

水稻のフェーン害に関する研究

誌名	北陸農業試験場報告 = Bulletin of the Hokuriku Agricultural Experiment Station
ISSN	04393600
著者名	村松,謙生 鴨田,福也
発行元	農林省北陸農業試験場
巻/号	23号
掲載ページ	p. 19-56
発行年月	1981年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



水稻のフェーン害に関する研究*

村松謙生⁽¹⁾・鴨田福也⁽²⁾

要 旨

フェーンによる水稻の被害は、北陸地域における代表的な気象災害である。しかし、被害の発生機構や減収要因について不明な点が多い。本報告は風洞を使って被害を再現し、被害量を左右する諸条件や減収の原因について考察を進めたものである。

フェーンによる水稻の被害は、種々の様相を呈するが、その主なものは、出穂前の処理では枝梗数や穎花数の減少、出穂期から出穂後数日の処理では、白化穎花や白穂の発生による稔実歩合の低下、米質の悪化、さらに穂の抽出阻害、下葉の枯れ上等である。これらの被害量を左右する主な条件として、フェーンの強さのほかに、水稻の生育時期、施肥量(窒素肥料)の多少、稲体のケイ酸含有量の差異、根の活性、それに地温の高低などをあげることができる。

目 次	
I 緒 言	19
II 実験装置及び水稻の栽培法	20
1 風洞の構造	20
2 水稻の栽培方法	22
3 被害水稻の調査方法	22
III フェーン被害再現条件の検討	23
IV 水稻のフェーン被害を左右する諸条件	24
1 水稻の生育時期と被害	24
2 水稻の栽培条件と被害	29
V フェーンによる減収の原因	37
1 フェーン処理水稻の登熟	37
2 穂の抽出阻害	42
3 下葉の枯れ上等	43
VI 総 括	45
VII 摘 要	47
引用文献	48
英文摘要	51
写 真	55

I 緒 言

北陸地域は地形的にフェーン現象の発生し易い地域であり、毎年フェーンが発生し、しばしば出穂期前後の水稻に被害が発生している。特に最近では、早生品種の作付面積の増加や、特定の銘柄品種の栽培面積が増加したことにより、被害が集中する傾向にある。

フェーンによる水稻の被害については、すでに多くの報告がなされているが、当地域に発生するフェーンは、その被害の発生する時期が盛夏であることから、他地域におけるフェーンに比べ高温であり、その成績をそのまま利用できない農業気象的な特徴をもっている。また、過去の文献ではフェーン被害発生後の調査解析が中心であり、台風害や冷害に比較して実証的な実験が不足している。このため、被害の発生機構について憶測の域を出ず、被害程度とそれを左右する条件との関係については不明な点が多く、被害の軽減法も効果が実証されていないものが多い。したがって、水稻のフェーン害回避については他の災害と同様に耐

* 1979年12月21日受理

(1) 環境部農業気象研究室 (2) 同 研究室長(現果樹試験場)

性品種の育成や抵抗性栽培法の確立と共に、フェーン日やフェーン遭遇後の栽培管理などについて検討すべき課題が多く残されている。

このような、水稻のフェーン害に関して不明な点を明らかにし、効果的な防止対策を見出そうとして、1972年から実験を進め前報(村松²²⁾)では、北陸地域におけるフェーンの発生状況とその農業気象的な特徴を中心に報告した。本報告は1973年から1978年にわたり、風洞を用いて実施した実験の結果を中心にとりまとめたものである。しかし、水稻のフェーン被害は内容が多岐にわたり複雑であるため、ここでは出穂期を中心にした被害について生態的な側面からの検討を行った。

本研究を進めるに当たり、当场前農業気象研究室長大沼匡之氏、同室前主任研究官小林一雄氏(現九州農業試験場)、同研究員高橋久三郎氏(現農蚕園芸局)から御指導と御協力をいただいた。当场前土壌肥料第1研究室森田晃司博士(現農業技術研究所)には、ケイ素の分析をお願いすると共に、当场作物第2研究室原田二郎博士には、水耕栽培法について適宜御指導をいただいた。さらに農業気象研究室山田一茂氏、業務科坪井桂一氏、宮沢キヨ子氏、山田英一氏、中沢スイ氏には常に御協力をいただいた。これら多くの方々に深く感謝の意を表わす次第である。

II 実験装置及び水稻の栽培法

実験に使用した風洞の構造やフェーンの処理方法、水稻の栽培法及び被害水稻の調査方法を示すと次のとおりである。

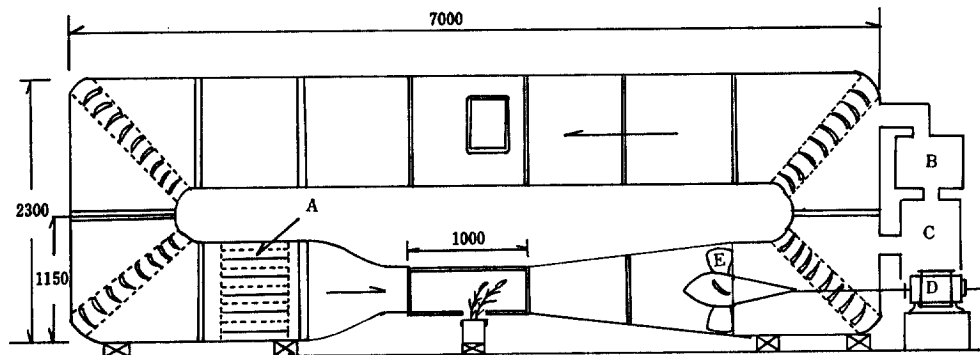
1 風洞の構造

実験に使用した風洞は、ゲッチングン型小形風洞と木製の小形風洞の二種類であり、その概要は第1、第2図のとおりである。

1) ゲッチングン型風洞

風洞の特徴

この風洞は、雪に関する実験用に設計されているため、水稻の実験に使用するには次のよ



A: 整流板 B: 温風器 C: 除湿器 D: モーター E: 送風機

第1図 ゲッチングン型風洞の構造(単位mm)

うないくつかの問題点があるが、後記するようないくつかの改良を行った。

i) この風洞内の気流は内蔵する整流板によってほぼ整流されている。したがって、処理中に稲体に吹き当たる風速は一定であり、乱れが少なく息がないという点で自然の風とは若干性質が異なっている。

ii) 風洞の吹き出し口の大きさは、400mm×600mmの小形であるために、一般に栽培されている水稲品種を供試することは不可能であり、短稈品種や矮性稲を使用せざるを得なかった。しかし、1977年に供試室を改良して通常に栽培されている品種の実験ができるようにした。

iii) 風洞内の温度は、風洞外に取りつけた温風器とダクトで接続しているため任意に設定できる。

iv) 湿度の調節は温風器と接続した除湿器で除湿する方法をとった。風洞内からの空気を除湿した後に加温して再び風洞に送り込む方式である。

v) 吹き出し口の風速は、変速機を内蔵したモーターで送風機を回転させるため、任意の風速が得られる。

風洞の構造

この風洞の主要部分の構造は次のようである。

i) 本体は鉄骨を軸として、壁面を厚さ1mmの鉄板で囲い、組み合わせ部分を直径6mmのボルトで止め、その上からハマタイトで密閉してある。

ii) 電動機は0.75kW 4極モーターに、コップ無段変速機（旭精機工業KK製）を直結したもので、加速減速が可能である。

iii) 送風機は鉄製で直径23mmの軸に、長さ380mm、最大幅380mmの4枚の羽根が取り付けられている。

iv) 吹き出し口の大きさは、高さ400mm、幅600mm、長さ1000mmで、底面積は0.6m²の3面ガラス張りである。

v) 加温には家庭用の温風器を利用したが、これは0.5、1.0、1.5kWの3段切り換えが可能である。

vi) 除湿器は100Vの家庭用の除湿器を直結した。

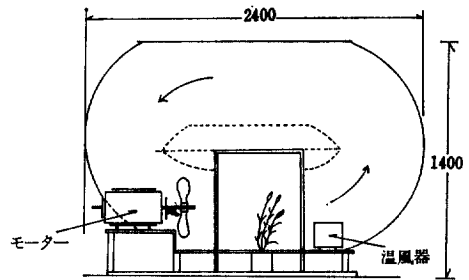
なお、風速の検出には理工研式小型ロビンソン風速計を使用し、温度、湿度の検出にはアスマン乾湿計を用いた。

2) 木製小形風洞

この風洞はゲッチングン型風洞を組み立てる前に製作して使用した。

風洞の特徴

この風洞は1回に1/5000aポットを3個処理できる。しかし、風速は任意に変えられるが温度と湿度の調節ができないため、1kWの温風器を風洞内に入れて加温した。したがって、温度の上昇に伴って相対湿度は低下する。



第2図 木製小型風洞の構造（単位mm）

風洞の構造

- i) 材料は厚さ10mm, 幅100mmの木材を軸とし, 外装は厚さ5mmの合板である。
- ii) 電動機は0.5 kWのモーターに無段変速機を直結している。
- iii) 送風機は換気扇の羽根を改良したもので, 風が直接水稻に当たる。
- iv) 吹き出し口の大きさは, 300mm×400mm, 高さ1000mmで前方がガラス張りである。
- v) 温度調節には温風器を使用し, 設定条件に達したのを確かめた後に水稻を搬入した。
- vi) 密閉式としたが材料が木材であるために吸湿性が高い。

なお, 風速や温度, 湿度の測定器機はゲッチンゲン型風洞の場合と同様である。

2 水稻の栽培方法

育苗は箱育苗とし, 毎年4月20日前後に播種した。育苗期の施肥量は配合肥料を使い1箱当たり全量で35g (成分ではN1.4g, P₂O₅ 2.1g, K₂O 1.8g) 施用し, 4~5葉期にポットに1~2株ずつ移植した。使用したポットの種類は, 実験用小型苗箱 (150mm×60mm×100mm), ポリ容器 (264cm³), 1/5000 aポットの3種類であるが, 実験用小形苗箱と小形容器は, 風洞を改良した1977年以前に使用したもので, 吹き出し口の関係で小形の方が都合がよかったからである。

施肥量は配合肥料を使い, 1/5000 aポット当たり基肥で6g (成分はN, P₂O₅, K₂O共に0.9g) とし, 追肥は幼穂形成始期に硫安4g (成分はN 0.8g) を施用してこれを標肥区とした。多肥区の基肥量は標肥区と同量とし, 追肥で標肥区の倍量施用した。少肥区も基肥は同量で追肥で標準区の1/2施用とした。実験用小型育苗箱や小形容器の施用量は, その容積に応じて1/5000 aポットの相当量を施用した。

水耕栽培には碟を使用した。水耕液は水道水を用い, N (NH₄NO₃), K₂O (K₂SO₄), CaO (CaCl₂), MgO (MgSO₄) がそれぞれ40ppm, P₂O₅ (NaH₂PO₄·2H₂O) 10ppm, Fe (クエン酸鉄) 2ppm, MnO (MnCl₂) 0.5ppm を含む Yoshida⁵⁴⁾ らの水耕液を使用し, 生育初期は毎週1回, 盛夏には毎週2回水耕液を交換した。水耕液のpHは, メチルレッド, ブロムクレゾールグリーン混合指示薬を使用して, INのHCl及びNaOHで5.0~5.1に調整した。なお雨水が入らないようにガラス室内で窓を開放して栽培した。

3 被害水稻の調査方法

実験に共通する主な調査方法について記すと次のようである。

1) 幼穂形成始期

出穂の予測日から30~35日前に, ポット当たり草丈の高い順に5茎を切り取り, その3~4茎の幼穂長が1mm以上になった日を幼穂形成始期とした。1回の調査では判定することは困難であるが, 数回反復することにより判定が可能であった。

2) 出穂日

出穂日の判定は止葉の葉舌部分や葉鞘から穂の一部が出現した日を, その茎の出穂日とした。出穂期の判定はポット単位あるいは圃場単位で全茎数の40~50%が出穂した日とした。

3) 白化穎花及び白穂の調査方法

フェーン処理終了後, 各穂ごとに被害調査を行い, 穎に少しでも白化部分の認められる穎

を白化穎花とした。被害程度はこの白化穎花の多少で4階級とし、1穂中の80%以上の穎花が白化した穂を白穂とした。

氏家ら⁵⁰⁾は、台風の被害穂を外観上の特徴から5階級に分類しているが、フェーン被害の場合の白化穎花をみると、白化部位や白化程度が多様であると共に、処理直後は外観的に全く被害の認められない穂であっても、登熟途中で着色する粳があり、しかも、この着色程度は年次によって異なるため、処理直後に細かに分類する必要がないと判断した。

4) 稔実程度

成熟期に刈り取り乾燥した後に、穂ごと、あるいは被害の程度別に脱粒し透視器で稔実粳と不稔粳に分けたが、子房の発育が少しでも認められる粳は稔実粳とした。

5) 米質調査

成熟期に刈り取り乾燥した後に穂ごと、あるいは被害の程度別に脱粒し、粒厚1.7mm以上の玄米について米質調査を実施した。分類及びその外観上の特徴を示すと第1表のようである。

