

土壌水分と天候および水ストレス付与時期が トマトの体内水分および生育、収量、品質に及ぼす影響

房 尾 一 宏

キーワード：トマト、体内水分、糖度、水ストレス

高糖度のトマト果実を生産するためには、植物体への水ストレスの付与が有効であるとされている（栃木・川里・1989）。トマトに水ストレスを付与するための一般的な方法は、かん水の調節による土壌水分の制限である。土壌水分がトマトの果実や収量に及ぼす影響に関しては多数の報告（荒木・1981, 番ら・1994, 福本・吉田・1992, 伊藤・河合・1994, 黒川ら・1999, 松崎ら・1994, 大原・1991, 大竹ら・1994, 栃木・川里・1989）があり、糖度が8 Brix%以上の高糖度果実を生産するための土壌水分の様々な管理目標が提案されている。

水ストレスによる果実糖度上昇の生理的機構については不明な点が多いが、多くの栽培事例から水ストレスと果実糖度の上昇は密接に関係していることは明らかである。従って、高糖度果実生産のためには、土壌水分や天候などの環境諸要因がトマトの体内水分状態に及ぼす影響を明確に整理し把握することにより、栽培者が水ストレスを的確に制御できるようにしておくことが重要である。

そこで、高糖度トマト生産技術開発の第1段階として、土壌水分吸引圧と天候がトマトの体内水分の日変化に及ぼす影響を明らかにするとともに、水ストレス付与時期が生育、収量および品質に及ぼす影響を調査した。その結果、高糖度トマト生産のための水ストレス付与方法について若干の知見を得たので報告する。

材料および方法

1. 土壌水分と天候がトマトの体内水分に及ぼす影響

土壌水分と天候がトマトの体内水分に及ぼす影響を明らかにするため、土壌水分と天候が異なる条件下にお

けるトマトの体内水分の変化を調査した。試験は1993年7月から8月末まで農業技術センター島しょ部研究部（因島市重井町）において育成した苗を用いて、9月から11月までの期間に中部電力㈱電気利用技術研究所（名古屋市緑区大高）において実施した。処理期間は9月4日から11月30日で、かん水開始時の土壌水分吸引圧を pF2.0以下（水ポテンシャル -9.8kPa 以上）で管理する湿潤区、pF2.0から2.7（ -9.8 から -49kPa ）で管理する調整区、pF2.7以上（ -49kPa 以下）で管理する乾燥区を設けた。

供試したトマトの品種は‘ハウス桃太郎’である。7月14日にパーミキュライトを培地として播種箱に播種し、7月26日に12cm ポリポットに鉢上げして育苗し、9月2日に容積8 literのプラスチックポットに定植した。定植には赤玉土と腐葉土を容積比7:3で混合した培地を用い、ビニールハウスで栽培した。施肥はIB化成肥料を用い、窒素、リン酸、カリの各成分量が1株当たり1gとなるよう全量基肥として培地に混合した。仕立て方は主枝1本仕立てとし、第3花房の上に3葉残して摘心した。着果促進のため各花房で3花開花した時にクロキシホナック液剤1,000倍水溶液を花房に散布した。

土壌水分吸引圧はポットの培地表面から10cmの深さに設置したテンシオメータで測定し、所定の値に達した時にかん水した。1回のかん水量は、株当たり200mlとした。葉の気孔開度は、10月20日の5時から18時までの間、1時間毎に主茎の先端から3~5枚目の葉の裏側で浸潤法（石原ら、1971）により調査した。計測した環境、生体情報と計測機器は、気温が熱電対、相対湿度が高分子湿度センサ、日射強度が農試電試式日射計、土壌水分吸引圧が電気圧力ゲージ付きテンシオメータ、葉温がイヤリング型サーミスタ、茎径変化量が歪ゲージ式変位計、葉の水ポテンシャルがプレッシャーチャンバーである。なお、葉温は十分に日射を受ける展開葉の裏側で、茎径変化量は株元に近い第2節で計測した。各センサへの出力信号はハイブリッドレコーダへ収録し、デスクトップ

