

## 作物生理・細胞工学

# 高温乾燥風に対する耐性イネ品種の生理学的特徴

姜東鎮\*<sup>1)</sup>・呂運尚<sup>2)</sup>・呉乗根<sup>2)</sup>・姜正勲<sup>2)</sup>・楊世準<sup>2)</sup>・石井龍一<sup>3)</sup>・李仁中<sup>1)</sup>

(<sup>1)</sup>韓国慶北大学校・<sup>2)</sup>韓国農村振興庁嶺南農業試験場・<sup>3)</sup>日本大学)

**要旨：**本研究はフェーン現象下の気象を風洞装置を用いて再現し、高温乾燥風に対する耐性イネ品種と感受性品種との水分状態とクロロフィル含量の差を調べたものである。耐性品種として韓国農村振興庁嶺南農業試験場の盈徳出張所で選抜した日本型 Naepung-byeo (NP), 感受性品種として同定されたオーストラリア原産の日本型 Ilabong (IB) を供試し、それぞれ水田土壌をつめた 1/1250 a ポットに移植し、屋外自然条件下の湛水状態で生育させた。3 時間の高温乾燥風処理は出穂後 4 日目に行った。穂の水ポテンシャルの変化は処理終了直後から顕著に現れ、NP では処理開始前の -0.25 MPa に比べ、-0.75 MPa と大きく低下した。一方、IB ではさらに著しく、処理開始前の -0.34 MPa から -1.53 MPa に大きく低下した。NP の穂の水ポテンシャルは、処理終了後 2 時間目までは低下したが、処理終了後 6 時間目には回復する傾向を示した。葉身における水ポテンシャルは低下する傾向があったものの、高温乾燥風処理による差は小さく、品種間で有意な差は認められなかった。また、穂の相対水分含量は水ポテンシャルと同様、NP では高温乾燥風処理による低下はほとんど見られず、処理終了後 6 時間目には回復する傾向を示した。しかし、IB では処理終了直後の相対水分含量は処理開始前に比べて大きく低下し、処理終了後 6 時間目では 22% と極めて低かった。穂のクロロフィル含量も NP で高く維持され、IB では顕著に低下し、処理終了後 6 時間目にはほとんどが白穂となった。このことから、耐性品種である NP は高温乾燥風に対し、穎花で水分損失を防ぐ何らかの防御機構を有し、時間の経過とともに回復したと考えられた。

**キーワード：**イネ, *Oryza sativa* L., 高温乾燥風, 風洞, フェーン風, 水ポテンシャル。

水稻の風害現象は、主に生育不良や登熟不良といった水分生理的な障害である。特に高温乾燥風によるイネの被害は、出穂直後の穂が高温乾燥風によって、一時的に水分を失い白穂となる特殊な水分障害として現れ (村松 1989)、この時期に風害を受けたイネの収量は著しく減少すると報告されている (村松・鴨田 1981, Limら 1988, Leeら 1998)。韓国の東海岸地域は南北に高い太白山脈が広がっているため、典型的なフェーン風が頻繁に生じる。嶺南農業試験場の盈徳出張所では風害が起きる地域に適応した品種を選抜するため、1985年に風速および温・湿度を調節できる風洞装置を製作・設置した (Limら 1988)。この風洞装置を用いて、自然状態で実際に起きる高温乾燥風を再現し、耐風性イネ品種を数品種選抜することができた (Leeら 1998)。しかし、高温乾燥風による登熟不良や収量の低下などといった農学的な解析は多くなされている (上原・佐本 1979, Limら 1988, 山本ら 1996, Leeら 1998) もの、風害によるイネの白穂現象を水分生理学的な観点から解析した報告は少ない。そこで、本研究では本試験場で選抜した耐風性イネ品種と感受性品種を用いて、穂と葉身の水ポテンシャルを中心に耐性イネ品種の生理学的な特徴を調べた。

