

パセリー, ネギ, ハツカダイコン, 及びキャベツの耐塩性^{a)}下瀬 昇・林 紀明^{b)}

(土壌肥料学研究室)

Received July 1, 1983

Salt Tolerance of Parsley, Welsh Onion, Radish, and Cabbage^{a)}Noboru SHIMOSE and Noriaki HAYASHI^{b)}

(Laboratory of Soil Science and Plant Nutrition)

We studied salt tolerance and mechanism of salt injury of various plants from the viewpoint of mineral nutrition.

Parsley, Welsh onion, radish, and cabbage were grown in a constantly renewed sand culture using the solution containing 0, 20, 40, and 60 meq/l of Na_2SO_4 or NaCl respectively. The results obtained were as follows:

1) In these salt concentrations, radish showed a strong tolerance to salinity. Cabbage showed tolerance in the NaCl series, but not in the Na_2SO_4 series. Welsh onion showed not much tolerance in the Na_2SO_4 series, but was sensitive in the NaCl series. Parsley showed not much tolerance in the NaCl series, but was sensitive in the Na_2SO_4 series.

2) Absorption of potassium, calcium, and magnesium decreased as salt concentrations increased, and it was observed that decrease of these elements was higher in the Na_2SO_4 series. It was considered that absorption of these elements reduced in antagonism to excessive sodium absorption, but the effect of SO_4^{2-} and Cl^- on the reduced absorption of these elements was higher than the antagonism to sodium in radish.

緒 言

植物の塩類過剰障害は一次的ストレスとしては膜の障害および代謝的攪乱があげられ、二次的ストレスとして浸透圧、養分欠乏によるストレスが取り上げられている¹⁾が、培地中に存在する塩の種類や植物の相違によって、生育や養分吸収にかなりの差のあることが認められている。さらに過剰イオンにもとづく養分バランスの不均衡による養分吸収の乱れ、あるいはイオンの特異的害作用なども塩害の原因であるといわれている。植物の耐塩性には各植物の構造的生理的特性、つまり塩類を集積し、外界の浸透圧に対抗する能力、過剰な塩類吸収を回避する調節機能、吸収した塩類を希釈、排泄する機能あるいは細胞レベルの耐塩性などが複雑に関与している。

著者らは耐塩性や塩害の機構について知見を得るため、ほぼ同一環境での塩害生理の実態を知り、塩害を受けた場合の植物の耐塩性と養分吸収の変動を比較植物栄養学的に把握することを目的として、これまで多数の植物を供試して、 NaCl にもとづく生育低下や養分吸収の変動を Na_2SO_4 によるそれと比較してきている^{2,3,4)}。今回は4種の野菜類についての結果を報告する。

a) 植物の塩害生理に関する研究(第11報)。本報告の概要は昭和56年12月、57年7月、同年12月、日本土壌肥料学会関西支部会で発表した。

b) 現在、森下仁丹株式会社, Morishita Jintan Co.

材 料 と 方 法

供試植物はパセリー、ネギ(浅黄系)、ハツカダイコン(赤丸甘日大根)およびキャベツ(早秋甘藍)であった。まず各植物の種子を川砂に播き、発芽した幼苗を5000分の1アールワグネルポットに移植した。次にTable 1に示した基本培養液を週10lずつ滴下し流動砂耕栽培し

Table 1 Salt concentrations of basal nutrient solutions

Elements	Concentrations(ppm)	Salts
N (NH ₄ -N : 20 NO ₃ -N : 40)	60	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

* KCl, MgSO₄ · 7H₂O and MnSO₄ · 4H₂O were used for Welsh onion and cabbage.

