

葉菜栽培における塩水利用に関する研究

— 特に ホウレンソウに対する Na の効果について —

Studies on Growing of Leaf Vegetable Crops by Using Saline Water

— Effects of Na Application on Spinach —

留 森 寿 士

1998

目 次

結 言	1
第1章 葉菜類への希釈海水の灌水効果	4
第1節 アブラナ科葉菜類	4
材料および方法	4
結 果	5
考 察	5
摘 要	7
第2節 アカザ科葉菜類	8
材料および方法	8
1. ホウレンソウ	8
2. フダンソウ	9
3. オカヒジキ	9
結 果	10
1. ホウレンソウ	10
2. フダンソウ	10
3. オカヒジキ	10

考 察	14
1. ホウレンソウ	14
2. フダンソウ	14
3. オカヒジキ	15
摘 要	15
第2章 ホウレンソウにおける塩水灌水の影響	16
第1節 灌漑水の塩濃度と葉内カチオン含量との関係	16
材料および方法	17
結 果	17
考 察	20
摘 要	24
第2節 生長解析	25
材料および方法	25
結 果	26
1. 地上部・地下部重, 葉面積, 水ポテンシャルおよび気孔数	26
2. 相対生長率(RGR)	28
考 察	28
1. 地上部・地下部重, 葉面積, 水ポテンシャルおよび気孔数	28

2. 相対生長率(RGR)	30
摘 要	30
第3節 シュウ酸溶液の葉面散布	31
材料および方法	32
結 果	32
考 察	34
摘 要	34
第4節 塩水の灌水が光合成速度および呼吸速度におよぼす影響	35
材料および方法	35
結 果	36
考 察	36
摘 要	38
第5節 根の呼吸速度	38
材料および方法	39
結 果	39
考 察	39
摘 要	41

第6節 灌漑水中の塩類の違いが生育量および葉内カチオン含量におよぼす影響	42
材料および方法	42
結 果	43
考 察	43
摘 要	49
第7節 K供給量の違いと NaCl 溶液灌水の効果	49
材料および方法	50
1. 肥料中のK/Na 比率と生育量との関係	50
2. K施肥の多少と生育量および光合成速度との関係	51
結 果	51
1. 肥料中のK/Na と生育量との関係	51
2. K施肥の多少と生育量および光合成速度との関係	53
考 察	61
1. 肥料中のK/Na と生育量との関係	61
2. K施肥の多少と生育量および光合成速度との関係	62
摘 要	66
第3章 塩水の灌水量の多少がホウレンソウの生育におよぼす影響	68
材料および方法	68

結 果	70
1. 生体重	70
2. 粗要水量	70
3. 葉内K, Na 含量と生育量との関係	73
考 察	73
1. 生体重	73
2. 粗要水量	75
3. 葉内K, Na 含量と生育量との関係	76
摘 要	77
第4章 ホウレンソウの発芽・出芽におよぼす塩水の影響	78
材料および方法	79
1. 発芽試験	79
2. 出芽試験	79
結 果	82
1. 発芽試験	82
2. 出芽試験	86
考 察	86
1. 発芽試験	86
2. 出芽試験	89

摘 要	90
第5章 希釈海水の灌水による土壌への塩類集積	92
材料および方法	93
結 果	95
1. 電気伝導率(EC)	95
2. 水素イオン濃度(pH)	99
考 察	99
1. 電気伝導率(EC)	99
2. 水素イオン濃度(pH)	101
摘 要	102
総合考察	103
摘 要	108
謝 辞	114
引用文献	115
SUMMARY	119

緒 言

陸上植物を対象として行われる農業では、土壌中の塩類(特に Na 塩)濃度が高いことは一般にマイナス要因としてみられる。そのため、作物の生育におよぼす塩類の影響が研究されており、野菜類に限っても、果菜類ではトマト(大沢, 1960; 大沢, 1961c; 下瀬, 1964), メロン(Shannon・Francois, 1978; Nukaya ら, 1980a; Nukaya ら, 1980b; Meiri ら, 1981), キュウリ(大沢, 1960; 下瀬, 1968), トウガラシ(大沢, 1960), ピーマン(Bernstein・Francois, 1973), ペポカボチャ(Maas ら, 1972), イチゴ(大沢, 1960)などについての研究がなされている。葉菜類ではホウレンソウ(大沢, 1961a; 下瀬, 1968; Coughlan・WynJones, 1980), セルリー(大沢, 1961a; 大沢, 1961c; 下瀬, 1968), キャベツ(大沢, 1961a; 大沢, 1961c), ハクサイ(大沢, 1961a; 大沢, 1961c), タイナ(大沢, 1961a), レタス(大沢, 1961a), ミツバ(大沢, 1961a)などについて研究され、根菜類でもダイコン(大沢, 1961b; 大沢, 1961c; Hoffman・Rawlins, 1971), カブ(大沢, 1961b), ニンジン(大沢, 1961b)などがある。しかし、これらの研究の多くは塩類をマイナス要因としてとらえた耐塩性という観点から行われている。

一方、河口や海浜の湿地帯や塩性沼沢地には種々の好塩性植物が自生している。これらの植物では、塩類(特に Na)に対する生育反応が研究され(安藤 ら, 1979; Soufi・Wallace, 1982), Na に対する生育反応が植物の光合成型と関係があることが指摘された。Brownell・Crossland(1972)は、ハマアカザ属の植物には Na の要求型と非要求型があり、Na 要求型は C₄ 型の炭酸固定経路を持つものに限られることを見出した。しかし、ハマアカザ属の *Atriplex*

hastata は C_3 型であるが、NaCl の施用で生育が促進され (Dunn・Neales, 1993), さらに塩生植物に分類されるアッケシソウ, ホソバノハマアカザ, ツルナなども C_3 型である。また, アカザ科の作物であるサトウダイコンは C_3 型であるが Na に反応することから, 北ヨーロッパ地方では NaNO_3 を主成分とするチリ硝石が昔から施用されている。しかし, 多くの作物については, Na の施用効果は明らかにされていない。

また, 塩類を含んだ灌漑水を継続して灌水すると, 土壌中に塩類が集積する。塩類土壌に含まれる主要カチオンは Na, Ca および Mg であり, 大部分が塩化物あるいは硫酸塩, 硝酸塩として存在する。塩類土壌はタイプにより塩類組成は異なるが, その中で土壌の浸透圧を高め, 作物の吸水を妨げるのは NaCl などの中性の Na 塩である。また, Na 塩は土壌の粘土粒子に吸着されると, 土壌の物理性を作物にとって好ましくない状態にする傾向がある。また, Na を多く含む土壌は雨水や灌漑水によって Na が洗い流された後に水素イオンが入り酸性化する (高橋, 1987)。これらの土壌に対する Na 塩の作用が乾燥地域において農地を荒廃する一因である。このため, 灌漑水に含まれる塩類の量は少ない方が良くとされている。

塩類集積を回避する方法として, 乾燥地では古くから, 畦間灌漑, 水盤灌漑, ボーダー灌漑その他の一単位面積あたりの灌水量を多量に必要とする灌漑方法がとられてきた。これらの灌漑法は多量の灌漑水を用いて灌漑強度を大きくすることにより, 集積塩類の洗脱効果が期待でき, その効果は塩類土壌を用いたカラム実験で, 灌漑間隔を広げて灌水量を大きくすることによって洗脱量が増大することにより確認されている (Dahab ら, 1988)。逆に, 塩類集積を防止するために, 灌水量をできるだけ少なくすることにより, 土壌中に入る塩類の絶対量を減らせる点滴灌漑なども行われている。また, 飼料作物などを栽培することにより, 土壌中の塩類を

取り除くことも行われている(Iwasaki, 1987).

乾燥地で利用できる灌漑水は、多くの場合塩類を含み(遠山, 1980 ; 山内, 1991), 作物の生育を制限したり, 農地の荒廃を引き起こす. このため, 灌漑土壌の 1/3 は塩類土壌化していると推定され, 作物の生育が阻害されているという. また, 世界の塩類土壌は 95, 500 万 ha に達すると推定されている(Szabolcs, 1986). この面積は地球上の農業利用可能陸地面積の約 10% に相当し, 土壌と光が豊富にありながら, 作物の栽培ができない土地がかなりの面積をしめる. また, 乾燥地域では, 良質の灌漑水が得られないことなどにより, 野菜栽培に数多くの制限がある. 特に, 新鮮な葉菜類は輸送が困難なことや貯蔵性が悪いことなどから, 貴重であり, 現地で生産が望まれている. そこで, 灌漑水中の塩類を有効に利用した葉菜類の栽培を目的に, 以下の研究を行った.

第 1 章では, アブラナ科とアカザ科の葉菜類を対象にして, 希釈海水の灌水が生育におよぼす影響を調べた. 第 2 章では希釈海水の灌水によって生育が促進されたアカザ科葉菜類のうち, 世界中で食用に供されるハウレンソウについて, 生育促進機構の解明を試みた. 第 3 章では塩水灌水時の土壌水分の影響を調べた. 次に, 希釈海水を灌水して作物を栽培する場合の問題点として, 第 4 章では発芽および出芽時の耐塩性について調査した. また, 第 5 章では土壌の塩類集積および除塩について検討を行った.

第1章 葉菜類への希釈海水の灌水効果

第1節 アブラナ科葉菜類

一般に、作物にとっては害作用が注目される Na 塩であるが、施用によって増収が認められている作物があり(今津, 1953; 大沢, 1961a; Bernstein ら, 1974; 松原 ら, 1985), サトウダイコン類のように肥料として Na 塩を施用している例もある(高橋, 1987). そこで、食卓に供されることが多いアブラナ科葉菜類に希釈海水を灌水して、その生育反応を調査した.

材料および方法

1990年4月下旬から5月下旬にかけて、鳥取大学乾燥地研究センター砂地圃場のパイプハウス内において、コマツナ(*Brassica rapa* L. ‘おそめ’, タキイ種苗), ベンリナ(*Brassica rapa* L. × *Brassica campestris* L., タキイ種苗), チンゲンサイ(*Brassica campestris* L. ‘チンゲンサイ’, タキイ種苗), パクチョイ(*Brassica campestris* L. ‘パクチョイ’ タキイ種苗)の4種のアブラナ科葉菜類を供試し、栽培実験を行った.

施肥は元肥として、活性バーク(2000kg/10a), 苦土石灰(120kg/10a), ミネラルG(40kg/10a)および化成肥料(N:P₂O₅:K₂O=28:26:27.2kg/10a)を施用した.

灌水には、淡水{全塩類濃度(以下 TDS) 0ppm}と35倍希釈海水{TDS 1000ppm(Na=約13.4mmol/l)}および17.5倍希釈海水{TDS 2000ppm(Na=約26.8mmol/l)}の3種の灌漑水を用

いた。灌水量は、生育状況、気象状況から判断して4葉菜類を同一条件とした。

4月25日に播種し、収穫日に相当するそれぞれ、コマツナは播種27日後、パクチョイは32日後、ベンリナとチンゲンサイは34日後に調査した。

調査は、各区画ごとに中庸10株を選出し、地上部生体重を測定した。乾物重については地上部生体重を測定した個体を直ちに乾燥機に入れ、80℃で3日間乾燥した後測定した。

結 果

灌水に用いた希釈海水の塩類濃度とアブラナ科葉菜類の地上部生体重との関係を調査した結果は第1表のとおりである。コマツナ、ベンリナ、チンゲンサイおよびパクチョイとも0ppm区が最も生育が良好で、塩類濃度が高くなるにつれて小さくなった。しかし、生育期間中、黄化や萎れなどの症状が現れることはなかった。0ppm区に対する生体重の比率は、1000ppm区ではそれぞれ、コマツナが74%、ベンリナ74%、チンゲンサイ88%、パクチョイ68%となり、TDS1000ppmの塩類濃度でも明らかに生育が抑制された。2000ppm区ではさらに抑制の程度が強くなり、地上部生体重は、0ppm区に対してコマツナ40%、ベンリナ54%、チンゲンサイ58%、パクチョイでは36%であった。地上部乾物重も第2表のとおりで、0ppm区が最も大きく、灌漑水中の塩類濃度が高くなるにしたがって小さくなった。1000ppm区および2000ppm区ともに、チンゲンサイの生育阻害割合が最も小さく、一方パクチョイの生育阻害割合が最も大きかった。

考 察

供試した葉菜類では、耐塩性の強弱に大きな違いはないが、チンゲンサイの耐塩性がやや強

第1表 灌水に用いた希釈海水の塩類濃度とアブラナ科葉菜の地上部生体重との関係

	塩類濃度(ppm)			
	0	1000	2000	
コマツナ	33 ± 5.1	25 ± 0.9	13 ± 2.8	(g/株)
ペンリナ	83 ± 5.5	62 ± 4.1	45 ± 7.5	
チンゲンサイ	95 ± 4.6	84 ± 7.4	55 ± 3.9	
パクチョイ	58 ± 3.6	40 ± 3.7	21 ± 1.9	

注)1990年4月25日播種.

調査:コマツナ;27日, ペンリナ;34日, チンゲンサイ;34日, パクチョイ;32日
各値は10個体の平均値, ±以下は標準誤差を示す.

第2表 灌水に用いた希釈海水の塩類濃度とアブラナ科葉菜の地上部乾物重との関係

	塩類濃度(ppm)			
	0	1000	2000	
コマツナ	2.9 ± 0.36	2.4 ± 0.14	1.4 ± 0.24	(g/株)
ペンリナ	7.3 ± 0.34	5.4 ± 0.21	4.3 ± 0.63	
チンゲンサイ	6.5 ± 0.28	6.0 ± 0.31	4.5 ± 0.16	
パクチョイ	4.5 ± 0.13	3.3 ± 0.24	2.0 ± 0.18	

注)1990年4月25日播種.

調査:コマツナ;27日, ペンリナ;34日, チンゲンサイ;34日, パクチョイ;32日
各値は10個体の平均値, ±以下は標準誤差を示す.

いと考えられる。一部のアブラナ科葉菜のカンラン、ハクサイなどでは、1000ppm NaCl 塩水の灌漑で生育が促進されたという報告もあるが(大沢, 1961a), 本実験で供試したアブラナ科葉菜類はすべて希釈海水の灌漑により生育が抑制された。

高濃度塩による作物の生育障害の要因について但野(1983)は次のように分類している。①培地の浸透圧の上昇による水吸収障害, ②体内の塩含有率が高くなることに起因する生育障害, ③高濃度の塩を構成する元素による特異的生育障害, ④培地の高濃度塩が他の必須元素の吸収を抑制することによる間接的な生育障害である。アブラナ属 6 種で耐塩性を比較した報告(He・Cramer, 1992)では、地上部の Ca 含量が高いとき耐塩性が高くなるが、①, ②または④が Ca 含量を低下し、このことが生育を阻害していると考えられる。

供試した葉菜類のいずれも、塩類濃度が増すにつれて地上部重が減少した。水質判断のためのガイドライン(Ayers・Westcot, 1976)によれば、1000ppm および 2000ppm という塩類濃度の灌漑水は、若干または中程度に使用制限がある水質となっており、塩濃度障害を避けるために作物の選択、あるいは特別な管理が必要である。すなわち、1000ppm 以上の塩類濃度は、ここで供試した葉菜類の生育を抑制する濃度であった。

摘 要

アブラナ科の 4 種の葉菜類(コマツナ, ベンリナ, チンゲンサイおよびパクチョイ)に希釈海水を灌漑して、その地上部重におよぼす影響を調べた。その結果、TDS 1000ppm 程度の塩類を含む希釈海水の灌漑により 4 葉菜類とも生体重および乾物重が減少し、希釈海水の灌漑が生育を明らかに抑制した。

第 2 節 アカザ科葉菜類

アカザ科にはアッケシソウ、ハママツナ、ハマアカザなどの塩生植物の存在が知られ、塩水処理を行った研究がなされている(下瀬ら, 1987; 杉本ら, 1988; 上田ら, 1990)。さらに、アカザ科にはサトウダイコン、フダンソウ、ホウレンソウ、オカヒジキも含まれる。サトウダイコンはNaの添加で生育が促進されることが知られ(Marschnerら, 1981)、ホウレンソウでは低濃度のNaCl処理で生育が促進したとの報告もある(森下ら, 1984)。フダンソウは生育適温は15~20℃であるが、耐暑性は強く、乾燥や寒さにも耐え(山田, 1988)、サトウダイコンと同種で、塩水による生育促進効果が期待できる。さらにオカヒジキも生育適温は22~35℃(織田, 1988)であるC₄型の海浜植物で、耐塩性が強いと期待できる。これらのアカザ科葉菜類に希釈海水を灌水して生育におよぼす影響を調べた。

材料および方法

1. ホウレンソウ

実験は1993年4月から5月にかけて行った。ホウレンソウ(*Spinacia oleracea* L. ‘禹城’, ‘ミンスターランド’ および ‘次郎丸’) 3品種を供試し、種子は播種前に水道水で12時間流水処理後、15℃下で24時間催芽処理した。4月19日に鳥取大学乾燥地研究センター実験圃場のビニルハウス内に設けた砂丘砂土壌の試験区に播種し、40日間栽培した。

灌漑水には淡水(TDS 0ppm), 35倍(TDS 1000ppm)および17.5倍希釈海水(TDS 2000ppm)の塩水を用いた。施肥は元肥として、活性バーク(2000kg/10a), 苦土石灰(120kg/10a), ミネラルG(40kg/10a)および化成肥料(N:P₂O₅:K₂O=28:26:27.2kg/10a)を施した。

調査は、各区画ごとに中庸10株を選出し、地上部生体重を測定した。乾物重は地上部生体重を測定した個体を直ちに乾燥機に入れ、80℃で3日間乾燥した後測定した。

2. フダンソウ

4品種のフダンソウ(*Beta vulgaris* L. ‘白茎西洋大葉ふだん菜’, ‘平茎西洋大葉ふだん菜’, ‘白茎ふだん菜’および‘うまい菜’)を供試した。鳥取大学乾燥地研究センター実験圃場のビニルハウス内に設けた試験区に、1993年5月13日に播種し、36日間栽培した。灌漑水には淡水(TDS 0ppm), 35倍(TDS 1000ppm)および17.5倍希釈海水(TDS 2000ppm)の塩水を用いた。施肥は元肥として、活性バーク(2000kg/10a), 苦土石灰(120kg/10a), ミネラルG(40kg/10a)および化成肥料(N:P₂O₅:K₂O=28:26:27.2kg/10a)を施用した。

調査は、各区画ごとに中庸5株を選出し、地上部生体重を測定した。乾物重は地上部生体重を測定した個体を直ちに乾燥機に入れ、80℃で3日間乾燥した後測定した。

3. オカヒジキ

オカヒジキ(*Salsola komarovi* Iljin)は、鳥取大学乾燥地研究センター実験圃場のビニルハウス内に設けた試験区に1993年5月13日に播種し、40日間栽培した。灌漑水には淡水(TDS 0ppm), 35倍(TDS 1000ppm)および17.5倍希釈海水(TDS 2000ppm)の塩水を用いた。施肥は元肥として、活性バーク(2000kg/10a), 苦土石灰(120kg/10a), ミネラルG(40kg/10a)および化成肥料(N:P₂O₅:K₂O=28:26:27.2kg/10a)を施用した。

調査は、各区画ごとに中庸 5 株を選出し、地上部生体重を測定した。乾物重は地上部生体重を測定した個体を直ちに乾燥機に入れ、80℃で 3 日間乾燥した後測定した。

結 果

1. ホウレンソウ

灌水に用いた希釈海水の塩類濃度とホウレンソウの地上部生体重との関係について第 3 表に示す。生体重は 3 品種とも希釈海水灌水區で 0ppm 区より大きくなった。‘禹城’の生体重は 0ppm 区に対し、1000ppm 区で 124%、2000ppm 区で 114%であった。‘ミンスターランド’では 1000ppm 区、2000ppm 区ともに同じく 117%に増加し、‘次郎丸’では 1000ppm 区で 140%、2000ppm 区で 125%となった。1000ppm 区と 2000ppm 区を比較すると、‘ミンスターランド’では同程度、‘禹城’および‘次郎丸’ではそれぞれ 1000ppm 区の方が生育がまさった。

地上部乾物重の結果は第 4 表に示す。3 品種とも乾物重は 1000ppm 区で最も重く、1000ppm 希釈海水の灌水で生育が促進された。

2. フダンソウ

灌水に用いた希釈海水の塩類濃度とフダンソウの地上部生体重との関係を第 5 表に示す。4 品種とも 1000ppm 区で、0ppm 区よりも大きくなる傾向が認められた。‘うまい菜’ではさらに 2000ppm 区でも 0ppm 区よりも生育量がまさった。

地上部乾物重は第 6 表に示すように、希釈海水の灌水による増加は認められなかった。

3. オカヒジキ

灌水に用いた希釈海水の塩類濃度とオカヒジキの地上部重との関係を第 7 表に示す。オカヒ

第3表 灌水に用いた希釈海水の塩類濃度とハウレンソウの地上部生体重との関係

品種	塩類濃度(ppm)		
	0	1000	2000
禹城	21 ± 1.8	26 ± 0.4	24 ± 4.0 (g/株)
ミスターラント*	23 ± 2.1	27 ± 1.8	27 ± 2.0
次郎丸	20 ± 1.9	28 ± 2.4	25 ± 2.5

注) 1993年4月19日播種. 調査は播種40日後に行った.
各値は10個体の平均値, ±以下は標準誤差を示す.

第4表 灌水に用いた希釈海水の塩類濃度とハウレンソウの地上部乾物重との関係

品種	塩類濃度(ppm)		
	0	1000	2000
禹城	2.9 ± 0.29	3.3 ± 0.10	2.9 ± 0.13 (g/株)
ミスターラント*	3.1 ± 0.26	3.6 ± 0.11	3.0 ± 0.18
次郎丸	2.8 ± 0.19	3.5 ± 0.23	3.1 ± 0.25

注) 1993年4月19日播種. 調査は播種40日後に行った.
各値は10個体の平均値, ±以下は標準誤差を示す.

第5表 灌水に用いた希釈海水の塩類濃度とフダンソウの地上部生体重との関係

品種	塩類濃度(ppm)		
	0	1000	2000
白茎西洋	32 ± 3.5	33 ± 3.0	29 ± 1.9 (g/株)
平茎西洋	24 ± 2.1	29 ± 2.2	24 ± 2.2
白茎	26 ± 2.1	31 ± 3.6	25 ± 2.8
うまい菜	21 ± 1.4	28 ± 4.2	27 ± 1.9

注) 1993年5月13日播種. 調査は播種36日後に行った.
各値は5個体の平均値, ±以下は標準誤差を示す.

第6表 灌水に用いた希釈海水の塩類濃度とフダンソウの地上部乾物重との関係

品種	塩類濃度(ppm)		
	0	1000	2000
白茎西洋	2.8 ± 0.24	2.7 ± 0.21	2.5 ± 0.15 (g/株)
平茎西洋	2.3 ± 0.18	2.5 ± 0.15	2.2 ± 0.18
白茎	2.7 ± 0.19	2.7 ± 0.30	2.4 ± 0.21
うまい菜	2.1 ± 0.14	2.3 ± 0.30	2.3 ± 0.14

注) 1993年5月13日播種. 調査は播種36日後に行った.
各値は5個体の平均値, ±以下は標準誤差を示す.

第7表 灌水に用いた希釈海水の塩類濃度とオカヒジキの地上部重との関係

	塩類濃度(ppm)			
	0	1000	2000	
生体重	34 ± 3.0	36 ± 1.9	39 ± 2.1	(g/株)
乾物重	2.6 ± 0.24	2.6 ± 0.16	2.8 ± 0.15	

^{注)}1993年5月13日播種. 調査は播種40日後に行った.
各値は5個体の平均値, ±以下は標準誤差を示す.

ジキは 2000ppm 区で最も生育が促進され、生体重では対 0ppm 区比 115%、乾物重では 108%とそれぞれ増加した。

考 察

1. ホウレンソウ

本実験で使用した希釈海水の電気伝導率(EC)値は淡水の 0.1mS/cmに対し、1000ppm で 1.5mS/cm、2000ppm で 2.6 mS/cmであった。この値を Ayers・Westcot(1976)が作成したガイドラインにあてはめると、1000ppm 希釈海水の EC 値はホウレンソウに減収をもたらさない値(1.3mS/cm)よりも大きく、2000ppm 希釈海水の EC 値は 10%の減収をまねく値(2.2 mS/cm)よりも大きい。しかし、本実験ではホウレンソウの生育は阻害されずに促進されており、希釈海水の灌水効果が認められた。ホウレンソウの収量半減 NaCl 濃度は 8000ppm で、葉菜類の中では比較的耐塩性が強く(大沢, 1961c)、生育段階による差は小さい(大沢, 1966)。しかし、希釈海水には NaCl の他に Mg 塩, K 塩, Ca 塩を含み、これらの塩により Na の吸収が抑制されるため(Matoh ら, 1986)、同じ浸透圧の NaCl 単塩の塩水よりも、植物の生長に対して害が少ないためと考えられる。また、供試したホウレンソウ品種は、‘禹城’が東洋種、‘ミンスターランド’が西洋種、‘次郎丸’が東洋種×西洋種で、来歴に関係なく、希釈海水の灌水で生育量が増すことが示唆された。

2. フダンソウ

フダンソウは Na よりも Cl の害作用を受け(大沢, 1963)、生育初期の耐塩性が後期の耐塩性よりも弱いといわれている(大沢, 1966)が、本実験で用いた塩濃度の範囲では、萎凋などの生育障害も現れず、順調に生育した。地上部乾物重に希釈海水の灌水による増加が認められない

ことより、地上部生体重の増加は含水率の増加によるものであった。

フダンソウと同種のサトウダイコンでは、培養液に 50mM NaCl を添加することで地上部乾物重が大きくなり (Marschner ら, 1981), フダンソウでも K 供給量が不足する場合には, Na を加えることで生育が促進される (高橋 ら, 1997). しかし, 十分な K を施用した本実験では, TDS 1000ppm 希釈海水の灌水は, 含水率を増して生体重を大きくする作用はあるが, 乾物生産には影響がなかった。

3. オカヒジキ

オカヒジキは海浜植物で, Na 吸収型植物と考えられている。植物体の Na 含量が高く, 茎葉 100g 中に 60 mg 含まれている (香川, 1986) といわれ, このため古くはこれを焼いて炭酸ソーダ製造の原料としていた (織田, 1988)。このことならびに, TDS 2000ppm 希釈海水の灌水で生育が促進した本実験結果とあわせて考えると, オカヒジキは Na の供給が生育を促進する好塩生植物であると考えられる。

摘 要

アカザ科葉菜類 3 種 (ホウレンソウ, フダンソウ, オカヒジキ) に希釈海水を灌水して生育におよぼす影響を調べた。その結果, ホウレンソウでは TDS 1000ppm 希釈海水を灌水することにより地上部重が大きくなり, 希釈海水灌水の生育促進効果が認められた。フダンソウでは, 1000ppm 希釈海水灌水で地上部生体重が大きくなる傾向があり, うち 1 品種では 2000ppm 希釈海水灌水でも大きくなったが, 地上部乾物重には差が認められなかった。オカヒジキは 2000ppm 希釈海水灌水で地上部重が大きくなり, 希釈海水の灌水が生育を促進した。

第2章 ホウレンソウにおける塩水灌水の影響

第1章で、TDS 1000ppm程度の希釈海水を灌水することでアカザ科葉菜類の生育を促進するという結果を得た。しかし、これらの葉菜のうち、オカヒジキは日本でわずかに栽培されるだけである(織田, 1988)。フダンソウは耐暑性も強く、盛夏の栽培にも耐えるが、国内では夏場のホウレンソウの代用品として小面積で栽培されているにすぎない(山田, 1988)。さらに、第1章の実験で、フダンソウは希釈海水を灌水することで地上部生体重は増加したが、地上部乾物重の増加は認められなかった。これらのことを考慮して、フダンソウとオカヒジキについては以後の検討を略した。

一方、ホウレンソウは世界中で食され、品種の分化も多い。また、ホウレンソウは元来耐暑性が弱い葉菜であるが、今日では耐暑性の強い品種も作られている。さらにホウレンソウは原産地がペルシャ地方で、耐干性は強い(農林水産省熱帯農業研究センター, 1989)。これらの理由から、ホウレンソウに焦点をあて、塩水灌水が生育におよぼす影響を調べた。

第1節 灌漑水の塩濃度と葉内カチオン含量との関係

灌漑水中の塩類濃度とホウレンソウの生育量との関係を調べるために、13品種のホウレンソウを供試して、希釈海水を灌水して栽培した。また、吸収カチオンと生育量との関係を明らか

にするために、葉内カチオン含量を測定した。

材料および方法

実験は1989年8月から9月にかけて、鳥取大学乾燥地研究センター実験圃場のビニルハウ
ス内に設けた試験区で実施した。耐暑性の強いハウレンソウ13品種(第8表)を供試し、種子は
播種前に水道水で12時間流水処理後、15℃下で24時間催芽処理した。8月7日にビニルハウ
スに寒冷紗(遮光率39%)を重ね張りした遮光条件下に播種し、45日間栽培した。

灌漑水には淡水(TDS 0ppm)、35倍希釈海水(TDS 1000ppm)、17.5倍希釈海水(TDS 2000ppm)
および7倍希釈海水(TDS 5000ppm)を用いた。施肥は元肥として、活性バーク(2000kg/10a)、苦
土石灰(120kg/10a)、ミネラルG(40kg/10a)および化成肥料(N:P₂O₅:K₂O=28:26:27.2kg/10a)を施
した。

調査時に、各区分ごとに中庸10株を選出し、地上部生体重を測定した。地上部生体重を測
定した個体を直ちに乾燥機に入れ、80℃で3日間乾燥した後、地上部乾物重を測定した。乾物
重測定後の乾燥葉は湿式灰化し、原子吸光法でNa、K、CaおよびMg含量を測定した。

結 果

灌漑水に用いた希釈海水の塩類濃度とハウレンソウの地上部生体重との関係を第9表に示す。

‘オーライ’を除く12品種は0ppm区より1000ppm区で生体重が大きく、‘ワンマン’、‘パロ
ック’、‘リード’、‘ハーキュリー’では60%以上の生体重増加が認められた。さらに、‘ワ
ンマン’、‘マナスル’、‘リード’では、2000ppm区の生体重が0ppm区よりも大きかった。各

第8表 供試したホウレンソウの品種およびその特性

	品種	交配組合せ	耐暑性	耐寒性	抽台性	作期	育成者
1	コマンチ	西洋×西洋	強		晩	3～8月	タキイ種苗
2	ワンマン	西洋×西洋	強		中	3～8月	タキイ種苗
3	おかめ	西洋×西洋	強		晩	3～6月	タキイ種苗
4	グローリー	西洋×西洋	強		中晩	3～6月	タキイ種苗
5	トライ	西洋×西洋	強	強	中	3～5月	タキイ種苗
6	マナスル	西洋×西洋	強		中	春秋	タキイ種苗
7	パロック	西洋×西洋			中	7下～8月	サカタのタネ
8	丸粒東海	西洋×東洋	強	強	中	7～10月	サカタのタネ
9	モンタナ	西洋×東洋	強		中	7～10月	サカタのタネ
10	リード	西洋×東洋	強	強	強	8～9月	サカタのタネ
11	ハーキュリー	西洋×東洋	強	強	やや晩	8～11月	トーホク
12	オーライ	西洋×東洋	強	強	中	8～3月	タキイ種苗
13	パレード	西洋×東洋		強	中	10～4月	サカタのタネ

