

## 生長・乾物生産からみた野生稻 *Oryza latifolia* Desv. の耐塩性

仲村一郎<sup>1</sup>・東江 栄<sup>2</sup>・村山盛一<sup>1</sup>・飛田 哲<sup>3</sup>・柳原誠司<sup>4</sup>・川満芳信<sup>1</sup>・本村恵二<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 琉球大学 〒903-0213 沖縄県西原町千原1番地

<sup>2</sup> 佐賀大学農学部生物生産学科 〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町1番地

<sup>3</sup> 国際農林水産業研究センター 〒305-8686 茨城県つくば市大わし1-1

<sup>4</sup> 国際イネ研究所 *International Rice Research Institute (IRRI) DAPO Box 7777, Metro Manila, Philippines*

**要約** 野生稻 *Oryza latifolia* Desv. の耐塩性を調べるために、本種と塩感受性野生稻 *O. rufipogon* Griff., 栽培稻 *O. sativa* L. の耐塩性品種 SR26B, 及び感受性品種 IR28 を NaCl を含む水耕液で30日間水耕栽培し、NaCl 処理後の生長・乾物生産、及び光合成速度の変化を測定した。その結果、NaCl 存在下の生存率、及び全乾物重はいずれも *O. latifolia* で高く、本種の NaCl 耐性が著しく高いことが明らかとなった。NaCl 処理前後の植物体各器官の乾物重の比較から、NaCl による生長阻害は、*O. latifolia* では根に、他のイネでは葉身に大きいことがわかった。葉身水分含量は *O. latifolia* で最も高く、本種は NaCl 存在下における水分保持能力が高いことが示唆された。生長・乾物生産における品種間差の要因として処理後14日目の最上位展開葉の光合成速度を測定したところ、*O. latifolia* では NaCl 存在下でも光合成を維持できることがわかった。葉身に含まれる Na 含量は *O. latifolia* 及び *O. rufipogon* で高かったことから、野生稻は根における塩の排除能が低いこと、また *O. latifolia* は塩を吸収・蓄積しても光合成能力を低下させない機構を有していることが示唆された。

キーワード イオン排除、塩化ナトリウム処理、耐塩性

**Salt tolerance of wild rice *Oryza latifolia* Desv. in relation to growth and dry matter production** Ichiro NAKAMURA<sup>1</sup>, Sakae AGARIE<sup>2</sup>, Seiichi MURAYAMA<sup>1</sup>, Satoshi TOBITA<sup>3</sup>, Seiji YANAGIHARA<sup>4</sup>, Yoshinobu KAWAMITSU<sup>1</sup> and Keiji MOTOMURA<sup>1</sup> <sup>1</sup>*Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, 1 Senbaru, Nishihara, Okinawa 903-0213, Japan* <sup>2</sup>*Faculty of Agriculture, Saga University, 1 Honjyou, Saga 840-8502, Japan* <sup>3</sup>*Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS), 1-1 Ohwashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8686, Japan* <sup>4</sup>*International Rice Research Institute (IRRI) DAPO Box 7777, Metro Manila, Philippines*

**Abstract** To examine the salt tolerance of the wild rice species *Oryza latifolia* Desv., we compared the dry matter production and photosynthesis of this species with those of the salt-susceptible wild rice species *O. rufipogon* Griff., salt-tolerant *O. sativa* cultivar (SR26B), and susceptible *O. sativa* cultivar (IR28). The survival rate and dry matter production of *O. latifolia* were higher than those of the other species grown in water-culture with 6dSm<sup>-1</sup> (50mM) and 12dSm<sup>-1</sup> (113mM) NaCl for 30 days. In *O. latifolia*, root growth was impaired with NaCl whereas in the other species, the leaf function was impaired. The leaves showed a high water retentivity based on the differences in weight between dry matter and fresh tissues. The photosynthetic rate of the stressed-leaves grown with 12 dSm<sup>-1</sup> NaCl decreased by 10%, 18%, and 18% in IR28, SR26B, and *O. rufipogon*, respectively, whereas it remained unchanged in *O. latifolia*. These results indicated that *O. latifolia* is endowed with mechanisms for the maintenance of stomatal aperture in the salt-stressed leaves and salt tolerance in the photosynthetic organs, which may account for the reduced impairment of dry matter production under salt stress.

