

土壌の塩濃度と量の違いがイネの水利用と乾物生産に及ぼす影響

哈布日・津田誠・平井儀彦

(岡山大学大学院自然科学研究科)

要旨：塩ストレスと同時に水ストレスが作物生産を低下させることが増えると指摘されているので、塩濃度と量が異なる土壌においてイネの水利用と乾物生産および根成長の関係を明らかにした。容量の異なるポットに1~10 kgの土壌を入れ、各土壌1 kgあたり1 gと2 gの塩化ナトリウム(NaCl)を入れた溶液を土壌重の50%加える2区およびNaClを加えない区を設けた。耐塩性品種IR4595-4-1-13と普通品種日本晴を移植して、その後給水しなかった。葉身の伸長停止で成長が止まったものとし、その日のイネの乾物重とNa⁺含有率および土壌残存水分量を測定した。地上部と根の乾物重は土壌の量が多いほど大きく、土壌NaCl濃度が増えるほど低下した。地上部乾物重は、地上部Na⁺含有率の増加にしたがい低下した。土壌残存水分量は土壌の量とNaCl濃度が高いほど多かったため、蒸発散量は土壌NaCl添加によって低下した。そして地上部乾物重は蒸発散量に比例的に大となった。土壌残存水分含有率はNaCl無添加土壌では根が十分に成長して低い値であったが、塩濃度が高く量が多い土壌では根の成長が小さく土壌残存水分含有率は高かった。以上から塩土壌においてもイネの乾物生産は蒸発散量に比例的に大となると同時に蒸発散量の低下はイネ根の成長阻害によって利用できる土壌水分量が減少するためであると考えられた。

キーワード：イネ、塩ストレス、乾物生産、蒸発散量、耐塩性、土壌水分、水ストレス。

塩土壌は世界各地に存在し、植生とともに農業生産に影響を与えている(Kovda and Szabolcs 1979)。これらの塩土壌に加えて灌漑などの人間の活動による土壌の塩類集積が広がっており、乾燥地および半乾燥地を中心に毎年150万ヘクタールもの灌漑農地が主として塩類集積によって放棄されている(Ghassemi ら 1995)。一方、地球規模の環境変動(IPCC 2007)にともないとくにアジアやアフリカの低緯度地域を中心として干ばつの発生および塩類集積した農地においても水不足の発生が増加すると予測されている(Balasubramanian ら 2007, Bhattacharjee ら 2011, Prabhakar ら 2011, Singh ら 2011)。水不足が起こる塩土壌における作物生産の研究はコムギ、オオムギで行なわれてきた(Grewal 2009, 哈布日ら 2012)が、イネではまだ少ない(王ら 2007)。

土壌水分が十分な条件下と同様に干ばつ条件下においても作物の乾物生産は、一般に蒸散量に比例的に増加する(Ludlow and Muchow 1990, Loomis and Conner 1992, Kobata ら 1996)。水分が十分である条件下で水利用効率が塩分の影響をあまり受けないことは、多くの作物(Shalhevet 1994)と同様にイネ(Flowers ら 1988)でも報告された。哈布日ら(2012)は土壌水分が限られている塩土壌でコムギとオオムギの乾物生産が蒸発散量の減少とともに低下することを示した。したがって干ばつ条件下の塩土壌においても蒸発散量が多いほど乾物生産が高いと考えられた。

干ばつ条件下で作物は根を広く張ることや深根性によって利用可能な水分量を大きくして、蒸散量を増加させた(Yoshida and Hasegawa 1982, Ludlow and Muchow 1990, Kobata ら 1996, Turner ら 2001, Sie ら 2009, Serraj ら 2009)。イネ根

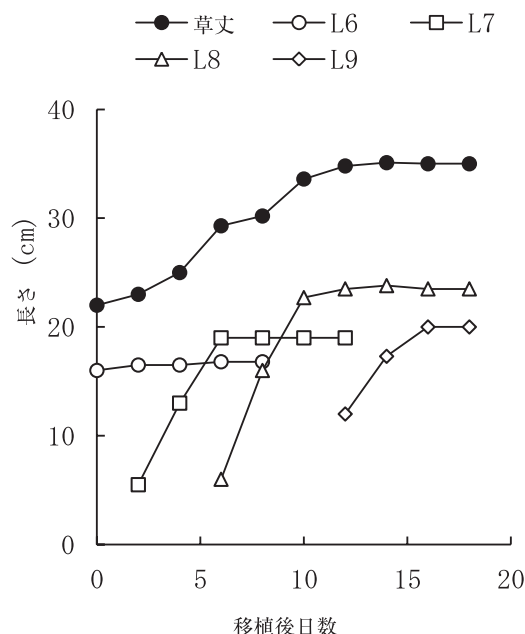
の成長は塩ストレスによって抑制される(Akbar ら 1972, Lutts ら 1995, 劉ら 2008)ことから、塩土壌では根域が制限されるため蒸散量が低下すると考えられた。一方、コムギ、オオムギでは総根長は塩ストレスによって変わらないものの土壌に残存する水分が土壌Na⁺含有率に比例的に増加したことから、高い土壌塩濃度もまた根の吸水を阻害すると考えられた(哈布日ら 2012)。したがって塩土壌においてはイネでも利用できる水分は、根の成長低下と高い土壌Na⁺含有率によって減少すると考えられるが、どちらの要因がより重要であるかは研究されていない。

