

毛管給液を併用したトマトの閉鎖型養液栽培に関する研究

石原良行

目次

| | |
|--------------------------------------|----|
| 第1章 序論 | 1 |
| 第2章 毛管給液を併用した閉鎖型養液栽培システム | 4 |
| 第3章 毛管給液を併用したトマトの閉鎖型養液栽培における培養液組成の開発 | 7 |
| 第1節 培地内溶液濃度およびみかけの成分吸収濃度の推移 | 7 |
| I 緒言 | 7 |
| II 材料および方法 | 7 |
| III 結果 | 8 |
| IV 考察 | 10 |
| 第2節 開発した培養液組成が培地内溶液濃度および収量に及ぼす影響 | 10 |
| I 緒言 | 10 |
| II 材料および方法 | 10 |
| III 結果 | 11 |
| IV 考察 | 11 |
| 第3節 開発した培養液組成が成分吸収濃度に及ぼす影響 | 13 |
| I 緒言 | 13 |
| II 材料および方法 | 13 |
| III 結果 | 14 |
| IV 考察 | 16 |
| 第4節 まとめ | 19 |
| 第4章 毛管給液を併用したトマトの閉鎖型養液栽培における給液法の確立 | 20 |
| 第1節 培地上部給液量が溶液濃度および収量に及ぼす影響 | 20 |
| I 緒言 | 20 |
| II 材料および方法 | 20 |
| III 結果 | 21 |
| IV 考察 | 23 |
| 第2節 毛管吸水槽給液の有無が溶液濃度および収量に及ぼす影響 | 24 |
| I 緒言 | 24 |
| II 材料および方法 | 24 |
| III 結果 | 24 |
| IV 考察 | 26 |
| 第3節 まとめ | 27 |

| | | |
|-----|------------------------------|----|
| 第5章 | トマト促成長期栽培における培養液濃度管理法の確立 | 28 |
| I | 緒言 | 28 |
| II | 材料および方法 | 28 |
| III | 結果 | 29 |
| IV | 考察 | 32 |
| V | まとめ | 33 |
| 第6章 | スギ樹皮培地の連用と培地の理化学性およびトマト収量の関係 | 34 |
| I | 緒言 | 34 |
| II | 材料および方法 | 34 |
| III | 結果 | 35 |
| IV | 考察 | 38 |
| V | まとめ | 39 |
| 第7章 | 総合考察 | 40 |
| | 総合要旨 | 45 |
| | 要旨 | 46 |
| | 謝辞 | 48 |
| | 引用文献 | 49 |
| | Summary | 53 |

第1章 序論

全国における野菜の養液栽培設置面積は1,298haであり、野菜施設設置面積に占める割合は約3.6%と小さい（農林水産省農産園芸局，2007）。しかし、施設野菜作付面積や施設設置面積がほぼ横ばいで推移している中で養液栽培設置面積は増加している。品目別ではトマト、イチゴで伸びが著しい。

栃木県の野菜の養液栽培面積は2005年には約54.1haに達し、施設設置面積に対する割合は全国平均とほぼ同等の3.3%となっている（栃木県農務部，2006）。品目別ではトマトが最も大きく養液栽培全体の54.9%、次いでイチゴが34.8%となり、この2品目で約9割を占める。トマトの養液栽培面積は1975年までは0.3haとわずかであったが、1976年から1980年の5年間に水耕を中心に約2.7ha導入され（君島・小口，1991）、この時期が栃木県における養液栽培の導入期と考えられる。しかし、水耕の導入は1981年以降にはほとんどなくなり、1983年からは水耕と土耕の中間的性格をもつロックウール耕（安井，1986）が導入され、生産の画期的な向上を図る新栽培技術として、現地でも給液管理法などの検討が積極的に行われた（栃木県経済連，1986）。ロックウール耕は1988年前後には毎年0.5～1haずつ増加しており、1995年には補助事業を活用し約4.5ha導入されるなど、順調に増加を続け、今では26.6ha、トマト養液栽培の89.7%を占めている。養液栽培の導入は高品質・多収、土壌病害や塩類集積など連作障害の回避、かん水・施肥の省力化、作業環境の快適化が目的とされ、近年では経営の規模拡大や企業化、生産の周年化が図れる技術としても評価されている。現在、栃木県内でトマト経営面積が1haを超える法人および個別経営体は9経営体あり、このうち6経営体で養液栽培を取り入れ周年栽培が行われている。

野菜の養液栽培は全国的にみてもロックウール耕の占める割合が大きいですが、養液栽培システムには多くの方式がある。まず、固形培地の有無により、培地を使用しない水耕および噴霧耕と培地を使用する固形培地耕に大別され、水耕には湛液水耕、NFT等があり、固形培地耕では培地の素材により無機培地耕ならびに有機培地耕に分けられる（池田，2003）。無機培地には砂、れきなど、有機培地にはピートモス、おがくず、バークなどがある。さらに、養液栽培は培養液の供給方式によっても分類され、培養液を廃棄せずに栽培する閉鎖型、給液量の一定割合を廃棄する非閉鎖型に分けられる。閉鎖型は培養液を循環して使用する循環方式（板木，1986）と、毛管水

耕（丸山ら，1998；Shinoharaら，1993；山崎，1987）、パンプ水耕（小野ら，1993）や保水シート耕（岡野ら，1999）のように与えた培養液を循環させずに使用する非循環方式がある。一般的なロックウール耕では、給液された培養液は培地を通過後余剰液となり、循環することなく廃棄されていることから、非閉鎖型・非循環方式に分類できる（以下、かけ流し式ロックウール耕という）。

ロックウール耕で使用されるロックウール培地は、鉍滓や輝緑岩などを原料にして、これに石灰岩やコークスを混ぜ、高温で溶かして繊維状にし、これを圧縮してフェノールで固め、吸湿性を持たせたもので、緩衝能はほとんどなく、保水力が高く水は作物が吸収しやすい状態にあるなど培地としての理化学性は優れている（池田，2003）。しかし、このような特徴を有する反面、取り扱いにおいて人体への害の影響や難分解性の特性から使用後の培地処理の困難さが指摘されている。現地では、ロックウール培地の耐用年数は5年程度とされている。この5年間に使用済みとなり排出されるロックウール量は、育苗用ロックウールキューブを含めて約 $16\text{m}^3 \cdot 10\text{a}^{-1}$ と試算される。これら使用済みロックウール培地はケイ酸肥料として水田に投入、処理されている（中林ら，1990；山崎ら，2007）。しかし、運搬や耕運などで乾燥したロックウール培地の粉塵が飛散するなど、作業員および周辺環境へ及ぼす影響が問題となる。他方、産業廃棄物またはリサイクルとして処理する方法もあるが、コスト面の問題もあり放置されているものも少なくない。このため、安全に取り扱え、生産性が高く、使用後に環境へ負荷をかけずに処理できる培地素材が求められている。このようなことから近年、ピートモス、やし殻、樹皮などを培地として利用する研究が盛んに行われるようになってきた（近乗ら，1992；遠藤ら，2006；平山ら，2000；細川ら，2001；岩尾ら，1994；岩崎・千葉，1999；松崎ら，2002；吉田ら，1996；喩・駒田，1995；植木ら，1999）。これら有機質素材は水田や畑へ還元でき、土壌の理化学性や微生物相を改善する（荒木ら，1985；藤原ら，1987）。

かけ流し式ロックウール耕では給液量の多少が培地内の水分や栄養条件に影響するため、作物の蒸散量に見合う以上の培養液が与えられ、培地を通過中に作物に吸収されなかった培養液が廃棄されている（以下、排液という）。この排液には $\text{NO}_3\text{-N}$ やPなどの肥料分が含まれており（礒崎ら，2004；加藤，2003）、浄化処理がなされないまま施設外に流出され河川や地下水へ入り込んでいく。排液はそれ自体が有害なものではないが、含まれる肥料分が地下水汚染や、河川、湖沼の富栄養化などの問

題を引き起こす。1999年2月には水質汚濁および地下水の水質汚濁に係る環境基準が改正され、硝酸性窒素および亜硝酸性窒素が環境基準項目に格上げとなり、公共用水域、地下水における両成分の合計濃度の基準値は $10\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ とされた。かけ流し式ロックウール耕が普及しているオランダでは、排液が地下水や河川の汚染に影響していることが問題となり、すべての肥料の施設外への廃棄を規制する方針が打ち出され（篠原，2003；Ruijs, 1993），循環方式による閉鎖型養液栽培システムが開発されている（Van Osら，1991）。

わが国では現在、養液栽培から廃棄される排液による環境への影響は深刻な問題となっていないが、近年の環境への関心の高まりに対応して、環境への負荷を軽減する養液栽培技術の開発は重要性を増している。農業は食料を安全に生産し、人間の健康と環境を保全する機能を有する必要がある。排液による環境負荷を軽減させるためには、排液を回収し過・殺菌後に一定量を培養液に混ぜて再び培養液として利用する、排液を別の用途に再利用する、与えた培養液を作物にすべて吸収させる（加藤，2003）等の方策が考えられる。

以上のようなトマト養液栽培の状況から、かけ流し式ロックウール耕における排液および使用済みロックウール培地による環境負荷を削減するため、ロックウールに代わる培地にスギ樹皮を用い、培養液を循環することなく作物に全て吸収させる閉鎖型・非循環式システムを開発し、「毛管給液を併用した閉鎖型養液栽培システム」（以下、本システムという）と著者が命名した。有機培地として選定したスギ樹皮は、使用後はほ場に還元できるとともに、輸入品であるピートモス、やし殻等とは異なり国内で入手できる。栃木県はスギ生産が盛んであり、地域の製材所から排出される樹皮は燃料、堆肥・土壌改良材、畜産敷料、マルチ資材として活用されている（農林水産省統計部，2007；石井・門屋，1993a）。しかし、処理に苦慮している製材所などもある。このような未利用資源となっているスギ樹皮を積極的に利用することも、環境への負荷軽減と考える。本システムの栽培槽はスギ樹皮培地を培地台に乗せることにより、栽培槽内に培養液を貯える空間を有する構造となっている。さらに、各栽培槽への培養液の供給は、培地上部ならびに栽培槽内の培養液貯留部の2か所に行える特徴をもつ。すなわち、培養液は点滴チューブにより培地上部および毛管吸引により培地底面部から作物に供給される。固形培地耕で栽培槽に培養液を貯え、毛管吸引を利用して培地下部から再利用する非循環式システムについては既にいくつか報告されている（浜渦・中村，1990；松岡ら，1997；藤堂

ら，2000；植木ら，1999）。しかし、有機培地を用いて本システムと同様な給液法をもつ閉鎖型・非循環式システムの報告は見あたらない。

閉鎖型養液栽培では培地内溶液や循環培養液の組成、濃度が施用した培養液の組成、濃度と異なるとする報告が多い（板東ら，1988；小林・時枝，2002；佐々木・板木，1978；高嶋ら，1973；山下・林，1997）。培養液処方方は数多く公表され、作物ごとに成分濃度が示されている（岡野，2001）。現地における培養液濃度管理は、ECセンサを用いて培養液濃度があらかじめ設定したEC値となるよう、井戸水に原液肥料を混入するのが一般的である。この井戸水や培養液のpHを調整する資材には養分となりうる様々なイオンが含まれているため、処方箋どおりの培養液組成、濃度にはならないことが多い。さらに、作物の養分吸収特性は種類や栽培時期、生育ステージなどで異なる（池田，1998）とされている。このため、ECを目安に培養液を循環利用する閉鎖型システムでは、循環培養液中の特定成分の濃度が低下や上昇といった不均衡を生じ、培養液の更新にともなう循環培養液の廃棄が必要になる。培養液組成の考え方の一つに、個々の作物の養水分吸収量を調査し、この特性に従い組成を決める手法があり、トマト用山崎処方がこの例にあたる（並木，1986）。山崎ら（1976）は、培養液の組成、濃度と作物の栄養吸収特性とみられるみかけの成分吸収濃度（成分吸収量/吸水量）が一致していれば、培養液濃度の変化がなくトマトの生育・果実肥大も良いと述べている。すなわち、作物の養分吸収特性と同様な組成、濃度の培養液は栽培中に変化しにくいことになる。このような考え方で開発された山崎処方は施用した培養液を作物に全て吸収させることができ、環境に負荷を与えない培養液といえる。さらに、このような培養液はECを目安とした簡易な管理ができる特徴を持つ。しかし、山崎処方でも循環培養液の組成、濃度の変化が報告されている（佐々木・板木，1978；山下・林，1997）。

近年、多量の培養液を循環利用する水耕やNFTにおいて、一定期間に作物が必要とする養分を施用する量的管理法が検討され、培養液の更新に伴う環境負荷の低減と、過剰栄養成長の抑制ができると報告されている（細井・細野，2005；中野ら，2006；Terabayashiら，2004）。この量的管理法の考え方は培地耕にも応用可能と考えられており（Phandaraら，2006），この点からも作物の生育ステージや季節などによる養水分吸収量の解明がより一層重要となる。

本論文では、トマト養液栽培において使用済み培地処理および培養液の廃棄による環境への負荷を軽減した環

環境保全型養液栽培を実現するために開発した「毛管給液を併用した閉鎖型養液栽培システム（本システム）」に適する培養液管理法を開発しようとした。まず、第2章では本システムの栽培槽の構造および培養液管理システムを詳述した。第3章ではトマトの養水分吸収量の調査等から培養液処方を開発し、培地内溶液濃度、生育、収量に及ぼす影響の解明を目指した。第4章では培地上部

ならびに栽培槽内の培養液貯留部の2か所に供給できる本システムにおける培養液の供給法の確立を目指した。第5章では10月～翌年5月にかけて収穫するトマト促成長期栽培の培養液濃度管理法の確立を目指した。第6章ではスギ樹皮培地の理化学性、生育、収量の経年変化を調査し、耐用年数ならびに連用と培養液管理について解明および確立を目指した。

第2章 毛管給液を併用した閉鎖型養液栽培システム

1. 栽培槽の構造

栽培槽（以下、ベッドという）の構造を第1図a, bに示した。凹型の発泡スチロール製枠の内壁に沿って不透水シートを敷き、その上にベッド内に培養液を貯える空間を作るためスギ樹皮培地を乗せる培地台を設置した。培地台上にはその両端から培養液貯留部（以下、毛管吸水槽という）に垂れるように毛管吸引力の強い吸水シート（ラブマットU, ユニチカ）を敷き、その上に不透根シートで包まれたスギ樹皮培地を置いた。培地台には培地加温用の温湯管を通す溝がある。培地上部には点滴チューブを敷設し、その下に点滴チューブから給液された培養液を培地上に拡散させるための不織布（吸水シートと同一資材）を敷いた。

ベッドの一方の端には毛管吸水槽への給液を制御するための水位センサならびに排水用パイプを設置するためのスペースを設けた。なお、毛管吸水槽内の培養液の水位の変更が可能となるように、排水用パイプは上下にスライドできるようにした。

本研究で供試したスギ樹皮培地は、スギ樹皮にヒノキ樹皮が数%混合されたもので、栃木県鹿沼市にある栗野森林組合で作製された。1個の大きさは幅20cm, 長さ40cm, 厚さ7cm程度で、成型化されている。

2. 培養液管理システム

試作した給液装置の概要を第1図cに示した。給液装置は制御盤、原液タンク、ECセンサ、送液ポンプ、毛管吸水槽用培養液タンクおよび水位センサ、電磁弁、日射センサ等で構成される。

本システムの給液の流れは次のとおりである。培地上部への給液管理における設定項目は、培養液の濃度（EC）、給液時刻、1回当たりの給液量の3項目で、これらの設定値を制御盤からマイコンに入力する。給液時刻になると原液が井戸水に混合され、設定したEC値の培養液が作成される。培養液は培地上部に敷設した点滴チューブから与えられる。

次に、毛管吸水槽については、培養液の濃度（EC）、給液許可時間、給液許可時間内の最低日射量を設定項目とし、培地上部給液と同様に制御盤に設定値を入力する。同時に、毛管吸水槽の培養液水位レベルをベッドに設置してある水位センサで設定する。この時、排液用パイプの上端は、設定した培養液面よりわずかに高く、かつ培

地下面より低い位置に調節する。設定したEC値の培養液は毛管吸水槽用培養液タンクに作成される。毛管吸水槽には、①給液許可時間内で、②設定値以上の日射があり、③毛管吸水槽の培養液面が水位センサの設定位置より低いという3つの条件が満たされた時、毛管吸水槽用培養液タンクおよび各ベッドごとに設置してある電磁弁が開き、設定した培養液水位レベルまで毛管吸水槽用培養液タンクから培養液が供給される。このように、各ベッドごとに毛管吸水槽への給液量が管理できることにより、各ベッドの毛管吸水槽の水位の不均衡が解消できる。設定した水位レベルまで給液されたとき、給液中に給液許可時間が終了したとき、あるいは日射量が設定値を下回ったときは、電磁弁が閉まり給液が終了または中止される。なお、毛管吸水槽用培養液タンクをベッドより約1m高い場所に置くことで、ポンプを利用しなくても毛管吸水槽に給液できる。

3. 本システムの特徴

本システムは1999年12月20日に特許出願され、2003年4月に登録となった（石原・木村, 1999）。本システムは有機培地を用いた固形培地耕、閉鎖型・非循環式養液栽培に分類される。培養液は点滴チューブにより培地上部、吸水シートの毛管現象により毛管吸水槽から培地下部に吸引される。このように培地上部および培地下部から培養液が作物に供給されることにより、培地内溶液濃度の変化を抑制できると考えられる（市村, 1999）。しかもこの2つの給液は培養液濃度、給液量をそれぞれ独立して設定できる。すなわち、1つのベッドに対して2つの給液システムを有することに加えて、毛管吸水槽への給液は各ベッドごとに管理できる。このような給液システムの開発により、各ベッドの作物の生育ステージ、環境条件などに適応した培養液管理が可能となる。さらに、毛管吸水槽を設けることで作物の蒸散量に対してリアルタイムで培養液の給液ができる（松岡ら, 1997）。また、曇雨天等で培地給液量が作物の蒸散量より多くなっても、培地を通過した培養液は毛管吸水槽に貯えられ再利用できる。この毛管吸水槽は1株当たり約4 Lの培養液が貯えられ、停電などの障害があっても2日間程度は電源がなくても培養液の供給が可能となる。培養液を通じて伝搬する病害に対しては、非循環方式により培養液の移動は閉鎖された1つのベッドに限られ、さらにベッド長をできるだけ短くすることで循環方式に比べ病害の発生、拡大は抑制できる。

本システムの単位面積当たりの装置・資材および設置・工事に要する費用は、かけ流し式ロックウール耕の

112%, 殺菌装置を備えた循環式ロックウール耕の94%と試算されている。今後実用化を図るためには、導入コストの低減に向けて自動給液装置、ベッドの材質や培地台の形状、吸水シート等の資材の検討が必要である。なお、毛管吸水槽の水位制御用の三局電極に代わる電源を必要としない簡易な水位制御装置として、「流量制御機構および該機構を備えた植物栽培装置」を既に開発している(石原ら, 2003)。

4. 本システムの試作

第1図に示した本システムを試作し、栃木県農業試験場内の硬質フィルムおよびガラスを展張したフェンロー型施設に設置した。本研究の第3章から第6章の実験はこの施設で実施した。

5. まとめ

トマト養液栽培における使用済み培地処理および培養液廃棄による環境への負荷軽減を図るため、培地に有機質素材を用い培養液を循環することなく作物に全て吸収させる閉鎖型・非循環方式の「毛管給液を併用した閉鎖

型養液栽培システム」を開発し、栃木県農業試験場内のフェンロー型施設に設置した。本システムの特徴は以下のとおりである。

①栽培槽(ベッド)

培地にはスギ樹皮を用いた。ベッド内に培養液を貯える毛管吸水槽を確保するため、スギ樹皮培地を乗せる培地台を設置した。培地台上から毛管吸水槽に吸水シートを垂らし、培養液を毛管吸引できる構造とした。

②培養液管理システム

給液装置は制御盤、原液タンク、ECセンサ、送液ポンプ、毛管吸水槽用培養液タンクおよび水位センサ、電磁弁、日射センサ等で構成される。培地上部への給液はタイマで制御され、点滴チューブにより給液される。毛管吸水槽への給液は水位センサで制御され、施用培養液、培地上部給液により培地を通過した培養液が貯えられる。毛管吸水槽に貯えられた培養液は吸水シートの毛管吸引により培地底面から作物に供給される。培地上部への給液と毛管吸水槽への給液は培養液濃度、量をそれぞれ独立して制御できる。

第3章 毛管給液を併用したトマトの閉鎖型養液栽培における培養液組成の開発

野菜の養液栽培はロックウール耕が占める割合が高く、そのほとんどはかけ流し方式である。かけ流し式ロックウール耕では、供給された培養液のうち作物に吸収されずに栽培ベッドから排出される余剰液は、排液として肥料分を含んだまま施設外に排出される。この排液が地下水汚染や河川等の富栄養化を招くことが問題となる。また、肥料コストを高める要因にもなっている。磯崎ら（2004）はかけ流し式ロックウール耕でトマトを栽培し、10a当たり304m³の給液量の37.9%が排液となり、排液中にはNO₃-Nを7.1kg含むほか、P、Kなどの成分も含まれることを報告している。石原ら（2000）はトマトのロックウール耕における一般的な促成長期栽培（本圃期間が9/10～7/23）で、排液率（=排液量/給液量×100）を8.3～39.5%とすると、排液量は10a当たり37～396m³になるとし、排液率が上昇すると多量の排液が出されることになる。環境保全への関心が高まる中にあることは、養液栽培においても排液を全く出さない閉鎖型のシステムおよびその培養液管理技術の開発が求められる。

第2章に示した本システムは、ロックウールに代わる培地としてほ場に還元可能なスギ樹皮を用い（相崎，1996），培養液を循環することなく作物に吸収させる閉鎖型・非循環方式の養液栽培システムである。本システムではベッドに培養液が貯留できる毛管吸水槽を設け培養液が毛管吸引により毛管吸水槽から培地下部に供給される。もう一方では、培地上部に敷設した点滴チューブから培地上部に給液できることを特徴としている。

本システムの培地内溶液濃度の推移や収量性などを明らかにするために、現地のかけ流し方式に準ずる培養液管理で予備実験を行った。その結果、培地内溶液のP、K濃度はかけ流し方式より低く推移する一方で、NO₃-N、Ca、Mg、S濃度は施用した培養液の数倍から十数倍に高まり、栽培途中で培地内溶液を洗い流す必要が認められた。また、かけ流し方式より収量が少なく、販売できない尻腐れ果の割合が高かった。このように、本システムにおいても培地内溶液の組成、濃度は施用培養液の組成、濃度と異なり、成分ごとに変化が生じ不均衡になっていることが認められ、このような変化が収量や品質に影響を及ぼすことが推察された。これらのことから、本システムの実用化を図るためには、トマトの養分吸収特性に見合った培養液組成、濃度について明らかにする必

要性を認めた。しかし、有機培地を用いた閉鎖型・非循環方式において、培養液組成、濃度の違いが培地内溶液濃度、生育および収量に及ぼす影響を調べた報告はみあたらない。

そこで、第3章では培養液管理法のうち、本システムに適する培養液組成、濃度を明らかにし、新たな培養液処方の開発を目的として実験を行った。第1節では本システムとかけ流し方式の培地内溶液濃度の比較および本システムに適する培養液組成、濃度の開発について、第2節では開発した培養液処方が本システムの培地内溶液濃度、トマトの生育および収量に及ぼす影響について、第3節では開発した培養液処方の特性について検討した。

第1節 培地内溶液濃度およびみかけの成分吸収濃度

I 緒言

第1節ではまず、かけ流し方式および本システムでトマトの促成栽培を行い、培地内溶液の成分濃度の推移を調査し、本システムにおける培地内溶液濃度の変化の特徴を明らかにした。次に、かけ流し方式を用いて給液量およびその濃度、排液量およびその濃度の調査から生育ステージごとのみかけの成分吸収濃度を検討し、本システムに適する培養液の組成、濃度を考察した。

II 材料および方法

トマト品種は‘ハウス桃太郎’を供試し、2000年9月16日に粉碎したスギ樹皮を詰めた50穴セルトレイに播種した。その後、本葉4～5葉期の苗を10月19日に本システムに定植した。昼温は23℃で天窓が開くように設定し、夜温は12℃、培地温は18℃を維持した。開花は11月中旬に始まり、各果房とも4-CPA（トマトトーン100倍希釈）液で処理し、着果確認後1果房当たり4果となるよう摘果した。3月14日に第10果房上の2葉を残して摘心し、5月14日に実験を終了した。誘引は地上約2.3mの高さに設置した誘引線を利用し、つり下ろし誘引とした。定植株数は1区当たりのベッド長5.6mに28株（栽植密度約2300株・10 a¹相当）とし、2反復した。

処理区はかけ流し区と閉鎖区の2区を設けた。かけ流し区では、排液できるように排水用パイプ上端をベッドの底面まで下げた。給液は培地上部からとし、給液量の10～15%が排液されるように管理した。閉鎖区では排水用パイプ上端をベッド底面より引き上げ、培地底面よりやや低い位置とした。培地上部への給液量は、2月22日

までは0.1L/株/日、以降は0.2L/株/日とし、毛管吸水槽への給液は11月2日から実験終了まで行い、培養液面が培地底面から6cm程度低下したら2cmの距離になるまで給液するよう、水位センサで制御した。培養液には大塚ハウスA処方（岡野，2001；以下大塚A処方という）を用いて、濃度は電気伝導度で表した（以下、給液ECという）。給液ECは、栃木県におけるかけ流し式ロックウール耕の事例（石原ら，2000）に準じて第2図のとおり管理した。なお、閉鎖区では3月6日に培地内溶液濃度を下げたため、井戸水を2.5L/株かけ流した。

培地内溶液は1区当たり2か所、培地中央部に埋設したポーラスカップ（ミズツール，大起理化学工業）で採取した。それらを等量ずつ混合してサンプルとしECメーター（CM-30，TOA）でECを測定した後、0.45 μ mメンブレンフィルターでろ過し、イオンアナライザー（IA-100，TOA）で成分濃度（NO₃-N，P，K，Ca，Mg，S）を定量した。かけ流し区では給液量および排水量を調査し、それらの成分濃度を培地内溶液と同様に定量した。みかけの成分吸収濃度（以下、*n/w*という）は、以下の式（1）～（5）により算出した（山崎ら，1976）。

みかけの吸水量（L/株，以下吸水量）

$$= \text{給液量} - \text{排水量} \quad \dots \text{式 (1)}$$

みかけの吸水速度（L/株/日，以下吸水速度）

$$= \text{吸水量} / \text{前回の採取日から今回の採取日までの日数} \quad \dots \text{式 (2)}$$

みかけの成分吸収量（me/株，以下成分吸収量）

$$= \text{施用成分量} (\text{給液量} \times \text{培養液濃度}) - \text{排水中の成分量} (\text{排水量} \times \text{排水濃度}) \quad \dots \text{式 (3)}$$

みかけの成分吸収速度（me/株/日，以下成分吸収速度）

$$= \text{成分吸収量} / \text{前回の採取日から今回の採取日までの日数} \quad \dots \text{式 (4)}$$

n/w（me・L⁻¹）

$$= \text{成分吸収速度} / \text{吸水速度} \quad \dots \text{式 (5)}$$

III 結果

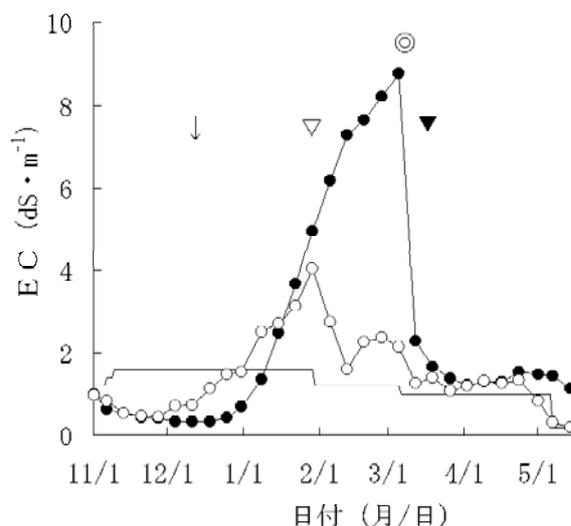
培地内溶液ECは、かけ流し区では第3果房開花期（12月10日）から収穫開始期（1月30日）まで上昇した（第2図）。その後低下したが給液ECよりやや高いEC値で推移し、5月に同程度となった。閉鎖区では1月上旬までかけ流し区より低かったが、その後急激に上昇し1月中旬にかけ流し区と同等になり、その後も上昇を続けて井戸水かけ流し（3月6日）まで高く推移した。井戸水かけ流し後はかけ流し区とほぼ同程度となった。

培地内溶液のNO₃-N，Ca，Mg濃度は培地内溶液ECに

類似した推移がみられ、1月下旬から3月上旬まで閉鎖区で高かった（第3図）。P濃度は開始時1.5me・L⁻¹程度から急激に低下し、12月中旬に約0.2me・L⁻¹となった。かけ流し区では第3果房開花期以降1me・L⁻¹前後を推移したが、閉鎖区ではほぼゼロであった。K濃度も両処理区とも急激に低下したが、第3果房開花期からは0～1me・L⁻¹で推移し、閉鎖区では1月上旬以降はほとんど0となった。S濃度は、かけ流し区では開始より1月上旬まで上昇し、3月初旬より低下する傾向があり、閉鎖区では開始より5月上旬まで高まる傾向があった。

