

水耕栽培で2価鉄資材を与えた水稻品種 「ヒノヒカリ」の塩害軽減効果

丹下明久¹⁾・辺嘉賓^{2) 3)}・守屋明洋¹⁾・豊田正範¹⁾・楠谷彰人^{*1)}

(¹⁾ 香川大学農学部, ²⁾ 愛媛大学大学院連合農学研究科, ³⁾ 中国天津農学院)

Effect of Ferrous Iron on Salt Damage Reduction of Rice Cultivar “Hinohikari”

Akihisa TANGE¹⁾, JiaBin BIAN^{2) 3)}, Akihiro MORIYA¹⁾, Masanori TOYOTA¹⁾
and Akihito KUSUTANI¹⁾

(¹⁾ *Fac. of Agr., Kagawa Univ.*, ²⁾ *Unit. Grad. Sch. of Agr. Sci., Ehime Univ.*

³⁾ *Tianjin Agricultural Univ., China*)

中国の華北地域やインドなどの半乾燥熱帯地域、塩分濃度が高い水を灌漑に利用する湿潤地域などでは塩類土壌が広く分布している (阿江・有原 1989, 松本 1989, 1994, 佐藤 2003). このため、塩ストレスが作物の生育を阻害し (劉ら 2006, 2008, 豊田ら 1996, 土屋ら 1992, 山内 1994), 収量の低下を招くことは既に多くの報告によって指摘されている (Makiharaら 1999, 下瀬・関谷 1991, 王ら 2007). 塩ストレスを受けると、浸透圧の上昇による吸水阻害や細胞質のNa濃度増加による K^+/Na^+ 比の減少 (高橋 1989, 田中ら 2003), さらに、細胞内での液胞のpH上昇および細胞質のpH低下 (朽津 1993, Fukudaら 1998) など、生育障害が引き起こされる. 塩害軽減策として、カルシウムの葉面散布が効果的であることがこれまでに認められている (河崎・森次 1973 a, b, 大沢 1965, 堤・池田 2002, 2003, 山内ら 1983) が、鉄を与えても同様の効果が得られるかどうかはまだ報告されていない. そこで、本試験では水耕栽培した水稻品種「ヒノヒカリ」に2価鉄資材を与えたときの塩害軽減効果を検討した.

材料と方法

試験は、2008年に香川大学農学部網室内において、以下の方法によって行った.

6月30日に基準濃度の木村氏B液を満たした水槽 (20 L) にグロースポーチ (CYG, Mega International社) を10枚吊り下げ、それぞれの中に「ヒノヒカリ」を1粒ずつ播種した. グロー

スポーチには直径 5 mmの穴を多数開け、水槽内に設置したエアープンプを常時稼動させて、水耕液が内部に循環するようにした。培養液の更新は 4 日毎に行った。

処理として、木村氏B液に34 mmol L⁻¹の塩化ナトリウム（以下、NaCl）を加えたNaCl区とNaCl区に300倍希釈の 2 価鉄資材（鉄力あくあ、愛知製鋼社）を添加したNaCl+Fe区を設け、木村氏B液のみで栽培した無処理区を対照とした。なお、NaCl+Fe区に施用した 2 価鉄資材の鉄濃度は0.9 mmol L⁻¹であった。処理期間は葉齢が3.9前後であった 7 月 8 日から 7 月 22 日までの14日間とした。

処理開始前に12個体、処理終了後に各処理区 7 個体について、葉齢と葉面積および80℃で48時間熱風乾燥した後の部位別（葉、稈+葉鞘、根）乾物重を測定した。また、処理終了後に水槽から取り出した根の直径別根表面積と根長を劉ら（2008）の方法に従って調査した。

処理開始時と処理終了時の生育調査の結果に基づいて、処理期間中の相対成長率（RGR）、葉面積比（LAR）、純同化率（NAR）を次式により算出した。

$$RGR = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1)$$

$$LAR = \{(\ln W_2 - \ln W_1) / (W_2 - W_1)\} \cdot \{(LA_2 - LA_1) / (\ln LA_2 - \ln LA_1)\}$$

$$NAR = \{(\ln LA_2 - \ln LA_1) / (LA_2 - LA_1)\} \cdot \{(W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)\}$$