**Key words:** Ion exclusion, NaCl treatment, Salt tolerance

### 緒言

熱帯地方の乾燥及び半乾燥地域の農地では、土壌が劣化しやすいことに加え、農地拡大による熱帯林の伐採・開拓や不良地下水の灌漑により、塩類集積土壌が急速に広がっている。

土壌に蓄積した塩類はイオンストレス、及び浸透圧ストレスを引き起こし、作物の生産性を著しく低下させる(但野・金野, 2001)。イネは、NaCl, MgCl<sub>2</sub>, CaSO<sub>4</sub>, および MgSO<sub>4</sub> といった塩類を多く蓄積した

土壌において生育が阻害される作物(中生植物)で、例えば、NaCl 濃度が 50 mM (海水の約 10 分の 1 程度)の水耕液では生育が急激に低下する(Flowers *et al.*, 1977; Gorham *et al.*, 1985; 高橋, 1987; 間藤, 1991)。

耐塩性の程度には種・品種間差があり、それぞれ特有の耐性機構をもつ。例えば、アズキの耐塩性の高い品種は地上部へのナトリウムの移行を抑える塩排除機構を有している(山内, 1994)。またイネの耐塩性品種は、根の塩排除能(Tsuchiya *et al.*, 1994)、カリウムの選択的吸収能(Ram *et al.*, 1996)、及び細胞内浸透圧調節能力が高いこと等が報告されている

(Flowers and Yeo, 1977 ; Garcia *et al.*, 1997).

*Oryza* 属近縁野生種の中には農業上有用な遺伝子を有する種があり、実際に遺伝資源として利用されている例もある。IRRI で育成された耐病性品種 IR26 は、インド産の一年生野生種と栽培種を交配してウイルス病抵抗性を導入したものである(森島, 2003)。また中国の広東農業科学院では、約 1000 系統の野生種から耐寒性、耐湿性、及び耐乾性の高い系統をそれぞれ選抜している(PANG and YING, 1993)。

国際農林水産業研究センター (JIRCAS) 沖縄支所では、栽培イネ (*O. sativa*) の近縁野生種 23 系統をスクリーニングし、耐塩性野生種として *O. latifolia*, *O. australiensis*, *O. officinalis*, 及び *O. eichingeri* を選抜した。これらの野生種は栽培種に耐塩性を導入する有用遺伝資源として期待されるが、その耐塩性機構はほとんど調べられていない。

本研究では野生種 *O. latifolia* の耐塩性機構を明らかにする手始めとして、NaCl 処理後の生長・乾物生産、及び光合成速度を測定し、感受性野生種の *O. rufipogon*, 栽培種耐塩性品種の SR26B, 及び感受性品種の IR28 と比較した。

### 材料および方法

#### 供試材料および栽培条件

材料には、1994 年 JIRCAS 沖縄支所において 12 dSm<sup>-1</sup> (約 113 mM) NaCl 濃度条件下での生存率を指標に選抜された野生種 *O. latifolia* Desv. (IRGC Acc. No. 100965) を用いた。本研究では他に、感受性野生種 *O. rufipogon* Griff. (IRGC Acc. No. 105390), また比較品種として栽培種感受性品種 *O. sativa* L. cv. IR28, 及び耐塩性品種 *O. sativa* L. cv. SR26B を用いた。野生種は種子の糊殻を取り除き 45°C で 3 日間おき、休眠を打破した。予措として種子消毒 (ベンレート T 水和剤 2000 倍希釈液に 24 時間浸漬) と催芽 (32°C, 24 時間水に浸漬) を行った。葉齢が 3 ~ 4 葉期に達した幼苗を木村氏 B 液 ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 48.2 mg/l, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 15.9 mg/l, MgSO<sub>4</sub> 65.9 mg/l, KNO<sub>3</sub> 18.5 mg/l, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 59.9 mg/l, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 24.8 mg/l, Fe-citrate (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 2 ~ 5 mg/l) を含む 48 × 80 × 20 cm のプラスチックバットに移植し水耕栽培した。植物体は軽石を敷き詰めて穴を開けたプラスチック製のザルに固定した。バットに 8 つの穴を開けた発砲スチロールを浮かせ、その穴に植物体が入ったザルを設置した。水耕液の更新は 7 日毎に行い、pH は pH 計 (HM-10P, 東亜電波工業株式会社) を用いて、5.0 ~ 5.5 になるよう毎夕調整した。

NaCl 処理は、播種後 48 日目に NaCl 飽和水溶液を電気伝導度が 6 dSm<sup>-1</sup> (約 50 mM), 12 dSm<sup>-1</sup> (約 113 mM) となるように水耕液に添加した。NaCl を含まない水耕液の電気伝導度は、0.9 dSm<sup>-1</sup> であった。電気伝導度は、電気伝導度計 (CM-14P, 東亜電波工業株式会社) で測定した。NaCl 濃度は、7 日に 1 回、水耕液を更新する際に調整した。水温は特に制御しなかった。各処理区の供試個体数は 2 個体で 3 反復とした。

