

根損傷の軽減が塩土壌における移植イネの生育と乾物重におよぼす影響

津田 誠・上田裕紀枝・平井 儀彦
(応用植物科学コース)

The Effect of Prevention of Root Injury on Growth, Development and Dry Weight in Rice (*Oryza sativa* L.) Transplanted to Saline Soil

Makoto Tsuda, Yukie Ueda and Yoshihiko Hirai
(Course of Applied Plant Science)

Rice root has an important role in water absorption and exclusion of sodium ion in saline soil. However, it is injured during transplanting to paddy field. The objective of this study was to examine whether prevention of such root injury reduces salinity damage in rice. Extremely early rice cultivar "Akihikari" that is not salt tolerant was grown in plastic bags filled with soil. Roots of seedlings were clipped leaving 5mm~10mm, then transplanted to 5L pots filled with soil applied with 0g, 7g and 10g of sodium chloride (NaCl). The growth and dry weight at the mature stage was compared to those of plants transplanted with intact roots. Time of transplanting was 12, 19, 26 and 33 days after sowing. Increase of number of stems was suppressed due to root clipping and salinity, but there was no interaction between the two factors. Dry weight of total above ground part and panicle decreased due to salinity though root clipping did not change them. The reduction of panicle dry weight was caused by the reduction of mean number of spikelets per panicle, thus mean panicle dry weight, as number of panicles and mean spikelet dry weight showed no changes. It was concluded that prevention of the root injury may not effectively alleviate salinity damage in less salt tolerant rice cultivars.

Key words : Rice (*Oryza sativa* L.), Root clipping, Salinity, Tillering, Transplantation

緒 言

イネは塩害に弱い作物であるが、世界的な環境変化にともない土壌あるいは灌漑水の塩濃度が高い条件で栽培されることが増えている。日本では2011年の東日本大震災で津波による海水の浸入により多くの農地で土壌の塩濃度が上昇しているため、塩害対策が練られている²⁾。塩害の軽減は除塩によるところが大きい²⁾が、耐塩性作物の作付けも方法の1つである²⁾。イネには耐塩性の異なる品種が存在する^{1,4,5,12,13)}が、日本の品種は耐塩性が小さく^{1,12,13)}、耐塩性品種の育種を待たなければならない。一方、イネにおいて塩害の程度は気候によって変わる³⁾とともに塩害は栽培方法の工夫によっても軽減されるとい²⁾。したがって、栽培管理によって塩害地におけるイネの収量を改善することができると考えられた。

日本においてイネは、主として水田で移植栽培されている。そして移植作業によってイネ苗の根は、程度は異なるが損傷する。一般にこのような根の損傷は、吸水障害を通じてイネの生育に悪い影響を与える。一方、塩害が起こる原因は主として2つ考えられる^{6,8,11)}。1つは土壌水の塩類濃度が高いことによって浸透ポテンシャルが低下し、作物が吸水できなくなることによる植物体内の

水分不足である。もう1つは土壌に過剰に存在するナトリウムなどの有害なイオンが作物に吸収され、イオン過剰害が発生することである。イネ品種の耐塩性は、主として根でナトリウムイオンの吸収を防ぐ能力すなわちナトリウムイオン排除能によっている^{10,12,13)}。そのため耐塩性イネ品種の根を切除すると、耐塩性が失われる。したがって、移植によって根が損傷すると、塩土壌においては吸水阻害が大きくなるとともに、有害なナトリウムイオンなどの吸収が増えるので、塩土壌では根の損傷の影響が大きくなると考えられた。しかし本当にそのような影響があるかどうかは確かめられていないので、本研究で検討した。

材料と方法

イネは極早生品種アキヒカリを用い、岡山大学農学部実験圃場に設置されたビニールハウスで行った。ハウスは天井部分のみに無色透明のビニールを張り、雨の浸入を防いだ。比重1.06で選んだ種籾を25℃で3日間水に漬けた。5月30日にN:P₂O₅:K₂O=10:10:10の粒状化成肥料を2g混和した土壌を幅125mm、長さ200mmのビニ-

