

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

杉本勝男*・竹内芳親*・遠山枉雄*

昭和59年7月31日受付

Studies on Salt Injury in *Indica* Rice

I. Germination Percentage and Transpiration as Affected by Sodium Chloride at Various Concentrations

Katsuo SUGIMOTO*, Yoshichika TAKEUCHI* and Masao TOYAMA*

The varietal differences in salt resistance for the germination of 6 varieties were tested at NaCl concentrations in the range of 0, 0.5, 1, 1.5 and 2%. Transpiration of plants in the growth chamber was measured during and after the treatments at the concentrations mentioned above for a period of 8 days.

1) The germination percentage exceeded 71% for a concentration of salt of 0.5 - 1%. At a salt concentration of 2%, germination percentage varied considerably from 37% in IR 36 to 3% in Giza 159 and it took 6.9 - 11 days for the paddy to germinate at a 2% concentration of salt.

The percentage of germination was higher in IR 36 and IR 52 and germination occurred more rapidly than in Sadri Musataram and Giza 159, particularly in plots with higher salt concentration.

2) The decrease of transpiration was remarkable and fast when the salt concentration increased. After the treatments, the recovery of transpiration was more appreciable in the plots with a lower salt concentration as compared with that in plots with higher concentration of salt. Impairment of transpiration and growth of plants was considerable in 10th leaf plants (later stages of vegetative growth) as compared with 12th leaf plants. The lethal concentration for the 4-day treatment was found to be 1.5 - 2% in the former.

ま え が き

稲の塩害は一般に海水の侵入する強酸性土壌の多い沿

海地域と、蒸発量が降水量よりも多く、根圏に塩類が集積するアルカリ土壌の分布する内陸乾燥地域に発生する。両地域に共通する現象としては土壌中の可溶性塩類

* 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

の過剰の問題があり、塩類のうちでは NaCl の影響が最も大きい。常発地は世界各地にみられるが、水が得られれば稲作への志向性が根強い。稲の塩害に関する研究はわが国および国際稲研究所 (IRRI) を含む諸外国において進められてきたが、供試品種の多くは日本型とかインド型稲に限られている。IRRI 育成種などは非感光性であり、出穂遅延のため、従来インド型が作られなかった温帯でも生育が可能になってきた。本研究はわが国で生育可能なインド型稲を主体とし、日本型を含み、栽培学的な見地から塩害について究明するものである。

塩分による水稻種子(種もみ)の発芽障害については多くの報告^{3,4,6,7,8)}がみられ、その発芽限界濃度および吸塩量については、ほぼ同様な傾向を示し、塩分による発芽障害は吸水の遅延と吸塩量の増加がその主な原因とされる。しかし稲の耐塩性の品種間差異を発芽について比較した報告はきわめて少ないので、本報ではインド型稲を主体として、各塩分濃度における発芽率と発芽速度から、各品種の耐塩性について検討した。

また塩水処理により稲の根圏に高濃度な塩水を与えると、浸透圧の差異によって吸水機能が損なわれ、吸収イオンの害作用と相まって、生理障害として蒸散量の低下と稲の生育阻害が認められる。気象条件を制御できるグロースチェンバー内において、生育中期の10葉期と12葉期の稲について、各塩分濃度による蒸散量の変化を生育量との関連において検討し、塩水濃度の影響が生育時期によってかなり異なることが認められた。発芽検定と蒸散測定との2実験において、得られた結果の概要について、以下に報告する。

材料および方法

1 発芽検定

供試品種は各地から取り寄せ、日本で採種した IRRI 産の IR36¹⁾、IR52²⁾、イラン産の Sadri Musataram (以下 S. Musataram あるいは S. Musa. と略記)、フィリピン産の C4-63、エジプト産の Giza159⁹⁾ および日本稲の九大耐潮旭3号の6品種の種もみを用いた。実験はろ紙を敷いた直径9cmのシャーレに、それぞれ30粒あて乾もみをまき、NaClによる塩水濃度を0, 0.5, 1, 1.5, 2%の5処理とし、1983年9月21日から10月3日に至る12日間、30℃の定温器内に保ち、胚の一部がえいを破って現れたものを発芽粒とし、毎日発芽を調査した。なお、平均発芽速度は次式によって算出した。

$$\text{平均発芽速度} = \frac{aa' + bb' + cc' \dots}{a + b + c \dots}$$

ただし、a, b, c …… 毎日の発芽数、a', b', c' …… a, b, c …… に対応する所要発芽日数。

6品種のうち、日本型は Giza 159 と九大耐潮旭3号の2品種である。他の4品種はインド型稲であるが、いずれも感光性がほとんどなく、わせ品種であるため、西日本では最晩出穂限界期までに出穂し、日本稲との生育比較が可能である。

