOH, Hiroyuki SHIMODA and Kuni ISHIHARA (*Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183, Japan*)

Abstract: The difference of dry matter production process among the rice cultivars was previously reported with reference to light intercepting characteristics. This study was conducted to determine if the single leaf photosynthetic characteristics, which affect the dry matter production, were different among the rice cultivars.

Leaf apparent photosynthetic rate (APR), diffusive conductance, nitrogen content and chlorophyll content were monitored every ten days from the maximum tillering stage to the harvesting time in the uppermost five leaves on the main stem of two early varieties; Akihikari (Japanese cultivar) and Nanjing 11 (Chinese cultivar, Indica), and three medium varieties; Nipponbare, Musasikogane (Japanese cultivars) and Milyang 23 (Korean cultivar, Japonica/Indica hybrid). The results obtained were as follows.

The maximum APR of the uppermost two leaves in the early varieties was higher than that in the medium varieties. Maximum APR in Akihikari and Milyang 23 was higher as compared with that in Nanjing 11 and that in Nipponbare and Musasikogane, respectively. APR decreased with getting lower in position of leaf on the stem and with increasing in leaf age. Decreasing degree of APR was greater in Nanjing 11 and Milyang 23 than in Akihikari, Nipponbare and Musasikogane, respectively. APR was significantly correlated with nitrogen content (correlation coefficient, $r=0.84$), chlorophyll content ($r=0.68$) and diffusive conductance ($r=0.90$) in the leaves of various positions on the stem and of various ages. However, there was no significant correlation between APR and chlorophyll content above 4 mg dm^{-2} . These relationships were different among the varieties.

These results suggested that the lower canopy net assimilation rate in Nanjing 11 as compared with that in Akihikari was mainly owing to the lower leaf photosynthetic rate, but photosynthetic rate hardly affected the difference of canopy dry matter production among the medium varieties.

Key words: Ageing, Diffusive conductance, High yielding rice variety, Leaf chlorophyll content, Leaf nitrogen content, Single leaf photosynthesis.

前報¹⁵⁾において, 早生品種アキヒカリ, 南京11号, 中生品種日本晴, むさしこがね, 密陽23号を

* 附属農場。

比較したところ, 乾物生産特性は品種間で異なり, 出穂期以後の乾物生産の大きい品種は純同化率(NAR)が大きく, NARの大小は吸光係数で表わ

される受光態勢と密接な関係にあることが明らかとなった。個体群の NAR は受光態勢によってのみ規定されるのではなく、個体群の葉群を構成する各葉身の光合成速度が関係している。アキヒカリと南京 11 号の比較からも、両品種の乾物生産過程の相違には各葉身の光合成速度の違いが関係している可能性が示唆された。

従来の研究によって水稻の個葉の光合成速度に品種間差のあること^{7,10,16)} が認められているので、1986, 87 年に上述した 5 品種を用いて、生育を追って葉位別に個葉光合成速度を測定した。さらに、これと平行して光合成速度に影響する拡散伝導度、窒素含量、クロロフィル含量、比葉重を測定し、個葉光合成速度の相違する要因を検討した。

材料と方法

実験に用いた水稻品種は、早生品種アキヒカリ、南京 11 号、中生品種日本晴、むさしこがね、密陽 23 号であった。栽培方法は 1986, 87 年ともほぼ同様で、1986 年には 5 月 1 日に播種した苗を 6 月 4 日に m^2 当り 22.2 株 ($30 \times 15 \text{ cm}$, 1 株 3 本) の栽植密度で手植え移植した。肥料は 10 a 当り基肥として堆肥 3 t, チッ素, リン酸, カリ各成分で 5 kg, 追肥として早生品種は 7 月 25 日, 8 月 19 日の 2 回, 合計でチッ素, カリ各 5 kg, 中生品種には 8 月 1 日, 8 月 25 日の 2 回合計でチッ素, カリ各 6 kg を施用した。

各品種の生育は、前報¹⁵⁾ とほぼ同様に経過し、最終草丈、穂数、茎数の品種間の違いも前報とほぼ等しかった。出穂期および収穫期はそれぞれ、早生品種で 8 月 10 日, 9 月 21 日, 中生品種で 8 月 21 日, 10 月 11 日であった。

個葉光合成速度は 7 月 21 日から収穫期まで約 10 日おきに測定を行なった。なお、一時期に 5 品種の光合成速度を測定するのに約 5 日を要した。測定に際しては、測定を行なう前夜に葉身の先端からの排水を確認した上で、株を中心とした $30 \times 30 \text{ cm}$, 深さ約 20 cm の範囲の土壌を掘り取り、バケツに移して湛水し、ビニル袋で株全体を覆って室内に保管した。光合成速度の各測定には、主稈に着生する上位 5 葉を用いた。

装置の概要は以下のとおりである。すなわち、ソーダライムで CO_2 を除去した空気に 1% CO_2 ガスを混入して CO_2 濃度を調節した空気を、加湿した後一定温度の恒温水槽で除湿して一定露点の空気と

し、流量を調節して温度調節器を有する同化箱（小糸工業製）へ送った。同化箱はファンを内蔵しており、空気の流れは層流に近く、風速約 2.2 m s^{-1} であった。同化箱を出た空気の一部を湿度計（バイサラ社製）に送り、相対湿度^{注1)}を測定した後除湿し、絶対値型赤外線 CO_2 ガス分析計（横河電気社製）で CO_2 濃度を測定した。同化箱に送った空気の一部は流量計の手前でバイパスへ送り、同化箱から出た空気と交互に湿度計、 CO_2 ガス分析計を通すことによって、相対湿度、 CO_2 濃度を測定し、同化箱から出てきた空気の相対湿度、 CO_2 濃度との差から H_2O 放出量および CO_2 吸収量を求めた。なお、気温、葉温はそれぞれ 0.3, 0.1 mm の銅—コンスタンタン熱電対によって、光強度 ($\mu \text{ E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) は同化箱内に設置した 2 ケの光量子計 (LI-COR 社製) によって測定した。

