

## 作物生理・細胞工学

# アフリカイネ, *Oryza glaberrima* Steud., の個葉光合成における窒素利用効率の種特性

田川毅明・平尾健二\*・窪田文武  
(九州大学)

**要旨** : 異なる窒素濃度で水耕栽培した西アフリカ産の *Oryza glaberrima* Steud. 4 系統を葉身窒素含量の変化に伴うガス代謝, 光化学系最大量子収率 ( $F_v/F_m$ ) ならびに炭酸固定酵素 (リブロース 1, 5 ニリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ, Rubisco) 活性等について *O. sativa* L. 4 系統と比較し, *O. glaberrima* の光合成における窒素利用効率を検討した。単位葉身窒素含量当たりの光合成速度 (窒素利用効率) には明らかな種間差が認められ, 高窒素濃度条件下では, *O. sativa* に比較し, *O. glaberrima* では葉身窒素含量が増加せず, 光合成速度が向上しなかった。一方, 低窒素濃度条件下では *O. glaberrima* の窒素利用効率が有意に高かった。*O. sativa* の気孔伝導度は葉身窒素含量が減少すると低下したが, *O. glaberrima* では高い気孔伝導度を維持した。また, 葉肉伝導度も *O. glaberrima* で高く, 本種の光合成速度が低窒素栽培条件下で *O. sativa* よりも高く維持されたのは両伝導度がともに高いことに起因するものであった。葉肉伝導度を支配制御する要因であるクロロフィル含量や  $F_v/F_m$  および Rubisco (Total) 活性の測定値に種間差は認められなかった。しかし, *O. glaberrima* は単位 Rubisco 活性に対する光合成効率が高く, in vivo での Rubisco 活性化率が高いものと推察された。このような *O. glaberrima* の光合成特性は *O. sativa* の光合成, 特に低窒素施用条件下での個葉光合成改良のために導入されるべき有用な遺伝形質であると考えられた。  
**キーワード** : *Oryza glaberrima* Steud., *O. sativa* L., 気孔伝導度, 光合成速度, 窒素利用効率, 葉身窒素含量, 葉肉伝導度, Rubisco 活性。

イネの栽培種には, アジアイネと呼ばれるサティバ種 (*Oryza sativa* L.) とアフリカイネと呼ばれるグラベリマ種 (*O. glaberrima* Steud.) の同属 2 種が存在する (森島 1984)。*O. sativa* は, 品種改良が進み, 多様な遺伝変異を有する栽培種であるが, *O. glaberrima* は, 栽培種としては未改良な部分を多く残すとされ, 現在では主たる栽培地域が西アフリカに限定されている。これら 2 種は異なる祖先を持ち, 隔絶された環境下で独自に作物化を遂げてきたため, 形態や生理・生態的に性質が異なる (Cook and Evans 1983)。

既に, Katayama (1987) はアフリカ大陸におけるこれら 2 種の栽培や分布状況を調査し, 形態的並びに生理生態的特性について研究しており, 遺伝子資源としての *O. glaberrima* の重要性を指摘している。栽培的な面から見て *O. glaberrima* は, *O. sativa* に勝る乾物生産能力を有すること (窪田ら 1992, Sumiら 1994 a, b) や乾物生産における施肥反応が鋭敏であることが報告されている (窪田ら 1992)。また, 平尾ら (1994) は *O. sativa* と *O. glaberrima* との種間  $F_1$  雑種は, 両親系統に比較して乾物生産性が高く, 顕著なヘテロシスを示すことを報告し, 種間  $F_1$  雑種の特徴の 1 つとして単位可溶性タンパク質あたりの光合成速度が高いことを挙げ, この性質が *O. glaberrima* に由来するものであることを明らかにしている。このように, *O. glaberrima* の種特性について研究が進みつつあるが,

研究報告は少なく, 未だ明らかにされていない部分が多いのが現状である。

著者らは, 栽培化の過程が異なる両種を比較し, 環境応特性を究明することによって, イネの栽培や品種改良についての基本的指針が示唆されるものと考え, 研究を進めてきている。これまでの研究において著者らは光合成能力に種間差が存在することを認めており (窪田ら 1992), *O. glaberrima* のもつ光合成特性はイネの物質生産の向上を図る上で導入, 利用すべき有用な遺伝形質と考えられる。

本論文では, このような種特性が生じた原因をガス代謝, 炭酸固定酵素並びに光化学系量子収率等について *O. sativa* を対照に比較, 解析し, 報告する。

