

## 韓国産水稻品種の耐塩性に関する研究

### I. 乾物生産と個葉光合成における耐塩性の機構\*

趙 東 夏\*\*・佐々木 治人・石 井 龍 一

(東京大学農学部)

1994年9月19日受理

**要 旨** : 韓国において、収量の上で耐塩性が異なるとされている水稻品種、6品種に NaCl 処理を施し、幼植物の相対生長率 (RGR) の低下程度を比較した。RGR の低下が小さかった品種を耐塩性の高い品種、RGR の低下が大きかった品種を耐塩性の低い品種とした。RGR を葉面積比 (LAR) と純同化率 (NAR) とに分割し、各々に対する NaCl 処理の影響を調べたところ、NaCl 処理による LAR の低下程度には耐塩性の低い品種と高い品種との間に大きな差はなかった。しかし、NAR の低下程度には両品種群間に大きい差が認められ、耐塩性の低い品種で、低下程度が大きかった。そこで、NaCl 処理をした植物体の単位葉面積当り光合成速度 (LPS) を比較したところ、NAR の傾向と同様、その低下程度は耐塩性の低い品種で大きい傾向を示した。このことから、イネの乾物生産速度に対する NaCl の影響は、主に LPS を通じて起こっていると考えられた。さらに、LPS における耐塩性の機構を知るために、耐塩性の高い品種と低い品種を各1品種ずつ選び、NaCl 処理をした植物体の葉身における炭酸固定酵素、Rubisco の含量および葉身の浸透ポテンシャルの低下程度を調べた。耐塩性の高い品種では、低い品種に比べ、吸収 Na 当り Rubisco の含量の低下程度は小さく、Na による Rubisco 合成の阻害が小さいことが示唆された。また、耐塩性の高い品種では、NaCl 処理後の葉身の浸透ポテンシャルの低下がより早く進み、浸透調節能力が勝っていると考えられた。

**キーワード** : イネ, 塩化ナトリウム処理, 光合成, 浸透調節, 耐塩性, 品種間差, ルビスコ。

**Studies on the Salt Tolerance in Korean Rice Cultivars** I. Mechanism of salt tolerance in dry matter production and leaf photosynthesis : Dong-Ha CHO\*\*, Haruto SASAKI and Ryuichi ISHII (*Faculty of Agriculture, University of Tokyo, Tokyo 113, Japan*)

**Abstract** : Reduction of relative growth rate (RGR) due to the NaCl treatment was examined in the seedlings of six Korean rice cultivars which had been reported to be different in salt tolerance on the level of grain yield. On the level of RGR, three of the cultivars were identified as salt tolerant, and the remaining three were identified as the sensitive cultivars. Further analysis of RGR indicated that the reduction of RGR by NaCl treatment was attributed in large part to the reduction of the net assimilation rate (NAR) rather than to that of the leaf area ratio (LAR). Leaf photosynthesis which is closely related with NAR, was also reduced by NaCl treatment in salt sensitive cultivars to a greater extent than tolerant cultivars. Ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco) content was determined in a tolerant cultivar, Han-Kang-Chal, and a sensitive one, Dong-Hae. Han-Kang-Chal showed a smaller decrease of Rubisco content per absorbed Na in the NaCl-treated leaves. This indicates that degradation of Rubisco by absorbed Na is slower in tolerant cultivars than in sensitive cultivars. Moreover, Han-Kang-Chal showed a larger decrease in osmotic potential in the NaCl treated leaves, suggesting that osmotic adjustment was developed under salt stress conditions in a tolerant cultivar.

**Key words** : Cultivar difference, NaCl treatment, *Oryza sativa* L., Osmotic adjustment, Photosynthesis, Rice, Rubisco, Salt tolerance.

国土が狭い韓国では、海を干拓して農耕地を拡大しようとする努力が近年急速に進んでいる。そのため、耐塩性水稻品種の育成が重要課題となりつつある。イネは、NaCl に対する耐塩性が低い作物の一つである<sup>14)</sup>。しかし、乾物生産速度の上でイネの耐塩性を検定した結果から、比較的高い耐塩性を示す品種もあることがわかっている<sup>1,10)</sup>。NaCl を 50 mM 添

