

## 登熟期のイネに与えられた塩水灌漑が玄米の乾物増加に及ぼす影響

榎原大悟\*・津田誠・平井儀彦・黒田俊郎  
(岡山大学)

**要旨:** 塩ストレスがイネの登熟に及ぼす影響を明らかにするために、塩ストレスによる収量の低下程度が異なるとされる2品種 (Kala-Rata 1-24 と IR 28) を供試し実験を行った。植物は砂耕により育成し、登熟初期および中期に塩水灌漑 (150 mM NaCl) と1次枝梗切除処理を組み合わせた処理を行った。塩ストレス下における強勢穎花と弱勢穎花の玄米の乾物増加、登熟期の全地上部の乾物生産および出穂前貯蔵物質の穂への見かけの転流量を調査した。登熟期間中の乾物生産は、塩水灌漑によって抑制された。玄米の乾物増加は、登熟中期に玄米への乾物供給が一時的に不足したため遅延したが、その後茎葉部から穂への乾物の転流の増加によって補償され、回復した。登熟完了時の穎花乾物重には、塩水灌漑による抑制はほとんど見られなかった。玄米の乾物増加の遅延は、1次枝梗切除処理を行わなかった植物の弱勢穎花で著しかった。1次枝梗切除処理によって1穎花当たりの乾物供給を増大させた植物では、塩水灌漑によって玄米の乾物増加は抑制されなかった。また、玄米の乾物増加に遅延が見られた植物においても、塩水灌漑終了後に乾物が十分に供給されると登熟完了時の玄米乾物重は回復した。これらのことから、玄米自体の生長ポテンシャルおよび転流過程のうち同化産物の輸送は、塩ストレスによって阻害されなかったと考えられた。乾物が一時的に玄米に供給されなくなった原因として、塩ストレスによる糖代謝の抑制が示唆された。

**キーワード:** イネ, 強勢穎花, 玄米の乾物増加, 弱勢穎花, 耐塩性, 転流, 登熟。

塩分濃度の高い土壌や培地でイネを栽培すると、1 籾重や登熟歩合の低下がしばしば観察される (Heenanら 1988, 岩城 1956, Makiyaraら 1999, 太田ら 1956, 志茂山ら 1956)。前報 (榎原ら 1999) において、異なる生殖生長段階のイネに一時的な塩ストレスを与えたところ、1 籾重の低下は出穂前に塩ストレスを与えたときのみ観察された。すなわち、1 籾重の低下は出穂前の塩ストレスによる籾殻の縮小とともに起こり、登熟期の塩ストレス条件下では認められなかった。しかし、岩城 (1956) は登熟期のイネに塩ストレスを与えると1 籾重が低下することを報告している。

玄米に集積する炭水化物は、出穂前に茎葉部に貯蔵された同化産物と出穂後の光合成による同化産物とによって成立している (村田 1976, Yoshida 1972)。一般に、収量に占める割合は出穂後の光合成による同化産物の方が大きい (Cock and Yoshida 1972, Yoshida 1972) が、遮光 (曾我・野崎 1957, Yoshida 1972) や水ストレス (小葉田・高見 1979, 1981) などによって登熟期に光合成が阻害された場合、茎葉部に貯蔵された同化産物の穂への転流が増加し登熟は維持される。とくに水ストレスを与えたイネでは、玄米への乾物の輸送過程と玄米自体の生長ポテンシャルは影響されない。玄米重が減少するのは、水ストレスの期間が長期にわたり、同化機能の低下による同化産物の不足が茎に貯蔵された穂へ転流可能な同化産物よりも大きい場合である (小葉田・高見 1983)。

登熟期のコムギでは、塩類を茎葉部に散布すると水ストレスを与えたのと同じような反応が起こると考えられている (Blum 1998)。一方、エンドウの糖代謝は高塩分濃度

によって異常になる (Hasson-Porath and Poljakoff-Mayber 1973)。このことは、塩ストレス下では、転流阻害が起こる可能性を示している。乾物の転流は一般に糖代謝を含むためである。しかし、イネにおいては塩ストレスが登熟過程に及ぼす影響は知られていない。

そこで本研究では、塩ストレス下における玄米の乾物増加の抑制と登熟期の乾物生産および出穂前貯蔵物質の転流との関係を明らかにするため、登熟期のイネに塩水灌漑と穂の半数の1次枝梗を切除することによるシンク容量半減を組み合わせた処理を行い、部位別乾物重の変化を調査した。玄米の乾物増加については、強勢穎花と弱勢穎花に分けて調査した。

