

作物の塩害生理に関する研究

(第9報) 麦類およびアスパラガスの耐塩性について

下 瀬 昇

Physiology of Salt Injury in Crops

(IX) Salt Tolerance of Barley, Wheat, and Asparagus

Noboru SHIMOSE

Barley, wheat, and asparagus were grown in a constantly renewed sand culture using the solutions containing 20, 40, and 60 meq/l each of Na_2SO_4 or NaCl respectively, and results obtained were as follows:

1) Barley and asparagus were very tolerable to salinity, but growth reduction of wheat was almost linear with increasing of salt concentrations in the nutrient solutions and the crop was more sensitive in the NaCl series than in the Na_2SO_4 series.

2) The author could not find differences of total carbohydrate contents in the leaves and stems of barley and asparagus caused by the salt treatments, but in the ears of wheat, total carbohydrate contents decreased with increasing of NaCl concentrations, and so was in the Na_2SO_4 -60 plot.

3) Absorption of potassium, calcium, magnesium, and manganese in the leaves and stems of barley and wheat decreased with increasing of salt concentrations. It was observed that the decrease of absorption of these elements in them was higher in the Na_2SO_4 series than in the NaCl series. But in the leaves and stems of asparagus, as absorption of sodium was very low, the decrease of absorption of potassium and others was not found in every treatment.

4) Contents of total cation or anion in the leaves and stems of barley and wheat increased with increasing of salt concentrations, and the ratio of total cation per anion increased with increasing of salt concentrations, especially in the Na_2SO_4 series. As to asparagus, any difference among all the salt treatments was not found.

5) The author assumed that asparagus was more tolerant to salinity than barley or wheat.

緒 言

中性塩類にもとづく作物の塩類過剰障害は、一次的には浸透圧の増大による養分吸収障害が原因であるといわれている²⁾が、土壤溶液中に存在する塩の種類や作物の相違によって、作物による養分吸収や代謝の乱れにかなりの差のあることが認められる。従来の多くの研究では、比較生理学的に塩類過剰障害の実態を究明した報告はほとんど見あたらないので、著者は数年

本研究の一部は1968年4月、1972年4月の日本土壤肥料学会大会および1968年12月の同関西支部会において発表した。

来この観点から研究を続け、すでに10数種の作物を用いて、ほぼ同一環境のもとでの作物の塩害生理の実態を知り、さらにいわゆる塩害地へ導入できる作物を見いだすため、この一連の研究を続行している。

今回は麦類およびアスパラガスの耐塩性について報告する。その結果、大麦はイタリアンライグラスと同様カチオン吸収能、とくにナトリウム吸収能の強い、強耐塩性作物に属し、アスパラガスはナトリウム吸収抑制型の耐塩性作物であることを知った。小麦は大麦に近い性質を有するが、その耐塩性は大麦に比較するとやや弱く、従来供試した10数種の作物に比べると中～強程度の耐塩性を有することを認めた。

実験方法

栽培方法

麦類について：第1回目の実験では大麦（キカイハダカ種）および小麦（農林52号種）を1966年12月26日に川砂に播種し、翌年1月15日に5000分の1アールワグネルポットに移植し、1週間後から4月10日までは硫酸塩、塩化物で作製した基本培養液で流動砂耕栽培し、4月11日より塩類処理を開始し、6月5日に収穫した。麦類は生育期間が比較的短かくても出穂するので、収穫した時点ではとくに大麦は草丈が低く（対照区の稈長36.3～39.8cm）、また小麦は穂の全炭水化物含量が8.91～15.66グルコース%で、稔実も充分ではないのではないかとの疑念もたれた。またその耐塩性も大麦が中程度、小麦はかなり弱い部類に属すると判断せざるを得ない結果を得た。ところが ALLISON の綜説¹⁾によると、大麦は耐塩性が強く、小麦でも中～強程度として分類されている。また上記収穫物について各種成分を分析したところ、次に記す第2回目の実験とはほぼ同様の結果、すなわち上記綜説と類似の、矛盾する結果が認められた。このように耐塩性が弱いような生育を示したのは播種期が遅れたため、生育期間が短縮されたことに起因すると思われるので、改めて第2回目の実験を行ない、これらの疑問点について再検討を行なった。

第2回目の実験は1970年12月1日に大麦（キカイハダカ種）、小麦（ウシオコムギ種）を播種し、14日に各ポットに移植、1週間後より基本培養液を流下し、1971年4月1日より塩類処理を開始、6月1日に収穫した。基本培養液組成は Table 1 に示したが、硫酸塩区、塩化物区に分け、前者に用いた塩類はすべて硫酸塩で、後者に用いたものはすべて塩化物で構成されている。ここでいう塩類処理とは、前記それぞれの基本培養液に硫酸ナトリウムまたは塩化ナ