加した水耕液でイネを栽培すると、一般に、生長速度は品種を問わず急速に低下するといわれている<sup>12,13)</sup>。イネにおける耐塩性の強弱は、このような NaCl 処理をした場合の生長速度の低下程度、あるいは最終的な収量の低下程度を調べて分類される場合が多い<sup>2,7,10,31)</sup>。しかし、こうして分類された品種を使って、耐塩性の生理学的機構を詳細に研究した報告はまだ少ない。特に、光合成の面からの耐塩性機構に関する研究は極めて少ない。Downton ら<sup>9)</sup> は、塩ストレスによるブドウの光合成速度低下機構を、気孔拡散伝導度 (gs) と葉肉拡散伝導度 (gm) の両

\* 大要は第 195 回講演会 (1993 年 4 月) において発表。本研究の一部は文部省科学研究費補助金 (No. 04404007) によった。

\*\* 現在: 江原大学校農科大学, 韓国春川市。

面から調べ、塩ストレスによる光合成速度低下の主な原因は gm の低下にあるとした。Boyer ら<sup>5)</sup>も、NaCl 添加のもとで生育させたワタは、光合成速度が低下するにもかかわらず、蒸散速度は低下しないことを観察し、光合成速度の低下は気孔開度の減少によるよりも、葉肉組織内の光合成反応系の活性低下によるとした。イネの場合にも、耐塩性が高い品種では、NaCl 処理による気孔抵抗の増加は小さいとされている<sup>28)</sup>。葉の Na 含有率が高くなるとクロロフィル濃度が低下し、光合成速度も低下することが認められている<sup>29,30,31)</sup>。さらに、高濃度の NaCl 処理による植物の生育低下には、代謝過程上必須なイオン (specific ion) による浸透調節機能が失われ、膨圧の低下など、葉内の水状態が悪くなることも関係してくると言われている<sup>3,4,6,11,15,21,27)</sup>。

本論文では、韓国で、収量の面から耐塩性が高いとされた品種 3 品種と、低いとされた品種 3 品種を、NaCl 処理下での乾物重の増加速度の面から再分類し、両品種群間で光合成速度を比較した。さらに、光合成の炭酸固定酵素であるリブローズ-1,5-二リン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ (Rubisco) の含量と、葉身の浸透ポテンシャルについても比較

し、イネにおける耐塩性の機構を明らかにしようとした。

## 材料と方法

実験には、1989 年韓国作物試験場南陽出張所で、収量のレベルから耐塩性が高いと同定された Han-Kang-Chal (韓江 Chal), Seo-Hae (西海), Nam-Pung (南風) の 3 品種、低いと同定された Dong-Hae (東海), Iri-380 (裡里-380), Hwa-Seoung (花成) の 3 品種、そして参考品種として Nipponbare (日本晴) と IR8 を供試した (第 1 表)。実験は、1990 年 (実験 I) と 1992 年 (実験 II) の 2 年間にわたり行われた。実験 I は生長解析法により、乾物生産速度の面から耐塩性を再分類するために行われたものである。実験 II は、乾物生産速度において再分類された耐塩性の異なる品種について、光合成速度とその関連要因を比較し、耐塩性の機構を知ろうとして行われたものである。

**実験 I:** 1990 年 8 月 1 日に、土壌をつめたプラスチックポットに催芽種子を播種し、東京大学農学部のパイオトロン自然光室 (昼/夜温, 30/25°C; 相対湿度, 70%) 内で生育させた。播種 27 日後の第 7 葉伸

Table 1. Relative growth rate (RGR), leaf area ratio (LAR) and net assimilation rate (NAR) of rice cultivars.

Cultivar	NaCl treatment	RGR (% day <sup>-1</sup> )	LAR (cm <sup>-2</sup> g <sup>-1</sup> )	NAR (gm <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )
Han-Kang-Chal	0mM	4.43	136	3.22
	75mM	2.66 (60)	124 (91)	2.12 (66)
Hwa-Seoung	0mM	4.20	111	3.76
	75mM	2.29 (55)	106 (95)	2.51 (67)
Seo-Hae	0mM	3.84	123	3.17
	75mM	1.47 (38)	113 (92)	1.43 (45)
Dong-Hae	0mM	7.39	104	7.00
	75mM	1.21 (16)	115 (111)	1.80 (26)
Nam-Pung	0mM	5.76	140	4.13
	75mM	0.73 (13)	137 (98)	0.77 (19)
Iri-380	0mM	7.20	124	5.84
	75mM	0.79 (11)	121 (98)	0.84 (14)
Nipponbare	0mM	5.99	113	5.31
	75mM	3.54 (59)	105 (93)	3.53 (66)
IR 8	0mM	6.49	135	4.81
	75mM	1.10 (17)	123 (91)	1.00 (21)
Mean	0mM	5.67	123	4.66
	75mM	1.72 (30)	118 (96)	1.75 (38)

The plants were grown in 75mM NaCl solution for 14 days.