光合成速度 ($\text{mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$), 蒸散速度 ($\text{gH}_2\text{O dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$) は CO_2 吸収量, H_2O 放出量, 気温, 流量, 葉面積から算出し、気孔のガス交換速度の大小の指標となる拡散伝導度 (C) は次式によって求めた。

$$C = T / (H_1 - H_a)$$

T は蒸散速度, H_1 は葉温における飽和絶対湿度, H_a は同化箱内の空気の絶対湿度を示す。なお、測定には葉身の先端を切った^{注2)}同一葉位の葉身 2~4 枚を用いたので、本測定で得られた光合成、蒸散に関する測定値は 2~4 枚の平均値を表わすことになる。

測定条件は気温 $29 \pm 0.5^\circ \text{C}$, 相対湿度 80~90%, 同化箱内の CO_2 濃度 $350 \pm 10 \text{ ppm}$, 光強度は光合成が十分に光飽和している $1420 \mu \text{ E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 流量は $4 \sim 6 \text{ l min}^{-1}$ で、葉温は気温よりも $0.5 \sim 1.5^\circ \text{C}$ 高かった。なお、同化箱内の相対湿度は測定葉の蒸散速度の大小によって変化するので、同化箱に送る空気の露点を変化させて、可能な限り高く一定に保つように努めた。また、同化箱内の CO_2 濃度を一定に保つため、 CO_2 を除去した空気に混入する 1% CO_2 ガスの量を変えて、同化箱から出てくる CO_2 濃度を 350 ppm になるように調節した。光源にはメタルハライドランプ（東芝製）を用い、光源と同化箱との間に熱線吸収水フィルター (10 cm) を置

注 1) 湿度計は温度調節した容器内に収納してあり、その温度と相対湿度とから絶対湿度を求めた。

注 2) 切断面からの水分の損失を防ぐため、ラノリンをぬった。

き、その下面にトレース用紙をはり、光強度を調節した。

各生育段階に光合成速度を測定した葉身の葉面積を測定した後通風乾燥、保存した。この葉身について、NC アナライザー（住友化学製）を用い、葉身の葉位別全窒素含量を求めた。さらに、各葉位の葉身の中心部分（先端部、基部の中央）2 cm を切り取り葉面積を測定後、メタノールで抽出し、分光光度計（島津製作所製）でクロロフィル含量（クロロフィル a と b を加えた含量）を測定した。

さらに、1987 年には幼穂発育期と登熟初期の 2 回、早生品種アキヒカリ、南京 11 号、中生品種日本晴、密陽 23 号の上位 5 葉の光合成速度を、1986 年と同じ方法で測定した。

結 果

1. 最大光合成速度：各葉位の葉身の展開完了後 10 日以内に測定した個葉光合成速度を、その葉身の最大光合成速度として品種間で比較したのが第 1 表である。

中生品種の最大光合成速度が $40 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ を越えたのは密陽 23 号の第 I 葉だけであったのに対して、早生品種では 2 品種とも第 I 葉、第 II 葉の最大光合成速度は $40 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ を越えており、中生品種の最大光合成速度は早生品種に比べ小さい傾向にあった。

葉身の最大光合成速度を品種間で比較すると、早生品種では、最大光合成速度はアキヒカリの第 I 葉、第 II 葉、が南京 11 号に比べて大きかった。中生品種では、最大光合成速度は日本晴、むさしこがねでは最上位 3 葉中第 III 葉で最も大きく、第 I

葉、第 II 葉ではほぼ等しかった。これに対し、密陽 23 号では第 III、第 II、第 I 葉と止葉に近いほど最大光合成速度が大きかった。日本晴とむさしこがねの最大光合成速度はどの葉位でもほぼ等しかった。この両品種と密陽 23 号を比べると第 III 葉では密陽 23 号の最大光合成速度が最も小さく、第 I、第 II 葉では密陽 23 号が最も大きかった。特に止葉で $44.3 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ と、日本晴、むさしこがねに比べて約 $10 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 大きかった。

2. 葉身の老化に伴う光合成速度の減少：まず、出穂期および出穂 20 日後に主稈に着生する止葉から第 V 葉までの葉身の光合成速度を測定し、その実測値と第 I 葉（止葉）の光合成速度を 100 として表わした相対値で、葉位間を比較した（第 1 図）。全品種の光合成速度は、出穂期、出穂 20 日後ともに葉位が下がるに従って減少した。出穂期の光合成速度は南京 11 号に比べてアキヒカリが全葉位で大きく、日本晴、むさしこがねに比べて密陽 23 号が第 I 葉～第 III 葉で大きかった（第 1 図 A-1）。出穂 20 日後では、葉位別の光合成速度の品種間差は小さくなったが、アキヒカリに比べ南京 11 号がすべての葉位で小さく、日本晴、密陽 23 号に比べてむさしこがねはほとんどすべての葉位で小さい傾向があった（第 1 図 B-1）。

葉位が下がるのに伴う光合成速度の減少程度を比較すると、品種間差が認められた。すなわち、出穂期では南京 11 号の光合成速度の減少程度はアキヒカリに比べて大きく、日本晴、むさしこがねに比べて密陽 23 号の光合成速度の減少程度は最も大きかった（第 1 図 A-2）。出穂 20 日後では、すべての葉位で出穂期に比べて、葉位が下がるのに伴う光合成速度の減少程度は大きかった。早生品種では出穂期と同様にアキヒカリに比べて南京 11 号の減少程度が大きく、中生品種では密陽 23 号、むさしこがねの減少程度が日本晴に比べて大きかった。