### 材料と方法

#### 1. 栽培方法

実験材料には、インド型品種: インドの在来品種 Kala-Rata 1-24 と国際稲研究所 (IRRI) で育成された品種 IR 28 を供試した。塩分条件下における収量の減少程度は Kala-Rata 1-24 で小さく IR 28 で大きかった (Makiyaraら 1999, 土屋ら 1993)。30 °C に設定した恒温器内で2日間催芽し、ハトムネ状態の種子を準備した。1998年5月21日にガラス室内においた容量5Lのプラスチックバットに水道水を満たし、これに浮かべたサランネット上に催芽籾を播種し、2葉期まで育てた。2葉期から3葉期までは1/2濃度の木村氏B液で、3葉期以降は基準濃度の木村氏B液で栽培した。Kala-Rata 1-24 と IR 28 の葉齢がそれぞれ3.5と3.8に達した播種後17日目に、川砂を充填した容量3.5Lのポットに1個体ずつ移植した。ポットは

基準濃度の木村氏 B 液を満たした容量 200 L の大型バット (縦 140 cm×横 80 cm×深さ 20 cm) に縦 8 ポット、横 3 ポットずつ配置して、側面を開放したビニールハウス内で栽培した。培養液は 1 週間毎に交換した。なお、出穂後 17 日目からは、水道水のみで栽培した。感光性の Kala-Rata 1-24 の幼穂形成を促進するために、播種後 56 日目から 98 日目まで、日の出 12 時間後から日没 2 時間後までビニールハウス全体をシルバーシートで覆うことによって日長時間を 12 時間に調節した。

ビニールハウス内の気温ならびに相対湿度は、自記記録計を用いて測定した。日中 (5 時から 17 時まで) の平均飽差は、Buck (1981) の方法で求めた。1 日の日射量は、Penman (1948, 1956) の方法で 1 日の日照時間から推定した。なお、日照時間は気象庁岡山地方気象台の測定値を用いた (岡山地方気象台 1998)。

## 2. 塩水灌漑と 1 次枝梗切除処理

塩水灌漑は、6 ポットを 150 mM の NaCl を加えた培養液を満たした別の 200 L バットに移すことによって行った。1 次枝梗切除処理は、個体すべての穂について穂の上から数えて偶数番目の 1 次枝梗を基部で切除することによって行った。出穂後 3 日目から 7 日間 NaCl 処理を行う区 (Na 1)、出穂後 10 日目から 7 日間 NaCl 処理を行う区 (Na 2) および出穂後 3 日目から 14 日間 NaCl 処理を行う区 (Na 3) を設けた (第 1 図)。また、全生育期間を通して NaCl を与えず、出穂後 3 日目に 1 次枝梗切除処理を

行う区 (Si 1) および出穂後 10 日目に 1 次枝梗切除処理を行う区 (Si 2) を設けた。さらに、出穂後 3 日目に 1 次枝梗切除処理を行った後出穂後 3 日目から 7 日間 NaCl 処理を行う区 (SiNa 1)、出穂後 10 日目に 1 次枝梗切除処理を行った後出穂後 10 日目から 7 日間 NaCl 処理を行う区 (SiNa 2) および出穂後 3 日目に 1 次枝梗切除処理を行った後出穂後 3 日目から 14 日間 NaCl 処理を行う区 (SiNa 3) を設けた。対照として、全生育期間を通して NaCl を与えない区 (対照区) を設けた。NaCl 処理期間が終了したものは、砂の中の NaCl を水道水で洗い流した後、もとのバットに戻して水耕栽培を続けた。処理前と処理開始後 1, 2 および 4 週間目に、各処理区 6 ポット 6 個体をポットから抜き取り、根についた砂をよく落とし、生育調査に供した。出穂日は各個体の 50% 以上の穂で出穂が認められた日とし、出穂は穂の先端穎花の出現によって確認した。

## 3. 生育調査

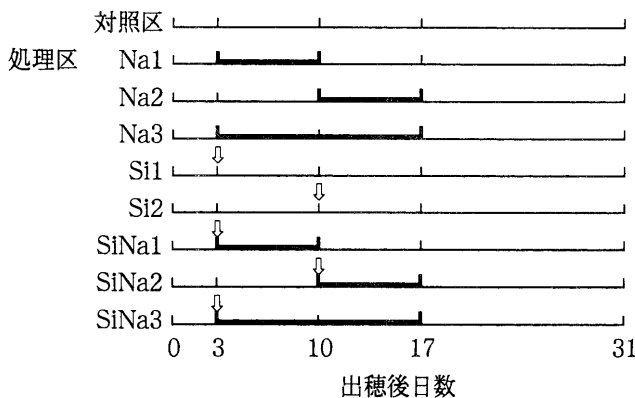
生育調査は個体毎に主茎と外見上その大きさが主茎に近い強勢な分けつ 2 本の累計 3 本について行い、3 本の平均値を 1 ポットの値とした。選んだ 3 本の茎は穂と茎葉部分け、穂と茎葉部を合わせたものを地上部とした。試料は 90 °C で 3 日間通風乾燥し乾物重を測定した。さらに、選んだ茎の穂から強勢穎花 (先端から 1~2 番目の枝梗の 1 次枝梗穎花) と弱勢穎花 (穂の基部から数えて 1~2 番目の枝梗の基部にある 2 次枝梗穎花) を取り出し乾物重を測定した。また、登熟完了時には登熟歩合を調査した。

