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

岡野 邦夫¹・中野 有加・渡邊 慎一・池田 敬²

農業技術研究機構野菜茶業研究所果菜研究部

¹ 農業技術研究機構花き研究所・² 農業技術研究機構近畿中国四国農業研究センター

Control of Fruit Quality by Salinity Stress at Various Fruit Development Stages of Single-Truss Tomato Grown in Hydroponics

Kunio OKANO,¹ Yuka NAKANO, Shin-ichi WATANABE and Takashi IKEDA²

Department of Fruit Vegetables, National Institute of Vegetable and Tea Science, Taketoyo, Aichi 470-2351, Japan

¹ Present address : National Institute of Floricultural Science, Tsukuba, Ibaraki 305-8519, Japan² Present address : National Agricultural Research Center for Western Region, Ayabe, Kyoto 623-0035, Japan

(Received June 7, 2002)

Effects of salinity stress at various fruit development stages from flowering to harvest on yield and fruit quality were investigated in single-truss tomato plants grown in hydroponics. Salinity stress was imposed by applying the concentrated drainage (EC 5.0 dS m⁻¹) instead of the standard solution (EC 1.2 dS m⁻¹). Rates of water uptake and leaf photosynthesis were significantly inhibited by salinity at various growth stages. The earlier the salinity stress was applied, the lower the fruit weight and the higher the soluble solids content. Fruit fresh weight was severely decreased by salinity, whereas, fruit dry weight was less affected. When salinity was applied too early, there was a high rate of occurrence of blossom-end rot. Salinity stress beginning several days before harvest markedly prevented fruit cracking. From these results, we concluded that salinity was essentially a form of water stress, and that the resultant improvement of fruit quality and prevention of fruit cracking would be caused by the inhibition of water influx into the fruit. In single-truss tomato system, growers can easily produce various tomato fruit with different sizes and soluble solids contents by varying the time of application of the concentrated nutrient solution.

Keywords: fruit cracking, fruit quality, hydroponics, salinity, single-truss tomato

2002年6月7日受付

緒 言

トマト一段栽培とは、第1果房のみを収穫対象とする栽培法である。その研究の歴史は古く1960年代にまで遡るが (Cooper, 1966; Hisatomi and Fujimoto, 1978), 近年、省力・軽作業・平易なトマト栽培法として再評価されつつある (Giacomelli et al., 1994; Yamashita and Hayashi, 1994; Kobayashi, 1997)。一段栽培

においては、収量確保のための超密植栽培と年数回に及ぶ頻繁な作付けが必要なため、効率的な苗生産と省力的な養液栽培が必須条件となっている。前報 (Okano et al., 1999) では、吸水性の不織布を用いた保水シート耕方式でトマト一段養液栽培を行い、培地資材を繰り返し利用するとともに、貯留排液を再利用することにより系外への排液を皆無にした閉鎖型培養液管理が可能なることを示した。その際、貯留排液のECを高め、果実高品質化のための塩類ストレス付与手段として利

Corresponding author: Kunio Okano, fax: +81-298-38-6842, e-mail: okano@affrc.go.jp

用した。

一般に、塩類ストレスや水ストレスはトマトの果実糖度を上昇させる一方で、収量低下や尻腐れ果の多発をもたらす (Ehret and Ho, 1986; Ho et al., 1987)。尻腐れ果は果実発育初期の Ca 欠乏が原因とされている (El-Gizawy and Adams, 1986; Wada et al., 1996) ことから、ある程度果実の発育が進んだ後はストレスを与えても尻腐れ果は発生しないと予想される。Sakamoto et al. (1999) は、食塩添加により EC 値を 5.0 dS m^{-1} 以上に高めた培養液の施与を、一段栽培トマトの緑熟期および白熟期から開始したところ、処理時期が早いほど果実の糖度、酸度、アスコルビン酸含量は高まったが、尻腐れ果は発生しなかったことを報告している。閉鎖型の培養液管理を検討した前報 (Okano et al., 1999) では、高 EC 排水の施用開始時期が収穫開始 1 週間前と遅かったためか、果実重や糖度に有意な影響は認められなかったが、夏期高温期に頻発する裂果が顕著に抑制された。