Figures in the parentheses are percentage ratio to the control.

長期に、各品種 12 個体を選び、根を切断しないよう、十分注意しながら根を洗った後、2 日間純水中で培養した。その後、木村氏 B 液を入れた 19 l のプラスチック容器に移植し、水耕培養した。水耕培養開始後 1 日目に、培養液中に NaCl を添加し、25, 50, 75 mM の 3 段階の NaCl 処理区を設けた。水耕液については、pH を  $5.5 \pm 0.3$  に調節し、4 日ごとに更新した。NaCl 処理開始日と処理開始後 14 日目に、植物体を各処理区 3 個体ずつ採取し、乾燥器で  $70^{\circ}\text{C}$ 、3 日間乾燥させた後、乾物重を測定した。乾物重のデータから植物体の 14 日間の相対生長率 (Relative growth rate, RGR)、純同化率 (Net assimilation rate, NAR)、葉面積比 (Leaf area ratio, LAR) を求めた。

**実験 II:** 1992 年 5 月 19 日、供試 8 品種の種子を、土壌をつめたポットに播種し、東京大学農学部のパイオトロン自然光室で 25 日間生育させた。根を切断しないよう、十分注意して根を洗った後、木村氏 B 液を満たした 1/5000 a ワグナーポットに移植し、野外で水耕培養を行った。第 8 葉展開開始期に野外から人工光植物生育装置に移し、光強度、 $900\text{--}1000 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; 明/暗期, 12/12 時間; 昼/夜温,  $30/25^{\circ}\text{C}$ ; 相対湿度 70% の条件で生育させた。第 8 葉が展開完了した日に 50 mM の NaCl 処理を開始した。

ガス交換速度の測定は、NaCl 処理前日、処理後 1 日目、7 日目および 14 日目に、約 4 時間前照射した植物体につき、午前 10 時から午後 2 時までの間に実施した。処理前日及び処理後 1 日目の測定には、NaCl 処理開始時に展開を完了していた第 8 葉を使用した。ただし、処理後 7 日目、14 日目には第 9 葉がすでに展開を終了していたため第 9 葉を使用した。測定には携帯用光合成蒸散速度測定器 (LCA-3, ADC 社) を使用した。メタルハライドランプ (DR400, 東芝) 4 個により葉面照度が  $1500 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$  となるように調節した。ガス交換速度の測定は各品種 3 個体につき行った。

Rubisco 含量の測定は、耐塩性が一貫して高かった Han-Kang-Chal と、耐塩性が常に低かった Dong-Hae の 2 品種について行った。NaCl 処理後 14 日目に最上位葉 (第 9 葉) を、ガス交換速度の測定に供した後切り取り、ディープフリーザー ( $-80^{\circ}\text{C}$ ) 中で冷凍保存した。冷凍保存した葉試料の中央部分を  $1.5\text{--}2.5 \text{ cm}^2$  程度切り出し、細断した後、10 mM  $\text{MgCl}_2$ 、0.2 mM エチレンジアミン 4 酢酸 (EDTA-2 Na) を含む 50 mM Tris-HCl 緩衝液

(pH 7.9,  $20^{\circ}\text{C}$ ) 3 ml とともに、氷冷下乳鉢中で磨砕した。その際、少量のポリビニルピロリドンと石英砂を加えた。抽出液を  $0^{\circ}\text{C}$ 、15,000 rpm で 20 分間遠心し、上清と沈澱とに分画した後、上清を Rubisco の定量に用いた。Rubisco の定量は Rubisco の抗血清を用い、免疫拡散法<sup>19)</sup>により行った。抗血清は、Paulsen and Lane<sup>22)</sup> および Makino ら<sup>18)</sup> の方法によってイネの葉から抽出・精製した Rubisco をウサギに注射し、松橋ら<sup>19)</sup> の方法により得た。測定はいずれも 3 反復を行った。

葉身の浸透ポテンシャルの測定は、Rubisco の定量と同様に Han-Kang-Chal と Dong-Hae の 2 品種につき NaCl 処理開始後 1 日、7 日、14 日目に行った。ガス交換速度を測定した後、葉身をリーフパンチで打ち抜き、葉身をニンニク絞り器でつぶし、 $8 \mu\text{l}$  の汁液をとってサイクロメーター (HR-33T, Wesco 社) で測定も 3 反復ずつ行った。

