

砂土におけるグレインソルガムの塩水栽培 (第2報) 塩水組成が生育収量に及ぼす影響

山根昌勝*

Grain Sorghum Growing with Saline Water in Sandy Soil (II) Effect of Various Salts on Vegetative Growth and Grain Yield**

Masakatsu YAMANE*

Summary

Grain sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, cv. NK262, was grown on a sand dune field irrigated with salinized waters to clarify the effect of salt composition on vegetative growth and grain yield. Common composition saline water consisted of fresh water salinized with CaCl_2 , MgCl_2 , and NaHCO_3 , in equal proportions, totaling 22.5 me/l or 45.0 me/l. Specified composition saline waters consisted of common composition saline water of lower concentration with 6 kinds of salts added.

At harvest time, electrical conductivity (EC) value and pH value were measured by soil suspension. In the NaHCO_3 plot, EC value was low while pH value was particularly high.

Regarding salinity injury, all plots were divided into three groups by degree of injury, high, low, and slight.

In the highly injured group which comprised the MgCl_2 plot and NaHCO_3 plot, due to excessive absorption of specified cation, competitive inhibition of absorption of other elements occurred. As a result, vegetative growth and grain yields were severely depressed.

In the low injured group which comprised the plots of CaCl_2 , NaCl , MgSO_4 , and Na_2SO_4 , specified cation content increased, while competitive inhibition did not occur. In these plots, vegetative growth were moderately depressed, and grain yields were slightly depressed.

In the slightly injured group which comprised the plots of common composition of 22.5 me/l, and 45.0 me/l, due to excessive Na absorption, the leaf weight depressed, but vegetative growth and grain yield were the same as that of the fresh water plot.

*砂丘利用研究施設砂丘生産利用部門

Division of Plant Production, Sand Dune Research Institute

**The title of part (I) of this series was "Grain sorghum growing with brackish water in sandy soil".

乾燥地において得られる灌漑用水は、各種の塩類を含有した塩水である場合が多い。このような塩水を灌漑水として利用する場合には作物に塩害が発生し、その程度は塩類の組成によって異るとされている。

陽イオンによる塩害の強度は、一般的にNaが最も大きく、Ca, K, Mgの順に小さくなる作物が多い^{5,10)}が、逆にMgまたはCaがNaよりも大きい作物も知られている^{1,4,9,12)}。陰イオンによる塩害の強度は多くの作物において、Cl⁻が最も大きく、SO₄²⁻、CO₃²⁻またはHCO₃⁻の順に小さくなる^{5,7,10,11,14,16-18)}。しかし、一部の作物では塩酸塩よりも硫酸塩の害作用が大きい場合も報告されている^{12,17,19)}。一方、多数の野菜の種類について試験した結果によれば、塩害の程度は塩の種類とは関係がなく、塩の濃度すなわち浸透圧の高低によるとする報告もある¹³⁾。

このように、実験条件あるいは作物の種類によって、塩の種類と塩害の程度は一定しておらず、またグレイソルガムについてはこの種の報告はみられない。そこで本試験は、3種類の塩を等量に混合した塩水を基本組成とし、これに異なる塩を1種ずつ添加して作製した特定の塩類の含有量の高い混合塩水を用いて、砂土においてグレイソルガムを栽培し、塩類の種類と生育収量との関係を明らかにするためにに行った。

材料と方法

試験区 試験は圃場試験により行い、試験区の構成は第1表に示したとおりである。淡水区 (F区) を対照区とした。等量低塩水区 (S23区) は3種の塩を等量に混合し、等量高塩水区 (S45区) はS23区の3種の塩をそれぞれ2倍の濃度で混合した。上記した3区を除く添加塩水区すなわち、塩化マグネシウム区 (MgC区)、塩化カルシウム区 (CaC区)、塩化ナトリウム区 (NaC区)、硫酸マグネシウム区 (MgS区)、硫酸ナトリウム区 (NaS区)、および炭酸水素ナトリウム区 (NaH区) では、S23区と同濃度の混合塩水に1種類ずつ塩を加え、S45区と等量になるように調製した。したがって、各区の塩の溶解量は、S23区は22.5me/l、S45区と添加塩水区はいずれも45.0me/lである。原水として使用した淡水は地下水であって、全塩濃度は約120ppmである。厳密には上記の塩濃度に加算して表記されるべきであるが、便宜上省略した。本試験では塩濃度の単位はme/lであって、S45区がほぼ3000ppmとなるように計画したが、添加した塩の当量が異なるため、すべての添加塩水区が必ずしも3000ppmとはならない。なお、添加塩水区は3ないし4種の塩類が溶解されているけれども、特定の塩の濃度を高くするために添加された塩の名称を区名とした。