これらの結果は、塩類ストレスの付与時期を変えることで、トマト果実品質の制御が可能であることを示唆している。第 1 果房しか持たない一段栽培トマトにおいては、特定の果実発育段階をねらった塩類ストレス付与が簡単にできる。また、栽培期間が短いためストレスによる植物体の生理機能へのマイナス影響をさほど考慮する必要がない。そこで本実験では、塩類ストレスによる果実品質の制御技術を開発することを目的として、一段栽培トマトの開花後の様々な時期に貯留排水を高 EC 化して再施用し、果実収量や品質に及ぼす塩類ストレスの影響を調査した。同時に、ストレス処理にともなう吸水量や光合成活性の変化を計測し、果実品質向上機構を考察した。

材料および方法

1. トマトの一段養液栽培

トマトの栽培法は、基本的に前報 (Okano et al., 1999) と同様とした。1998 年 5 月 6 日に、トマト (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 品種「桃太郎」をロックウール細粒綿を詰めた 128 穴セルトレイに一穴おきには種した。根鉢が形成され始めた 5 月 26 日 (本葉 4~5 葉期) に、後述の養液栽培装置に定植した。第 1 花房の開花は 6 月 19 日に始まり、第 3 花が開花した時点で着果促進処理 (トマトーン 100 倍液の散布) を行った。同時に、第 1 花房より上部に 2 葉を残して主枝を摘心した。主枝の葉腋から発生する側枝はすべて

除去した。なお、平均着花節位 (花房下葉数) は第 9 節であった。

養液栽培は保水シート耕方式 (Okano et al., 1999) のプラスチックコンテナ ($64 \text{ cm} \times 39 \text{ cm} \times 13 \text{ cm}$) で行い、1 コンテナに 8 本ずつ植えた。コンテナは栽培ベッド (幅 $50 \text{ cm} \times$ 長さ $750 \text{ cm} \times$ 高さ 80 cm の架台) 上に一列に 11 個並べた。こうした栽培ベッドを合計 5 列準備した。培養液として大塚 A 処方 (Ikeda, 1996) を用い、塩類ストレス処理を行うまでは EC を 1.2 dS m^{-1} 一定で管理した。定植直後の数日間は培養液を手かん水で株元に与えたが、シート上に根が活着した後は、コンテナ内に設置した水位センサーにより自動給液を行った。余剰給液はコンテナ側面に開けたオーバーフロー穴より排出し、地下タンクに貯留した (Okano et al., 1999)。

2. 果実発育期における塩類ストレス付与

5 列の栽培ベッドを用いて、以下の 5 種類の塩類ストレス処理区を設けた。処理開始前に、地下タンク内の貯留排水に培養液原液 (100 倍液) を添加して、EC 5.0 dS m^{-1} の液 (以下、高 EC 排水と呼ぶ) を作製した。高 EC 排水を流し始める時期を第 1 花房の開花最盛期 (6 月 22 日)、開花後 8 日目 (6 月 30 日)、同 16 日目 (7 月 8 日)、同 24 日目 (7 月 16 日) の 4 時期とした。以後、これらの処理区をそれぞれ 0day 区、8day 区、16day 区、24day 区と呼ぶ。無処理区 (対照区) は EC 1.2 dS m^{-1} 一定で管理した。各処理区は栽培コンテナ 11 個、トマト 88 個体ずつで構成した。なお、果実収穫は 7 月 24 日 (開花後 32 日目) から始まった。

3. 調査・測定項目

塩類ストレス処理がトマト植物体の生理機能に及ぼす影響を解析する目的で、見かけの吸水量、果実体積、光合成・蒸散速度の変化を計測した。5 列の栽培ベッドへの毎日の給液量を量水器により個別に記録するとともに、ベッド毎に排水量を測定し、その差からトマトによる吸水量を算出した。なお、コンテナからの自然蒸発量は晴天日で約 200 mL/日 であり、定植直後には植物体からの蒸散量の約 $1/2$ を占めた。しかし、茎葉が繁茂し株元への光到達量が減少する開花期以降は、植物体からの蒸散量と比較して無視できるほど小さな値となった。果実体積は Wada et al. (1998) の方法に従って求めた。すなわち各処理区から 6 株を選び、第 1 花房上の第 2 果について、デジタルノギスで長径 (a) と短径 (b) を 3 日毎に測定し、トマト果実を回転楕円体とみなして体積 (V) を次式により算出した。

$$V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{a}{2} \right) \left(\frac{b}{2} \right)^2 \times 10^{-3}$$

