

Development of a Simplified, Laborsaving and Low-Environmental-Impact Production System for Tomato Cultivation by Applying of Controlled Release Fertilizers via Root-Proof Capillary Wick Irrigation

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 木下, 貴文 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/00001755

防根給水ひも栽培に肥効調節型肥料を適用した トマトの省力・環境負荷低減型簡易生産システムの開発

木下貴文¹

Key words : 培地, 毛管給水, 施肥法, 促成栽培, *Solanum lycopersicum*, 養液栽培

目 次

I 緒 論	11	5 摘要	33
1 本研究の背景	11	III 施肥の簡略化のためのCRFの給水タンク内 施用技術の開発	33
2 肥効調節型肥料 (CRF) を用いた施肥技 術に関する既往の研究	13	1 タンク内硝化処理方法の検討	34
3 本研究の目的と本論文の構成	14	2 肥料の施用方法の違いが生育および収量 に及ぼす影響ならびにタンク内硝化処理 の効果	35
II トマトの防根ひも栽培法に適した培地の検 討およびCRFを用いた施肥法の開発	14	3 肥料の施用方法の違いが窒素の吸収形態 と形態変換に及ぼす影響	39
1 促成トマトの防根ひも栽培に適した培地 の種類を検討	15	4 CRFのタンク内施用法の長期促成栽培へ の適用	41
2 促成トマトの防根ひも栽培法へのCRFの 適用	20	5 摘要	44
3 培養液管理との比較におけるCRF施用の 果実収量と養分動態	24	IV 総 括	45
4 肥料の組み合わせを改良した上でのCRF 施用と培養液施用との果実生産性および 養分吸収の比較	28	謝 辞	48
		引用文献	48
		Summary	57

I 緒 論

1 本研究の背景

わが国における園芸用施設の設置面積は、戦後一貫して増加してきたが、1999年をピークにその面積は微減の傾向にある¹²²⁾。その中で、養液栽培設置面積は21世紀に入ってから順調に増加しており、2007年には1,686haとなり施設設置面積の約3.3%を占めるに至っている¹²²⁾。

施設栽培では特定の作目で連作される場合が多

く、養分の過不足、土壤病害や塩類集積などによって連作障害が生じやすい。養液栽培は、地下部環境のコントロールが土耕栽培よりも容易であることから、連作障害を回避して安定した生産ができる。また、耕起、畝立て、有機物の施用、除草、土寄せ、追肥などの管理が不要であり、給液や施肥のシステム化ならびに自動化が可能であるので労働が軽減され、管理の煩わしさからも解放される⁴²⁾。このように生産の安定化や労力の軽減などの面から養液栽培はメリットが多い。

養液栽培は、培養液や酸素供給方法の違い、培地

の有無などによって、さまざまに分類することができるが、その中でトマトなどの果菜類では、ロックウールなどを用いた固形培地耕と呼ばれる方式が主流である。固形培地耕における給液方式としては、チューブやドリッパーなどを用いた点滴給液方式が一般的である。しかし、この方式では肥料分を含む排液が大量に発生するため、施設外への流出による環境負荷が懸念される^{36, 173)}。養液栽培の普及率が高いオランダでは法規制により排液の施設外への排出が厳しく制限されており、1998年の段階で、75%の生産者では既に養液循環式の栽培となっている¹²³⁾。わが国でも近年、この問題に対処するため、養液循環方式の養液栽培技術の開発が進められ^{6, 7, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 103, 125)}、徐々に普及しつつある。

一般に、培養液の循環を行う場合、土壌病害の蔓延の危険性から、紫外線、オゾンや熱などによる培養液の殺菌装置の導入が必要である¹⁷⁴⁾。また、養液循環方式では培養液の組成の変化が生育障害を引き起こすなどして問題となる場合がある。その対策のためには、定期的に培養液を更新するか、培養液の無機成分濃度を定期的に調査して補正する必要がある。しかし、培養液の更新によって大量の排液が廃棄されることは環境保全にとって好ましいことではないし、培養液の無機成分濃度を補正するためには分析などで追加の費用も必要となる。

一方、養液栽培では、作物の吸水量や生育状態に合わせて給液量や給液濃度を適切に管理する必要がある。それに向けて日射量や吸水量に応じた給液制御システムの開発が進んでいる³⁰⁾。ただし、これらの技術を導入するためには、ポンプやセンサ、あるいは制御盤など高価な機器を購入する必要があるとともに、電力などの多くのランニングコストが必要である。

以上のことから、養液栽培、特に培養液循環方式の導入は大変コストがかかる。岩崎⁶⁴⁾が行った養液栽培に対する実態調査では、養液栽培導入の最大の阻害要因として導入コストの高さがあげられている。わが国における経営規模はオランダなどと比べると非常に小さく、特に中山間地などに多い小規模農家では生産者の高齢化も進んでおり、施設や装置などに対する投資意欲や投資能力は一般に小さい。

このような小規模農家にとっては、精密な栽培管理によって収量増、高品質化、省力化などを狙って多額の投資を行う養液栽培の導入は難しく、装置はなるべく簡素で低コストであることが重要であると考えられる。

養液栽培では点滴給液法が一般的な給液法であるが、それに対して底面給液法という給液法がある。底面給液法にはエブアンドフロー方式やマット給液方式などさまざまな方法があるが、いずれも排液をほとんど出さないため、一般に点滴給液法よりも水や肥料の利用効率が高いとされ^{22, 49, 140)}、この点で、底面給液法は省資源的で環境負荷の少ない手法であるといえる。毛管ひも給液法は、底面給液法の中の一手法であり、その原型は1930年代に考案されている^{121, 131)}。わが国では、1970年代後半に岐阜農試の渡辺¹⁷⁶⁾によって技術開発が行われて以降、1980年代中頃からシクラメンなど鉢花栽培において広く普及するようになった。本給液法については、片岡⁷³⁾がファレノプシスでも栽培可能であると報告しており、アメリカやオーストラリアなど海外においてもポット栽培における簡便な灌水手法として研究が行われている^{15, 102, 149, 165, 185)}。毛管ひも給液法は、フロートバルブなどを用いて給水樋や給水管の水位を一定に保つことで、培地含水量をほぼ一定に保つことができ、給液の管理や制御を行うための装置が不要であるとともに、排液処理のための装置も必要としないため、装置の簡易化が可能で、省力的であると同時に生産者の経済的な負担も小さいと考えられる。

しかし、長期にわたる野菜栽培に毛管ひも給液法を適用した場合、根がひもへ侵入することによる毛管力の低下が問題となり、栽培が成立しない可能性が高い。梶田⁹²⁾は、毛管ひもを遮根透水シートで封入した防根給水ひもを開発し、この問題を克服した。この報告では、長期間の栽培で根が給液管に達するのを防ぐためにひもの導入口を底面ではなく側面に設けている。また、トマトの長期栽培において、防根給水ひもによる側面給液法（以下、防根ひも栽培法）における適切なひもの種類や培養液濃度が検討されており、終始大塚A処方¹⁾の1/2単位濃度培養液を用いることで安定的な生産がほぼ可能となっている^{93, 106, 107)}。

なお、本栽培法と同様に吸水性の資材を用いて毛管給液を行う簡易・低コストな栽培システムが、中山間地域や発展途上国のような投資能力の低い地域への導入を目的として開発されている^{138, 139, 164, 170, 186, 187}。しかし、本栽培方式ではこれらのシステムに比べても使用する資材が少ないため、さらに省資源的かつ低コストで簡易な栽培システムであると考えられる。

防根ひも栽培法における施肥法としては、上述のように培養液をひもで供給する方法が考えられるが、その他に肥効調節型肥料（Controlled Release Fertilizer, 以下、CRF）を栽培前に全量基肥施用する方法も考えられる。後者の方法では、液肥混入装置など培養液を供給するための装置が不要であるため、栽培装置をさらに低コスト化できるとともに、定植前に施肥作業を済ませた後は、水管理や施肥管理を完全に省略することができる。したがって、本方式は、肥培管理の大幅な簡略化が可能で、極めて簡易かつ環境保全的な栽培管理法であるといえ、特に肥培管理が煩雑になりやすい促成トマトのような長期間にわたる栽培へ適用できれば、経営上のメリットは非常に大きい。

2 肥効調節型肥料（CRF）を用いた施肥技術に関する既往の研究

CRFとは、肥効を持続させるためにさまざまな方法で肥料成分の溶出を調節した一連の化学肥料のことである。露地畑では施肥直後の降雨や長雨などによる肥料成分の溶脱や表面流去による損失が生じる場合があり、施設栽培においてもアンモニア揮散や急激な硝酸化成による肥料成分の損失が起こることがある。CRFではこのような肥料成分の流出が小さいので、減肥料栽培や追肥回数の軽減による肥料コストの低減化や省力化が可能で、さらには環境に配慮した施肥管理を行うことができる。また、CRFの特徴として、一般の肥料とは異なり施肥初期の肥効発現を抑えることができるので、全量基肥施用が可能である。

CRFの中でも特に、水溶性の尿素や高度化成肥料を硫黄や樹脂などの安定な皮膜で覆うことにより、肥料成分の溶出量や溶出期間を物理的に調節するように造粒されているものを被覆肥料と呼ぶ。被覆肥

料の肥料成分の溶出は土壌が十分に湿潤であれば、土壌の理化学性質や土壌条件にあまり影響されず、被覆資材の特性や地温に左右される特徴を有する。溶出期間は被覆肥料を25℃の水中に静置して保証成分の80%が溶出する日数で算出されている。肥効の溶出パターンの精度は高く、専用のソフトウェアを利用して地温から肥料成分の溶出予測を行うことができる。最初に1960年代にアメリカにおいて商品として開発・実用化され、わが国では、1960年代から1970年代にかけて検討がなされたが、当初は価格が高く溶出コントロールも不十分であったこともあって広く普及するには至らなかった。しかし、近年、農業環境の変化で省力化や環境負荷の軽減が重要視されるようになって再び注目されるようになった。

1980年代以降現在に至るまで、わが国における各地の農業試験場や大学において施肥労力の省力化や施肥量の削減、環境負荷の低減などを目的としてCRFの利用技術の開発が盛んに行われた。

その中でも検討例が最も多く普及面積が多いのは水稲である。水稲では、基肥に加えて追肥を数回施用するのが慣行の施肥法であり、施肥労力がかかるため、その軽減と施肥量の削減を目指して全量基肥施用法が開発された^{44, 45, 48, 52, 79, 142}。また、施肥後一定期間成分の溶出を抑えられるシグモイド溶出型の肥料が開発されたことから、水稲栽培では、育苗箱に全量基肥施用し、本圃における施肥作業を省略した育苗箱全量施肥法が開発された^{70, 110, 154, 175}。

その他、主要作物としてコムギやダイズでも同様の理由で全量基肥施用法が検討された^{33, 72, 114, 115, 143}。特にダイズでは、根粒菌の活性の維持と施肥窒素の硝酸化成抑制、溶脱防止あるいは不良土壌に対する土壌改良技術として深層施肥技術が開発された¹⁵³。

また、果樹は施肥量が多く、年に何回も追肥を行う必要があり施肥労力が大きいことから、カンキツにおいて施肥回数の軽減のために施用されたり^{25, 55, 167}、イチジクにおいて全量基肥法が検討されている^{41, 78}。

その他、花き^{5, 134}、茶^{3, 69, 147, 148}、桑^{101, 146}、飼料作物¹⁰⁹など多種多様な作物においてCRFの適用が試みられている。

また、CRFは養分の溶出が極めて遅いために濃度障害が出にくい点を利用して、種子と肥料を接触さ

せて施肥し、肥料の利用効率を高めることを狙った接触施肥法が開発された^{51, 60, 133)}。

一方、圃場から発生する亜酸化窒素の削減を目的としてCRFを利用する研究もみられる^{104, 119, 177)}。

野菜栽培においても、主にネギ、ハクサイ、ブロッコリーなど土地利用型の露地栽培を中心に施肥回数と施肥労力の軽減あるいは環境負荷軽減を目的に全量基肥施用法に関する数多くの検討がなされた^{31, 32, 37, 54, 68, 74, 116, 127, 159)}。より効率的な施肥方法として、施肥を全面ではなく有効根群域や植穴のみに行う局所施肥の検討も行われている^{77, 86, 113, 144, 160)}。さらに、施肥労力軽減のため、2作分の肥料を1作目の定植時に施肥する2作1回施肥法も開発されている¹²⁶⁾。一方、水稻における育苗箱施用のように、育苗ポット内に全量を施肥して本圃における施肥を省略する方法も検討されている^{84, 85, 141, 156, 157, 180, 181)}。

葉菜類では硝酸の蓄積が問題となることがあり、適切な施肥管理が求められるが、CRFを利用して窒素施肥量を減らし体内の硝酸含有量を低減させる技術も検討されている^{100, 150, 155)}。

以上のように、CRF施用に関する研究は、栽培面積が広く施肥や追肥の省力効果が大きい水稻などの土地利用型の作物において多いが、施設野菜の栽培においても、主に土耕栽培において多くの検討がなされてきた^{75, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 108, 141, 168, 172)}。固形培地耕では栽培面積が相対的に小さく、一般に液肥の利用が多いためあまり検討が進んでないが、イチゴでは施肥の低コスト化や省力化を狙ってCRFの適用事例^{14, 18, 19, 56, 166, 183)}が多くみられる。トマト栽培では、土壌を培地とした養液かけ流し方式で比較的短期間の半促成あるいは抑制栽培を行うにあたってCRFを適用した研究事例がある¹²⁴⁾。

さらに、培地を使わない毛管水耕方式における簡易な肥培管理法としてもCRFの利用が試みられている^{13, 71)}。

以上のように、その目的に応じてさまざまな形でCRFの利用技術の開発が進んでおり、利用面積は着実に増加している²³⁾。しかし、本栽培法のように毛管給水式で閉鎖型の固形培地耕の栽培における報告、特に長期にわたるトマトの栽培に関する報告は見当たらない。

3 本研究の目的と本論文の構成

以上のことから、本研究では、促成トマトの防根ひも栽培法におけるCRFを利用した肥培管理技術の開発を行った。本技術は、投入コストも小さく、精密な肥培管理も必要としないと考えられるため、今まで養液栽培の導入が難しかった小規模農家などでも導入が可能であると考えられる。

本研究では、まず、II章において促成トマトの防根ひも栽培法に適した培地条件の検討および、CRFを培地に混和して施用する場合の施肥量の検討を行うとともに、果実生産性や養分利用効率について培養液で管理を行った場合と比較を行った。III章では、上記のようなCRFの培地混合法では、施肥に要する労力が多大であり、肥料が混和された培地の再利用が困難であることから、より簡易な肥培管理を目指し、CRFを給水タンク内へ施用し溶出液として防根ひもで養分を供給する方法の開発を行った。

II トマトの防根ひも栽培法に適した培地の検討およびCRFを用いた施肥法の開発

防根ひも栽培法は固形培地耕の一種とみなすことができるが、培地として利用可能な資材は種々あり、その特性はさまざまである。一般的な点滴給液法の場合、培地の特性に合わせて給液回数や給液量を調節することが可能である。一方、防根ひも栽培法の場合は、培地内の水分量は専らひもと培地の毛管力に依存するため、人為的な給液管理によって培地の水分環境を植物にとって好適な条件に制御するのは困難である。このため、植物の生育に適した水分環境を維持できる培地選択が極めて重要となる。培養液管理による先行の研究^{93, 106, 107)}で用いた培地でも十分な果実生産が可能と思われたが、上述の背景からあらためてさまざまな培地を比較検討する必要があると思われる。

一方、防根ひも栽培法では、肥培管理を培養液で行う方法のほかに、肥料はCRFとして全量を定植前に培地に混合しておき、水のみをひもで供給する方法が考えられる。後者の方法では液肥混入装置が不要であり、栽培装置を一層低コスト化できる。実際、トマトやイチゴの固形培地耕では、そのような目的でCRFを用いた全量基肥法の検討が行われて

いる^{14, 18, 19, 56, 124, 166, 183}). しかし、本研究で取りあげる毛管給水方式の少量隔離培地耕については、適切な施肥量や培地中の養分の動態などが明らかにされていない。

そこで、本章では、トマト促成栽培において防根ひも栽培法に適する培地条件を明らかにするとともに、その培地条件下において定植前に培地に混和する方法によるCRFの適用が可能であるか検討した。

1 促成トマトの防根ひも栽培に適した培地の種類の検討

1) 緒言

防根ひも栽培法では、培地内の水分量は専らひもと培地の毛管力に依存するため、人為的な給液管理によって、培地の水分環境を植物にとって好適な条件に制御するのは困難である。したがって、植物の生育に適した水分環境を維持できる培地の選択が非常に重要である。

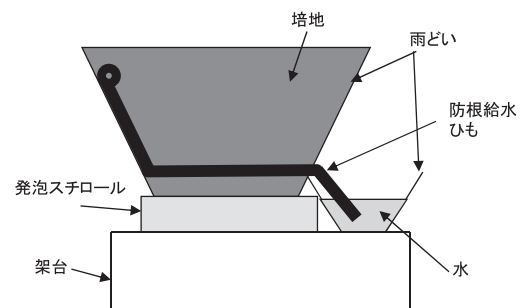
また、本栽培法は排液を全く出さないため、閉鎖型養液栽培の一種とみなすことができる。閉鎖型養液栽培では、循環培養液や培地溶液の電気伝導度(以下EC)や無機成分濃度の極端な上昇や成分組成の乱れが、トマトの果実収量の低下をもたらすおそれがある^{53, 61, 62}。本方式においても、培地の違いで培地溶液のECや無機成分濃度に極端な差が生じれば、果実収量の差につながるであろう。

そこで、本節では、トマト促成栽培において防根ひも栽培法に適する培地条件を明らかにするため、特に水分保持特性が異なると考えられる数種類の培地資材について、果実収量、培地の三相分布および培地溶液の無機成分を比較した。

2) 材料および方法

実験は近畿中国四国農業研究センター(香川県善通寺市)(以下当研究センター)内のパイプハウス(面積108m²)で行った。実験区として培地の異なる7区を設けた。供試培地は、ロックウール細粒綿(栽培用ロックファイバー細粒綿66R, 日東紡, 以下, RW区), ヤシガラ(ココベッド, カネコ種苗, 以下, ヤシガラ区), ピートモス(カナダ産, 以下, ピート区), 粉殻燻炭(以下, 燻炭区), 粉碎粉殻(以下, 粉殻区), バーク堆肥(天領CB培地, ジャ

パングリーンシステム, 以下, バーク区)および樹田・福元⁹³)が用いた培地を参考に作成した混合培地(田土:バーク堆肥:パーライト:ピートモス=2:4:1:1(v/v), 以下, 混合区)の7種類である。材料として本研究のすべての実験に共通してトマト(*Solanum lycopersicum* L.)の「ハウス桃太郎」(タキイ種苗)を用いた。2008年9月13日に培養土メトロミクス350(SUNGRO, USA)を充填した128穴セルトレイに催芽種子を播種し、本葉2枚出葉期の9月25日に各供試培地を充填した9cmポットに鉢上げした。ポット育苗期間は大塚A処方1/2単位濃度液でエプアンドフロー給液²⁹⁾を行った。10月20日に、防根ひも栽培装置に定植した。本栽培装置の概略は第1図に示したとおりである。ハウス用の直管で組んだ骨組みの上にコンクリートパネルを載せて架台とし、その上に発泡スチロールと栽培容器である雨どい(上底19.2×下底15.0×高さ12.0cm)を載せ、その横に給水用の雨どい(上底11.7×下底8.8×高さ5.2cm)を置いた。栽培容器は、側面(底面から2cm上)に小孔をあけ、小孔に防根給水ひも⁹²⁾を導入し、小孔から出たひもの先端は培養液に浸し、ひもは1株に1本配した。水位は各栽培ベッドの端に設置したタンクに付けたボールタップで一定に保ち、小孔と水面との距離は常に約3cmとした。各処理区の培地はポット育苗で使用した培地とし、培地量は株あたり3Lとした。培地の乾燥を防ぐため、表層に2cm程度粉殻を敷いた。この処理は以下のすべての実験に共通である。なお、培地のpH調整のため、ピート区(pH4.7)および混合区(pH5.7)についてはそれぞれ培地1Lあたり3~4gの炭酸苦土石灰を定植前に混合した。栽植様式は、株間20cm, 畝間180cmの1条振り分け誘引と