第9表 灌水に用いた希釈海水の塩類濃度とホウレンソウの地上部生体重との関係

品種	塩類濃度(ppm)			
	0	1000	2000	5000
1 コマンチ	12.5	16.4	11.1	4.5 (g/株)
2 ワンマン	9.6	15.7	13.3	7.1
3 おかめ	11.9	13.4	11.2	4.7
4 グローリー	19.0	21.8	13.6	9.7
5 トライ	16.0	22.2	14.0	6.7
6 マナスル	11.7	13.1	15.1	8.3
7 パロック	10.0	16.7	9.0	5.5
8 丸粒東海	13.0	17.4	12.8	3.2
9 モンタナ	13.5	16.3	9.1	6.9
10 リード	7.9	13.0	11.2	3.4
11 ハーキュリー	10.6	17.2	10.5	9.7
12 オーライ	18.4	16.8	15.6	4.5
13 パレード	13.7	14.9	11.7	6.6
平均	12.91	16.53	12.17	6.22

注) 1989年8月7日播種. 調査は播種45日後に行った.
 各値は10個体の平均値.
 各塩類濃度間の最小有意差(5%水準)=2.09

塩類濃度の全品種の平均地上部生体重は、1000ppm 区で最も大きく、5000ppm 区で最も小さかった。

地上部乾物重を第 10 表に示す。‘オーライ’と‘パレード’を除く 11 品種で 1000ppm 希釈海水灌漑による乾物重の増加が認められた。さらに、‘ワンマン’、‘マナスル’、‘丸粒東海’および‘リード’では 2000ppm 区の乾物重が 0ppm 区よりも大きかった。

灌漑水の塩類濃度と葉内カチオン含量との関係を第 1 図に示す。全カチオン (Na+Mg+K+Ca) 含量は灌漑水の塩類濃度が高くなるにともない大きくなった。しかし、Mg+K+Ca 含量はいずれの灌漑水の塩類濃度においても 200mmol/100gDW 前後と変化しなかった。これに対して、Na 含量は塩類濃度が高くなるにつれてその値も大きくなった。13 品種の平均 Na 含量は、0ppm 区が 5.9mmol/100gDW、1000ppm 区が 61.8mmol/100gDW、2000ppm 区が 82.1mmol/100gDW、5000ppm 区が 145.0mmol/100gDW であった。

ハウレンソウの生育を促進した 1000ppm 区について、葉内 Na 含量と地上部乾物重との相関を求めると、第 2 図に示した関係式が得られ、葉内 Na 含量が大きい品種ほど乾物重も大きかった。

考 察

ハウレンソウの地上部生体重および地上部乾物重は、13 品種中 11 品種で 1000ppm 希釈海水灌漑により増加していることより、TDS 1000ppm 程度の希釈海水はハウレンソウの生育を促進することが考えられる。

葉内カチオン含量では、灌漑水中の塩類濃度が 5000ppm 以下であれば、肥料成分である Mg、

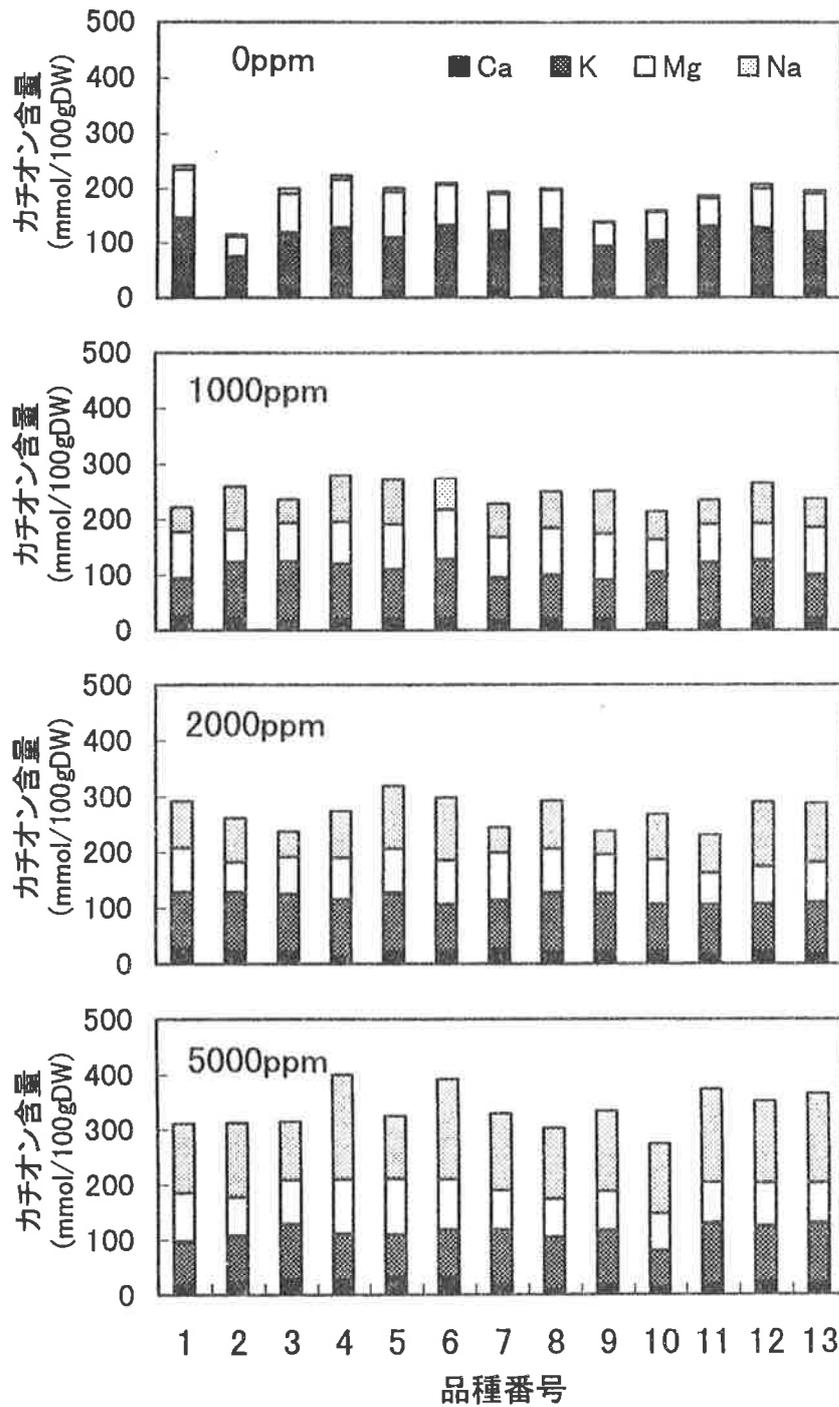
第10表 灌水に用いた希釈海水の塩類濃度とハウレンソウの地上部乾物重との関係

品種	塩類濃度(ppm)			
	0	1000	2000	5000
1 コマンチ	0.86	1.23	0.77	0.36 (g/株)
2 ワンマン	0.79	1.24	0.93	0.55
3 おかめ	0.95	1.11	0.90	0.43
4 グローリー	1.26	1.58	1.05	0.78
5 トライ	1.13	1.65	1.00	0.58
6 マナスル	0.90	1.02	1.07	0.66
7 パロック	0.99	1.26	0.68	0.45
8 丸粒東海	0.76	1.31	0.93	0.26
9 モンタナ	1.02	1.24	0.70	0.56
10 リード	0.65	0.90	0.85	0.28
11 ハーキュリー	0.84	1.19	0.80	0.75
12 オーライ	1.34	1.17	1.04	0.38
13 バレード	1.08	1.01	0.81	0.54
平均	0.967	1.224	0.887	0.506

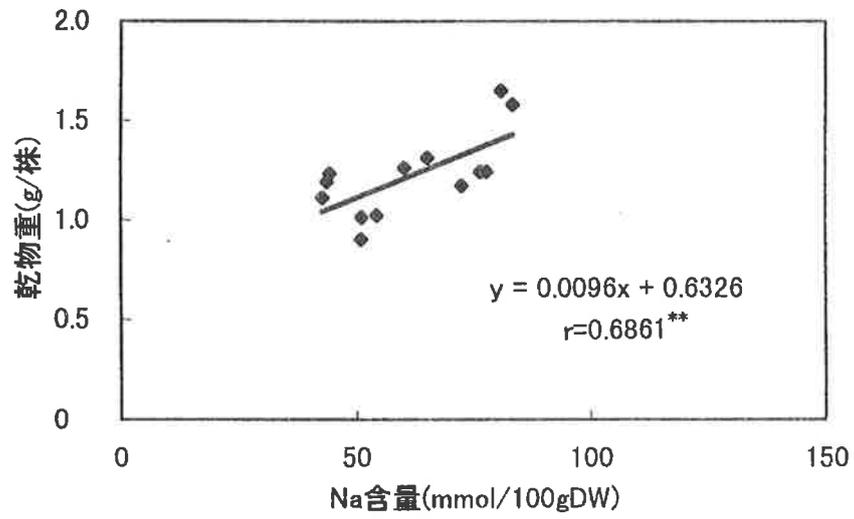
注)1989年8月7日播種. 調査は播種45日後に行った.

各値は10個体の平均値.

各塩類濃度間の最小有意差(5%水準)=0.141



第1図 灌漑水の塩類濃度とハウレンソウ各品種の葉内カチオン含量との関係



第2図 ホウレンソウ各品種の葉内Na含量と地上部乾物重との関係(1000ppm区)

注)**は1%水準で有意であることを示す。

K, Ca は, 灌漑水中の塩類濃度が変わっても吸収量は変わらないが, Na 吸収量は塩類濃度とともに増加することが明らかになった. さらに, 1000ppm 区で各品種の葉内 Na 含量と地上部乾物重との間には正の相関が認められたことより, TDS 1000ppm 希釈海水を灌水した場合, Na 吸収量が多い品種ほど乾物生産速度が大きいと考えられる. ホウレンソウに高濃度の NaCl 処理を施すと, Na は主に液胞に集積されるが, 細胞質でも含量が増す(Speer・Kaiser, 1991). アカザ科には, アッケシソウ, ハママツナ, ハマアカザなどの塩生植物や, サトウダイコンのように Na に肥効が認められる作物があり(高橋, 1987), 液胞に隔離されていない Na にホウレンソウの生育促進効果があると推察される.

摘 要

- (1) 13 品種のホウレンソウに希釈海水を灌水して栽培を行った. その結果, 1000ppm 区の地上部重は淡水を含む他の 3 種の灌漑水区よりも有意に大きかった. 逆に 5000ppm 区は他の 3 種の灌漑水区よりも有意に小さかった.
- (2) 葉内の全カチオン(Na+Mg+K+Ca)含量は灌漑水の塩類濃度が高くなると多くなった. しかし, 灌漑水の塩類濃度が高くなっても, Mg+K+Ca 含量には違いが見られず Na 含量のみが大きくなった. このことより葉内 Na 含量が生育量に影響していると考えられた.
- (3) TDS 1000ppm 希釈海水の灌水では, 葉内 Na 含量と地上部乾物重との間に正の相関関係があった. すなわち, 希釈海水を灌水した場合, Na 吸収量が多い品種ほど乾物生産速度が大きい, あるいは乾物重の大きい品種はより多くの Na を吸収していたという傾向が認められた.

第2節 生長解析

第1節でハウレンソウに希釈海水を灌水することで生育量が増すことが明らかとなった。そこで、ハウレンソウのどの部位の生育量が増加するかを明らかにするために、希釈海水を灌水し、地上部重、地下部重、地上部/地下部(T/R)比、葉面積、水ポテンシャル、気孔数におよぼす影響を調べた。また、栽培期間中の相対生長率(RGR)を求めた。

材料および方法

実験は1990年9月から10月にかけて、鳥取大学乾燥地研究センターのガラス室内で行った。未耕作地の砂丘砂を入れた砂栽培ベッドに、各々淡水(TDS 0ppm)、35倍希釈海水(TDS 1000ppm)および17.5倍希釈海水(TDS 2000ppm)の3種の灌漑水区を設けた。低温期の生育も旺盛な‘トライ(タキイ種苗)’を9月22日に播種した。施肥は、元肥として播種前に液肥(N:260mg/株, P_2O_5 :120mg/株, K_2O :345mg/株, CaO:230mg/株, MgO:75mg/株, B_2O_3 :1.5mg/株, MnO:1.5mg/株, Fe:12mg/株)を灌注し、播種5日と10日後にそれぞれ追肥(N:130mg/株, P_2O_5 :60mg/株, K_2O :172.5mg/株, CaO:115mg/株, MgO:37.5mg/株, B_2O_3 :0.75mg/株, MnO:0.75mg/株, Fe:6mg/株)を灌注した。

測定項目および測定方法は次の通りである。

- ・地上部生体重：播種後10日ごとに地上部生体重を測定した。
- ・地上部乾物重：地上部生体重測定後のサンプルを、80℃3日間通風乾燥し、乾物重を測定し

た.

- ・地下部生体重：播種 50 日後に全根域を土壌より掘り出し、水洗後、水分を除いて重量を測定した。
- ・地下部乾物重：地下部生体重測定後のサンプルを、80℃3 日間通風乾燥し、重量を測定した。
- ・T/R：播種 50 日後の地上部乾物重を地下部乾物重で除して算出した。
- ・葉面積：播種 50 日後の地上部生体重を測定後、自動面積計で測定した。
- ・水ポテンシャル：播種 50 日後の中庸株の中位葉 3 葉について、プレッシャーチャンバー法で測定した。
- ・気孔数：播種 50 日後の中庸株の中位葉 3 葉について測定した。葉の裏面に透明のマニキュアを塗り、乾燥後マニキュアだけを剥して検鏡(150 倍)、写真撮影した。後日、写真上で気孔数を数え、1 cm² あたりの気孔数を算出した。
- ・RGR：10 日毎に測定した地上部乾物重から算出した。

結 果

1. 地上部・地下部重, 葉面積, 水ポテンシャルおよび気孔数

灌漑水中の希釈海水の塩類濃度がハウレンソウ‘トライ’におよぼす影響を第 11 表に示す。

地下部生体重以外の測定項目について、灌漑水の塩類濃度間に有意差が認められた。地上部生体重は、地上部乾物重、葉面積とともに 1000ppm 区が最も大きかった。これに対し、地下部生体重には濃度間の有意差が認められず、地下部乾物重は塩類濃度とともに低下し、2000ppm 区では 0ppm 区より有意に低くなった。T/R は、地上部重が最も重かった 1000ppm 区が最大で、

第11表 灌水に用いた希釈海水の塩類濃度がホウレンソウ‘トライ’におよぼす影響

項目	塩類濃度(ppm)		
	0	1000	2000
地上部生体重 (g/株)	6.8 ^b	11.6 ^a	7.4 ^b
地下部生体重 (g/株)	9.2	8.5	7.6
地上部乾物重 (g/株)	0.62 ^b	0.86 ^a	0.51 ^b
地下部乾物重 (g/株)	0.70 ^a	0.62 ^{ab}	0.47 ^b
T/R	0.87 ^c	1.41 ^a	1.13 ^b
葉面積 (cm ² /株)	182.6 ^b	266.6 ^a	146.9 ^b
水ポテンシャル (Mpa)	-0.87 ^c	-1.20 ^b	-1.73 ^a
気孔数 (個/cm ²)	16637 ^a	9673 ^b	10089 ^b

注) 1990年9月22日播種. 調査は播種50日後に行った.

アルファベットはダンカンの多重検定による5%水準での有意差を示す.

地下部重が有意に低下した 2000ppm 区が次ぎ、0ppm 区が最も小さかった。葉の水ポテンシャルの値は、塩濃度の増加にともなって値は小さくなった。また、気孔数は、0ppm 区が最も多く、1000ppm 区および 2000ppm 区で減少した。

2. 相対生長率 (RGR)

生育期間中の RGR の変化を示すと第 3 図のとおりであった。播種後 10~30 日間は灌漑水の塩濃度間に差はなかった。しかし、30~40 日間では 1000ppm 区が大きく、0ppm 区と 2000ppm 区は小さくなっていった。40~50 日間でも 1000ppm 区が大きな値を示した。

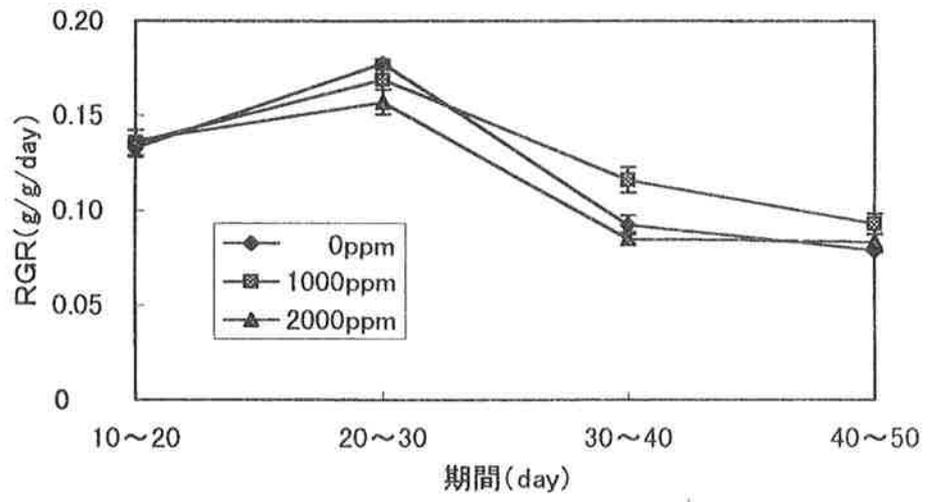
考 察

1. 地上部・地下部重、葉面積、水ポテンシャルおよび気孔数

地上部重および葉面積について検討すると、1000ppm 希釈海水灌漑はハウレンソウの生育を促進し、地上部生体重を増加させ、葉面積も大きくした。2000ppm 区での地上部乾物重および葉面積の減少は、高塩培地に適応するために生育を抑制し、葉面積を減少させて葉からの蒸散を少なくしたためと考えられる(但野, 1983)。

地下部重は、灌漑水中の塩類濃度が高くなるにつれて小さくなった。そのため、地上部が大きい 1000ppm 区は T/R 値が大きくなった。高塩培地で生育する作物は、根圏を拡大し、T/R 値を減少させて集水量を増すとともに水欠損を防ぐ(Pasternak, 1987)との報告があるが、本実験では塩類濃度が高くなるにともなって地下部が小さくなった。

水ポテンシャルについて塩類濃度が高くなるにつれてその値が小さくなったのは、土壌の高浸透圧に逆らって吸水するために体内の浸透圧を上昇させて水吸収力の低下を防ぐ(但野,



第3図 希釈海水を灌水したホウレンソウ'トライ'の相対生長率(RGR)の変化

1983) ことが原因だと考えられる。

気孔数は、0ppm 区に対して 1000ppm 区と 2000ppm 区の単位葉面積あたりの数が少なくなっている。これは気孔数を減少して葉からの蒸散を防ぐ(但野, 1983) ための形態的適応であると考えられる。

総合的に考察すると、水ポテンシャルや気孔数については、植物の耐塩機構が働いた結果と考えられる。しかし、TDS 1000ppm 希釈海水は厳しい塩ストレスをもたらす塩類濃度ではないとみなされ、細胞の肥大による葉面積拡大に由来する地上部重の増加が生育促進の要因であると考えられる。

2. 相対生長率 (RGR)

実験時期は 9 月～11 月で、秋冬野菜のハウレンソウにとっては全期間を通じて栽培に適した季節であったと考えられる。このハウレンソウの栽培に適した時期の生育後期に、0ppm 区よりも 1000ppm 区の方が RGR が大きくなっている。0ppm 区 RGR の変化を基準とすると、1000ppm 区では生育の後期まで乾物生産を継続している。この生育後期の乾物生産の差が最終の地上部生体重および地上部乾物重の差となって現れると考えられた。

摘 要

- (1) 希釈海水灌水時のハウレンソウの部位別生育量を調べた。その結果、1000ppm 区において地上部の葉面積が大きくなっており、葉面積の増加が生育促進の要因であると考えられた。
- (2) RGR は、0ppm 区の変化を基準とすると、1000ppm 区では生育後期の値が大きく、乾物生産を継続していると考えられる。この生育後期の乾物生産の差が地上部生体重および地上部乾

物重の差となって現れると考えられる。

第3節 シュウ酸溶液の葉面散布

塩生植物であるハマアカザや、半乾燥地帯に生育するアカザ科植物では、シュウ酸が高濃度で集積している (Osmond, 1967)。ホウレンソウでも乾葉あたり 5~15%ものシュウ酸を集積し (Libert・Franceschi, 1987)、葉菜類の中では著しく高い。また、ホウレンソウ葉に含まれる有機酸のうち 67~80%はシュウ酸であり、シュウ酸含量と全有機酸含量との間には正の相関関係がある (杉山・広岡, 1992)。また、ホウレンソウのシュウ酸含量はカチオン含量との間に高い正の相関がある (Bengtsson ら, 1966)。このことから、ホウレンソウ体内ではカチオン含量に見合ったシュウ酸が存在すると考えられる。しかし、可溶性シュウ酸と不溶性シュウ酸の割合は一定ではなく (人見 ら, 1992)、過剰な可溶性シュウ酸の集積は生理作用に有害である。ホウレンソウ体内では、シュウ酸は Ca と結合し、不溶性として存在していると考えられている (人見 ら, 1992)。すなわち、ホウレンソウは体内に吸収した Ca の多くをシュウ酸を不溶化するために用いていると考えられる。一方、塩水灌水したホウレンソウでは葉中の Na 含量が高まる (第2章 第1節)が、この Na と可溶性シュウ酸が結合してシュウ酸を不溶化することが考えられる。この仮説が正しいければ、吸収した Na が過剰なシュウ酸を不溶化し、シュウ酸の不溶化に利用されていた Ca が生理反応に利用される結果として、ホウレンソウの生育が促進される機構の存在が考えられる。すなわち、塩水の灌水がホウレンソウの生育を促進する機構を解明できる。

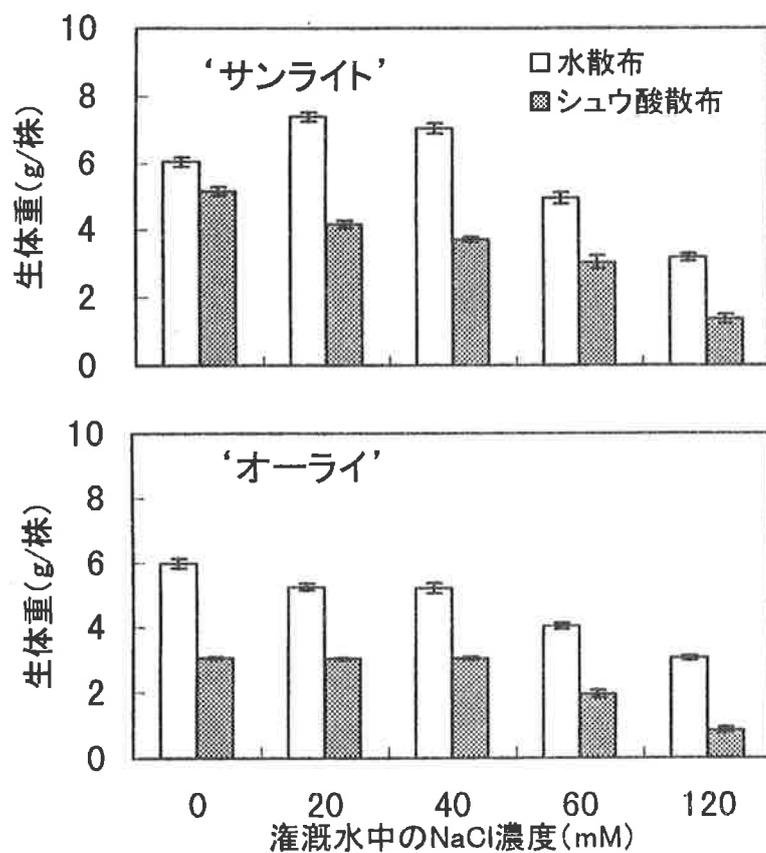
そこで、NaCl 溶液を灌水して栽培したホウレンソウにシュウ酸を葉面散布し、生体重におよぼす影響を調べた。

材料および方法

実験は 1997 年 6 月から 7 月にかけて行い、鳥取大学乾燥地研究センターのガラス室内で実施した。1/5000a ワグネルポットに未耕作地の砂丘砂を充填し、6 月 3 日にホウレンソウ(耐暑性の強い‘サンライト’と‘オーライ’)を 1 ポットあたり 3 株となるように播種した。施肥は、元肥として苦土石灰 (2.4g/ポット)、ミネラル G(0.8g/ポット)および化成肥料 (N:P₂O₅:K₂O=0.56:0.52:0.54g/ポット)を混合した。灌水には淡水と NaCl 溶液 {20mM(1170ppm), 40mM(2340ppm), 60mM(3510ppm), 120mM(7020ppm)} を使い、適宜行った。播種 15 日後よりシュウ酸の散布をはじめ、3 日毎に 1000ppm シュウ酸溶液 3ml/ポットを葉面散布した。また、対照区には淡水を葉面散布した。播種 30 日後に地上部重を測定した。

結 果

灌漑水中の NaCl 濃度とシュウ酸の葉面散布がホウレンソウの生体重におよぼす影響を第 4 図に示す。シュウ酸の葉面散布は、いずれの灌水区においても供試両品種の生育を抑制した。シュウ酸散布による生育の抑制割合を NaCl 濃度別に見ると、‘サンライト’では 0mM 区が 85% であったのに対して 20mM NaCl 区は 56%、40mM NaCl 区は 53%、60mM NaCl 区は 62%、120mM NaCl 区は 43%であった。‘オーライ’では、0mM~60mM NaCl 区では約 50%、120mM NaCl 区で 28%となり、生育は抑制された。



第4図 灌漑水中のNaCl濃度とシュウ酸(1000ppm)の葉面散布がホウレンソウの生体重におよぼす影響

注) 1997年6月3日播種. 調査は播種30日後に行った.

考 察

両品種とも、シュウ酸の葉面散布により生体重が抑制された。体内のシュウ酸含量は測定していないが、ハウレンソウは乾葉に対して 5~15%のシュウ酸を集積している (Libert and Franceschi, 1987) ことから、体内には生体重の約 1%のシュウ酸が存在すると考えられる。この濃度に対して、散布したシュウ酸の濃度は 1/10 ほどであったが、ハウレンソウの生育は抑制された。

生育の抑制割合について水散布とシュウ酸散布を比較すると、両品種とも淡水を灌水した時の生育抑制が最も少なく、NaCl 溶液を灌水することで抑制割合が増した。Na にシュウ酸を不溶化する働きがあるとした仮説が正しければ、シュウ酸を葉面散布したときに、体内に Na が吸収されている NaCl 溶液灌水区の生育が 0mM 灌水区よりもまさることが求められる。しかし、生育は抑制されており、Na が Ca に代わってシュウ酸を不溶化することにより余剰の Ca がハウレンソウの生育を促進するという仮説は否定された。

摘 要

体内の Na がシュウ酸を無毒化することによりハウレンソウの生育を促進するという仮説を立て、0mM(淡水)および 20mM, 40mM, 60mM, 120mM NaCl 溶液を灌水して栽培したハウレンソウに、淡水と 1000ppm シュウ酸溶液を葉面散布した。

その結果、NaCl 溶液の灌水によりハウレンソウ体内に Na が存在していてもシュウ酸の葉面散布による生育阻害がおり、Na がシュウ酸を無毒化するとした仮説は否定された。

第4節 塩水の灌水が光合成速度および呼吸速度におよぼす影響

ホウレンソウは秋冬野菜であり、生育適温は15~20℃で、25℃以上では生育が困難になるとされている(香川, 1974a)。一般に、光合成活性はそれぞれの植物の生育適温付近で極大値を示す(沢田, 1981)。適温より温度が低くなるほど光合成活性は低下し、同様に適温より高温域でも活性は低下する。ホウレンソウも同じ変化を示すと考えられるが、低濃度の塩水を灌水したホウレンソウの温度と光合成速度との関係は明らかにされていない。そこで、塩水を灌水した場合のホウレンソウの光合成速度および呼吸速度を測定した。

材料および方法

1996年11月から1997年1月にかけて、鳥取大学乾燥地研究センターのガラス室内でホウレンソウを栽培した。1/2000a ワグネルポットに未耕作地の砂丘砂を充填し、11月30日にホウレンソウを1ポットあたり6株となるように播種した。品種は、予備実験において20mM NaCl 溶液の灌水で生育が促進された‘アトラス(サカタのタネ)’と促進されなかった‘オーライ(タキイ種苗)’を用いた。施肥は、元肥として苦土石灰(12g/ポット)、ミネラル G(4g/ポット)および化成肥料(N:P₂O₅:K₂O=2.8:2.6:2.7g/ポット)を混合した。灌水は播種後40日間は淡水を用い、その後は淡水(0mM)と20mM NaCl(20mM)を各々灌水した。播種60日後に人工気象室に搬入し、光合成有効放射量約450 μmol/m²/s、相対湿度60%に設定した。温度条件は光合成速度測定時には15℃、20℃、25℃および30℃の4段階、暗呼吸速度測定時には10℃を加えた5段階に設定した。測定には携帯式光合成蒸散測定装置を用い、ホウレンソウを1時間以上環境に順応さ

せた後、中位葉の中腹について測定した。

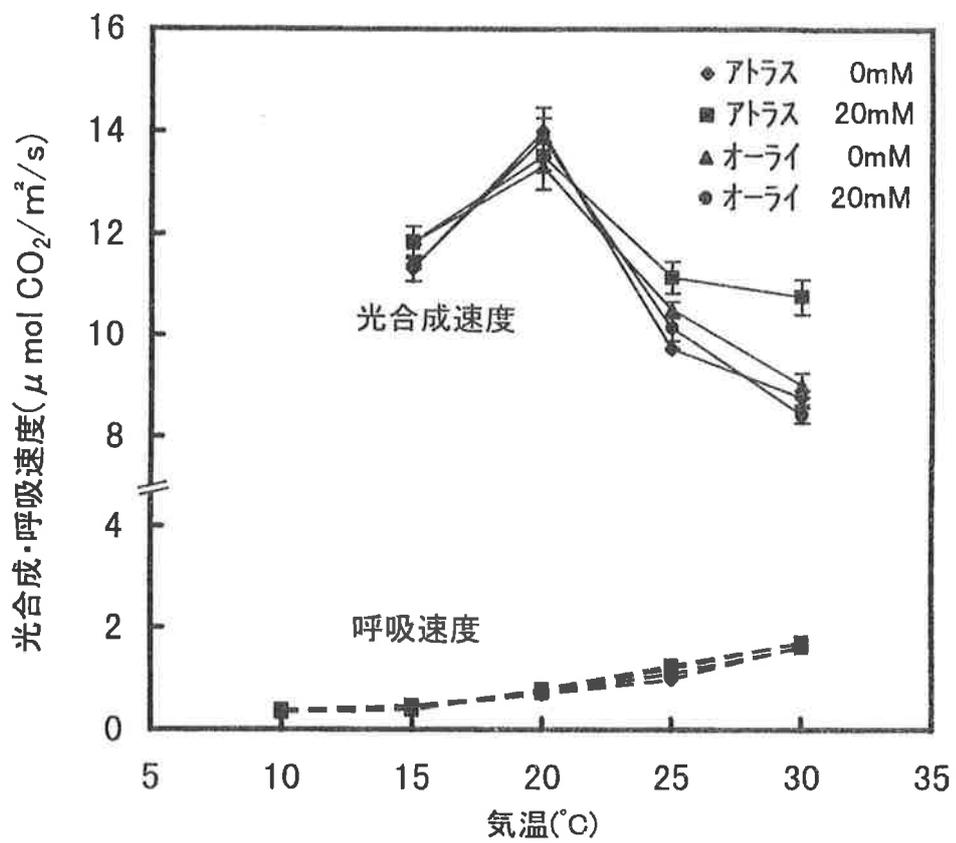
結 果

灌漑水中の NaCl 濃度が光合成および呼吸速度におよぼす影響についてみた結果は第 5 図のとおりである。呼吸速度は、両品種とも気温が高くなるにつれて大きくなり、品種間差がなかった。光合成速度は 20℃が最も大きかった。品種および灌漑水の違いについて見ると、15℃と 20℃では差がないが、‘アトラス’に 20mM NaCl を灌水すると、25℃では品種および灌水処理に対して約 $1 \mu \text{ mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ 、30℃では約 $2 \mu \text{ mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ 光合成速度が大きかった。

考 察

各気温における 0mM と 20mM NaCl の呼吸速度に差がないことから、20mM NaCl の塩水を灌水した‘アトラス’において、25℃および 30℃での光合成速度が大きくなったのは、純光合成速度が大きくなったためである。

ホウレンソウは 25℃以上の高温で生育が阻害されるといわれている。また、光合成の適温は 18~20℃である(香川, 1974b)。淡水灌水では、両品種とも 25℃以上で光合成速度が低下しており、高温における生育阻害を裏付けている。しかし、塩水を灌水することで生育が促進される‘アトラス’では、光合成速度の低下割合が小さい。このことより、25℃以上の温度条件でホウレンソウを栽培した場合、個葉の光合成速度の差が乾物生産の差となって現れていると考えられる。



第5図 灌漑水中のNaCl濃度が光合成および呼吸速度におよぼす影響

注) 1996年11月30日播種. 測定は播種60日後に行った.
 光合成有効放射量=450 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. 相対湿度=60%.