#### 生育形質の調査

第 8 ~ 10 葉齢に達した植物体に NaCl 処理を行い、処理開始後 30 日目にサンプリングし、葉面積計 (LICOR 社, LI-3100) を用いて葉面積を測定した。その後直ちに、葉身生重を測定した。その他の器官についても生重を測定し、80°C で 72 時間以上乾燥させた後、乾物重を測定した。葉身生重から葉身生重を差し引いた値を葉身水分含量とし、葉身乾物重で葉面積を割った値を比葉面積 (SLA) とした。

#### 気孔数の調査

NaCl 処理後 30 日目の葉身の気孔数を調べた。マニキュアを主程最上位展開葉中央部位の中肋を除く部位に約 1 cm<sup>2</sup> 薄く塗って乾燥させた。その後、乾燥したマニキュアに両面テープを貼り付けて剥がし、スライドグラスに貼りつけた。光学顕微鏡を用いて気孔密度を測定した。観察は、1 個体につき表と裏の各 1 箇所について行い、反復は 3 個体であった。

#### 通気式同化箱法で測定した光合成速度

測定には、処理直前に展開した主程着生の完全展開葉 (第 10 または第 11 葉) 及びそれに隣接する分げつの最上位完全展開葉を用い、NaCl 処理後は随時展開が完了した最上位完全展開葉を供試した。個体は測定前日に、栽培に用いている水耕液を入れた 1/5000a ワグネルポットに移し、実験室内に持ち込んだ。測定開始約 1 時間前、陽光ランプ (D-400, 東芝) で光をあてた。そのときの光強度は、1000 ~ 1200 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> であった。測定は、Kawamitsu *et al.* (1999) の方法に準じた。同化箱内の流量、光強度、葉温、葉面飽差、および CO<sub>2</sub> 濃度等の環境条件を制御できる通気式同化箱を用い、光合成速度、蒸散、気孔コンダクタンス、葉内 CO<sub>2</sub> を測定した。同化箱への導入空気量、露点温度の調節には、それぞれマスフローコントローラー (STEC 社, SEC-4400)、クールニクス (YAMATO-KOMATSU, CTE82W) を

用いた。同化箱の入口と出口の  $\text{CO}_2$  濃度、相対湿度は、それぞれ赤外線ガス分析計 (Li-COR 社, Li-6251)、相対湿度センサー (Vaisala 社, HMP-112Y) で測定した。測定条件は、導入空気量  $8.5 \text{ L min}^{-1}$ 、光強度は  $1550 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  の飽和光、葉温  $30 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 、葉面飽差  $1.8\text{--}2.0\text{kPa}$  および  $\text{CO}_2$  濃度は、 $360\text{ppm}$  であった。

### 葉身 $\text{Na}^+$ 含量の測定

葉身の光合成速度を測定した葉の表面を、光合成速度測定直後に、水道水、及び蒸留水で洗浄した後切除し、 $80^\circ\text{C}$  で 72 時間乾燥させた。乾燥試料は粉碎機 (CMT, TI-100) を用いて粉碎した。粉碎試料  $0.25\text{g}$  に  $0.1\%$  硝酸を  $50\text{ml}$  加え、 $80^\circ\text{C}$  に 24 時間おいた。抽出液を孔径  $0.45 \mu\text{m}$  のメンブレンフィルターで濾過し、濾液中のイオン含量をイオンクロマトグラフィ (DX-AQ, DIONEX 社) で測定した。陽イオンの分析には、ガードカラム (IonPac, CG12)、分離カラム (IonPac, CS12) を用い、溶離液には  $20\text{mM}$  メタンスルホン酸を使用した。硝酸と溶離液の調整は、 $18\text{M } \Omega$  以上の超純水 (Milli-RX, 日本ミリポア社製) を用いた。

