

資 料

## ナトリウム塩化物泉の温泉水の施用がトマト果実の品質に及ぼす影響

田浦一成<sup>1,2\*</sup>・谷村音樹<sup>2</sup>・勘米良祥多<sup>2</sup>・遠城道雄<sup>3</sup>・朴 炳宰<sup>3</sup>

<sup>1</sup>鹿児島大学農学部附属農場学内農事部 〒890-0065 鹿児島市郡元

<sup>2</sup>鹿児島大学農学部附属農場指宿植物試験場 〒891-0402 指宿市十町

<sup>3</sup>鹿児島大学農学部附属農場 〒890-0065 鹿児島市郡元

### Effect of Sodium Hot Spring Water Application on Tomato Fruit Quality

TAURA Issei<sup>1,2\*</sup>, TANIMURA Otoki<sup>2</sup>, KANMERA Shota<sup>2</sup>, ONJO Michio<sup>3</sup> and PARK Byoung-Jea<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Campus Farm, Experimental Farm, Faculty of Agriculture, Kagoshima University,  
Korimoto, Kagoshima, 890-0065

<sup>2</sup>Ibusuki Botanical Experiment Station, Experimental Farm, Faculty of Agricultural,  
Kagoshima University, Ibusuki, Kagoshima, 891-0402

<sup>3</sup>Experimental Farm, Faculty of Agriculture, Kagoshima University,  
Korimoto, Kagoshima, 890-0065

キーワード：塩ストレス、高糖度トマト、ナトリウム塩化物泉、温泉水、ヤシ葉粉碎チップ

### 緒 言

鹿児島県指宿市は日本有数の温泉地であり、鹿児島大学農学部附属農場指宿試験場（以下、指宿植物試験場）においてもその敷地内から豊富に温泉水が湧出している。その温泉水は、温泉熱利用の研究が大正時代より行われ、冬季における暖房設備の熱源として農業利用されてきた（石畑，2000）。しかしながら、作物の肥培管理において利用されることはなかった。その理由として、温泉成分は塩分を多く含むナトリウム塩化物泉であり、高濃度のナトリウムによる塩害の恐れがあるためではないかと考えられる。また、温泉水の成分の農業利用について、単純温泉でトマトを水耕栽培し、生育やミネラル含量、味覚に及ぼす効果の報告例（江崎ら，2010）があるものの、ナトリウム塩化物泉の利用はほとんど研究例がない。一方で、同様にナトリウムを多く含む海洋深層水では、培地に施用することでトマトの果実の糖度が上昇したと報告されている（河合ら，2002）。

また、水耕栽培で塩ストレスを与えることによって、高糖度のトマトを安定的に生産可能なシステム「保水シート耕方式の一段密植栽培による高糖度トマトの周年生産」が開発されてきた（渡辺，2007）。鹿児島大学農学部附属農場学内農事部（以下、学内農事部）においても2008年から2015年にかけて塩ストレスを与える水耕栽培

培に取り組んできた。そこで、このナトリウム塩化物泉を灌水に用いることでトマトに塩類ストレスを与え高糖度トマトが生産できるのではないかと推測し本研究に取り組んだ。

さらに、指宿植物試験場では敷地内にヤシが多く植えられており、その枯葉が大量に蓄積していた。これは指宿植物試験場ではほとんど利用されてこなかった有機質資材であり、それを有効利用できないかと考えた。また、学内農事部では水稻栽培を行っており、そのもみ殻も有用な有機質資材と考えた。このような有機質資材を培地に用いて、高糖度トマトを生産する技術はスギ樹皮やヤシがらとバーク堆肥の混合資材からなる成型培地で研究され、その培地を用いて海洋深層水を利用した塩ストレスを与えることにより、トマト果実の糖度や酸度が高まることが報告されている（細川，2008）。そこで、このような有機質資材を用いた培地でトマトの栽培が可能か調査を行った。

本研究では、始めに有機質資材を用いた培地で温泉水を灌水したトマトが生産するかを検討し（実験1）、その結果を基に、温泉水を灌水に用いた場合にトマトの品質に与える影響について検討した（実験2）。