摘 要

ホウレンソウの光合成・呼吸速度におよぼす塩水灌水の影響を、気温を変えて調べた。

(1) 呼吸速度については、灌漑水中の NaCl の有無、品種に関係なく、気温が高くなるにつれて、

呼吸速度も大きくなった。

(2) 光合成速度については、20℃が最も大きく、この温度では NaCl 溶液の灌水による差は見ら

れなかった。しかし、塩水を灌水することで生育が促進される‘アトラス’に 20mM NaCl

溶液を灌水すると、25℃では 0mM 灌水と比較して約 $1 \mu \text{ mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ 、30℃では約 $2 \mu \text{ mol}$

$\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ 光合成速度が大きくなった。これに対して、塩水灌水による生育促進がみられない

‘オーライ’では、淡水灌水と 20mM NaCl 溶液灌水の間に差はなかった。

第 5 節 根の呼吸速度

第 2 節の実験で、ホウレンソウに希釈海水を灌水すると T/R が大きくなる結果を得た。このことより、塩水を灌水したホウレンソウの根は淡水を灌水するよりも、より多くの吸水をしていることが考えられる。一般に、根による吸水は蒸散に起因する吸引圧による受動的な部分と、根の呼吸エネルギーに依存する積極的な部分とに分けてとらえられる。そこで、灌漑水中の塩類濃度の違いが能動的な吸水に与える影響を調べるため、根の呼吸速度を測定した。

材料および方法

実験は1997年1月から4月にかけて、鳥取大学乾燥地研究センターのガラス室内で実施した。1/5000a ワグネルポットに未耕作地の砂丘砂を充填し、1月18日にホウレンソウ(‘トライ’)を1ポットあたり3点で播種した。施肥は、元肥として苦土石灰(2.4g/ポット)、ミネラルG(0.8g/ポット)および化成肥料(N:P₂O₅:K₂O=0.56:0.52:0.54g/ポット)を混合した。灌水は播種後14日間は淡水を用い、その後は淡水(0mM)と20mM NaCl(20mM)および40mM NaCl(40mM)を各々適宜灌水した。播種76日後に地上部生体重、地下部生体重、地上部乾物重および地下部乾物重を測定した。また、地下部生体重を測定した根約3gを直ちに呼吸量の測定に供した。呼吸量の測定は、20℃下の密閉容器中の根から排出されるCO₂をバリタ水(0.044N)に吸収させ、1時間後の吸収量をシュウ酸(0.045N)で滴定し、根を入れないブランクの滴定量との差から算出した。

結 果

灌漑水中のNaCl濃度が生育量および根の呼吸速度におよぼす影響について第12表に示す。地上部生体重は0mM区よりも20mM NaClおよび40mM NaCl溶液を灌水した方が大きかった。地上部乾物重は20mM NaCl区で最も大きく、40mM NaCl区では0mM区と差がなかった。地下部重については0mM区が最も大きく、灌漑水中のNaCl濃度が高くなるにつれて小さくなった。根の呼吸速度については、灌漑水中の塩類濃度間に差は認められなかった。

考 察

20mM NaCl溶液を灌水することにより地上部の生育は促進されたが、地下部重については0mM

第12表 灌漑水中のNaCl濃度がホウレンソウ‘トライ’の生育量および根呼吸速度におよぼす影響

項目	NaCl濃度(mM)		
	0	20	40
地上部生体重 (g/株)	33.2 ^b	37.7 ^a	39.1 ^a
地下部生体重 (g/株)	9.9 ^a	7.1 ^b	6.6 ^b
地上部乾物重 (g/株)	2.73 ^b	2.99 ^a	2.67 ^b
地下部乾物重 (g/株)	0.74 ^a	0.59 ^b	0.49 ^b
根呼吸速度 (mgCO ₂ /g/hr)	2.05	2.11	2.16

注) 1997年1月18日播種. 調査は播種76日後に行った.

アルファベットはダンカンの多重検定による5%水準での有意差を示す.

区が最も大きく、灌漑水中の NaCl 濃度が高くなるにつれて小さくなった。このことより、ホウレンソウに 20mM NaCl 溶液を灌水した場合、地上部の生育は促進されるが地下部の生育は抑制されるといえる。

根の呼吸速度について検討すると、イネでは根の呼吸速度と飽差あたりの蒸散速度との間に高い相関関係があり(津野・山口, 1987), また, 断水処理をしたダイズでは根の呼吸速度と光合成速度との間に高い相関がある(李ら, 1994)と報告されている。このため, 根の呼吸速度が地上部の光合成に影響をおよぼしていることが考えられる。しかし, 20mM NaCl 灌水は, 地上部の生育が旺盛であったにもかかわらず, 根の呼吸速度は 0mM と変わりなかった。このことより, 20mM NaCl 灌水による地上部の生育促進は, 根による積極的な吸水の影響を受けていないと考えられる。

摘 要

淡水と 20mM, 40mM NaCl 溶液を灌水して栽培したホウレンソウについて, 生育量および根の呼吸速度を測定した。

- (1) 生育量について 20mM NaCl 灌水では, 0mM 灌水に対して地上部重は大きくなり, 地下部は小さくなった。
- (2) 呼吸速度については, 灌漑水中の NaCl 濃度間に差は認められなかった。

第6節 灌漑水中の塩類の違いが生育量および葉内カチオン含量におよぼす影響

ホウレンソウに希釈海水や NaCl 塩水を灌水すると、生育が促進される。しかし、Na 塩の種類による影響や Ca, K の影響については明らかにはされていない。そこで、NaCl 塩水で生育が促進されるホウレンソウに、NaCl 溶液と等濃度に調整した Na_2SO_4 , KCl および CaCl_2 溶液を灌水し、生育および葉内カチオン含量におよぼす影響を調べた。また、灌漑水の浸透圧の影響を調べる目的で、NaCl 溶液と等浸透圧に調整した PEG 溶液も用いた。

材料および方法

実験は1997年1月から3月にかけて鳥取大学乾燥地研究センターのガラス室内で実施した。1/5000a ワグネルポットに未耕作地の砂丘砂を充填し、1月18日にホウレンソウ（‘トライ’）を1ポットあたり3株になるように播種した。施肥は、元肥として苦土石灰(2.4g/ポット)、ミネラルG(0.8g/ポット)および化成肥料(N:P₂O₅:K₂O=0.56:0.52:0.54g/ポット)を施用した。播種後14日間は全ての処理区に淡水を灌水し、その後は淡水(0mM)、NaCl(20mM, 40mM, 60mM)、 Na_2SO_4 (10mM, 20mM, 30mM)、KCl(20mM, 40mM, 60mM)、 CaCl_2 (10mM, 20mM, 30mM)およびPEG6000(NaClの①20mM, ②40mM および③60mM と等浸透圧に調整)をそれぞれ200ml/3日灌水した。播種60日後に地上部生体重を測定した。地上部生体重を測定した個体は直ちに乾燥機に入れ、80℃で3日間乾燥した後、地上部乾物重を測定した。乾物重測定後の乾燥葉は湿式灰化し、原子吸光法でNa, K, Ca およびMg含量を測定した。

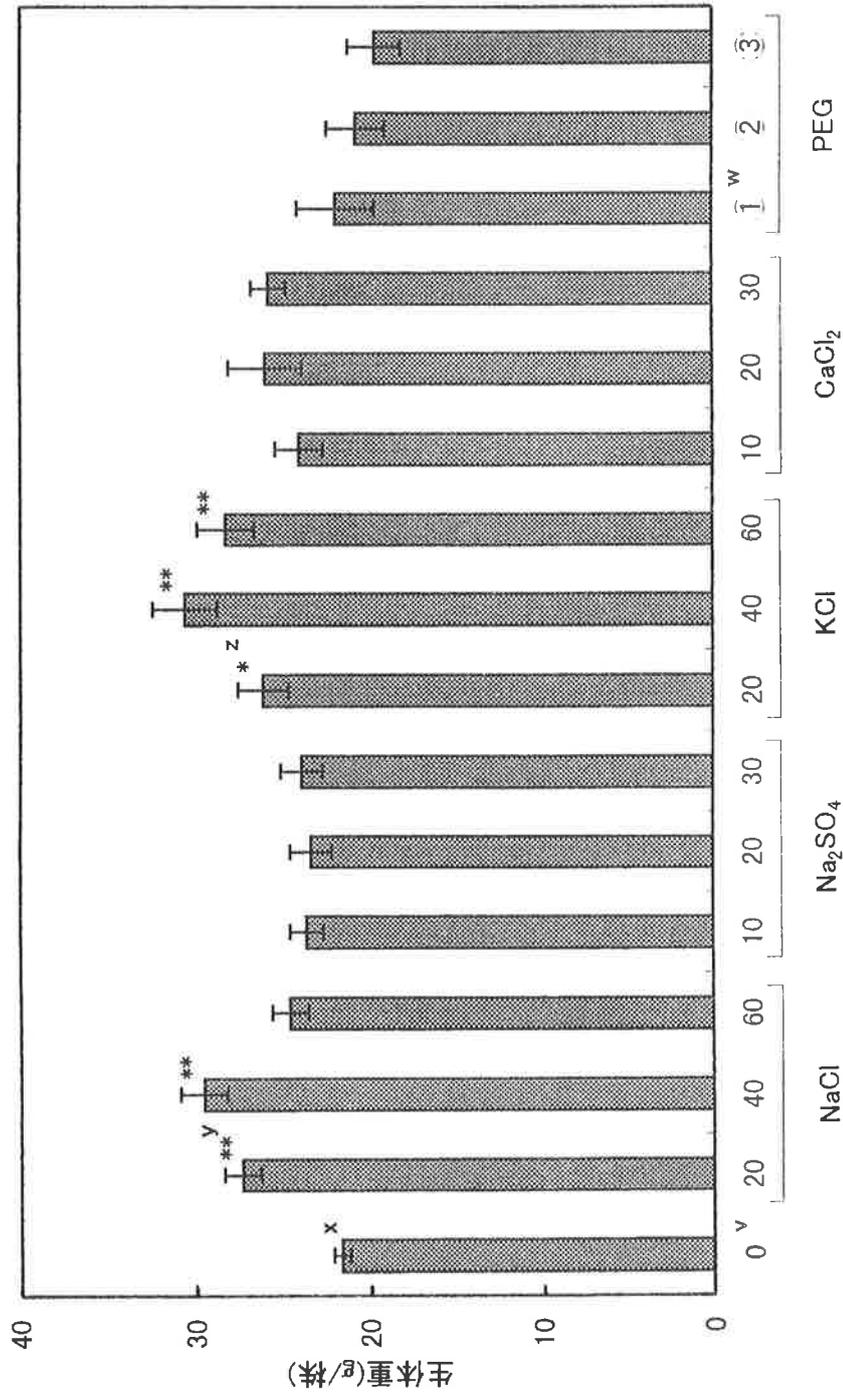
結 果

塩類溶液の灌水がホウレンソウの地上部生体重におよぼす影響について、結果を第6図に示した。NaCl (20mM, 40mM) 溶液と KCl (20mM, 40mM, 60mM) 溶液を灌水した処理区の生体重が 0mM を灌水した区より大きかった。最も大きかった 40mM KCl 溶液灌水区は 0mM 灌水区と比較して 141%で、それに次いで大きかった NaCl 40mM 区は 136%であった。地上部乾物重については、第7図に示すとおりであった。NaCl, Na_2SO_4 および KCl を灌水した処理区が 0mM 区と比べて増加する傾向があり、NaCl 20mM 区では 0mM 区と比較して 118%, Na_2SO_4 10mM 区では 113%, KCl 40mM 区では 112%であった。生育が促進された KCl 40mM 区と NaCl 40mM 区について生体重および乾物重を比較すると、0mM 区に対して生体重がそれぞれ 141%および 136%の増加を示しているのに対して、乾物重では 112%および 111%であった。

葉内カチオン含量におよぼす影響については、乾物 100g あたりの値を第8図に、株あたりの含量を第9図に示した。乾物 100g あたりおよび株あたりの値とも、塩類を灌水したものについては灌漑水の塩類濃度が高くなるにつれて全カチオン (Na+K+Ca+Mg) 含量は多くなった。個々のカチオンについてみると、Mg は灌水した塩類の種類と濃度が変わっても葉内含量は変わらなかった。Ca は Na_2SO_4 溶液の灌水で少なく、 CaCl_2 溶液灌水で多かった。K は KCl の灌水で多いほかは灌漑水による差はなかった。Na は NaCl 溶液と Na_2SO_4 溶液を灌水した区のみ多量に含まれていた。

考 察

生育が促進された KCl 40mM 区と NaCl 40mM 区について生体重および乾物重を比較すると、



第6図 各種塩類溶液の灌水がホウレンソウの地上部生体重におよぼす影響

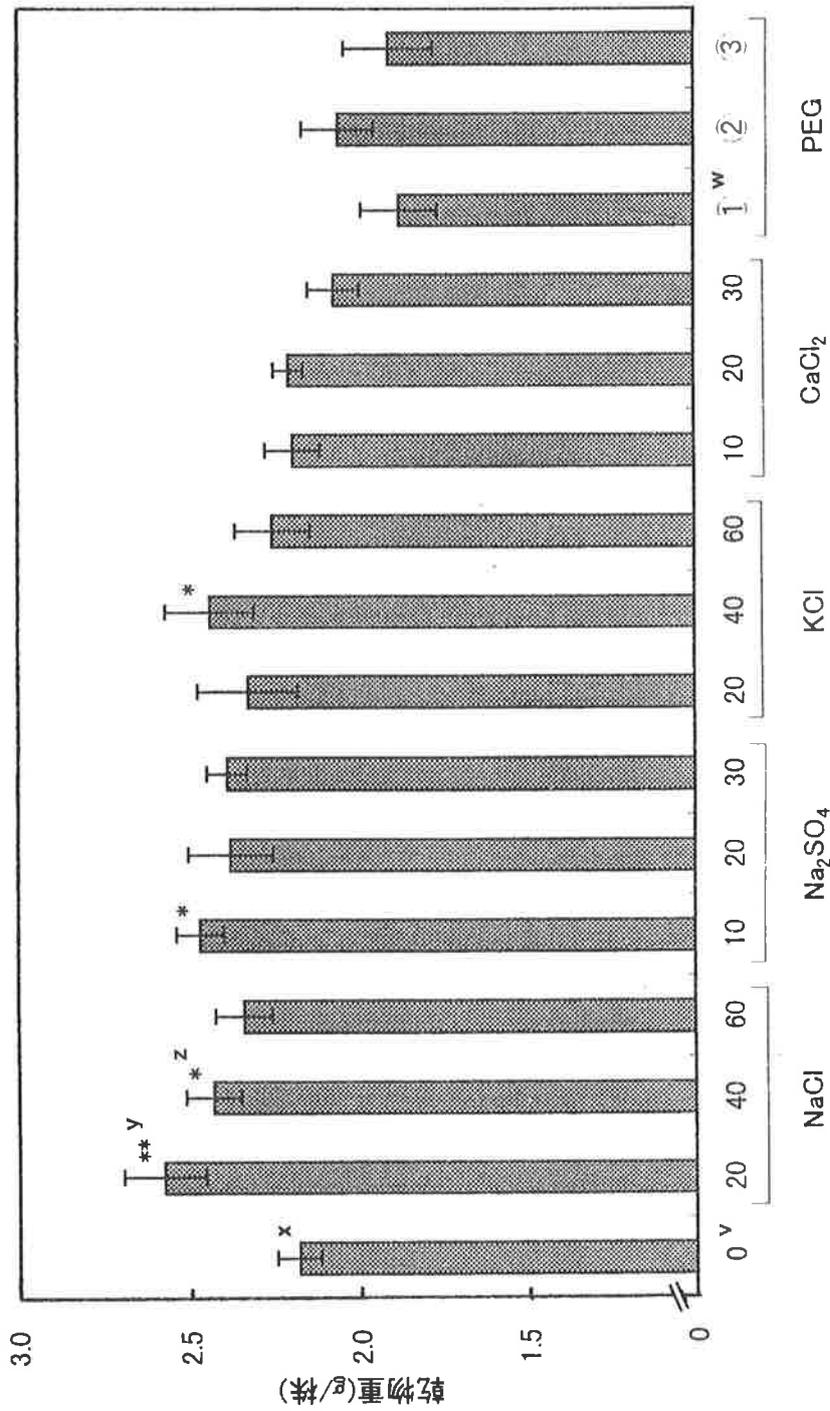
注) 1997年1月18日播種. 調査は播種60日後に行った.

^y各塩類溶液のmM濃度を示す.

*①, ②, ③は, それぞれ20mM, 40mM, 60mM NaClと等浸透圧のPEG6000.

^x標準誤差.

^{y,z} **, * は, 0mM区との間に検定による有意差(1%, 5%)があることを示す.



第7図 各種塩類溶液の灌水がホウレンソウの地上部乾物重におよぼす影響

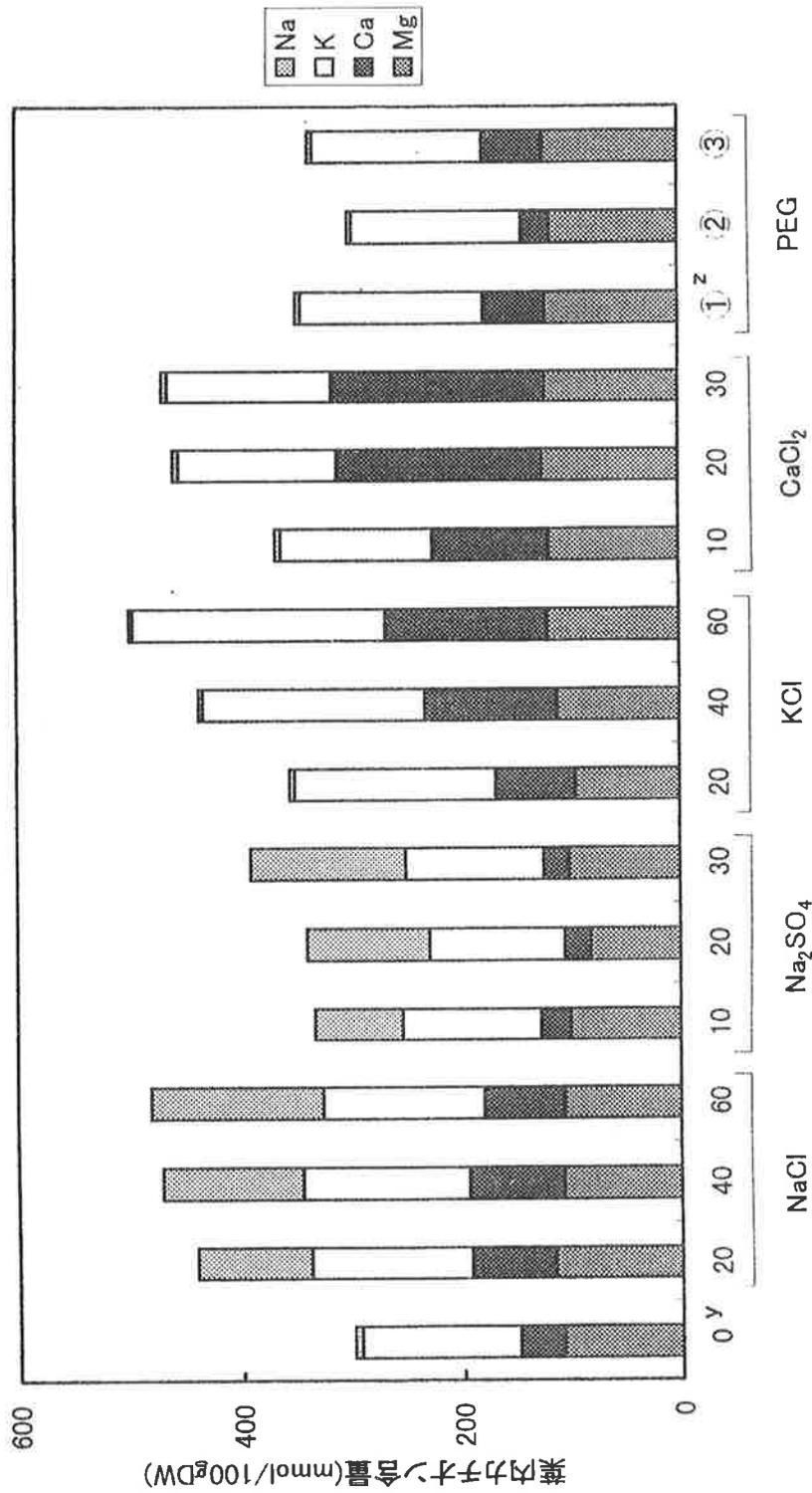
※) 1997年1月18日播種。調査は播種60日後に行った。

^y 各塩類溶液のmM濃度を示す。

^{*)} ①、②、③は、それぞれ20mM、40mM、60mM NaClと等浸透圧のPEG6000。

^{*)} 標準誤差。

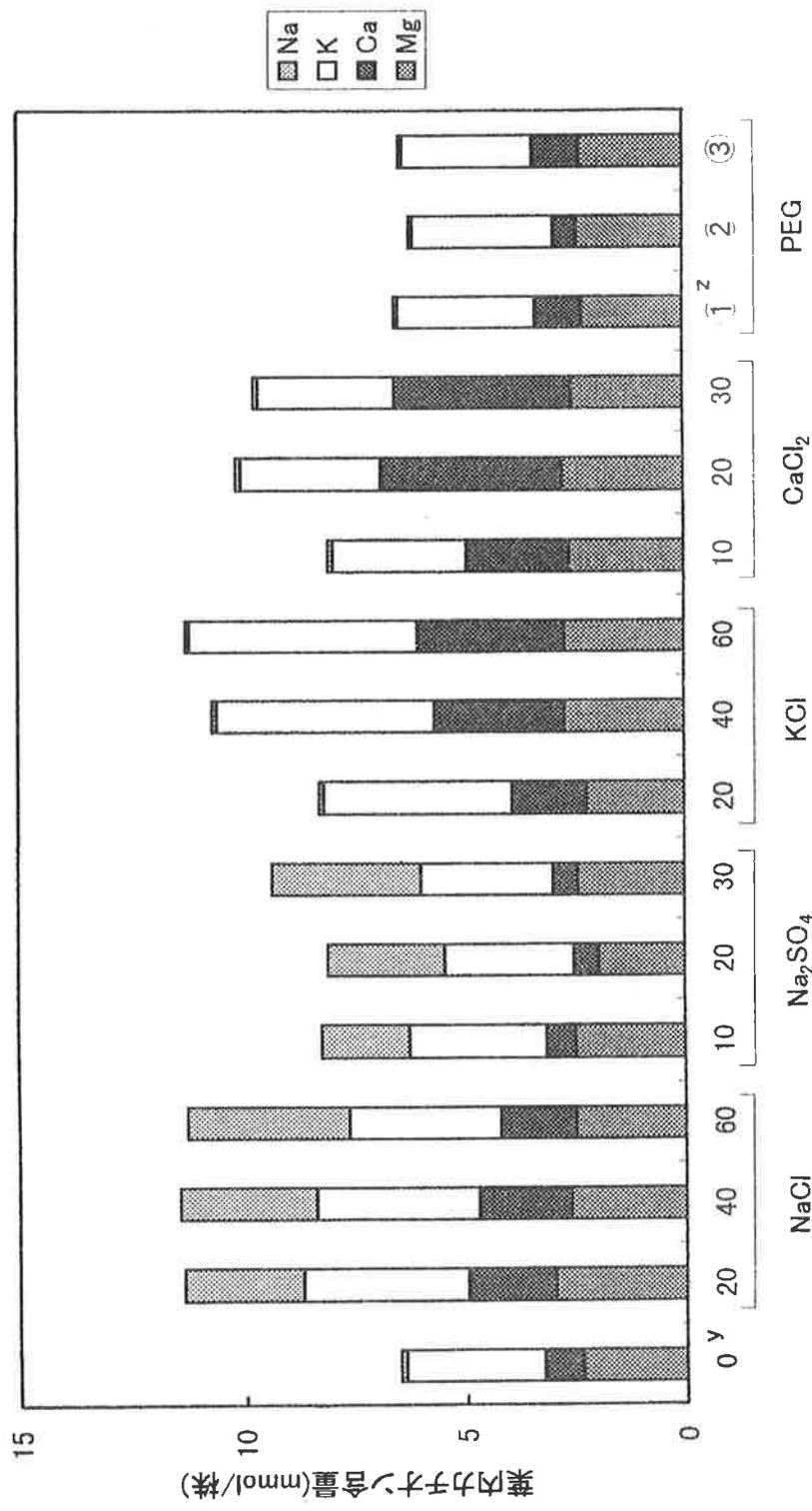
^{yz} **, * は、0mM区との間にt検定による有意差(1%, 5%)があることを示す。



第8図 各種塩類溶液の灌水がホウレンソウの葉内カチオン含量におよぼす影響

*各塩類溶液のmM濃度を示す。

*①、②、③は、それぞれ20mM、40mM、60mM NaClと等浸透圧のPEG6000。



第9図 各種塩類溶液の灌水がホウレンソウ一株あたりの葉内カチオン含量におよぼす影響

¹⁾各塩類溶液のmM濃度を示す。

²⁾①、②、③は、それぞれ20mM、40mM、60mM NaClと等浸透圧のPEG6000。

0mM 区に対して生体重がそれぞれ 141%および 136%の増加を示しているのに対して、乾物重では 112%および 111%であった。このことより、生育の促進には乾物重の増大だけでなく地上部含水率の増大が作用していると考えられる。ハウレンソウに高濃度の NaCl 処理を施すと、Na は主に液胞に隔離される (Speer・Kaiser, 1991)。このため、液胞の浸透圧が増し、浸透圧に見合う水分を吸収するために含水率が高くなったと考えられる。

灌漑水の浸透圧がハウレンソウにおよぼす影響については、PEG 区で生育が抑制されていることから、浸透圧が大きくなることによる生育促進作用はないと考えられる。葉内カチオン含量について個々のカチオンについてみると、Ca については、 Na_2SO_4 区で少なく、 CaCl_2 区が多かった。一般に、土壤溶液中の Na 濃度が高い場合には、Ca 吸収が拮抗的に低下するといわれる (但野, 1984)。しかし NaCl 区の Ca 含量は 0mM 区よりも多いことから、 Na_2SO_4 区で Ca 含量が少ないのは元肥中の Ca^{2+} と灌漑溶液中の SO_4^{2-} が結合し、吸収できなかったことによるのではないかと推察される。 CaCl_2 区で Ca 含量が多いのは、 CaCl_2 から供給された Ca を吸収したためと考えられる。K については、KCl 区で多くなっているほかは灌漑水による差はなかった。KCl 溶液灌漑水で大きくなったのは、KCl から供給された K を吸収したためと考えられる。Na については、NaCl 区と Na_2SO_4 区以外では外部からの供給がないため、Na を含む NaCl 溶液と Na_2SO_4 溶液を灌漑した処理区のみが多量に含まれていた。

生体重および乾物重と葉内カチオン含量の差異をあわせて考えると、生体重および乾物重が大きいものは、その特徴として Na または K の葉内含量が多いことが認められる。K については、KCl 区で含量が大きいことより、元肥の K 供給がやや不足状態にあったことが考えられる。一方、Na については NaCl、 Na_2SO_4 溶液灌漑でも KCl と同等の効果が認められたことより、ハウレ

ンソウではNaにKと同じ働きがあるのではないかと推察された。

摘 要

ホウレンソウに淡水(0mM)、NaCl(20mM, 40mM, 60mM)、Na₂SO₄(10mM, 20mM, 30mM)、KCl(20mM, 40mM, 60mM)、CaCl₂(10mM, 20mM, 30mM)およびPEG6000(NaClの①20mM, ②40mMおよび③60mMと等浸透圧に調整)を灌水し、生育量および葉内カチオン含量におよぼす影響を調べた。

- (1) 地上部乾物重については、NaCl, Na₂SO₄, KClを灌水したものが大きくなる傾向があった。
- (2) 生育が促進された処理区について、地上部生体重と地上部乾物重を比較すると、0mM灌水に対する増加割合は生体重の方が大きく、生育の促進には乾物重の増大だけでなく、地上部含水率の増大が作用していると考えられた。
- (3) 葉内カチオン含量について、生体重および乾物重が大きいものは、Na またはKの葉内含量が大きく、NaにKの代替効果があることが示唆された。

第7節 K供給量の違いとNaCl溶液灌水の効果

Naの施用がサトウダイコンの生育に効果があることが古くから知られており、その効果はKの供給が制限されているときによく現れるといわれている。このことから、サトウダイコンではNaが何らかのKの代替を行っていることが考えられる。ホウレンソウでも塩水の灌水による生育促進効果が認められ、さらに前節でサトウダイコンと同様にNaがKの代替として働いて

いることが示唆された。そこで、肥料として与えるKの量を減じて、その分を等量のNaで補った場合の生育量を測定し、Kに対するNaの代替効果を調べた。また、Kの供給量を通常の1/3～5/3の範囲で5段階もうけ、淡水を灌水した場合とNaCl溶液を灌水した場合の生育量の違いを調べた。さらに光合成速度および気孔コンダクタンスを測定し、Kの多少によるNa灌水の効果を検討した。