また各処理区の 10 株ずつについて、最上位葉（第 11 葉）の光合成・蒸散速度を携帯用光合成・蒸散測定装置（LI-6400, LI-COR 社）を用いて経時的に測定した。測定は晴天日を選んで行った。

果実の収穫調査は 7 月 24～31 日の間に 2 日間隔で行った。全体が着色した果実を収穫し、個別の重量を測定するとともに、障害発生の有無を調査した。また、調査日毎に大きさの揃った果実を各区より数個ずつ選び、果実硬度計（KM 型、藤原製作所）で果皮の硬さを測定した。その後、果実を切断して果汁をガーゼで搾り取り、デジタル糖度計（PR-101, アタゴ）で汁液の糖度（Brix%）を測定した。

結 果

1. 植物体の生理機能に及ぼす塩類ストレスの影響

本試験においては第 1 花房の開花期に主枝を摘心したため、それ以降は葉数が増えることはなく、草丈の変化も少なかった。その結果、塩類ストレス処理区間で植物体生長量に明瞭な差は認められなかった。しかし、ストレス処理が早期に開始された 0day 区や 8day 区では、開花後 2 週間目頃から下位葉の枯れ上がりが目立ち始めた。

Fig. 1 Changes in rate of water uptake by single-truss tomato plant after transplanting to growing bed and effect of salinity stress ($EC\ 5.0\ dS\ m^{-1}$) at various fruit development stages.

Each value is the mean of measurements during 1 week. Numerals in the figure indicate the days on which saline application began.

定植後のトマト植物体の吸水量の時期別変化を Fig. 1 に示す。1 日当たりの吸水量は日射量に依存して大きく変動したため、1 週間単位で平均化した値を示した。培養液 EC が $1.2\ dS\ m^{-1}$ 一定の対照区についてみると、定植直後の吸水量は個体当たり約 $50\ mL/日$ と少なかったが、植物体の生育に従って増大し、第 1 花房の開花後 10 日目頃には約 $500\ mL/日$ とピークに達した。これは個体当たり葉面積が最大となった時期と一致する。これ以降は、やや減少傾向にあるものの、ほぼ同様なレベルで収穫期まで推移した。一方、第 1 花房の開花日から $EC\ 5.0\ dS\ m^{-1}$ の高濃度排水を流し始めた 0day 区では、その後の吸水量の推移は対照区と類似していたが、1 日当たりの吸水量は対照区より明らかに低下した。特に、開花後 16 日目以降の吸水量低下は著しく、果実発育期後半の 1 日当たり吸水量は対照区の 50%以下となった。8day 区、16day 区および 24day 区では、塩類ストレス処理開始直後から吸水量は急激に低下を始め、果実発育期後半の 1 日当たり吸水量は対照区の 25～50%となった。このように、果実発育期の各時期の塩類ストレス付与により、その後の吸水量は著しく低下した。

各処理区における第 1 果房上第 2 果の果実体積の変化を Fig. 2 に示す。対照区では、開花後 10 日目以降から果実体積の顕著な増加が始まり、以後直線的に増加して収穫期には約 $120\ cm^3$ となった。一方、開花日から

Fig. 2 Changes in volume of the 2nd fruit on the first truss of single-truss tomato plants grown in each salinity plots.

Fruit volume (V) was estimated by the following formula: $V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{a}{2} \right) \left(\frac{b}{2} \right)^2 \times 10^{-3}$.

a , major axis of the fruit; b , minor axis of the fruit. Symbols are the same as in Fig. 1

Table 1 Effects of salinity treatment at various fruit development stages on photosynthetic rate of the uppermost leaves^z in single-truss tomato plants grown in hydroponics.