## 材料と方法

### 1. 供試材料

供試材料として *O. sativa* L. と *O. glaberrima* Steud. 各 4 系統を使用した (第 1 表)。*O. glaberrima* の系統は, 西アフリカのセネガルおよびナイジェリアにおいて Katayama (1987) が採種した系統の中から選び, 著者らの研究室でその特性解析を行ってきているものである。また *O. sativa* には, 種内の 3 亜種 (ジャパニカ, ジャポニカ, インディカ) に日印交雑種を加えた 4 系統を用い, 対照種として広範囲な遺伝的背景となるように配慮した。

第1表 供試した両種の系統名とその採種地および生態型。

系統名	採種地	生態型
<i>O. sativa</i> L.		
C70	ケニア	ジャバニカ
日本晴	日本	ジャポニカ
BL Radi Sequtuk	インド	インディカ
密陽28号	韓国	日印交雑品種
<i>O. glaberrima</i> Steud.		
C107	ナイジェリア	
C150	セネガル	
C170	セネガル	
C174	セネガル	

## 2. 栽培方法

上記8系統を1998年に九州大学農学部の子ニルハウスにおいて水耕栽培した。予め吸水加温処理した種子を育苗箱に播種した。20日後に3個体を1株として水耕栽培用水槽(1m×1m×0.5m, 500 L)に移植し、14日間標準濃度(1 N)で栽培した後、水耕液中の窒素濃度を3段階に変化させた処理区(高窒素濃度区:5 N区, 標準区:1 N区, 低窒素区:1/10 N区)において引き続き栽培した。実験は2回に分け、第1回目に5 Nおよび1 N区、第2回目に1/10 Nおよび1 N区の栽培を行った。(よって以下、1 N区は2回分の測定値を示す。)なお、水耕液には水稲用の木村氏液B(馬場・高橋 1957)を使用し、1/10 N, 1 Nおよび5 N区の水耕液中の窒素濃度をそれぞれ2.3, 23および115 ppmとした。各処理区で14日間生育させた後、第11葉期の植物体の最上位完全展開葉を測定に供試した。

## 3. 測定項目

### (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-H3型)を使用し、主稈または主稈に準じる分げつの最上位展開葉を対象に光合成速度、気孔伝導度、葉肉伝導度および細胞間隙CO<sub>2</sub>濃度を測定した。なお、測定時間は、光合成速度がピークとなる午前10~11時の前後2時間とした。1処理、1系統について個葉4枚を測定した。光源にはスライドプロジェクター(RIKAGAKU社製, HILUX-HR)を使用し、光強度は1,600 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>以上とした。光合成速度、気孔伝導度および細胞間隙CO<sub>2</sub>濃度は、Long and Hallgren (1985)の方法に従い算出した。また、葉肉伝導度は葉緑体内のCO<sub>2</sub>濃度をゼロと仮定して葉肉抵抗を求め(北条 1985)、その逆数値として表した。

### (2) 葉身窒素とクロロフィル含量

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をサンプリングして3日間80℃で熱風乾燥させた後、その乾物重を求め葉身窒素含量を測定した。試料をケルダール硫酸分解法によって分解、蒸留し、ネスラー法で比色定量した。分解にはダイジェスダール分解器

(HACH社製)を、また、比色定量には分光光度計(HACH社製, DR-2000型)を使用した。

光合成速度を測定した葉身の緑度を葉緑素計(MINOLTA社製, SPAD-502)で測定し、予備実験で求めておいた葉身緑度とクロロフィル含量(Wintermansら, 1965)の関係式から、両種葉身のクロロフィル含量を算出した。

### (3) クロロフィル蛍光消光

光合成速度を測定した葉と同葉位の葉、1処理につき各系統4葉を測定した。測定に先立ち葉身をアルミホイルで1時間遮光した後に励起光700 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>をくり返して照射し、クロロフィル蛍光を測定した。なお、蛍光測定にはクロロフィル蛍光測定装置(Morgan社製, CF-1000型)を用いた。ここで得られたカウツキー曲線からパラメーターFv/Fmを次式により算出した。

$$Fv/Fm = (Fm - Fo) / Fm$$

Fm; 最大蛍光発光値。

Fo; 最小蛍光発光値。

Fv; FmとFoの差。(変数成分)