ここで、W₂、LA₂およびW₁、LA₁はそれぞれ処理終了時（t₂）と処理開始前（t₁）の全乾物重、葉面積を示す。

処理終了時のサンプルについて、乾物重測定後に鉄（Fe）、ナトリウム（Na）、カリウム（K）の含有率を調査した。すなわち、茎葉部と根に分けて破碎したサンプルを入れた瓶に1 mol L⁻¹塩酸を加え、24時間振とうした後に濾過した抽出液を適宜希釈して原子吸光光度計（Z-5000、日立社）でFe、Na、K含有量を定量し、それぞれの含有率を算出した。

第 1 表 処理終了時の生育特性および葉面積／根表面積比（LA／RA比）。

処理	葉齢 (L)	茎葉重 (g)	葉面積 (cm ²)	根表面積 (cm ²)	根重 (g)	根長 (cm)	LA/RA 比
無処理区	8.0 a	0.327 a	33.1 a	151.6 ab	0.118 a	1596 ab	0.218 ab
NaCl 区	7.8 a	0.219 a	25.3 a	107.2 b	0.077 b	1203 b	0.238 a
NaCl+Fe 区	8.0 a	0.297 a	32.0 a	169.3 a	0.117 a	1845 a	0.189 b

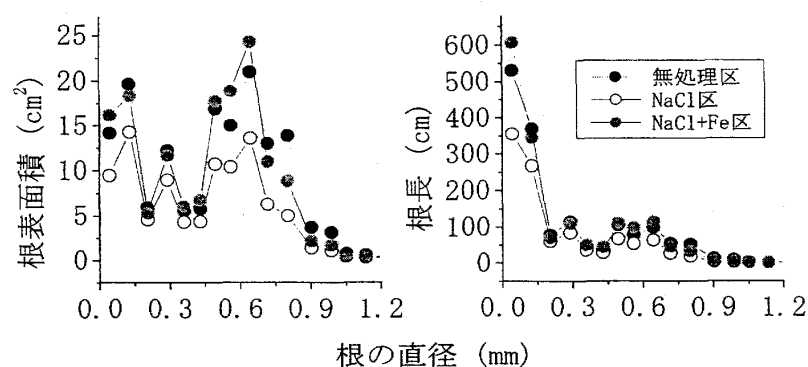
異なるアルファベットは、Tukey法により、処理間に5%水準で有意差があることを示す。

結 果

1. 処理終了時の特性

第1表に処理終了時の生育特性および葉面積と根表面積の比（以下、LA/RA比）を示した。葉齢は無処理区とNaCl+Fe区が8.0、NaCl区が7.8であった。茎葉重は無処理区の0.327 gが最も重く、NaCl区の0.219 gが最も軽かった。葉面積も無処理区の33.1 cm²が最も大きく、NaCl区の25.3 cm²が最も小さかった。ただし、これらの項目に有意な処理間差は認められなかった。なお、無処理区に枯死部は観察されなかったが、NaCl区とNaCl+Fe区では葉先の一部が枯死していた。根表面積をみると、NaCl+Fe区の151.6 cm²が最も大きく、NaCl区の107.2 cm²が最も小さかった。根長もNaCl+Fe区の1845 cmが最も長く、NaCl区の1203 cmが最も短かった。これらの間には有意差が認められた。根重は、無処理区とNaCl+Fe区がそれぞれ0.118 g、0.117 gで、NaCl区の0.077 gより有意に重かった。一方、LA/RA比はNaCl区の0.238が最高、NaCl+Fe区の0.189が最低で、NaCl区がNaCl+Fe区より有意に高かった。すなわち、NaCl+Fe区とNaCl区を比べると、NaCl+Fe区の方が有意に根表面積、根重、根長が大きく、LA/RA比が低かったが、NaCl+Fe区と無処理区との間には、いずれの項目においても有意差は認められなかった。