実験には、NaCl溶液処理で生育が促進されるハウレンソウ品種および促進されない品種と、NaCl処理によって生育が抑制されるコマツナを用い、それぞれが持つNaCl溶液に対する反応の違いを比較検討した。

材料および方法

1. 肥料中のK/Na比率と生育量との関係

実験は1997年9月から11月にかけて鳥取大学乾燥地研究センターのガラス室内で実施した。1/2000aワグネルポットに未耕作地の砂丘砂を充填し、9月11日にハウレンソウ2品種とコマツナ(‘安藤早生’)を1ポットあたり6株となるように播種した。供試したハウレンソウ品種は、塩水灌水で生育が促進された‘アトラス(サカタのタネ)’と促進されなかった‘オーライ(タキイ種苗)’である。施肥には液肥を用い、1ポットあたりN:1040mg, P₂O₅:480mg, CaO:920mg, MgO:300mg, MnO:6mg, B₂O₃:6mg, Fe:12mgとなるように3回に分けて与えた。これとは別に、全量K区のK供給量をK₂O=1320mg/ポットとしたNaClとKClの混合溶液(Na:K=①0:10, ②2:8, ③4:6, ④6:4, ⑤8:2, ⑥10:0)を灌水する区をもうけた。淡水の灌水は適宜行い、播種50日後に地上部生体重を測定した。地上部生体重を測定した個体を直ちに乾燥機に入れ、80℃で3

日間乾燥した後地上部乾物重を測定した。

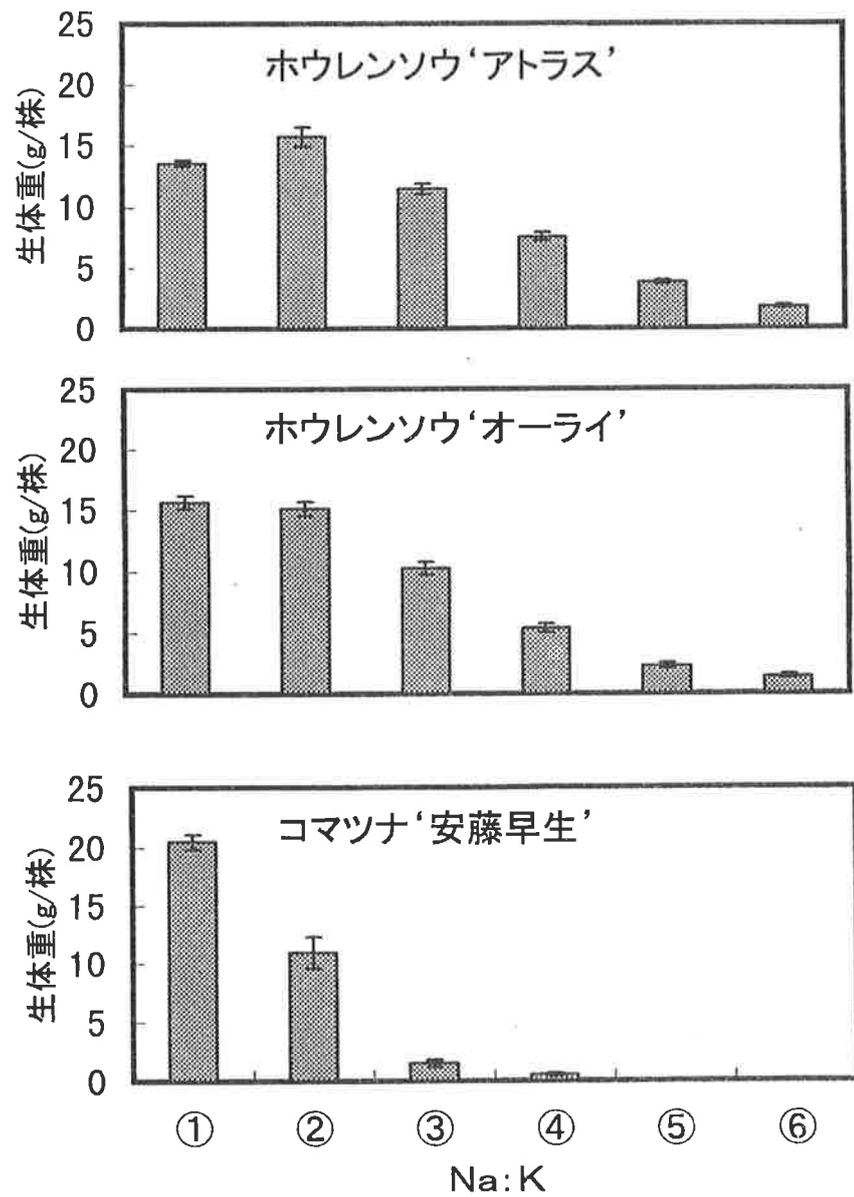
2. K施肥の多少と生育量および光合成速度との関係

実験は1997年10月から11月にかけて鳥取大学乾燥地研究センターのガラス室内で実施した。1/2000a ワグネルポットに未耕作地の砂丘砂を充填し、10月1日にハウレンソウ2品種とコマツナ(‘安藤早生’)を1ポットあたり6株となるように播種した。供試した品種は、1と同様である。施肥には液肥を用い、1ポットあたりN:1040mg, P₂O₅:480mg, CaO:920mg, MgO:300mg, MnO:6mg, B₂O₃:6mg, Fe:12mgとなるように3回に分けて与えた。KについてはKCl溶液を用い、処理ごとにK₂Oがそれぞれ(1:480mg, 2:960mg, 3:1440mg, 4:1920mg, 5:2400mg)になるように与えた。灌漑水には淡水(0mM)と20mM NaCl溶液を用い、適宜灌水した。播種47日後に人工気象室に搬入し、光合成有効放射量約700 μmol/m²/s, 相対湿度60%, 室温25℃下で光合成速度および気孔コンダクタンスを測定した。測定には携帯式光合成蒸散測定装置を用い、中位葉の中腹について測定した。播種53日後に、1ポット5株について地上部生体重を測定した。地上部生体重を測定した個体を直ちに乾燥機に入れ、80℃で3日間乾燥した後地上部乾物重を測定した。

結 果

1. 肥料中のK/Naと生育量との関係

供給肥料中のNa/K比を変えた場合のハウレンソウおよびコマツナの地上部生体重は第10図に示すとおりである。塩水の灌水で生育が促進される‘アトラス’では、20%をNaで置き換えた②区の生育が最も良く、全量Kの①区に対して116%であった。これに対して生育が促進され



第10図 供給肥料中のNa/K比を変えた場合のホウレンソウおよびコマツナの地上部生体重

注) 1997年9月11日播種。調査は播種50日後に行った。

Na:K=①0:10, ②2:8, ③4:6, ④6:4, ⑤8:2, ⑥10:0

全量K(①)区のK供給量=1320mg/ポット

図中のバーは標準誤差を示す。

ない‘オーライ’では、①区と②区との間にはほとんど差がなかった。コマツナでは、20%をNaに置き換えた②区の生育は全量Kの①区の53%の生体重であった。また、80%以上をNaで置き換えた処理区では、ハウレンソウはわずかに生育したが、コマツナは生育しなかった。

地上部乾物重については第11図に示す。乾物重も生体重とほぼ同じ傾向であった。すなわち、‘アトラス’では20%をNaで置き換えた②区の乾物重が最も大きく、‘オーライ’では全量Kの①区と20%をNaで置き換えた②区との間に差はなかった。コマツナでは、20%をNaで置き換えた②区の乾物重は全量Kの①区と比較して58%と著しく生育が抑制された。

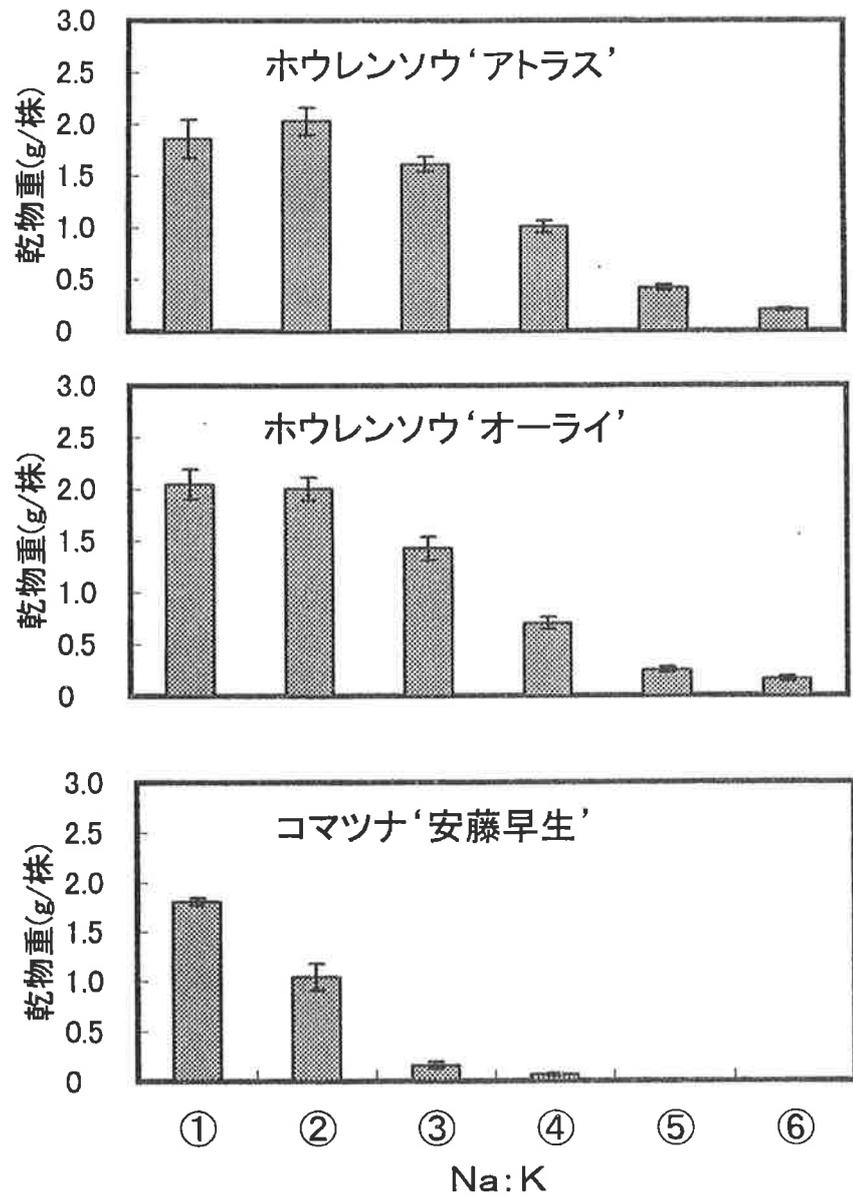
2. K施肥の多少と生育量および光合成速度との関係

Kレベルの異なるハウレンソウおよびコマツナの地上部生体重におよぼすNaCl溶液灌水の影響を第12図に、乾物重におよぼす影響を第13図に示す。各葉菜類とも、0mM灌水ではK供給量3(1440mg/ポット)区が最も大きな値となっていた。

塩水の灌水で生育が促進される‘アトラス’の地上部生体重は、供試したK施用区の全てで0mM区よりも20mM NaCl区の方が大きく、K供給量の不足～過剰段階において、0mM区よりも20mM NaCl灌水の方が生育がまさっていた。しかし、乾物重についてみると、K供給が過剰である4区と5区では0mM区と20mM NaCl区の乾物重に差がなかった。

塩水の灌水で生育が促進されない‘オーライ’では、K供給不足の1～3区では20mM NaCl区の生体重が0mM区よりも大きかったが、4(1920mg/ポット)区では差がなく、5(2400mg/ポット)区では小さかった。乾物重については、1(480mg/ポット)～4(1920mg/ポット)区の範囲で差がなく、5(2400mg/ポット)区では0mM区が20mM NaCl区よりも大きかった。

コマツナでは、供試したK施用区的全範囲で0mM区の地上部重が20mM NaCl区よりも大き



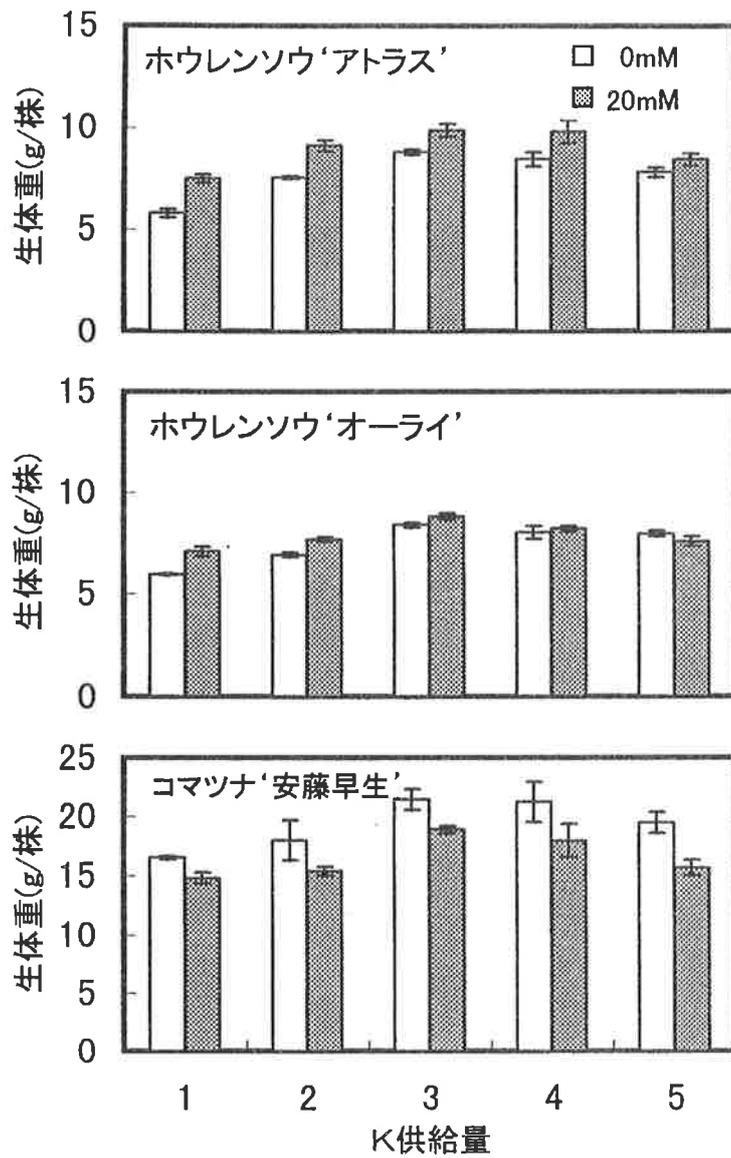
第11図 供給肥料中のNa/K比を変えた場合のハウレンソウおよびコマツナの地上部乾物重

注) 1997年9月11日播種。調査は播種50日後に行った。

Na:K=①0:10, ②2:8, ③4:6, ④6:4, ⑤8:2, ⑥10:0

全量K(①)区のK供給量=1320mg/ポット

図中のバーは標準誤差を示す。



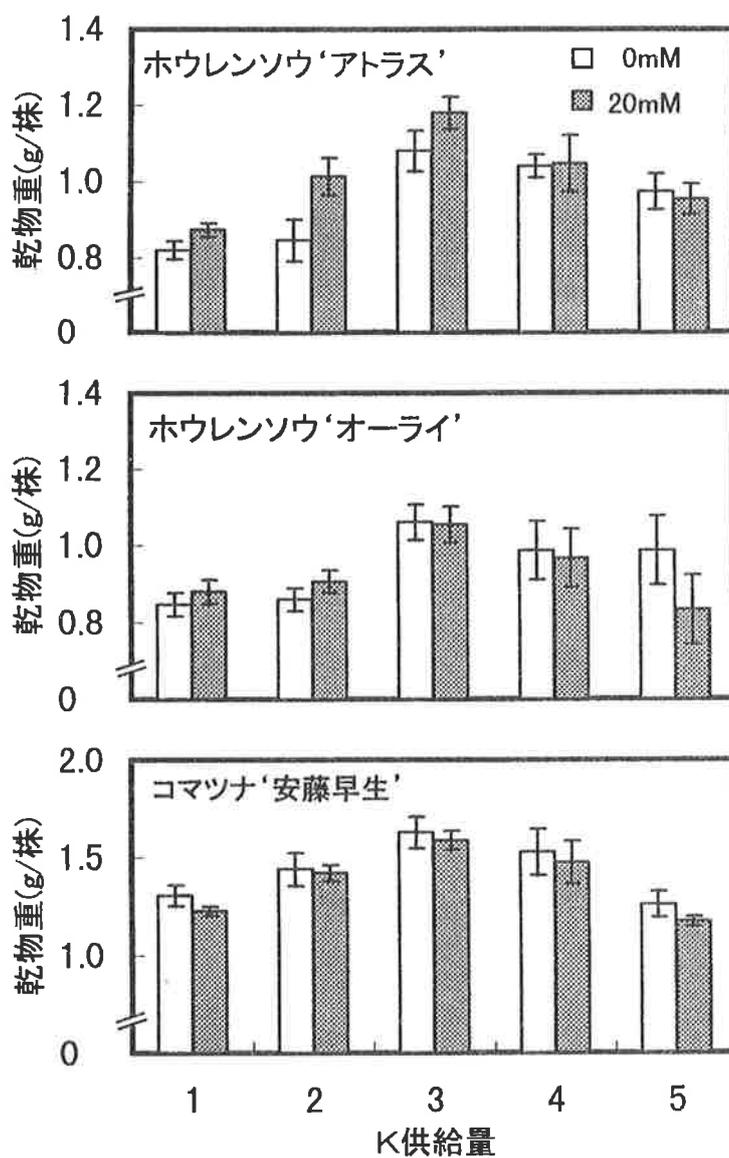
第12図 Kレベルの異なるホウレンソウおよびコマツナの地上部生体重におよぼすNaCl溶液灌水の影響

注) 1997年10月1日播種. 調査は播種53日後に行った.

K供給量の数値は, 1ポットあたりのK混合量を示す.

1:480mg 2:960mg 3:1440mg 4:1920mg 5:2400mg

図中のバーは標準誤差を示す.



第13図 Kレベルの異なるホウレンソウおよびコマツナの地上部乾物重におよぼすNaCl溶液灌水の影響

注) 1997年10月1日播種. 調査は播種53日後に行った.

K供給量の数値は, 1ポットあたりのK混合量を示す.

1:480mg 2:960mg 3:1440mg 4:1920mg 5:2400mg

図中のバーは標準誤差を示す.

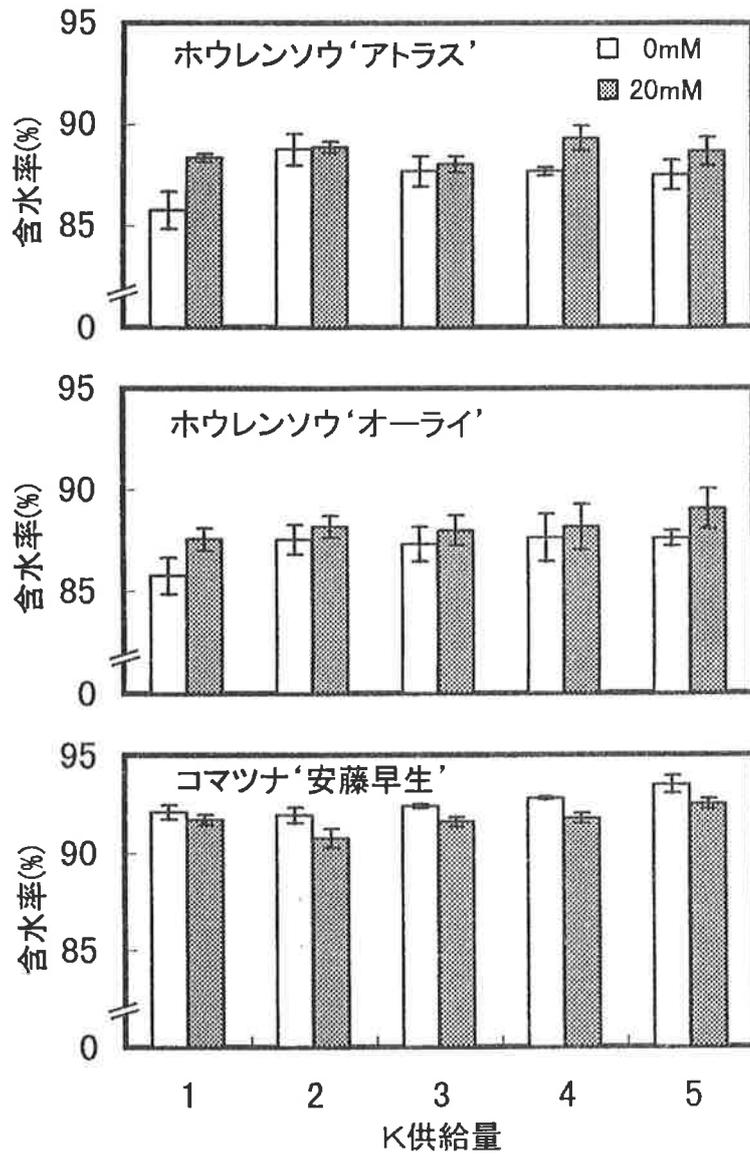
く、塩水の灌水で生育が抑制された。

地上部含水率の結果を第 14 図に示す。‘アトラス’と‘オーライ’ではK施用区的全範囲で、0mM 区よりも 20mM NaCl 区の値が大きかった。一方、コマツナではハウレンソウとは逆に、K施用区的全範囲で 20mM NaCl 区よりも 0mM 区の値が大きかった。

Kレベルの異なるハウレンソウおよびコマツナの光合成速度におよぼす NaCl 溶液灌水の影響を第 15 図に、気孔コンダクタンスにおよぼす影響を第 16 図に示す。光合成速度については、各葉菜類とも、0mM 灌水ではK供給量 3(1440mg/ポット)区が最も大きな値となっている。‘アトラス’についてK供給量と光合成速度との関係を見ると、K供給量が少ない 1 区と 2 区では 20mM NaCl 区の光合成速度は 0mM 区よりも約 $2 \mu \text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ 大きくなっている。また、気孔コンダクタンスについても、20mM NaCl 区の方がK供給量 1 では $0.06 \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 大きく、K供給量 2 では $0.16 \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 大きかった。

‘オーライ’では、K供給量 1 で $0.7 \mu \text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ 、K供給量 2 で $0.5 \mu \text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ それぞれ 20mM NaCl 区の光合成速度が 0mM 区よりも大きかった。また、気孔コンダクタンスについても、K供給量 5 を除いては、光合成速度と同様の傾向であった。

コマツナでは、K供給量的全範囲で 0mM 区の方が 20mM NaCl 区よりも光合成速度が大きく、塩水を灌水することで明らかに小さくなった。また、気孔コンダクタンスについても、0mM 区が 20mM NaCl 区よりも大きかった。



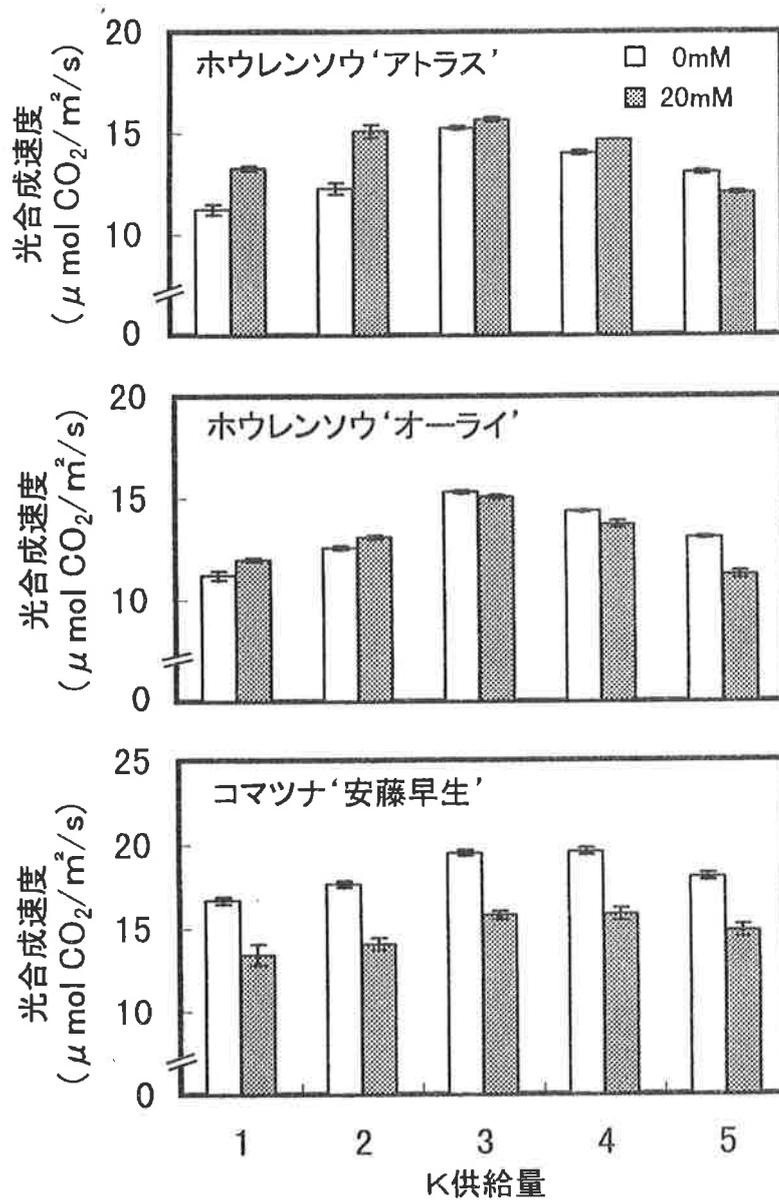
第14図 Kレベルの異なるホウレンソウおよびコマツナの含水率におよぼすNaCl溶液灌水の影響

注) 1997年10月1日播種. 調査は播種53日後に行った.

K供給量の数値は, 1ポットあたりのK混合量を示す.

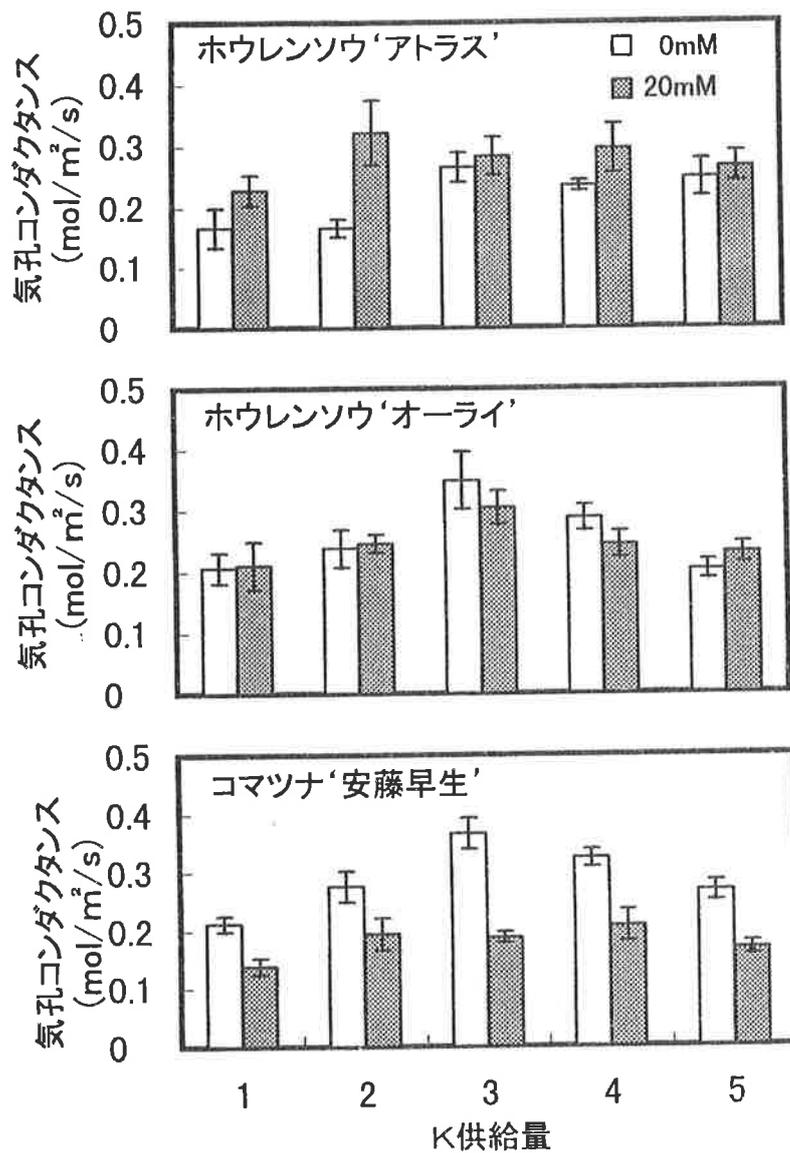
1:480mg 2:960mg 3:1440mg 4:1920mg 5:2400mg

図中のバーは標準誤差を示す.



第15図 Kレベルの異なるハウレンソウおよびコマツナの光合成速度におよぼすNaCl溶液灌水の影響

注) 1997年10月1日播種. 調査は播種47日後に行った.
 光合成有効放射量=700 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 相対湿度=60%, 気温=25°C
 K供給量の数値は, 1ポットあたりのK混合量を示す.
 1:480mg 2:960mg 3:1440mg 4:1920mg 5:2400mg
 図中のバーは標準誤差を示す.



第16図 Kレベルの異なるホウレンソウおよびコマツナの気孔コンダクタンスにおよぼすNaCl溶液灌水の影響

注) 1997年10月1日播種. 調査は播種47日後に行った.
 光合成有効放射量=700 μ mol/m²/s, 相対湿度=60%, 気温=25°C
 K供給量の数値は, 1ポットあたりのK混合量を示す.
 1:480mg 2:960mg 3:1440mg 4:1920mg 5:2400mg
 図中のバーは標準誤差を示す.