さらに幼穂発育期、登熟初期の光合成速度の品種間の相違を 1986 年と 87 年とで比較した（第 2 図）。

早生品種では、幼穂発育期に光合成速度が最大となる葉位が、86 年は第 I 葉、87 年は第 II 葉と相違はあったが、両年とも幼穂発育期、登熟初期における全葉位で南京 11 号に比べアキヒカリの光合成速度が小さい傾向が認められた（第 2 図 A, B-1）。中生品種では、幼穂発育期には日本晴第 I 葉の光合成速度が 87 年に比べ 86 年でやや小さかったが、第 II 葉より下位の葉身の光合成速度は 86 年、87

Table 1. Maximum photosynthetic rates at different leaf position on the stem in the two early and three medium varieties (1986).

Variety	Maximum photosynthetic rate ($\text{mgCO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$)		
	I	II	III
Akihikari	47.7	43.5	39.4
Nanjing 11	43.0	40.8	40.2
Nipponbare	33.1	32.9	35.2
Musasikogane	34.1	33.2	38.9
Milyang 23	44.3	38.1	34.3

Roman numbers represent the leaf position numbered from the flag leaf. Maximum photosynthetic rate in each leaf was measured just after full expansion.

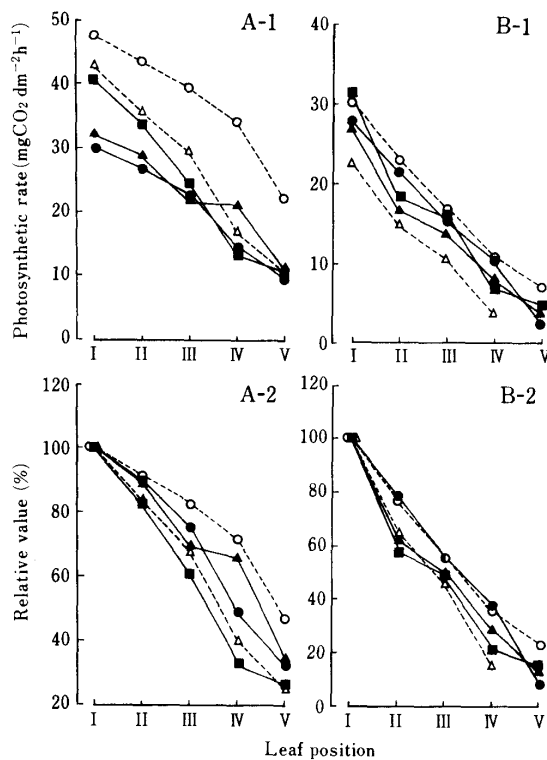


Fig. 1. Photosynthetic rates and their relative values in the different leaf positions on the stem at heading time (A) and 20 days after heading (B), in the early varieties (dashed line); Akihikari (open circles) and Nanjing 11 (open triangles), and in the medium varieties (solid line); Nipponbare (solid circles), Musasikogane (solid triangles) and Milyang 23 (solid squares).

Relative values are expressed as the percentage of photosynthetic rates in the flag leaf. Roman numbers represent the leaf position numbered from the flag leaf, the same as in Fig. 2.

年でほぼ等しかった (第2図 A-2). 登熟初期には日本晴, 密陽 23 号ともに全葉位で光合成速度が 86 年に比べ 87 年で小さかった. 葉位が下がるのに伴う光合成速度の減少傾向は両年ともに日本晴に比べて密陽 23 号で著しかった (第2図 B-2).

つぎに, 完全展開完了後日数の経過に伴う第 I 葉 (止葉) と第 III 葉の光合成速度の変化を, その実測値および完全展開完了時の光合成速度の値を 100 とした相対値で第3図に示した. 実測値でみると (第3図 A, B-1), 第 I 葉, 第 III 葉の光合成速度はともに展開完了後 20 日頃までは, ほとんど変わらないが, または日数の経過に伴う減少程度は小さかったが, 20 日以後は日数が経過するに従って急速に減少した. 早生品種では, 第 I 葉, 第 III 葉ともに南京 11 号の光合成速度は展開完了後

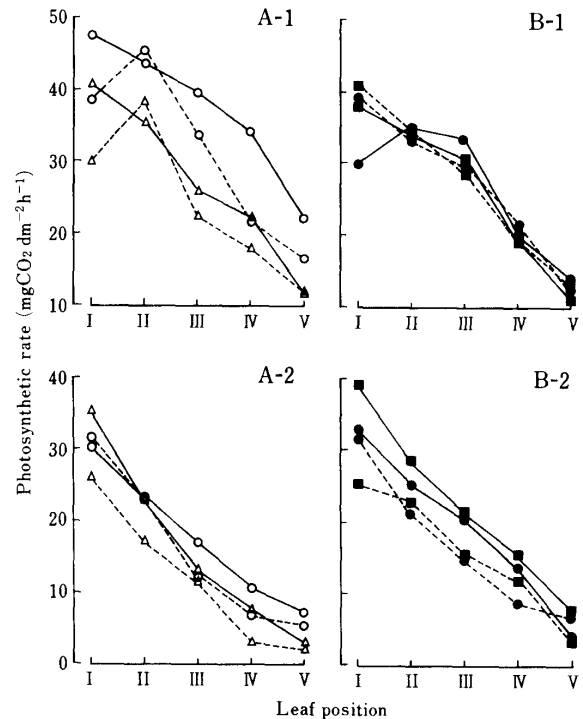


Fig. 2. Comparison of photosynthetic rates in the different leaf position on the stem between the year 1986 (solid line) and 1987 (dashed line) at the panicle development (A) and early ripening (B) stages in the early (left) and the medium (right) varieties.