そこで本研究ではNa⁺含有率と量が異なる土壌で土壌に存在する水分のみでイネを栽培し、乾物生産が蒸散量に比例するかどうかおよび吸水される土壌水分量が根の成長に依存するかどうかを検討した。

材料と方法

実験は、岡山大学農学部研究圃場で2008年に行なわれた。イネ耐塩性品種IR4595-4-1-13(以下IR4595)と対照品種として非耐塩性の普通品種日本晴を用いた。種籾を水に漬け、25℃に設定した恒温器内で催芽した。5月15日に成苗移植用ポット(みのる産業株式会社製、みのるポット)に1穴1粒ずつ播種して、畑状態で育苗した。

容量1 Lポットに1 kg、5 Lポットに2 kgと4 kg、13 Lのポットに6 kgと10 kgの篩って乾燥した水田土壌を入れた。土壌の表面積は土壌1~10 kgでそれぞれ、92, 305, 314, 527, 539 cm²となった。土壌1 kg当たりに高度化成肥料(N:P₂O₅:K₂O = 16:16:16)を0.8 g混ぜた。土壌重の50%の水に土壌1 kgあたり1 gおよび2 gの塩化ナトリ

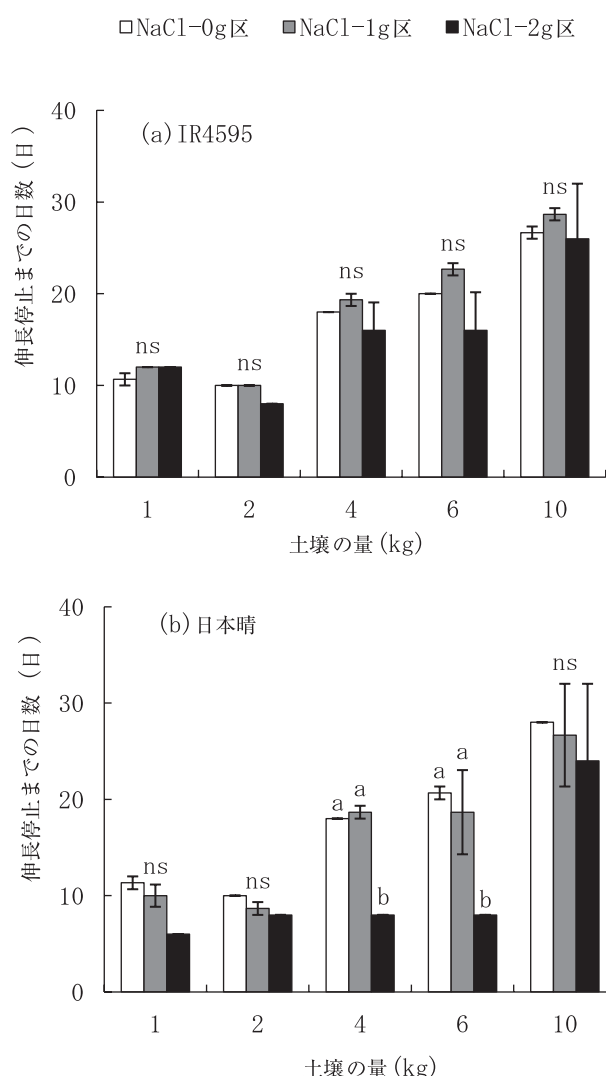


第1図 草丈と伸長中の葉の長さの推移。

日本晴、土壌 4 kg の NaCl-0 g 区 1 個体の測定例で、L6～L9 は第 6～9 葉を示す。

ウム (NaCl) を溶かしてポットに灌水し、NaCl-1 g 区および NaCl-2 g 区とした。塩を加えない水をポットに灌水したものは、NaCl-0 g 区とした。なお、土壌 1 kg あたり NaCl 添加量 2 g は、当研究室で水稻を湛水条件で栽培したとき NaCl を添加しないで栽培したときの約 30% に低下する濃度であった (王ら 2007)。すなわち、塩土壌が作物の生存ではなく収量に影響をおよぼす水準と考えて設定した。反復は、1 ポット 1 反復として、3 反復行なった。水と NaCl 溶液は 6 月 4 日に加え、6 月 6 日にポットあたり 1 個体を移植した。容器全体の移植前と移植後の重さを測定して記録した。移植後に給水しなかったため、イネは移植時に土壌中に存在する水分のみで成長した。

移植した日から朝 9 時に草丈および伸長中葉身の抽出長を測定した。第 n 葉の抽出長は、第 $(n-1)$ 葉の葉耳から第 n 葉の先端までとした。測定は 2 日ごととし、2 日間の増加が 0.5 cm 以下になった日に葉の伸長が止まったとみなして、ポット全体の重さを測定した。蒸発散量は、移植時から伸長停止日までのポット重減少量とした。そしてポット全体重からポットと土壌乾燥重を引いた値を土壌残存水分量とした。地上部を採集すると同時に根は水で土を洗い流して 2.0 mm 目のメッシュで回収し、80℃で 3 日間乾燥させ、乾物重を測定した。枯死部、茎葉部の乾物重を測定後、乾物試料を小型粉砕機で粉砕し、0.2 g を秤量し一晩 80℃に設定したオープン内で乾燥させた。室温で 30 分間放冷後、乾物重を測定し約 12 mL の蒸留水とともに試験管 (120 mL 容) に入れ、180℃に設定したホットプレートで 3 時間熱湯抽出した。得られた抽出液はメスフラスコを用いて 25 mL にメスアップし、イオンメーター (堀場製作



