

生育時期別の潮風処理が水稲の収量に与える影響

誌名	農業気象
ISSN	00218588
著者名	丸山,篤志 大場,和彦 黒瀬,義孝
発行元	養賢堂
巻/号	56巻4号
掲載ページ	p. 275-282
発行年月	2000年12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



生育時期別の潮風処理が水稲の収量に与える影響

丸山篤志・大場和彦・黒瀬義孝

(九州農業試験場)

Effects of Wind and Salt Water Exposure at Various Growth Stages on Yield of Paddy Rice

Atsushi MARUYAMA, Kazuhiko OHBA and Yoshitaka KUROSE

(Kyushu National Agricultural Experiment Station, Nishigoshi, Kumamoto, 861-1192 Japan)

Abstract

Effects of wind and salt water exposure on yield of paddy rice were investigated by using a wind tunnel and sprinkler. Rice plants were exposed to seventy-two different treatment combinations of salt concentration, wind duration, cultivar (Hinohikari and Yumehikari) and growth stage. Photosynthesis on the day after treatment was decreased by wind and salt water exposure. Percentage and weight of filled grain at harvesting, and consequently yield were also decreased by wind and salt water exposure. Yield reduction in Hinohikari was more than Yumehikari due to a difference in wind tolerance between the two cultivars. The amount of adhered salt on the rice plants grown outdoors decreased after treatment due to rainfall, but the yield reduction was the same as cropping under cover (no rainfall) after treatment.

The amount of adhered salt on the panicle after treatment was directly proportional to salt concentration in the sprayed water. Using the proportional coefficient, relationships between the amount of adhered salt on the panicle and relative yield of paddy rice were determined. Relative yield of paddy rice decreased from 1.0 to 0.2 when treated at heading time and 8-12 days after heading as the amount of adhered salt increased from 0 to 6 mg per panicle. In the same way, relative yield decreased from 1.0 to 0.7 when treated at 21-25 days after heading. These relationships will be useful in predicting the yield of paddy rice affected by strong wind and salt from the sea caused by typhoons.

Key words: Growth stage, Photosynthesis, Rice plant, Salty wind, Yield.

キーワード: イネ, 光合成, 収量, 生育時期, 潮風

1. はじめに

東海地方から九州地方にかけての沿岸部の水田地帯では、台風ともなう海からの飛塩により水稲の潮風害が度々発生している。水稲の潮風害の軽減対策として、稲体に付着した塩を水洗することにより減収量を小さくできることが知られている (Tsuboi, 1961)。しかし、このような軽減対策を実施するには多大な労力を必要とする。そのため、潮風発生の時点において水稲の減収量を予測することができれば、被害の軽減対策を講じる上で有益である。

潮風と水稲の収量との関係について、Tsuboi (1961) は出穂期の農林 37 号を対象に、水稲の塩付着量と収量との関係を明らかにしている。また、Yamamoto *et al.* (1996) は、強風、塩水、水洗などの要因と収量との関係を統計的手法により解析し、各要因の有無が収量に与える影響を明らかにしている。しかしながら、潮風発生時における水稲の生育時期による被害の違い、および品種による被害の違いについては不明な点が多く、減収量の推定方法も確立されていない。

本研究では、潮風による水稲の減収量推定法の確立を目的として、風洞と塩水を用いて水稲に潮風処理を施す実験を、塩濃度、処理時期、品種などを様々に組み合わせで行った。その結果、生育時期別の潮風処理が水稲の

1999年7月29日 愛媛大会にて発表

2000年4月17日 受付, 2000年8月19日 受理

Table 1 Summary of cultivar, sowing time, heading time, time of treatment and number of samples in experiments.

Expt No.	Cultivar	Year	Sowing time	Heading time	Time of treatment (days after heading) (Treatment)	Number of samples (plant)					
						Control	Salt concentration (mg/cm ³)				
						0	10	20	30	40	50
A-1	Hinohikari	1997	14, Apr.	15, Aug.	0 (No wind)	6 ^a	(6) ^a	4	4	4	
A-2	Hinohikari	1997	14, Apr.	15, Aug.	0 (2 h wind)	(6) ^a	4	4	4	4	
B-1	Hinohikari	1998	24, Apr.	20, Aug.	0 (4 h wind)	8 ^b	5	5	5	5	
B-2	Hinohikari	1998	24, Apr.	20, Aug.	11 (4 h wind)	(8) ^b	4	4	4	4	
B-3	Hinohikari	1988	24, Apr.	20, Aug.	21 (4 h wind)	(8) ^b	4	4	4	4	
B-4	Hinohikari	1998	24, Apr.	20, Aug.	35 (4 h wind)	(8) ^b	4	4	4	4	
C-1	Hinohikari	1988	22, May	3, Sep.	8 (4 h wind)	6	6	6	6	6	6
C-2	Yumehikari	1988	22, May	10, Sep.	8 (4 h wind)	6	6	6	6	6	6
D-1	Hinohikari	1999	13, Apr.	19, Aug.	0 (No wind)	12 ^c	(12) ^c	8	8	8	8
D-2	Hinohikari	1999	13, Apr.	19, Aug.	12 (No wind)	(12) ^c	(12) ^c	8	8	8	12
D-3	Hinohikari	1999	13, Apr.	19, Aug.	25 (No wind)	(12) ^c	(12) ^c	8	8	8	8
D-4	Hinohikari	1999	13, Apr.	19, Aug.	12 (No wind, Rain)	12 ^d	(12) ^d	8	8	8	12

Parentthesized samples a, b, c and d are same samples as control a, b, c and d.