Table 1. Quality of irrigation water used for treatment

Abbrev. of treatment	Dissolved salt species and salinity					pH	$k_{tw}^{1)}$ (dS/m)	SAR ²⁾
	Common species	(me/l)	Additional species	(me/l)	Total (me/l)			
F	—	—	—	—	—	7.52	0.13	—
S23	3 species ³⁾	22.5	—	—	22.5	8.26	2.14	2.74
S45	3 species	22.5	3 species ³⁾	22.5	45.0	8.12	3.92	3.87
MgC	3 species	22.5	MgCl ₂	22.5	45.0	8.58	3.48	1.73
CaC	3 species	22.5	CaCl ₂	22.5	45.0	8.00	3.90	1.73
NaC	3 species	22.5	NaCl	22.5	45.0	8.76	4.12	10.95
MgS	3 species	22.5	MgSO ₄	22.5	45.0	8.68	3.48	1.73
NaS	3 species	22.5	Na ₂ SO ₄	22.5	45.0	8.82	3.98	10.95
NaH	3 species	22.5	NaHCO ₃	22.5	45.0	8.86	3.52	10.95

1) k_{tw} : Electrical conductivity of irrigation water

2) SAR: Sodium adsorption ratio of irrigation water

3) 3 species: MgSO₄, CaCl₂, and NaHCO₃, in equal proportions.

栽培法 試験はビニルハウス内で行い、降雨、強風などの支障のない限り開放した。培地は砂丘畑の砂土、播種は1981年4月28日、畦幅1.0m、条間0.4mの2条、株間0.1m、栽植密度20個体/m²とした。試験区間の塩の混入を防ぐため、2条ごとにあぜシートを50cmまで埋めて地下の仕切りとした。供試品種はNK262、出芽は5月4日、収穫は9月1日であった。肥料は粒状化成肥料を用い、窒素2.1kg/a、燐酸2.1kg/a、カリ2.04kg/aを基肥および追肥として4回に分施した。そのほかに、苦土石灰10.0kg/a、微量要素肥料5.0kg/aを用いた。灌水は、じょうろ、散水チューブなどを用いて毎日行った。灌水量は計器蒸発量を参考として決定し、過剰灌水によりリーチングがおきないように注意した。日平均灌水量は、5月は2.12mm、6月は3.33mm、7月は4.04mm、8月は4.04mmであった。塩水の灌水は出芽2週間後に開始し、収穫期まで行った。

調査方法 各試験区を順次2区制として配置した。1区30個体中より20個体ずつ合計40個体について調査した。

植物体は75°Cで乾燥後乾物重を測定したが、千粒重は風乾重で示した。根は1区あたり0.8m×0.2mの広さ(4株分)について、深さ0.5mまでを2層に等分して根量を調査した。植物体の無機成分は、NはCNコーダー法、P₂O₅は硫酸モリブデン法、K、Ca、Mg、Naは原子吸光法により測定した。

土壌は収穫後の9月7日に、深さ10cm、30cm、50cmの3層より±2.5cmの厚さで採取し、pHは1:2.5けん濁液、電気伝導率(EC)は1:2けん濁液について測定した。