### 材料および方法

本研究の実験1および実験2は、2016年3月から2018年3月まで指宿植物試験場で行った。

2020年10月29日受付

2021年1月6日受理

\*Corresponding author. E-mail : issey@agri.kagoshima-u.ac.jp

### 実験1. 有機質資材を用いた培地で温泉水を灌水したトマト栽培検討

実験1は2016年3月17日から2016年7月28日にかけて行った。品種は大玉トマトである‘桃太郎’（タキイ種苗）を供試した。

2016年3月17日に50穴セルトレイに播種し、4月28日に培地に定植した。培地は排水性が良く丈夫で廃棄処分が容易な麻袋に、①ヤシの枯葉を粉碎したもの（ヤシ葉粉碎チップ）、②ヤシ葉粉碎チップを燐炭にしたもの（ヤシ葉粉碎チップ燐炭）、③ヤシ葉粉碎チップとヤシ葉粉碎チップ燐炭を1:1で混合したもの、④もみ殻燐炭、⑤ヤシ葉粉碎チップ燐炭ともみ殻燐炭を1:1で混合したものを各約20L詰めたものを用いた。苗は1袋に1株および2株定植し、各培地2袋栽培した。苗を定植した袋はビニルハウス内に静置した。ビニルハウスは昼夜サイドと入り口を開放し換気を行った。トマトは1本仕立てとし、生育期間中、適宜芽かきを行った。5段目の上位2葉で摘芯を行った。定植直後から5月23日まで養液土耕1号15-8-17（OATアグリオ株式会社）を500倍に希釈した液肥を1週間おきに約4L灌注し、その後は同様の液肥を週3回灌注した。また、灌水には水道水と指宿植物試験場区内から湧出している温泉水を汲み上げて常温に冷ましたもの（以下、温泉水）を用いた。定植直後から6月1日までは水道水を1日1回灌水し、6月2日から6月6日まで温泉水のみを1日当たり2L灌水した。6月7日からは月、水、金曜日を液肥、火、木曜日を温泉水、土、日曜日を水道水としてそれぞれ1日当たり4L灌注した。

なお、温泉水は株式会社鹿児島環境測定分析センターに成分分析を依頼した。それぞれの培地において、温泉水の灌水によって、トマトの生育が順調であるか、枯死する株はないかの2点について目視による観察を行った。

### 実験2. ナトリウム塩化物泉を灌水に用いたときのトマト果実の品質調査

実験2は2017年8月26日から2018年3月5日にかけて行った。品種は大玉トマトである‘アニモTY-12’（武蔵野種苗）、‘桃太郎ヨーク’（タキイ種苗）および‘麗旬’（サカタのタネ）の3品種を供試した。

培地は実験1の結果から、ヤシ葉チップ燐炭ともみ殻

燐炭を1:1で混合したものを約20L、麻袋に詰めたもの（以下、燐炭混合培地）を用いた。2017年8月26日に各品種の種子を128穴セルトレイに播種し、9月27日に定植した。1袋に2株定植した。各段3~4果を残し、摘果を行った。各品種それぞれ11袋栽培した。苗を定植した袋は指宿植物試験場内のビニルハウスの金網棚に静置した。ビニルハウスは気温が上昇する昼間はサイド及び入り口を開放し、冬期においては温泉熱を利用した暖房機および温泉配管を利用し13℃以上となるよう加温を行った。トマトは1本仕立てとし、適宜芽かきを行った。摘芯は調査対象の1段目~3段目の果実の収穫終了まで行わなかった。施肥管理は、すべての調査区において実験1と同じ養液土耕1号を300倍に希釈したものを灌注した。9月27日から10月22日まで週3回、10月23日から毎日、1回に約400ml施用した。灌水には水道水と温泉水を用いた。各品種定植直後から、‘アニモTY-12’および‘麗旬’は1段目開花90%となった日まで、‘桃太郎ヨーク’は1段目開花90%となった日の3日後まで毎日水道水で灌水を行い、その後は温泉水に変え、調査対象の1段目~3段目の果実の収穫終了まで毎日灌水を行った。1段目~3段目のそれぞれ最も早く熟した果実を全袋各1果収穫し、果重および糖度を測定した。糖度は、デジタル糖度計（ポケット糖度計APAL-J AS ONE社製）を用いて測定した。

