

コムギの発芽時と幼植物における耐塩性の遺伝資源の検索

間野吉郎*・武田和義

(岡山大学)

要旨：世界各地のコムギ約 1,300 品種について発芽時と幼植物における耐塩性の品種変異とその地理的分布を調査した。コムギの耐塩性には明瞭な品種変異が存在し、いくつかの高度耐塩性品種が見出された。地域別に比較すると、朝鮮半島の品種は発芽時と幼植物のいずれのステージにおいても耐塩性の強い品種の割合が高かった。D ゲノムを持たない *T. durum* (AABB) をはじめとするコムギ属 7 種の発芽時と幼植物における耐塩性は普通系コムギの *T. aestivum* (AABBDD) よりも弱く、耐塩性に関連する遺伝子の一部が D ゲノムに含まれている可能性が示唆された。コムギの発芽時の耐塩性と幼植物の耐塩性はオオムギと同様に無相関であり、両者は異なるメカニズムによるものと見られた。

キーワード：遺伝資源、ゲノム、コムギ、耐塩性、地理的分布、発芽時、幼植物。

現在、恒久的な塩類土壌がオーストラリア、北・中央アジア、および南アメリカを中心とする世界各地に分布しており、その全面積は地球上の耕作が可能な面積の約 10% に相当する 9.5×10^8 ha にのぼると推定されている (Kovda and Szabolcs 1979)。同時に、乾燥、半乾燥地域を中心に灌漑による土壌の塩類集積が進んでおり、そのような地域では作物に対する塩害が深刻な問題となっている (Batie and Healy 1983, Boyer 1982, Epstein ら 1980)。このような塩類集積土壌において作物の生産性を向上するために、土壌・水管理法、合理的な除塩法、塩類集積をもたらしさないような灌漑法などの確立が望まれるが、費用がかかるなどの問題点があり、必ずしも実用的ではない場合がある。そこで、このような対策を講じると共に、塩類土壌でも栽培できるような耐塩性作物の育種が重要な課題となってくる。

イネ科作物の耐塩性に関する研究は古くからなされており、耐塩性には明瞭な品種間差異が存在することが明らかとなっている。さらに、発芽時における耐塩性は他の生育ステージよりも強く、また、品種間の耐性の順位は生育ステージによって変化する場合があると報告されている (イネ: Pearson and Bernstein 1959, Pearson ら 1966, Heenan ら 1988, トウモロコシ: Kaddah and Ghowail 1964, Maas ら 1983, コムギ: Maas and Poss 1989, オオムギ: Ayers ら 1952, Ayers 1953, Greenway 1965, Iyengar ら 1977, 間野・武田 1995)。従って、耐塩性育種を効率よく行うためには、それぞれの生育ステージにおける耐塩性の遺伝変異とメカニズムを的確に解析し、それらを組み合わせることによって全生育期間を通じて耐塩性を備えた耐塩性品種を育成することが重要となる。

コムギについては、これまで Kingsbury and Epstein (1984) と Sayed (1985) がいずれもコムギ約 5,000 品種の発芽時から幼植物にかけての耐塩性を評価して、遺伝資源の検索と地理的分布を報告している。しかしながら、日本をはじめとする東アジアの地域から取り寄せたコムギに

関する耐塩性の情報は少ない。そこで本研究では、東アジアをはじめとする世界各地から取り寄せたコムギ品種を用いて、耐塩性の遺伝資源の検索および地理的分布を解析した。さらに、コムギ属の種別に耐塩性を比較してゲノムによる耐塩性の差異についても検討した。

材料と方法

実験には、岡山大学資源生物科学研究所大麦・野生植物資源研究センターが保有する世界各地のコムギの中から発芽時においては 1,294 品種・系統 (以下品種と称する)、幼植物においては 1,313 品種をそれぞれ供試した。種子は当研究センターの種子貯蔵庫 (15°C, 湿度 30%) に保存されているものを使用し、いずれも健全な発芽を示す。これらの中には、6 倍性普通系コムギの *Triticum aestivum* (AABBDD) をはじめ、2 倍性の *T. monococcum* (AA) や 4 倍性の *T. durum* (AABB) を含む計 10 種が含まれている。

