

インド型水稲の塩害に関する栽培学的研究

II. 生育時期別の塩分処理が収量と収量構成要素に及ぼす影響

杉本勝男*・竹内芳親*・遠山征雄*

昭和61年5月31日受付

Studies on Salt Injury in *Indica* Rice

II. Effect of Sodium Chloride on the Yield and Yield Components at Different Growth Stages of the Plant

Katsuo SUGIMOTO*, Yoshichika TAKEUCHI* and Masao TOYAMA*

A pot test with sand culture of two cultivars was carried out by four-day treatment with a NaCl solution at the concentration of 1.2%.

1) A yield decrease of more than 30% was recorded in 15 days before and 13 days after heading in IR 36, and 33 days before and 4 days after heading in Kyudaitaichoasahi No. 3. The lag in the low yielding period in IR 36 as compared with Kyudaitaichoasahi No. 3 could be ascribed to the persistence of the high air temperature after heading.

2) In case of remarkable decrease in the yield, the decrease of the percentage of ripened grains was more conspicuous in IR 36, while the decrease of the number of total grains was more pronounced in kyudaitaichoasahi No. 3. IR 36 was found to be salt-tolerant as compared with Kyudaitaichoasahi No.3.

3) There were positive correlations between the yield, and panicle/straw ratio, number of total grains, total weight of top, number of ripened grains per panicle, percentage of ripened grains in both cultivars.

The panicle/straw ratio showed the highest correlation coefficient with the yield and was also closely correlated with the percentage of ripened grains. Thus it was evident that panicle/straw ratio is an important index to assess the effect of salt injury.

ま え が き

稲の塩害は土壤中あるいはかんがい水中に含まれる可溶性塩類,特にNaClの影響が最も強く,被害は世界各地でみられ,稲作中心地の南および東南アジアでは5,900万ha³⁾に達する。常発地は沿海低湿地に多く,乾燥地域にお

いては内陸型のものもあるが,用水が得られれば,稲作への志向は強い。稲への障害は塩分濃度,土壤条件,気象条件や生育時期によって異なり,品種によっても感受性が異なることが明らかにされてきた^{2,4,7,8,10,12)}。

塩水処理による稲の根圏に高濃度な塩水を与えると,浸透ポテンシャルの差異によって根の吸水機能が損なわ

* 鳥取大学農学部附属砂丘利用研究施設乾地生態部門

Sand Dune Research Institute, Faculty of Agriculture, Tottori University

れ、茎葉中の含水量や蒸散量が減り、吸収イオンの害作用と相まって、生育阻害が認められる。また被害を受けた稲は穂数の抑制よりも生殖生長が阻害され、穂の短小化と不稔を起し、着粒数の減少と登熟歩合が低下し、減収をもたらす^{2,4,5,8,10,12}。このような塩分の影響による生育障害は、収量構成の諸要素に一樣に響かず、生育時期の違いにより、個々の構成要素への影響が異なることが明らかにされてきた⁵。

本実験は日本型稲とわが国で生育可能と考えられている非感光性のインド型品種について、塩害程度と塩害感受の時期を明らかにするため、生育時期別に塩分処理を行い、収量と収量構成要素に及ぼす影響を検討し、若干の知見を得たので、結果の概要を報告する。

材料と方法

供試品種は、日本型稲の九大耐潮旭3号¹⁰とIRRI(国際稲研究所)で1976年に育成されて耐塩性と考えられている非感光性の多収品種IR36^{3,4})とを用いた。1984年5月15日に1/5,000 aポットには種し、各ポット2株1本立て、砂耕栽培した。は種後30日目の6月14日から木村氏液B¹¹)にほぼ準じた水稻用組成の培養液の添加を開始した。液の更新は週1回の割で、ポット下部のゴム栓を抜く排水と、ゴム栓を閉じ上部からの給水により行った。

培養液の濃度は生育初期には薄く(Nは13ppm)、中期には表1のように濃く(Nは32ppm)、後期はやや薄く(Nは22ppm)した。ポットの稲は雨水の影響を避けるため