ル袋に詰め、一袋に1粒を播種した。6月11日に4Lの土壌を詰めた容量5Lのポットに移植し、これを1回目の移植時期(P1)とした。それから1, 2, 3週間後にも移植を行い、それぞれ、P2, P3, P4とした。それぞれの移植時期で移植前に根を剪定する剪根区(NR)と剪定しない区(WR)を設けた。移植時の損傷を想定し、NR区では根は5mm~10mmを残して切除した。さらにポットにはあらかじめ塩化ナトリウム(NaCl)を7gおよび10g混和したS7およびS10区、NaClを混和しない対照区(S0)を設けた。移植に当たってNR区では袋の土をポットに入れてから移植し、WR区では根を傷つけないように土とともに移植した。ポットには移植前にN:P₂O₅:K₂O=10:10:10の粒状化成肥料を5g施肥し、移植後は収穫まで湛水条件で栽培した。

長さ200mm、内径28mmの塩ビ管の一方の切り口に不織布を取り付けたものをポット内の土中に差し込んだ。塩ビ管の不織布のついた切り口を下にし、もう一方の切り口が水面上に出るようにした。不織布を通して水が浸出して塩ビ管内に土壤溶液がたまるため、この溶液の電気伝導度(EC)をECメーター(YOKOGAWA, SC82)で測定した。なお、測定の前に直径25mmの金属棒を塩ビ管に差し込み、塩ビ管内にたまっている水を排出し、新たに土壤水をためた。

移植後、主茎葉齢、草丈、茎数を調査し、出穂日を記録した。出穂後35日に地上部を採取し、穂、葉身および茎(葉鞘と茎)、ならびに枯死部に解体した。部位ごとに80℃に設定した通風乾燥機で3~7日乾燥したあとで乾物重を測定した。また、穂数を調査したのちに脱穀し、籾数を調査した。葉身は粉碎して、乾物200mgを180℃に設定した電熱器で3時間熱湯抽出した。抽出液に蒸留水を加え50mLとし、イオンメーター(HORIBA, C-122)を用いてNa濃度を測定した。実験区は移植時期、塩添加、根切除の3要因で、1ポットを反復として5反復の乱塊法とした。分散分析は統計言語Rを用いて行った。

結 果

移植時期が遅くなるほど苗の葉齢は大きくなり、P1が4.9であり、P4は9.7であった(Fig. 1)。葉齢および草丈の推移は塩処理および剪根の影響を受けなかったため、Fig. 1には移植時期ごとの平均値が示されている。葉齢でP4が遅れたことを除けば、葉齢と草丈は移植時期の影響を受けなかった。止葉葉位は移植時期、塩処理、剪根の3要因に影響されず、14であった。出穂日は塩処理の影響を受けなかったものの、移植時期が遅くなるほどP1の移植後60日からP4の64日まで遅れた。そして、剪根によって約1日出穂が遅れた。土壤水のEC値の平均は、S0が0.6dS m⁻¹であったのに対して、S7およびS10がそれぞれ2.5, 3dS m⁻¹であった。

茎数の推移は移植時期によって影響を受けた(Fig.

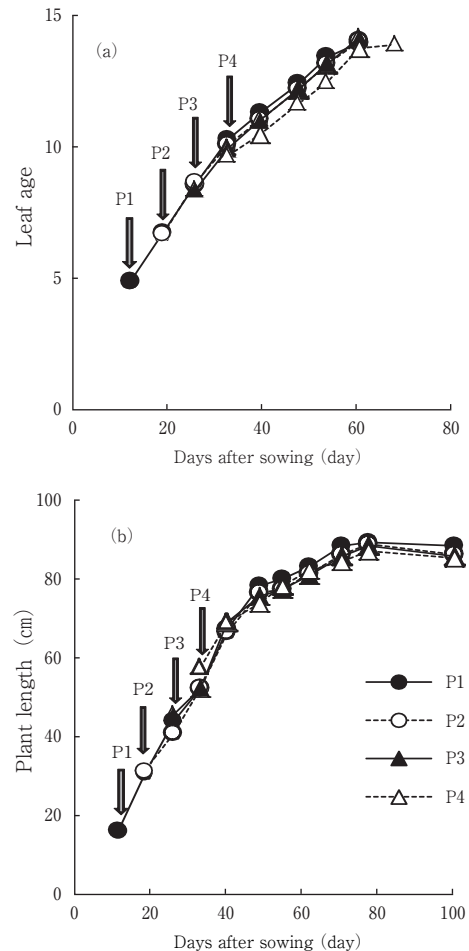


Fig. 1 Leaf age (a) and plant length (b) as affected by the time of transplanting in rice cv. Akihikari.

