排水の再利用による一段トマトの閉鎖型養液栽培システムの確立

岡野邦夫・坂本有加・渡邊慎一・中島武彦*

野菜・茶業試験場施設生産部・*野菜・茶業試験場企画連絡室

Establishment of a Closed Hydroponic System in Single-Truss Tomato
by the Reuse of Concentrated Drainage

Kunio OKANO, Yuka SAKAMOTO, Shin-ichi WATANABE and Takehiko NAKASHIMA*

*Department of Protected Cultivation, National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants & Tea (NIVOT),
Taketoyo, Aichi 470-2351, Japan*** Division of Research Planning and Coordination, NIVOT, Anou, Mie 514-2392, Japan*

A closed hydroponic system was established in the cultivation of single-truss tomato, where the drainage was utilized for improving the fruit quality. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) plants were grown in a "wet-sheet culture" (WSC) bed, where a water-retaining sheet (non-woven fabric) was used as a growing medium to supply nutrient solution. Nutrient solution with EC 1.2 dS m^{-1} was applied by tube irrigation. Supply of the solution was controlled with a level sensor, and surplus solution was overflowed from the bed and preserved into a reservoir tank. Tomato seedlings were transplanted to the WSC bed in a density of 10 400 plants 10 a^{-1} at early June in 1997, and main shoots were pinched after the anthesis of the first truss. On an average, 20 to 30% of daily-supplied nutrient solution was overflowed as drainage. At the final stage of ripening, the preserved drainage in the tank was concentrated to EC 5.0 dS m^{-1} , and re-supplied to the bed instead of fresh solution. By the end of the harvest, all the preserved drainage was used up by the plants, and no waste solution was drained out of the greenhouse. Moreover, fruit cracking, which frequently occurred under high temperature conditions, could be completely prevented by the application of the concentrated drainage, possibly due to the salinity effect.

(Received July 28, 1998)

1998年7月28日受付

緒 言

養液栽培は、土耕栽培で問題となる塩類集積や土壌病害の心配がなく、また省力・軽作業的なことから、野菜や花きの施設栽培を中心に導入が進んでいる (Itagi, 1996a)。しかし、廃液による地下水汚染や使用済みロックウールによる環境汚染等の問題点も指摘されている。オランダでは西暦 2000 年までに完全な閉鎖型栽培へ移行することが義務づけられており、わが国においても閉鎖型養液栽培技術の確立は緊急を要する課題である。廃液を系外に出さないためには、培養液

を殺菌・再調製して循環利用する、肥料成分を作物にすべて吸収させる、廃液を別の用途に有効利用する、等の方策が考えられる (Okano, 1997)。Nakashima *et al.* (1994) は、毛管水耕方式によるトマト一段栽培において、余剰給液を回収して第 2 タンクに貯留し、果実発育期に濃縮排水として再施用し、全量を作物に吸収させることで系外への廃液を皆無にできる、との考え方を提唱している。

トマト一段栽培は、第 1 果房のみを収穫する栽培法である。慣行の長段栽培に比べて栽培管理が平易かつ省力的で、管理作業も周年平準化できるため、雇用労力を使った大規模計画生産が可能と考えられている

(Cooper, 1966; Hisatomi and Fujimoto, 1978; Sasaki, 1991; Kobayashi, 1997). Cooper (1966) が一段栽培法を提唱してから 30 年以上が経過しているが、年に 4~5 作にも及ぶ頻繁な苗更新の問題などがあり、広く普及するには至っていない。しかし、一段栽培は省力・軽作業的で管理作業も平易なことから、農家労働力の不足が顕著となった近年改めて注目を集めている。また、第 1 果房のみを収穫対象とする栽培法であるため、植物体への長期的影響を考慮せずに果実高品質化のための栽培処理を施すことができる。たとえば、食塩を添加して EC 値を高めた培養液を一段トマトの緑熟期以降に与えると、施用時期が早いほど果実は小型化するが糖度や酸度が上昇し、果実品質が向上することが確認されている (Sakamoto *et al.*, 1997)。われわれは、トマト一段栽培の実用化を目的として適性品種の検索 (Watanabe *et al.*, 1999) や果実高品質化技術の開発 (Sakamoto *et al.*, 1997) を行ってきたが、本研究では、Nakashima *et al.* (1994) の考え方に基づいた養液栽培方式でトマト一段栽培を行い、系外への廃液をゼロにする閉鎖型システムを確立するとともに、実際の栽培系から出された排液の再施用が果実収量や品質に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