第1図 防根ひも栽培装置の概略図

した。培養液は大塚A処方1/2単位濃度液を終始用いて管理した。試験区は各区6株の3反復乱塊法とした。各果房とも3花程度が開花したときにトマトトーン100倍液を噴霧し、各果房5果以内になるように摘果するとともに下葉は適宜摘葉した。これらの管理は以下のすべての実験に共通である。誘引高約2.2mでつる下ろし誘引を行った。2009年5月2日に15段果房上の2葉を残して摘心し、2009年7月2日に収穫を終了した。温室内の温度管理については、最低13℃に設定して加温し、28℃以上で換気を行った。各区6株について果実を約1週間に1回収穫し、80g以上の正常果（可販果）と80g未満の小果および生理障害果に分け、果実重、個数を調査するとともに、各個体の各果房の可販第1果について果実糖度をデジタル糖度計（PAL-1, ATAGO）で測定した。また、栽培期間中には約2週間に1回、株元から約5cmの培地中心部に採取部の長さが5cmの土壤溶液採取器（DIK-300B, 大起理化工業）を各区1か所埋設して培地溶液の採取を行い、ECを導電率計（B-173, 堀場製作所）（以下導電率計）で、各無機成分濃度をイオンクロマトグラフ（DX-AQ, 日本ダイオネクス）（以下イオンクロマトグラフ）で測定した。さらに、栽培前と栽培終了後には、培地を栽培装置にセットして飽水させた状態で各区2か所について100mL採土管を用いて培地を採取したのち、三相分布を土壤三相計（DIK-1130, 大起理化工業）により計測した。

3) 結果および考察

(1) 栽培前および栽培終了後の培地の三相分布

第1表に栽培前後の各培地の三相分布を示した。固相率は栽培前後とも混合区で最も高く、ヤシガラ区で最も低かったが、混合区の値は他の培地に比べて特に高かった。液相率は、栽培前後ともピート区で最も高く、籾殻区で最も低かった。気相率は、栽培前後とも籾殻区において顕著に高かった。栽培前後で比較すると、固相率はヤシガラ区、ピート区および混合区では減少した一方、RW区、燐炭区、籾殻区およびパーク区では増加した。液相率はRW区とピート区を除いて栽培前より栽培後の方が大きい傾向にあり、気相率はヤシガラ区とピート区を除いて栽培前より栽培後の方が小さい傾向にあった。

第1表 培地の種類が栽培前後の三相分布に及ぼす影響

培地	栽培前			栽培後		
	固相率 (%)	液相率 (%)	気相率 (%)	固相率 (%)	液相率 (%)	気相率 (%)
RW	5.4 b ²⁾	69.4 a	25.2 d	6.8 b	69.2 a	23.9 d
ヤシガラ	5.1 b	57.5 b	37.4 c	3.3 c	58.9 ab	37.8 bc
ピート	6.6 b	72.1 a	21.3 d	5.9 bc	71.5 a	22.5 d
燐炭	7.8 b	39.6 d	52.7 b	9.0 b	47.9 b	43.1 b
籾殻	5.2 b	10.0 e	84.8 a	6.3 bc	26.3 c	67.4 a
混合	24.3 a	49.3 c	26.4 d	17.5 a	67.2 a	15.3 d
パーク	8.3 b	43.2 d	48.6 b	8.8 b	63.7 a	27.6 cd
ANOVA ¹⁾	***	***	***	***	***	***

1) ***は0.1%水準で有意であることを示す (n = 3)。

2) 同一列の異なる符号間に5%水準で有意差あり (Tukey検定, n = 3)。

本実験における三相分布の測定は、各培地を栽培装置に充填して飽水させた状態で行ったものであった。ひも給水法では、栽培期間を通じて飽水状態に近い状態、培地含水率はほぼ一定であるので、今回の測定値は栽培期間中にトマトがおかれた培地の水分環境に近かったものと考えられる。

第1表の結果から、培地によっては液相率と気相率には、栽培の前後で大きな増減がみられた。特に籾殻区、混合区、燐炭区およびパーク区では、栽培前に比べて栽培後に液相率が大きく増加する一方で気相率が大きく減少した。これは、籾殻培地を連続使用すると保水性が増すという報告¹¹⁾や、パークを主体とする培地において9か月後の気相率が減少し、含水率が増加したという報告¹³²⁾と一致する。このように、培地の種類によっては、栽培期間中の培地の水分条件が変動する可能性があることがわかった。

(2) 生育および収量

第2表に摘心時の莖長および果実の収量と糖度を示した。摘心時の莖長には培地の種類によって有意差が認められなかった。一方、総収量や可販果収量は、培地の種類によって大きく異なった。総収量は、燐炭区および混合区で最も高く、籾殻区で最も低かった。可販果収量は、混合区で最も高く、籾殻区で最も低く、培地による差は株あたり2.1kgであった。総収量が高い培地ほど可販果収量が高い傾向にあった。1果重は、パーク区で最も大きく、籾殻区で最も小さかった。可販果数はヤシガラ区で最も多く、籾殻区で最も少なかった。果実糖度には培地間で有意差は認められなかった。

(3) 可販果収量と三相分布との関係

一般に、保水性が高い培地ほど、通気性は低くなる傾向にあるとされる⁴²⁾。本実験で用いた各培地の液相率と気相率を比較すると、指摘されているように液相率の高い培地ほど気相率が低いという傾向がみられる。また、Zoha・梶田¹⁸⁸⁾は、粒子径別に選別した砂培地を用いてトマトの防根給水ひも栽培を行った結果、粒子径が小さく含水率が高い培地の方が収量は高いことを示した。小林ら⁸⁰⁾は、培養液かけ流し方式で各種培地資材を用いてトマト栽培を行った結果、水分保持能力の高い資材ほど収量が高

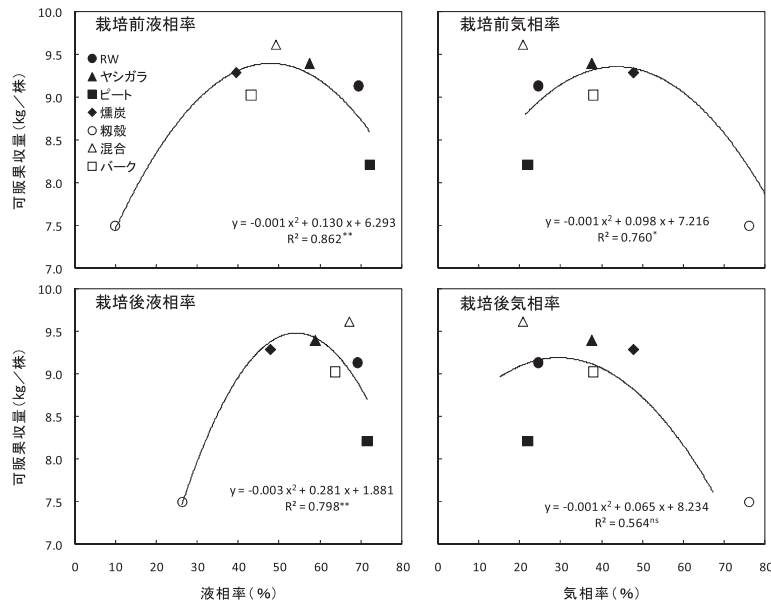
くなる傾向のあることを示した。以上のことから、培地の液相率や気相率はトマトの収量に密接に関係していると考えられるため、培地の液相率と気相率の栽培前後の値について可販果収量との関係を2次回帰式で求めたところ、液相率に関しては栽培前後とも1%水準で有意であった(第2図)。気相率に関しては、栽培前は5%水準で有意であったが、栽培後は有意でなかった。Allaireら²⁾は、作物の根は培地中の気相部が少なくても順応することから、さまざまな培地における培地の気相部に関する値は生産性の指標とならず、培地中の水分量の方が重要であると報告している。このことから本実験でも、気相率よりも液相率の方が果実の生産性に及ぼす影響が大きかったものと考えられた。また、栽培後よりも栽培前の方が決定係数は高く、栽培前の液相率と可販果収量との関係が最も強かった。このことは、栽培後半よりも前半の培地の三相分布の好適性が収量の確保にとって重要であることを示唆している。なお、5%以下の水準で有意となった回帰曲線の頂点の座標を求めると、液相率では48% (栽培前) および54% (栽培後) であった。一方、気相率では44% (栽培前) であった。

第2表 培地の種類が茎長、果実収量および果実糖度に及ぼす影響

培地	茎長 ¹⁾ (cm)	総収量 (kg/株)	可販果収量 (kg/株)	1果重 (g/個)	可販果数 (個/株)	果実糖度 ²⁾ (Brix%)
RW	421	9.8 a ⁴⁾	9.1 ab	171 ab	53 ab	6.1
ヤシガラ	421	10.0 a	9.4 a	168 ab	56 a	6.2
ピート	426	9.1 b	8.2 bc	164 b	50 bc	6.3
燻炭	424	10.1 a	9.3 a	175 ab	53 ab	6.1
籾殻	416	8.2 c	7.5 c	159 c	47 c	6.3
混合	427	10.1 a	9.6 a	176 a	55 ab	6.1
バーク	419	9.7 ab	9.0 ab	178 a	51 abc	6.1
ANOVA ³⁾	ns	***	***	**	***	ns

- 1) 摘心時の茎長。
- 2) 各果房の値を平均した値。
- 3) ***, **はそれぞれ0.1%, 1%水準で有意, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。
- 4) 同一列の異なる符号間に5%水準で有意差あり (Tukey検定, n = 3)。

可販果収量が特に少なかったのは、籾殻区およびピート区であった。籾殻は一般に保水力が小さく、



第2図 栽培前後の培地の液相率および気相率と可販果収量との関係

注) **および*は、それぞれ1%水準および5%水準で有意であることを示し、nsは5%水準で有意でないことを示す。

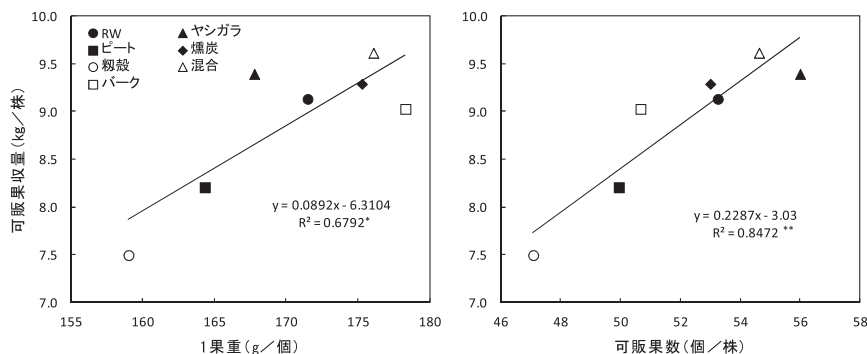
養液栽培で培地として単独で用いられることは少ない⁶⁵⁾。毛管力により培地に給液する本栽培方式では、籾殻をそのまま使用したのでは毛管力が弱く栽培困難と考え、保水力を増すように粉碎したものをを用いたが、それでも液相率が他の培地に比べて低く、保水力が少なかったものと考えられた。一方、ピートモス培地では粒子サイズが小さいため過湿の危険性があることが指摘されている²⁸⁾。本栽培方式では、栽培期間中の培地水分の変動は小さく、常に飽和含水量に近い水分を含むと考えられるため、ピート区では過湿状態にあったと推察され、それがピート区において収量が低かった要因と考えられた。

一方、点滴給液方式では、保水力の少ない籾殻培地を用いて、保水性の高いロックウール培地に近いのか、ほぼ同等の収量を上げている報告がある¹⁰³⁾。また、イチゴは根の酸素要求量がトマトより大きい⁵⁰⁾ため、トマトに比べて過湿に弱いと考えられるが、遠藤ら¹⁷⁾は、イチゴにおいて培地のヤシガラと混合ピートの混合比率を検討した結果、ピート主体の液相率の高い培地において最も収量が高かったと報告している。これらのことは、点滴給液方式では、培地の保水力の大小に関わらず、十分に収量が得られる可能性があることを示唆している。その要因としては、点滴給液方式では、培地含水量が経時的に大きく変化するが、人為的に給液量や給液回数を設定でき、その培地に適した給液制御が行えるからであると考えられる。一方、ひも給水は培地やひもの毛管力に依存した受動的な給液法であり、給液量や培地水分のコントロールは非常に困難で、培地の保水力は生育や収量に影響を及ぼしやすい。そのため、培地の選択は特に重要な要素であるといえる。

また、各試験区の可販果収量と1果重および可販果数との間に有意な正の相関関係が認められた(第3図)。したがって、培地の違いに伴う可販果収量の差は、1果重および可販果数の両方の影響を受けたものであることがわかる。前述のように、培地の種類によって培地の水分環境が大きく異なるため、試験区間差が生じる要因として植物体の水分生理状態の差が考えられる。本実験では、植物体の水分生理に関するデータは取っていないが、トマトは、水ストレスがかかると、1果重、果数ともに減少する^{40, 130)}という報告から、培地によって水ストレスの程度が異なったことが推察される。

坂本ら¹³⁷⁾は、根系の一部を湿気中に露出させる保水シート耕において、トマトの安定的な生育のためには、適度な気相比率が必要であり、機能の異なる湿気中根と水中根がバランスよく併存していることが重要であると述べている。本栽培法においても、培地の三相分布の違いによる根の生理活性や形態と収量の関係について今後追究していく必要がある。

一方、固形培地耕における培地の選択では、三相分布などの物理的特性とともに、成分の吸着・溶出、CECなどの化学的特性も重要である⁴²⁾。本実験において、RW区とピート区との間には栽培前の液相率で有意差がないのにも関わらず可販果収量には有意差がみられた。本実験では、培地の化学的特性の違いについて調査していないが、有機質の培地は過湿になると分解し始めて異常還元状態になる場合があるとの指摘⁷⁶⁾もあり、ピート区ではこのような化学性の変化の結果、RW区よりも収量が低かった可能性もある。今後は、培地の化学的特性なども考



第3図 可販果収量と1果重および可販果数との関係

注) **および*は、それぞれ1%水準および5%水準で有意であることを示す。

慮に入れて培地を選択する必要がある。

(4) 栽培期間中の培地溶液無機成分の変動

第4図に栽培期間中における培地溶液のECおよび各無機成分の変動を示した。培地溶液のECおよびPO₄-P以外の無機成分濃度は、概して生育が進むにつれてやや上昇する傾向があった。特にパーク区や籾殻区において他の培地よりも高まる時期があった。これは、生育後半には培地溶液の成分濃度に対して成分吸収量が小さいためと考えられる。しかし、それらの数値が他の培地に比べて極端に高まることはなく、養分の過剰・欠乏症状もみられなかった。

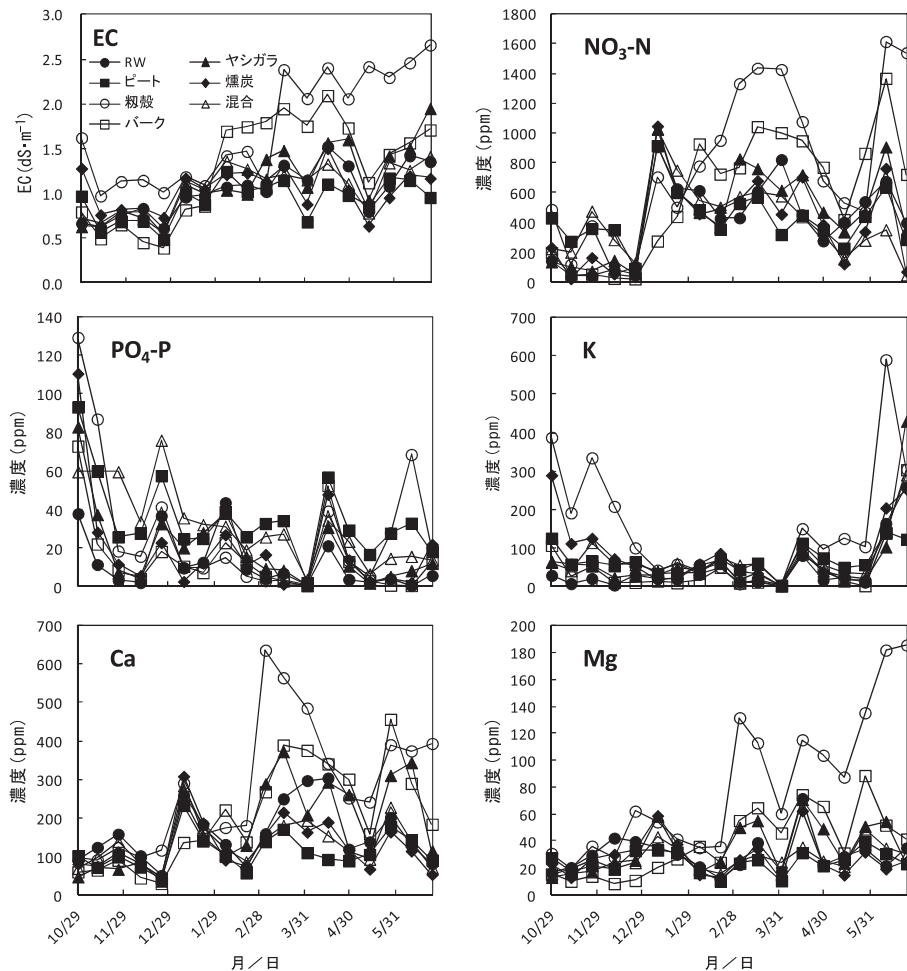
PO₄-Pはそれらと異なる推移を示し、定植直後に濃度が高く、その後は減少し、生育後期に上昇する傾向はなかった。石原ら⁵³⁾が行ったトマト閉鎖型養液栽培の実験でも、培地溶液中のP濃度が定植直後に高く、その後は急激に減少するという本実験と

同様な傾向がみられる。これは、PO₄-Pの吸収速度が定植直後は小さく、培地溶液中に残存するが、その後は培地溶液の成分濃度と吸収量がつり合うためであると考えられる。

以上のことから本実験の範囲では、培地溶液の無機成分濃度が果実収量に大きな影響を及ぼさなかったものと考えられた。

(5) まとめ

以上のことから、培地の種類による収量差は、特に栽培前の培地の液相率との関係が強いため、この閾値が培地選択の際の指標となると考えられた。本実験の範囲では、液相率と収量との関係から液相率が45~55%程度であれば十分な果実収量を得られるものと判断された。ただし、培地の選択の際には、三相分布のみならず、他の諸特性についても考慮する必要性も示唆された。また、本結果から、柘田・



第4図 培地溶液のECおよび無機成分濃度の推移

福元⁹³⁾の報告を参考にして作成した混合培地は他の培地と比較しても収量は高水準で本栽培法に適した培地組成であると考えられた。

2 促成トマトの防根ひも栽培法へのCRFの適用

1) 緒言

II-1において、梶田・福元⁹³⁾が用いた培地を参考にした、田土：パーク堆肥：パーライト：ピートモスを2：4：1：1 (v/v)の比率で混合した培地は、他の培地と比べて収量性が高く防根ひも栽培法に適した培地であることを明らかにした。また、梶田・福元⁹³⁾や森重ら^{106, 107)}が報告したように終始大塚A処方の1/2単位濃度培養液を用いた培養液の管理で安定的な生産がほぼ可能であると考えられた。したがって、促成トマト栽培において培養液を用いた肥培管理法はほぼ完成したといえる。

