

養液土耕栽培における塩水灌漑がトマトの品質に及ぼす影響

原田 千春、芹田 剛、田中 明

佐賀県唐津市松南町152-1 佐賀大学海浜台地生物環境研究センター

The Influence of Drip Irrigation with Seawater on the Quality of Tomatoes.

Chiharu HARADA, Tsuyoshi SERITA, Akira TANAKA

Coastal Bioenvironment Center, Saga University,
152-1 Shonan-cho, Karatsu, Saga 847-0021, Japan

要 旨

本研究では海水灌漑が農作物の品質にどのような影響を及ぼすかを検討した。水耕栽培実験では淡水処理区と海水処理区の2区を設け、海水処理区は塩分濃度4000ppmに設定した。海水処理区の果実は小玉であるほど糖度が高くなる傾向がみられた。海水処理後約1週間あたりから果実に影響がでてくることがわかった。

養液土耕栽培による栽培実験（冬作の場合）では対照区（EC=2.0mS/cm）、海水区（EC=5.0mS/cm）、ニガリ区（EC=5.0mS/cm）を設定した。葉の成長に関しては、1日当たりの増大速度が最も大きいのは対照区で、海水やニガリを使用した区は対照区の3分の1程度であった。海水とニガリ区の糖度は高く、平均でも9以上である。また養液土耕栽培による栽培実験（夏作の場合）では塩水灌漑区で得られたトマトのリコピン量とアスコルビン酸量は増加した。

Summary

Tomato was cultivated with solution culture of tapwater(control) and diluted seawater(NaCl 4000ppm).

Sugar concentration of tomato is higher as size is smaller. The effect of seawater irrigation reveal one week after. Tomato was dripirrigated with solution of tapwater(control EC=2.0mS/cm), diluted seawater(EC=5.0mS/cm) and diluted bitter salt(EC=5.0mS/cm).

Enlargement speed of tomato stem is fastest for the control. and is 3 times of that of diluted seawater and diluted bitter salt. Brix value is over 9 for the dripirrigated pots with diluted seawater and diluted bitter salt. Irrigation with seawater and bitter salt improves carotenoids and ascorbic acid.

1. まえがき

近年、食の安全性に関する問題が多く消費者の不安を増大させている。国内において農業生産量が減少する中、輸入農産物が増加し、食料自給率が低下している。また外食や中食などの外部化・サービス化が進み、消費と生産の場の距離が拡大し、社会・生活環境の変化などを背景とした食生活の乱れも指摘されている。このようなことから安全・安心な農産物の供給、消費者のニーズを踏まえた産地化や地域特性を活かした生産振興、生

産者の顔の見える仕組みづくり、地産地消運動などへの取り組みが必要とされている。そこで本研究では地産地消の考えをもとに、海に面した唐津の地形的な特徴を活かして、海水を用いた農作物栽培を提案し、その技術の確立を図った。また作物の高品質・高付加価値化という観点から、海水灌漑が農作物の品質にどのような影響を及ぼすかを検討した。

2. 水耕栽培による栽培実験

(1) 供試品種および処理概要

供試品種には、ミニトマト（商品名：ミニキャロル）を用いた。2003年6月21日にプランター（長さ63.5cm、巾22.5cm、深さ9.0cm）に播種し、7月16日に発芽・成長した苗を水耕栽培ベッドに移植した。水耕栽培ベッド（134リットル）と水槽2つ（140リットルと110リットル）をあわせてひとつの区とし、区内は水中ポンプで水を循環させ、ベッド内にはエアーを送った。水換えは1週間に1回行った。

肥料は、大塚ハウス1号（大塚化学株式会社）と大塚ハウス2号を使用した。大塚ハウス1号は、1ベッドあたり200g、水槽（140リットル）に230g、水槽（110リットル）に170gを水換えのたび溶かし入れた（1区あたり600g）。大塚ハウス2号は1ベッドあたり134g、水槽（140リットル）に140g、水槽（110リットル）に110gを水換えのたび溶かし入れた（1区あたり384g）。1区あたりの成分量は、窒素（N）－102.24g、リン酸（ P_2O_5 ）－48.0g、カリウム（ K_2O ）－144.0gを施用した。

試験区の構成は淡水処理区と海水処理区の2区で、海水処理区は塩分濃度4000ppmに設定するため、唐津湾で採水した海水を液肥1リットルにつき130cc混入した。この溶液の水ポテンシャルはpF換算で3.6である。塩分濃度は田中ら（2000）の研究から、普通トマト（商品名：ハウス桃太郎）においては塩分濃度4000ppm程度で果実の極端な小玉化が少なく比較的高糖度のトマト栽培が可能であることがわかり、これを前提として設定した。

仕立て方は、長期多段採り栽培で、主茎の誘因を垂直に一回行い、その後水平放任栽培し柵化させた。温度管理については、海浜台地生物環境研究センターの温室を室温25℃～35℃くらいになるように、夏期は窓の開閉を、冬期はボイラーを自動的に作動するようにした。

(2) 調査および分析方法

調査は、2003年6月21日から2004年3月8日の間、海浜台地生物環境研究センターの温室において、淡水処理区6株・海水処理区4株についておこなった。2003年9月10日から収穫を開