### 結果および考察

#### 乾物生産に及ぼす $\text{NaCl}$ の影響の種間及び品種間差

本研究で、 $\text{NaCl}$  処理後 30 日目の生育量を比較したところ、この時点での *O. latifolia* の生育量は他種に比較して小さかった。これは、本種の初期生長が他種に比べて遅いことに起因するものであった。*O. latifolia* の生育量はその後回復し、処理後 60 日の対照区の植物体は、他種とほとんど差が見られなくなった。*O. latifolia* は、塩処理に伴う生育量の低下が供試した稲の中で最も小さく、塩処理後の相対値で比較すると、耐塩性栽培品種である SR26B (Gregorio *et al.*, 1997) よりも高い耐塩性を示すことが明らかとなった (Fig. 1)。例えば、 $12 \text{ dSm}^{-1}$  区で栽培した IR28, *O. rufipogon*, SR26B, 及び *O. latifolia* の乾物重は、対照区のそれぞれ  $20\%$ ,  $20\%$ ,  $37\%$ , 及び  $77\%$  となり、 $\text{NaCl}$  存在下における生長量の低下が *O. latifolia* で最も小さかった。同様な条件で 40 日間ほど栽培すると、感受性の *O. rufipogon* と IR28 では、供試した個体すべてが枯死したが、*O. latifolia* と SR26B は生存し、両品種の生存率はそれぞれ  $60\%$ , 及び  $15\%$  であり、両種の耐塩性の高さが確認された。

各器官の乾物重に対する  $\text{NaCl}$  の影響は全乾物重と同様な傾向であった (Table 1)。 $12 \text{ dSm}^{-1}$  区にお

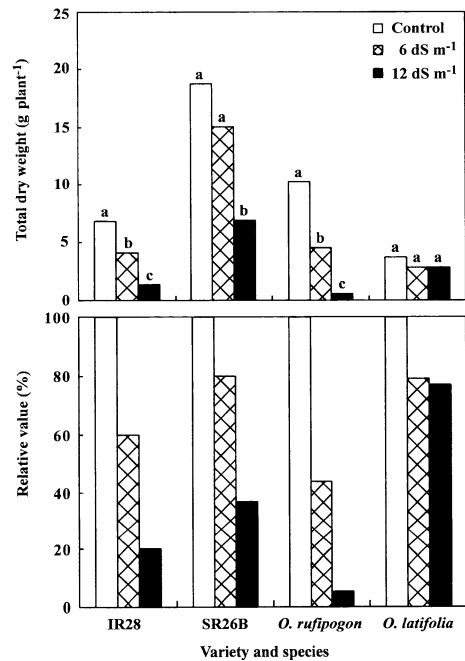


Fig. 1 Effect of  $\text{NaCl}$  concentration on total dry weight of rice plants. Plants were collected at 30 days after the treatment.

Note: Values in the columns with the same letter are not significantly different based on Scheffe multiple range test ( $P < 0.01$ ).

ける根の乾物重は、IR28, SR26B, *O. rufipogon*, 及び *O. latifolia* でそれぞれ無処理区の  $36\%$ ,  $32\%$ ,  $16\%$ , 及び  $64\%$  であった。また同処理区の茎の乾物重は、IR28, SR26B, *O. rufipogon*, 及び *O. latifolia* で、それぞれ無処理区の  $21\%$ ,  $43\%$ ,  $4\%$ , 及び  $89\%$  となった。

いずれの品種においても  $\text{NaCl}$  処理による生長阻害は葉で最も大きかった。 $12 \text{ dSm}^{-1}$  区における葉身の総乾物重は、IR28, SR26B, *O. rufipogon*, 及び *O. latifolia* で、それぞれ無処理区の  $11\%$ ,  $30\%$ ,  $1\%$ , 及び  $75\%$  であった。また、葉身の葉面積の拡大に対する  $\text{NaCl}$  の害作用にも種間差がみられ、感受性の *O. rufipogon* と IR28 では、葉面積の減少が著しく、 $12 \text{ dSm}^{-1}$  区ではほとんどが枯死した。一方、*O. latifolia* では各処理区間に有意な差はみられず、 $\text{NaCl}$  の影響は少なかった。

一般に地上部と地下部の重量比 (T/R 比) は栄養成長期に一定となる傾向があり、イネの場合約  $2\text{--}3$  である (野口・川田, 1997)。第 1 表に示すように T/R 比は *O. latifolia* 以外のイネで塩処理によって低

Table 1 Effect of NaCl concentration on dry weight of rice plants

Variety and species	NaCl (dS m <sup>-1</sup> )	Root (g plant <sup>-1</sup> )	(%)	Stem (g plant <sup>-1</sup> )	(%)	Leaf (g plant <sup>-1</sup> )	(%)	T/R ratio	(%)
IR28	0	1.2a*	(100)	3.2a	(100)	2.4a	(100)	4.6a	(100)
	6	0.8b	( 65)	2.1b	( 65)	1.2b	( 50)	4.2b	( 90)
	12	0.4c	( 36)	0.7c	( 21)	0.3c	( 11)	2.1c	( 46)
SR26B	0	2.4a	(100)	9.0a	(100)	7.4a	(100)	6.8a	(100)
	6	1.8b	( 76)	7.5a	( 83)	5.7a	( 78)	7.2a	(107)
	12	0.8c	( 32)	3.9c	( 43)	2.2c	( 30)	5.2c	( 76)
<i>O. rufipogon</i>	0	1.9a	(100)	4.8a	(100)	3.5a	(100)	4.4a	(100)
	6	1.1b	( 57)	2.1b	( 43)	1.3b	( 38)	3.1b	( 71)
	12	0.4c	( 16)	0.2c	( 4)	0.0c	( 1)	0.7c	( 16)
<i>O. latifolia</i>	0	1.0a	(100)	1.2a	(100)	1.4a	(100)	3.0a	(100)
	6	0.8a	( 76)	1.1a	( 86)	1.0a	( 70)	4.6a	(154)
	12	0.6a	( 64)	1.1a	( 89)	1.1a	( 75)	3.4a	(114)