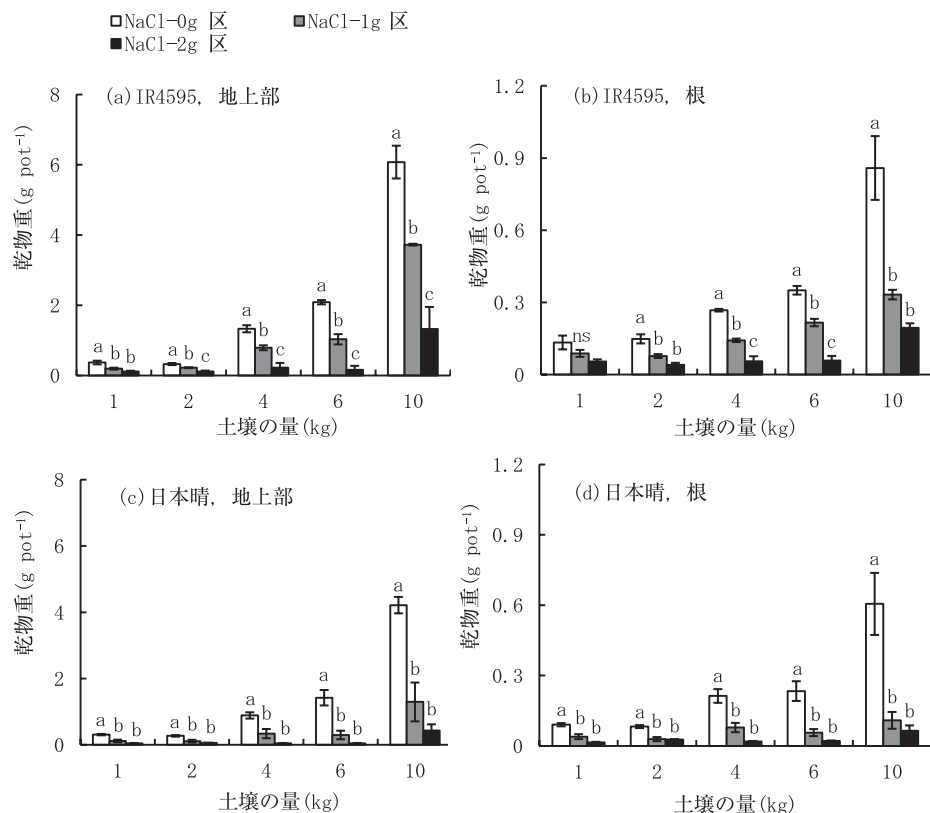
第2図 イネ 2 品種 IR4595 (a) と日本晴 (b) における土壌の塩濃度と量が移植から葉身の伸長停止までの日数に及ぼす影響。

NaCl-0 g 区、NaCl-1 g 区、NaCl-2 g 区は、それぞれ土壌 1 kg あたり NaCl を 0 g、1 g、2 g 混和した。値は 3 ポットの平均値で、バーは標準誤差を示す。同じ土壌の量で同じアルファベットの間には Tukey 法で有意な差がないこと、ns は平均値間に有意な差がないことを示す。

所 (株) 製、C-122) により Na^+ 含有率を分析した。

結 果

第 1 図は、草丈と主茎各葉位の葉身抽出長の変化を例示したものである。移植は主茎第 6 葉が伸長を終えるころであった。第 7、8 葉の抽出は移植後 8、12 日まで続いたが、草丈の増加は 14 日まで認められた。草丈の増加が認められなくなった後、第 9 葉の抽出が続き、抽出速度が 2 日で 0.5 cm より少なくなった日は、第 9 葉で移植後 18 日であった。そのとき新しい葉の抽出は認められず、植物体を採集した。このように求めた葉身の抽出が停止するまでの日数は、土壌の量が多いほど長くなった (第 2 図)。葉身の抽出が停止するまでの日数は IR4595 で NaCl 添加の影響をほと



第3図 イネ品種 IR4595 (a, b) と日本晴 (c, d) における土壌の塩濃度と量が葉身抽出停止日の地上部 (a, c) と根 (b, d) の乾物重に及ぼす影響。

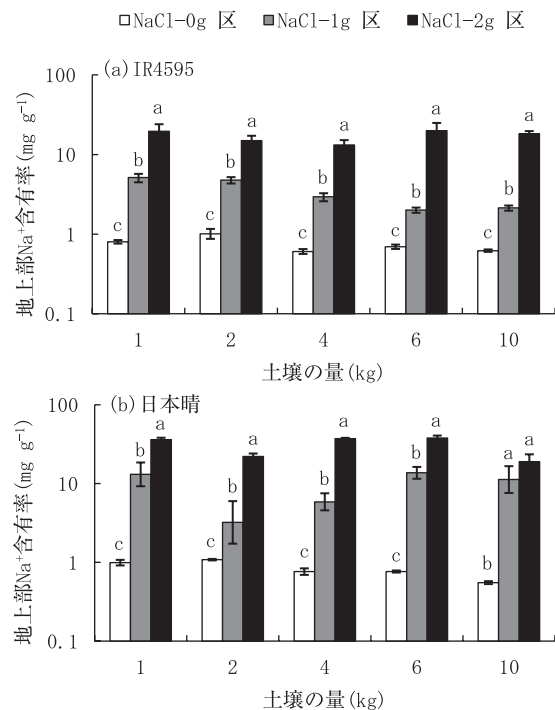
NaCl-0 g 区, NaCl-1 g 区, NaCl-2 g 区は, それぞれ土壌 1 kg あたり NaCl を 0 g, 1 g, 2 g 混和した。値は 3 ポットの平均値で, バーは標準誤差を示す。同じ土壌の量で同じアルファベットの間には Tukey 法で有意な差がないことを示す。