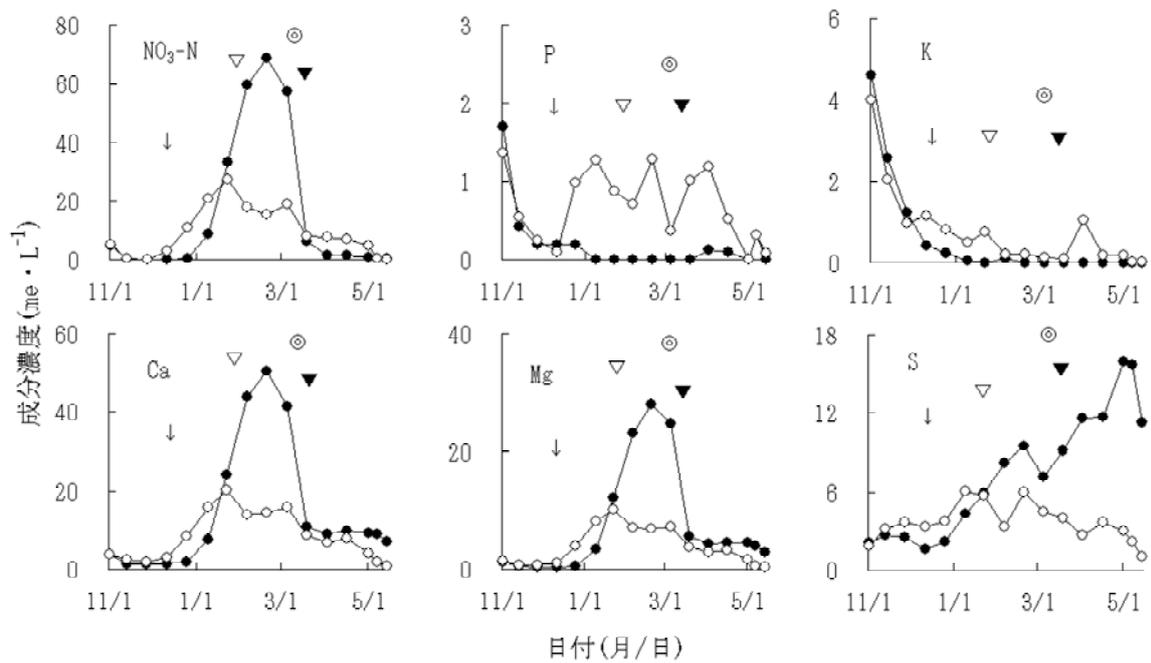
*n/w*の推移を第4図に示した。各成分とも定植後から第3果房開花期頃まで高まりその後低下傾向となったが、収穫開始期前の下旬には横ばいから一旦上昇に転じた。各成分とも収穫開始直後に一時的に低下した後上昇に転じ、3月からは収穫開始期前ほどの増減がなく推移した。生育ステージ別の平均値は第1表に示したとおりで、いずれの成分もI期，II期で高く、IV期で低い点では同様であったが、NO₃-N，Ca，MgおよびSはI期に最高で、PとKはII期に最高となった。

材料および方法で述べた計算式より導き出した排水量およびNO₃-N排出量は、かけ流し区では10a当たりそれぞれ51.5m³，6.9kgであったが、閉鎖区では井戸水かけ流しを行ったときの2.3m³，0.5kgのみであった。



第2図 給液ECおよび培地内溶液ECの推移

○：かけ流し区培地内溶液，●：閉鎖区培地内溶液，—：給液EC
↓は第3果房開花期，▽は収穫開始期，▼は摘心期を示す
◎は閉鎖区に井戸水をかけ流した日（3月6日）を示す

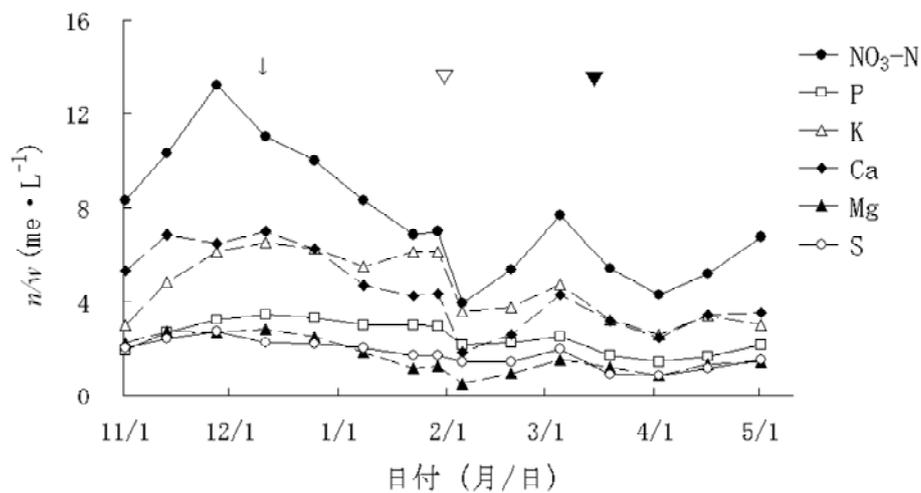


第3図 培地内溶液の成分濃度の推移

○：かけ流し区，●：閉鎖区

↓は第3果房開花期，▽は収穫開始期，▼は摘心期を示す

◎は閉鎖区に井戸水をかけ流した日(3月6日)を示す



第4図 みかけの成分吸収濃度(n/w)の推移

↓は第3花房開花期，▽は収穫開始期，▼は摘心期を示す

第1表 生育ステージ別みかけの成分吸収濃度 (me · L⁻¹)

| 生育ステージ | NO ₃ -N | P | K | Ca | Mg | S |
|--------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| I期(定植～第3果房開花期) | 10.8 | 2.9 | 5.2 | 6.5 | 2.6 | 2.4 |
| II期(第3果房開花期～収穫開始期) | 8.2 | 3.1 | 6.0 | 5.0 | 1.8 | 1.9 |
| III期(収穫開始期～摘心期) | 5.8 | 2.2 | 3.9 | 3.2 | 1.1 | 1.4 |
| IV期(摘心期～栽培終了) | 5.5 | 1.8 | 3.0 | 3.1 | 1.2 | 1.2 |
| 平均 ² | 6.3 | 2.2 | 4.0 | 3.7 | 1.4 | 1.5 |

²定植～栽培終了までのみかけの成分吸収量/みかけの吸水量

IV 考察

みかけの成分吸収濃度 (n/w) の平均値は, NO₃-Nを 7.0me · L⁻¹とすると, P : K : Ca : Mg = 2.4 : 4.4 : 4.1 : 1.5me · L⁻¹となる. 水耕栽培で測定した山崎ら (1976) と本実験の値を比較すると, 本実験でP, K, Ca濃度が高く, Mg濃度が低い. 梶田ら (1989) の値と比べると, P, K濃度が低く, Ca, Mg濃度が高い. また, かけ流し式と比較した本システム (閉鎖区) の特徴として, 上昇した培地内溶液濃度は低下しにくいこと, 培地内溶液の Ca, Mg, S濃度が高まりやすいことが明らかとなった. 培養液中の各成分の好適濃度は養液栽培の方法などによっても異なる (並木, 1986) とされており, 本システムの培養液組成の検討にあたっては, 濃度の高まりやすい Ca, Mg, S濃度を低めた方がよいと考えられた. このようなことから, 本システムではCa, Mg濃度が実験1で得られた n/w より低い梶田ら (1989) の報告を参考にし, 大塚A処方よりCa, Mg, S濃度を下げ, K濃度を高め, NO₃-N : P : K : Ca : Mg : S = 7 : 2 : 5 : 3 : 1 : 1me · L⁻¹とする組成, 濃度の培養液処方を考案した. 本論文ではこの培養液組成, 濃度を「改良処方」と称する.

次に給液ECについて, 1.6dS · m⁻¹で管理した期間の中で第3果房開花期 (12月10日) ~ 収穫開始期 (1月30日) では, かけ流し区においても培地内溶液ECが上昇しており, n/w より培養液濃度の方が高かったと推察できる. ECとNO₃-Nは高い相関が認められており (小松, 2004), 第2表に示した大塚A処方のEC値 (1.2dS · m⁻¹) とNO₃-N濃度 (7.0me · L⁻¹) の関係から, 第3果房開花期～収穫開始期の n/w の平均値 (NO₃-N 8.2me · L⁻¹) に対するEC値を算出すると1.4dS · m⁻¹程度となる. この値は, かけ流し式ロックウール栽培で好適とされる給液ECの範囲 (板東・町田, 1988; 中村ら, 1988) の下限側に位置する.

NO₃-N排出量はかけ流し区では6.9kg · 10a⁻¹で, 磯崎ら (2004) がかけ流し式ロックウール耕でトマトを9段,

約6か月間栽培した報告とほぼ一致した. 閉鎖区では 0.5kg · 10a⁻¹となり, かけ流し区に比べて明らかに低減できた. しかし, NO₃-Nを含む排水を0とするためには培地内溶液濃度の変化を小さくする給液管理法を開発する必要がある.

以上から, 本システムの培地内溶液のECならびにNO₃-N, Ca, MgおよびS濃度はかけ流し方式に比べて高まりやすく, いったん高まると低下しにくいことが明らかになった. かけ流し方式で得られた n/w と梶田ら (1989) の報告を参考に大塚A処方よりCa, Mg, S濃度を下げ, K濃度を高めた培養液組成, 濃度の改良処方を開発した.

第2節 開発した培養液処方が培地内溶液濃度および収量に及ぼす影響

I 緒言

第2節ではみかけの成分吸収濃度と梶田ら (1989) の報告を参考に作成した培養液組成が, 本システムにおける培地内溶液濃度の推移, トマトの生育および収量に及ぼす影響を促成栽培で検討した.

II 材料および方法

トマト品種は穂木に「ハウス桃太郎」, 台木に「がんばる根3号」を供試した. 2001年9月13日に播種, 10月9日に斜め合わせ接ぎを行い育苗し, 本葉4~5葉期の苗を10月22日に本システムに定植した. 栽培管理, 誘引は第1節に準じた. 3月30日に第12果房上の2葉を残して摘心し, 5月30日に全ての果実を収穫し実験を終了した. 定植株数は1区当たりのベッド長5.6mに24株 (栽植密度約 2000株 · 10a⁻¹相当) とし, 2反復した.

処理区は大塚A処方区と改良処方区の2区を設けた (第2表). なお, 大塚A処方区では大塚ハウス1号, 2号および5号, 改良処方区では5種類の単肥 (KNO₃,

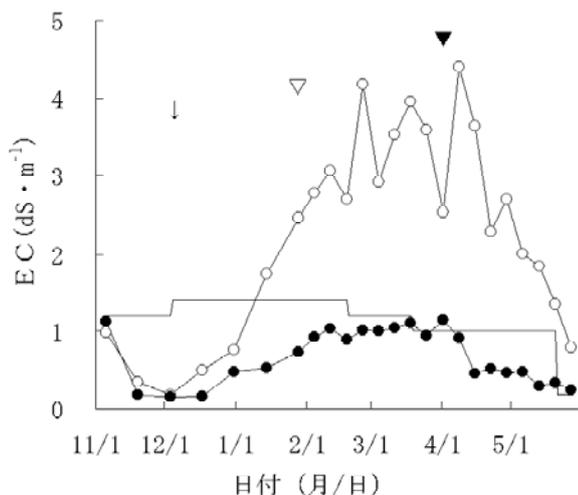
第2表 大塚A処方区と改良処方区のECおよび成分濃度

| 処理区 | EC ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) | 成分濃度 ($\text{me}\cdot\text{L}^{-1}$) ² | | | | | | |
|---------|---|---|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | $\text{NO}_3\text{-N}$ | $\text{NH}_4\text{-N}$ | P | K | Ca | Mg | S |
| 大塚A処方区 | 1.2 | 7.0 | 0.6 | 2.0 | 3.7 | 4.5 | 1.7 | 1.7 |
| 改良処方区 | 1.1 | 7.0 | 0.2 | 2.1 | 5.6 | 2.9 | 1.0 | 1.1 |
| 井戸水(参考) | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.4 | 0.4 |

² EC 1.0, 1.2, 1.4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ の培養液の成分濃度を実測し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ を7.0 $\text{me}\cdot\text{L}^{-1}$ とした時の平均の成分濃度

$\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, KH_2PO_4 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ と微量要素肥料(かんたんぴ, (株)誠和)を用いた。給液ECは第1節の n/w から算出した値を参考に第5図のとおり管理した。培地上部の給液量は定植から12月上旬が0.2L/株/日,以降12月中旬,1月上旬,2月中旬にそれぞれ0.1L/株/日増やし,2月下旬からは0.6L/株/日とした。毛管吸水槽への給液は培養液面が培地底面から6cm程度低下したら3cmの距離になるまで給液するよう,水位センサー等で制御した。

培地内溶液は第1節に準じて調査した。収量は栃木県の出荷基準により,可販果を80g以上の健全果および軽度の空どう果,窓あき果,乱形果,それ以外を非販果に分類し,果数および果重を調査した。また,奇数段果房の収穫時に果房下1cmの茎径を測定した。



第5図 培養液組成が培地内溶液ECに及ぼす影響

○:大塚A処方区培地内溶液,
●:改良処方区培地内溶液, —:給液EC
↓は第3果房開花期,▽は収穫開始期,▼は摘心期を示す

III 結果

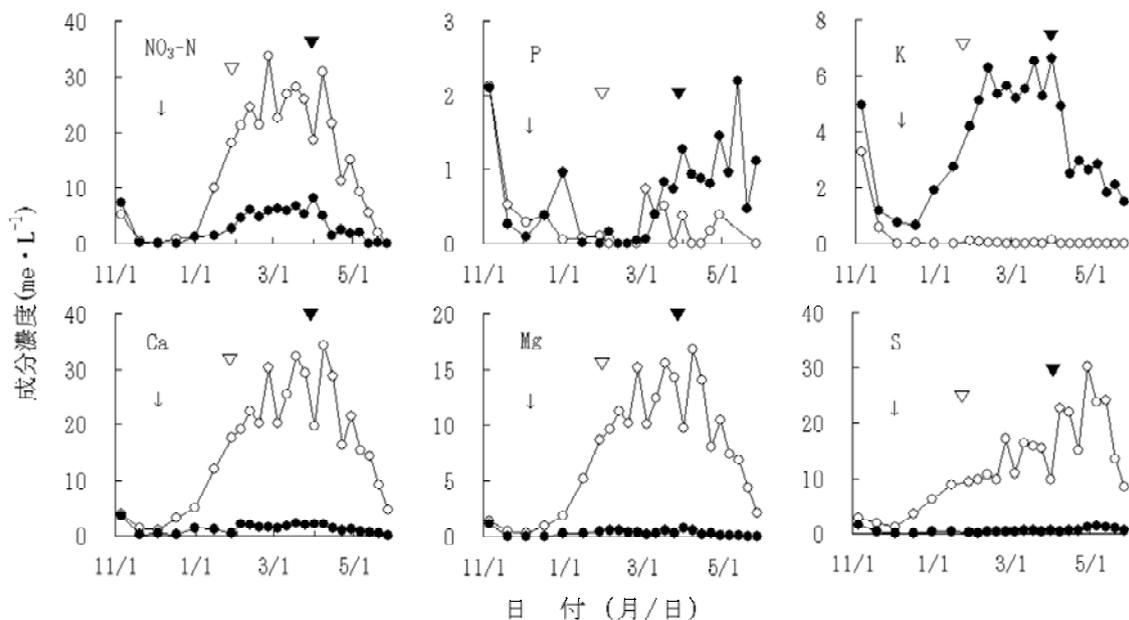
培地内溶液ECは,両区とも12月初旬まで低下した後,大塚A処方区では12月中旬から上昇に転じ,収穫開始期前から栽培終了まで給液ECより高い値であった(第5図)。改良処方区ではEC値が上昇に転じた時期は大塚A処方区よりやや遅く,その後常に大塚A処方区より低く最大でも給液ECと同程度であった。

培地内溶液の成分濃度は処理に関わらず各成分とも第3果房開花期頃まで低下した(第6図)。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は,大塚A処方区では第3果房開花期から収穫開始期に急上昇,収穫開始期から摘心期には増減があるがおおむね20 $\text{me}\cdot\text{L}^{-1}$ から30 $\text{me}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上と高く推移し,摘心期後に低下した。改良処方区では第3果房開花期から収穫開始期にやや上昇し,収穫開始期から摘心期には6 $\text{me}\cdot\text{L}^{-1}$ 前後を推移し,摘心期後に低下した。Ca, Mg濃度は大塚A処方区では $\text{NO}_3\text{-N}$ と同様な推移であったが,改良処方区ではCaは2.2 $\text{me}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下, Mgはほぼ0で推移した。P濃度は両処理区とも第3果房開花期から摘心期頃まで1 $\text{me}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下で推移し,大塚A処方区では引き続き1 $\text{me}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下,改良処方区では1 $\text{me}\cdot\text{L}^{-1}$ から2 $\text{me}\cdot\text{L}^{-1}$ で推移した。K濃度も急激に低下し大塚A処方区ではほぼ0であったが,改良処方区では第3果房開花期以降高まり収穫開始期から摘心期には6 $\text{me}\cdot\text{L}^{-1}$ 前後で推移した。S濃度は,大塚A処方区では第3果房開花期頃から摘心期以降まで高まったが,改良処方区ではほぼ0で推移した。

茎径は第5果房まで差異が認められなかったが,第7果房より上位の果房では改良処方区で太かった(第7図)。総収量,可販果収量および1果重は改良処方区で大きい傾向であった(第3表)。改良処方区では健全果率が高く,非販果率がやや低い傾向であった。

IV 考察

大塚A処方区では前節の閉鎖区と同様に,培地内溶液のECは上昇し, $\text{NO}_3\text{-N}$, Ca, MgおよびS濃度は高まる傾向が認められた。しかし,改良処方区では培地内溶液



第6図 培養液組成が培地内溶液の成分濃度に及ぼす影響

○：大塚A処方区，●：改良処方区

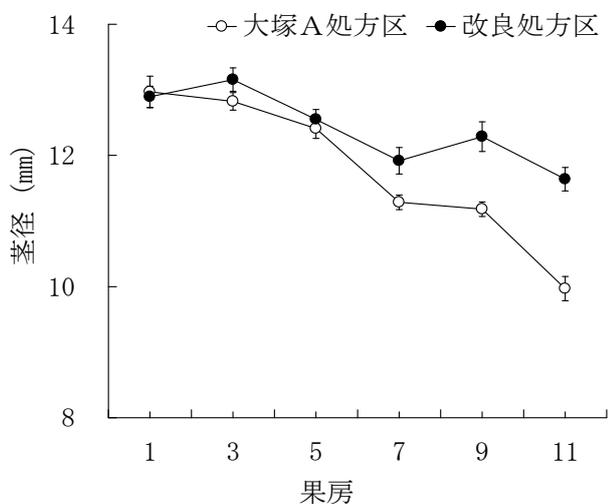
↓は第3果房開花期，▽は収穫開始期，▼は摘心期を示す

第3表 培養液組成が収量、品質に及ぼす影響

| 処理区 | 総収量 (t · 10 a ⁻¹) | 可販果収量 (t · 10 a ⁻¹) | 1果重 (g) | 品質別果数割合 (%) | | | |
|--------|----------------------------------|------------------------------------|------------|-------------|-----|----------------|-----------------|
| | | | | 健全 | 空どう | 他 ^z | 非販 ^y |
| 大塚A処方区 | 17.8 | 16.3 | 187 | 69 | 9 | 14 | 8 |
| 改良処方区 | 19.2 | 18.2 | 194 | 76 | 6 | 13 | 5 |

^z販売できる軽度の空どう果，乱形果

^y小果，尻腐れ果，販売できない窓あき・空どう・乱形果等



第7図 培養液組成が茎径に及ぼす影響

図中の縦線は標準誤差を示す(n=4)

のECは大塚A処方区より低く推移し、濃度が高まる成分は認められなかった。茎径は上段果房では大塚A処方区より太く、収量は栃木県における同作型の収量水準(約12t · 10a⁻¹)を上回る18.2t · 10a⁻¹が得られた。さらに、定植から栽培終了まで約7か月間排水を出さなかった。培養液組成とトマトの収量および培地内溶液の関係について、中林・愛川(1989)はかけ流し式ロックウール耕で、園試処方よりCaおよびMgの割合が低く、Kが高い処方で培地内の成分組成が安定し収量が増加すると述べ、板東・町田(1992)は循環式ロックウール耕で、園試処方よりP、K濃度の比率を高め、Ca濃度を低くした処方で培養液組成が長期間安定し、冬作での収量が多いことを報告している。本実験でもこれらの報告のように、大塚A処方区よりKの比率を高めCa、Mgの比率を低めたことで、培地内溶液濃度を高めず、生育、収量が改善されたものとする。また、異なる培地素材(ロックウールと

スギ樹皮)であっても、培養液組成の違いが培地内溶液濃度などに及ぼす影響は同様であると思われた。しかし、有機培地は窒素の取り込み(岩崎・千葉, 1999)や連用による理化学性の変化が培地内溶液濃度に影響を及ぼすことが考えられるため、この点についてはさらに検討を要する。

改良処方区では濃度を低めたCa, Mg, Sの培地内溶液濃度はほぼ0で推移したが、生育異常や欠乏症はみられなかった。寺林ら(2004)はトマトの水耕栽培で、週単位に肥料を与える定量施与管理法によりNO₃-NおよびPを施与すると、次の施与前に0に近い値にまで減少するが生育の障害や異常はないとしている。これは、吸収速度と施与量が見合ったことによるもので、本実験でも改良処方区のCa, Mg, Sの施用分量と吸収速度がほぼ同様か後者がやや上回っていたと考えられる。しかし、培地内溶液濃度がKのように6me・L⁻¹前後で推移する場合とCa等の0付近で推移する場合で、生育、収量、品質等に及ぼす影響については、今後検討が必要である。

一方、大塚A処方区では培地内溶液の各無機成分濃度の推移は実験1の閉鎖区と同様な傾向であった。すなわち、培地内溶液のNO₃-N, Ca, MgおよびS濃度が収穫開始期前から高まり、施用培養液の濃度と大きく異なっていた。培養液の作成に当たり、改良処方区では井戸水に含まれる成分を培養液の濃度を含めたが、大塚A処方区では市販の複合肥料を蒸留水で溶かした原液を井戸水で希釈し培養液としたため、特に井戸水中のCa(1me・L⁻¹)が培養液のCa濃度を高めている。佐々木・板木(1978)は、トマトの水耕栽培でCaの割合を高めた神園処方では培養液のCa, Mg濃度が上昇することを報告している。本実験でも大塚A処方区の高いCa濃度が作物の養水分吸収に影響を及ぼし、培地内溶液のNO₃-N, Ca, Mgなどの濃度を高めたと考えられる。

以上から、培地内溶液濃度の高まりを防ぎ、変動を小さくできた改良処方区では、総収量、可販果収量、1果重、健全果割合が大塚A処方区に比べて大きく、上段果房の茎径も太かった。さらに、定植から栽培終了まで排水を出さずに栽培できることが確認されたため、有機培地を用いた本システムでは排水による環境負荷を低減できることが示された。

第3節 開発した培養液処方の組成、濃度が成分吸収濃度に及ぼす影響

I 緒言

第1節で開発した改良処方を本システムで実験した第2節では、排水を全く出すことなく約7か月間、第12果房までトマトを栽培し、栃木県の同作型より収量性が高いことを明らかにした。今後、改良処方を用いて非循環型の閉鎖型養液栽培における培養液管理法を確立するためには、改良処方の各成分の吸収特性を詳細に調査、検討する必要があると考える。第3節ではかけ流し方式でトマトを栽培し、改良処方のn/w, みかけの成分吸収速度, みかけの成分吸収量, 生育および収量について大塚A処方と比較、検討する。

II 材料および方法

トマト品種は穂木に‘ハウス桃太郎’, 台木に‘がんばる根3号’を供試した。2001年9月13日に播種, 10月9日に斜め合わせ接ぎを行い, 本葉4~5葉期の苗を10月22日に定植した。栽培および誘引管理は第1節に準じた。3月30日に第12果房上の2葉を残して摘心し, 5月30日に全ての果実を収穫した。定植株数は1区当たりのベッド長5.6mに24株(栽植密度約2000株・10a⁻¹相当)とし, 2反復した。

処理区として, 第2表に培養液組成を示した大塚A処方区と改良処方区の2区を設けた。給液ECは, 定植から12月4日まで1.2dS・m⁻¹, 以後2月18日まで1.4dS・m⁻¹, 3月19日まで1.2dS・m⁻¹, 5月23日まで1.0dS・m⁻¹とし, 5月24日から栽培終了までは井戸水とした。給液量は1回1株当たり0.1Lとして, 1日の総給液量のうち10~20%が排水されるよう日の入り2, 3時間前までに回数で調節し, その量を記録した。

排水は定植から1月28日までは2週間ごと, 以降実験終了までは1週間ごとに量を調査し回収した。培地内溶液は1区当たり2か所, 培地中央部に埋設したポーラスカップ(ミズツール, 大起理化工業)で採取し, 等量ずつ混合した。排水および培地内溶液は1区2反復としてECメーター(CM-30, TOA)でEC, pHメーター(F-21, HORIBA)でpHを測定した。その後, 反復したサンプルを等量ずつ混合, 0.45μmメンブレンフィルターでろ過し成分濃度(NO₃-N, NH₄-N, P, K, Ca, Mg, S)をイオンアナライザー(IA-100, TOA)で定量した。培養液についても同様に成分濃度を分析した。吸水量, 吸水速度, 成分吸収量, 成分吸収速度およびn/wについて第1節の材料および方法に示した式(1)~(5)により算出した。さらに(n/w)/培養液濃度比およびみかけの成分吸収率(成分吸収量/施用分量×100, 以下成分吸収率)を式(3)および(5)より算出した。

茎径および果数，収量は第2節に準じて調査した．可販果率は，可販果数/全収穫果数×100で算出した．

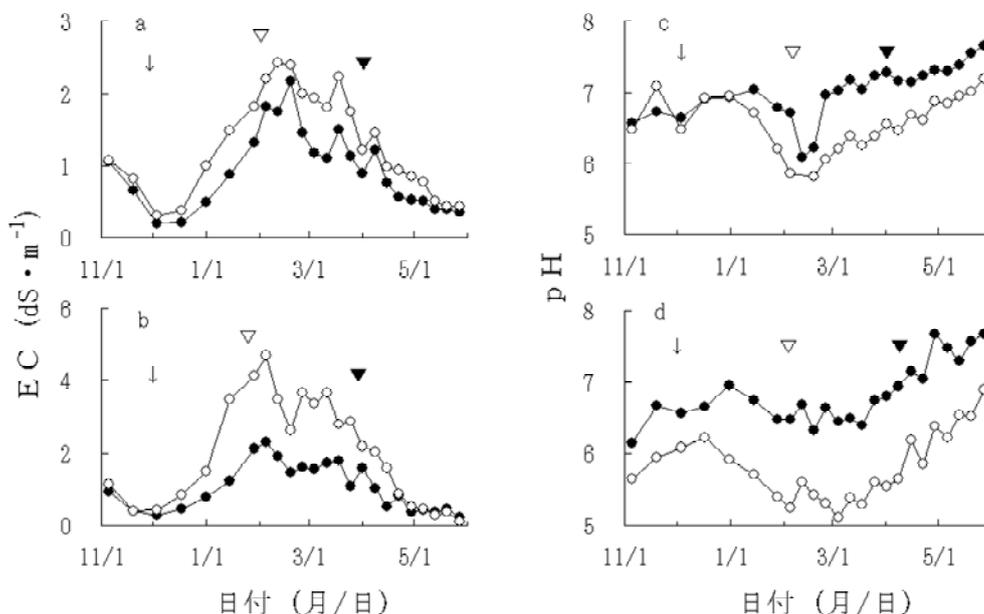
Ⅲ 結果

排液および培地内溶液のECは12月上旬（第3果房開花期）までは両区ともほぼ同様に低下したが，以後大塚A処方区より改良処方区で低く推移し，5月上中旬には再び同等となった（第8図a, b）．排液のpHは両区とも1月初旬まで上昇傾向で，その後収穫開始に向けて急激に低下，以降は栽培終了まで上昇する推移を示し，改良処方区では1月初旬以降大塚A処方区より0.3~0.9高かった（第8図c）．培地内溶液pHの推移は排液pHとはほぼ同様な傾向であったが，改良処方区ではいずれの時期でも高くその差は0.5~1.3であった（第8図d）．排液の成分濃度を第9図に示した．NO₃-N濃度は排液ECとはほぼ同様な推移で，第3果房開花期以降では改良処方区で低く推移した．P濃度は第3果房開花期から摘心期の間は改良処方でやや低く推移した．K濃度は改良処方区では第3果房開花期直後から収穫開始期まで高まりその後低下傾向となったが，大塚A処方区では第3果房開花期以降も栽

培終了まで2me・L⁻¹以下と低く推移した．Ca, Mg, S濃度は改良処方区では0に近い低い値で推移し，大塚A処方区ではNO₃-Nに類似する推移となった．培地内溶液の成分濃度の推移は各成分とも排液とほぼ同様であった（データ省略）．