に、大型ガラス室で育て、処理は培養液に1.2%NaClを加えて、4日間おいた。IR36はは種後56日、九大耐潮旭3号は同70日目から処理を行い、無処理(対照)を含め、12処理ずつの計24処理を設け、2連制とした。

結 果

1 気温条件

ポットをおいたガラス室内の平均気温の推移は5月の22.9°C、6月の27.8°C、7月の32.5°C、8月の31.4°C、9月の28.8°C、10月の25.2°Cのようであった。IR36と九大耐潮旭3号の出穂期前後の各区の処理4日間の平均気温と収量指数(無処理区対比)の推移を図1に示した。

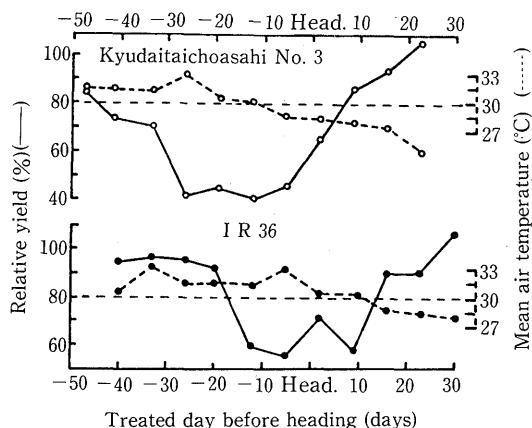


Fig. 1 Relative yield and mean air temperature during treatment.

Table 1. Nutrient concentration of sand culture solutions during treatments.

Elements	Reagent	Concentration	
		ppm	ppm*
N	(NH ₄) ₂ SO ₄		
	Ca (NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	22	32
	KNO ₃		
P ₂ O ₅	KH ₂ PO ₄	13	20
K ₂ O	KH ₂ PO ₄		
	K ₂ SO ₄	20	28
	KNO ₃		
CaO	Ca (NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	18	20
MgO	MgSO ₄ ·7H ₂ O	18	25

* Treatments of 40, 33, 26 and 20 days before heading in IR36, and 47 and 41 days before heading in Kyudaitaichoasahi No. 3.

出穂期の平均気温は、IR36では31.1°C、九大耐潮旭3号では28.5°Cで、処理時の平均気温が30°Cを超えていたのはIR36では出穂後9日処理区までであり、九大耐潮旭3号では出穂前12日処理区までであった。すなわち、IR36では出穂後の処理区も高温であったのに対して、九大耐潮旭3号では出穂前12日以降は30°Cを割り、出穂は気温下降がやや進んだ時期であった。このようにIR36では九大耐潮旭3号に比べて、処理当時の気温が高い処理区が多いことがうかがわれる。

2 収量と収量構成要素

IR36と九大耐潮旭3号の各区の出穂期と収量構成要素および収量(ポット当たり穂重)成績を表2、図2に示した。出穂前処理区の出穂期は対照区に比べて、IR36では出穂前40日から20日までは1~3日遅く、12日、5日

Table 2. Yield (weight of panicles) and yield components per pot of two cultivars.