### 材料および方法

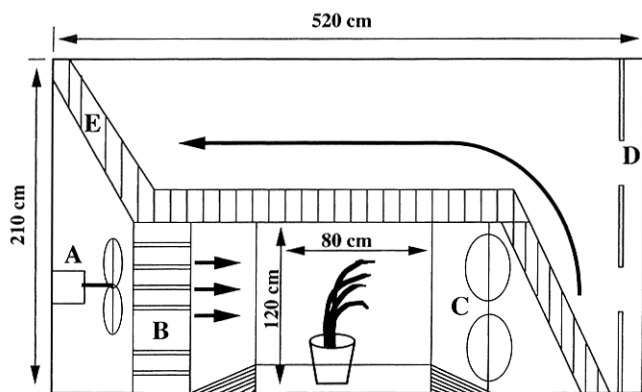
#### 供試材料

供試した水稻品種は、耐性品種としてすでに嶺南農業試

験場盈徳出張所で高温乾燥風に対し耐性が確認された日本型の Naepung-bye (NP) と感受性品種として同定されたオーストラリア原産の日本型品種の Ilabong (IB) である。各品種の催芽種子を 2002 年 4 月 25 日に苗箱に播種した。1/1250 a のワグネルポットに、化成肥料 (N:P:K=11:6.4:7.8) を基肥として 1.2 g を混合し、5 月 25 日に 1 株 1 本植えて移植し生育させた。追肥は最高分げつ期に化成肥料 0.8 g を与えた。生育は移植してから高温乾燥風処理を行うまで嶺南農業試験場盈徳出張所の屋外自然条件下の湛水状態で生育させた。

#### 風洞実験

実験は第 1 図の風洞装置を用いて行った。発育のそろった穂を得るため、出穂後 4 日目に 1 ポットにつきほぼ同じ大きさの茎 5 本のみを残して切除した植物体を用いた。降雨の後にフェーン風に遭遇して白穂発生が多くなる (上原・佐本 1979, 村松 1989) ことを考慮し、前処理として相対湿度 100% の暗室に 12 時間稲体を置いた。風洞装置は嶺南農業試験場盈徳出張所内に設置してあり、長さ 520 cm, 高さ 210 cm, 幅 120 cm の大きさである。処理風速は弱風で 7 m sec<sup>-1</sup> とした。また、フェーン風の高温乾燥風を想定して温度 30 °C, 相対湿度 50% にし、暗室条件下で 3 時間高温乾燥風処理を行った。実験に供試したポットは、各品種 3 ポットである。風洞内では風向が一定であるため、風が稲体に当たる部分に偏りが生じないよう、1 時



第1図 風洞装置の構造。

Aは主送風機、Bは風量調節パネル、Cは補助送風機、Dは調節室、Eは風流パネル、矢印は風の流れを示す。

間ごとに配列を変えた。

### 水ポテンシャル

高温乾燥風処理による葉の水ポテンシャル (LWP) と穂の水ポテンシャル (PWP) の経時変化を調べた。測定は高温乾燥風処理開始前と処理終了直後、2時間後、6時間後に行った。LWPは止葉の葉身を、PWPは最上位の1次枝梗の最先端の穎花を用い、それぞれ5反復で採取してからサンプルチャンバー (C-52型) に密封するまでの時間を5秒以内にされた。各組織とチャンバー内水蒸気圧の平衡時間は、25℃で20分間とした。水ポテンシャルの測定に当たっては、露点マイクロボルトメーター (WESCOR社製、HR-33 T型) を用い、サイクロメトリックモードで行った。

### 相対水分含量

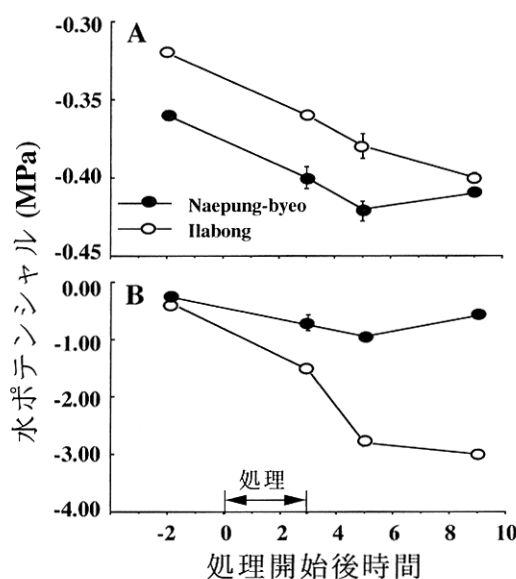
相対水分含量は水ポテンシャル測定後、その植物体を用いて止葉と穂を、高温乾燥風処理開始前と処理終了直後、2時間、6時間経過した各々のサンプルについて5反復で調査した。相対水分含量の算出はBars (1968) の方法を使用した。