根の直径別根表面積および根長を第1図に示した。ただし、直径1.2 mm以上の根表面積、根長はそれぞれ0.5 cm²、1 cmに満たなかったもので、図では直径1.2 mmまでの範囲のみを示した。根表面積をNaCl+Fe区とNaCl区で比べると、直径が0 mmから0.169 mmの範囲と0.6 mm前後の根でNaCl+Fe区がNaCl区より大きかった。無処理区とNaCl+Fe区では、直径0.6 mm前後の根はNaCl+Fe区、直径0.8 mm前後の根は無処理区の方がそれぞれ大きかった。根長は、直径0.169 mm以下の根でNaCl+Fe区がNaCl区より長く、また、直径0.085 mm以下の根では、NaCl+Fe区が無処理区より長かったが、それ以上の太さではほぼ同じであった。なお、無処理区とNaCl+Fe区ではNaCl区よりも冠根や2次根、3次根が多く観察された。



第1図 根の直径別根表面積と根長。

2. 成長解析

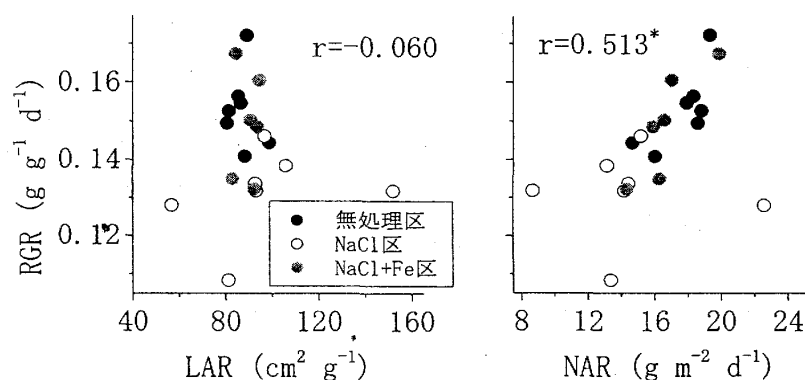
第2表に処理期間中のRGR, LAR, NARを示した。RGRは無処理区の $0.153 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ とNaCl+Fe区の $0.149 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ がNaCl区の $0.131 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ を有意に上回っていた。LARに有意な処理間差は認められなかったが、NARでは無処理区の $17.7 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ とNaCl+Fe区の $16.7 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ がNaCl区の $12.9 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ より有意に高かった。

RGRの変動要因を検討するため、LAR, NARとRGRとの関係を第2図に示した。LARとRGRとの間に有意な相関関係は認められなかったが、NARとRGRの間には5%水準で有意な正の相関関係が認められた。

第2表 処理期間中の相対成長率 (RGR), 葉面積比 (LAR), 純同化率 (NAR).

処理	(LAR), 純同化率 (NAR).		
	RGR ($\text{g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$)	LAR ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$)	NAR ($\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)
無処理区	0.153 a	87.0 a	17.7 a
NaCl 区	0.131 b	94.1 a	12.9 b
NaCl+Fe 区	0.149 a	89.6 a	16.7 a