		Treated day before heading	Cont.	-40	-33	-26	-20	-12	-5	2	9	16	23	30
I R 36	Date of heading	Ag. 21	22	23	24	22	19	17	20	21	21	21	21	23
	No. of panicles	14.5	11.5	14.0	13.5	14.5	14.5	14.5	10.5	10.0	12.0	14.5	14.0	
	Total wt. of top (g)	35.3	34.2	35.4	34.1	35.0	29.7	28.2	30.6	27.3	33.9	33.8	35.9	
	Wt. of straw (g)	15.7	15.6	16.3	15.3	16.9	18.0	17.3	16.7	16.0	16.2	16.2	15.1	
	Index (%)	100	100	104	98	108	115	110	107	102	103	103	96	
	Wt. of panicles (g)	19.6	18.6	19.1	18.8	18.1	11.8	10.9	13.9	11.3	17.7	17.7	20.8	
	Index (%)	100	95	97	96	92	60	56	71	58	90	90	106	
	Panicle/straw ratio	1.25	1.20	1.19	1.23	1.08	0.66	0.63	0.85	0.71	1.10	1.09	1.39	
	No. of total grains (×10)	122	123	124	124	121	100	103	106	115	120	131	130	
	No. of ripened grains per panicle	75	92	73	77	66	44	30	63	29	64	61	71	
	% of ripened grains	89	85	83	84	79	64	44	62	25	64	68	76	
			Treated day before heading	Cont.	-47	-41	-33	-26	-19	-12	-5	2	9	16
Kyudaitaichosahi No. 3	Date of heading	Sep. 10	10	15	20	18	13	10	11	11	12	10	10	
	No. of panicles	10.0	9.0	10.0	13.0	9.0	5.0	5.5	5.5	7.0	8.0	9.0	9.5	
	Total wt. of top (g)	46.0	40.0	36.7	37.7	28.2	38.5	34.5	37.0	41.4	43.8	43.0	46.5	
	Wt. of straw (g)	26.4	23.4	22.3	24.0	19.9	29.7	26.5	28.1	28.6	27.0	24.8	26.0	
	Index (%)	100	89	84	91	75	113	100	106	108	102	94	98	
	Wt. of panicles (g)	19.6	16.6	14.4	13.8	8.3	8.7	8.0	9.0	12.7	16.9	18.2	20.5	
	Index (%)	100	85	74	70	42	45	41	46	65	86	93	105	
	Panicle/straw ratio	0.74	0.72	0.65	0.58	0.42	0.29	0.31	0.32	0.45	0.63	0.73	0.79	
	No. of total grains (×10)	84	77	78	74	38	42	47	47	63	86	93	94	
	No. of ripened grains per panicle	81	77	67	53	38	52	60	64	73	92	83	93	
	% of ripened grains	96	90	86	93	88	63	70	75	81	86	80	94	

前では2~4日早かった。また九大耐潮旭3号では出穂前41日から19日までは3~10日遅く、12日、5日前では同日か1日遅れにとどまった。これらの出穂遅延のみられた区でも、出穂までにある程度の期間があれば、出穂遅延に比べて生育の抑制は軽減された。

有効穂数はIR36では処理間に差が少なかったが、出穂前40日、出穂後2、9、16日の各処理区ではやや減少がみられた。九大耐潮旭3号では出穂前33日処理区を除き、いずれも穂数が減り、特に出穂前19日から出穂後2日までの4処理区では著しく減少した。両品種について穂数には大差なかった区でも、補償作用として出た登熟粒数の少ない弱少穂が含まれた。

図2は処理の影響を対照区を100とした指数によって示した。わら重は対照区に比べてIR36では出穂前12日、5日処理区でやや増し、九大耐潮旭3号では出穂前41日、26日処理区で軽かった。地上部全重は対照区に比べてIR36では出穂前12日、5日、出穂後9日処理区で特に減少が著しく、84%以下となった。九大耐潮旭3号でも出穂前41日から5日までの6処理区で、同じく84%以下となった。穂重/わら重比はIR36は九大耐潮旭3号よりも明らかに高かった。IR36の出穂後30日処理区と九大耐潮旭3号の出穂後23日処理区を除き、いずれも低下し、特にIR36では出穂前12日から出穂後9日までの4処理区、九大耐潮旭3号では出穂前26日から出穂後2日までの5処理区

の低下が著しかった。

全粒数(ポット当たり)はIR36では出穂前12日, 5日, 出穂後2日処理区は対照区に比べて特に少なかったが, 他の期間では差がみられず, 九大耐潮旭3号では出穂後9日, 16日, 23日処理区を除き少なく, 特に出穂前26日から出穂後2日までの5処理区で少なかった。