葉身の Na 含量の測定は、Han-Kang-Chal と Dong-Hae につき、処理後 14 日目にガス交換速度を測定した第 9 葉葉身を乾燥した後、乾物重で 1-5 g 陶器製ルツボに取り、電気マッフルを用いて  $550^{\circ}\text{C}$  で灰化した。4N の HCl を加え、100 ml に定容とした後、炎光光度法で定量した。

## 結 果

### 1. 乾物生産速度における品種間差

NaCl 処理による乾物生産速度の障害程度を品種間で比較するために、NaCl 処理日の処理開始直前と 14 日目の地上部乾物重を調査し、相対生長率 (RGR) を求めた。その結果、全部の品種の平均で、25 mM では 3.80%/day、50 mM では 3.49%/day、75 mM では 1.72%/day と、NaCl の処理濃度が高くなるにつれて RGR の障害程度は大きくなっていった。NaCl 処理に対する RGR の障害程度の品種による違いは、25, 50, 75 mM の各処理区においてほぼ同じ傾向を示したので、第 1 表に 75 mM 区の結果を示した。RGR を対照区 (0 mM 区) に対する各処理区の比で比較すると、収量のレベルで耐塩性が高いとされている Han-Kang-Chal, Seo-Hae は対照区に対して各々 60%, 38% という相対的に高い値を示し、幼植物の乾物生産速度のレベルにおいても高い耐塩性を示すことが確認された。しかし、Nam-Pung は収量レベルでは耐塩性が高いとされているにもかかわらず、乾物生産速度においては低い耐塩性を示した。また、収量レベルで耐塩性が低いとさ

Table 2. Leaf photosynthesis (LPS) determined on 1 day (LPS<sub>-1</sub>), 7 days (LPS<sub>-7</sub>) and 14 days (LPS<sub>-14</sub>) after initiation of NaCl treatment, mesophyll conductance (gm) and stomatal conductance (gs) for LPS<sub>-1</sub>.

Cultivar	NaCl treatment	LPS <sub>-1</sub> (mgCO <sub>2</sub> dm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	gm (cm sec <sup>-1</sup> )	gs (cm sec <sup>-1</sup> )	LPS <sub>-7</sub> (mgCO <sub>2</sub> dm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	LPS <sub>-14</sub> (mgCO <sub>2</sub> dm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )
Han-Kang-Chal	0 mM	34.6±1.4	0.206±0.01	0.719±0.07	34.6±3.92	36.7±2.66
	50 mM	26.2±1.4 (76)	0.162±0.01 (79)	0.462±0.03 (64)	28.1±2.16 (81)	19.6±0.79 (54)
Hwa-Seoung	0 mM	38.0±2.3	0.229±0.02	0.745±0.03	34.7±3.01	29.6±4.51
	50 mM	30.5±3.7 (80)	0.185±0.02 (81)	0.570±0.09 (76)	23.1±6.33 (67)	22.7±2.41 (48)
Seo-Hae	0 mM	37.5±3.5	0.225±0.01	0.719±0.16	40.5±1.36	40.5±0.95
	50 mM	29.7±3.0 (79)	0.185±0.02 (82)	0.525±0.05 (73)	29.7±4.54 (73)	20.1±2.40 (50)
Dong-Hae	0 mM	37.6±3.4	0.231±0.02	0.689±0.06	35.4±3.74	29.6±5.71
	50 mM	23.0±3.0 (61)	0.145±0.02 (63)	0.389±0.03 (56)	15.6±2.02 (44)	14.2±2.41 (48)
Nam-Pung	0 mM	24.7±2.5	0.170±0.02	0.345±0.04	30.2±5.84	35.0±5.49
	50 mM	20.2±1.1 (82)	0.139±0.01 (82)	0.289±0.01 (84)	15.0±2.84 (50)	19.6±0.53 (56)
Iri-380	0 mM	29.6±2.8	0.207±0.02	0.402±0.04	33.8±0.90	31.0±4.39
	50 mM	15.1±1.4 (51)	0.103±0.01 (50)	0.221±0.06 (55)	17.4±0.44 (51)	12.3±1.65 (40)
Nipponbare	0 mM	29.5±3.9	0.197±0.02	0.430±0.17	25.8±2.82	33.0±1.10
	50 mM	25.0±3.7 (85)	0.169±0.03 (86)	0.346±0.04 (80)	15.5±3.97 (60)	22.7±3.26 (69)
IR 8	0 mM	38.4±1.8	0.234±0.01	0.79±0.03	33.9±1.47	39.9±0.95
	50 mM	27.2±2.4 (71)	0.185±0.01 (79)	0.395±0.07 (53)	23.1±2.90 (68)	25.3±3.09 (63)
Mean	0 mM	33.7±2.7	0.212±0.09	0.598±0.04	33.6±2.88	34.4±3.22
	50 mM	24.6±2.5 (73)	0.159±0.01 (75)	0.399±0.01 (68)	21.0±2.78 (62)	19.6±2.56 (57)