Symbols are the same as those in Fig. 1.

30 日まではアキヒカリとほぼ等しかったが, それ以後アキヒカリに比べ南京 11 号が小さくなった. 中生品種では, 第 I 葉の光合成速度は全期間日本晴とむさしこがねでほぼ等しく, 密陽 23 号は展開完了直後から他の 2 品種に比べて著しく大きく, 日数の経過に伴ってその差は徐々に小さくなったが, 展開完了後 40 日でも約 3 mg CO₂ dm⁻² h⁻¹ 大きかった. 第 III 葉の光合成速度は展開完了直後には 3 品種間でやや異なったが, 展開完了後 20 日以降はほぼ等しかった.

光合成速度の減少程度を相対値からみると (第3図 A, B-2), 第 I 葉では早生品種アキヒカリの光合成速度は南京 11 号に比べ展開完了直後急速に小さくなったが, 展開完了後 30 日以降両品種の関係は逆転し, 南京 11 号の減少程度が大きかった. 中生品種では, 展開完了後 20 日頃までは減少程度が小さく, それ以後急速に減少したが減少程度は密陽 23 号, むさしこがね, 日本晴の順に大きかった. 光合成速度の減少程度は第 I 葉に比べて第 III 葉で

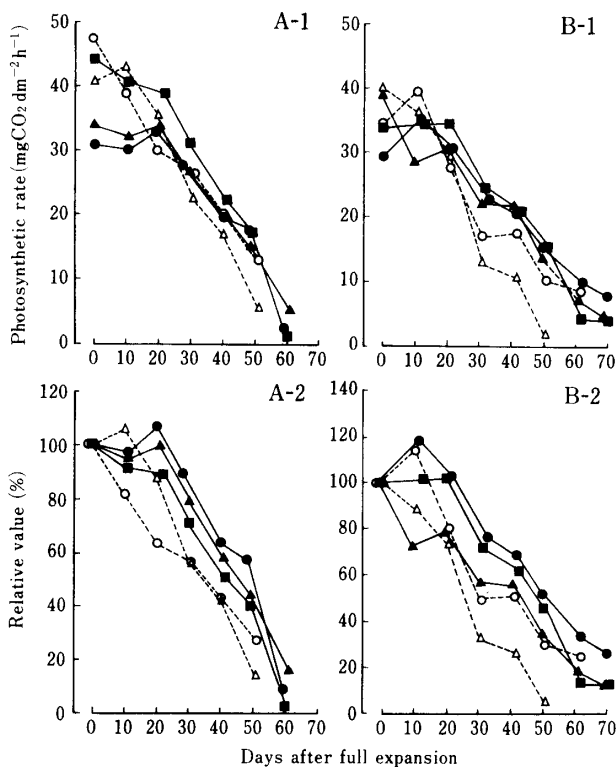


Fig. 3. Changes in photosynthetic rate of the flag (1st, A) and 3rd (B) leaves with ageing in the early (dashed line) and the medium (solid line) varieties. Relative values are expressed as the percentage of photosynthetic rates in the leaves just after full expansion. Symbols are the same as those in Fig. 1.

小さく、その程度には品種間差がかなり明瞭に認められた。すなわち、第 III 葉の光合成速度の減少程度は、早生品種ではアキヒカリに比べ南京 11 号で、中生品種では日本晴、密陽 23 号に比べむさしこがねで大きかった。

3. 個葉光合成速度に影響する要因: 以上認められた光合成の品種間差をもたらす要因を解析するため、全品種の葉身全窒素含量（以下単に窒素含量とする）、クロロフィル含量、拡散伝導度と光合成速度との関係を検討した。

葉身窒素含量と光合成速度との間には密接な正の相関関係 ($r=0.84^{***}$) があったが、窒素含量が 10 mg dm^{-2} の葉身の光合成速度は $10 \sim 30 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ の範囲で変化していた（第 4 図 A）。葉身のクロロフィル含量と光合成速度との間には相関係数でみると $r=0.68^{***}$ と正の相関関係があった。しかし、クロロフィル含量が 4 mg dm^{-2} 以上では光合成速度との間には相関関係は認め難く、クロロフィル含量が 4 mg dm^{-2} 以上ではクロロフィル含量は光合成速度にはほとんど影響していなかった（第 4 図 B）。葉身の気孔を通じてのガス拡散の難易を表わす拡散伝導度と光合成速度との間には、検討した要因の中で最も高い相関係数 $r=0.90^{***}$ があった（第 4 図 C）。