1. トマトの一段栽培

トマト (*Lycopersicon esculentum* Mill) 品種「桃太郎」を、1997 年 5 月 9 日にロックウール粒状綿を詰めた 128 穴セルトレイに千鳥植えて播種した。かん水は適宜行い、子葉展開後は後述する培養液を 1/2 濃度に希釈したものを与えた。6 月 3 日に、根鉢が形成され始めた本葉 4~5 葉期の若苗を、養液栽培用プラスチックコンテナ (64 cm × 39 cm × 13 cm) に 8 本ずつ定植した。伸長した茎は 1 株ずつ左右に振り分けて、コンテナ側面に設置した金属製支柱に誘引し、止め金具で固定した。コンテナは幅 50 cm、長さ約 8 m の栽培ベッド (架台) 上に 1 列に並べた。隣接する栽培ベッドの間隔 (畝間) は 70 cm であり、最終的な栽培間隔は 8 cm × 120 cm となった。これは 10 a 当たり約 10 400 本の栽植密度に相当する。

第 1 花房の開花は 6 月 20 日に始まった。第 2~第 3 花が開花した時点で着果促進剤 (トマトーン 100 倍液) をスプレー散布した。同時に、第 1 花房上に 2 葉を残して主枝を摘心した。葉腋等から発生してくる側枝は、2~3 日に 1 回の割合で、すべて除去した。なお

栽培期間中に、ウドンコ病およびオンシツコナジラミ防除のため 2 回の薬剤散布を行った。

2. 養液栽培装置

定植後の栽培には、Fig. 1 に示すような毛管水耕方式の養液栽培装置を用いた。ガラス温室内に設置した高さ 70 cm の栽培ベッド上にコンテナを並べ、コンテナ底面中央に厚さ 5 cm、幅 15 cm の発泡スチロール台を置き、その上に底面全体を覆うように厚さ 2 mm の不織布 (ジャムガード、東洋紡 (株) 7210S) を敷いた。また、不織布の上には根の侵入を防ぐために防根透水シート (東洋紡 (株) BKS0812) を重ねた。根鉢形成が始まったセル苗を、培養液で湿ったこれら 2 重シートの上に置き、定植した。根はすみやかにシート上を伸長し、数日後には培養液部分に到達した。それ以降、根の先端部分は培養液中に伸長したが、株元から半径十数 cm の範囲の根は湿ったシート上にあり、絶えず空気と接触していた。そのため通気措置は行わなかった。なお、Fig. 1 には記載されていないが、コンテナ上面には植え穴の開いた発泡スチロール製の蓋をかぶせ、定植苗を支えると同時に地下部への光の侵入を防いだ。

3. 処理区および培養液管理

前項で説明した養液栽培コンテナ 11 個を並べた栽培ベッドを 4 列設置して、給排液管理に関する試験を行った。2 列は濃縮排液の再施用試験区とし、残りの 2 列は排液量の計測を兼ねた対照区とした。培養液として大塚 A 処方液 (Ikeda, 1996) を用い、EC は全生育

Fig. 1 Wet-sheet culture (WSC) system for the cultivation of single-truss tomato.

A water-retaining sheet (non-woven fabric) is used as a growing medium to supply nutrient solution.

期間を通じて 1.2 dS/m 一定で管理した。給液は水中ポンプ (SL-51 (N) 型, 寺田ポンプ製作所) と連結した片面有孔のかん水チューブを用いて, コンテナ上面から行った。定植後, 活着するまでの数日間の給液管理はタイマー制御で行ったが, 以後の給液制御はコンテナ内に設置した水位センサー (61F 型, オムロン) により行った。培養液の給液は基本的に掛け流し方式とし, コンテナ側面にはオーバーフロー用の穴を開け, 培養液面が株元まで上昇しないようにした (Fig. 1)。

4. 吸水量の計測と排水の再施用

4 列の栽培ベッドについて, 個別に毎日の給液量を量水器で計測した。うち 2 列については, オーバーフローした排水を目盛り付きの 30 L 容器に受けて, その量を記録した。植物による見かけの吸水量は, 給液量から排水量を差し引いて求めた。なおブランク値として, 植物が存在しない状態の栽培コンテナからの蒸発量を測定したところ, コンテナ当たり 1 週間に 800 mL 程度であった。この値は, 植物による蒸散量 (= 見かけの吸水量) と比較して無視できるほど小さかったため, みかけの吸水量の計算からは除外した。