考 察

1. 肥料中のK/Na と生育量との関係

先の第5節で、K供給量が不足した状態のハウレンソウでは、Naを供給することで生育が促進され、NaにはKに代わる肥料効果があることが示唆された。本実験においても、‘オーライ’については、K不足段階では生体重、乾物重とも差がないことから、不足したKをNaが補ったと考えられる。植物体内のKの役割については十分には解明されていないが、陰イオンの中和、細胞の膨圧および水分代謝、光リン酸化、酵素の活性化、膜透過と輸送などに関与している(堀口, 1984)と考えられている。このうち、細胞の膨圧および水分代謝については、同じ一価のカチオンであるNaによっても代替されることがある。また、アッケシソウのようにKよりもNaで体内の浸透圧を作り出している植物も存在する(志水ら, 1994)。このことから、ハウレンソウにおいても体内におけるKの働きの一部をNaが代行していると考えられる。さらに、‘アトラス’については、供給Kの20%を減じて等量のNaで補った方が生育が促進されていた。このことより、‘アトラス’においてNaは浸透圧を作り出すだけでなく、生育を促す効果があると考えられる。

一方、塩水を灌水することで生育量が減少するコマツナについては、Naによる害作用で生育が抑制されたと考えられ、特に80%以上のKをNaで置き換えた処理区では生育しなかった。また、20%をNaに置き換えただけの処理区でも生育は抑制されが、灌漑水中のNa濃度は1.4mMで、生育を半減する濃度とは考えられない。このため、コマツナでの生育抑制は、Naの害作用とKの供給量不足の両面が考えられる。

通常、作物には Na は必要でなく、害作用が注目される。塩水を灌水することで生育が阻害されるコマツナも通常の作物と考えられるが、ハウレンソウはコマツナとは異なった Na への反応を示している。すなわち、一定量以上の K が存在する場合には、Na は K と同様の働きをする（‘オーライ’）か、K よりも Na が存在する方がむしろ生育が促進される（‘アトラス’）。K の作用のうち Na で代替可能と考えられるのは、浸透圧の調整など、K 固有の働きを必要としないものがまずあげられる。しかし、K に Na を混合することで生育が促進されることについては、Na は K の代替以上の働きを有すると考えられる。

第 1 節で 13 品種中 12 品種のハウレンソウが、TDS 1000ppm 希釈海水灌水で生育が促進されたこととあわせて考えると、多くのハウレンソウは K よりも Na を好む‘アトラス’型であると考えられる。

2. K 施肥の多少と生育量および光合成速度との関係

ハウレンソウおよびコマツナとも、0mM 灌水区ではポットあたり K を 1440mg 供給した処理区の地上部重が最も大きな値となっている。このことから、K 供給量は 1440mg/ポットが最適で、480mg/ポットおよび 960mg/ポットは不足、1920mg/ポットおよび 2400mg/ポットは過剰であると考えられる。

‘アトラス’の地上部生体重は供試した K 供給量の全てで 0mM 区よりも 20mM NaCl 区の方が大きかったが、乾物重については K 過剰である 1920mg/ポット以上では 0mM 区と 20mM NaCl 区に差がなかった。このことより、K の過剰段階では乾物増加よりも含水率の増加によって地上部生体重が増加していると考えられる。K 欠乏下のハウレンソウは、一価のカチオン含量を一定に保ち、浸透圧を作り出すために、Na を吸収する（高橋 ら，1997）とされ、K 不足段階にお

ける 20mM NaCl 灌水の生育促進は Na による K の代替効果が考えられる。しかし、K 供給 1440mg/ポットについては、K が十分に供給されているとすると、Na には K の代替作用とは別の役割があることが考えられる。ローズグラスでは、K 要求を満たしている条件下でも Na 施用の効果が認められ、Na の増収効果を Na 独自の積極的役割であると考えられている(安藤 ら, 1979)。また、サトウダイコンでは気孔の開閉に対して Na が K よりも影響しており(Terry・Ulrich, 1973b)、ハウレンソウについても Na は単に K 不足を補う以上の働きがあるものと推察される。

‘オーライ’では、K 供給 480mg/ポット～1440mg/ポットの範囲では 20mM NaCl 区の生体重が 0mM 区よりも大きかったが、K が過剰に供給されると小さくなった。乾物重については、K が過剰に供給されている 2400mg/ポットでは生育が抑制されたが、480～1920mg/ポットの範囲で差が見られなかった。ただし、K 供給量が 1440mg/ポット以下の範囲では 20mM NaCl 区の生体重が 0mM 区よりも大きく、含水率も高いことより、K よりも Na の方が浸透圧を高くする作用が大きいと考えられる。

コマツナでは地上部生体重、乾物重とも、供試した K の全範囲で 0mM 区が 20mM NaCl 区よりも大きかった。イネでは、高濃度の NaCl 溶液による生育阻害が K 供給量を増すことで改善された(Bohra・Doerffling, 1993)と報告されているが、コマツナでは K 供給量を増しても 0mM 区と 20mM NaCl 区の生育割合は変わらず、K による NaCl 害軽減は見られなかった。このことより、コマツナに対する 20mM NaCl 灌水には、Na または Cl による害作用が考えられる。

地上部含水率については、‘アトラス’と‘オーライ’では K 供給の全範囲で、0mM 区よりも 20mM NaCl 区の値が大きかった。逆に、コマツナでは K 供給の全範囲で 20mM NaCl 区よりも 0mM 区の値が大きかった。

塩生植物はNaClを吸収しながら生育するが、液胞液のNaCl濃度が増加し続ける accumulator タイプと、吸水を行い浸透圧(NaCl濃度)を一定に保つ regulator タイプに分けられる(増田, 1988)。ホウレンソウは吸収したNaに見合う吸水を行い、浸透圧を一定に保っていることが考えられ、塩生植物と同様(志水ら, 1994)に、少なからずNaを浸透圧調整に利用していると考えられ、結果として20mM NaCl 灌水区の方が含水率が大きかったと考えられる。

コマツナに20mM NaCl 溶液を灌水することで含水率が小さくなることについて、アブラナ属は処理塩類濃度が増すに従って地上部のNaおよびCl含量が増し、K含量が減少する(He・Cramer, 1992)。Naに対して特異性を持たない植物では、体内の浸透圧はKに負うところが大きく、20mM NaCl 溶液灌水により体内のNa含量が増してK含量が減少すると、体内の浸透圧も減少する。また、コマツナは体内のNaを浸透圧調整に利用しないため、吸水が抑制されて含水率が小さくなると考えられる。

Kの供給量を変えた場合の各葉菜類の光合成速度は、0mM 区ではポットあたり1440mgのKを供給した処理区が最も大きな値となっている。先に、地上部重からK供給1440mg/ポットが最適供給量で、480mg/ポットおよび960mg/ポットは不足段階、1920mg/ポットおよび2400mg/ポットは過剰段階であると判断したが、光合成速度の値もK供給量の影響を受け、K供給1440mg/ポットが最適であると考えられる。光合成活性はK欠乏により低下する(石塚・田中, 1958)。K欠乏の葉では、気孔開度の減少、気孔抵抗の増加が起こり(Terry・Ulrich, 1973; Downtonら, 1985; Farquharら, 1989)、気孔開度の減少が光合成速度の低下に関与していると考えられている。

‘アトラス’においてNaがK供給量と光合成速度との関係におよぼす影響をみると、K不

足段階では 20mM NaCl 溶液灌水により光合成速度は約 $2 \mu \text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ 促進している。また、気孔コンダクタンスについても、K 供給 480mg/ポットでは 20mM NaCl 区で $0.06 \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 大きく、K 供給 960mg/ポットでは $0.16 \text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 大きかった。これは、K 欠乏によって、気孔の孔辺細胞の膨圧が低下して気孔開度が減少した(堀口, 1984)のに対して、低濃度の NaCl 処理による Na が膨圧を補うことにより気孔開度を増した結果だと考えられる。また K が十分に供給されると考えられる K 供給 1920mg/ポットでも 20mM NaCl 溶液を灌水した方が光合成速度が大きく、気孔コンダクタンスも大きい。このことより、Na は K の不足を補う代替作用をするだけでなく、光合成を促進する Na 独自の効果があると考えられる。

‘オーライ’では、K 不足段階と考えられる K 供給 480mg/ポットで $0.7 \mu \text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ 、K 供給 960mg/ポットで $0.5 \mu \text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ それぞれ 20mM NaCl 灌水区の方が光合成速度が大きかった。しかし、K が十分に供給されている K 供給 1440mg/ポット以上では、0mM 区の方が 20mM NaCl 区よりも光合成速度が大きかった。また、気孔コンダクタンスについても、K 供給が過剰な 2400mg/ポットを除いては、光合成速度と同様の傾向であった。この品種についても、K 不足状態において Na に K の代替作用があると考えられる。しかし、十分な K 供給下では 0mM 区の光合成速度が 20mM NaCl 区よりも大きいことより、Na は単に K の代替役を果たしていると考えられる。

コマツナでは、K 供給量の全範囲で 0mM 灌水区の方が 20mM NaCl 灌水区よりも大きく、塩水を灌水することで明らかに光合成速度が抑制されていた。また、気孔コンダクタンスについても、0mM 区の方が 20mM NaCl 区よりも大きかった。NaCl 処理における光合成速度について、ナスでは Na または Cl が葉に蓄積することで光合成速度が低下し(Chartzoulakis・Loupassaki,

1997), イネでも Na そのものの害作用で光合成速度が低下する (Maegawa ら, 1987; 趙 ら, 1996). コマツナでは K 供給量の全範囲で, 20mM NaCl 溶液灌水により光合成速度が同程度に低下しており, 葉内の Na または Cl の光合成に対する害作用が考えられる.

供試した 3 葉菜類とも, その生育反応はそれぞれの条件における光合成速度とも合致しており, 個葉それぞれの光合成速度の差が生育量の違いとなって現れていると考えられる. また, K 供給量を変えた場合の, 光合成速度の変化と気孔コンダクタンスの変化はよく似た傾向を示しており, 体内の K と Na による気孔開度の調整が光合成速度を左右していることが示唆された.

摘 要

- (1) K の供給量を減じてその分を Na で補った場合, 塩水の灌水で生育が促進される ‘アトラス’ では, K : Na が 8 : 2 のとき最も生育が良く, 塩水の灌水で生育が促進されない ‘オーライ’ ではほとんど差がなかった. しかし, コマツナでは, K : Na = 8 : 2 のときの生育量が, 全量 K のときの 53% に抑制された.
- (2) K の供給量を変えた場合の地上部生体重におよぼす NaCl 溶液灌水の影響を調べた. ‘アトラス’ では K 供給量の不足・過剰に関係なく, 0mM 区よりも 20mM NaCl 区の方が大きかった. ‘オーライ’ では, K 供給量の不足～適量段階では 20mM NaCl 区の生体重が 0mM 区よりも大きかったが, 過剰段階では小さくなった. コマツナでは K 供給量の不足・過剰にかかわらず 0mM 区の生体重が 20mM NaCl 区よりも大きかった.
- (3) K の供給量を変えた場合の各葉菜の地上部含水率におよぼす NaCl 灌水の影響は, ホウレンソウでは K 供給量の不足・過剰に関係なく 0mM 区よりも 20mM NaCl 区の値が大きかった. こ

れに対してコマツナでは、K供給量の不足・過剰に関係なく 20mM NaCl 区よりも 0mM 区の値が大きかった。

(4) Kの供給量を変えた場合のハウレンソウおよびコマツナの光合成速度におよぼす NaCl 灌水の影響は、‘アトラス’ではK不足～やや過剰段階で 20mM NaCl 溶液灌水により光合成速度が高くなった。‘オーライ’ではK不足段階でのみ 20mM NaCl 灌水区の方が大きかった。コマツナでは、K供給量に関係なく 0mM 区の方が 20mM NaCl 区よりも大きく、塩水を灌水することで光合成速度が小さくなった。

(5) K供給量を変えた場合のハウレンソウおよびコマツナの光合成速度におよぼす 20mM NaCl 溶液灌水の影響は、それぞれの気孔コンダクタンスとよく似た傾向を示しており、気孔開度が光合成速度を左右していることが示唆された。

第3章 塩水の灌水量の多少がホウレンソウの生育におよぼす影響

ホウレンソウに塩水を灌水すると、淡水を灌水するよりも生育が促進されることが明らかとなった。しかし、これまでの実験においては、適宜適量の灌水を行っており、灌水量の多少による生育量への影響については考慮していない。そこで、土壌の保水力が異なる場合における灌水量の違いが塩水灌水効果におよぼす影響について検討した。また、灌水量の多少が葉内 Na/K 比におよぼす影響もあわせて調査した。

材料および方法

実験は1989年7月から9月にかけて、鳥取大学乾燥地研究センター実験圃場の寒冷紗(遮光率39%)を重ね張りしたビニルハウス内に設けた砂丘砂土壌で行った。夏期栽培に適するとされる品種‘おかめ(タキイ種苗)’を7月22日に播種し、淡水(TDS 0ppm)灌水区と35倍希釈海水(TDS 1000ppm)灌水区を設けた。灌水は、気象状況や生育状況から経験的に判断して標準灌水量を決定し、その値に対して60%、80%、150%の灌水量区を設けた。その結果、標準区は7.0mm/日となり、60%、80%、150%はそれぞれ4.2mm/日、5.6mm/日、10.5mm/日であった。また、土壌の保水力を変える目的で、第13表に示した10種類のSAP(高分子吸水性樹脂)を深さ20cmまで純品換算重量比で0.05%混合した。施肥には化成肥料(N:P₂O₅:K₂O=28 : 26 : 27.2kg/10a)を施用した。播種43日後に、1区画80株中、中庸10株を選出して直ちに地上部生体重を測定した。地上部生体重を測定した個体を乾燥機に入れ、80℃で3日間乾燥した後地上部乾物重を測定し

第13表 供試した高分子吸水性樹脂(SAP)とその主成分および純水吸水能

SAP	メーカー	主成分	純水吸水能(ml/g)
A OKS7702	日本合成化学	ポリビニールアルコール	150
B IM1000	三洋化成	スターチポリアクリル酸	1000
C ダイヤウエットA-3	三菱油化	ポリアクリル酸	500
D アクリホープCS40B	日本触媒化学	ポリアクリル酸	200
E KR713	荒川化学	ポリアクリル酸	650
F KI201K	クラレ	イソブチレン無水マレイン酸	200
G ダイヤゲルM800F	日東化学	ポリアクリルアミド	600
H イケタゲルP	住友化学	ビニルアルコールポリアクリル酸ソーダ	500
I コンポジットSAP10	日本耕土産業	SAP*と粘土の混合品(1:10)	
J コンポジットSAP20	日本耕土産業	SAP*と粘土の混合品(1:5)	

* B, D, Hおよびアキープ4S(メーカー:住友精化, 主成分:ポリアクリル酸)の等量混合物

た。無処理と SAP A-G区については、乾物重測定後の乾燥葉を湿式灰化し、原子吸光法でKとNa含量を測定した。

結 果

1. 生体重

栽培期間中のビニルハウス内の日最高気温の平均は 33.3℃で、生育適温から考えると温度条件はかなり高かったといえる。しかし、生育障害などはなく、順調に生育した。

灌漑水の塩類濃度、灌水量および混合 SAP の違いがホウレンソウの地上部生体重におよぼす影響を第 14 表に示す。

灌水量別に平均値を 0ppm 灌水区と 1000ppm 灌水区を比較すると、5.6mm/日、7.0mm/日、10.5mm/日での 1000ppm 灌水区の生体重は対 0ppm 灌水区比がそれぞれ 144%、127%、133%となり、希釈海水の灌水により生育が促進された。

灌漑水の種類別に、各混合 SAP 内で最も生体重が大きくなった灌水量を最適灌水量として 0ppm 灌水区と 1000ppm 灌水区を比較すると、無処理区、A区、H区では 1000ppm 区の最適灌水量が少なくなったにもかかわらず、生体重は大きくなった。B区、D区、G区、I区、J区では、最適灌水量は変わらないが、1000ppm 灌水区での生体重が増した。C区、F区では最適灌水量が増すが、生体重は大きくなった。E区では最適灌水量が増したにもかかわらず、生体重は小さくなった。

2. 粗要水量

灌水量を地上部乾物重で除した値を粗要水量として各処理区の値を求めたところ第 15 表の

第14表 灌漑水の塩類濃度、灌水量および混合SAPの違いがホウレンソウ‘おかめ’の地上部生体重におよぼす影響

	灌水量										7.8 (g/株)
	Oppm灌水					1000ppm灌水					
	10.5 (mm/日)	7.0 (mm/日)	5.6 (mm/日)	4.2 (mm/日)	4.2 (mm/日)	10.5 (mm/日)	7.0 (mm/日)	5.6 (mm/日)	4.2 (mm/日)	4.2 (mm/日)	
無処理	3.7	7.8	7.3	6.6	6.6	4.2	11.5	18.2	7.8	7.8	
A	7.5	17.6	15.6	11.5	11.5	7.6	21.6	26.1	8.9	8.9	
B	8.5	17.0	20.0	8.4	8.4	8.4	13.6	20.6	11.6	11.6	
C	5.6	11.7	8.8	12.7	12.7	4.4	9.8	20.4	9.2	9.2	
D	9.9	11.2	15.8	14.1	14.1	10.2	21.1	21.8	6.6	6.6	
E	6.7	9.6	14.8	14.4	14.4	6.9	14.2	9.9	7.1	7.1	
F	4.1	9.3	7.8	9.5	9.5	7.4	10.3	11.0	5.7	5.7	
G	3.5	8.1	9.3	6.3	6.3	8.8	12.6	16.1	11.4	11.4	
H	4.9	8.8	8.8	5.8	5.8	6.2	10.3	12.7	6.0	6.0	
I	1.9	5.0	10.5	3.9	3.9	6.9	8.8	14.6	6.9	6.9	
J	2.3	4.2	5.6	4.2	4.2	7.0	5.9	7.6	6.9	6.9	
平均	5.33	10.03	11.30	8.85	8.85	7.09	12.70	16.27	8.01	8.01	

注)1989年7月22日播種. 調査は播種43日後に行った.
SAP混合量:純品換算重量比 0.05%(w/w 砂丘土壌)

第15表 灌漑水の塩類濃度、灌水量および混合SAPの違いがホウレンソウ‘おかめ’の粗要水量におよぼす影響

混合SAP	灌水量						1000ppm灌水量 (mm/日)(mm/日)(mm/日)(mm/日)(mm/日)	粗要水量 (l/g)
	Oppm灌水量			1000ppm灌水量				
	10.5 (mm/日)	7.0 (mm/日)	5.6 (mm/日)	4.2 (mm/日)	10.5 (mm/日)	7.0 (mm/日)		
無処理	36.7	12.7	11.4	10.3	33.2	8.1	4.6	10.1
A	22.4	6.5	6.2	6.4	19.8	4.7	3.7	8.1
B	20.6	6.1	5.0	10.5	21.9	8.2	5.0	6.9
C	31.2	10.5	12.8	7.1	46.8	11.2	5.3	9.3
D	18.0	11.0	6.7	5.9	17.1	5.3	4.7	12.9
E	28.6	12.5	7.0	5.8	25.1	8.1	10.2	12.9
F	36.7	12.9	12.5	8.5	22.9	10.7	8.2	13.3
G	44.7	14.4	11.2	12.6	16.6	9.4	5.4	6.5
H	27.8	15.6	10.4	14.4	23.9	11.8	7.4	12.0
I	68.6	25.3	9.6	20.1	22.4	13.2	6.5	12.0
J	60.5	30.6	14.5	17.3	25.7	19.5	11.5	11.0
平均	35.98	14.37	9.75	10.81	25.04	10.02	6.59	10.45

注) 1989年7月22日播種。調査は播種43日後に行った。
SAP混合量: 純品換算重量比 0.05%(w/w 砂丘土壌)

とおりである。混合 SAP 別に、最も粗要水量が小さい最適灌水量区を見出すと、0ppm 灌水量区では、A区、B区、G区、H区、I区、J区が5.6mm/日灌水量区であり、無処理区、C区、D区、E区、F区では4.2mm/日灌水量区が最適灌水量となった。1000ppm 灌水量区では、E区が7mm/日灌水量区、J区が4.2mm/日灌水量区が最適灌水量区であるほかは、5.6mm/日灌水量区が最適灌水量区であった。0ppm 灌水量区と1000ppm 灌水量区を比較すると、E区で1000ppm 区が大きく、B区では同じであったほかは、1000ppm 区の方が小さくなった。

灌水量別に0ppm 区と1000ppm 区を比較すると、4.2mm/日灌水量区では対0ppm 区比97%、5.6mm/日灌水量区は67%、7.0mm/日灌水量区は69%、10.5mm/日灌水量区は69%で、1000ppm 区の方が小さな値になった。

また、最も値が小さかったのは1000ppm-5.6mm/日-A区で、3.7l/gであった。この値は灌水の基準とした淡水-7.0mm/日-無処理区の12.7l/gに対して1/3以下であった。

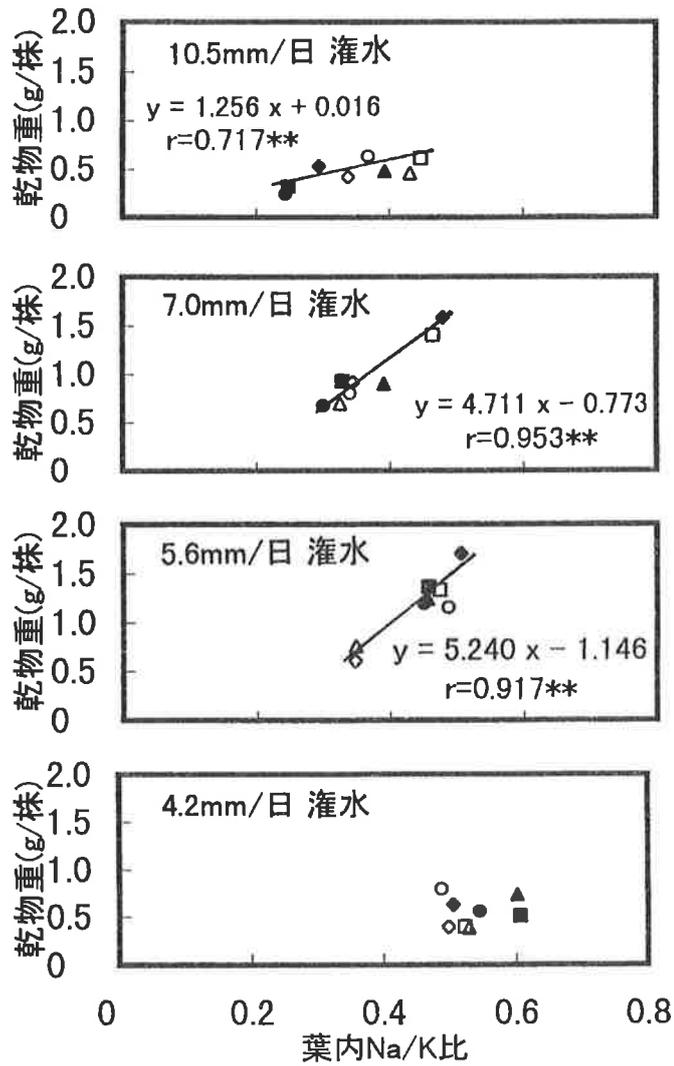
3. 葉内K, Na 含量と生育量との関係

1000ppm 灌水における葉内 Na/K比と地上部乾物重との関係を第17図に示す。灌水量間で比較すると、Na/K値は、灌水量が少なくなるにつれて大きくなる傾向にあった。また、1000ppm 灌水量の5.6~10.5mm/日灌水量区では、葉内 Na/K比が大きくなるほど乾物重も大きくなっていった。

考 察

1. 生体重

0ppm 灌水量区と1000ppm 灌水量区を比較すると、1000ppm 灌水量区ではC区、F区、E区を除く8



第17図 ホウレンソウ‘おかめ’における葉内Na/K比と地上部乾物重との関係

注)**は1%水準で有意であることを示す。

種の SAP 処理区で、最適灌水量が変わらないか減少したにもかかわらず、生体重は増加した。

このことから、1000ppm 希釈海水灌水により、より少ない灌水量でハウレンソウの栽培が可能となることがわかった。混合した SAP の影響については、生育を促進する効果があるものと、生育を抑制するものがあった。SAP は塩水よりも淡水をよく吸収し、塩水における吸水能は低下する(遠山, 1987; 大内ら, 1991)ため、1000ppm 灌水区では 0ppm 灌水区と比較して土壌中の保水力が低下していると考えられる。しかし、生育を促進する SAP が多いことより、塩水を灌水する場合にも SAP を土壌に混合する効果はあると考えられる。その場合、土壌や環境に合わせて混合する SAP を選択する必要があることがわかった。

また、5.6~10.5mm/日灌水区では、1000ppm 灌水区が 0ppm 灌水区に対して生育が促進されていた。このことより、標準とした 7.0mm/日の 80~150%の灌水量の範囲で、1000ppm 希釈海水がハウレンソウの生育を促進することがわかった。

また、実験期間中の日最高気温の平均は 33.3℃で、ハウレンソウにとってはかなりの高温であったと考えられる。しかし、希釈海水を灌水したハウレンソウの生体重が大きくなっており、その生育反応は灌水量の多少によらず現れていた。これは塩水の灌水で生育を促進するハウレンソウが、25℃以上の高温域での光合成速度が増大する(第 2 章 第 4 節)ためと考えられる。

2. 粗要水量

灌水量別に 0ppm 灌水区と 1000ppm 灌水区を比較すると 1000ppm 灌水区の方が小さな値になったのは、同一の灌水量に対して、0ppm 灌水区よりも 1000ppm 灌水区の方が地上部乾物重が大きいためである。各灌漑水内で灌水量が多い 10.5mm/日灌水区の値が大きいのは、過度の灌水による灌漑水の浪費と、肥料の溶脱、土壌中の気相の減少による通気不足によるハウレンソウの

生育不良が原因であると考えられる。逆に、灌水量が少ない 4.2mm/日灌水区の値が 5.6mm/日灌水区の値よりも大きくなっているのは、灌水量の不足による生育不良が原因であると考えられる。

最も値が小さかった 1000ppm-5.6mm/日-A区と、基準とした淡水-7.0mm/日-無処理区を比較すると、粗要水量は 1/3 以下であった。このことは、土壌の状況にあわせて的確な灌水を施せば、同一灌水量あたりの収量が 3 倍になることを示している。

灌漑水に含まれる塩類は少ない方が良いとされているが、ハウレンソウ栽培においては 1000ppm 程度の塩類が含まれている方が生育量が増す。また、土壌に合った適切な灌水を行うことでさらに増収になることが期待できる。

3. 葉内K, Na 含量と生育量との関係

灌水量間で比較すると、灌水量が少なくなるにつれ Na/K値が大きくなる傾向があった。ハウレンソウは低土壌水分下においてKとNaで体内の浸透圧を維持している(Sugiyama・Okada, 1988)が、低土壌水分になるほどNa/K比が大きくなることより、アッケシソウなどと同様に(志水ら, 1994), Naが体内の浸透圧に寄与する割合が大きいと考えられる。このため、少量灌水によりハウレンソウが水ストレス状態に置かれると、KよりもNaを多く吸収する傾向があると考えられる。

また、1000ppm灌水区の5.6~10.5mm/日灌水区では、葉内Na/K比が大きくなるほど乾物重も大きくなったことより、塩水を灌水して生育が促進されるハウレンソウは、水ストレスが加わるとKに対してNaを多く吸収し、Naを多く吸収する個体が乾物重を大きくすると考えられる。

摘 要

- (1) 塩水灌水における土壌水分の差異がハウレンソウの生体重におよぼす影響を調べた。その結果、最適灌水量は1000ppm希釈海水を灌水することで減少し、同一灌水量では生育が促進されることがわかった。また、夏期栽培においても希釈海水の灌水はハウレンソウの生育促進に効果があった。
- (2) 粗要水量に関して、0ppm灌水区と1000ppm灌水区を比較すると、淡水を灌水するよりも1000ppm希釈海水を灌水した方が単位水量あたりの生育量が大きいことがわかった。
- (3) 1000ppm灌水区における葉内Na/K比と地上部乾物重との関係について灌水量間で比較すると、Na/K値は、灌水量が少なくなるにつれて大きくなる傾向にあった。また、5.6~10.5mm/日の灌水量範囲では、葉内Na/K比が大きいほど乾物重も大きくなっていた。これらのことから、塩水を灌水して生育が促進されるハウレンソウは、水ストレスが加わるとKに対してNaを多く吸収し、Naを多く吸収する個体が乾物重を大きくすると考えられる。

第4章 ホウレンソウの発芽・出芽におよぼす塩水の影響

ホウレンソウに低濃度の NaCl 塩水を灌水することで、生育が促進されることがわかった。しかし、前章までの実験は、出芽後のホウレンソウについて行ったもので、発芽および出芽におよぼす塩水灌水の影響については考慮していない。

ホウレンソウ種子の塩水発芽試験は行われているが(松原・田坂, 1987), 発芽率の結果だけでは実際の栽培にそぐわないことが考えられる。また, 実際の栽培面では, 発芽率が高いにもかかわらず, 出芽率が低く, 出芽が不揃いになることが多い。その理由として, ホウレンソウ種子の硬い果皮に問題があると考えられており, 吸収した水分の多くが果皮に貯留され, 通気性が悪くなり, 種子内部に酸素不足が生じると報告されている(杉山, 1944b)。これに対して, あらかじめ発芽床で催芽させる方法(杉山, 1944a)やポリエチレングリコールによるプライミング処理(中村ら, 1982)など, 改善方法が考えられている。また, 果皮を除去した種子(以下, 無果皮種子)を用いると, 発芽率が良くなることが以前から知られ, 現在では無果皮種子が市販されている。無果皮種子は, 通常の種子(以下, 有果皮種子)に比べて発芽率が高い, 発芽揃いがよい, 初期生育が良好であるなどの長所があり, そのため播種や間引きの作業が軽減できるという利点もある。しかし, 無果皮種子の発芽に対する塩水の影響はわかっていない。

そこで, 塩水を灌水してホウレンソウを栽培するにあたり, ホウレンソウ種子の発芽・出芽に対する果皮の有無, 果皮厚, 種子重および処理溶液の NaCl 濃度の影響を調べた。

材料および方法

1. 発芽試験

発芽試験に用いる多量の種子の果皮厚をすべて容易に測定する方法はなく、種子重と果皮厚との関係式を求め、種子重から果皮厚を推定した。

在来品種‘日本’について、有果皮種子を粒重測定後剃刀で2分し、果皮の最も薄い箇所を実体顕微鏡で検鏡して果皮の厚さを測定した。

有果皮種子の種子重を1000粒測定し、極端に重い種子および軽い種子を除いた度数分布の内側90%について、種子重別に5段階にクラス分けした。無果皮種子については、有果皮種子重(X)と無果皮種子重(Y)との関係式($Y=0.3372X+1.9282^{**}$)から、有果皮種子の各クラスに対応する5段階のクラス分けを行った(第16表)。

直径9cmのシャーレに濾紙を2枚敷き、蒸留水(0mM)、50mM、100mM、150mMおよび200mM NaCl溶液と各NaCl溶液と等浸透圧のマンニトール溶液(MAN)(第17表)を各々3.5ml含ませた後、各シャーレに種子重別に分けた種子を50粒ずつ置床した(3反復)。シャーレを暗黒下20℃恒温器に入れ、1日1回、連続14日間発芽調査を行った。なお、濾紙および処理溶液は3日毎に交換した。

2. 出芽試験

有果皮種子(品種‘グローリー’)と無果皮種子(品種‘グローリー(ネーキッド)’)の種子重をそれぞれ1000粒測定し、度数分布の内側90%を種子重別に5段階にクラス分けした(第16表)。1992年10月24日、砂丘砂を充填した育苗箱(57cm×31cm×6cm)に深さ1.5cmで各処理30粒ずつ播種し(5反復)、淡水(0mM)、NaCl溶液50mM、100mM、150mMおよび200mMを各区に適宜灌水

第16表 ホウレンソウ種子の種子重によるクラス分け

品種	種子	種子重クラス(mg)				
		①	②	③	④	⑤
日本	有果皮	6.1~ 9.0	9.0~11.9	11.9~14.8	14.8~17.7	17.7~20.6
	無果皮	4.0~ 5.0	5.0~ 6.0	6.0~ 7.0	7.0~ 8.0	8.0~ 9.0
グローリー	有果皮	9.8~12.5	12.5~15.2	15.2~17.9	17.9~20.6	20.6~23.3
	無果皮	4.4~ 5.1	5.1~ 5.8	5.8~ 6.5	6.5~ 7.2	7.2~ 7.9