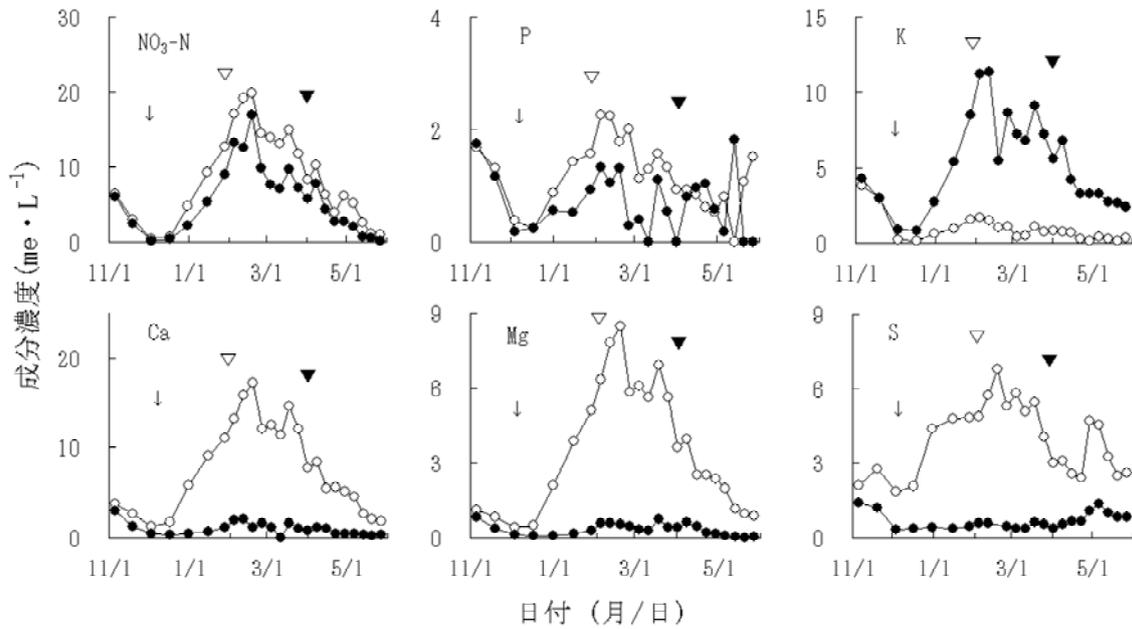
成分吸収速度を第10図に示した．NO₃-Nは1月上旬頃までは両区に大差なかったが，1月中旬（収穫開始期の約2週間前）から4月中旬（摘心期の約2週間後）頃まで大塚A処方区より改良処方区で高く，その後差が縮まりほぼ等しくなった．Pは摘心期前後に改良処方区で高かった以外は差がなかった．Kは時期に関わらず改良処方区で高かった．Ca, Mg, Sは大塚A処方区では1月上旬まで増加した後に収穫開始期以降まで減少し，2月下旬から3月上中旬に増減して4月1日に極小値をとり，以降増加傾向となった．改良処方区では3月中旬まで増加の傾向がみられ，以降減少する傾向を示した．Ca, Mg, Sは定植から収穫開始期頃までは大塚A処方区より改良処方区で低く，収穫開始期から摘心期頃では高くなり，その後再び低くなる傾向が認められた．

n/wの推移を第11図に示した．NO₃-Nは両区ともほぼ



第8図 排液および培地内溶液のEC, pHの推移

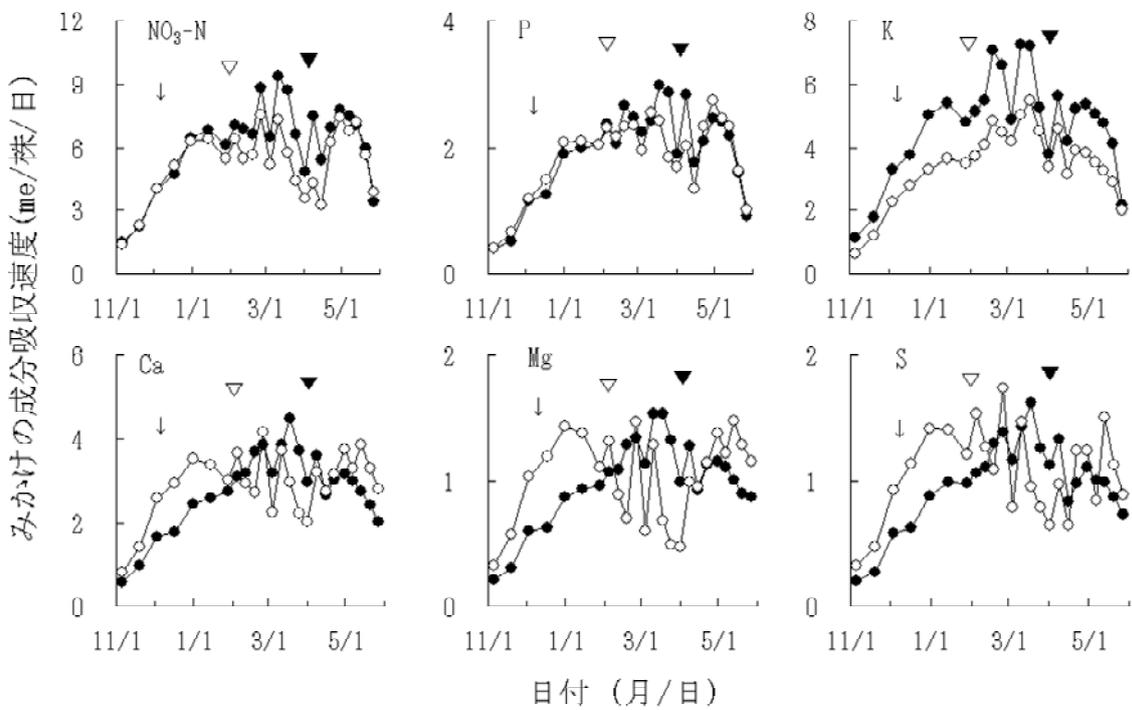
- a: 排液EC
- b: 培地内溶液EC
- c: 排液pH
- d: 培地内溶液pH
- : 大塚A処方区, ●: 改良処方区
- ↓: 第3果房開花期, ▽: 収穫開始期, ▼: 摘心期



第9図 培養液組成が排液の成分濃度に及ぼす影響

○：大塚A処方区，●：改良処方区

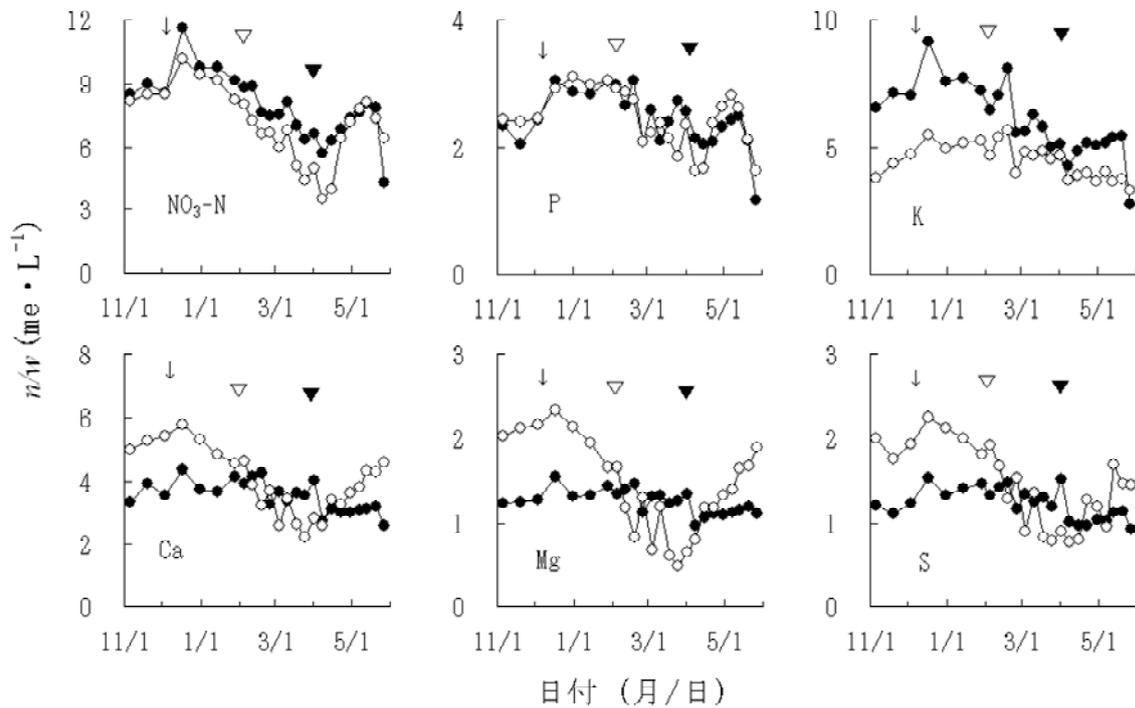
↓は第3果房開花期，▽は収穫開始期，▼は摘心期を表す



第10図 みかけの成分吸収速度の推移

○：大塚A処方区，●：改良処方区

↓：第3果房開花期，▽：収穫開始期，▼：摘心期



第11図 みかけの成分吸収濃度 (n/w) の推移

○: 大塚A処方区, ●: 改良処方区
 ↓: 第3果房開花期, ▽: 収穫開始期, ▼: 摘心期

同様な推移であったが、第3果房開花期から摘心期2週間後までは大塚A処方区より改良処方区でやや高くなり、摘心期前後にその差が大きくなった。4月下旬には差が縮まり大差なくなった後実験終了時には大きく低下した。Pは摘心期前後に改良処方区でやや高かった以外はほぼ同様であった。Kは改良処方区で高く推移し、最小値と最大値の差も大きかった。Ca, Mg, Sは大塚A処方区では第3果房開花期直後まで上昇し、さらに2月下旬と3月中旬の2回上昇した以外は摘心期直前まで低下し再び上昇した。改良処方区では、Caは $3 \sim 4 me \cdot L^{-1}$ 、MgおよびSは $1 \sim 1.5 me \cdot L^{-1}$ で推移し、大塚A処方区の最小値と最大値の差より明らかに小さかった。このように、Ca, Mg, Sは定植から収穫開始期頃までは改良処方区で低く、収穫開始後から摘心期頃までは反対に高くなり、以後再び低くなるのが認められた。

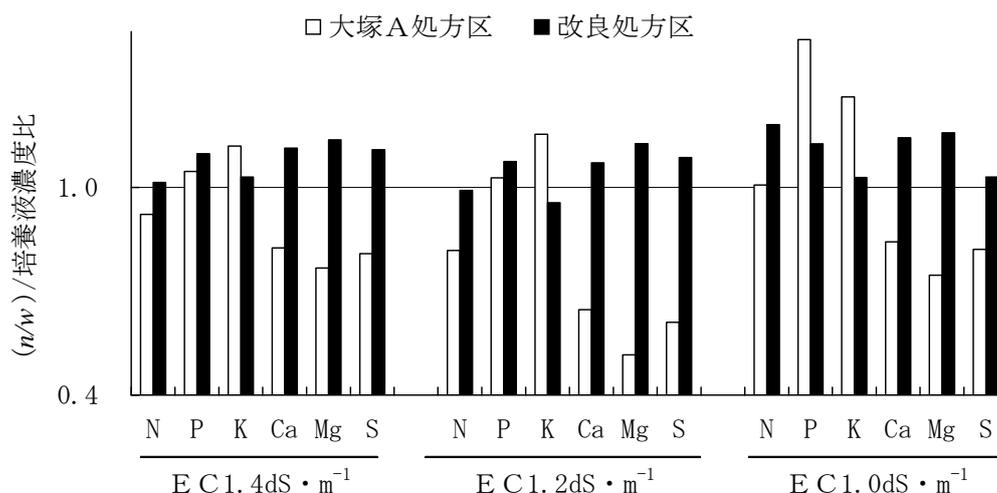
(n/w) / 培養液濃度比は、大塚A処方区では各給液ECにおいてP, Kは1を超え、他の成分は給液EC $1.0 dS \cdot m^{-1}$ のNO₃-Nを除き1を下回り、全体では0.5~1.4の範囲となった(第12図)。改良処方区で1以下であったのは給液EC $1.2 dS \cdot m^{-1}$ のNO₃-N, Kのみで、全体では1.0~1.2となり、範囲は大塚A処方区より狭かった。

吸水量、成分吸収量および成分吸収率を第4表に示した。吸水量は処理間に差が認められず、平均の排液率は大塚A処方区で17.8%、改良処方区で16.3%であった。成分吸収量はKが改良処方区で多かったが、他の成分は両区間に大差なかった。成分吸収率は大塚A処方区より改良処方区でKが低かったが、他の成分はいずれも高いか高い傾向にあった。

茎径は第5果房までは差がなかったが、第7果房から上位の果房では改良処方区で有意に太かった(第5表)。可販果収量は改良処方区で大塚A処方区に比べて、3, 4月にそれぞれ約0.4kg/株多く、合計でも0.9kg/株、約15%多くなり、可販果率も高い傾向にあった(第6表)。

IV 考察

改良処方区では、大塚A処方区に比べて培地内溶液ECは低く推移し、茎径は第7果房から上位の果房で太く、収量および可販果率は大きくなるのが明らかになった。これらのことは、閉鎖型の本システムを用いて実験した第2節で得られた結果と同様であった。そこで、改良処方区の培養液の組成、濃度の特徴について、 n/w , 成分



第12図 給液EC1.4, 1.2, 1.0dS・m⁻¹における(n/w)/培養液濃度比

NはNO₃-N, SはSO₄

給液EC1.4dS・m⁻¹は12/5~2/18, 1.2dS・m⁻¹は 2/19~3/19, 1.0dS・m⁻¹は3/20~5/23

第4表 培養液処方がみかけの吸水量, みかけの成分吸収量およびみかけの成分吸収率に及ぼす影響

| 処理区 | 給液量 (L/株) | 吸水量 ^z (L/株) | 排水率 ^y (%) | 成分吸収量(g/株) ^x | | | | | | 成分吸収率(%) ^v | | | | | |
|--------|--------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|-----|------|------|-----|------|-----------------------|----|----|----|----|----|
| | | | | NO ₃ -N ^w | P | K | Ca | Mg | S | NO ₃ -N | P | K | Ca | Mg | S |
| 大塚A処方区 | 196.4 | 161.4 | 17.8 | 15.6(17.2) | 3.9 | 27.9 | 12.4 | 2.7 | 10.9 | 78 | 91 | 96 | 69 | 62 | 62 |
| 改良処方区 | 196.2 | 164.3 | 16.3 | 17.8(18.2) | 4.0 | 38.3 | 11.3 | 2.5 | 9.6 | 88 | 95 | 86 | 95 | 95 | 91 |

^z吸水量=給液量-排水量

^y排水率=排水量/給液量×100

^x成分吸収量=施用成分量(給液量×培養液濃度)-排水中の成分量(排水量×排水濃度)

^w()内の数字はNO₃-NとNH₄-Nの合計

^v成分吸収率=(成分吸収量/施用成分量)×100

第5表 培養液処方が茎径に及ぼす影響

| 処理区 | 果房ごとの茎径(mm) | | | | | |
|------------------|-------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 |
| 大塚A処方区 | 13.1 | 12.9 | 12.5 | 11.2 | 11.1 | 10.0 |
| 改良処方区 | 13.0 | 13.1 | 12.6 | 11.9 | 12.3 | 11.6 |
| 有意性 ^z | ns | ns | ns | * | ** | * |

^znsは有意差なし, *, **はそれぞれ5%, 1%レベルで有意差ありを示す

第6表 培養液処方が可販果収量および可販果率に及ぼす影響

| 処理区 | 可販果収量(kg/株) | | | | | | 可販果率 (%) |
|--------|-------------|-----|-----|-----|-----|------------------------------|-------------|
| | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 合計 (t・10a ⁻¹) | |
| 大塚A処方区 | 0.2 | 1.2 | 1.7 | 1.7 | 2.9 | 7.7 | (15.1) |
| 改良処方区 | 0.2 | 1.2 | 2.1 | 2.1 | 3.0 | 8.6 | (17.3) |

吸収速度、成分吸収量ならびに生育、収量を大塚A処方区と比較、検討した。

トマトの n/w は生育初期に高く果実肥大期に低下し、摘心後上昇し再び低下することが報告されている(近藤, 1967; 志村ら, 1985; 鈴木ら, 1982)。大塚A処方区ではこれらの報告とほぼ同様な推移であったが、改良処方区では成分により違いが認められた。そこで、改良処方区の n/w の推移を大塚A処方区と比較してみると、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は12月中下旬(第4果房開花期)に最大値となった後に摘心期まで低下するが、大塚A処方区よりやや高く推移し最小値(4月8日)も高かった。Pの推移は両区でほぼ同様、Kは大塚A処方区より高く最大値と最小値の差が大きかった。改良処方区のCa, Mg, Sはそれぞれほぼ同じレベルで推移し、大塚A処方区にみられる低下や上昇といった変化はないことが明らかとなった。 n/w は培養液濃度の影響を最も大きく受ける(山崎ら, 1976)とされ、 (n/w) /培養液濃度比が1のとき吸収される成分濃度と培養液濃度が等しくなる(茅野, 1987)。本実験では、栽培期間中に給液ECを変えているため、給液ECごとに (n/w) /培養液濃度比を調査した。その結果、第12図に示したとおり大塚A処方区では0.5~1.4となり、濃度が高まる成分と低下する成分が混在していた。しかし、改良処方区では1.0~1.2で濃度はほぼ一定かやや低下していく傾向となり、培地内溶液濃度の推移とほぼ一致した。すなわち、大塚A処方区では培地内溶液の $\text{NO}_3\text{-N}$, Ca, Mg, S濃度が培養液濃度の数倍から十数倍に高まったが、改良処方区では2倍を超える成分はなかった。これらのことから、改良処方区の組成、濃度はトマトの養分吸収に近いと考えられた。なお、改良処方区のKについては、 n/w の変化が大塚A処方区より大きかったこと、 (n/w) /培養液濃度比が給液EC $1.2\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ の期間で1をわずかに下回ったことから、濃度を下げた検討も必要と考えられた。

成分吸収速度は、Ca, Mg, Sでは収穫開始期から摘心期まで培養液のこれらの濃度が低い改良処方区で高く、濃度がほぼ同じである $\text{NO}_3\text{-N}$ でも高く推移した。成分吸収速度は養液濃度の影響を受ける(北条, 2001)ことが報告されており、改良処方区では大塚A処方区より培地内溶液ECが低く推移したことが、 $\text{NO}_3\text{-N}$, Ca, Mg, Sの吸収速度が減少しなかった要因と考えられた。このように、同じ給液ECで管理した場合でも改良処方区の成分吸収速度は大塚A処方区より高く維持され、培地内溶液ECを高くしない組成、濃度であると考えられる。成分吸収速度と収量の関係について、Terabayashiら(2004)は、水耕でトマトの3段階摘心栽培を行い、第1果

房開花期から第3果房収穫期の $\text{NO}_3\text{-N}$, P, Kの成分吸収速度がそれぞれ50-55, 15-20, 35-40me/株/週で最大の収量を示すとしている。本実験の大塚A処方区ではそれぞれ40.0, 14.7, 27.2me/株/週となり、 $\text{NO}_3\text{-N}$ およびKは低い値であった。これに対し、改良処方区では、 $\text{NO}_3\text{-N}$, P, Kはそれぞれ47.6, 15.4, 36.9me/株/週となり、最大収量を示す吸収速度とほぼ一致する結果となった。以上から、改良処方区では大塚A処方区に比べ成分吸収速度が高く維持されたことで収量が多かったと考えられた。

成分吸収量はKを除いて両区に大差がなかったにもかかわらず、改良処方区では第7果房より上位の茎径が太かった。第7果房の開花期は1月下旬の収穫開始期頃であったので、成分吸収量を収穫開始期の前と後に分けて考察した。 $\text{NO}_3\text{-N}$ は、大塚A処方区では収穫開始期前が6.8g/株、後が8.8g/株であったのに対して、改良処方区ではそれぞれ7.0, 10.8g/株となり収穫開始期後では改良処方区で約23%多かった。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 以外の成分についても収穫開始期後の成分吸収量が改良処方区で多くなった。池田ら(1988)は、トマトの養分吸収量は乾物重の増加により増えることを報告している。本実験では乾物重は測定していないが、改良処方区では収穫開始期後の成分吸収量が多くなったため、第7果房以降の茎径が太く、収量が多かったと推察された。

培地内溶液pHは大塚A処方区より改良処方区で高く推移した。この要因として、培養液の $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ の組成比(岩崎・三枝, 2001; 森次ら, 1980; 竹内, 2000)および陽イオンと陰イオンの吸収比率の違い(位田・永井, 1978)が影響していると考えられた。培養液のpHは5.0~7.0の範囲なら生育に影響がない(並木, 1986)とされている。改良処方区の培地内溶液では4月中旬以降にpH7を超えて推移したが、pHによると思われる生育障害(位田・永井, 1978)は認められなかった。

以上のことから、改良処方区では大塚A処方区に比べて培地内溶液および排液のECが低く安定すること、成分吸収速度が収穫開始期後も維持されること、 n/w がほぼ一定のレベルで推移すること、 (n/w) /培養液濃度比が1.0~1.2となり n/w と培養液濃度がほぼ同様であることが示された。これらの特徴から、改良処方区の組成、濃度はトマトの養分吸収にほぼ一致することが示唆され、非循環式の閉鎖型養液栽培においては改良処方区が好適であると考えられた。 n/w は気温や培地温等の環境条件の影響を受け(山崎ら, 1976)、養水分吸収は品種により異なる(中野ら, 2004)ことが報告されており、今後改良処方区においてこれらの要因と養水分吸収について検討する必要がある。また、閉鎖型養液栽培システムであ

る循環方式にも改良処方区が導入できるかどうかの検討が望まれる。その際、本実験で得られた成分吸収速度、成分吸収濃度、吸水速度、吸水量の結果が活用できると考えられる。

第4節 まとめ

本システムにおける培地内溶液のECならびに $\text{NO}_3\text{-N}$ 、Ca、MgおよびS濃度はかけ流し方式に比べて高まりやすく、いったん高まると低下しにくいことが明らかになった。そこで、本システムに適する培養液処方を開発するために、かけ流し方式でトマトのみかけの成分吸収濃度等を検討し、大塚A処方より $\text{NH}_4\text{-N}$ 、Ca、Mg、S濃度を下げ、K濃度を高めた改良処方 ($\text{NO}_3\text{-N}$: $\text{NH}_4\text{-N}$: P: K: Ca: Mg: S=7.0: 0.2: 2.1: 5.6: 2.9: 1.0: 1.1 $\text{me} \cdot \text{L}^{-1}$) を開発した。

次に、開発した改良処方培養液が、培地内溶液濃度、トマトの生育および収量に及ぼす影響を本システムで大塚A処方と比較、検討した。培地内溶液のECならびに $\text{NO}_3\text{-N}$ 、Ca、MgおよびS濃度は改良処方でも低く推移した。P濃度は栽培終盤で高めに推移し、K濃度は高く推移し

たが、施用培養液濃度を超えて集積することはなかった。改良処方では上段果房の茎径が太く、収量が多い傾向であった。本システムで改良処方をういた場合、排液および $\text{NO}_3\text{-N}$ 等の肥料成分を全く排出せずにトマト1株12果房から栃木県の同作型の収量水準より多い $18.2\text{t} \cdot 10\text{a}^{-1}$ の収量が得られた。

さらに、改良処方の組成、濃度の特徴を明らかにするために、かけ流し方式で給液および排液の量ならびに濃度、培地内溶液濃度、トマトの生育および収量を調査した。改良処方では大塚A処方に比べて、培地内溶液および排液のECは低く安定しpHは同等か高く推移すること、成分吸収速度が収穫開始期後も維持されること、 n/w がほぼ一定のレベルで推移すること、 (n/w) /培養液濃度比が1.0~1.2となり n/w と培養液濃度がほぼ同様であることが示された。茎径は第7果房から上位において改良処方で有意に太く、収量ならびに可販果率の平均値が大きかった。本システム用に開発された培養液組成をかけ流し方式で検討したことにより以上のことが明らかとなり、改良処方の組成、濃度はトマトの養分吸収とほぼ一致すると考えられた。

第4章 毛管給液を併用したトマトの閉鎖型養液栽培における給液法の確立

養液栽培は培地の有無により培地耕と水耕に大別される(池田, 2003)。さらに, 培養液の供給法により閉鎖型と非閉鎖型に分けられ, 閉鎖型には培養液を循環利用する循環方式, 循環利用しない非循環方式に分類されている。このように, 培地の有無および培養液の供給法が組み合わせられて様々な方式の養液栽培装置が開発されている。このような装置の中で, 排液による環境への負荷を低減する観点から, 培地耕において毛管現象を利用する閉鎖型・非循環式システムが果菜, 花き類で報告されている(浜渦・中村, 1990; 藤堂ら, 2000; 植木ら, 1999)。これらのシステムにおける栽培ベッドでは, 培養液を貯留できる構造となっており, 毛管吸引力を持つポリエステル製不織布やロックウールなどの資材を利用し, 貯留した培養液を培地底面に供給するようになっている。このような装置の基本理念は浮き根式水耕(山崎, 1987)にあるといわれている。この培養液貯留部には培地上から給液された培養液の一部が貯留され, 循環させずに再利用することで排液を出さないメカニズムとなっている。

本システムもベッドに培養液を貯える毛管吸水槽を有することは既報のシステムと同様である。しかし, 培養液の供給法において, 既報のシステムでは培地上部からのみの給液であるのに対して, 本システムでは培地上部および毛管吸水槽の2か所に独立して供給できるという特徴をもつ。このため, 1つのベッドに対して独立した2つの給液パイプを有することになる。さらに, 毛管吸水槽内の培養液の水位をベッド底部から培地底部までの範囲で設定できる機能もある。このように, 培養液を給液する配管を2つとし, 貯留した培養液の水位を変更できるようにしたことで, 多様な給液管理法が可能となる。これまでに, 1つのベッドに対して複数の給液パイプが設置され, 培養液の供給を独立して制御できる養液栽培システムの事例はみあたらない。このため, 本システムの実用化を図る上でこの2つの給液パイプを使用する給液方法の技術的確立は重要な課題の一つとなっている。

養液栽培における環境への負荷を軽減するために開発した本システムの培養液管理法を確立するために, 第3章では培養液の組成, 濃度について検討した。そこで, 第4章では培養液管理法のうち, 培地上部および毛管吸水槽への給液方法の確立を目的として実験を行なった。第1節では培地上部への給液(以下, 培地上部給液とい

う)量について, 第2節では毛管吸水槽への給液(以下, 毛管吸水槽給液という)の有無について検討した。

第1節 培地上部給液量が培地内溶液濃度および収量に及ぼす影響

I 緒言

本システムでは培地上部からの給液量が作物の吸水量未満であれば毛管吸水槽からも吸水され, 吸水量を超えた時は培地を通過した培養液が毛管吸水槽に貯えられることになる。培地を通過した培養液が毛管吸水槽の貯留液量を超えた場合, 毛管吸水槽の端に設けられた排液パイプから廃棄されることになる。このため, 排液を出さないためには, 作物の吸水量より少ない量の培養液を培地上部から供給するような給液管理をしなければならない。このような管理とすることで, 毛管吸水槽への給液を組み合わせることが可能となる。

そこで, 第1節ではかけ流し方式の給液量を目安に, その約25%, 50%を培地上部給液量とする管理が, 培地内および毛管吸水槽内の溶液濃度, トマトの生育および収量に及ぼす影響を検討した。

II 材料および方法

トマト品種は穂木に‘ハウス桃太郎’, 台木に‘がんばる根3号’を用いた。播種は穂木, 台木とも2001年9月13日に行った。本葉2葉期の10月9日に斜め合わせ接ぎを行い育苗し, 本葉4~5葉期の苗を10月22日に本システムに定植した。昼温は23°Cで天窓が開くように設定し, 夜温は12°C, 最低培地温は培地下部に設置した温湯管により18°Cを保った。着果促進のため各果房とも4-CPA(トマトーン, 100倍希釈)液を噴霧し, 着果確認後1果房当たり4果となるよう摘果した。誘引は地上約2.3 mの高さに設置した誘引線を利用し, つり下ろし誘引とした。摘心は第12果房上の2葉を残し3月30日に行い, 5月30日に全ての果実を収穫し実験を終了した。ベッドは1.8m間隔に設置し, 定植株数は長さ5.6mのベッドに24株(栽植密度約2000株・10a¹相当)とし, 1区当たり2反復した。

処理は培地上部給液量とし, 1日の総給液量のうち10~20%が排液されるかけ流し区, かけ流し区の約25%を培地上部給液量とする少区, 約50%とする多区の3処理区を設けた。培地上部給液量は0.1L/株/回とし, 回数で調節した。なお, かけ流し区ではベッド内の排水用パイプ上端を栽培槽の底面まで下げ排液できるようにした。