Fv/Fm比は、光化学系(PS)の反応中心の大きさの推定値ともいわれ、ポテンシャルとしての電子伝達能力を表す指標である(Schreiberら 1998)。

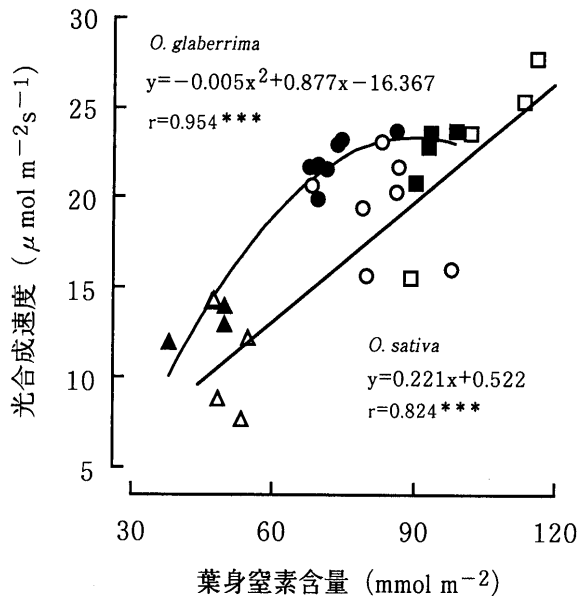
### (4) リブローズ 1, 5ニリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ(Rubisco) [EC 4.1.1.39] 活性

光合成速度の測定後にサンプリングした葉身にメタルハライドランプ(150 W)で30分以上光を照射した後、液体窒素で凍結処理し、-80℃下で冷凍保存した。酵素活性の測定には冷凍保存中の葉身4枚を用い、葉身中央部の中肋を含まない部分を測定対象とした。まず、冷却した乳鉢に葉面積1 cm<sup>2</sup>に対し、1 mLの磨砕用混合液(100 mM トリシン-NaOH 緩衝液(pH: 8.0), 8 mM MgCl<sub>2</sub>, 2 mM Na<sub>2</sub>-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、サンプル葉身片を氷上においた乳鉢に入れて磨砕した。

これを12000 rpm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30℃で6分間インキュベートし、十分に活性化させた後、反応基質(RuBP)を加えて反応を開始させ、分光光度計(SHIMADZU製 UV-2100)により波長340 nmの吸光度の低下速度を測定した。得られた測定値から3-PGAの生成速度を算出し、Rubisco活性(最大活性)とした。反応混合液組成は100 mM トリシン-NaOH 緩衝液(pH: 8.0), 1 mM Na<sub>2</sub>-EDTA, 16 mM MgCl<sub>2</sub>, 2 mM DTT, 5 mM ATP, 40 mM NaHCO<sub>3</sub>, 0.32 mM NADH, 10 mM ホスホクレアチン, 4.01 U 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, 4.01 U ホスホグリセレートキナーゼ, 0.31 U ホスホクレアチンキナーゼ, 0.8 mM RuBPである。

## 結果と考察

第1図に通常大気条件下で測定した両種各4系統の個葉の窒素含量と光合成速度との関係を示した。両種の光合成速度は葉身窒素含量の増加に伴い増加し、*sativa* 系統の光合成速度の変異幅は  $7.6 \sim 27.7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  の範囲にあったのに対し、*glaberrima* 系統のそれは狭く、