Plot	Start of salinity treatment ^y	Rate of photosynthesis ^y ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)				
		July 3	July 9	July 15	July 18	July 26
0 day	June 22 ^x	9.2±3.5 ^w	6.0±3.5	8.0±2.6	5.3±1.6	3.1±3.5
8 day	June 30	9.7±4.6	7.8±5.4	8.5±3.7	8.2±4.8	3.7±4.5
16 day	July 8	—	17.8±3.5	14.9±2.5	9.2±4.6	4.8±4.4
24 day	July 16	—	—	—	19.7±2.4	6.2±4.2
Control	—	15.4±1.4	19.6±1.4	19.6±1.8	20.2±2.3	14.5±1.4

^z Measurements were carried out on the 11th leaf at fine days.

^y Concentrated nutrient solution with EC 5.0 dS m^{-1} was supplied.

^x Flowering date of the 1st truss.

^w Values are the mean of 8 measurements±SD.

Fig. 3 Effect of starting time of application of concentrated saline drainage on fresh weight and soluble solids content of fruits.

*Numerals indicate the days after flowering of the first truss.

高 EC 排水の施用を開始した 0day 区では、開花後 13 日目以降から対照区との差が明らかになり始め、以後も体積増加は非常に緩慢で、収穫期においても対照区の約 30% の値にとどまった。他の処理区においても、塩類ストレスの付与時期が早いほど果実体積の増加は早期から抑制されるとともに、その増加速度は緩やかとなった。24day 区、16day 区、8day 区の収穫期の果実体積は、それぞれ対照区の 90%、60%、45% にとどまった。

一段栽培トマトの最上位葉（第 11 葉）の光合成速度に及ぼす塩類ストレス処理の影響を Table 1 に示す。対照区の葉は、果実発育初期から収穫期まで一貫して

15~20 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 前後の高い光合成速度を維持していた。一方、0day 区では果実発育初期から光合成速度が 10 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以下に抑制され、その傾向は収穫期まで続いた。その他の処理区でも同様に、ストレス処理開始数日後から光合成速度は極端に低下し、その状態は収穫期まで続いた。

2. 果実収量および品質

果実発育期の塩類ストレス処理が平均一果重と果実糖度に及ぼす影響を Fig. 3 に示す。対照区の平均一果重は 120 g を越えており、糖度は平均 5.4 であった。塩類ストレス処理により一果重は低下し、逆に糖度は上昇した。その傾向は処理時期が早くなるほど顕著であった。例えば、収穫開始 8 日前から高 EC 排水を施用した 24day 区では、一果重、糖度ともに変化が小さかったが、開花日から処理した 0day 区では、平均一果重は約 50 g と著しく小型化する一方で、果実糖度は 8 以上にまで上昇した。このように、塩類ストレスの処理時期により一果重および糖度への影響は異なり、両者の間には反比例的な関係が認められた。

Table 2 に各処理区における果実収量および果実品質を示す。対照区の 1 株当たり収量は 460 g であったが、塩類ストレス処理区では対照区より収量が低下した。減収程度は処理時期が早くなるほど大きく、24day 区、16day 区、8day 区、0day 区の収量は、それぞれ対照区の 94%、68%、45%、34% となった。第 1 果房の着果数（収穫果実数）は 0day 区を除けばいずれの処理区も 4 個弱であったことから、収量低下の主因は一果重の低下にあった（Fig. 3）。0day 区では強度の尻腐れ果が多発したが、これらは調査対象から除外したため、収穫果実数がやや減少した。果実乾物重は対照区が最

Table 2 Effects of salinity treatment at various fruit development stages on the yield and quality of fruit in single-truss tomatoes grown in hydroponics.

Plot	Yield ^z (g plant ⁻¹)	No. of fruit ^z (plant ⁻¹)	Dry weight of fruit ^y (g fruit ⁻¹)	Dry matter % of fruit ^y	Hardness of fruit ^y (g)
0 day	155 (34) ^x	3.1	4.50 (68)	9.0	0.65
8 day	208 (45)	4.0	4.58 (70)	8.8	0.62
16 day	314 (68)	3.7	6.13 (93)	7.3	0.62
24 day	431 (94)	4.0	6.54 (99)	6.0	0.61
Control	460 (100)	3.7	6.58 (100)	5.3	0.59

^z Values are the mean of 88 plants.