本報告の一部は、1993年の農業気象学会東海支部大会において発表した。

平成15年7月17日受理

コンピュータで解析した。

2. 水ストレス付与時期がトマトの生育、収量および品質に及ぼす影響

高糖度果実を生産するための水ストレス付与開始適期を明らかにするため、1994年8月から1995年1月まで農業技術センター鳥しょ部研究部において試験を実施した。処理は、かん水制限開始を第1花房開花後日数が20日の果実肥大初期(20日区)、30日の果実肥大盛期(30日区)、40日の緑熟期(40日区)とし、栽培打ち切り時まで処理を継続して生育、収量および品質に及ぼす影響を調査した。供試品種は‘桃太郎8’とし、288穴セルトレイにバーミキュライトを充填して8月9日に播種した。苗は、マサ土(花崗岩風化土)とパーライトを容積比6:4で混合した培地を1株当たり8liter 充てんした直径25cm、深さ22cmの円筒型プラスチックポットに8月30日に定植し、ビニールハウス内に設置した。1区当たり4株を供試した。栽培方法は主枝1本仕立て2段どり栽培とし、第2花房の上に2葉を残して摘心した。着果促進のため各果房において3花開花した時にクロキシホナック液剤1,000倍水溶液を花房に散布した。肥料は第1花房の開花時から20日区のかん水制限開始時期まで、1週間毎に液肥で施用した。栽培期間中の株当たりの合計施肥量は窒素1g、リン酸0.4g、カリ0.8gとした。かん水制限開始までは、かん水開始時の土壤水分吸引圧をpF2.0とし、1回のかん水量は株当たり1literとした。かん水制限開始後は、かん水開始時の土壤水分吸引圧をpF2.7とし、かん水は晴天日のみとして1回のかん水量は株当たり200mlとした。また、ハウス内の最低夜温は10℃以上で管

理した。

結 果

1. 栽培環境がトマトの体内水分に及ぼす影響

土壤水分吸引圧は湿潤区がpF2.0以下、調整区がpF2.0~2.7、乾燥区がpF2.7以上で推移した。晴天日における各区の気孔開度の日変化を図1に示す。湿潤区の気孔開度は7時に1、8時から12時までは2~3、13時から15時までは1、16時以降は0であった。調整区の気孔開度は8時には1、9時から10時までは2、11時には1で、他の時間帯は0であった。乾燥区の気孔開度は終日0であった。

葉の水ポテンシャルと茎径変化量の関係を図2に示す。葉の水ポテンシャルは茎径が大きく収縮した時ほど低く、両者の関係は次の回帰式で表された。このため、以後は破壊測定となるプレッシャーチャンバーによる水ポテンシャル測定は止め、茎径変化の測定により葉の水ポテンシャルを推定することとした。

$$P1 = 0.0035Ds - 0.0183 \quad (r=0.996^*, n=7)$$

P1: 葉の水ポテンシャル (MPa)

Ds: 茎径変化量 (μm)

天候がそれぞれ異なる日の気象環境要因、土壤水分および各処理区の茎径の日変化を図3に示した。茎径は夜明け前に最大値を示し、夜明け後に日射強度が増加し、相対湿度が低下するとともに収縮し、逆に日暮れから夜間に日射強度が減少し、相対湿度が上昇するとともに回

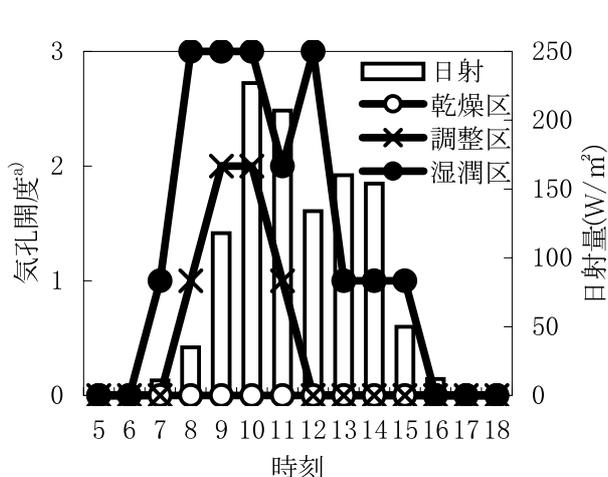


図1 土壤水分がトマト葉の気孔開度の日変化に及ぼす影響(播種後97日)