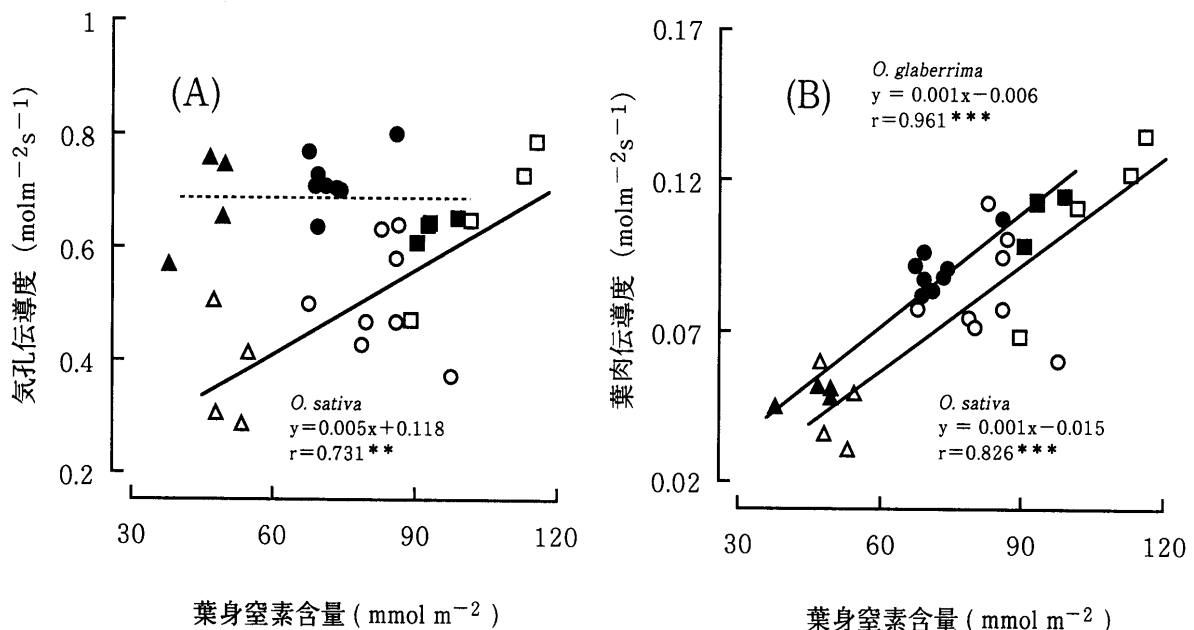
第1図 両種の葉身窒素含量と光合成速度との関係。

測定時の光強度は  $1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  以上とした。\*\*\*: 0.1%水準で有意。△, ○, □: それぞれ、低窒素濃度 (1/10 N), 標準窒素濃度 (1 N), 高窒素濃度 (5 N) で栽培した *O. sativa*; ▲, ●, ■: それぞれ、低窒素濃度 (1/10 N), 標準窒素濃度 (1 N), 高窒素濃度 (5 N) で栽培した *O. glaberrima*。

$11.9 \sim 23.7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  であった。また、光合成速度の葉身窒素含量に伴う変化にも明確な種間差が認められた。*sativa* 系統を高窒素濃度条件下で栽培すると葉身窒素含量と光合成速度の両者が並行して上昇するが、*glaberrima* 系統では高窒素濃度条件下でも葉身窒素含量は上昇せず約  $94 \text{ mmol m}^{-2}$  が上限値であり、光合成速度はこれよりも低い葉身窒素含量 (約  $80 \text{ mmol m}^{-2}$  の水準) で飽和した。*O. sativa* には、耐肥性の高い系統が選抜、育成されてきた経緯があるため、窒素が多量に与えられる条件下では葉身窒素含有量の増加や光合成速度が上昇する性質が付加されてきた (長田 1966) と考えられ、このため、窒素施用に対するこのような光合成反応は *O. sativa* 種の特長であるものと推察される。

第1図の結果において著者らがより強い関心を持つのは、*glaberrima* 系統の窒素反応であり、それは、低窒素濃度栽培条件下では *sativa* 系統に比較して *glaberrima* 系統の葉身窒素含量当たりの光合成速度が高い傾向がある点である。例えば、図中の両種の回帰式に当てはめて考えた場合、葉身窒素含量が  $60 \text{ mmol m}^{-2}$  の水準で比較すると *glaberrima* 系統の光合成速度 ( $18.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) が *sativa* 系統 ( $13.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) よりも約 30% 高く、光合成における窒素利用効率が優れていると判断された。*glaberrima* 系統に見られるこの特性は、前報 (窪田ら 1992) と同様の結果であった。そこで以下ではこの点に注目し、*glaberrima* 系統の光合成特性をその構成要因と考えられるガス代謝要因 (気孔伝導度および葉肉伝導度) や Rubisco 活性およびクロロフィル蛍光反応等について *sativa* 系統と比較、考察する。