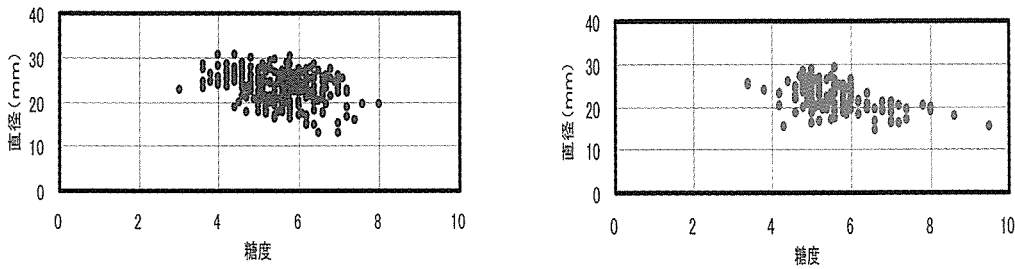
始し、12月24日まで、淡水処理と海水処理のミニトマト果実の直径と糖度を比較するために、淡水処理区・海水処理区ともに成熟した果実を無作為に採り、直径と糖度を測定した。海水処理後のミニトマト果実の成長速度を測定するために、海水処理区は2003年7月16日から9月25日の間は塩分濃度4000ppmにし、9月26日から11月26の間は淡水とし、11月26日以降再び塩分濃度4000ppmに戻した。また、2003年10月29日から、淡水処理区と海水処理区に各10個、直径が約8.0mmと同等の果実に番号をふり（淡水処理区：1～10、海水処理区：11～20）、これらの果実の直径の変化を1週間に1回測定し比較した。また、多段栽培における根からミニトマト果実までの距離と糖度の関係を測定するために、2004年1月10日・11日にミニトマトの根から果実までの距離とその果実の糖度を測定した。

果実直径はデジタルノギス（Mitsutoyo社）にて測定し、糖度については果実液をデジタル糖度計（DIGITAL REFRACTOMETER PR-101、ATAGO社）により測定した。根から果実までの距離は、巻尺にて測定した。

(3) 結果および考察

海水処理はミニトマトの直径と糖度に影響を及ぼした（図-1）。無作為に収穫した果実の直径と糖度を測定した結果、海水処理区の果実は小玉であるほど糖度が高くなる傾向がみられた。普通トマト（ハウス桃太郎）の場合も海水処理区で果実の小玉・高糖度化がみられることがわかっており（世戸・田中、1998、田中ら、2000）、同じ結果が得られた。糖度のヒストグラムから、海水処理区では高糖度の果実の頻度が高いことがわかる（図-2）。また、同じ区内でも木ごとに糖度の分布が顕著に異なるのは、日射が関係したものと考えられる。

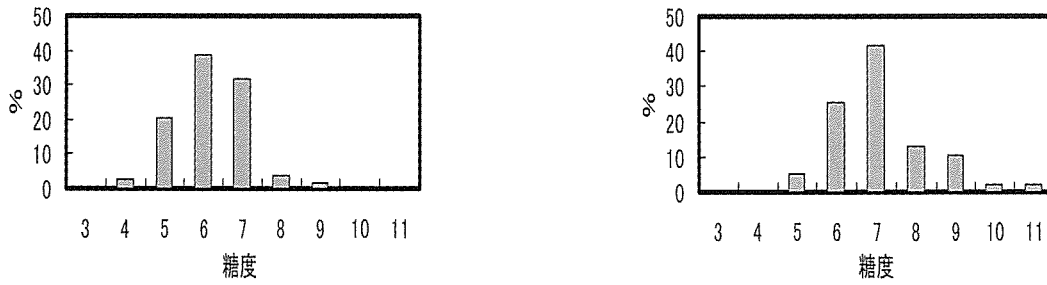
海水処理はミニトマトの成長速度にも影響を及ぼした（図-3）。11月26日に再び海水処理をし、処理後約1週間あたりから果実の成長が鈍り、海水処理後約1週間で果実に影響がでてくることがわかった。普通トマト（ハウス桃太郎）においても海水処理後約1週間で果実の体積の増加が減ることが既にわかっており（田中ら、2000）、これと同じ結果が得られた。



(a) 淡水区

(b) 海水区

図1 果実直径と糖度の関係



(a) 淡水区

(b) 海水区

図2 糖度のヒストグラム

根からミニトマト果実までの距離と糖度の関係については、明確な傾向はみられなかった（図-4）。普通トマト（ハウス桃太郎）の栽培において、果実が大きくなる前の早い段階に海水処理を行えば、果実の小玉・高糖度化が起こるとされている。このことを踏まえ、ミニトマトでは、海水と淡水の交互施用により、根からのある距離で糖度が高く、その前後で糖度が低くなるような結果が得られることを想定していたが、明確な傾向はみられなかった。この理由として、多段栽培による受光状態の違いなど考えられる。

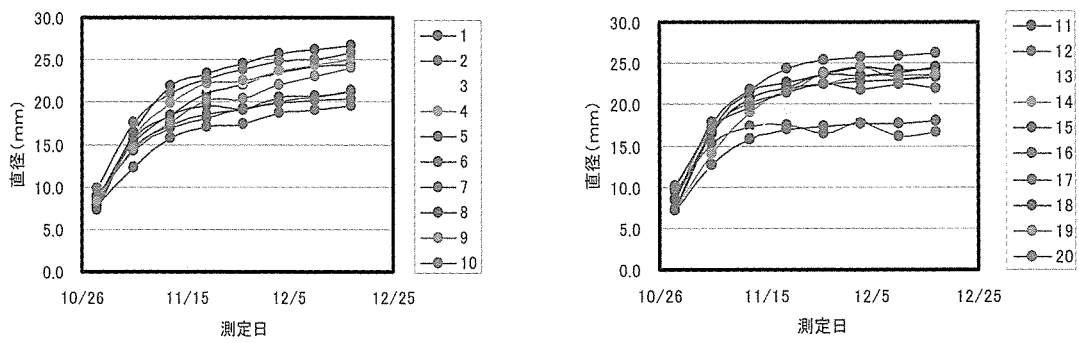
3. 養液土耕栽培による栽培実験（冬作の場合）

(1) 供試品種および処理

供試品種には、ミニトマト（商品名：ミニキャロル）を用いた。2004年11月9日に、脇芽を発根させたものをガラス温室内の1/2000aワグネル

ポット（藤本科学工業）に1ポットあたり1本の苗木を定植した。整枝は、一本仕立てとした。培地は、ポット底より2cmの高さまで砂利、20cmまで宮崎産のボラ土を敷き詰め、さらにその上に福岡県西戸崎の飛砂を3cm敷き詰めた。

