イネの稔実、登熟および粒質形成におよぼす風・雨の影響*

江 幡 守 衛・石 川 雅 士

(名古屋大学農学部)

平成元年4月13日受理

要 旨: 開放型実験風洞を用い、15m/sまで7段階の風速の風を出穂後1, 7, 14, 21, 29, 36日のイネに1時間処理した。また同時に散水を伴う風雨処理も行い稔実と米質への影響を調査した。

不稔および発育停止粒の発生は花期とくに出穂直後の風で多発した。降雨を伴う風ではこの障害は極く軽微であった。風による主な障害米は茶米と乳白米であり、障害は12m/sまで風速とともに増大した。茶米は出穂直後ほど発生が多いが、乳白米は出穂後14~21日頃の風で増加した。これらの障害は出穂後29日以後次第に減少した。降雨を伴う風では障害米の発生は1/2程度に軽減され、粒重の減少も軽微であった。

もみの蒸散速度は出穂直後に最も高く、7日目頃やや減少したのち登熟盛期には再び高まり以後成熟期まで減少を続けた。また蒸散速度は風速の増大に伴い初期ほど顕著に高まった。

もみの蒸散速度の高い時期の風は障害を増加させることから、風害は水分要求度の高い時期の穂の一時的な水分ストレスが引き金となって起こるものと考えられた。降雨はもみ擦れのような機械的損傷や穂の脱水を防止することにより、障害を緩和する働きをすることが示唆された。

キーワード: イネ、障害米、蒸散、風雨害、風害。

Effects of Wind and Rain on the Fertilization, Kernel Development and Kernel Characters of Rice Plant: Morie EBATA and Masashi ISHIKAWA (*Faculty of Agriculture, Nagoya University, Nagoya, Aichi 464, Japan*)

Abstract: Rice Plants (*Oryza sativa* L.) at different stages after heading were treated with artificial winds of 0 to 15m/s, with and without an artificial rain.

Flower fertilization was clearly inhibited by winds over 4m/s. Rainy wind, however, did not cause much injury. Brown—discolored kernels were caused by wind at the flowering stage. Occurrence of milky white kernel, however, was promoted by winds at 14—21 days after heading (DAH). These injured kernels increased with strengthened wind. Wind accompanied by rain, on the other hand, caused injured kernels to a lesser extent. Transpiration rate of rice spikelet was highest just after heading. It slightly dropped around 7 DAH and increased again in the mid—stage of kernel development and decreased thereafter. The stages of high rate transpiration coincided with stages most susceptible to wind injury. The rate of transpiration was accelerated with increased wind velocity especially in earlier stages.

It is concluded therefore that most of the wind injuries seem to be triggered mainly by a temporary water stress occurred in a panicle or in each spikelet. Rain was thought to be effective to lessen wind injury through protecting spikelets from their water loss.

Key words: Injured kernel, Rainy wind injury, Rice plant, Transpiration, Wind injury.

わが国では例年イネの登熟期に來襲する台風のため収量ならびに米質に少なからぬ被害を受けている。台風の強い風雨によるイネの障害機構については多くの被害実態調査によって検討されている^{2,3,5)}。しかし自然の風害の場合には風雨の条件がかなり不明確であり、さらに倒伏や潮風の影響を伴う場合もあり、被害機構を実態調査のみで解明することは難しい。実験的手法で用いられる風雨は、実際の風雨とはかなり異なる条件ではあるが、被害解析を定性的または定量的に進めるためには実験的研究が有用な手段と考えられる。従来の実験的研究の多くは出穂開花期を中心としたものであり^{4,6)}、登熟

期全般にわたっての粒質形成に対する影響に関しては十分明らかにされていない。本報では風洞実験によってこの点を追究するとともに、とくに風に伴う雨の影響を検討した。

材料と方法

風ならびに風雨処理実験 1982年、水稻品種日本晴を用い、5月22日苗床に播種し、6月9日1/5000aワグネルポットに2株2本植で移植した。その後網室内で生育させた。肥料には2-6-4化成を用い、基肥として3g、追肥として2g施用した。出穂期(8月24日)に平均出穂日±1日の穂にマークしこれらを調査対象とした。