本栽培法では、培養液によって施肥を行う方法のほかに、CRFを全量基肥として定植前に培地に混合しておき、水のみをひもで供給する方法が考えられる。後者の方法では、液肥混入装置が不要であり、栽培装置がさらに簡素化され低コストとなる。しかし、本栽培方式のような排液を全く出さない少量隔離培地耕においてCRFを適用した研究例は見当た

らず、適切な施肥量や培地中の養分の動態などについては明らかでない。

そこで、本節では、促成トマトにおけるCRFの施肥量の違いが生育、収量および養分の動態などに及ぼす影響について検討した。

2) 材料および方法

実験は当研究センター内の鉄骨ハウス (144 m²)で行った。2007年9月11日に催芽種子を128穴セルトレイに播種し、本葉2枚出葉期の9月25日に田土：パーク堆肥：パーライト：ピートモス=2：4：1：1 (v/v)の培養土 (仮比重0.50 g・cm⁻³)を詰めた9 cmポットに鉢上げした。ポット育苗期間は緩効性肥料 (プロミック錠剤1.5 g, N:P₂O₅:K₂O=8:8:8, ハイポネックスジャパン)をポットあたり2個置肥し、不織布製のマットを用いた底面給水によって灌水した。10月19日にII-1で用いたものと同じ防根ひも栽培装置に定植した。給水ひもは1株に1本配し、ひもを通す栽培容器側面の穴と水面との距離は終始3 cmに保った。培地にはポット育苗で使用した組成のものを用い、培地量は株あたり3 Lとした。

第3表に施肥設計を示した。本実験の栽培期間は長いですが、培地加温を行わないため、溶出期間の長い肥料の単用では、厳冬期に供給量が足りなくなると考え、溶出期間の短いものと長いものを組み合わせた。また、複合肥料のエコロングトータル313 (チッソ旭肥料)にロングショウカル (チッソ旭肥料)とエコカリコート (チッソ旭肥料)を組み合わせて、CaOとK₂Oを補った。LPコート (チッソ旭肥料)は生育初期の窒素肥料として、燃焼鶏糞灰 (粒状PK, 南国興産)は微量元素の補てんと培地のpH補正を兼ねて用いた。これらの肥料を混合して株あたり窒素施用量で11.3 g (少肥料区), 16.2 g (中肥料区), 21.0 g (多肥料区)とした3処理区を設けた。肥料は定植前日に培地とよく混和した。栽植様式は、II-1と同一とした。実験区は各区7株の3反復とした。誘引高約2 mでつる下ろし誘引を行った。2008年5月2日に15段上2葉を残して摘心し、2008年7月3日に収穫を終了した。温室内気温は最低13℃に設定して加温し、28℃で側窓の開閉による換気を行った。果実を約1週間に1回収穫し、果

第3表 CRFの施肥設計 (g/株)

処理区	使用した肥料	日数 ¹⁾	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
少肥料区	燃焼鶏糞灰			1.4	1.3	1.6	0.4
	LPコート	40	1.4				
	エコロングトータル313	40	0.4	0.3	0.4		0.1
	〃	100	1.4	1.2	1.4		0.2
	〃	140	1.8	1.5	1.8		0.3
	〃	180	1.8	1.5	1.8		0.3
	ロングショウカル	100	1.7			3.2	
	〃	140	2.5			4.8	
	エコカリコート	180	0.4		6.7		
	合計		11.3	5.9	13.3	9.7	1.2
中肥料区	燃焼鶏糞灰			2.0	1.8	2.3	0.6
	LPコート	40	2.0				
	エコロングトータル313	40	0.5	0.4	0.5		0.1
	〃	100	2.0	1.7	2.0		0.3
	〃	140	2.6	2.2	2.6		0.4
	〃	180	2.6	2.2	2.6		0.4
	ロングショウカル	100	2.4			4.6	
	〃	140	3.6			6.9	
	エコカリコート	180	0.5		9.5		
	合計		16.2	8.5	19.0	13.8	1.8
多肥料区	燃焼鶏糞灰			2.6	2.3	3.0	0.8
	LPコート	40	2.6				
	エコロングトータル313	40	0.7	0.6	0.7		0.1
	〃	100	2.5	2.1	2.5		0.4
	〃	140	3.4	2.9	3.4		0.5
	〃	180	3.4	2.9	3.4		0.5
	ロングショウカル	100	3.1			6.0	
	〃	140	4.7			9.0	
	エコカリコート	180	0.7		12.4		
	合計		21.0	11.0	24.7	17.9	2.3

1) 25℃水中で80%の成分が溶出する日数。

実の重量と個数および糖度をⅡ-1と同様の方法で調査した。実験期間中、株元から約5cmの培地中心部に採取部の長さが5cmの土壤溶液採取器(DIK-300B, 大起理化工業)を各区2か所埋設して培地溶液を採取した。2か所のサンプルを等量混合した後、ECを導電率計で、無機成分濃度をイオンクロマトグラフで測定した。実験終了時には奇数果房下の莖径を測定した。

また、植物体の成分分析に供するために、各反復の生育中庸な2株について、摘葉した下葉と収穫果実および実験終了時の莖葉を採取し、80℃で1週間以上乾燥したのち粉碎した。乾物中の窒素をNCアナライザー(Vario MAX CN, Elementar)で測定した。さらに、乾物を湿式分解した後、Pをバナドモリブデン酸比色法で、K, CaおよびMgをICP発光分光分析(PS1500NR, セイコー電子)で測定した。

さらに、培地成分の分析として栽培開始前の培地と終了後の各区2株分の培地を採取して風乾させたのち、全窒素を上述のNCアナライザーで、無機態窒素(NO₃-N, NH₄-N)を2M塩化カリウム抽出の後、プレムナー法で、可給態P₂O₅をトルオーグ法で分析した。交換性カチオンは1M酢酸アンモニウム液で振とう・ろ過して抽出した後に上述のICP発光分光分析により測定した。

栽培期間中の培地温をT型熱電対で経時的に計測し、シミュレーションソフト(施肥名人 Ver.2.0, JA全農)で施肥窒素の日溶出量を算出した。

以上の各値については、反復ごとの平均値としてまとめ、統計解析を行った。なお、原水の無機成分濃度は、NO₃-N:0.25 (me・L⁻¹, 以下単位同じ), NH₄-N:0.01, PO₄-P:0.00, K:0.08, Ca:1.42, Mg:0.36であった。

3) 結果および考察

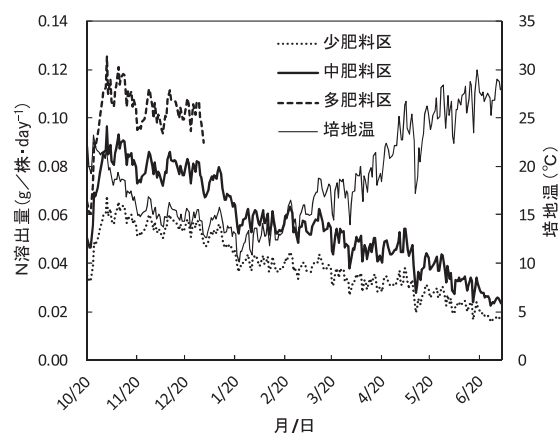
(1) 日平均培地温と施肥窒素の日溶出量の推移

第5図に日平均培地温と施肥窒素の日溶出量の推移を示した。日平均培地温は、処理区間で差がほとんどなかったため、中肥料区のもの示した。定植直後の20℃程度から、徐々に低下し、1~2月には10℃近くまで低下した。その後、上昇に転じ、栽培終了直前には30℃近くまで達した。日平均培

地温から施肥窒素の日溶出量のシミュレーションを行った。その結果、施肥量が多い区ほど窒素の溶出量は多く、その溶出は栽培前半に多く、栽培後期ほど少ない傾向にあった。

(2) 生育、果実収量および果実糖度

第4表に果実収量と果実糖度を示した。多肥料区では萎れ症状が著しく、枯死個体も発生したため、2007年12月末で栽培を打ち切った。そのため、多肥料区における果実収量は皆無であった。中肥料区と少肥料区と比較すると、総収量、可販果収量および可販果個数には有意差はなかったが、果実糖度に関しては中肥料区の方が有意に高かった。細井³⁸⁾は、窒素施用量と収量との関係について、ある程度の窒素施用量までは収量が増加するが、それ以上では収量の増加率が逡減し、やがて増加は止まり、更に多いと収量が減少すると述べている。また、Hegde・Srinivas²⁷⁾はある一定以上の窒素施肥量で収量は変わらなかったと報告している。したがって、



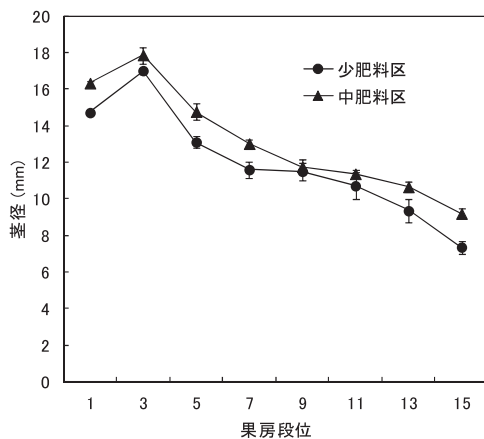
第5図 日平均培地温および培地温から算出した施肥窒素の日溶出量の推移

注) 培地温は中肥料区の数値。多肥料区については2007年12月末で栽培を打ち切ったためそれ以降のデータなし。

第4表 施肥量の違いが果実収量および果実糖度に及ぼす影響

処理区	総収量 (kg/株)	可販果収量 (kg/株)	可販果数 (個/株)	果実糖度 (Brix%)
少肥料区	6.28	5.40	38.3	5.5
中肥料区	6.57	5.40	38.2	6.1
ANOVA ¹⁾	ns	ns	ns	*

1) *は5%水準で有意, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。



第6図 施肥量の違いが各果房下の茎径に及ぼす影響

注) 図中の縦棒は標準誤差を示す (n = 3)。

中肥料区と少肥料区の窒素施肥量の差は収量の差につながらない範囲にあったものと考えられる。

生育の指標とした栽培終了時の茎径は、各果房下において中肥料区の方が少肥料区より大きかった(第6図)。両区とも、下位果房では大きく、上位果房で小さいという傾向にあった。特に少肥料区では15段果房下では7.3mmと下位果房からみると極めて細かった。したがって、少肥料区では生育終盤に生育の衰えが顕著にみられたと考えられる。

(3) 植物体の養分吸収量と栽培後の培地中の残存養分量

第5表に養分吸収量を示した。1株あたりの養分吸収量はN, P₂O₅およびK₂Oについては少肥料区よりも中肥料区の方が有意に多かったが、CaOおよびMgOについては処理区間の有意差はなかった。果実生産1kgあたりで養分吸収量をみると、各養分において両処理区間で有意差はなかった。果実生産1kgあたりの養分吸収量は肥料に対する果実生産効率ととらえることができる。景山・青木⁶⁶⁾はこの値についてNは1.5~2.8g, P₂O₅は0.71~1.1g, K₂Oは2.6~5.3g, CaOは1.2~3.1g, MgOは0.5~1.2gと見積もっている。本実験の結果を照らし合わせると、NとP₂O₅は両処理区ともこの範囲にあった一方で、K₂O, CaOおよびMgOについては、両処理区ともこの範囲よりも少なかった。したがって、NとP₂O₅については、養分供給量が適正な範囲にあった一方でK₂O, CaOおよびMgOについて

第5表 施肥量が養分吸収量に及ぼす影響

処理区	1株あたりの養分吸収量 ²⁾					果実生産1kgあたりの養分吸収量 ³⁾				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	(g/株)									
	(g·kg ⁻¹)									
少肥料区	13.1	4.6	9.9	6.5	2.5	2.08	0.73	1.57	1.04	0.39
中肥料区	16.3	5.9	12.2	6.9	2.6	2.51	0.92	1.89	1.07	0.40
ANOVA ¹⁾	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

1) *は5%水準で有意, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。

2) 1株あたりの養分吸収量として算出。

3) 果実生産1kgあたりに吸収した養分量として算出。

第6表 栽培前後における1株あたりの培地内養分含有量 (g/株)

処理区	全窒素	無機態窒素			可給態	交換性塩基			
		NO ₃ -N	NH ₄ -N	合計		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
栽培前	3.60	0.04	0.02	0.06	0.62	0.47	5.18	0.62	
栽培終了後									
少肥料区	5.76	0.54	0.17	0.72	0.99	1.41	12.38	1.58	
				(6.3) ¹⁾	(16.8)	(10.6)	(127.6)	(131.4)	
中肥料区	6.07	0.78	0.18	0.96	1.20	1.98	13.57	1.95	
				(5.9)	(14.2)	(10.4)	(98.3)	(108.1)	
ANOVA ²⁾	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

1) カッコ内は施肥量に対する割合 (%)。

2) 栽培終了後の処理区間の比較であり, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。

は、養分供給量が不足していた可能性がある。観察の結果であるが、厳冬期には葉の先端が黄変するカリ欠乏特有の症状がみられた。ただし、栽培上大きな問題となるような極端な養分欠乏はなかった。

第6表に栽培後の培地中の残存養分量を示した。全窒素含量は、栽培前と比べて約2.2~2.5g増加したが、無機態窒素の残存量は、両区とも施用量に対して約6%と低く、栽培前に比べて大きな増加はなかった。可給態P₂O₅、交換性K₂Oについても両区とも施用量に対して約10~17%と低く、窒素と同様に栽培前に比べて大きな増加はなかった。したがって、無機態窒素、可給態P₂O₅、交換性K₂Oについては、中肥料区、少肥料区とも与えた養分の全量近くを吸収したと考えられる。一般に、底面給液方式は排液を出さないため、点滴給液方式よりも水や肥料の利用効率が高い^{22, 49, 140)}。本方式では、肥料をあらかじめ培地に混和しておき、水のみをひもで供給するため、肥料成分が系外に流亡することがなく、このように効率よく肥料を利用できたと考えられる。

一方、栽培前の無機態窒素は少ないものの、全窒素含量は株あたり3.6g存在し、原水にも窒素が含まれていることから、培地中で有機化して吸収不能

となった窒素や原水由来の窒素成分の吸収があったことが考えられる。このことから、培地や原水由来の窒素を考慮に入れて施肥設計する必要があることが示唆された。

一方、交換性のCaOとMgOについては培地中の残存量は施肥量に対して約98～131%と多く、特にCaOは栽培前に比べて大幅に増加した。また、いずれの養分残存量にも処理区間で有意差はなかった。培地溶液には栽培期間を通じて蓄積される傾向はなかったため、不溶化して吸収されにくくなった成分が培地に吸着したと考えられる。同様の傾向は、森重ら¹⁰⁶⁾が本実験に近い組成の培地を用いて市販培養液で管理を行ったトマトの防根ひも栽培でも認められている。しかし、上述したようにCaOとMgOの養分吸収量自体は不足していたと推察されたので、施肥量を増やすか、これらの養分の吸着が少ない培地組成を検討するなどの必要性が認められた。

(4) 培地溶液中の無機成分濃度の変動

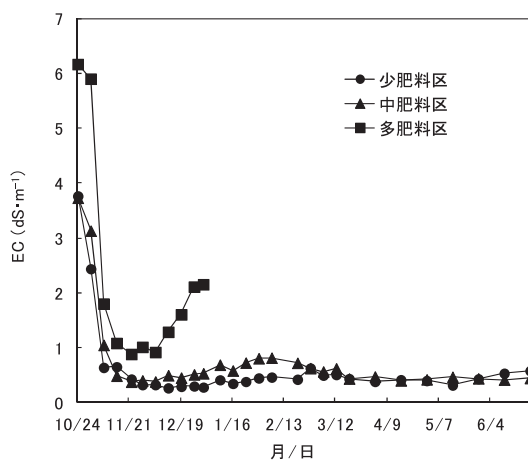
第7図に培地溶液のECを、第8図に培地溶液中の無機成分濃度の推移を示した。ECは定植直後には各区で3.0dS・m⁻¹以上と高かったが、11月以降は低下した。12～2月中旬までは施肥量が多いほどECは高い傾向にあり、施肥量の違いを反映していたが、それ以降は処理区間の差はみられなかった。各多量元素において、培地溶液の濃度は栽培初期には数～数十me・L⁻¹の高い値を示したが、ECの変化と同様に11月以降は急激に減少し、おおよそ5

me・L⁻¹以下まで低下した。また、2月頃までは施肥量の差が培地溶液中の養分濃度の差を反映していたが、それ以降は施肥量の違いによる差はなくなった。特にNO₃-N、NH₄-N、PO₄-PおよびKは0me・L⁻¹近くまで減少した。しかし、上述したように葉にカリ欠症状はみられたものの、栽培上大きな問題となるような極端な養分欠乏は生じなかった。

寺林ら¹⁶¹⁾は水耕トマトにおいて、週単位の定量施用法により、NO₃-NおよびPO₄-Pを施用すると、次の施用前に水耕液中のそれらの濃度は0に近い値にまで減少するが、生育の障害や異常は生じないとしている。これは、養分吸収速度と施用量が見合ったことによるものである。本実験では、CRFからの溶出により、培地溶液への養分の供給は常時行われたと考えられるが、養分供給量と吸収量がほぼ同等か後者がやや上回っていたと推察される。

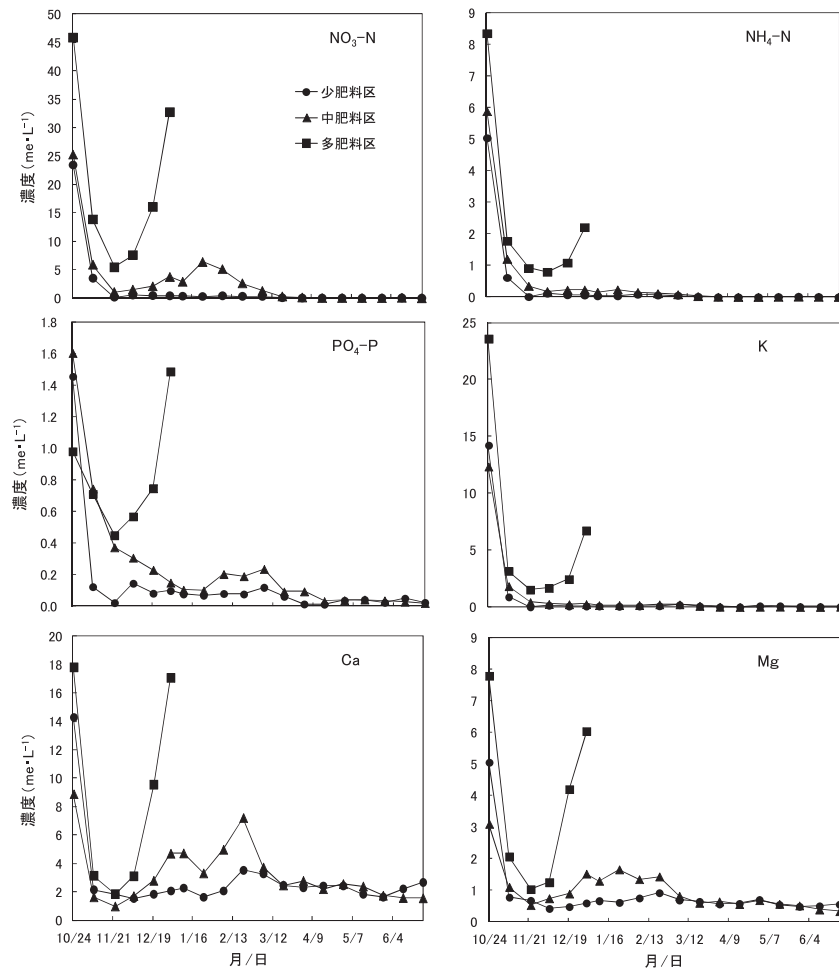
一方、両処理区とも生育中期以降のMgおよびCaの培地溶液中濃度は、NO₃-N、NH₄-N、PO₄-PおよびKに比べて高い値で推移した。細井・細野³⁹⁾は、トマトの水耕栽培において、Mg、CaはN、P、Kと異なり、低濃度での吸収が困難で、正常に生育するためには最低0.5～1.6me・L⁻¹程度の濃度が必要であることを明らかにしている。本実験においても、CaおよびMgを十分に吸収するために、培地溶液中にある程度の濃度の養分が存在する必要があると考えられる。ただし、3月以降、両処理区ともMgおよびCaの濃度がその必要濃度の下限近くで推移していたが、先述したようにCaOとMgOの施肥量は不足気味の可能性があるため、施肥量よりも吸収量が上回っていたと推察される。また、閉鎖型の養液栽培では、特定の成分が培地溶液へ蓄積することが問題となる場合がある⁵³⁾。本実験では、中肥料区および少肥料区において、培地溶液中に肥料成分の蓄積はみられず、そのような問題はないと考えられた。