多区および少区では毛管吸水槽に培養液を貯えられるように、排水用パイプ上端を培地底面より約2cm低い位置とし、実験中は排水を全く行わなかった。多区および少区では毛管吸水槽給液を11月7日から行い、培養液面が培地底面よりも6cm程度低下したら3cmの距離になるまで培養液を供給するよう水位センサ等で制御した。培養液には第3章の改良処方（第2表）を用い、培養液濃度は電気伝導度（EC）で表した。給液ECは育苗中では $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ とした。定植後は培地および毛管吸水槽とも次のとおりとした。定植時から12月5日まで $1.2\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、以後2月19日まで $1.4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、3月20日まで $1.2\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、5月20日まで $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ とし、5月21日から実験終了までは井戸水とした。

培地および毛管吸水槽に給液された培養液の量を毎日記録し、両者の合計を給液量とした。培地内溶液は培地中央部に埋設したポーラスカップ（ミズツール、大起理化工業）で1月28日までは14日ごと、以後は7日ごとに採取しECメーター（CM-30, TOA）でECを測定した。その後、 $0.45\mu\text{m}$ メンブレンフィルターでろ過し、イオンアナライザー（IA-100, TOA）で成分濃度（ $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, P, K, Ca, Mg, S）を定量した。また、かけ流し区では排水量を調査した後の排水、多区および少区では毛管吸水槽内溶液について、それらのECおよび成分濃度を培地内溶液と同様に調査した。

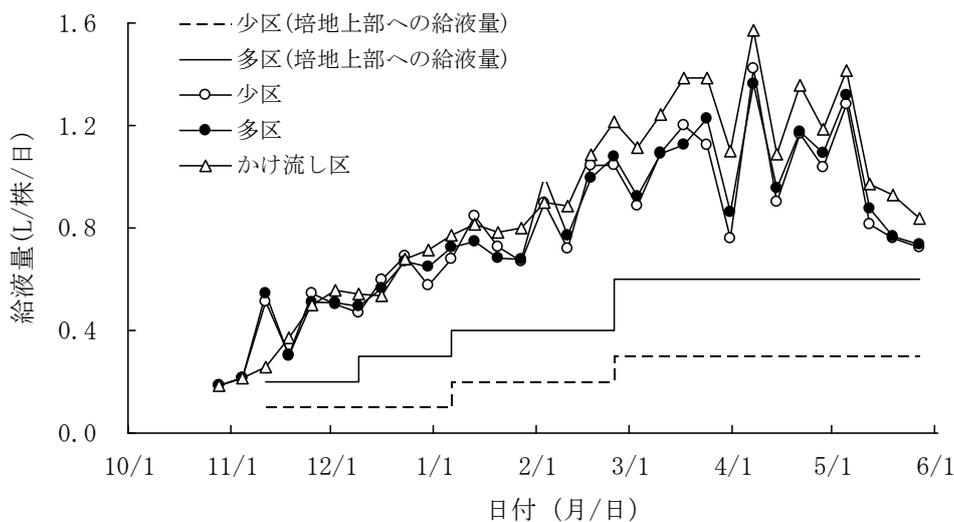
莖径は奇数段果房下1cmの短径を各果房の収穫終了時に測定した。収穫は1週間に2回行い、栃木県の出荷基準

により可販果を80g以上の健全果および軽微な空どう果、窓あき果、乱形果とし、果数および果重を調査した。

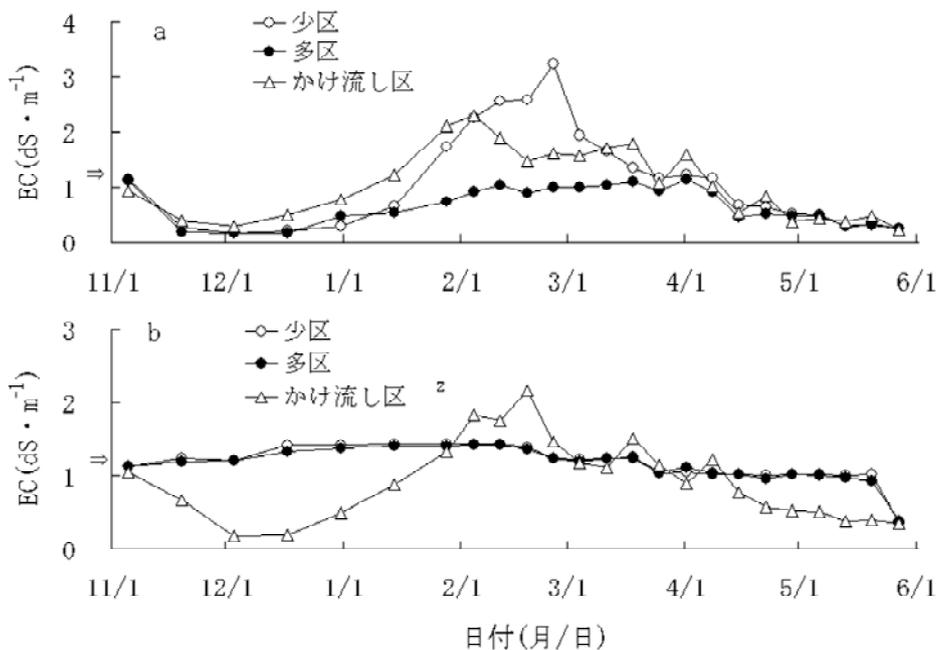
III 結果

培地上部への給液量および給液量の推移を第13図に示した。かけ流し区の総給液量は $192.6\text{L}/\text{株}$ （うち、排水量は $31.6\text{L}/\text{株}$ ；排水率は16.4%）、少区の培地上部給液量は $43.6\text{L}/\text{株}$ 、多区は $90.6\text{L}/\text{株}$ となり、かけ流し区に対する割合は少区で22.6%、多区では47.0%となりほぼ設定どおりの培地上部給液量となった。給液量の推移は少区および多区では全期間ほぼ同じで、かけ流し区と比べると1月以降で少なかった。総給液量は多区では $174.5\text{L}/\text{株}$ 、少区では $171.5\text{L}/\text{株}$ でほぼ同量となり、かけ流し区より約10%少なかった。

培地内溶液および毛管吸水槽内溶液のECの推移を第14図に示した。培地内溶液ECはかけ流し区では定植後12月上旬まで低下、その後2月上旬まで高まり（最高値 $2.3\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ）、その後再び低下し4月中旬以降は低く推移した。多区では1月下旬から3月中旬まで処理間で最も低く（最高値 $1.1\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ）推移し、少区では2月下旬まで高まり2月中旬から3月上旬までは最も高く（最高値 $3.2\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ）推移した。毛管吸水槽内溶液ECは、少区および多区は給液ECとほぼ等しい値で推移し、かけ流し区（排水EC）は培地内溶液ECとほぼ同様な推移であった。培地内溶液の $\text{NO}_3\text{-N}$, K, Ca, Mg濃度は各処理区とも培地内溶液ECと同様な推移を示した（第15図）。Pおよび

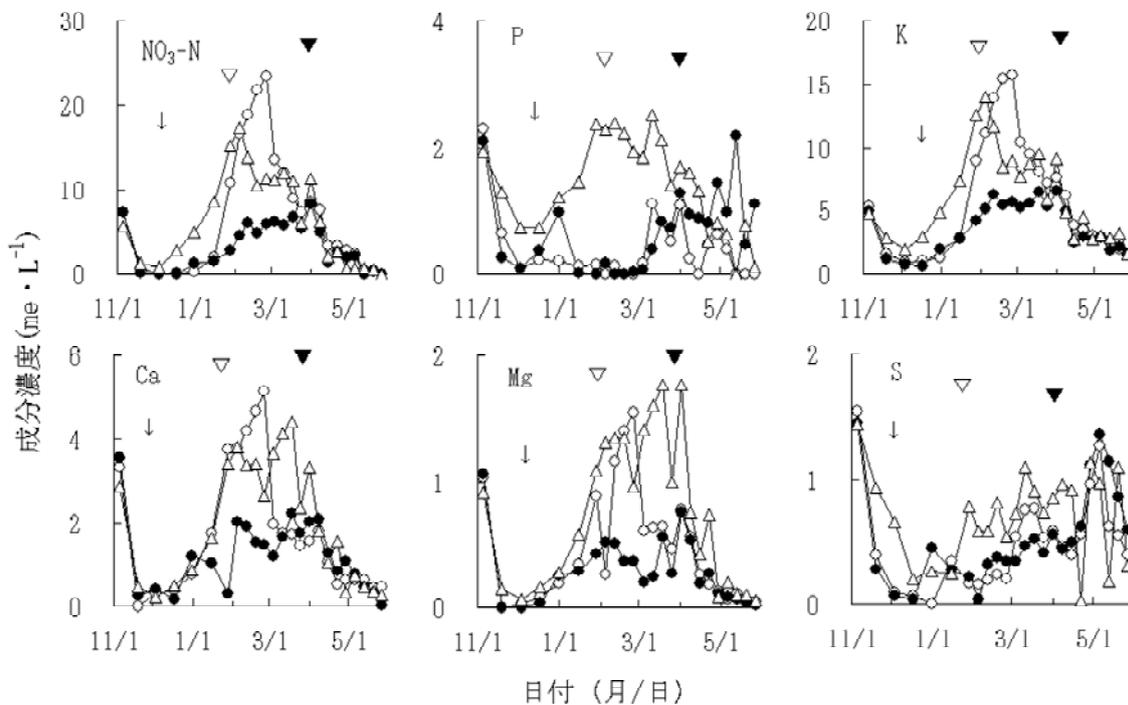


第13図 培地上部への給液量および給液量の推移



第14図 培地上部への給液量が培地内溶液および毛管吸水槽内溶液のECに及ぼす影響

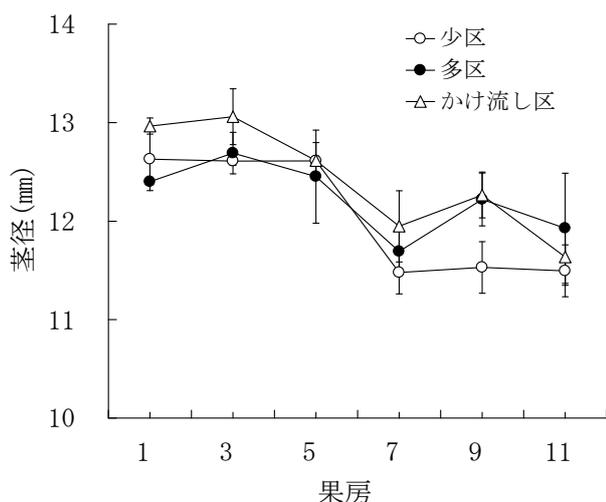
a: 培地内溶液
 b: 毛管吸水槽内溶液
² 排水の値
 ⇒: 初期給液EC 1.2dS · m⁻¹



第15図 培地上部への給液量が培地内溶液の成分濃度に及ぼす影響

○: 少区, ●: 多区, △: かけ流し区
 ↓は第3果房開花期, ▽は収穫開始期, ▼は摘心期を示す

IV 考 察



第16図 培地上部への給液量が茎径に及ぼす影響
 図中の縦線は標準誤差 (n=4) を示す

S濃度は少区および多区ともかけ流し区よりやや低く推移する傾向であった。かけ流し区の排液中のNO₃-N, K, Ca, Mg濃度はECとほぼ同様に推移し、P濃度は低下と上昇を繰り返し、S濃度は定植後低下しそのまま低い値で推移した後4月から上昇した(データ省略)。少区および多区の毛管吸水槽内溶液では各成分とも施用培養液とほぼ同濃度で推移した。

少区と多区の茎径は第7果房まで差がなかったが、第9, 11果房では多区で太い傾向であった(第16図)。少区および多区とかけ流し区を比べると、第1, 3果房はかけ流し区が両区より太い傾向にあったが、第5果房以降では第9果房で少区が細かった以外はかけ流し区との差は認められなかった。可販果収量は多区では少区およびかけ流し区に比べて4, 5月に多い傾向で、全果および可販果収量は多区、かけ流し区、少区の順に多い傾向であった(第7表)。1果重は収量同様多区で重く、少区で軽い傾向がみられた。

トマトのロックウール耕では給液回数および1回当たりの給液量が多いほど培地内水分含量が高く維持され、培地内溶液の組成の変化が少なく、収量は多くなることが報告されている(板東ら, 1988; 小林ら, 1988; 中村ら, 1988)。本実験の少区と多区を比較すると、多区の方が培地内溶液ECが低く推移し、上位果房の茎径、収量および1果重が大きい傾向が認められ、これらの報告とほぼ同様な結果となった。しかし、多区とかけ流し区を比較してみると、多区の培地上部給液量はかけ流し区の約半分であったが、培地内溶液ECは12月中旬から3月中旬まで多区で低く、収量および1果重は同程度以上となった。本実験では、かけ流し区の給液量の約50%より多い給液量は検討されていないが、多区の収量はかけ流し区以上で、培地内溶液濃度はかけ流し区以下の濃度で推移した。これらのことから、本システムにおける培地上部給液量はかけ流し区の約50%、つまりトマトの吸水量の50%程度とし、残りを毛管吸水槽に給液することで、かけ流し方式と同等もしくはそれ以上の生育、収量が得られると考えられた。

培地上部から給液する表面給液法と培地下部からの下面給液法を比較、検討した丹原ら(1974)は、両者の特徴を詳細に報告しており、培養液を培地上部および培地下部から給液できる本システムは、両者の給液法の長所を合わせ持つものと思われた。すなわち、上部給液により培地内部の根に養水分を供給するとともに、培地内溶液濃度の不均衡や培地表層の塩類集積を抑え、毛管吸水槽から毛管現象を利用して培地底面に培養液を供給することにより、作物の水分消費に対応した給液ができ、培地の乾燥抑制と作物の水ストレスの低減が図れると考えられた。

トマトの養水分吸収は夜間にも行われていることが知られている(Masudaら, 1990; Terabayashiら, 1991)。本実験では昼夜間に分けて養水分吸収量は測定していない

第7表 培地上部への給液量が収量および1果重に及ぼす影響

| 処理区 | 月別可販果収量(kg/株) | | | | | 収量(kg/株) ² | | 1果重(g) |
|-------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----------------------|-----------|--------|
| | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 全果 | 可販果 | |
| 少 区 | 0.3 | 1.4 | 2.0 | 2.0 | 2.9 | 9.0(18.1) | 8.6(17.2) | 186 |
| 多 区 | 0.3 | 1.3 | 2.1 | 2.3 | 3.2 | 9.6(19.2) | 9.2(18.4) | 194 |
| かけ流し区 | 0.2 | 1.2 | 2.1 | 2.1 | 3.0 | 9.4(18.7) | 8.6(17.2) | 192 |

²()内の数字は10a当たりに換算した収量 (t · 10a⁻¹)

が、培地上部給液が行われていない時でも、毛管吸水槽からトマトの水分要求量に応じて吸収されていたと考えられた。このことは、かけ流し区より培地上部給液量が少なかった多区で収量が低下しなかった要因の一つと思われる。この点からも本システムは作物の養水分要求にストレスなく対応できるシステムであると考えられた。

以上から、培地上部からの給液量はかけ流し方式の約50%、つまりトマトの吸水量の約半分の量とし、残りを毛管吸水槽に給液することで、培地内溶液濃度が安定し、かけ流しと同等もしくはそれ以上の収量、生育が確保できることが示された。促成栽培における培地上部給液量の管理目標は、定植後より0.2L/株、12月中旬（第3果房開花期）には0.3L/株、1月上旬（第5果房開花期）には0.4L/株、2月中旬（第8果房開花期、第2果房収穫期）には0.5L/株、3月上旬（第10果房開花期、第4果房収穫期）以降では0.6L/株にするとよいと考えられた。

第2節 毛管吸水槽給液の有無が溶液濃度および収量に及ぼす影響

I 緒言

第2節では、第1節で得られた培地上部給液量の制御法に基づいた給液管理と、培地上部からの給液管理、すなわち毛管吸水槽へ施用培養液を供給する管理と培地を通過した培養液のみを毛管吸水槽に貯え再利用する管理が培地内および毛管吸水槽内の溶液濃度、トマトの生育、収量に及ぼす影響を検討した。

II 材料および方法

トマトの穂木および台木品種は第1節と同様とした。2002年9月6日に穂木および台木を播種、本葉2葉期の9月24日に斜め合わせ接ぎを行い、本葉4葉期の苗を10月8日に本システムに定植した。栽培管理、誘引、摘心（3月26日）、栽植密度および反復数は第1節に準じて行い、実験は5月26日に終了した。

培養液処方方は第1節と同様とした。給液ECは、育苗中では $1.2\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ とした。定植後では12月3日までが $1.2\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、2月11日までが $1.4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、2月18日までが $1.3\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、4月8日までが $1.2\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、5月16日までが $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、5月17日から実験終了までは井戸水とした。

処理区は、毛管吸水槽給液を行う有区、毛管吸水槽給液を行わず培地上部給液のみとする無区の2区を設けた。有区の培地上部給液量の管理は第17図のとおりとし、毛

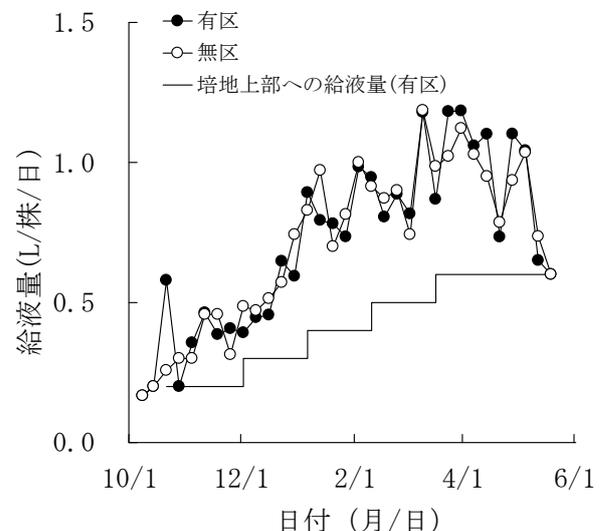
管吸水槽給液は10月23日に開始し第1節と同様に制御した。無区は培地を通過した培養液を毛管吸水槽に貯え再利用するものとし、培地上部給液量は第1節の結果を参考に管理した。なお、無区では培地底面と毛管吸水槽内の培養液面の距離が3cm以内となる場合は培地上部給液を停止した。1回当たりの培地上部給液量は両区とも0.1L/株とし、回数で調節した。

給液量、培地内および毛管吸水槽内溶液濃度、茎径、収量は第1節に準じて調査した。

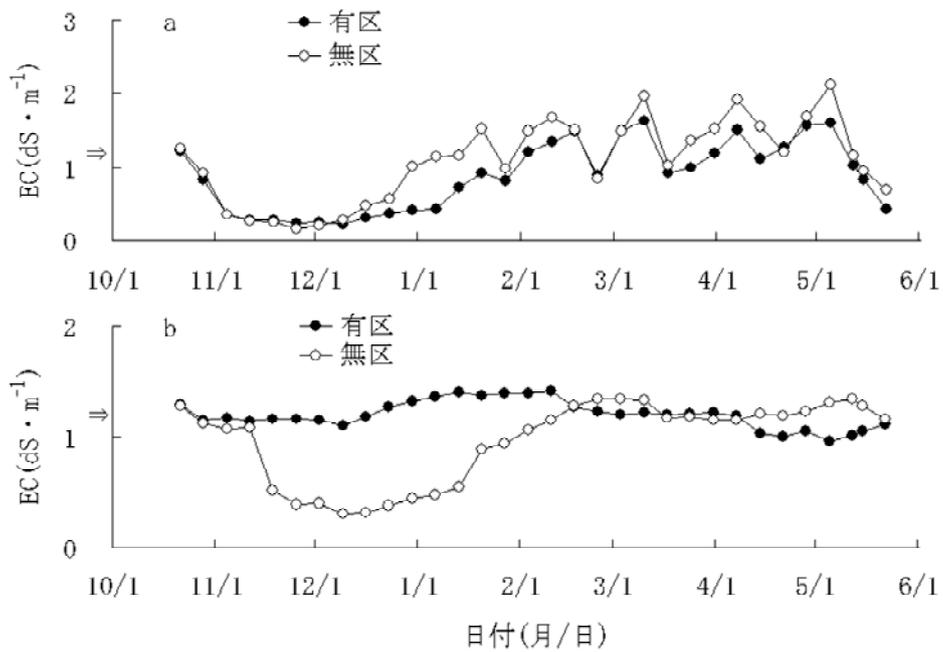
III 結果

給液量は有区において処理を開始した10月下旬に一時的に多かった以外は無区とほぼ同様な推移となり（第17図）、総給液量は有区が162.9L/株、無区が161.0L/株であった。

培地内溶液ECは両区とも定植後低下し、上昇に転じた12月中旬以降では栽培終了までのほとんどの調査日に無区より有区で低く推移した（第18図a）。毛管吸水槽内溶液ECは、有区では給液ECとほぼ等しい値で推移したのに対し、無区では11月中旬に急低下、培地内溶液ECが上昇に転じた直後の12月下旬から徐々に高まり、2月中旬以降には有区とほぼ同様に推移した（第18図b）。培地内溶液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は両区ともECと同様な推移となり、K、Ca、Mg濃度は1月中旬から2月中旬まで有区で低く他の時期では差がなく、PおよびS濃度は処理間差がなかった（データ省略）。毛管吸水槽内溶液の成分濃度は、有区は培養液の成分濃度（データ省略）とおおむね等しい濃度であった（第19図）。無区では、 $\text{NO}_3\text{-N}$

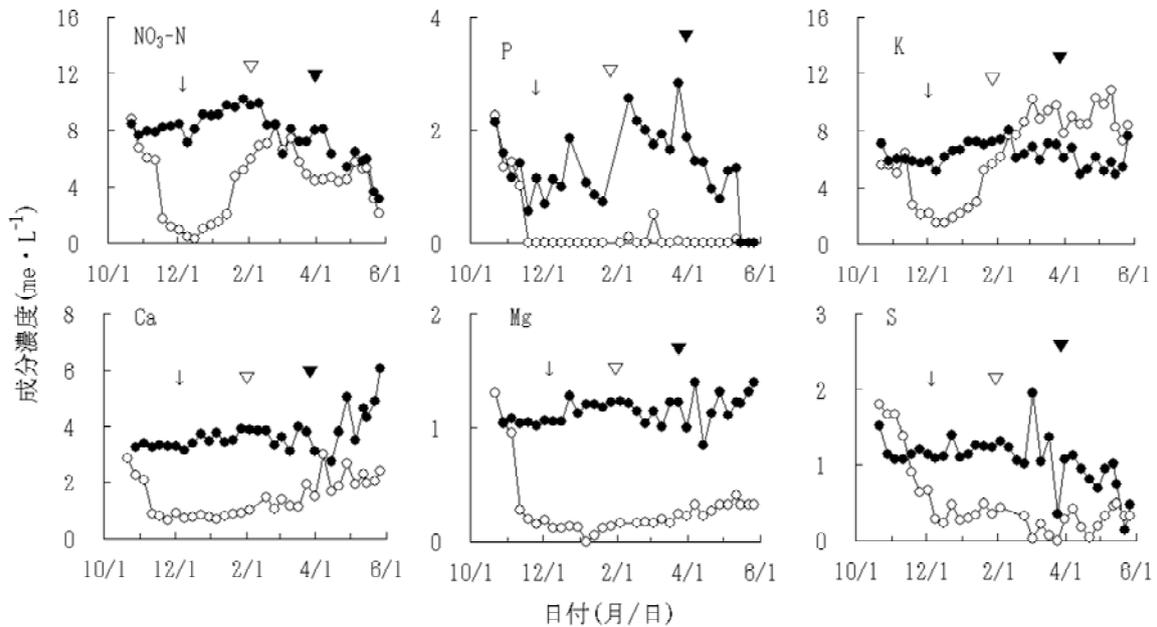


第17図 培地上部への給液量(有区)および給液量の推移



第18図 毛管吸水槽への給液の有無が培地内溶液および毛管吸水槽内溶液のECに及ぼす影響

a: 培地内溶液
 b: 毛管吸水槽内溶液
 ⇒: 初期給液EC 1.2dS · m⁻¹



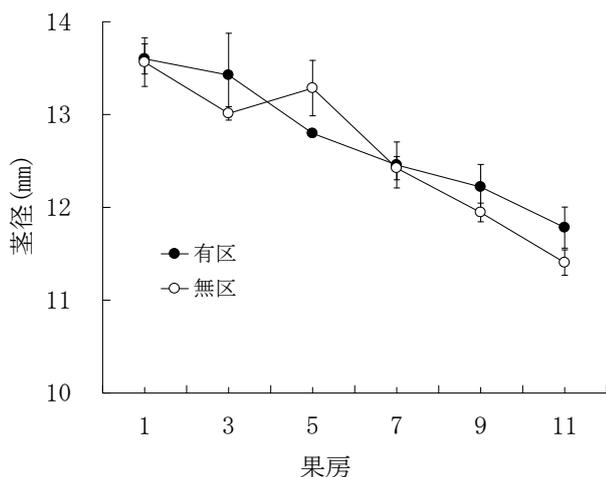
第19図 毛管吸水槽への給液の有無が毛管吸水槽内溶液の成分濃度に及ぼす影響

●: 有区, ○: 無区
 ↓: 第3果房開花期, ▽: 収穫開始期, ▼: 摘心期を示す

第8表 毛管吸水槽への給液の有無が収量および1果重に及ぼす影響

| 処理区 | 月別可販果収量(kg/株) | | | | | 収量(kg/株) ² | | 1果重(g) |
|-----|---------------|-----|-----|-----|-----|-----------------------|-----------|--------|
| | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 全果 | 可販果 | |
| 有区 | 0.2 | 1.4 | 1.6 | 2.4 | 3.0 | 8.8(17.6) | 8.6(17.2) | 176 |
| 無区 | 0.2 | 1.3 | 1.6 | 2.4 | 2.6 | 8.4(16.8) | 8.1(16.2) | 163 |

²()内の数字は10aあたりに換算した収量 (t・10a⁻¹)



第20図 毛管吸水槽への給液の有無が茎径に及ぼす影響
図中の縦線は標準誤差 (n=4) を示す

およびK濃度は毛管吸水槽内溶液EC (第18図b) と同様な推移を示した。無区のNO₃-Nは有区より低いと同じ程度の濃度で、Kは2月中旬以降有区より高かった。P, Ca, Mg, S濃度は、第3果房開花期前より栽培終了まで無区が明らかに低く推移した。

茎径は第5果房では無区で太かったが、その他の果房では処理間に有意差がみられなかった (第20図)。月別可販果収量は5月に高い傾向にあり、全果および可販果収量は有区で多い傾向となった (第8表)。1果重も有区で重い傾向であった。

IV 考察

本システムと同様な閉鎖型・非循環式システム (浜渦・中村, 1990; 藤堂ら, 2000; 植木ら, 1999) では、培養液がベッドに貯えられ、毛管吸引を利用して作物に供給される構造となっている。この貯えられる培養液は、培地上に給液された培養液が培地を通過したものである。つまり、これらシステムでは施用培養液をベッドに貯える給液管理システムではなく、この点が本システムと異なる。培地を通過した培養液をベッドに貯えるシステム

では、貯えられた培養液の組成、濃度は施用培養液と異なるものと考えられた。

そこで、まず毛管吸水槽に培地を通過した培養液を貯える場合と施用培養液を貯える場合について比較検討した。培地を通過した培養液のみを貯える場合 (無区)、毛管吸水槽内溶液ECは、11月中旬に著しく低下後、2月中旬には施用培養液のECとほぼ同じ値となった。この溶液の成分濃度は、毛管吸水槽内溶液ECが低い時期は各成分とも施用培養液より低く、施用培養液とほぼ同じECとなった時期ではK濃度は高く他の成分濃度はいずれも低くなった。このように、毛管吸水槽内溶液の組成、濃度はEC値に関わらず施用培養液の組成、濃度と異なることが明らかになった。一方、有区では毛管吸水槽内溶液の組成、濃度は施用培養液とほぼ同様であった。茎径は第5果房以外は両区間に差が無く、収量にも大差ない結果となった。これらのことから、毛管吸水槽内溶液の組成、濃度は異なっても生育や収量に大きな影響が認められないことが示唆された。池田ら (1988) は、トマトの個体乾物重が増加するにつれて養分吸収が増加することを報告している。本実験では、有区、無区とも給液量の推移および総給液量に差がなく、培地溶液濃度の高まりもなく、両区ともほぼ同量の養分を吸収したと推察できる。このように養分吸収量がほぼ同じであったため、生育、収量が同程度になったと考えられた。

次に、培養液の供給管理について比較してみる。無区では毛管吸水槽内の培養液水位が反復した区間で異なったことから、それぞれの毛管吸水槽の水位に応じて給液量を調整した。しかし、実際栽培における培地上部からの給液は複数のベッドをまとめて一つの系統とし、系統ごとに給液量を管理するため、同じ系統内ではベッドごとに給液量の管理はできない。作物の蒸散量は同じ生育ステージでも施設内の場所によって異なることが経験的に認められている。つまり、ベッドごとに作物の吸水量は異なると判断できる。このようなことから、既報の閉鎖型・非循環式システムでは培地を通過しベッドに貯えられる培養液量はベッドごとに異なる可能性が大きく、作物の吸水量より過剰に給液され続け培養液を貯えられ