風処理 風洞実験室内で行い、開放型風洞(3馬力、吹出口の大きさ縦35.8cm×横30.8cm)を用い

* 大要は第179回講演会(昭和60年4月)において発表。

た。風処理は植物体の上半部を中心に行い、風速は穂の位置において所定の風速となるよう調節した。風速の測定には熱線風速計を用いた。供試風速は0（無処理）、4、6、8、10、12、15m/sの7段階とし、処理時期は出穂後1、7、14、21、29、36日の6期とした。処理時間は1時間とし、各区2ポット処理とした。

風雨処理 風洞吹出口に散水用ノズルを設置し、風処理と同時に水道水の散水処理を行った。風雨処理における風速、処理時期、処理時間等は上記の風処理と全く同様とした。散水量は時間降水量150～200mmに相当した。

成熟期に穂を収穫し、調査対象穂のうち5穂づつをとり着粒位置別に稔実ならびに米質を調査した。なお、一部の調査対象穂について、もみ殻の褐変程度を調査した。褐変の甚しいものを3、やや顕著なもの2、軽微なもの1、不明瞭なもの0の評点を与え、全もみの平均点を褐変指数とした。

穂の蒸散速度の測定 水中切りした穂2本を50mlのメスフラスコに挿し、もみ部分以外をアルミホイルで覆った。この切穂を実験風洞を用いて30分間一定の風速の風に当て、重量法によってもみ1粒当りの蒸散量を求めた。実験は8月下旬～9月中旬の好天日の日中に行った。測定の標準条件を気温30℃、相対湿度55%（水蒸気飽差19mb）とし、測定時の水蒸気飽差によって蒸散量の補正を行った。各測定は2反覆で行われた。供試穂には出穂期の異なる日本型水稻無芒種のべ9品種を用いた。供試時期は出穂後1～48日の間の8期、風速0、3、6、10m/sの4段階とした。

結果と考察

稔実障害 出穂開花期の風処理により不稔ならびに发育停止粒が発生した。これらの稔実障害は出穂直後ほど著しく、また風速が強いほど増大した。開花の終了する出穂後10日以後では障害はみられず、

第1図 不稔・发育停止粒の発生におよぼす風雨の影響。
注) 図中の数字は出穂後日数。

第2図 茶米の発生におよぼす風雨の影響。
注) 図中の数字は出穂後日数。

第3図 乳白米の発生におよぼす風雨の影響。

注) 図中の数字は出穂後日数。

第4図 全障害米の発生におよぼす風雨の影響。

注) 図中の数字は出穂後日数。

第5図 腹白米の発生におよぼす風雨の影響。

注) 図中の数字は出穂後日数。

第6図 完全米と風雨処理との関係。
注) 図中の数字は出穂後日数。

第7図 強風処理時期と障害米の発生。
注) 10, 12, 15m/sの場合の平均。
●—● 全障害米, ○……○ 茶米, ×……× 乳白米,
△——△ 奇形米・半死米・死米。

第8図 強風処理時期と稔実 (穂上位置別)。
注) 10, 12, 15m/sの場合の平均。
●—● 上部枝梗強勢穎花, ○——○ 下部枝梗強勢穎花,
●……● 上部枝梗弱勢穎花, ○……○ 下部枝梗弱勢穎花。

風速 4 m/s 以下では障害はごく軽微であった。一方風雨処理では障害はすこぶる僅少であり、雨による被害軽減効果が明らかにみられた (第 1 図)。

登熟障害 風処理は米質に大きな影響を及ぼしたが、主要な障害としては茶米と乳白米の発生であっ

た。茶米の発生は稔実障害と同様に、出穂直後の処理で最も著しかった。以後は登熟が進むにつれて減少し、出穂後 20 日以後の処理では発生はみられなかった。茶米の場合も 6 m/s 以下では発生は軽微であり、強風では発生率が増大した。また風雨処理で