ただし、多肥料区では、栽培を打ち切る12月まで培地溶液のECや無機成分濃度が他の区に比べて顕著に高かった。したがって、多肥料区において萎れ症状がひどく、枯死する個体も発生したのは、塩類濃度障害を起こしたためと考えられ、多肥料区の施肥量は過剰と考えられた。



第7図 施肥量が培地溶液のECに及ぼす影響

注) 多肥料区については2007年12月末で栽培を打ち切ったためそれ以降のデータなし。



第8図 施肥量が培地溶液の無機成分濃度に及ぼす影響

注) 多肥料区については2007年12月末で栽培を打ち切ったためそれ以降のデータなし。

(5) まとめ

以上のことから、窒素施用量を指標とした場合、トマト促成15段栽培では、中肥料区で与えた株あたり16.2 gが適量の範囲内にあると考えられた。ただし、実際の窒素吸収量は施肥量をやや上回る数値であったため、培地や原水由来の窒素を考慮に入れて施肥設計する必要があることが示唆された。また、生育中期以降、培地溶液の無機成分は低濃度で推移したため、培地溶液に養分が蓄積することはないと考えられた。しかし、 K_2O の施肥量が不足していたこと、 CaO および MgO が一定程度、培地へ吸着して植物が吸収できなかったことがデータから示唆され、これらの無機成分の供給は不足気味であった可能性がある。一方、茎径は上位果房ほど細くなる傾向があった。これは、窒素溶出量が生育前半に多く、時期によって窒素の溶出が大きく異なったことが要

因と考えられる。したがって、果実収量の増加とさらなる安定化のためには、窒素溶出量の平準化が必要であり、そのためには施肥量と肥料の種類をさらに検討する余地があると考えられた。

3 培養液管理との比較におけるCRF施用の果実収量と養分動態

1) 緒言

II-2における結果から、大玉トマトの促成15段栽培を行うために窒素施用量として株あたり16.2 gが適量の範囲内であると考えられた。しかし、CRF施用管理法の確立のためには、それまでの研究でほぼ確立している培養液管理^{93, 106, 107)}と果実生産性を比較する必要がある。また、前節では、窒素溶出量の平準化などが課題として挙げられたが、それらを含めてCRF施用管理法を確立する上での改善点

が培養液管理と比較することによって明らかになると考えられる。さらに、CRF管理と培養液管理での養分動態の違いについても明らかでない。そこで、本節では、CRF管理と培養液管理を行った場合の果実生産性と養分動態の違いについて検討を行った。

2) 材料および方法

実験は当研究センター内のパイプハウス (108 m²) で行った。供試品種と育苗方法はII-2と同様で、播種日を2008年9月13日、鉢上げ日を9月29日とした。10月22日にII-1で用いた防根ひも栽培装置に定植した。給水ひもは1株に1本配し、ひもを通す栽培容器側面の穴と水面との距離は終始3 cmに保った。培地 (培地量3 L/株) は上述と同じ混合培地を使用した。栽植様式は、II-1と同一とした。誘引高約2.2 mでつる下ろし誘引を行った。2009年5月1日に15段上2葉で摘心したのち、6月29日まで収穫し、実験を終了した。温室内は28℃で換気を行い、13℃以下にならないように温風暖房を行った。

処理区としてCRF区と培養液 (LF) 区を設けた。用いたCRFの種類と施肥量はII-2における中肥料区と同じとした (16.2gN/株, 第3表)。なお、燃焼鶏糞灰は培地のpH矯正と微量元素の付加のために施用した。CRF区では、すべての肥料を定植前日に培地とよく混和した。LF区では、既報^{93, 106, 107)}で用いた大塚A処方¹⁾の1/2単位濃度培養液 (EC = 約1.4dS・m⁻¹) を終始施用した。実験区は各区8株で3反復設けた。

約1週間に1回果実を収穫し、果実の重量と個数および糖度をII-1と同様の方法で調査した。実験期間中には、約2週間に1回の頻度で第1節と同様の方法で培地溶液を採取し、培地溶液中のECを導電率計で、無機成分濃度をイオンクロマトグラフで測定した。また、植物の栄養状態の把握のために、約2週間に1回、田中¹⁵⁸⁾と同様の方法で小葉を採取し、小葉葉柄汁中のNO₃濃度を硝酸イオンメータ (B-341, 堀場製作所) で測定した。実験終了時には各区6株について奇数果房下の莖径を測定した。また、各区の生育中庸な4株について、摘葉した下葉とすべての収穫果実および実験終了時の莖葉を80℃で1週間程度乾燥し、乾物重を測定したのち粉

砕した。そして、乾物中の窒素, リン, カリウム, カルシウムおよびマグネシウムについて、II-2と同様の方法で分析した。

3) 結果および考察

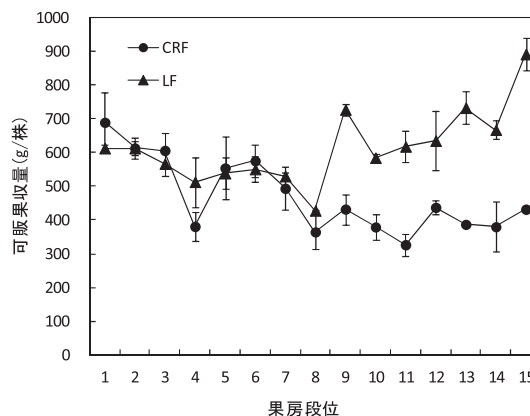
(1) 生育, 果実収量および植物の栄養状態

総収量および可販果収量はLF区に比べてCRF区の方が小さかった (第7表)。果房段位別にみると、第8果房までの下位果房では両処理区で可販果収量に差はなかったが、第9果房以上の上位果房ではLF区の方が大きかった (第9図)。したがって、可販果収量の処理間差は上位果房の差によるものであった。しかし、果実糖度には処理間差はなかった。栽培終了時の莖径をみると、第3果房下まではCRF区の方が莖径は大きかったが、第7果房下より上位ではLF区の方が大きかった (第10図)。葉柄汁中のNO₃濃度は、生育初期の11月頃まではCRF区の方が高かったが、生育中期の2月下旬以降はLF区の方が高かった。 (第11図)。栽培終了時の莖径、可販果収量および葉柄汁中のNO₃濃度をみると、お互

第7表 肥料の種類が果実収量, 果実糖度および乾物重に及ぼす影響

肥料の種類	果実収量 (kg/株)		果実糖度 (Brix%)	乾物重 (g/株)		
	総収量	可販果収量		莖葉	果実	合計
CRF	7.7	7.1	6.1	231	439	669
LF	9.9	9.2	6.1	304	574	878
ANOVA ¹⁾	**	**	ns	**	*	*

1) **および*はそれぞれは1%および5%水準で有意, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。

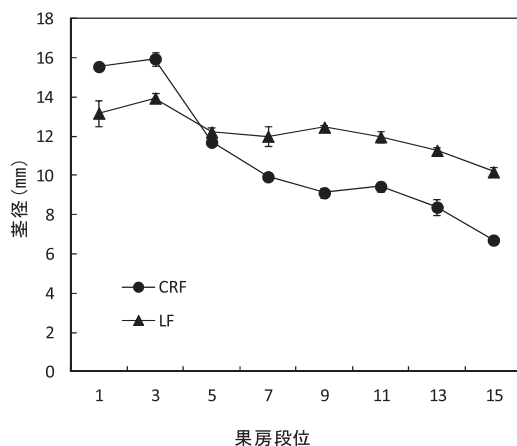


第9図 肥料の種類が果房段位別の可販果収量に及ぼす影響

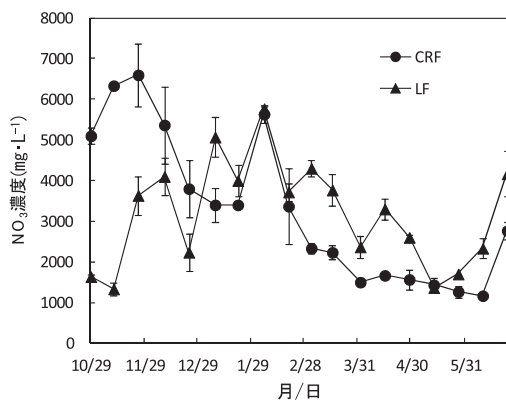
注) 図中の縦棒はSE (n = 3) を示す。

いに一定の関係性がみられる。すなわち、CRF区でNO₃濃度が高い生育初期は下位果房下の茎径もLF区より大きいのにに対し、NO₃濃度が低い生育中期以降は上位果房下の茎径も小さい。また、CRF区で茎径がLF区と同等以上の下位果房では収量差がないのにに対し、茎径が小さい上位果房下では収量も低い。

したがって、可販果収量の処理間差が葉柄汁中のNO₃濃度すなわち植物の栄養状態の差で説明できると考えられる。また、下位果房下ではCRF区の方が茎径は大きく生育が旺盛であったと推察されるが、可販果収量には差はなかったことから、CRF区では生育前半の養分供給が過剰であった可能性が高い。以上から、CRF区では生育前半の養分供給を抑え、生育後半の養分供給を増やすことによって収量を増やすことができると考えられた。このことは前節における結果から考察されたことと一致しており、



第10図 肥料の種類が各果房下の茎径に及ぼす影響
注) 図中の縦棒はSE (n = 3) を示す。



第11図 肥料の種類が葉柄汁中NO₃濃度に及ぼす影響
注) 図中の縦棒はSE (n = 3) を示す。

今後CRFの種類と組み合わせをさらに検討する必要があると思われた。

(2) 養分吸収量

第8表に乾物中の養分含有率および養分吸収量を示した。1株あたりおよび果実生産1kgあたりの養分吸収量はCRF区の方が小さかった。その原因はCRF区において乾物重が小さく、乾物中の養分含有率が低いためであった。これらの結果は、本実験の組成・濃度による培養液の施用に比べてCRFの施用によって無駄な養分吸収を抑えて果実生産に対する養分利用効率を高めうる可能性があることを示しているが、果実収量がLF区より低いため、より詳細な検討が必要である。

(3) 培地溶液中の養分動態

培地溶液のECは、11月(第2花房開花期)以降CRF区の方が低く推移した(第12図)。培地溶液中の無機成分濃度については、すべての成分で最終CRF区の方が低く推移した(第13図)。その中で特にCRF区におけるNO₃-N、NH₄-N、PO₄-PおよびKは、2月中旬(2段果房収穫期)以降非常に低い濃度で推移した。一方、CaとMgは、それらに比べて高い濃度(それぞれ約2 me·L⁻¹および約0.5 me·L⁻¹)で推移した。この傾向は、前節の結果とほぼ一致し、CRF区では細井・細野³⁹⁾が報告したこれらの成分が正常に吸収される下限値(0.5~1.6 me·L⁻¹程度)に近い値で推移したことになる。今野ら⁴⁶⁾も本栽培法を用いたトマト栽培において、CRFを施用した

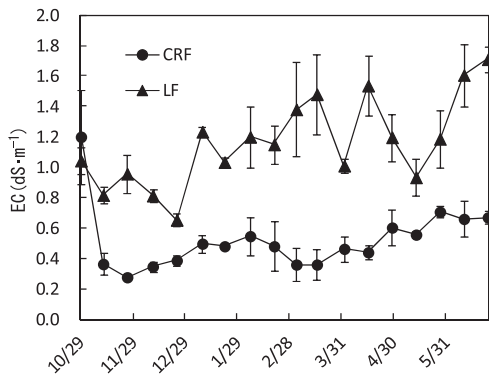
第8表 肥料の種類が乾物中養分含有率および養分吸収量に及ぼす影響

項目	肥料の種類	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
茎葉乾物中養分含有率 (%)	CRF	2.73	1.42	3.11	5.06	0.74
	LF	2.92	1.74	4.02	6.25	1.04
	ANOVA ¹⁾	ns	*	*	*	*
果実乾物中養分含有率 (%)	CRF	1.79	1.01	2.31	0.16	0.17
	LF	1.85	1.25	3.37	0.19	0.16
	ANOVA	ns	**	**	ns	ns
1株あたりの養分吸収量 ²⁾ (g/株)	CRF	14.1	5.8	15.9	11.2	2.2
	LF	19.5	9.3	31.6	20.1	4.1
	ANOVA	*	**	**	*	**
果実生産1kgあたりの養分吸収量 (g·kg ⁻¹)	CRF	1.84	0.73	2.25	1.58	0.32
	LF	1.97	0.94	3.20	2.04	0.41
	ANOVA	*	***	**	*	*

- 1) ***, **および*はそれぞれ0.1%, 1%および5%水準で有意, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3).
2) 乾物重および乾物中養分含有率から算出した。

場合に培地溶液のECが生育中期以降に非常に低い値で推移すると報告しており、本実験の結果と一致する。しかし、両処理区とも特に養分欠乏の症状はみられなかった。

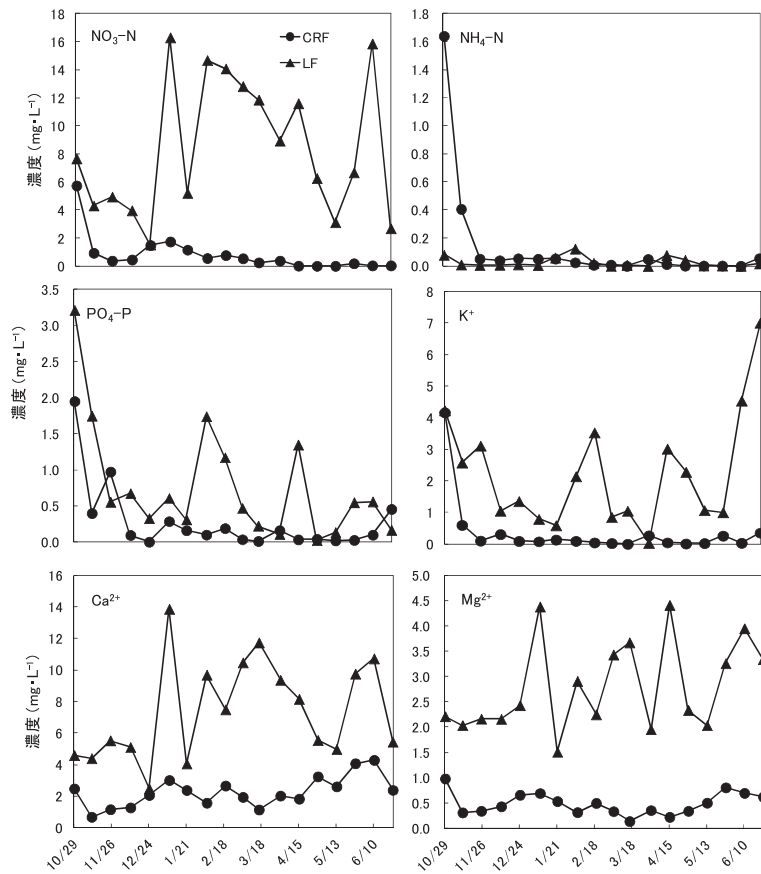
これらの結果から、本栽培法においてCRFを施用した場合、生育中期以降、CRFの表面から溶出した養分がただちに植物に吸収されている可能性が示唆



第12図 肥料の種類が培地溶液のECに及ぼす影響
注) 図中の縦棒はSE (n = 3) を示す。

される。そうであれば、CRFからの養分溶出量は培地温度に依存するので、CRF区では植物の養分吸収は溶出量によって制限されることになる。中野ら¹¹²⁾およびNakanoら¹¹¹⁾は、トマトの養液栽培において、養分を量的に施用することによって養分供給を制限した場合、循環培養液や培地溶液中の無機成分濃度がEC制御で濃度管理を行った場合に比べて非常に低い値で推移したと報告している。さらに、トマト^{99, 111, 112)}やメロン¹²⁸⁾において、EC制御の濃度管理に比べて、量的な養分管理によって収量を減少させることなく無駄な養分吸収や栄養成長を抑制できることが報告されている。本実験においても、CRF区の方が茎葉の乾物重や乾物中養分含有率は小さく、養分利用効率が高かった。

したがって、CRFを本栽培法に適用した場合、量的な養分管理となり、EC制御による培養液管理と比較して過剰な養分吸収を抑えて無駄な栄養成長を抑制し、高い養分利用効率を達成することが可能であることが示唆された。さらに、閉鎖型養液栽培で



第13図 肥料の種類が培地溶液の無機成分濃度に及ぼす影響

は、循環培養液や培地溶液中への養分の蓄積^{9, 53)}がみられることがあるが、CRFの適量施用ではそのようなことは起こらないことが明らかとなった。このことはトマト栽培において非常に有益なことでありと考えられる。ただし、CRFを施用した場合における養分吸収の様相については明らかではなく、さらに検討する必要があると考えられた。

(4) まとめ

以上の結果から、CRFを防根ひも栽培に適用した場合、EC制御による培養液管理に比べて高い養分利用効率で果実生産を行える可能性が示された。しかし、前節でも考察したように本実験におけるCRFの組み合わせでは収量性が十分ではなかったため、収量増加のために生育前半の養分溶出を抑えて生育後半の養分溶出を増やす必要があった。CRFからの養分吸収の様相についてさらに検討する必要があると考えられた。

4 肥料の組み合わせを改良した上でのCRF施用と培養液施用との果実生産性および養分吸収の比較

1) 緒言

II-3における結果から、防根ひも栽培法にCRFを適用した場合、EC制御による培養液管理に比べて、果実生産に対する養分利用効率が高まる可能性があることが明らかとなった。しかし、前節におけるCRFの組み合わせでは、果実生産性が培養液管理よりも劣ったため、収量増加のために生育前半の養分溶出を抑えて生育後半の養分溶出を増やす必要があると考えられた。そのためには施用する肥料の種類を改良する必要がある。

さらに、CRFを施用した場合、培地溶液中の養分濃度は、培養液管理と比べて生育中期以降、極めて低い濃度で推移した。この結果は、CRFの表面から溶出した養分がただちに植物に吸収されていることを示唆しており、このことがCRF施用における効率的な養分利用に結びついている可能性があると考えられた。

そこで、本節では、CRFあるいは培養液を施用した場合の養分吸収の違いについて検討した。養分吸収を簡便に評価するために、ここでは、茎を地際で

切断して得られる木部いっ泌液に着目した。一般に、単位時間あたりのいっ泌液量は水分吸収能を評価するために用いられる¹⁷⁹⁾。また、茎切断から1時間以内であれば、いっ泌液中の養分濃度はほぼ一定である^{4, 91, 94, 178)}ため、インタクトな植物の養分輸送濃度を評価することができる。実際に、いっ泌液の量や養分濃度から養分吸収の評価を行っている研究例がある^{35, 90, 120, 135, 136)}。そこで、養分輸送や養分吸収を評価するために、茎切断から1時間のいっ泌液について分析を行った。