^{a)}気孔開度は湿潤区の番号を示す(0:小~3:大)

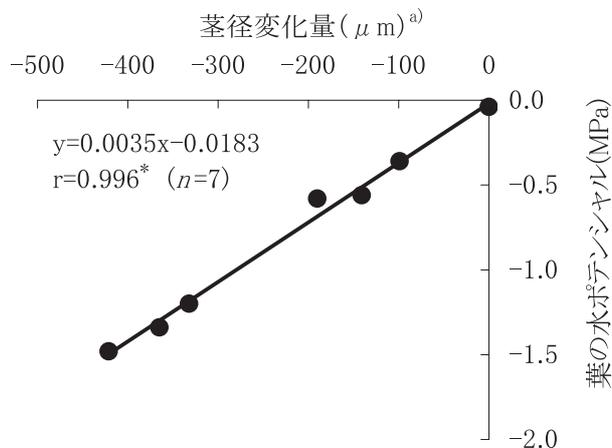


図2 トマトの茎径変化量と葉の水ポテンシャルの関係(播種後100日)

^{a)}茎径変化量は葉の水ポテンシャル0MPaの時を基準とした値

復した。未明から日中にかけての茎径変化量は最大日射強度が500W/m²以上で最低湿度が50%以下の晴天日に大きく，最大日射強度が200W/m²以下で最低湿度が70%以上の曇雨天日には小さかった。

茎径変化量から推定した葉の水ポテンシャルに及ぼす土壌水分と天候の影響を表1に示す。各処理区の葉の水ポテンシャルの最小値は，乾燥区で晴天日に-1.3MPa，曇雨天日に-0.3~-0.5MPa，調整区および湿潤区で晴天日に-0.2~-0.3MPa，曇雨天日に-0.2MPa以上であった。乾燥区において土壌水分吸引圧がpF2.9以上で晴天日の日中のみに茎葉のしおれが観察され，曇雨天日にはしおれは観察されなかった。茎径はしおれの発生と同調して大きく収縮し，夜間わずかに回復したが前日と同等のレベルまでは回復せず，茎径の減少が認められた。

2. 水ストレス付与時期がトマトの生育・収量・品質に及ぼす影響

収穫期間は各試験区とも1994年11月22日から1995年1月4日であった。栽培打ち切り時の生長量を表2に示した。30日区では他の区に比べ茎新鮮重が軽く，茎長が短く，第2果房直下の茎径が太い傾向があったが，有意差は認められなかった。収量と果実品質を表3に示した。総収量と可販果収量は，水ストレス付与開始時期が遅いほど多くなる傾向であった。可販果の平均1果重は，40日区が他の試験区に比べ最も重く，20日区と30日区の差は小さかった。果実糖度は，20日区が9.2で最も高く，30日区では8.0，40日区では6.6で，水ストレス付与開始が早い区ほど高い傾向が認められた。なお，20日区のみで，尻腐れ果が総収量の2%程発生した。