このように、葉身の窒素含量、クロロフィル含量、拡散伝導度と光合成速度との間には密接な関係が認められたが、さらにそれらの関係が品種間で異なるかどうかを検討した。

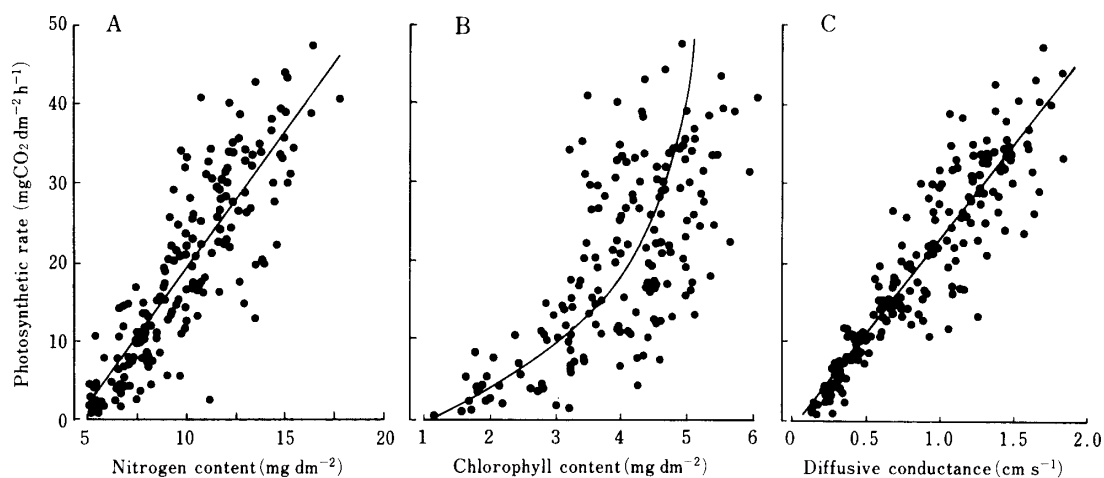


Fig. 4. Correlations between leaf nitrogen contents (A), chlorophyll contents (B), diffusive conductances (C) and leaf photosynthetic rates of various position on the stem and with various age in the five varieties. Correlation coefficients are 0.84 (A), 0.68 (B) and 0.90 (C) at 0.1% level of significance, respectively.

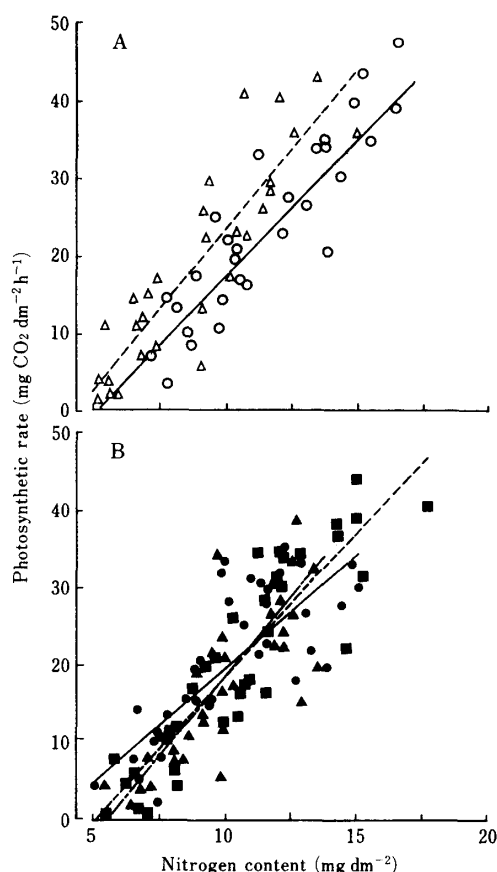


Fig. 5. Varietal comparisons of the relations between leaf nitrogen contents and photosynthetic rates in the early varieties (A); Akihikari (open circles) and Nanjing 11 (open triangles), and in the medium varieties (B); Nipponbare (solid circles), Musasikogane (solid triangles) and Milyang 23 (solid squares). Slopes and levels of regression line are significantly different at 5% level in the early varieties, but those are not significantly different among the medium varieties.

葉身の窒素含量と光合成速度との関係を示す回帰直線を品種間で比較すると、早生品種では南京11号の回帰直線の傾きと高さがアキヒカリに比べて危険率5%で大きく、窒素含量が等しくてもアキヒカリに比べ南京11号の光合成速度が大きかった(第5図A)。中生品種では回帰直線の傾き、高さに品種間で相違はなかった(第5図B)。

クロロフィル含量は 4 mg dm^{-2} 以上では光合成速度との間に有意な関係はなくなるが、この関係は密陽23号が他の品種と著しく異なった。たとえば日本晴と比べてみると(第6図)、クロロフィル含量の増加に伴う光合成速度の増加割合が日本晴に比べ密陽23号で小さく、等しい光合成速度をもつ葉

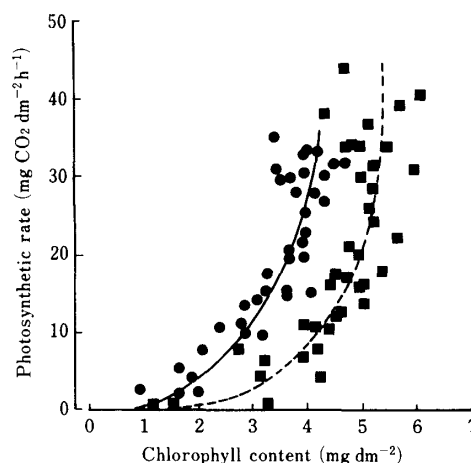


Fig. 6. Comparison of the relations between leaf chlorophyll contents and photosynthetic rates in Nipponbare (circles) and Milyang 23 (squares).