以上により、本節の目的は、CRFの組み合わせを改良した上での収量性を評価することと、CRFと培養液を施用した場合の養分吸収の違いを評価し、CRFを施用した場合の高い養分利用効率の要因を明らかにすることである。

2) 材料および方法

実験は、当研究センター内のプラスチックハウス(252 m²)で行った。供試品種と育苗方法はII-2と同様で、播種日を2009年9月11日、鉢上げ日を10月1日とした。10月20日にII-1で用いたのと同様の防根ひも栽培装置に定植した。ただし栽培容器には長さ39 cm×幅22 cm×高さ16 cmのプラスチックボックスを用い、1つの容器に2株を定植した。培地(培地量3 L/株)は上述と同じ混合培地を使用した。栽植様式は、II-1と同一とした。誘引高約2.5 mでつる下ろし誘引を行った。2010年5月1日に15段上2葉で摘心したのち、6月29日まで収穫し、実験を終了した。温室内の温度管理は28℃で換気を行い、13℃以下にならないように温風暖房を行った。温室内の気温と培地温はT型熱電対で経時的に測定した。屋外の全天日射量は、近畿中国四国農業研究センター内に設置されている総合気象観測装置による測定値を用いた。

第9表 CRF区において施用した肥料の種類 (g/株)

使用した肥料	日数 ¹⁾	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
燃焼鶏糞灰	-		2.0	1.8	2.3	0.6
エコロングトータル313	140	4.7	4.0	4.7		0.7
スーパーエコロング	100	3.1	2.6	3.1		
ロングショウカル	140	7.4			14.3	
エコカリコート	140	1.0		19.0		
ロング硫マダ	180					2.3
合計		16.2	8.6	28.6	16.6	3.6

1) 25℃水中で80%の成分が溶出する日数。

処理区としてCRFを施用する区（CRF区）および培養液を施用する区（LF区）を設けた。CRFの組み合わせは前節までの結果および市販のソフトウェア（施肥名人 Ver.2.0, JA全農）による窒素溶出シミュレーションの結果を基に決定した（第9表）。施肥窒素のNO₃-N：NH₄-N比は76：24であった。すべての肥料は定植前日に培地によく混和した。LF区では、大塚A処方1/2単位濃度液（EC＝約1.4dS・m⁻¹）を施用した。培養液中のNO₃-N：NH₄-N比は9：1であった。試験区は各区30株の3反復とした。

各区8株について果実を約1週間に1回収穫し、果実の重量と個数および糖度をⅡ-1と同様の方法で調査した。実験期間中には、約2週間に1回の頻度でⅡ-2と同様の方法で培地溶液を採取した。また、約4週間に1回、晴天日に木部いっ泌液を採取した。いっ泌液は、各区2株について午前10時に地上5cmで茎を切断し、最初の数滴を捨てたのち、ガラス製のバイアルに1時間集めた。サンプルは測定まで-20℃で保存した。培地溶液中の電気伝導度（EC）を導電率計で、培地溶液およびいっ泌液中の無機成分濃度をイオンクロマトグラフで測定した。さらに、実験終了時には各区6株について奇数果房下の茎径を測定したのち、各区生育中庸な4株について、摘葉した下葉とすべての収穫果実および実験終了時の茎葉を80℃で1週間程度乾燥し、粉碎したのち乾物重を測定した。そして、乾物中の窒素、リン、カリウム、カルシウムおよびマグネシウムについて、Ⅱ-2と同様の方法で分析した。

3) 結果および考察

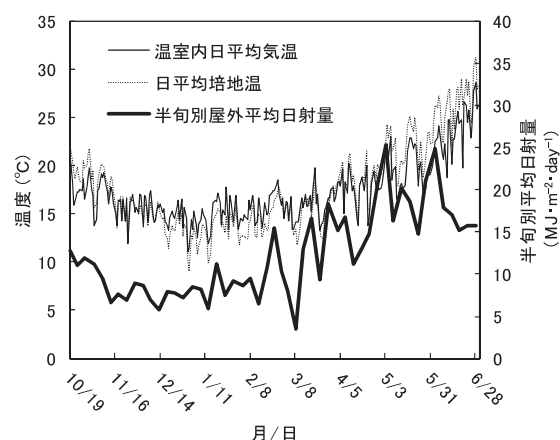
(1) 実験期間中の気象条件

実験期間中の気象条件を第14図に示した。実験期間全体で平均した温室内気温、培地温および屋外日射量はそれぞれ、17.3℃、17.7℃および12.3MJ・m⁻²・day⁻¹であった。温室内日平均気温および日平均培地温は6月下旬に最も高く、1月中旬に最も低かった。半旬別の平均屋外日射量は5月下旬に最も多く、1月中旬に最も少なかった。

(2) 生育、果実収量および養分吸収量

実験終了時の茎径は、第3果房下でCRF区の方

が大きく、第9果房下でLF区の方が大きかった以外は有意差がみられなかった（データ略）。第10表に果実収量および乾物重を示した。総収量および可販果収量は、処理区の間には有意差がみられなかった。一方、果実糖度はCRF区の方が高かった。したがって、本実験におけるCRFの組み合わせで培養液管理と同等の果実生産性を得られることがわかった。また、部位別の乾物重をみると、茎葉乾物重および全乾物重において、CRF区の方が小さかった。



第14図 実験期間中の気象条件

第10表 肥料の種類が果実収量および乾物重に及ぼす影響

肥料の種類	果実収量 (kg/株)		果実糖度	乾物重 (g/株)		
	総収量	可販果収量	(Brix%)	茎葉	果実	合計
CRF	8.5	8.0	6.5	265	472	736
LF	8.9	8.5	6.1	306	509	815
ANOVA ¹⁾	ns	ns	*	*	ns	*

1) *は5%水準で有意であること、nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。

第11表 肥料の種類が乾物中養分含有率および養分吸収量に及ぼす影響

項目	肥料の種類	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
茎葉乾物中養分含有率 (%)	CRF	2.85	1.34	4.42	3.22	0.78
	LF	2.98	1.70	5.00	4.48	1.05
	ANOVA ¹⁾	ns	*	*	*	*
果実乾物中養分含有率 (%)	CRF	1.60	0.79	3.31	0.30	0.23
	LF	1.68	0.96	3.86	0.37	0.25
	ANOVA	ns	ns	*	*	ns
1株あたりの養分吸収量 ²⁾ (g/株)	CRF	15.0	7.2	27.3	9.9	3.2
	LF	17.7	9.8	34.2	14.9	4.3
	ANOVA	**	**	*	***	***
果実生産1kgあたりの養分吸収量 (g・kg ⁻¹)	CRF	1.79	0.85	3.22	1.17	0.37
	LF	1.98	1.10	3.84	1.68	0.49
	ANOVA	*	*	**	**	**

1) ***, **および*はそれぞれ0.1%, 1%および5%水準で有意、nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。

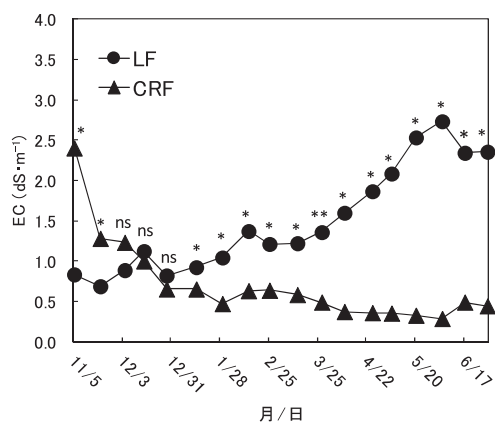
2) 乾物重および乾物中養分含有率から算出した。

第11表に乾物中養分含有率と養分吸収量を示した。茎葉乾物中養分含有率はNを除いてCRF区の方が低かった。また、果実乾物中の K_2O と CaO については、CRF区の方が低かった。1株あたりおよび果実生産1kgあたりの養分吸収量は各養分ともCRF区の方が小さかった。したがって、果実生産に対する養分利用効率は前節と同様にCRF区の方が高かった。CRF区において養分利用効率が高い理由は、LF区と比べて果実生産量が同等であるのに養分吸収量が少ないためである。また、CRF区において養分吸収量が少ないのは、LF区に比べて乾物重が小さく、乾物中の養分含有率が低いためである。これらの結果は、CRF区において無駄な養分吸収が少ないことを示唆しており、このことは、施肥量および肥料コストを低減させようことを意味しており、トマトの生産上非常に重要な点である。

(3) 培地溶液中の無機成分濃度

培地溶液中のECは、生育初期にはCRF区の方が高かったが、第1果房収穫期にあたる1月中旬以降はLF区よりも低く推移した(第15図)。培地溶液の無機成分濃度の推移を第16図に示した。 NO_3-N 、 K 、 Ca および Mg の濃度は生育初期にはCRF区の方が高かったが、1月以降はLF区よりも低く推移した。 NH_4-N 濃度は、1月まではCRF区の方が高く推移したが、それ以降は両処理区とも非常に低い値で推移した。

PO_4-P 濃度は、実験期間を通じてCRF区の方が低



第15図 肥料の種類が培地溶液のECに及ぼす影響

注) **および*は分散分析の結果、それぞれ1%および5%水準で有意であることを示し、nsは5%水準で有意でないことを示す(n=3)。

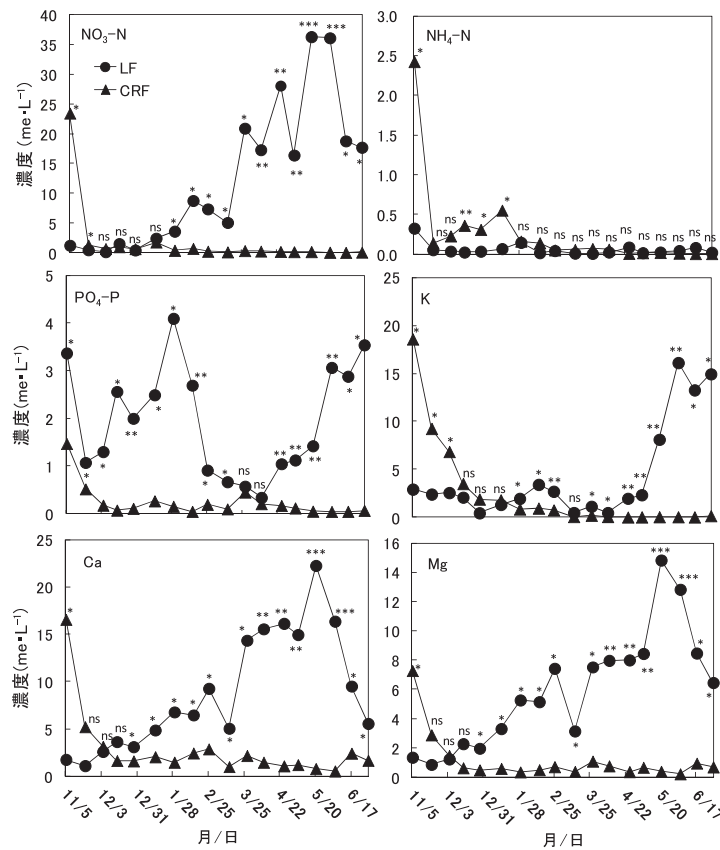
く推移した。CRF区では、前節と同様に、すべての成分において生育中期以降、吸収限界濃度³⁹⁾に近い極めて低い濃度で推移した。

(4) 木部いっ泌液の量および無機成分濃度と時期別の養分吸収量

本実験では、両処理区間の養分吸収量が異なる時期を明らかにするため、木部いっ泌液の量および液中の無機成分濃度を調査した。いっ泌液量は、両処理区とも11月(第2果房開花期)から3月(5段果房収穫期)にかけて減少傾向で推移した後は増加傾向に転じた(第17図)。摘心後の5月~6月におけるいっ泌液量は他の時期に比べて特に多かった。一般に、日射量が多いほど^{97, 182)}、地温が高いほど¹⁷⁹⁾、いっ泌液量は多くなる。したがって、5月~6月にいっ泌液量が多かったのは、他の時期に比べてこの時期の日射量が多く、培地温が高かったためであると考えられる。一方、実験期間を通じて液量には処理間差はみられなかったため、根の水分吸収能には両処理区で差がなかったと推察された。

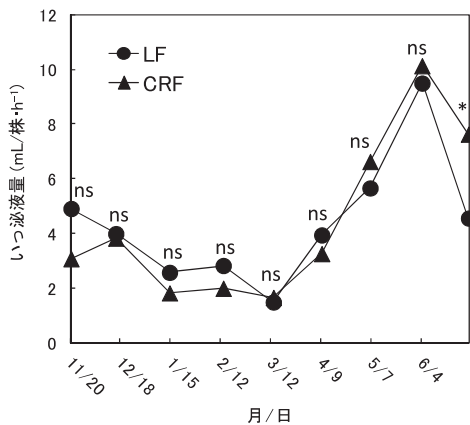
いっ泌液中の無機成分濃度の推移を第18図に示した。 NO_3-N 、 Ca および Mg の濃度には3月~4月(第5段~7段果房収穫期)まで処理間差がみられない場合が多かったが、その後は明らかにLF区の方が高い濃度で推移した。 K 濃度は、3月まではCRF区の方が高い傾向にあったが、5月以降はLF区の方が高く推移した。 NH_4-N 濃度は、4月まではCRF区の方が高く推移し、5月以降は処理間差がみられなかった。いっ泌液中の無機成分濃度の違いは、地上部への養分輸送濃度の違いを反映している。いっ泌液量から根の水分吸収能は5月~6月に高かったと考えられる。促成トマト栽培では吸水量は生育初期を除いて日射量にほぼ比例する¹¹¹⁾ため、日射量の多いこの時期は吸水量自体も他の時期に比べて多かったと考えられる。このことから、5月~6月の地上部への養分輸送濃度の差は、実験期間全体の養分吸収量(第11表)の差に大きく影響したと考えられる。LF区では、この時期にいっ泌液中の NO_3-N 、 K 、 Ca および Mg の濃度が高いため、これらの養分の吸収量がCRF区に比べて非常に多かったと考えられる。

ただし、 PO_4-P 濃度には実験期間を通じて処理間



第16図 肥料の種類が培地溶液の無機成分濃度に及ぼす影響

注) ***, **および*は分散分析の結果, それぞれ0.1%, 1%および5%水準で有意であることを示し, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3).



第17図 肥料の種類が単位時間あたりのいつ泌液採取量に及ぼす影響

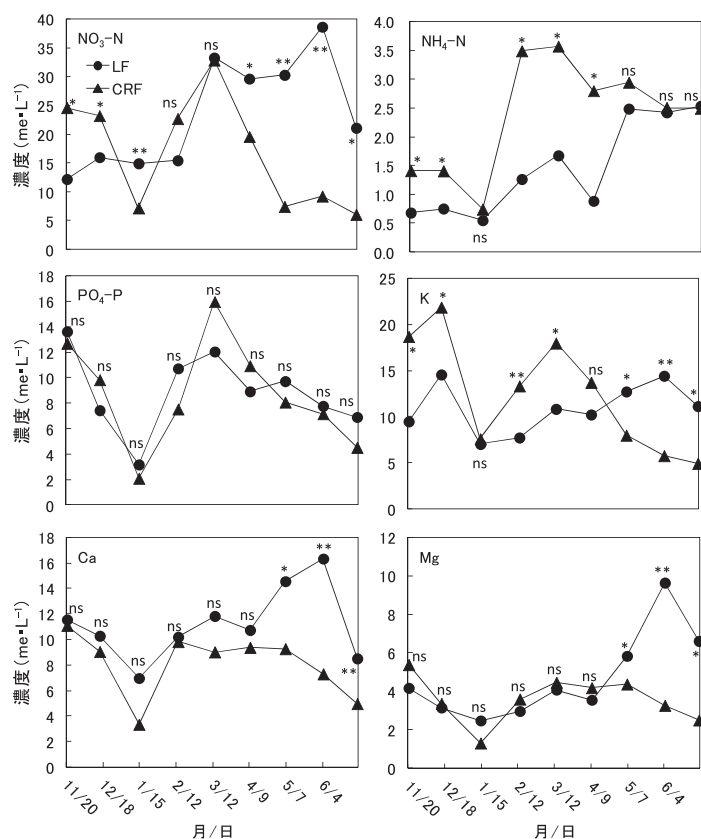
注) *は分散分析の結果, 5%水準で有意であることを示し, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3).

で差がほとんどみられず, リン酸吸収量の処理間差をいつ泌液の量および成分濃度から説明することはできなかった. また, 本実験では, 培地溶液中の $PO_4\text{-P}$ 濃度には処理間に有意差がみられたのに対し,

いつ泌液中の濃度には差はなかった. 一般にいつ泌液中のリン酸濃度は根圏に存在する総リン酸量とは関係ないことがわかっている^{120, 152)}. 本実験においても培地中のリン酸存在量の差がいつ泌液中の $PO_4\text{-P}$ 濃度に影響を及ぼさなかった可能性が考えられる. 一方, Terabayashiら^{162, 163)}によって, $PO_4\text{-P}$ は24時間の総吸収量に対する夜間の吸収量の割合が多量成分の中で最も高いことが報告されているように, リン酸は夜間にも盛んに吸収される. 本実験では昼間にいつ泌液を採取したが, 夜間のいつ泌液中の $PO_4\text{-P}$ 濃度についても調査する必要があるかもしれない.

以上のことから, 両処理区間における積算の養分吸収量の差は, 主に生育後半に生じた可能性が高いと考えられる.