1. 発芽時の耐塩性

(1) 品種変異と地理的分布

濾紙を一枚敷いた直径 90 mm、深さ 15 mm のプラスチックシャーレに、1 シャーレ 1 品種、各 10~15 粒置床し、1.0, 1.5, および 2.0% (それぞれ 171, 257, 342 mM) の塩化ナトリウム溶液を用いて発芽試験を行った。以下、いずれの実験においても 20°C, 12 時間日長のグロースチャンバーを用いた。置床後 10 日目に発芽状況を調査し、Mano ら (1996) の方法に従い、1.0% の塩化ナトリウム溶液で発根するが発芽しない耐塩性弱のスコア 1 から、2.0% の塩化ナトリウム溶液でシュートが 25 mm 以上伸長するスコア 6 までの 6 段階で耐塩性を評価した (第 1 表)。本検定方法では、塩化ナトリウムに対する抵抗性 (浸透圧に対する抵抗性を含む) に加えて、発芽時の塩害を回避するために必要な発芽の速さなどの要因も同時に評価される。実験は約 220 品種ずつ 6 回に分けて行った。供

第1表 コムギの発芽時と幼植物における耐塩性の評価方法.

発芽時					幼植物			
塩化ナトリウム溶液 (%)					塩化ナトリウム溶液 (5.8%)			
1.0 1.5 2.0					2 週間目 3 週間目			
スコア	1	×	×	×	スコア	1	×	×
	2	○	×	×		2	△	×
	3	◎	○	×		3	○	△
	4	◎	◎	△		4	◎	○
	5	◎	◎	○		5	◎	◎
	6	◎	◎	◎				

発芽時耐塩性：×，発根のみ；△，シュートの伸長が 10 mm 以下；○，シュートの伸長が 10～25 mm；◎，シュートの伸長が 25 mm 以上。

幼植物耐塩性：×，完全枯死；△，葉身の枯れ甚；○，葉身の枯れ中程度；◎，葉身の先端のみ枯れ。

試品種をコムギ属の種別に分けて種間で耐塩性を比較した。また，耐塩性の地理的分布を調べるため，*T. aestivum* について地域毎に群別し，耐塩性を比較した。検定精度を確かめるために，上記の実験で供試した品種の中から 97 品種を無作為に抽出して，発芽時における耐塩性を反復評価した。

(2) 極強および極弱品種の検索

(1) で 6 回に分けて評価した全品種の中から極強および極弱の品種群を絞り込むために，極強品種の検索では，(1) でスコア 6 (耐塩性強) と判定された 52 品種を材料に 2.5% (428 mM) の塩化ナトリウム溶液を用いて，また，極弱品種の検索では，スコア 1 あるいは 2 (耐塩性弱) と判定された 63 品種を材料に 1.0% の塩化ナトリウム溶液を用いて発芽試験を行った。それぞれの試験では，1 回の試験で同時に全ての品種を検定して耐塩性の順位を決定した。極弱品種の検索においては (1) でスコア 1 の品種が 8 品種と極めて少なかったのでスコア 2 の 55 品種を含めて絞り込みをした。また，極弱品種において塩化ナトリウムの処理濃度を 1.0% より下げた場合，全ての品種が良好な発芽を示して品種間差異が表れなくなるので (データ省略)，(1) と同じ処理濃度で実験を行った。いずれの実験においても，置床後 10 日目のシュートの平均長をもって耐塩性とした。実験は 2 反復とした。