\* Value in columns with the same letter are not significantly different based on Scheffe multiple range test ( $P < 0.01$ ). Plants were collected at 30 days after the treatment.

下し、低下度は特に感受性のイネで大きかった。植物によっては乾燥条件下 (Fitter and Hay, 1981) や窒素の欠乏した土壌 (Marschner, 1986) においては、根部を発達させるため T/R 比が低下するものがある。しかしこの場合は地上部、地下部いずれの乾物重も低下していたことから、ここでみられた T/R 比の低下は上述したような積極的な適応反応ではなく、NaCl による生長阻害が相対的に地上部で大きかったためと考えられた。*O. latifolia* では、地上部、地下部いずれにも NaCl の阻害が少なく、その結果 T/R 比が高く維持されたと考えられた。

これらの結果から、乾物生産量からみた *O. latifolia* の耐塩性は著しく高いこと、また NaCl の各器官の生長に及ぼす影響には種間差があり、IR28, *O. rufipogon* では葉身、茎、及び根の順に、SR26B では葉身、根、茎の順に、また *O. latifolia* では茎、葉身、根の順に NaCl の影響が大きいことが明らかとなった。

#### 塩含量と水分含量

Table 2 に、葉身の乾物重当たりの Na<sup>+</sup> 含量を示した。栽培種では NaCl 処理による Na<sup>+</sup> 含量の増加は抑えられていたが、野生種では顕著に増加した。NaCl 処理後 14 日目の値と比較すると、IR28, SR26B といった栽培種では、それぞれ、5 倍、及び 6 倍であったのに対し、*O. rufipogon* では 17 倍、*O. latifolia* では 18 倍であった。このことは、野生稲は耐塩性栽培品種が持つと考えられている根の塩分排除能が低いことを示している。先述した乾物重の結果とてらして考えると、*O. latifolia* は耐塩性品種 SR26B より

も多く Na<sup>+</sup> を吸収・蓄積するが、生存率や乾物生産量は SR26B より高かったことから、塩を多量に吸収・蓄積しても生理機能を低下させない耐性機構を有していることが示唆された。

葉身生重と乾物重の差から算出した葉身水分含量は、NaCl 処理によって低下した (Fig. 2)。例えば、12 dSm<sup>-1</sup> 区の葉身の水分含量は、IR28, SR26B, *O. rufipogon*, 及び *O. latifolia* でそれぞれ無処理区の 9%, 28%, 3%, 及び 66% であり、NaCl 処理に伴う水分含量の低下は *O. latifolia* で最も小さかった。これは *O. latifolia* の水分保持能力が NaCl 存在下で高いことを示唆していると考えられた。

#### 形態的特長

Mass *et al.* (1978) は、高塩環境下に生育する植物の形態的適応反応として、1) 葉数及び葉面積の減少、2) 単位葉面積当たりの気孔数の減少、3) 葉の厚さの増大と多汁質化、4) 葉表皮の肥厚化と葉表皮におけるワックスの集積、5) 通導組織の形成・発達の低下、6) 根の内皮細胞におけるスベリン化等を挙げている。これらの形態的な変化は水分の蒸散を抑え、植物体内の水分の保持に役立つと考えられる。本研究では形態的特長として葉重当たりの葉面積である比葉面積 (SLA) (Fig. 3) と気孔密度 (Table 4) を測定した。SLA は感受性の高いイネで低かった。例えば、12 dSm<sup>-1</sup> 区の SLA は、SR26B, *O. latifolia* ではいずれも無処理区の約 80%, IR28, 及び *O. rufipogon* ではそれぞれ約 50%, 及び約 30% となり、感受性の高いイネでは NaCl によって葉を厚くして

Table 2 Na<sup>+</sup> content of leaves measured at 7 and 14 days after NaCl treatment