第2図 (A) と (B) には光合成速度の構成要因である



第2図 葉身窒素含量と気孔伝導度 (A) および葉肉伝導度 (B) の関係。測定条件は第1図と同一である。

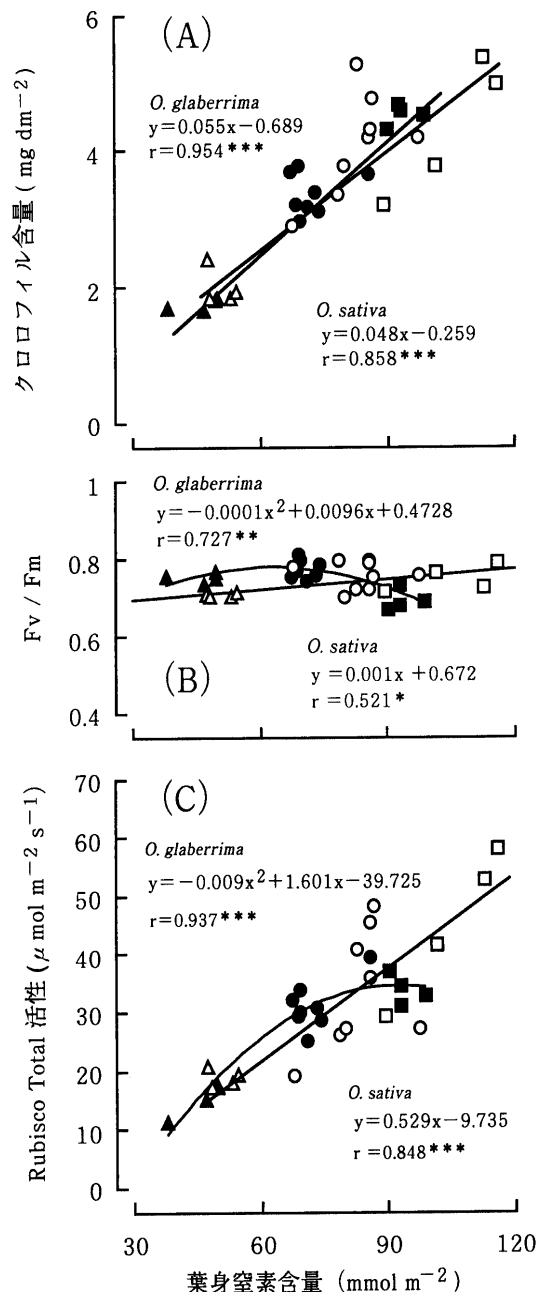
図中の記号は第1図と同じ内容を示す。\*\*, \*\*\*: 1, 0.1%水準で有意。実線は回帰直線、破線は気孔伝導度における *O. glaberrima* の全プロットの平均値を示す。

気孔伝導度および葉肉伝導度の葉身窒素含量に伴う変化を両種間で比較した。葉身窒素含量に対する気孔伝導度の反応には明らかな種間差が見られた。sativa 系統の反応は鋭敏であり、葉身窒素含量が増加すると気孔伝導度が上昇し、気孔が開く現象が認められた。このように *O. sativa* の葉身の窒素濃度が気孔伝導度に影響することは石原ら (1978) が報告しているが、これとは異なり、glaberrima 系統は、気孔開度が葉身窒素含量に影響されず、常に高い値 (約  $0.68 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) を維持した。気孔の開孔作用を持つとされるサイトカイニンは、その構造に窒素を含み、葉身窒素含量と密接な関係がある (菅 1981) とされているが、上記した glaberrima 系統の気孔反応はサイトカイニンに独立的である可能性もあり、興味深い。また、Sumi ら (1994 a, b) は *O. glaberrima* は *O. sativa* に比較して水利用効率が低く、水浪費型の種であることを報告しているが、本研究結果もこれを裏付けるものである。しかし、葉身窒素含量が少ない状況下で *O. glaberrima* の気孔開度が維持されることは、 $\text{CO}_2$  ガス拡散には有利であり、光合成の観点からは優れた特性の1つであると考えられる。

次に、第2図 (B) に示した葉身窒素含量と葉肉伝導度との関係について検討する。両種とも両者間に正の相関関係が存在するが、回帰式の傾きには有意な種間差は認められなかった。両種の葉肉伝導度の変動範囲 ( $0.03 \sim 0.14 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) にも種間差はなかった。このように気孔伝導度に比較して葉肉伝導度の種間差は明確ではないが、葉身窒素含量が同一レベルにおける葉肉伝導度を種間で比較すると、glaberrima 系統の葉肉伝導度が sativa 系統よりも高い傾向がある。これは、前者において葉肉細胞内光合成作用における窒素の利用効率が高いことを示唆しており、注目すべき点である。第1図で見られた葉身窒素含量が低い条件下で glaberrima 系統の光合成速度が高くなる現象は、上述したように気孔伝導度が高いことに加え、葉肉伝導度も関与している可能性がある。

葉肉伝導度は、光化学系の電子伝達能力と炭酸固定系の酵素活性の複合値として考えることができる。そこで、クロロフィル含量と光化学系・における最大量子収率 ( $F_v/F_m$ ) を光化学系の能力評価の指標とし、また、Rubisco 活性を炭酸固定系の能力の指標として、これらの測定値と葉肉伝導度の関係を葉身窒素含量との関連で考察するため、第3図 (A, B, C) には葉身窒素含量に伴うクロロフィル含量、 $F_v/F_m$  および Rubisco 活性の変化を示した。