んど受けなかったものの, 日本晴では土壌 10 kg を除くと NaCl-2 g 区が NaCl-0 g 区と NaCl-1 g 区より短くなった。

最終的な地上部乾物重は土壌の量が多いほど大きく, 土壌塩濃度が高いほど小さかった (第3図 a, c)。土壌塩濃度の増加にともなう乾物重の低下程度は, 品種で差があった。地上部乾物重は土壌の量が同じ NaCl-0 g 区を基準にして NaCl-1 g 区では日本晴と IR4595 でそれぞれ平均 70%, 41% の低下で, NaCl-2 g 区ではそれぞれ平均 91%, 81% の低下であった。地上部乾物重は移植時に IR4595 と日本晴でそれぞれ個体あたり 0.11 g および 0.08 g であった。最終的な乾物重は IR4595 で移植時より増えていたものの, 日本晴の NaCl-2 g 区では土壌 10 kg を除いて移植時より低下していた。根の乾物重は地上部乾物重と同様に土壌が多いほど大きく, 土壌塩分濃度が高いほど低下した (第3図 b, d)。なお, 乾物重の塩による低下程度は地上部と根で類似していた。例えば各土壌量で NaCl-0 g 区と比較して NaCl-1 g 区の根乾物重は, 異なる土壌量区を平均して日本晴で 74%, IR4595 で 51% の低下であった。このように地上部と根の乾物重の塩による低下程度は, IR4595 より日本晴が大きかった。

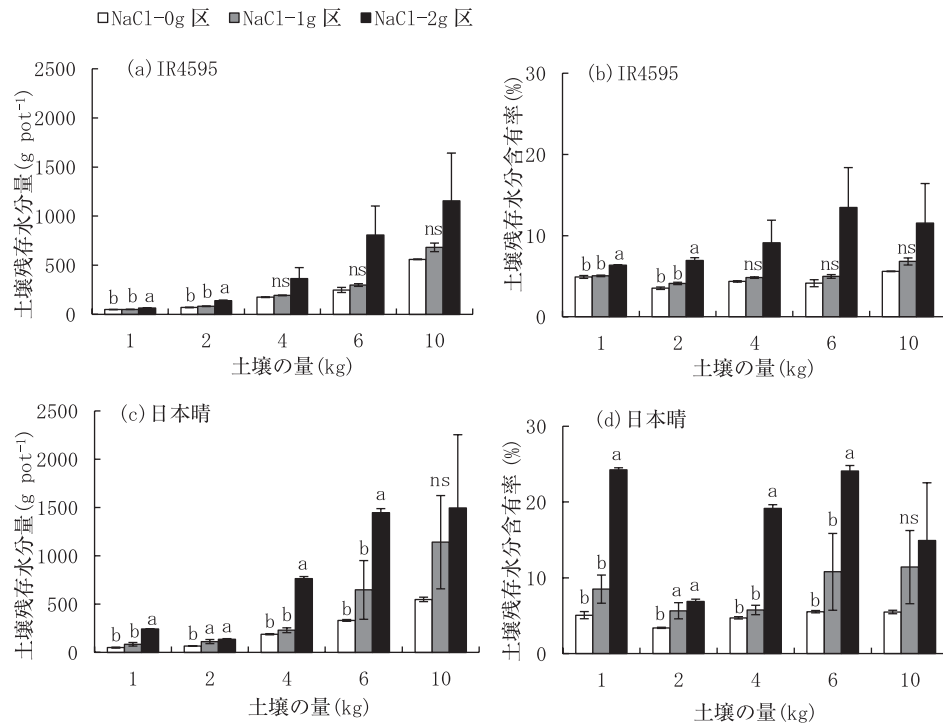
地上部 Na⁺ 含有率は, 土壌量にかかわらず土壌塩濃度が高いほど大となった (第4図)。地上部の Na⁺ 含有率は, NaCl-1 g 区で日本晴では平均 10 mg g⁻¹, IR4595 で 3 mg g⁻¹, NaCl-2 g 区ではそれぞれ 31 mg g⁻¹, 21 mg g⁻¹ となり, 日本晴で Na⁺ の蓄積が大きかった。

伸長停止日に土壌に残っている土壌残存水分量は日本晴



第4図 イネ品種 IR4595 (a) と日本晴 (b) における土壌の塩濃度と量が地上部の Na⁺ 含有率に及ぼす影響。

NaCl-0 g 区, NaCl-1 g 区, NaCl-2 g 区は, それぞれ土壌 1 kg あたり NaCl を 0 g, 1 g, 2 g 混和した。値は 3 ポットの平均値で, バーは標準誤差を示す。同じ土壌量で同じアルファベットの間には Tukey 法で有意な差がないことを示す。