一方, 一穂登熟粒数はIR36の出穂前40日, 26日処理区, 九大耐潮旭3号の出穂後9日, 16日, 23日処理区を除き, 対照区に比べていずれも少なく, 特にIR36の出穂前12日から出穂後9日までの4処理区では39~84%, 九大耐潮旭3号では出穂前33日から12日までの4処理区では46~74%と著しく少なかった。登熟歩合は両品種とも対照区に比べていずれも低下し, IR36では出穂前12日から

出穂後16日までの5処理区, 九大耐潮旭3号では出穂前19日, 12日, 5日の3処理区の低下が著しかった。

収量はIR36の出穂後30日処理区と九大耐潮旭3号の出穂後23日処理区を除き, 対照区に比べていずれも減収となった。30%以上の減収は, IR36では出穂前12日, 5日, 出穂後9日の3処理区で, 九大耐潮旭3号では出穂前26日, 19日, 12日, 5日, 出穂後2日の5処理区であった。

両品種について, 収量と収量構成要素との相関係数を表3に示した。両品種とも収量は穂重/わら重比と最も相関が高く, 次いで全粒数, 地上部全重, 一穂登熟粒数, 登熟歩合, 一穂重 ($r=0.82^{***}, 0.65^*$) の順であり, いずれも5%水準以上の有意性が認められた。しかし穂数や一穂粒数とは有意な相関が認められなかった。逆に収