異なるアルファベットは, Tukey法により, 処理間に5%水準で有意差があることを示す。



第2図 葉面積比 (LAR), 純同化率 (NAR) と相対成長率 (RGR) との関係。*: 5%水準で有意。

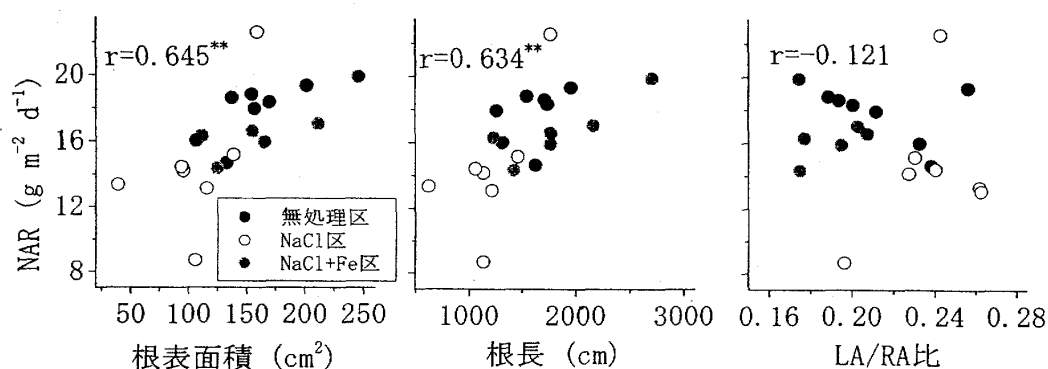
3. Fe, Na, K含有率

第3表は処理終了時の茎葉部と根のFe, Na, K含有率を示したものである。Fe含有率は, NaCl+Fe区が茎葉部 1.4 mmol g^{-1} , 根 6.6 mmol g^{-1} で, 両部位とも3処理区中最も高かった。しかし, 根ではNaCl+Fe区と他の処理区との間に有意差が認められたが, 茎葉部に有意な処理間差は認められなかった。Na含有率は, 茎葉部では無処理区 13.1 mmol g^{-1} , NaCl区 50.2 mmol g^{-1} , NaCl+Fe区 48.2 mmol g^{-1} , 根ではそれぞれ 32.9 mmol g^{-1} , 63.7 mmol g^{-1} , 71.7 mmol g^{-1} であり, 茎葉部, 根ともNaCl区およびNaCl+Fe区と無処理区との間に有意差が認められた。K含有率は, 茎葉部に有意な処理間差は認められなかったものの, 根についてみると, 無処理区の $118.5 \text{ mmol g}^{-1}$ とNaCl+Fe区の $122.2 \text{ mmol g}^{-1}$ がNaCl区の 76.1 mmol g^{-1} より有意に高かった。

第3表 処理終了時の茎葉部と根のFe, Na, K含有率.

処理	Fe (mmol g^{-1})		Na (mmol g^{-1})		K (mmol g^{-1})	
	茎葉	根	茎葉	根	茎葉	根
無処理区	0.8 a	1.6 b	13.1 b	32.9 b	344.1 a	118.5 a
NaCl 区	0.8 a	2.4 b	50.2 a	63.7 a	342.2 a	76.1 b
NaCl+Fe 区	1.4 a	6.6 a	48.2 a	71.7 a	326.6 a	122.2 a

異なるアルファベットは, Tukey法により, 処理間に5%水準で有意差があることを示す

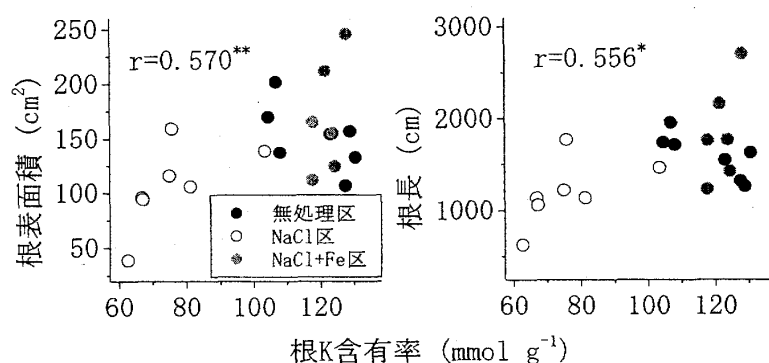


第3図 根表面積, 根長および葉面積/根表面積比(LA/RA比)と純同化率(NAR)との関係.