る量を超えたベッドでは、培養液が施設外に廃棄されることになる。本システムの実用化を考えた場合、培地上部への給液はいくつかのベッドを系統として同じ給液量となるが、毛管吸水槽給液は各ベッドごとの培養液水位に応じた管理ができる機能を持ったものとなる。このように、毛管吸水槽給液量を培地上部からの給液量に関わらず各ベッドごとに管理できることが、本システムの排水を出さないメカニズムと考える。

以上から、培地上部給液により培地を通過した培養液のみを毛管吸水槽に貯留する無区では、その溶液ECが施用培養液と同じであっても、両者の組成、濃度は異なった。一方、毛管吸水槽に培養液を施用する有区では、その培養液の組成、濃度は施用培養液と同様であることが明らかとなった。しかし、このような毛管吸水槽内溶液の濃度、組成の違いは、生育、収量に大きな影響を与えないことが示された。各栽培ベッドから培養液を廃棄させないためには、毛管吸水槽内の培養液量をベッドごとに管理する必要性を確認した。

第3節 まとめ

本システムにおける給液管理法を確立するために、培地上部への給液量および毛管吸水槽への給液の有無について検討した。まず、培地上部への給液量はトマトの吸水量の約1/2を供給すると、約1/4を供給したときに比べて培地内溶液濃度が安定し推移し、上位果房の茎径が大きく、収量がやや多い傾向となることが明らかとなった。

次に、毛管吸水槽への給液について、培地を通過した培養液のみを毛管吸水槽に貯留すると、その培養液のECが施用培養液と同じであっても、両者の組成、濃度は異なっていた。毛管吸水槽には培地を通過した培養液を貯えるより、施用培養液を直接供給した方が培地内溶液濃度が安定して推移した。毛管吸水槽への給液は培養液の各ベッドごとの培養液水位に応じて管理することにより、培地内溶液の組成、濃度の変化を抑制し、閉鎖型養液栽培によるトマト生産の安定化、排水の抑制に寄与できることが示された。

第5章 トマト促成長期栽培における培養液濃度管理法の確立

I 緒言

養液栽培では生産性を高めるために施設を継続して集約的に活用する周年生産が多い。養液栽培は根圏の環境を最適な状態に制御しやすいことや、土壌管理の必要がなく肥培管理しやすいことなども周年生産に取り組みやすい利点となっている。トマトは最も作型が分化している作物の一つで、緯度や標高などの立地条件、施設・資材を利用した環境制御により周年的に生産されている(丸尾, 2006)。作型としては促成栽培, 半促成栽培, 雨よけ栽培, 抑制栽培が基本作型とされている(野口, 2003)。

養液栽培の長所を生かしたトマトの作型としては、低段果房で摘心し計画的に植え替えをする短期間の栽培、逆に一度定植したら植え替えなしにほぼ一年間栽培を続ける長期間の栽培が考えられる。栃木県におけるトマトかけ流し式ロックウール耕では、促成栽培の播種期を8または9月から7月に前進化し、定植が8月、収穫が10月から翌年6月までとなる長期間の栽培(以下、促成長期栽培という)がほとんどである。促成長期栽培では育苗から定植頃までが気温の最も高い時期に当たり、その後徐々に気温は低下し日照も少なくなり、3月以降気温や日照が再び高まってくる。このように、栽培期間中の環境の変化が大きい中での給液管理は、培養液濃度は夏期は低めの $1.6\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 前後、冬期は高めの $2.4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 前後を目安とし、給液量は養水分吸収に合わせて排水率(排水量/給液量 $\times 100$)を20~30%になるよう管理することが基本とされている(糠谷, 2002)。慣行の促成長期栽培では定植から栽培終了までの期間が約10か月にも及び、肥料分を含んだ排水が施設外に多量に廃棄されることになり、排水のない養液栽培技術の確立が必要となっている。

開発した毛管給液を併用した閉鎖型養液栽培システム(本システム)は閉鎖型・非循環方式で、培養液は培地上部およびベッド内の毛管吸水槽の2か所に供給できる特徴を持つ。本システムの培養液管理法を開発するために、第3章ではみかけの成分吸収濃度を調査した結果を元に新たな培養液組成・濃度を開発し、第4章では培地給液量および毛管吸水槽給液の意義を明らかにした。これらの検討は9月中旬に播種、10月中旬に定植、1月下旬から5月下旬まで収穫するトマト促成栽培で行ってきた。今後、本システムの実用化を図るためには、実際の現場

における促成長期栽培に準じた条件下で第3章および第4章で得られた成果を検証し、年1作の促成長期栽培においても排水を出さずに安定生産できる培養液管理法を確立する必要がある。しかし、促成長期栽培において排水による環境への負荷を軽減することを目的としたトマトの研究は磯崎ら(2005)を除いてなく、非循環方式の閉鎖型養液栽培では報告が見当たらない。

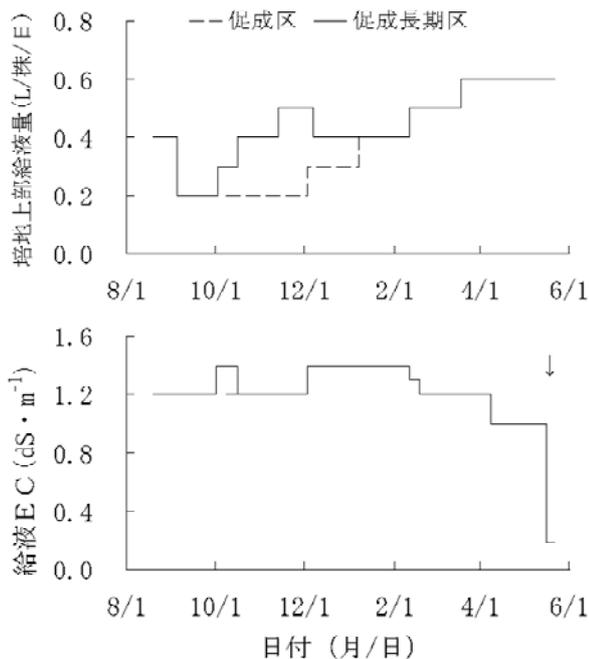
第5章では、第3章および第4章で得られた成果に基づく培養液管理とした促成栽培を対比させて、同様にこの培養液管理法を参考とした促成長期栽培における給液量、培地内溶液濃度、トマトの生育および収量を調査し培養液濃度管理法について比較検討した。

II 材料および方法

トマト品種は穂木に‘ハウス桃太郎’、台木に‘がんばる根3号’を用いた。処理区は促成区および促成長期区の2区とした。促成区は2002年9月6日に播種、本葉2葉期の9月24日に接ぎ木し、本葉4葉期の苗を10月8日に本システムに定植した。促成長期区は2002年7月23日に播種し、同様に8月5日に接ぎ木、8月19日に定植した。定植株数は長さ5.6mのベッドに24株とし、1区当たり2反復とした。ベッドは1.8m間隔に設置した(栽植密度約 $2000\text{株} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 相当)。

培養液には第2表に示した改良処方を用いた。培養液濃度は電気伝導度(EC)で表し、育苗中には給液ECを $1.2\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ とし、培養液を適宜施用した。定植後の培地上部給液量および給液ECは第21図のとおりとした。なお、5月16日以降は培養液ではなく井戸水のみを供給した。毛管吸水槽への給液は1株当たり数本の根が培地底面まで伸長した時期を目安として、促成区では10月23日、促成長期区では9月4日に開始し、培養液面が培地底面よりも6cm程度低下したら3cm程度の距離になるまで液を供給するよう、水位センサーで制御した。昼温は 23°C で天窓が開くように設定し、最低夜温は温風暖房機により 12°C 、最低培地温は培地下部に設置した温湯管により 18°C に保った。着果促進のため果房全体に4-CPA(トマトトーン, 100倍希釈)液を噴霧し、着果確認後1果房当たり4果となるよう摘果した。両区とも3月26日に開花果房上の2葉を残して摘心し、5月26日に全ての果実を収穫し実験を終了した。なお、実験中は両区とも培養液を廃棄しなかった。

給液量は毎日記録した。培地内溶液は培地中央部に埋設したポーラスカップ(ミズツール, 大起理化学工業)で7日ごとに採取し、ECメーター(CM-30, TOA)でECを



第21図 促成区および促成長期区における培地上部への給液量と給液ECの管理
↓: 井戸水給水開始

測定した。その後、0.45 μ mメンブレンフィルターでろ過し、イオンアナライザー (IA-100, TOA) で成分濃度 ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, P, K, Ca, Mg, S) を定量した。開花日は果房内の第1花が咲いた日、収穫日は第1果を収穫した日とし、果房ごとに調査した。茎径は奇数段果房の収穫時に果房下1cmの短径を測定した。収穫は1週間に2回行い、栃木県の出荷基準により可販果は80g以上の健全果および軽度の空どう果、窓あき果、乱形果とし、果数および果重を調査した。

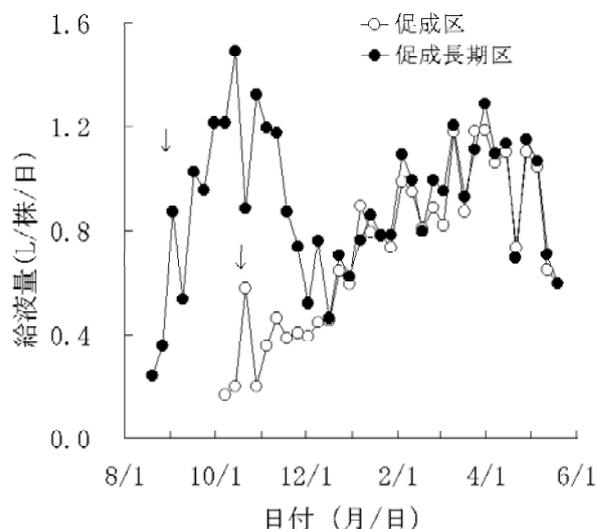
III 結果

培地給液量および毛管吸水槽給液量を合計した給液量は全体的な傾向として、促成区では定植後から3月下旬まで増加傾向、その後減少傾向となった (第22図)。促成長期区では定植後から増加し、10月中旬には栽培期間中で最大の1.49L/株/日となり、10月中旬から12月中旬まで減少した後は促成区と同様な推移であった。総給液量は促成区が163L/株、促成長期区が251L/株、両区の推移がほぼ同様となった12月16日以降では促成区が138L/株、促成長期区が143L/株であった。

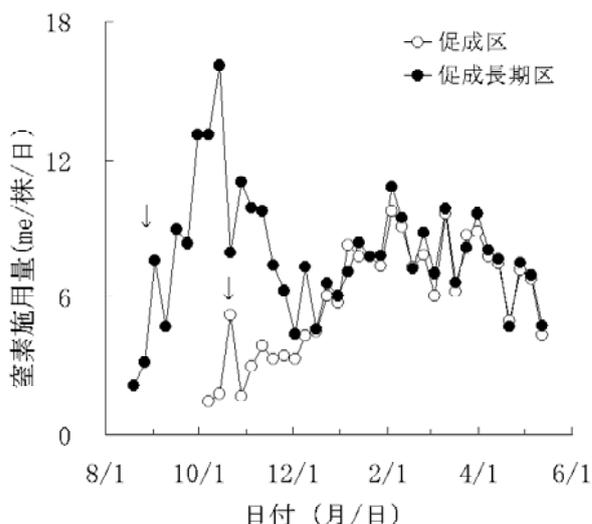
窒素施用量は促成区では定植後から2月上旬まで増加傾向、その後増減はあるが減少傾向であった (第23図)。促成長期区では定植後から増加し、10月中旬に最高値

16.1me/株/日となった後は12月中旬まで減少し、その後促成区と同様な推移であった。各成分の総施用量および12月16日から栽培終了までの施用量を第9表に示した。総施用量は各成分とも促成長期区では促成区の1.6倍程度であったが、12月16日から栽培終了時までにはほぼ同程度となった。

培地内溶液の成分濃度の推移を第24図に示した。 $\text{NO}_3\text{-N}$ は促成区では定植後に急激に低下し、1月中旬に上昇に転じるまで低い値で推移した。2月中旬以後高低を繰り返し、4月下旬より低下し5月下旬に0me \cdot L $^{-1}$ とな



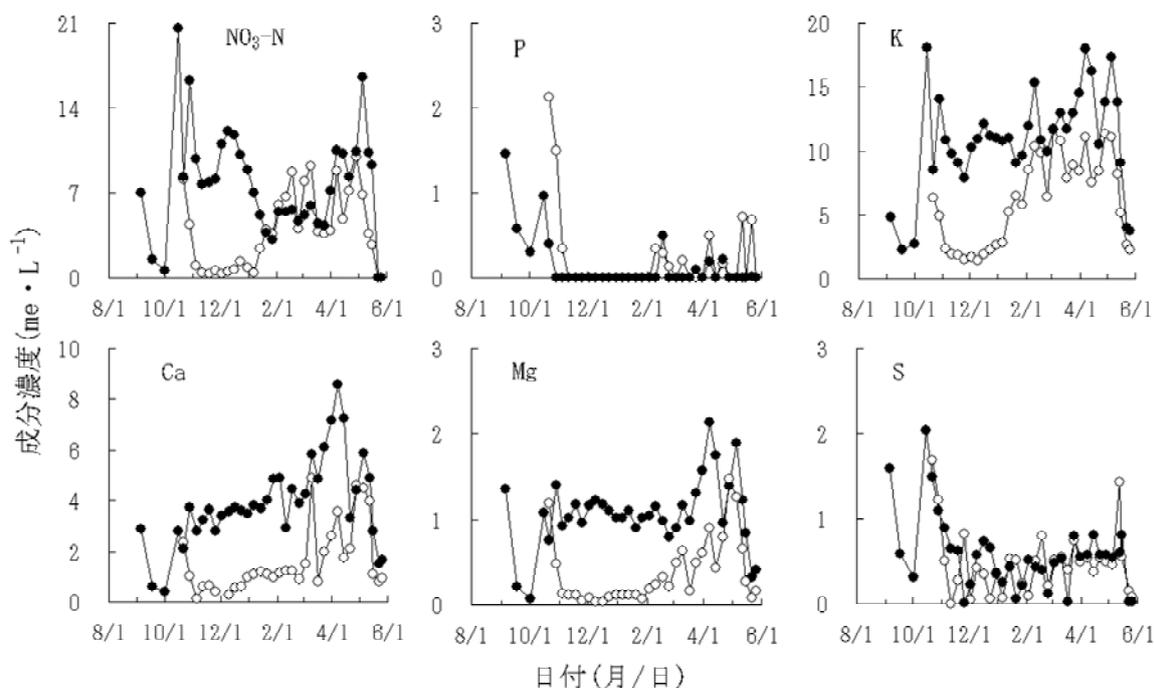
第22図 促成区および促成長期区における給液量の推移
給液量は培地給液量と毛管吸水槽給液量の合計
グラフ内の↓は毛管吸水槽への給液を開始した時期



第23図 促成区および促成長期区における窒素施用量の推移
グラフ内の↓は毛管吸水槽への給液を開始した時期

第9表 促成区および促成長期区における成分施用量

| 処理区 | 総施用量(g/株) | | | | | | | 12月16日～栽培終了時の施用量(g/株) | | | | | | |
|-------|--------------------|--------------------|-----|------|------|-----|------|-----------------------|--------------------|-----|------|------|-----|-----|
| | NO ₃ -N | NH ₄ -N | P | K | Ca | Mg | S | NO ₃ -N | NH ₄ -N | P | K | Ca | Mg | S |
| 促成区 | 18.7 | 0.5 | 4.1 | 41.7 | 12.3 | 2.3 | 9.3 | 15.7 | 0.4 | 3.5 | 35.5 | 10.5 | 2.0 | 7.8 |
| 促成長期区 | 29.7 | 0.9 | 6.6 | 64.0 | 19.0 | 3.5 | 14.6 | 16.3 | 0.4 | 3.6 | 36.9 | 10.9 | 2.0 | 8.1 |



第24図 促成区および促成長期区における培地内成分濃度の推移

○：促成区，●：促成長期区

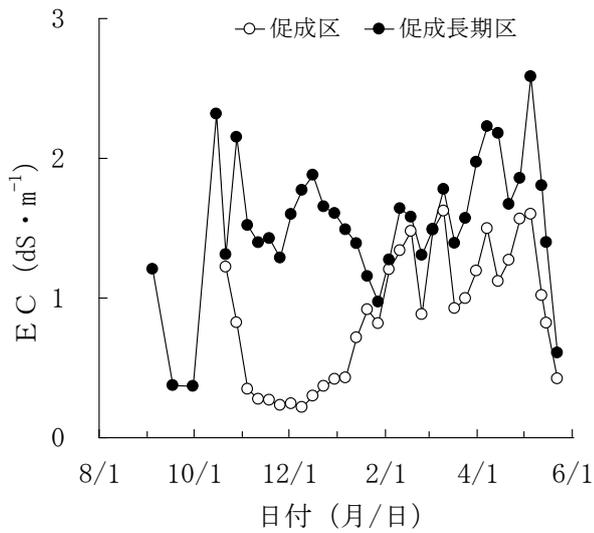
った。促成長期区でも定植後急激に低下したが、10月に入って急上昇し、10月中旬から12月中旬まで高く推移した。その後、1月中旬からは5月上～中旬の3例を除き促成区とほぼ同様に推移した。Pは両区とも定植後に低下する傾向にあり、促成区では11月上旬以降、促成長期区では10月下旬以降2月上旬まで0、その後0～0.7me · L⁻¹の範囲で増減した。Kはいずれの時期も促成長期区で高く推移し、推移の傾向は両区ともNO₃-Nとほぼ同様であった。Ca、Mgは促成区では定植後に0me · L⁻¹付近まで低下した後2月下旬まで低い値で推移し、3月上旬から4月上旬まで増加した後中旬に一旦低下し、5月上旬まで再び増加した後低下した。促成長期区では、定植後に低下してから10月中旬に高くなり、4月上旬までCaは4～5me · L⁻¹、Mgは1me · L⁻¹程度で推移した後、促成区に類似した増減を示したが、促成区より高めに推移した。Sは促成区では定植後に低下した後、5月中旬の1例を除き

1me · L⁻¹以下で推移した。促成長期区でも定植後に低下したが、10月中旬に急上昇し、10月下旬からは促成区とほぼ同様な推移となった。

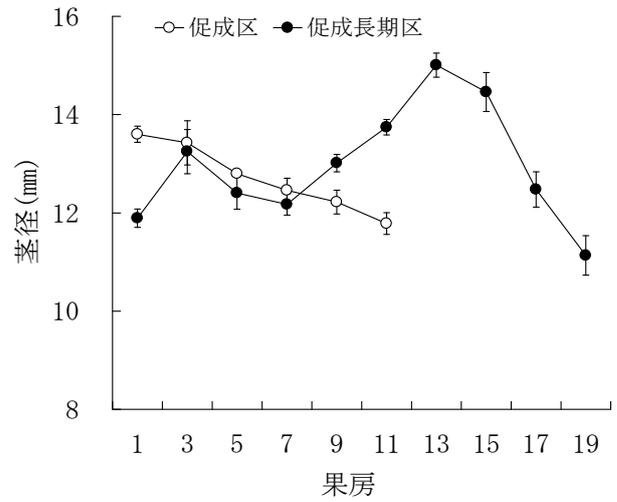
培地内溶液ECはKまたはNO₃-Nに類似した推移を示し、促成区では0.2～1.6dS · m⁻¹、促成長期区では0.4～2.6dS · m⁻¹の範囲にあった(第25図)。

茎径は促成区では第1果房で最も大きく上段果房ほど小さくなる傾向であった(第26図)。促成長期区では第3果房で大きくなって促成区と同様になった後第7果房まで小さくなり、その後大きくなって第13果房で最大となり、再び低下するパターンを示した。

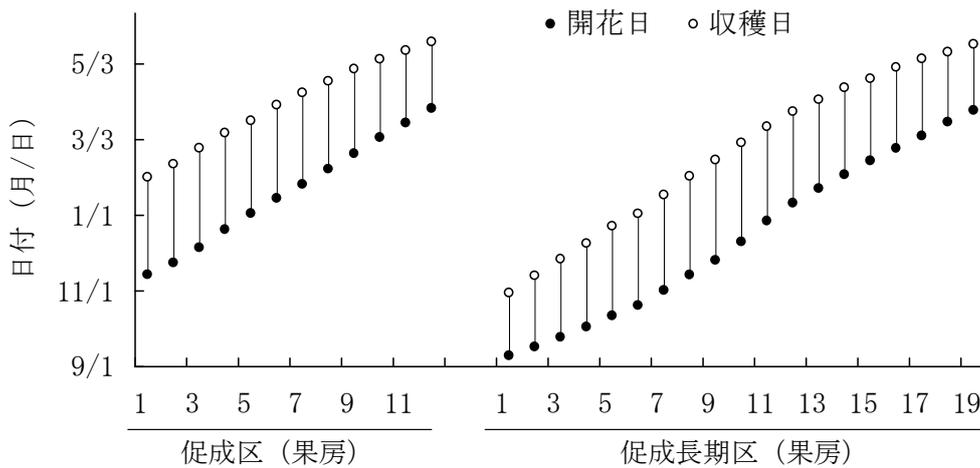
第1果房の開花日および収穫日は促成区では11月14日、1月30日、促成長期区では9月9日、10月30日であった(第27図)。同一果房における開花日から収穫日までの日数は、促成区では第3果房で81日と最も長く以降上段果房ほど短くなった。促成長期区では第1果房が51日と



第25図 培地内溶液ECの推移



第26図 促成区および促成長期区における茎径の推移
図中の縦線は標準誤差 (n=4) を示す



第27図 促成区および促成長期区における各果房の開花日および収穫日

第10表 促成区および促成長期区における果実の生長と品質

| 処理区 | 収穫果房数 (果房/株) | 収量(kg/株) ^z | | 1果重 (g/個) | 品質別果数割合(%) | | | | 果実生産効率 ^w (Ng·kg ⁻¹) |
|-------|-----------------|-----------------------|------------|--------------|------------|-----|----------------|-----------------|---|
| | | 全果 | 可販果 | | 健全 | 窓あき | 他 ^y | 非販 ^x | |
| 促成区 | 12.0 | 8.8(17.6) | 8.5(17.1) | 176 | 78 | 11 | 8 | 3 | 2.2 |
| 促成長期区 | 19.3 | 13.0(26.0) | 12.6(25.1) | 164 | 82 | 6 | 9 | 3 | 2.4 |

^z()内の数字は10a当たりの収量 (t·10a⁻¹)

^y販売できる軽度の空どう果, 乱形果

^x小果, 尻腐れ果, 販売できない窓あき・空どう・乱形果等

^w全窒素施用量(g)/総果実収量(kg)

最も短く、第2果房（58日）以降第9果房（81日）まで長くなり、以降は上段果房ほど短くなった。

収穫果房数は促成区で12.0果房/株、促成長期区で19.3果房/株で、促成長期区で7.3果房/株多かった（第10表）。株当たりの収量は、全果、可販果とも促成長期区で約48%多かった。1果重は促成区でやや重い傾向であった。健全果の割合は促成長期区で高く窓あき果の割合は低かった。全果収量を1kg得るのに必要な窒素量（窒素の果実生産効率=全窒素施用量（g）/全果収量（kg））は促成長期区で $2.2\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、促成区で $2.4\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ とほぼ同様であった。

IV 考 察

培養液を循環して利用すると循環培養液の組成は施用培養液の組成と異なることが報告されている（木下ら、1999；大川・林、1996；安井、1986）。このような循環培養液の組成の変化を抑制し継続利用するために、給液法（板東ら、1988；池上ら、1990）、培養液組成（板東・町田、1992）、培地資材（岩崎・千葉、1999）について検討されているが、これらの報告における収穫果房数は6～8果房/株と少なく、長期間の栽培における検討はされていない。本実験では、促成長期区の収穫果房数は促成区より7.3果房/株多い19.3果房/株であり、定植してから9か月以上にわたり排液を出すことなく栽培でき、収量は栃木県のかけ流し式ロックウール耕における促成長期栽培の目標とされる $25\text{t}\cdot 10\text{a}^{-1}$ （石原ら、2000）とほぼ同程度であることが示された。ここでは、給液量、成分施用量、培地内溶液濃度、収量などの調査結果から本システムによる促成長期栽培の給液EC管理について、両区の給液量および成分施用量がほぼ同様となった12月中旬の前と後に分けて検討した。

促成長期区の給液量および窒素施用量は定植後から増加し、10月中旬に最大値を示すことが認められた。このような推移は、本実験の9月上旬から10月中旬の施設内平均気温が 23.0°C と生育に適した温度（青木、1997）であったため、果房間の開花日の日数や開花日から収穫日までの日数が短くなり、生育、果実肥大が早かったことによると考えられた。この間の給液ECについて、定植から9月30日を $1.2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 、10月1日以降を $1.4\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ に高めたところ、培地内溶液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 K 、 S 濃度が高まった。中野ら（2006）は水耕で前週の日最多吸水量を指標としたトマトの窒素施用量について検討し、吸水量が $0.5\text{L}/\text{株}/\text{日}$ までの生育初期の窒素施用量は $3.5\text{me}/\text{株}/\text{日}$ でよいが、吸水量の増加に応じて $9.3\text{me}/\text{株}/\text{日}$ まで増量す

るのがよいとしている。本実験では給液ECを $1.4\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ に変更した期間の給液量の平均は $1.4\text{L}/\text{株}$ 、窒素施用量の平均は $14.6\text{me}/\text{株}/\text{日}$ となった。給液量を同量とした場合、窒素施用量を $9.3\text{me}/\text{株}/\text{日}$ とするためには、給液ECは $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 程度となる。しかし、10月16日に給液ECを $1.4\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ から $1.2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ に変更したところ培地内溶液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 K 、 S 濃度は低下傾向となり、その後も成分濃度の増加がみられなかったため、10月上中旬の給液ECは $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ まで下げずに $1.2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ のままでよいと考えられた。また、定植から9月下旬までおよび10月下旬から12月上旬までの給液ECは、培地内溶液濃度が比較的安定して経過したため、本実験の管理でよいと考えられた。これらのことから、促成長期栽培における給液ECは定植から12月上旬まで $1.2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ で管理することで培地内溶液濃度は安定して推移すると考えられた。

12月中旬以降には、促成長期区の給液量、窒素施用量の推移および各成分の施用量は促成区とほぼ同様となった。培地内溶液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 P 、 S 濃度の推移は両区ともほぼ同じ、 K 、 Ca 、 Mg 濃度は促成長期区でやや高く推移したが集積することはなかった。このことから、12月上旬以降の給液ECの管理は促成区と同様でよいと考えられた。なお、12月中旬の生育ステージは促成区では第4果房開花期（12月20日）、促成長期区では第10果房開花期（12月10日）および第4果房収穫期（12月9日）であった。

窒素施用量と収量の関係をみると、全窒素施用量は促成長期区では促成区の約1.6倍、総果実収量は約1.5倍であったが、窒素の果実生産効率は促成区で $2.2\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、促成長期区で $2.4\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ とほぼ同様な値で、武井（1997）の示した範囲（ $2.2\sim 2.8\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ）にあった。窒素の果実生産効率について、佐々木・板木（1978）は促成長期栽培では培養液処方の違いにより $1.74\sim 2.71\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ となり、窒素濃度が高い処方で効率が低下している。景山（1991）は2段どりトマトにおいて、培養液の窒素濃度を一定とする区より定量施与する区で効率が高いことを認め、窒素濃度一定区では茎と葉の乾物が定量施与区より重く、果実肥大終了後でも窒素の供給を続けると茎葉の生体重が増加することを報告している。本実験でも、摘心後実験終了時期が近づくにつれて、両区とも低段から上段までの茎径が次第に大きくなり葉が濃緑で厚くなったことが観察され、茎葉重は増加していたと思われた。これらのことから、培地内溶液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が高まった10月中下旬の給液ECを下げ培養液の窒素濃度を低下させることや、培養液を井戸水のみに変更する時期を本実験の栽培終了10日前よりさらに早

めることにより、窒素の果実生産効率を高めることができると考えられた。

V まとめ

トマト促成長期栽培における培養液濃度（給液EC）管理法について検討した。培養液には改良処方を用いた。促成長期区の給液量および窒素施用量は定植後から増加し10月中旬に最大値をとり、その後12月中旬まで減少した。12月中旬からは促成区とほぼ同様な推移を示し、給

液量は3月下旬まで、窒素施用量は2月上旬まで増加傾向にあった。培地内溶液濃度は促成長期区では促成区と同等かやや高めに推移したが、施用培養液濃度を超えて集積する成分は認められなかった。以上から、促成長期栽培における給液ECの管理は、定植から12月上旬までが $1.2\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、その後2月上、中旬まで $1.4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、以後低下させ4月上旬に $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ とする管理が適すると考えられた。

第6章 スギ樹皮培地の連用と培地の理化学性およびトマト収量の関係

I 緒言

ロックウール耕の培地であるロックウールは、化学的にはpHが高く、陽イオン交換容量が $1\sim 2\text{me}\cdot 100\text{g}^{-1}$ と極めて低く緩衝能はほとんどない(池田, 2003)。物理性の面からは、孔隙の割合が高いため保水量が多く水は作物が吸収しやすい状態にあるが、使用開始後に一旦乾燥させると吸水は不良になる。ロックウールは、輝緑岩あるいは鉄鉱石の鉱滓に石灰岩やコークスを混ぜ、高温で溶融し綿あめ状に繊維化し、これを圧縮してフェノールで固め吸湿性を持たせたものである。したがって、その取り扱い時における人体に及ぼす害や、難分解性の性質による使用後の培地処理の困難さが問題とされている。このため、安全に取り扱いき生産性が高く、使用後処理の容易な培地が求められている。