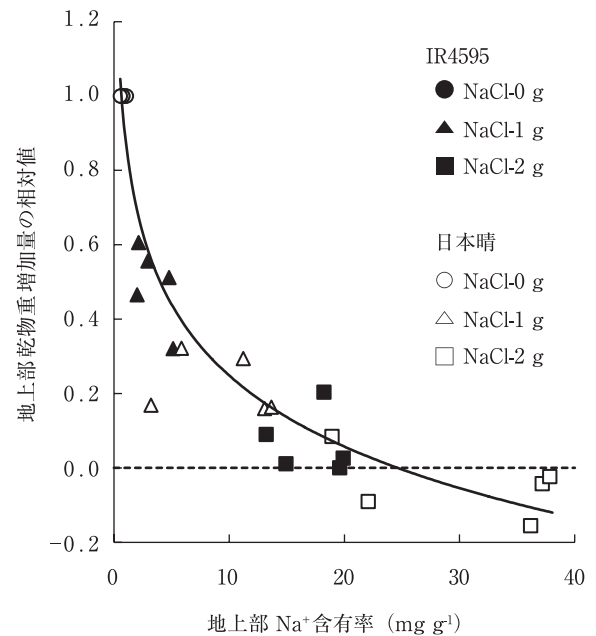
第5図 イネ2品種 IR4595 (a, b) と日本晴 (c, d) における土壌の塩濃度と量が最終的な土壌残存水分量 (a, c) と土壌残存水分含有率 (b, d) に及ぼす影響。

NaCl-0 g 区, NaCl-1 g 区, NaCl-2 g 区は, それぞれ土壌 1 kg あたり NaCl を 0 g, 1 g, 2 g 混和した。値は 3 ポットの平均値で, バーは標準誤差を示す。同じ土壌の量で同じアルファベットの間には Tukey 法で有意な差がないこと, ns は平均値間に有意差がないことを示す。

の方が IR4595 よりも多いと同時に, 土壌が多いほど, そして土壌塩濃度が高いほど多かった (第5図 a, c)。土壌残存水分含有率は, NaCl-0 g 区では土壌の量と品種による変化はほとんどなく平均約 5% であった (第5図 b, d)。土壌残存水分含有率は塩濃度が高いほど大きくなると同時に, 値は日本晴の方が IR4595 よりも大きかった。

地上部乾物重の増加量を各品種の NaCl-0 g 区の値に対する相対値で表し, 地上部 Na^+ 含有率との関係を調べた (第6図)。増加量の相対値は, Na^+ 含有率の小さな増加に対して大きく低下した。そして, 地上部 Na^+ 含有率が 20 mg g^{-1} を超えると乾物重増加量の相対値は負の値になった。なお, 乾物重増加量の相対値と Na^+ 含有率との関係は 2 品種でほとんど変わらなかった。

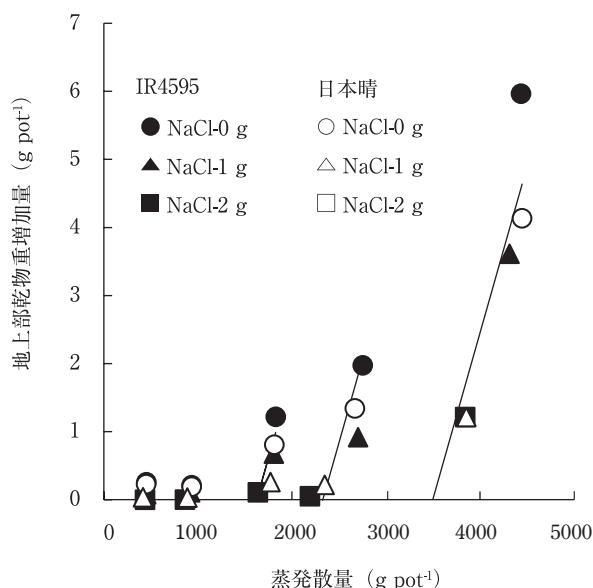
日本晴の NaCl-2 g 区ではほとんど乾物重の増加が見られなかった, これらの値を除いてダミー変数を用いた重回帰分析を行なった。その結果, 各土壌量で 2 品種を込みにして蒸発散量が 1 kg 増えると地上部乾物重が個体あたり 4.9 g 増える関係が認められた ($R^2=0.916$, $P<0.001$) (第7図)。このように地上部乾物重の増加量は, それぞれの土壌量で蒸発散量が多いほど大であった。なお, 回帰線と x 軸との交点の値は土壌からの蒸発量を示すが, 土壌が多いほど大きくなり, 約 $420\sim 3500 \text{ g pot}^{-1}$ の変異があった。蒸発量は土壌の表面積よりも土壌量との相関関係が強かった (データ示さず)。



第6図 土壌の塩濃度と量が異なるポットで栽培したイネ品種 IR4595 と日本晴の地上部 Na^+ 含有率と地上部乾物重増加量の相対値の関係。

NaCl-0 g, NaCl-1 g, NaCl-2 g は, それぞれ土壌 1 kg あたり NaCl を 0 g, 1 g, 2 g 混和した区を示す。図中の曲線はすべてのデータを用いてあてはめた。

$y = 0.784 - \ln(x - 0.270)$ $R^2=0.942$ ($P<0.001$) である。



第7図 土壌の塩濃度と量が異なるポットで栽培したイネの蒸発散量と地上部乾物重増加量の関係に及ぼす影響。

NaCl-0 g, NaCl-1 g, NaCl-2 g は、それぞれ土壌 1 kg あたり NaCl を 0 g, 1 g, 2 g 混和した。データのグループは左から土壌の量 1 kg, 2 kg, 4 kg, 6 kg, 10 kg である。なお、日本晴 NaCl-2 g 区は除いた。