2 蒸散量

実験には1/5,000 aポットに2株各1本植えた、砂耕栽培の12葉期と10葉期の IR36 を用いた。12葉期の稲はほぼ始原体増殖期(葉齢指数80)、10葉期の稲は止葉始原体分化期前(同68)にほぼ該当する。それぞれ発芽処理をして、約3葉になった幼苗を、1983年7月25日と8月5日に1/5,000 aポットに移植し、砂耕栽培により育てたものである。

これらポットの稲を9月5日から8日間、昼間(7:00-19:30)は室温30℃・湿度60%・照度30klx、夜間(19:30-7:00)は23℃・80%・無照明のグロースチェンバーに保ち、前半の4日間は砂耕培養液(Table 1)にNaClを加え、塩分濃度を所定の0, 0.5, 1, 1.5, 2%の5処理とし、後半の4日間はNaCl無添加培養液として、2連制により、実験を行った。蒸散量の算出は次のようにして行った。毎日重量法によりポットを量り、まず蒸散量を測定し、無栽植ポットによる蒸発量を差し引き、各区の日蒸散量を求めた。

Table 1 Nutrient concentrations of sand culture solutions

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

結果および考察

1 発芽検定

各塩分濃度における6品種の発芽率と平均発芽日数を Table 2, 発芽率を Fig. 1 に示した。塩分(NaCl)濃度

が高くなるにつれて、発芽率は低下し、発芽も遅れ、平均発芽日数が延長するが、いずれも品種間差異がみられる。

発芽率は各品種とも NaCl 1% までの濃度では、71~100% と高く、なかでは Giza 159 は最も高く、IR36 と IR52 も高いが、S. Musataram は発芽率が全般に低かった。1.5% 区では IR52, IR36, C4-63, 九大耐潮旭3号の4品種は60%以上を示すが、S. Musataram と Giza 159 は発芽率が20%と著しく低下した。さらに高濃度の2%区になると、IR36が37%を示すにとどまった。他の5品種は20%前後から最低は Giza 159 の3%と著しく低

下した。

各品種を通じて IR52 と IR36 は低塩分濃度でも高塩分濃度でも、他の品種に比べて高い発芽率を示し、Giza 159 は6品種中1%区までの低濃度では発芽率は最も高いが、高濃度、特に2%区では最低を示すという特異的な傾向が認められた。また S. Musataram は2%区を除き、いずれの塩分濃度でも発芽率は最低を示し、C4-63 と九大耐潮旭3号はいずれの塩分濃度でも、6品種のうちでは中間的な発芽率を示した。

一方、各品種の平均発芽日数は1%以下の低塩分濃度区では全般的に短く、1.3~5日を示した。なかでは IR36

Table 2 Germination percentage of paddy in different salt concentrations

Variety	NaCl %	Days after seeding												Total %	Av. no. of days for germi.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
IR 36	0	85	12						3					100	1.33	
	0.5	66	20	9										94	1.39	
	1	3	39	28	17	3		3				3		94	3.13	
	1.5		14	9	6	17	11	3	11	3	3	3	3	83	5.60	
	2						11	11		6	6			3	37	6.93
S. Musataram	0	9	41	21	9	6	6		3					94	2.94	
	0.5	3	9	12	15	27		6	6	3	3	3		85	4.96	
	1		23	6	14	17	9	3						71	3.89	
	1.5			3		6		3		6	3		3	23	7.54	
	2					3			9	3			3	17	8.43	
C 4-63	0	59	27	9					3					97	1.63	
	0.5	9	71	9	3									91	2.07	
	1		49	31	6	3								89	2.58	
	1.5			26	11	9	14	6	11				3	3	83	5.42
	2					6		6	3	3	3		3	23	7.93	
IR 52	0	74	24						3					100	1.44	
	0.5	51	46											97	1.47	
	1		71	9	11				3					94	2.52	
	1.5	3	11	11	14	3	23	9	6	3		6	3	91	5.45	
	2						6	9	6	3			3	26	7.82	
Kyudaitaicho- asahi No. 3	0	19	69	3		3			3	3				94	2.49	
	0.5	6	46	26		3		6						86	2.67	
	1		26	31	6	14	3	3						83	3.35	
	1.5			11	26	14	9							60	4.34	
	2						6	3	3	3	6			20	8.04	
Giza 159	0	67	31		3									100	1.39	
	0.5	9	91											100	1.91	
	1		43	29	23	3								97	2.86	
	1.5					6	3		6	3	3	3	3	26	8.30	
	2											3		3	11.00	