近年、ほ場に還元できる有機質素材の樹皮、ピートモス、やし殻繊維などがロックウール培地に代わる環境に優しい培地として利用されるようになってきた。細川ら(2001)は、有機培地の物理性、水分保持特性を解明し、ロックウール培地と比較してスギ樹皮培地、やし殻とバーク堆肥の混合培地の実用性を認めている。峯岸・久地井(1989)は、スギ樹皮は洋ラン類の培地に好適であると報告し、植木ら(1999)はスギ樹皮を培地としたイチゴ養液栽培システムを開発している。全国の製材工場から排出されるスギなどの樹皮量は年間374万 m^3 と推定され、土壌改良資材、燃料、家畜用敷料などとして利用されている一方で、排出量の13.8%の樹皮は焼却処理されている(伊神・村田, 2003)。しかし、焼却炉に関する規制が2002年に強化され、焼却処理が困難な状況となっており、地域未利用資源となっている樹皮の利用促進が求められている。

栃木県における森林面積は349,642haで県土の54.5%を占め、スギ林面積は69,380ha(民有林のみ)となっている(栃木県林務部, 2006)。県内には製材所も多数あり、排出される樹皮を含む木質バイオマス量は17万 m^3 にも及んでいる(農林水産省統計部, 2007)。前述のロックウール培地の問題点を解決するとともに、地域未利用資源としてのスギ樹皮の活用を図るために、本システムでは培地にスギ樹皮成型培地を用いることとした。

糠谷(2001)は、培地耕における培養液管理技術の開発に当たっては、培地の素材に応じた養水分管理の検討に加えて、物理的な観点から培地特性を解明する必要性

を述べている。栽培に未使用または1作目のスギ樹皮培地について、化学成分、保水性、三相分布など(岩尾ら, 1994)、栽培中の循環培養液のpHおよび無機成分の推移およびCECなどの理化学性(岩崎・千葉, 1999)が明らかにされている。しかし、スギ樹皮は連用により腐朽や堆肥化がおこり理化学性が変化し、生育、収量に影響を及ぼすことが予測される。篠原ら(2002)は、2作連用したスギ樹皮は水中バクテリアによる食痕が見られたが、細胞壁の厚さおよび形状は変わらないと報告している。細川・前田(2003)は、スギ樹皮培地で促成ナスを2作連用しても収量は変わらないことを報告している。しかし、これらの報告では培地の連用に伴う理化学性の変化や、その変化が生育、収量に及ぼす影響について言及されていない。

そこで、第6章では促成栽培でトマトを連作した年数の異なるスギ樹皮培地を用いて、連用年数と培地の理化学性、培地内溶液濃度、トマトの生育および収量の関係を明らかにし、本システムにおけるスギ樹皮培地の耐用年数ならびに培養液管理法に及ぼす影響について検討した。

II 材料および方法

本実験に用いた培地素材は、スギ樹皮にヒノキ樹皮を数%混合したもの(以下、スギ樹皮という)とした。供試したスギ樹皮培地は、栃木県鹿沼市にある栗野森林組合が近隣の製材工場から集めたスギ樹皮を約半年間野積み後、以下のとおり作製した。粉碎中に撥水性を軽減させるための界面活性剤を処理した後、のりを噴霧し幅20cm、長さ40cm、厚さ7cmの金型に詰め、常圧下で100 $^{\circ}\text{C}$ の熱を1時間加え成型化した。スギ樹皮培地の密度は $218.7\pm 14.3\text{g}\cdot \text{L}^{-1}$ であった。

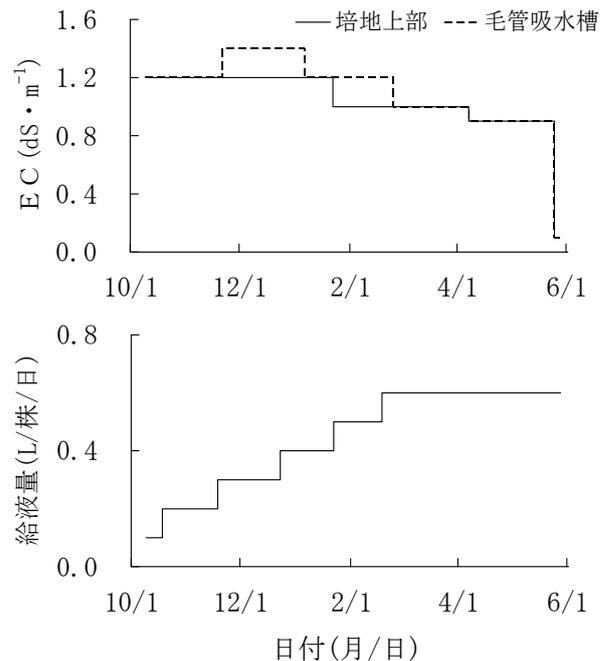
処理区は、本システムを用いてトマト促成栽培を行ったスギ樹皮培地の連用年数により次のとおりとした。新品で初めて栽培に供する1作目を1年区、1作栽培した2作目を2年区、同様に2作連用した3作目を3年区、4作連用した5作目を5年区として、4処理区を設けた。前歴となるトマト促成栽培は、9月播種、10月定植で第10または12果房まで収穫する年1作の作型とした。栽培終了後のスギ樹皮培地は井戸水(第2表参照; $\text{EC}: 0.2\text{dS}\cdot \text{m}^{-1}$, $\text{pH}: 7.0$, $\text{NO}_3\text{-N}: 0.2\text{me}\cdot \text{L}^{-1}$, $\text{Ca}: 1.0\text{me}\cdot \text{L}^{-1}$, $\text{Mg}: 0.4\text{me}\cdot \text{L}^{-1}$, $\text{S}: 0.4\text{me}\cdot \text{L}^{-1}$)で肥料分を洗い流し、次作までポリエチレンで密封して保管した。さらに、定植前に各処理区とも井戸水に十分浸漬した。

トマト品種は穂木に‘ハウス桃太郎’、台木に‘がん

ばる根3号'を供試した。穂木および台木とも2003年9月9日に播種、本葉2葉期の9月24日に接木した後、本葉4葉期の苗を10月9日に本システムに定植した。昼温は23℃で天窓が開くように設定し、夜温は温湯暖房により16℃を維持した。第1果房の開花は11月上旬に始まり、各果房とも4-CPA（トマトトーン、100倍希釈）液を噴霧し、着果確認後1果房当たり4果となるよう摘果した。4月1日に第15果房上の2葉を残して摘心し、6月7日に全ての果実を収穫し栽培を終了した。培養液組成は第2表に示した改良処方の一部変更し、 $\text{NO}_3\text{-N} : \text{P} : \text{K} : \text{Ca} : \text{Mg} : \text{S} = 7.0 : 2.0 : 4.9 : 3.2 : 1.2 : 1.2 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ とする組成、濃度とした。培養液濃度は電気伝導度（EC）で表し、給液ECおよび培地上部への給液量は第28図のとおりとした。毛管吸水槽への給液は、培養液面が培地底面から3cmより離れたら、3cm程度になるよう管理した。定植株数は1区当たりのベッド長3.3mに14株（栽植密度2300株・ 10 a^{-1} 相当）とし、2反復した。

栽培終了後に各処理区の三相分布、湛水後の培地の重量変化、陽イオン交換容量（CEC）および窒素の取り込みを以下の方法で調査した。また、処理区とは別に新品のスギ樹皮培地（以下、新品区という）についても同様の調査を行い、処理区と比較した。測定点数は窒素の取り込みが5点、他の項目は3点とした。三相分布は採土管に試料を詰め、砂柱法（松中、2003）によりpF1.5に調整したときの固相率、液相率、気相率を測定した。湛水後の培地の重量変化は培地を井戸水に十分浸漬して本システムに移し、0.5、1、5、10、20、30、120分後に重量を測定、0.5分後の重量に対する割合（重量変化の割合 = $(0.5 \text{ 分後の重量} - \text{測定時の重量}) / 0.5 \text{ 分後の重量} \times 100$ ）で表した。CECは培地を乾燥、粉碎して試料とし、ショーレンベルガー法（松中、2003）により測定した。窒素の取り込みは次のとおり調査した。試料を井戸水で洗浄後 $\text{EC}1.4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ の培養液に1日間浸漬後、重力水を排出した。その後、ポリエチレン袋に入れ密閉し、25℃の恒温器で1、10、20、40、80日間保存した。試料を毎分4750回転（約2000G）で10分間遠心分離し、分離した溶液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度をイオンアナライザー（IA-100、TOA）で定量した。

栽培中におけるスギ樹皮培地の溶液濃度は、1区当たり2か所、培地中央部に埋設したポラスカップ（ミズトール、大起理化学工業）で採取した。それらを等量ずつ混合してサンプルとし、ECメーター（CM-30、TOA）およびpHメーター（F-21、HORIBA）を用いてECおよびpHを測定した後、前述のイオンアナライザーで無機成分濃度を定量した。茎径は奇数段果房の果房下1cmの



第28図 給液ECおよび培地上部への給液量の管理

短径を各果房の収穫終了時に測定した。収穫は1週間に2回行い、栃木県の出荷基準に照らして、可販果は80g以上の健全果および軽度の空どう果、窓あき果、乱形果とし、果数および果重を調査した。

III 結果

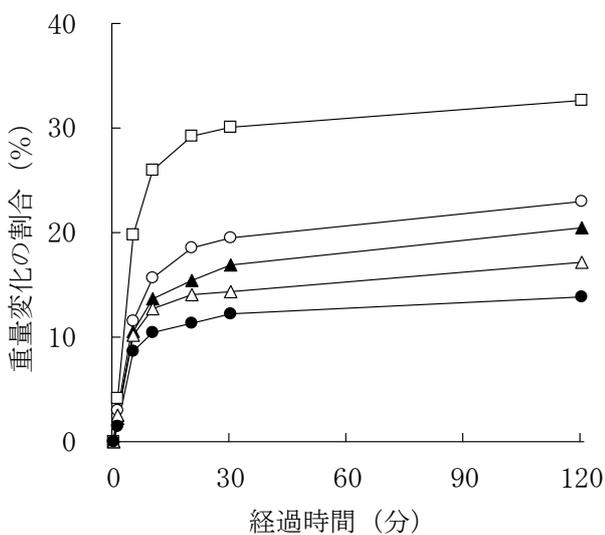
栽培終了時の各処理区の三相分布、仮比重およびCECを第11表に示した。連用により固相率および仮比重は低下した。液相率は増加する傾向が、気相率は低下する傾向がみられたが、いずれも連用区間には有意差は認められなかった。新品区と比較すると、固相率および気相率は2年区の気相率を除き、各処理区とも有意に低く、液相率はいずれの処理区とも有意に高かった。CECは連用により高くなり、新品区に比べて1年区では約1.4倍、3年区では2.0倍、5年区では2.5倍となった。また、1年間に变化するCECは、新品区と1年区の差が $23.5 \text{ me} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ で最も大きく、連用するにしたがい小さくなる傾向であった。

湛水後の培地を本システムに移した後の培地の重量変化の割合を第29図に示した。重量変化の割合は各処理区とも5分以内に急上昇したが、10分後からの上昇は緩やかになった。重量変化の割合は新品区では最大約30%と大きく、使用年数が長くなるほど小さくなり、1年区で約20%、5年区では約10%であった。

第11表 スギ樹皮培地の連用が三相分布およびCECに及ぼす影響

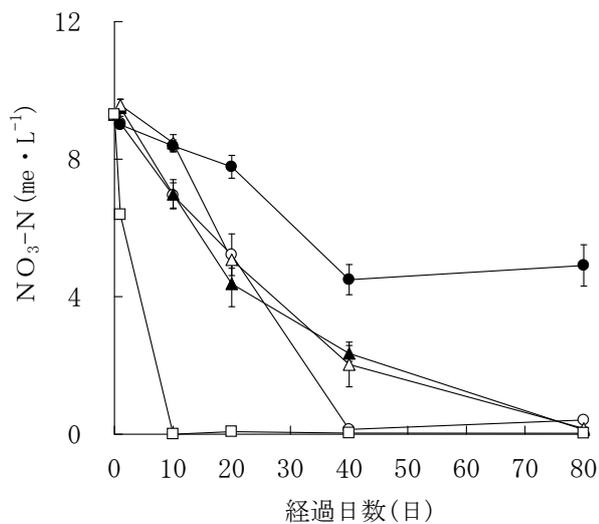
| 処理区 | 三相分布(%) | | | 仮比重 | CEC (me・100g ⁻¹) |
|-----|---------------------|--------|---------|----------|---------------------------------|
| | 固相 | 液相 | 気相 | | |
| 新品区 | 11.4 a ² | 20.7 b | 68.0 a | 0.156 a | 55.9 d |
| 1年区 | 9.6 b | 34.5 a | 55.9 b | 0.140 ab | 79.4 c |
| 2年区 | 9.3 b | 33.6 a | 57.2 ab | 0.133 bc | 96.0 bc |
| 3年区 | 7.3 c | 39.8 a | 52.9 b | 0.122 cd | 113.5 b |
| 5年区 | 7.2 c | 40.8 a | 52.0 b | 0.106 d | 140.7 a |

²同一文字間にはTukey多重検定(P<0.05)で有意差なし



第29図 スギ樹皮培地の連用が灌水後の培地の重量変化の割合に及ぼす影響

□: 新品区, ○: 1年区, ▲: 2年区, △: 3年区, ●: 5年区



第30図 スギ樹皮培地の連用が窒素の取り込みに及ぼす影響

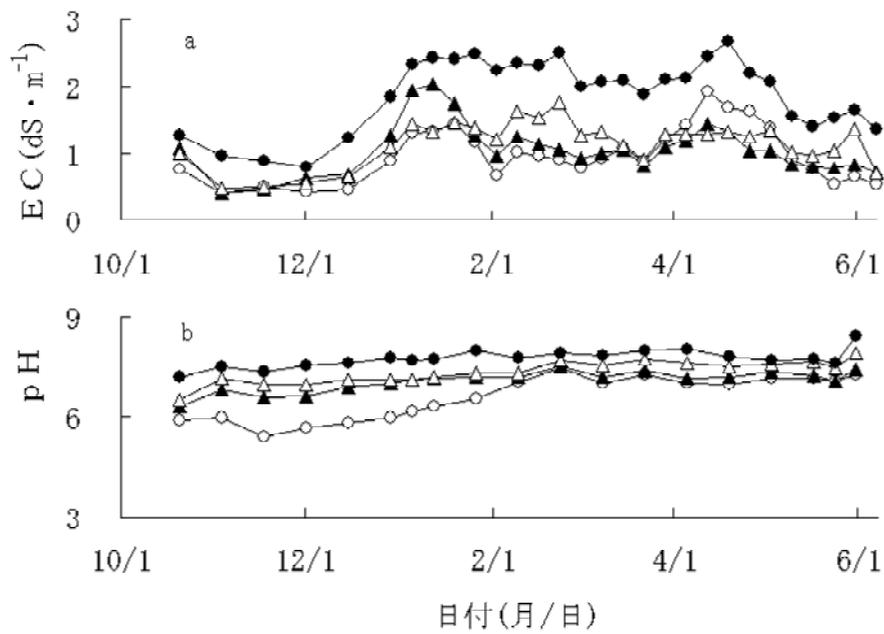
□: 新品区, ○: 1年区, ▲: 2年区, △: 3年区, ●: 5年区
図中の縦線は標準誤差 (n=5) を示す

NO₃-N濃度は1年区, 2年区, 3年区および5年区のすべてで40日まで低下を続け, 1年区では40日で0me・L⁻¹, 2年区および3年区ではさらに低下を続けて80日ではほぼ0me・L⁻¹となり, 5年区では40日に4.5me・L⁻¹に低下した後は変化がなかった(第30図). 新品区では1日で6.4me・L⁻¹に低下し10日には0me・L⁻¹となり, 各処理区よりNO₃-Nの減少が著しかった.

培地内溶液のECは, 1年区は11月初旬から12月中旬まで0.4~0.5dS・m⁻¹と低い値で推移した後上昇し, 1月中旬には1.4dS・m⁻¹となった(第31図a). 2年区および3年区は11月初旬に1年区とほぼ等しい値となった後上昇し, 1月中旬に3年区では1.5dS・m⁻¹, 2年区では2.0dS・m⁻¹となった. 5年区は12月初旬に最低値(0.8dS・m⁻¹)となった後1月下旬まで上昇(2.5dS・m⁻¹)し, 処理間では最も高い値で推移した. 2月以降では1年区, 2年区および3年区間には処理の差がなく0.5から1.9dS・m⁻¹前後を推移することが多かったのに対し, 5年区は1.4~2.7dS・m⁻¹と他区に比べて高く推移した.

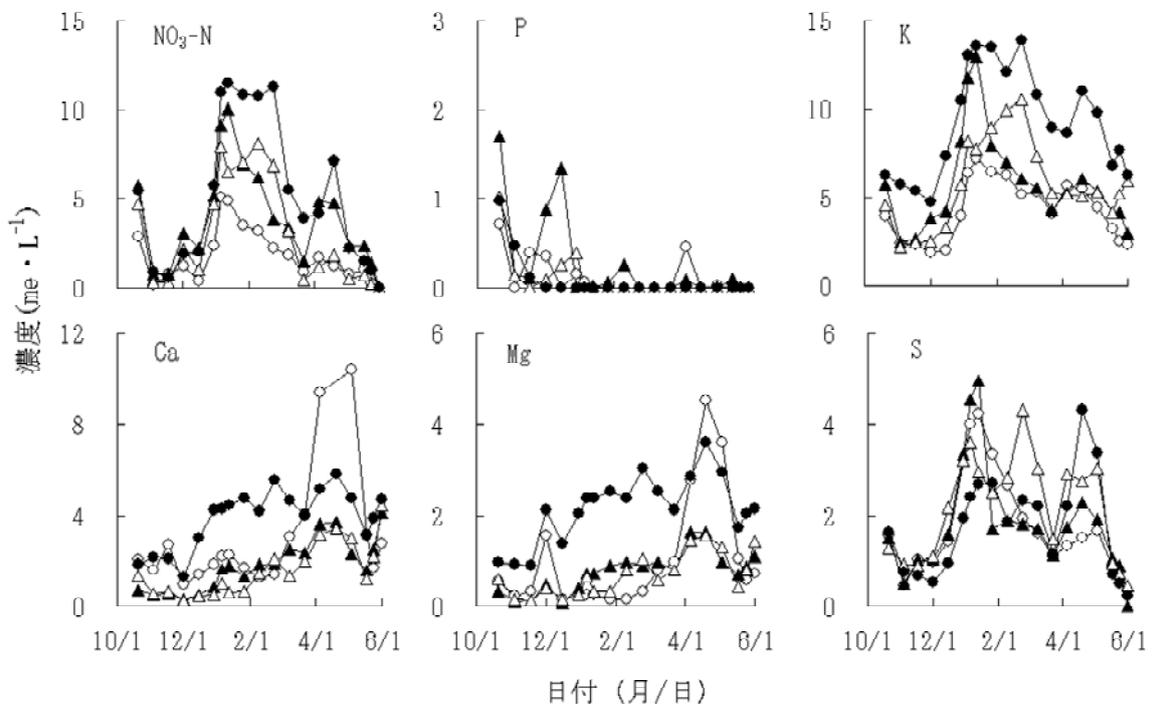
培地内溶液のpHは定植後から徐々に高まる傾向がみられ, pHの変動は1年区が最も大きく5.4から7.3でその幅は1.9あったが, 2年区, 3年区および5年区では変動幅は0.7から0.9と小さかった(第31図b). 5年区のpHは7.2~8.4と全期間を通じ他の区より高く推移し, 連用が多い区ほど高い傾向が認められた.

培地内溶液の無機成分濃度の推移を第32図に示した. NO₃-Nは連用により高まる傾向が認められ, 1月上旬以降では1年区で低く, 5年区で高く推移した. また, 1年区では定植1か月後の11月上旬に0.1me・L⁻¹まで低くなった. Kは1年区で低く推移し5年区で高く推移する傾向がみられ, 2年区および3年区は1年区と5年区の間でNO₃-Nとほぼ同様な推移の傾向が認められた. CaおよびMgは1年区の4, 5月を除き5年区で高く推移し, 他の処理区間の傾向は明瞭でなかった. PおよびSは処理の影響



第31図 スギ樹皮培地内溶液のECおよびpHの推移

○: 1年区, ▲: 2年区, △: 3年区, ●: 5年区



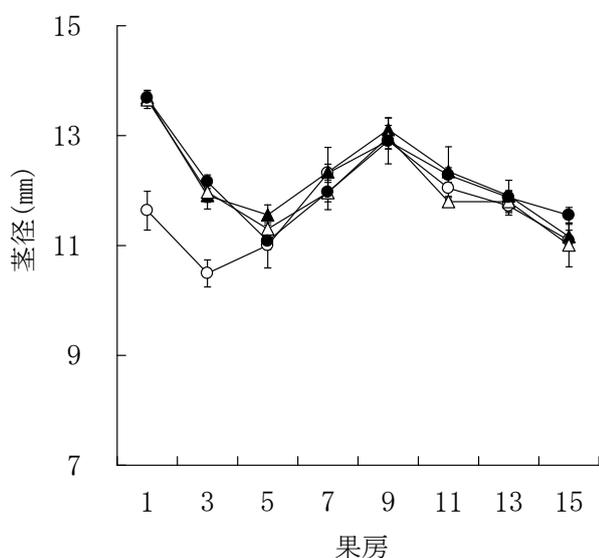
第32図 スギ樹皮培地内溶液の無機成分濃度の推移

○: 1年区, ▲: 2年区, △: 3年区, ●: 5年区

第12表 スギ樹皮培地の連用が収量および果実品質に及ぼす影響

| 処理区 | 収量(kg/株) | | 1果重 (g) | 品質別果数割合(%) | | | | | | |
|-----|----------|-----------------|------------|------------|-----|---|----|----|---|---|
| | 全果 | 可販果 | | 健全 | 空どう | 他 | 非販 | | | |
| 1年区 | 10.0 | ab ^z | 9.8 | ab | 165 | a | 77 | 14 | 6 | 3 |
| 2年区 | 10.6 | a | 10.3 | a | 167 | a | 77 | 12 | 6 | 5 |
| 3年区 | 9.8 | ab | 9.4 | ab | 157 | a | 79 | 11 | 5 | 5 |
| 5年区 | 9.4 | b | 9.1 | b | 156 | a | 75 | 14 | 6 | 5 |

^z同一文字間にはTukey多重検定(P<0.05)で有意差なし



第33図 スギ樹皮培地の連用が茎径に及ぼす影響

○: 1年区, ▲: 2年区, △: 3年区, ●: 5年区
図中の縦線は標準誤差 (n=4) を示す

響がみられなかった。

第1, 3果房の茎径は2年区, 3年区および5年区で1年区より大きい傾向であったが, 第5果房より上の果房では処理間に差はみられなかった(第33図)。全果収量, 可販果収量とも1年区より2年区で多い傾向がみられ, 2年区, 3年区および5年区間では連用するほど低下する傾向が認められた(第12表)。5年区の収量は2年区より有意に少なかった。1果重および品質別果数割合は処理の影響がみられなかった。

IV 考察

培地を利用する養液栽培システムでは培地素材の保水性あるいは通気性, 成分の吸着・溶出, CEC等の理化学性を把握する必要がある(池田, 2003)。樹皮などの有

機培地については, 三相分布, 保水率, CEC, 窒素の取り込みなどが明らかにされている(細川ら, 2001; 岩尾ら, 1994; 岩崎・千葉, 1999)。しかし, これらの報告で用いられた有機培地は栽培に未使用であり, 培地を継続して使用する点からみた場合, 実際に連用した培地の理化学性の変化を検討することが必要と考えられる。本実験では, トマトを促成栽培した年数の異なるスギ樹皮培地を用いて, 培地の理化学性, 培地内溶液の成分濃度, 生育, 収量を調査し, 培地の理化学性の変化, 給液管理および耐用年数について考察した。

本実験において, 液相率および気相率は新品区を除く処理区間に差がなく, 保水性や通気性は連年使用しても変化しないと考えられた。しかし, 固相率および仮比重は連用により有意に減少し, さらにスギ樹皮の繊維は連用により細く短くなることが観察された。香山(1961)は木材が腐朽すると全重量が減少すると述べ, 篠原ら(2002)はスギ樹皮が水性バクテリアにより食害されることを報告しており, 固相率および仮比重の減少は腐朽や微生物の食害が影響していると考えられた。このように, 液相率, 気相率は変化がなく固相率が減少したことから, スギ樹皮培地は連用により容積が小さくなると考えられた。

樹皮のCECは堆肥化が進むにつれて大きくなり, 完熟すると元の2~3倍になるとされている(相崎, 1996)。本実験でも連用によりCECが大きくなり, 3年区では新品区の約2倍, 5年区では約2.5倍となり堆肥化が進んでいると考えられた。木下ら(1999)はもみ殻耕でトマトを栽培し, 3作目終了時にはもみ殻の形状が崩れ堆肥化することを報告しており, 本実験のスギ樹皮培地においても同様な傾向が認められた。すなわち, スギ樹皮が細く短くなることに加えて, 特に培地下部で連用が多い区ほどスギ樹皮がもろく崩れやすくなった。さらに, 培地下部では根がマット状に堆積していた。これらの現象は5年区で顕著に認められ, このような物理的变化は培地

の重量変化の割合に影響を及ぼしたと考えられた。重量変化の割合が小さい場合排水性が低下していると考えられ、培地下部が過湿になり易いことが示唆された。この要因の一つとして、本システムが培地底面から毛管現象を利用した給液を行っていることも考えられる。

各処理区の給液ECおよび培地給液量は同じ管理としたが、培地内溶液のK, Ca, Mg濃度は1年区, 2年区および3年区に比べて5年区で高く推移し、これら陽イオンが培地内溶液に保持される傾向がみられた。このような傾向は、前年度に実施した予備実験（未発表）で使用したスギ樹皮培地で連用4年目の収穫開始期頃から認められた。土壌においては養分供給能力、肥料成分の保持能力の高まりはCECの増加によることが知られている（和田, 1984）。また、CECはpHの影響も受けることも知られている（和田, 1984）。本実験でも5年区では他の処理区に比べてCECが高く、培地内溶液のpHは適値とされている6.0~6.5（並木, 1986）より高い8前後で推移しており、K, Ca, Mg濃度が安定して高く維持されたものと考えられた。有機培地の連用と給液管理について、木下ら（1999）はもみ殻培地では使用年次に応じた給液管理の必要性を示唆している。しかし、本実験では連用3年までの区に対して5年区で培地内溶液のNO₃-N, K, Ca, Mg濃度が高く推移したが、培養液の成分濃度より著しく高まった成分はなかった。このため、給液ECおよび給液量の管理は5作目までは連用年数にかかわらず変更する必要はないと考えられた。

培養液に浸漬後の培地内養液のNO₃-N濃度は、各処理区とも日数の経過にともない減少し、NO₃-N濃度の低下の程度は新品区で最も大きく、次いで1年区, 2および3年区がほぼ同様で、5年区で最も小さかった。このことから、培地による窒素の取り込みは連用年数が少なく、使用期間が短いほど大きいことが示された。この結果は、培地内溶液のNO₃-N濃度の順位と類似するものであった。また、茎径の推移をみると、第1, 3果房では2, 3および5年区より1年区で小さく、第5果房より上の果房では処理間差がなく同程度の茎径であった。したがって、1年区の栽培初期は窒素の取り込みが著しく多かった新品区と同じとみることができ、給液した窒素がスギ樹皮に取り込まれ不溶化した（今野ら, 1985）ことにより、トマ

トの窒素栄養が低下し第1, 3果房の茎径肥大が抑制されたと思われた。岩崎・千葉（1999）は数種の有機培地の窒素の取り込みを明らかにし、有機培地では窒素の取り込みが培養液組成に影響を与える可能性を述べている。これらのことから、新品のスギ樹皮培地では初期の培養液の窒素濃度をやや高めることで、低段果房の生育低下を回避できると推察される。

収量は3年区までは差がなく、スギ樹皮培地でナスを2年連続栽培しても減収しないとした細川・前田（2003）の報告と類似した。しかし、5年区の収量は2年区より有意に少なくなった。これは、5年区では2年区に比べてCECの上昇、培地重量変化の割合の低下、培地内溶液の成分濃度の高まりなどの変化があったことによるものと考えられた。6年目以降ではこれらの理化学性がさらに変化することが示唆され、また収量は5年区よりさらに低下すると予測されるため、本システムにおけるスギ樹皮培地は5年連用後に交換することが望ましいと考えられる。今後は、使用済みスギ樹皮培地の効果的な堆肥化およびその利用について検討する必要がある。