** : 1%水準で有意.

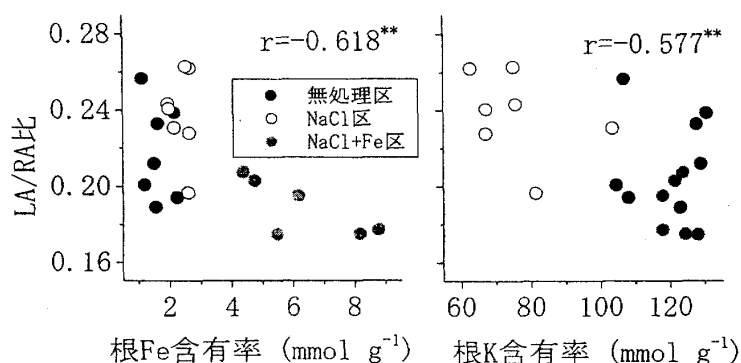
4. NARおよびLA/RA比の変動要因

2価鉄資材による塩害軽減機構を解析するため、NAR、根系形態、LA/RA比、根Fe含有率、根K含有率の相互関係を検討した。根表面積、根長およびLA/RA比とNARとの関係を第3図に示した。NARと根表面積および根長との間にはそれぞれ1%水準で有意な正の相関関係が認められたが、NARとLA/RA比とは無関係であった。第4図は根K含有率と根表面積および根長との関係を示したものである。根K含有率は根表面積と1%水準で、根長と5%水準でそれぞれ有意な正の相関を示した。根Fe含有率および根K含有率とLA/RA比との関係を第5図に示したが、いずれにおいても1%水準で有意な負の相関関係が認められた。



第4図 根K含有率と根表面積および根長との関係。

*, ** : 5%, 1%水準で有意。



第5図 根Fe含有率およびK含有率と葉面積/根表面積比(LA/RA比)との関係。

** : 1%水準で有意。

考 察

水稻は作物の中でも比較的耐塩性が弱く（下瀬・関谷 1991），とくに，「ヒノヒカリ」は幼植物耐塩性が弱い品種に分類されている（劉ら 2006）。

本試験では，地上部の形質である葉齢，茎葉重および葉面積に処理間差は認められなかった。ただし，無処理区に枯死部は観察されなかったものの，NaCl区とNaCl+Fe区では葉先の一部が枯死していた。一方，根については多くの形質に処理の影響が認められた。まず，NaCl+Fe区はNaCl区より有意に根量が多く，RGRが高くなることが確かめられた（第1，2表）。NaCl+Fe区における根量の増加は，劉ら（2008）の報告にある耐塩性品種の根系形態と同様に，直径0 mm～0.085 mmの細い2次根や3次根，直径0.085 mm～0.169 mmの太い2次根および直径0.6 mm前後の冠根の増加によるものと考えられる（第1図）。また，NaCl+Fe区のRGRの改善要因をLARとNARに分けて検討したところ，RGRの改善にはNARが強く関係していた（第2図）。すなわち，NaCl区では無処理区よりNARが有意に低くなったが，2価鉄資材を加えたNaCl+Fe区ではNARが無処理区と同水準に回復し，このことがRGRの改善に大きく影響していた。これらより，2価鉄資材による塩害軽減効果が確認されたので，その機構を塩ストレスによる生育障害の原因である浸透圧ストレスとイオンストレス（高橋 1989，田中ら 2003）の面から考察する。

まず，浸透圧ストレスについて，劉ら（2008）は，耐塩性が強い品種ほど茎葉部への水供給効率の指標となるLA/RA比が低く，NARが高かったことから，耐塩性品種は蒸散/吸水比が低く，茎葉部への水供給が効率的に行われ，このことが細胞の膨圧を通じて光合成速度の維持に寄与しているのではないかと推測している。本試験においても，NaCl+Fe区はNaCl区よりも有意に根量が多く，LA/RA比が低かった（第1表）。しかし，NARは根表面積および根長と有意な正の相関を示したものの，LA/RA比とは有意な相関を示さなかった（第3図）。したがって，NaCl+Fe区ではNaCl区より根量が多く，茎葉への水供給効率が高かったが，茎葉部への水供給効率は光合成速度に強く影響していなかったと判断される。一方，本試験と同様の品種，処理による模擬水田（1.5 m×1.5 m）での試験結果によると，NaCl+Fe区の成熟期における止葉の葉色（SPAD値）は無処理区の1.5倍以上も高かった。SPAD値と光合成速度との間に密接な関係が存在すること（楠谷ら 1993，中沢ら 1990）からみて，本試験においてNaCl+Fe区のNARがNaCl区よりも高くなったのは，Fe添加によって葉緑素含量が増加し，光合成速度が無処理区並みに回復したことによると推察される。先にも述べたように，耐塩性品種は塩ストレス下でも茎葉部への水供給が効率的に行われるために光合成能力が高く維持され则认为られている（劉ら 2008）が，本試験ではLA/RA比とNARとの間に有意な相関関係は認められなかった（第3図）。これらは，Fe添加による塩害軽減機構と耐塩性の品種間差をもたらす機構が異なっていることを示唆するが，その正否を確認するためには光合成速度を調査するなど，より詳しい検討が必要である。