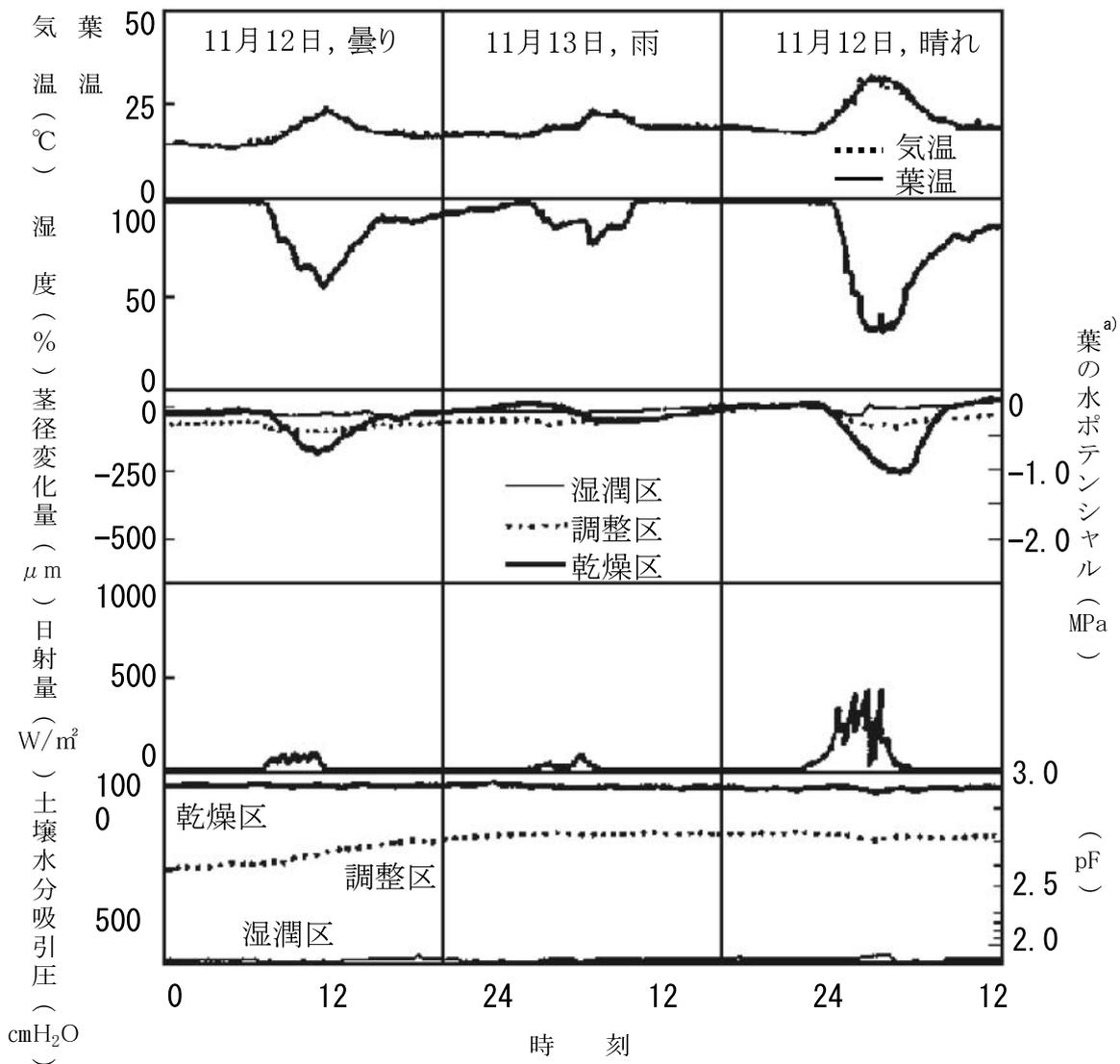


図3 トマトの茎径と環境諸要因の日変化（播種後121~123日）

^{a)}葉の水ポテンシャルは茎径変化量からの推定値

表1 トマト葉の水ポテンシャルに及ぼす土壌水分と天候の影響

処理区	土壌水分吸引圧 (pF 値)	葉の水ポテンシャルの日最低値 (MPa) ^{a)}		
		雨天 (11月11日)	曇天 (11月12日)	晴天 (9月26日)
湿潤区	1.3~1.7	-0.04	-0.12	-0.26
調整区	2.5~2.7	-0.05	-0.16	-0.30
乾燥区	2.9~3.0	-0.33	-0.54	-1.25

注) ^{a)}1993年9月17日~11月31日の茎径の連続計測で観測された各天候日ごとの日最低値をもとに推定した値

表2 トマトへの水分ストレス付与時期が栽培打ち切り時の生長量に及ぼす影響

処理区	茎新鮮重 ^{a)} (g)	茎長 ^{a)} (cm)	果房直下の茎径	
			第1果房 (mm)	第2果房 (mm)
20日区	88.8	110.0	11.9	10.9
30日区	80.0	100.3	11.3	12.5
40日区	82.5	108.0	11.9	10.6