Table 1. Salt Concentrations of Basal Nutrient Solutions

Elements	Concentration	Salts
N (NH ₄ -N : 20, NO ₃ -N : 40)	60 ppm	NH ₄ NO ₃ and Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O
P	30	KH ₂ PO ₄
K	50	K ₂ SO ₄ or KCl
Ca	28.6	from Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O as N source
Mg	30	MgSO ₄ ·7H ₂ O or MgCl ₂ ·6H ₂ O
Fe	2	Fe-citrate
Mn	2	MnSO ₄ ·4H ₂ O or MnCl ₂ ·4H ₂ O
B	2	H ₃ BO ₃

トリウム濃度が20, 40, 60 meq/lとなるように加えた培養液で生育させたもので、各表に示した、例えば S-20 区とは硫酸塩基本培養液に硫酸ナトリウムを20 meq/lとなるように加えた試験区を示し、Cl-40 区とは塩化物基本培養液に塩化ナトリウムを40 meq/lとなるように加えた試験区を示している。なお、各基本培養液中には約 3.2 meq/lの SO_4^{2-} または Cl^- が含まれている。これらの塩類処理は第1回目の麦類の実験およびアスパラガスの実験も全く同じである。

アスパラガスについて：1967年に行なったもので、30°Cの孵卵器中で発芽させたアスパラガス（メリーワシントン500種）を6月6日に各ポットに移植、1週間後から各基本培養液を流下し、7月5日から麦類と同様の塩類処理を開始し、9月11日に収穫した。基本培養液はTable 1に示した麦類と同じ濃度のものを用いた。麦類、アスパラガスともに試験区は3連制とし、各試験区の培養液の initial pH はいずれも 6.4、毎週10 lずつ滴下した。

従来から引き続き、本研究においても20, 40, 60 meq/lの塩類濃度で実験を行なったのは、一連の本研究の目的が、作物の枯死限界濃度を求めることではなく、中程度の塩類濃度のもとにおいて、作物の耐塩性順位を定めるとともに、養分吸収や代謝の乱れを把握し、塩害をうけた作物に現われるこれらの現象の共通性を見出すことによって、塩害対策を樹立することにあるためである。

分析 方法

作物の生育調査を行ない、採取後手早く水洗し、濾紙で水分を除去、新鮮物重量を測定し、直ちに80°Cの熱風乾燥器に入れ、乾燥後その重量を測定し、細切試料を作製した。各成分の分析は次の方法に従って行なった。

Na および K：試料 1 g をルツボにとり、450°C で乾式灰化後塩酸で珪酸分離し、濾液を一定量とし、適量をとってフレイムフォトメーターで測定。

S：硝酸マグネシウム酸化後重量法⁷⁾で測定。

Cl：炭酸ナトリウム処理後 VOLHARD法⁷⁾で測定。

N：GUNNING 変法⁸⁾で全窒素を測定。

P：硫硝酸分解液についてバナドモリブデン黄法⁷⁾で測定。

Ca および Mg：試料 1 g を 450°C で乾式灰化、珪酸分離後、一定量にした濾液を適当に希釈し、硝酸ストロンチウム濃度が 0.4% となるようにこれに加え、原子吸光法によって測定。

Fe：乾式灰化試料についてロダンカリ発色法⁷⁾で比色定量。

Mn：乾式灰化試料について、過硫酸アンモニウム発色法⁷⁾で比色定量。

Zn：450°C で乾式灰化、珪酸分離した試料一定量をとって、原子吸光法⁶⁾で測定。

全炭水化物：試料 1 g に 0.7N 塩酸を加えて湯浴中で加水分解後 SOMOGYI 法¹⁴⁾で測定。

実験結果および考察

第1回目の麦類の生育：乾物重を Table 2 に示した。この結果からみて、大麦、小麦ともに培養液塩類濃度の増大に伴って著しい障害をうけ、収量は低下し、とくに大麦 S-60 区では障害が激しく、塩害の特徴である下葉の枯れ上りが強く現われ、草丈も低かった。小麦では Cl-40, 60 区で強い害徴が現われ、一般に硫酸塩よりも塩化物による障害が強く、さらに前述のように穂の全炭水化物含量がきわめて低く、稔実も不十分であるような生育状況であった。しかるに茎葉中無機成分を分析すると、少なくとも大麦はかなり耐塩性が強く、小麦でも中～

Table 2. Dry Weight of Barley and Wheat grown in 1967 in Various Salt Concentrations (g/one plant)

Exptl. Plot	Crop Plant Part	Barley			Wheat		
		Leaves and Stems	Ears	Sum	Leaves and Stems	Ears	Sum
S-cont		8.0	9.0	17.0	7.8	7.4	15.2
	20	6.4	7.1	13.5	9.1	9.3	18.4
	40	4.9	7.0	11.9	7.3	6.0	13.3
	60	1.9	2.2	4.1	3.1	4.1	7.2
Cl-cont		6.3	7.7	14.0	7.7	7.7	15.4
	20	6.5	8.4	14.9	6.0	6.8	12.8
	40	2.9	4.5	7.4	3.5	4.2	7.7
	60	2.5	3.6	6.1	2.3	3.6	5.9

強程度の耐塩性を有すると判断せざるを得ない結果を得た。この点については後に論議するが、これら矛盾点が多かったのは、おそらく生育期間が短かかったためと考え、再検討の必要性を認めたので、第2回目の実験を企画した。