2. 幼植物の耐塩性

(1) 品種変異と地理的分布

1993 年 12 月上旬から 1994 年 2 月上旬にかけて無加温のガラス室で 1 品種 5 粒ずつプラスチック製バット (50×35×10 cm) に 3 cm×2.5 cm の栽植密度で播種し，3 葉期まで生育させた。その後，3 日～4 日毎に 5.8% (1000 mM) の塩化ナトリウム溶液を植物体に掛からないように灌水した。塩処理開始後 2 週間目と 3 週間目に地上部の葉枯れ程度を調査して，間野・武田 (1995) の方法に従い耐

塩性弱のスコア 1 から耐塩性強のスコア 5 までの 5 段階で耐塩性を評価した (第 1 表)。実験は 3 回に分けてそれぞれ同時に約 440 品種ずつを評価した。発芽時の耐塩性と同様に，種間，あるいは地域間で耐塩性を比較した。

(2) 極強および極弱品種の検索

(1) において耐塩性を検定した品種の中でスコア 5 (耐塩性強) と判定された 45 品種と，スコア 1 (耐塩性弱) と判定された 47 品種を材料に，安定して耐性，あるいは感受性を示す品種を検索するために，1994 年 10 月中旬から 12 月上旬にかけて無加温のガラス室において (1) と同様な方法で幼植物の耐塩性を 4 反復で検定した。

結 果

1. 発芽時の耐塩性

(1) 品種変異と地理的分布

供試した世界各地のコムギ品種の発芽時における耐塩性は幅広い連続変異を示し，全体のスコアの平均値は 3.8 であった (第 2 表)。発芽時の耐塩性をコムギ属の種別に分けて比較したところ，普通系コムギ (*T. aestivum*) は他の種よりも平均値が高く (平均 3.9)，耐塩性が弱いスコア 1 と 2 の品種が極めて少なく，また，耐塩性が強いスコア 5 の品種が多くみられたことが特徴的であった。また，D ゲノムを持たない *T. durum* をはじめとする 7 種・59 品種では，耐塩性が強いスコア 5 と 6 の品種はみられず，スコアの平均値は 2.8 と低かった。さらに，コムギとライムギの複 2 倍体であるライコムギ (Triticale) の耐塩性 (平均 2.9) は普通系コムギ (平均 3.9) よりも弱かった (第 2 表)。

普通系コムギの発芽時における耐塩性を地域別に比較すると，朝鮮半島 (平均 5.1) と日本 (平均 4.5) は耐塩性の強い品種の割合が高かったが，その他の地域においてはスコアの平均が 3.6～3.9 と地域間で耐塩性に差異は認められなかった (第 3 表)。オオムギにおいても朝鮮半島の

第2表 コムギの発芽時における耐塩性の変異。

種	ゲノム	品種数	耐塩性スコア						平均
			1	2	3	4	5	6	
<i>T. monococcum</i>	AA	3	0	2	0	1	0	0	2.7
<i>T. timopheevi</i>	AAGG	1	0	0	1	0	0	0	3.0
<i>T. polonicum</i>	AABB	1	0	1	0	0	0	0	2.0
<i>T. persicum</i>	AABB	3	0	0	3	0	0	0	3.0
<i>T. abyssinicum</i>	AABB	11	0	1	9	1	0	0	3.0
<i>T. dicoccum</i>	AABB	2	1	1	0	0	0	0	1.5
<i>T. durum</i>	AABB	38	1	9	23	5	0	0	2.8
<i>T. spelta</i>	AABBDD	3	0	0	3	0	0	0	3.0
<i>T. aestivum</i>	AABBDD	1215	6	37	448	363	309	52	3.9
Triticale	AABB(DD)RR	17	0	4	10	3	0	0	2.9
全体		1294	8	55	497	373	309	52	3.8