結 果

1. 土壌のECおよびpH

収穫時における土壌のECおよびpHは第1図のとおりである。EC値はF区が0.05~0.10dS/m、NaH区が約0.15dS/m、S23区が0.15~0.30dS/mと低く、そのほかの6区は0.20~0.40dS/mで1群となり、全体をおおむね4群に分けることができる。層別では各区とも中層または下層が最も高くなった。

pHについてみると、S23区、S45区、NaS区の3区では、上、中層のpHはF区とほぼ同程度であるが下

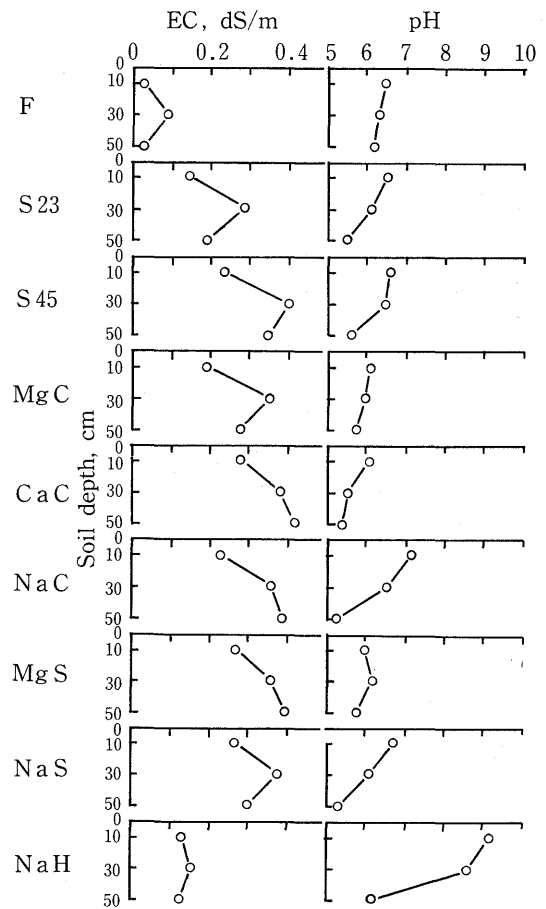


Fig. 1. Electrical conductivity (EC, 1:2) and pH (1:2.5) of the soil suspension in 3 soil depth at harvest time.

層では低くなった。MgC区、CaC区、MgS区は各層ともF区より低かった。NaC区とNaH区は上下層間の差が大きく、特にNaH区では全層とも著しく高かった。

2. 生育、収量ならびに無機成分含量

草丈の伸長経過は第2図にみられるとおりであり、第3回調査すなわち塩水灌水開始後約20日で塩水の影響があらわれ、日数の経過とともに次第に区間差が拡大した。最終的にはやや区間差が減少したが、高濃度の塩水区では草丈が低かった。

茎長をはじめ、各部位別重量、穀粒重などを第2表に示した。茎長はS23区が最も長く、CaC区が最も

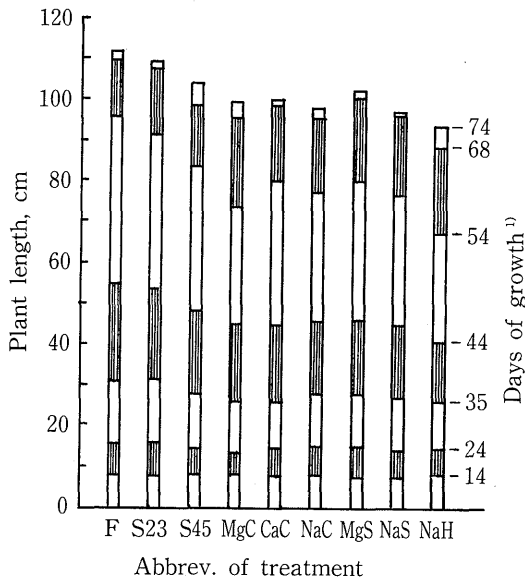


Fig. 2. Plant length of grain sorghum at every 10 days.

1) Days of growth: Started on date of emergence, May 4.