第1表 米質分類及びその外観の特徴

分 類	特 徴
生 米	光沢のある透明度の高い完全玄米
生 米 青	光沢のある透明度の高い完全玄米であるが青味を残す玄米
半 生 米	完全米、死米以外の玄米
半 生 米 青	完全米、死米以外の玄米で表面に青味を残す玄米
死 米 白	光沢のない白濁した死米
死 米 青	光沢のない白濁した死米で表面に青味を残す玄米
乳 白 米	完全米に近いが中に乳白色の部分の残った玄米
着 色 米	死米以外で登熟中に何らかの原因で茶、または黒く変色した玄米
奇 形 米	死米以外で形が奇形である玄米
着 色 奇 形 米	着色米と奇形米の両特徴をもつ玄米

Ⅲ フェーン被害再現条件の検討

水稻のフェーン害に関する報告は古くからあり、安武ら⁵³⁾は1941年に宮崎県下に発生した白穂被害を報告している。その後1947年のカスリン台風や、1948年のアイオン台風の襲来時に静岡県下に発生した白穂被害を契機に、栗田ら¹⁴⁾、木邨¹¹⁾、松尾¹⁵⁾、角田ら⁴⁵⁾、中村ら²⁸⁾、品川ら³⁷⁾、中山ら²⁹⁾、坪井ら⁴⁸⁾、志茂山³⁶⁾など、多くの研究者により報告がなされている。また、木邨¹²⁾、栗田ら¹⁴⁾により実験的に被害が再現されている。しかし、これらの報告では、フェーン被害の発生時期が9月であったことにもよるが、北陸地域に発生する夏のフェーン日の気象条件に比較すると、気温が低いことになり、当地域に発生するフェーンとはかなり異なる面がある。そこで、まず当地域におけるフェーン被害の再現条件を検討した。

条件の設定は、過去のフェーン被害発生日の気象条件から(村松²⁰⁾、風洞内の温度は日中処理の場合34~35°C、夜間処理で約30°Cとし、湿度は60%前後、風速7~10m/secを設

定し、これを目安として実験を開始した。

フェーン被害を風洞内で再現させるまでの実験内容の概略を年次別に記すと次のようである。

1973年：短稈品種の短銀坊主と、矮稲Cの2品種を供試し、出穂始めから穂揃期にかけて、9時30分から14時30分の5時間にわたり、各品種共4回の実験を繰り返す、最後に9時30分から16時30分の7時間の処理を実施した。風洞内の温度は33°C前後、風速は7 m/secであり、ほぼ満足する条件であったが、湿度は70~75%であった。

その結果、処理中に開花顕花が見られたほかは、外観的な被害は認められなかった。しかし、成熟期の調査では着色した籾が多く発生し、米質の悪化、玄米千粒重の低下などの被害が認められた。この傾向は常温、常湿度の10m/secの強風処理区に対比しても多い結果となった。

1974年：1973年と同一品種を使い、処理条件も温度と風速は前年並とし、湿度を60%に低下させて、日中に再度の実験を行った。実験は数回反復したが白穂や白化顕花の発生は認められなかった。しかし、成熟期の調査では前年と同様に、着色籾が発生して収量性は低下した。

1975年：日中処理を改めて夜間処理とし、0時頃から風洞内の処理条件を設定し始め、条件の整った午前1時前後から実験を開始した。その結果2~3時間の処理で白穂被害を含む被害が発生した。そこで、処理条件を変えたり、あらかじめ栽培しておいた別の品種や施肥量の多少、根の活力の違いなどの試験区を設け連日実験を行った。

1976年以降：過去3カ年の結果から、実験は主に夜間に行い、処理の条件は実験開始時の気象観測値を基準として、温度はこれより4~5°C高温、湿度は30~40%低くし、風速は5~8 m/secを目安として実験を継続した。

しかし、上原ら⁴⁹⁾は、その後フェーン処理前に暗黒下で数時間のシャワー処理を行えば、日中でも容易に白穂被害の発生することを認めている。また、池田⁵⁾は、四国において降雨後のフェーンで、日中に白穂被害が発生したことを報告している。このような事例から、水稻のフェーン被害の再現には、生態的な解析だけでなく、生理的側面から追究する必要があるが、以下に述べる実験結果はすべて前記の条件下で実施したもので、フェーン処理前のシャワー処理などは行っていない。

Ⅳ 水稻のフェーン被害を左右する諸条件

これまでのフェーン被害調査の結果をみると、被害程度を左右する条件としては、水稻の生育時期、栽培条件、あるいはフェーン吹送時の気温、湿度や風速及びその持続時間などにより、被害量に差のあることが知られている。しかし、これらは必ずしも明確なものではなく、実験的にはほとんど検討されていない。そこでこれらの諸条件と被害量の関係について検討した。

1 水稻の生育時期と被害

1) 出穂前のフェーン処理と被害

出穂前にフェーンに遭遇した水稲は、一時的にしろ稲体の水分が不足し、発育中の幼穂への影響が懸念される。そこで出穂前のフェーン遭遇と穎花数の関係について風洞実験を行った。

(1) 実験方法

ポット栽培した短銀坊主とドロキワセを供試して、幼穂伸長期間にフェーン処理を行った。年次別の実験条件は第2表のようである。処理時の温度、湿度、風速は、外気に比較して気温で4~5°C 高め、湿度は30~40%減、風速は5~8 m/sec 強い条件である。処理後は屋外のポット置場で所定の管理を行い、穂揃期に刈り取り穎花数の調査を行った。また、一部を成熟期まで栽培して登熟に及ぼす影響を調査した。

(2) 実験結果

各実験年も実験中に葉の萎凋は認められず、処理後に出葉した止葉などに奇形はみられなかった。

i) 処理と枝梗数との関係

第3表は、処理時期別に枝梗数の減少程度を示したものである。枝梗数の減少は1次枝梗、2次枝梗にも認められ、特に2次枝梗の退化が多い傾向となった。

ii) 処理と穎花数の関係

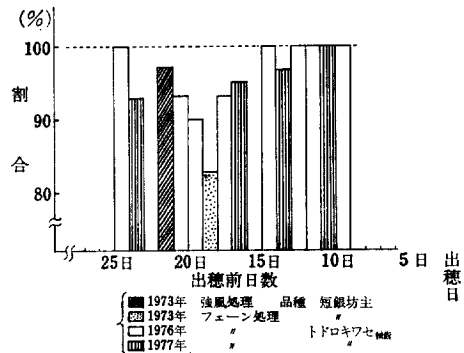
第3図は、出穂前のフェーン処理と株当たり平均一穂穎花数との関係を、無処理区の穎花数に対比して示してある。処理により穎花数は明らかに減少し、その影響は各年次共出穂前

第2表 フェーン処理時期及び風洞内の条件

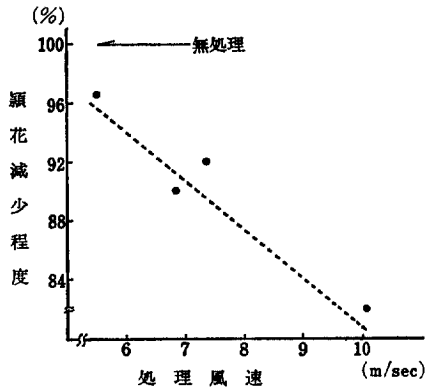
年次	項目	処理時期	温度 °C	湿度 %	風速 m/sec	処理時間 時間	備考
1973		出穂前 21日	—	—	10	5	強風処理
		” 17日	30.0	65	10	5	フェーン処理
1976		穂孕期間3日ごと	30.6	62	8.3	4	”
1977		”	30.6	62	5.5	4	”

第3表 出穂前のフェーン処理と枝梗数との関係 (1977, 品種トドロキワセ)

処理日	枝梗別	枝梗数	
		1次 枝梗数	2次 枝梗数
無	処	7.1	5.4
出	理		
穂	前	7.2	4.8
前	10日		
”	13日	7.0	4.1
”	17日	7.0	3.4
”	21日	6.7	3.5
”	24日	6.7	3.4



第3図 出穂前のフェーン処理と1穂穎花数の関係



第4図 フェーン処理風速と顕花数の関係
(1973~1977)

が出穂前20日前後の処理区で、処理温度が30~31°C、湿度60~65%の4~5時間処理と、風速以外の条件がほぼ一定な区を選び出し、風の強弱と顕花数の減少率をみたものである。過去の実験では一穂顕花数の減少率は、最高で17~20%であったが風によって変化し、3~4 m/secの処理ではほとんど影響はみられず、5~6 m/sec以上で風速が増加するにしたがって減少量は増加した。しかし、フェーンの強さは風速だけで表わされるわけではなく、温度、湿度、風速の要因が、それぞれどの程度の影響を与えるか、さらに検討する必要がある。

iv) 出穂前のフェーン処理水稻の登熟

幼穂伸長期にフェーン処理した水稻は、登熟途中において着色粳となる比率が高く、着色粳は着色米が発生し易く、鈎合不全粳や奇形粳、顕花数の減少と相まって収量は低下した。

(3) 考 察

幼穂形成期から出穂期の間には暴風に遭遇した水稻の顕花数への影響については、三代¹⁸⁾、坪井ら⁴⁸⁾の報告があり、強風実験の結果、やはり顕花数が減少することを報告している。また、この期間の低温の遭遇と顕花数の関係については、高杉³⁹⁾、寺尾ら^{40,41)}、角田ら⁴⁶⁾、近藤⁹⁾など多くの報告がなされ、遮光処理との関係は総説として明らかにされている(松島¹⁷⁾)。さらに、この期間の萎凋による被害については、長戸²⁶⁾の報告があり、いずれも顕花数が減少することを認めている。

このように、幼穂形成期から出穂期の間は種々の環境に敏感に反応する期間である。これら多くの論文によると、顕花数の減少には二つの危険期があり、第1は幼穂の分化から1次枝梗、2次枝梗、顕花が順次分化していく時期で分化の抑制による減少である。第2の危険期は減数分裂期の前後で、穂の伸長と同時に顕花自身も急激に伸長する時期である。この危険期の低温や暴風あるいは日射制限は、一部の枝梗や顕花の分化を同調的な生育から脱落退化に導くことになる。穂の発育過程すなわち、出穂前日数とこの第1、第2危険期の関係を対比すると、出穂前20日はおおむね第1危険期であり、出穂前12日前後が第2危険期の減数分裂期に相当する時期である。

しかし今回の実験では、出穂前16~22日の処理に減少がみられ、20日前後の処理に最も被害が大きい結果となった(村松^{21,23)})。このバラツキの原因は株単位で顕花数を調査した結果であろうと推測され、各茎ごとに葉令指数を考慮して、穂の発育過程と出穂前日数を対比

20日前後の処理が最も大きい結果となった。しかし、出穂前7日頃のかなりおそい時期の処理でも、発育が停止したとみられる2~3mmの枯死顕花がみられた。顕花数の減少は、枝梗数の減少によるものと、顕花そのものの減少とが認められ、出穂前20日以前の低下は前者によるところが多く、後者は2次枝梗上の劣勢顕花に多い結果となった。また退化顕花とならないまでも、奇形や鈎合不完全な粳の発生もみられた。

iii) フェーンの強さと顕花数の減少

第4図は過去に行った実験の中で、処理時期

すれば、第1、第2危険期の減少量が多くなるものと考えられる。したがって、この点について追究する必要はあるが、いずれにしても、数時間のフェーン処理によって発生する稲体の水ストレスは、低温や暴風に遭遇した場合と同様に、枝梗や穎花の分化の抑制や退化に影響を与えるものとみられる。

2) 出穂期のフェーン処理と被害

フェーンによる白穂被害や白化穎花の発生は出穂期から出穂後数日の穂に発生し易い。ここでは、穂の抽出程度と白化穎花の関係を検討すると共に、フェーン処理によって開花が促進される穎花（星川⁴⁾）の被害についても調査した。

(1) 実験方法

トドロキワセと短銀坊主の2品種を供試し、出穂始めから穂揃後数日にかけてフェーン処理を実施した。実施に当たり、株内で初期に出穂する茎で比較するように留意した。また、実験中及び実験終了1時間以内に開花した穎花を、フェーンによって開花が促進された穎花として測定調査した。

(2) 実験結果

i) 穂の抽出程度と被害

両品種共フェーン処理開始後、約2時間経過すると、部分的に白化する穎花が発生した。第5図は5時間処理の結果を示したものである。図の白化穎発生割合とは、穂の全穎花数対比である。被害は抽出穎花の増加と共に多くなり、穂が完全に抽出する4～5日目に最も多く発生し、その後は減少傾向を示した。

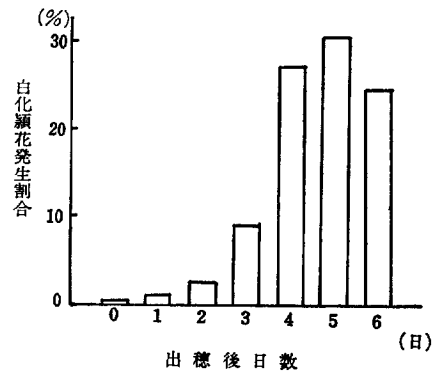
ii) 開花促進穎花の発生

フェーン処理によって開花が促進される程度は、2品種間に差がみられ、夜間の処理にもかかわらず、短銀坊主は処理の開始後数十分の経過で開花が認められたが、トドロキワセは処理中の開花はほとんどみられず、処理の終了と共に開花が始まった。両品種共開花の促進される穎花数は、穂の抽出程度によって異なり、促進される穎花は当日開花予定の穎花とみられ、1穂穎花数の10～20%であった。