耐塩性はスコア1（弱）から6（強）で評価した。

第3表 普通系コムギ（*T. aestivum*）の発芽時における耐塩性の地理的分布。

地域	品種数	耐塩性スコア						平均
		1	2	3	4	5	6	
日本	322	0	1	52	79	167	23	4.5
朝鮮半島	15	0	0	0	3	7	5	5.1
中国	28	0	0	11	9	7	1	3.9
ネパール	55	0	2	21	16	11	5	3.9
ヨーロッパ	218	3	10	83	89	27	6	3.7
南アメリカ	173	0	2	86	52	28	5	3.7
不明	404	3	22	195	115	62	7	3.6
全体	1215	6	37	448	363	309	52	3.9

耐塩性はスコア1（弱）から6（強）で評価した。

品種は耐塩性の強い品種の割合が高いことが報告されている（Mano ら 1996）。

本実験の検定精度をみるために、各地域の97品種を反復試験したところ、反復間相関は $r=0.646$ と0.1%水準で有意であった。また、分散分析の結果も品種間差異は0.1%水準で有意であった。

(2) 極強および極弱品種の検索

発芽時における耐塩性が強い52品種を材料として2.5%の塩化ナトリウム溶液で極強品種の検索を2反復で行ったところ、2.0%の塩化ナトリウム処理でシュートが25 mm以上伸長した耐塩性の強い品種でも処理濃度を2.5%に高めることによって発芽は著しく阻害され、ほとんどの品種で発根するが発芽しなかった。2反復共にシュートを抽出した9品種を発芽時の耐塩性が極強の品種とした（第4表）。これらの極強品種には東アジアの小粒品種が多くみられた。

第4表 コムギの発芽時における耐塩性の極強および極弱品種。

	系統番号	取り寄せ先	稈長 (cm)	千粒重 (g)	備考
極強	K1-064	日本	131	35.5	<i>T. aestivum</i>
	K1-099	日本	119	32.1	<i>T. aestivum</i>
	K1-108	日本	88	29.3	<i>T. aestivum</i>
	K1-123	不明	144	41.1	<i>T. aestivum</i>
	K1-321	台湾	84	32.6	<i>T. aestivum</i>
	K1-403	ドイツ	126	28.7	<i>T. aestivum</i>
	K2-194	ブラジル	121	45.1	<i>T. aestivum</i>
	K2-210	朝鮮半島	92	33.1	<i>T. aestivum</i>
極弱	K2-600	日本	76	36.3	<i>T. aestivum</i>
	K1-471	不明	118	56.4	<i>T. durum</i>
	K2-060	ユーゴスラビア	75	36.7	<i>T. aestivum</i>
	K2-132	ユーゴスラビア	79	45.9	<i>T. aestivum</i>
	K2-144	ユーゴスラビア	64	39.8	<i>T. aestivum</i>
	K2-252	ネパール	88	52.2	<i>T. aestivum</i>
	K2-553	エチオピア	96	43.9	<i>T. durum</i>
	K2-568	不明	97	未調査	Triticale

系統番号は岡山大学資源生物科学研究所大麦・野生植物資源研究センターの保存番号。

一方、(1)と同じ処理濃度である1.0%の塩化ナトリウム溶液で行った極弱品種の検索においては、供試した63品種のうちの多くが良好な発芽を示した。これらの中でシュートの伸長が大きく抑制された7品種（2反復のシュートの平均長が25 mm以下）を極弱品種とした（第4表）。内訳は、(1)の実験でスコア1であったものが3品種、スコア2であったものが4品種である。この結果は(1)と若干異なる傾向にある。材料と方法で述べたように、コムギ耐塩性の閾値は1.0%前後であり、この処理濃度においてはわずかな環境の相違によって結果に差異が生じる可能

第5表 コムギの幼植物における耐塩性の変異.