また, CRF区におけるいつ泌液中の無機成分濃度は, 第1果房収穫期以降に培地溶液中の無機成分濃度よりも極めて高い濃度で推移し, その濃度は摘心



第18図 肥料の種類がいつ泌液中の無機成分濃度に及ぼす影響

注) **および*は分散分析の結果、それぞれ1%および5%水準で有意であることを示し、nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。

時期までLF区とほぼ同じ濃度で推移した。さらに、両処理区とも養分欠乏の症状はみられなかった。したがって、両処理区において、生育期間を通じて正常な生育のために必要な量の養分が不足なく吸収されていたと考えられる。これらの結果は、CRF区において第1果房収穫期以降、多くの養分が肥料の表面から溶出された後ただちに吸収されているのではないかとする前節の仮説を支持するものである。また、本実験においても、LF区では培地溶液中に吸収可能な養分が豊富に存在するのに対し、CRF区では培地温によって養分溶出量が制限されていたと考えられる。CRF区において生育後期のいつ泌液中の成分濃度が低かったのは、このためであろう。これらのことからCRF粒子の表面は根で完全に覆われていた可能性が推察されるが、根の分布については調査しておらず、今後の検討課題としたい。

リン酸以外の成分に関しては、いつ泌液中の成分濃度は根圏の利用可能養分量を反映する¹²⁰⁾ので、LF区においてPO₄-P以外のいつ泌液中成分濃度が

生育後半にCRF区よりも高まったのは、生育後半における培地溶液中の成分濃度が高く、根圏の利用可能養分量が多かったためと考えられる。さらに、LF区においていつ泌液中の無機成分濃度は生育終盤に上昇したが、これは、いつ泌液中のNO₃-N、CaおよびMgの濃度は摘果によって上昇する⁹⁶⁾と報告されていることから、5月上旬の摘心後に収穫によって担果数が徐々に減少したためと考えられる。したがって、EC制御によって培養液を施用する場合には、生育後半に培養液濃度を下げることによって培地溶液中の成分濃度を下げ、無駄な養分吸収を減らすことができる可能性がある。

一方、生育初期のCRF区におけるNO₃-N、NH₄-NおよびKのいつ泌液中濃度はLF区よりも高かったため、この時期のNおよびK₂Oの吸収量についてはCRF区の方が多かったと考えられる。実際、生育の指標である栽培終了時の茎径をみると、下位の茎径はCRF区の方が太かった。したがって、生育初期の溶出を減らすようにCRFの組み合わせを再検討

する必要があると考えられる。

(5) まとめ

以上のことから、EC制御によって培養液を施用する場合に比べて、CRFの施用によって、収量を減少させることなく無駄な養分吸収を抑え、果実生産に対する養分利用効率を高めることができることが明らかとなった。また、培養液とCRFを施用した場合における養分吸収量の差は、主に生育後半に生じていると考えられた。さらに、CRF区において生育中期以降、多くの養分が肥料の表面から溶出された後ただちに吸収されている可能性が非常に高いと推察された。また、このことからCRF粒子の表面は根で完全に覆われていた可能性もある。本栽培方式は閉鎖式の栽培方式で排液の発生はないため、もともと養分利用効率の高い方式であるが、それに加えて、本実験の結果から、CRFを施用した場合、培養液管理の場合よりも養分が効率的に利用されていることが明らかとなった。したがって、CRFの施用で施肥量を他の栽培方式よりも大幅に減少させることができると考えられた。

5 摘要

本章では、促成トマトの防根給水ひも栽培において、培地の種類が生育および収量に及ぼす影響について三相分布および培地溶液の無機成分の比較から検討するとともに、CRFを用いた全量基肥法適用する場合の適切な施肥量を、果実生産性、養分動態および養分の利用効率について培養液管理と比較することで明らかにしようとした。得られた結果は以下のように要約される。

- ① 培地の種類あるいは栽培の前後によって三相分布は大きく異なり、可販果収量は、混合培地（田土：バーク堆肥：ピートモス：パーライト＝2：4：1：1（v/v））で最も高く、促成トマトの防根給水ひも栽培における培地選択の際には、栽培前の混合培地の液相率を指標にすることができ、本手法では、液相率が45～55%の範囲に入るよう設定すれば適当と判断され、この点で、上記の混合培地は本手法に適しているものと考えられた。
- ② ①の結果から本栽培法に適当と考えられた培地

を用いた場合に、CRFを培地に混和して施用する方法について、促成15段栽培において施肥量を検討した結果、窒素施用量でみた場合、株あたり16.2gNの施肥が適量の範囲内であると考えられた。

- ③ 上記②から適当と考えられた16.2gN/株のCRFを施用した場合とEC管理による培養液を施用した場合において果実収量などを比較した。その結果、可販果収量はCRF施用の方が低く、その差は主に上位果房における差によるものであり、収量性を向上させるために施用するCRFの種類を再検討する必要があると考えられた。ただし、CRFの施用で培養液施用よりも果実生産に対する養分利用効率を高められる可能性が示唆された。また、CRFを施用した場合、肥料から成分が溶出されるとすぐに吸収されている可能性も示唆された。
- ④ ③の結果を受け、施用するCRFを改良した上でEC管理による培養液管理と果実生産量や養分利用効率および時期別の養分吸収を比較した。その結果、可販果収量には施用した肥料の種類で差がみられなかったが、CRFを施用した方が養分吸収量は少なく、果実生産に対する養分利用効率は高かった。したがって、CRFの施用で、培養液施用に比べて収量性を維持した上で養分利用効率を高められることがわかった。肥料の違いによる養分吸収量の差は、いっ泌液分析の結果、主に生育後半に生じていると考えられた。また、いっ泌液と培地溶液の成分分析の結果、CRFを施用した場合、肥料から成分が溶出されると培地溶液中に拡散する前にすぐに吸収されていると推察された。

Ⅲ 施肥の簡略化のためのCRFの給水タンク内施用技術の開発

Ⅱ章では、防根ひも栽培法におけるCRFの適用を行い、培養液管理と同等の収量を得ることができるとともに施肥量の削減が可能であることを明らかにした。この場合のCRFの施用法としては、培地に混和する方法（以下、培地混和法）を検討してきた。しかし、この方法では実用規模での栽培を考え

た場合、肥料を培地へ混和するための労力が大きいとともに、均一な施肥が困難といった問題がある。また、栽培終了後に培地内に養分が残存するために、培地の再利用する場合に養分残存量を考慮に入れて施肥量を決定する必要があり、培地の再利用が難しいと考えられる。

その対策として、今野ら⁴⁶⁾は、栽培後に残存肥料を取り除けるようにした施肥法として、CRF全量をまとめて透水性の袋に入れて培地中の防給水ひも上に置く「紐上置肥（以下、置肥法）」を検討した結果、栽培後の培地への養分集積がほとんどなく、培地の再利用が培地混和法に比べて容易になると述べている。しかし、この方法は1株分ずつ肥料を袋に入れる作業を必要とするため、コストと手間が非常にかかることが問題点として考えられる。

そこで筆者は、これらの問題を解決する方法として、ハウス1棟分あるいは1区画分で1作に必要なCRFの全量をまとめて透水性の袋に入れて給水タンクへ施用し、溶出液として養分をひもで供給する方法（以下、タンク内施用法）を検討することにした。この方法によって、培地への養分蓄積が緩和されるとともに、施肥の大幅な簡素化・軽労化が期待される。しかし、この方法については、梶田らが予備実験を行っており（未発表）、尻腐れ果の多発が認められている。一般に、施用窒素中の $\text{NH}_4\text{-N}$ の比率が高いと尻腐れ果が多発する^{1, 24, 43)}。市販のCRFは市販の培養液と比べて含有窒素中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 比率が高いことから、配合によっては高 $\text{NH}_4\text{-N}$ 比率に起因する生育障害が発生する可能性が考えられ、梶田らの予備実験における尻腐れ果の多発もそのためであると考えられる。しかし、前章で検討した培地混和法では尻腐れ果の発生はほとんどみられず、施肥窒素の高 $\text{NH}_4\text{-N}$ 比率の影響はほとんどないと推察された。したがって、CRFは施用方法によって $\text{NH}_4\text{-N}$ の影響の出方が異なる可能性が考えられる。

そこで本章では、施肥の簡素化・軽労化と培地の再利用の簡便化を目指し、CRFのタンク内施用法の開発を行う。その際、培地混和法や置肥法と果実生産性や養分動態の違いについて比較を行うとともに、タンク内施用法における尻腐れ果発生抑制法について検討を行った。

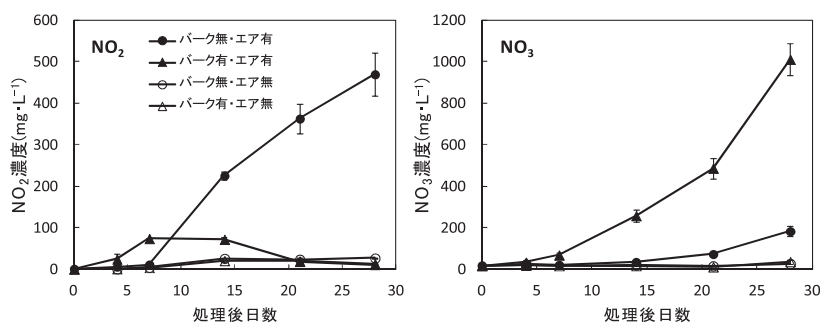
1 タンク内硝化処理方法の検討

1) 緒言

梶田ら（未発表）の予備実験の結果、タンク内施用法では施肥窒素の高 $\text{NH}_4\text{-N}$ 比率による尻腐れ果の発生が問題である可能性が示唆された。施設野菜栽培におけるCRFの利用は、固形培地耕における事例^{14, 18, 19, 56, 124, 166, 183)}もみられるものの、一般には土耕栽培での利用の方が多くを占める^{75, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 108, 141, 168, 172)}。土耕栽培の場合は、土壤中では速やかに $\text{NO}_3\text{-N}$ に変換され、植物には主に $\text{NO}_3\text{-N}$ として吸収される。そのため、肥効調節型肥料の利用によって尻腐れ果が多発し高 $\text{NH}_4\text{-N}$ が問題となることはほとんどない。したがって、タンク内施用法においても土耕栽培における硝化作用を再現するために、給水タンク内で硝化処理を行い、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を下げて $\text{NO}_3\text{-N}$ 比率を増やしてからトマトに供給することができれば尻腐れ果の発生を軽減できると考えられる。篠原¹⁴⁵⁾は、肥料源として有機物のみによる水耕栽培を試み、その際、栽培槽内に硝化細菌源および細菌の住みかとしてバーク堆肥を入れるとともに酸素源としてエアレーションを行うことで有機態窒素から $\text{NH}_4\text{-N}$ および $\text{NO}_2\text{-N}$ を経て $\text{NO}_3\text{-N}$ までの生成を進めることができることを明らかにした。したがって、タンク内施用法においても篠原らが用いた方法で給水タンク内の $\text{NH}_4\text{-N}$ を $\text{NO}_3\text{-N}$ に変換できると考えられることから、本節ではこの方法について検討した。

2) 材料および方法

4 L容のポリバケツ（矢崎化工）に3 Lの井戸水を入れ、窒素濃度が400ppmNとなるように $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ を溶解させた。中の水が気化して窒素濃度が変化しないようにバケツの上部はシルバーポリマルチで覆った。処理区として、硝化細菌源および住みかとして3 Lあたり15 gのバーク堆肥の添加の有無および硝化細菌の酸素源としてエアポンプによるエアレーション処理（24h）の有無を組み合わせ計4処理区を設定した。硝化の進行度合いをみるため、数日～1週間ごとにバケツ内の水を1 ml採取し、 NO_2 濃度と NO_3 濃度をイオンクロマトグラフで測定した。実験は25℃一定とした恒温室内で行った。



第19図 バーク堆肥の添加およびエアレーションの有無が硝酸化成に及ぼす影響
注) 図中の縦棒はSE (n = 3) を示す。

3) 結果および考察

バーク堆肥添加+エアレーション区においてNO₃-N生成が他の区よりも顕著に進んだ(第19図)。エアレーションのみでもNO₂-N生成までは旺盛に進むものの、NO₃-Nの生成はほとんどなく、いわゆる亜硝酸型硝化がみられた。バーク堆肥の添加のみではNO₃-Nの生成はほとんどなく、NO₂-Nの生成までもほとんど進まなかった。以上のことから、硝化菌源の添加や酸素の供給のいずれか単独ではNO₃-Nの生成はほとんど進まず、篠原ら¹⁴⁵⁾が行った有機養液栽培における硝酸化成促進処理と同様に、硝化菌源としてバーク堆肥を添加し、エアレーションによって酸素の供給を行うことで給水タンク内の硝酸化成を効率的に進められると考えられた。

2 肥料の施用方法の違いが生育および収量に及ぼす影響ならびにタンク内硝化処理の効果

1) 緒言

先述したように、防根ひも栽培法では、CRFの施用方法によって施肥窒素中のNH₄-Nの影響が異なる可能性が考えられる。そこで、前章で検討した培地混和法、今野ら⁴⁶⁾が開発した置肥法およびタンク内施用法において、生育および収量を季節の異なる春夏作と秋冬作において調査した。実験を異なる季節に2度行ったのはNH₄-Nの影響は季節によって異なるとされている⁴³⁾ためである。あわせて、Ⅲ-1で用いた給水タンク内の硝化処理によって、尻腐れ果の発生を軽減し収量を向上できるかどうかについても検討した。

第12表 CRFの施肥量 (g/株)

使用した肥料	日数 ¹⁾	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
春夏作						
燃焼鶏糞灰			2.0	1.8	2.3	0.6
エコロングトータル313	70	1.4	1.2	1.4		0.2
スーパーエコロング	100	2.9	2.5	2.9		
ロングショウカル	100	1.6			3.0	
エコカリコート	100	0.2		3.2		
ロング硫マグ	100					0.6
合計		6.0	5.6	9.3	5.3	1.4
秋冬作						
燃焼鶏糞灰			2.0	1.8	2.3	0.6
エコロングトータル313	100	3.9	3.3	3.9		0.6
スーパーエコロング	100	1.4	1.2	1.4		
ロングショウカル	100	2.5			4.7	
エコカリコート	100	0.3		5.3		
ロング硫マグ	100					0.7
合計		8.0	6.5	12.4	7.0	1.9

1) 25℃水中で80%の成分が溶出する日数。

2) 材料および方法

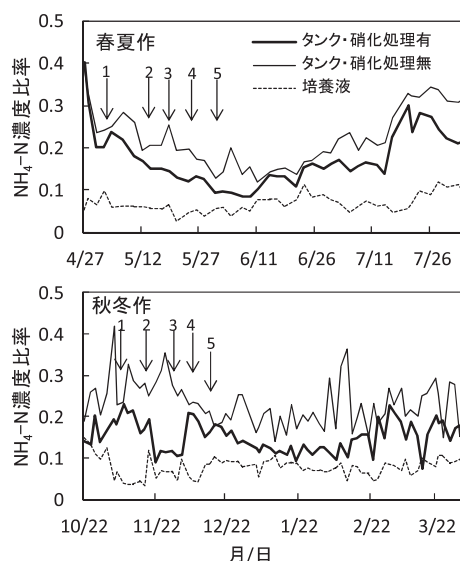
実験は当研究センター内のパイプハウス(108m²)で行った。供試品種と育苗方法はⅡ-2と同様で、春夏作については2010年2月22日、秋冬作については2010年9月12日に播種し、それぞれ2010年4月8日(春夏作)および2010年9月29日(秋冬作)に鉢上げした。2010年4月27日(春夏作)および2010年10月20日(秋冬作)に、Ⅱ-1で用いたのと同じ防根ひも栽培装置に定植した。給水ひもは1株に1本配し、ひもを通す栽培容器側面の穴と水面との距離は終始約3cmに保った。培地はポットに充填したものと同じものを用い、培地量は株あたり3Lとした。栽植様式は、Ⅱ章と同様とした。処理区として、両作型とも①大塚A処方1/2単位濃度培養液で管理(培養液区)、②CRFを培地混和(混和区)、③CRFをひも上置肥⁴⁶⁾(置肥区)、④CRFをタンク

内施用 (タンク・硝化無区), ⑤CRFをタンク内施用し前節で用いた方法で硝化处理 (タンク・硝化有区) の合計5処理を設定した. 置肥区については燃焼鶏糞灰を培地に混合し, それ以外の肥料の全量を春夏作は 9.5×7.0 cm, 秋冬作は 10.5×11.0 cmのポリエステル製の袋に入れ, 給水ひも上に置いた. タンク区については, 鶏糞燃焼灰を培地に混合し, それ以外の肥料を種類ごとにポリエステル製の不織布に包んで20 Lの給水タンク内に投入した. タンク内の硝化处理は, 100 gのパーク堆肥をタンク内に投入し2 L/分でエアレーションをすることで行った. CRFの施肥量については第12表のとおりとした. 実験規模は各区6株の3反復とした. 2010年6月15日 (春夏作) および2011年1月15日 (冬春作) に5段果房上の2葉を残して摘心し, 2010年8月4日 (春夏作) および2011年4月5日 (冬春作) に収穫を終了した. 温室内の温度管理については, 最低 13°C に設定して加温し, 28°C 以上で換気を行った. 週に3回, 給水タンク内の養液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度と $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度について, 小型反射式光度計 (RQフレックス, メルク) を用いて測定した. 各区6株について1週間に1~2回果実を収穫し, 果実の重量と個数および糖度をII章と同様の方法で調査した. また, 各果房の開花約2週間後の午後1~2時の間にその果房直下葉の小葉を各区3枚採取し, それに10倍量の蒸留水を加えて乳鉢で磨碎し, その希釈液の各無機イオン濃度をイオンクロマトグラフで測定した. さらに栽培前と栽培終了後の培地を採取して風乾させた後, 全窒素, 可給態 P_2O_5 および交換性塩基類をII-2と同様の方法で分析した. また, 栽培後の残存肥料についても 80°C で乾燥させた後, II-2における乾物と同一の方法で各成分を分析した.

3) 結果および考察

(1) 給水タンク内の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度比率の推移

第20図にタンク区および培養液区における給水タンク内の養液の全N ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) に対する $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度比率の推移を示した. 両作型ともタンク施用区において硝化处理を行うと給水タンク内の養液の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度比率が低下した. したがって, 給水タンク内での硝化处理は有効であると考えられた.



第20図 給水タンク内の硝化处理が $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度比率に及ぼす影響

注) 図中の↓は各果房の開花時期を示す.

また, 培養液区と比べてタンク施用区では, $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度比率の変動が大きく, 特に秋冬作で顕著であった. これは, タンク内水温の違いによる硝化速度の違いによるためと考えられる. 硝化作用の適温は一般に $25^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 程度であり, 15°C 以下では著しく低下する⁶⁷⁾ため, 高温期の春夏作では硝化作用が高く維持されたのに対して, 低温期の秋冬作では, 硝化作用の低下に起因して硝化が進まなかった日があったと考えられる.

(2) 栽培終了後の養分残存量

栽培終了後における培地および肥料中の養分残存量の合計量については, 秋冬作の P_2O_5 および K_2O を除いてCRFを施用した処理区間で有意差がなく (第13表), 肥料の溶出率やみかけの養分吸収量の差は小さかったと考えられた.

(3) 果実収量および植物の栄養状態

第14表に果実収量および腐爛果発生率を示した. 可販果収量は, 両作型とも混和区に比べて, 置肥区およびタンク・硝化無区で有意に少なかった. 一方, タンク・硝化有区の収量は両作型ともタンク・硝化無区よりも有意に大きく, 混和区とほぼ同等であった. ただし, 春夏作では, CRF施用区の収量はいずれも培養液区より有意に少なかった. これ

第13表 肥料の施用方法が培地および肥料中の1株あたりの残存養分量に及ぼす影響 (g/株)

処理区	N			P ₂ O ₅			K ₂ O			CaO			MgO		
	培地	肥料	合計	培地	肥料	合計	培地	肥料	合計	培地	肥料	合計	培地	肥料	合計
春夏作															
混和	5.29	-	5.29	5.68	-	5.68 a ²⁾	3.00	-	3.00	6.77	-	6.77 b	1.34	-	1.34 b
置肥	4.54	1.13	5.67	2.57	2.73	5.30 a	1.24	2.45	3.69	4.52	1.55	6.07 b	1.15	0.45	1.60 ab
タンク・硝化無	4.10	1.03	5.13	2.46	1.94	4.40 bc	1.23	2.47	3.70	5.21	1.41	6.62 b	1.25	0.53	1.78 ab
タンク・硝化有	4.19	0.85	5.05	2.47	1.97	4.44 b	0.92	2.54	3.46	4.46	1.03	5.49 b	1.06	0.42	1.48 b
培養液	5.77	-	5.77	3.87	-	3.87 c	3.87	-	3.87	8.73	-	8.73 a	2.08	-	2.08 a
ANOVA ¹⁾	ns			***			ns			**			*		
秋冬作															
混和	5.69	-	5.69	4.51	-	4.51 a	4.41	-	4.41 bc	10.92	-	10.92	2.33	-	2.33
置肥	4.35	1.47	5.82	1.21	2.84	4.05 ab	0.69	3.83	4.52 ab	8.49	1.95	10.44	1.83	0.78	2.61
タンク・硝化無	4.48	1.33	5.82	1.40	2.43	3.83 ab	0.62	4.77	5.40 a	10.31	1.57	11.89	1.97	0.58	2.55
タンク・硝化有	4.55	1.18	5.73	1.33	2.40	3.73 b	0.62	4.30	4.92 a	9.80	1.29	11.09	1.92	0.59	2.51
培養液	5.46	-	5.46	2.72	-	2.72 c	2.79	-	2.79 c	10.50	-	10.50	2.50	-	2.50
ANOVA	ns			***			**			ns			ns		

- 1) ***, **および*はそれぞれ, 0.1%, 1%および5%水準で有意, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3).
 2) 同一列の異なる符号間に5%水準で有意差あり (Tukey検定, n = 3).