Arrows with P1~P4 indicate the times of transplanting. Values are means for time of transplanting since the effects of salinity and root treatment are not significant. Standard errors are within the symbols.

2). 移植時期が遅くなるほど茎数の最大値は低下したが、最終的な茎数は増加した。なお、P4では移植後に茎数の低下がみられ、大きな苗では植え込みが大きかった。剪根によって茎数の増加が抑制され、抑制程度はP3で最大であった。塩添加量が増えるほど茎数の増加が抑制される傾向があったが、最終的な茎数は剪根と塩添加の影響を受けなかった。

収穫時における地上部および穂のポットあたり乾物重の分散分析の結果をTable 1に示した。乾物重に有意な影響があったのは、移植時期と塩添加の要因のみであった。穂乾物重が最も大きかったのはP3とP2であり、これは剪根しても変わらなかった。塩添加による穂乾物重の低下は、平均してS7区で88%、S10区で77%に低下した。

ポットあたり穂乾物重を構成する要素としてポットあたり穂数(NoP)、平均1穂乾物重(DryPP)、平均1穂

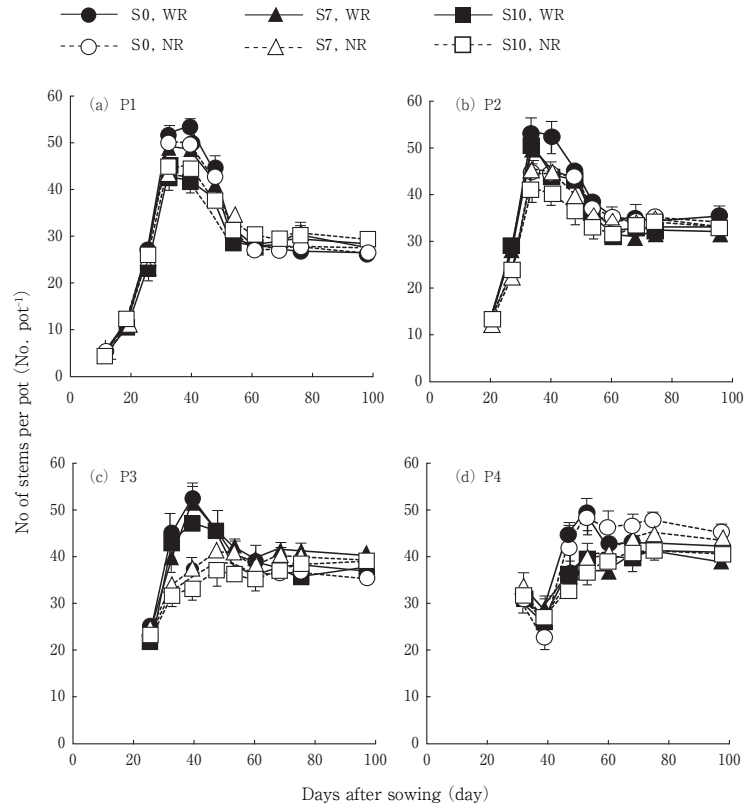


Fig. 2 Effects of the time of transplanting, salinity and root treatment on development of number of stems per pot in rice cv. Akihiari. (a)~(d) are the time of transplanting P1~P4, respectively. Symbols and bars are mean and standard error of five replicates. WR and NR indicate plants were transplanted with intact and clipped roots, respectively.

籾数 (NoSpP) および平均1 籾重 (DrySp) を算出し、分散分析した結果を Table 2 に示した。移植時期は4つの構成要素に影響を与え、塩添加は次に強い影響を与えた。ただし、塩添加はポットあたり穂数に有意な影響を与えず、平均1 籾重に対しては5%水準で有意であった。移植時期と塩添加の交互作用が平均1 穂乾物重と平均1 穂籾数で有意であったことを除けば、有意な影響は認められず、剪根も影響をおよぼさなかった。

ポットあたり穂乾物重と構成要素の関係を移植時期ごとにまとめたのが、Fig. 3 である。なお、移植時期ごとに有意な相関がみられた場合には、回帰直線が示してある。ポットあたり穂乾物重は平均1 穂乾物重と平均1 穂籾数と相関が強かったが、ポットあたり穂数と平均1 籾重との関係は弱かった。平均1 穂籾数と平均1 籾重の関係は弱かったため、ポットあたり穂乾物重は籾を多くつけた大きな穂であるほど大きかった。いいかえれば、塩添加によって穂の大きさが小さくなったため、ポットあたり穂乾物重が減少した。