## 結果および考察

### 1. 温泉水について

本研究に使用した温泉水の分析結果を第1表に示した。

灌水に使用した温泉水は、泉質がナトリウム塩化物泉であり、 $\text{Na}^+$ が $701.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 含まれており、これはナトリウム換算で塩分濃度約0.27%であり、海水の平均塩分濃度約3.5%のおよそ10分の1以下であった。また、ECは $0.449 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$  ( $4.49 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ )であり、前述の「保水シート耕方式の一段密植栽培による高糖度トマトの周年生産」の高糖度トマトを生産する際に行われる塩類ストレス処理開始時のECの4~5  $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ に当てはまる。したがって、温泉水の塩分濃度およびECは塩類ストレス処理を行うのに適していると判断した。

第1表 温泉水成分表

性状他	陽イオン ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )		陰イオン ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )		遊離成分 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )		その他微量元素 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )		
泉質:ナトリウム-塩化物泉	$\text{Li}^+$	1.0	$\text{F}^-$	0.4	(非解離成分)		Cu	0.01	未満
(低張性 中性 高温泉)	$\text{Na}^+$	701.9	$\text{Cl}^-$	1350	$\text{H}_2\text{SiO}_3$	152.6	Pb	0.01	未満
泉温:47.5℃	$\text{K}^+$	72.6	$\text{Br}^-$	8.6	$\text{HBO}_2$	13.4	Cd	0.005	未満
湧出量7L/min	$\text{NH}_4^+$	0.1	$\text{SO}_4^{2-}$	102.6			As	0.03	
無色透明・微塩味・無臭	$\text{Mg}_2^+$	11.2	$\text{HPO}_4^{2-}$	0.1	(溶存ガス成分)		Hg	0.001	未満
pH:7.13	$\text{Ca}_2^+$	132.5	$\text{HCO}_3^-$	88.5	$\text{CO}_2$	7.3			
EC:0.449S/m	$\text{Sr}_2^+$	0.4	$\text{CO}_3^{2-}$	0.1					
	$\text{Ba}_2^+$	0.2							
	$\text{Mn}_2^+$	0.7							

(株)鹿児島環境測定分析センターによる分析



第1図 有機質資材を用いた培地へ定植したトマトの定植時の様子（2016年4月28日）



①  
ヤシ葉粉碎チップ



②  
ヤシ燐炭



③  
ヤシ燐炭：ヤシチップ  
1：1



④  
もみ殻燐炭



⑤  
ヤシ燐炭：もみ燐炭  
1：1

第2図 有機質資材を用いた培地へ定植したトマトの定植3週間後の様子（2016年5月19日）



①  
ヤシ葉粉碎チップ



②  
ヤシ燐炭



③  
ヤシ燐炭：ヤシチップ  
1：1



④  
もみ殻燐炭



⑤  
ヤシ燐炭：もみ燐炭  
1：1

第3図 有機質資材を用いた培地へ定植したトマトの温泉水灌水開始5週間後の様子（2016年7月7日）

また、陰イオンのF<sup>-</sup>やその他の微量元素として含まれるCu<sup>2+</sup>、Pb<sup>2+</sup>、Hs、Hgは、環境省（1975）の温泉の利用基準の飲用利用基準の飲用許容量では、大人1日につき、飲用の総量で、ひ素（0.3 mg・kg<sup>-1</sup>×1000）ml、銅（2.0 mg・kg<sup>-1</sup>×1000）ml、ふっ素（1.6 mg・kg<sup>-1</sup>×1000）ml、鉛（0.2 mg・kg<sup>-1</sup>×1000）ml、水銀（0.002 mg・kg<sup>-1</sup>×1000 ml）、成分の総摂取量で、ひ素0.3 mg、

銅2 mg、ふっ素1.6 mg、鉛0.2 mg、水銀0.002 mgを超えないこととされており、この値を下回っていた。そのため、トマトの栽培において灌水に用いても問題ないと判断した。