イオンストレスについてみると，Maegawaら（1987）は塩ストレス下における葉身Na⁺含有量

が増大するほど光合成速度が低下することを報告している。また、水稻の耐塩性品種が塩ストレス下においても光合成速度を高く維持する機構には、葉身の Na^+ 排除能が関係していることが知られている（山内 1994）。すなわち、耐塩性が強い品種ほど蒸散量が多く、 Na^+ 排除が効率的に行われることが明らかにされている（劉ら 2008, 土屋ら 1992）。さらに、高濃度の NaCl 処理により K 、 Ca および Mg の吸収が阻害されることも多くの作物で認められている（河崎・森次 1973a, b, 下瀬・関谷 1991）。他方、 K 吸収は NO_3^- 吸収（一井・津村 1989, 池田 1986）および乾物生産（平井ら 1985, 一井・津村 1989）と密接な関係にあることが指摘されている。本試験の結果では、 NaCl 区と $\text{NaCl}+\text{Fe}$ 区の Na 含有率には、茎葉部、根とも有意差は認められなかった（第3表）。しかし、 K 含有率についてみると、茎葉部に処理間差は認められなかったものの、根では $\text{NaCl}+\text{Fe}$ 区と無処理区が同水準でともに NaCl 区より有意に高かった。 Fe 含有率も、茎葉部に有意差は認められなかったが、根では $\text{NaCl}+\text{Fe}$ 区が NaCl 区および無処理区より有意に高かった。また、根 K 含有率は根表面積および根長と正、根 Fe 含有率および根 K 含有率は LA/RA 比と負のそれぞれ有意な相関を示した（第4, 5図）。これらのことから、 $\text{NaCl}+\text{Fe}$ 区では、 NaCl 区と同程度の Na が茎葉部と根に蓄積されていながらも、根の K 、 Fe 吸収の増加に伴う LA/RA 比の低下が茎葉部への水供給効率を改善するとともに、これに根系の充実が相乗されて NAR の向上に寄与したと考えられる（第3図）。

植物の K 吸収には、根の表皮細胞や維管束の周辺細胞にある K^+ チャネルや K^+ トランスポーターが関与している（水谷ら 2003）。一方、水稻の Fe 吸収経路に関して、3価鉄はStrategy - II（森 2000）で、2価鉄は Fe^{2+} トランスポーター（Ishimaruら 2006）で吸収されることが知られている。このように各イオンの吸収機構は明らかにされつつあるが、塩ストレス下における Fe と K 吸収機構との相互関係はまだ解明されていない。本試験においても、根 K 含有率と根 Fe 含有率との間の相関係数は $r=0.321$ で有意ではなかった（図略）。

以上のことから、「ヒノヒカリ」に2価鉄資材を施与すると、 Na の吸収を抑制することはできないが、 RGR で判断した塩害は無処理区並みに軽減されることが判明した。また、その理由として、2価鉄資材の施用によって、根の K 吸収能が回復し、根量が無処理区と同程度に増加すること、さらに、根の Fe および K 含有率が高くなることで吸水能力と NAR の低下が抑えられることなどが考えられた。ただし、本試験の結果だけでは、 Fe 添加と光合成速度との直接的な関係および Fe が K 吸収に及ぼす影響については十分に解明することはできなかった。また、本試験は「ヒノヒカリ」のみを供試したが、他の感受性品種や耐塩性品種なども供試して検討する必要がある。さらに、本試験での処理期間は14日間で、比較的短期間の効果について検討したものである。長期的な影響についても、すでに述べた模擬水田や $1/2000$ a ワグネルポットで同様の実験を行い、成熟期まで栽培して検討した。その結果、これらの試験においても Fe 添加による塩害軽減効果は認められたが、規模が小さかったことあるいは枯死した株が多かったことからサンプル数の確保が難しく、詳しい