Variety and species	NaCl (dS m <sup>-1</sup> )	7 DAT (μmol g <sup>-1</sup> DW)	(%)	14 DAT (μmol g <sup>-1</sup> DW)	(%)
IR28	0	4.7 ± 0.2*	100	4.0 ± 0.3	100
	6	7.1 ± 0.6	151	13.0 ± 2.0	323
	12	9.2 ± 1.4	195	21.0 ± 3.3	522
SR26B	0	4.2 ± 0.2	100	4.0 ± 0.3	100
	6	7.1 ± 0.4	169	10.9 ± 1.5	270
	12	8.8 ± 2.0	209	23.6 ± 8.9	589
<i>O. rufipogon</i>	0	20.5 ± 0.2	100	18.2 ± 2.4	100
	6	108.2 ± 3.8	529	188.7 ± 4.4	1039
	12	154.9 ± 9.5	757	317.1 ± 47.6	1746
<i>O. latifolia</i>	0	4.8 ± 0.5	100	4.8 ± 0.3	100
	6	19.6 ± 7.0	409	19.4 ± 2.1	405
	12	87.3 ± 12.1	1750	87.3 ± 5.5	1394

\* Values are means ± SE.

DAT: days after treatment.

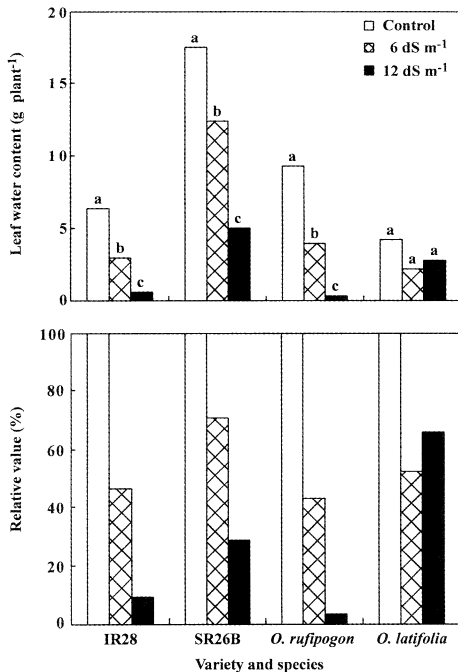


Fig. 2 Effect of NaCl concentration on leaf water content of rice plants. Leaves were collected at 30 days after the treatment.

Note: Values in the columns with the same letter are not significantly different based on Scheffe multiple range test (P&lt;0.01).

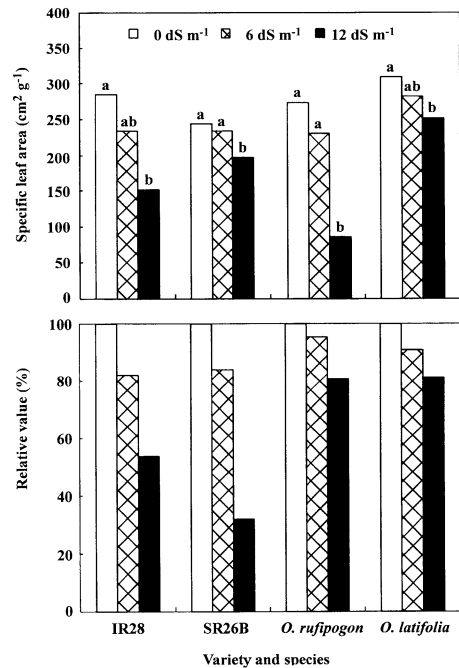


Fig. 3 Effect of NaCl concentration on specific leaf area of rice plants. Leaves were collected at 30 days after the treatment.

Note: Values in the columns with the same letter are not significantly different based on Scheffe multiple range test (P&lt;0.01).

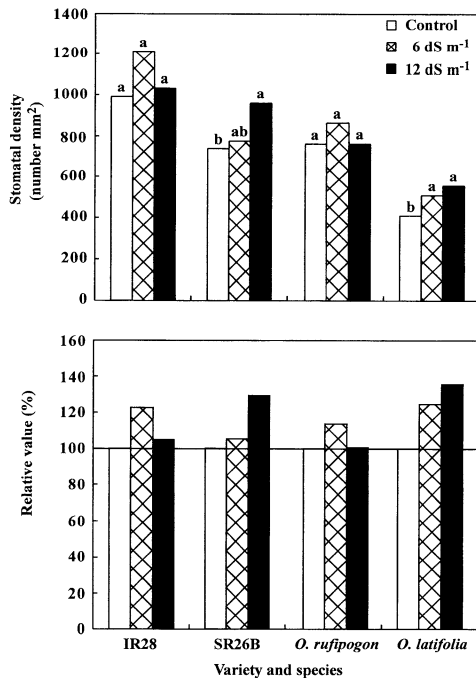


Fig. 4 Effect of NaCl concentration on stomatal density of rice plants. Measurements were performed on the leaves collected at 30 days after the NaCl treatment.