図中の直線はダミー変数を用いた重回帰である。

$$y = 0.00488x + m \quad (R^2 = 0.916, P < 0.001)$$

m の値は土壌の量によって異なり、1 kg; -2.038, 2 kg; -4.32, 4 kg; -8.03, 6 kg; -11.46, 10 kg; -17.16 である。

第8図 g は根重密度と土壌残存水分含有率の関係をまとめ、全体の傾向を示すために指数関数をあてはめたものである。根重密度が 30 mg kg^{-1} より小さいと根重密度に関わらず土壌残存水分含有率が大きくなるが、この値より大きいと水分含有率は $3.4\% \sim 8.5\%$ の範囲で平均 5.2% であった。それぞれの塩濃度でみると NaCl-0 g 区では土壌の量に関わらず根重密度は 30 mg kg^{-1} を超えていると同時に水分含有率は平均 4.7% と低かった(第8図 a, d)。土壌塩濃度が高い NaCl-1 g 区では根重密度は IR4595 で 30 mg kg^{-1} を上回ったが、日本晴ではほぼその値以下であった(第8図 b)。これに対応して土壌残存水分含有率は IR4595 で平均 5.2% であったが、日本晴では 8.4% と高かった(第8図 e)。さらに塩濃度が高い NaCl-2 g 区では根重密度は IR4595 の方が大きかったが2品種とも平均 30 mg kg^{-1} 以下であり、土壌残存水分含有率は IR4595, 日本晴でそれぞれ平均 9.5% , 18% と高かった。なお、土壌の Na^+ 濃度と水分含有率の相関関係は 1% 水準で有意であったが、決定係数は 0.5 に満たない小さな値であった(第8図 h)。

考 察

大きさの異なるポットに塩濃度と量が異なる土壌を詰めて、限られた土壌水分でイネ2品種を栽培した。そして葉身の伸長が停止した日を成長停止日とみなし(第1図)、そ

れまでの蒸発散量を利用可能な水分として評価した。土壌は実験開始時には十分水分を保持していたが、成長停止時には厳しい土壌水分欠乏状態であった(第5図)。このような条件下で地上部乾物重は、土壌塩濃度の違いにかかわらず各土壌量において蒸発散量に比例的に増加した(第7図)。これらのことから、コムギ、オオムギ(哈布日ら 2012)と同様にイネにおいても干ばつ条件下の塩土壌において蒸発散量が多いほど乾物生産が高いことが分かった。すなわちイネの乾物生産は、水分が限られている塩土壌で利用可能な水分量に左右される。

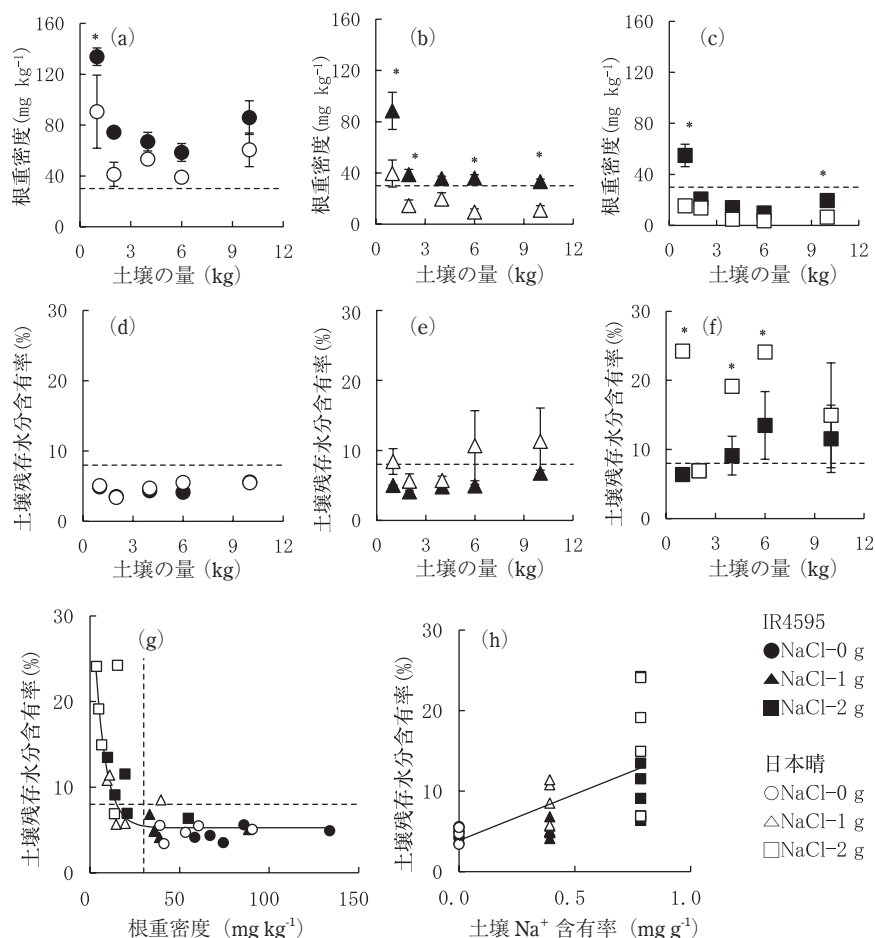
イネ栽培に用いた土壌は $1 \sim 10 \text{ kg}$ の広い範囲であったため、土壌残存水分量は土壌が多いほど増えた(第5図)。ただし、土壌残存水分含有率は NaCl-0 g 区すなわち普通の土壌では土壌量に影響を受けず低かった(第5図, 第8図)。そして根重密度は、2品種ともに高い値であった(第8図)。このように土壌の量は、塩ストレスがなければイネの根が土壌全体に成長し、水分を吸収できるものであった。一方、土壌塩ストレスを与えた区では土壌残存水分の量と含有率は、普通の土壌における値よりも大であった(第5図)。したがって、塩ストレス条件下では根の成長が抑制されたか、高土壌 Na^+ 濃度による土壌の水ポテンシャル低下や根の機能低下によって吸水が阻害されたと考えられた。