注)各クラス内の数値は以上, 未満で表示

第17表 NaClおよびマンニトール(MAN)濃度と浸透圧との関係

NaCl (mM)	MAN (g/l)	MAN (MPa)
50	17.68	-0.25
100	32.52	-0.49
150	47.35	-0.73
200	62.80	-0.98

した。土壌表面に芽が出た状態を出芽と規定し、1日1回連続14日間出芽数を調査した。なお、実験はビニルハウス内で行い、気温・地温については発芽適温の範囲内になるようビニルの開閉により調節した。

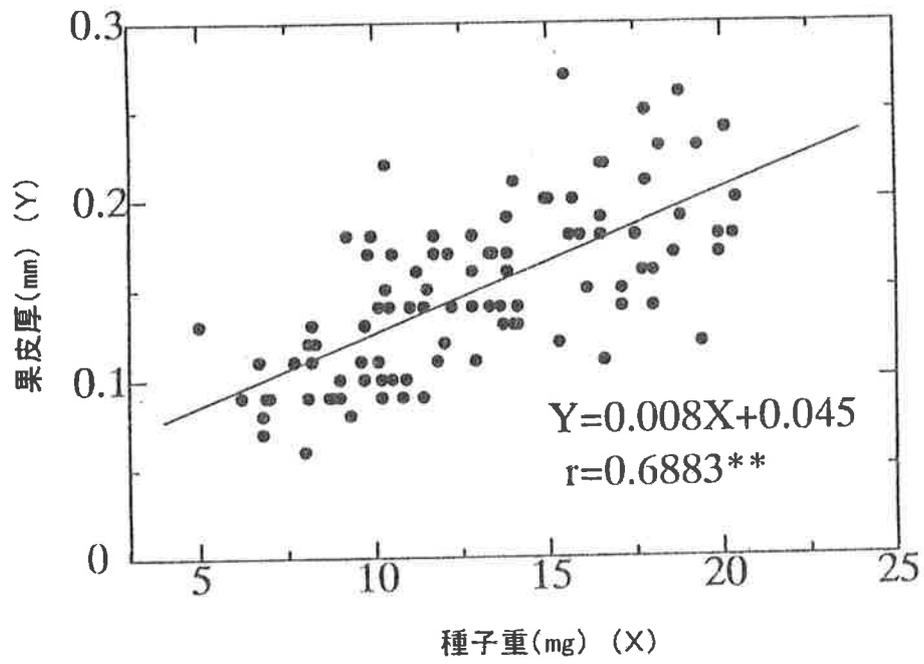
結 果

1. 発芽試験

種子重と果皮厚との関係を第 18 図に示す。種子重 (X) と果皮厚 (Y) とには正の相関 ($r=0.6883^{**}$) があり、種子重が重いほど果皮は厚かった。すなわち、種子重クラスの最も小さい①では、果皮厚は 0.09mm~0.12mm と推定された。これに対して種子重の最も大きい⑤の果皮厚は 0.19mm~0.21mm で、①の約 2 倍の厚さであった。

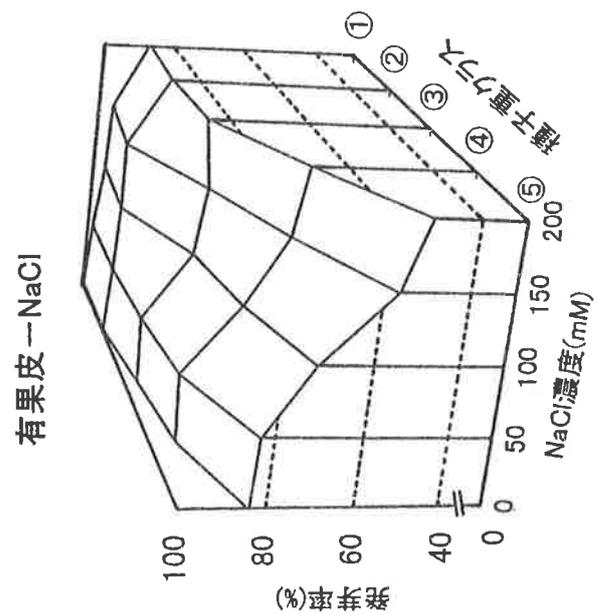
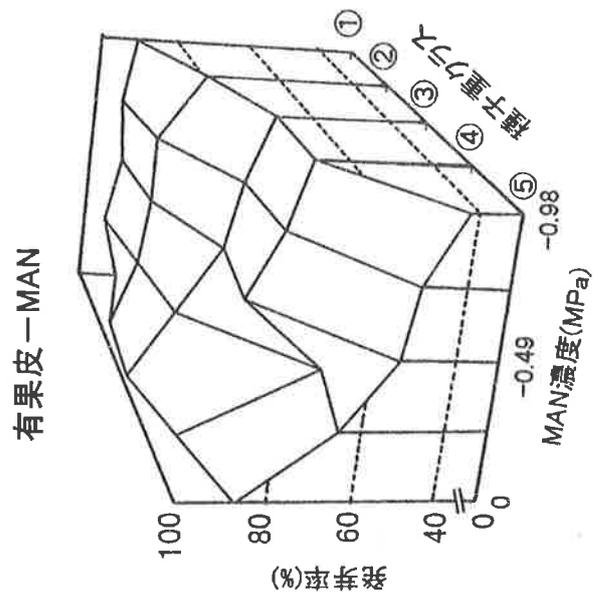
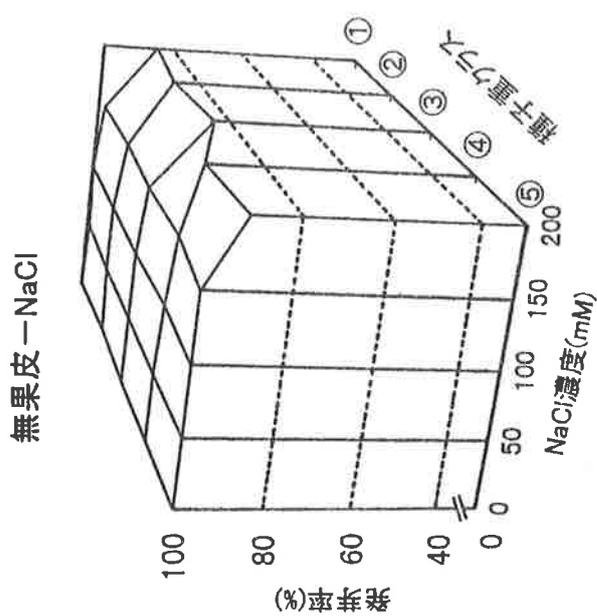
果皮の有無および NaCl 濃度と MAN 濃度がホウレンソウの発芽率におよぼす影響を第 19 図に示す。有果皮種子は NaCl 濃度および MAN 濃度が高くなるほど、また、種子重が大きくなるほど発芽率は低下した。同一種子クラス内でみると、クラス②の種子の発芽率は 200mM NaCl では 0mM に対して 12%の減少であったが、果皮の厚いクラス⑤の種子では 33%減少した。同様に、有果皮-MAN 処理でも、種子重が大きいほど高浸透圧区での発芽が抑制された。一方、無果皮種子は、150mM 以下の NaCl 濃度では種子重に関係なく 100%近い発芽率を示し、200mM NaCl でも、80%以上の発芽率であった。

各処理区の発芽日数を第 20 図に示す。有果皮種子の場合、発芽日数は重い種子重クラスほど遅くなり、発芽日数の分布幅が広く、最頻値が小さくなる傾向があった。また、発芽日数におよぼす NaCl 濃度を比べると、濃度が低いときほど最頻値が顕著に現れ、平均発芽日数は NaCl



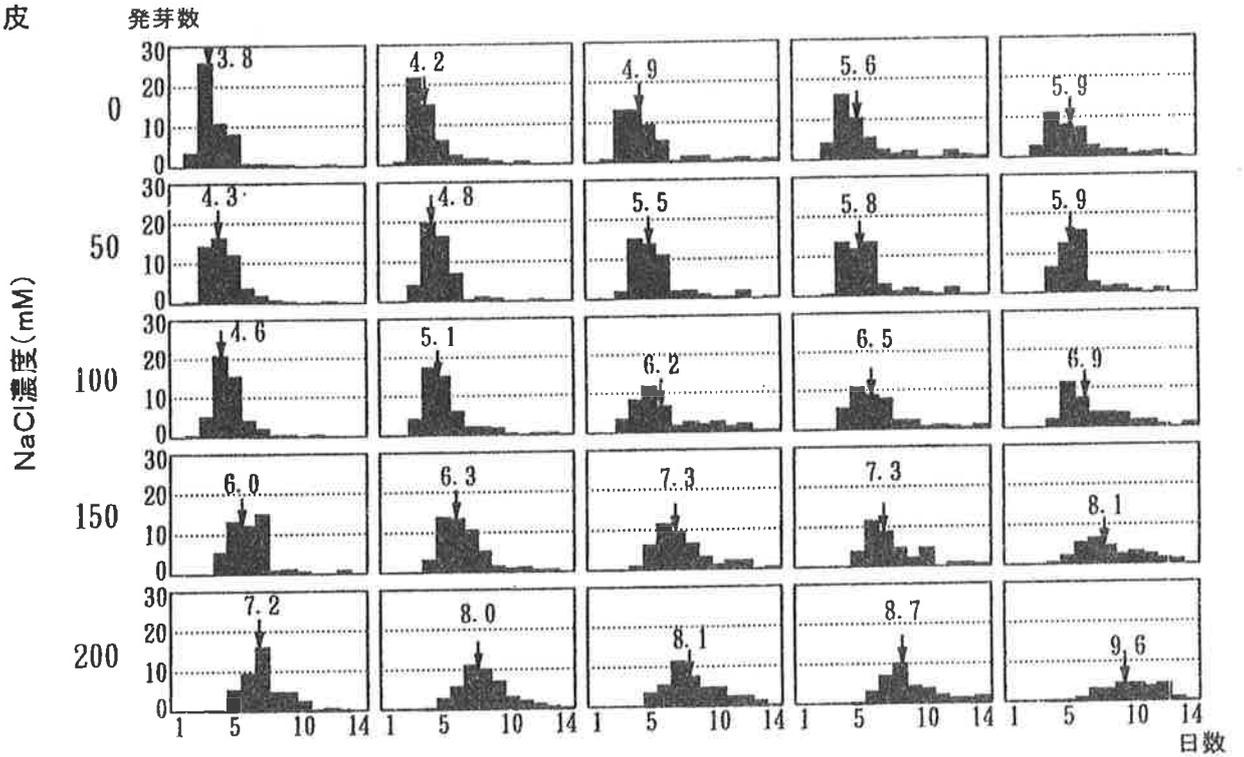
第18図 ホウレンソウ‘日本’における種子重と果皮厚との関係

注**は1%水準で有意であることを示す。

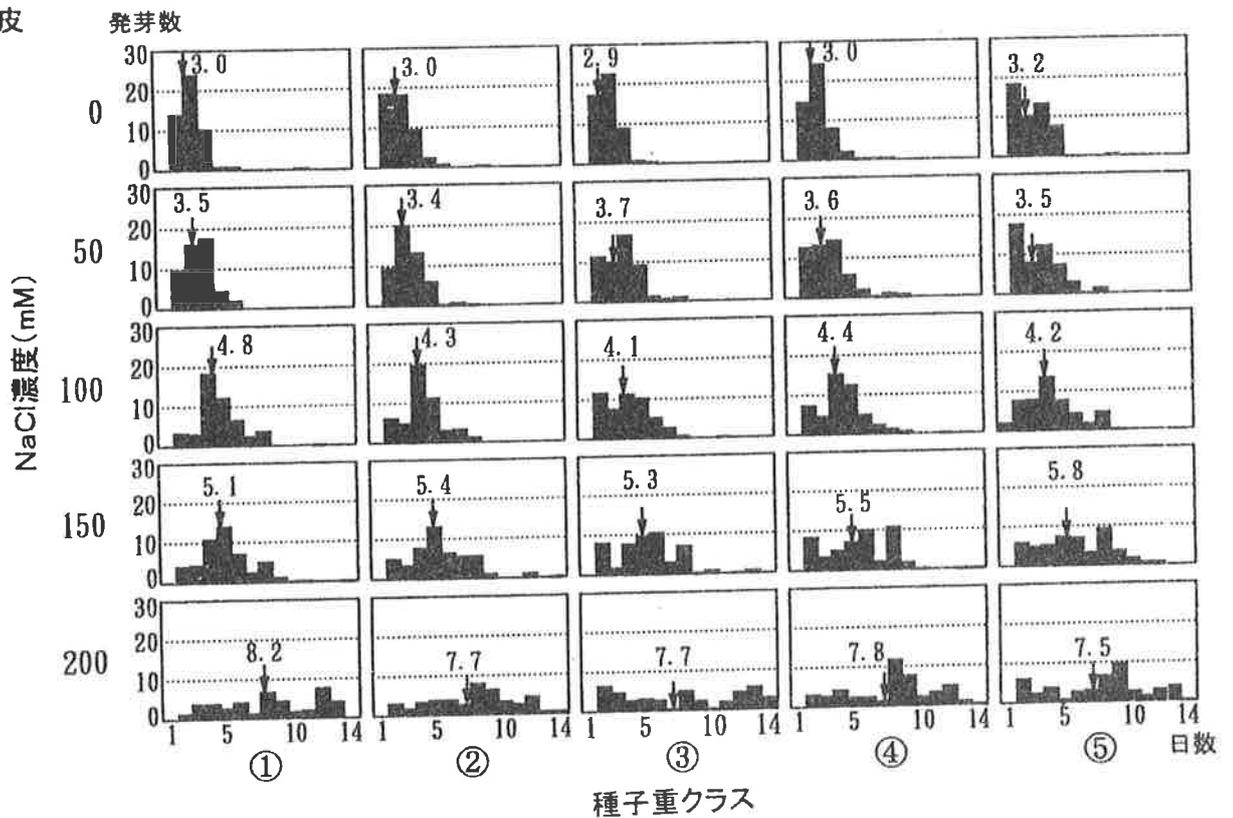


第19図 果皮の有無, NaCl濃度および種子重がホウレンソウ‘日本’の発芽率におよぼす影響

有果皮



無果皮



第20図 果皮の有無, NaCl濃度および種子重がホウレンソウ'日本'の発芽日数におよぼす影響

注) 図中の矢印は平均発芽日数

濃度が高くなるとともに遅くなった。無果皮種子の場合でも、発芽日数に対して同様な NaCl 濃度の影響が認められたが、種子重は平均発芽日数に影響しなかった。

2. 出芽試験

出芽率におよぼす果皮の有無、NaCl 濃度および種子重の影響を第 21 図に示す。有果皮種子はすべての処理区において出芽率が 80%未満で、種子クラス①の 50mM NaCl 灌水区が 73%で最高であった。同一種子重クラス内でみると、NaCl 濃度が高くなるにつれて出芽率は低下した。また、同一濃度の NaCl 処理間で比較すると、種子重クラスが大きくなるほど出芽率が低くなる傾向があった。一方、無果皮種子は、100mM NaCl 溶液の灌水でも 80%以上の出芽率があり、100mM 以下の NaCl 濃度では出芽率に種子重間差異は認められなかった。

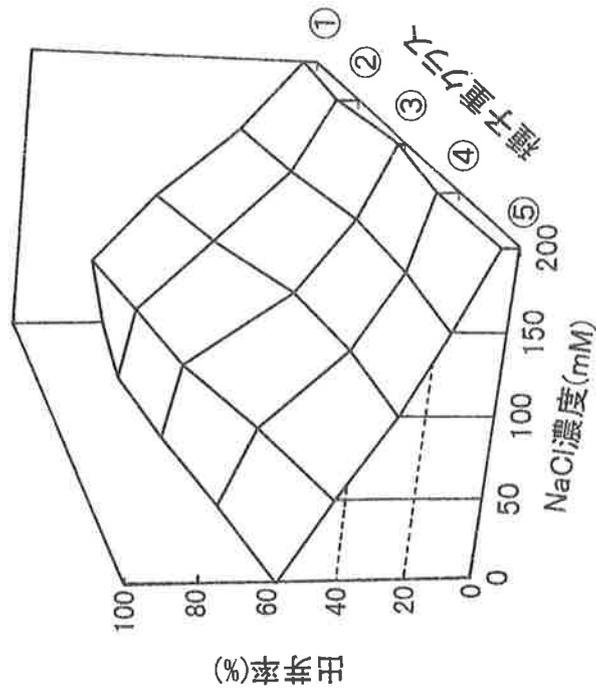
出芽日数については第 18 表に示す。150mM 以下の NaCl 濃度では 150mM ③区を除いて有果皮種子と無果皮種子の出芽日数に差があり、無果皮種子の方が 2.9 日(0mM ①)~4.8 日(50mM ④)短かった。NaCl 濃度別に比較すると、有果皮種子は 0mM 区で出芽まで平均 9.2 日要し、無果皮種子の 5.4 日より 3.8 日長かった。有果皮種子の NaCl 溶液での平均出芽日数はそれぞれ 50mM 区 9.7 日、100mM 区 10.0 日、150mM 区 10.5 日、200mM 区 10.2 日で、無果皮種子よりそれぞれ 4.3 日、3.9 日、3.4 日、1.8 日長かった。100mM 区および 150mM 区でもそれぞれ 3.9 日および 3.4 日長かった。無果皮種子の出芽日数に種子重は影響しなかった。

考 察

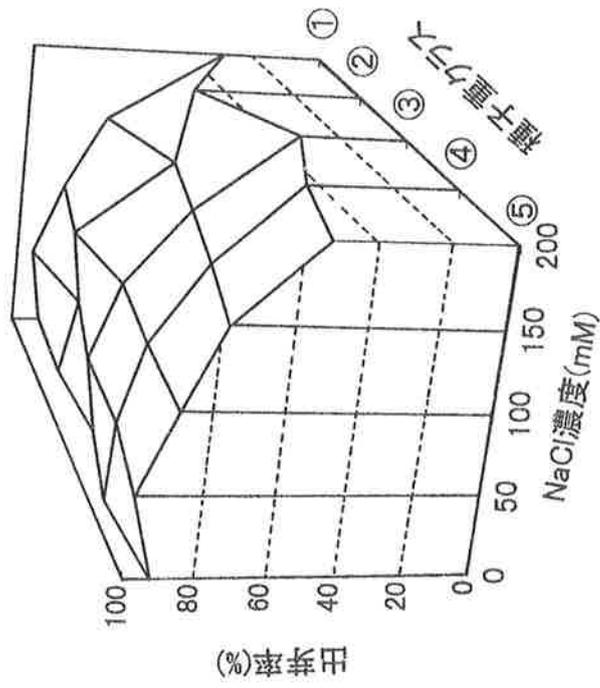
1. 発芽試験

有果皮種子では、NaCl 濃度および MAN 濃度が高くなるほど、また、種子重が大きくなるほど

有果皮



無果皮



第21図 果皮の有無、NaCl濃度および種子重がホウレンソウ‘グローリー’の出芽率におよぼす影響

注)1992年10月24日播種. 調査は播種14日後に行った.

第18表 果皮の有無, NaCl濃度および種子重がホウレンソウ'グローリー'の出芽日数におよぼす影響

NaCl (mM)	種子	種子重クラス					平均
		①	②	③	④	⑤	
0	有果皮	8.4 **	9.1 **	9.4 **	9.3 **	9.6 **	9.2 (日)
	無果皮	5.5	5.4	5.4	5.3	5.3	
50	有果皮	9.4 **	9.4 **	10.0 **	10.1 **	9.7 **	9.7
	無果皮	5.6	5.3	5.3	5.3	5.3	
100	有果皮	9.8 **	10.2 **	9.9 **	10.3 **	9.6 **	10.0
	無果皮	6.1	6.2	5.9	6.1	6.0	
150	有果皮	10.7 *	11.1 **	10.0	10.5 *	10.1 **	10.5
	無果皮	7.1	7.4	7.6	7.0	6.4	
200	有果皮	11.5	10.8	8.0	9.8	11.0	10.2
	無果皮	8.5	8.9	8.1	8.3	8.1	

注) **, * は, 有果皮と無果皮との間にt検定による有意差(1%, 5%)があることを示す.

発芽率は低下した。門田(1942)は、大粒ほど発芽が悪くなり、中小粒が良く、極小粒はまた悪くなると報告しているが、本実験では発芽能力を欠く可能性のある 6.1mg 未満の極小粒種子を除外して実験したため、小粒ほど発芽が良好であった。無果皮種子の発芽においては種子重と関係がなく、有果皮種子重と果皮厚との間には正の相関関係があることより、粒重増大にともなう発芽率の低下は、果皮厚の増加によると考えられる。また、発芽率は同じ果皮厚の場合、NaCl, MAN とともに濃度が高くなるほど低くなり、無果皮種子の発芽を阻害しない 150mM 以下の濃度の NaCl または MAN でも発芽率が低かったことは、果皮による発芽の阻害、すなわち果皮の厚さによる通気不良と果皮に対する処理溶液の浸透圧の増加が原因であると考えられる。

ハウレンソウの発芽における耐塩性は他の野菜と比較して良いとされ(松原・田坂, 1987), 無果皮種子ではさらに発芽が良好で、150mM 程度の NaCl 溶液では発芽が阻害されないことより、ハウレンソウの発芽における耐塩性は果皮によるものでなく、種子内部の耐塩性によることが明らかである。

2. 出芽試験

ハウレンソウの最適発芽温度は 15~20℃である(稲川・宮瀬, 1943)が、実験期間中のハウス内最高気温は 30.0℃, 最低気温は 4.7℃であり、必ずしも最適の環境下で出芽試験を行ったとはいえない。それにもかかわらず有果皮種子、無果皮種子ともに発芽および出芽し、無果皮種子の出芽率が高かったことより、発芽に対する温度の影響はなかったと考えられる。

無果皮種子は発芽・出芽ともに有果皮種子よりも良好で、有果皮種子でも果皮の薄い小粒種子が高い出芽率を示した。発芽した種子は種子中の貯蔵物質を使って出芽するため、種子の大小が出芽率を左右することが考えられるが、播種深度 1.5 cm ではその影響はなかった。塩水灌

水による出芽試験でも小粒種子の方が出芽率が高く、有果皮種子よりも無果皮種子の方が良好であった。また、無果皮種子の出芽では、種子の大小はほとんど影響しなかった。これらの結果より、実際の栽培においても、有果皮種子の低い発芽率は果皮が阻害していることが明らかである。

未催芽有果皮種子は、塩濃度が高くなるに従って出芽率は小さくなる傾向があった。今回の実験は種子重別に分けた出芽実験であるため、分別前の種子の発芽率は不明であるが、100mM NaCl 灌水では平均 50%以下になると予想される。これに対して無果皮種子は、100mM でも全種子重クラスで 80%以上の高い出芽率を有していた。

ハウレンソウを低濃度の塩水灌水によって栽培する場合、利用可能ならば無果皮種子を用いた方が有果皮種子を用いるよりも出芽率が高く、出芽日数も短縮される。有果皮種子ならば、出芽までは淡水灌水を行った方が出芽率が高くなると考えられる。

摘 要

ハウレンソウ種子の発芽、出芽におよぼす NaCl 溶液および無果皮処理の影響を検討した。有果皮種子、無果皮種子それぞれを種子重によって 5 段階にクラス分けし、5 段階の NaCl 濃度の溶液および 5 段階のマンニトール濃度の溶液を処理して発芽実験を行った。また、砂丘砂に 1.5 cmの深さで播種し、5 段階濃度の NaCl 溶液を灌水して、出芽実験を行った。

- (1) 発芽率について、有果皮種子では NaCl 濃度およびマンニトール濃度が高くなるほど、また、果皮が厚くなるほど発芽率は低下した。無果皮種子では 200mM NaCl 溶液でも 80%以上の発芽率であった。

(2) 発芽日数について、有果皮種子ではNaCl濃度が高くなるにつれ、また、種子重が重くなるにつれて長くなった。無果皮種子はNaCl濃度のみの影響を受け、濃度が高くなるほど日数を要した。

(3) 出芽率について、有果皮種子ではNaCl濃度が高くなるほど、また、果皮が厚くなるほど出芽率は低下した。無果皮種子では100mM NaCl溶液の灌水でも80%以上の出芽率があった。

第5章 希釈海水の灌水による土壌への塩類集積

作物に希釈海水を灌水して栽培する場合、土壌の塩類集積による塩害は避けることのできない問題である。陽イオンによる塩害の強度は、一般に Na^+ が最も大きく、 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Mg^{2+} の順に小さくなる作物が多い(Hayward, 1956; Nukaya ら, 1982a)が、逆に Mg^{2+} または Ca^{2+} が Na^+ よりも大きい作物も知られている(Ayers・Westcot, 1976; Nukaya ら, 1983)。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、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} または HCO_3^- の順に小さくなる(Hayward, 1956; 下瀬, 1968; Nukaya ら, 1982a; Nukaya ら, 1982b)。一方、野菜における塩害の程度は、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り(大沢, 1963)、作物の種類により塩害の現れ方にも種々の種類がある。

塩類土壌はタイプにより塩類組成が異なるが、土壌の浸透圧を高め、養分や水の吸収を妨げるのは NaCl などの中性の Na 塩である。その Na 塩が土壌の粘土粒子に吸着されると、土壌の物理性を壊す。また、粘土粒子に吸着している Na が雨水や灌漑水によって洗い流されると、そのあとに水素イオンが入り土壌を酸性化する(高橋, 1987)。

また塩害の現れ方は土性により異なり、砂土では壤土に比べて低濃度の塩水でも塩害が発生することが報告されている(石田 ら, 1978; 石田 ら, 1979)。一方、粘土含量の多い土壌では短期的には塩害が発生しにくいだが、塩水灌漑が長期間行われ、粘土の持つ緩衝能力が失われると、重粘な土壌といえども塩害が発生する(松田 ら, 1980)。この段階に至る

と洗脱が必要になるが、重粘な土壌では塩害の発生の早い砂土より困難である。また、砂土では洗脱の効率が良く(Jackson・Erie, 1972), 3000ppm の塩水灌漑でも塩類が集積しなかったという報告もある(Fathi ら, 1971)。

乾燥地では古くから、畦間灌漑や水盤灌漑など多量の灌漑水を用い、また、灌水強度を大きくして塩類を洗脱することが行われている(Ayers・Westcot, 1976)。塩水の濃度と洗脱については多くの報告がある(矢野 ら, 1988)が、灌漑水の塩類濃度が 3000ppm を超すと洗脱を必要とし、リーチング・フラクションは 15%程度とされている(Ayers・Westcot, 1976)。また一方では、集積した塩類を植物に吸収させて除塩をする研究も行われている(Iwasaki, 1987)。そこで、希釈海水を灌水することで生育が促進されることが明らかとなったハウレンソウの栽培が、塩類の集積および除塩におよぼす影響を調べた。

材料および方法

実験は、鳥取大学乾燥地研究センターのガラス室内の砂丘砂土壌で行った。淡水(TDS 0ppm), 35 倍希釈海水(TDS 1000ppm), 17.5 倍希釈海水(TDS 2000ppm)および 7 倍希釈海水(TDS 5000ppm)の 4 種の灌漑水を灌水して、1989 年から 1990 年にかけて第 22 図に示した葉菜類を 9 作連続して栽培し、塩類集積土壌を人為的に作成した。

耕うん、施肥(N:P₂O₅:K₂O=14:21.3:14 kg/10a)の後、播種前の土壌を採土し、1991 年 5 月 23 日にハウレンソウ‘おかめ’を播種し、36 日間栽培した。

灌水には点滴灌漑ホースを用い、淡水(TDS 0ppm)灌水区と 35 倍希釈海水(TDS 1000ppm)灌水区を設けた

土壌採取および測定方法については以下のとおりである。栽培前の試料は土壌を深さ約 20 cmまで均一に耕うんした後、任意の 5ヶ所から砂を採取することによって、全体を代表させた。収穫後の土壌については第 23 図に示した合計 10ヶ所より採取した。このうち、電気伝導率(EC)の測定にはすべての試料を用い、水素イオン濃度(pH)の測定には植付位置表面(6, 0)および植付位置地下 10 cm(6, -10)を測定した。

EC 値については、土壌：水=1：5 浸出液について、pH については、土壌：水=1：2.5 浸出液について測定した。

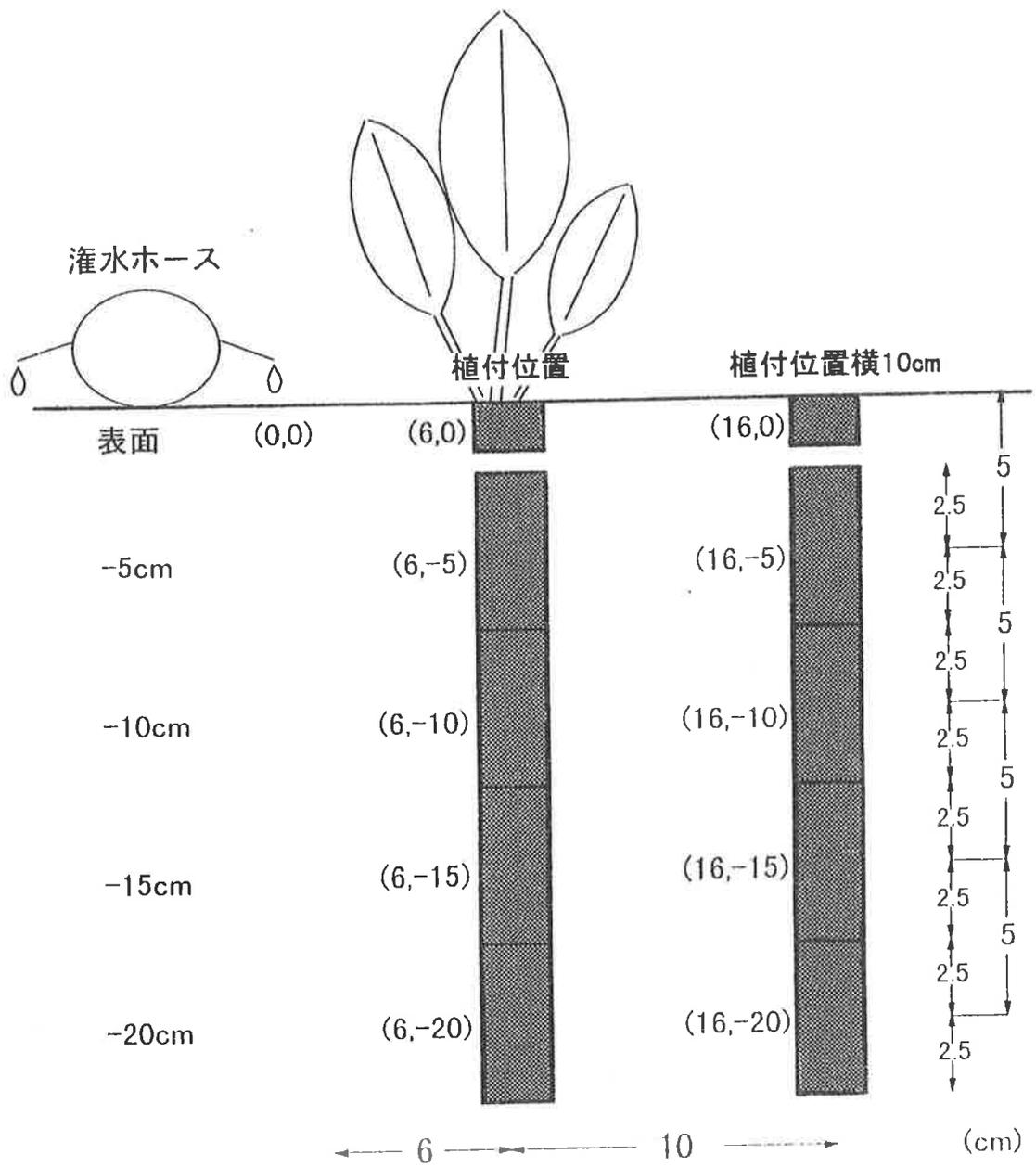
結 果

1. 電気伝導率(EC)