(3) 考察

氏家ら⁵⁾は、穂の抽出程度と台風の籾ずれの被害について実験し、止葉の葉鞘側部に6～7cmの抽出から、葉舌の上部に8cm内外抽出した程度の穂の変色被害が最も多い結果を報告している。フェーンによる白穂穎花の発生は、フェーン処理の強さや処理時間の長短にも左右されるが、葉鞘内にある穎花にはその発生はみられず、抽出初期の穎花に発生する比率が高い。これは台風と比較して風速が弱いことにより葉鞘内の穎花は保護され脱水が制限されるためであろう。したがって、1穂に占める白化穎花の割合は、穂の抽出の進む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ものと推定された。

一方、フェーンによって開花が促進されることについては、すでに総説として述べられて



第5図 出穂後日数と白化穎花数の関係
(1976, 品種, トドロキワセ)

いる(星川⁴⁾)。開花の原因については特に解析していないが、開花は光や降雨の有無、温度の異常などの諸条件によってリズムの乱れることが知られており、夜間といえどもフェーンの熱風下で、そのリズムが乱れて開花するとみられる。また、供試した2品種間で開花の開始時間が異なったが、この違いについてはさらに多くの品種を使って検討する必要がある。

3) 登熟期のフェーン処理と被害

登熟期間の高温が、穎果の発育に悪影響を与えることについては、長戸²⁷⁾、相見³⁸⁾、山本⁵²⁾など多くの報告がある。ここでは登熟期の一時的なフェーン処理が登熟に与える影響について検討した。

(1) 実験方法

コシヒカリを供試し、出穂期後8日目と20日目にフェーン処理を実施した。処理時の風洞内の条件は温度36°C、湿度65%、風速7.5m/secの夜間2時間の処理である。処理終了後はポット置場で所定の管理を行って栽培し、成熟期に刈り取り調査を行った。

(2) 実験結果

出穂期後8日目と20日目の処理区では、白化穎花や白穂の発生はみられなかった。第4表は稔実歩合、上米粒数歩合、玄米千粒重及び米質調査の結果を無処理区と比較して表に示したものである。表から明らかのように、稔実歩合、上米粒数歩合及び玄米千粒重の各要素については、処理による差はほとんど認められなかった。しかし、米質調査の結果では、処理区の完全米の割合は低下し、着色してしかも奇形となった玄米の割合が増加した。この傾向は出穂後8日目の処理区に多く発生した。

(3) 考察

今回のフェーン処理は、出穂後日数がたっているため、稔実歩合に対する影響は少なく、上米粒数歩合や玄米千粒重に差が出ると考えたが、上米粒数歩合に若干低下の傾向がみえる程度で、玄米千粒重では差がみられなかった。米質の悪化は着色奇形米の増加によるものであった。

長戸²⁷⁾によると、登熟期間の高温は乳白米や基白米が増加するとしているが、今回のフェーン処理では乳白米はほとんどみられなかった。この原因として、登熟期のフェーン処理でもその後に着色粗の発生が認められたため、着色米が多く乳白米や基白米の判定が困難であったことが考えられる。

また、奇形米をみると、いわゆる発育停止米とみられる幅の狭い玄米が多かった。

第4表 登熟期のフェーン処理区の登熟状況及び米質調査結果

(1976, 品種, トドロキワセ)

項目 処理区	稔実歩合	上米粒数歩合	玄米千粒重	生米	生米青	半生白	半生青	死米白	死米青	乳白米	着色米	奇形米	着色米+奇形米
	%	%	g	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
無処理区	96.3	96.6	20.9	86.8	1.7	0	0.2	0.5	0	1.7	6.4	0.3	2.5
出穂後8日処理区	93.7	95.8	21.1	76.4	1.7	0.1	0.1	0.2	0	0.2	7.4	1.4	12.5
出穂後20日処理区	95.6	95.8	21.0	78.3	1.3	0.2	0.4	0.5	0	1.1	7.8	1.5	9.4

以上のことから、登熟期にあってもフェーンに遭遇した水稲は、奇形米や着色米の発生がみられ、米質低下に作用することが推測される。

2 水稲の栽培条件と被害

1) 窒素施用量の多少と被害

施肥量の多少と被害量については、実験的に検討された成績はみられない。ここでは窒素施用量の多少と被害量の関係について述べる。

(1) 実験方法

実験一：矮稲Cを供試し、標肥区、少肥区の2区について出穂期にフェーン処理を行った。処理の条件は温度29.6°C、湿度64%、風速4 m/secの4時間処理である。

実験二 トドロキワセを供試し、多肥区、標肥区、少肥区の3区について、温度28.8°C、湿度63%、風速6.8m/secの5時間のフェーン処理を行った。水稲の栽培方法や施肥量は前記のとおりである。

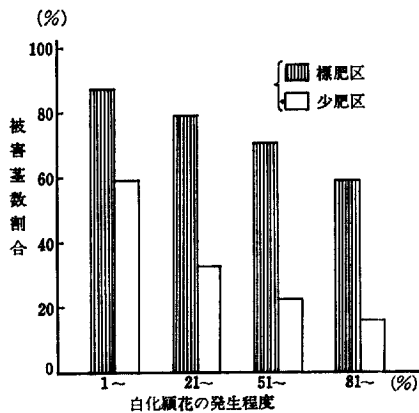
(2) 実験結果

第6図は矮稲Cについて、各種ごとの白化穎花の発生程度を全出穂茎との対比で示してある。被害量は標肥区が多く、白穂の発生で比較すると、少肥区の約3倍となった。第7図は、トドロキワセについて、出穂期後日数と施肥量別に被害程度を示したものである。白化穎花の発生量はいつれの処理日においても多肥区が多く、標肥区に対して多肥区は約1.5倍となり、少肥区は約1/3の発生にとどまった。

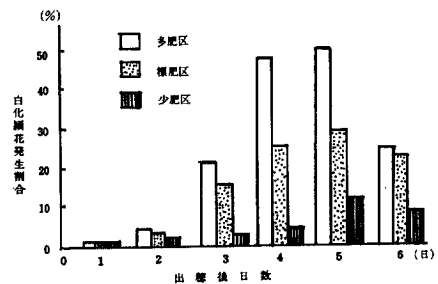
(3) 考察

フェーン被害田の見廻りで、しばしば施肥量の多い水田の被害の多いことや、堆肥を積んだ跡地に被害の多いことを経験する。この両者に共通していることは、いわゆる草でき型の生育をしている水稲に被害が集中することである。

葉身の窒素濃度と気孔開度の関連については、石原ら⁶⁾の報告があり、窒素濃度の高い葉の気孔開度が大きいことが知られ、気孔開度と蒸散量が密接な関係のあることが明らかにな



第6図 施肥量の多少と被害量
(1976, 品種, 矮稲C)



第7図 窒素の施用量と被害量
(1976, 品種, トドロキワセ)

れている。これらを総合すると、多肥区の水稲は風による機械的な損傷が発生し易いばかりでなく、気孔開度は大きく、蒸散量が増大することにより、稲体の水ストレスが増加して被害を大きくしているものと考えられる。

2) ケイ酸施用と被害

水稲の蒸散量は稲体内のケイ酸含有量によって異なることが知られている(吉田⁵⁵⁾)。したがって、フェーン被害も稲体のケイ酸含有量によって差のあることが推測される。そこで、あらかじめケイ酸含有量の異なる水稲を栽培して、被害量を比較した。

(1) 実験方法

i) 水稲の栽培法

アキニシキを供試し、第5表のような試験区を作り、出穂期まで窓を開放したガラス室内で栽培した。しかし、砂を用い脱イオン水で栽培したケイカル無施用区は、黄化症状が発生するため、時々水道水(河川水)か、Fe(クエン酸鉄) 2ppm, MnO (MnCl₂), P₂O₅ (NaH₂PO₄·2H₂O) 10ppm を含む水耕液を給与した。

ii) 試験区のケイ酸含有量

出穂期及び穂揃期に刈り取り、乾燥した後、穂、止葉、第2葉について、ケイ酸含有量を

表5表 水稲の栽培法及びケイカル施用量

処理区	項目	作 土	用 水	ケイカル 施用量	備 考
実 験 1	川砂(洗)	蒸留水	4 2 0	g	ときどき P ₂ O ₅ 10, K ₂ O 10, Fe ₂ , MnO 0.5ppm 給与
実 験 2	山 土	水道水	4 2 0		—
実 験 3	水田作土	水道水	4 2 0		—

第6表 出穂期及び出穂後7日のケイカル施用区別ケイ酸含量(1978, 品種, アキニシキ)

処理区	項目	作 土	用 水	ケイカル 施用量	ス テ ー ジ	穂	止 葉	止-2葉
実 験 1	川 砂	蒸 留 水	0	g	出 穂 期	1.38%	0.86%	1.62%
					出穂後7日	1.26	0.74	2.12
実 験 2	山 土	水 道 水	0		出 穂 期	1.38	1.58	2.86
					出穂後7日	3.56	3.14	3.08
	山 土	"	4		出 穂 期	2.04	1.66	2.34
					出穂後7日	1.90	1.94	2.24
実 験 3	水田作土	"	0		出 穂 期	2.58	2.66	3.12
					出穂後7日	2.02	2.40	3.02

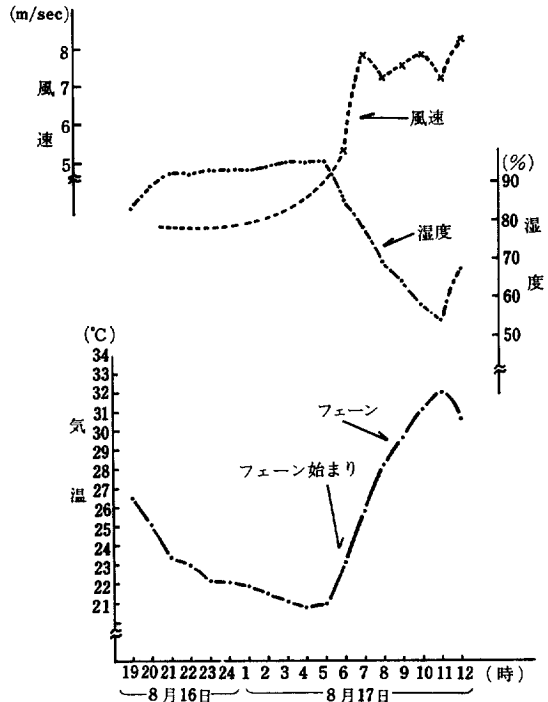
分析した(吉田⁵⁵⁾)。稲体の部位別の分析結果を示したのが第6表である。ケイカル無施用区のケイ酸含有量は明らかに少なく、ほぼ目的にみあった材料を得ることができた。

iii) フェーン処理方法

フェーン処理は夜間4時間とし、温度31°C、湿度65%、風速7.5m/secである。また、ちょうど出穂日に発生したフェーンに、遭遇させた水稻についてあわせて調査した。フェーンの発生状況は第8図のようであった。

(2) 実験結果

風洞によるフェーン処理及び、出穂日に発生したフェーンに遭遇させた水稻のケイカル施用量別の被害状況を示したのが第7表である。被害量はケイカル施用量によって差がみられ、いずれの区においても、無施用区の被害が多くなっている。とくに実験1、2においてこの差が明らかとなり、実験1



第8図 フェーン時の気象推移(1979)

第7表 ケイカル施用と被害(1978, 品種, アキニシキ)

項 日 処理区	ケイカル 施 用 量	白化被害程度別穂数割合					白 化 額 全額数比
		0~20	21~40	41~60	61~80	80以上	
実験1 〔砂 + 蒸留水栽培〕 〔風 洞 処 理〕	4 g	18.8%	12.5%	12.5%	12.5%	43.8%	67.3%
	2	11.5	3.4	11.5	7.7	65.4	80.3
	0	13.0	8.7	0	13.0	65.2	84.3
実験2 〔砂 + 蒸留水栽培〕 〔フェーン屋外処理〕	4	30.4	47.8	13.0	8.7	—	31.4
	2	0	21.7	8.7	47.8	21.7	64.1
	0	11.1	22.2	11.1	11.1	44.4	67.4
実験3 〔山 土 栽 培〕 〔フェーン屋外処理〕	4	74.1	25.9	0	0	0	12.9
	2	76.9	23.1	0	0	0	9.9
	0	70.0	26.7	3.3	0	0	18.4
実験4 〔水田作土栽培〕 〔フェーン屋外処理〕	4	50.0	13.3	33.3	3.3	0	32.4
	2	58.3	19.4	11.1	11.1	0	26.7
	0	37.9	31.0	10.3	13.8	6.9	35.8