第2回目の麦類の生育：Table 3 に乾物重を示した。Table 2 と比べると一般的傾向としては類似しているが、大麦では硫酸塩区の収量がS-40 区までは対照区と変わらず、S-60 区で収量

Table 3. Dry Weight of Barley and Wheat grown in 1971, and Asparagus grown in 1967 in Various Salt Concentrations (g/one plant)

Exptl. Plot	Crop Plant Part	Barley			Wheat			Asparagus
		Leaves and Stems	Ears	Sum	Leaves and Stems	Ears	Sum	Leaves and Stems
S-cont		10.2	9.1	19.3	7.4	8.1	15.5	8.5
	20	10.1	8.9	19.0	7.2	8.4	15.6	8.3
	40	10.7	10.2	20.9	6.7	7.2	13.9	10.8
	60	6.2	5.7	11.9	6.7	7.6	14.3	7.5
Cl-cont		10.8	9.2	20.0	10.5	8.9	19.4	10.0
	20	7.3	9.1	16.4	9.8	9.8	19.6	8.5
	40	7.5	9.2	16.7	5.4	4.6	10.0	8.5
	60	4.6	7.6	12.2	4.9	4.8	9.7	5.5

低下が認められるものの、第1回目の実験ほど顕著ではなかった。しかも第1回目の実験とは異なり、5月中旬までは塩類処理による害徴は認められず、中旬以後になってやっと、しかも急激に下葉の枯れ上り、および穂の褐変現象が現われた。この現象は小麦の場合もほぼ同じで、いずれもかなり耐塩性の強いことが認められたが、このことは1971年度の天候に左右されたのかも知れない。また総括的にみれば塩化物区の収量が濃度増加とともに多少硫酸塩区に劣ったが、その差は小さく、いずれの塩の害が強いかは明確ではなかった。稈長は第1回目の実験では対照区で36.3~39.8cm(穂長4.5~5.1cm)であって、かなり低かったのに対し、第2回目には49.3~55.5cm(穂長6.0~6.5cm)で、ほぼ正常に生育したと思われる。

小麦は塩類濃度の増大に伴って、両塩類区ともに乾物重は低下する傾向を示し、とくに塩化物区ではCl-40区以上の濃度区で生育低下が著しく、高濃度になると塩化物による障害の強い

ことが認められた。しかし大麦と同様第1回目の実験ほど強い生育障害は現われず、第1回目の実験結果が予想どおり異常であることを知った。

アスパラガスの生育：アスパラガスは個体差が激しいので明確な判断は困難であったが、各試験区ともに害徴は全く認められず、生育は旺盛だったので、強い耐塩性を有するものと考えられた。ただし Table 3 に示したように、CI-60 区の収量がやや低いので、これも小麦と同様塩化物に多少弱いものと考えられる。

全炭水化物含量：Table 4 に第2回目の実験の麦類およびアスパラガス中の全炭水化物含量を示した。第1回目の実験において、小麦の穂の全炭水化物が 8.91~15.66% という低い値を

Table 4. Total Carbohydrate Contents in Barley, Wheat, and Asparagus
(as glucose %)

Exptl. Plot	Crop Plant Part	Barley		Wheat		Asparagus
		Leaves and Stems	Ears	Leaves and Stems	Ears	Leaves and Stems
S-cont		15.39	34.09	15.80	25.65	11.75
20		15.69	33.08	15.26	27.38	12.89
40		15.53	32.06	15.80	23.63	12.69
60		15.53	34.53	15.39	18.23	12.62
CI-cont		16.07	34.53	16.07	25.65	13.16
20		15.69	31.05	14.85	25.65	11.06
40		15.85	32.12	14.85	24.33	12.56
60		15.85	31.05	14.45	22.95	11.27

示し、稔実が不完全ではないかとの疑問が生じたので、まず全炭水化物含量を測定した。その結果、小麦の穂でも大体25%前後の値を示し、ほぼ完全に稔実していることが認められた。

一般に培養液塩類濃度が增大しても、作物体内の全炭水化物含量には変動が認められない場合が多い¹¹⁾が、作物によっては、例えばルーサン¹²⁾のように高分子炭水化物の合成が著しく阻害されるものもある。Table 4 の結果からみて、大麦、小麦、アスパラガスの茎葉中全炭水化物含量については、塩類処理による影響は認め難いが、小麦の穂では S-60 区の値が低く、塩化物区では塩類濃度の増大に伴って含量がやや低下しており、塩類処理によって炭水化物代謝に悪影響が現われたことを示している。なお塩類処理は作物体内糖含量に影響することも考えられるが、糖は日変化が著しく、とくに試料採取の時間による変動が大きく、従来からの実験で測定した値もまちまちであったので、一連の本研究では糖を含んだ全炭水化物含量を測定することによって、炭水化物代謝にまで影響の現われる作物について検討を続けている。