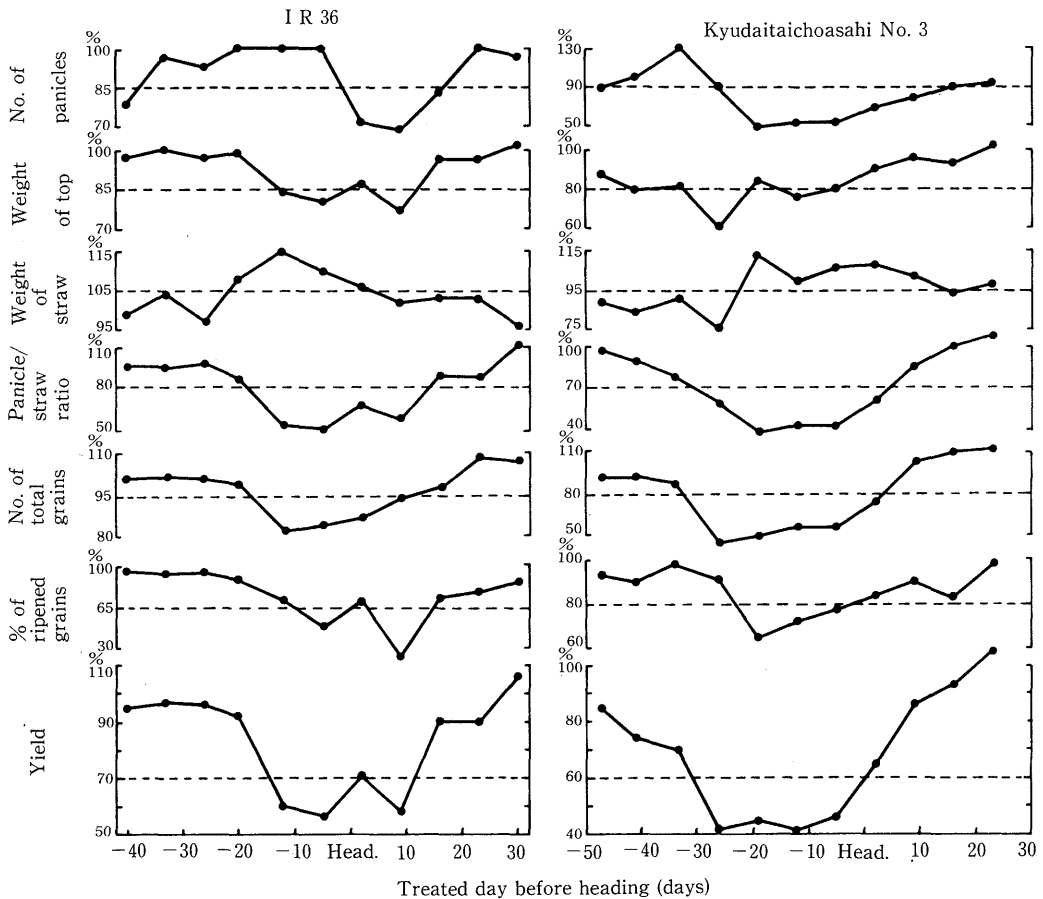


Fig. 2 Relative values of yield (wt. of panicles) and yield components among treatments in case of assuming those of the control plants as 100%.

量と重との間には負の関係がうかがわれ、IR36では有意な5%水準の負の相関が認められた。また穂重/わら重比は収量とともに登熟歩合ときわめて高い相関が認められ、注目された。

考 察

稲の塩害には生育時期別に減収の程度が著しく異なり、収量と収量構成要素との関係も一般栽培の場合と多少異なることが認められた。図2によれば、10%以上の減収を示す時期は、IR36では出穂前20日から出穂後16日の36日、九大耐潮旭3号では出穂前47日から出穂後13日の60日にわたった。また30%以上の減収となる塩害の特に著しい時期は両品種とも出穂を挟む1月前後であるが、IR36は九大耐潮旭3号よりこの期間が10~15日後にずれている。すなわちIR36では出穂前15日から出穂後13日で、最低収量は出穂前5日に対照区の56%を示し、九大耐潮旭3号では出穂前33日から出穂後4日で、最低収量は出穂前12日に41%を示した。

処理当時の気温と収量との関係は図1にみられるように、平均気温がIR36では出穂後9日処理区まで30°Cを超えていたのに対して、出穂の遅い九大耐潮旭3号では出穂前12日処理区以降は30°Cを割っている。前者は後者より処理当時の気温が高く、出穂後9日まで30°C以上の気温が続き、高温期間が長かった。高温条件は低温より塩害が増大することは太田ら⁷⁾によって指摘されている。このように高温の期間の長かったことが、IR36では減収の著しい時期が九大耐潮旭3号より10~15日ほど後にずれた要因と考えられる。

生育時期別の塩害について、PEARSON⁸⁾は塩害抵抗性は分げつ期や伸長期に増し、開花期ごろにかなり減じ、登熟期にやや増すとしている。わが国では岩城⁹⁾は主に京都旭を用いて詳細に究明し、分げつ期、伸長期は比較的軽く、穂の発育障害と出穂開花障害は鋭敏、重大で収量を激減させ、受精後の登熟障害は出穂後3週間たてば影響は少ないとした。減収は出穂前35日、25日、14~8日、出穂後2日、6日ごろの5時期が著しく、特に出穂前14~8日の減数分裂期と出穂直後を致命的障害時期としている。

本実験においても減収の著しい時期は両品種とも岩城⁹⁾の報告とほぼ一致しているが、九大耐潮旭3号では気温の影響もあってか、出穂直後の致命的な被害については明らかでなかった。致命的被害においては両品種とも着粒数と登熟歩合の低下がみられるが、IR36では後者、九大耐潮旭3号では前者の低下がより響いているようにみられる(図2)。IR36は出穂期を基準にした同一生育時期

で比べると、九大耐潮旭3号よりも2°C前後高く、被害の出やすい条件にあったにもかかわらず、各区の減収程度が出穂後9日、16日、23日の3処理区を除き、いずれも少なかった。このようにIR36はIRRI^{3,4)}の指摘や第1報¹⁰⁾の発芽実験の結果と同様に、九大耐潮旭3号に比べて耐塩性が認められた。

Table 3. Correlation coefficients between yield and yield components (n=12).