で比較すると、ケイカル無施用区の白穂は全出穂茎の65%で、ケイカル4g施用区より20%も多い結果となり、ケイ酸含有量と被害量に明瞭な関係が認められた。

(3) 考 察

フェーン被害の常習地区では、被害を軽減させる方法としてケイカルの施用が効果的であるといわれているが、実験的に検討された例は、わずかに石原ら⁷⁾の報告がみられる程度である。一方、水稲へのケイカル施用効果については、大川³¹⁾、小野寺³²⁾、岡本ら³⁰⁾などにより、これまでに広汎な研究が進められている。吉田⁵⁵⁾によれば、ケイ素のもつ機能の一つに蒸散を抑制する作用があり、無ケイカル区の蒸散量はケイカル施用区より33%も多い結果を報告している。

また、稲体のケイカル含有率は、出穂直後において最も低く、経日的に増加するといわれている。したがって、フェーン被害の発生し易い出穂直後の穂では、ケイカル施用の多少にかかわらず含有率が低く、被害量に差がでないのではないかと考えられたが、ケイカル施用区は出穂直後であってもケイ酸の含有率が高く、しかも被害が軽減される結果となった。この結果を蒸散面だけで推論するのは適当ではないが、ケイカルの施用によって葉身表層のケイ化細胞が発達したり、気孔の働きを良好にして蒸散に対する抵抗力を持ち、稲体の水ストレスを緩和させた結果であろうと推測した。

3) 根の活力と被害

フェーンによる被害量は、稲体からの過蒸散に対して、補水が充分であれば水分不足が緩和して、軽減することが考えられる。そこで根の活力と被害の関係について実験した。

(1) 実験方法

実験1：水稲の根の活力については、林ら³⁾のように多くの研究がなされているが、ここでは、水耕栽培した矮稲Cを供試し、出穂期に根を切断する方法を採用して根の活力差とした。切断は根の下から長さで約50%の切断区と、80%の切断区の2区を作り、水耕液に入れたままフェーン処理を行った。

実験2：短銀坊主を供試し、出穂予測日の数日前に、可溶性澱粉を施用して根ぐされを発生させ、出穂期にフェーン処理を行った。澱粉の施用量は1/5000 a ポット当たり5gと10gの2区とした。

(2) 実験結果

第8表は、根の切断程度別の被害発生状況を示したものである。被害量は根の切断程度の大きい区は多くなり、白穂被害の発生量で比較すると、無処理区の発生は12.5%であったのに対して、50%の切断区は17.4%、80%の切断区では約半数の52.3%の穂が白穂となった。

第8表 根の切断程度と被害発生量 (1975, 品種, 矮稲C)

被害程度 処理区	白化初発生穂数割合 (%)				
	0	1~20	21~50	51~80	白穂
無処理区	20.8 %	45.8 %	12.5 %	8.3 %	12.5 %
50%切断	21.7	39.1	4.3	17.4	17.4
80%切断	14.3	9.5	19.0	4.8	52.3

第9表 根の活力と被害 (1979, 品種, 短銀坊主)

処理区	項目 澱粉 施用量	被害程度別穂数割合 (%)			全穎花 数 比	備 考
		0~20	21~40	41~60		
実験1 〔トドロキワセ 風洞処理〕	10g/ポット	— %	— %	— %	32.9%	澱粉施用後 4日目処理
	5	—	—	—	31.5	
	0	—	—	—	19.5	
実験2 〔短銀坊主 フェーン屋外処理〕	10	70.6	29.4	0	13.9	澱粉施用後 10日目処理
	5	87.6	12.5	0	9.1	
	0	100.0	0	0	1.6	

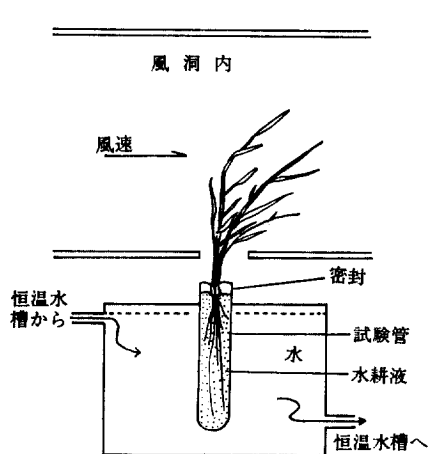
また白穂とならないまでも、白化穎花を20%以上を含む穂は、全出穂茎の76%にも達した。

第9表は、澱粉の施用量別の被害量について比較したものである。澱粉の施用量と施用後日数、及びこれによって発生する根ぐされの関連についての知識がないため、十分な実験材料であったか懸念されるが、実験1では施用後4日目、実験2では10日目で出穂期となった。実験1は施用後の気温が低かったこともあり、根ぐされは一部に認められる程度であったが、実験2は10日目の処理であり、しかも晴天日がつづいたため根ぐされは進行していた。

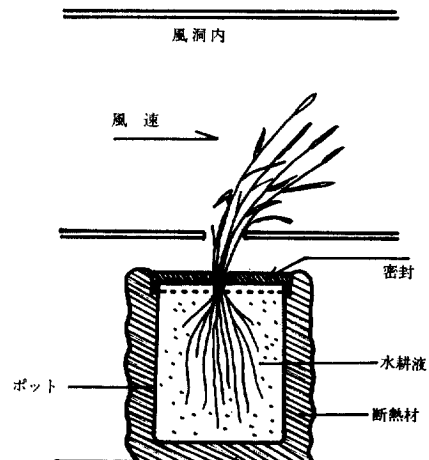
被害は、1、2両実験区共多く、実験1の10g施用区の白化穎花数の割合は約30%にも達している。また実験2でみると、無処理区ではほとんど被害がみられないのに対し、10g施用区は全穎花数の約14%が白化穎花となり、根の活力が被害量を左右していることがわかった。

4) 地下部の温度と被害

地下部の温度は、根の吸水力に関連し、被害量を左右する一つの条件になるものと考えられる。そこで、地下部の温度と蒸散量の関係について実験すると共に、出穂期に、地下部の温度と被害量の関係について実験した。



第9図 地下部の温度差異と蒸散量の測定法



第10図 地下部の温度差異と被害の測定法

(1) 実験方法

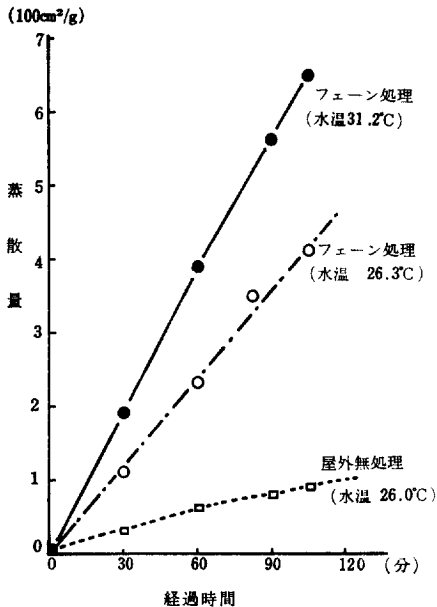
実験1：地下部の温度と蒸散量の関係を知るため、水耕栽培したコシヒカリを供試し、第9葉の展開期に第9図のようにして、地下部の温度と蒸散量を測定した。水温は26.3°Cと31.2°Cの2区である。フェーンの場合は温度30.5°C、湿度60.5%、風速7m/secである。なお、無処理区は屋外に置いた区であり、蒸散量は全重量を測定して、その減少量とした。また、実験の終了後はただちに葉面積を測定した。

実験2：地下部の温度と被害量の関係を知るため、水耕栽培したコシヒカリを供試し、出穂期に第10図のようにして、フェーン処理を実施した。地下部の温度は25°C、35°Cの2区であるが、処理前のポットの水温は約30°Cであったため、急激な温度変化は水稻に悪影響を与える心配があったので、処理の開始する約1時間前から徐々に変化するように配慮した。

(2) 実験結果

i) 地下部の水温と蒸散量

第11図は、フェーン処理中の地下部の水温と蒸散量の関係を示したものである。地下部の



第11図 フェーン時の水温と蒸散量の関係 (1979, コシヒカリ)

{ フェーン温度 30.5°C
 // 湿度 60.5%
 // 風速 7.0m/sec

水温の違いにより蒸散量は異なり、高温区が多く、120分後では無処理区に対して約6.5倍となり、26.3°C区の約1.5倍となった。

ii) 地下部の温度と被害の関係

第10表は、地下部の温度を変えて出穂期にフェーン処理した結果を示したものである。被害は低温区に多く発生し、白化穎花数は53.7%となり、白穂の発生割合は出穂茎の約19%であった。

(3) 考察

坪井⁴⁸⁾は、強風処理の場合にやはり根の切断区の被害が大きいことを報告している。フェーン処理の場合も同様な結果となった。また、人為的に根ぐされを発生させた区においても同じ傾向であり、根ぐされの多い区の被害は増加した。このことは、フェーンによる蒸散量の増加に対して、根の切断や根ぐされ区では吸水量が少なく、稲体の水不足が増大した結果を示すものであろう。

第10表 地下部の水温と被害の関係 (1979, 品種, コシヒカリ)

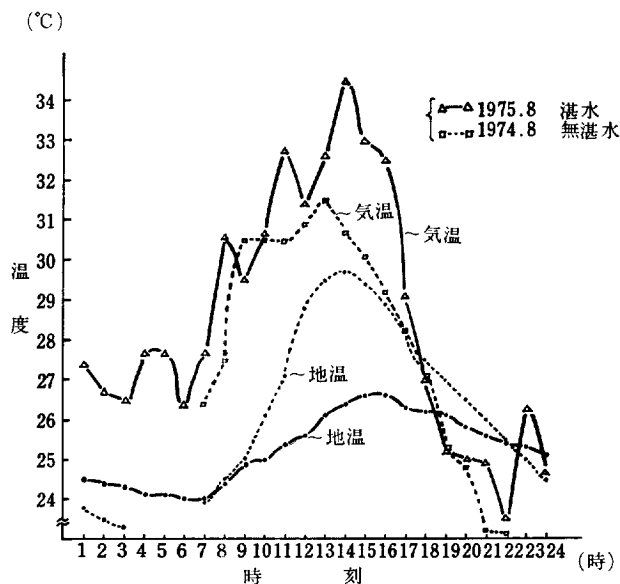
項目	白化穎花数歩合					全体	備考
	0~20	21~40	41~60	61~80	白穂		
処理区							
高温区	65.5%	3.4%	10.3%	6.9%	13.8%	29.5%	35°C (水温)
低温区	24.3%	13.5%	24.3%	18.9%	18.9%	53.7%	25°C (水温)

一方、地下部の温度と被害の関係について、坪井⁴⁸⁾は強風処理の結果を、石原⁷⁾はフェーン処理の結果を報告している。しかし、坪井⁴⁸⁾は地温をできるだけ高く保つことが被害の軽減に役立つと考察しているのに対して、石原⁷⁾は、根圏の土壌温度を 23°C に保った場合、根の呼吸量が高く保持されて、フェーンの被害が少なかったとして、掛け流しなどの手段を講じて水温を高めないように調節することが有効であると述べている。今回の実験結果では、地下部の温度が高いと蒸散量は増加するが被害は低下する結果となり、坪井⁴⁸⁾の強風実験の結果と一致する。

今回測定した蒸散量はむしろ根の吸水量に近いものであり、吸水量に対する地下部の影響は、稲体からの蒸散にあまり関係のないような気象条件下ではさほど影響しないが、フェーンのように稲体からの蒸散が強く促進される条件下では、地下部の温度の違いが明瞭となり、吸水量の少ない低温区の被害が強く出現するためであろう。

しかし、石原⁷⁾の実験結果と異なることが気がかりであるが、これは実験した温度範囲に関連したものとみることもできる。すなわち、石原⁷⁾は、地下部の温度を 23°C と 33°C の2区の設定で実験したのに対し、坪井⁴⁸⁾は $10\sim 40^{\circ}\text{C}$ の範囲で種々の実験を行い、 40°C の過高温では、むしろ被害の多い例を報告している。

第12図は上越市において測定したフェーン日の地温の日変化を、気温の推移と共に示したものであり、湛水と無湛水の水田の測定例である。出穂期前後の水田では、群落が密になり湛水状態での地温は $26\sim 27^{\circ}\text{C}$ で、平常時より若干高温になる程度であった。しかし、無湛水の水田では地温が高く、 $29\sim 30^{\circ}\text{C}$ が測定された。通常状態では、フェーン日に湛水するのが一般的な水管理であるところから、フェーン日でも湛水状態であれば、坪井⁴⁸⁾や石原⁷⁾らの地温条件、あるいは長井²⁵⁾の指摘した根の呼吸量の好適な温度範囲内にはほぼ納まるとみることができよう。ただ、石原⁷⁾のように冷水の掛け流しを実施することにより、群落



第12図 フェーン日の水田地温の測定

内の微気象が変化するが、これがどの程度被害に対して有効であるかさらに検討する必要があるであろう。

5) フェーン処理時間と被害

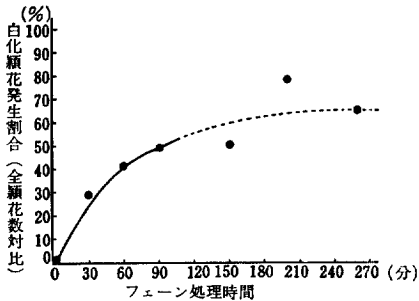
フェーンによる水稻の被害量は、フェーンの強さと同時に、その遭遇時間が関係することが考えられる。そこで、ここではフェーンの処理時間と被害量の関係について検討した。