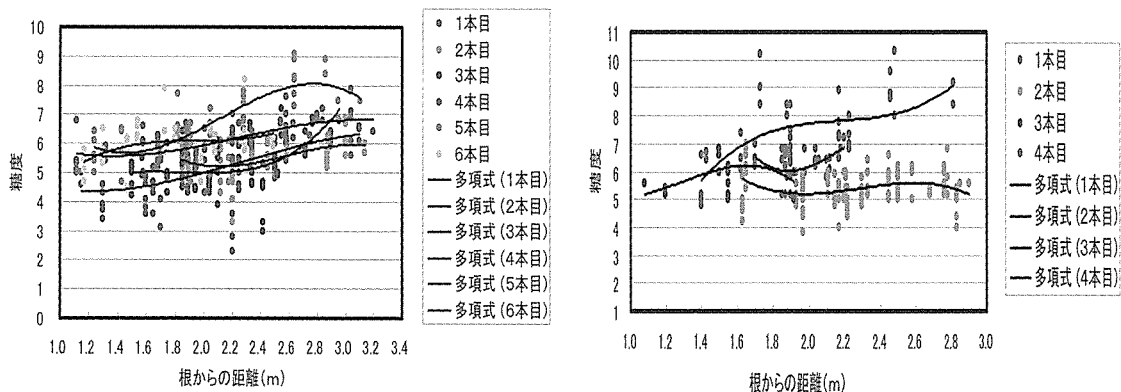
灌水方法は、マイクロチューブポンプ（PERI-STALTIC—PUMP PST—350、IWAKI社）により養液タンク（36リットル）から各ポットに点滴灌水し、養液は循環せず、ポット下端より養液が少量排水される程度の灌水量とした。基肥は、大塚A処方（大塚ハウス1号：大塚ハウス2号＝3：2、大塚化学株式会社）とし、培養液濃度EC＝2.0mS/cmとなるように管理した。試験区の構成は、対照区（基肥のみ、EC＝2.0mS/cm）、海水区（基肥＋海水、EC＝5.0mS/cm）、ニガリ区（基肥＋ニガリ、EC＝5.0mS/cm）を設定した。各培養液ともに、ECとpHで調節し週に一



(a) 淡水区

(b) 海水区

図3 海水を施用後の成長の比較



(a) 淡水区

(b) 海水区

図4 根からの距離と糖度の関係

回新しい培養液に交換した。

塩類ストレス付与は、定植から約4ヵ月後の2005年3月7日より開始した。海水は佐賀県唐津湾で採水したもの、またニガリはダイヤソルト株式会社製のものを使用した。

(2) 調査および分析方法

調査は、対照区5株・海水区2株・ニガリ区2株についておこなった。茎葉及び果実の生育調査を2005年4月6日から4月26日の間、週に1回1株につき1箇所ずつ測定した。また、果実重量・糖度やリコピン含有量などは4月28日から5月13日までの間に採取したものから測定した。

茎葉の大きさはデジタルノギス (Mitsutoyo社) により測定し、果実重量については電子天秤

(sartorius社) により測定した。また、糖度については、果実液をデジタル糖度計 (DIGITAL REFRACTOMETER PR-101、ATAGO社) により測定した。リコピンの抽出と定量は簡易定量法 (食品分析法編集委員会, 1982) に従っておこなった。

(3) 結果および考察

葉の長さとの経過日数との関係を線形式で近似させて、1日当たりの伸長速度を求めた。この値と2005年4月6日の時点での葉の長さとの関係を示す (図-5)。葉の成長に関しては、1日当たりの伸長速度が最も大きいのは対照区で、海水やニガリを使用した区は対照区の3分の1程度であった。茎の成長に関しては、対照区に比べてニガ

リ区の成長が特に遅かったが、4月26日の茎の直径をみると海水区やニガリ区が比較的小さい傾向がみられた(図-6)。

果実の肥大傾向としては、対照区に比べて海水区とニガリ区の肥大速度が小さかった(図-7)。海水とニガリ区の糖度は高く、平均でも9以上である(図-8, 9)。12~14段の全果実、海水区116個、ニガリ区131個、対照区253個について区ごとに求めた平均の重量は、対照区が最も大きく、海水区とニガリ区は同程度で対照区の3分の2程度であった(図-10)。

従来の研究により、トマトに塩ストレスをかけることによる茎葉の伸長抑制、果実の肥大抑制、小玉化、収量低下、そして果実糖度と機能性成分の上昇などの報告があるが、本実験により同様の結果が得ることができた。果実糖度と機能性成分の上昇には幾つかの要因があるが、ひとつはトマトの木はストレスをかけることにより果実内成分の濃度を高め水を吸い上げようとするホメオスタシスをいう機能のため、他にもストレスが木の生長を抑制するために糖などの光合成産物が果実に多く分配されるため、呼吸が抑制され光合成産物の消費が少なくなるため、などが挙げられる。海水濃度と樹勢をうまく調節できれば、海水を灌漑水に用いることはとても有効であると考えられる。また、ストレスをかける高糖度トマトの栽培の多くは、化成肥料のみの高濃度培養液をつかった高EC下での養液栽培であるが、培養液に海水を用いることで肥料のコストを削減できるという利点もある。

4. 養液土耕栽培による栽培実験(夏作の場合)