## 4. Na と K 含有率の測定

登熟完了時に茎の Na と K 含有率を測定した。測定法は前報 (楨原ら 1999) と同じで、粉碎試料を熱湯抽出した溶液をイオンクロマトグラフ (島津製作所, HIC-6A) で分析した。

## 結 果

IR 28 の播種から出穂までの日数は 76 日、Kala-Rata 1-24 のそれは IR 28 よりも 9 日長く 85 日だった。処理期間中の気温と日射量は Kala-Rata 1-24 と IR 28 でほとんど変わらなかったが、日中の平均飽差は Kala-Rata 1-24 の方が IR 28 よりも 2.7 hPa 大きかった (第 1 表)。

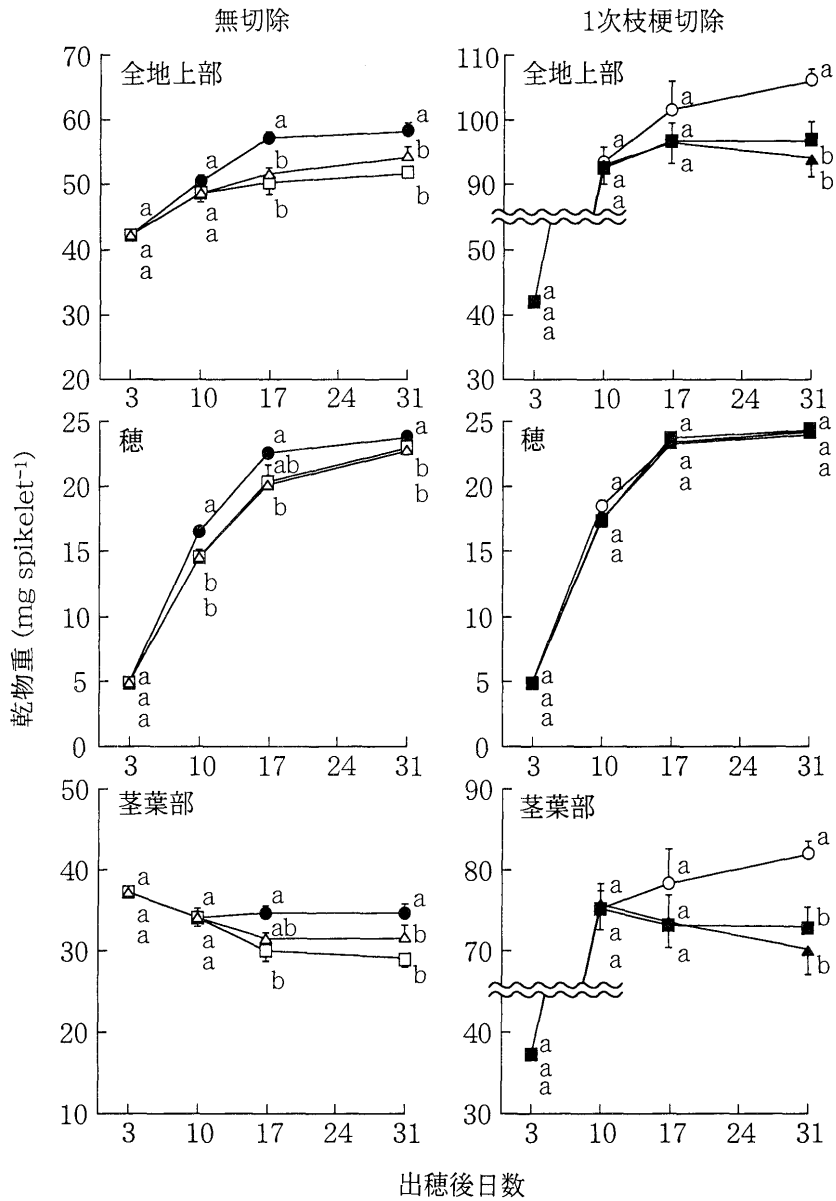


第 1 図 各処理区の塩水灌漑期間および 1 次枝梗切除処理。太線は塩水灌漑期間を、矢印は 1 次枝梗切除処理を行ったことを示す。

第 1 表 塩水灌漑期間 (出穂後 3~17 日) の気象条件の平均値。

品種	期間	平均気温 (°C)	日中の平均飽差 (hPa)	日射量 (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )
Kala-Rata 1-24	8/17~8/30	29.1	10.4	15.0
IR28	8/8~8/21	29.3	7.7	15.4