Figures in the parentheses are percentage ratio to the control.

The values, means±s.e..

れている Dong-Hae, Iri-380, Hwa-Seoung のうち前二者は、幼植物の乾物生産速度においても耐塩性は低かったが、Hwa-Seoung は対照区に対して約 55% という高い乾物重を維持し、乾物生産速度の上では高い耐塩性を示した。日本稲の Nipponbare と、印度稲の IR8 とを比較すると、Nipponbare の方が

耐塩性が高く、韓国の耐塩性高の品種とほぼ同じ程度の耐塩性を示した。本論文では以後、Han-Kang-Chal, Hwa-Seoung, Seo-Hae の 3 品種を耐塩性の高い品種、Dong-Hae, Nam-Pung, Iri-380 の 3 品種を耐塩性の低い品種と呼ぶこととする。まず、上に述べた RGR における耐塩性の違いが、葉面積比

(LAR) の耐塩性の違いによるのか、純同化率 (NAR) の耐塩性の違いによるのかを検討した (第1表)。NaCl 処理による RGR の減少は、LAR と NAR の両者の減少に起因していた。しかし、耐塩性の高い品種群と低い品種群との間で、LAR と NAR を比較してみると、LAR の差より NAR の差ははるかに大きく、耐塩性の低い品種群における RGR の大きな低下には、NAR の大きな低下が対応していた。このことから、乾物生産における耐塩性の品種間差は、どちらかという純同化率 (NAR) における耐塩性の品種間差に大きく起因していると考えられた。参考品種としての日本晴および IR8 は RGR, LAR, NAR のいずれにおいても、各々、耐塩性の高い品種、および低い品種に対応した傾向を示していた。

## 2. 単位葉面積当りの光合成速度における品種間差

NAR は、単位葉面積当りの光合成速度 (LPS) と密接な関係がある。そこで、NaCl 処理による単位葉面積当り光合成速度 (LPS) の低下程度を品種間で比較した。第2表に NaCl 処理後1日目、7日目、14日目の LPS の測定結果を示した。処理後1日目で、すでに LPS は全品種平均で対照区の 73% にまで低下していた。実験 I で耐塩性が高いとされた韓国産品種 Han-Kang-Chal, Hwa-Seoung, Seo-Hae の3品種は、対照区の 76-80% という値を示し全品種の平均値よりも大きかった。一方、耐塩性が低いとされた Dong-Hae, Nam-Pung, Iri-380 の LPS は、Nam-Pung を除けば耐塩性が高い前記3品種よりも大きい低下を示し、これらの品種は LPS の上でも耐塩性が低いことが示された。さらに7日目、14日目の LPS についてもほぼ同様の傾向が認められた (第2表参照)。そこで、第1日目のデータにつき NaCl 処理による LPS の低下を、CO<sub>2</sub> 気孔拡散伝導

度 (gs) と CO<sub>2</sub> 葉肉拡散伝導度 (gm) の面から検討した。その結果、第1日目のデータにつき、NaCl 処理による gs と gm の低下は、例外はあるものの多くの品種でほぼ同じ程度に表れていることが判った。しかし、LPS の律速要因としては gm の方が数倍も強いので、次に gm について検討することとした。

## 3. 炭酸固定酵素量における品種間差

NaCl 処理による LPS 低下の原因を gm の面から解析するために、本論文の実験で耐塩性が一貫して高かった Han-Kang-Chal と、一貫して低かった Dong-Hae につき、NaCl 処理による Rubisco 含量の低下 ( $\Delta Rbc$ ) を調べた。耐塩性が高い Han-Kang-Chal の Rubisco の低下は、耐塩性が低い Dong-Hae に比べて小さく、LPS の低下 ( $\Delta LPS$ ) の傾向と一致していた (第3表)。