収穫時の葉身 Na 濃度は平均して S0 が 1.0 mg g^{-1} であったのに対して、S7 と S10 でそれぞれ 4.6 mg g^{-1} と 6.2 mg g^{-1} と増加した。各移植時期ではポットあたり穂乾物重は葉身 Na 濃度が増加するほど低下した (Fig. 4)。

考 察

苗をビニール袋で育て移植時の根の損傷を抑えて移植したイネと剪根して移植したイネの生育と成熟期の乾物重を異なる塩濃度の土壌において比較した。剪根によって葉齢と草丈は影響を受けなかったものの茎数は抑制された (Figs. 1, 2)。また、出穂が剪根によって遅れたことから、剪根は移植後の生育に影響を与えていた。一方、塩添加によって成熟期の葉身 Na 濃度が高まると同時に穂の乾物重が低下し、塩の影響も明らかであった (Fig. 4)。このように塩害がみられる塩添加量であったが、成熟期の乾物重に関しては剪根と塩添加との間には交互作用がみられなかった (Table 1)。このように、移植時の剪根は塩害を増大させなかった。

どうして剪根は、塩に対する生育反応を変えなかったのだろうか。本研究で用いた品種アキヒカリは耐塩性ではなく、根のナトリウムイオン排除能が小さいと考えられる。したがって、剪根してもナトリウムイオンに対する効果が変わらなかったのであろう。日本の品種は耐塩性が小さい¹⁾ことを考慮すると、塩害の軽減対策として移植における根の損傷を防ぐことは重要ではないと推察された。ただし、今後根のナトリウムイオン排除能¹⁰⁾

Table 1 Statistical results for total above ground (DryT) and panicle dry weight (DryP) per pot for analysis of variance for the three factors (P : time of transplanting, S : salinity, R : root treatment) in rice cv. Akihiari

		DryT (g pot ⁻¹)			DryP (g pot ⁻¹)		
P	R	S					
		S0 ¹	S7 ²	S10 ³	S0	S7	S10
P1	WR ⁴	113	102	91	56.2	50.8	42.7
	NR ⁵	115	99	92	58.3	50.3	43.6
	MS ⁶	114	100	91	57.2	50.5	43.2
	MP ⁷		102			50.3	
P2	WR	126	97	98	62.1	46.8	46.0
	NR	121	112	96	62.0	55.0	46.9
	MS	124	104	97	62.1	50.9	46.4
	MP		108			53.1	
P3	WR	127	116	112	61.4	55.2	56.1
	NR	125	107	107	63.5	54.0	50.8
	MS	126	111	110	62.4	54.6	53.4
	MP		116			56.8	
P4	WR	114	97	84	53.4	46.0	34.7
	NR	94	94	80	42.5	43.0	36.0
	MS	104	96	82	47.9	44.5	35.3
	MP		94			42.6	
Source of variance		F-value					
P		21.01 *** ⁸			26.98 ***		
S		39.62 ***			40.85 ***		
R		1.96 ns			0.16 ns		
P × S		0.84 ns			1.26 ns		
P × R		1.59 ns			1.77 ns		
S × R		0.78 ns			0.41 ns		
P × S × R		1.20 ns			1.39 ns		

^{1, 2, 3}; NaCl was applied at a rate of 0 g, 7g and 10g per pot, respectively.

^{4, 5}; plants were transplanted with intact and clipped roots, respectively.

^{6, 7}; means for salinity level (S) and time of transplanting (P), respectively.

⁸; the level of significance ; ns : P > 0.05, * : 0.05 > P > 0.01, ** : 0.01 > P > 0.001, *** : 0.001 > P.

Table 2 F-value and the level of significance for number of panicles per pot (NoP), mean panicle dry weight (DryPP), number of spikelets per panicle (NoSpP) and mean spikelet dry weight (DrySp) for analysis for the three factors (P : time of transplanting, S : salinity, R : root treatment) in rice cv. Akihiari

Source of variance	Plant characteristics			
	NoP	DryPP	NoSpP	DrySp
P	29.71 *** ¹	42.50 ***	20.03 ***	31.64 ***
S	0.04 ns	30.68 ***	29.93 ***	4.77 *
R	0.42 ns	0.48 ns	0.01 ns	2.05 ns
P × S	1.94 ns	4.32 ***	3.14 **	2.08 ns
P × R	0.26 ns	0.71 ns	1.20 ns	0.43 ns
S × R	0.30 ns	0.14 ns	1.28 ns	0.75 ns
P × S × R	0.86 ns	1.31 ns	1.39 ns	1.18 ns

¹; the level of significance ; ns : P > 0.05, * : 0.05 > P > 0.01, ** : 0.01 > P > 0.001, *** : 0.001 > P.