残り 2 列の栽培ベッドからのオーバーフロー液は, ベッド下に設置した塩化ビニル管を経由して, 地下に埋設した貯留タンク (容量 500 L) に回収した (Fig. 2)。排水の EC は栽培期間を通じて約 1.2 dS/m であり, 新鮮培養液のそれとほぼ同じ EC 濃度であった。なお, 排水の貯留速度が当初の予測を上回り, 7 月上旬には貯留量が 450 L を超えたため, 約 100 L を新鮮培養液の代わりに栽培ベッドに給液し, 貯留量を減らした。

果実収穫開始 1 週間前の 7 月 17 日より, この貯留排水に培養液原液 (100 倍濃縮液) を添加して EC を 5.0 dS/m に調整し, 新鮮培養液とは別系統のかん水チューブを用いて栽培ベッドに給液を行った (Fig. 2)。

ここでは便宜上, 培養液原液を添加して高濃度化した排水を「濃縮排水」とよぶ。この濃縮排水の pH は約 3.8 であった。ここで, 濃縮排水の EC 値を 5.0 dS/m に設定したが, これは別の試験 (Sakamoto *et al.*, 1997) において, 培養液に食塩を添加して EC 値を 5.0 dS/m または 8.0 dS/m に高め, 果実品質への影響を比較したところ, 両者に明瞭な差が認められなかったためである。

このように排水を濃縮して栽培コンテナに再施用し, 全量を植物体に吸収させることで温室外への排水を皆無にするとともに, 高塩類ストレスによる果実高品質化をめざした。しかし, 果実収穫が終了した 8 月 1 日時点においても, 貯留タンク内にはかなりの量 (約 150 L) の排水が残った。そこで, 収穫終了後も栽培を継続し, 数日間かけて残量をトマト植物体内に吸収させた。

5. 生育および果実調査

毛管水耕方式で栽培したトマトの生育状態を把握するために, 定植後 2 週間ごとに植物体を 8 個体ずつサンプリングし, 部位別の生長量を測定するとともに根系全体の呼吸活性を測定した。測定には O₂ アップテスター (5B 型, タイテック (株)) を用いた (Okano and Omae, 1996)。また, 濃縮排水施用が植物生理機能に与える影響を明らかにする目的で, 果実収穫がほぼ終了した 7 月 31 日に, 上位葉 (第 10, 11 葉) からリーフディスクを打ち抜き, クラーク型の酸素電極 (Rank Brothers 社) により葉の光合成活性を測定した (Okano and Matsuo, 1994)。

果実の収穫調査は, 7 月 24 日～8 月 1 日の間に 2 日間隔で行った。表面全体が着色した果実を収穫し, 個別の重量を計るとともに障害発生の有無を調査した。このさい, 新鮮重が 80 g 以上の果実を有効果実とし

Fig. 2 A closed hydroponic system developed for the present experiment.

Overflowed drainage was continuously collected into a reservoir tank. At the final stage of fruit ripening, they were concentrated and re-supplied to the growing bed.

た。また、大きさのそろった果実を数個ずつ選び、切断果実の果汁をガーゼで搾り取り、屈折計(N-1, アタゴ)により汁液の糖度(Brix 値)を測定した。

結 果

1. 一段トマトの生長経過

毛管水耕方式の養液栽培装置におけるトマト根の活着は良好であり、各部位の乾物重および葉面積は生育にともない順調に増加した (Fig. 3)。茎葉重の増加速度は根重のそれを上回ったため、地上部/地下部重比は定植時の 3.0 からしだいに増大して、8 週間後の果実収穫時には 5.0 を超えた (データ略)。着花節位は平均第 9 節であり、最も早い個体では定植後 17 日目に第 1 花房の開花が始まった。収穫開始 8 日前 (7 月 16 日) における果実乾物重は、果実を除いた植物体乾物重とほ

Fig. 3 Growth of tomato plant after transplanting onto the wet-sheet culture bed.

The first truss flowered from 20 to 24 June. Harvesting was started on 24 July. Fruit weight of the plants sampled at 29 July could not be determined because some fruits had already been harvested.