第14表 肥料の施用方法が果実収量および尻腐れ果発生率に及ぼす影響

処理区	総果実		可販果		一果重 (g/個)	果実糖 度 (Brix%)	尻腐れ果発生率(%)				
	収量 (g/株)	個数 (個/株)	収量 (g/株)	個数 (個/株)			1段	2段	3段	4段	5段
春夏作											
混和	2711 b ²⁾	20.2 ab	2612 b	18.4 b	142 b	5.9 b	2.5 b	6.8 ab	1.2	0.0	0.0
置肥	2167 cd	17.9 bc	1995 cd	14.5 d	137 b	6.4 a	18.2 a	12.2 ab	5.8	0.0	2.6
タンク・硝化無	2054 d	16.8 c	1896 d	13.9 d	136 b	6.1 ab	15.0 a	20.0 a	9.5	0.0	1.9
タンク・硝化有	2432 bc	18.3 bc	2349 bc	16.2 c	145 ab	6.1 ab	8.4 ab	3.0 b	3.7	0.0	0.0
培養液	3483 a	21.4 a	3390 a	20.2 a	168 a	6.1 ab	1.1 b	3.5 b	1.2	0.0	0.0
ANOVA ¹⁾	***	**	***	***	*	*	**	*	ns	ns	ns
秋冬作											
混和	3768 a	23.0	3572 a	21.6 a	166	6.5	5.1 b	0.0	1.1	0.0	1.3
置肥	3360 ab	22.9	3237 bc	21.0 a	154	6.5	29.9 a	0.0	0.0	0.0	0.0
タンク・硝化無	3304 b	21.8	3074 c	19.4 b	158	6.5	35.7 a	0.0	0.0	0.0	4.3
タンク・硝化有	3430 ab	22.3	3383 ab	21.4 a	158	6.5	11.1 b	1.4	0.0	0.0	1.2
培養液	3485 ab	21.7	3449 ab	21.1 a	164	6.5	0.0 b	0.0	0.0	0.0	1.2
ANOVA	*	ns	**	*	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns

- 1) ***, **および*はそれぞれ0.1%, 1%および5%水準で有意, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3).
 2) 同一列の異なる符号間に5%水準で有意差あり (Tukey検定, n = 3).

については、春夏作のCRF施用区では培養液区に比べて上位果房の莖径が小さく（データ略）、収量が少なかったことから、生育後半の養分供給が少なかったためと考えられる。CRF施用区の間で比較すると、一果重に有意差はみられなかったが、可販果数は可販果収量が小さい区ほど少ない傾向にあった。CRF施用区の間において、総果実数については秋冬作では処理間に有意差はなかったが、春夏作では、混和区で最も多く、タンク・硝化無区で最も少なかった。尻腐れ果の発生率には大きな処理間差がみられ、春夏作では1段～3段果房、秋冬作では1段果房で高く、特に置肥区やタンク・硝化無区で高かった。したがって、可販果収量の処理間差は、春夏作では総果実数の違いによる部分もあったが、両

作型とも尻腐れ果発生率の違いが大きく影響していると考えられた。また、春夏作と秋冬作を比べると、春夏作の方が全般に尻腐れ果発生率が高く、処理間の収量差が大きかった。これは、トマトの水耕栽培において、気温が低い秋作に比べて気温の高い春作の方が施肥窒素のNH₄-N比率を高めた場合に尻腐れ果が発生しやすいという報告⁴³⁾と一致する。

以上のように、尻腐れ果発生率が処理間で異なることが明らかとなったことから、その要因について検討した。尻腐れ果の発生には開花後1～3週間の果実肥大初期のCa栄養が大きく影響するとされる^{12, 16, 21, 95, 117, 118)}ため、尻腐れ果の発生が多かった果房において、果実肥大初期（開花から約2週間後）の果房直下の葉柄汁のCa濃度を調査すると、

各果房において処理間に大きな差がみられ (第15表), 尻腐れ果発生率と葉柄汁のCa濃度との間には有意な相関関係が認められた (第21図). したがって, 処理によって果実肥大初期のCa吸収量が異なることが, 尻腐れ果発生率の違いにつながったと考えられた. また, この関係をみると, 葉柄汁中のCa濃度が $100 \sim 200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下になると尻腐れが多発する傾向にあった. 森国・嶋田¹⁰⁵⁾は本実験と同様に葉柄汁中のCa濃度が $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ を下回ると尻腐れ果発生率が高まる傾向を認めている. Heら²⁶⁾

も開花後の早い時期における花房直下の葉柄汁中Ca濃度によりCa欠乏症の診断の可能性を示唆しており, 葉柄汁中のCa濃度を測定することで尻腐れ果発生率の予測が可能であると考えられた.

置肥区およびタンク・硝化無区における尻腐れ果の多発, すなわちCa欠乏の要因としては, 先述のように肥料の溶出率には差がないため, Caの供給不足によって発生したとは考えにくい. Ca欠乏は, 土壤水分の不足^{21, 129)}や高温¹⁶⁹⁾, 夜間の低湿度^{10, 34)}などによっても発生するといわれているが, 本実験

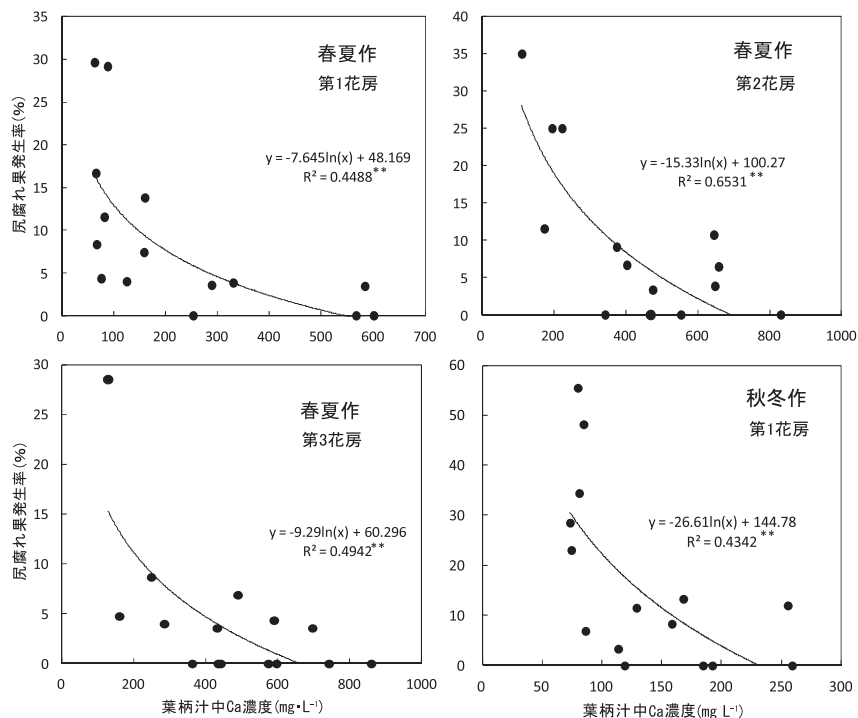
第15表 肥料の施用方法が各果房直下葉の小葉葉柄汁中のCa濃度および $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度に及ぼす影響

処理区	Ca($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)				NH ₄ -N($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)			
	春夏作 (5/21) ¹⁾	春夏作 (6/4)	春夏作 (6/11)	秋冬作 (11/25)	春夏作 (5/21)	春夏作 (6/4)	春夏作 (6/11)	秋冬作 (11/25)
混和	290 b ³⁾	592 a	582 a	184 a	338 c	154	185	63 b
置肥	65 c	236 b	230 c	84 ab	576 a	151	167	86 ab
タンク・硝化無	81 c	267 b	308 bc	76 b	509 ab	200	178	103 a
タンク・硝化有	132 bc	464 a	507 ab	152 ab	478 abc	139	170	83 ab
培養液	583 a	626 a	718 a	190 a	359 bc	144	148	91 ab
ANOVA ²⁾	**	**	**	*	**	ns	ns	*

1) 小葉葉柄の採取日.

2) **および*はそれぞれ, 1%および5%水準で有意, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3).

3) 同一列の異なる符号間に5%水準で有意差あり (Tukey検定, n = 3).



第21図 小葉葉柄汁のCa濃度と尻腐れ果発生率との関係

注) **は1%水準で有意であることを示す.

では処理間で環境条件に差はないので、これらの環境要因の影響とは考えられない。一方、Ca欠乏はNH₄-Nの多用などで他のカチオンとの拮抗作用によって吸収が抑制されることによっても発生する¹⁵⁾。CRFは含有窒素に占めるNH₄-Nの比率が一般の培養液に比べて非常に高く、本実験の場合には施肥窒素に対するNH₄-Nの割合が33～35%と約1/3を占めた。池田・大沢⁴³⁾は、この割合で水耕栽培を行った場合に尻腐れ果の多発を認めており、Aklら¹⁾やHartmanら²⁴⁾も施用窒素中のNH₄-N比率が20～25%以上になると尻腐れ果が多発して果実収量が減少すると述べている。したがって、Ca吸収量の処理間差の要因としては、CRFの含有窒素中の高いNH₄-N含有比率によるCa吸収抑制が考えられる。

そこで、各果房直下の葉柄汁中のNH₄-N濃度をみると、春夏作および秋冬作の1段果房では葉柄汁のNH₄-N濃度に処理間差が認められ(第15表)、NH₄-N濃度が高い区でCa濃度が低い傾向があることから、Caの吸収抑制がNH₄-Nの吸収による拮抗作用による可能性がある。しかし、他の果房ではNH₄-N濃度の処理間差は小さく、Ca濃度との間には一定の関係は認められなかった。したがって、本実験で用いた葉柄汁診断からは、Ca吸収の差がNH₄-N吸収の差によるものであると断定することはできなかった。

しかし、給水タンク内の硝化処理によってタンク内のNH₄-N濃度比率が低下し、尻腐れ果発生率が大きく減少することから、CRF中の高NH₄-NがCa吸収に関わっており、NO₃-Nへの変換率の差がCa吸収および尻腐れ果発生率の差につながっている可能性は高く、さらなる検討が必要であると考えられた。

一方、生育全体でのCaのみかけの吸収量には、CRF施用区の各処理間で有意差がなかった。また、尻腐れ果は2作とも下位果房のみで発生率が高く、上位果房ではほとんど発生しなかった。したがって、Ca吸収量の処理間差は生育初期～中期にのみ発生し、それ以降は吸収量の差はほとんどなかったと考えられた。

(4) まとめ

以上のことから、CRFの培地混和法に比べてタンク施用法では、尻腐れ果の発生が多いため可販果収

量が少なかったが、給水タンク内で硝化処理を行ってNH₄-N濃度比率を低下させると、可販果収量は培地混和区並に増加することから、CRFのタンク内施用法は十分成立可能であると考えられた。

3 肥料の施用方法の違いが窒素の吸収形態と形態変換に及ぼす影響

1) 緒言

Ⅲ-2において、CRFの施用方法により、作期によらず尻腐れ果の発生率が異なることが明らかとなった。その要因は、果実肥大初期のCa吸収量の違いによると考えられた。また、CRFを給水タンク内に施用する方法では、タンク内で施肥窒素の硝化を促進すると、尻腐れ果は激減した。一般に施肥窒素中のNH₄-Nの割合が高いほどCaと吸収が拮抗し、Ca吸収が阻害されることで尻腐れ果が多発する¹⁵⁾。CRFは、市販の培養液と比べて含有窒素のNH₄-N割合が非常に高いため、尻腐れ果の多い区では、NH₄-NとCaとの拮抗作用でCa吸収が阻害されたものと考えられる。一方、CRFを培地に混和して施用した場合には、尻腐れ果の発生はほとんどみられなかった。これは、他の施用方法に比べて植物に吸収される段階におけるNH₄-Nの吸収がNO₃-Nの吸収よりも相対的に少ないためと考えられる。したがって、CRFの施用方法により、窒素を吸収する段階での形態別の割合が異なる可能性が考えられる。そこで、NH₄-Nを¹⁵Nで標識したCRFを用いて、施肥方法の違いが、植物の吸収段階における窒素形態別の存在率と形態変換に及ぼす影響を調査した。

2) 材料および方法

実験は当研究センター内のプラスチックハウス(252㎡)で行った。供試品種と育苗方法はⅡ-2と同様で、播種は2010年9月12日、鉢上げは2010年9月29日に行った。2010年10月28日に、市販の家庭用の防根ひも栽培装置(トマト名人、グローウェル)に定植した。本装置の栽培容器は1つの容器に2株定植できるようになっており、真中に仕切りを入れて株ごとに培地を仕切った。栽培容器は内容量約4Lの給水タンクの上に乗せる構造になっている。ひもは1株に1本配し、培地は上述と同様のものを株あたり3L充填した。処理区としては、①

CRFを培地混和（混和区）、②CRFをひも上置肥⁴⁶⁾（置肥区）、③CRFをタンク内施用（タンク区）の合計3処理区を設定した。置肥区およびタンク区については、CRFを1株分ずつ9.5×7.0cmのポリエステル製の袋に入れ、置肥区では給水ひも上に置き、タンク区では給水タンク内に施用した。NH₄-Nのみを¹⁵Nで標識した40日タイプのCRF（N-P₂O₅-K₂O = 6-6-6, 6.6atom% ¹⁵NH₄-N）をジェイカムアグリ(株)に依頼して作成してもらい、1株あたりNH₄-Nで1.2gを施用した。施肥窒素中のNO₃-N：NH₄-Nは40：60であった。また、すべての区において燃焼鶏糞灰（粒状PK, 南国興産）を10g培地に混合した。実験区は各区2株の3反復とした。温室内の温度管理については、最低13℃に設定して加温し、28℃以上で換気を行った。晴天日であった2010年12月8日の午前10時より各株から木部いっ泌液を3時間採取した。採取日は第1花房果実の肥大初期であった。採取方法については、II-4と同じ方法をとった。採取したサンプルは分析するまで-20℃の冷凍庫で保存し、NH₄-NおよびNO₃-Nの濃度をイオンクロマトグラフで測定し、全窒素を全自動元素分析装置（Vario MAX CN, Elementar）で分析した。全窒素濃度からNH₄-NおよびNO₃-Nの濃度を引いた値を有機態窒素濃度とした。また、イオン交換樹脂（カチオン：アンバーライトIR120B-NA, アニオン：アンバーライトIRA400J-CL, オルガノ）を用いて採取液の含有窒素のカチオンあるいはアニオンを完全に除去したのち、カチオンまたはアニオンを除去したそれぞれの液中における¹⁵N存在比を安定同位体比質量分析計（ANCA-GSL + GEO20-20, Europa Scientific）で分析した（太陽日酸(株)に分析を依頼）。すべてのNはアニオン態およびカチオン態で存在していると考えられるため、カチオンを除去したものをアニオン態、アニオンを除去したものをカチオン態とした。

3) 結果および考察

第16表にいっ泌液中の各形態の窒素濃度を示した。NO₃-N濃度は、置肥区およびタンク区に比べて混和区で高かったが、NH₄-N濃度は処理間で差がなかった。有機態窒素濃度は混和区に比べて置肥区およびタンク区で高かった。また、NO₃-N濃度に対す

るNH₄-N濃度の比（NH₄-N/NO₃-N比）は混和区に比べて置肥区およびタンク区で高かった。一般に水耕栽培では、施肥窒素のNH₄-N含有率をあげるといっ泌液中のNO₃-N濃度は低下し、アミノ酸の濃度が上昇することが報告されている^{8, 20, 88, 89)}。これはNO₃-Nは、根において硝酸が還元されて同化される割合が少なく、多くがNO₃-Nの形態のまま地上部へ輸送されて葉において硝酸還元やアミノ酸への同化が進むのに対して、NH₄-Nは根における同化の割合が高いためである⁸⁸⁾。したがって、本実験において、置肥区およびタンク区では、混和区に比べていっ泌液中のNO₃-N濃度は低く、有機態窒素の濃度が高かったことから、根に取り込まれる段階におけるNH₄-N/NO₃-N比が高かった、すなわち施肥窒素の硝化があまり進んでいなかったことが示唆される。これらのことから、施肥した肥料は同じなのに関わらず、施用方法によって吸収される窒素形態の比率が異なり、置肥区およびタンク区では混和区に比べて相対的にNO₃-Nの吸収量が少ないと考えられた。

第17表にいっ泌液中における窒素形態別の¹⁵N濃度を示した。¹⁵NによるラベルはすべてNH₄-Nに行ったので、アニオン態Nおよびカチオン態Nの¹⁵N濃度から全Nの¹⁵N濃度を引くことでどちらの形態への変換が多いかをとらえることができる。すべての処理区において、全Nの¹⁵N濃度と比較して、アニオン態Nの¹⁵N濃度は低く、カチオン態Nの¹⁵N濃度は高かった。したがって、施用した¹⁵Nはアニオン態への形態変換は少なく、カチオン態への変換が多かったものと考えられる。一方、いっ泌液中の

第16表 肥料の施用方法がいっ泌液中の形態別の窒素濃度に及ぼす影響

処理区	NO ₃ -N (mg・L ⁻¹)	NH ₄ -N (mg・L ⁻¹)	NH ₄ -N/ NO ₃ -N比	有機態 (mg・L ⁻¹)
混和	182.9 a ³⁾ (38.0) ¹⁾	35.4 (7.3)	0.193 b	262.9 b (54.6)
置肥	125.1 b (24.4)	38.2 (7.4)	0.305 a	349.7 a (68.2)
タンク	127.0 b (24.5)	39.0 (7.5)	0.307 a	352.9 a (68.0)
ANOVA ²⁾	*	ns	*	*

1) 全窒素量に対する割合 (%)。

2) *は5%水準で有意, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。

3) 同一列の異なる符号間に5%水準で有意差あり。

NH₄-N濃度は非常に低かったことから、カチオン態のN形態としてはアミノ酸などの有機態の割合が高かったと考えられる。よって、施用したNH₄-N形態の¹⁵Nは有機態Nへの変換割合が非常に高かったと推察される。このことは、いっ泌液中の形態別のN濃度において有機態Nの割合が高かったことを裏付けるものである。

以上の結果と前節の結果を踏まえると、肥料の施用方法による尻腐れ果発生率の違いの要因について以下のように考えることができる。すなわち、①混和区では、窒素が根に吸収されるまでに施肥窒素の硝化が進み、NH₄-Nの形態での窒素吸収が少ないため、Ca吸収阻害が起こりにくく、尻腐れ果が少ない、②置肥区やタンク区では、窒素が根に吸収されるまでに施肥窒素の硝化があまり進まず、NH₄-Nの形態のままの窒素吸収が多いため、Ca吸収阻害が起こりやすく、尻腐れ果が多発した、というメカニズムが考えられる。

また、肥料の施用方法による硝化の度合いの違いの要因としては、根の分布の違いが考えられる。観察の結果であるが、混和区では根が培地中に広く分布するのに対し、置肥区やタンク区では肥料や給水ひもの周りに密集して分布する。この根の分布の違いによって、混和区では培地中で硝化が進んでから根に吸収されるのに対し、置肥区やタンク区では直接肥料成分に接する根の割合が高いため窒素が硝化されずに吸収されている可能性が考えられる。今後根の分布と窒素の吸収について詳細に検討する必要があると考えられる。