(1) 実験方法

出穂期のコシヒカリを供試し、風洞内で温度36°C、湿度65%、風速7.5m/secのフェーン処理を行い、30分ごとに株単位で切り取り、ただちに白化穎花数を調査した。

(2) 実験結果

フェーンの処理条件が強かったため、白化穎花の発生は早く、処理の開始後15~20分で白化穎花がみられた。第13図は30分ごとの白化穎花の発生状況である。穎花の白化は処理時間と共に増加し、260分後では全穎花数の約70%が白化した。また、一穂中に80%以上の白化穎花を含む白穂の被害も、ほぼ同様に増加し150分経過後で約20%、260分の経過で約33%であった。しかし、被害量は処理開始後2~3時間以内に急激に増加するが、その後の増加量は少ない傾向となった。



第13図 フェーンの処理時間と被害量の関係 (1977, 品種, コシヒカリ)

(3) 考察

前報において (村松²²⁾、フェーンの気象要因の強弱と、その継続時間の量的な関係を次のような木村¹²⁾の(1)式で表わし、

$$Q = (E_s - e) \sqrt{U} \dots \dots \dots (1)$$

ここで Q; 蒸散力 (mb・m/sec) E_s; 飽和水蒸気張力 (mb)
 e; フェーン時の水蒸気張力 (mb) U; 風速 (m/sec)

この積算値が76mb・m/sec前後で白化穎花の発生したことを報告した。しかし、その後の実験から、フェーン処理の開始後15~20分の経過で、白化穎花の発生する条件が得られ、被害量を積算蒸散力で定量化することに問題のあることがわかった。

本来この蒸散力の考え方は、気象要因だけで算出するため地域内に発生するフェーンの強さなどを量的に表現することはできても、水稻側の生理的条件を無視したものである。したがって、この式では積算蒸散力の増加と共に被害量も増加すると理解されるが、上原⁵⁰⁾が指摘するように、この両者は必ずしも量的な関係は認められず、今回の実験でも被害量は2~3時間の処理で急激に増加し、その後は時間が経過してもそれほど増加しない傾向となった。したがって、処理時間と被害の関係は、稲体の水分変化などを考慮して解析する必要があると考えられる。

V フェーンによる減収の原因

水稻のフェーン被害に関するこれまでの多くの調査結果は、白穂被害を中心に考察されたものである。事実白穂被害はフェーンによる水稻の被害の最も顕著なもので、糶、屑米、不完全米、着色米などが増加し、完全米でも千粒重の低下が認められる。このことは、実際のフェーン被害水稻の調査結果からも、本研究の実験結果からもいえることである。

しかし、フェーンによる水稻の被害は、種々の様相で出現し、遭遇した直後には全く外観的な被害が認められない場合や、被害が白穂まで進行せず一穂中の2～3の穎花に部分的な白化が認められる程度の被害であっても、登熟過程で不完全米や着色米になる比率が高くなる。また、フェーンによる稲体水分の取奪は、水ストレスを増加させて伸長期の穂や茎の伸長に悪影響を与えたり、下葉の枯れ上りを促進させるなどして、収量、品質に与える影響が大きい。ここでは、これらの課題を中心に検討した。

1 フェーン処理水稻の登熟

1) 開花の促進された穎花の登熟

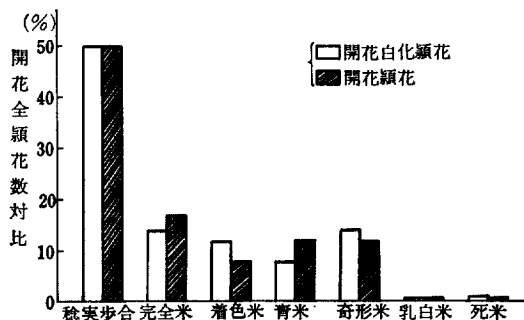
(1) 実験方法

トドロキワセと短銀坊主の2品種を供試し、出穂期にフェーン処理を行った。トドロキワセは多肥区、標肥区、少肥区の3区を設定した。フェーン処理の条件は、温度28.2°C、湿度69%、風速6.1m/secと、同温同湿度で風速3.6m/sec処理の2区とし、いずれも午前1時から6時までの5時間の処理である。処理の終了後はただちに白化穎花数の調査を行い、その後ポット置場で成熟期まで栽培して、成熟期に稔実歩合や米質調査などを実施した。なお、開花促進穎花の判定は前述のとおりである。

(2) 実験結果

i) 開花が促進された穎花の被害

フェーン処理により開花が促進された穎花は、白化穎花となる比率は高く、風速6.1m/sec処理区では開花穎花の約55%が白化穎花となった。

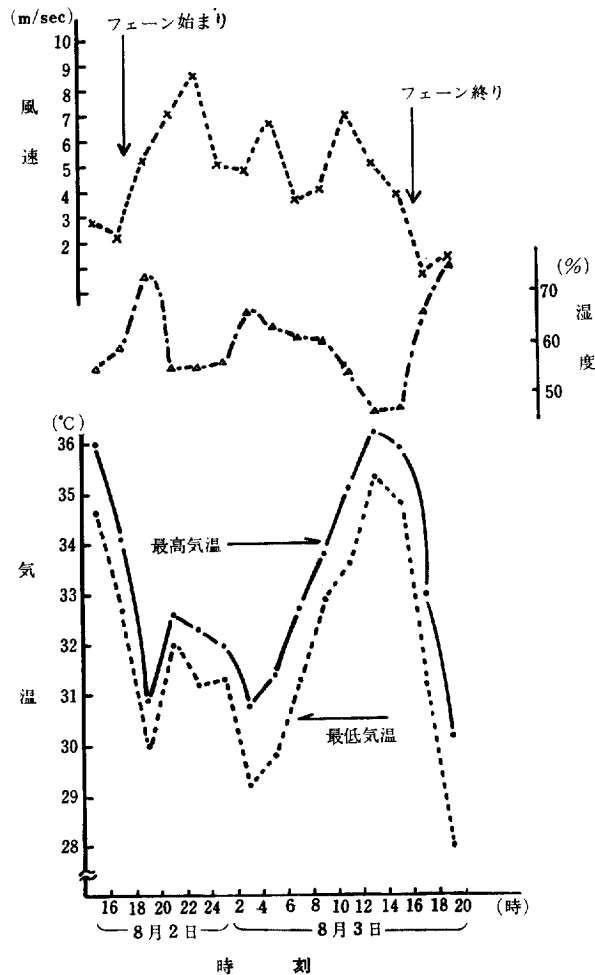


第14図 開花促進穎花の稔実歩合及びその米質
(開花全穎花数対比, トドロキワセ多肥区, 1975)

ii) 開花が促進された穎花の登熟

第14図は開花促進穎花及び開花して白化した穎花の米質調査結果を示した。フェーンの処理により開花の促進された穎花は不稔になる比率が高く、風速 6.1m/sec 処理区では開花穎花の約半数が不稔となり、3.1m/sec 処理区でも10~20%の不稔稲が発生した。一方、開花が促進された穎花及び開花して白化した穎花の米質調査結果をみると、前者の完全米の割合は16.8%と非常に悪く、大部分は着色米や奇形米であった。また、開花が促進されて白化した穎花の米質はさらに悪化し、完全米の割合はわずかに13.8%であった。

(3) 考 察



第15図 1978年8月2日～3日にかけて上越市に発生したフェーン日の気象概況

{風速測定高度6m, 1時間平均風速
{気温, 湿度は百葉箱内で測定, 高さ1.5m

フェーン処理によって開花が促進された穎花は、処理条件の強弱にもよるが必ずしも不稔粒とはならずかなり稔実した。しかし、白化穎花となる比率が高く、しかもそれらは登熟期間に着色粒となる比率が極めて高い結果となった。このために登熟は悪く、着色米や奇形米が多く、完全米は非常に少ない。したがって、フェーン処理によって開花の促進された穎花は、その大部分が屑米になるものとみることができる。

2) 白穂及び白化穎花の登熟

フェーンにより発生した白穂あるいは白化穎花は、被害程度にもよるがかなり稔実する。しかし、白化した穎花の大部分はその後に着色粒となり収量は低下する。ここではまず1978年に上越市に発生したフェーン害の調査結果について述べる。

(1) フェーンの発生状況及び水稻の生育

i) フェーンの強さ

このフェーンは台風8号の影響で発生したもので、1978年8月2日の19時前後から8月3日の15時頃まで持続した。フェーン日の気象概要は第15図のようである。同図で明らかのように8月2日の夜間は、気温31~32°C、湿度55%前後、風速7~9 m/sec となり、高温で乾燥した風が終夜卓越した。

(2) 水稻の生育状況及び被害

調査した地区は早生品種の作付けが最も多く、出穂盛期は7月25日前後である。したがってフェーン日には出穂後1週間以上経過した水田が多く、白穂の発生は極く一部の品種や晩植した水田に発生した。調査した水田はトドロキワセの成苗を手植した水田で、4月7日に保温折衷苗代に播種し5月18日の田植で、出穂日は7月29日であった。なお肥料は配合肥料を使い、成分で8 kg (N, P₂O₅, K₂O同量) 施用した。

白穂や白化穎花の発生は風上側の水田周辺部に多く、内部では少なかった。しかし、近くにはほぼ水田一面に亘って発生した水田もみられた。

(3) 調査方法

成熟期に被害株を抜き取り、乾燥した後稔実歩合や米質の調査を行った。

(4) 調査結果

i) 着色粒の発生

白穂あるいは白化した穎花は、登熟過程ですべて着色粒となった。着色粒の発生は白化枯死部の着色と、白化枯死部の周辺からの着色に分けられ、降雨の後によく出現した。

ii) 白穂及び白化穎花の登熟

抜き取り株を各穂ごとに、白穂、白化粒を含む穂、被害の認められない穂、の3段階に分けて調査した。

第11表 白穂及び白化粒を含む穂の米質及び玄米千粒重 (1978, 品種, トドロキワセ)

項目	生米	半生米	死米	奇形米	着色米	乳白米	奇形米 + 着色米	玄米千粒重
被害程度								
白穂	1.2%	0.9%	—%	—%	19.5%	—%	78.2%	17.6 ^g
白化粒含穂	81.5	9.3	0.9	1.2	6.2	0.4	0.5	19.1
被害の認められない穂	85.8	7.2	0.7	1.8	3.5	0.5	0.5	19.3

各被害程度別の稔実歩合をみると、白穂は、50%、白化粳を含む穂71%、外観的な被害の認められない穂約76%となり、白穂でも約半数の穎花は稔実していた。しかし、外観的な被害の認められない穂の稔実歩合が異常に低い結果となった。また、各被害程度別の米質調査と玄米千粒重を比較したのが第11表である。白穂の米質は非常に悪く、稔実粳のほぼ全部が着色米と奇形着色米であり、完全米はわずかに1.2%であった。白化粳を含む穂の完全米は約82%であり、外観的に被害の認められない穂の約86%と大きな差はみられなかった。これは、白化粳を含む穂の場合、一種中に2~3粒の白化粳のある穂であってもこの階級に入れたためとみられる。したがって、白化粳自体の米質化はこれより悪化しているものとみられる。

次に粒厚が1.7mm以上の玄米について千粒重をみると、白穂は17.6gと少ない結果となった。

3) 登熟過程における着色粳の発生とその米質

台風による粳ずれが登熟過程で着色粳となることはよく知られている。また、フェーンによって発生した白穂あるいは、白化穎花も登熟過程で着色粳となることについては前項で述べた。しかしフェーン処理した場合、処理直後は外観的に全く被害の認められない穂であっても、登熟過程で着色粳が発生する。この登熟過程の着色粳の発生は米質に影響することは明白である。そこで、施肥条件やフェーンの処理条件と登熟過程の着色粳の発生差異について風洞実験を行った。

(1) 実験方法

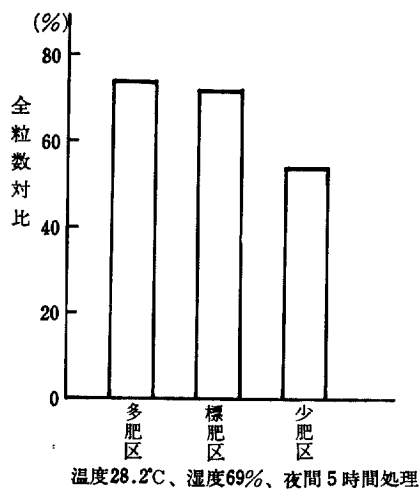
トドロキワセを供試し、出穂期に夜間5時間のフェーン処理を行った。処理の終了直後に各種ごとに白化穎花数の調査を行い、その後はポット置場で成熟期まで栽培した。成熟期に刈り取り乾燥した後、着色粳数の調査や米質調査を実施した。

(2) 実験結果

i) 着色粳の発生

フェーン処理直後には外観的には全く被害の認められない穂であっても、処理後5~7日経過すると徐々に着色粳が発生した(写真参照)。この着色粳の発生状況をフェーンの処理条件と施肥量別について示したのが第16図である。