ぼ等しかった。したがって、一段トマトの収穫指数(=果実乾物重/果実以外の部位の乾物重)は 1.0 を超えるものと考えられる。

生育にともなう根系の呼吸活性の推移を Table 1 に示す。根乾物重当たりの呼吸活性をみると、根系全体のエージが若い定植後 2 週間目の個体では活性は相対的に高かったが、4 週目には顕著に低下した。呼吸活性は定植後 6 週目にはやや回復して、以後収穫期までその水準を維持した。いっぽう、個体当たりの呼吸速度でみると、その値は生育につれて増大した。これは生育にともない個体当たり根量が増加したためである。

濃縮排液施用開始までに、施用区と対照区で生育量や吸水量に明瞭な差は認められなかった。しかし、収穫開始 1 週間前からの濃縮排液施用への切り換えにより、地上部では葉の巻き上がりが著しくなり、葉色も若干濃くなった。地下部では細い白色根が褐変し、収穫後の観察では溶けた状態となっていた。

2. 給水量、排水量および見かけの吸水量の時期別推移

量水器で記録した栽培ベッドへの毎日の給水量とオーバーフローした排水量、およびその差から算出した植物による見かけの吸水量の時期別推移を Fig. 4 に示す。水位センサーからの指示に基づいたポンプ給液は不定期的に生じたが、この図では 1 週間単位で給・排水量を取りまとめて表示した。定植直後のトマトの吸水量は少なかったが、植物の生育にともないその量はしだいに増加した。吸水量は 7 月上旬の果実肥大初期に最高値 (312 mL/株/日) を記録し、以後収穫期まで同様なレベルで推移した。なお、7 月中旬に一時的な低下がみられたが、これは梅雨の雨天日が数日続いた影響と考えられる。コンテナからオーバーフローした排水量は、基本的に給水量に対応した変化を示した。

Table 1 Changes in respiratory rate of tomato roots after transplanting onto "wet-sheet culture" bed.

Date	Weeks after transplanting	Rate per dry weight (mL O ₂ gDW ⁻¹ h ⁻¹)	Rate per whole root (mL O ₂ plant ⁻¹ h ⁻¹)
Jun 17	2	1.33 ± 0.23 ^z	0.85 ± 0.13
Jul 1	4	0.49 ± 0.07	0.72 ± 0.05
16	6	0.68 ± 0.13	1.50 ± 0.08
29	8	0.63 ± 0.11	1.69 ± 0.20
Aug 5	9 ^y	0.68 ± 0.05	1.78 ± 0.33

^z Values are the mean of 4 measurements ± SD.

^y After harvest.

Fig. 4 Weekly changes in volume of nutrient solution supplied, drained or absorbed by tomato plants. Apparent water absorption = volume of supplied solution - volume of drained solution.

Fig. 5 Amount of drainage supplied to the WSC beds. Values are the total volume of concentrated drainage absorbed by 176 plants in two beds.

すなわち定植直後の排水量はごく少なく、開花期以降から急激に増加した。全生育期間を通じてみると、給液量のうちの約27%が余剰給液となり、オーバーフロー排水として栽培ベッドから排出された。栽培ベッドごとの排水量を積算し、トマト1個体当たりの生育期間中の総排水量を求めたところ3~4 Lとなった。

3. 濃縮排水の施用経過

果実発育期の後半から施用を開始した、2列の栽培ベッドへの濃縮排水の給液経過をFig. 5に示す。濃縮排水の給液制御は、新鮮培養液の場合と同様に水位センサー指示値に基づいて行い、オーバーフロー液は貯留タンクに回収した。Fig. 5には植物体により吸収された排水量が示されているが、これは貯留タンク内の水位変化から計測した。給液はほぼ2日に1度の割合で行われたが、その量は日時により変動した。これは日射量の変化による植物の水消費量の変動によるものと考えられる。

果実収穫は8月1日に終了したが、その時点においてもかなりの量の排水が貯留タンク内に残存した

め、栽培をさらに数日間継続した。その結果、8月6日までに貯留タンク内の排水はすべて消費され、系外への廃液を皆無にすることができた。量的にみれば、176個体のトマト(2ベッド列×11コンテナ×8個体)が20日間かけて、433 Lの濃縮排水を吸収した。これは1個体当たり約2.5 Lの吸水量に相当する。

4. 果実収量、糖度、障害果発生率

果実収量および品質に対する濃縮排水施用の影響をTable 2に示す。夏期高温期の栽培試験だったこともあり、対照区の個体当たりの果実収量は290 gと低い水準であった。平均1果重が約130 g、80 g以上の有効果実数が約2.3個であったことから、果実重および着果数の両者の減少が低収要因と考えられた。なお、果実糖度は平均5.8であった。収穫開始1週間前からの濃縮排水施用は、これらの数値にほとんど影響を与えなかった。すなわち1果重や果実個数は対照区とほぼ同等であり、糖度は平均6.1と若干上昇したものの、有意な差ではなかった。

いっぽう、障害果発生率には顕著な差が認められた

Table 2 Effects of the application of concentrated drainage on fruit yield and quality of single-truss tomato.