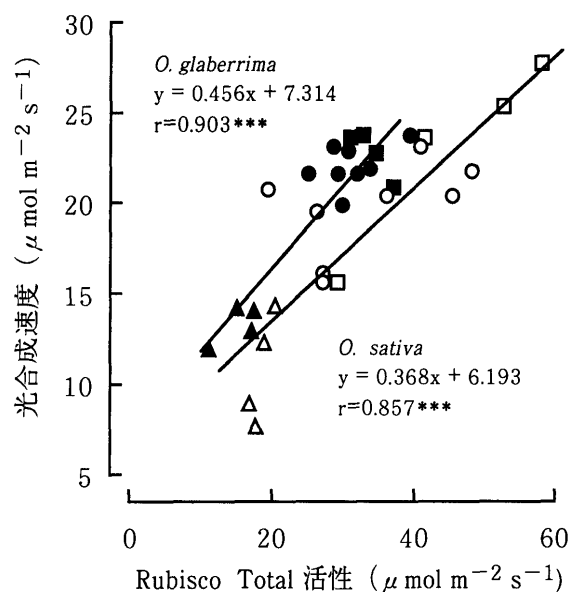
まず、葉身窒素含量とクロロフィル含量との関係について見ると、両要因間には高い正の相関関係が存在するが、種間差は認められない。光捕集に携わるクロロフィルの含量が葉身窒素含量に並行して大きく変動するのに対して、 $F_v/F_m$  はほぼ一定値を維持しており、この要因についても種間差が認められなかった。従来、日中の通常大気条件



第3図 葉身窒素含量とクロロフィル含量 (A),  $F_v/F_m$  (B) および Rubisco Total 活性 (C) との関係。図中の記号は第1図と同じ内容を示す。\*, \*\* および \*\*\*: 5, 1 および 0.1% 水準で有意。

下では光化学系で生産される化学エネルギーは炭酸固定系の要求量を大きく超えるため、炭酸固定系の能力が光合成速度の主たる律速要因となるものと理解されている (Farquhar ら 1980)。本研究においても葉肉伝導度の種間・系統間差を光化学系の能力の面から明確にすることはできなかった。

次に、Rubisco 活性について検討する (第3図 (C))。sativa 系統では葉身窒素含量の増加に伴い、Rubisco 活性も直線的に増加し、両者間には高い正の相関関係が認められた。一方、glaberrima 系統では Rubisco 活性の変動範囲が狭く、高窒素濃度条件下で栽培しても Rubisco 活性は増加せず、飽和する現象が見られた。両種の葉身窒素含



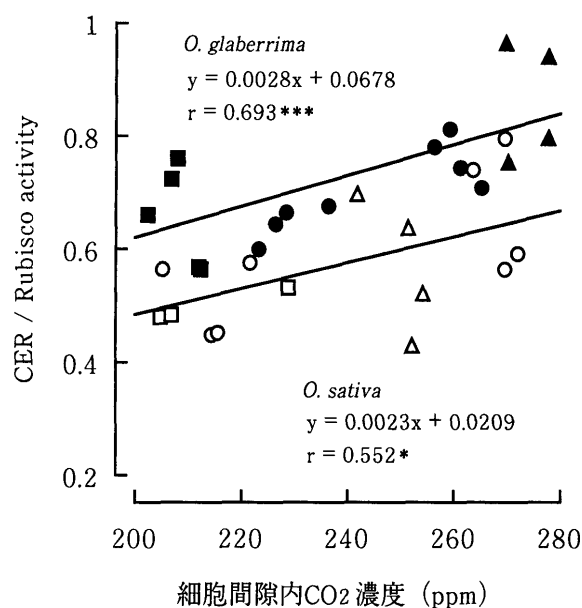
第4図 Rubisco Total 活性と光合成速度との関係。

図中の記号は第1図と同じ内容を示す。\*\*\*: 0.1%水準で有意。

量に対する Rubisco 活性の変化は第1図に示した葉身窒素含量に対する光合成速度の変化と類似しており、光合成速度に種間差が生じた原因の一つとして Rubisco 活性の関わりが強いことが推察される。