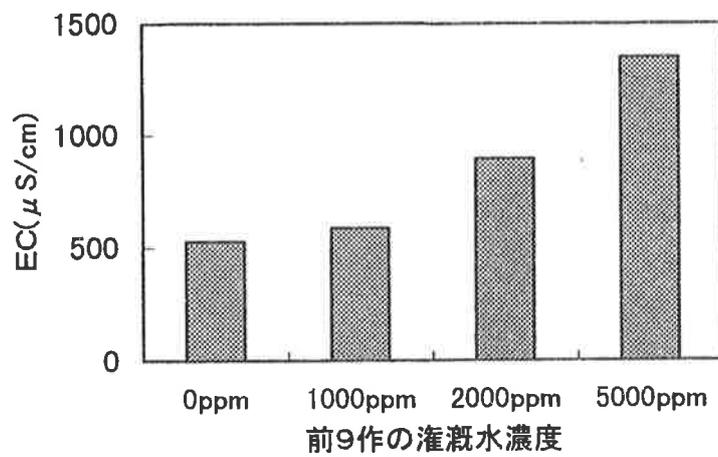
ホウレンソウ栽培前の土壌 EC 値は 0ppm 区では $530 \mu\text{ S/cm}$ 、1000ppm 区では $580 \mu\text{ S/cm}$ 、2000ppm 区では $890 \mu\text{ S/cm}$ 、5000ppm 区では $1350 \mu\text{ S/cm}$ であった(第 24 図)。

前 9 作に用いた灌漑水の塩類濃度、植栽の有無および灌漑水の塩類濃度がホウレンソウ栽培後の土壌 EC 値におよぼす影響を第 25 図に示す。EC 値は鉛直方向の採土位置では、土壌表面で最も大きく、ついで地下 5 cmが大きかった。地下 10 cm以下では深さによる差がなく、値も小さかった。水平方向の採土位置では、植付位置よりも植付位置横 10 cmの値が大きくなっていた。灌漑水による違いをみると、1000ppm 灌水区では 0ppm 灌水区よりも大きかった。ホウレンソウ植栽の有無の違いについては、無植栽区でやや大きくなる傾向があった。

1000ppm 灌水区の EC 値は、前作にかかわらず、0ppm 区より大きくなった。各区画の 0ppm

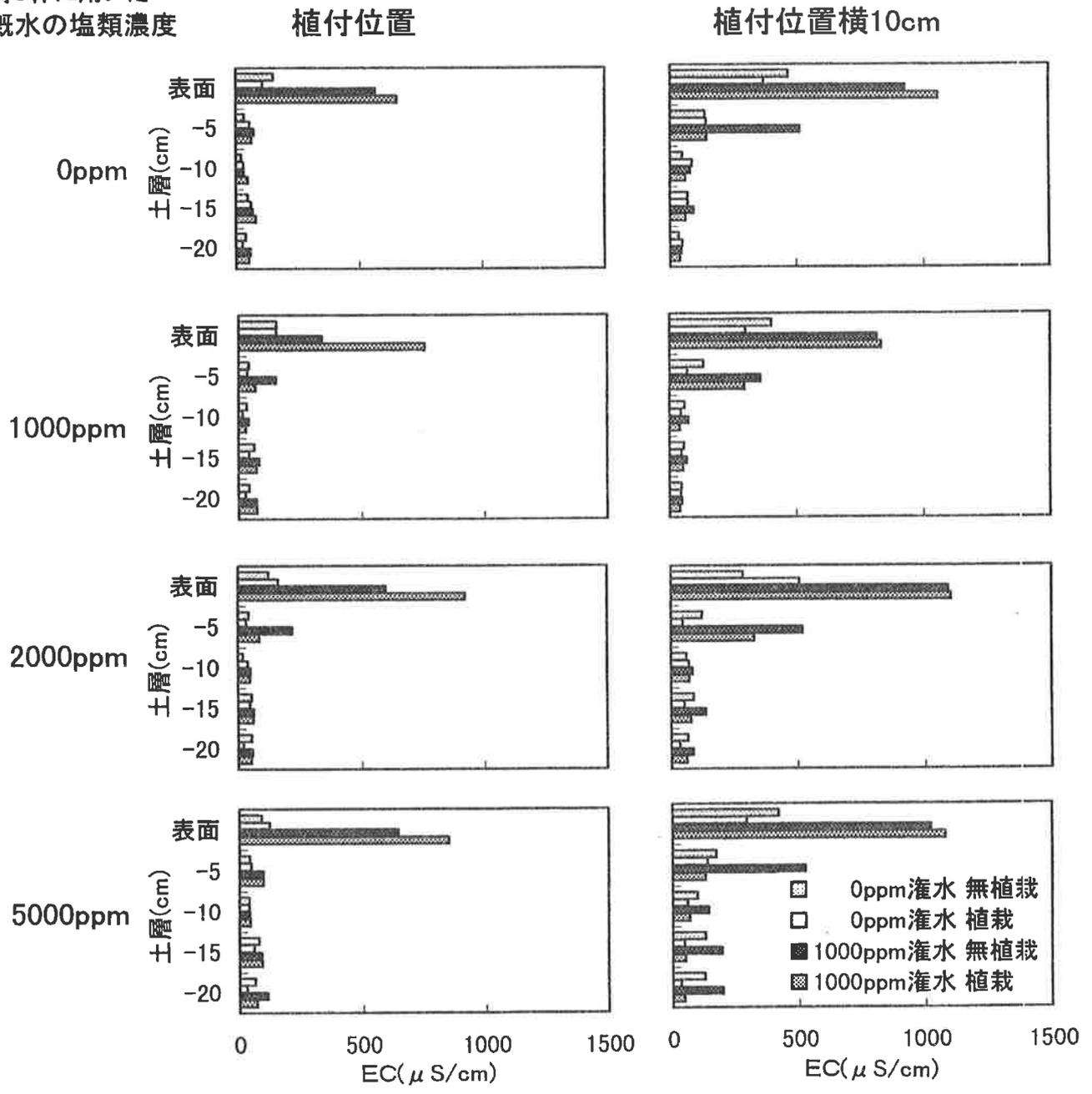


第23図 収穫後のECおよびpH測定土壌の採土位置



第24図 栽培前の土壌EC値

前9作に用いた
灌漑水の塩類濃度



第25図 前9作に用いた灌漑水の塩類濃度、植栽の有無および灌漑水の塩類濃度が
ホウレンソウ栽培後の土壌EC値におよぼす影響

注) 栽培期間: 1991年5月23日から36日間
栽培作物: ホウレンソウ 'おかめ'

灌水区の値を見ると地下 5 cm以下の採土位置では 100 μ S/cmを越える区画はなく、1000ppm 灌水区でも、植栽区では 100 μ S/cmを越える区画はなかった。

2. 水素イオン濃度(pH)

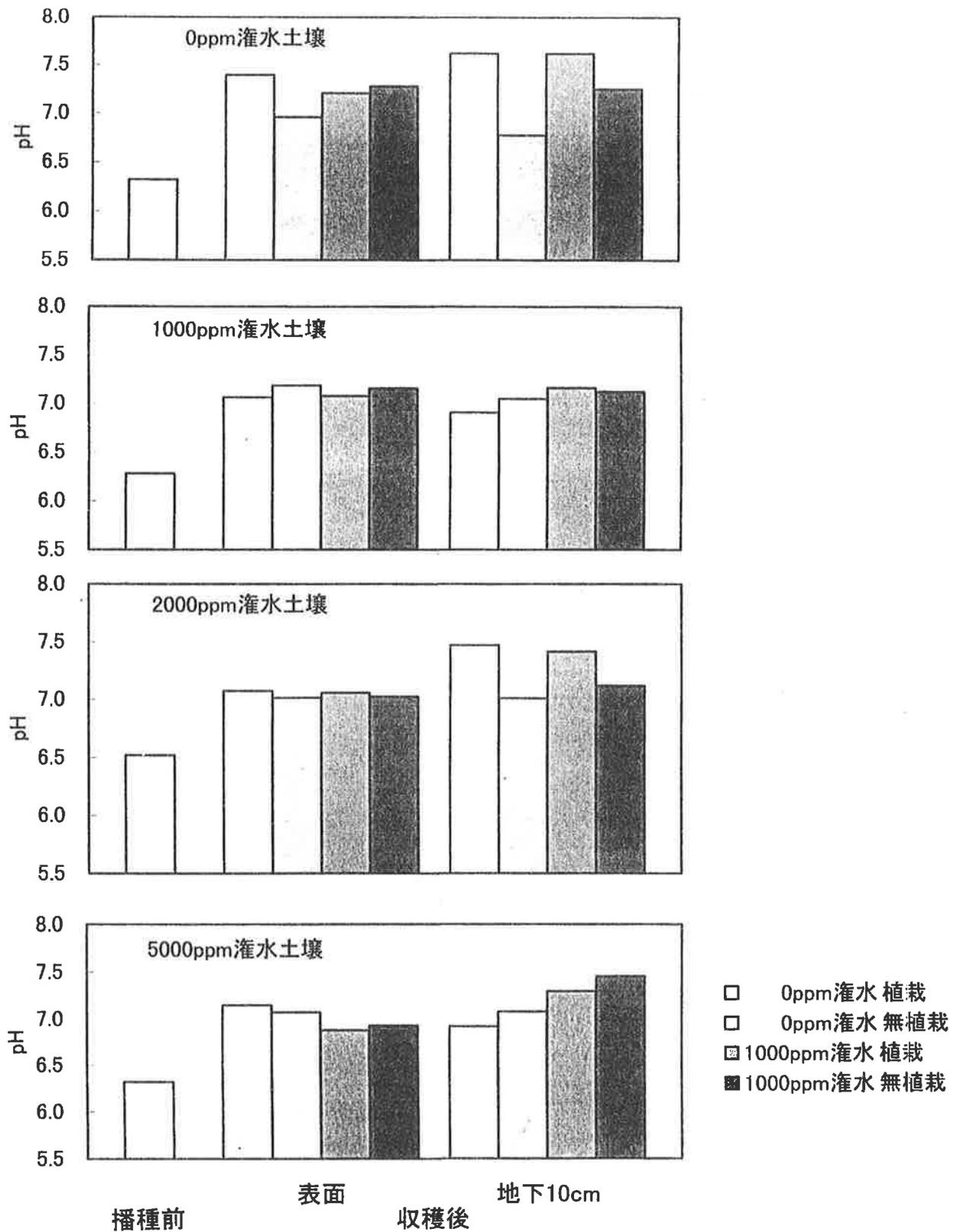
前 9 作に用いた灌漑水の塩類濃度、植栽の有無および灌漑水の塩類濃度がハウレンソウ栽培後の土壌 pH 値におよぼす影響を第 26 図に示す。各処理区とも収穫後の pH は栽培前の値よりも大きくなった。前 9 作の灌漑水の影響については、栽培前および収穫後とも処理区間の差は小さい。灌漑水の違いによる影響およびハウレンソウ栽培による影響はともになかった。

考 察

1. 電気伝導率(EC)

ハウレンソウ収穫後の土壌 EC 値について、土壌表面における EC 値が大きいのは、土壌表面からの蒸発に伴い塩類が土壌表面に集積したためと考えられる。しかし、土壌の表層 0 ~1 cmに著しく塩類が集積していても、作物の生育には大きな影響はないとの報告 (Saleh・Troch, 1982) もあり、土壌表面への塩類集積が作物の生育におよぼす影響は小さいと考えられる。

植付位置横 10 cmでも表面近くに塩類が集積しているが、点滴灌漑はその浸潤域の特性から、作物に対する塩水の障害を避けることができるといわれている (Ayers・Westcot, 1976; 石田ら, 1979)。メロンとトマトを用いた点滴灌漑の実験では、根群が滴下孔直下の上層部に集中するとされ(山本, 1977)、このことより根群は点滴孔直下に多く存在し、植付位置横 10 cmには少ないと推測される。このため、植付位置横 10 cmに集積する塩類の影



第26図 前9作に使用した灌漑水の塩類濃度、栽植の有無および灌漑水の塩類濃度がホウレンソウ栽培後の土壌pH値におよぼす影響

注) 栽培期間: 1991年5月23日から36日間
栽培作物: ホウレンソウ'おかめ'

響は少ないと考えられる。

灌漑水の違いについて、EC 値は 1000ppm 区の値が大きくなっている。特に、植付位置横 10 cm の表面では 1000ppm 区の値が明らかに大きい。しかし、前 9 作の灌漑水の濃度による違いはなく、土壌表面からの蒸発にともない局所的に塩類が集積しているものと考えられる。各区画の 0ppm 区の値を見ると地下 5 cm 以下の採土位置では $100 \mu S/cm$ を越える区画はなく、耐塩性が弱い作物の栽培でも生育抑制は起こらないと考えられる。このことより、塩水を灌水して 9 作連作した後でも、一度 0ppm (淡水) を灌水して栽培を行うと塩類集積は回避できると考えられる。同一のリーチング総水量では、リーチング回数が増えるほどリーチング効果が高まり、リーチング水の強度が小さい方が効率よく塩が洗脱される(井上ら, 1996)。また、砂土でアルファルファを栽培したとき、3000ppm の塩水の灌水で塩類が集積しなかったという報告もあり(Fathi ら, 1971)、砂土においては、1000ppm 程度の塩類を含む塩水を灌水しても塩類集積は回避できると考えられる。

砂土は壤土に比べて低濃度の塩水で塩害が発生しやすい(石田 ら, 1978; 石田 ら, 1979) 反面、洗浄は容易である。本実験においても、点滴灌漑でホウレンソウを通常栽培することにより、土壌中の塩類の多くが洗脱され、土壌のリーチングを行うと共にホウレンソウを収穫することができた。この結果より、塩水灌水による連作が可能であることが示唆された。

2. 水素イオン濃度(pH)

一般に、Na 塩が灌漑水によって洗い流されると、その後に水素イオンが入り、土壌を酸性化させる(高橋, 1987)といわれている。しかし、本実験では栽培後の pH 値が栽培前よりも大きく

なった。砂土では洗脱の効率が非常に良く、Cl (高井・三好, 1977)あるいはN (Cameron ら, 1978)の溶脱が多い。そのため、海水中のNaが土壌中に取り残されて土壌がアルカリ性になったと考えられる。また、硝酸態窒素が溶脱することで土壌のpHが大きくなったと考えられる(石川・中村, 1985)。

ハウレンソウはアルカリ性土壌を好み、pH7.33~8.22の土壌で最も旺盛な生育をし、pH6.01~6.99でやや収量が減るとされている(Zimmerley, 1924)。本実験の測定結果をこの数値に当てはめると、栽培前はすべての区画でやや収量が減るとされる値であった(平均はpH6.4)。栽培後は平均値がpH7.2で収量が減るとされる値よりも大きな値を示した区画が多い。土壌pH値だけで生育は決まらないが、アルカリ性土壌を好むハウレンソウにとっては生育を促進する要因の一つだと考えられる。

摘 要

- (1) 塩類集積を人為的に発生させた土壌でハウレンソウを栽培することにより、土壌表面を除いてEC値は小さくなった。前9作の栽培において5000ppmの希釈海水を灌水した区画においても、0ppmおよび1000ppm希釈海水を灌水してハウレンソウを栽培することで、ハウレンソウ栽培区の土壌中のEC値は $100 \mu S/cm$ 以下となった。
- (2) ハウレンソウの栽培により、土壌のpHは平均6.4から7.2となり、約0.8高くなった。

総合考察

作物栽培において、灌漑水中の塩類(特に Na 塩)濃度が高いことは、減収をもたらす、土壌の荒廃を引き起こすなどの理由から負要因として考えられている。しかし、好塩性植物として分類される一部の植物にとっては Na の供給が必須である。この特質は環境に適応した進化の過程で得たと考えられるが、食用に供する作物についても、サトウダイコンやハウレンソウなどでは Na 塩により生育が促進される。

一方、灌漑土壌の 1/3 は塩類土壌化していると推定され、作物の生育が阻害されている。このため、灌漑を必要とする地域では、良質の灌漑水を得られるかどうかは農業生産の制限要因になっていることが多い。しかし、供給量が絶対的に少ない良質の灌漑水だけを利用していると農地の拡大はできない。そこで、灌漑水中の塩類を利用できる作物が存在すれば、このような地域での食糧生産の福音となるはずである。また、交通手段が発達した現代でも、乾燥地域では作物栽培に制約を受けており、新鮮な野菜が不足しがちである。特に、輸送や貯蔵性の悪さから、新鮮な葉菜類は貴重である。そこで、良質な灌漑水が不足し、一方では土壌の塩類集積が顕著な乾燥地域での葉菜類の栽培を目的として、以下の研究を行った。

葉菜類の中で最も多く栽培利用されているアブラナ科およびアカザ科について検討したところ、TDS 1000ppm 希釈海水の灌漑水は、アブラナ科葉菜類の生育を抑制したが、アカザ科葉菜類の供試ハウレンソウ、フダンソウ、オカヒジキの地上部生体重量が増加し、塩類を含む灌漑水の

生育促進効果が認められた。

塩水灌水栽培に利用可能と考えられるアカザ科葉菜類のうち、世界中で食用に供され、品種分化も多いハウレンソウについて、塩水(特に Na 塩)灌水による生育促進の機構解明を行った。

ハウレンソウに 35 倍(TDS 1000ppm)~7 倍(TDS 5000ppm)の希釈海水を灌水すると、灌漑水の塩類濃度が高くなるにつれて葉内 Na 含量は大きくなったが、Mg+K+Ca 含量は変わらなかった。また、1000ppm 希釈海水を灌水したハウレンソウでは、Na 含量と地上部乾物重との間に正の相関があり、Na 吸収量が多い品種ほど希釈海水灌水により生育が促進されると考えられた。

希釈海水の灌水は地上部重、葉面積を増加させたが、地下部重は増加させなかった。このことより、希釈海水の灌水は、葉面積増加にともなう地上部重の増加が生育促進の要因であった。また、生育後期の相対生長率が大きく、この時期の乾物生産の差が地上部重の差となって現れていることが明らかになった。

また、ハウレンソウ体内には特異的にシュウ酸が集積している。このシュウ酸はカチオンのイオンバランスを保つなどの働きをするが、高濃度集積すると生理作用に害をもたらす。このため、過剰となったシュウ酸は Ca と結合して不溶性のシュウ酸として蓄積していると考えられている。塩水の灌水により体内に吸収された Na が Ca の代わりにシュウ酸を不溶化し、遊離した Ca が生育を促進すると仮説を立てた。しかし、塩水を灌水して栽培したハウレンソウにシュウ酸を散布すると、淡水を灌水するよりも生育が抑制され、Na によるシュウ酸の不溶化は行われていないことがわかった。

次に、塩水を灌水することで生育が促進される品種‘アトラス’と、促進されない品種‘オーライ’を用いて、個葉の光合成速度および呼吸速度を測定した。‘アトラス’の光合成速度

は 20mM NaCl 溶液を灌水すると、淡水を灌水するのと比べて 25℃以上でも高く保持された。一方、‘オーライ’では 20mM NaCl 溶液を灌水してもこのような現象が見られず、呼吸速度には品種間に差がないことより、25℃以上の高温で栽培した場合には、この個葉の光合成速度の違いが乾物生産の違いとなって現れると考えられる。

根の呼吸速度は、灌漑水中の塩類濃度の影響は受けず、地上部の生育促進は、根による積極的な吸水が要因ではないことが明らかである。

一方、灌漑水中に含まれる塩類の種類および濃度が、生育および葉内カチオン含量におよぼす影響について検討した結果、NaCl, Na₂SO₄, KCl を灌水したものの生育が良く、Na にKの代替作用があることが推察された。

そこで、この点を明確にするために、塩水を灌水することで生育が促進される品種‘アトラス’と促進されない品種‘オーライ’および生育が抑制されるコマツナについて、Na とKの肥効を調べた。供給する Na とKのカチオン総量は一定で、Na とKの比を変えて施用すると、‘アトラス’ではK供給量の 2 割を Na に置き換えた処理区で最も生育が良く、‘オーライ’では全量Kおよび 2 割を Na に置き換えた処理区との間に差はなかった。コマツナでは 2 割を Na に変えることで全量をK施用した区に対して約半分に生育が抑制された。この結果より、三者間にはKと Na に対する異なった反応があることが明らかになった。

この結果をふまえて、K供給量を通常の 1/3~5/3 の範囲で変えた場合の NaCl 溶液の灌水実験を行った。コマツナでは、K供給量に関わりなく、NaCl 溶液を灌水することで生育が抑制された。それに対してハウレンソウでは、K供給量が少ない場合は、20mM NaCl を灌水することで生育が促進され、Na にKの代替作用があることが再認識された。‘アトラス’ではK供給が

十分な場合でも Na によって生育が促進され、Na 独自の生育促進効果があることが示唆された。

光合成速度および気孔コンダクタンスも生育とほぼ同様の傾向を示した。気孔コンダクタンスと気孔開度とは密接に関連しており、一般に植物はK不足によって気孔開度が小さくなる。しかし、ハウレンソウでは Na をKの代わりに利用して体内の浸透圧調整に利用でき、気孔開度を保つと考えられる。また、‘アトラス’では、K供給量が十分でも 20mM NaCl の灌水で生育が一層促進されることより、Na は浸透圧調節以外の作用を持つと考えられる。

次に、灌水量を変えて希釈海水を処理すると、灌水量の減少は地上部の Na/Kを大きくする傾向があった。また、通常の 80~150%の灌水量の範囲では、ハウレンソウは Na/K比が大きくなるほど乾物重も大きくなった。これは、ハウレンソウが水ストレスが加わるとKよりも Na を多く吸収し、Na を多く吸収する個体ほど乾物重を増加させることを示している。この結果は、ハウレンソウではKよりも Na の方がより効果的に生育を促進させることを示唆している。

塩水灌漑や塩類集積土壌では、種子の発芽不良が予想される。そこで、このような状況下でも高い発芽率を得ることのできる播種方法について検討した。有果皮種子では処理塩濃度が高くなるほど、また果皮厚が厚くなるほど発芽、出芽が抑制を受けた。それに対して、無果皮種子は発芽、出芽とも有果皮種子よりも良好で、150mM 以上の NaCl 濃度でのみ抑制された。この結果より、ハウレンソウ栽培に塩水を利用するならば、無果皮種子を用いた方が出芽率が良いと考えられる。また、20mM NaCl 溶液程度の塩水の灌水ならば、播種時から塩水を灌水しても発芽、出芽の抑制はないと考えられる。

次に、塩類を集積した土壌に 35 倍程度の希釈海水(TDS 1000ppm)を灌水してハウレンソウを栽培したところ、土壌中の塩類は洗脱された。このことより、砂地圃場ならば、塩水を灌水し

て作物を栽培しても、塩類集積の問題は回避できると考えられる。

以上より、良質の灌漑水が得られないような場合、TDS 1000ppm 程度の塩類を含む灌漑水を用いても、ホウレンソウの栽培は可能であることがわかった。ホウレンソウ栽培での塩水灌漑による生育促進は、高温域での光合成能を高く維持すること、また、KよりもNaを積極的に吸収・利用して気孔開度を調節し、光合成を促進することによることが明らかとなった。さらに、塩水灌漑による発芽・出芽におよぼす影響は、無果皮種子を用いることで出芽抑制が軽減され、さらに砂土では塩水利用による塩類集積が回避できることが明らかになった。

乾燥地には良質の灌漑水が得難い地域が多く、作物栽培に制約をうけている。また、葉菜類は輸送が困難なため、現地での生産が望まれている。本研究の結果は、このような地域での葉菜生産により有効に利用できると考えられる。

摘 要

一般に、作物生産にとって環境中の塩類濃度が高いことは、生育を阻害するなどの理由から負要因として考えられている。そのため、灌漑水中の塩類含量は少ない方が良いとされている。しかし、好塩性植物の存在や、Na を必須元素としている植物もある。そこで、灌漑水中の塩類を作物栽培に積極的に利用することを目的として研究を行った。

第1章 葉菜類への希釈海水の灌水効果

塩水の灌水で生育を促進する作物を選出するために、淡水と TDS 1000ppm および TDS 2000ppm の希釈海水を灌漑水としてアブラナ科(コマツナ, ベンリナ, チンゲンサイ, パクチョイ)とアカザ科の葉菜類(ハウレンソウ, フダンソウ, オカヒジキ)を栽培した。アブラナ科では、希釈海水を灌水することで供試した 4 葉菜とも生育が抑制された。アカザ科では、1000ppm 希釈海水の灌水で、供試した 3 葉菜とも地上部生体重が大きくなった。

第2章 ホウレンソウにおける塩水灌水の影響

ハウレンソウについて、塩水の灌水で生育が促進される理由を解明するために、以下の実験を行った。

(1) 灌漑水の塩濃度と葉内カチオン含量との関係

13 品種のハウレンソウに、淡水と TDS 1000ppm, TDS 2000ppm および TDS 5000ppm の希釈海

水を灌水し、生育量および葉内カチオン含量におよぼす影響を調べた。その結果、12品種の地上部生体重は淡水よりも1000ppm希釈海水灌水の方が大きくなった。葉内カチオン含量は、灌漑水の塩類濃度が高くなるにつれて全カチオン(Na+Mg+K+Ca)含量は大きくなった。しかし、灌漑水の塩類濃度が高くなっても、Mg+K+Ca含量には違いが見られず200mmol/100gDW前後であった。また、1000ppm区では、葉内Na含量と地上部乾物重の間には正の相関があり、葉内Na含量が大きい品種ほど地上部乾物重が大きかった。

(2) 生長解析

淡水とTDS 1000ppmおよびTDS 2000ppmの希釈海水を灌水し、地上部重・地下部重、T/R、葉面積、水ポテンシャル、気孔数におよぼす影響を調べた。また、栽培期間中の相対生長率を求めた。地上部重、葉面積、T/Rは1000ppm区が最も大きく、水ポテンシャルは2000ppm区、気孔数は0ppm区が最も大きかった。相対生長率については、1000ppm区で播種後30~40日の間で0ppm区よりも大きかった。

(3) シュウ酸溶液の葉面散布

ハウレンソウにおいて葉中のNaが可溶性シュウ酸の害を軽減するかどうかを調べるため、淡水および20mM、40mM、60mM、120mM NaCl溶液を灌水して栽培したハウレンソウに、淡水と1000ppmシュウ酸溶液を葉面散布した。その結果、葉面散布処理によりハウレンソウの生育は抑制され、可溶性シュウ酸の害はNaによって軽減されなかった。

(4) 塩水の灌水が光合成速度・呼吸速度におよぼす影響

淡水と20mM NaCl溶液を灌水してハウレンソウを栽培し、人工気象室内で温度条件を変えて光合成速度および呼吸速度を測定した。温度は光合成速度測定時には15℃、20℃、25℃および

30℃の4段階に、暗呼吸速度測定時には10℃を加えた5段階に設定した。呼吸速度は、温度が高くなるにつれて大きくなり、塩水灌水の影響が認められなかった。光合成速度は、20℃が最も大きく、20℃を越えると低下した。しかし、20mM NaCl 溶液を灌水した‘アトラス’では、淡水灌水と比較して25℃では約1 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ 、30℃では約2 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ 光合成速度が大きくなった。

(5) 根の呼吸速度

淡水および20mM、40mMのNaCl 溶液を灌水して栽培したハウレンソウの根の呼吸速度を測定した。その結果、20mM NaCl 溶液灌水は根の呼吸速度に影響をおよぼさなかった。

(6) 灌漑水中の塩類の違いが生育量および葉内カチオン含量におよぼす影響

淡水、NaCl、 Na_2SO_4 、KCl、 CaCl_2 およびPEG6000 溶液を灌水してハウレンソウを栽培した。NaCl、 Na_2SO_4 、KCl を灌水したものは、地上部乾物重が大きくなる傾向があった。地上部の生体重と乾物重とを比較すると、淡水灌水に対する増加割合は生体重の方が大きく、生育の促進には乾物重の増大だけでなく、地上部含水率の増大が作用していると考えられた。葉内カチオン含量について、生体重および乾物重が大きいものは、Na またはKの葉内含量が大きかった。

(7) カリウム供給量の違いとNaCl 溶液灌水の効果

肥料中のK供給量を減じ、減じた分を同量のNa で補った肥料で、ハウレンソウとコマツナを栽培した。その結果、ハウレンソウ‘アトラス’では、全量をKで供給するよりも、Na を20%混合した方が生育が促進された。しかし、コマツナでは、Na の混合で生育が抑制された。

次に、肥料中のK供給量を通常の1/3~5/3の範囲に設定し、淡水と20mM NaCl 溶液を灌水してハウレンソウとコマツナを栽培した。ハウレンソウ‘アトラス’ではK供給量の不足・過

剰に関係なく、淡水灌水よりも 20mM NaCl 溶液灌水の方が地上部重が大きくなった。一方、ホウレンソウ‘オーライ’では、K供給量の不足～適量段階では 20mM NaCl 溶液灌水の生体重が淡水灌水よりも大きかったが、過剰段階では小さかった。コマツナではK供給量の不足・過剰にかかわらず 20mM NaCl 溶液の灌水により生育が抑制された。光合成速度は、ホウレンソウ‘アトラス’では、K不足～やや過剰段階で 20mM NaCl 溶液の灌水により光合成速度が増加した。ホウレンソウ‘オーライ’では、K不足段階でのみ 20mM NaCl 溶液灌水の方が大きくなった。これらホウレンソウの光合成速度の増加には NaCl 溶液の灌水による気孔コンダクタンスの増大が影響していた。一方、コマツナでは、K供給量に関係なく、淡水灌水の方が 20mM NaCl 溶液灌水よりも光合成速度が大きかった。また、気孔コンダクタンスについても光合成速度と同様の傾向を示した。

(8)まとめ

ホウレンソウの生育におよぼす Na の効果は、K不足時に大きく現れるが、Kが十分に供給されていても生育が促進される。これは光合成速度および気孔コンダクタンスについても同様であった。また、NaCl の灌水により高温条件下での光合成速度が大きくなる。さらに水不足条件下ではKに対して Na を多く吸収する。これらのことより、Na はホウレンソウに対して特異的に働いており、Na の吸収により光合成速度が大きくなることが直接的な生育促進の理由であると考えられる。

第3章 塩水の灌水量の多少がホウレンソウの生育におよぼす影響

4 種の灌水量を設定し、淡水と 1000ppm 希釈海水を灌水して、土壌水分量を異にした場合の

塩水灌水の影響を調べた。その結果、最適灌水量は1000ppm希釈海水を灌水することで減少し、同一灌水量では生育が促進されることがわかった。灌水量別に淡水区と1000ppm区を比較すると、5.6mm/日、7.0mm/日、10.5mm/日の灌水量で1000ppm区が淡水区に対してそれぞれ144%、127%、133%の生育を示した。また、夏期栽培においても希釈海水の灌水はハウレンソウの生育促進に効果があった。