Items	IR36	Kyudaitaicho-asahi No. 3
No. of panicles vs. yield (l)	r=0.29	0.57
Wt. of straw vs. (l)	-0.71*	-0.07
Total wt. of top vs. (l)	0.98***	0.84***
Panicle/straw ratio vs. (l)	0.99***	0.96***
No. of total grains vs. (l)	0.86***	0.97***
No. of total grains per panicle vs. (l)	0.16	0.51
No. of ripened grains per panicle vs. (l)	0.88***	0.86***
% of ripened grains vs. (l)	0.84***	0.69*
Panicle/straw ratio vs. % of ripened grains	0.99***	0.96***

*Significant at 5% and *** at 0.1% level.

次に収量と収量構成要素との関係を考察する。収量は両品種とも穂数とか一穂粒数との間には有意な相関が認められないが、両者の積である全粒数との間には高い正の相関が認められた。これには穂数と一穂粒数の間にそれぞれ $r = -0.85^{***}$ 、 -0.33 の関係があり、穂数減の場合には主稈穂の割合が高くなり、一穂粒数の増加傾向がみられることも関与していると考えられる。また収量は一穂登熟粒数およびこれと関係のある登熟歩合との相関が認められた。

一般栽培においては、収量と最も相関の高いのは単位面積当たり全粒数であり、全粒数が多い場合は、収量は単位面積当たり穂数や一穂粒数、特に穂数との相関が高い例が多くみられるが^{6,9)}、質的な要素の登熟歩合や一穂登熟粒数との相関は必ずしも明らかでない場合がある。しかし本実験では収量は個々の穂数とか一穂粒数とは相関が明らかでないにもかかわらず、両者の積の全粒数とは高い相関が認められることと、一般栽培では二次的要素である一穂登熟粒数や登熟歩合の優劣も収量とかかわる重要な要素とみられた。これらの傾向は塩害の場合の収

量と収量構成要素との関係を示す特徴とみられた。

さらにわら重は栄養生長量を代表するものであり、一般栽培においては収量と正の相関が高いが、本実験ではこの関係はみられず、収量が低いにもかかわらず、わら重は対照区に比べて大差ない区が特にIR36で多くみられた。これは塩害により穂数や着粒数、特に登熟粒数が減り、穂の容量が小さくなり、生産乾物を十分に穂に収容できないため穂重が減り、余った光合成産物が茎葉に残存することにより、わら重が増大する結果を示すものである。しかしこの場合は収量はわら重と結びつかず、IR36にみられるように、負の相関関係が成立することになる。このように塩害の場合には収量が低いにもかかわらず、わら重が対照区並みに維持される場合があり、この場合には穂重/わら重比の低下がもたらされる結果となる。一方、出穂後の処理において穂の容量は十分にあるが、塩害のため稲の光合成が衰え、でんぷん生産の不足により、不稔や登熟不良を生じ、穂重が低下する場合がある。この場合はわら重に比べて穂重の低下が主に働き、穂重/わら重比の低下がもたらされる。

一般栽培ではもみ/わら比は出穂期の乾物重(わら重)に対する出穂後の乾物生産量(出穂後乾物生産量/出穂期乾物重)およびえい花数(えい花数/出穂期乾物重)の比とみることができ¹¹⁾、一次的には出穂期の乾物重に対するえい花数の比により、二次的にはえい花数とそれに供給されるでんぷん量との相互関係により決定されるとみられる。その高低は収量と直接的に結びつかず、収量ともみ/わら比(穂重/わら重比に類似)の間には特に密接な関係はみられない場合があるが¹²⁾、本実験では収量は穂重/わら重比ときめて高い正の相関が認められた。またこの比率はえい花数と出穂後の乾物生産量との比で決定される登熟歩合ときわめて高い相関が認められることから、穂重/わら重比はえい花数という量的なものより、出穂後の乾物生産に影響される登熟粒の多少という質的な要素と関連しており、この比率の高低は塩害の指標として重要なことが示唆された。