大麦茎葉中の無機成分含量：一般に塩類処理によって生育障害が現われても、一度種実が形成されると、種実中の各成分含量はほぼ一定するものである⁹⁾。今回も穂についても分析したが、処理塩類の濃度の増大とともに、穂の中の成分に変動が認められたのはナトリウムと塩素の増加のみで、他の成分にはほとんど差は認められなかった。ナトリウムと塩素の増加も茎葉中における大差と比較すると、ほとんど問題とならないほど小さいので、塩害をうけた作物の生育障害を検討する場合は、それらの成分について茎葉中における変動を検討するだけで充分と考えられる。ゆえに一連の本研究では、主として茎葉中各成分の変動に注目して共通性を見いだそうと努めている。

大麦茎葉中の各種無機成分含量は1971年に行なったものについて Table 5 に示した。吸収量は全般的に第1回目の実験よりかなり高い値を示したが、その傾向はほぼ同様であった。硫酸ナトリウム、塩化ナトリウムが与えられているので、塩類濃度の増大に伴ってナトリウム含

Table 5. Contents of Mineral Elements in the Leaves and Stems of Barley grown in 1971 (dry matter basis)

Element Exptl. Plot	Na (%)	S (%)	Cl (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)
S-cont	0.26	0.27	0.61	2.41	0.58	7.46	0.54	0.21	1,110	55	31
20	4.97	0.57	0.51	2.46	0.58	3.38	0.15	0.05	790	63	32
40	6.63	0.93	0.53	2.32	0.59	2.42	0.16	0.05	810	50	34
60	8.60	1.06	0.52	2.13	0.55	1.02	0.10	0.03	720	34	24
Cl-cont	0.34	0.20	2.25	2.46	0.63	8.40	0.50	0.22	1,020	118	32
20	4.39	0.18	4.22	1.96	0.55	5.00	0.26	0.10	780	105	32
40	8.10	0.14	6.01	1.71	0.48	2.95	0.16	0.06	780	105	37
60	9.65	0.15	6.37	1.88	0.33	2.42	0.14	0.06	810	50	30

量が顕著に増加しているが、とくに塩化物区でその傾向が著しかった。塩化物区における塩素の吸収増加と比較すると、硫酸塩区におけるイオウの吸収はそれほど増加していない。これはおそらく1価と2価のアニオン吸収能の差と考えられ、とくに塩素は非代謝的に吸収されるといわれている¹³⁾ので、その特性が現われたものと思われる。そのためナトリウムの吸収にも差が現われ、塩化物区における含量が高くなったものであろう。この現象は現在までに供試したほとんどすべての作物に共通の現象であった。

ナトリウムが多量に吸収された結果、拮抗的にカリウム、カルシウム、マグネシウム、マンガンはいずれも強い吸収阻害をうけており、これらの必須成分は塩類高濃度区では欠乏気味で、中性ナトリウム塩類による過剰障害は、これらの要素の欠乏症が2次的に誘発されているものと考えられる。硫酸塩区と塩化物区で比較すると、これら要素の吸収阻害程度はいずれも硫酸塩区で強く現われた。リン酸については、塩化物高濃度区における含量がやや低く、鉄も塩類高濃度区で多少吸収量が低下する傾向が認められたが、その程度は小さかった。亜鉛は塩類処理による影響ははっきりしなかった。全窒素は塩類濃度の増大に伴って含量が低下し、その傾向は塩化物区で強く現われた。

小麦茎葉中の無機成分含量：1971年に行なった実験の小麦茎葉中の無機成分含量については Table 6 に示した。各成分ともに大麦ほど多量に吸収されていないが、大麦とほとんど同じ傾向が認められた。

アスパラガス茎葉中の無機成分含量：アスパラガス茎葉中の含量は Table 7 に示した。この作物は耐塩性の強いものの中ではきわめて異なった養分吸収作用を持つものと考えられた。著者が従来供試した10数種の作物のうち、最も耐塩性の強かったのはイタリアンライグラス¹²⁾で、これにほぼ匹敵するのが今回的大麦、次いでハウレン草¹¹⁾などであったが、外観的にその生育の様相からみるとアスパラガスも同等の耐塩性を有するものと思われる。イタリアンライグラス、大麦、小麦などは外液ナトリウム塩濃度が増大するとともに大量のナトリウムを吸収し、その結果カリウム、カルシウムなどの要素吸収阻害が現われたが、外観的な塩害症状や

Table 6. Contents of Mineral Elements in the Leaves and Stems of Wheat grown in 1971 (day matter basis)

Element Exptl. Plot	Na (%)	S (%)	Cl (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)
S-cont	0.09	0.33	0.16	1.90	0.44	5.87	0.22	0.11	580	117	37
20	2.99	0.80	0.16	1.99	0.45	3.79	0.10	0.06	555	96	38
40	3.57	1.06	0.16	1.96	0.43	3.21	0.06	0.04	490	84	34
60	5.00	1.07	0.16	1.68	0.51	2.08	0.06	0.03	430	94	39
Cl-cont	0.09	0.20	0.65	2.04	0.56	5.62	0.23	0.13	530	144	38
20	2.32	0.21	2.22	1.83	0.53	5.51	0.09	0.05	520	150	32
40	4.40	0.18	3.51	1.43	0.47	2.98	0.06	0.05	580	137	54
60	5.28	0.20	3.82	1.40	0.47	3.31	0.06	0.03	545	127	69