(1) 供試品種および処理概要

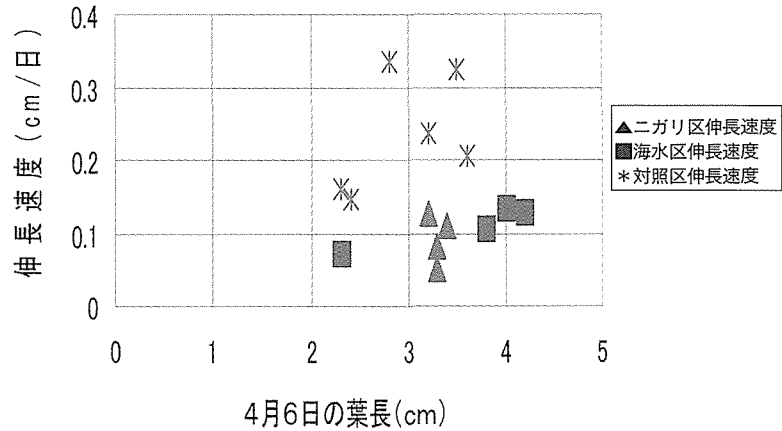


図5 4月6~26日の葉の伸長速度の比較

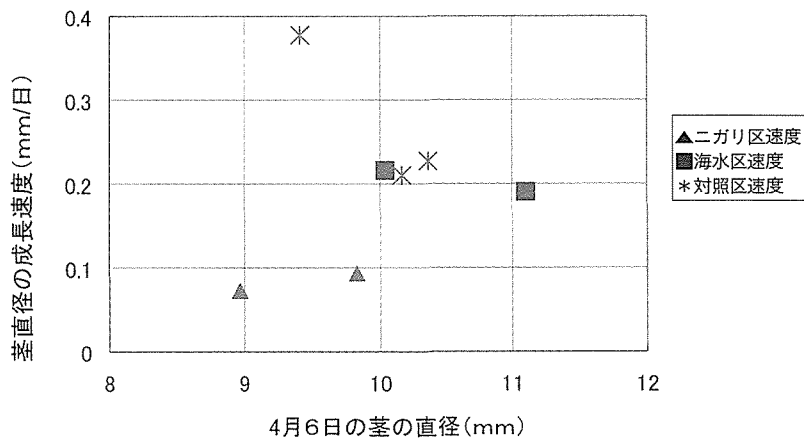


図6 茎の成長の比較

供試品種には、ミニトマト(商品名:ミニキャロル)を用いた。

2005年7月28日に播種、8月8日にガラス温室内の1/2000aワグネルポット(藤本科学工業)に1ポットあたり1本の苗木を定植した。整枝は、一本仕立てとした。培地は、ポット底より2cmの高さまで砂利、20cmまで宮崎産のボラ土を敷き詰め、さらにその上に福岡県西戸崎の飛砂を3cm敷き詰めた。

灌漑方法は、マイクロチューブポンプ(PERISTALTIC-PUMP PST-350、IWAKI社)により養液タンク(36リットル)から各ポットに点滴灌漑し、養液は循環させず、ポット口より養液が少量排水される程度の灌漑量とした。基肥は、大塚A処方(大塚ハウス1号:大塚ハウス2号=3:2、大塚化学株式会社)とし、培養液濃度EC=2.0mS/cmとなるようにした。試験区の構

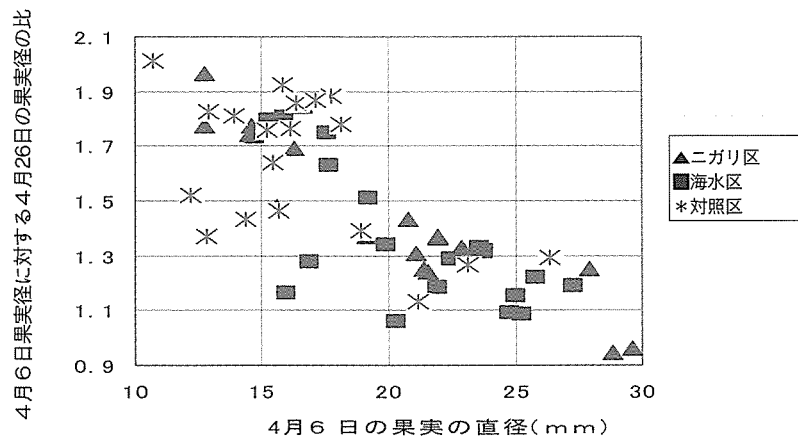


図7 果実成長の比較

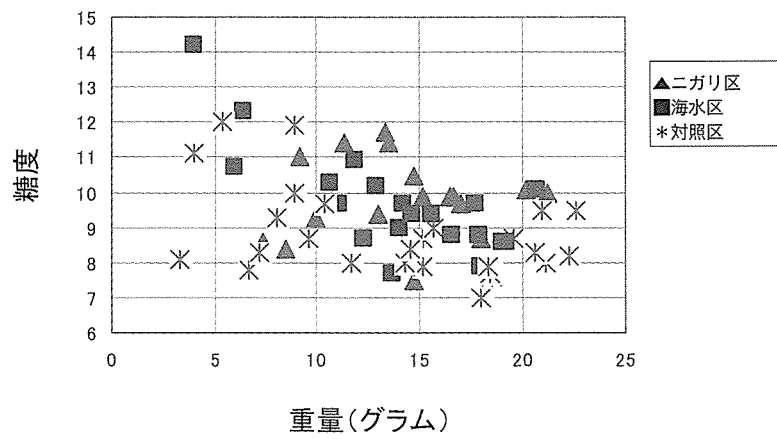


図8 糖度と重量の比較 (4月28日~5月13日に収穫)

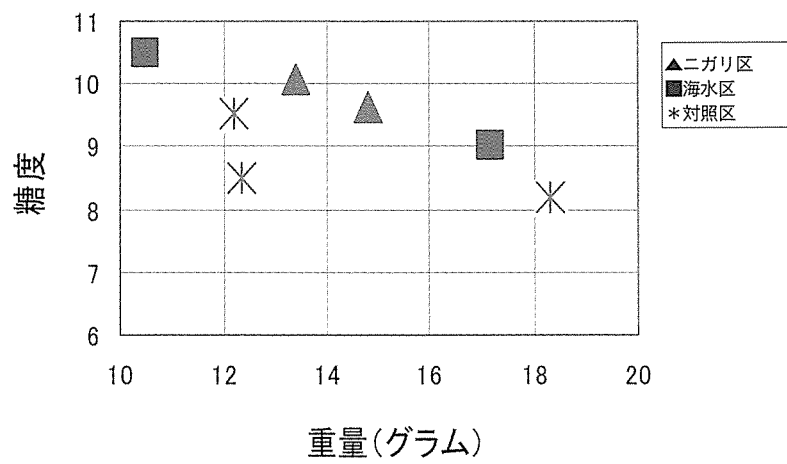


図9 糖度と重量の比較 (4月28日~5月13日に収穫の平均)