短くなった。

穂長はCaC区が最も長く、MgC区とNaH区が短く、この両群間のみ有意差が認められた。

主茎葉数はF区が最も多く、塩水区では一般に葉数が減少する傾向がみられたが、最も少ないNaS区においても、F区との間の差は0.9葉に過ぎなかった。

出穂期は7月10日前後であり、各区の出穂日数についてみると、NaC区とNaS区がわずかに早く、NaH区はF区より2日遅れた。

茎重と葉重についてみると、塩水区はすべてF区より劣ったが、中でもMgC区、CaC区、NaH区はかなり減少した。特に、茎重はNaH区、葉重はMgC区、CaC区で著しく減少した。

穀粒重(収量)は、F区、S23区、S45区が多収群、CaC区、NaC区、MgS区、NaS区が中間群、MgC区とNaH区が少収群となった。これらの相互間における5%水準の有意差は、多収群と少収群の間のみ認められた。

一株粒数の区間差は穀粒重の場合と類似の傾向を

示したが、NaS区とNaH区が1段階上位の群に移った。このことは逆に、千粒重においてこれらの両区が劣る結果となっており、稔実粒すべてを十分に充実させる能力が不足したものと考えられる。

根重については有意差の計算がなされていないが、等量塩水の2区とCaC区ではF区よりも根重が重く、MgC区、NaC区では軽い傾向がみられた。NaH区は他区に比較して下層の根量が極めて少なかった。

植物体の無機成分含量は第3表のとおりである。含量の区間差が大きいのは主として茎と葉身であって、穀粒における差異は小さい。茎と葉身について区間差の最大倍率をみると、Nでは茎が2.1倍、 P_2O_5 では茎が2.2倍、Kでは葉が1.4倍、Mgでは葉が1.9倍と、おおむね2倍程度であったが、Caでは茎が3.0倍、葉が2.6倍、Naでは葉が4.0倍、茎が3.3であった、この両成分の変動が著しかった。

3. 各処理における生育の特徴

本実験に用いた塩濃度、45me/lの範囲では、淡水区に比べて塩水区の生育・収量の低下は比較的小さかったが、塩の種類によってそれぞれ影響の仕方の特徴が認められた。

(1) 障害の大きい塩類組成

最も障害の多きかったのはMgC区とNaH区である。

MgC区：茎重、葉重、根重が小さく、穂長が短くて一株粒数が最も劣り、一株粒重(収量)はF区の79%に低下した。茎、葉および穀粒のMg含有率が明らかに高く、茎のCa含有率が低いことから、Mgの過剰吸収によるCaの拮抗的吸収障害が生育障害の主因と考えられる。

NaH区：茎長、主茎葉数は淡水区と同程度であるが、茎重が最も小さく、出穂が最も遅れ、穂長、一株粒数、千粒重が低下し、一株粒重はF区の80%となった。土壌のpHが異常に高く、Naの過剰吸収による茎葉のNa含有率の増大が、必須要素の吸収と移行を阻害し、茎と穀粒中のN、 P_2O_5 、KおよびCa含有率を低下させたことが減収の要因と思われる。

(2) 障害が中程度の塩類組成

CaC区、NaC区、MgS区およびNaS区はこのグループに含まれる。いずれもF区に比べて茎重、葉

重が低下し、一株粒重はF区の90%前後となったが、(1)のMgC区およびNaH区よりも生育・収量に及ぼす影響は小さい。これを無機成分からみると、灌漑水に多く含まれる陽イオンに対応する元素が茎葉に多く蓄積するが、穂には過剰に蓄積しないこと、植物体各部のN、P₂O₅およびKの含有率はF区と大差がないことが特徴的であり、これらが障害を軽減する原因となっている。

(3) 障害が小さい塩類組成

共通する3種の塩の等量塩水区、S23区(22.5me/l)とS45区(45.0me/l)の両区は、ともにF区に比べて葉重が明らかに小さいほかは、生育・収量に大差がなかった。この結果は無機成分含有率から説明することができる。すなわち、葉のNaのみ灌漑水の

塩濃度に応じてやや大となったが、他のすべての成分はF区との間に大差がみられなかった。

考 察

塩水の組成が土壌のpHまたはEC値に及ぼす影響は、特にNaH区の場合に顕著であった。それ以外の塩水の各区においては、詳細にみれば多少の高低はみられるけれどもほぼ同程度であった。したがって、塩水区相互間に生育の差異が認められる場合、NaH区ではpHあるいはECの影響が考えられるが、他の塩水区では塩それ自体の成分としての影響によるものと考えられる。