日中の平均飽差は 5 時から 17 時の値を示す。



第2図 塩水灌漑がイネ（品種：Kala-Rata 1-24）1 穂当たりの全地上部，茎葉部および穂の乾物重に及ぼす影響。

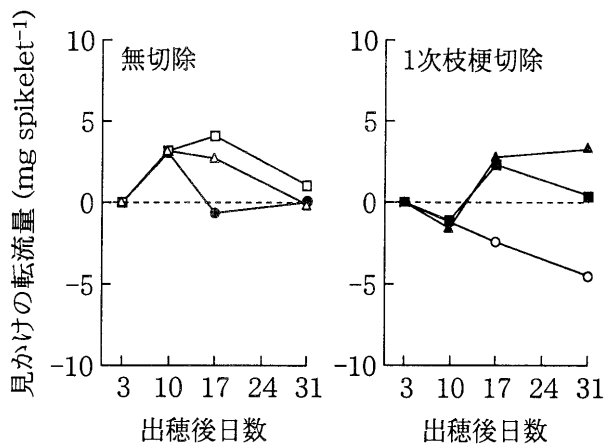
値は6個体の平均値，垂直棒は平均値の標準誤差を示す．同一英小文字を付した処理区間にはFisherのPLSDによる有意差（5%水準）が認められない．●：対照区，□：Na1，△：Na3，○：Si1，■：SiNa1，▲：SiNa3．

出穂後の全地上部，茎葉部および穂の乾物重の推移を第2図に示した．ただし，乾物重は個体による1穂粒数の違いを補正するため1穂当たりで示した．なお，1穂粒数は塩水灌漑によって変わらなかった．乾物重の推移はKala-Rata 1-24とIR 28でほぼ同じであり，また出穂後3日目から塩水灌漑を行った場合と10日目から行った場合でも同様の傾向を示したので，ここでは出穂後3日目から塩水灌漑を行ったKala-Rata 1-24の値だけを示した．

1次枝梗を切除しなかった場合，Na1とNa3の出穂後17日目以降の全地上部乾物重は，対照区と比べて小さかった（第2図）．穂乾物重の塩水灌漑による低下は，出穂後10日目から見られたが，出穂後31日目の低下程度は，

出穂後10日目および17日目のそれと比べて小さかった．茎葉部乾物重は，出穂後17日目以降，塩水灌漑により低下した．一方，1次枝梗切除処理を行った場合，塩水灌漑区の全地上部および茎葉部の乾物重は，出穂後31日目で対照区よりも小となった．しかし，穂乾物重は塩水灌漑によって変わらなかった．

第3図に出穂後の茎葉部から穂への見かけの転流量の推移を示した．ここで，見かけの転流量は，穂の乾物増加量から地上部全体の乾物増加量を引いた値とした．無切除区では，出穂後10日目までは対照区と塩水灌漑区に違いはなかった．出穂後17日目以降，対照区の見かけの転流量はほとんど無くなったが，Na1とNa3では出穂後31日



第3図 塩水灌漑がイネ (品種: Kala-Rata 1-24) の見かけの転流量に及ぼす影響。

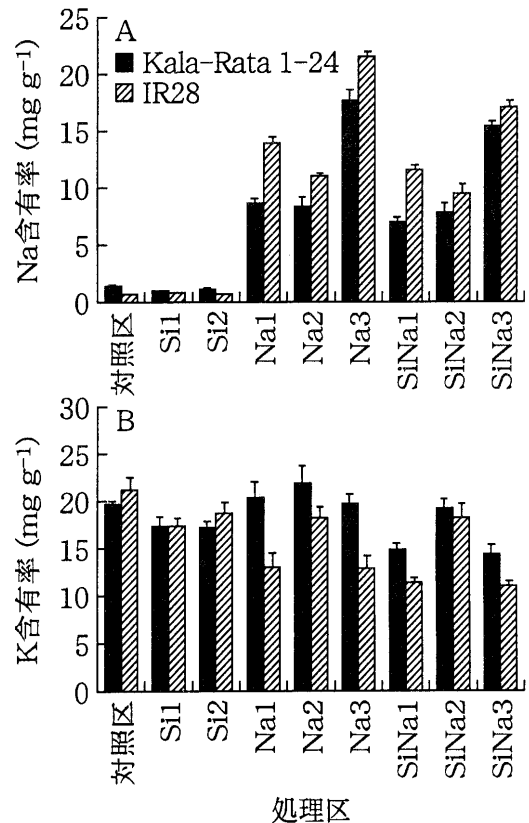
1 穂当たりの穂乾物増加量の平均値 (n=6) から1 穂当たりの地上部全体乾物増加量の平均値 (n=6) を引いた値を見かけの転流量とした。●: 対照区, □: Na 1, △: Na 3, ○: Si 1, ■: SiNa 1, ▲: SiNa 3。