収量に与える影響、および潮風による減収量の推定方法に関していくつかの知見を得たので報告する。

2. 材料および方法

潮風が水稻の収量に与える影響の、生育時期、品種、強風の有無および塩濃度による違いについて調べるため、各要因を様々に組み合わせて 72 通りの区を設け (対照区含む)、大きく分けて 4 種類の潮風処理実験を行った。実験の概要を Table 1 に示す。それぞれの区では、品種、処理時期、強風の継続時間、塩濃度およびサンプル数 (水稻の株数) が異なっており、Table 1 にはそれらを示した。潮風が水稻の収量に与える影響について、A (A-1, A-2) は強風の有無による違いを調べたもの、B (B-1~B-4) は生育時期による違いを調べたもの、C (C-1, C-2) は品種間差異を調べたもの、D (D-1~D-4) は生育時期による違いを圃場実験によって調べたものである。

2.1 供試材料

供試する水稻品種には、ヒノヒカリ (中生) とユメヒカリ (晩生) を用いた。両品種は、九州地方においてそれぞれ約 98000 ha, 8000 ha の作付面積を占める主要品種である (Food Agency, 2000)。各実験では、Table 1 に示した日に播種したものをガラスハウスで育苗した。ポットでの実験 (A, B, C) では、播種後 20~25 日目に 3~4 葉期の苗を 3 個体 1 株ずつ 1/5000 a ポットに移植した。ポットには、九州農業試験場 (熊本県菊池郡) の水田圃場の火山灰土壌を充填し、化学肥料 (48 化成, N: P: K = 16: 16: 16) 0.5 g を混入した。移植後は屋外の自然環境下で育成し、栽培管理は慣行法に従った。

圃場での実験 (D) では、播種後 25 日目に 3~4 葉期の苗を九州農業試験場の水田圃場 (5 a, 火山灰土壌) に移植した。圃場での栽植密度は 0.3 m × 0.18 m である。

2.2 処理方法

水稻はそれぞれ Table 1 に示した日に出穂期となり、その後に以下のような潮風処理を施した。

B と C では生育時期別および品種別に、九州農業試験場に設置されているエッフェル型風洞を用いて、15 ± 5 m/s の強風処理を 4 時間施し、その直後に 0~50 mg/cm³ の塩水処理を施した。ここで、風速 15 m/s は台風 の暴風域に相当し、塩濃度 0~50 mg/cm³ は海水の塩濃度 (約 30 mg/cm³) 前後に相当する。また、塩濃度 0 mg/cm³ は強風処理後に蒸留水を散布したもので、強風処理のみの影響をみるための区である。塩水処理は、噴霧器を用いて水稻の地上部全体にまんべんなく塩水を散布することによって行った。あらかじめ供試作物体に散布試験した結果、約 200 cm³ の散布により地上部が十分に濡れることが確認されたため、1 株あたり 200 cm³ の塩水を散布した。処理後は降雨の影響を除くためガラスハウス下で育成した。

A では、強風のない場合 (A-1) とある場合 (A-2) を設け、前者には塩水処理のみを、後者には上記と同様の強風処理を 2 時間施したのちに塩水処理を施した。

D では生育時期別に、強風処理は施さず塩水処理のみ施し、処理後は降雨の影響を除くためビニルハウス下で育成した。ビニルハウスは、長さ 5 m 直径 4 m の半円筒型のものを水田内に設置し、通気性を確保するため側面はビニルを張らなかつた。ただし、出穂後 12 日目の処理では、降雨の影響をみるために処理後も露天下で育成

Table 2 Effects of wind and salt water exposure on yield of paddy rice.