種	ゲノム	品種数	耐塩性スコア					平均
			1	2	3	4	5	
<i>T. monococcum</i>	AA	3	2	1	0	0	0	1.3
<i>T. timopheevi</i>	AAGG	1	1	0	0	0	0	1.0
<i>T. polonicum</i>	AABB	1	0	1	0	0	0	2.0
<i>T. persicum</i>	AABB	3	2	1	0	0	0	1.3
<i>T. abyssinicum</i>	AABB	10	0	7	2	1	0	2.4
<i>T. dicoccum</i>	AABB	1	0	0	1	0	0	3.0
<i>T. durum</i>	AABB	42	1	19	18	4	0	2.6
<i>T. spelta</i>	AABBDD	3	0	3	0	0	0	2.0
<i>T. aestivum</i>	AABBDD	1233	41	430	562	156	44	2.8
Triticale	AABB(DD)RR	16	0	8	7	0	1	2.6
全体		1313	47	470	590	161	45	2.8

耐塩性はスコア1(弱)から5(強)で評価した.

性がある. 本実験では, 温度と日長が制御された条件で実験を行ったものの, 調査時期のずれによる環境の相違が発芽に影響を及ぼしたものと考えられる.

耐塩性が極弱の7品種の中には原集団に38品種(2.9%)しか含まれていなかった *T. durum* のうちの2品種が含まれ, また, 短稈の品種が多く, 東アジアの品種が含まれていないのが特徴的であった.

2. 幼植物の耐塩性

(1) 品種変異と地理的分布

世界各地のコムギ品種の幼植物における耐塩性は弱のスコア1から強のスコア5までの連続変異を示し(平均2.8), 中程度のスコア2と3の品種が80.7%を占めていた. また, 3週間にわたって5.8%の塩化ナトリウム溶液を灌水し続けた場合, 葉枯れが僅かしか認められない耐塩性が極めて強いスコア5の品種が45品種(3.4%)見出された(第5表).

幼植物の耐塩性をコムギ属の種別に比較したところ, 普通系コムギ(*T. aestivum*)のスコアの平均値は2.8と一般に他の種よりも耐塩性が強かった. 一方, Dゲノムを持たない7種・61品種の平均値は2.4と普通系コムギよりも低く, しかも耐塩性が弱いスコア1と2の品種が57.4%含まれており, この割合は普通系コムギ(38.2%)よりも高かった.

普通系コムギ1,233品種の幼植物における耐塩性を地域別に比較すると, 朝鮮半島(平均3.8)の品種に強いものが多く, 供試した17品種の中にスコア4と5の品種が10品種(58.8%)みられた. オオムギにおいても朝鮮半島の品種は耐塩性の強い品種の割合が高いことが報告されている(間野・武田 1995). 一方, ネパールには耐塩性の弱い品種が多く, 供試した58品種の中にはスコア4と5の品

第6表 普通系コムギ(*T. aestivum*)の幼植物における耐塩性の地理的分布.

地域	品種数	耐塩性スコア					平均
		1	2	3	4	5	
日本	329	13	131	130	42	13	2.7
朝鮮半島	17	0	1	6	5	5	3.8
中国	51	0	24	17	8	2	2.8
ネパール	58	7	34	17	0	0	2.2
ヨーロッパ	221	5	56	114	33	13	3.0
南アメリカ	176	0	62	91	18	5	2.8
不明	381	16	122	187	50	6	2.8
全体	1233	41	430	562	156	44	2.8

耐塩性はスコア1(弱)から5(強)で評価した.

種は全くみられず, 耐塩性スコアの平均は2.2と低かった(第6表).

(2) 極強および極弱品種の検索

(1)で耐塩性が強のスコア5と判定された45品種と弱のスコア1と判定された47品種を材料に, さらに(1)と同様な方法で幼植物の耐塩性を検定し, 4反復のスコアの平均値が4.5以上の11品種を極強, 1.3以下の9品種を極弱品種とした(第7表).

これらの耐塩性が極強の11品種は全て普通系コムギであり, また, 比較的短稈の品種が多くみられた. 一方, 耐塩性が極弱の9品種の中にはDゲノムをもたない *T. monococcum*, *T. persicum*, および *T. durum* が合わせて4品種含まれていた. 特に, 供試品種中に3品種しか含まれていなかった *T. persicum* のうち, 2品種が極弱と評価された.