目まで見かけの転流が維持されていた。1次枝梗切除処理を行った植物においても、塩水灌漑を行った SiNa 1 と SiNa 3 の見かけの転流は出穂後 31 日目まで維持されていた。

登熟歩合は、Kala-Rata 1-24 で 90% 以上、IR 28 で約 50% と品種によって大きく異なったものの、両品種とも塩水灌漑および 1 次枝梗切除処理によって変わらなかった (データ未掲載)。

穎花の乾物重の推移を第 2 表に示した。強勢穎花の乾物重は、両品種ともいずれの処理区においても出穂後 10 日目までには最終的な乾物重の 80% 以上に達していたが、弱勢穎花の乾物重は 60% から 70% だった。強勢穎花の乾物重は、Kala-Rata 1-24 では出穂後 10 日目の Na 1 と Na 3 および出穂後 17 日目の Na 3 で、IR 28 では出穂後 17 日目の Na 1, Na 2 および Na 3 で対照区よりも小さかったが、出穂後 31 日目では、両品種ともに塩水灌漑による低下は見られなかった。1 次枝梗切除処理は強勢穎花の乾物重に影響しなかった。一方、弱勢穎花の乾物重は、出穂後 10 日目までは塩水灌漑によって変わらなかった。出穂後 17 日目では、Kala-Rata 1-24 の Na 2 と Na 3 および IR 28 の Na 1 で対照区よりも小となった。出穂後 31 日目では、Kala-Rata 1-24 の Na 1 で小さかったのを除いて、塩水灌漑によって変わらなかった。1 次枝梗切除によって 1 穎花当たりの乾物供給を増大させた植物では、出穂後 17 日目における弱勢穎花の乾物重は塩水灌漑にかかわらず対照区よりも高かった。

出穂後 31 日目の茎の Na 含有率は塩水灌漑によって高くなった (第 4 図 A)。Na 含有率は両品種ともに最も長期間塩水灌漑を行った Na 3 および SiNa 3 で高かった。Na 含有率は IR 28 の方が Kala-Rata 1-24 よりも大きかった。Kala-Rata 1-24 の K 含有率は SiNa 1 と SiNa 3



第4図 出穂後 31 日目におけるイネの茎の Na 含有率 (A) および K 含有率 (B)。

値は 6 個体の平均値。垂直棒は平均値の標準誤差を示す。

で対照区よりも低かったが、両処理区と Si 1 との間に有意差は認められず、塩水灌漑によって変わらなかった (第 4 図 B)。IR 28 の K 含有率は出穂後 3 日目から塩水灌漑を行った Na 1, Na 3, SiNa 1 および SiNa 3 で低下した。K 含有率の塩水灌漑による低下は Kala-Rata 1-24 よりも IR 28 で大きかった。

## 考 察

登熟期の 1~2 週間の塩水灌漑によって、出穂後 17 日目以降の全地上部乾物重は低下した (第 2 図)。すなわち、出穂後 17 日目以降の純同化量は塩水灌漑によって低下した。しかしながら、登熟完了時における穂乾物重の塩水灌漑による低下程度は、登熟の途中と比べて小さかった。また、穎花の乾物重は、登熟の途中に抑制されたが、登熟完了時には塩水灌漑による抑制はほとんど見られなかった (第 2 表)。したがって、出穂後 17 日目以降、玄米の乾物増加 (穎花の乾物重の変化は主に玄米の乾物重の変化によるため、以後、穎花重の増加は玄米の乾物増加とした) は回復する傾向にあったとみなされた。このことは、茎葉部から穂への乾物の転流増加によって玄米の乾物増加が補償されたためと考えられた (第 3 図)。なお、1 次枝梗切除によって 1 穎花当たりの乾物供給を増大させた植物では、塩水灌漑によって純同化量が減少しても穂の乾物増加には影響しなかった。このように、塩ストレス下においても遮