第 9 図 強風処理時期と障害米の発生 (穂上位置別)。

注) 10, 12, 15 m/s の場合の平均。

●—● 上部枝梗強勢穎花, ○—○ 下部枝梗強勢穎花,
●—● 上部枝梗弱勢穎花, ○—○ 下部枝梗弱勢穎花。

□ 風処理, ▨ 風雨処理。

第 10 図 風雨処理と玄米粒重。

注) 図中の数字は出穂後日数。

第11図 風・雨がもみの褐変におよぼす影響。
注) 図中の数字は出穂後日数。
●—● 風, ○—○ 風雨。

第12図 もみの褐変と茶米発生との関係。
注) ● 風, △ 風雨。

は風処理に比べ障害はかなり軽減された(第2図)。乳白米の発生は出穂後14~21日の6 m/s以上の風で著しく、強風ほど発生率は増大した。しかし、開花期や登熟後期の風ではほとんど発生がみられなかった。また乳白米の発生についても、雨処理による障害軽減効果がみられた(第3図)。風処理による障害米としてはこれらの他に、死米、半死米、奇形米などがみられたが比較的僅少であった。障害米全体としても第4図に示したように、風速が強いほど明らかに障害米が増加する。この傾向は風雨処理でも同様であるが、風処理に比べ障害は軽微である。風速が10~12 m/s以上では障害はやや頭打ちになる傾向が全般的にみられたが、これは強風になるほど穂が風になびき、風圧力の増加が逡減するためで

第13図 穂の蒸散におよぼす風の影響。

注) ●—● 0 m/s, ○—○ 3 m/s,
▲—▲ 6 m/s, △—△ 10 m/s。

はないかと考えられる。風によって障害米が発生するのは出穂後25日頃までであり、29日以降では殆ど影響はみられない。とくに障害米の発生し易い時期は出穂直後と出穂後14~21日頃の2期であり、出穂後7日頃はやや障害が発生し難い(第4図, 第7図)。腹白米は狭義の障害米とはいえないが、その発生率は障害米の発生と関連してかなりの変動をみせた。第5図に示したように、腹白米の発生は障害米の発生を助長する出穂期~出穂後21日頃までの風処理ではむしろ減少した。しかしもはや障害米の発生しにくい出穂後30日前後のいわゆる登熟後期の処理では増加する傾向を示した。

完全米は障害米とは逆に、出穂期および登熟盛期の風で減少し、風速の増加に伴って明瞭な減少傾向がみられた。また風に伴う雨は完全米の減少を抑制した(第6図)。

着粒位置と障害との関係を見ると、稔実障害、障害米の発生はいずれも弱勢穎花に多く、強勢穎花では少ない傾向が明瞭であり、また枝梗の上下の関係では、出穂後14日目頃までの穂の比較的直立する時期には上部枝梗の障害が多いが、傾穂期以後はこの関係は不明瞭であった(第8図, 第9図)。

風処理によるもみの褐変は出穂期から出穂後7日の処理で著しく、風の強いほど褐変程度は増大した。もみの組織が若いものほど褐変し易く、出穂直後では4 m/s, 7日目では8 m/s, 14日目では12 m/s以上の風で褐変を生じた。また雨処理は褐変を明らかに抑制した(第11図)。風によるもみの褐変は茶米の発生パターンと類似した傾向であり、褐変指数と茶

米発生率との間には有意な相関関係がみられた (第 12 図)。

風処理は上記のような粒質の劣化とともに粒の発育量を減退させた。粒厚 1.4 mm 以上の玄米の 100 粒重でみると、粒重の低下は出穂直後の風で最も大きく、登熟が進むほど軽微であった (第 10 図)。風速が 6 m/s 以上では強風ほど粒重低下が大きい。雨を伴う風では粒重の低下は少なく、粒の発育量においても明らかに雨の風害軽減効果が認められた。