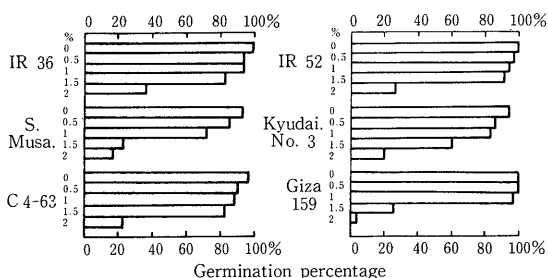


Fig. 1 Germination percentage in different salt concentrations.

とIR52が最も発芽日数が短く、九大耐潮旭3号とS. Musataramが最も長い。1.5%区では発芽日数がやや延びて4.3~8.3日を示し、九大耐潮旭3号が最も短く、S. MusataramとGiza 159が長くなった。さらに高濃度な2%区では全般的に発芽遅延がみられ、発芽日数が6.9~11日と著しく延長した。なかではIR36とIR52がやや短い、S. MusataramとGiza 159では発芽遅延がかなりみられた。

各品種を通じて、IR36とIR52はいずれの塩分濃度でも平均発芽日数が最も短く、Giza 159は1%までの低濃度では発芽は早いほうであるが、1.5%以上の高濃度では発芽が遅れ、6品種中最大の発芽日数を要し、特異的な傾向を示した。またS. Musataramは全般に発芽が遅れ、特に1%までの低濃度では発芽日数が最も長くなり、C4-63と九大耐潮旭3号はいずれの塩分濃度でも、6品種のうち中間的な発芽日数を示した。

以上の結果から、異なる塩分濃度の発芽床における種もみの発芽はその濃度が高まるにつれて、標準区に比べて発芽率は低下し、発芽日数は延長する。発芽率はNaCl 1%までの低濃度では影響は少ないが、1.5%以上の高濃度で急激な低下がみられ、2%が発芽限界濃度に近いとみられる。平均発芽日数も1.5%を境に日数が激増し、6品種平均3.1日から6.1日に倍増する。

これら発芽率と発芽日数は品種間に差異が認められた。すなわち、IR36とIR52はいずれの塩分濃度のS. Musataramおよび高濃度なGiza 159に比べて発芽率が高く、発芽日数が短いことから、前2品種は高濃度な塩水においても発芽阻害の程度が少なく、耐塩性が認められた。このように発芽について、IRRIでいわれる耐塩性がIR52²⁾では認められるが、エジプトでいわれる耐塩性がGiza 159⁹⁾では認められず、わが国で耐塩性とされる九大耐潮旭3号は、本実験ではその特性が明らかでなかった。

Pearson⁷⁾によれば、稲Caloroは電気伝導率20m mho/cm (NaCl換算1.1%)でも発芽するが、1~2葉期には塩分感受性となり4 m mho/cm以上で枯死する。太田ら⁶⁾は品種の耐塩性については生育の各段階に分けて考察を要するが、NaCl 1%以下の各区の4日間の幼芽・幼根の伸びにより、58品種について幼植物の耐塩性を分類した。Takahashiら⁸⁾は4日後にNaCl 2.5%では未発芽で、1.5%では遅延するが、発芽率はインド型在来種は50~80%、浮稲は70~90%に対して、改良種と日本型は20~50%と劣ると報じた。また野田ら⁹⁾によれば、香川35号の発芽率もみではNaCl 1.5%で82% (発芽日数約5日)、2%で約3%、2%以上で不発芽、玄米では3%で72%、4%で6%を示した。岩城³⁾は京都旭について詳細なテストを行い、NaCl 1.5%以上、特に1.7%を境に発芽率が激減し、2.5%では不発芽、平均発芽速度は1.5%以上で遅延するとしており、発芽の異常は吸水阻害と吸収塩分の害作用によるとした。