### クロロフィル含量

葉のクロロフィルは葉緑素計 (ミノルタ社製、SPAD-502型) を用いて止葉の中央部を高温乾燥風処理開始前と処理終了直後、2時間後、6時間後に測定した。一方、穂のクロロフィル含量は葉緑素計で測定することができないため、90%メタノール抽出法で測定した。測定は高温乾燥風処理開始前と処理終了直後、処理後2時間、6時間目に行い、穂の最上位の1次枝梗の最先端の穎花1粒をピンセットで取り、90%メタノールでクロロフィルを抽出した後、分光光度計 (Scinco社製、S-3100型) を用いて行った。靱の面積はクロロフィルを抽出した後、イメージスキャナー (Epson社製、1640 XL型) で求めた。クロロフィル含量の測定は葉と穂ともに5反復で行った。



第2図 高温乾燥風処理による白穂発生の品種間差異。



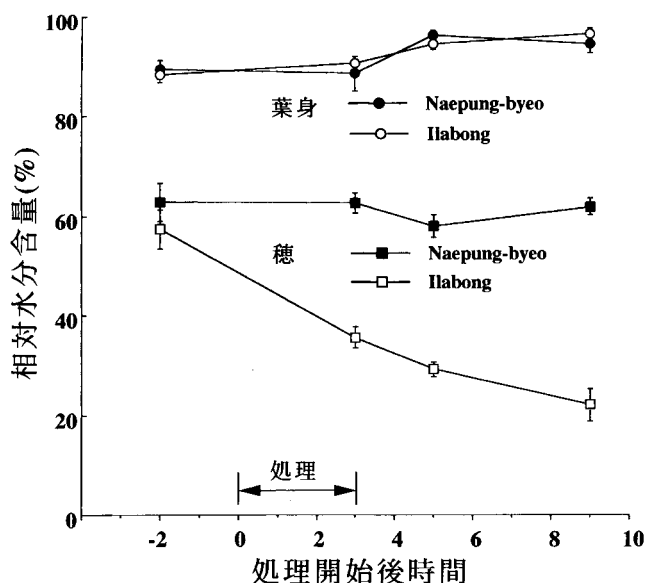
第3図 高温乾燥風処理によるイネの水ポテンシャルの変化。

Aは葉身、Bは穂、図中の棒線は標準誤差 (n=5) を示す。

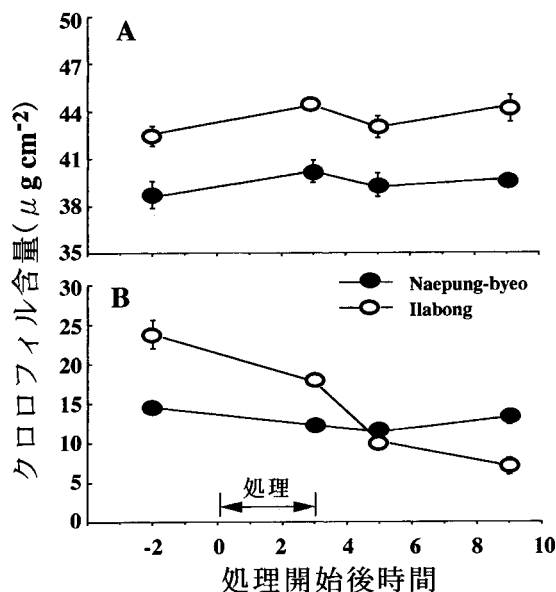
## 結 果

高温乾燥風処理終了後の耐性品種と感受性品種の様子を第2図に示した。耐性品種のNPは感受性品種のIBに比べ、葉身での乾燥はほとんどみられなかったが、穂における白穂現象はIBで著しく多く観察された。