Quick ら (1991) は、Rubisco Total 活性値は Rubisco タンパク質含量の指標とみなすことができると報告している。第3図 (C) に示した Rubisco 活性も Total 活性値であるため、この判断からすれば、葉内の窒素含量と Rubisco タンパク質含量との関係に種間差はないものと考えられる。しかし、glaberrima 系統では窒素を多用した場合、sativa 系統に比較して葉身窒素含量の増加が小さいため、Rubisco Total 活性値や Rubisco タンパク質含量が低い水準にとどまるものと判断される。このことから、glaberrima 系統では窒素の多施用に対して葉内の Rubisco タンパク質の合成がある一定量を上限にして制御されるものと推察される。

次に、Rubisco Total 活性と光合成速度との関係について検討する (第4図)。glaberrima 系統では上述したように、Rubisco Total 活性の変動幅は狭く、窒素施用に対する反応域が限定されるが、同一水準の Rubisco Total 活性に対応する光合成速度は sativa 系統に比較して glaberrima 系統が統計的に有意ではないものの、高い傾向にあった。そこで、細胞間隙内  $\text{CO}_2$  濃度に対する Rubisco Total 活性あたりの光合成効率を検討した (第5図)。本研究で供試した glaberrima 系統は、同一細胞間隙内  $\text{CO}_2$  濃度条件下において Rubisco Total 活性あたりの光合成効率が sativa 系統よりも高い傾向にあった。Fukayama ら (1996) は Rubisco タンパク質に対する Rubisco activase の含量比が高まると、in vivo の状態での単位 Rubisco 当たりの光合成速度が上昇することを報



第5図 細胞間隙内  $\text{CO}_2$  濃度と Rubisco Total 活性あたりの光合成効率の関係。

図中の記号は第1図と同じ内容を示す。\*, \*\*\*: 5, 0.1%水準で有意。

告しており、第4図に示された glaberrima 系統における優れた光合成効率は、葉内における Rubisco activase の含量率が高いことに起因する可能性がある。

以上述べてきたように、glaberrima 系統は窒素施肥量が少ない栽培条件下でも気孔が開きガス交換が有利に行われることや Rubisco Total 活性に対する光合成効率が高いことなどにより個葉光合成が高く維持されることが明らかとなった。このような glaberrima 系統の反応特性は、3 亜種を含み広範囲な遺伝的背景を持つ *O. sativa* に対して明確にされたものであり、*O. glaberrima* の種特性として評価することができる。今後さらに多数の系統を対照に種特性を明確にしていく必要はあるが、本研究の結果から *O. glaberrima* の光合成構成要因に関する窒素反応の主な特徴が明らかになったものと考えられる。

今後、水域や土壌環境保全のため肥料低投入型の作物生産体制を展開することが重要となるが、このような条件下にあってなお、高い生産性を維持するためには個葉光合成を高めることが基本になるものと考えられる。本研究で確認された *O. glaberrima* の個葉光合成に関する種特性は、品種育成において種を越えて導入、利用すべき有用な遺伝形質であり、本種の遺伝資源としての価値が高いことが再確認された。