以上を通覧すると、本実験の6品種は岩城の発芽率より低塩分濃度ではやや低く、発芽率の低下の著しいのは多くは1.5%で、岩城の1.7%と大差がなく、発芽遅延の増大はいずれも1.5%以上と差がなく、2%においては本実験と岩城の発芽率は野田らの値より高く、不発芽濃度は野田らは2%以上、岩城の実験は2.5%を示した。

このように、6品種をこみにした本実験の各区の発芽率は既往の報告と大差がないとみられた。しかし1.5%を境にして高濃度になると、発芽を検討するには供試品種に考慮する必要がある。すなわち本実験のようにタイプの異なる数品種の発芽を調べ、品種間差異を指摘した報告はほとんどみられないが、特に高濃度段階において、品種の発芽率や発芽日数がかなり異なることは、留意しなければならない点である。

2 蒸散量

各処理のポットの稲はグロースチェンバーの所定気象条件に8日間保ち、前半の4日間は培養液に所定濃度の塩水を添加し、後半の4日間は無添加とし、毎日蒸散量を量り、計算により蒸散量を算出した。Table 3, Fig. 2はその日のNaCl 0%区の蒸散量を100とした各区の蒸散量比数の推移を示すとともに、Table 3には0%区についてのみ蒸散量の実数をも示した。

Table 3の0%区の蒸散量は無処理の24時間量であるが、同一条件下の8日間のうち、グロースチェンバーに移した前半の数日間は少なく、最後の3日間はかなりの増大がみられた。また生育量の大きい12葉期の稲が10葉期のものより全般的にやや多いが、日によっては逆転

Table 3 Changes in index of transpiration in relation to different salt concentrations and growth stages of plants (IR 36)

Stage of growth	NaCl %	Days after commencement of treatment								Avg. (Total)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
10th leaf	0	100 (54 g)	100 (89)	100 (118)	100 (91)	100 (65)	100 (120)	100 (138)	100 (127)	100 (801 g)
	0.5	100	51	45	46	50	55	55	66	57
	1	37	38	33	19	46	48	51	52	41
	1.5	30	28	4	6	26	32	25	32	23
	2	23	3	3	2	2	2	10	9	6
12th leaf	0	100 (89 g)	100 (96)	100 (89)	100 (85)	100 (118)	100 (184)	100 (119)	100 (133)	100 (911 g)
	0.5	93	87	89	78	69	89	97	94	87
	1	58	40	56	55	36	61	61	76	56
	1.5	55	25	38	29	32	39	39	39	37
	2	22	8	8	11	13	10	18	22	14

Notes) Though measurement continued for 8 days in the growth chamber, plants were treated for the initial 4 days. Figures in parentheses indicate the actual transpiration per pot.

する場合もあり、蒸散量の実数にやや振れがみられた。各区の蒸散はこれらの変動の影響を少なくするためにも、蒸散量の実数でなく、無処理区に対比して検討するのが適当と考えられるので、以下各区の蒸散量比について、その推移を比較して述べる。

各区の蒸散量比は処理後1日目で無処理区に比べて、10葉期、12葉期ともほぼ塩分濃度に応じて減少を示す。蒸散量比は2日目以降も漸減し、特に1、1.5、2%区では著しく、蒸散抑制の著しい高濃度な1.5、2%区では処理開始2~3日目で蒸散は最低となり、それぞれ10葉期で4、3%、12葉期で25、8%にまで低下した。3~4日目には蒸散量比は0.5、1、1.5、2%区はそれぞれ10葉期で45、19、4、2%、12葉期で78、55、29、8%となり、10葉期の低濃度な0.5、1%区では最低を示したが、12葉期の低濃度な区では、処理終了直後の5日目に最低値がみられた。

一方、処理終了後の蒸散の回復は、低濃度な処理区ほど急速であり、終了2日後の6日目には蒸散量比は0.5、1、1.5、2%区はそれぞれ、10葉期で55、48、32、2%、12葉期で89、61、39、10%を示し、終了4日後の8日目には、それぞれ66、52、32、9%と94、76、39、22%に達した。一般に処理により、高濃度な区ほど蒸散抑制が著しく、最低値が早く現れ、処理終了後の蒸散の回復の程度は、低濃度な区ほど大きく、早いことが認められた。また生育量の大きい12葉期の稲の各区は10葉期に比べて、処理による蒸散抑制が少なく、処理終了後の蒸散の