Treatment	Fruit yield ^y (g plant ⁻¹)	Fruit No. (plant ⁻¹)	Fruit weight (g fruit ⁻¹)	Soluble solids ^x content (%)
Control	290.8 ± 34.9	2.25 ± 0.31	129.9 ± 7.3	5.8 ± 0.5
Drainage ^z	284.3 ± 46.4	2.13 ± 0.27	133.6 ± 9.3	6.1 ± 0.6

^z Concentrated drainage with EC 5.0 dS m⁻¹ was applied from 1 week before the beginning of harvest.

^y Values are the mean of 4 repetitions ± SD.

^x Values are the mean of 70 fruits ± SD.

Fig. 6 Effects of the application of concentrated drainage on the occurrence of unmarketable fruits. Control: nutrient solution with EC 1.2 dS m⁻¹. Drainage: concentrated drainage with EC 5.0 dS m⁻¹.

Table 3 Influences of the application of concentrated drainage on leaf photosynthesis and root respiration.

Treatment	Leaf photosynthesis ^z ($\mu\text{mol O}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	Root respiration ^y ($\mu\text{mol O}_2 \text{ gDW}^{-1} \text{ h}^{-1}$)
Control	376 ± 53 (100)*	0.68 ± 0.05 (100)
Drainage	255 ± 28 (68)	0.39 ± 0.18 (57)

^z Measurement were carried out on 9th or 10th leaf. Values are the mean of 8 measurements ± SD.

^y Values are the mean of 4 measurements ± SD.

* Values in parentheses are relative to Control.

(Fig. 6). 夏期高温期での栽培のため対照区では裂果が非常に高頻度 (76.5%) で発生し、健全果は 15.3% と少なかった。しかし、濃縮排水液の施用により裂果発生率は 3.2% に激減し、逆に健全果割合が約 80% に上昇した。排水施用区では、量的に少ないものの尻腐れ果の発生が増える傾向が認められた。

5. 個体生理機能に及ぼす濃縮排水液の影響

果実収穫後に測定した葉の光合成速度および根の呼吸速度を Table 3 に示す。濃縮排水液の施用により植物体生理機能は明らかに阻害を受け、排水施用区の根乾物当たりの呼吸速度は対照区の 60% 以下に、また葉の光合成速度は対照区の 68% に低下した。

考 察

1. 毛管水耕 (保水シート耕) 方式におけるトマトの生育

養液栽培には湛液、NFT、ロックウール耕などさまざまな方式があるが、毛管水耕は比較的新しい養液栽培方式である。この方式が開発された端緒は、Yama-

saki (1986) が提唱した浮き根式水耕にある。浮き根式水耕では、水面に浮かんだ湿ったシート上に根毛の発達した「湿気中根」が形成される。このような根は空气中に露出しているため酸素吸収能力が高く、また温度等の環境変動に対する適応幅が大きいと考えられている。毛管水耕方式の開発当初は、シート資材の毛管吸引力のみを利用して植物への給水が行われていたが、水ストレスがかかり過ぎたり、シート上に塩類集積が起こる等の問題が生じたことから、上方からのチューブかん水を追加する方式に改良が加えられた (Itagi, 1996b)。しかし、シートとして用いた不織布の水分保持量はそれほど多くないため、停電等の事故が発生した場合は短時間で水欠乏状態となる恐れがあった。そこでわれわれは、チューブかん水に加えて培養液貯留部を有する新たなシステムを考案した (Fig. 1)。このように改良が加えられた毛管水耕システムでは、その名称のもととなった毛管吸引力は、給水のためではなくおもに培養液保持のために利用されている。こうした方式は、保水性のシートを培地とした固形培地耕の一種とみなすことができる。Yamashita and Hayashi (1995) は、類似のシステムを「愛知型折衷方式」とよんでいるが、より一般的な名称としてわれわれは「保水シート耕」(wet-sheet culture) とよぶことを提唱したい。

この方式では、吸水性の不織布の上に防根透水シートを重ねているため、根は不織布内に侵入しない。そのため栽培終了後は根を簡単にはがすことができ、不織布や防根透水シートは洗浄・消毒して繰り返し使用できる。したがって、廃棄処分が問題となっているロックウールと比較すると、環境に対する負荷の少ない培地といえる。最も重要なのは作物生育の良否であるが、Yamashita and Hayashi (1995) はいくつかの培地でトマトを低段密植栽培し、不織布+防根透水シート培地の生育・収量はロックウール培地より優ることを認めている。本試験においても、定植時の活着やその後の生育は順調に進んだ (Fig. 3)。果実肥大期の葉面積指数は 6~7 にまで達したことから、むしろ生育過剰気味とも判断された。根系全体の呼吸活性は一時期やや低下がみられたが、その後は収穫期まで一定のレベルで維持された (Table 1)。果実収量に関しては、夏期高温期の栽培ということもあり、株当たり 300 g 以下と低い水準であった (Table 2) が、秋期~春期にかけての栽培試験では 600~700 g (10 a 当たり 6~7 t) の収量が得られている (Watanabe *et al.*, 1999)。いっぽう、こ