Table 7. Contents of Mineral Elements in the Leaves and Stems of Asparagus grown in 1967 (dry matter basis)

Element Exptl. Plot	Na (%)	S (%)	Cl (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)
S-cont	0.08	0.33	0.98	2.94	0.30	2.64	0.34	0.30	880	193
20	0.28	0.34	1.28	2.94	0.34	2.64	0.32	0.27	1,130	195
40	0.52	0.37	1.18	2.94	0.32	2.53	0.31	0.30	1,040	182
60	0.80	0.38	1.25	3.01	0.33	2.17	0.28	0.26	1,220	175
Cl-cont	0.12	0.20	1.81	2.65	0.31	2.69	0.27	0.29	1,180	208
20	0.25	0.18	1.98	2.98	0.31	2.53	0.27	0.22	1,260	220
40	0.48	0.18	2.24	2.87	0.31	2.47	0.28	0.21	1,060	210
60	0.50	0.19	1.99	3.07	0.30	2.42	0.23	0.18	960	220

収量低下は現われ難かった。すなわちこれらの作物は耐ナトリウム性ともいふべき性質をもち、カリウムなどの欠乏に或程度まで耐え得る作物といふことができる。

一方、アスパラガスは Table 7 から明らかなように、塩類濃度が增大してもナトリウムの吸収量がきわめて少なかった。また硫酸塩区と塩化物区で比較しても、両区でイオウと塩素の吸収にあまり大きな差は認められなかった。これは既報¹¹⁾のホウレン草と同型に属する。従ってカリウム、カルシウム、マグネシウムなどの吸収阻害も比較的軽微で、Cl-60 区の生育がやや悪かったのはカルシウム、マグネシウムの吸収阻害が他の区に比べてやや強かったためと考えられるが、リン酸、鉄、マンガンなどにはほとんど変動は認められなかった。ただし全窒素のみは、とくに塩化物区において塩類濃度の増大に伴って、反って増加する傾向が認められた。すなわちアスパラガスは外液中のナトリウムなどを自らの能力で排除できるもので、大麦などとはかなり異なった養分吸収能をもつものと考えられる。

全カチオンと全アニオンのバランス：現在までに供試した作物で最も耐塩性の強かったものはイタリアンライグラス¹²⁾であったが、その特徴は高濃度塩類区でナトリウムの吸収が著しく多く、拮抗的にカリウム、カルシウムなどの吸収阻害がおこるが、或程度の塩類濃度まではそれに耐えることができ、塩類濃度の増大に伴って全カチオン、全アニオンの吸収量が増加し、しかもこの比率が比例的に増加することであった。

Table 8. The Total Amounts of Basic and Acidic Constituents in the Leaves and Stems in Barley, Wheat, and Asparagus (meq/100g in dry matter)

Exptl. Plot	Crop Cation or Anion	Barley			Wheat			Asparagus		
		Cation(c)	Anion(a)	$C/a \times 100$	Cation(c)	Anion(a)	$C/a \times 100$	Cation(c)	Anion(a)	$C/a \times 100$
S-cont		309	209	148	224	169	133	190	218	87
20		378	227	167	288	201	143	198	227	87
40		422	242	174	293	212	138	207	227	91
60		463	238	195	318	208	153	206	234	88
Cl-cont		339	249	136	222	192	115	182	220	83
20		392	308	127	299	244	123	188	239	79
40		487	384	127	314	278	113	190	241	79
60		543	416	131	357	335	107	190	243	78

Table 8 に麦類とアスパラガスの全カチオン、全アニオン吸収量とその比率を示した。まず大麦はイタリアンライグラスと類似の傾向を示し、塩類濃度の増大とともにほぼ吸収量も増加し、硫酸塩区ではその比率も比例的に増大している。この種の作物では塩類濃度の増大とともに全カチオン、全アニオンの比率も増大するものほど耐塩性が強いと考えられるので、塩化物区でこの比率にあまり変動が認められないのは、塩化物に対する耐性がやや劣るものと考えられる。大麦では Table 5 から明らかなように、ナトリウムの過剰吸収に伴ってカリウム、カルシウム、マグネシウム、マンガンなどの吸収阻害が強く現われ、この傾向は硫酸塩区で著しかった。それにもかかわらず、硫酸塩区での収量が高かったのは、全カチオン、全アニオンの比率が塩類濃度の増大とともに比例的に増大したこと、いかえれば硫酸塩区で相対的カチオン吸収能の強いこと、塩化物高濃度区におけるよりも全窒素含量の低下が極端でなかったことに起因するものと考えられる。しかし Table 5 よりみて、カリウムなどの吸収阻害があまりにも著しかったので、塩類濃度がこれ以上高くなると体内成分のバランスは急速に乱れ、強い塩害症状を呈する危険性をはらんでいるものと考えられる。