草丈と全長は、高濃度の塩分条件下では著しく低くなる^{3,21)}。本試験では著しい低下はみられなかった

Table 2. Vegetative growth and grain yield of grain sorghum

Abbrev. of treatment	Culm length (cm)	Head length (cm)	No. of leaves on the main culm	No. of days before heading (day)	Dry wt. of culm (g/plant)
F	92.6ab ¹⁾	21.9ab	14.7a	66.5bc	17.1a
S23	95.5a	22.2ab	14.2abc	67.2bc	16.6ab
S45	90.7bc	21.9ab	14.2abc	66.9bc	15.6abc
MgC	90.4bc	20.8b	14.2abc	67.8ab	14.2bc
CaC	87.1c	22.4a	14.0bc	66.9bc	14.1bc
NaC	93.5ab	21.7ab	14.0bc	65.7c	15.2abc
MgS	93.5ab	21.5ab	14.1bc	66.4bc	15.5abc
NaS	92.3ab	22.0ab	13.8c	65.9c	16.7ab
NaH	93.7ab	20.7b	14.6ab	68.8a	13.2c

Dry wt. of leaves (g/plant)	Dry wt. of grains (g/plant)	No. of grains per plant	Wt. of 1,000 seeds (g)	Dry wt. of root (g/plant)	Dry wt. of whole plant (g/plant)
4.5a	25.8a	860a	34.4a	7.1	54.5
3.8b	25.0a	873a	33.0abcd	8.1	53.5
3.7bc	25.7a	884a	33.4abc	8.2	52.9
3.1d	20.4b	706b	33.2abcd	5.9	43.6
3.2cd	22.8ab	812ab	32.5bcd	8.3	48.7
3.4bcd	23.2ab	811ab	33.1abcd	5.4	47.2
3.4bcd	23.7ab	804ab	34.1ab	7.6	50.2
3.7bc	23.8ab	861a	31.9cd	6.3	50.5
3.4bcd	20.7b	742ab	31.6d	6.4	42.7

1) Means within column followed by the same letter are not significantly different at 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

が、MgC区とCaC区では少し低くなった。穂長ではMgC区とNaH区が短くなり、CaC区は長くなった。したがって、植物体の伸長生長に対する影響は、MgC区では抑制されるが、他の成分の場合には一定していない。

主茎葉数はNaS区が約1葉少なく、その他の区では小差であった。出穂日数についてみると、NaH区が約2日遅れた。一般に、主茎葉数と出穂期の遅速との間には平行的な関係が認められる⁸⁾とともに、高濃度の塩水灌漑では出穂期が早くなる傾向がある²¹⁾が、本試験においては主茎葉数と出穂期との間に密接な関係は認められず、またNaH区の出穂期遅延のような例外的な現象もみられた。

茎重と葉重は塩水条件下では減少する^{3,20,21)}が、本試験においてもすべての塩水区で減少した。これら塩水区の中で、特にNaH区が劣り、次いでMgC区と

CaC区も劣った。栄養生長器管としての茎葉の生長量が減少した結果として穀粒重が減少した。しかし、等量塩水区のように、茎重、葉重がかなり減少しても穀粒重が減少しない場合もあり、塩水の組成が重要なことを示している。穀粒重の多少は他の報告²¹⁾と同様に、主として一株粒数の多少によって支配された。

千粒重は一株粒数の多少により変動することが知られており⁹⁾、またそのほかの要因によっても変化する。本試験においては穀粒重との間に一定の関係は認められなかった。

植物体の無機成分含量については、塩水中の特定の塩の濃度が高いと、植物体の成分含量も塩水の成分と同じ成分が高くなるのが普通である¹²⁾が、Ca, Mg, Naの3者の間では吸収阻害などの関係から逆に低下する場合も認められている¹⁷⁾。本試験におい

Table 3. Mineral composition of sorghum plant at the harvest time (% , dry wt. basis)