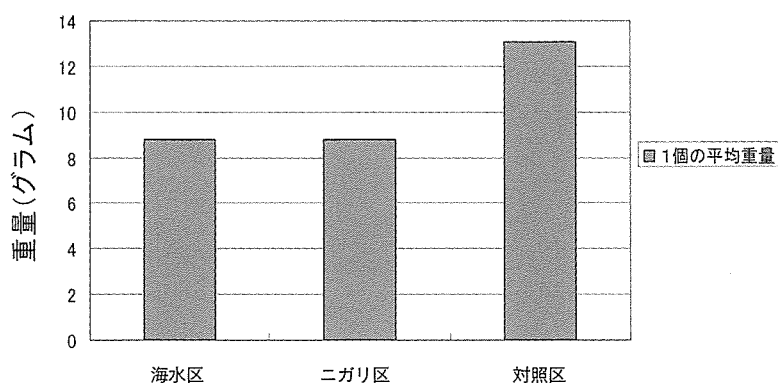


図10 1個の平均重量 (12~14段の果実)

成は、対照区 (基肥のみ、 $EC=2.0\text{mS/cm}$)、海水区 (基肥+海水、 $EC=5.0\text{mS/cm}$)、ニガリ区 (基肥+ニガリ、 $EC=5.0\text{mS/cm}$) を設定した。各培養液ともに、養液の濃度などは EC と pH で調節し週に一回新しい培養液に交換した。

塩類ストレス付与は、定植から約3ヵ月後の2005年10月15日より開始した。海水は佐賀県唐津湾で採水したもの、またニガリはダイヤソルト株式会社製のものを使用した。

(2) 調査および分析方法

調査は、対照区5株・海水区3株・ニガリ区3株についておこなった。果実重量・糖度やアスコルビン酸含有量・リコピン含有量や果実内無機成分量は、2005年12月1日から2006年1月17日までに採取したものから測定した。

果実重量については電子天秤 (sartorius社) により測定した。また、糖度については、果実液をデジタル糖度計 (DIGITAL REFRACTOMETER PR-101、ATAGO社) により測定した。アスコルビン酸の測定は、磨砕した果実の濾過液をRQFlex plus (MERCK社) により測定した。リコピンの抽出と定量は簡易定量法に従っておこない、無機成分については、乾式灰化法により抽出された無機成分をイオンクロマトグラフ (DIONEX社) にて分析し定量した。

(3) 結果および考察

採取した全果実の平均重量は、冬作と同様に対照区で最も大きく、海水区とニガリ区は同程度で対照区の3分の2程度であった (図-11)。果実

糖度に関しては、対照区で平均3.5に対し、海水区で平均5.5、ニガリ区で平均4.5となり、冬作に比べて非常に糖度は低かったが、海水区では対照区の約1.6倍、ニガリ区では対照区の約1.4倍高くなった (図-12)。

果実糖度が上がるにつれて果実重量は小さくなった (図-13)。また果実が小玉化するにつれ、リコピン量は増加した (図-14)。また、果実重量とアスコルビン酸の間には、明確な相関はみられなかった (図-15)。果実100gに含まれるアスコルビン酸含有量は、対照区で平均32mg、海水区で平均28mg、ニガリ区で平均36mgとなった。果実100gに含まれるリコピン含有量は、対照区で平均5mg、海水区で平均6.4mg、ニガリ区で平均6.7mgとなった。しかし、第一段目果実を除く第二段目以降の果実では、アスコルビン酸含有量は対照区で平均31mg、海水区で平均33mg、ニガリ区で平均34mgとなった。これは塩類ストレスの付与開始時期がトマト開花時期よりも遅かったために、低段ではその影響が少なかったと考えられる。またリコピンにおいては、第一段目を除く第二段目以降の果実では、対照区で平均5.4mg、海水区で平均6.3mg、ニガリ区で平均7.1mgとなった。

果実内無機成分量に関して、溶液中の成分 (図-16) がミニトマト果実にどのように影響するかを調査したが、海水区とニガリ区の果実内 Na 濃度と Mg 濃度には相関関係があったが (図-17)、基本的に3試験区で成分量に関してはあまり差はみられなかった。

塩水を使用しなかった対照区において得られた

トマトの各値を1としたときの、塩水灌漑区で得られたトマトの品質を表すと、図-18に示すように塩水灌漑区では重量以外は増加した。従来の研究で、電気伝導度を $EC=5.0\text{mS/cm}$ にした場合、リコピンは1.7倍に、アスコルビン酸は1.1倍程度増加するとの報告があるが、アスコルビン酸の増加程度は小さいようである。

夏作では、従来の研究より比較的低濃度の塩水灌漑によってミニトマトを栽培したが、海水区・ニガリ区ともに、糖度・アスコルビン酸含有量・リコピン含有量が対照区を上回り、果実重量も対照区と比較して小さくなった。しかし、果実糖度が果物トマトの目安となる糖度10を超えることができず、高品質ミニトマトの栽培はできなかつ

た。また、海水とニガリの成分がミニトマトの成分にどういった影響を与えるかについても明瞭な結果を得ることはできなかった。全体的に予想より低い数値であったのは、おそらく病害虫により樹勢が著しく落ちたためだと考えられる。

塩水灌漑による高品質・高付加価値作物の栽培を実用化していくには、安定した収量が必要である。病害虫による品質劣化は収量の低下につながり、品質を低下させる病害虫の特定や発生を未然に防ぐ手段が今後必要である。