Expt No.	Yield (g/plant)						
	Control	Salt concentration (mg/cm ³)					
		0	10	20	30	40	50
A-1	38.1±2.4	38.1±2.4	36.2±1.7	24.5±7.8	19.1±5.9		
A-2	38.1±2.4	34.6±2.6	30.2±1.2	25.7±2.8	17.5±9.5		
B-1	25.5±2.6	7.2±4.4	7.2±3.1	3.3±2.0	2.6±2.1		
B-2	25.5±2.6	19.7±4.6	14.1±1.6	5.1±1.4	3.2±1.4		
B-3	25.5±2.6	22.6±2.9	26.1±1.6	22.3±5.0	20.6±1.9		
B-4	25.5±2.6	12.1±8.2	18.1±7.3	19.7±8.8	26.6±4.1		
C-1	24.5±2.2	17.9±2.7	16.6±5.2	11.6±1.8	8.6±2.7	8.3±1.1	4.0±1.2
C-2	21.5±2.3	21.4±1.0	20.5±2.6	15.2±2.1	11.9±4.3	11.3±2.9	7.3±0.9
D-1	21.5±2.8	21.5±2.8	23.4±0.6	17.4±0.2	11.1±2.7	3.5±2.3	4.0±0.8
D-2	21.5±2.8	21.5±2.8	18.7±1.9	14.9±0.9	12.0±0.1	4.0±0.7	0.4±0.0
D-3	21.5±2.8	21.5±2.8	20.4±1.2	15.6±2.8	17.8±0.8	13.7±0.9	17.5±2.4
D-4	24.7±2.5	24.7±2.5	19.6±1.5	18.1±2.2	13.8±0.4	6.9±1.9	4.1±2.2

Each value is the mean and standard deviation.

する場合(D-4)を設けた。露天下では、処理翌日の0～17時(処理後8～25時間に相当する)に合計60.5mmの連続した降雨があった。

2.3 調査方法

それぞれの実験において、処理後の水稻の成熟期に各区から全ての株をサンプリングし、A, B, Cでは1株ごと、Dでは4株ごとに収量構成要素を測定した。塩水選は比重1.06で行い、沈んだ籾を精粒とした。ただし、このサンプリングには以下に述べる光合成速度と塩付着量の測定に用いたサンプルは含まない。

潮風処理が水稻の光合成速度に与える影響を知るため、C-1とC-2において、処理翌日の午前中(10～12時)に各濃度区から1株ずつサンプリングし、光合成測定装置(LI-COR, LI-6400)を用いて主茎止葉の光合成速度と蒸散速度を測定した。測定時のチャンパー内の環境は、気温29～30℃、葉温30～33℃、相対湿度55～70%、量子束密度1600μmol/(m²・s)(人工光)、CO₂濃度350ppm、ポンプ流量500cm³/sに保持した。

散布した塩水の濃度と水稻の塩付着量との関係を知るため、C-1とC-2において、散布した塩水の乾燥後に各濃度区から1株ずつサンプリングし、穂・葉・茎の塩付着量および穂数、籾数、葉面積、茎数を測定した。塩付着量の測定は、穂・葉・茎を単位体積の蒸留水に浸し、溶液の塩濃度を炎光分析法で計測することにより行った。作期が異なる場合の違いを知るため、早植栽培されたB-1についても同様に塩付着量を測定した。さらに、処理後の塩付着量の経時変化を知るため、D-2とD-4の50mg/cm³区から、処理直後(約30分後)、1日後(約25時間後)、2日後(約49時間後)、3日後(約74時間後)に水稻を1株ずつサンプリングし、同様に塩付

着量を測定した。

また、実際の潮風発生時における水稻の塩付着量がどの程度であるのか知るため、台風9918号の通過当日(1999年9月24日)の午後、台風上陸地点の約25km南東に位置する横島干拓地(熊本県玉名郡)の水田地帯において水稻の塩付着量を測定した。横島干拓地は南側に有明海に面した干拓地で、水田地帯では主にヒノヒカリ、ユメヒカリ、コシヒカリが栽培されている。海岸から100～6000mの12地点において水稻を1株ずつ穂のみサンプリングし、上記と同様に塩付着量を測定した。

3. 結果

3.1 潮風処理が水稻の収量に与える影響

各実験における水稻の収量をTable 2に示す。

Aでは、A-1(強風なし)とA-2(強風あり)ともに塩濃度が高いほど収量の減少する傾向がみられ、塩濃度が低い区ではA-2の収量が比較的良かった。

Bでは、B-1(出穂期に処理)とB-2(出穂後11日目に処理)で塩濃度が高いほど収量の減少する傾向がみられた。特にB-1の収量の減少が顕著で、0mg/cm³区における収量が低いことから、この収量の減少は主に強風処理によってもたらされたといえる。B-3(出穂後21日目に処理)とB-4(出穂後35日目に処理)では、強風処理によってB-3の30mg/cm³区、B-4の0mg/cm³区、10mg/cm³区、20mg/cm³区においてそれぞれ2株、2株、1株、1株の水稻が倒伏し、そのためこれらの区では比較的収量が低かった。しかし、これらの区を除くと、塩濃度が高くてそれほど収量が減少していないことから、B-3とB-4では塩水処理の影響は比較的小さかった

Table 3 Effects of wind and salt water exposure on yield component of paddy rice.