さらに Han-Kang-Chal と Dong-Hae につき、NaCl 処理にともなう葉身 Na の増加分 ( $\Delta Na$ ) に対する Rubisco の低下 ( $\Delta Rbc/\Delta Na$ ) を比較してみた。この  $\Delta Rbc/\Delta Na$  の値が低い品種ほど、吸収された Na の単位量に対する Rubisco 合成速度が阻害されているか、Rubisco 分解速度が促進されていることを意味し、耐塩性が低いことを意味する。計算の結果、Han-Kang-Chal では -303, Dong-Hae では -497 となり、Na 含量の増加による、Rubisco 含量の低下程度から見ても Han-Kang-Chal の耐塩性が高いことがわかった (第3表)。

## 4. 浸透調節能力における品種間差

NaCl 処理による光合成速度の低下を引き起こす原因としては、さらに、葉の水状態が挙げられる。そこで、NaCl 処理をした葉の浸透調節能力を調べるため、葉の浸透ポテンシャルを調べた (第4表)。その結果、耐塩性が高い Han-Kang-Chal では、NaCl 処理1日後に、すでに対照区の植物体よりも 18% 浸透ポテンシャルが低下していた。しかし一方、

Table 3. Decrease of leaf photosynthesis ( $\Delta LPS$ ) and Rubisco content ( $\Delta Rbc$ ) with increase of Na content ( $\Delta Na$ ) caused by the NaCl treatment in Han-Kang Chal and Dong-Hae.

Cultivar	$\Delta Na$ (mg dm <sup>-2</sup> )	$\Delta LPS$ (mgCO <sub>2</sub> dm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	$\Delta Rbc$ (mg dm <sup>-2</sup> )	$\Delta LPS/\Delta Na$	$\Delta Rbc/\Delta Na$
Han-Kang-Chal	0.037	-8.4	-11.2	-227	-303
Dong-Hae	0.030	-14.6	-14.9	-487	-497

$\Delta Na = (Na \text{ in the NaCl treated leaves}) - (Na \text{ in the control leaves})$

$\Delta LPS = (LPS \text{ in the NaCl treated leaves}) - (LPS \text{ in the control leaves})$

$\Delta Rbc = (Rbc \text{ in the NaCl treated leaves}) - (Rbc \text{ in the control leaves})$

Determinations of Na and Ribosco contents, and LPS were made 14 days after initiation of NaCl treatment.

Table 4. Time course change of osmotic potential in the leaves of the cultivars of Han-Kang-Chal and Dong-Hae grown in 50 mM NaCl.

Cultivar	NaCl treatment	Osmotic potential (MPa)		
		1 day <sup>1)</sup>	7 days	14 days
Han-Kang-Chal	0 mM	$-0.89 \pm 0.01$	$-0.92 \pm 0.04$	$-0.99 \pm 0.09$
	50 mM	$-1.05 \pm 0.06$ (118)	$-1.30 \pm 0.16$ (141)	$-1.38 \pm 0.03$ (139)
Dong-Hae	0 mM	$-1.03 \pm 0.05$	$-1.05 \pm 0.08$	$-0.98 \pm 0.03$
	50 mM	$-1.08 \pm 0.11$ (105)	$-1.22 \pm 0.12$ (116)	$-1.17 \pm 0.05$ (119)

1) Days after initiation of NaCl treatment.

Figures in the parentheses are percentage ratio to the control (0 mM NaCl).

耐塩性の低い Dong-Hae では5%の低下にとどまっていた。この差は処理後日数の経過とともに拡大し、14日目には Han-Kang-Chal で39%も低下し、Dong-Hae では19%の低下にとどまっていた。このことは、NaCl 処理後の時間経過とともに Han-Kang-Chal の方がより大きな浸透調節を行っていることを示しており、Han-Kang-Chal が、LPS において高い耐塩性を示す原因の一つに、葉の浸透調節能力の保持が考えられた。