5. 結論

本研究は、実際の現場での高品質・高付加価値作物栽培を目標として行ってきた。本研究により、

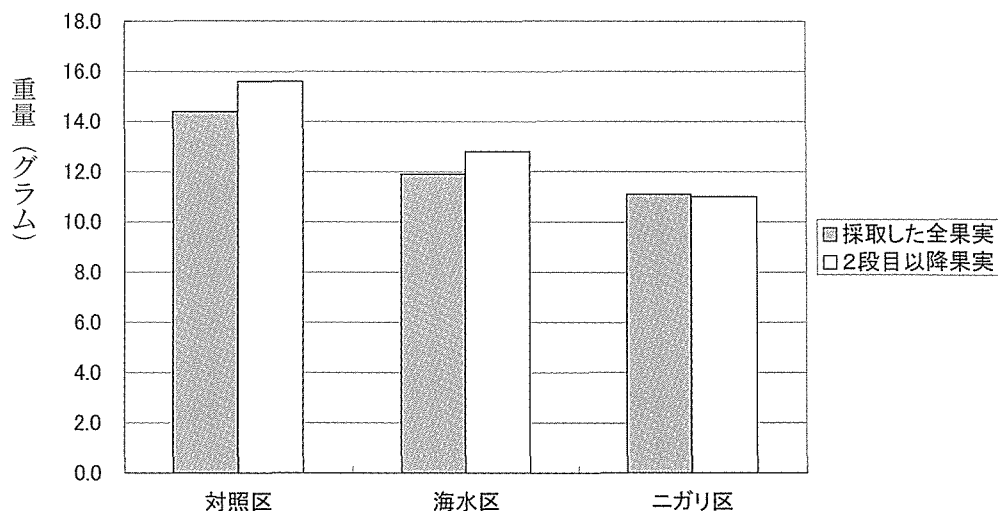


図11 果実重量の比較

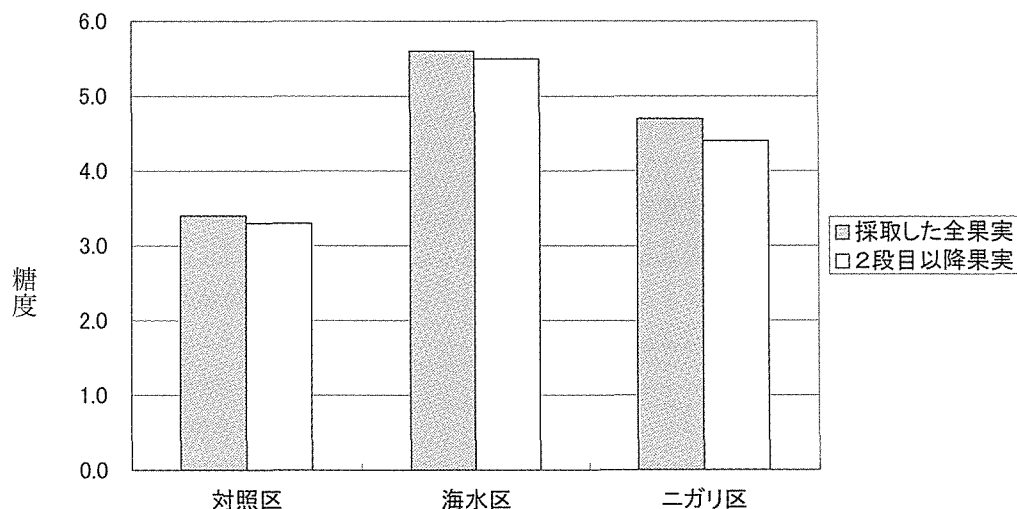


図12 果実糖度の比較

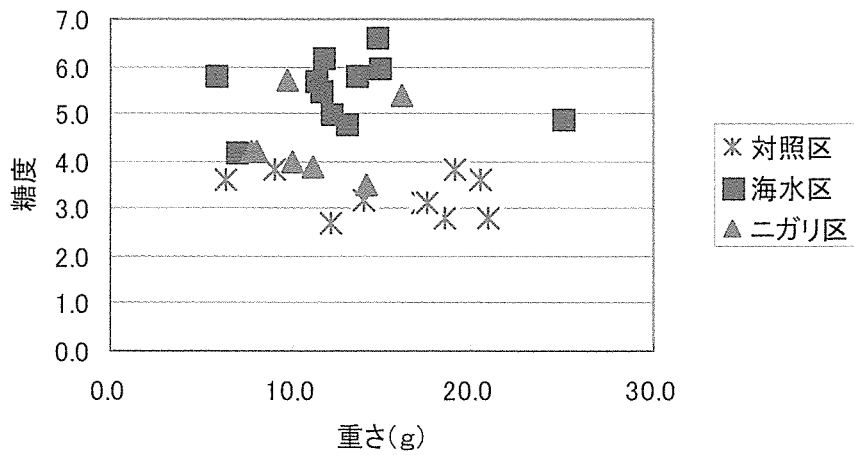


図13 糖度と重量の関係（2段目以降）

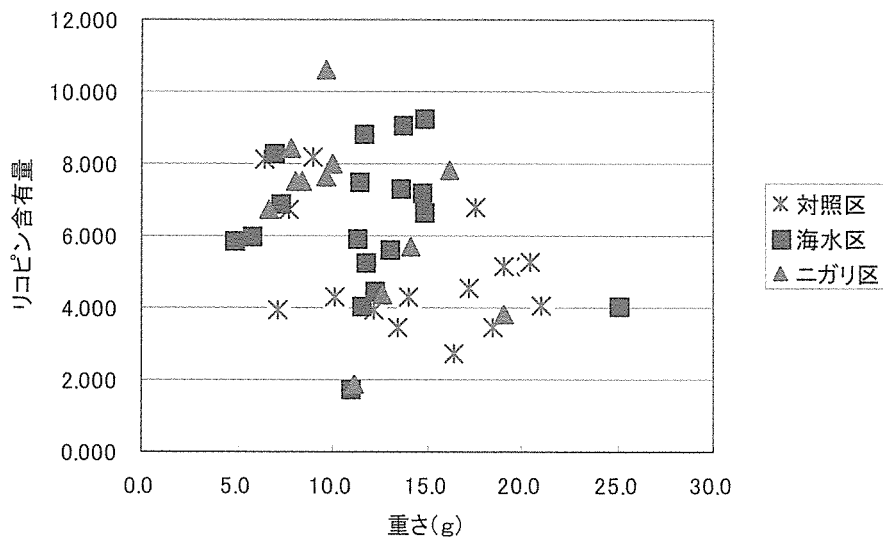


図14 リコピン含有量（生体重100g当たりのmg）と糖度の関係（全）

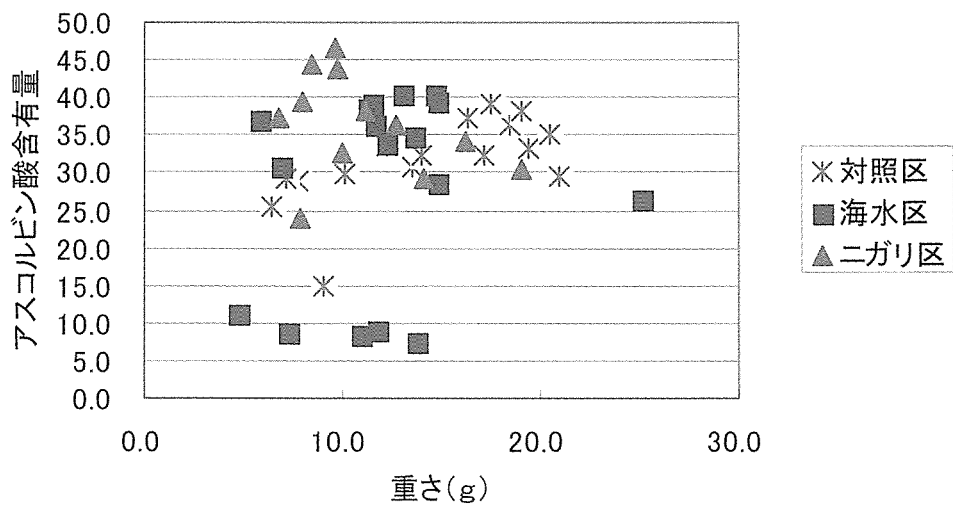


図15 アスコルビン酸含有量（生体重100g当たりのmg）と糖度の関係（全）

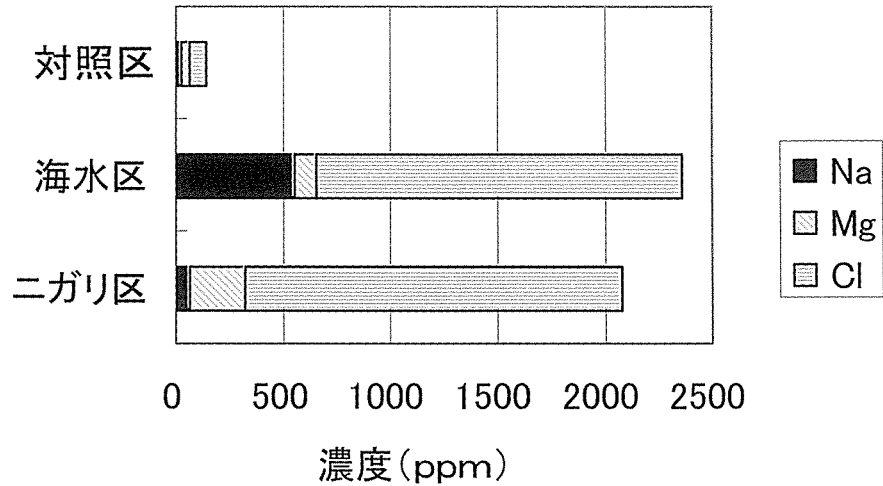


図16 各区の溶液の成分

栽培にあたっての幾つかの指標を得ることができた。

水耕栽培においては、海水処理により高糖度化と小玉化すること、海水施用後約10日でその影響が出始めることなどがわかった。水耕栽培の目的のひとつとして、長期間（多年にわたって）栽培することも検討していたが、海水と淡水を交互施用することにより、長期間の栽培も可能であることがわかった。

養液土耕栽培においては、水耕栽培で得られた結果と同じように高糖度・小玉化がみられ、果実内では無機成分の変化がみられた。また、機能性成分として有名なアスコルビン酸やリコピンの増加がみられた。