Expt No. (treatment)	Salt concentration (mg/cm ³)	Yield component					
		NT-H	NP	NG	PFG	WFG	Y
A-1 (No wind)	Control	30.0	27.5	68.7	85.8	23.7	38.1
	10	30.5	26.3	72.8	82.7	23.2*	36.2
	20	31.0	27.0	63.7	62.5*	22.7*	24.5*
	30	30.3	25.8	70.0	48.6*	22.3**	19.1**
A-2 (2 h wind)	0	30.4	26.3	69.8	83.8	23.2*	34.6*
	10	30.8	24.8*	69.1	76.4**	23.1	30.2***
	20	29.0	25.0	74.1	60.6**	23.1*	25.7***
	30	29.5	22.0**	78.5	43.8*	22.8*	17.5*
B-1 (4 h wind)	Control	24.9	21.0	61.5	84.1	22.2	25.5
	0	25.5	22.3	56.7	25.5**	17.2***	7.2***
	10	24.3	21.5	58.2	26.4***	18.3*	7.2***
	20	25.3	21.8	51.0**	13.7***	13.7**	3.3***
	30	27.5	22.0	57.9**	9.3***	11.2**	2.6***

Difference between treatments and controls are significantly different at the 5% (*), 1% (**) and 0.1% (***) levels as determined by *t*-test.

NT-H : Number of tillers at heading time, NP : Number of panicles, NG : Average number of grains on a panicle, PFG : Percentage of filled grain (%), WFG : Average weight of 1000 filled grains (g), Y : Yield (g).

といえる。

Cでは、C-1(ヒノヒカリ)、C-2(ユメヒカリ)ともに塩濃度が高いほど収量の減少する傾向がみられ、特にC-1の収量の減少が顕著であった。0 mg/cm³区におけるC-1の収量がC-2に比べて3.5 g低く、それ以外の各濃度での収量の差も3.0~3.9 gと一定であることから、この差は主に強風処理によってもたらされたといえる。

Dでは、D-1~D-4のいずれも塩濃度が高いほど収量の減少する傾向がみられた。ただし、時期別にD-1(出穂期に処理)、D-2(出穂後12日目に処理)、D-3(出穂後25日目に処理)を比較すると、収量の減少はD-1において最も顕著で、D-3ではそれほど顕著でなかった。また、D-2(ハウス下)とD-4(露天下)を比較すると、ほとんどの区でD-2の収量が低かったが、対照区の収量に対する比率はあまり差がなかった。なお、D-4の対照区の収量は24.7 gで、D-2の対照区の収量21.5 gに比べて若干大きかったが、これはあまり有意な差ではなく10%レベルの有意な差は認められなかった。

3.2 潮風処理が水稻の収量構成要素に与える影響

出穂期に処理を施したポットでの実験で、強風の継続時間が異なるA-1(強風なし)、A-2(強風2時間)、B-1(強風4時間)における各区の収量構成要素の値をTable 3に示した。出穂期の茎数は、どの区でも対照区に対して5%レベルの有意な差は認められなかった。しかし、収量調査時の穂数をみると、A-2は対照区に比べて減少しており、10 mg/cm³区で5%レベル、30 mg/cm³区で1%レベルの有意な差が認められた。この穂数の減少は、処理後および収量調査時の観察から処理後の

出穂が少なかったためと判断された。次に、1穂あたり粒数についてみると、B-1は対照区に比べて減少しており高濃度の区で1%以下レベルの有意な差が認められた。登熟歩合と千粒重はA-1、A-2、B-1の全ての区で対照区よりも小さく、ほとんどの区で5%以下レベルの有意な差が認められた。その結果、収量も全ての区で対照区よりも小さく、ほとんどの区で5%以下レベルの有意な差が認められた。

3.3 潮風処理が水稻の光合成速度に与える影響

C-1(ヒノヒカリ)とC-2(ユメヒカリ)において処理翌日に測定された主茎止葉の光合成速度と蒸散速度をFig. 1に示す。光合成速度は、ヒノヒカリ、ユメヒカリともに塩濃度が高いほど低下する傾向がみられ、50 mg/cm³区における値は対照区に対してヒノヒカリで55%、ユメヒカリで40%低下していた。両品種を比べると、潮風処理による光合成速度の低下はユメヒカリよりもヒノヒカリの方が著しいといえる。蒸散速度についても同様の傾向がみられ、50 mg/cm³区におけるヒノヒカリとユメヒカリの蒸散速度は対照区に対してそれぞれ45%、40%低下していた。

3.4 潮風処理後の水稻の塩付着量

D-2(ハウス下)、D-4(露天下)において測定された処理直後、1日後、2日後、3日後における水稻の塩付着量をFig. 2に示す。ただし、サンプルの株には穂数が13~20、葉面積が1517~2922 cm²、茎数が14~22の範囲でばらつきがみられたため、塩付着量には基準化した値を用いている。すなわち、穂数・葉面積・茎数の測定値を用いて、穂の付着量は1穂あたり、葉の付着量は

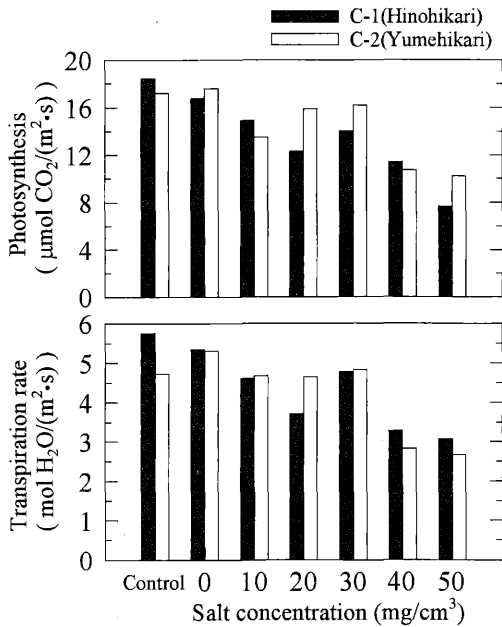


Fig. 1. Effects of wind and salt water exposure on photosynthesis and transpiration rate in flag leaf of paddy rice.