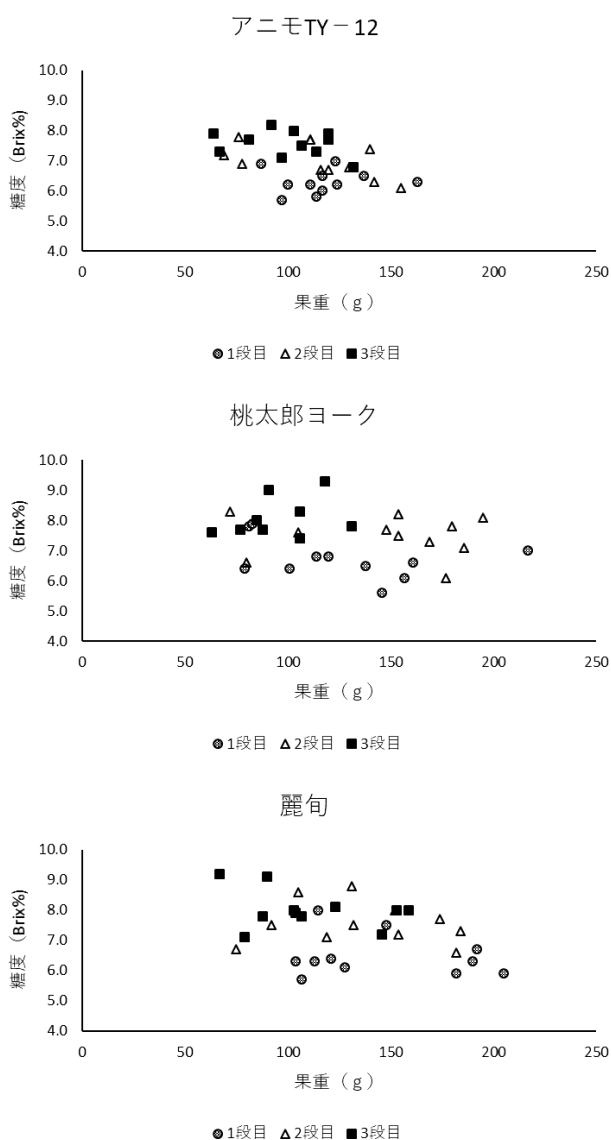
## 2. 有機質資材を用いた培地で温泉水を灌水したトマト栽培検討（実験1）

材料および方法で前述した①～⑤の培地において、定

植後順調に生育するか、目視による観察を行った。その結果、すべての培地において、水道水を灌水した期間も、温泉水の灌水開始後も順調に生育していた（第1、2、3図）。また、すべての株で栽培終了まで枯死した株は無く、この結果から、どの培地でもトマトを栽培するのに問題ないと判断した。この中で、ヤシ葉粉碎チップ燐炭は保水性が良く、もみ殻燐炭は排水性が良く、共に重量が軽く、作成も容易であるため、栽培に適していると考え、両方を1:1で混合した燐炭混合培地を品質調査の栽培に用いることとした。

### 3. ナトリウム塩化物泉を灌水に用いたときのトマト果実の品質調査（実験2）

ナトリウム塩化物泉の灌水における品種別の果重と糖度の分布を第4図に示した。



第4図 温泉水を灌水したトマトの品種別果重／糖度比の分布図

果重の分布において、‘アニモ TY-12’の1段階では100 g 付近に多く、2段階および3段階は50 g ～150 g に広く分布していた。‘桃太郎ヨーク’の3段階は100 g 付近に多く、1段階および2段階は50 g ～200 g に広く分

布していた。‘麗旬’の1段階および2段階は100 g ～200 g に広く分布し、3段階は50 g ～150 g に広く分布していた。

糖度の分布において、‘アニモ TY-12’の1段階目は6.0%, 2段階目は7.0%, 3段階目は8.0%の付近に多く分布していた。‘桃太郎ヨーク’の1段階目は6.5%, 2段階目は7.5%, 3段階目は8.0%の付近に多く分布していた。‘麗旬’の1段階目は6.0%, 2段階目は7.5%, 3段階目は8.0%の付近に多く分布していた。すべての品種において、低段よりも上位の段になるにつれて、糖度が高くなるように分布の広がりが見られた。また、糖度は6～8%の間に多く分布しており、高いもので9.3%のものもあった。

ナトリウム塩化物泉の灌水における品種別の1果重の中央値および平均値を第5図に示した。

‘アニモ TY-12’および‘麗旬’は各段の間でほとんど差は見られなかった。‘桃太郎ヨーク’は1段階より2段階が大きく、1段階および2段階より3段階が小さくなる傾向がみられた。いずれもバラつきはあるが、1段階よりも3段階が小さくなる傾向がみられた。