それでは、根の成長抑制と機能低下のどちらの要因が重要であろうか。土壌 Na^+ 含有率と残存水分含有率の相関は弱く、そして土壌 Na^+ 含有率が高くとも土壌残存水分含有率は根重密度が大ききときにはかなり低い値であった(第8図)。このことから塩土壌で吸水量が低下したのは、高塩濃度による土壌の水ポテンシャル低下や根の機能低下が主たる要因ではないと推測された。

次に根の成長と残存水分含有率との関係を検討した。残存水分含有率は、根重密度が小さいときにのみ高くなるものが認められた(第8図)。そして水分含有率が高くなるのは、土壌塩濃度が高く土壌が多い試験区でみられ、土壌が少ない区では根重密度が小さくても水分含有率は小さかった。一方、根全体の成長は土壌塩によって著しく阻害された(第3図)。したがって、土壌の多いところで平均的な根重密度が低くなったのは根の成長が抑制されて、根があまり張っていない部分が多いため、その部分の水分が十分に吸収されなかったためと考えられた。

この検討結果はコムギとオオムギで得られた結論すなわち土壌水分の吸収量が減ったのは根の成長が抑制されたためではなく、主として土壌 Na^+ 含有率が高いことによる(哈布日ら 2012)と異なった。本実験とコムギ、オオムギの実験でこのような違いが見いだされた理由は、作物、栽培環境などの要因を考慮してさらに研究が必要であると考えられた。

土壌塩濃度に対する地上部乾物生産の反応に品種間差が見られ、日本晴より IR4595 で塩による乾物重の低下程度が小さかった(第3図)。地上部 Na^+ 含有率の増加に対す



第8図 土壌の塩濃度と量が異なるポットで栽培したイネ品種 IR4595 と日本晴における根重密度、土壌の Na^+ 含有率および残存水分含有率の関係。

NaCl -0 g, NaCl -1 g, NaCl -2 g は、それぞれ土壌 1 kg あたり NaCl を 0 g, 1 g, 2 g 混和した区を示す。(a)~(c) の破線, (g) の縦破線は根重密度 30 mg g^{-1} を, (d)~(f) の破線, (g) の横破線は水分含有率 8% を示す。(a)~(f) では同じ土壌量において 5% 水準で品種間差が認められたところのみに * を示した。(g) の曲線は、すべてのデータを用いてあてはめられた。 $y = 32.3 e^{-0.166x} + 5.25$ ($R^2 = 0.921$, $P < 0.001$), (h) の直線は、 $y = 11.5x + 3.88$ ($r^2 = 0.435$, $p < 0.01$)。

る地上部乾物重の低下程度は 2 品種で類似していた (第 6 図) ので、日本晴が多くの Na^+ を蓄積する (第 4 図) ため乾物生産が小さかったものと考えられた。一方、従来からイネの根の成長が塩ストレスによって阻害される (Akbar ら 1972, Lutts ら 1995, 劉 ら 2008) ことが報告されてきたが、このような根の成長阻害は干ばつ条件下では利用できる土壌水分量を減少させると考えられた。したがって、塩土壌で水分量が制限されている条件下では植物体内の Na^+ 蓄積によって地上部の成長が抑制されると同時に根の成長が抑制されるために利用できる水分の量が減少して乾物生産が低下すると考えられた。

以上をまとめると、土壌水分が限られた塩土壌では植物体内の Na^+ 蓄積による成長抑制と同時に根が小さくなり、このため利用できる水分量が減少し、乾物生産が抑制されることが分かった。

引用文献

- Akbar, M., Yabuno, T. and Nakao, S. 1972. Breeding for saline-resistant varieties of rice. I. Variability for salt tolerance among some rice varieties. *Jpn. J. Breed.* 22: 277-284.
- Balasubramanian, V., Sie, M., Hijimans, R.J. and Otsuka, K. 2007. Increasing rice production in sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities. *Adv. Agron.* 94: 56-133.
- Bhattacharjee, R., Ntare, B.R., Otoo, E. and Yanda, P.Z. 2011. Regional impacts of climatic change: Africa. In Yadav, S.S. Redden, R.J. Hatfield, J.L. Lotze-Campen H. and Hall. A.E. eds., *Crop Adaptation to Climatic Change*, John Wiley and Sons Ltd, Chichester. 66-77.
- Flowers, J.T., Salama, F.M. and Yeo, A.R. 1988. Water-use efficiency in rice (*Oryza sativa* L.) in relation to resistance to salinity. *Plant Cell Environ.* 11: 453-459.
- Ghassemi, F., Jakeman, A.J. and Nia, H.A. 1995. Salinization of Land and