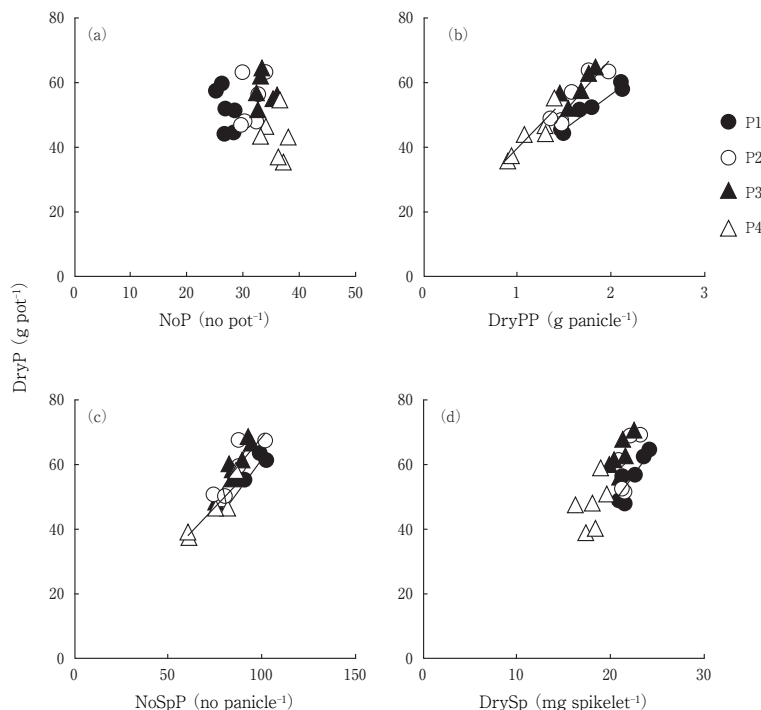


Fig. 3 Relationship of panicle dry weight per pot (DryP) against number of panicles per pot (NoP), mean panicle dry weight (DryPP), number of spikelets per panicle (NoSpP) and mean spikelet dry weight (DrySp) in rice cv. Akihiari. P1~P4 are the times of transplanting.

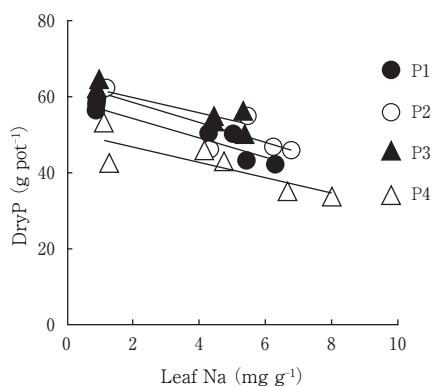


Fig. 4 Relationship between sodium concentration of leaf (Leaf Na) and panicle dry weight per pot (DryP) as affected by time of transplanting and salinity in rice cv. Akihiari.

を改善した耐塩性品種が開発されたときには、根の損傷を防ぐことが耐塩性を発揮させるための技術的要素になるかもしれない。

移植時期すなわち苗の葉齢は、4.9から9.7であり中苗から成苗以上の広い範囲であった (Fig. 1)。イネ苗の耐塩性は、一般に発育にともない強くなることが知られている⁴⁾。しかし穂乾物重が最大となる移植時期は、塩添加しても塩添加しないものと同じであった (Table 1)。したがって、移植時の耐塩性が異なっても、最終

的な穂乾物重に影響をおよぼさないと考えられた。

塩害では収量構成要素のうち穂数の低下が減収要因になるので、栽植密度を高くすることが塩害軽減対策の一つとされている²⁾。本研究では塩による穂数の低下は有意ではなく、平均1穂粒数の低下が穂乾物重の低下要因であった (Table 2, Fig. 3)。アキヒカリをポット栽培した別の研究においても1穂の大きさが減収の主因であった⁹⁾。さらに、耐塩性が異なる外国の品種をポット栽培で比較した研究においても穂数の減少が減収要因になる例は少なかった⁵⁾。塩害による減収をもたらす収量構成要素の違いは、品種の違いあるいは圃場とポットの栽培による違いによるものかはさらに検討が必要である。