水耕栽培は、計画を立てて栽培できる・病害虫の被害が少なく、農薬の使用量を減らすことができるなどのメリットがあり、最初にシステム代として投資するお金が高い・土耕栽培とは違った管理や注意が必要であるなどのデメリットがある。水耕栽培では、実際に栽培実験をして、水耕栽培で育てたトマトはどこか水っぽく味が薄い・水換えが大変などがあり、湿度が高くなることにより病気の発生も多かったように感じた。実際に現場

で栽培することを目標としているが、食味が悪いのは致命的で、食味を良くするために、土に着目した。培地に土を使うことで、土の成分などが果実に影響したりして食味はあがると考え、土耕での調査をすることにした。また、灌漑方法は、慣行の方式ではなく、省力化をはかるために点滴灌漑とした。

養液土耕栽培は、土壌の性質を生かしながら養液栽培のメリットを取り入れた栽培法で、作物が肥料を必要とする時期に少量の肥料を与えるだけで高い収量を得ることができ、作物が必要とする量だけの肥料をやることのできるため、近年問題となっている肥料や農薬による農業排水の汚染に対しても有効で、環境にやさしいというメリットがある。また使用した肥料が直接的に作物に作用する水耕栽培に対し、土が緩衝材となるので過剰な施肥の影響を防ぐというメリットもある。養液土耕栽培にあたっては施設設置が不可欠である、根域が狭いため環境変化に弱い、土づくりが必要である、水源・水質確保が不可欠であるなどのデメリットもある。