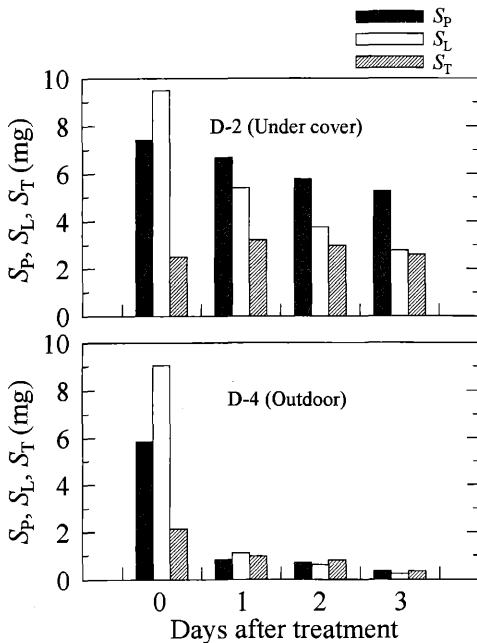


Fig. 2. Changes in the amount of adhered salt on panicle (S_P), leaf (S_L) and tiller (S_T) of paddy rice after treatment. S_P , S_L and S_T are standardized by number of panicles (per 1 panicle), leaf area (per 100 cm²) and number of tillers (per 1 tiller).

100 cm²あたり、茎の付着量は1茎あたりの値に換算している。穂と茎の付着量に関しては、本来ならば葉と同様に表面積で基準化するのが適当と考えるが、ここで穂数と茎数を用いているのは、穂・茎の表面積の測定が困難だったためである。露天下の塩付着量は降雨の影響を受けて1日後には著しく減少した。ハウス下でも塩付着量の減少する傾向がみられ、これは主に風による揺れや露の影響によるものと考えられる。部位別にみると、葉での減少が9 mgから3 mgと最も顕著で、穂では7 mgから5 mgへの減少、茎では2~3 mgであり変化がなかった。茎では葉や穂からの流出の影響を受けたことが考えられる。

次に、B-1, C-1, C-2, D-2, D-4において処理直後に測定された水稻の塩付着量と散布した塩水の濃度との関係をFig. 3に示す。Fig. 2の場合と同様にサンプルの株には穂数が11~20、葉面積が1232~2400 cm²の範囲でばらつきがみられたため、穂の付着量は1穂あたり、葉の付着量は100 cm²あたりの値に換算している。また、穂の付着量に関しては、1穂あたりの粒数にも52~91の範囲でばらつきがみられたので、穂数ではなく粒数で基準化し100粒あたりの値に換算した場合も併せて示した。どの場合にも塩濃度が高いほど塩付着量が多い傾向がみられたが、葉の付着量は実験によるばらつきがみられた。この理由として、水稻の品種や栽培方法の違いにより葉の傾斜角や分布などの群落構造が異なっていたことが考えられる。一方、穂の付着量は実験および品種に関わりなく散布した塩水の濃度との間に高い相関が認められ、以下の式で近似することができた。これは穂が、通常葉群落よりも上に位置するため流出の影響を受けにくいことや、葉のような傾斜角の違いがあまりないことなどの理由によるものと考えられる。

$$S_P = 0.117 C \quad (1)$$

$$S_G = 0.153 C \quad (2)$$

ここで、 S_P および S_G はそれぞれ1穂あたりおよび100粒あたりの穂の塩付着量 (mg)、 C は塩水の濃度 (mg/cm³)である。穂の塩付着量は本来、穂数や粒数ではなく穂の表面積に大きく依存するものと考えられる。しかしながら、水稻の穂には粒、穂軸、枝梗などいくつかの部位があり、それら全ての塩付着量と表面積を測定することは困難である。結果的には穂の塩付着量をだまかに穂数や粒数で基準化した場合でも塩水の濃度に対して高い相関が認められたこと、特に1穂あたりの塩付着量は測定も容易であり実用性が高いことから、ここでは1穂あたりの塩付着量を潮風による水稻の減収量推定の指標とし、各実験における水稻の相対収量との関係を調べた。