謝辞: 本研究に供試したアフリカ産系統は鹿児島大学名誉教授片山忠夫博士、同助教授角明夫博士から快く分譲を受けたものの一部である。ここに記して感謝の意を表する。

## 引用文献

馬場起・高橋保夫 1957. 水耕法および砂耕法. 戸部義次ら編, 作物試

- 験法. 農業技術協会, 東京. 163—171.
- Cook, M.G. and L.T. Evans 1983. Some physiological aspects of the domestication and improvement of rice (*Oryza* spp.). *Field Crops Research* 6: 219—238.
- Farquhar, G.D., von Caemmerer S. and J.A. Berry 1980. A biochemical model of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of C<sub>3</sub> species. *Planta* 149: 78—90.
- Fukayama, H., N. Uchida, T. Azuma and T. Yasuda 1996. Relationship between photosynthetic activity and the amounts of Rubisco activase and Rubisco in rice leaves from emergence through senescence. *Jpn. J. Crop Sci.* 65: 296—302.
- 平尾健二・窪田文武・小賦あずさ・縣和一 1994. 水稻 F<sub>1</sub> 雑種の光合成・物質生産特性に関する研究. 第 8 報 種間 F<sub>1</sub> 雑種の最大光合成能力, ガス代謝制御要因および RuBPCase 活性について. *日作紀* 63(別 1): 130—131.
- 北條良夫 1985. 光合成・呼吸. 北條良夫・石塚潤爾編, 最新作物生理実験法. 農業技術協会, 東京. 171—196.
- 石原邦・江原宏昭・平沢正・小倉忠治 1978. 水稻葉における気孔の開閉と環境条件との関係. 第 7 報 葉身のチッソ濃度と気孔開度の関係. *日作紀* 47: 664—673.
- Katayama, T.C. 1987. General remarks on cultivated rice in Africa concerned. *Kagoshima Univ. Res. Center S. Pac., Occasional Papers* 10: 91—102.
- 窪田文武・岡野智・縣和一・片山忠夫 1992. 西アフリカ地域の水稲栽培種 *Oryza glaberrima* Steud. と *Oryza sativa* L. の乾物生産と光合成の水耕液濃度に対する反応. *日作紀* 61: 207—212.
- Long, S.P. and J-E. Hallgren 1985. Measurement of CO<sub>2</sub> assimilation by plants in the field and the laboratory. In Coombs, J. *et al.* Eds., *Techniques in bioproductivity and photosynthesis*. Pergamon Press, Oxford. 62—94.
- 森島啓子 1984. イネの進化と生態. *化学と生物* 22: 695—700.
- 長田明夫 1966. 水稻品種の光合成能力と乾物生産との関係. 特に窒素条件との関連において. *農技研報 D* 14: 117—185.
- Quick, W.P., U. Schurr, R. Scheibe, E.D. Schulze, S.R. Rodermel, L. Bogorad, and M. Stitt 1991. Decreased ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase-oxygenase in transgenic tobacco transformed with “antisense” *rbcS*. I. Impact on photosynthesis in ambient growth conditions. *Planta* 183: 542—554.
- Schreiber, U., W. Bilger, H. Hormann and C. Neubauer 1998. Chlorophyll fluorescence as a diagnostic tool: basics and some aspects of practical relevance. Raghavendra, A. S. ed. *Photosynthesis*. First edition. Cambridge University Press, Cambridge. 320—336.
- 菅洋 1981. 作物の生理活性. 農文協, 東京. 65—168.
- Sumi, A., T.C. Katayama. and W. Agata 1994a. Studies on agronomic traits of African rice (*Oryza glaberrima* Steud.). I. Growth, yielding ability and water consumption. *Jpn. J. Crop Sci.* 63: 96—104.
- Sumi, A., T.C. Katayama. and W. Agata 1994b. Studies on agronomic traits of African rice (*Oryza glaberrima* Steud.). II. Dry matter increase and water use efficiency. *Jpn. J. Crop Sci.* 63: 105—110.
- Wintermans, J.F.G.M. and A. Mots 1965. Spectrophotometric characteristics of chlorophyll and their pheophytins in ethanol. *Biochem. Biophys. Acta.* 109: 448—453.

**A Specific Feature of Nitrogen Utilization Efficiency in Leaf Photosynthesis in *Oryza glaberrima* Steud.:** Takeaki TAGAWA, Kenji HIRAO\* and Fumitake KUBOTA (*Fac. Agr., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581, Japan*)

**Abstract:** Specific characteristics in the photosynthetic response to nitrogen application were compared between *Oryza glaberrima* Steud. strains introduced from West Africa and *O. sativa* L. strains including japonica, javanica, indica and japonica-indica types. These plants were grown in solution culture with different nitrogen concentrations. Chlorophyll content in leaf, the maximum quantum yield (Fv/Fm) in photosystem II and total Rubisco activity showed no significant inter-specific difference. However, *O. glaberrima* strains represented significantly high nitrogen utilization efficiency (CO<sub>2</sub> exchange rate/nitrogen content in unit leaf area), high stomatal and mesophyll conductances in leaves with low nitrogen content, and high photosynthetic efficiency per unit Rubisco activity (CO<sub>2</sub> exchange rate/total Rubisco activity). These findings suggest that the in vivo activation level of Rubisco is higher in *O. glaberrima* strains than in *O. sativa* strains. The high nitrogen utilization efficiency detected here is unique to *O. glaberrima*, and is considered to be an advantageous genetic character in photosynthesis. The introduction of such a character into *O. sativa* is regarded as a step toward the genetic improvement of leaf photosynthetic ability of this species grown in a nitrogen-input saved condition.

**Key words:** CO<sub>2</sub> exchange rate, Leaf nitrogen content, Mesophyll conductance, Nitrogen utilization efficiency, *Oryza glaberrima* Steud., *O. sativa* L., Rubisco activity, Stomatal conductance.