着色粳の発生は強風条件及び多肥条件で多くなり、多肥の強風処理区では全粳数の73%の発生となった。この区の処理直後の白化穎花数の発生量は27%であったので、その差の46%の粳は登熟過程に着色粳となったものである。同様に標肥区約56%、少肥区66%の発生となった。また風速3.1m/sec処理区では、処理直後の白化穎花はほとんど見られなかったが、登熟過程で多肥区17%、標肥区11%、少肥区7%の着色粳が発生した。



第16図 フェーン処理による着色粳の発生状況 (1976, 品種, トドロキワセ)

第12表 着色籾の米質 (1976, 品種, トドロキワセ)

項目 処理区	完全米	生青	半生米	半生青	死白	死青	着色米	奇形米	備 考
	%	%	%	%	%	%	%	%	
多肥区	52.3	15.0	5.4	10.5	1.1	5.5	4.6	5.7	温度28.2°C, 湿度69% 風速6.1m/sec, 夜間5時間 のフェーン処理
標肥区	61.9	20.4	1.4	6.7	2.9	2.6	3.6	0.4	
少肥区	71.3	10.0	2.5	6.1	2.1	1.9	4.4	1.7	
多肥区	63.5	16.9	0.7	13.3	1.2	0.6	3.5	0.4	温度28.2°C, 湿度69% 風速3.1m/sec, 夜間5時間 のフェーン処理
標肥区	64.8	16.9	2.2	9.1	0.4	3.1	0.6	2.9	
少肥区	65.2	16.3	3.9	7.7	0.0	2.7	2.4	1.5	

しかし、同様な実験を年次を変えて数回実施したところ、この登熟過程の着色籾の発生量は、年次間に差がみられ、処理後の環境条件によって異なる結果となった。

ii) 着色籾の米質

第12表はフェーン処理直後に、外観的な被害の認められない穎花が、登熟過程で着色した籾の玄米について、米質調査を実施した結果である。米質は多肥区や風速の強い区ほど悪くなり、風速 6.1m/sec の多肥区ではわずかに52.3%が完全米であった。この実験年は着色籾の発生が比較的少ない年であったが、無処理区の米質に比較すると非常に悪い米質である。

(3) 考 察

フェーンに遭遇した水稻の着色籾の発生については、重久³⁵⁾の報告がある。また、強風に遭遇した水稻の着色籾については、現地調査や実験結果から、児島⁸⁾、戸荻^{42,43)}、森田¹⁹⁾、坪井⁴⁷⁾など、多くの報告がなされている。しかし、これらの報告は成熟期の調査結果で考察し、登熟途中で発生する着色籾について特に考察されていない。フェーンによって発生した白穂や白化穎花が、登熟過程において着色籾となることは、上記各氏の報告と同様であろうが、著者らの実験では、処理直後に全く外観的な被害の認められない穂であっても、登熟過程で着色籾となり、米質が悪化することを確認した。

着色籾の発生については、風の機械的な損傷や過度の蒸散により、細胞膨圧に異常を起し、細胞が死滅し損傷面に酸化酵素が働いて着色反応を起すとする、沢田³³⁾の報告がある。また、戸荻⁴⁴⁾は着色籾に10数種類の寄生菌あるいは腐生菌の存在することを明らかにした。さらに、原²⁾、木村¹³⁾は、これらの菌の中には *Phyllosticta*, *Helminthosporium*, *Piricularia* などのように、籾に着色する普遍的な菌が含まれていることを報告している。特に木村¹³⁾は、籾の着色程度を外観的な特徴から9種類に分類し、その特徴を述べると共に、着色型に属する菌を分離し、分離菌を再び接種して生じた変色籾から菌の再分離を行っている。また、Martin¹⁶⁾は、*Alternaria* や *Curvularia* など種々の菌の変色型を報告している。これらの多くの文献によると、着色籾の大部分は各種の菌によって発生し、野外における侵入菌は年によって相違すると共に、地域によっても異なるとしている。

今回の着色籾については、菌との関係について調査していないが、フェーンによる機械的、生理的障害と共に、それに附随して起る各種の菌やその繁殖程度によって発生し、玄米もまたそれに追従して着色したものと考えられる。

なお過去の文献では、変色籾とか褐変籾、茶米などと表現はまちまちであるが、本報告で

はこれらを一括して着色粳，着色米として表現した。

2 穂の抽出阻害

フェーン処理した水稻は節間伸長が阻害されたり，穂の出すくみが発生して登熟に影響を与えるとみられた。そこでフェーン処理と節間長，穂長の関係について検討した。

1) 実験方法

ポット栽培した栄光を供試し出穂前16日，19日，29日の3回と，出穂期にフェーン処理を行い，その後は所定の管理を行って成熟期まで栽培し，成熟期に節間長及び穂長の調査を実施した。また，1977年8月22日に発生したフェーンに，ちょうど出穂期であった短銀坊主を風通しのよい屋外でフェーンに遭遇させて，成熟期に節間長や穂長の調査を行った。フェーン処理条件及びフェーン日の気象条件は第13表のようである。

2) 実験結果

出穂前及び出穂期にフェーン処理した両品種の節間長，穂長の調査結果を第14表，第17図に示した。

(1) 節間長，穂長への影響

出穂前処理区の節間長，穂長は，無処理区と差がみられず影響は認められなかった。しかし，出穂期の処理及び出穂期にフェーンに遭遇させた区は顕著な差が発生した。特に上位節間ほど伸長が抑制され，上位第1，第2節間は対照区の50～60%であった。

(2) 穂首抽出への影響

供試した短銀坊主は短稈品種であり，品種の特性として穂首の抽出しない茎も多くあり，無処理区でも約1cmの出すくみであったが，出穂期にフェーンに遭遇させた水稻は6cmもの出すくみが測定された。

(3) 穂の被害程度と節間長

白穂や白化穎花の発生した茎は，特に節間伸長が抑制される傾向にあり，被害程度の多い穂ほど抑制され，白穂ではほぼ伸長を停止する茎も認められた。

第13表 処理条件及びフェーン時の気象条件

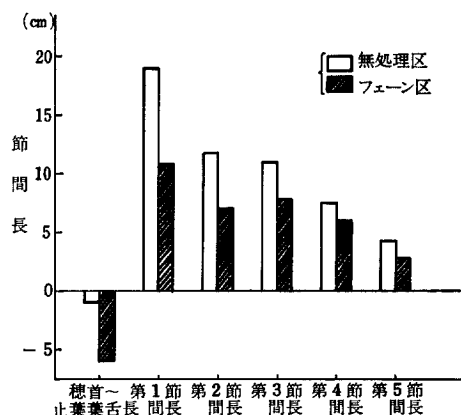
品種名	項目	処理期	温度	湿度	風速	備考
栄光		出穂後16日	25	60	11.2	風洞実験
		出穂期	30	60	5.5	
短銀坊主		出穂期	27.1	61	5.6	フェーン(1977年8月22日) 3時間遭遇 9時～11時の平均気象

第14表 穂孕期のフェーン処理と節間長，穂長の関係 (1977, 品種, 栄光)

項目	穂長	止葉葉耳～ 穂首長	第1節間長	第2節間長	第3節間長
処理区					
無処理	14.6 cm	3.6 cm	26.1 cm	16.0 cm	12.5 cm
出穂前16日処理	14.7	3.0	26.0	15.9	12.0

3) 考 察

出穂期前後の水稻が強風を受けた場合、節間伸長が抑制され穂の抽出が阻害されて、いわゆる出すくみ状態になることは、坪井⁴⁸⁾によって報告されているが、風速の弱いフェーン処理した水稻にもこれと同様な現象が認められた。しかし、出穂前（出穂16日以前）の処理ではその影響がみられず、出穂期にフェーン処理した水稻に顕著で、上位節間ほど伸長が阻害される。穂首の抽出は第1節間の伸長と止葉の葉舌位置との関係によって決まるが、止葉の葉鞘の伸長は出穂期にすでに完了しているため、穂の抽出阻害は主として上位節間の伸長阻害に基づくもので、穂の下部が葉鞘内に存在することになる。稈長は上位節間長に支配されるため上位節間長の合計は稈長抑制を示すものといえる。



第17図 出穂期のフェーン処理と節間長の関係 (1977, 品種, 短銀坊)

以上のような節間伸長に及ぼすフェーンの影響を、嵐¹⁾や瀬古³⁴⁾の行った、節間伸長の時期別変化と対比してみると、次のように理解することができる。フェーンによって節間伸長が抑制される時期は、処理時に伸長している節間であり、伸長量の大きい出穂期前後にもっとも影響が大きいものと考えられる。したがって、下位節間の伸長中でも当然影響しているとみられるが、下位節間では節間が短いため顕著な差として出現しないものとみられる。また、フェーンによって白穂や白化籾の発生した茎は、特に伸長が阻害される傾向にあるが、これは白穂や白化籾の発生し易い時期と、節間伸長量の多い時期が一致するためと推測される。

穂の抽出が阻害されると下部の穎花は葉鞘内にあることになり、このことが稔実や登熟に悪影響を与える。近藤¹⁰⁾は出穂前の水稻の止葉の葉鞘を糸で結んで出穂を阻害して、その稔実を調査したところ極めて多くの不稔籾が発生したとし、稔実した籾も褐色に着色したものがほとんどで大部分の玄米は茶米となったことを報告している。また、坪井⁴⁸⁾は抽出完了に近い穂に油紙を巻きつけてその稔実状況を調査し、不開花穎花や不稔籾が増加したことを報告している。フェーンによっても抽出が阻害された籾は同様な結果となり、不稔籾や稔実しても着色籾となることが多い。しかし、フェーン遭遇による穂の抽出阻害は稲体の生理的障害の結果であり、抽出阻害そのものの被害とは区別する必要がある。したがって、フェーンの被害に加えて抽出阻害による被害が、その後の稔実や登熟にどの程度の支障になるかは不明である。

3 下葉の枯れ上り

フェーンに遭遇した水稻は、その後下葉の枯れ上りが発生して登熟に悪影響を与えるとみられる。そこでフェーン処理した水稻の葉枯れの実態を調査し、収量への影響について考察した。

1) 実験方法

第15表 フェーン処理条件

項目 処理区	処 理 条 件				
	気 温 °C	湿 度 %	風 速 m/sec	昼夜の別	処理時間 時間
無処理区	—	—	—	—	—
多肥区	30.5	64	5.5	夜	4
標肥区	30.5	64	5.5	夜	4
少肥区	30.5	64	5.5	昼	4

第16表 剪葉状況

項目 試験区	剪 葉 状 況
無処理区	—
1	上位第1～第3以外剪葉
2	上位第1～第2剪葉
3	止葉剪葉
4	止葉の1/2剪葉
5	葉を全部剪葉

第17表 フェーン処理と生葉数 (出穂後30日, 1977, 品種, 栄光)

項目 処理区	止 葉	第 2 葉	第 3 葉	第 4 葉	調 査 数
無処理区	0.95 枚	0.45 枚	0.04 枚	— 枚	53 茎
多肥区	0.58	0.05	—	—	53
標肥区	0.43	0.01	—	—	50
少肥区	0.75	0.03	—	—	48

ポット栽培した栄光を供試し、出穂期に第15表のようなフェーン処理を行った。処理後はポット置場で下葉の枯れ上り状態を観察し、出穂期後30日目に生葉数を調査した。生葉数の調査は各茎ごとに目測で、各葉位の生葉部分を10等分比で読みとった。また、フェーン処理後に発生する葉枯れと収量との関連について検討しようとしたが、フェーンによる直接的な被害が大きく、その後に発生する葉枯れとの関係は検討できなかった。そこで無処理株の生葉を出穂後10日目に段階別に剪葉して、その減収程度を解析した。剪葉状況は第16表のようである。

2) 実験結果

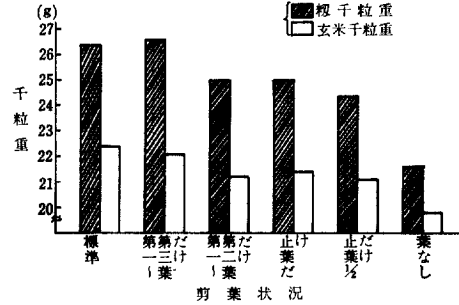
(1) 葉枯れの発生状況

処理直後に葉の萎凋は全く認められないが数日経過すると下葉から徐々に葉枯れが発生し、特に降雨後に顕著に出現する傾向にある。第17表はフェーン処理後30日目の生葉数の調査結果である。無処理区は止葉がほぼ完全に生残り、第2葉も約50%が生葉であったのに対して、処理区はわずかに止葉が約50%生葉であったにすぎず、第2葉以下はほとんど枯死した。葉

鞘についても同様であり，明らかに処理による枯れ上りが認められた。

(2) 収量への影響

出穂期後10日目の段階別剪葉と，成熟期の籾及び玄米千粒重の関係を示したのが第18図である。千粒重は剪葉程度の大きいものほど低下し，明らかに剪葉の影響がみられた。この結果を，葉枯れ水稻の収量性にむすびつけるのは無理であろうが，かなり類似するであろう。