第7表 コムギの幼植物における耐塩性の極強および極弱品種。

	系統番号	取り寄せ先	稈長 (cm)	備考
極強	K1-077	日本	87	<i>T. aestivum</i>
	K1-078	日本	97	<i>T. aestivum</i>
	K1-136	不明	137	<i>T. aestivum</i>
	K1-192	ロシア	146	<i>T. aestivum</i>
	K1-255	日本	105	<i>T. aestivum</i>
	K1-264	日本	84	<i>T. aestivum</i>
	K1-467	中国	124	<i>T. aestivum</i>
	K2-109	ユーゴスラビア	81	<i>T. aestivum</i>
	K2-211	朝鮮半島	91	<i>T. aestivum</i>
	K2-398	バラグアイ	104	<i>T. aestivum</i>
	K2-640	不明	61	<i>T. aestivum</i>
極弱	K1-131	不明	91	<i>T. aestivum</i>
	K1-149	フランス	148	<i>T. aestivum</i>
	K1-214	ネパール	137	<i>T. aestivum</i>
	K1-398	ドイツ	112	<i>T. aestivum</i>
	K3-010	不明	126	<i>T. monococcum</i>
	K3-051	不明	117	<i>T. persicum</i>
	K3-054	不明	109	<i>T. persicum</i>
	K3-064	不明	110	<i>T. durum</i>
	K3-081	不明	128	<i>T. aestivum</i>

系統番号は岡山大学資源生物科学研究所大麦・野生植物資源研究センターの保存番号。

考 察

本研究において、これまでにあまり報告のない東アジアの地域をはじめとする世界各地から取り寄せたコムギ品種を材料として耐塩性の遺伝資源を検索したところ、いくつかの高度耐塩性品種が見出された。

Sayed (1985) は、主にトルコ、インド、オーストラリア、北アメリカ、およびメキシコから取り寄せたコムギ約5,000品種の幼植物における耐塩性を検定したところ、塩類集積地が多い北米のカリフォルニアとエジプトのナイル川流域の品種に耐塩性の強いものが多くみられたと指摘している。これに対して、主に東アジア、ヨーロッパ、および南アメリカから取り寄せられた普通系コムギを対象とした本実験では、温帯に位置し、降水量も比較的多い朝鮮半島に発芽時（第3表）と幼植物（第6表）のいずれにおいても耐塩性の強い品種が多くみられた。これはオオムギの発芽時（Mano ら 1996）と幼植物（間野・武田 1995）の耐塩性と同様な傾向であった。歴史的にみて、朝鮮半島の南部では海岸の平坦地における水田裏作としてコムギが栽培されてきた。沿岸部における塩害に対する永年にわたる選抜がこの地域の品種の耐塩性を高めた可能性がある。以上の結果は、乾燥・半乾燥地域だけではなく、それ以外の地域にも耐塩性の遺伝資源が存在する可能性を示すものである。

Francois ら (1986) は、普通系コムギの発芽時における耐塩性は *T. durum* よりも強い傾向があると指摘しており、本実験においても、コムギの種別の比較において普通系コムギ（平均 3.9）は *T. durum*（平均 2.8）よりも耐塩性が強く（第2表）、さらに、耐塩性が極弱である9品種の中には *T. durum* が2品種みられた。これには普通系コムギ（AABBDD）と *T. durum*（AABB）の耐塩性の差異には D ゲノムに座乗している耐塩性に関連する遺伝子が影響している可能性もあり、今後、染色体置換系統を用いた解析を適用することによって、発芽時の耐塩性に関連する遺伝子の座乗染色体を推定することが可能となるであろう。