松島⁹⁾はもみ/わら比の低下は減数分裂期遮光により、もみ殻が著しく縮小し、転流し切れない炭水化物がわらに残留する場合に著しいとし、和田¹³⁾は一般にはもみ/わら比は転流不良によるものでなく、一時的な冷害や日照不足によるえい花数不足のため、わら重が高まる場合にのみ収量との関係が認められるとしている。これらは前述のでんぷん生産の不足については穂重減による穂重/わら重比の低下よりも、えい花数減ひいては穂の容量の低下に伴うわら重増による穂重/わら重比の低下の場合に

似通っている。

摘 要

IR36と九大耐潮旭3号をポットで砂耕栽培した。両品種は種後56日、70日目から1.2%NaClの4日間処理を行った。実験は降雨を避けるためガラス室において、2連制で行った。

1) 出穂期の平均気温はIR36が31.1°Cで、九大耐潮旭3号が28.5°Cで、前者の出穂期が21日早かった。塩害による減収の程度は生育時期により著しく異なり、30%以上の減収は、出穂を挟む1月前後である。減収はIR36では出穂前15日から出穂後13日で、特に出穂前5日に対照区の56%と最低収量を示した。また九大耐潮旭3号では出穂前33日から出穂後4日で、特に出穂前12日に41%と最低収量を示した。

2) 出穂を挟む1月前後の場合に、両品種とも着粒数と登熟歩合の低下がみられ、IR36では後者の低下が、九大耐潮旭3号では前者の低下が大きかった。IR36は減収30%以上の期間が10~15日後にずれているが、この理由としてIR36のこの間の平均気温が30°C以上と高かったことが考えられた。またIR36は九大耐潮旭3号より減収程度は少なく、耐塩性が認められた。

3) 収量は、両品種とも穂重/わら重比と最も相関が高く、以下全粒数>地上部全重>一穂登熟粒数>登熟歩合>一穂重の順であった。特に穂重/わら重比は収量や登熟歩合と緊密な関係がみられ、塩害を考える場合の一指標として重要であることが示唆された。他方、収量は穂数や一穂全粒数との相関は明らかでなかった。IR36の収量は、わら重と負の相関があり、塩害の場合の特異性と認められた。

謝辞：本研究は文部省科学研究費によって行った。

文 献

- 1) 馬場 起：水耕法，作物試験法，戸苅義次ほか編，農業技術協会，東京（1957）pp. 161—168
- 2) IKEHASHI, H. and F. N. PONNAMPERUMA: Varietal tolerance of rice for adverse soils. In *Soils and Rice*. IRRI, Laguna (1978) pp. 801—825
- 3) IRRI: *Annual Report 1979*. IRRI, Laguna (1980) pp. 116—117
- 4) IRRI: *Research Highlights for 1981*. IRRI, Laguna (1982) pp. 48—49
- 5) 岩城鹿十郎：水稻の塩害に関する研究，愛媛大紀要農，2(1) 1—156 (1956)

- 6) 松島省三：稲作の理論と技術。養賢堂，東京（1960）
pp. 1—302
- 7) 太田勝一・安江多輔：農作物の塩害に関する研究。
第14報 気象条件特に温度が水稻の塩害発現に及ぼす影響。日作紀，28 33—34（1959）
- 8) PEARSON, G. A. : The salt tolerance of rice. *Int. Rice Comm. Newsl.*, 10 1—4（1961）
- 9) 杉本勝男：インド型短稈改良稲の温帯における収量性。鳥取大砂丘研報，22 67—73（1983）
- 10) 杉本勝男・竹内芳親・遠山征雄：インド型水稻の塩害に関する栽培学的研究。第1報 異なる塩分濃度における発芽率と蒸散量。鳥取大農研報，37 205—211（1985）
- 11) 和田源七：モミワラ比を中心とした光合成産物の配分。農業技術，26 517—521（1971）
- 12) YOSHIDA, S. : *Fundamentals of Rice Crop Science*. IRRI, Laguna (1981) pp. 175—176