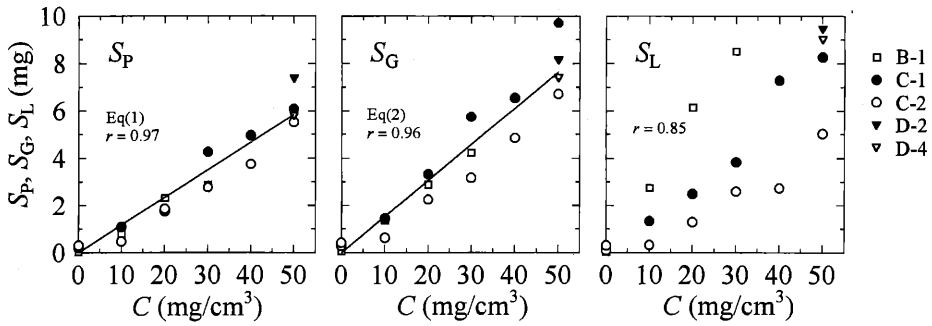


Fig. 3. Relationship between salt concentration in sprayed salt water (C) and the amount of adhered salt on panicle (S_P , S_G) and tiller (S_L) of paddy rice. S_P , S_G and S_L are standardized by number of panicles (per 1 panicle), number of grains (per 100 grains) and leaf area (per 100 cm^2).

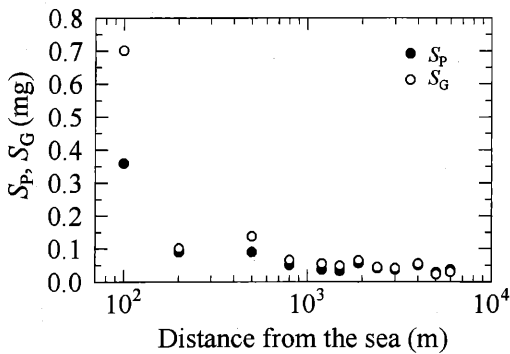


Fig. 4. Relationship between distance from the sea and the amount of adhered salt on panicle (S_P , S_G) of paddy rice observed at Yokoshima after typhoon number 9918 passed. S_P and S_G are standardized by number of panicles (per 1 panicle) and number of grains (per 100 grains).

3.5 潮風発生後の水稻の塩付着量

台風 9918 号の通過後に横島干拓地において測定された水稻の塩付着量と測定地点の海岸からの距離との関係を Fig. 4 に示す。穂の塩付着量は、海岸からの距離が長くなるにつれて減少する傾向がみられたが、実験で測定された塩付着量と比較するとかなり小さな値であった。付着量は 1 穂あたり、100 穂あたりとも 100 m 地点でそれぞれ 0.36 mg, 0.70 mg と最大で、200 m 以上の地点ではそれぞれ 0.10 mg, 0.15 mg 以下の値であった。横島干拓地の約 5 km 北に位置する AMeDAS 観測点(岱明)では、風向が南に変化し風速が最大となった 5 時から 7 時にかけて合計 44.0 mm の降雨が記録されていたことから、これらの水田では降雨によって付着した塩が流出した、あるいはもともと潮風の吹走時間が短く

それほど塩が付着しなかったものと考えられる。

なお、この水田地帯では、潮風害に特有の水稻の葉色変化、枯死などの現象はみられず、作況も内陸部の市町村と同程度であったことから、潮風害は発生しなかったものと判断された。

3.6 潮風による水稻の減収量の推定

Table 2 の結果と (1) 式を用いて、1 穂あたりの塩付着量と相対収量との関係を水稻の生育時期別にみたのが Fig. 5 である。ここで、相対収量は、各区の収量を対照区(強風処理を施した実験では塩濃度 0 mg/cm^3 区)の収量で割った値とした。強風処理を施した実験で塩濃度 0 mg/cm^3 区の収量を基準としたのは、強風処理のみによる減収に実験によって大きな違いがみられ、強風の影響と塩水の影響を同時に扱うことが困難と考えたためである。出穂期では、塩付着量が 0 mg から 6 mg へと増加するにつれて相対収量が 1.0 から 0.2 前後へと、低濃度域で緩やかに中濃度域でやや急激に減少する傾向がみられた。穂揃期に相当する出穂後 8~12 日でも、出穂期とほぼ同様の減少傾向がみられたが、B-2 の相対収量は他の実験と比べて低かった。登熟中期に相当する出穂後 21~25 日では、塩付着量が増加しても相対収量はあまり減少せず最低でも 0.6 であった。各時期における 1 穂あたりの塩付着量 S_P (mg) と相対収量との関係は次式で近似することができた。

$$\frac{Y}{Y'} = \exp[-(E S_P)^2] \quad (3)$$

ここで、 Y (g) は実際の収量、 Y' (g) は塩付着量が 0 のときの収量、 E (mg^{-1}) は塩の影響の強さを表すパラメータで、出穂期で $E=0.254$ 、穂揃期で $E=0.244$ 、登熟中期で $E=0.106$ である。