V まとめ

本システムでトマトを促成栽培で連用した年数の異なるスギ樹皮培地の理化学性、培地内溶液の成分濃度、トマトの生育および収量について検討した。スギ樹皮培地の三相分布では、液相率および気相率は連用しても変化しなかったが、固相率は連用年数の増加にしたがい低下した。十分に灌水した培地を本システム上に設置した後の培地重量の変化は、連用年数が多いほど小さかった。連用年数の増加によりCECは高くなり、窒素の取り込みは少なくなった。また、培地内溶液のNO₃-N濃度は連用年数が多くなるにつれ高く推移する傾向で、K, Ca, Mg濃度は3年区までに比べ5年区で高く推移した。茎径は1年区の第1, 3果房で小さかった以外は連用による差はなかった。収量は2年区で高い傾向にあり、その後は連用により低下し、5年区では2年区と比べて有意に少なかった。本実験により、連用年数の違いによるスギ樹皮培地の理化学性の変化、収量などが明らかとなり、本システムにおけるスギ樹皮培地は5年連用後に交換するとよいことが示唆された。

第7章 総合考察

本研究は、養液栽培における培養液の廃棄ならびに使用済みロックウール培地の処理による環境への負荷を軽減するため、著者が新たに開発した「毛管給液を併用した閉鎖型養液栽培システム」（本システム）の実用化を目指して、培養液組成、濃度や給液方法などの培養液管理法の開発を目的とした。本システムは有機質素材を培地とする固形培地耕に属する。培養液は循環することなく作物に全て吸収させることにより施設外に培養液を排出しない構造となっており、培養液管理面からは閉鎖型・非循環方式に分類される。本システムの特徴として、①ほ場に還元できる有機培地を用いていること、②ベッド内に培養液を貯える毛管吸水槽をもち、培養液は毛管現象により作物に供給されること、があげられる。かけ流し式ロックウール耕の排液および使用済みロックウール培地による環境負荷を改善する目的で開発されたこれまでの装置の中で、本システムに類似する有機培地と閉鎖型・非循環方式を組み合わせた養液栽培装置の事例は少ない。さらに、本システムではこれらに加えて、③培養液は培地上部および毛管吸水槽に供給でき、この2か所へ供給する培養液の濃度、量などの給液制御は独立して行うことができる。このような3つの特徴を合わせ持つ養液栽培装置は本システムが初めてである。

1. 開発した改良処方の組成、濃度の特徴

給液管理法のうち、培養液の組成、濃度について第3章で検討した。本システムでは、収穫開始期頃から培地内溶液のCa, Mg, S濃度が施用培養液に比べて高まりやすいことが、開発中の予備試験で認められていた。そこで、かけ流し方式のみかけの成分吸収濃度 (n/w ; 山崎ら, 1976) を調査し、この結果に榊田ら (1989) がトマト水耕栽培において収穫開始期以降における培養液の組成、濃度の変化が小さくなると述べた培養液組成、濃度を参考に改良処方を開発した。改良処方の組成、濃度は第2表に示したとおりで、大塚A処方に比べてK濃度を高め、 $\text{NH}_4\text{-N}$, Ca, Mg, S濃度を低めた。トマトの固形培地耕で報告されている培養液組成、濃度の改善事例 (板東・町田, 1992; 岩崎・三枝, 2001; 中林・愛川, 1989) では、作型、供試培地、システムなどが異なるため、好適な培養液の組成、濃度はそれぞれ異なっている。しかし、養液栽培で一般的に用いられている園試処方と比較して $\text{NH}_4\text{-N}$, Ca, Mg濃度を低め、K濃度を高めることで培養液の組成、濃度および養分吸収の安定、収量の

向上が図られたと述べられており、この点では改良処方の組成、濃度の改善方向はこれらの報告と一致している。

本システムで改良処方をを用いると、培地内溶液濃度の高まりや成分の蓄積がなく、茎径は上位果房では大塚A処方より太く、収量は多い傾向がみられた。かけ流し方式で改良処方の特性を検討したところ、大塚A処方では培地内溶液の濃度が高まったCa, Mg, Sの n/w が改良処方では安定した推移を示し、さらに、 $\text{NO}_3\text{-N}$, P, K濃度も高まることはなかった。 (n/w) /培養液濃度比は改良処方では給液 $\text{EC}1.2\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ のKを除いた各給液ECのそれぞれの成分とも1をわずかに超える値となり、なおかつ各成分間の値の差は大塚A処方より小さくなった。一方、大塚A処方ではCa, Mg, Sが $0.5\sim 0.8$ と小さく、PおよびKは改良処方より大きな値となり、蓄積される成分と吸収され培養液には残らない成分に二分される傾向であった。 (n/w) /培養液濃度比は1のとき吸収される成分濃度と培養液中の成分濃度が等しく、1を超える場合成分濃度は薄く、逆に1未満では濃くなることを示す (茅野, 1987)。これらのことから、改良処方では施用した成分はトマトに吸収されることで培地内溶液に蓄積されることがなかったと考えられた。したがって、改良処方の組成、濃度はトマトの栄養特性とよく一致する組成、濃度であると考えられた。さらに、培地内溶液に蓄積される成分がないため、培養液の無機成分による根へのストレス (Hikosakaら, 2002; 位田・永井, 1982) は小さいと推察された。

改良処方では培地内溶液pHが大塚A処方より高く推移することも特徴である (第8図)。岩崎・三枝 (2001) はやし殻繊維を培地とした循環システムでトマトを栽培し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ を含まない培養液は循環培養液のpHを高く維持し培地のイオン交換能を高く維持でき、養分吸収の安定、増収が図られることを報告している。本研究においても、スギ樹皮培地内溶液の高pHがイオン交換能を高く維持し、培地内溶液濃度の安定に寄与したと考えられる。

養液栽培では大量の培養液が消費されるので、原水は井戸水とするのが一般的である。この井戸水にはさまざまなイオンが含まれている (篠原ら, 1997)。本実験で使用した井戸水には $\text{NO}_3\text{-N}$, Ca, Mg, Sが含まれている (第2表)。本研究で供試した大塚A処方培養液は、市販の大塚ハウス1号, 2号および5号の濃厚原液をこの井戸水で設定した濃度に希釈しており、公表されている大塚A処方の成分濃度 (岡野, 2001) に井戸水の成分濃度を加えた値になっている。このように、Ca, Mgなどを高濃度で含む井戸水を使用すると、市販の複合肥料では

目標とする処方箋どおりの組成、濃度にはならない。そこで、改良処方の培養液作成にあたっては、井戸水に含まれる成分を考慮して5種類の肥料塩と微量要素肥料を用いた。実際の現場においては、井戸水など原水の個々のイオン濃度を測定し、改良処方の組成、濃度となるような肥料塩を選択する必要がある。水野（1995）は培養液の多量要素を最少の肥料塩で効果的に構成する手法を明らかにしている。今後、それぞれの原水に応じて改良処方の組成、濃度を作成するために、少数の塩で構成できる手法の開発が必要となってくる。

2. 培養液の供給法の開発

本システムは培地、毛管吸水槽にそれぞれ給液できるように1つのベッドに対して2本の給液配管をもつ。そこで、培養液管理法のもう一つである培養液の供給法について第4章で検討した。培地上部への給液量はかけ流し方式の給液量の約25%とするより、その2倍程の約50%とし、残りを毛管吸水槽に給液する管理で培地内溶液濃度が低く推移し上段果房の茎径が太く、収量は多い傾向がみられた。毛管吸水槽には培地への給液のみによって培地を通過した培養液を貯えるより、培地上部と毛管吸水槽に概ね同量ずつ給液する管理で収量がやや多い傾向であったが、茎径は大差なかった。毛管吸水槽は、①施用培養液ならびに培地を通過した培養液を貯留する、②貯留された培養液を毛管吸引により作物に供給するという二つの機能をもつ。実際の自動給液装置では培地上部への給液量は各ベッドごとに設定できないため、仮に培地を通過した培養液量が増すと毛管吸水槽内培養液の組成、濃度は変化することになる（第18, 19図）。さらに、培地を通過する培養液量、あるいは作物の吸水量は、ベッドを設置してある場所の環境条件、作物の生育程度、栽培管理状況などによりベッドごとに異なることが経験的に知られている。このことは、ベッドごとにトマトの異なる吸水量に対応した培地上部への給液量の管理ができない既存のシステムでは、給液量が吸水量より多いベッドにおいて排水を出す可能性があることを意味する。以上のことから、本システムではベッドごとに毛管吸水槽の培養液管理ができるため、培地および毛管吸水槽への2つの給液配管を適切に用いることで排水を全く出すことなく、生育が制御され収量が向上することが示された。すなわち、培地上部への給液量はかけ流し方式の約50%とし、残りを毛管吸水槽に給液する管理が適することを明らかにした。

本システムの給液法は、独立して給液管理ができる2本の給液配管をもつことに加え、毛管吸水槽の培養液水

位が設定できるため多様になる。前述で検討した以外に、培養液の供給を毛管吸水槽のみとした場合や、毛管吸水槽の培養液水位管理が生育、収量などに及ぼす影響については、本システムの開発を行いながら促成栽培で予備的に実験してきた。まず、培養液の供給を毛管吸水槽のみとした場合には、日射が強くなる3, 4月から培地上部への給液を併用したものより茎径が細く草勢の低下、収量および1果重の低下、糖度の向上、尻腐れ果の発生割合の高まりが認められ、作物の吸水不足が原因していると考えられた（未発表）。次に、毛管吸水槽の水位について、培養液面が培地底面から2cmまたは6cm程度の距離で一定とした管理では、培養液面が培地底面から6cm程度低下したら2cmの距離になるまで給液する管理に比べて、両者とも上段花房の茎径が細く低収の傾向が認められた。さらに、培地底面から約6cmとした場合は尻腐れ果の多発生、約2cmとした場合は培地の過湿とみられる根腐れ症の発生が認められた（未発表）。本研究ではこれらの結果も参考に培養液管理を行った。岩尾ら（1993）はトマトを毛管水耕で栽培し、水位差により生育制御ができ、低い水位では草丈、茎径および収量が低下し糖度が向上することを報告している。森下ら（2001）は、毛管水耕における水分制限は毛管吸引による給液の制限よりも、給液された培養液の水位差による排水速度と吸水シートの容水量に起因することを示唆している。本研究ではトマトの糖度などの食味データは示していないが、今後毛管吸水槽の培養液水位、浸潤性シート資材および給液法を検討することで、良食味果実生産や生育制御技術の開発が可能と考えられた。また、培地および毛管吸水槽に異なる培養液を用いた場合の効果についても、高品質安定生産、草勢管理の面から検討する必要がある。

3. 本システムにおける培養液管理法

促成栽培における培地上部への給液量および培養液濃度の管理については、第3章第3節の吸水量、みかけの吸水速度の推移および (n/w) /培養液濃度比を参考にして、モデル化を試みた。培地上部への給液量は、10月定植の促成栽培では1日・1株当たり当初は0.2L、12月上旬（第3果房開花期）に0.3L、1月上旬（第5果房開花期）に0.4L、2月中旬（第8果房開花期、第2果房収穫期）に0.5L、3月上旬（第10果房開花期、第4果房収穫期）以降は0.6Lと増やしていく管理がとよいと考えられた。培養液濃度は定植から第3果房開花期にあたる12月上旬までは $1.2\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、その後2月上、中旬までが $1.4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、以後濃度を低下させ、4月上旬以降には $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ とする管

理が適すと考えられた。なお、本管理モデルは第3章第2節、第5章で行った実験の培養液管理とほぼ同様であり、本研究において実証されたと考える。

栃木県における養液栽培トマトは効率的に施設利用を行うために、本葉2葉程度のセル成型苗を購入し8月に定植、10月から翌年の6月まで収穫する促成長期栽培に取り組まれている。第5章では前述の促成栽培における培養液管理モデルを参考にして、促成長期栽培における培養液濃度管理について検討した。

本システムでは、培地内溶液濃度、毛管吸水槽内の培養液濃度に高まりがなければ、ベッドの構造上、施用した培養液は作物に吸収されているとみなすことができる。このことは、かけ流し方式の給液および排液から求めたみかけの吸水量およびみかけの成分吸収量（第4表の改良処方区）と本システムの培養液施用量から求めた給液量および成分施用量（第9表の促成区）はほぼ同量であった結果からも判断できる。供給した培養液は日射があれば比較的短い時間に吸収され、日射がない夜間でも継続して吸収されることが知られている（丸尾ら、1993；中村ら、1988）。そこで、促成長期栽培における培養液の供給量（第22図）および窒素施用量（第23図）から吸水量、窒素吸収量の推移を推定した。吸水量および窒素吸収量は定植直後から増加し10月中旬には栽培期間中で最大値となり、その後12月中旬まで減少を続け、12月中旬からは促成栽培とほぼ同様な推移を示し、吸水量は3月下旬まで、窒素吸収量は2月上旬まで増加傾向にあると考えられた。水耕トマトの窒素吸収量について、中野ら（2006）は吸水量が約0.5L/株/日の生育初期では50mg/株/日、その後は吸水量に応じて最大130mg/株/日であるとし、寺林ら（2004）は2週間間隔で肥料を与える定量施与で、NO₃-Nは春夏作では100mg/株/日、秋冬作では70mg/株/日の割合で吸収されていると述べている。本実験では吸水量が0.5L/株/日を超えた時点から摘心（3月26日）までの窒素吸収量の平均は、促成長期栽培で110.6mg/株/日、促成栽培で84.0mg/株/日となり、これらの報告の範囲にあった。窒素以外の成分も培地内溶液濃度の高まりがなかったため、窒素とほぼ同様な吸収量の推移を示すと考えられた。

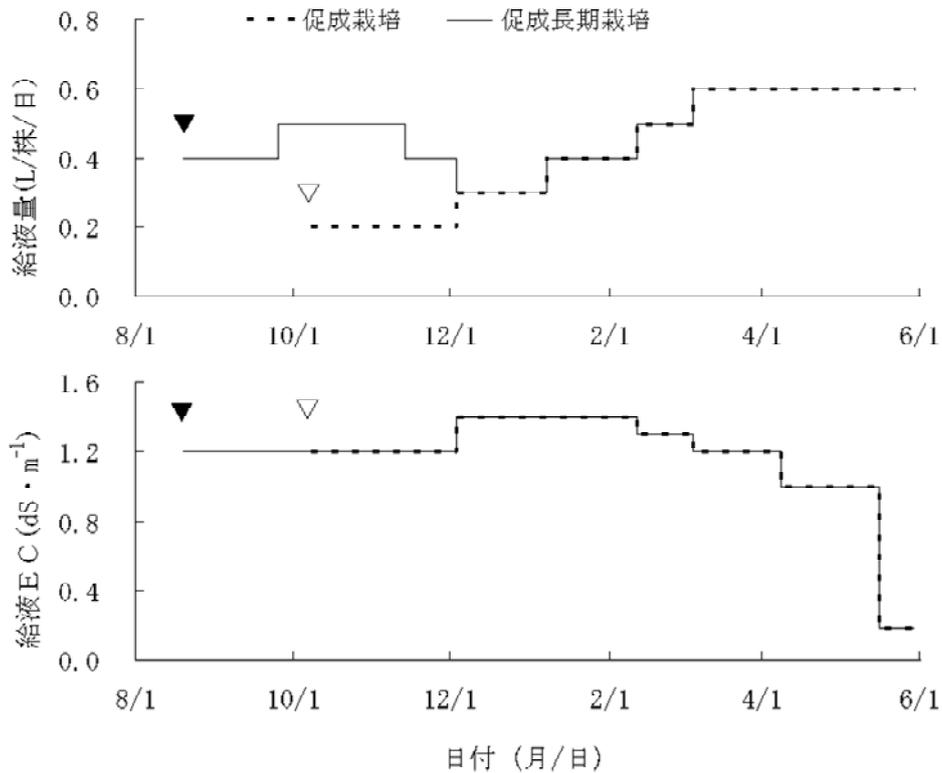
以上のことを踏まえて、促成長期栽培における培地上部への給液量および培養液濃度の管理モデルを第34図に示した。本モデルの作成にあたっては、吸水量および成分吸収量は12月中旬以降において促成栽培とほぼ同量となること、第5章の考察で触れたとおり10月中旬頃は吸水が旺盛となっており、培養液のECは1.4dS・m⁻¹より下げてもよいことを考慮した。具体的な培地上部への給液

量管理は、定植直後はマルチ前で暑い時期であり培地表面からの蒸発もあるため、1日・1株当たり0.4Lとし、9月下旬に0.5Lに増やした後、11月中旬に0.4L、12月上旬に0.3Lと減じ、以後は促成栽培と同様とする管理がよいと考えられた。培養液濃度は定植から12月上旬までEC1.2dS・m⁻¹一定とし、その後は促成栽培と同様な管理でよいと考えられた。なお、培地上部への給液量は、1回・1株当たり0.1Lを目安に回数で調節する。毛管吸水槽への給液は、培地底面に1株当たり数本の根が伸長した頃（およそ定植15日後）を目安に開始し、培養液面が培地底面よりも6cm程度低下したら3cm程度の距離になるまで給液するとよいと考えられた。

以上のような培養液管理を行うことにより、収量は第3章および第5章の結果から第12果房まで収穫した促成栽培では可販果が栃木県の同作型の収量水準（12t・10a⁻¹）を上回る17.1～18.2t・10a⁻¹（第3、10表）、促成長期栽培では栃木県におけるかけ流し式ロックウール耕の目標収量とほぼ同等の25.1t・10a⁻¹（第10表）得られることが示された。高野（1981）は、根圏で培養液のアニオンとカチオンのイオンバランスが均衡してはじめて成長と発育がよく行われると述べている。このことから本研究では、開発した改良処方および培養液管理法の組合せにより、培地内溶液濃度の高まりがなく各成分がバランスよく吸収されたものと考えられた。しかも、本研究の目的とした培養液の廃棄を全く行わずに、第5章の結果から促成栽培では定植（10月8日）から栽培終了（5月26日）までの7か月余、促成長期栽培では定植（8月19日）から栽培終了（5月26日）までの9か月余り栽培できることが実証できた。すなわち、培養液の組成、濃度の大きな変化に伴う毛管吸水槽の培養液の交換や培地内溶液の洗浄などの必要が認められなかった。これらのことは、トマトの養水分吸収量に着目して生育制御や安定生産を行う養液栽培において、本研究で解明した給液量、培養液の濃度の推移は活用できると考える。

4. 培地の耐用年数と根の形態

本システムは有機培地として国内で入手できるスギ樹皮を用いている。製材所等から排出されるスギ樹皮は堆肥・土壌改良材、畜産敷料などとして利用されているが、廃棄されている樹皮もあり、一層の活用が望まれている地域資源である。本研究では、スギ樹皮を粉碎し成型化するプラントを持つ栃木県鹿沼市にある栗野森林組合で製造したスギ樹皮培地を用いた。なお、この培地にはヒノキ樹皮を数%含んでいる。スギは生育阻害物質をほとんど含まないが、ヒノキには生育を阻害するフェノール



第34図 促成栽培および促成長期栽培における培養液管理モデル

▽: 促成栽培定植期, ▼: 促成長期栽培定植期

給液量は培地上部への給液量とし, 0.1L/株/回を目安に回数で調節する

毛管吸水槽への給液は定植15日後を目安に開始する

培養液面と培地底面との距離は3~6cmで管理する

物質や縮合性タンニンが含まれる (石井・門屋, 1993 ; 岩尾ら, 1994b) とされている。しかし, 本システムに用いたスギ樹皮培地では, トマトの生育阻害は認められなかった。

スギ樹皮培地は連用することにより, ①三相分布の変化 (固相率の低下), ②仮比重の低下, ③排水性の低下, ④CECの増大, ⑤窒素の取り込み量の減少といった変化が明らかになった。連用により培地内溶液のECおよびpHは高く推移したが, 培養液管理は連用年数に応じて変更する必要性は認めなかった。莖径は1年目培地の低段果房でやや細かった以外は連用年数による差はなく, 収量は3年目以降で減少する傾向がみられ, 5年目は2年目より低かった。これらのことを踏まえると, 本システムにおけるスギ樹皮培地は5年使用後に交換することがよいと判断された。

池上ら (1990) はかけ流し式ロックウール耕における根の分布について, 大部分の根はロックウール培地を突

き抜け, 培地底部でルートマットを形成すると述べている。本システムでもかけ流し式ロックウール耕に類似する根の分布であった。しかし, 同一施設内で同時に実験を行った第3章第3節のかけ流し方式と第3章第2節の本システムを比べると, 根は本システムの方が培地表面の不織布上に多く, 培地内部では少ないが太く, 培地底部ではルートマットが明らかに厚く発達していたことが観察できた。長村 (1984) は底面吸水させたシクラメンでは下層部の根量が増加すると報告している。したがって, 培地底部の根量は吸水量の概ね半分を培地底面から毛管吸引する本システムで多かったと考えられた。

次に根の形態について, 山崎 (1986) は培養液中の溶存酸素で发育した根を水中根, 湿気中の酸素を吸収して发育した根を湿気中根と定義し, 水中根は根毛がほとんど発達せず環境適応幅が狭く, 湿気中根は根毛がよく発達し環境適応幅が広い特徴を持つと述べている。本システムの培地底部でマット状に発達した根は, 根毛の発生

が肉眼的に認められない水中根であり、培地表面および内部に分布している根は、根毛がよく発達した湿気中根であった。このような異なる形態の根群について、培地表面および内部では培地上部への給液量がかけ流し方式より少ないため、液相率が低く気相率が高くなることで湿気中根が発達し、一方培地底部では不透根シートを介して培養液を毛管吸引する吸水シートが湿潤状態となっていることにより、水中根が形成されたと考えられた。坂本ら（2001）は、水中根と湿気中根からなる保水シート耕のトマト根系は、全根系が培養液中にある場合に比べて養水分吸収や光合成機能が強く維持され、増収につながると報告している。このことから、本システムでみられる二つの形態の根は、生育、収量、養水分吸収を高めることに寄与しているものと推察された。

本システムでは、湿気中根はおもに培地上より給液された培養液を、培地底部に発達した水中根は毛管吸水槽からの培養液を主に吸収していると考えられる。小沢ら（1989）は、2つの根群を持つトマト株を作り、標準濃度（1倍）を基準に0、1または5倍とした培養液に一方の根を入れ、もう一方の根を1、5、10倍の培養液に入れ水耕栽培したところ、吸水量は標準濃度に両根群を入れた株と異なる濃度の培養液に根を入れた株では大差なく、草丈も差がなかったことを報告している。Zhu・Ito（2000）は、根を二つに分け培養液と水道水で水耕したトマト苗では、二つの根を培養液に浸した苗と比べて成長は差がないことを報告している。すなわち、異なる濃度の培養液中にある同一作物体の2つの根群は、吸水機能と吸肥機能を相互に補完し合い、生育に及ぼす影響は認められないとしている。このことを本システムに置き換えてみると、培地内溶液の組成、濃度が施用培養液の組成、濃度と異なった場合でも、毛管吸水槽内の培養液の組成、濃度が施用培養液のそれと同じであれば、培地底部の根群の働きにより生育の低下が生じにくいこと

なると考えられた。さらに、本システムのように培地上部および毛管吸水槽への給液に専用の給液配管を設置し、それぞれに施用培養液を供給することは、培地内溶液の高まりを抑え、かつ作物の水分消費にリアルタイムで対応できるものと考えられ、生育の変化を抑制し生産の安定に貢献できると推察された。

5. 本システムの実用性

本システムの装置・資材および設置・工事に係る費用を単位面積当たりで概算したところ、かけ流し式ロックウールシステムの112%、殺菌装置を備えた循環式ロックウールシステムの94%であった。本システムではベッドおよびシート資材、給液配管関連資材および工事費がかけ流し式ロックウールシステムより高価となるが、殺菌装置や培養液循環装置が不要なため循環式ロックウールシステムよりは安価となる。

実際のトマト経営では、施設、機械の減価償却費および栽培、出荷、雇用などに要する農業経営費が不可欠であり、経営を継続して行うためには、これらの費用を低減することや生産性を高めることが求められる。岡野（2000）は、養液栽培の普及には導入費用の低減化が最も求められていると述べており、本システムにおいても、装置・資材などの改善・改良を図り導入費用をより一層低減する必要がある。

本研究では経営的な評価を行う具体的データはないので、栃木県の過去3年の施設トマトの平均単価に促成栽培の平均的な収量を乗算したところ、本システムの導入費用の約4割に過ぎなかった。一方、前述の単価に第5章の促成長期区の可販果収量を乗算したところ導入費用の約9割となった。このことから、本システムは単年度では赤字となるが、連年促成長期栽培することにより十分な収益が期待される。

総合要旨

トマト養液栽培における使用済み培地処理および培養液廃棄による環境への負荷軽減を図るために開発した、スギ樹皮培地を用いた閉鎖型・非循環方式の養液栽培システム（本システム）の培養液管理法の確立を目的とした。

本システムはかけ流し方式に比べて培地内溶液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、Ca、Mg、S濃度が高まりやすく、いったん高まると低下しにくい。そこで、本システムに適する培養液処方を開発するために、トマトのみかけの成分吸収濃度を調査し、大塚A処方に比べ $\text{NH}_4\text{-N}$ 、Ca、Mg、S濃度を下げK濃度を高めた改良処方培養液を開発した。改良処方は大塚A処方に比べて培地内溶液のECならびに $\text{NO}_3\text{-N}$ 、Ca、MgおよびS濃度が低く推移し、上段果房の茎径は太く、収量は多い傾向にあった。改良処方のみかけの成分吸収濃度の変化は大塚A処方より小さく、みかけの成分吸収濃度と培養液濃度がおおむね等しくなったため、改良処方の組成、濃度はトマトの養分吸収とほぼ同等と

考えられた。

培地上部への給液量はトマトの吸水量の約1/2とし、残りを施用培養液を用いて毛管吸水槽に給液すると、培地内溶液濃度が安定して推移し、収量がやや多い傾向となることが示唆された。トマト促成長期栽培および促成栽培における給液量、窒素施用量、培地内溶液濃度を検討し、培養液濃度管理について明らかにした。これらの結果から、本システムにおけるトマト促成長期栽培および促成栽培の培養液管理モデルを作成した。

トマトを促成栽培で連用した年数の異なるスギ樹皮培地の三相分布、湛水後の培地重量の変化、CEC、窒素の取り込みおよび培地内溶液の無機成分濃度について、連用年数による変化を明らかにできた。スギ樹皮培地の連用年数とこれら理化学性、生育および収量の関係から、本システムにおけるスギ樹皮培地は5年連用後に交換することが望ましいと考えられた。

要 旨

1. トマト養液栽培における使用済み培地処理および培養液廃棄による環境負荷軽減を図るために開発した、有機質培地を用い培養液を循環することなく作物に全て吸収させる閉鎖型・非循環方式の養液栽培システム（本システム）の培養液管理法の確立を目的とした。
2. 本システムは培地にスギ樹皮を用いた。培養液は培地上部ならびにベッド内に毛管吸引で供給する培養液を貯える毛管吸水槽に、それぞれ独立した制御により供給できる。
3. かけ流し方式に比べて本システムでは、培地内溶液ECが高い傾向で推移した。また、培地内溶液に $\text{NO}_3\text{-N}$ 、Ca、Mg、S濃度が高まりやすく、いったん高まると低下しにくいことがわかった。
4. 本システムに適する培養液処方を開発するために、かけ流し方式でトマトのみかけの成分吸収濃度を検討し、大塚A処方より $\text{NH}_4\text{-N}$ 、Ca、Mg、S濃度を下げ、K濃度を高めた組成、濃度の改良処方培養液（ $\text{NO}_3\text{-N}$: $\text{NH}_4\text{-N}$: P: K: Ca: Mg: S=7.0: 0.2: 2.1: 5.6: 2.9: 1.0: $1.1\text{me} \cdot \text{L}^{-1}$ ）を開発した。
5. 改良処方は大塚A処方と比較し、培地内溶液のECならびに $\text{NO}_3\text{-N}$ 、Ca、MgおよびS濃度は低く推移した。K濃度は高く推移したが、培養液の濃度を超え集積することはなかった。改良処方では上段果房の茎径が太く、収量は多い傾向であった。促成栽培において、排水が全くなくトマト1株12果房から栃木県の同作型の収量水準より多い $18.2\text{t} \cdot 10\text{a}^{-1}$ の収量が得られた。
6. 改良処方の組成、濃度の特徴を明らかにするため、かけ流し方式でトマトを栽培した結果、大塚A処方より培地内溶液および排水のECが低く安定すること、みかけの成分吸収速度が収穫開始期後も維持されること、みかけの成分吸収濃度がほぼ一定のレベルで推移すること、みかけの成分吸収濃度と培養液濃度がほぼ同じであることが示された。これらの特徴から、改良処方の組成、濃度はトマトの養分吸収にほぼ等しいと考えられた。
7. 培地上部への給液量はトマトの吸水量の約1/2を供給すると、約1/4を供給したときに比べて培地内溶液濃度が安定して推移し、上位果房の茎径が太く、収量がやや多い傾向となった。毛管吸水槽への給液について、培地を通過した培養液のみを毛管吸水槽に貯留すると、その培養液のECが施用培養液と同じであっても、両者の組成、濃度は異なっていた。毛管吸水槽には培地を通過した培養液を貯えるより、施用培養液を直接供給した方が培地内溶液濃度が安定して推移し、本システムにおけるトマト生産の安定化、排水抑制に寄与できる。
8. トマト促成長期栽培における給液量および窒素施用量は定植後から増加し10月中旬に最大値をとり、その後12月中旬まで減少した。12月中旬からは促成栽培とはほぼ同様な推移を示し、給液量は3月下旬まで、窒素施用量は2月上旬まで増加傾向にあった。培地内溶液濃度は促成長期栽培では促成栽培と同等かやや高めに推移したが、施用培養液濃度を超えて集積する成分は認められなかった。このようなことから、促成長期栽培における給液ECの管理は、定植から12月上旬までが $1.2\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、その後2月上、中旬まで $1.4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、以後低下させ4月上旬に $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ とする管理が適すると考えられた。
9. トマトを促成栽培で連用した年数の異なるスギ樹皮培地について検討した。三相分布は、液相率および気相率は連用しても変化しなかったが、固相率は連用年数の増加にしたがい低下した。灌水後の培地重量の変化は連用年数が多いほど小さかった。連用年数の増加によりCECは高くなり、窒素の取り込みは少なくなった。また、培地内溶液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は連用年数が多くなるにつれ高く推移する傾向で、K、Ca、Mg濃度は3年目までの培地に比べ5年目培地で高く推移した。茎径は1年目培地の第1、3果房で小さかった以外は連用による差はなかった。収量は2年目培地で高い傾向にあり、その後は連用により低下し、5年目培地では2年目培地と比べて有意に少なかった。本シ