た。パセリーとネギの栽培に用いた基本培養液はK, MgおよびMnについては硫酸塩系列(S系列)と塩化物系列(Cl系列)に分けて水道水で調整した。この基本培養液のpHは約6.3で、水道水中には約7 ppmのSO₄²⁻および8~10 ppmのCl⁻が混入していた。一方ハツカダイコンとキャベツの栽培に用いた基本培養液はS系列とCl系列に分けず、Kは塩化物、MgとMnは硫酸塩を用いた。その理由は当初キャベツ(秋蒔中生2号種)を1981年11月24日より栽培したが、Cl系列基本培養液区およびCl-20区でS欠乏が発生したため(Cl-40, 60区ではNaClに夾雑しているSのためか、欠乏症は現れなかった。)、基本培養液を塩化物と硫酸塩の両方を含んだものを用いて調整することとしたためである。Cl系列のS欠乏はまずクロロシスが起り、さらに葉の縁に沿って赤紫色ないし褐色を呈した。これを収穫後分析すると、S含有率は0.09%であったが、正常なS系列のものは0.60%以上の含有率を示した。さらにCl系列でクロロシスが認められた時点でS系列基本培養液に切りかえたものは症状が回復し、以後順調に生育した。このようにS欠乏が現れたので、この実験は中止し、あらためて基本培養液をTable 1に示したようにS, Cl混合液を使用し、1982年7月24日より早秋甘藍種を用いて実験を開始した。その後行ったハツカダイコンの実験にも、基本培養液はこのS, Cl混合培養液を用いた。なお培養液のpHは0.5 N HClを適当に加えて5.5とした。次いで一定期間基本培養液のみで栽培した後、塩類処理をはじめ収穫時まで継続した。塩類処理は基本培養液にNa₂SO₄(S区)またはNaCl(Cl区)を、それぞれ0, 20, 40, 60 meq/lとなるように加えた。ただしパセリーとネギについてはS系列基本培養液にはNa₂SO₄を、Cl系列基本培養液にはNaClを加えた。このような濃度で実験を行ってきたのは、一連の本研究の目的が植物の枯死限界を求めることではなく、中程度の塩類濃度において植物の耐塩性順位を定めるとともに、養分吸収の受ける影響を把握するためである。以上の8あるいは7試験区を3連制で実施した。また1ポット当りの植物栽植数はパセリーで4株、ネギで11株、ハツカダイコンで6株、キャベツで1株であった。

無機成分の分析はNa, K, Ca, MgおよびFeについては乾式灰化後原子吸光法で、Sは硝酸マグネシウム酸化後重量法⁵⁾で、Clは炭酸ナトリウム処理後Volhard⁵⁾法で、全NはGunning変法⁶⁾で、Pは硫硝酸分解液についてバナドモリブデン酸法⁶⁾で、Mnは硫硝酸分解液につい

て原子吸光法で測定した。

実験結果および考察

1) 生育概況

Table 2 Dry weight of parsley, Welsh onion, radish and cabbage (g/plant)

Exptl. Plot	Parsley (Leaves and Stems)	Welsh onion (Leaves and Stems)	Radish		Cabbage		
			(Leaves and Stems)	Roots	Outer leaves	Inner leaves	Wt. of inner leaves : Wt. of outer leaves
S- 0	15.1	3.2	1.95	1.85	38.3	46.7	1.22
20	12.7	2.6	2.12	2.37	40.0	41.7	1.04
40	7.8	2.4	1.53	1.72	37.5	23.3	0.62
60	8.3	2.4	1.78	1.48	33.3	20.0	0.60
Cl- 0	15.1	3.7	1.95	1.85	38.3	46.7	1.22
20	16.3	3.4	2.18	2.04	43.3	45.0	1.04
40	13.5	2.5	1.72	1.76	45.0	31.7	0.70
60	11.2	2.1	1.81	1.32	40.0	26.7	0.67

Table 2 に各植物の乾物重を示した。各植物とも塩類濃度の増加に伴い生育は低下し、その程度はパセリー、キャベツについてはS区で、ネギ、ハツカダイコンは両区で同程度であった。ハツカダイコンは低濃度の塩で生育が増大した。キャベツは内葉での生育低下が著しく、Table 2 に示したように内葉重と外葉重の比は対照区で1.2、つまり外葉重より内葉重のほうが大きかったが、それ以上の塩類濃度になると漸減し、高濃度区では内葉重より外葉重のほうが大きくなり、それはS区で顕著であった。このようにキャベツを塩類処理すると、結球しにくくなり内葉重は減少するが、本来内葉となるべき葉が結球せず、外葉となったため、外葉重はほぼ一定であったと考えられる。新葉が枯れ込んだので、塩害症状はパセリー (S区で顕著)、ハツカダイコンで顕著に認められた。