小麦についても大麦と類似の傾向が認められたが、大麦と比較すると全般的に全吸収量が少ないこと、全カチオン、全アニオンの比率がかなり低いこと、および塩化物区では塩類濃度の増大に伴ってむしろこの比率が低下する傾向のあることなどから、耐塩性の強い部類には属するが、大麦ほど強くはないことが認められた。

アスパラガスは麦類とはきわめて異なった耐塩性作物であることが認められた。Table 7 に示したように、塩類濃度が増大してもナトリウムの吸収量はあまり増加せず、しかも吸収量はきわめて少なく、従ってカリウム、カルシウム、マグネシウムなどの吸収阻害程度はかなり軽微であった。そのため塩類濃度の増大に伴って全カチオン、全アニオン含量はいずれも多少は増加しているが、その増加程度は少なく、しかも全アニオンが全カチオンよりも多く、全カチオン、全アニオンの比率はあまり変動が認められなかった。ただし塩化物区では硫酸塩区よりもこの値がやや低かった。このことは塩化物に対する耐性がやや弱いことを示し、とくに Cl-60 区で収量が低かったのはカルシウム、マグネシウムの吸収阻害が多少現われたため、この比率が低くなったことによるものと推察される。このような作物は、これまでに供試した作物中ではハウレン草¹¹⁾と同じタイプに分類することができる。

既報¹¹⁾のように、全カチオン、全アニオンの吸収量の計算法としては、窒素の計算や、有

機酸の定量を行っていない点などに若干の問題点が存在する。窒素の計算法としては、体内に存在する全窒素の量を、与えた $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ の比率で（この場合1:2）前者をカチオン、後者をアニオンとして計算したものであるが、生体内では大部分がタンパク態であり、 $\text{NH}_4\text{-N}$ や $\text{NO}_3\text{-N}$ の形で存在する量はわづかであって、実態とはかなりかけ離れている。しかし TROUG⁴⁾ は植物体内に存在する塩基性成分と酸性成分は、吸収時における形態を問題とすべきで、彼の用いた作物が畑作物であったため、窒素は $\text{NO}_3\text{-N}$ 、すなわちアニオンと考えている。彼は塩基性成分の多い植物は、当然アニオンとして重炭酸塩、炭酸塩が吸収されると考えているが、本邦において、しかも本実験条件で重炭酸塩や炭酸塩が吸収されるとは考えられず、アニオンとしてはおそらく硫酸塩、塩化物、燐酸塩などの形で吸収されたものと考えられる。作物体内で全カチオンの方が多作物があるが、その原因は、一つは既述の窒素の計算法に問題があること、さらにエネルギー代謝の結果生じた各種有機酸の量と質に問題があると考えられる。しかし本研究では生体内での形態変化よりも、TROUG⁴⁾ の考え方に従って、養分の吸収形態に注目し、吸収されてからの存在量を一応吸収形態で類別し、この方法によって作物の耐塩性に共通点を見出すことができるので、この比率をもととして推論を進めた。

作物の耐塩性について：以上のように、本研究の実験条件の範囲内では、耐塩性の強い作物に2つのタイプのあることが認められた。一つはイタリアンライグラスや大麦のように、塩類濃度の増大に伴って大量のナトリウムを吸収し、そのためカリウム、カルシウムなどの吸収阻害が現われるが、その欠乏に耐え、全カオチンの吸収量が多くなり、全カチオンと全アニオンの比率が上昇するタイプの作物である。本実験では 60 meq/l の濃度を最高としており、イタリアンライグラス¹²⁾ ではそれほどでもなかったが、大麦では茎葉中のカリウム、カルシウム、マグネシウム含量はこの濃度区では欠乏の限界まで来ているものと考えられ、この程度の含量はある程度正常に近い生育をするための必要最低量であって、これ以上塩類濃度が増大すると、体内成分のバランスが破れて急速に害徴が現われる危険性をはらんでいる。

他の一つはナトリウム塩の濃度が上昇してもナトリウムの吸収を強く抑制し、そのためカリウム、カルシウムなどの吸収阻害があまり強く現われず、全カオチンと全アニオンの比率にもあまり変動の現われないハウレン草、アスパラガスのようなタイプである。このタイプの作物は耐塩性は強いが、耐酸性という点では疑念があり、ハウレン草はもちろん、アスパラガスでも強酸性には弱い⁸⁾ といわれているので、耐酸性という面では別の吸収機構や根の細胞膜の透過性、耐性などが作用するかも知れない。

この2つのタイプの耐塩性作物のいずれがより耐塩性が強いかを判断することはかなり困難であるが、TROUG⁴⁾ が指摘した、各種作物は異なった栽培条件で生育させると、かなり一定に全塩基当量を維持しようとするという実験結果からすると、塩類濃度がきわめて高い条件のもとでは、後者の作物群に、より安定性があると考えられる。また次にのべるように、著者らが行なった実験結果からみても、後者の方が耐塩性が強いのではないかと推定される。