回復も大きかった。

次に Table 4 には各区の処理培養液の電気伝導率と処理終了4日後の稲の生育量を示した。処理によりほぼ処理濃度に応じて、草丈、主稈葉数、地上部乾物重の低下が認められた。その程度は生育量の大きい12葉期の稲は10葉期のものより少なく、特に12葉期の稲において、地上部全重の低下が少ないことが明らかである。このように、12葉期の各区の稲は10葉期に比べて、処理による生育抑制や阻害が少ないことは、前述の蒸散において、抑制や終了後の蒸散の回復が早いことと対応がみられた。

岩城²⁾は塩水処理の影響は、処理濃度、処理期間の長短によって、吸水抑制やその回復に差異がみられ、稲の根圏に高濃度(1.5~2%)な塩水が与えられると、吸水量の低下が特に著しく、吸水機能に対する生理障害とみられ、吸水の減少は主に処理液の浸透圧が関与するとし、蒸散は吸水とまったく同一の傾向を示し、吸水量の減少による水分の欠乏が蒸散を抑制するとしている。また小合³⁾は濃度に対応する吸水量の減少は一様でなく、高濃度で減少が著しく、塩水被害が現れるが、吸水に伴うイオンの蓄積が被害を加速すると報じた。

本実験でも高濃度な区ほど、稲の蒸散量比の低下が著しく、処理終了後の蒸散の回復も緩慢であった。特に10葉期の1.5~2%区では蒸散量比が0に近くなり、地上部乾物重や草丈などの生育量が著しく低下し、枯死に近い状態を示した。このように蒸散と生育量の推移から、

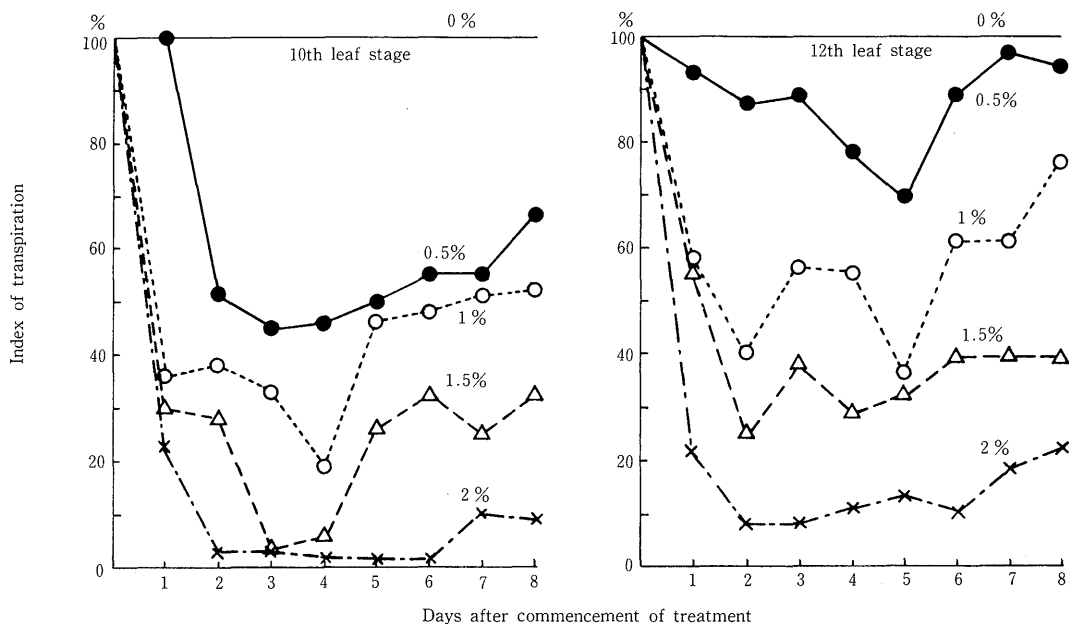


Fig. 2 Changes in index of transpiration in relation to different salt concentrations and growth stages.