もみの蒸散速度におよぼす風の影響 もみの蒸散速度は出穂直後には大きいですが、もみ殻組織の急速な充実期には急減した。しかし米粒の発育盛期には蒸散速度は再び高まり、出穂後 14~21 頃ピークを示した。それ以後は粒の成熟につれて低下した (第 13 図)。風はもみの蒸散を助長し、蒸散の促進は風速の大きいほど著しかった。また風による蒸散促進は若いもみほど顕著であり、10m/s の風による蒸散速度の促進率は出穂直後~7 日目で約 75%、14 日目 52%、21 日目 37%であった。

以上の結果、登熟全期間にわたって時期による風の障害発現のパターンが明らかにされた。即ち発生する障害は出穂~開花期には不稔および発育停止粒、発育停止をまぬがれたものは多くはもみの褐変と茶米の発生などであり、これらはいずれも若い発育段階ほど障害が大きい。登熟盛期の典型的な障害は乳白米の発生であり、同時に死米、半死米も発生する。障害は主として胚乳組織の透明化の異常を伴うもので、この時期の粒質形成にとって重要な時期であることが示唆された。登熟後期の風はもはや障害米の発生を助長しないが、腹白の発現を増加させた。これは風処理が米粒の脱水収縮を異常に促進したことが一因と考えられる。

本実験の結果、雨を伴う場合は風害が著しく軽減することが明らかにされたが、雨の被害抑制作用としては、1) 水の被膜が潤滑剤として作用し、もみずれ、葉ずれなどの機械的損傷を防ぐ、2) 異常蒸散による水分ストレスを防止する、などが考えられる。第 7 図および第 13 図の結果からはもみの蒸散速度の高い時期が風による障害の顕著な時期と一致するという興味深い事実が得られており、このことか

ら風害と異常蒸散との関連がかなり密接であることが示唆された。

出穂直後の高い蒸散速度は花穎の外表皮組織が未完成のため物理的に水分が奪われ易いためと考えられ、登熟成期には米粒への貯蔵養分の輸送のため、米粒において盛んに水分の流入とその放出が行われ、蒸散が活発となるものと思われる。いずれにしても、もみの蒸散速度の高い時期は穎果の受精および組織形成また養分蓄積と粒形成などにとって非常に重要な時期である。恐らくこの時期の風は穎果の蒸散を異常に昂進させ、これによって生じる穎果の一時的な水分ストレスが受精障害や登熟過程の進行を変調にするものと思われる。

フェーン風による出穂直後の異常蒸散によって不稔を生ずることは知られている⁹⁾が、本報の結果から異常蒸散は登熟盛期についても少なからぬ障害を及ぼすことが示され、台風の際に降雨が止んだ場合或は台風通過後の乾風が障害に大きな影響をもつことが十分推測される。

本実験の風は層流的な人工風であり、乱れの大きい実際の風と比較することは難しい。またこの風は植被層上部の風としていわゆる気象資料としての風速に換算することも容易ではない。気象資料の風速と障害度との関係を明らかにするためには新たな実験方法の検討が必要となろう。

引用文献

1. 村松謙生・鴨田福也 1979. 水稻のフェーン害に関する研究. 農業気象 35: 173-176.
2. 長戸一雄・山本良三・小林喜男 1955. 台風による初擦変色と稔実障害の関係. 日作紀 23: 266.
3. 長戸一雄・小林喜男・窪田拓男 1956. 14 号台風による水稻の乾風障害について. 日作紀 24: 167-168.
4. 志茂山貞二 1952. 水稻の出穂期前後に於ける風雨害に関する研究. 第 8-10 報 風害稲の栄養生理障害について. 日作紀 27: 163-167.
5. 戸苅義次 1940. 暴風による水稻被害に就いて. 特に昭和 12 年関西地方の暴風に関して. 第 4 報 被害稲に関する調査. 日作紀 12: 291-297.
6. 坪井八十二・氷高信雄 1958. 水稻の風害に関する研究. 不受精の原因について. 日作紀 27: 207-209.