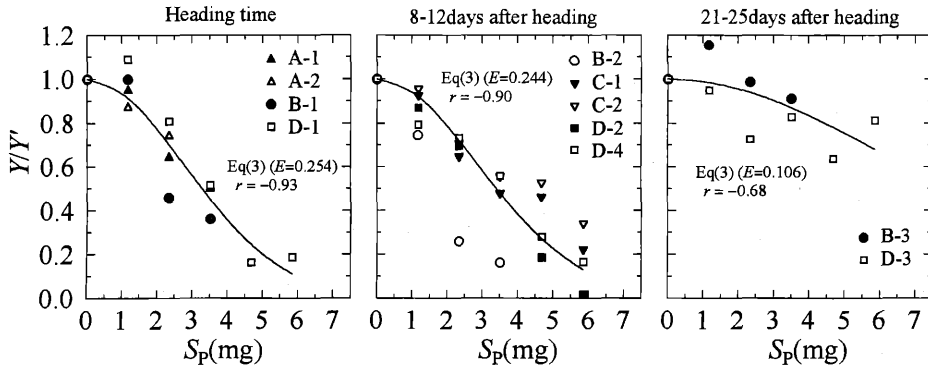


Fig. 5. Relationship between the amount of adhered salt on panicle (S_p) and relative yield (Y/Y') of paddy rice.

4. 考 察

潮風による水稻の減収のメカニズムについて Yamamoto and Ishikawa (1967) は、塩分による水稻の体内水分の強制的な奪取作用と強風による擦傷が塩分の体内侵入を助長し乾燥害が発生すると述べている。しかしながら、これらの被害が収量形成のどの過程に影響を与えているのかは不明であった。本研究の結果から、潮風によって葉の光合成速度が低下する、すなわち葉での生産が阻害されることが明らかになった。さらに、光合成速度と同時に蒸散速度も低下したことから、潮風が気孔開度に影響を与えていることが示唆され、今後詳しく調べる必要がある。また、水稻の収量形成には、葉での生産と同時に葉から穂への生産物の転流が大きく寄与するため (Matsushima, 1957)、今後はそれらが潮風によってどの程度阻害されるのか明らかにする必要がある。一方、収量構成要素別にみた場合、潮風により登熟歩合と千粒重の減少することが知られているが (Yamamoto *et al.*, 1997)、本研究ではさらに、出穂が抑制され穂数の減少する傾向がみられた (A-2)。強風により出穂が抑制されることは以前から知られており (Tsuboi, 1961)、これと同様の作用が潮風の場合にも現れたといえる。ただし、出穂期の茎数が比較的少なかった場合 (B-1) には出穂が抑制されておらず、これには出穂期以前の生育状況が大きく関与しているものと考えられる。

穂の塩付着量と相対収量との関係について、Tsuboi (1961) は、農林 37 号の出穂期に潮風処理実験を行い、穂の塩付着量が 1.0 mg までは収量が減少せず、1.0 mg から 6.5 mg にかけて相対収量が 0 まで直線的に減少するという結果を得ている。今回得られた出穂期の処理に

よる減収傾向はこの結果とほぼ一致していた。また、Ichimaru *et al.* (1992) は台風 9117 号の通過後 4 日目に有明海沿岸部の数地点において穂の塩付着量を測定し、同地点における水稻の収量との関係を比較している。その結果、出穂後 4~15 日に潮風を受けた水稻の場合、穂の塩付着量 0 mg から 2.5 mg への増加に対して相対収量が 1.0 から 0.2 まで直線的に減少する傾向を得ており、同一付着量での相対収量は今回の結果よりも小さい。しかし、ここでの塩付着量は台風通過後 (潮風発生後) 4 日目の測定値であるため (降雨はなし)、その間に減少していることが考えられる。4 日間の塩付着量の減少分を Fig. 2 から類推して 40% 程度と仮定すると、本研究の結果は Ichimaru *et al.* (1992) の結果とほぼ一致した。以上から本研究の結果はある程度再現性のあるものと考えられるが、実際の潮風発生時における塩付着量の観測例は少ないため、今後これらのデータを蓄積していく必要がある。

実際の潮風害では潮風発生後に降雨のあることが考えられる。横島干拓地での観測では、台風 9918 号の通過後 0~2 時間に合計 44.0 mm の降雨があり、そのため水稻の塩付着量は少なく潮風害が発生しなかった。しかし実験では、処理後 8~25 時間に合計 60.5 mm の連続した降雨があった場合に、露天下の水稻は塩付着量が減少したにもかかわらずハウス下と同程度に減収した (D-2, D-4)。これらの結果は、潮風発生後から降雨開始までの時間によって被害の程度が変化することを示唆している。Yamamoto *et al.* (1997) はヒノヒカリを用いた実験により、潮風処理後 24 時間までは散水により被害が軽減されるがそれ以降の散水では軽減されないことを明らかにしている。このことから、潮風発生後 24 時間以内に降雨がない場合には、本研究のような減収量の推

定方法が適用できるものと考えられる。

また、登熟中期の処理による減収傾向については同様の研究例がないため比較できないが、登熟中期の潮風による減収量が比較的小さいという結果は、潮風を受ける時期が遅いほど成熟までの被害を受ける期間が短くなることから妥当な結果と考えられる。