システムにおけるスギ樹皮培地は5年連用後に交換するとよいことが示唆された。

10. このようにして、本研究ではトマトの養液栽培における使用済み培地処理および培養液の廃棄による環境負荷軽減を図るために開発した、閉鎖型・非循環方式の養液栽培システムの培養液管理法について検討した。トマトのみかけの成分吸収濃度から改良処方を開発し、改良処方が培地内溶液濃度、トマトの生育および収量に及ぼす影響を明らかにした。さらに、改良処方におけるみかけの成分吸収速度、みか

けの成分吸収濃度、みかけの成分吸収濃度と培養液濃度の比などの特徴を解明した。培養液の供給について、培地上部ならびに毛管吸水槽への給液法を確立した。連用した年数の異なるスギ樹皮培地の理化学性、生育および収量を調査し、スギ樹皮培地の耐用年数を明らかにした。以上の結果を踏まえて、本システムにおける培養液管理モデルを確立した。これらの成果は環境への負荷を軽減したトマト養液栽培および培養液管理のマニュアル化に寄与すると考えられる。

謝 辞

本研究のとりまとめにあたり、終始親切丁寧なご指導とご教示を賜りました宇都宮大学農学部八巻良和教授に、敬意を表し心から感謝申し上げます。

宇都宮大学農学部吉田智彦教授、東京農工大学大学院農学府荻原勲教授、宇都宮大学農学部山根健治准教授、茨城大学農学部井上栄一准教授には本論文の校閲を賜りました。記して厚くお礼申し上げます。

本研究で用いた「毛管給液を併用した養液栽培システム」の試作ならびに実用化にご尽力いただいた株式会社誠和の新堀行男取締役製造部長、スギ樹皮培地を提供いただいた栗野森林組合、実用規模で試作した本システムを設置し現地試験栽培に取り組んでいただいた上三川町の鶴見明弘氏に感謝の意を表します。

本研究の遂行にあたり、栃木県農業試験場元次長峯岸長利氏、室井栄一園芸技術部長（現農政部経営技術課）には終始暖かい励まし、ご支援をいただき感謝申し上げます。園芸技術部野菜研究室とともに栽培管理等に携わり、多大なご尽力をいただきました人見秀康主任（現農政部生産振興課）、中山千知主任（現栃木県河内農業振興事務所）および大島一則野菜研究室長をはじめ職員ならびにパート職員の皆様に深謝いたします。

本研究のとりまとめに際して、栃木県下都賀農業振興事務所猪瀬博農政部参事兼所長（現栃木県農業大学校）、福田勝美経営普及部長（現(財)栃木県農業振興公社）ならびに野菜課職員にはご理解をいただき終始暖かい励ましを賜りました。ここに厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 相崎万裕美. 1996. バークたい肥. p. 103-122. 土壌改良と資材. 日本土壌協会. 東京.
- 青木宏史. 1997. 温度管理. 温度管理の実態と考え方. p. 基403-404. 農業技術体系野菜編2. トマト. 農文協. 東京.
- 荒木浩一・伊藤秀文・岩崎清治・金森哲夫・安田 環・野々山芳夫. 1985. 施設トマトの連作ほ場に対するおがくず, バーク及びピートモス連用の影響. 野菜試報. A13: 93-108.
- 板東一宏・町田治幸. 1988. トマトのロックウール栽培実用化技術の確立(第1報) かけ流し方式における培養液濃度が品質, 収量に及ぼす影響. 徳島農試研報. 25: 16-26.
- 板東一宏・町田治幸・古藤英司. 1988. トマトのロックウール栽培実用化技術の確立(第2報) 循環方式における培養液濃度及び給液法が品質, 収量に及ぼす影響. 徳島農試研報. 25: 27-35.
- 板東一宏・町田治幸. 1992. トマトのロックウール栽培実用化技術の確立(第4報) 循環方式における培養液組成が品質, 収量に及ぼす影響. 徳島農試研報. 28: 35-42.
- 近乗偉夫・阿部勇徹・宝満利行. 1992. もみがらを培地とした低コスト養液栽培装置の開発. 大分農技セ研報. 22: 97-109.
- 茅野充男. 1987. 養液栽培における作物の養分吸収特性. 農及園. 62: 91-96.
- 遠藤昌伸・切岩祥和・糠谷 明. 2006. イチゴ‘章姫’の養液栽培におけるヤシ殻とピートの混合比率が生育, 収量, 水分生理特性に及ぼす影響. 園学雑. 75: 344-349.
- 藤原多見夫・木村陽登・古井シゲ子・関谷宏三・駒村研三. 1987. 樹皮堆肥による粘質ブドウ園土壌の環境改善. 広島県果樹試研報. 12: 29-38.
- 浜渦敬三・中村和洋. 1990. 自動給液制御装置を用いたトマトのたん液栽培法. 高知農林研報. 22: 1-10.
- Hikosaka, S., M. Hohjo, T. Maruo, Y. Shinohara and T. Ito. 2002. Effects of Leaching Rate and Renewal of Nutrient Solution on Cucumber Growth in Recirculating Hydroponics Using Organic Medium. Environ. Control in Biol. 40: 187-194.
- 平山喜彦・信岡 尚・東井君枝・長村智司. 2000. ピートモス培地によるイチゴ高設栽培の実用化に関する研究(第1報) 根圏物理性の改善と栽培装置の開発. 奈良農試研報. 31: 25-34.
- 北条雅章. 2001. 培養液管理法からみたNFTトマトの高品质果実生産技術の開発. 千葉大園学報. 55: 123-153.
- 細井徳夫・細野達夫. 2005. 個体群葉面積を指標にした肥料施用量の日調節による培養液にN・P・Kの残留が無いトマト養液栽培. 野菜茶研報. 4: 87-119.
- 細川卓也・前田幸二・岡野邦夫. 2001. 高知方式湛液型養液栽培システムにおける有機質培地の利用に関する研究(第1報) 有機質培地の物理的特性, 水分保持特性. 高知農技セ研報. 10: 59-65.
- 細川卓也・前田幸二. 2003. 高知方式湛液型養液栽培システムにおける有機質培地の利用に関する研究(第2報) 有機質培地耕におけるナスの促成栽培. 高知農技セ研報. 12: 59-68.
- 市村 勉. 1999. バラ養液栽培における給液方法の違いが収量・品質に及ぼす影響. 園学雑. 68 (別1): 306.
- 伊神裕司・村田光司. 2003. 製材工場における木質残廃材の発生と利用. 森林総研研報. 2: 111-114.
- 池田英男. 1998. 培養液の種類と管理. p. 420-424. 施設園芸ハンドブック. 園芸情報センター. 東京.
- 池田英男・佐久間真美・大沢孝也. 1988. 水耕トマトの生育と養分吸収. 園学要旨. 昭63春: 284-285.
- 池田英男. 2003. 養液栽培の展開.P. 258-273. 施設園芸ハンドブック. 園芸情報センター. 東京.
- 池上正彦・清水光男・安田 傑. 1990. 冬春トマトのロックウール耕における栽培技術. 愛媛農試研報. 30: 36-41.
- 位田藤久太郎・永井輝行. 1978. 養液栽培における根の環境の制御に関する研究(第1報) 培地のpH. 園学要旨. 昭53春: 264-265.
- 位田藤久太郎・永井輝行. 1982. 野菜の生育に及ぼす培地の温度, 塩類複合ストレスの影響に関する研究. 福井短大研紀要. 7: 1-17.
- 石原良行・木村 栄. 1999. 余剰液を出さない養液栽培装置. 特許第3415531号(2003).
- 石原良行・渡辺恵美子・大島一則・駒場謙一・木村 栄.

2000. 促成トマトのロックウール栽培における給液管理. 栃木農試研報. 49: 1-14.
- 石原良行・大島一則・人見秀康・加納賢三・野村保明. 2003. 流量制御機構および該機構を備えた植物栽培装置. 特願2003-55834 (特許出願中).
- 石井孝昭・門屋一臣. 1993a. カンキツ園の土壌改良資材としてのスギ樹皮およびヒノキ樹皮の利用に関する研究. 園学雑. 62: 295-303.
- 石井孝昭・門屋一臣. 1993b. カラタチおよびイネの生長に及ぼすスギならびにヒノキ材中の生育阻害物質について. 園学雑. 62: 285-294.
- 磯崎真英・小西信幸・黒木 誠・野村保明・田中一久. 2004. 培養液の廃棄を削減する余剰液再利用ロックウールシステムにおけるトマトの生育および培養液成分濃度の推移. 園学雑. 73: 354-363
- 磯崎真英・小西信幸・黒田克利・佐藤法子・古田堅持・田中一久・富川 章. 2005. 排液再利用ユニットを取り付けたロックウールシステムで栽培したトマトの収量および培地内培養液の無機成分濃度の推移. 園学研. 4: 63-68.
- 板木利隆. 1986. 循環式水耕栽培の理論. 農及園. 61: 115-121.
- 岩尾和哉・西森裕夫・吉本 均・佐田明和. 1993. 毛管水耕における水位がトマトの生育収量に及ぼす影響. 園学雑. 62 (別1) : 38-39.
- 岩尾俊男・魏 亜玲・林 圭脛・藤浦建史・房 薇・竹山光一・霜里康浩・浅尾俊樹. 1994. スギ, ヒノキ樹皮廃材コンポスト化素材の水耕栽培用ベッドへの適応性の研究—スギ, ヒノキ樹皮ベッドの物性—. 島根大学農学部研報. 28: 53-59.
- 岩崎泰永・千葉佳朗. 1999. 有機質資材を培地としたトマトの循環型養液栽培システムの開発. 宮城園試研報. 12: 1-11.
- 岩崎泰永・三枝正彦. 2001. 培養液のNO₃-N/NH₄-N比がやし殻繊維を培地とする循環型養液栽培における培養液組成とトマトの生育・収量に及ぼす影響. 土肥誌. 72: 214-222.
- 景山詳弘. 1991. 培養液の窒素濃度が水耕トマトの窒素吸収量と生育ならびに収量に及ぼす影響. 園学雑. 60: 583-592.
- 加藤俊博. 2003. 培地・培養液処理と有効利用. p. 279-282. 施設園芸ハンドブック. 園芸情報センター. 東京.
- 香山 彊. 1961. 腐朽材の化学的研究 (第1報) 腐朽材の化学的組成, および腐朽材パルプの二, 三の性質について. 木材学会誌. 7: 161-166.
- 君島好美・古口光夫. 1991. 栃木県における養液栽培の実態と問題点. p.2-8. 第13回養液栽培研究会栃木総会. 研究会要旨集.
- 木下陽一・豊田光男・佐野雅俊・山田晴夫. 1999. もみながら耕装置を利用した促成トマトの養液栽培技術. 大分農技セ研報. 29: 43-57.
- 小林尚司・時枝茂行・桐村義孝・吉川年彦・西村十郎・藤原辰行. 1988. ロックウールを用いたバッグカルチャーによる野菜栽培 (第1報) 給液法の違いがトマトの収量並びに品質に及ぼす影響. 兵庫中央農技セ研報. 36: 29-34.
- 小林尚司・時枝茂行. 2002. 培養液の更新方法の違いが培養液組成とトマトの生育・収量に及ぼす影響. 園学研. 1: 195-198.
- 小松鋭太郎. 2004. 電気伝導度 (EC) . p. 基本109-114. 農業技術体系土肥編 4. 土壌診断・生育診断. 農文協. 東京.
- 近藤隆彦. 1967. そ菜における生育段階別の養水分吸収について. 園試報. B. 7: 57-71.
- 今野一男・平井義孝・東田修司. 1985. パーク堆肥の腐熟過程における化学成分変化と腐熟度指標. 北海道立農試集報. 52: 31-40.
- 丸尾 達・伊藤 正・篠原 温. 1993. N F Tにおける野菜類の吸水速度測定方法に関する研究. 千葉大園学報. 47: 9-15.
- 丸尾 達. 2006. 施設園芸作物の栽培管理. 施設野菜・薬用植物・ハーブの特徴と栽培管理. p. 150-168. 古在豊樹・後藤英司・富士原和宏編著. 最新施設園芸学. 朝倉書店. 東京.
- 丸山 進・山口秀和・木下義明. 1998. 毛管水耕の改良に関する研究 (第3報) NK毛管水耕システムに適応する野菜の選定. 園学雑. 67 (別2): 117.
- 榊田正治・瀧口 武・松原幸子. 1989. 培養液濃度がトマトの収量と品質および養液成分の濃度変化に及ぼす影響. 園学雑. 58: 641-648.
- Masuda, M., T. Tanaka and S. Matsunari. 1990. Uptake of Water and Minerals during the Day and the Night in Tomato and Cucumber Plants. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 58: 951-957.
- 松中照夫. 2003. 土壌学の基礎. 農文協. 東京.
- 松岡達憲・大久保淳一・浜渦敬三・福井康弘・前田幸二. 1997. 高知方式湛液型ロックウールシステムの開発. 高知農技セ研報. 6: 13-20.
- 松崎正典・板東一宏・佐藤佳宏. 2002. イチゴの徳島農

- 研方式高設養液栽培の開発. 徳島農研研報. 37: 1-11.
- 峯岸長利・久地井恵美. 1989. 杉パーク「クリプトモス」による洋ラン類の栽培. 園学雑. 58 (別1): 466-467.
- 水野直美. 1995. 植物培養液の塩類組成決定法. 野菜試研報. B. 8: 11-22.
- 森下年起・神藤 宏・平田 滋. 2001. 毛管水耕による高品質葉ネギ生産技術に関する研究. 和歌山農林水技セ研報. 2: 115-123.
- 森次益三・鈴木孝夫・河崎利夫. 1980. 作物生育ならびに無機養分吸収に及ぼす窒素源の影響. 1. 自動pH栽培法と従来法の比較. 土肥誌. 51: 447-456.
- 長村智司. 1984. 底面吸水に関する研究 (第1報) 底面吸水によるシクラメンの生育について. 奈良農試研報. 15: 21-27.
- 中林和重・愛川喜好. 1989. トマトのロックウール栽培における培養液組成の改善と育苗日数の検討. 土肥誌. 60: 454-457.
- 中林和重・斎藤伸芳・内山和也. 1990. 水田における使用済ロックウールの施用効果. 土肥誌. 61: 184-186.
- 中村新市・堀内正美・佐野浩之. 1988. トマトのロックウール栽培における養液管理. 静岡農試研報. 33: 19-25.
- 中野有加・渡辺慎一・川嶋浩樹・高市益行. 2004. トマト養液栽培の量的管理法における生育特性の異なる3品種の比較. 園学雑. 73 (別2): 386.
- 中野有加・渡辺慎一・川嶋浩樹・高市益行. 2006. トマト水耕栽培の無機成分の日施用法における施用量が収量, 品質および無機成分吸収量に及ぼす影響. 園学雑. 75: 421-429.
- 並木隆和. 1986. 培養液組成の理論と実際. 農及園. 61: 197-204.
- 野口正樹. 2003. 園芸作物の栽培. 作型と栽培管理. 野菜. p. 376-393. 施設園芸ハンドブック. 園芸情報センター. 東京.
- 農林水産省農産園芸局. 2007. 園芸用ガラス室・ハウス等の設置状況.
- 農林水産省統計部. 2007. 木質バイオマスの種類別発生量及び利用量. p.200-207. 平成17年 木材需給報告書.
- 糠谷 明. 2001. 養液栽培の培地と原水. 養液栽培の培地の特性. p. 養液栽培59-67. 農業技術体系野菜編12. 共通技術・先端技術. 農文協. 東京.
- 糠谷 明. 2002. ロックウール栽培. 適用作物と栽培法. トマト. p. 96-100. 養液栽培の新マニュアル. 誠文堂新光社. 東京.
- 岡野邦夫・坂本有加・渡邊慎一・中島武彦. 1999. 排液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. 生物環境調節. 37: 63-71.
- 岡野邦夫. 2000. 養液栽培をめぐる最近の動向[1]. 農及園. 75: 51-58.
- 岡野邦夫. 2001. 養液栽培の培養液管理. 培養液の組成と作成. p. 養液栽培 87-96の8. 農業技術体系野菜編12. 共通技術・先端技術. 農文協. 東京.
- 小野 誠・青木和年・東 隆夫・北島秀臣・黒野誠六・石田豊明・森田敏雅・塚本和彦. 1993. パッシブ水耕の開発に関する研究. 熊本県農研セ研報. 3: 37-60.
- 大川浩司・林 悟朗. 1996. 親水性不織布と防根シートを利用した養液栽培装置による高糖度トマト生産 (第1報) 装置の特性と高濃度培養液の施用効果. 愛知農総試研報. 28: 117-126.
- 小沢 聖・斉藤祥子・島根茂雄. 1989. トマトの水ストレスと生育に及ぼす根の部分吸水と吸肥の影響. 農業気象. 45: 105-109.
- Phandara, P. ・遠藤昌伸・切岩祥和・糠谷 明. 2006. トマト養液栽培におけるダブルトラフ構造ベッドを用いた量的管理法の研究 (第2報) 摘心位置が異なる場合における硝酸態窒素施用量の検討. 園学雑. 75 (別1): 379.
- Ruijs, M. N. A. 1993. Economic Evaluation of Closed Production Systems in Glasshouse Horticulture. Acta Hort. 340: 87-94.
- 坂本有加・渡邊慎一・岡野邦夫・巽 二郎. 2001. 保水シート耕方式の養液栽培における根域の気相/液相部比率がトマトの生育・収量に及ぼす影響. 園学雑. 70: 622-628.
- 佐々木皓二・板木利隆. 1978. 果菜類における養液栽培技術の確立に関する研究 (第2報) 数種培養液処方がトマトの生育・収量に及ぼす影響. 神奈川園試研報. 25: 52-58.
- 志村 清・鈴木義彦・小田雅行. 1985. 噴霧栽培トマトの培養液管理法. 野菜試報. A. 13: 33-54.
- 篠原速都・鶴田 望・関田寿一・田岡大史・大谷慶人. 2002. ロックウールの処理方法及び代替資材の開発と実用化に関する研究 (第2報) 未利用資源や新素材を利用した代替資材の開発. 高知工技セ研報. 33: 39-42.
- Shinohara, Y., T. Maruo and T. Ito. 1993. Effects of Capillary Hydroponic System on the Growth, Yield and Quality of Tomato and Cucumber. Tech. Bull. Fac. Hort. Chiba Univ. 47: 1-8.

- 篠原 温・正森啓司・塚越 覚・丸尾 達・伊藤 正.
1997. 養液栽培における培養液中の重炭酸イオンの測定および調整の方法に関する研究. 千葉大園学報. 51: 1-6.
- 篠原 温. 2003. 環境に優しい養液栽培の開発指針と展望. p. 1-7. 環境に優しい養液栽培の現況と展望. 野菜茶業研究所.
- 鈴木芳夫・篠原 温・渋谷正夫・福島 実. 1982. 水耕トマトの品種と培養液吸収濃度 (n/w). 園学要旨. 昭57春: 256-257.
- 高野泰吉. 1981. 養液栽培の現状と問題点[2]水耕培養液の組成について. 農及園. 56: 919-924.
- 高嶋四郎・並木隆和・福井重光・竹内俊雄・西 新也.
1973. 蔬菜水耕栽培の実用化に関する研究. IV. 培養液濃度がトマトの生育, 収量におよぼす影響. 京都府大学術報告. 農学. 25: 9-16.
- 武井昭夫. 1997. 施肥. 養分吸収の特徴と施肥の考え方. p. 基335-338. 農業技術体系野菜編2. トマト. 農文協. 東京.
- 竹内常雄. 2000. ロックウールを用いた培養液循環式栽培におけるイチゴ‘章姫’の養分吸収特性. 静岡農試研報. 45: 13-23.
- 丹原一寛・近藤武由・栗原 肇・宮本豊博. 1974. 初殻燻炭利用によるそ菜の養液栽培(第3報)培地内における養液の毛管運動および養液組成の分布について. 土肥誌. 45: 193-196.
- Terabayashi, S., K. Takii and T. Namiki. 1991. Variation in Diurnal Uptake of Water and Nutrients by Tomato Plants of Different Growth Stages Grown in Water Culture. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 59: 751-755.
- 寺林 敏・浅香智孝・戸祭 章・伊達修一・藤目幸擴.
2004. トマト水耕栽培における硝酸態窒素およびリンの定量施与が養分吸収および果実生産に及ぼす影響. 園学研. 3: 195-200.
- Terabayashi, S., I. Muramatsu, S. Tokutani, M. Ando, E. Kitagawa, T. Shigemori, S. Date and Y. Fujime. 2004. Relationship between the Weekly Nutrient Uptake Rate during Fruiting Stages and Fruit Weight of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Grown Hydroponically. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 73: 324-329.
- 栃木県経済連. 1986. トマトのロックウール栽培調査報告書.
- 栃木県農務部. 2006. まるごと栃木の農林水産物2006[統計資料編].
- 栃木県林務部. 2006. 平成18年版 栃木県森林・林業統計書.
- 藤堂 太・坂本有加・渡邊真一・岡野邦夫. 2000. 閉鎖型の培養液管理がバラの生育と培養液組成に及ぼす影響. 園学雑. 69 (別1): 364.
- 植木正明・栃木博美・畠山昭嗣・稲葉幸雄・重野 貴.
1999. 杉パーク「クリプトモス」を培地としたイチゴの高設ベッド栽培(第1報)非循環による閉鎖型養液管理システムの開発. 園学雑. 68 (別1): 233.
- Van Os, E. A., M. N. A. Ruijs and P. A. van Weel. 1991. Closed Business Systems for Less Pollution from Greenhouses. Acta Hort. 294: 49-57.
- 和田光史. 1984. 土壌の化学性. p. 73-95. 新土壌学. 朝倉書店. 東京.
- 安井秀夫. 1986. 固形培地式養液栽培の理論. 農及園. 61: 147-159.
- 山崎肯哉・鈴木芳夫・篠原 温. 1976. そ菜の養液栽培(水耕)に関する研究, 特に培養液管理とみかけの吸収濃度 (n/w) に就て. 東教大農紀要. 22: 53-100.
- 山崎肯哉. 1986. 養液栽培技術の発展経過と今後の方向. 農及園. 61: 107-114.
- 山崎肯哉. 1987. 根群生態からみた養液栽培と毛管水耕について. 園学要旨. 昭62秋: 360-361.
- 山崎幸重・安岡由紀・岩崎昭雄・松岡俊二. 2007. 使用済み野菜栽培用ロックウールの水田への施用が水稻の生育収量および土壌の化学性や物理性に及ぼす影響. 高知農業セ研報. 16: 71-78.
- 山下文秋・林 悟朗. 1997. 水耕トマトの低段密植栽培による周年生産(第4報)循環式における培養液管理技術. 愛知農総試研報. 29: 103-110.
- 吉田裕一・森本義博・溝渕俊明・喜多忠一・松崎朝浩・近藤弘志・金場香織・糸川桂一. 1996. 香川型イチゴピート栽培システム”らくちん”の開発(第1報)システムおよび栽培管理の概要と‘女峰’の収量. 園学雑. 65 (別2): 44-45.
- 喻 景権・駒田 旦. 1995. 養液栽培トマトの2, 3土壌伝染性病害に対するスギ, ヒノキ樹皮繊維培地の抑制効果. 植物防疫. 49: 388-390.
- Zhu, Y. and T. Ito. 2000. Effects of Nutrient Stress by Split-Root System on the Growth and K, Ca, and Mg Contents at Different Stages of Hydroponically-Grown Tomato Seedlings. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 69: 677-683.

Studies on a Closed Hydroponics System with a Capillary Uptake Method Using Organic Substrates in Tomato Production

Yoshiyuki Ishihara

Summary

1 Management of nutrient solution for tomatoes was studied in a closed hydroponic system developed in aim to decrease load on the environment. The main purpose was to establish a nutrient solution management scheme for a non-circulating closed hydroponics system, where all the nutrient solution will be absorbed by the plants.

2 The new closed hydroponics system has a capillary uptake method by organic substrates made of cedar bark. The nutrient solution in this system can be supplied separately to the substrates and also to the reservoir.

3 The EC, NO₃-N, Ca, Mg, and S levels in the solution within the substrates of this system tended to be higher than in an open hydroponic system.

4 An improved nutrient solution formula for tomato production was evaluated in this system in aim to reduce emission. The improved nutrient solution formula (NO₃-N: NH₄-N: P: K: Ca: Mg: S= 7.0: 0.2: 2.1: 5.6: 2.9: 1.0: 1.1 me · L⁻¹) has higher K level, lower NH₄-N, Ca, Mg and S levels than the conventional Ootsuka-A formula.

5 EC, NO₃-N, Ca, Mg and S of the solution within the organic substrates were lower when the improved formula was applied. Yield of 18.2 t · 10⁻¹ a⁻¹ from twelve clusters per plant was obtained without emitting exhaust solution by applying the improved formula in this system.

6 Tomatoes were grown in a greenhouse using an open hydroponic system with the improved formula. Fluctuations of NO₃-N, Ca, Mg and S levels in the solutions within the substrates and in the exhaust were smaller with the improved formula than with the Ootsuka-A formula. EC also was lower with the improved nutrient solution. Changes in the ratio of nutrient absorption per water consumption (n/w) were small and the ratio of n/w to nutrient concentration was 1.0 to 1.2. It was shown that the formation and the concentration of the improved nutrient solution matched the uptake ratio of the tomato plant.

7 By reducing the application volume of the nutrient solution to half of the uptake by the tomato plant, the concentration in the substrate fluctuated lower, and stem diameter of tomatoes between the upper clusters and the yield increased. When the nutrient solution was applied directly to the reservoir, not by passig through the substrate, the nutrient concentration within the substrate fluctuated somewhat lower, and the yield tended to increase. It was suggested that the composition and the fluctuation in the concentration of the nutrient solution within the substrate could be maintaind adequately by applying decreased amount of the nutrient solution directly to the reservoir.

8 Control of the concentration of nutrient solution for a long-term forcing culture (LTFC) of tomatoes was studied in this closed hydroponic system. The improved formula was applied in both LTFC and normal-term forcing culture (NTFC). The

volume of the nutrient solution and nitrogen supplied in LTFC increased immediately after planting and reached a maximum in mid-October, then decreased until mid-December. Thereafter, the trends of nutrient solution and nitrogen supplied were similar in LTFC and NTFC, i.e. nutrient solution and nitrogen supplied tended to increase until late March and early February, respectively. Concentration of the solution within the substrate fluctuated somewhat higher in LTFC, but there was no ingredient that markedly exceeded the concentration of the nutrient solution applied. It was suggested that adequate levels of EC in the supplying nutrient solution would be $1.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ from planting until early December, increased to $1.4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ then lowered in February to $1.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$.

9 Tomatoes were grown on substrates made of cedar bark for five years to investigate the changes in physiological and chemical properties of the substrates, the concentrations of the ingredients of the solution within the substrates, and the growth and yield of tomatoes. The substrates were fixed in the closed hydroponic system. The liquid and gaseous phases of the substrates did not differ, while the solid phase decreased as the year passed. The annual weight loss of the substrates grew smaller, CEC of the substrates increased, nitrogen absorption by the substrates decreased, and $\text{NO}_3\text{-N}$ level in the solution within the substrates tended to fluctuate higher. K, Ca, Mg levels in the solution within the substrates were higher when used for five years than when used less than three years. There was no difference in stem diameter of tomato plants at the first and third clusters, except that the plants showed thinner stems on the one-year-old substrate. The yield of tomato fruits tended to be higher on the two-year-old substrate than on the one-year-old substrate. The yield was lowest on the five-year-old substrate. It was suggested that the substrate should be replaced after five years.

10 Carried out were investigations on a suitable management method of the nutrient solution for tomatoes in a non-circulating closed hydroponics system developed in aim to reduce load on the environment. An improved nutrient solution formula was developed based on the apparent nutrient absorption. Its effects on the concentration within the substrates and growth and yield of tomatoes were evaluated. Characteristics of the apparent absorption rate and concentration of the components, the ratio of nutrient absorption per water consumption (n/w) in the improved formula were revealed. Application methods of the nutrient solution to the top of the substrate and to the reservoir were established. The life of the substrate was revealed by physical and chemical investigations of the substrate and the growth and yield of tomatoes. Based on these investigations, a model for nutrient solution management was established. These results should contribute to the manualization of nutrient solution management and nutrient culture for tomatoes with decreased load on the environment.