Abbrev. of treatment	N			P ₂ O ₅			K		
	culms	leaves	grains	culms	leaves	grains	culms	leaves	grains
F	0.72	1.31	1.42	0.35	0.62	0.91	2.38	1.46	0.52
S23	0.55	1.32	1.23	0.22	0.50	0.94	2.43	1.34	0.47
S45	0.73	1.37	1.31	0.34	0.51	0.91	2.40	1.40	0.46
MgC	0.72	1.32	1.51	0.43	0.73	1.13	2.30	1.22	0.50
CaC	1.00	1.42	1.44	0.48	0.60	1.08	2.47	1.33	0.44
NaC	0.73	1.39	1.45	0.36	0.67	1.45	2.67	1.08	0.55
MgS	0.78	1.77	1.33	0.43	0.76	1.19	2.58	1.08	0.47
NaS	0.69	1.33	1.27	0.43	0.54	1.11	2.37	1.36	0.46
NaH	0.48	1.40	1.21	0.25	0.60	0.86	2.24	1.09	0.39

Abbrev. of treatment	Ca			Mg			Na		
	culms	leaves	grains	culms	leaves	grains	culms	leaves	grains
F	0.12	0.57	0.003	0.42	1.15	0.23	0.09	0.10	0.23
S23	0.12	0.69	0.003	0.42	1.20	0.21	0.08	0.17	0.23
S45	0.13	0.67	0.003	0.48	1.26	0.21	0.08	0.23	0.21
MaC	0.09	0.63	0.003	0.55	1.74	0.25	0.11	0.17	0.20
CaC	0.24	1.36	0.003	0.34	0.91	0.20	0.08	0.15	0.19
NaC	0.13	0.71	0.003	0.44	1.20	0.27	0.16	0.38	0.14
MgS	0.08	0.53	0.002	0.54	1.68	0.23	0.09	0.14	0.13
NaS	0.10	0.53	0.003	0.42	1.24	0.22	0.10	0.38	0.14
NaH	0.10	0.54	0.002	0.42	1.25	0.19	0.26	0.40	0.12

て、MgC区およびNaH区の生育・収量が低下した理由は、植物体の無機成分含量の上昇あるいは低下が影響しているとみられる。

総合的にみて、特定の塩の障害に関しては、トマトとタバコで HCO_3^- イオンの害が大きいことは既に知られており¹⁾、グレイソルガムの場合にも同様の結果となった。グレイソルガムの生育に適するpHの範囲は5.5から8.5とされており²⁾、本試験においてNaH区のpHが著しく高くなったことも、イオンそれ自体の障害を強めたものと考えられる。また、S45区が他の塩水区と同濃度でありながら、植物体重は減少しても穀粒重の低下が小さいことから、特定の陽イオンの濃度が高い場合に生育障害を引き起し易いことが明らかである。

摘 要

1. 砂丘砂土を培地として、組成の異なる塩水によりグレイソルガムを栽培し、生育・収量に及ぼす影響を明らかにした。塩水の種類は、塩化カルシウム、硫酸マグネシウム、炭酸水素ナトリウムの3塩を等量に溶解した合計22.5 me/lの等量低塩水、等量低塩水の2倍濃度の塩水、等量低塩水に塩化マグネシウム、塩化カルシウム、塩化ナトリウム、硫酸マグネシウム、硫酸ナトリウム、炭酸水素ナトリウムのいずれかを22.5 me/lずつ加えた塩水とし、出芽2週間後より灌水した。
2. 収穫時における土壌けん濁液の電気伝導率は炭酸水素ナトリウム区を除いた塩水区で高く、pHは炭酸水素ナトリウム区のみ著しく高くなった。
3. 葉重は全塩水区で低下したが、特に塩化マグネシウム区、塩化カルシウム区、炭酸水素ナトリウム区の減少が大きかった。茎重の低下もこの3区が著しかった。
4. 穀粒重は、等量塩水区は淡水区と同収量であり、塩化マグネシウム区と炭酸水素ナトリウム区は減少した。その減少の主原因は一株粒数の減少にある。
5. 植物体の無機成分含量は、塩水中の特定の塩の濃度が高いとき、その塩の成分が高くなる傾向がある。Ca, Mg, Naでは逆に低下する場合も認められた。