苗における耐塩性の違いは、塩土壌に移植した直後の生育に与える影響が大きいものと考えられる。剪根した植物においても、新根が発生するにしたがい剪根の影響が消失するからである。このことから苗質の違いは、移植後早い時期に決まる収量構成要素すなわち穂数におよぼす影響が大きいと推測される。アキヒカリはポット栽培条件で穂数が安定しているため、根切除の有無が穂数そして最終的には穂乾物重に影響を与えなかったものと考えられた。

以上をまとめると移植時の根の損傷を軽減しても塩害の軽減効果は小さいと考えられた。その理由としては日本の品種は耐塩性が小さく根のナトリウムイオン排除能が小さいこと、穂数が塩に対して安定した形質であるこ

とがあげられた。

要 約

イネの根は吸水するとともにナトリウムイオンを排除する役割を持っている。水田移植栽培において根の損傷を防ぐことが効果的に塩害を軽減するかどうかを検討した。耐塩性の弱いイネ極早生品種アキヒカリを用い、土壌を詰めたビニール袋で育苗した。苗の根を5 mm~10 mm 残し切除して、塩化ナトリウム (NaCl) 0 g, 7 g, 10 g を土壌に添加したポットに移植し、根を傷つけないように移植した植物と生育と成熟期の乾物重を比較した。移植は播種後12日, 19日, 26日, 33日の4回行った。茎数の増加は根の切除および塩添加によって抑制されたが、二要因の交互作用はなかった。成熟期の地上部と穂の乾物重は塩添加によって減少したが、根切除の影響はなかった。穂の乾物重の減少は穂数と平均1 穂重が変わらなかったため、平均1 穂数数の低下による平均1 穂重の低下によっていた。以上の結果から耐塩性が小さい日本の品種において移植時の根の損傷を防ぐことは、塩害軽減に効果的でないと考えられた。

引用文献

- 1) Akita, S. and G. S. Cabuslay : Physiological basis of differential response to salinity in rice cultivars. *Plant Soil*, **123**, 277-294 (1990)
- 2) 荒井 (三王) 裕見子・小林伸哉・吉永悟志・高井俊之・近藤始彦 : 水稲の塩害とその対策. *農業および園芸*, **86**, 737-742 (2011)
- 3) Asch, F., M. Dingkuhn, C. Wittstock and K. Doerffling : Sodium and potassium uptake of rice panicles as affected by salinity and season in relation to yield and yield components. *Plant Soil*, **207**, 133-145 (1999)
- 4) Flowers, T. J. and A. R. Yeo : Variability in the resistance of sodium chloride salinity within rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *New Phytol.*, **88**, 363-373 (1981)
- 5) Makiyama, D., M. Tsuda, M. Morita, Y. Hirai and T. Kuroda : Effects of salinity on the growth and development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *J. Trop. Agr.*, 285-294 (1999)
- 6) 間藤 徹 : 高等植物の耐塩性機構. *植物細胞工学*, **3**, 268-272 (1991)
- 7) 松島省三 : 稲作の理論と技術, 養賢堂, 東京 (1959)
- 8) Munns, R. and M. Tester : Mechanisms of salinity tolerance. *Ann. Rev. Pl. Biol.*, **59**, 651-681 (2008)
- 9) 王俊剛・津田 誠・平井儀彦 : 塩土壌における幼穂形成期の水ストレスに対するイネの感受性の増加. *日本作物学会紀事*, **76**, 540-547 (2007)
- 10) Ren, Z. H., J. P. Gao, L. G. Li, X. L. Cai, W. Huang, D. Y. Chao, M. Z. Zhu, Y. Z. Wang, S. Luan and H. X. Lin : A rice quantitative trait locus for salt tolerance encodes a sodium transporter, *Nature Gen.*, **37** : 1141-1146 (2005)
- 11) 但野利秋 : 作物の耐塩性とその機構. *生物と化学*, **21**, 439-445 (1983)
- 12) 山内益夫 : イネにおける耐塩性の品種間差の発現機構. *日本土壤肥料学会誌*, **60**, 210-219 (1989)
- 13) 山内益夫 : 中生植物の耐塩性における品種間差の発現機構. *塩集積土壌と農業* (日本土壤肥料学会編), pp 155-176, 博友社, 東京 (1991)