注) ^{a)}茎新鮮重, 茎長は株元から第2果房までの値

表3 トマトへの水分ストレス付与時期が収量と果実品質に及ぼす影響

処理区	総収量		可販果収量 ^{a)}			可販果 率 (%)	尻腐れ果 率 ^{b)} (%)	果実 糖度 ^{c)} (Brix%)
	重量 (g/株)	果数 (個/株)	重量 (g/株)	果数 (個/株)	1果重 (g/果)			
20日区	776	7.5	576	4.5	131	74	2.2	9.2
30日区	854	6.8	694	5.5	126	81	0.0	8.0
40日区	1007	7.5	866	6.0	144	86	0.0	6.6

^{a)}重量80g以上の正常果, ^{b)}総収量中に占める尻腐れ果の重量割合

^{c)}果実糖度は第1果房の完熟果で測定

考 察

1. 土壌水分と天候がトマトの体内水分に及ぼす影響

1) 土壌水分がトマトの気孔開度に及ぼす影響

土壌水分吸引圧が異なる栽培環境下でトマトの気孔開度の日変化を調査した結果, トマトの気孔は日射量の増加に伴って開くが, 日射があっても土壌水分吸引圧が高いと閉じることから, 光と水ストレスが気孔開閉の要因となっていると考えられる。ブドウやポプラでは pF2.7 以上の高い土壌水分吸引圧下でも大きい気孔開度で推移することが報告されている(今井ら・1988, 岩尾・1988)。一方, 本研究で供試したトマトでは水ストレスが比較的弱い湿潤区でも気孔開度は小さく, 短時間で気孔が閉鎖した。このことから, トマトは土壌水分吸引圧のわずかな上昇にも敏感に反応して気孔を閉鎖する特性があるこ

とが明らかである。すなわち, 土壌の乾燥に対して気孔を敏感に閉鎖して蒸散量を少なくすることにより, 水ストレスを回避する特性を備えていると考えられる。

2) 茎径変化量の計測による水ポテンシャルの把握

荒木・五島(1987)はトマトの体内水分状態を圃場で簡易に測定する方法として, プレッシャーチャンバー法を適用している。プレッシャーチャンバーによる体内水分状態の測定は, 小葉を切断して用いるため植物体の一部を破壊することになり, 同一部位を連続して測定することができない。一方, 今井(1988)は植物の体内水分状態を非破壊連続で計測する方法として, 歪ゲージ変位計を利用して茎径や果径の微細な変化量を計測する方法が有効であるとしている。本研究において歪ゲージ変位計により計測したトマトの茎径変化量は, プレッシャーチャンバーにより計測した葉の水ポテンシャルと正比例の関係にあった。このことから, 非破壊で連続測定がで

きる茎径変化量は，トマトでも水ポテンシャルの有用な指標となると考えられる。

3) トマトにおける水ストレスの発生様態

日内の茎径変化量を指標として，土壌水分の状態と天候がトマトの水ポテンシャルの日変化に及ぼす影響を調査した。その結果，土壌の乾燥過程において，土壌水分吸引圧の上昇とトマトの葉の水ポテンシャルの低下は比例せず，pF2.9程度の著しい土壌の乾燥と晴天という2つの環境条件が重なった場合に限り，体内水分ポテンシャルが著しく低下して強い水ストレスが発生することが明らかとなった。土壌水分吸引圧の上昇とトマトの体内水分ポテンシャルの低下が比例しないのは，トマト葉の気孔が，わずかな水ストレスにも反応して閉鎖しやすい特性によるものと考えられる。従って，トマトでは土壌水分吸引圧 pF2.9以下程度の土壌の乾燥は，単に光合成能を低下させるだけで，高糖度果実生産に有効な強い水ストレスを付与することには結びつかないと考えられる。