前報^{2,3,4)} までの供試作物と比較すると、乾物重の減少から判断した耐塩性はハツカダイコンが強、キャベツが強 (Cl区) ~ 中 (S区)、ネギが中、パセリーが中 (Cl区) ~ 弱 (S区) であった。このように植物により、また用いた塩の種類によりその感応性は異なった。

ところで植物の耐塩性については多くの報告があるが、研究者によってまれに大きな相違が認められることがある。たとえばハツカダイコンは高橋ら⁷⁾ によると鋭敏といわれているが、本報告では強耐塩性であった。このような差異が生じた原因は塩類濃度、培養液組成、栽培方法および植物の品種などの相違が考えられる。下瀬^{2,3,4)} の実験で、塩類濃度が60 meq/l までの低濃度範囲での収量低下を耐塩性の尺度としており、塩類濃度をさらに高めたり、塩類処理時期をさらに早めれば異なった結果が得られたかも知れない。一方大沢⁸⁾、高橋ら⁷⁾ は収量50%低下時の培地濃度、あるいは砂耕跡地のECを耐塩性の尺度としており、また高橋は体内のNa濃度を尺度として「真の耐塩性」を提案している。このように研究者により、その手法および概念は異なっているが、植物の耐塩性を比較すると、全体的には耐塩性の大小はほぼ一致していた。

2) 無機成分の変動

Table 3 に各植物の無機成分含有率を示した。塩類濃度の増大に伴って、両区のNa, Cl区のCl含有率は増大した。S区のS含有率も増大したが、その程度は小さかった。Na吸収の

Table 3 Contents of mineral elements in the leaves and stems of parsley, Welsh onion, radish and cabbage (dry matter basis)

Elements	Exptl. Plot	Parsley	Welsh onion	Radish		Cabbage		
				Leaves and Stems	Roots	Outer leaves	Inner leaves	
Na (%)	S-	0	0.28	0.07	0.29	0.38	0.32	0.16
		20	1.65	0.36	2.95	2.13	2.59	0.80
		40	2.56	0.74	4.03	3.29	3.64	1.09
		60	3.08	1.05	4.73	4.49	4.61	1.45
	Cl-	0	0.29	0.07	0.29	0.38	0.32	0.16
		20	1.48	0.30	3.59	2.86	2.75	0.80
		40	1.97	0.69	4.68	3.84	4.05	1.12
		60	3.21	0.89	5.42	4.99	4.49	1.28
S (%)	S-	0	0.44	0.50	0.81	0.56	1.23	0.61
		20	0.69	0.49	1.06	0.70	1.56	0.70
		40	0.80	0.47	1.15	0.80	1.53	0.73
		60	0.69	0.45	1.20	0.95	1.38	0.89
	Cl-	0	0.13	0.22	0.81	0.56	1.23	0.61
		20	0.11	0.27	0.62	0.60	1.01	0.60
		40	0.13	0.31	0.55	0.57	1.02	0.61
		60	0.13	0.31	0.64	0.58	0.85	0.68
Cl (%)	S-	0	0.52	0.49	1.79	0.51	1.65	0.46
		20	0.47	0.47	1.83	0.60	1.36	0.37
		40	0.62	0.47	1.77	0.68	1.09	0.33
		60	0.72	0.49	1.71	0.84	0.82	0.31
	Cl-	0	1.91	1.38	1.79	0.51	1.65	0.46
		20	3.41	2.04	7.18	3.34	5.21	1.33
		40	3.78	2.17	8.29	4.45	5.92	1.59
		60	5.15	2.47	8.32	5.31	5.74	1.72
N (%)	S-	0	2.91	4.21	4.91	2.89	2.98	3.27
		20	3.21	4.25	4.89	2.91	2.74	3.29
		40	3.40	4.22	4.97	3.18	3.33	3.96
		60	3.82	3.99	5.16	3.60	3.42	4.56
	Cl-	0	2.82	4.14	4.91	2.89	2.98	3.27
		20	2.54	4.24	4.25	3.12	2.69	3.51
		40	2.78	4.18	4.26	3.01	3.03	3.96
		60	2.81	4.20	4.40	3.49	3.25	4.22
P (%)	S-	0	0.41	0.79	0.85	0.79	1.08	0.50
		20	0.43	0.82	0.77	0.83	1.01	0.59
		40	0.45	0.89	0.79	0.85	1.24	0.65
		60	0.53	0.87	0.93	1.02	1.20	0.69
	Cl-	0	0.45	0.76	0.85	0.79	1.08	0.50
		20	0.41	0.84	0.60	0.85	0.80	0.54
		40	0.44	0.84	0.64	0.85	1.05	0.60
		60	0.43	0.98	0.67	0.89	1.16	0.64
K (%)	S-	0	3.10	4.61	3.29	3.45	2.88	2.94
		20	2.71	4.52	2.29	2.92	2.62	2.91
		40	2.45	3.38	1.67	2.29	2.29	2.84
		60	2.10	3.22	1.29	1.53	1.44	2.62
	Cl-	0	3.31	4.75	3.29	3.45	2.88	2.94
		20	2.80	4.53	2.16	3.22	2.49	2.96
		40	2.73	4.38	1.46	2.49	2.47	2.90
		60	2.33	4.23	1.24	2.12	2.24	2.91