一方、幼植物においては耐塩性が極強の11品種は全て普通系コムギであるのに対して、耐塩性が弱い9品種の中には D ゲノムを持たないものが4品種含まれており（第7表）、コムギ属の幼植物における耐塩性についても、発芽時と同様に関与する遺伝的要因の一つが D ゲノムに存在する可能性が示された。Gorham ら (1987) と Gorham ら (1990) は、コムギの D ゲノムに K^+/Na^+ の選択吸収に関する遺伝子が座乗する可能性を示している。また、Dvorak ら (1994) はコムギの4D染色体の長腕に K^+/Na^+ 比を高める *Kna1* 遺伝子が座乗しており、普通系コムギの個体レベルにおける耐塩性が *T. durum* より強いのはこの遺伝子の作用による可能性があると報告している。従って、耐塩性が強い品種は全て D ゲノムを持っており、反面、耐塩性が弱い品種の中に D ゲノムを持たない品種が多くみられたのは、D ゲノムに座乗する K^+/Na^+ 比を高める *Kna1* 遺伝子が一つの要因になっている可能性がある。

本実験で検定したコムギの幼植物における耐塩性スコアと発芽時における耐塩性スコアの相関係数は -0.010 ($n=1199$) と無相関であり、オオムギの場合 ($r=-0.061$, $n=6646$; Mano ら 1996) と全く同様の傾向が得られた。さらに、オオムギの量的形質遺伝子座 (QTL) 解析によって、発芽時と幼植物の耐塩性を支配する遺伝子は相互に異なる染色体領域に座乗していると推定されている (Mano and Takeda 1997)。塩害発生の機構は、主として塩類の浸透圧による吸水阻害と、塩を構成しているイオンによる害の2通りが考えられる。オオムギの発芽時において、耐塩性と PEG 処理による浸透圧耐性との間には密接な関係 ($r=0.789$, $n=268$) が認められており (Mano ら 1996)、発芽時の塩害はナトリウムイオンの害よりも高浸透圧による吸水抑制の影響が大きいと考えられる。一方、オオムギ (Storey and Wyn Jones 1978) とイネ (山内 1989) の幼植物において、塩害は浸透圧による吸水阻害よりもむしろイオンの害による影響が大きいと報告されてる。従って、両形質には別々の要因が関与していると考えるのが妥当であろう。ステージ毎の耐塩性が遺伝的に無相関（独立）であれば、選抜によって発芽時と幼植