謝 辞

本研究の計画にあたり、鳥取大学名誉教授佐藤一郎博士にご指導をいただいた。ここに深く感謝の意を表します。また、論文の取りまとめにあたりご校閲をいただいた、鳥取大学教授稲田勝美博士に対して厚く感謝の意を表します。

引 用 文 献

1. AYERS, R.S. and D.W. WESTCOT. 1976. Water quality for agriculture. FAO, Rome. p. 64-70.
2. DOGGETT, H. 1988. Sorghum. Longman, England. p. 261.
3. FRANCOIR, L.E., T. DONOVAN, and E.V. MASS. 1984. Salinity effects on seed yield, growth, and germination of grain sorghum. Agron. J. 76: 741-744.
4. GIRDHAR, I.K. and J.S.P. YADAV. 1982. Effect of magnesium-rich water on soil properties, yield, and chemical composition of wheat. Soil Sci. 134: 348-353.
5. HAYWARD, H.E. 1956. Plant growth under saline conditions. In: Utilization of saline water, Reviews of research. UNESCO. Paris. p. 37-71.
6. KINIRY, J.R. 1988. Kernel weight increase in response to decreased kernel number in sorghum. Agron. J. 80: 221-226.
7. LAUTER, D.J. and D.W. MUNNS. 1986. Salt resistance of chickpea genotypes in solutions salinized with NaCl or Na_2SO_4 . Plant Soil. 95: 271-279.
8. 遼寧省農業科学院主編. 1988. 中国高粱栽培学. 農業出版社 北京 p. 36.
9. MOZAFAR, A. and GOODIN, J.R. 1986. Salt tolerance of two differently drought-tolerant wheat genotypes during germination and early seedling growth. Plant Soil 96: 303-316.
10. NUKAYA, A., M. MASUI and A. ISHIDA. 1982. Salt tolerance of green soybeans as affected by various salinities in sand culture. J. Japan.

- Hort. Sci. 50: 487-496.
11. ———, ———, ———. 1982. Salt tolerance of green soybeans as affected by various salinities in soil culture. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 51: 62-69.
 12. ———, ———, ———. 1983. Salt tolerance of muskmelons as affected by various salinities in nutrient solution culture. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 52: 167-173.
 13. 大沢孝也. 1963. 蔬菜の耐塩性に関する浸透圧の作用とイオンの特異的作用. 園学雑 32: 211-223.
 14. 下瀬 昇. 1963. 作物の塩害生理に関する研究 (第1報) 塩化ナトリウム, 硫酸ナトリウムの等浸透圧溶液が水稻生育および無機成分吸収におよぼす影響. 土肥誌 34: 107-110.
 15. ———. 1964. 作物の塩害生理に関する研究 (第4報) トマトとタバコの耐塩性について. 土肥誌 35: 143-147.
 16. ———. 1968. 作物の塩害生理に関する研究 (第7報) タマネギ, セルリー, ホウレン草, キュウリ, インゲンの耐塩性について. 土肥誌 39: 548-553.
 17. ———. 1968. 作物の塩害生理に関する研究 (第8報) トウモロコシ, ルーサン, イタリアンライグラスの耐塩性について. 土肥誌 39: 554-557.
 18. ———. 1972. 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. 岡大農・学術報告 No. 40, 57-68.
 19. SOUFI, S.M. and A. WALLACE. 1982. Sodium relations in desert plants. 8. Differential effects of NaCl and Na₂SO₄ on growth and composition of *Atriplex hymenelytra* (desert holly). Soil Sci. 134: 69-70.
 20. 山根昌勝・佐藤一郎. 1983. 砂土における塩水点滴かんがいによる作物栽培. 鳥取大砂丘研報 No. 22: 9-23.
 21. ———・———. 1986. 砂土におけるグレイソルガムの塩水栽培 (第1報) 塩水濃度の影響. 鳥取大砂丘研報 No. 25: 1-6.