Table 4 Electric conductivity of treated solution and plant growth at different stages of growth (IR 36)

NaCl	EC	10th leaf plant				12th leaf plant			
		Plant ht.	No. of leaves	Dry wt. of top	Index	Plant ht.	No. of leaves	Dry wt. of top	Index
%	m mho/cm	cm		g	%	cm		g	%
0	0.8	48.8	10.6	1.84	100	60.0	12.2	3.63	100
0.5	10.3	46.3	10.0	1.32	72	56.0	12.2	3.97	109
1	19.0	45.3	10.4	1.31	71	54.8	11.9	2.80	77
1.5	26.4	44.5	9.6	1.05	57	54.5	12.2	2.72	75
2	35.0	41.8	9.5	0.78	42	52.5	11.6	2.40	66

Note) Plant growth was measured at the 8th day after the commencement of treatment.

NaCl による処理反応の程度が、生育時期によりかなり異なることが認められ、4日間処理による致死限界濃度は、栄養生長期後期には1.5~2%とみられた。

摘 要

わが国で生育可能な非感光性のインド型稲を主体に、日本型を含み、6品種について、種もみの発芽率と発芽速度から、稲の耐塩性の品種間差異を検討した。また10葉と12葉期のIR36を用い、8日間グロースチェンバーに保ち、前半の4日間のみNaClの0, 0.5, 1, 1.5, 2%の処理を行い、蒸散量の変化を8日間測定し、蒸散抑制

と生育抑制や阻害を検討した。

1) 発芽率はNaCl 1%区までは71%以上と高く、1.5%区では4品種は60%以上を示すが、S. MusataramとGiza 159は20%代と低下し、高濃度な2%区では、IR36の37%からGiza 159の3%と著しい差がみられた。

2) 平均発芽日数は1%区以下で1.3~5日と短い。1.5%区で4.9~8.3日を示し、1.5%区を境に6品種平均で3.1日から6.1日に倍増した。2%区では6.9~11日と著しく増大し、Giza 159では特に遅延がみられた。

IR36とIR52はいずれの塩分濃度のS. Musataramおよび高濃度なGiza 159に比べて、発芽率が高く、発芽日

数が短く、耐塩性が認められた。

3) 蒸散は高濃度な処理区ほど蒸散抑制が著しく、蒸散量比の最低値が処理開始2~3日目に早くも現れ、10葉期で3~4%、12葉期で8~25%を示した。低濃度な区では最低値が3~4日目、場合によっては5日目にみられたが、いずれも蒸散量比の値は前者より高かった。

4) 塩水処理後の蒸散の回復は、低濃度な区ほど大きく、早いことが認められた。また10葉期の稲は12葉期に比べて、蒸散抑制が大きく、処理終了後の蒸散の回復も少なく、地上部の生育阻害も著しく、生育時期による差が認められた。10葉期(栄養生長期後期)には、4日間処理による致死限界濃度は1.5~2%とみられた。

謝辞：種子はIRRI, 農業技術研究所, 農事試験場などから分譲を受けた。本研究は文部省科学研究費によった。ともに記して謝意を表します。

文 献

- 1) IRRI: *Annual Report 1979*. IRRI, Laguna (1980) pp. 116-117
- 2) IRRI: *Research Highlights for 1980*. IRRI, Laguna (1981) pp. 26-27
- 3) 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)
- 4) 野田愛三・林甚太郎：禾本類の根鞘に関する研究. VIII 高塩分濃度における稲種子発芽時の根鞘に就て. 日作紀, 29 225-228 (1961)
- 5) 小合竜夫：作物の耐潮生態型に関する研究. 京都大学学位論文, 1-105 (1964)
- 6) 太田勝一・安江多輔・中川楨雄：農作物の塩害に関する研究. 第13報 発芽時の幼植物体における水稻及び陸稻の耐塩性の品種間差異. 岐阜大農研報, 9 7-9 (1958)
- 7) Pearson, G. A.: Factors influencing salinity of submerged soils and growth of Caloro rice. *Soil Sci.*, 87 198-206 (1959)
- 8) Takahashi, H. et al.: Germination of indica rice seeds in relation to water depth and salinity. *JARQ*, 9 73-75 (1975)
- 9) 鳥山国士：エジプト農業の現状. 農業技術, 30 353-358 (1975)