第2表 塩水灌漑および1次枝梗切除処理がイネの穎花乾物重 (mg) に及ぼす影響。

品種 処理区	強勢穎花				弱勢穎花			
	出穂後 3日目	出穂後 10日目	出穂後 17日目	出穂後 31日目	出穂後 3日目	出穂後 10日目	出穂後 17日目	出穂後 31日目
Kala-Rata 1-24								
対照区	5.8 a	24.4 a	25.9 ab	25.9 abc	2.5 a	12.0 a	16.0 c	21.7 a
Si1	5.8 a	24.4 a	26.0 ab	25.8 abc	2.5 a	12.8 a	18.8 ab	21.2 ab
Si2	5.8 a	24.4 a	25.9 ab	26.4 a	2.5 a	12.0 a	18.3 ab	21.5 ab
Na1	5.8 a	22.6 b	25.4 bc	25.4 bc	2.5 a	11.2 a	15.2 cd	20.7 b
Na2	5.8 a	24.4 a	26.0 ab	25.8 abc	2.5 a	12.0 a	13.3 de	21.1 ab
Na3	5.8 a	22.6 b	24.7 c	25.0 c	2.5 a	11.2 a	12.0 e	21.4 ab
SiNa1	5.8 a	24.2 a	26.1 a	26.3 a	2.5 a	13.0 a	18.6 ab	20.9 b
SiNa2	5.8 a	24.4 a	25.8 ab	26.1 ab	2.5 a	12.0 a	17.2 bc	21.3 ab
SiNa3	5.8 a	24.2 a	25.8 ab	26.0 ab	2.5 a	13.0 a	19.6 a	21.3 ab
IR28								
対照区	4.1 a	20.4 a	25.3 a	24.2 a	2.8 a	14.6 a	21.1 bc	23.4 ab
Si1	4.1 a	21.9 a	24.7 ab	24.4 a	2.8 a	16.0 a	23.9 a	23.3 ab
Si2	4.1 a	20.4 a	23.9 bc	23.7 a	2.8 a	14.6 a	22.3 ab	23.8 a
Na1	4.1 a	21.1 a	23.8 bc	24.1 a	2.8 a	14.8 a	20.0 cd	22.6 b
Na2	4.1 a	20.4 a	23.5 c	24.8 a	2.8 a	14.6 a	19.9 cd	23.5 ab
Na3	4.1 a	21.1 a	23.9 bc	23.7 a	2.8 a	14.8 a	19.1 d	22.6 b
SiNa1	4.1 a	21.1 a	24.4 abc	24.3 a	2.8 a	15.8 a	23.0 ab	23.3 ab
SiNa2	4.1 a	20.4 a	24.4 abc	24.1 a	2.8 a	14.6 a	23.0 ab	23.5 ab
SiNa3	4.1 a	21.1 a	24.8 ab	24.1 a	2.8 a	15.8 a	23.2 a	23.5 ab

処理区は第1図を参照。

値は6個体の平均値。

同一英小文字を付した処理区間には Fisher の PLSD による有意差 (5%水準) が認められない。

光 (曾我・野崎 1957, Yoshida 1972) や水欠乏条件下 (小葉田・高見 1979, 1981) と同じように、乾物生産が抑制されると出穂前に茎に貯蔵された乾物の穂への転流が増加し、最終的には玄米の乾物増加は補償されることがわかった。ただし、玄米の乾物増加は塩水灌漑によって遅延した。

塩水灌漑による玄米の乾物増加の遅延は、弱勢穎花の玄米で著しかった (第2表)。弱勢穎花は開花が遅く、そして小枝梗の維管束の発達が悪いため、強勢穎花との間の養分競合の上で不利であるとされる (Nagato and Chaudhry 1969 a, b, Nagato and Chaudhry 1970, 中村・星川 1988)。しかし、1次枝梗切除によって1穎花当たりの乾物供給を増大させた植物では、弱勢穎花の玄米の乾物増加が塩水灌漑によって変わらなかった。したがって、塩水灌漑による乾物生産の低下にともなう同化産物競合の結果、弱勢穎花の玄米の乾物増加が抑制されたと考えられた。

最終的な玄米重が小となった植物ばかりでなく、最終的な玄米重が変わらなかった植物、すなわち乾物が十分にあった植物でも塩水灌漑によって玄米の乾物増加が遅れた (第2図, 第2表)。このことは、玄米への乾物供給の不足は一時的なものであったことを示す。すなわち、出穂後の光合成が塩ストレスによって抑制された時に、出穂前貯蔵物質の穂への転流による補償がすぐには行われなかったと

考えられる。茎葉部の乾物は、転流されない植物体の構造を造りあげる部分と、デンプンなどの転流可能な部分とからなる。したがって、転流可能な乾物が一時的に玄米に供給されなくなったと考えられた。

それでは、どのようにして玄米への乾物の供給が抑制されたのであろうか。玄米の乾物増加が遅れても塩水灌漑が終了した出穂後17日目に乾物が十分に供給されると登熟完了時における玄米重は変わらなかった (第2表)。また、1次枝梗切除処理によって1穎花当たりの乾物供給を増大させた植物では、玄米の生長は全く抑制されなかった。これらのことから、玄米自体の生長ポテンシャルおよび転流過程のうち茎葉部から玄米への同化産物の輸送は、塩水灌漑によって阻害されなかったと推察された。