解析をするには至らなかった。併せて今後の課題としたい。

摘 要

基準濃度の木村氏B液のみで水耕栽培を続けた無処理区を対照とし、無処理区に34 mmol L⁻¹のNaClを加えたNaCl区、NaCl区に2価鉄資材 (0.9 mmol L⁻¹Fe)を加えたNaCl+Fe区を設け、2価鉄資材による「ヒノヒカリ」の塩害軽減効果を検討した。

1. NaCl+Fe区ではNaCl区と比べて有意に根量 (根表面積, 根重, 根長)が多く, 葉面積と根表面積との比 (LA/RA比)が低かった。また, 無処理区とNaCl+Fe区との間にはいずれの項目についてみても有意差は認められなかった。
2. 相対成長率 (RGR)と純同化率 (NAR)は無処理区とNaCl+Fe区でNaCl区より有意に高く, RGRの変動にはNARが強く影響していた。
3. NaClの添加によりNa含有率は茎葉部と根で有意に増大した。また, NaCl条件下でFeを施与すると, 根のFe含有率は有意に増加し, NaClによる根のK含有率の低下が無処理区と同程度に抑えられた。
4. NARの変動は根表面積, 根長と関係が強く, 根K含有率と根表面積, 根長との間に有意な正の相関関係が認められた。また, LA/RA比の変動には根K含有率と根Fe含有率が強く影響していた。
5. 以上のことから, 2価鉄資材による「ヒノヒカリ」の塩害軽減効果が確認された。しかし, その機構は耐塩性の品種間差をもたらす機構と異なっていると推察された。したがって, 今後は光合成関連特性およびK吸収機構の品種間差や長期的効果についての詳しい調査が必要である。

引用文献

- 阿江教治・有原丈二 1989. 半乾燥熱帯地域の土壌特性と作物栽培. II. 塩集積土壌と農業. 土肥要旨集 35:203—204.
- Fukuda, A., Y. Yazaki, T. Ishikawa, S. Koike and Y. Tanaka 1998. Na⁺/H⁺ Antiporter in Tonoplast Vesicles from Rice Roots. *Plant Cell Physiol.* 39:196—201.
- 平井源一・高橋誠・田中修・那須裕 1985. 大気湿度が水稻の生育ならびに生理に及ぼす影響. 第4報 無機養分の吸収に及ぼす影響. *日作紀* 54:141—145.
- 一井眞比古・津村英男 1989. イネ幼植物における無機養分吸収速度の生態種 (型) 間変異. *日作紀* 58:7—12.
- 池田元輝 1986. 無機窒素の吸収・同化と植物生育. 日本土壌肥料学会編, 植物生産性の生理生化学. 博友社, 東京. 75.
- Ishimaru, Y., M. Suzuki, T. Tukamoto, K. Suzuki, M. Nakazono, T. Kobayashi, Y. Wada,