物における耐塩性を備えた品種を育成することが可能である。

引用文献

- Ayers, A.D., J.W. Brown and C.H. Wadleigh 1952. Salt tolerance of barley and wheat in soil plots receiving several salinization regimes. *Agron. J.* 44: 307—310.
- Ayers, A.D. 1953. Germination and emergence of several varieties of barley in salinized soil cultures. *Agron. J.* 45: 68—71.
- Batie, S.S. and R.G. Healy 1983. The future of American agriculture. *Sci. Am.* 248: 27—35.
- Boyer, J.S. 1982. Plant productivity and environment. *Science* 218: 443—448.
- Dvorak, J., M.M. Noaman, S. Goyal and J. Gorham 1994. Enhancement of the salt tolerance of *Triticum turgidum* L. by the *Kna1* locus transferred from the *Triticum aestivum* L. chromosome 4D by homoeologous recombination. *Theor. Appl. Genet.* 87: 872—877.
- Epstein, E., J.D. Norlyn, D.W. Rush, R.W. Kingsbury, D.B. Kelley, G.A. Cunningham and A.F. Wrona 1980. Saline culture of crops: A genetic approach. *Science* 210: 399—404.
- Francois, L.E., E.V. Maas, T.J. Donovan and V.L. Youngs 1986. Effect of salinity on grain yield and quality, vegetative growth, and germination of semi-dwarf and durum wheat. *Agron. J.* 78: 1053—1058.
- Gorham, J., C. Hardy, R.G. Wyn Jones, L.R. Joppa and C.N. Law 1987. Chromosomal location of a K/Na discrimination character in the D genome of wheat. *Theor. Appl. Genet.* 74: 584—588.
- Gorham, J., R.G. Wyn Jones and A. Bristol 1990. Partial characterization of the trait for enhanced K⁺-Na⁺ discrimination in the D genome of wheat. *Planta* 180: 590—597.
- Greenway, H. 1965. Plant response to saline substrates. VII. Growth and ion uptake throughout plant development in two varieties of *Hordeum vulgare*. *Aust. J. Biol. Sci.* 18: 763—779.
- Heenan, D.P., L.G. Lewin and W.D. McCaffery 1988. Salt tolerance in rice varieties at different growth stages. *Aust. J. Exp. Agr.* 28: 343—349.
- Kaddah, M.T. and S.I. Ghowail 1964. Salinity effects on the growth of corn at different stages of development. *Agron. J.* 56: 214—217.
- Kingsbury, R.W. and E. Epstein 1984. Selection for salt-resistant spring wheat. *Crop Sci.* 24: 310—315.
- Kovda, V.A. and I. Szabolcs 1979. Modelling of soil salinization and alkalization. *Agrokem. Talajtan* 28: Suppl.
- Iyengar, E.R.R., J.S. Patolia and T. Kurian 1977. Varietal differences in barley to salinity. *Z. Pflanzen Physiol.* 84: 355—361.
- Maas, E.V., G.J. Hoffman, G.D. Chaba, J.A. Poss and M.C. Shannon 1983. Salt sensitivity of corn at various growth stages. *Irrig. Sci.* 4: 45—57.
- Maas, E.V. and J.A. Poss 1989. Salt sensitivity of wheat at various growth stages. *Irrig. Sci.* 10: 29—40.
- 間野吉郎・武田和義 1995. オオムギ幼植物の耐塩性における品種変異と各種主働遺伝子の効果. 岡大資生研報 3: 71—81.
- Mano, Y., H. Nakazumi and K. Takeda 1996. Varietal variation in and effects of some major genes on salt tolerance at the germination in barley. *Breed. Sci.* 46: 227—233.
- Mano, Y. and K. Takeda 1997. Mapping quantitative trait loci for salt tolerance at germination and the seedling stage in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Euphytica* 94: 263—272.
- Pearson, G.A. and L. Bernstein 1959. Salinity effects at several growth stages of rice. *Agron. J.* 52: 654—657.
- Pearson, G.A., A.D. Ayers and D.L. Eberhard 1966. Relative salt tolerance of rice during germination and early seedling development. *Soil Sci.* 102: 151—156.
- Sayed, H.I. 1985. Diversity of salt tolerance in a germplasm collection of wheat (*Triticum* spp.). *Theor. Appl. Genet.* 69: 651—657.
- Storey, R. and R.G. Wyn Jones 1978. Salt stress and comparative physiology in the gramineae. I. Ion relations of two salt- and water-stressed barley cultivars, California Mariout and Arimar. *Aust. J. Plant Physiol.* 5: 801—816.
- 山内益夫 1989. イネにおける耐塩性の品種間差の発現機構. 土肥誌 60: 210—219.

Genetic Resources of Salt Tolerance at Germination and the Seedling Stage in Wheat: Yoshiro MANO* and Kazuyoshi TAKEDA (*Res. Inst. for Bioresources, Okayama Univ., Kurashiki 710-0046, Japan*)

Abstract: About 1,300 wheat varieties were tested for salt tolerance at germination and the seedling stage. Salt tolerance at these two stages showed wide and continuous variations among the wheat varieties tested, and some highly salt tolerant varieties were selected. The varieties from Korea included tolerant varieties at a high proportion at either stage. Hexaploid (AABBDD) varieties were more tolerant than tetraploid (AABB) and diploid (AA) varieties at either stage, indicating that genetic factor(s) controlling salt tolerance may be located on the D genome. As well as barley varieties, salt tolerance at germination of wheat was considered to be independent of that at the seedling stage.

Key words: Genetic resource, Genome, Geographical distribution, Germination, Salt tolerance, Seedling stage, Wheat.