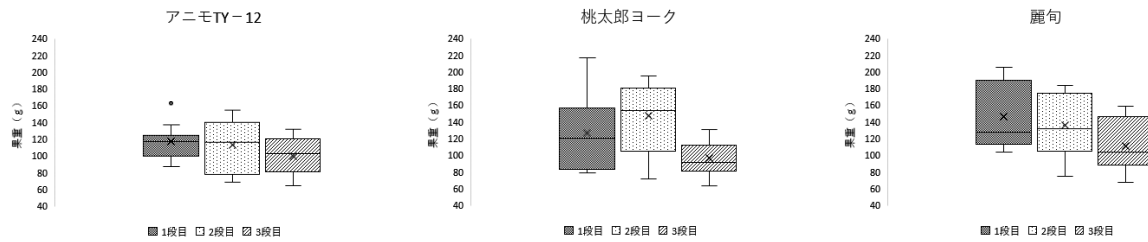
ナトリウム塩化物泉の灌水における品種別の糖度の中央値および平均値を第6図に示した。

すべての品種において、1段階よりも3段階が高くなる傾向がみられた。また、低段よりも上位の段になるにつれて高くなる傾向がみられた。

一般的な市販の大玉トマトは糖度4～5%, 果重200～250 g とされており、今回の結果から得られた温泉水を灌水して栽培したトマトは、一般的な大玉トマトよりも糖度が高く、果重は小さい値を示した。トマトは塩ストレスがかかることで果重が小さくなり、果実の糖が増大することが報告されている (Bolarin ら, 2001)。また、細川 (2008) の有機培地で海洋深層水を4%添加し、培養液のECを4 dS・m<sup>-1</sup>程度としてトマトを栽培した場合に上位の段になるにつれて糖度が高くなり、果重が小さくなる傾向があることや、河合ら (2002) の海洋深層水を10倍に希釈したものを灌水した区の方が水道水を灌水した区より糖度が高くなり、果重が小さくなるという結果と類似している。これらのことから、温泉水を灌水することでトマトに塩ストレスがかかり、糖度が上昇し、果重が小さくなっているのではないかと推測される。また、高糖度トマトといわれるトマトは糖度8%以上が目安とされており、それ以上の糖度を示すものも存在していた。

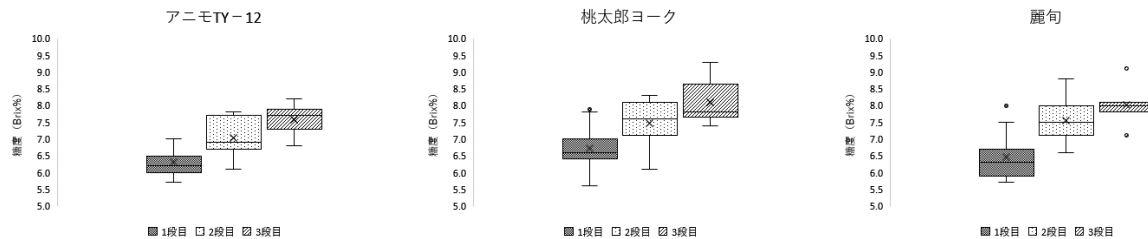
本研究結果から、ナトリウム塩化物泉の温泉水の灌水によって、トマト果実の糖度が上昇する可能性が明らかとなった。これは、水耕栽培において、塩類ストレスを与えると糖度が上昇するという結果と同様であり、水耕栽培でなくても、燐炭培地を用いてトマトを栽培し、ナトリウム塩化物泉の温泉水を灌水に用いることで高糖度トマトを生産できる可能性を示唆している。

本結果では、低段よりも上位の段になるにつれて、糖度が上昇し、果重が小さくなる傾向がみられているが、これは上位の段は開花前からストレス処理が行われ、そ



第5図 ナトリウム塩化物泉の灌水におけるトマト果実の品種別の1果重を示す箱ひげ図

箱ひげ図中の中央の線は中央値、×は平均値、箱の上端は第三四分位、下端は第一四分位を示す。



第6図 ナトリウム塩化物泉の灌水におけるトマト果実の品種別の糖度を示す箱ひげ図

箱ひげ図中の中央の線は中央値、×は平均値、箱の上端は第三四分位、下端は第一四分位を示す。

の期間が下位の段に比べて長いためではないかと考えられる（岡野ら，2002）。また，ストレス処理の開始時期や期間が収量や尻腐れなどの生理障害の発生に影響を与えるため，今後の課題として，糖度と果重のバランス，尻腐れ果の発生数，いわゆる秀品率を導き出すための最適のストレス処理の方法を調査していく必要がある。例えば，温泉水の灌水の開始時期の検討やその濃度の検討は必須である。さらに，栽培終了後の塩分を含む培土の処理など環境負荷に対する懸念を解決する必要があると思われる。