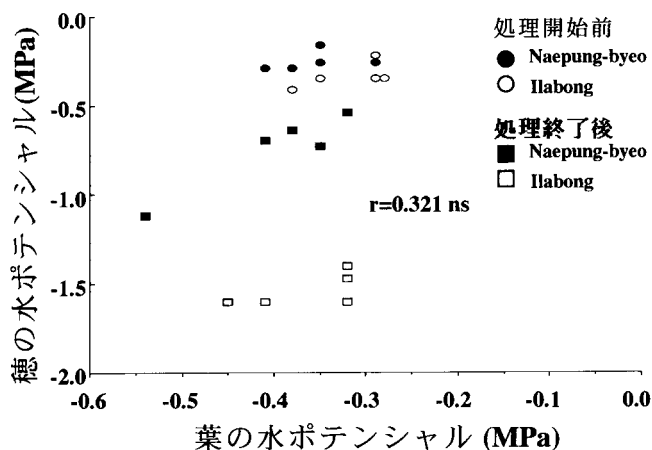
高温乾燥風処理終了後、葉身および、穂における水ポテンシャルの変化を調べた結果が第3図である。処理終了後の葉身における水ポテンシャルは低下する傾向はあったものの、水ポテンシャルの低下程度は小さく、両品種間に大きな差は認められなかった。しかし、穂の水ポテンシャルにおいては処理終了直後から低下が顕著に現れ、NPでは処理開始前の-0.25 MPaに比べ、-0.75 MPaと大きく低下した。一方、IBにおける変化はさらに大きく、処理開始前の-0.34 MPaから-1.53 MPaに低下した。また、NPの穂の水ポテンシャルは、処理終了後2時間目までは低下したが、処理終了後6時間目には逆に上昇した。処理終了後2時間経過したIBの穂は-2.8 MPaとさらに低下し、処理終了後6時間目には-3.0 MPaと完全に乾燥し



第4図 高温乾燥風処理によるイネ植物体の相対水分含量の変化。  
図中の棒線は標準誤差 (n=5) を示す。



第5図 高温乾燥風処理によるイネの葉身 (A) と穂 (B) におけるクロロフィル含量の変化。  
図中の棒線は標準誤差 (n=5) を示す。



第6図 高温乾燥風処理開始前と終了後のイネの葉の水ポテンシャルと穂の水ポテンシャルとの相関関係 (n=10)。

ていた。

葉身と穂における水分の損失を比較するため、相対水分含量を測定した (第4図)。葉身における相対水分含量は水ポテンシャルと同様、高温乾燥風処理による変化は認められなかった。一方、穂における相対水分含量はNPとIBの間で1%水準で有意な差が認められた。耐性品種であるNPの穂の相対水分含量は処理開始前と処理終了後とでほとんど変化がなかった。しかし、感受性品種のIBの場合は、処理開始前の57%から処理終了直後には36%と著しく低下した。その低下程度は処理終了後2時間、6時間と時間の経過に伴い大きくなっていった。

高温乾燥風処理による葉身および穂におけるクロロフィル含量を調べた結果が第5図である。葉身におけるクロロフィル含量は両品種とも処理開始前と処理終了後2時間、

6時間目の植物では変化はなかった (第5図A)。一方、穂におけるクロロフィル含量の変化は感受性品種であるIBで顕著に現れ、処理終了直後、処理終了後2時間目、6時間目と低下し続け、処理終了後6時間目には  $7 \mu\text{g cm}^{-2}$  とほぼ白穂になっていた (第5図B)。これに対し、NPの穂のクロロフィル含量は処理開始前と処理終了後とで大きな変化はみられなかった。

また、高温乾燥風処理を行ったイネの葉身の水ポテンシャルと穂の水ポテンシャルとの関係を検討してみると、両者の間には処理開始前と処理終了後とも有意な相関は認められなかった (第6図)。