2. 水ストレス付与時期がトマトの生育・収量・品質に及ぼす影響

トマトの高糖度果実を生産する技術についての既存の研究報告は，ほとんどが多段どり栽培における報告で，水ストレス付与により果実の内容品質は向上するが，それに伴う果実の小玉化や生理障害の発生により収量が低下することを問題としている（番ら・1994，福本・吉田・1992，黒川ら・1999，松崎ら・1994，大原・1991，大竹ら・1994，栃木・川里・1989）。トマトの多段どり栽培では，同一株に発育段階の異なる果実や花が同時に存在するため，水ストレス管理の的が絞りにくい。すなわち，果実糖度を高めようとして強い水ストレスを付与すると花や幼果に障害が発生し，花や幼果を守ろうとすると強い水ストレスが付与できず十分に果実の糖度を高めることができない。さらに，糖度と収量（1果重）は相反する関係にあり，果実糖度を高めるために水ストレスを付与すると果実は小玉となり収量は低下する。そこで，糖度と収量の両方を確保するため，弱い水ストレスを付与する方法が考えられる。しかし，前述したように，トマトにおいては中途半端な土壌乾燥は光合成を低下させるだけで果実糖度の効果的な増加には結びつかないと考えられる。従って，高糖度果実を効率的に生産するためには，果房を限定して土壌を著しく乾燥させることにより，強い水ストレスを付与する必要がある。そこで問題となるのは，水ストレスを与える時期である。

水ストレスを与える時期として，栃木・川里（1989）

は，土壌水分の操作による果実品質向上のためには，肥大初期から水を切る必要があり，肥大終了後に糖含量を高めることは困難としている。しかし，この報告は多段どり栽培であるため，付与されている水ストレスの強さは土壌水分吸引圧で pF2.7に留まっており，トマトに対しては十分に強い水ストレスとはいえない。また，隔離床栽培ではあるが株当たりの培地量が50~80literと多く，かん水制限を始めてから実際に植物体が水ストレスを受け始めるまでに時間を要したと考えられる。

水ストレスによる果実糖度上昇の機構として，栃木・川里（1989）は，土壌の乾燥処理により果実糖度は増加するが，乾物重当たりの糖含量には一定の傾向が認められなかったことから，水分減少による濃縮効果であるとしている。一方，Kadoya（1973）は， $^{14}\text{CO}_2$ を用いて温州ミカンの光合成産物の転流と分配を検討した結果，乾燥下で生長した果実が示す糖度の上昇は，単に水分の供給不足にもとづく物理的な濃縮効果によって導かれるだけでなく，果実に転流してきた光合成産物から多糖類への生成系が抑制されることや，果実内の細胞壁構成多糖類の加水分解が影響しているとしている。また穴戸ら（1992）は，水分ストレス下のトマトでは，気孔の閉鎖による光合成の低下は認められたが，水分ストレスを受ける前に光合成された同化産物の転流率には大きな差異は認められなかったとしている。これらの報告から，水ストレスによる果実糖度上昇の機構は，単なる水分減少による濃縮効果だけではなく，果実内容成分の糖への変化や莖葉から果実への同化産物の転流が考えられ，果実肥大末期に十分に強い水ストレスを与えれば，大きな果実でも糖度を上昇させる可能性があると考えられる。

本研究では1株当たりの培地量を8 literとし，果房を2段に制限して果実肥大盛期（本試験では収穫37日前）から，かん水制限処理によりしおれが観察できる程度の強い水ストレスを与えた。その結果，果実重量が126gの果実でも糖度8%の高糖度果実が得られた。このことから，トマトへの水ストレス付与による果実糖度上昇は，単なる濃縮効果だけではなく，乾燥耐性を得るための浸透圧上昇反応など，植物体の積極的な内容成分増加の結果であると考えられる。

摘 要

トマトの高糖度果実を生産するため，土壌水分吸引圧と天候がトマトの体内水分の日変化に及ぼす影響を明らかにするとともに，水ストレス付与時期が生育，収量および品質に及ぼす影響を調査した。