(To be continued.)

Table 3 (continued)

Elements	Exptl. Plot	Parsley	Welsh onion	Radish		Cabbage		
				Leaves and Stems	Roots	Outer leaves	Inner leaves	
Ca (%)	S-	0	0.45	0.70	1.14	0.21	1.93	0.45
		20	0.28	0.56	0.72	0.15	1.32	0.30
		40	0.32	0.51	0.54	0.15	0.85	0.27
		60	0.28	0.43	0.39	0.19	0.46	0.20
	Cl-	0	0.56	0.70	1.14	0.21	1.93	0.45
		20	0.48	0.71	1.09	0.21	1.57	0.36
		40	0.41	0.61	1.03	0.19	1.22	0.33
		60	0.41	0.60	0.78	0.20	0.82	0.30
Mg (%)	S-	0	0.48	0.49	0.64	0.22	1.00	0.30
		20	0.32	0.41	0.41	0.18	0.65	0.24
		40	0.27	0.34	0.30	0.15	0.45	0.23
		60	0.21	0.29	0.25	0.16	0.24	0.21
	Cl-	0	0.43	0.47	0.64	0.22	1.00	0.30
		20	0.31	0.48	0.57	0.19	0.76	0.23
		40	0.25	0.43	0.49	0.16	0.62	0.23
		60	0.22	0.41	0.41	0.17	0.41	0.21
Mn (ppm)	S-	0	479	436	382	121	528	99
		20	370	392	309	119	600	161
		40	387	313	219	106	543	153
		60	346	273	160	119	345	149
	Cl-	0	397	446	382	121	528	99
		20	376	432	431	140	591	138
		40	315	406	359	118	713	167
		60	336	393	336	140	511	164

増大はネギについてはS区の方が、ハツカダイコンについてはCl区の方が大きかったが、パセリー、キャベツについては両区で同程度であった。またNa吸収には2つの型があり、塩類濃度の増大に伴い、(1)大量のNaを吸収する型(ここではハツカダイコン、キャベツ外葉)および(2)Na吸収を抑制する型(ネギ)があった。ここでネギはS-60、Cl-60区でそれぞれNa(対乾物)が1.05、0.89%であったので、Naの吸収を抑制していると考えた。これまで供試した作物では、オオムギ、イタリアンライグラスが前者に、ハウレンソウ、アスパラガスが後者に属した⁶⁾。

Cl含有率の増大はキャベツ、ハツカダイコンで大きかったが、ネギでは小さく、Cl吸収も抑制されていた。S区のCl、Cl区のS含有率は増大するもの、変動しないもの、減少するものと植物によって傾向が異なった。