## 考 察

風洞装置を用いて実際の高温乾燥風を再現し、高温乾燥風に対する耐性品種 (NP) と感受性品種 (IB) の反応を水分生理学的側面から調べた結果、葉身における水ポテンシャルはNPとIBとで大きな差がなく、処理開始前と比べて高温乾燥風に対する低下はほとんど見られなかった。ところが、穂に及ぼす乾燥風の影響は大きく、IBでは穂の水ポテンシャルの低下が処理終了直後に著しく、処理終了後2時間経過したイネの穂はほぼ乾燥していた。しかし、NPでは穂の水ポテンシャルの低下は小さく、特に高温乾燥風処理6時間後には回復する傾向があった (第3図)。穂および葉の水ポテンシャルの変化について、村松 (1982) はフェーン処理を開始すると、稲体各部位の導管の負圧は急激に低下するが、低下する度合は稲体の上位程大きく、処理開始後30分の穂で  $-1.4 \text{ MPa}$ 、止葉  $-1.0 \text{ MPa}$  であったと報告している。こういったフェーン害は穂の抽出後3-5日目に多くなり、その後は脱水に対する

抵抗力が増加して被害が減少する(村松・嶋田 1981)。

津田ら(1992)は湛水条件下の水田において、幼穂分化後成熟まで穂と展開葉身の水ポテンシャルを調べた結果、穂の水ポテンシャルは、登熟期の末期を除けば葉身水ポテンシャルを上回ると報告している。しかし、本実験では村松(1982, 1989)の報告と同様、蒸発散の調節機能の無い穂に高温乾燥風という強制的な水分障害を与えたため、穂の水ポテンシャルは著しく低下したと考えられる。

また、Leeら(1998)は高温乾燥風によるイネの被害は出穂直後に最も大きく、登熟歩合は15%前後と著しく低下したことを報告している。一方、栽培条件や出穂期が同じであったにも関わらず、高温乾燥風による水分障害型の風害には品種間差が認められ、主に、穂首の太さと白穂率とで有意な正の相関があったとの報告もなされている(Limら 1988, Leeら 1998)。

水ストレス条件下における植物組織の成長は、一般に組織の水分状態の悪化、あるいは組織への同化産物流入の低下によって抑制される。これらについて、津田ら(1994)は一つの可能性として、同化物の流入低下を挙げ、穂の水ポテンシャルが高く維持されたのは、水が移動しにくかったためであると推察した。いいかえると、水に溶けた物質の移動は水ポテンシャルが高い穂ほど小さく、このため水ポテンシャルが高いほど穂の成長が抑制され、ひいては水ストレス感受性が大となったと推測している。

高温乾燥風によるイネ植物体の被害が穂で大きかったことは、穂は葉身のように発達した気孔を介しての水分損失を調節する機能がないため、水ポテンシャルや相対水分含量などの低下が生じると考えられる(第3図, 第4図)。フェーンによる白穂被害の発生に直接的に関連する穂からの蒸散は、穂のどの部位からの蒸散であるかはまだ不明であるが、村松(1982)は穎花の表面からの失水を確認している。特に、耐性品種であるNPは高温乾燥風に対し、穎花で水分が蒸散しにくい何らかの性質を持っている可能性が極めて高いと考えられた。以上から、高温乾燥風に対する耐性品種の防御機構は穎花の組織的な特徴によるものと考えられる。今後、高温乾燥風に対する耐性を示すイネ