^y Values are the mean of 20 fruit.

^x Numerals in parentheses are the relative values to control (100).

Fig. 4 Effect of starting time of application of concentrated saline drainage on the occurrence of abnormalities in fruits.

BER, blossom-end rot. *Numerals indicate the days after flowering of the first truss.

も大きく、塩類ストレス処理時期が早くなるほど小さな値となった。しかし、処理にともなう果実乾物重の低下程度は、果実新鮮重の低下程度より緩やかであった。その結果、果実乾物率は塩類ストレス処理時期が早くなるほど大きな値となった。また、果実硬度も果実乾物率と同様な傾向を示した。

各処理区における障害果発生率を Fig. 4 に示す。収穫期が夏期高温期となったため、対照区では約 80% の高頻度で裂果が発生した。しかし、収穫開始 8 日前から高 EC 排水液を施用した 24day 区では、裂果発生率は 27% と低かった。裂果抑制効果は、塩類ストレスの処理時期が早まるほど高くなった。一方、開花日から塩類ストレスを与えた 0day 区では、約 20% の尻腐れ果の発生が観察された。その他の障害果（主にチャック果、

窓あき果）発生率に処理区間の差は認められなかった。

考 察

1. ストレスの付与時期と果実品質

トマト栽培では、植物体に水ストレスや塩類ストレスを与えると果実の糖度や酸度が上昇し、果実品質が向上することが広く知られている。一段栽培トマトを材料とした Sakamoto et al. (1999) の試験では、塩類ストレスの処理時期により果実品質に対する効果が異なることが示された。そこで本試験では、一段栽培トマトの第 1 花房開花後の様々な時期に塩類ストレスを与え、果実重や果実品質に与える影響を調べた。その結果、ストレスの付与時期が早いほど果実糖度は高まるが、逆に果実サイズは小さくなるという反比例的な関係が存在することが明らかとなった。この結果は、収量性を犠牲にしても果実糖度を高めたい場合は、塩類ストレスの処理開始時期をできるだけ早めればよいことを示している。しかし、処理開始時期が早すぎると尻腐れ果が多発するため (Fig. 4)、適切な処理時期の選定が必要となる。本試験においては、開花日から塩類ストレスを与えた処理区では尻腐れ果が多発したが、開花後 8 日目以降になると塩類ストレスを与えても尻腐れ果の発生は増加しなかった。これは、果実緑熟期を過ぎれば塩類ストレスを与えても尻腐れ果は発生しないとした Sakamoto et al. (1999) の結果と一致している。今回の試験における開花後 8 日目は果実発育期間 (32 日間) の前半 1/4 に相当する。したがって、果実発育期間がさらに長引く低温期の栽培においても、前半 1/4 の期間を過ぎれば塩類ストレスによる尻腐れ果発生の危険性は小さくなるものと考えられる。

2. 果実糖度の上昇機構

水ストレスや塩類ストレスによる果実糖度の上昇機構については二つの考え方がある。一つは水分欠乏に対する植物体の適応的反応と考えるものである (Yoneyama and Takebe, 1994; Nonami, 1998)。水ストレスにより、果実細胞内の糖、有機酸、プロリン等の溶質濃度は上昇し浸透圧が高まるが、こうした浸透圧調節は水ストレス下における果実への水流入力を高め、水分が果実内に保持されることを助ける方向に働く。例えば、水ストレスを受けたウンシュウミカンでは、光合成産物の果実への分配率が高まるとともに浸透圧調節機構が働き、果実細胞内に糖類が蓄積することが報告されている (Yakushiji et al., 1998)。他方、水ストレスによる果実糖度の上昇は、水流入抑制による結果としての溶質濃度の高まりにすぎないとする考え方もある (Ehret and Ho, 1986; Ho et al., 1987; Sakamoto et al., 1999)。この二つの考え方は、高糖度トマト栽培技術の確立をめざす上では大きな違いがある。すなわち、適度な水ストレスにより浸透圧調節機構を誘導し、一果重や収量をあまり低下させずに果実高糖度化が可能なのか、それとも高糖度化にともなう果実の小型化や収量低下は本質的に避けられない現象であるのか、という違いである。