著者ら³⁾ はクエート国ブビヤン島の土壌* を水で除塩し、Cl として大体0.1~0.6%（対乾土）にわたる3段階の含塩土を作り、これに数種の耐塩性作物を栽培した。どの作物の生育も完全とはいえなかったが、用いた作物中ではアスパラガスが最も強く、Cl 約0.6%の土壌でも約1カ月間にわたって生育可能であった。これに反して、イタリアンライグラスは土壌中の

*この土壌は pH (H_2O) 8.7 前後で、乾土に対して約8%の NaCl と、0.5N HCl 可溶の CaCO_3 を約40%含み、1:5 水浸出の EC が約30 mmho/cmの強石灰質含塩アルカリ土壌である。

Cl が 0.3% 以下でわずかに生育可能で、ハウレン草や棉よりも弱かった。しかし同国で栽培試験を行なった場所の 4 月の平均最高気温が 42.2°C (35.8~48.8°C) であったので、まずこれらの作物の耐暑性に問題がある。また除塩は水で行なったため、炭酸カルシウムは大部分除塩されずに土壤中に残存しており、わずかに溶出される重炭酸カルシウムと可溶性炭酸塩（おそらく炭酸ナトリウムが主成分と考えられる）に対する耐性にも差があるものと考えられる。ゆえに本邦のような気象条件下において、しかも中性塩類に対する耐塩性と比較することにはかなり無理な点があるが、アスパラガスのように土壤中に存在する多量の塩類を自らの力で吸収抑制できる作物の方が、イタリアンライグラスや大麦のように多量の塩基を吸収し、塩基間のバランスを維持しようと努める作物群よりは耐塩性が強いといえそうである。

またブビヤン島海辺や、クエート国本土砂漠海辺で、土壤中 Cl 濃度が 5% に達する場所に生育する野草 *Halocnemum strobilaceum* の茎葉中 Cl 含量は 12~14% (対乾物) にすぎない*。この値はもちろん Cl 含量としてはきわめて高いが、著者¹⁰⁾ は 30 meq/ℓ の塩化ナトリウムを含む培養液で栽培したタバコ葉中には 10% を超える Cl を含有することを認めた。これと比較すると、上記の野草が 5% に達する Cl を含む土壤に生育可能で、しかも体内に 12~14% しか Cl を吸収していないのは、根がこれら塩類の吸収をある程度排除できる能力を持つものと思われ、アスパラガスと類似の性質を有するものと考えられる。これに対してイタリアンライグラスや大麦はある程度の塩類濃度までは生育できるが、培地の塩類濃度が高すぎると、これらの塩類を吸収しすぎて、体内養分間のバランスをくずし、場合によっては 2 次的に各種必須要素の欠乏症を併発し、枯死するものと考えられるので、アスパラガスのようなタイプのものの方が、より耐塩性が強いものと推定される。

以上のように、大麦とアスパラガスとでは、養分吸収のタイプは異なるが、いずれもかなり耐塩性の強い作物で、小麦も中~強程度に分類できると思われる。これに反して、耐塩性の弱い作物の特徴は、キウリ¹¹⁾、インゲン¹¹⁾、ルーサン¹²⁾ に認められたように、一般にカチオン吸収能が弱く、それにもかかわらず塩類濃度の増大に伴って多少過剰に吸収されたナトリウムに拮抗して、カリウム、カルシウム、マグネシウム、さらに作物によってはマンガンにまで顕著な吸収阻害が現われ、全カチオンと全アニオンの比率が塩類濃度の増大とともに低下するものである。このタイプの耐塩性の弱い作物は、養分吸収の乱れに耐えうる範囲がかなり狭く、塩類濃度が多少増大すると各種養分の吸収阻害のため、急激に害徴が現われるものである。硫酸塩と塩化物に対する耐性は作物によって異なり、一定の法則性は見いだせなかったが、一般的には塩化物に弱い作物が多いようであった。

要 約

大麦、小麦、アスパラガスを 20, 40, 60 meq/ℓ の硫酸ナトリウムまたは塩化ナトリウムを含む培養液で流動砂耕栽培し、その耐塩性について検討したが、次のような結果が得られた。

1. 大麦とアスパラガスは耐塩性がきわめて強く、小麦も中程度以上の耐塩性を有すること

*ブビヤン島内陸部は地下海水の蒸発のため海辺部よりはるかに塩類濃度が高く、特殊な一部を除いてほとんど植物は生育できない。本土側は内陸部に入るに従って塩類濃度は低下するので、雑草生態系はブビヤン島とは異なり、*Halocnemum* → *Salsola* → *Rhantherium* と、耐塩性 → 耐塩耐乾性 → 耐乾性に、見事に変化している。

が認められた。ただし麦類とアスパラガスの耐塩性はかなり異なった要因にもとづくものと考えられた。

2. 各作物ともに、培養液塩類濃度の増大に伴う全炭水化物含量に大きな変動は認められなかったが、大麦では塩化物区の穂における含量がやや少なく、小麦では S-60 区と塩化物区の穂における含量がやや低かった。