玄米の乾物増加に遅延が見られた植物における茎葉部から穂への乾物の見かけの転流は、登熟完了時まで持続していた (第3図)。したがって、玄米の乾物増加が遅れたのは、転流可能な乾物が茎葉部にあるにもかかわらず転流されなかったためと考えられる。デンプンなどの転流可能な乾物は、スクロースを主とした低分子の物質に分解されて転流する (松島ら 1957, 村山ら 1961, 山本 1971)。このことから、玄米へ供給される乾物の低下は、転流のための低分子の物質が一時的に不足したと考えられる。エンドウでは塩によって糖代謝に異常がおこったことが報告されて

おり (Hasson-Porath and Poljakoff-Mayber 1973), イネにおいても塩によって糖代謝に異常がおこり, 乾物の低分子の物質への分解が抑制された可能性が考えられるが, 今後検討する必要がある。

塩ストレス下では, イネは, 培地の水ポテンシャル低下とともに体内に過剰に集積した塩による影響を受ける。塩ストレス下における玄米の乾物増加の低下にもこの両者の影響が考えられる。しかしながら, 一般に, 登熟期の水ストレスは玄米の乾物増加に影響を及ぼさないとされている (小葉田・高見 1981)。したがって, 本実験で見られた登熟期の塩水灌漑による玄米の乾物増加の遅れは, 塩による培地の水ポテンシャル低下にともなう水ストレスよりはむしろ, 体内に過剰に集積した塩の影響によると考えられる。

玄米の乾物増加は, 地上部 Na 含有率の高かった IR 28 よりも Kala-Rata 1-24 の方が大きく抑制された (第 2 表, 第 4 図)。このことは, 体内 Na 含有率の増加に対する玄米の乾物増加の感受性は品種によって異なることを示している。しかしながら, 幼苗期の耐塩性は, IR 28 よりも Kala-Rata 1-24 の方が強いとされている (IRRI 1985, 1987)。登熟期に塩ストレスを受けると想定されるような地域における稲作を考える場合, 必ずしも幼苗期における耐塩性の評価によって品種を選択すればよいとは言えない。

イネは K の全吸収量の 75% を穂ばらみ期までに吸収し, 登熟期に入ってからほとんど吸収しない (Mikkelsen and Patrick 1968) とされている。本実験においても茎の K 含有率は, IR 28 では出穂後 3 日目からの塩水灌漑による低下が見られたが, Kala-Rata 1-24 では塩水灌漑によって変わらず (第 4 図), 玄米の乾物増加の抑制と対応していなかった。

以上のように, 登熟期に塩ストレスを受けたイネでは, 水ストレスを受けた場合と異なり, 茎葉部に転流可能な乾物が十分にあって, 弱勢穎花の玄米の乾物増加は遅延した。すなわち, 高塩分条件下において玄米の乾物増加は, 塩による特有の影響を受けることが見出された。玄米の生長ポテンシャルおよび同化産物の移動は阻害されなかったと考えられ, 塩ストレスによる糖代謝の抑制により玄米へ供給される乾物が低下した可能性が考えられた。今後, 糖代謝レベルにおける影響を明確にする必要があると思われる。