そこで本試験においては、果実糖度の上昇機構を明らかにする目的で、根の吸水量、葉の光合成速度、果実肥大速度等に及ぼす塩類ストレスの影響を調べた。第1花房開花期以降の各時期に付与された塩類ストレスは、根からの吸水量を大幅に減少させると同時に、葉の光合成活性も顕著に低下させた (Fig. 1, Table 1)。その結果、果実の肥大速度はストレス処理の開始時期が早いほど小さな値となり、最終的な果実体積も小さくなった (Fig. 2)。しかしながら、ストレス処理にともなう果実乾物重の低下程度は、果実体積や果実新鮮重の低下程度より緩やかであった (Table 2)。Ehret and Ho (1986) も、水ストレスによりトマト果実の新鮮重は大きく低下するが、乾物重はさほど変化しないことを認めている。また、塩類ストレスはトマト果実内の糖濃度だけでなく、有機酸、アスコルビン酸、色素類等の溶質濃度も高めることが報告されている (Sakamoto et al., 1999)。

根の吸水機能と葉の光合成活性の両者が水ストレスにより強く阻害されるにもかかわらず、果実の肥大生長 (水流入) のみが顕著に抑制され、乾物生長 (物質の合成・蓄積) への影響が小さいのは興味深い現象で

ある。従来より、植物の光合成活性は水ストレスによって阻害されやすいが、葉からの光合成産物の転流過程は影響を受けにくいことが知られている (Sung and Krieg, 1979; Huber et al., 1984)。Ho et al. (1987) はモデル解析により、水ストレスによってトマト果実への水の移行は減る一方で、師管による糖やアミノ酸の転流への影響は少ないことを推測しているが、最近、Araki et al. (2001) はこれを実験的に証明した。彼らはトマト果実への導管液フラックスと師管液フラックスを分別して計測し、塩ストレスによって果実に到達する導管液フラックスが抑制されるために果実の肥大生長は減少するが、師管液フラックスは比較的安定しているために、果実の糖濃度が相対的に高まることを見出した。

水ストレスに誘導された糖代謝系の変化が、果実内における遊離糖の合成・蓄積を促進するかどうかに関しては、判断材料となるデータの蓄積が不十分なのが現状である。今後は、従来のような生産された果実の糖含量を測定するだけでなく、糖代謝系関連酵素の活性や遺伝子発現レベルに対する水ストレスの影響を詳細に調べる必要があろう。しかしながら、トマトにおいては果実高糖度化に関する多くの研究があるにもかかわらず、果実内の糖絶対量が水ストレスや塩類ストレスによって増加したとする報告は見当たらない。したがって、「浸透圧調節のための糖合成・蓄積の促進機構」を介した果実糖度上昇への貢献は、もしも存在するとしても、その比率は小さいものと推測される。

以上より、水ストレスや塩類ストレスによりトマト果実の糖度が高まる主な原因は、果実への水流入が低下し肥大生長が抑制される一方で、糖や有機酸等の物質蓄積過程に対する影響は小さいために、結果として果実内におけるこれら物質の濃度が高まることにあると考えられる。このことは、収量や一果重を低下させずに、糖度のみを大幅に向上させるようなトマト栽培技術を開発することは、現状ではかなり難しいことを示唆している。

3. 裂果の抑制

開花後の各時期に与えた塩類ストレスは果実の裂果発生程度にも大きく影響した。裂果は高温期のトマト栽培におけるやっかいな問題であるが、特に、主枝を早期に摘心する一段栽培では裂果が発生しやすい (Yamashita and Hayashi, 1994)。本試験においても、対照区では80%近い高頻度で裂果が発生した (Fig. 4)。しかし、収穫開始8日前からの塩類ストレス処理によ