Note: Values in the columns with the same letter are not significantly different based on Scheffe multiple range test ( $P < 0.01$ ).

いることが推察された。

単位葉面積あたりの葉の表と裏の気孔数（気孔密度）は耐塩性の高いイネで低かった（Fig. 4）。相対値でみると、感受性種では気孔密度が  $6 \text{ dSm}^{-1}$  処理区で増加し  $12 \text{ dSm}^{-1}$  区で低下する傾向があったが、耐塩性種では NaCl の処理濃度に伴って増加する傾向がみられた。イネは単位葉面積あたりの気孔数が著しく多いことで知られる。水稻 41 品種の気孔密度（ $1 \text{ mm}^2$  あたりの気孔数）を調べた結果によると（川満ら, 1996）、葉の表裏合計の気孔密度は最少で約 600 個、最大で 1490 個であり、平均 836.7 個であった。気孔密度や気孔の大きさは環境条件によっても変動し（Meidner and Mansfield, 1968）、例えば水ストレス下では気孔密度は増加する（Suchurr *et al.*, 2000）。*O. latifolia* の気孔密度は供試材料の中で最も少なく、また NaCl 処理に伴う気孔密度の増加率が最も大きかった。これは水ストレス下での水分制御の面からみるとこれは有利な特性と考えられる。*O. latifolia* は水分含量も高かったことから（Table 2）、

水分保持能力の高さが本種の耐塩性の高い要因のひとつと考えられる。

#### 光合成速度と葉身 $\text{Na}^+$ 含量

乾物生産にみられた種・品種間差について、NaCl 処理後の個葉の光合成速度および葉身の  $\text{Na}^+$  含量から検討する。NaCl 処理後 14 日目における  $12 \text{ dSm}^{-1}$  区の光合成速度は、IR28, SR26B, 及び *O. rufipogon* ではそれぞれ無処理区の 90%, 82%, 及び 86% まで低下したが、*O. latifolia* ではほとんど低下しなかった（仲村ら, 2004）。Table 2 に示したように、*O. latifolia* 葉身の  $\text{Na}^+$  含量は SR26B より高かったことから、*O. latifolia* の光合成器官は高濃度の NaCl を蓄積しても光合成速度を低下させない耐性機構を有していると考えられる。

Fig. 5 に光合成速度と気孔開度の指標である気孔コンダクタンスとの関係を示した。IR28 では同一気孔コンダクタンスにおいて光合成速度の値にばらつきがみられ、光合成速度の変動が大きかった。それ以外の種では気孔コンダクタンスと光合成速度の間に高い正の相関関係が認められ、塩ストレスに伴う光合成速度の低下は気孔の閉鎖によると考えられた。したがって NaCl 存在下における光合成速度が最も高かった *O. latifolia* は塩ストレス下においても高い気孔コンダクタンスを保つ機構を有している可能性が考えられる。これは先に述べた葉内の水分保持能力が高いこと（Fig. 2）と関連があるのかもしれない。

以上のことから、*O. latifolia* は高塩環境下で塩を蓄積しながらも乾物生産能を維持する耐性機構を有していること、その要因の一つが光合成速度の維持機能であることが明らかとなった。また *O. latifolia* の光合成速度が維持されるのは、光合成器官自体の耐塩性、及び葉身の水分保持能力が高いためと推察された。

#### 引用文献

- Fitter, A. H. and R. K. M. Hay 1981. Environmental physiology of plants. Academic Press (New York) p. 381.  
 Flowers, T. J., P. F. Troke and A. R. Yeo 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **28**: 89-121.  
 Garcia, A. B., J. Engler, S. Iyer, T. Gerats, M. V. Montagu and A. B. Caplan 1997. Effects of osmoprotectants upon NaCl stress in rice. *Plant Physiol.* **115**: 159-169.  
 Gorham, J., R. G. W. Jones and E. McDonnell 1985. Some mechanisms of salt tolerance in crop plants. *Plant Soil* **89**: 15-40.