粗要水量に関して、0ppm区と1000ppm区を比較すると、4.2mm/日では対淡水灌水比97%、5.6mm/日は67%、7.0mm/日は69%、10.5mm/日は69%で、1000ppm区の方が小さな値になった。1000ppm区における葉内Na/K比と地上部乾物重との関係について灌水量間で比較すると、Na/K値は、灌水量が少なくなるにつれて大きくなる傾向にあった。また、5.6mm/日灌水、7.0mm/日灌水および10.5mm/日灌水では、葉内Na/K比が大きくなるほど乾物重も大きくなっていった。これらのことより、塩水を灌水して生育が促進されるハウレンソウでは、水ストレスが加わるとKに対してNaを多く吸収し、Naを多く吸収する個体の乾物重が大きくなることがわかった。

第4章 ハウレンソウの発芽・出芽におよぼす塩水の影響

ハウレンソウ種子の発芽・出芽におよぼすNaCl溶液の影響および無果皮処理の影響を検討した。その結果、有果皮種子ではNaCl濃度が高くなるほど、また、果皮が厚くなるほど発芽率は低下した。無果皮種子では200mM NaCl溶液でも80%以上の発芽率であった。発芽日数は、有果皮種子ではNaCl濃度が高くなるにつれ、また、種子重が重くなるにつれて長くなった。無果皮種子はNaCl濃度のみの影響を受け、濃度が高くなるほど日数を要した。出芽率も有果皮種子ではNaCl濃度が高くなるほど、また、果皮が厚くなるほど低下した。しかし、有果皮種子でも

50mM NaCl 区では淡水区と同等の出芽率を有しており、さらに低濃度の 20mM NaCl 灌水による出芽抑制は起こらないことがわかった。

第 5 章 希釈海水の灌水による土壌への塩類集積

塩類集積をおこした土壌で、淡水および 1000ppm 希釈海水を灌水してハウレンソウを栽培した。栽培後、土壌の EC 値は土壌表面を除いて小さくなった。5000ppm の塩類を含む希釈海水を 2 年間にわたって灌水して耕作した区画においても、淡水を灌水してハウレンソウを栽培することで、土壌中の EC 値は $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下となった。1000ppm 希釈海水を灌水して栽培した場合でも、地下 5cm よりも深い位置では $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下となった。

土壌の pH 値については、ハウレンソウの栽培により、平均 7.2 になり、栽培前と比較して約 0.8 大きくなった。

以上の結果より、アカザ科葉菜類に塩水を灌水することで生育が促進されるものが見出された。そのうち、ハウレンソウは、K 肥料の供給が十分でも 20mM NaCl 溶液の灌水で生育が促進され、 25°C 以上の高温域での光合成速度も淡水灌水区よりも高かった。出芽時の耐塩性は、果皮の厚さに影響を受け、塩水を灌水してハウレンソウを栽培する場合には、無果皮種子を用いる方が良かったことがわかった。また、砂地の場合には、希釈海水でのハウレンソウ栽培でも集積した塩類の洗脱ができることがわかった。これらのことより、ハウレンソウに対する塩水灌水の有効性が示唆された。

謝 辞

本論文を学位論文として提出するにあたり、実験の遂行から論文のとりまとめまで、終始懇篤なご指導とご鞭撻を賜った鳥取大学農学部教授 田邊賢二博士に感謝し、厚くお礼申し上げます。

鳥取大学名誉教授 津野幸人博士には、定年退官されるまで実験の計画から遂行までご指導いただいた。厚く感謝しお礼申し上げます。

鳥根大学生物資源科学部教授 細木高志博士ならびに鳥取大学農学部教授 中田昇博士には、懇切なご指導とご校閲を賜った。厚くお礼申し上げます。

鳥取大学名誉教授 竹内芳親博士には、学部学生の頃から長きにわたりご懇篤な指導を賜った。感謝するとともに、厚くお礼申し上げます。鳥取大学乾燥地研究センター教授 濱村邦夫博士ならびに鳥取大学乾燥地研究センター助教授 遠山柁雄博士には、実験の実施においてご指導いただくとともに、ご校閲を賜った。厚く感謝しお礼申し上げます。鳥取大学乾燥地研究センター客員教授 A. G. T. Babiker 博士には懇切なご指導とご校閲を賜った。厚く感謝申し上げます。

また、鳥取大学農学部助教授 山口武視博士ならびに鳥取大学農学部講師 田村文男先生には実験の遂行にあたり数々のご助言をいただいた。厚く感謝しお礼申し上げます。

さらに、鳥取大学乾燥地研究センター職員ならびに学生各位、また、農学部園芸学研究室学生各位からも多大なるご協力をいただいた。記して深く感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 安藤忠男・正岡淑邦・尾形昭逸. 1979. ローズグラスのナトリウム栄養. (第2報) ローズグラス, ダリスグラス, スイートソルゴーの乾物生産と陽イオン組成に及ぼす培地Na, K, Ca, Mg濃度の影響. 土肥誌. 50 : 205-210.
- 2) Ayers, R. S. and D. W. Westcot. 1976. Water quality for agriculture. p.1-97. FAO, Rome.
- 3) Ayers, R. S. 1977. Quality of water for irrigation. J. Irrig. Drain. Div. ASCE. 103 : 135-154.
- 4) Bengtsson, B. L., I. Bosund and B. Hylmo. 1966. Mineral Salts and oxalate content in spinach leaves as a function of development stage. Z. Pflanzenernahr. Dung. Bodenk. 115 : 192-199.
- 5) Bernstein, L. and L. E. Francoins. 1973. Comparisons of drip, furrow, and sprinkler irrigation. Soil Sci. 115 : 73-86.
- 6) Bernstein, L., L. E. Francois and R. A. Ckark. 1974. Interactive effects of salinity and fertility on yields of grains and vegetables. Agron. J. 66 : 412-421.
- 7) Bohra, J. S. and K. Doerffling. 1993. Potassium nutrition of rice(*Oryza sativa* L.) varieties under NaCl salinity. Plant Soil. 152 : 299-303.
- 8) Brownell, P. F. and C. J. Crossland. 1972. The requirement for sodium as a micronutrient by species having the C₄ dicarboxylic photosynthetic pathway. Plant Physiol. 49 : 794-797.
- 9) Cameron, D. R., C. G. Kowalenko and K. C. Ivarson. 1978. Nitrogen and chloride leaching in a sandy field plot. Soil Sci. 126 : 174-180.
- 10) Chartzoulakis, K. S. and M. H. Loupassaki. 1997. Effects of NaCl salinity on germination, growth, gas exchange and yield of greenhouse eggplant. Agri. Water Manage. 32 : 215-225.
- 11) 趙東夏・伊藤亮一・石井龍一. 1996. 韓国産水稻品種の耐塩性に関する研究. (第2報) NaCl処理がイネの葉身, 葉鞘, 根のNaおよびKイオン濃度に及ぼす影響. 日作紀. 65 : 1-7.
- 12) Coughlan, S. J. and R. G. WynJones. 1980. Some responses of *Spinacea oleracea* to salt stress. J. Exp. Bot. 31 : 883-893.
- 13) Dahab, M. H., M. A. Mustafa and H. A. Abdel Rahman. 1988. Intermittent evaporation, moisture distribution, and salt redistribution through saline-sodic clay soil as affected by irrigation frequency and quantity. Soil Sci. 146 : 168-175.
- 14) Downton, W. J., W. J. R. Grant and S. P. Robinson. 1985. Photosynthetic and stomatal responses of spinach leaves to salt stress. Plant Physiol. 78 : 85-88.
- 15) Dunn, G. M. and T. F. Neales. 1993. Are the effects of salinity on growth and leaf gas exchange related ?. Photosynthetica. 29 : 33-42.
- 16) Farquhar, G. D., J. R. Ehleringer and K. T. Hubick. 1989. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 40 : 503-537.
- 17) Fathi, A., K. Kandil, A. G. Abdel Samei and L. A. Ahmed. 1971. The influence of various levels of saline irrigation water on salt accumulation and plant growth in sandy soils. A. R. E. J. Desert Inst. 21 : 109-125.
- 18) Hayward, H. E. 1956. Plant growth under saline conditions. p.37-71. In utilization of

- saline water. UNESCO, Paris.
- 19) He, T. and G. R. Cramer. 1992. Growth and mineral nutrition of six rapid-cycling Brassica species in response to seawater salinity. *Plant Soil*. 139 : 285-294.
 - 20) 人見英里・玉置美子・友枝幹夫. 1992. ホウレンソウのシュウ酸代謝に関する研究. *園学雑*. 61 : 431-435.
 - 21) Hoffman, G. J. and S. L. Rawlins. 1971. Growth and water potential of root crops as influenced by salinity and relative humidity. *Agron. J.* 63 : 877-880.
 - 22) 堀口毅. 1984. カリウムの機能と代謝. p.96-99. 松田敬一郎代表著者. 作物栄養・肥料学. 文永堂出版. 東京.
 - 23) 今津正. 1953. 数種蔬菜の塩害に関する研究. *園学雑*. 22 : 197-202.
 - 24) 稲川利男・宮瀬勇. 1943. 蔬菜種子の最低, 最適, 発芽温度. *農及園*. 18 : 763.
 - 25) 井上光弘・唐津裕・飯村康二・本名俊正・山本太平・山本定博. 1996. 不飽和砂中のリーチングに伴う塩と水の同時測定. *日砂丘誌*. 43 : 22-28.
 - 26) 石田明・増井正夫・糠谷明・小倉孝保. 1978. キクの耐塩性. *園学雑*. 47 : 421-429.
 - 27) 石田明・増井正夫・糠谷明・小倉孝保. 1979. 砂耕及び土耕栽培におけるカーネーションの耐塩性. *園学雑*. 48 : 322-326.
 - 28) 石塚喜明・田中明. 1958. 水稻の葉の栄養生理学 (3). *農及園*. 11 : 1631-1634
 - 29) 石川格司・中村毅. 1985. ハウス土壌における集積塩類除去のための湛水効果. *農及園*. 60 : 49-52.
 - 30) Iwasaki, K. 1987. The effectiveness of salt-accumulating plants in reclaiming salinized soils. *Japan. J. Trop. Agr.* 31 : 255-260.
 - 31) Jackson, R. D. and L. J. Erie. 1972. Soil and water management practices for calcareous soils. p.95-111. In calcareous soils. FAO, Rome.
 - 32) 門田寅太郎. 1942. ホウレンソウ種子の大小並に熟度と発芽との関係. *園学雑*. 13 : 52-61.
 - 33) 香川彰. 1974a. ホウレンソウ. ホウレンソウ=植物としての特性. p.基3-基8. 農業技術大系野菜編7. 農山漁村文化協会. 東京.
 - 34) 香川彰. 1974b. ホウレンソウ. 生育ステージと生理, 生態. p.基11-基37. 農業技術大系野菜編7. 農山漁村文化協会. 東京.
 - 35) 香川綾監修. 1986. 四訂食品成分表. p.161. 女子栄養大学出版部. 東京.
 - 36) 玖村敦彦. 1981. 無機要素. p.101-112. 宮地重遠編. 光合成Ⅱ. 朝倉書店. 東京.
 - 37) 李忠烈・津野幸人・中野淳一・山口武視. 1994. ダイズの耐乾性に関する生態生理学的研究 (第2報) 土壌水分不足による葉の萎れ現象と再給水による光合成速度の回復ならびに切断茎からの出液速度の変化. *日作紀*. 63 : 223-229.
 - 38) Libert, B. and V. R. Franceschi. 1987. Oxalate in crop plants. *J. Agric. Food Chem.* 35 : 926-938.
 - 39) Maas, E. V., G. Ogata and M. J. Garber. 1972. Influence of salinity on Fe, Mn, and Zn uptake by plants. *Agron. J.* 64 : 793-795
 - 40) Maegawa, H., E. Usui, N. Uchida, T. Yasuda and T. Yamaguchi. 1987. Studies on the mechanism of salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). *Japan. J. Trop. Agr.* 31 : 92-98.
 - 41) Marschner, H., A. Kylin and P. J. C. Kuiper. 1981. Differences in salt tolerance of three sugar beet genotypes. *Physiol. Plant.* 51 : 234-238.
 - 42) 増田芳雄. 1988. p.154-156. 植物生理学. 培風館. 東京.
 - 43) Matoh, T., P. Kairusmee and E. Takahashi. 1986. Salt-induced damage to rice plants and alleviation effect of silicate. *Soil Sci. Plant Nutr.* 32 : 295-304.
 - 44) 松原幸子・木下恵介・田坂嘉浩. 1985. 耐塩性野菜の検討. *園学要旨*. 昭60秋 : 158-159.
 - 45) 松原幸子・田坂嘉浩. 1987. 野菜の耐塩性に関する研究 1. 発芽試験. *岡山大農学報*. 70 : 1-10.
 - 46) 松田敬一郎・永井衛・横田博美・佐藤一郎・山根昌勝. 1980. 乾燥地における畦の形式が塩分集積に及ぼす影響. 第2報 畦の形式が土壌の化学性に及ぼす影響. *砂丘研究*. 27 : 12-27.

- 47) Meiri, A., Z. Plaut and L. Pincas. 1981. Salt tolerance of glasshouse-grown muskmelon. *Soil Sci.* 131 : 189-193.
- 48) 森下豊昭・瀬川雅裕・岩橋誠・香川邦雄・太田安定. 1984. キュウリ・トウモロコシ・ホウレンソウによるカチオン吸収の生育時期別変化と塩分抵抗性との関係. *土肥誌.* 55 : 263-268.
- 49) 中村俊一郎・寺西武夫・青木美珠代. 1982. ポリエチレングリコール処理によるセルリー及びホウレンソウ種子の発芽促進. *園学雑.* 50 : 461-467.
- 50) 農林水産省熱帯農業研究センター編. 1989. 乾燥地における作物生産. 農林統計協会. p.62-79. 東京.
- 51) Nukaya, A., M. Masui and A. Ishida. 1977. Salt tolerance of green soybeans. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 46 : 18-25.
- 52) Nukaya, A., M. Masui and A. Ishida. 1980a. Salt tolerance of muskmelons grown in different salinity soils. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 48 : 468-474.
- 53) Nukaya, A., M. Masui and A. Ishida. 1980b. Salt tolerance of muskmelons in nutrient solution. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 49 : 93-101.
- 54) Nukaya, A., M. Masui and A. Ishida. 1982a. Salt tolerance of green soybeans as affected by various salinities in sand culture. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 50 : 487-496.
- 55) Nukaya, A., M. Masui and A. Ishida. 1982b. Salt tolerance of green soybeans as affected by various salinities in soil culture. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 51 : 62-69.
- 56) Nukaya, A., M. Masui and A. Ishida. 1983. Salt tolerance of muskmelons as affected by various salinities in nutrient solution culture. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 52 : 167-173.
- 57) 織田弥三郎. 1988. 特産野菜地方品種. オカヒジキ. p.特産野菜69-特産野菜75. 農業技術大系野菜編11特産野菜・地方品種. 農山漁村文化協会. 東京.
- 58) 大沢孝也. 1960. 砂耕による蔬菜の耐塩性に関する研究. (第1報) 果菜類について. *園学雑.* 29 : 294-304.
- 59) 大沢孝也. 1961a. 砂耕による蔬菜の耐塩性に関する研究. (第2報) 葉菜類について. *園学雑.* 30 : 48-56.
- 60) 大沢孝也. 1961b. 砂耕による蔬菜の耐塩性に関する研究. (第3報) 根菜類について. *園学雑.* 30 : 161-166.
- 61) 大沢孝也. 1961c. 砂耕による蔬菜の耐塩性に関する研究. (第4報) 特に無機栄養よりみた蔬菜の相対的耐塩性について. *園学雑.* 30 : 241-252.
- 62) 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.
- 63) 大沢孝也. 1966. 数種蔬菜の生育段階と耐塩性. *園学雑.* 35 : 89-94.
- 64) Osmond, C. B. 1967. Acid metabolism in *Atriplex*. 1 Regulation in oxalate synthesis by the apparent excess cation absorption. *Aust. J. Biol. Sci.* 20 : 575-587.
- 65) 大内誠悟・鎌田悦夫・松枝直人・西川晶. 1991. 高吸水性ポリマーの塩類溶液中における保水能とイオン交換能. *土肥誌.* 62 : 487-492.
- 66) Pasternak, D. 1987. Salt tolerance and crop production-A comprehensive approach. *Ann. Rev. Phytopathol.* 25 : 271-291.
- 67) Saleh, H. H. and F. R. Troeh. 1982. Salt distribution and water consumption from a water table with and without a crop. *Agron. J.* 74 : 321-324.
- 68) 沢田信一. 1981. 温度. p.57-68. 宮地重遠編. 光合成II. 朝倉書店. 東京.
- 69) Shannon, M. C. and L. E. Francois. 1978. Salt tolerance of three muskmelon cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103 : 127-130.
- 70) 志水勝好・上田堯夫・香川邦雄. 1994. 塩水処理下でのアツケシソウ(*Salicornia herbacea* L.)の生育に及ぼすK及びCaの影響. *熱帯農業.* 38 : 8-15.
- 71) 下瀬昇. 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.

- 72) 下瀬昇. 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, キウリ, インゲンの耐塩性について. 土肥誌. 39 : 548-553.
- 73) 下瀬昇・竹中史人・木村修. 1987. アツケシソウ, イグサ及びセイタカアワダチソウの耐塩性. 熱帯農業. 31 : 179-184
- 74) 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.
- 75) Speer, M. and W. M. Kaiser. 1991. Ion relations of symplastic and apoplastic space in leaves from *Spinacia oleracea* L. and *Pisum sativum* L. under salinity. Plant Physiol. 97 : 990-997.
- 76) 杉本勝男・内山泰孝・竹内芳親・遠山柁雄. 1988. Saltbush, ハマアカザ属植物の生育に関する研究. 第2報 砂土耕の *Atriplex nummularia* の収量に及ぼす各種塩水濃度の影響. 熱帯農業. 32 : 129-139.
- 77) 杉山信男・広岡幹也. 1992. ホウレンソウ葉におけるシュウ酸濃度と還元態窒素濃度との関係. 園学雑. 61 : 569-574.
- 78) 杉山直儀. 1944a. 菠薐草種子発芽不良の原因と其の対策(予報). 農及園. 19 : 297-298.
- 79) 杉山直儀. 1944b. 菠薐草種子の発芽試験法. 農及園. 19 : 407-408.
- 80) Sugiyama, N. and K. Okada. 1988. Effect of potassium nutrition on response of spinach to water deficit. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 56 : 426-430.
- 81) Szabolcs, I. 1986. Agronomical and ecological impact of irrigation on soil and water salinity. Adv. Soil Sci. 4 : 189-218.
- 82) 但野利秋. 1981. アルカリ金属. p.170-179. 熊沢喜久雄編. 水とイオン. 朝倉書店. 東京.
- 83) 但野利秋. 1983. 作物の耐塩性とその機構. 化学と生物. 21 : 439-445.
- 84) 但野利秋. 1984. 耐塩性. p.124-128. 松田敬一郎代表著者. 作物栄養・肥料学. 文永堂出版. 東京.
- 85) 高橋英一. 1987. 生命にとって塩とは何か. p.79-150. 農山漁村文化協会. 東京.
- 86) 高橋英一・前嶋一宏・岡崎美晴. 1997. カリウム供給量をかえて土耕栽培した葉菜類に対するナトリウムの施用効果. 土肥誌. 68 : 363-368.
- 87) 高井康夫・三好洋. 1977. 土壌通論. p.143-144. 朝倉書店. 東京.
- 88) Terry, N. and A. Ulrich. 1973. Effects of potassium deficiency on the photosynthesis and respiration of leaves of sugar beet under conditions of low sodium supply. Plant Physiol. 51 : 1099-1101.
- 89) 遠山柁雄. 1973. 砂栽培に関する基礎的研究(第2報). 園学雑. 42 : 251-258.
- 90) 遠山柁雄. 1980. 下エジプト地域におけるかんがい水の電気伝導度. 鳥取大砂丘研報. 19 : 9-15.
- 91) 津野幸人・山口武視. 1987. 水稻光合成の高温低下現象と根の呼吸速度との関係ならびに根の呼吸速度に關与する要因の解析. 日作紀. 56 : 536-546
- 92) 上田暁夫・志水勝好. 1990. アツケシソウの耐塩性に関する研究. 熱帯農業. 34 : 163-168.
- 93) 山田貴義. 1988. 特産野菜地方品種. フダンソウ. p.特産野菜537-特産野菜540. 農業技術大系野菜編11特産野菜・地方品種. 農山漁村文化協会. 東京..
- 94) 山本太平. 1977. 砂丘地におけるトリクルかんがいの実用化に関する基礎研究. p.92. 鳥取大学農学部砂丘利用研究施設水門・かんがい部門. 鳥取.
- 95) 山内益夫. 1991. ゲレロ・ネグロ砂地での野菜栽培の現状と技術的諸問題. 砂丘研究. 38 : 10-35.
- 96) 矢野友久・登尾浩助・小谷佳人. 1988. 土中塩分管理のためのリーチングに関する研究. 鳥大農研報. 41 : 151-157.
- 97) Zimmerley, H. H. 1924. The acid tolerance range of spinach. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 21 : 116-124.

SUMMARY

High salinity inhibits plant growth usually and has a negative effect on crop production. It is believed that lesser saline water is better for irrigation. Paradoxically some plants are favored by saline conditions and need Na^+ as an essential element for growth promotion. The objectives of this study were a) to promote the growth and effectively cultivate vegetable crops by utilizing saline irrigation water without salt accumulation on soil surface and b) to study the physiological cause for promotion of vegetable crops by saline water.

Chapter 1: Effects of Diluted Sea-water on Growth of Several Leafy Vegetables

To select crops of which the growth is promoted by saline water, 7 crop cultivars were grown by using fresh water and diluted sea-water for irrigation. The crops tested in this study include 4 crops of *Brassica* species; Chinese white cabbage (*Brassica campestris* L.), Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.), komatsuna (*Brassica rapa* L.), and Benrina (*Brassica rapa* L. \times *Brassica campestris* L.) and 3 crops of Chenopodiaceae species; spinach (*Spinacia oleracea* L.), leaf sugar beet (*Beta vulgaris* L.), and saltwort (*Salsola komayovi* Iljin). The total salinity of diluted sea-water was regulated in the range 1000 and 2000

ppm. In comparison to fresh water though saline water inhibited growth of all *Brassica* species in comparison of fresh water, top fresh weight of the 3 Chenopodiaceae species considerably increase with irrigation with saline water.

Chapter 2: Effects of Salt Water on Spinach

A series of experiments was conducted to determine the promotion of the growth of spinach (*Spinacia oleracea* L.) by irrigation with saline water . The individual experiments are described below.

2-1: Relation between concentration of sea-water and cation content of leaf

Thirteen spinach cultivars were used to investigate the effects of concentration of salts on growth rate and cation content of spinach leaf in spinach. Fresh water (0ppm salt) and diluted sea-water containing 1000, 2000 and 5000ppm salt were used for irrigation. 12 of the cultivars showed high top fresh weight by irrigation of sea-water containing 1000ppm salt. The total cation ($\text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+}$) content of the leaf increased, according to increase of salt in the irrigation water. The total $\text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+}$ content of the leaf was not affected by salinity of irrigate water was about 200mmol/100gDW in all spinach cultivars. On the contrary, Na^+ contents of the leaf were different among cultivars grown by irrigated sea-water at 1000ppm. The cultivars having higher Na^+ content of the leaf shared the larger top dry weight.

2-2: Growth analysis

Fresh water and sea-water containing 1000 and 2000ppm salt were used for irrigation. Top (T) and root (R) fresh weight, leaf area, water potential, and number of stomata were measured for growth analysis. Top/root(T/R) ratio and relative growth rate (RGR) were calculated. Top fresh weight, leaf area, and T/R ratio displayed their values were highest in the 1000ppm treatment and water potential and number of stomata in the 2000ppm treatment. RGR during 30 to 40 days was the highest in the 1000ppm treatment.

2-3: Effects of irrigation with NaCl solution on leaf injury by Oxalic Acid

Spinach was irrigated with NaCl solution. Aqueous solution (1000ppm) of oxalic acid was applied to spinach leaves. Spinach growth was inhibited and oxalic acid injury was not reduced by Na⁺.

2-4: Effects of salt water on photosynthetic and respiration rate

Two cultivars of spinach were planted in pots, placed in a growth chamber and irrigated with fresh water or a 20mM NaCl solution. And temperature was adjusted to 15,20,25 and 30°C for measurements of photosynthetic rate and to 10,15,20,25 and 30°C for measurements of dark respiration. Respiration increased with temperature

irrespective of the irrigation treatment. Photosynthesis increased with temperature and reached peak at 20°C. However, for cultivar, 'Atlas', being irrigated with 20mM NaCl solution, photosynthetic rate increased when compared to fresh water treatment. That is, it was increased by about 1 μ mol CO₂/m²/s in 25°C and 2 μ mol CO₂/m²/s in 30°C by using 20mM NaCl solution.

2-5: Root respiration rate

Root respiration rate of spinach was investigated. Spinach were irrigated with fresh water or 20mM and 40mM NaCl solution. NaCl did not affect root respiration.

2-6: Effects of salts on growth rate of top and cation content of leaf

Spinach was cultivated under irrigation with fresh water and solutions of NaCl, Na₂SO₄, KCl, CaCl₂, and PEG6000. In comparison to fresh water irrigation with NaCl, Na₂SO₄, and KCl increased both dry and fresh weight. Increment in fresh weight over the fresh water control were about 30%. The corresponding increment in dry weight was about 10%. This indicates that irrigation with saline water did not promote dry matter in the top accumulation by increased water contents when compared to irrigation with fresh water. An increase in both fresh and dry weight were accompanied with increase in Na⁺ and K⁺ contents of the leaves.

2-7: Effects of NaCl and K fertilizers on growth rate of spinach and komatsuna

Spinach cultivars 'Atlas' and 'All Right' and komatsuna cultivar 'Andou-wase' were planted. The plants were treated with solution containing potassium. K was substituted in different proportions by Na. Growth of spinach displayed better when treated with a fertilizer mix containing 20% Na than when treated with sole K. In komatsuna, however, the growth was inhibited by mixing Na⁺ into fertilizer mixture containing Na⁺.

Spinach cultivars 'Atlas' and 'All right' and komatsuna cultivar 'Andou-wase' were treated with a potassium fertilizer in which the level of K was adjusted from 1/3 to 5/3 of the normal level. The plants were irrigated with 20mM NaCl solution. In comparison to fresh water irrigation with 20mM NaCl increased top fresh weight of spinach cultivar 'Atlas', irrespective of potassium level. For other spinach cultivar 'All right' irrigation with 20mM NaCl solution increased top growth in absence of or in presence of adequate K supply. However, at excess K levels top growth was reduced in comparison to the corresponding fresh water treatments. In komatsuna irrigation with 20mM NaCl inhibited top growth, irrespective of potassium level. Photosynthetic rate, in spinach cultivar 'Atlas' was increased by irrigation with 20mM NaCl solution at low and slightly high K supply. In spinach cultivar 'All Right' irrigation with NaCl increased photosynthetic rate only at low K. The increase in photosynthetic rate could be attributed to enlargement of stomatal openings in the NaCl irrigated plants. In contrast, both top fresh weight and photosynthesis were higher in komatsuna when irrigated with fresh

water.

The above results showed that spinach response to irrigation with NaCl is influenced by variety. In some varieties top growth was promoted by low K supply. However, in other varieties sufficient K supply was needed. On the other hand, komatsuna development was suppressed by NaCl irrespective of K supply.

2-8: Conclusion

The promotive effect of Na⁺ on top growth of spinach was enhanced by low and adequate K supply. Irrigating with NaCl solution increased photosynthetic rate at high temperature. As it was a conclusion enhancement of photosynthesis by sodium was the direct for promotion of spinach growth.

Chapter 3: Effects of Amount of Irrigation Saline Water on Spinach Growth

An experiment was undertaken to study the influence of soil water content and salt on spinach growth. Fresh water or sea-water containing 1000ppm were used for daily irrigation. Irrigation treatments comprised 4.8mm/day, 5.6mm/day, 7.0mm/day and 10.5mm/day. The adequate amount of saline water irrigation were less than that of the

fresh water irrigation. In 5.6mm/day, 7.0mm/day and 10.5mm/day watering, saline water increased top fresh weight compared with fresh water. Fresh weight in 5.6mm/day, 7.0mm/day and 10.5mm/day were 144%, 127% and 133% respectively over the corresponding fresh water treatments. In comparison to the corresponding fresh water treatments the amount of water needed to produce 1g dry matter in saline water was 97, 67, 69% and 69% for 4.8mm/day, 5.6mm/day, 7.0mm/day and 10.5mm/day irrigation, respectively. Na/K ratio of the leaf tended to increase with decreasing amount of saline water. Increase of Na/K ratio promote the top growth. It appear that under less irrigation of saline water, spinach absorbs preferentially more Na⁺ than K⁺ and higher Na⁺ content increases in top fresh weight.

Chapter 4: Effects of Salt Acting on Spinach Germination and Emergence

The effects of NaCl solution and pericarp-removal of seed on germination and emergence of spinach were examined. Seeds with pericarp displayed lower germination than seeds without it. The germination of seeds with pericarp decreased further in presence of NaCl. Pericarp removal resulted in more than 80% germination even at 200mM NaCl. Germination rate progressively declined with increasing concentration of NaCl. The pericarp and NaCl reduced spinach emergence. Spinach emergence progressively decreased with increasing NaCl concentration. In spinach removal of the

pericarp increased spinach emergence rate to over 80% even at a 100mM NaCl concentration.

Chapter 5: Salt accumulation at soil by irrigating diluted sea-water

Spinach was planted on salt accumulation soil which irrigated diluted sea-water containing 1000ppm, 2000ppm and 5000ppm salts for 2 years and irrigated with fresh and diluted sea-water containing 1000ppm salts. After spinach cultivation, soil EC decreased, except of the surface. Even in the soil irrigated with saline water containing 5000ppm salt for 2 years, the EC value of under ground soil was less than $100 \mu \text{ S/cm}$ by cultivation spinach by sea-water. Soil pH following spinach cultivation and irrigation with saline water was 7.2 on the average compared with 6.4 before cultivation.

It was found that growth of some crop varieties belonging to the family of Chenopodiaceae was promoted by irrigation with saline water. Regardless of supply of K fertilizer, spinach growth was promoted by NaCl solution. In spinach irrigation with NaCl solution increased photosynthetic rate at high temperature (more than 25°C). Emergence rate of spinach was decreased by salt. In case spinach cultivation and irrigation with saline water removal of pericarp resulted in better germination rate and emergence rate. Furthermore, irrigation of spinach with saline water in sandy soil did not

lead to accumulation of salts because of leaching. Thus saline water can be used for irrigation of spinach in sandy soils.

公表論文リスト

学術論文1：学位論文 第2章および第3章

題目 ホウレンソウ栽培における希釈海水の灌水効果

著者名 留森寿士・遠山柁雄・竹内芳親

学術雑誌名 日本砂丘学会誌(1996年12月刊行)

学術論文2：学位論文 第4章

題目 ホウレンソウ種子の発芽・出芽における無果皮処理の有効性

著者名 留森寿士・池尻朗・竹内芳親

学術雑誌名 生物環境調節(1997年3月刊行)