り裂果割合は27%まで低下し、さらに同16日前からの処理によりわずか8%となった。同様の結果は前報 (Okano et al., 1999) でも得られている。トマトの裂果は、果実への水流入量が増加し膨圧が急激に高まるのに対して、果皮等の伸展が追いつかないために発生すると考えられている (Ohta et al., 1994)。Ikeda et al. (1999) は一段栽培トマトにおいて、塩類ストレス処理により培養液と果実間の水ポテンシャル勾配が減少し、果実の膨圧上昇が抑制されるために裂果が減少することを認めている。裂果防止策として、果実への送風や低湿度処理 (Ohta et al., 1991)、低浸透ポテンシャル培養液処理 (Ohta et al., 1995)、花梗部の捻枝 (Yamashita and Hayashi, 1994) 等が報告されている。これらはいずれも果実への水流入抑制あるいは膨圧低下に有効な方法である。本試験における塩類ストレス処理は、処理時期に関わらず明らかに根からの吸水を抑制した (Fig. 1)。また、果実の乾物率が高まり、果皮硬度が増大した (Table 2)。したがって、果実発育期の塩類ストレス処理により裂果が抑制された原因は、根からの吸水量の低下に起因する果実への水流入量の減少と膨圧上昇の抑制、および果皮の破断抵抗の増大にあるものと考えられる。塩類ストレス付与による裂果防止策は、前述の種々の裂果防止策と比べて非常に簡単であり、その実用性は高いと考えられる。

以上述べてきたように、トマト一段養液栽培においては、高EC排水液を利用した塩類ストレスの付与時期を変えるという簡単な方法で、様々な果実サイズや糖度を持つ果実を自由に生産することが可能である。ホウレンソウ等の葉菜類では、多肥にともない茎葉中に硝酸イオンが蓄積する問題があるが、トマト等の果菜類では果実中の硝酸イオン含量は数ppmと極めて低い (Miyazaki, 1975) ので、高EC排水液の施用は特に問題とはならない。なお、本試験における収穫期は7月末の高温期であったため、対照区の一果重は約120g、糖度5.4と通常の「桃太郎」の水準より低い値であった。また、開花日からストレス処理をしたOday区でも糖度は8.0前後にとどまった。しかしながら、冬期に同様な栽培を行った場合は、果実重100~150g、糖度10.0前後の果実が得られている (Sakamoto et al., 1999)。また、開花直後からのストレスを避ければ、高糖度トマトの生産に付随する尻腐れ果の発生も回避することができる。さらに、高温期のトマト栽培で問題となる裂果も、収穫1~2週間前からの塩類ストレス処理でほぼ完全に防止できる。これらはいずれも、一つの果房

しか持たない一段栽培だからこそ適用可能な技術である。発育段階の異なる複数の果房を持つ多段栽培では、果実の発育段階を考慮したピンポイント的なストレス処理は不可能である。トマト一段栽培法は、省力・軽作業・平易なトマト栽培法として評価されているが、果実品質の制御が容易な点も大きなメリットの一つと考えられる。