の栽培方式の大きな問題点は、高温期の栽培で裂果が発生しやすいことにある (Yamashita and Hayashi, 1994)。本試験においても非常に高頻度で裂果が発生した (Fig. 6)。裂果が発生しやすい原因については今後検討を要するが、後述するように、収穫期直前に高濃度排水を施用し塩ストレスを付与することで、ほぼ完全に裂果の発生を抑制することができた。

2. 排水を再利用する閉鎖型養液管理

閉鎖型の養液管理にはいくつかの手法が考えられるが、本試験では Nakashima *et al.* (1994) の提唱した養液管理方式の実証を試みた。すなわち、基本的には掛け流し方式であるが、排水は地下タンクに貯留し、果実肥大期に濃縮液として再施用し、トマト植物体に全量を吸収させることで系外への廃液を皆無にするとの考えである。「保水シート耕」システム (Fig. 1) から発生する排水は、いわゆる使用済みの廃液とはやや異なり、新たに給液された培養液とコンテナ内貯留液が混合され、余剰部分がオーバーフローして排出されたものである。貯留タンク内の排水 EC が、新鮮液とほぼ同じ 1.2 dS/m に維持された一因はここにあると考えられる。今回の試験では、コンテナへの給液量の平均 27% が余剰液として排出され、生育期間中の総排水量は 1 個体当たり 3~4 L に上った。栽植本数から単純計算すれば、10 a 当たり 30~40 t の余剰液が排出されることになる。

しかしながら、設置すべき貯留タンクのサイズを考えると、排水量は極力少ないことが望ましい。本試験では将来的に移動コンテナシステムとすることを想定して、多数の独立したプラスチックコンテナを栽培単位とした。そのため、給液制御用の水位センサーをどのコンテナに設置するかによって、給液量や排水量は大きく変化した。たとえば、トマトの生育が相対的に劣るコンテナにセンサーを設置した場合は、水分消費量が少ないため給液量が少なくなり排水量も減少したが、生育の良好なコンテナでは給液不足による萎れが発生した。逆に、生育の良好なコンテナに水位センサーを設置した場合は、給液量が多くなり、それにつれて排水量も著しく増加した。コンテナ間の生育むらを小さくすれば、こうした問題を回避できるが、現実にはある程度の生育のばらつきは避けがたい。別の方法は給液単位を大きくすることである。コンテナのような小さな単位ではなく、より大きなベッド単位で給液制御を行えば、ベッド間の必要給液量のばらつきを小さくすることは可能である。しかし、この場合には移動

コンテナシステムの構築は難しくなる。

また本試験では、排水に培養液原液を添加して EC 値を高めて「濃縮排水」を調製したが、これは便宜的な方法であり、肥料成分の使用量も必要以上に多くなる。将来的には、排水中の水分を何らかの方法により除去し、効率的に「濃縮」する技術開発を進める必要がある。これは貯留排水量の大幅な削減につながる。

今回の試験において、トマト 1 個体当たりの総排水量は 3~4 L となったが、濃縮排水の施用量は 1 個体当たり約 2.5 L と計算され、その収支は一致しなかった。これは生育途中に貯留タンクが満杯となり、貯留液の一部を栽培ベッドに給液したためである。また、果実収穫が終了した後にも貯留タンク内には濃縮排水が残存したが、栽培をさらに数日間継続することで残った全量を植物体に吸収させることができた。作物の水分消費量は気象条件によって変動するため、排水の貯留量と実際に使用する濃縮排水量を完全に一致させることは難しく、また厳密に一致させる必要もない。すなわち、栽培途中で貯留タンクから排水が溢れそうになった場合は、貯留液の一部を新鮮液の代わりに栽培ベッドに流せばよい。培養液が植物病原菌で汚染されていない限り、新鮮液とほぼ同じ EC 値を持つ排水を給液しても、トマトの生育に目立った影響は表れない。栽培終了時に濃縮排水がタンク内に余った場合は、今回のように栽培を延長してすべて吸収させる以外に、次作に持ち越すこともできる。このように柔軟に考えれば、廃液を一切系外に出さない閉鎖型養液栽培は比較的容易に達成できる。残された問題は、肥料成分を蓄積した作物残さの処分方法であるが、これについては今後の課題としたい。