(3) 式を用いて減収量を推定するには強風のみによる減収量を別に把握する必要があるが、本研究では強風の影響によって減収量に大きな差がみられた。ヒノヒカリとユメヒカリではヒノヒカリの減収量が大きく (C-1, C-2)、同じヒノヒカリでも強風を受けたときの生育時期によって減収量に差がみられ (B-1~B-4)、さらに同じヒノヒカリの出穂期でも強風の継続時間が長いほど減収量の大きい傾向がみられた (A-1, A-2, B-1)。品種による違いについては、耐倒伏性が品種間で異なり、ユメヒカリの耐倒伏性がヒノヒカリよりも大きい (Ogata and Matsue, 1996) ためと考えられる。生育時期および強風の継続時間による違いについては、出穂期から穂揃期にかけて被害が大きく強風の継続時間が長いほど被害が大きいというこれまでの知見 (Choi, 1981; Tsuboi, 1961) とほぼ同様の傾向であったが、登熟後期の被害が大きかった点 (B-4) が異なっていた。これは、本実験において水稻が倒伏したことが影響していると考えられる。出穂期の場合、風速と風の継続時間から減収率を推定する方法が提案されている (Tsuboi, 1961) が、他の時期の風と減収との関係については不明な点が多く推定方法の確立には至っていない。今後これらの関係を品種による違いを含めて調べる必要がある。

5. ま と め

潮風による水稻の減収量推定法の確立を目的として、風洞と塩水を用い、塩濃度、処理時期、品種などを様々な組み合わせた水稻の潮風処理実験を行った。処理翌日には、潮風処理によって葉の光合成速度が低下することが確認された。成熟期には、潮風処理によって登熟歩合、千粒重、収量の減少することが確認された。品種別にみると、ユメヒカリよりもヒノヒカリの方が収量の低下が著しく、これは主に両品種の耐倒伏性の違いに起因すると考えられた。降雨の有無による違いをみると、処理後に降雨のあった場合、水稻の塩付着量は大きく減少したが収量の低下は降雨のない場合と同程度であった。

処理直後における穂の塩付着量は散布した塩水の塩濃度に比例していた。この比例関係を用いて1穂あたり塩付着量と水稻の相対収量との関係が明らかにされた。塩付着量 0 mg から 6 mg への増加に対し相対収量は、出

穂期と穂揃期の処理の場合は 1.0 から 0.2 へと、登熟中期の処理の場合は 1.0 から 0.7 へと減少した。この結果をもとに、実際の台風にとまう潮風による水稻の減収量を予測することが期待される。

謝 辞

横島干拓地での観測にあたって沖縄県農業試験場宮古支場の比屋根真一主任研究員の協力を頂いた。塩濃度の測定に関して当场土壌資源管理研究室の分析器を借用し、測定方法について同研究室の皆様から助言を頂いた。光合成速度と収量の測定に関して当场資源作物研究室の測定器を借用した。潮風処理の実験では當場業務科の高群憲一郎氏にお世話になった。ここに記して謝意を表す。

引用文献

- Choi, S. J., 1981: Effects of strong wind at heading stage on glume development and yield components of rice. *Korean J. Crop Sci.*, **26**, 219-225.
- Food Agency, 2000: *Food Statistics 1998*. Food Agency, Tokyo, pp. 7-16 (食糧庁, 2000: 食料統計年報 1998. 食糧庁, 東京, pp. 7-16).
- Ichimaru, Y., Makiyama, S., Mizuta, N., Tsuchihashi, T., Kugimoto, T. and Iwata, S., 1992: The investigation of briny wind damage to rice plants caused by the 17th typhoon in 1991. *Rep. Kyushu Br. Crop Sci. Jpn.*, **59**, 87-92.
- Matsushima, S., 1957: Analysis of developmental factors determining yield and yield prediction in lowland rice. *Bul. Nat. Agric. Sci.*, **A5**, 221-236.
- Ogata, T. and Matsue, Y., 1996: Studies on direct sowing culture of rice in northern Kyushu. *Jpn. J. Crop Sci.*, **65**, 87-92.
- Tsuboi, Y., 1961: Ecological studies on rice plants with regard to damages caused by wind. *Bul. Nat. Agric. Sci.*, **A8**, 1-156.
- Yamamoto, H., Hayakawa, S. and Suzuki, Y., 1996: Effects of salty wind on the yield and quality in rice using a wind tunnel. *Jpn. J. Crop Sci.*, **65**, 181-188.
- Yamamoto, H., Hayakawa, S., Suzuki, Y. and Ohya, M., 1997: Mitigation of salty water damage on rice through sprinkle water. *Jpn. J. Crop Sci.*, **66**, 499-500.
- Yamamoto, R. and Ishikawa, M., 1967: Fundamental study on mitigation of briny wind damage to several crops. *Rep. Tokai Br. Crop Sci. Jpn.*, **48**, 6-10 (山本良三・石川雅士, 1967: 作物の潮風害防止に関する基礎的研究. 日作東海支部研究梗概, **48**, 6-10).