## 引用文献

- Blum, A. 1998. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilisation. *Euphytica* 100: 77-83.
- Buck, A.L. 1981. New equations for computing vapor pressure and enhancement factor. *J. App. Meteorol.* 20: 1527-1532.
- Cock, J.H. and S. Yoshida 1972. Accumulation of <sup>14</sup>C-labeled carbohydrate before flowering and its subsequent redistribution and respiration in the rice plant. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 41: 226-234.
- Hasson-Porath, E. and A. Poljakoff-Mayber 1973. The effect of salinity on glucose absorption and incorporation by pea roots. *Plant Cell Physiol.* 14: 361-368.
- Heenan, D.P., L.G. Lewin and D.W. McCaffery 1988. Salinity tolerance in rice varieties at different growth stages. *Aust. J. Exp. Agric.* 28: 343-349.
- IRRI 1985. Adverse soils tolerance. Annual Report for 1985. IRRI, Los Baños. 81-90.
- IRRI 1987. Adverse soils tolerance. Annual Report for 1987. IRRI, Los Baños. 134-144.
- 岩城鹿十郎 1956. 水稻の塩害に関する研究. 愛媛大学紀要農学 2: 1-156.
- 小葉田亨・高見晋一 1979. イネの登熟におよぼす水分ストレスの影響. 日作紀 48: 75-81.
- 小葉田亨・高見晋一 1981. 登熟初期の水ストレスがイネの穀実生長, 乾物分配および玄米収量に及ぼす影響. 日作紀 50: 536-545.
- 小葉田亨・高見晋一 1983. 全登熟期間の水ストレスがイネの乾物生産と収量に及ぼす影響. 日作紀 52: 283-290.
- 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. *Japan. J. Trop. Agr.* 43: 285-294.
- 榎原大悟・津田誠・平井儀彦・黒田俊郎 1999. 生殖生長期の異なる生育時期における塩水灌漑によるイネの収量低下. 日作紀 68: 487-494.
- 松島省三・岡部俊・和田源七 1957. 水稻収量成立と予察に関する作物学的研究 XLI 水稻の登熟機構の研究. (7) 炭素同化量並びに稲体炭素含有量の日変化と籾への転流の日変化との関係 (転流機構に関する一知見). 日作紀 26: 17-18.
- Mikkelsen, D.S. and W.H. Patrick 1968. Fertilizer use on rice. In Nelson, L.B. ed., *Changing Patterns of Fertilizer Use*. SSSA, Madison. 403-432.
- 村田吉男 1976. 作物生産と栽培環境. 村田吉男・玖村敦彦・石井龍一著, 作物の光合成と生態. 農文協, 東京. 147-196.
- 村山登・塚原貞雄・大島正男 1961. 水稻の登熟過程における物質の動態. 土肥誌 32: 256-260.
- Nagato, K. and F.M. Chaudhry 1969a. A comparative study of ripening process and kernel development in japonica and indica rice. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 38: 425-433.
- Nagato, K. and F.M. Chaudhry 1969b. Ripening of japonica and indica type rice as influenced by temperature during ripening period. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 38: 657-667.
- Nagato, K. and F.M. Chaudhry 1970. Influence of panicle clipping, flag leaf cutting and shading on ripening of japonica and indica rice. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 39: 204-212.
- 中村貞二・星川清親 1988. 穂上位置を異にするイネ穎果の稔実力について—登熟初期における穎果と茎・葉鞘との競合—. 日作紀 57 (別 2): 273-274.
- 太田勝一・安江多輔・岩塚基 1956. 農作物の塩害に関する研究 第 10 報 水稻における塩分障害と花粉の発芽. 岐阜大農研報 7: 15-20.
- 岡山地方気象台 1998. 岡山県気象月報.
- Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc. London, A*, 193: 120-146.
- Penman, H.L. 1956. Estimating evaporation. *Trans. Am. Geophys.*

- Union, 37: 43—50.
- 志茂山貞二・小合龍夫 1956. 作物の塩害に関する研究 第2報 生育各期に与えられた塩水が水稻の生育ならびに収穫物に及ぼす影響について. 岡山農試臨報 54: 21—28.
- 曾我義雄・野崎倫夫 1957. 水稻における蓄積炭水化物の消長と窒素及び炭水化物代謝との関係. 日作紀 26: 105—108.
- 土屋幹夫・榎原大悟・熊野誠一 1993. 土壤塩分処理がイネ品種の生育ならびに収量構成に及ぼす影響. 日作中支集録 34: 1—7.
- 山本友英 1971. 作物における転流物質. 農業技術 26: 414—419.
- Yoshida, S. 1972. Physiological aspects of grain yield. Ann. Rev. Plant Physiol. 23: 437—464.

**Effect of Saline Irrigation During Grain-Filling Period on Dry-Matter Increase of Hulled Rice:** Daigo MAKIHARA<sup>\*,1)</sup>, Makoto TSUDA<sup>2)</sup>, Yoshihiko HIRAI<sup>2)</sup> and Toshiro KURODA<sup>2)</sup> (<sup>1)</sup>Grad. School of Nat. Sci. Tech., Okayama Univ., Okayama 700-8530, Japan; <sup>2)</sup>Fac. of Agr., Okayama Univ.)

**Abstract:** The effect of salinity stress on grain filling was studied in two rice varieties (Kala-Rata 1-24 and IR28) with different resistances of yield to salinity. Plants were subjected to saline irrigation (150 mM sodium chloride) during the grain-filling period in combination with the primary rachis-branch clipping. Saline irrigation decreased whole plant dry-matter production during the grain-filling period. A dry-matter increase of hulled rice was retarded because of the insufficient supply of dry-matter during the mid grain-filling period by saline irrigation; however it later recovered because of an increase in the compensatory translocation of stem reserves to the panicle. The final panicle dry weight did not decrease because of saline irrigation. The retardations of the dry-matter increases of hulled rice were markedly in the inferior spikelets of plants with intact primary rachis-branches, but not in the plants with half primary rachis-branches. The dry-matter increase of hulled rice that was retarded by saline irrigation recovered after the saline water was removed. These results indicated that the potential of grain growth and the carriage of assimilates might not be affected by saline irrigation. The insufficient supply of dry-matter to hulled rice during saline irrigation may have resulted from a decrease in the production of low-molecular sugars for translocation because of the suppression of carbohydrate metabolism under salinity.

**Key words:** Dry-matter increase of hulled rice, Grain filling, Inferior spikelet, Rice (*Oryza sativa* L.), Salt tolerance, Superior spikelet, Translocation.