1. トマトは土壌水分吸引圧が pF2.7以下の弱い水ストレスでも気孔を閉じる。強い水ストレスは、土壌水分吸引圧が pF2.9以上の著しい土壌乾燥と晴天日という限られた条件下でのみ発生する。
2. トマトにおいて歪ゲージ変位計で非破壊連続計測できる莖径の変化は、体内水ポテンシャルの指標となる。
3. 果実糖度は、水ストレス付与時期が早いほど高まるが、1果重が低下する。
4. 株当たりの培地量を 8 liter とした二段どり栽培で、第1果房の果実肥大盛期から土壌水分吸引圧が pF2.9以上で株全体がしおれる程度の強い水ストレスを付与することにより、1果実重126gで糖度8%の果実が生産できる。

謝 辞

本試験を実施するにあたり、中部電力株式会社電気利用技術研究所の岩尾憲三氏には、植物生体情報計測手法について、多大なご指導とご助言をいただいた。記して感謝の意を表する。

引用文献

- 荒木陽一：1981. 水管理による施設野菜生育制御に関する研究（第7報）生育後期のかん水対象土層深が促成トマトの生育、収量、品質に及ぼす影響。園学要旨。昭62春：258-259。
- 荒木陽一・五島 康：1987. プレッシャーチャンバー法のトマト小葉への適用。園学雑。56(3)：328-333。
- 番 喜宏・山下文秋・林 悟朗：1994. 栽植密度および水ストレスがトマトの果実糖度乾物生産に及ぼす影響。愛知農総試研報。26：163-167。
- 福本康文・吉田徹志：1992. トマトの水ストレス栽培条件と果実品質の関係。土肥要旨集。38：343。
- 今井俊治：1988. 根域制限ブドウ樹の体内水分を指標としたかん水技術の実証。農業技術。48：385-388。
- 今井俊治・岩尾憲三・大保紘一：1988. ブドウの生体情報の測定と解析による土壌水分管理法の指標化（第4報）土壌の乾燥に伴う葉の気孔開閉と莖径収縮との関係。園学要旨。昭63秋：190-191。
- 石原 邦・西原武彦・小倉忠治：1971. 水稻葉における気孔の開閉と環境条件との関係(1)。日作紀。40：491-496。
- 伊藤裕朗・河合伸二：1994. トマト及びミニトマトの土壌水分管理と果実品質。愛知農総試研報。26：191-199。
- 岩尾憲三：1988. 植物生体情報の計測手法の開発とその応用に関する研究。農学博士論文。名城大学大学院農学研究科。
- Kadoya.K.：1973. Studies on the translocation of photosynthates in Satsuma Mandarin. III. Effect of water stress on the metabolism of sugars in the fruit. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 42(3)：210-214。
- 黒川領太・野田啓良・松崎朝浩：1999. トマト少量培地耕による高品質生産技術の確立。園学中四国支部要旨。38：32。
- 松崎朝浩・牛田 均・白川英清：1994. 遮根シートを利用したトマト栽培における灌水管理が糖度に及ぼす影響。香川農試研報。45：43-48。
- 岡野邦夫・坂本有加・渡邊慎一・池田敬：1999. 高塩類ストレスによる一段栽培トマトの果実品質向上機構。園学雑。68(別1)：221-222。
- 大原源二：1991. 高糖度トマトの生産技術。施設園芸。33(11)：20-23。
- 大竹良知・番 喜宏・田中喜久・林 悟朗：1994. かん水制限栽培がトマト果実の内容成分に及ぼす影響。愛知農総試研報。26：209-212。
- 宍戸良洋・湯橋 勤・施山紀男・今田成雄：1992. メロン果実への光合成産物の転流・分配に及ぼす葉位および灌水量の影響。園学雑。60(4)：897-903。
- 栃木博美・川里 宏：1989. トマトの促成栽培における土壌水分が果実品質に及ぼす影響。栃木農試研報。36：15-24。

Effects of Water Potential in Soil, Weather and Period of Adding Water Stress on the Water Potential, Growth, Yield and Quality of Fruits of Tomato Plant

Kazuhiro FUSAO

Key words : tomato, water potential, sugar content, stress of water