### 考 察

従来、韓国では水稻の耐塩性に関する品種の分類は、主に収量のレベルで行われてきた。しかし一方、多くの作物で、耐塩性の品種間差の同定は地上部の乾物生産速度に注目して行われている<sup>1,10,14)</sup>。収量の上での耐塩性と乾物生産速度の上での耐塩性とは一致する場合もあれば、一致しない場合もある<sup>8,23)</sup>。本論文ではまず、相対生長率 (RGR) について品種間で比較してみたところ、収量において耐塩性が高いとされた韓国産水稻3品種のうち、2品種が RGR のレベルでも耐塩性が高かった。逆に収量レベルで耐塩性が低いとされた品種3品種のうち、2品種が RGR のレベルでも耐塩性が低かった。このように、本研究においても収量における耐塩性と乾物生産速度における耐塩性とは、完全には一致していなかった。この理由として、収量における耐塩性は、シンクにおける耐塩性も含んだすべての生理過程の耐塩性が反映されたものであり、一方、乾物生産速度における耐塩性は、主にソース側の光合成過程における耐塩性に起因するものであって、収量における耐塩性の一部を説明するにすぎないためと考えられる。

著者らの最終的な目標は勿論、収量における耐塩性の機構を説明することであるが、本論文において

は、まず乾物生産速度における耐塩性を調べることとし、相対生長率 (RGR) を葉面積比 (LAR) と純同化率 (NAR) とに分けて検討した。その結果、LAR には両品種群間で大きな差が見られないこと、また、NaCl 処理による RGR の低下は、LAR の低下よりむしろ NAR の低下に大きく起因していることが明らかとなった。このことは、NaCl に対する RGR の耐性が、葉面積当りの光合成速度 (LPS) の耐性と強く関係していることを示唆している。実際に LPS を測定したところ、RGR の耐塩性の品種間差と LPS の品種間差とがほぼ対応していた。さらに、この LPS が、NaCl 処理後1日目には顕著に低下していたことから判るように、イネの光合成速度は、葉内の Na 含量の増加に敏感に反応する。このことは多数の研究者がすでに報告しており<sup>11,17)</sup>、さらに、その機作についても種々の報告がなされている。例えば、細胞間隙に到達した Na が蒸散によって濃縮され、細胞の外から細胞に対して浸透圧ストレスを及ぼすためとか、あるいは、Na がある一定以上の濃度になると細胞内に侵入して直接的なイオン障害を引き起こし、それによって気孔の閉鎖が起こるといった機構が報告されている<sup>16,20,24,25,26)</sup>。また、Na 吸収量と Rubisco 含量との関係については、インゲンマメについて報告<sup>26)</sup>されているが、イネについてはまだ報告がない。本論文では、単位 Na 吸収量に対する Rubisco の減少量を、耐塩性の高い Han-Kang-Chal と低い Dong-Hae とで比較した。その結果、Han-Kang-Chal では Dong-Hae に比べて、単位 Na 吸収量に対する Rubisco タンパク質量が高く維持されることが示された。しかし、NaCl 処理によって観察された Rubisco タンパク質量の減少が、はたして新生のタンパク質合成阻害によるものなのか、タンパク質の分解促進によるものなのか、さらには Na 以外に Cl の影響もあるのかは、現在のところま

だはっきりしていない。したがって、Rubisco タンパク質における耐塩性の品種間差も、いずれに起因しているかは判らない。また、本実験では Rubisco の活性を測定していないので、Rubisco 活性に対する Na の影響は不明である。今後はこのレベルでの研究成果が求められよう。