3. 濃縮排水の施用による裂果の防止

トマト栽培においては、かん水を制限することにより果実の糖度や酸度が増し、果実品質が向上することが知られている (Mitchell *et al.*, 1991; Muramatsu, 1992)。塩分を含む水の施用も同様な効果を示し、それはサリニティー (Salinity) とよばれている (Shalhevet and Yaron, 1973; Mizrahi, 1982; Adams, 1991)。しかし、これらの栽培方法は果実品質の向上に有効な反面、果実の小型化や収量の低下あるいは尻腐れ果の多発といったマイナス面も持っている (Adams and Ho, 1989; Willumsen *et al.*, 1996)。かん水制限と塩水の施用はトマト果実品質に類似した効果を与えるが、両者に共通する作用として果実への水分流入量の低下が指摘されている。すなわち、水ストレスや培地浸透が

テンシャルの低下により根の吸水低下が生じ、その結果、果実への水流入が抑制されるため、相対的に果実内の溶質濃度が高まる反面、果実新鮮重は低下するとの考えである (Ehret and Ho, 1986; Ho *et al.*, 1987)。また、トマト果実の尻腐れ症状は、果実肥大初期に起こる組織内の Ca 欠乏が原因とされている (El-Gizawy and Adams, 1986; Wada *et al.*, 1996)。植物根による Ca 吸収は水吸収にともなって生ずる非代謝的過程 (Moore *et al.*, 1961) のため、水ストレス処理による吸水阻害にともなって Ca 吸収も制限され、その結果として尻腐れが多発するものと推定される。

以上の知見から、水や塩ストレスによる果実高品質化処理は必然的に収量低下を招くが、その程度は処理時期により異なること、また、処理時期を選ぶことにより尻腐れ果の発生を抑制できること等が予想される。しかし、通常の長段トマト栽培では、发育段階の異なる複数の果房が存在するため、特定ステージの果実だけを処理対象とすることはできない。また、極端な果実高品質化処理は、尻腐れ果等の多発をもたらすだけでなく樹勢自体を低下させ、その後の生長に悪影響を与える。こうしたマイナス要因の発生を最小限に抑えながら果実の高品質化を図るには、非常に高度な栽培技術が要求される。いっぽう、一段栽培では第1果房しか存在しないため、特定の发育段階の果実を対象にしたピンポイント的な処理を加えることができる。また、第1果房収穫後は栽培を終了するため、植物体の生理機能への影響をさほど考慮せずに強度の水ストレス処理等を施すことができる。

前報 (Sakamoto *et al.*, 1997) では、このような考えに基づき、一段トマトの緑熟期と白熟期に培養液に食塩を添加して塩ストレスを与え、果実収量や品質への影響を検討した。その結果、処理時期が早まるほど果実糖度は高まったが、逆に果実重は低下した。ただし、果実乾物重には有意な影響は認められなかったことから、果実糖度の上昇は水流入の抑制による相対的な効果であることが推察された。また、いずれの時期の処理においても尻腐れの発生はほとんどみられなかった。したがって、少なくとも緑熟期まで发育が進んだ果実では、水や塩ストレス処理による尻腐れの誘発は少ないものと考えられた。本試験では塩ストレス処理として、食塩添加の代わりに栽培ベッドからの排水を高濃度化して用いたが、施用時期が収穫開始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。しかし、夏期の保水シート耕栽培

で頻発する裂果が、濃縮排水の施用によりほぼ完全に抑制できた (Fig. 6)。トマトの裂果発生機構は複雑であるが、直接的な原因は果実への水流入量が増加し、膨圧が高まることにありと考えられている (Ohta *et al.*, 1994)。濃縮排水の施用により一段トマトの根は生理的障害を受け、呼吸活性が低下するとともに、葉の光合成活性も阻害された (Table 3)。したがって、根の水吸収量も低下したと考えられる。Ohta *et al.* (1995) は、夜間のみ低浸透ポテンシャル培養液に移し、水吸収を抑制すると、チェリートマトの裂果発生が低下することを報告している。本試験においても、濃縮排水の施用により根からの吸水が抑制され、その結果、果実への水流入が制限され裂果が抑制されたものと考えられる。このように、水や塩ストレスによる果実糖度の上昇機構と裂果発生抑制機構は類似しており、いずれも果実への水流入の抑制が効果をもたらすものと考えられる。