- S. Watanabe, S. Matsumoto, M. Takahashi, H. Nakanishi, S. Mori and N.K. Nishizawa 2006. Rice plants take up iron as an Fe^{3+} -phytosiderophore and as Fe^{2+} . *Plant J.* 45: 335—346.
- 河崎利夫・森次益三 1973 a. 作物による一価カチオンの吸収・移行に対するカルシウムの影響—特に作物の塩類濃度障害との関連について—(その1 トウモロコシおよびインゲン) 作物根の一価カチオンに対するカルシウム効果(第6報). *土肥誌* 44:89—96.
- 河崎利夫・森次益三 1973 b. 作物による一価カチオンの吸収・移行に対するカルシウムの影響—特に作物の塩類濃度障害との関連について—(その2 大麦および水稻) 作物根の一価カチオンに対するカルシウム効果(第7報). *土肥誌* 44:133—137.
- 朽津和幸 1993. 塩ストレスと生体膜—液胞の機能を中心として—. *研究ジャーナル* 16:18—22.
- 楠谷彰人・白石浩司・谷口政謙・三橋健・市原稔久・上田一好・浅沼興一郎 1993. 水稻における葉色と収量関連特性との関係. *日作四国支紀* 30:62—63.
- 劉建・辺嘉賓・塩津文隆・豊田正範・楠谷彰人 2006. 中国産水稻品種の耐塩性. *日作紀* 75:311—317.
- 劉建・辺嘉賓・塩津文隆・S. C. Ghosh・豊田正範・楠谷彰人 2008. 水耕栽培で塩ストレスを与えた水稻品種の耐塩性と根系形態. *日作紀* 77:326—332.
- 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. Agri.* 31:92—98.
- Makihara, D., M. Tsuda, M. Morita, Y. Hirai and T. Kuroda 1999. Effect of salinity on the growth and development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Jpn. J. Trop. Agr.* 43: 285—294.
- 松本聰 1989. 世界における塩集積土壌の分布とその特性. II. 塩集積土壌と農業. *土肥要旨集* 35: 197—198.
- 松本聰 1994. 土壌の塩集積と砂漠化. *土と基礎* 42:19—24.
- 水谷昭文・佐藤陽子・松田信行・加藤靖浩・魚住信之 2003. カリウムイオン輸送系と生理的役割. 加藤潔他監修, 植物細胞工学シリーズ18. 秀潤社, 東京. 40—47.
- 森敏 2000. 新しい世紀への植物栄養の展望. 1. アルカリ土壌での鉄欠乏耐性植物の創製. *土肥誌* 71:565—574.
- 中沢文男・角田公正・鳥倉弘文 1990. 水稻多収性品種の光合成特性について. 第1報 個葉の光合成速度. *日作紀* 59:72—79.
- 大沢孝也 1965. 蔬菜の耐塩性に関する研究. とくに無機栄養に関して. *大阪府大紀要, 農学・生物学* 16:13—57.

- 佐藤文彦 2003. 中国の塩害・乾燥地視察報告—河北省の塩類集積土壌を見学して—, 植物の生長調節 38:139—141.
- 下瀬昇・関谷次郎 1991. 植物の耐塩性と無機養分の吸収について, 岡山大農学報 77:21—29.
- 高橋英一 1989. 作物における塩害発生の機構と耐塩性. II. 塩集積土壌と農業, 土肥要旨集 35:201—202.
- 田中喜之・福田篤徳・中村敦子 2003. ナトリウムイオン輸送と耐塩性, 加藤潔他監修, 植物細胞工学シリーズ18, 秀潤社, 東京, 129—137.
- 豊田正範・楠谷彰人・M. Juan Larrinaga・浅沼興一郎 1996. メキシコ産トウモロコシの耐塩性に関する研究. 第1報 塩ストレスによる乾物生産速度低下の品種間差異の解析, 日作四国支紀 33:90—91.
- 土屋幹夫・内藤整・江原宏・小合龍夫 1992. 塩分濃度に対するイネの生理反応に関する研究. 第1報 蒸散と Na^+ の吸収移行の関係について, 日作紀 61:16—21.
- 堤智子・池田武 2002. カルシウム溶液の葉面散布が塩ストレス下のイネの回復に及ぼす影響, 日作紀 71 (別2):218—219.
- 堤智子・池田武 2003. カリウムおよびカルシウム溶液の葉面散布が塩ストレス下のイネの生育に及ぼす影響, 日作紀 72 (別2):392—393.
- 王俊剛・津田誠・平井儀彦 2007. 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, 日作紀 76:540—547.
- 山内益夫 1994. 中生植物の耐塩性 (2), 日砂丘誌 41:66—73.
- 山内益夫・島田義明・吉田昌一 1983. 水稻における塩化ナトリウム高濃度処理による生育障害の軽減に対するカルシウムイオンの効果, 土肥誌 54:499—504.