3. 茎葉中の各種無機成分を分析した結果、大麦では塩類濃度の増大に伴ってナトリウムの吸収が著しく増加し、その結果カリウム、カルシウム、マグネシウム、マンガンなどが著しい吸収阻害をうけ、その含量からみて欠乏限界にまで達しているものと考えられた。またその吸収阻害程度は硫酸塩区の方が顕著であった。全窒素も塩類濃度の増大に伴って低下したが、その程度は塩化物区に著しく現われた。

小麦では吸収量は全般に大麦ほど多くはなかったが、大麦ときわめてよく似た養分吸収状態を示すことが認められた。

一方、アスパラガスは前記2作物と全く異なった養分吸収の様相を呈することが明らかとなった。すなわち、塩類濃度が増大してもナトリウム、イオウおよび塩素の吸収はあまり増加しなかった。従ってカリウム、カルシウム、マグネシウム、マンガンなどの吸収阻害は全く現われないか、現われてもきわめて軽微であった。すなわち、アスパラガスは外液中に多量の塩類が存在しても、それらの吸収をある程度制御できる耐塩性作物であることを認めた。

4. 大麦、小麦では塩類濃度の増大に伴って一般に全カチオン、全アニオン含量は増加し、しかも硫酸塩区ではその比率も増大し、塩化物区ではその値があまり変化がないか、またはやや低下する傾向が認められた。このようなカチオン吸収能の強い作物は、本実験における塩類濃度の範囲内では、この比率が大で、しかも塩類濃度の増大に伴ってその値も大きくなるものほど、一般に耐塩性が強い。硫酸塩区でカリウム、カルシウムなどの吸収阻害が強く現われたにもかかわらず、塩化物区よりも耐塩性が強かったのは、この比率が塩化物区よりも大きかったことが一原因と考えられる。大麦も小麦も耐塩性はかなり強いが、大麦の方が塩基吸収能が大きく、しかもこの比率が大きかったので、小麦よりもさらに耐塩性が強いことを示している。

アスパラガスは大麦、小麦とは全く異なった養分吸収能を持つことが認められた。この作物は塩類濃度が増大しても、ナトリウム、イオウ、塩素の吸収量があまり増加せず、そのためカリウム、カルシウムなどの吸収阻害もあまり強くは現われなかったので、全カチオンと全アニオンの比率にもあまり変動は現われなかった。ただし塩化物区の方がこの値がやや低かったが、このことは塩化物に対する耐性が多少弱いことを示すものと推察した。

5. 以上のように、今回供試した3作物はいずれもかなり耐塩性は強かったが、これを2つのタイプに分けることができた。1つは大麦、小麦のように、カチオン吸収能の強いもので、従来供試した作物ではイタリアンライグラスがこれに属する。他の1つはアスパラガスのように、外液中の過剰塩類の吸収を強く制御できるタイプの作物で、ホウレン草がこれに属する。この2つのタイプのいずれがより強い耐塩性を有するかを判定することは難しいが、各種の実験を参考として、後者の方がより強いものと判断した。

大麦、小麦の種子の入手、栽培管理に本学農学部 笹井一男氏の御援助を得た。アスパラガスの種子の入手、発芽、栽培管理にあたっては、当時の農学部教授渋谷茂氏、現農学部教授益田忠雄氏の御指導、御援助を得た。またアスパラガスの栽培管理と分析の一部は当時の農学部専攻科学生森本雅郎君が担当した。以上各氏の御厚意に深く感謝の意を表する。

引用文献

- 1) ALLISON, L. E. (1964) : *Advances in Agron.*, 16, 139~180
- 2) BERNSTEIN, L. & H. E. HAYWARD (1958) : *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 9, 25~46
- 3) SHIMOSE, N. & H. TORATANI (1972) : *Rept. Arid Zone Agr. Div., Kuwait Inst. Sci. Res.*, No. 4 (in press)
- 4) TROUG, E. (1953) : *Mineral Nutrition of Plants*, 25~56, Univ. Wisconsin Press, Madison, Wisconsin
- 5) 京大農化教室編 (1969) : 農芸化学実験書1巻 (13版) 236~237, 産業図書, 東京
- 6) 農林水産技術会議事務局 (1971) : 土壌および作物体中の重金属の分析法, 1~67
- 7) 奥田東ら編 (1959) : 植物栄養学実験, 29~84, 朝倉書店, 東京
- 8) 沢田英吉 (1962) : 蔬菜生産技術 5, 95~98, 誠文堂新光社, 東京
- 9) 下瀬 昇 (1963) : 日土肥誌, 34, 107~110
- 10) 下瀬 昇 (1963) : 日土肥誌, 35, 143~147
- 11) 下瀬 昇 (1968) : 日土肥誌, 39, 548~553
- 12) 下瀬 昇 (1968) : 日土肥誌, 39, 554~557
- 13) 田川 隆, 石坂信之 (1963) : 日作紀, 31, 249~252
- 14) 戸荻義次ら編 (1957) : 作物試験法, 303~308, 農業技術協会, 東京