身のクロロフィル含量は日本晴に比べ密陽23号で高かった。さらに、窒素含量とクロロフィル含量との関係をみると(第7図)、同じ窒素含量でも密陽23号のクロロフィル含量が日本晴に比べて高く、特に高い窒素含量の下では密陽23号のクロロフィル含量は著しく高くなった。

さらに、第1表で認められた最大光合成速度の品種間差に影響する要因を検討してみた。まず、葉の厚さを示す比葉重と最大光合成速度との間には明白な関係はなかった(第8図A)。窒素含量と最大光合成速度との間には、南京11号以外の品種では密接な直線関係があったが、第4図で認められたのと同様に南京11号の最大光合成速度は同じ窒素含量でも他の品種に比べ高い傾向があった(第8図B)。また、クロロフィル含量と最大光合成速度との間には有意な関係はなかった(第8図C)。以上のことから、最大光合成速度は葉身の窒素含量とより密接に関連するが、その関係は南京11号が他の品種と異なることがわかった。

最後に、拡散伝導度と光合成速度との関係を品種間で比較してみると、その関係が最も異なる日本晴と密陽23号の間でその回帰直線の傾きには有意な差は認められなかった(第9図)。

考 察

本研究では、前報¹⁵⁾で用いた水稻品種の個葉光合成特性の比較を行なった。この結果に従って、以下若干の考察を行ないたい。

わが国内外の水稻品種の光合成能力は、かなり異なり^{10,16)}、長田は¹³⁾その品種間差が比較的安定し

た生理的特性であるとしている。通常光合成能力は展開完了直後の葉身の光合成速度をもって表わすので、本研究における最大光合成速度と対比できる。本研究で上位3葉の最大光合成速度は、同一品種でもかなり異なるし、また品種間の相対的關係も葉位によって異なった（第1表）。さらに、同一葉位を用いて比較しても、品種の相対的關係は年次によって異なることも指摘されている¹⁷⁾。したがって、品種の光合成能力を比較することは必ずしも容易ではなく、その方法を確立する必要がある⁹⁾と考えられる。

このことを考慮した上で本研究の結果をみると、最大光合成速度は従来指摘されているように¹²⁾、中

生品種に比べて早生品種で大きく、また上位2葉に着目すると早生品種では南京11号に比べアキヒカリで、中生品種では日本晴、むさしこがねに比べ密陽23号で大きいことがわかった。品種の光合成速度を比較した報告をみると、アキヒカリは測定された品種の中では光合成速度が高い品種にはいる場合が多く^{6,16)}、南京11号については測定例が少ない。一方、密陽23号は、他の品種に比べ高い例¹⁴⁾とやや低い例^{8,19)}とがある。すでにのべたように、最大光合成速度は葉位によって異なるが、とくに密陽23号ではその傾向が顕著で、従来の結果についてみても、第I葉が最も高い例⁸⁾、葉位間でほぼ等しい例⁵⁾と一様な結果は得られていない。このように密陽23号の最大光合成速度については種々異なった値が得られたり、葉位間の関係も異なったりする要因が関係すると推定される。その一つとして葉身の横断面が下位葉ではV字形、上位葉でもU字形をしているという密陽23号の葉身の形状が考えられる。すなわち、光合成を測定する際光源からくる光が、他の品種は葉身に直角に当たるのに対して、密陽23号ではある角度をなして当り、その結果同じ光源の光強度でも通常の飽和光で測定した場合は受光量が少なくなり、光合成速度が小さくなる可能性が考えられる。本研究では同化箱内の葉身を透明な釣糸ではさんで測定を行ったため、他の品種と同様に葉身は光を直角に受け、他の品種が受けた光強度とほぼ等しかった。したがって、本研究の密陽23号の最大光合成速度は他の品種と同一光条件

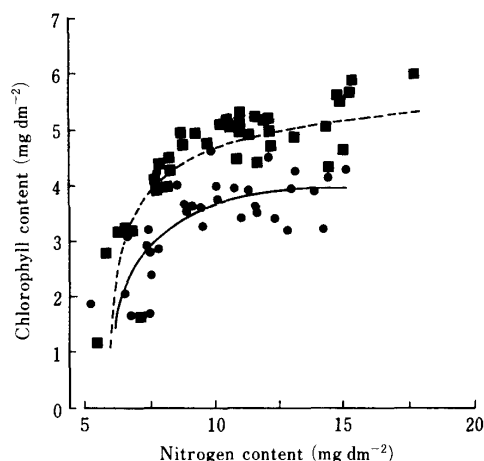


Fig. 7. Comparison of the relations between leaf nitrogen contents and chlorophyll contents in Nipponbare (circles) and Milyang 23 (squares).

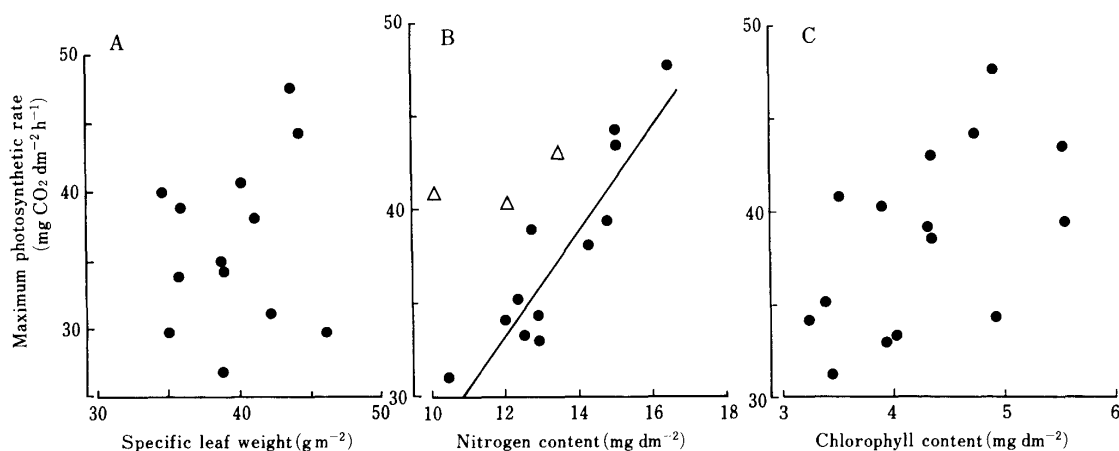


Fig. 8. Relations between specific leaf weights (A), nitrogen contents (B), chlorophyll contents (C) and maximum photosynthetic rates of uppermost three leaves on the stem in the five varieties.