の穎花組織の構造の観察が必要であると考えられる。

**謝辞:**本研究の一部は韓国学術振興財団科学研究費(KRF-2000-005-G00002)により行った。本試験は韓国農村振興庁嶺南農業試験場において行われた。ここに記して関係の方々深く感謝の意を表します。

## 引用文献

- Bars, H.D. 1968. Determination of water deficits in plant tissues. In Kozlowski, T.T. ed., *Water Deficits and Plant Growth*. Academic Press, New York. 236-368.
- 平沢正・石原邦 1979. 水稻の体内水分と環境条件との関係. 第2報 葉の水ポテンシャルと木部の水ポテンシャルについて. 日作紀 48: 557-568.
- Kobata, T., T. Okuno and T. Yamamoto 1996. Contributions 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.
- Lee, J.S., K.Y. Lee, D.K. Shin, S.C. Kim, H.S. Suh and Y.J. Oh 1998. Dry wind damage of rice plant at different growth stages. *RDA. J. Crop. Sci.* 40: 14-18\*.
- Lim, S.J., C.Y. Kim, E.H. Moon and J.H. Kim 1988. Testing method of foehn tolerance and selection of tolerance varieties in rice. *Res. Rept. RDA.* 30: 7-13\*.
- 村松謙生 1982. フェーン条件下における水稻の体内水分に関する研究. *北陸農試報* 24: 1-28.
- 村松謙生 1989. フェーンによる水稻の白穂被害の発生機構. *北陸農試報* 30: 131-148.
- 村松謙生・嶋田福也 1981. 水稻のフェーン害に関する研究. *北陸農試報* 23: 19-56.
- 津田誠・高見晋一・横江大樹 1992. イネの発育に伴う穂の水ポテンシャルの変化. *日作紀* 61: 213-217.
- 津田誠・山口治秀・高見晋一・池田勝彦 1994. 穂の水ポテンシャルとイネの水ストレス感受性との関係. *日作紀* 63: 200-207.
- 上原泰樹・佐本四郎 1979. 水稻品種のフェーン害抵抗性の検定法について. *北陸農試報* 22: 89-100.
- 山本晴彦・早川誠而・鈴木義則 1996. 風洞実験による水稻の潮風害の影響評価. *日作紀* 65: 181-188.

\*In Korean with English Summary.

**Physiological Studies on the Foehn Tolerance of Rice (*Oryza sativa* L.):** Dong-Jin KANG<sup>\*1)</sup>, Un-Sang YEO<sup>2)</sup>, Byung-Geun OH<sup>2)</sup>, Jung-Hoon KANG<sup>2)</sup>, Sae-Jun YANG<sup>2)</sup>, Ryuichi ISHII<sup>3)</sup> and In-Jung LEE<sup>1)</sup> (<sup>1)</sup>*Coll. of Agr. and Life Sci., Kyungpook Natl. Univ., Daegu 702-701, Korea;* <sup>2)</sup>*Natl. Yeongnam Agr. Exp. Stn.;* <sup>3)</sup>*Nihon Univ.*)

**Abstract:** In this paper we investigated water status and chlorophyll content of tolerant and sensitive rice varieties after being subjected to dry wind treatment using a wind tunnel. Two rice varieties, Naepung-byeo (NP) as the tolerant variety and Ilabong (IB) as the sensitive variety, were grown in 1/1250a pots containing paddy soil. The water potential of the leaves and panicles, relative water content, and chlorophyll content were measured in each plant exposed to 3 hours of dry wind treatment 4 days after the emergence of panicles. The water potential of the panicles sharply decreased after the wind treatment. The water potential of the panicles in NP fell to  $-0.75$  MPa at the end of the treatment as compared to  $-0.25$  MPa before wind treatment, whereas, IB showed more severe change, from  $-0.34$  MPa to  $-1.53$  MPa, when treated by dry wind. The decrease in water potential of the panicles in NP was smaller than that of IB 2 hours after the treatment, and the recovery of panicle water potential was observed 6 hours after treatment. There was no significant difference in leaf water potential between NP and IB in this experiment. A similar trend was also observed in the relative water content. The relative water content of

panicles under dry wind treatment decreased over time. The water content in the panicle was higher in NP than IB 2 hours after wind treatment. Six hours after treatment, the relative water content of IB panicles was only 22% with a nearly white panicle. Chlorophyll content also showed similar results as water potential and relative water content. These results indicate that the changes in the susceptibility to dry wind treatment reflect only on the panicle, as white panicle, and the NP variety has some tolerance mechanism in the panicle; therefore, damaged panicles recover over time.

**Key words** : Dry wind damage, Foehn, *Oryza sativa* L., Rice, Water potential, Wind tunnel.

---