第18図 出穂後10日の剪葉と千粒重

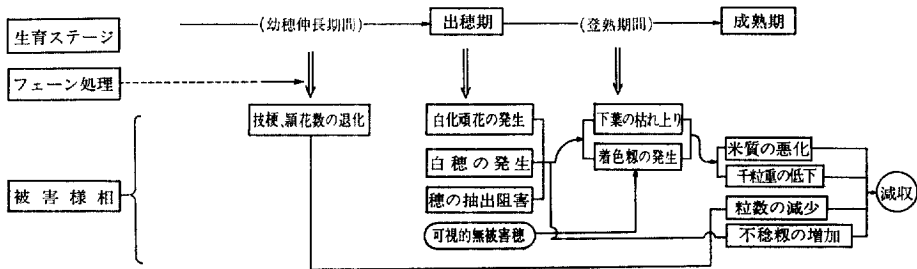
3) 考察

風害稲の葉枯れの発生については，志茂山³⁶⁾の報告があり，強風処理の結果やはり葉枯れが発生することを報告している。また，Wright et al.⁵¹⁾は萎凋条件下では植物ホルモンのアブジジン酸が急激に増加し，これが葉枯れに関連していると述べている。このように，風害稲の葉枯れの発生原因は，究極的には稲体水分のストレスに起因した生理的現象であるとみられ，フェーンによる一時的な水ストレスも同様に葉枯れが発生するものと考えられる。

VI 総 括

フェーンによる水稻の被害について，過去7カ年にわたって実施した風洞実験の結果を，生育ステージ，フェーン処理時期及び出現する被害様相について整理すると第19図のようである。水稻のフェーン害については台風害や冷害などに比較すると未解決の課題が多いが，フェーン害とこれに関与する条件との関係，フェーンによる減収の原因，ならびに，被害軽減法に関する二，三の対策について次のような結果を得た。

過去に北陸地域に発生したフェーン日の気象観測データを参考にし，フェーン被害再現条件の検討から，風洞内の温度は夜間30°C前後とし，湿度約60%，風速5～8m/secと設定した。光については特に考慮せず，作業に支障を起さないための蛍光ランプだけである。



第19図 フェーン処理時期と被害様相

ポットの水については、当初処理開始前6～7時間ポットを横にして排水したが、その後は湛水状態のままで処理した。フェーン処理回数は延べ百数十回にわたる実験であったが、日中処理の場合白穂は発生しにくく、夜間処理に被害が発生した。この原因については種々の要因が考えられるが、その後の実験で処理時の稲体の水ポテンシャルが大きく関与していることを確認している。夜間処理に限ってみると温度は常態より4～5°C高温、湿度30～40%減、風速5～8 m/sec程度の処理で白穂を含む被害が発生した。この条件は過去の観測データからみても、当地域のフェーン日に出現する条件である。

過去の多くの文献では、白化穎花に関する記載がなく、いわゆる白穂被害と述べている。しかし、フェーンによる被害は一穂中の2～3粒の穎花に白化が認められる程度から、穂の全体が白化穎花となったり、はなはだしい場合は枝梗まで完全に枯死する被害まで、様々な形で出現する。本報告ではこの白化程度を4階級に分けて、一穂中の80%以上の穎花が白化した穂を白穂とした。したがってこの分類についてもさらに種々の側面から検討する必要がある。

フェーンによる水稻の被害は、風による機械的な損傷もさることながら、究極的には一時的な稲体の水分不足に起因して発生する生理的な被害とみることができるとは。したがって、伸長途中の幼穂や茎などに影響を与えるばかりでなく、抽出直後でまだ組織的に機能が充分でない部位に被害が集中したり、その後の種々の代謝に影響を与えるが、なかでも発育途中の枝梗や穎花の退化、抽出直後の白穂の発生は直接減収に結びつく被害である。また、フェーン処理直後は全く外観的な被害の認められない場合であっても、登熟途中で着色粳が発生したり、茎の伸長阻害や、下葉の枯れ上りが発生して収量、品質に影響を与えることを認めた。

フェーンによる水稻の被害は強風害と類似する点もあり、その被害量を左右する条件も共通点が認められる。しかし、強風害に比較して高温乾燥による稲体の水ストレスに関与する生理的被害が大きいという特徴がある。したがって、被害は複雑でありさらに多岐にわたる検討が必要であるが、本実験で明らかになったフェーン被害量を左右する条件を概略述べると次のようである。まず、窒素肥料の多少が被害量に影響するばかりでなく、ケイカル施用がかなり被害量を左右することである。珪素のもつ作用に蒸散を抑制する機能のあることから、ケイカル施用区は葉身などの組織を健全にし、気孔や根の働を良好にするため水分の強制収奪に対し抵抗力をもつこと。また、この関係は出穂直後の穂についても言えることであり、ケイカル施用区の穂は出穂直後であっても含有量が多く被害の少い結果となった。次に、地下部の条件が被害量を左右する要因となることである。フェーンによって奪われる蒸散に対して吸水量が増加すれば水ストレスは緩和されると考えられるが、吸水を制限した根の切断区や根腐れ区の被害は明らかに増加した。また、地下部の温度は蒸散量に大きく影響を与え高温区の蒸散量が多い。しかし、被害量は逆に蒸散量の少ない低温区が多い結果となる。このことは吸水量あるいは通水抵抗に関連して発生するとみられるがさらに追究する必要がある。一方、フェーン処理した水稻は登熟過程で着色粳となる比率が非常に高く、着色米や奇形米が増加して米質に大きな影響を与える。しかもこの変色程度は処理時期や年次によって異なる。これはフェーンによって痛めつけられた粳に寄生する各種の菌類の種類と、その繁殖程度による差であろうと推測されるが、この点についても検討せねばならない今後

の課題である。

以上のように、現段階ではフェーン被害を完全に防止できるような具体的な対策は見出せないが、実験結果で明らかなように、施肥条件、地下部の条件などの間接的な手段によってもかなり被害は軽減できるものとみられる。しかしながらこの間接的な防止策も生態的側面からの検討であり、一部指摘したように（村松ら²⁴）水稲の水分生理の面からの詳細な実験を進める必要がある。

Ⅶ 摘 要

フェーンによる水稲の被害は、北陸地域における代表的な気象災害である。しかし、被害の発生機構や減収要因については不明な点が多い。そこで風洞を使って被害発生に対する種々の条件について検討した。

1. 実験は主に夜間に実施し、風洞内の条件は温度は外気より 4～5℃ 高くし、湿度は 30～40% 少ない 60% 前後、風速は 5～8 m/sec である。

2. フェーンによる水稲の被害は種々の被害で出現するが、主なものは次のようである。

1) 幼穂形成期から穂孕期間のフェーン処理では、枝梗や穎花が退化する。

2) 出穂期のフェーン処理では、開花が促進したり白化穎花や白穂が発生する。これらは被害程度にもよるが、かなり稔実する。しかし、登熟過程で着色粳となり米質は悪化した。

3) フェーン処理した水稲は、生育中の節間や穂の伸長が阻害されたり、葉の枯れ上りが発生する。

4) 処理直後には全く被害の認められない穂でも、登熟過程で着色米が発生して米質は低下する。

3. 水稲の被害量は種々の要因によって決まるが、その主な要因は次のとおりである。

1) 窒素施用量の多い水稲の被害は大きい。

2) ケイカル施用によって被害は軽減された。

3) 根の活力の強い水稲は被害が少ない。

4) 地下部の高温は、蒸散量は多いが被害は軽減された。

4. フェーン被害軽減法に対する施策

水稲のフェーン被害軽減対策は、さらにフェーン時の稲体水分生理との関係等を追究せねばならないが、多肥などによって生育が軟弱となったり、根腐れによる吸水力の低下するような栽培はさげ、ケイカルなどの施用によって稲体の組織を健全にして、フェーン条件下でも対応できる稲を作るなどの、栽培面からの方法でもかなり軽減できるものとみられる。また、直接的な方法として、耐フェーン性品種の探索や育成、あるいは局地的には防風施設や、大型散水器の利用などについて検討する必要がある。

引用文献

1. 嵐 嘉一・江口 広 (1954) 水稻の葉の發育経過に関する研究 (第1報) 葉身並びに葉鞘の發育経過. 日作紀 23 : 21-25.
2. 原 撰祐 (1930) 実験作物病理学. 養賢堂, 東京, pp.950.
3. 林 武・馬場 赳・岩田 岩保・稲田 勝美・田島 公一・宮沢 節子・山田 登・太田 保夫・中村 拓・竹村 儀子・相見 靈三・村上 商・藤巻 和子・松中 昭一 (1962) IV 水稻の根の活力診断—水稻の根の活力診断法に関する研究. 農林省農林水産技術会議事務局, 稲作における土壌と水に関する研究, 97-106.
4. 星川 清親 (1975) 葉の構造. 農山漁村文化協会, イネの生長, 東京, 99-103.
5. 池田 鐘一・田岡 昭敏・藤田 聡 (1977) 日中のフェーン現象による出穂期頃水稻の白穂など. 昭和52年度日本農業気象学会全国大会講要 20.
6. 石原 邦・佐合 隆一・小倉 忠治・牛島 忠広・田崎 忠良 (1972) 水稻葉における気孔の開閉と環境条件との関係 第4報 気孔開度と光合成速度との関係. 日作紀 41 : 93-101.
7. 石原 信一郎・今井 秀昭・林 衛三・浅野 孝三郎 (1978) 梅雨末期の登熟態勢維持技術 高昼夜温の登熟向上とフェーン対応技術 (富山県農業試験場), 新潟県農業試験場, 北陸の気象変動下における良質米生産の早植安定多収技術, 28-37.
8. 児島 光信 (1931) 水稻出穂期に於ける暴風雨の影響に就て. 農及園 6 : 1075-1084.
9. 近藤 頼己 (1943) 水稻の冷害現象に関する実験的研究. 農及園 18 : 710-714.
10. 近藤 万太郎・岡村 保 (1926) 茶米に就きての研究. 農学会報 287 : 411-429.
11. 木邨 勇 (1950) 水稻の乾風害 (白穂) について. 農業気象 5 : 133-136.
12. ——— (1951) 水稻の乾風害 (白穂) について (続報). 農業気象 6 : 111-114.
13. 木村 勲二 (1937) 変色粒と菌類の関係につきて. 植物病害研究 3 : 209-232.
14. 栗田 義郎・河合 一郎 (1949) アイオン嵐風による水稻の白穂発生機構に就て. 農業気象 5 : 95-98.
15. 松尾 孝嶺・坪井 八十二・角田 重三郎 (1951) 嵐風による稲白穂の発生とその品種間差異 (第1報). 農業気象 6 : 107-110.
16. Martinm, K. (1973) Determination of seed-born microorganisms : Other tests. Proc. Int. Seed Test. Assoc., Seed Quality Res. Symp., Part I, 1(1) Seed Science and Technology : 255-280.
17. 松島 省三 (1960) 稲作の理論と技術. 養賢堂, 東京, pp.302.
18. 三代 良信 (1944) 出穂期を異にせる水稻品種の暴風雨並に冠水被害に就て. 農及園 19 : 320-322.
19. 森田 潔 (1953) 水稻出穂期における暴風被害について. 日作紀 22 : 59-60.
20. 村松 謙生 (1973) フェーン時の気象特徴と稲作. 農及園 48 : 1476-1478.
21. ——— (1976) 穂孕期間中のフェーン遭遇が穎花数におよぼす影響 (予報). 北陸作物学会報 11 : 41-43.
22. ——— (1976) 北陸地域におけるフェーンの発生とその水稻被害. 北陸農試 19 : 25-43.
23. ———・鴨田 福也 (1977) 穂孕期間中のフェーン遭遇が穎花数におよぼす影響. 北陸作物学会報 12 : 18-19.
24. ———・———・石原 邦 (1979) 高温低湿度条件下における水稻の夜間蒸散について. 日作紀 48 (別1) 193-194.