Correlation coefficient between nitrogen contents and maximum photosynthetic rates omitting those in Nanjing 11 (triangles) is 0.92 at 0.1% level of significance.

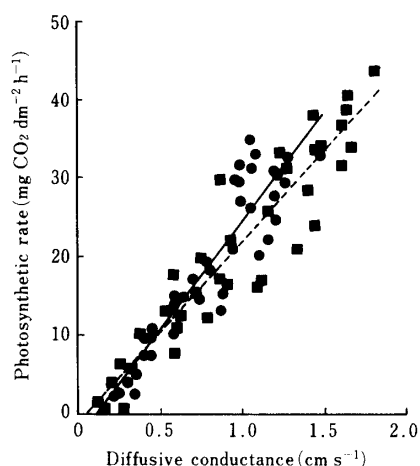


Fig. 9. Comparison of the relation between leaf diffusive conductances and photosynthetic rates in Nipponbare (circles) and Milyang 23 (squares).

Slopes of regression line are not significantly different between Nipponbare and Milyang 23.

下で測定した結果であった。また、長田ら¹³⁾は多窒素による最大光合成速度の促進の程度は耐肥性の高い品種で著しいことを報告している。この点を考慮すると、密陽 23 号は他の品種に比べて窒素含量とクロロフィル含量との関係、クロロフィル含量と光合成速度との関係が著しく異なるので、窒素含量の相違も密陽 23 号の光合成速度の相違する要因になっている可能性も考えられる。この点についても施肥レベルを変えて他の品種との最大光合成速度の比較検討を行なう必要がある。

個体群として圃場に生育している水稻の葉群は種々の葉位の、また様々な age の葉身からなっている。したがって、品種の個葉光合成速度を比較するに当たっては、最大光合成速度のみの比較では不十分である。本研究においても主稈の着生位置が上位から下位になるのに伴う光合成速度の減少程度、および展開完了後日数の経過に伴う光合成速度の減少程度を品種間で比較した。その結果、早生品種ではアキヒカリに比べ南京 11 号の、中生品種では日本晴に比べ密陽 23 号の葉位が下がるのに伴う、また日数の経過に伴う光合成速度の減少程度は大きいことが認められた (第 1, 3 図)。武田ら¹⁸⁾、黒田ら⁹⁾はそれぞれ明治期以降の新旧品種の光合成速度の生育に伴う推移を測定し、新品種は出穂期以降光合成速度の減少が小さい特性をもっていることを報告している。この結果と、アキヒカリ、日本晴がインディカ系統の南京 11 号、密陽 23 号より老化に伴う光合成速度の減少程度が小さいこ

とを考えると、老化がすすみにくい品種の選抜がわが国の品種改良の一つの方向であった可能性がある。

従来、作物葉の光合成速度に影響する要因として、無機成分^{10,20)}や可溶性タンパク質^{1,21)}、クロロフィル^{8,21)}などの体内成分との関係、葉の厚さ^{8,10)}や気孔密度⁸⁾などの葉の構造との関係、さらに拡散伝導度⁴⁾、気孔開度^{3,14)}などのガス拡散過程との関係など、数多くの研究がある。

まず、窒素含量についてみると、老化過程を含めた全葉身の窒素含量と光合成速度との間には、これまで多くの研究^{10,20)}で認められたように高い正の相関関係が認められた。さらに展開完了直後の最大光合成速度と窒素含量との間には前述した老化過程を含めた全葉身の両者の関係よりもさらに密接な正の相関関係が認められ、品種間または葉位間の最大光合成速度の相違は葉身の窒素含量によって影響されることが従来の研究と同様に認められた。しかし、南京 11 号は他の品種と異なり、窒素含量が等しくても、その光合成速度は他の品種に比べて大きいことが認められた (第 5 図 A)。このことから、南京 11 号では同じ窒素含量でも光合成に関連する酵素タンパク質の含量が異なることも考えられる。これまで、インディカとジャポニカ品種の光合成特性が異なること¹¹⁾も報告されており、今後南京 11 号のようなインディカ品種の光合成特性をより詳細に検討して行く必要がある。

クロロフィル含量と光合成速度との関係を検討したこれまでの研究をみると、両者の間には密接な関係が認められる場合²¹⁾と認められない場合^{8,10)}とがある。このことは、本研究で認められたように、クロロフィル含量が 4 mg dm^{-2} 以上では両者の間には有意な関係は認められず、 $4 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-2}$ 以下では正の相関関係が認められたことと関連するかもしれない。また、本研究の結果から、クロロフィル含量と光合成速度との関係には品種間差が認められ、密陽 23 号では他の品種に比べて同じクロロフィル含量に対する光合成速度が小さかった (第 6 図)。すなわち、密陽 23 号では同じ光合成速度に対するクロロフィル含量が高く、クロロフィル含量が弱光域における光—光合成関係の初期勾配に影響している研究²⁾を参考にすると、密陽 23 号のようにクロロフィル含量の高い特性をもつ品種の弱光域での光合成速度や、個体群レベルでの弱光に対する適応性についても検討を行なう必要がある。展開完

了直後の比葉重と最大光合成速度との間には密接な関係は認められなかった（第8図 A）。この結果と前述した窒素含量と光合成速度との間に密接な関係が認められたことを考え合わせると、葉身乾物当たりの窒素濃度は品種間で異なることが推察される。したがって、葉身窒素含量（ mg dm^{-2} ）の大小は葉の厚さよりも葉身窒素濃度（%）により影響されることがわかった。