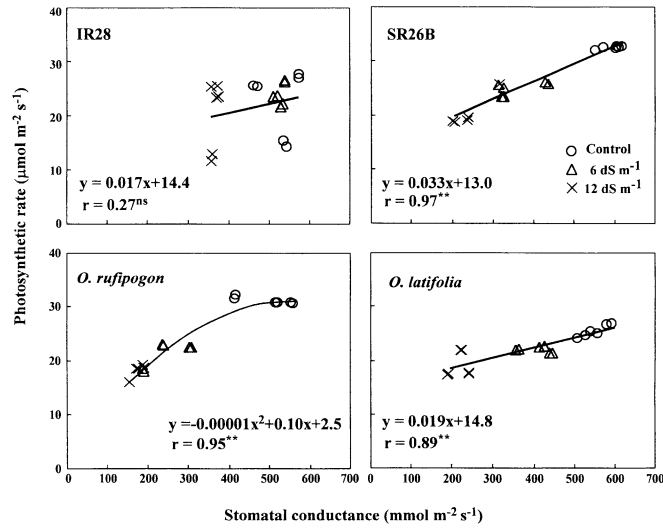


Fig. 5 Relationship between photosynthetic rate and stomatal conductance in the youngest fully expanded leaves of plants grown under different NaCl conditions. Measurements were performed at 14 days after the NaCl treatment. ns and \*\*: not significant and significant at 1% level, respectively.

Note: Data are cited from Table 1 and 2 of in the report of Nakamura et al. (2004).

Kawamitsu, Y., R. R. Singh, B. J. Nelson, Y. Tamaki and S. Murayama 1999. Effects of nitrogen supply on growth characteristics and leaf photosynthesis in sugarcane. *Sci. Bull. Fac. Agr., Univ. Ryukyus.* **46**: 1-14.

川満芳信・縣和一・比屋根真一・村山盛一・野瀬昭博・新城長有 1996 葉身のガス交換速度と気孔との関係: 第1報 イネ科 C3, C4 植物の気孔密度および孔辺細胞長. *日作紀* **65**: 626-633.

Marschner, H 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press (London Orlando San Diego) p.674.

Mass, E. V. and R. H. Nieman 1978 Physiology of plant tolerance to salinity. In: *Crop Tolerance to Suboptimal Land Conditions.* (Jung, G. A. and M. Stelly eds.) American Society of Agronomy (Madison) 277-299.

間藤 徹 1991. 高等植物の耐塩性機構. *植物細胞工学* **3**: 268-272.

Meidner, H. and T. A. Mansfield 1968. Physiology of stomata. McGRAW-HILL (New York) p.179.

森島啓子 2003. 野生イネの自然史: 実りの進化生態学. 北海道大学図書刊行会 (北海道) p.215.

仲村一郎・東江 栄・村山盛一・飛田 哲・柳原誠司・川満芳信・本村恵二 2004 塩ストレス下における個葉の光合成特性からみた野生稲 *O. latifolia* Desv. の耐塩性. *熱帯農業* **49**: 77-83.

野口弥吉・川田信一郎 2001. 農学大事典. (第5版) 養賢堂 (東京) p.2120.

Pang, H. H. and C. S. Ying 1993. Species, geographical distribution of Chinese wild rice and their investigation and utilization. In: *Rice germplasm resources in*

China. (Ying, C. S. ed.) China. Agric. Sci. and Tech. Press (Beijing) 17-28.

Ram, P. C., B. B. Singh, A. K. Singh, V. K. Singh, O. N. Singh, T. L. Setter, R. K. Singh and V. P. Singh 1996. Environmental and plant measurement requirements for the assessment of drought, flood and salinity tolerance in rice. In: *Physiology of stress tolerance in rice.* (Singh, V.P., R. K. Singh, B. B. Singh and R. S. Zeigler eds) IRRI (Philippines) 46-69.

Schurr, U., U. Heckenberger, K. Herdel, A. Walter and R. Feil 2000. Leaf development in *Ricinus communis* during drought stress: dynamics of growth processes, of cellular structure and of sink-source transition. *J. Exp. Bot.* **51**: 1515-1529.

但野利秋・金野隆光 1991. 塩類集積土壌と農業. 植物における塩害の発生機構と耐塩性 (日本土壤肥科学会編). 博友社 (東京) 123-204.

高橋英一 1987. 生命にとって塩とは何か. 植物にとって塩とは. 農文協 (東京) 73-79.

Tsuchiya, M., M. Miyake and H. Naito 1994. Physiological response to salinity in rice plant: III. A possible mechanism for  $\text{Na}^+$  exclusion in rice root under NaCl-stress conditions. *Jpn. J. Crop Sci.* **63**: 326-332.

山内益夫 1994. 中生植物の耐塩性(1). *日砂丘誌.* **41**: 21-28.

Yeo, A. R., M. E. Yeo and T. J. Flowers 1988. Selection of lines with high and low sodium transport from within varieties of an in-breeding species: rice (*Oryza sativa* L.). *New Phytol.* **110**: 12-19.