文 献

- Araki, T., Kitano, M., Okano, K., Yoshida, S., Eguchi, T. 2001. Environmental effects on dynamics of fruit growth and photoassimilate translocation in tomato plants. (3) Effect of salt stress. *Environ. Control in Biol.* **39**: 53-58.
- Cooper, A.J. 1966. Single truss tomatoes mean plant, pinch, pick and pull up. *Grower* **65**: 143-144.
- Ehret, D.L., Ho, L.C. 1986. The effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. *J. Hortic. Sci.* **61**: 361-367.
- El-Gizawy, A.M., Adams, P. 1986. Effect of temporary calcium stress on the calcium status of tomato fruit and leaves. *Acta Hortic.* **178**: 37-42.
- Giacomelli, G.A., Ting, K.C., Mears, D.R. 1994. Design of a single-truss tomato production system (STTPS). *Acta Hortic.* **362**: 77-84.
- Hisatomi, T., Fujimoto, K. 1978. Studies on the single truss tomato culture. I. Growth and yield for sowing at different dates over the year. (Japanese text with English abstract) *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* **46**: 487-494.
- Ho, L.C., Grange, R.I., Picken, A.J. 1987. An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. *Plant Cell Environ.* **10**: 157-162.
- Huber, S.C., Rogers, H.H., Mowry, F. L. 1984. Effects of water stress on photosynthesis and carbon partitioning in soybean (*Glycine max* [L.] Merr) plants grown in the field at different CO₂ levels. *Plant Physiol.* **76**: 224-249.
- Ikeda, H. 1996. Adjustment of nutrient solution (培養液の調整). In "A Newest Guide to Hydroponics" (最新養液栽培の手引き) (ed. by Japan Greenhouse Horticulture Association) (日本施設園芸協会編). (Japanese Text) Seibundo-Shinkosha (誠文堂新光社), Tokyo, p 206-212.
- Ikeda, T., Sakamoto, Y., Watanabe, S., Okano, K. 1999. Water relations in fruit cracking of single-truss tomato plants. *Environ. Control in Biol.* **37**: 153-158.
- Kobayashi, S. 1997. A study on single-truss tomato production by hydroponics. I. Plant growth and fruit yield by different sowing dates over the year. (Japanese text with English abstract) *Facilities Agric. (農業施設)* **27**: 199-206.
- Miyazaki, M. 1975. Studies on the accumulation of nitrate in tomato fruit for canning. *Sci. Hortic.* **3**: 109-128.
- Nonami, H. 1998. Water relations in crop plants. (農作物の水分生理) *Agric. Hortic. (農及園)* **73**: 61-66.
- Ohta, K., Ito, N., Hosoki, T., Sugi, Y. 1991. Influence of relative humidity on fruit cracking of cherry tomato grown on hydroponic culture and its control. (Japanese text with English abstract) *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* **60**: 337-343.
- Ohta, K., Ito, N., Hosoki, T., Inaba, K., Bessho, T. 1994. The influence of the concentration of the hydroponic nutrient culture solutions on the cracking of cherry tomato with special

- emphasis on water relationship. (Japanese text with English abstract) *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* **62**: 811-816.
- Ohta, K., Hasegawa, R., Hosoki, T. 1995. Control of fruit cracking by treatment of low osmotic potential solution in hydroponically cultured cherry tomato. (Japanese text with English abstract) *Environ. Control in Biol.* **33**: 297-298.
- Okano, K., Sakamoto, Y., Watanabe, S., Nakashima, T. 1999. Establishment of a closed hydroponic system in single-truss tomato by the reuse of concentrated drainage. (Japanese text with English abstract) *Environ. Control in Biol.* **37**: 63-71.
- Sakamoto, Y., Watanabe, S., Nakashima, T., Okano, K. 1999. Effects of salinity at two ripening stages on the fruit quality of single-truss tomato grown in hydroponics. *J. Hortic. Sci. Biotech.* **74**: 690-693.
- Sung, F. J. M., Krieg, D.R. 1979. Relative sensitivity of photosynthetic assimilation and translocation of ^{14}C carbon to water stress. *Plant Physiol.* **64**: 852-856.
- Wada, T., Ikeda, H., Ikeda, M., Furukawa, H. 1996. Effects of foliar application of calcium solution on the incidence of blossom-end rot of tomato fruit. (Japanese text with English abstract) *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* **65**: 553-558.
- Wada, T., Ikeda, H., Morimoto, K., Furukawa, H. 1998. Effects of minimum air temperatures on the growth, yield and quality of tomatoes grown on a single-truss system. (Japanese text with English abstract) *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* **67**: 420-425.
- Yakushiji, H., Morinaga, K., Nonami, H. 1998. Sugar accumulation and partitioning in Satsuma mandarin tree tissues and fruit in response to drought stress. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **123**: 719-726.
- Yamashita, F., Hayashi, G. 1994. Studies on the year-round production system of tomato in water culture. II. Methods for preventing of fruit cracking in high temperature period. (Japanese text with English abstract) *Res. Bull. Aichi Agric. Res. Cent.* **26**: 157-162.
- Yoneyama, T., Takebe, M. 1994. Physiological mechanisms on sugar accumulation in crop plants and effects of water and salt stresses. (作物の糖蓄積と水および塩ストレスの影響の生理) *Agric. Hortic. (農及園)* **69**: 437-441.