- Water Resources—Human causes, extent, management and case study. CAB International, Wallington Oxon. 1-526.
- Grewal, H.S. 2009. Response of wheat to subsoil salinity and temporary water stress at different stages of the reproductive phase. *Plant Soil* 330: 103-113.
- 哈布日・津田誠・平井儀彦 2012. 土壤水分が限られた塩土壌におけるコムギとオオムギの水利用. *日作紀* 81: 64-70.
- IPCC 2007. Climate change 2007: The physical science basis. <http://www.ipcc.ch>.
- Kobata, T., Okuno, T. and Yamamoto, T. 1996. Contribution of capacity for soil water extraction and water use efficiency to maintenance of dry matter production in rice subjected to drought. *Jpn. J. Crop Sci.* 65: 652-662.
- Kovda, V.A. and Szabolcs, I. 1979. Modelling of soil salinization and alkalization. *Agrokem. Talajtan* 28: 1-208.
- 劉健・辺嘉賓・塩津分隆・Chandra・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.
- Loomis, R.S. and Connor, D.J. 1992. Crop Ecology: productivity and management in agricultural systems. Cambridge University press, Cambridge. 1-538.
- Ludlow, M.M. and Muchow, R.C. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Adv. Agron.* 8: 264-276.
- Lutts, S., Kinet, J.M. and Bouharmont, J. 1995. Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *J. Exp. Bot.* 46: 1843-1852.
- Prabhakar, S.V.R.K. 2011. Climatic change impacts in Japan and Southeast Asia: Implications for crop adaptation. In Yadav, S.S., Redden, R.J., Hatfield, J.L., Lotze-Campen H., and Hall, A.E. eds., *Crop Adaptation to Climatic Change* John Wiley and Sons Ltd, Chichester. 131-142.
- Serraj, R., Dimayuga, G., Gowda, V., Guan, Y., He H., Impa, S., Liu, D.C., Mabesa, R.C., Sellamuthu, R. and Torres, R. 2009. Drought-resistant rice: physiological framework for an integrated research strategy. In Serraj, R., Bennet J., and Hardy B. eds., *Drought Frontiers in Rice: Crop Improvement for Increased Rainfed Production*. IRRI. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore. 139-170.
- Shalhevet, J. 1994. Using water of marginal quality for crop production: major issues. *Agric. Water Manage.* 25: 233-269.
- Sie, M., Futakuchi, K., Gridley, H., Mande, S., Manneh, B., Ndjondjop, M.N., Efisue, A., Ogunbayo, S.A., Moussa, M., Tsunematsu, H. and Samejima, H. 2009. Drought research at WARDA: current situation and prospects. In Serraj, R., Bennet, J., and Hardy, B. eds., *Drought Frontiers in Rice: Crop Improvement for Increased Rainfed Production*. IRRI. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore. 61-73.
- Singh, N.P., Bantilan, M.C.S., Kumar, A.A., Janila, P. and Hassan, A.W.R. 2011. Climatic change impact in agriculture: vulnerability and adaptation concerns of semiarid tropics in Asia. In Yadav, S.S., Redden, R.J., Hatfield, J.L., Lotze-Campen H., and Hall, A.E. eds., *Crop Adaptation to Climatic Change*, John Wiley and Sons Ltd, Chichester. 107-130.
- Turner, N.C., Wright, G.C. and Siddique, K.H.M. 2001. Adaptation of grain legumes (pulses) to water limited environments. *Adv. Agron.* 71: 193-231.
- 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.
- Yoshida, S. and Hasegawa, S. 1982. The rice root system: its development and function. In IRRI ed., *Drought Resistance in Crops with Emphasis on Rice*. IRRI. Los Banos. 97-114.

Water Use and Growth of Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivated on Saline Soils with Various Amounts of Soil and Water : Haburi, Makoto TSUDA and Yoshihiko HIRAI (*Grad. Sch. of Nat. Sci. and Tec., Okayama Univ. Okayama 700-8530, Japan*)

Abstract : Salinity stress as well as water stress impairs crop production in saline soil. This study was conducted to examine the relationship between water use, which may depend on root growth, and dry matter production in rice. Paddy soil of 1~10 kg was put in appropriate pots. A definite amount of NaCl solution corresponding to 50% of soil weight was applied to establish saline soil containing NaCl at 0 (control), 1 and 2 g kg⁻¹. Seedlings of salt-tolerant cultivar IR4595-4-1-13 and normal cultivar Nipponbare were transplanted to the pots which were not irrigated thereafter. Shoot and root dry weight on the day when leaf ceased to elongate increased as soil amount increased, and decreased as soil salinity increased. Shoot growth decreased with the increase of plant sodium concentration. The amount of soil water increased with the increase in soil weight and salinity, indicating that evapotranspiration was decreased due to soil salinity. Shoot dry weight increased in proportion to the evapotranspiration. Soil water content was low in the control which had vigorous root growth, and high in the high-salinity soil which had poor root growth. It was concluded that rice shoot growth on saline soil increased in proportion to evapotranspiration and poor root growth may be responsible for reduced evapotranspiration.

Key words : Dry matter production, Evapotranspiration, Rice, Salinity stress, Salinity tolerance, Soil water, Water Stress.