本試験の結果から、保水シート耕による養液栽培と一段栽培を組み合わせるにより、廃液や廃材を出さない閉鎖型養液栽培システムが実現するとともに、濃縮排水の再施用によりトマト果実の高品質化が可能であることが示された。今後は、受光態勢の改善等による生産性の向上、効率的な苗生産技術の開発、移動ベンチ方式の導入による栽培管理の省力化・自動化等の検討を進めていく考えである。

文 献

- Adams, P. 1991. Effects of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwool. *J. Hortic. Sci.* **66**: 201-207.
- Adams, P., Ho, L. C. 1989. Effects of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes. *J. Hortic. Sci.* **64**: 725-732.
- 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**: 37-43.
- 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.
- 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 140-156.
- Itagi, T. (板本利隆) 1996a. Introduction and development of hydroponics (養液栽培の導入と発展). 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 2-12.
- Itagi, T. (板本利隆) 1996b. New trends in hydroponics (養液栽培の新しい展開). 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.
- 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.
- Mitchell, J. P., Shennan, C., Grattan, S. R., May, D.M. 1991. Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **116**: 215-221.
- Mizrahi, Y. 1982. Effect of salinity on tomato fruit ripening. *Plant Physiol.* **69**: 966-970.
- Moore, D. P., Jacobson, L., Overstreet, R. 1961. Uptake of calcium by excised barley roots. *Plant Physiol.* **36**: 53-57.
- Muramatsu, Y. (村松安男) 1992. Cultivation of Tomato with High Quality and High Brix (高品質・高糖度のトマトづくり). (Japanese text) Nosangyoson Bunka Kyokai (農山漁村文化協会), Tokyo, pp 175.
- Nakashima, T., Sato, K., Shima, Y. 1994. Studies on closed hydroponic system in single-truss tomato. (Japanese text with English title) *Rep. Tokai Branch Soc. Agric. Meteorol. Jpn. (農気東海誌)* **52**: 27-30.
- Ohta, K., Hasegawa, R., Hosoki, T. 1995. Control of fruit cracking by treatment of low osmotic potential solution in hydroponically cultured cherry tomato. *Environ. Control. in Biol.* **33**: 297-298.
- 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. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* **62**: 811-816.
- Okano, K. (岡野邦夫) 1997. Disposal and utilization of drain age and waste medium from soilless culture (廃液・培地処理と有効利用). In "Handbook of Protected Cultivation" (施設園芸ハンドブック). (Japanese text) Horticultural Information Center (園芸情報センター), Tokyo, p 425-428.
- Okano, K., Matsuo, K. 1994. Winter-depression of photosynthesis in tea plants with special reference to cultivar and leaf age. (Japanese text with English abstract) *Jpn. J. Crop Sci.* **63**: 240-246.
- Okano, K., Omae, H. 1996. Quantitative estimation of physiological functions of various roots with different diameter in the root system of the tea tree. (Japanese text with English abstract) *Jpn. J. Crop Sci.* **65**: 605-611.
- Sakamoto, Y., Watanabe, S., Okano, K. 1997. Salinity rises fruit quality of single-truss tomato. (Japanese text) *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* **66** (Suppl. 2): 344-345.
- Sasaki, K. 1991. Establishment of a year-round tomato production by topping at the second truss stage using NFT. (Japanese text with English abstract) *Environ. Control in Biol.* **29**: 117-126.
- Shalhevet, J., Yaron, B. 1973. Effect of soil and water salinity on tomato growth. *Plant Soil* **39**: 285-292.
- 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. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* **65**: 553-558.
- Watanabe, S., Sakamoto, Y., Nakashima, T., Okano, K. 1999. Varietal characteristics suitable for the cultivation of single-truss tomato in hydroponics. *Bull. Natl. Res. Inst. Veg. Orn. Plants Tea Jpn., Ser. A, No.13*: 1-11.
- Willumsen, J., Pertersen, K. K., Kaack, K. 1996. Yield and blossom-end-rot of tomato as affected by salinity and cation activity ratios in the root zone. *J. Hortic. Sci.* **71**: 81-98.
- Yamasaki, K. (山崎肯哉) 1986. Development and future direction of hydroponics (養液栽培技術の発展経過と今後の方向). (Japanese text) *Agric. Hortic. (農業及び園芸)* **61**: 107-114.
- 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.
- Yamashita, F., Hayashi, G. 1995. Studies on the year-round production system of tomato in water culture. III. Effects of the differences in culture materials of rooting zone. (Japanese text with English abstract) *Res. Bull. Aichi. Agric. Res. Cent.* **27**: 193-198.