### 引用文献

1. Akbar, M., K.K. Jena, T. Yabuno and S. Nakao 1972. Breeding for saline-resistant varieties of rice. I. Variability for salt tolerance among some rice varieties. *Jpn. J. Breed.* 22 : 277—284.
2. Akita, S. and G.S. Cabuslay 1990. Physiological basis of differential response to salinity in rice cultivars. *Plant Soil* 123 : 277—294.
3. Bernstein, L. 1961. Osmotic adjustment of plants to saline media. I. Dynamic phase. *Am. J. Bot.* 48 : 909—918.
4. Bernstein, L. 1963. Osmotic adjustment of plants to saline media. II. Steady state. *Am. J. Bot.* 50 : 360—370.
5. Boyer, J.S. 1965. Effect of osmotic water stress on metabolic rate of cotton plants with open stomata. *Plant Physiol.* 40 : 229—234.
6. Cooper, A.W. and E.B. Dumbroff 1972. Plant adjustment to osmotic stress in balanced mineral-nutrient media. *Can. J. Bot.* 51 : 763—773.
7. Cramer, G.R., E. Epstein and A. Läuchli 1990. Effects of sodium, potassium and calcium on salt-stressed barley. I. Growth analysis. *Physiol. Plant.* 80 : 83—88.
8. Curtis, P.S. and A. Läuchli 1986. The role of leaf area development and photosynthetic capacity in determining growth of kenaf under moderate salt stress. *Aust. J. Plant Physiol.* 13 : 553—565.
9. Downton, W.J. 1977. Photosynthesis in salt-stressed grapevines. *Aust. J. Plant Physiol.* 4 : 183—192.
10. Fageria, N.K. 1985. Salt tolerance of rice cultivars. *Plant Soil* 88 : 237—243.
11. Flowers, T.J., P.F. Troke and A.R. Yeo 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 28 : 89—121.
12. Flowers, T.J. and A.R. Yeo 1981. Variability in the resistance of sodium chloride salinity within rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *New Phytol.* 88 : 363—373.
13. Gorham, J., R.G.W. Jones and E. McDonnell 1985. Some mechanisms of salt tolerance in crop plants. *Plant Soil* 89 : 15—40.
14. Hayward, H.E. and L. Bernstein 1958. Plant growth relationships on salt-affected soils. *Bot. Rev.* 24 : 484—635.
15. Hellebust J.A. 1976. Osmoregulation. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 27 : 485—505.
16. Kalaji, H. and E. Nalborczyk 1991. Gas exchange of barley seedlings growing under salinity stress. *Photosynthetica* 25 : 197—202.
17. Maegawa, H., E. Usui, N. Uchida, T. Yasuda and T. Yamaguchi 1987. Studies on the mechanism of salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) : Relation between salt content and photosynthesis. *Jpn. J. Trop. Agric.* 31 : 92—98.
18. Makino, A., T. Mae and K. Ohira 1983. Purification and storage of ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase from rice leaves. *Plant Cell Physiol.* 24 : 1169—1173.
19. 松橋 直・成内秀夫・臼井美津子 1981. 免疫学実験入門. 学会出版センター, 東京. 1—223.
20. Neale, P.J. and A. Melis 1989. Salinity-stress enhances photoinhibition of photosynthesis in *Chlamydomonas reinhardtii*. *J. Plant Physiol.* 134 : 619—622.
21. Ourry, A., M. Sylvie and B. Jean 1992. Effects of osmotic stress (NaCl and polyethyleneglycol) on nitrate uptake, translocation, storage and reduction in ryegrass (*Lolium perenne* L.). *New Phytol.* 120 : 275—280.
22. Paulsen, J.M. and M.D. Lane 1966. Spinach ribulose diphosphate carboxylase. I. Purification and properties of the enzyme. *Biochem.* 5 : 2350—2357.
23. Schachtman, D.P., A.J. Bloom and J. Dvorak 1989. Salt tolerant *Triticum* × *Lophopyrum* derivatives limit the accumulation of sodium and chloride ions under saline-stress. *Plant Cell Environ.* 12 : 47—55.
24. Schwarz, M. and J. Gale 1981. Maintenance respiration and carbon balance of plants at low levels of sodium chloride salinity. *J. Exp. Bot.* 130 : 933—941.
25. Seemann, J.R. and C. Critchley 1985. Effects of salt stress on the growth, ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species, *Phaseolus vulgaris* L.. *Planta* 164 : 151—162.
26. Seemann, J.R. and T.D. Sharkey 1986. Salinity and nitrogen effects on photosynthesis, ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase and metabolite pool sizes in *Phaseolus vulgaris* L.. *Plant Physiol.* 82 : 555—560.
27. Termaat, A., J.B. Passioura and R. Munns 1985. Shoot turgor does not limit shoot growth of NaCl-affected wheat and barley. *Plant Physiol.* 77 : 869—872.
28. Tsuchiya, M., H. Naito, H. Ehara and T. Ogo 1992. Physiological response to salinity in rice plant. I. Relationship between Na<sup>+</sup> uptake and transpiration under different humidity and salinity conditions. *Jpn. J. Crop Sci.* 61 : 16—21.

- 
29. Yeo, A.R. and T.J. Flowers 1983. Varietal differences in the toxicity of sodium ions in rice leaves. *Physiol. Plant.* 59 : 189—195.
30. Yeo, A.R., M.E. Yeo, S.J.M. Caporn, D.R. Lachno and T.J. Flowers 1985. The use of  $^{14}\text{C}$ -ethanediol as a quantitative tracer for the transpirational volume flow of water and an investigation of the effects of salinity upon transpiration, net sodium accumulation and endogenous ABA in individual leaves of *Oryza sativa* L.. *J. Exp. Bot.* 36 : 1099—1109.
31. 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 : 13—19.
-