NとP含有率の変動は互いに類似した傾向を示したが、その程度は小さく、植物や使用する塩によってやや傾向が異なった。

K、CaおよびMg含有率はここで用いた植物ではすべて漸減した。CaとMgは類似した挙動を示し、この傾向はネギ、キャベツ外葉およびハツカダイコン茎葉部で顕著であった。これら2要素の吸収阻害程度は例外なくS区で大きく、Kもほぼ同様の傾向を示した。各植物における各成分の吸収阻害の程度は、パセリーではMgが最も大きく、CaとKは同程度であった。ネギではCa、Mgの吸収阻害が同程度にやや大きかったが、Kは軽微であった。キャベツ内葉での吸収阻害はCa>Mg>Kの順に強かったが、外葉と比較すると軽微であり、Kはほとんど変動しなかった。外葉ではKも比較的強く吸収阻害を受け、CaとMgは同程度にかなり強く阻害を受けたが、特にS区で顕著であった。ハツカダイコンでは茎葉部での吸収阻

害が顕著であったが, Ca, MgはCl区で比較的軽微であり, Kが最も強く阻害を受けた. 肥大根部では $K > Mg > Ca$ の順に強く吸収阻害を受けたが, Caはほとんど変動しなかった.

このように, K, Ca, Mgの吸収阻害の程度は植物によって, あるいは使用した塩類によって異なったが, Na吸収の型の前者で大きく, 後者で小さい傾向にあった. これはNa吸収が増大した結果, 拮抗的に吸収阻害を受けたものと考えられるが, Naとの拮抗のみでは説明できず, 共存する SO_4^{2-} , Cl^- の影響の大きいものもあった. 例えばハツカダイコンではNa吸収の増大はCl区で顕著であるにもかかわらず, K, Ca, Mgの吸収阻害はS区で顕著であり, Naとの相対的な関係は認められなかった. またネギではCl区の方がNa吸収の増大が小さく, K, Ca, Mgの吸収阻害も軽微であるにもかかわらず, 乾物重の減少はS区よりやや顕著であった. これもNaの吸収増大にもとづく養分吸収阻害のみでは説明できず, 共存する SO_4^{2-} , Cl^- の影響が大きいものと考えた. なおFe, Zn, Cuの吸収については一定の傾向がなかったので省略したが, Mnはパセリー, ネギで吸収阻害が認められた.

耐塩性植物はNa吸収の状態から考えて, イタリアンライグラス, オオムギ³⁾のように大量のNaを吸収する型に属するものもあれば, アスパラガス, ホウレンソウのようにNa吸収を抑制する型もある. このどちらかの型がより強い耐塩性を有するかを判断するのは難しいが, これまでのデータによるとあまり大量のNaを吸収しない傾向のあるアスパラガス, ホウレンソウの方がやや強いのではないかと推論した. 今回の実験では, ネギが後者にやや近い傾向があり, ハツカダイコンは前者に近い傾向があると推定した.

要 約

パセリー, ネギ, ハツカダイコンおよびキャベツをそれぞれの基本培養液に Na_2SO_4 またはNaClをそれぞれ0, 20, 40, 60 meq/lとなるように添加し, 収穫期まで流動砂耕栽培し, 次のような結果を得た.

- 1) 耐塩性はこの濃度範囲ではハツカダイコンが強, キャベツが強(Cl区)~中(S区), ネギが中, パセリーが中(Cl区)~弱(S区)であった.
- 2) 塩類濃度の増大に伴い, K, Ca, Mg含有率は漸減し, この傾向は Na_2SO_4 添加区で顕著であった. これら3成分はNa吸収が増大した結果, 拮抗的に吸収阻害を受けたものと考えられるが, ハツカダイコンではNaとの拮抗のみでは説明できず, 共存する SO_4^{2-} , Cl^- の影響が大きいものと考えた.

文 献

- 1) 島田典司: 植物生理学 5, 水とイオン, 223~237, 朝倉書店, (1981)
- 2) 下瀬 昇: 日土肥誌, 39, 548~553 (1968)
- 3) 下瀬 昇: 日土肥誌, 39, 554~557 (1968)
- 4) 下瀬 昇: 岡大農学報, 40, 57~68 (1972)
- 5) 奥田東ら編: 植物栄養学実験, 29頁, 84頁, 朝倉書店 (1959)
- 6) 京大農化教室編: 農芸化学実験書, 1巻, 237, 増補7, 産業図書 (1981)
- 7) 高橋英一: 化学と生物, 20, 380~389 (1982)
- 8) 大沢孝也: 園学雑, 30, 241~252 (1961)