高糖度トマトは近年，消費者ニーズが高く，日本農業新聞の農畜産物トレンド野菜部門で上位に位置付けられている。また，高付加価値の農産物として栽培技術の確立が盛んに行われている。一方で，その生産技術は容易ではなく，農家の経験や勘によるところが多かった。また，養液栽培などマニュアル化された技術は初期投資が高額であり，導入が容易ではなかった（社団法人日本施設園芸協会・日本養液栽培研究会，2012）。しかしながら，本研究結果に基づく栽培技術を用いることで，通常の灌水を水道水からナトリウム塩化物泉に変えるだけで容易に高糖度トマトを生産することが可能となるかもしれない。

また，本研究は，温泉の熱源以外の新たな利用価値やヤシの枯葉という未利用資源の利用価値を見出し，そのような地域特有の資源を活かした栽培技術である。本研究で用いられたナトリウム塩化物泉は，全国各地に点在しており，ヤシの枯葉のような培地に適している未利用の資源も多く存在しているものと思われる。したがって，このような資源を有効活用した高付加価値の農産物の生産技術開発は，今後，地域活性化につながるものではないかと考える。

## 要 約

指宿植物試験場において，温泉水の新たな農業への利用を目的とし，その温泉成分のナトリウムに注目し，高糖度トマトを生産することが可能か，温泉水を灌水した場合にトマト果実の品質に与える影響を調査した。また，その培地には，ヤシの枯葉を有効利用するため，ヤシ枯葉粉碎チップ燐炭ともみ殻の燐炭を混合したものを使用した。

燐炭培地においてナトリウム塩化物泉の温泉水を灌水すると，糖度は低段よりも上位の段の方が有意に高くなった。その平均値は6.8%から7.2%であり，9.3%を示すものもみられた。果重においては，有意な差はみられなかったが，「桃太郎ヨーク」では1段目及び2段目より3段目が小さくなる傾向がみられた。以上より，高糖度トマトが生産できる可能性が示された。

## 謝辞

本報告をまとめるにあたり鹿児島大学農学部附属農場指宿植物試験場元事務補佐員 岩下 愛氏，公益財団法人指宿市シルバー人材派遣センター 吉元俊行氏，田畑龍蔵氏にはトマトの栽培において灌水等の管理作業のご協力をいただきました。また，鹿児島大学農学部附属農場学内農事部技術専門職員 濱田延枝氏にご助言をいただきました。ここに深くお礼申し上げます。

## 引用文献

Bolarin, M.C., M.T. Estan, M. Caro, R. Romero-Aranda and J. Cuartero. 2001. Relationship between tomato fruit growth and fruit osmotic potential under salinity. Plant

- Sci. 160: 1153–1159.
- 江崎一子・佐藤俊彦・西澤千恵子・佐野雅俊・安藤茂信・齊藤雅樹. 2010. 温泉水を利用したトマト水耕栽培における作物体の品質に関する研究. 別府大紀要. 51: 125–130.
- 細川卓也. 2008. 有機培地を用いた養液栽培における高糖度トマトの生理生態反応の解析並びに栽培管理技術の確立. 高知農技セ特別研報 7: 1–63.
- 石畑清武. 2000. 指宿の温泉熱利用農業の振興. 鹿児島大農場研報 25: 11–50.
- 環境省. 1975. 温泉の利用基準について. [Online] <http://www.env.go.jp/hourei/18/000013.html> (令和2年10月閲覧)
- 河合義隆・平塚 伸・田代 亨・久能 均. 2002. 海洋深層水施用がウンシュウミカンとトマトの果実品質に及ぼす影響. 園学研. 1: 179–182.
- 岡野邦夫・中野有加・渡邊慎一・池田 敬. 2002. 果実発育期の塩類ストレスによる一段養液栽培トマトの果実品質の制御. 生物環境調節 40: 375–382.
- 社団法人日本施設園芸協会・日本養液栽培研究会 (編). 2012. 養液栽培のすべて—植物工場を支える基本技術—. pp.386. 誠文堂新光社. 東京.
- 渡辺慎一. 2007. 保水シート耕方式の一段密植栽培による高糖度トマトの周年生産. 農および園 82: 359–364.