気孔はその開閉を通じて葉肉細胞への CO_2 の供給を調節しているが、本研究で用いた5品種の間では、拡散伝導度と光合成速度との関係を示す直線の傾きには有意な差は認められなかった（第9図）。このことから、ある一定の拡散伝導度を有する葉身の光合成速度、すなわち葉肉細胞への CO_2 の供給速度が等しい条件下での光合成速度は品種間で大きくは異なることが推定される。しかし、石原ら⁶⁾ はより厳密な測定を行ない、同じ拡散伝導度をもつ葉身の光合成速度には品種間差のあることを認めており、この点については測定方法の検討も含めさらに検討を行なう必要がある。

最後に、水稻品種の個葉光合成速度と乾物生産との関係について考えてみたい。前報¹⁵⁾ で述べたように、早生品種の南京11号では葉面積指数が大きく、葉身の傾斜角度が大きく、吸光係数が小さく、受光態勢が良いにもかかわらず、出穂期以後のCGRはアキヒカリとほぼ等しかった。この要因として、上述した南京11号の光合成速度が登熟後期に急速に小さくなり、その傾向は下位葉で著しいこと（第1, 3図）が関係しているのではないかと推察される。中生品種についてみると、日本晴、むさしこがね、密陽23号の乾物生産は出穂期以前にはほぼ等しく、CGRの品種間差は小さかったのに対し、出穂期以後日本晴に比べて密陽23号、むさしこがねのCGRが大きかった。本研究における登熟期の光合成速度に着目すると（第1, 3図）、実測値でみる限り葉位が下がるのに伴う、また老化過程における光合成速度の低下は中生品種間で大きくは異ならなかったことから、この出穂期以後のCGRの相違は、主として受光態勢の相違に起因することが推察された。しかし、個葉光合成速度と受光態勢とがどのような量的関係をもって乾物生産すなわち個体群光合成速度に影響するかは明らかではない。この点についてはさらに検討する所存である。

引用文献

1. 趙 東三・村田吉男 1981. 水稻の光合成と物質生産に関する研究. 第2報 窒素追肥による葉内窒素成分の変化と光合成能力との関係における品種間差異. 日作紀 50:67-71.
2. Gabrielsen, E.K. 1948 Effect of different chlorophyll concentration on photosynthesis in foliage leaves. *Physiol. Plant.* 1:5-37.
3. 石原 邦・佐合隆一・小倉忠治・牛嶋忠広・田崎忠良 1972. 水稻葉における気孔の開閉と環境条件との関係. 第4報 気孔開度と光合成速度との関係. 日作紀 41:93-101.
4. ———・飯田 修・平沢 正・小倉忠治 1978. 水稻葉身の窒素濃度と光合成速度との関係—気孔開度, 気孔伝導度に着目して—. 日作紀 48:543-550.
5. ———・瀧川佳秀・斎藤邦行 1987. 水稻の光合成, 物質生産と草型. 育種学最近の進歩 23:11-19.
6. ———・八槇 敦 1987. 水稻品種の光合成能力の比較—測定方法の検討も含めて—. 日作紀 56(別2):239-240.
7. 蔣 才忠・平沢 正・石原 邦 1988. 水稻多収品種の生理生態的特徴について—アケノホシと日本晴の比較—. 第2報 個葉光合成速度の相違とその要因. 日作紀 57:139-145.
8. 川崎芳信・懸 和一 1987. 水稻個葉の光合成速度, 蒸散速度及び気孔伝導度における品種間差異. 日作紀 56:563-570.
9. 黒田栄喜・玖村敦彦 1990. 水稻個葉の光合成速度における新旧品種間差異. 第1報 個葉光合成速度と気孔伝導度. 日作紀 59:283-292.
10. 村田吉男 1961. 水稻の光合成とその栽培学的意義に関する研究. 農技研報 D 9:1-169.
11. Ohno, Y. 1976. Varietal differences of photosynthetic efficiency and dry matter production in indica rice. *Tropical Agricultural Research Center. Tech. Bull. No. 9.*
12. 長田明夫・村田吉男 1962. 水稻品種の光合成と耐肥性に関する研究. 第2報 早生品種の光合成と耐肥性との関係. 日作紀 30:224-227.
13. ——— 1966. 水稻品種の光合成能力と乾物生産. 農技研報 D 14:117-188.
14. 斎藤邦行・玉井 浩・石原 邦 1981. 日本品種日本晴と日印交雑品種密陽23号の光合成速度・気孔開度の日変化の比較. 日作紀 50(別2):123-124.
15. ———・下田博之・——— 1990. 水稻多収性品種の乾物生産特性の解析 第2報 早生・中生数品種間の比較. 日作紀 59:303-311.
16. 佐々木治人・石井龍一・玖村敦彦 1986. 水稻個葉光合成の品種間差に関する研究. 第1報 個葉光合成速度の生育時期別比較. 日作紀 55(別2):83-84.
17. ———・———・——— 1987. ———— 第2報 光合成能力の安定性. 日作紀 56(別1):94-95.
18. 武田友四郎・岡 三徳・懸 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.
19. ———・————・内村研一・———— 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.
20. 津野幸人・清水 強 1959. 主要作物の収量予測に関する研究. VI. 登熟期における水稻光合成能力と葉身窒素含量との関係について. 日作紀 30: 325—328.
21. 内田直次・和田義治・村田吉男 1982. 作物の葉における光合成機能の発達と衰退に関する研究. 第2報 イネ葉の老化過程に及ぼす窒素欠乏の影響. 日作紀 51: 577—583.
-