25. 長井 保・松下栄二(1962)異なる土壌温度における水稲根の生理生態 1. その生態について. 日作紀 31: 385-388.
26. 長戸一雄(1949) 萎凋が陸稲の生育に及ぼす影響. 日作紀 17: 11.
27. ———・江幡守衛(1965) 登熟期の高温が穎果の發育ならびに米質に及ぼす影響. 日作紀 34: 59-66.
28. 中村豊徳・志手駒男 他(1955) 台風12号による水稲白穂の発生と減収機構について. 農林省統計調査部試験研究資料 17: 35-75.
29. 中山 清・張 中(1963) フェーン風害による水稲被害について. 農作物被害調査と研究 17: 60-63.
30. 岡本 嘉(1957) 珪酸欠乏水稲の生育について(第2報). 山梨大学学芸部研報 8: 172.
31. 大川金作(1936) 珪酸の植物に対する生理的機能に関する研究(其5) [水稲生育上珪酸の需要期に就いて]. 日土肥誌 10: 414-419.
32. 小野寺伊勢之助・影島準一(1936) 珪酸の植物生育に及ぼす影響の研究(第1報). 珪酸及び加里の水稲生育に及ぼす影響に就て 盛岡高農凶作に関する研究業績(第3報). 日土肥誌 10: 318-333.
33. 沢田英吉(1935) 酸化酵素の作用とその簡単な検出法. 農及園 10: 1505-1509.
34. 瀬古秀生・佐本啓智・鈴木喜一郎(1956) 水稲地上部諸器管の發育過程に関する研究, 1. 水稲伸長期に於ける地上諸器管の伸長, 乾物重の推移及びその相互関係について. 日作紀 24: 189~190.
35. 重久泰二(1957) 台風による水稲減収機構の実態. 農業技術 12: 348-353.
36. 志茂山貞二(1959) 風害に依る水稲の生理的減収機構について. 農業気象 15: 1-9.
37. 品川浩清・戸村 勝・一村英雄(1957) 水稲の出穂期前後における台風被害と収量構成要素との関係. 農林省統計調査部試験研究資料 19: 416-420.
38. 相見靈三・沢村 浩・昆野昭晨(1959) 作物の登熟機構に関する研究. 登熟期の炭水化合物及びそれに関与せる数種酵素活性に及ぼす気温の影響. 日作紀 27: 405-407.
39. 高杉成道(1938) 生育の各期に於ける一定低温が水稲に及ぼす影響に就て(予報). 農及園 13: 965-972.
40. 寺尾 博・大谷義雄・白木 実・山崎正枝(1940) 水稲冷害の生理学的研究(予報)[II]幼穂發育上の各期に於ける低温障害. 日作紀 12: 177-195.
41. ———・———・土井弥太郎・泉 清一(1942) 水稲冷害の生理学的研究(予報)[VIII]挿秧より出穂に至る各期よりの各種低温の幼穂分化・出穂・稔実に及ぼす影響. 日作紀 13: 317-336.
42. 戸丸義次(1939) 暴風による水稲収被害の機構に関する考察(要旨). 日作紀 10: 390-393.
43. ———(1940) 水稲に対する暴風害に就て. 特に昭和12年関西地方の暴風に関して 第2報, 暴風による水稲被害の種々相. 日作紀 12: 265-277.
44. ———(1942) 暴風雨による水稲の被害に就て. 農及園 17: 1339-1340.
45. 角田重三郎・橋高昭雄(1952) 颱風による稲白穂の発生とその品種間差異(第2報) 抵抗性を異にする稲品種の諸特性について. 日作紀 21: 185-186.
46. 角田公正・松島省三(1962) 水稲収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究. LXII 水深を異にした場合の水温の高低が水稲の生育収量ならびに収量構成要素に及ぼす影響. 日作紀 31: 19-22.
47. 坪井八十二・氷高信雄(1958) 水稲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.
48. ———(1961) 水稲の暴風被害に関する生態学的研究—作物の風害に関する研究(I). 農技研報

A 8 : 1-156.

49. 上原泰樹・佐本四郎 (1976) 水稻のフェーン災害抵抗性の簡易検定法に関する研究. 北陸作物学会報 11 : 44-46.
50. 氏家四郎・宮本硬一・小島善吾 (1956) 水稻出穂期に於ける台風の被害状況について. 農業気象 12 : 1-4.
51. Wright, S. T. C. and R. W. P. Hiron (1969) (+) -Abscisic acid, the growth inhibitor induced in detached wheat leaves by a period of wilting. *Nature* 224 : 719-720.
52. 山本健吾 (1954) 水稻の成熟現象に関する研究, III. 夜温の高低と登熟期間に於ける呼吸量及び炭水化物の変化. 農及園 29 : 1425-1427.
53. 安武一夫・平城俊文 (1941) 水稻出穂期に於ける乾風被害調査成績. 農及園 16 : 807-814.
54. Yoshida, S., D. A. Forno and J. H. Cock (1971) *Laboratory manual for physiological studies of rice*. IRRI, Los Baños, 53-57.
55. 吉田昌一 (1965) 水稻体内におけるケイ素の存在様式と生理的意義に関する研究. 農技研報 B 15 : 1-58.

Damage of Paddy Rice Plant Caused by Foehn*

by

Kensei MURAMATSU and Fukuya KAMOTA⁽¹⁾

*Environment Division, Hokuriku National Agricultural Experiment Station;
Inada, Joetsu, Niigata, 943-01 Japan*

Summary

The damage of rice plant caused by foehn is one of the typical agrometeorological disasters in Hokuriku district. Studies on the damages caused by foehn, until recently, have mostly been concentrated on the field surveys, and the detail of the eco-physiological factors concerned and the knowledge of the behavior of damages are insufficient. Present studies were carried out in order to clarify these unknown subjects and to find the effective methods to prevent such damages by foehn.

Experiments were conducted from 1973 to 1978 with use of a small wind tunnel of a modified Göttingen type. Temperature, humidity and wind velocity in the wind tunnel were adjusted with an electric heater, a small dehydrator and a fan with a variable speed motor, respectively.

Treatments were mainly made during nighttime and meteorological conditions inside the wind tunnel were adjusted as follows:

Temperature.....4-5°C higher than atmospheric temperatures.

Humidityaround 60%.

Wind speed5-8m/sec.

These meteorological conditions for treatments were determined in consideration of the mean values of wind speed, humidity and temperature at the top of rice plants in paddy fields when a foehn is prevailing.

The results are summarized as follows:

1. There are many factors concerning the damages by foehn, and these factors may be classified into two groups, namely as factors of foehn itself and those of rice plant. The degree of damage by foehn differed with the intensity of foehn

*Received : December 21, 1979

(1) Present address ; Fruit Tree Research Station, Yatabe, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan

and with the growth stage of rice plant. Serious damages were found at heading and flowering stages of ear. Many experiments, therefore, were conducted in order to study the relation between the damage and the growth stages especially near heading and flowering stages.

1) According to the experiments conducted from young panicle formation stage to booting stage of whole plant, damages were severe at the degeneration stage of the number of pedicel and glumous flower.

2) Treatments conducted at the stage of heading revealed that foehn might advance the blooming and the color of the glumous flowers turned white.

Although most of these glumous flowers grow hereafter, they turned to colored unhulled rice grains during the ripening period. The quality of grains is degraded, especially, brown colored grains and monstrosity grains increased by foehn treatments at heading stage.

3) As the morphological influences of foehn treatments on rice plants, the elongation of internode, the imperfect heading of ear, and leaf withering were observed. Even if no damage was seen just after the treatments, a part of unhulled rice grains turned to colored ones during their ripening period. All these lead to the decrease in yield and to the degradation of quality.

2. Degrees of damage on rice plant caused by foehn varied in cultivated conditions, which seemed to be correlated with the water balance in rice plant. Influential factors to the degrees of damage were summarized as follows:

1) Much more application of nitrogen fertilizer caused severe damage.

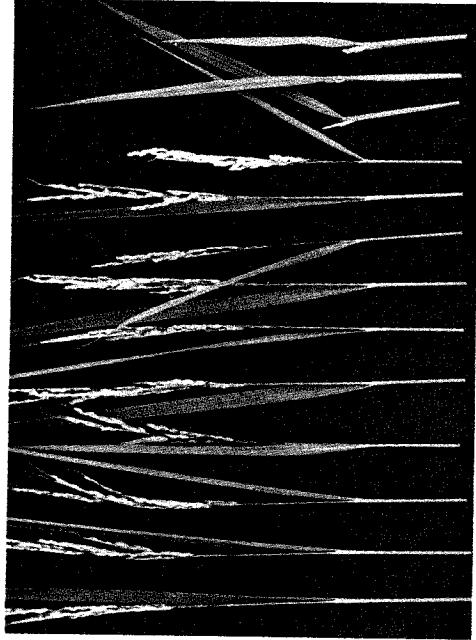
2) The application of silicate fertilizer reduced damage.

3) The root having higher activity received less damage.

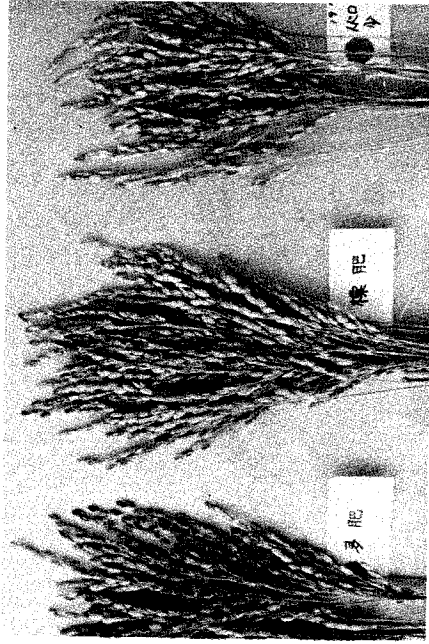
4) Higher temperature for root zone of plants accelerated the transpiration rate. Nevertheless, the damage of rice plant by foehn decreased, implying that more amount of water were absorbed from the root under foehn conditions.

3. Some agro meteorological and husbandry methods to prevent the damage of rice plant by foehn can be considered. As the results of the investigation mentioned, above it seems to be effective to avoid such rice cropping season as it brings incomplete growth or root-rot which may weaken the suction force of water, to develop strong tissues by the application of silicate fertilizer, and to keep more water depth of irrigation before a foehn attacks. The agrometeorological prevention methods should also be applied, for example, the wind breaks which suppress the waving of rice plant and decrease the transpiration and the sprinkler system which is effective to lower the field temperature and to increase the air humidity.

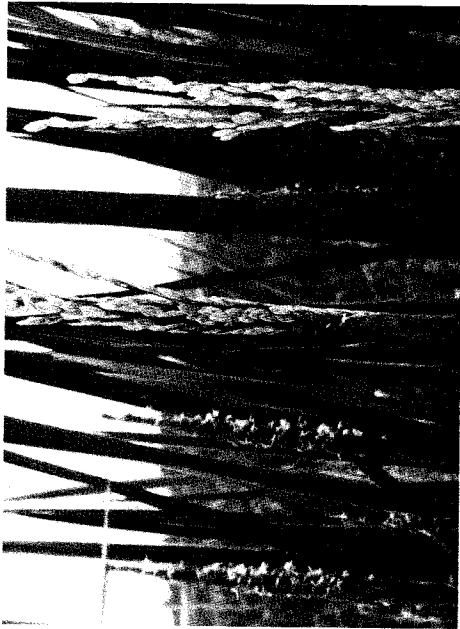
To know the detailed mechanisms of foehn injuries to rice plants, the water balance within a rice plant should be studied in relation to the meteorological conditions concerned and the physiological conditions of rice plants.



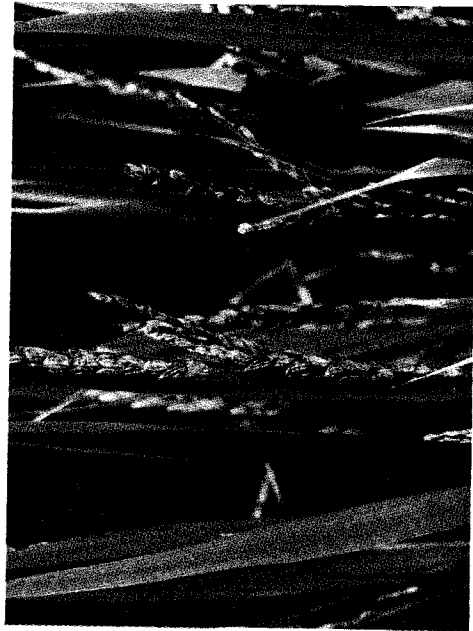
写真一2 フェーンにより発生した白穂の抽出程度別被害状況
(新潟県上越市稲田地区 1978.8)



写真一4 フェーン処理直後外観的被害の認められない穂の成熟期における窒素施用量別着色状況
(風洞実験 1976, 品種, トドロキワセ)



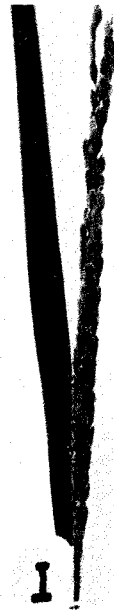
写真一1 フェーンにより発生した白穂被害
(新潟県中頸城郡板倉町 1978.8)



写真一3 フェーンにより発生した白穂及び白化穎花の成熟期における着色状況
(新潟県上越市稲田地区 1978.9)



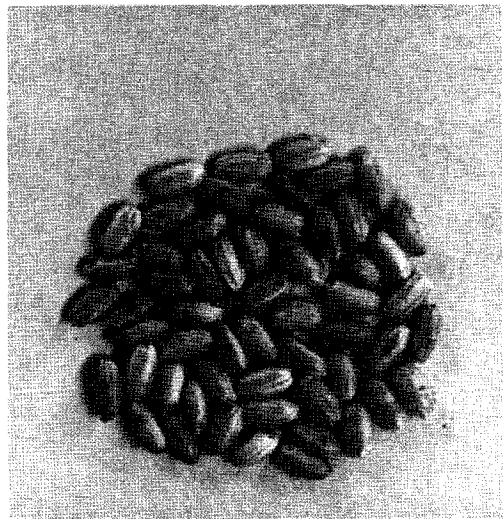
写真一5 フェーン処理直後外観的被害の認められない穂（風洞実験）



写真一6 同一の穂（写真5）の10日後の着色粒発生状況



写真一7 フェーンによる白化穎花の成熟期着色状況



写真一8 着色粒の玄米