養液土耕栽培では、実際に栽培実験をして、水換えなどにかかる時間が減り、管理が楽になった。

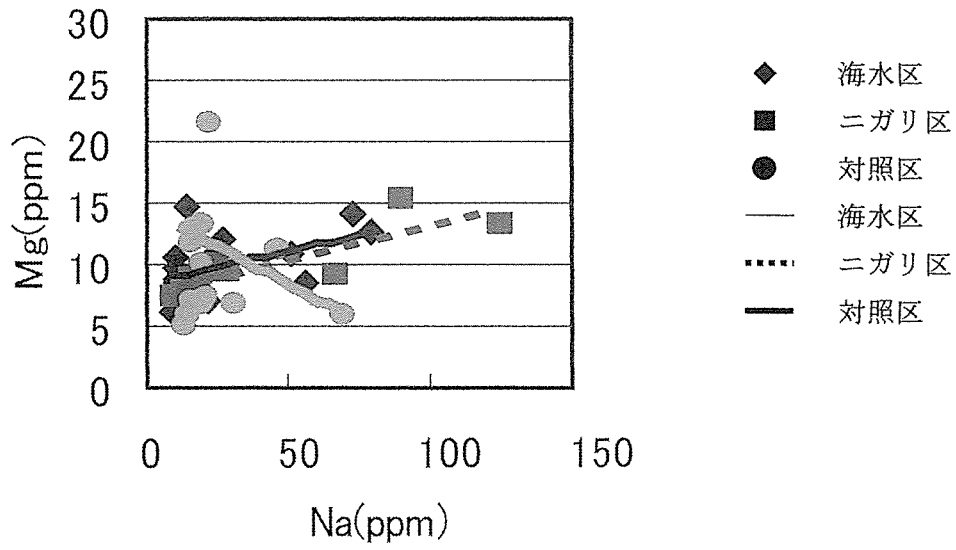


図17 果実中のNaとMg

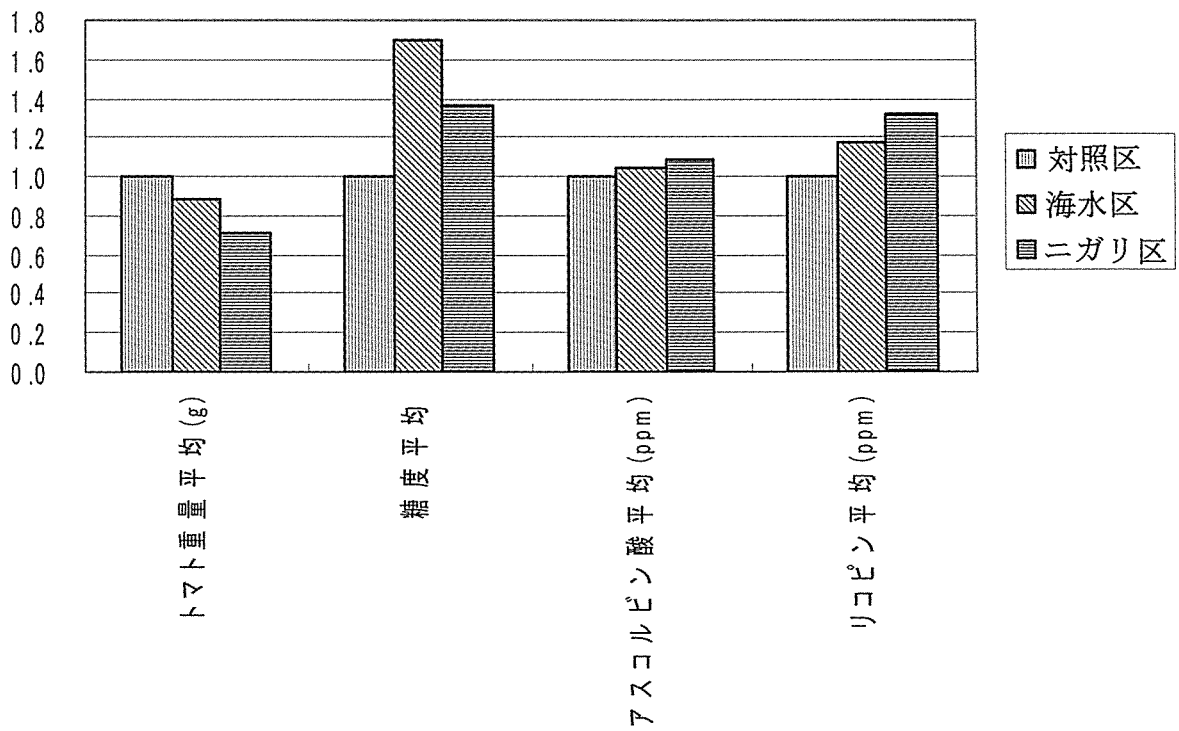


図18 トマトの品質の比較

根域は限られてくるので、観光農業などに利用するため多年にわたる栽培は不可能だと思われる。水耕栽培での課題であった食味は、冬作では全区全調査項目で数値的に良い結果を得ることができ、食味は良好であった。しかし、夏作では全区全調査項目で数値的に水耕栽培時よりも低い結果となり、食味は悪かった。夏作においては食味こそ悪かったが、冬作・夏作ともに、対照区に比べ海水区・ニガリ区での調査結果が高い数値となった。夏作においての果実内無機成分の調査については、海水とニガリの効果の違いを見出すことはできなかった。全体的に見て、夏作で数値的にも食味的にも良くない果実となったのは、病害虫による被害が深刻だったために樹勢が落ちたためだと考えられる。今後の課題として、的確な病害虫の防除が必要であると考ええる。

引用文献

- 1) 世戸直明、田中 明 (1998) : 塩水かんがいトマトの品質に及ぼす影響 海と台地、Vol.7、33-41
- 2) 食品分析法編集委員会編集 (1982) : 食品分析法, 日本食品工業学会、p.751-758
- 3) 田中 明、長友さやか、石橋哲也 (2000) : 塩水かんがいトマトの品質に及ぼす影響 (II)、海と台地、Vol.12、45-49