以上のことから、いっ泌液中の形態別の窒素濃度

第17表 肥料の施用方法がいっ泌液中における¹⁵Nの窒素形態別の濃度に及ぼす影響

処理区	全N		アニオン態 ¹⁾		カチオン態 ²⁾	
	¹⁵ N濃度 (atom%)	¹⁵ N濃度 (atom%)	全Nの ¹⁵ N濃度との差	¹⁵ N濃度 (atom%)	全Nの ¹⁵ N濃度との差	¹⁵ N濃度 (atom%)
混和	3.4 b ⁴⁾	3.0 b	-0.46	4.9	1.48 a	
置肥	3.9 a	3.5 a	-0.37	4.8	0.90 b	
タンク	4.2 a	3.9 a	-0.28	5.1	0.94 b	
ANOVA ³⁾	**	**	ns	ns	**	

- 1) カチオン交換樹脂に吸着したNを除いたものを測定した。
- 2) アニオン交換樹脂に吸着したNを除いたものを測定した。
- 3) **は1%水準で有意、nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。
- 4) 同一列の異なる符号間に5%水準で有意差あり (Tukey検定, n = 3)。

および¹⁵Nの窒素形態別の濃度を調査した結果、置肥区およびタンク区では、混和区に比べて施肥窒素の硝化があまり進んでいなかったためにCa吸収阻害が起こりやすく、尻腐れ果が多発したと推察され、CRFの施用方法による尻腐れ果発生率の違いの要因の一つが明らかとなった。

4 CRFのタンク内施用法の長期促成栽培への適用 1) 緒言

Ⅲ-2の結果から、CRFの簡易・省力的な施用方法としてタンク内施用法が可能であることを明らかにした。しかし、その結果は5段栽培という短期間の栽培の結果をまとめたものである。本節では、より実用的な場面を想定し、実用化へ近づけるため、Ⅱ章で検討した長期促成15段栽培におけるタンク内施用法の果実生産性と養分利用効率について、Ⅲ-2と同時期に栽培を行い、他の施用方法と比較・検討を行った。

2) 材料および方法

実験は当研究センター内のプラスチックハウス (252m²) で行った。供試品種と育苗方法はⅡ-2と同様で、播種は2010年9月12日、鉢上げは2010年9月29日に行った。2010年10月20日に、Ⅱ-4で用いたものと同一の防根ひも栽培装置に定植した。給水ひもは1株に1本配し、ひもを通す栽培容器側面の穴と水面との距離は終始3cmに保った。培地はポットに充填したのと同じものを使い、培地量は株あたり3Lとした。栽植様式は、Ⅱ-4と同様とした。処理区としては、①大塚A処方1/2単位濃度培養液で管理 (培養液区)、②CRFを培地混和 (混和区)、③CRFをひも上置肥⁴⁾ (置肥区)、④CRFをタンク内施用しⅢ-1で用いた方法で硝化处理 (タ

第18表 CRFの施肥量 (g/株)

使用した肥料	日数 ¹⁾	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
鶏糞燃焼灰			2.0	1.8	2.3	0.6
エコロングトータル313	140	2.0	1.7	2.0		0.3
スーパーエコロング	100	2.9	2.5	2.9		0.0
スーパーエコロング	140	2.9	2.5	2.9		
ロングショウカル	140	7.4			14.3	
エコカリコート	140	1.0		19.0		
ロング硫マグ	180					2.7
合計		16.2	8.6	28.6	16.6	3.6

- 1) 25℃水中で80%の成分が溶出する日数。

ンク区)の合計4処理区を設定した。置肥区については鶏糞燃焼灰を培地に混合し、それ以外の肥料の全量を①エコロングトータル313+スーパーエコロング、②ロングショウカルおよび③エコカリコート+ロング硫マグの三種類に分け、それぞれを9.5×7cmのポリエステル製の袋に入れ、給水ひも上に置いた。タンク区については、鶏糞燃焼灰を培地に混合し、それ以外の肥料を種類ごとにポリエステル製の不織布に包んで40Lの給水タンク内に投入した。タンク内の硝化処理は、200gのバーク堆肥をタンク内に投入し2L/分でエアレーションをすることで行った。CRFの施肥量についてはⅡ-4における結果を参考にして第18表のとおりとした。施肥窒素中のNH₄-N含有率は24%であった。実験区は各区8株の3反復とした。2011年5月2日に15段果房上の2葉を残して摘心し、2011年6月22日に収穫を終了した。温室内の温度管理については、最低13℃に設定して加温し、28℃以上で換気を行った。週に3回、給水タンク内の養液のNO₃-N濃度とNH₄-N濃度について小型反射式光度計(RQフレックス,メルク)を用いて測定した。各区8株について約1週間に1回果実を収穫し、Ⅱ章と同様の方法で果実の重量と個数および糖度を測定した。また、各区の生育中庸な4株について、摘葉した下葉と収穫果実および実験終了時の茎葉を80℃で72時間以上乾燥し、粉碎した。乾物中の窒素、リンおよびカチオンをⅡ章と同様の方法で分析した。栽培後の残存肥料についても80℃乾燥させた後、同様の方法で各成分を分析した。さらに、栽培前と栽培終了後の培地を採取して風乾させた後、全窒素、可給態P₂O₅および交換性塩基類をⅡ-2と同様の方法で分析した。

3) 結果および考察

(1) 給水タンク内のNH₄-N濃度比率の推移

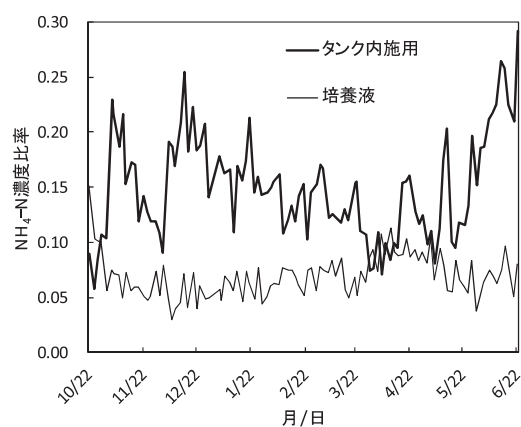
第22図にタンク区と培養液区における給水タンク内の全N成分に対するNH₄-Nの濃度比率を示した。タンク区では、タンク内のNH₄-N濃度比率は培養液よりはやや高く推移したものの、概ね0.1~0.2の間(生育期間平均は0.15)と施肥窒素中のNH₄-Nの含有比率(0.24)よりはかなり低い比率で推移した。したがって、タンク内の硝化処理は有効に働い

ていたと考えられる。

(2) 果実収量および部位別乾物重

第19表に果実収量および部位別乾物重を示した。可販果収量は、混和区とタンク区では培養液区とはほぼ同じ水準であったが、置肥区では他の区よりも有意に小さかった。尻腐れ果の発生率は各処理区でも低かった。Ⅲ-2において置肥法では下位果房における尻腐れ果の発生が多かったが、本実験では非常に少なかった。これは、Ⅲ-2の実験に比べて施肥窒素中のNH₄-N含有比率が低いことと栽培期間が尻腐れ果の発生しにくい低温期であることが要因としてあげられるが、本実験においてもNH₄-N含有比率が24%と高いため、その他の何らかの環境要因も考えられる。茎葉乾物重および果実乾物重は、いずれも培養液区で最も大きく、置肥区で最も小さかった。

したがって、同じ肥料を用いたにもかかわらず、置肥区において混和区やタンク区よりも果実収量が



第22図 給水タンク内の硝化処理がNH₄-N濃度比率に及ぼす影響

第19表 肥料の施用方法が果実収量および部位別乾物重に及ぼす影響

処理区	総収量 (g/株)	可販果収量 (g/株)	果実糖度 (Brix%)	尻腐れ果率 (%)	乾物重(g/株)	
					茎葉	果実
混和	8237 ab ²⁾	7891 a	5.8 b	2.1	254 b	481 b
置肥	7462 b	7055 b	5.8 b	0.5	225 c	442 c
タンク	8269 a	7831 a	5.9 b	1.4	263 b	470 b
培養液	8660 a	7982 a	6.5 a	2.5	325 a	553 a
ANOVA ¹⁾	**	*	**	ns	***	***

1) ***, **および*はそれぞれ、0.1%, 1%および5%水準で有意、nsは5%水準で有意でないことを示す(n=3)。

2) 同一列の異なる符号間に5%水準で有意差あり(Tukey検定, n=3)。

小さかったのは、茎葉乾物重が混和区やタンク区よりも小さく、生育が劣ったためと考えられる。また、混和区、タンク区および培養液区の総果実収量および可販果収量には差はなかったが、果実乾物重は培養液区で有意に大きかった。したがって、培養液区では果実の乾物率が高いことになるが、これは培養液区において果実糖度が高かったことに通じる。

(3) 養分吸収量

第20表に養分吸収量を示した。1株あたりの養分吸収量はすべての成分でCRFを施用した区の方が培養液区よりも有意に小さかった。CRF施用区の間でみると、置肥区のN、P₂O₅およびK₂Oの吸収量は、混和区およびタンク区よりも有意に小さかった。この傾向は部位別乾物重の傾向とほぼ一致した。したがって、置肥区では養分吸収量が少なかったために茎葉乾物重が小さかったと考えられる。果実生産1kgあたりの養分吸収量をみると、すべての成分において、CRF施用区で培養液区よりも小さい傾向がみられた。すなわち、CRF施用区で果実生産に対する養分利用率が高かった。この結果は、II章でCRFの培地混和法によって得られた結果と同様であった。したがって、肥料の施用方法を変えても、CRFを施用した場合には量的な肥培管理となってお

り、濃度管理の培養液管理よりも養分利用効率が高まることが明らかとなった。

(4) 栽培終了時における養分残存量

第21表に栽培終了時における培地および残存肥料中の養分含有量を示した。同じ施肥量であるCRF施用区の間で比較すると、培地の残存量と肥料の残存量を合計した値(合計値)は、各成分とも置肥区において混和区およびタンク区よりも高い傾向にあり、特にNとK₂Oに関しては有意に高かった。すなわち、施肥量から培地と肥料の養分残存量を引いた値であるみかけの養分吸収量が、置肥区では混和区やタンク区よりも小さかったことになる。置肥区は残存肥料の養分含有量が各成分ともタンク区よりも高い傾向にあり、肥料の溶出量が少なかった。一方、混和区とタンク区における合計値はほぼ同等であったことから、みかけの養分吸収量が同等であり、肥料の溶出量もほぼ同等であったと考えられる。みかけの養分吸収量の結果は、地上部の養分吸収量の結果とよく一致することから、置肥区における養分吸収量が混和区やタンク区よりも少なかったのは、肥料の溶出量がそれらの区よりも少なかったためと考えられる。

今野ら⁴⁶⁾もCRFを透水性の袋に入れてひも上置

第20表 肥料の施用方法が養分吸収量に及ぼす影響

処理区	1株当たりの養分吸収量 (g/株)					果実生産1kg当たりの養分吸収量 (g kg ⁻¹)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
混和	16.2 b ²⁾	6.3 b	25.3 b	6.3 b	2.6 b	1.97 b	0.77 b	3.08 b	0.77 b	0.31 b
置肥	15.3 c	5.0 c	21.7 c	6.3 b	2.2 b	2.05 ab	0.68 b	2.90 b	0.85 b	0.30 b
タンク	16.2 b	6.7 b	25.7 b	6.8 b	2.8 b	1.96 b	0.81 b	3.11 b	0.82 b	0.34 b
培養液	20.0 a	9.3 a	30.9 a	11.4 a	4.3 a	2.31 a	1.07 a	3.56 a	1.30 a	0.49 a
ANOVA ¹⁾	***	***	***	**	**	*	***	***	**	**

1) ***, **および*はそれぞれ、0.1%, 1%および5%水準で有意であることを示す (n = 3)。

2) 異なる符号間に5%水準で有意差あり (Tukey検定, n = 3)。

第21表 肥料の施用方法が栽培終了時における養分残存量に及ぼす影響 (g/株)

処理区	N			P ₂ O ₅			K ₂ O			CaO			MgO		
	培地	肥料	合計	培地	肥料	合計	培地	肥料	合計	培地	肥料	合計	培地	肥料	合計
栽培前	3.73	-	3.73	0.27	-	0.27	0.71	-	0.71	7.45	-	7.45	0.85	-	0.85
混和	6.36 a ²⁾	-	6.36 b	3.58 a	-	3.58	3.73 a	-	3.73 b	12.48 a	-	12.48 a	2.58	-	2.58
置肥	5.00 b	3.31	8.32 a	0.96 c	3.36	4.33	2.87 a	5.93	8.80 a	11.56 a	2.39	13.96 a	2.56	0.96	3.52
タンク	4.74 b	1.56	6.30 b	0.89 c	2.46	3.35	0.77 b	2.11	2.88 b	10.88 a	1.84	12.71 a	2.04	0.71	2.75
培養液	6.15 a	-	6.15 b	2.64 b	-	2.64	2.34 ab	-	2.34 b	6.51 b	-	6.51 b	2.65	-	2.65
ANOVA ¹⁾	**	-	**	***	-	ns	**	-	***	**	-	**	ns	-	ns

1) ***, **および*はそれぞれ、0.1%および1%水準で有意, nsは5%水準で有意でないことを示す (n = 3)。

2) 同一列の異なる符号間に5%水準で有意差あり (Tukey検定, n = 3)。

肥を行った結果、培地に混和する場合に比べて溶出率の低下による養分吸収量の不足を報告しており、この要因として、肥料が置肥袋内で約6層にも積み重なった結果、袋内の空隙が拡大し、毛細管現象による給水が袋内部に十分に行われなかったためと考察している。今野らの実験は7段栽培であったが、本実験は15段栽培であり、さらに多くのCRFを施肥している。その結果、肥料袋は約2.5cmの厚さで肥料が10層以上に積み重なり、上述の理由で溶出率が低下したものと考えられる。今野らは解決策として、袋を拡大して多層による空隙を減らし、肥料が水と接する表面積を増大させるか、粒径の小さな肥料を用いる必要があると述べている。しかし、培地量が3Lと限られている状況では、本実験のような多量の肥料を必要とする長期栽培の場合には、これ以上袋を拡大するスペースがほとんどないように思われた。よって、対策の1つとして培地量を増やした上で横長の栽培容器を利用することで溶出率が高まる可能性はある。一方、佐藤ら¹⁴¹⁾は、ネット入り肥料の養分溶出率は、充填する施肥量が少ないと肥料と土壌の接触面積の割合が相対的に高まるため、養分溶出率が高まると述べている。また、置肥の方法として今野ら⁴⁷⁾は、基肥を培地中に置肥し、追肥を栽培容器の外のひも上に置肥する方法を提案している。したがって、15段栽培に必要な肥料を基肥と追肥に分け、1回の施肥量を減らすことで溶出率を高めうる可能性もある。いずれにしても、トマトの長期栽培に置肥法を導入するのは新たなコストや手間を要することとなり、その点ではデメリットが大きい。

培地に残存した養分量をみると、混和区に比べて置肥区ではNとP₂O₅、タンク区ではそれに加えてK₂Oが少なかった。本栽培方式においてCRFを施用した場合、培地を再利用しようとする、次作の肥料設計時に培地中の残存養分量を考慮して設計するという煩雑な作業を行う必要がある。この点で置肥法やタンク施用法は混和法に比べて培地の再利用に適した施肥法であるといえる。置肥区およびタンク区において培地に残存したNとP₂O₅、タンク区において培地に残存したK₂Oは、栽培前の水準にほぼ近く、これらの成分については次の作付も同じ施肥設計でも問題ないように思われた。一方、CaOと

MgOに関しては、CRF施用区間で有意差はなく、いずれの区も栽培前の水準よりも高かった。これらの成分は他の交換性塩基と比較して土壌に吸着されやすい性質を持ち¹⁸⁴⁾、実際にⅢ-2の栽培実験においても同様に培地中に大量に残存した。したがって、これらの成分は吸収しきれなくて残存したのではなく、土壌に吸着された可能性が高いと考えられる。以上から、置肥区およびタンク区については、施肥設計を修正せずにこのまま培地を再利用できると考えられる。しかし、置肥法では、上述のように長期栽培に導入するのは新たなコストや手間を要することとなるし、肥料袋を作成する手間とコストも必要である。その点、タンク施用法は、1ハウス分の肥料をまとめて給水タンク内に施用し、栽培終了後は肥料を取り出すことで培地を再利用することができ、施肥労力や施肥コストを低減することができるので、タンク施用法は極めて実用性の高い施肥方法であるといえる。

(5) まとめ

以上のことから、タンク施用法は、施肥が極めて簡便であり施肥労力を軽減でき、培地混和法と比べて同等の果実収量および養分利用効率を得ることができるとともに、培地中の養分残存量を減らすことで培地の再利用が容易となることから防根ひも栽培法による長期促成栽培において極めて実用性の高い施肥方法であると考えられた。

5 摘要

本章では、トマトの防根ひも栽培法において、施肥の簡素化・軽労化と培地の再利用の簡便化を目指し、CRFのタンク内施用法の開発を行った。その際、培地混和法や置肥法と果実生産性や養分動態の違いについて比較を行うとともに、タンク内施用法における尻腐れ果発生の抑制法について検討した。得られた結果は以下のように要約される。

- ① 予備実験からタンク内施用法ではCRF含有窒素の高いNH₄-N比率によると考えられる尻腐れ果の発生が懸念されたことから、その対策として給水タンク内の窒素の硝化を促進する方法について検討した結果、タンク内にパーク堆肥を添加しエアレーションを行うことで硝酸化成が

効率的に進むと考えられた。

- ② タンク内施用法が可能かどうかを検討するために、CRF 施用法を、培地混和法、置肥法およびタンク内施用法の3種類として、生育および収量を春夏作および秋冬作で比較するとともに、給水タンク内の硝化处理が尻腐れ果の軽減に有効かどうかを検討した。その結果、CRFの培地混和法に比べてタンク施用法では、尻腐れ果の発生が多いため可販果収量が少なかったが、給水タンク内で硝化处理を行うと、可販果収量は培地混和区並に増加し、CRFのタンク内施用法は十分成立すると考えられた。また、CRFの施用法による尻腐れ果の発生率の違いは、果実肥大初期のCa吸収量の違いによるものであり、Caの吸収抑制はNH₄-N吸収との拮抗作用によるものと考えられた。
- ③ NH₄-Nを¹⁵NでラベリングしたCRFを用いて、施肥方法の違いが、木部いっ泌液中の窒素形態別の濃度に及ぼす影響を調査した。その結果、置肥法およびタンク施用法では、培地混和法に比べて施肥窒素が根に吸収されるまでに十分に硝化されないためにCa吸収阻害が起こりやすく、尻腐れ果が多発したと推察された。
- ④ 長期促成栽培におけるタンク内施用法の検討を行った結果、タンク施用法は、培地混和法と比べて同等の果実収量および養分利用効率を得ることができるとともに、培地の再利用が容易であると考えられたことから、防根ひも栽培法による長期促成栽培において極めて実用性の高い施肥方法であると考えられた。

Ⅳ 総 括

防根ひも栽培法は、底面給液法の一手法であり、フロートバルブなどを用いて給水樋の水位を一定に保つことで、培地含水量をほぼ一定に保つことができ、給液の管理や制御のための装置が不要であるとともに、排水処理のための装置も必要としないため、装置の簡易化が可能であり、省力的であると同時に生産者の経済的な負担も小さいと考えられる。そのため、一般の養液栽培に比べて、わが国の中山間地などに多い小規模農家でも導入が比較的容易である

と考えられる。本栽培法における施肥方法としては、培養液を利用する方法のほかにCRFを栽培前に全量基肥施用する方法が考えられる。後者の方法では、液肥混入装置が不要であるため、栽培装置のさらなる低コスト化と施肥の簡略化により、極めて簡易かつ環境保全的な肥培管理法が可能となる。そこで本研究では、トマトにおける簡易かつ低コストな栽培法としてCRFを利用した防根ひも栽培法を確立することを目的とした。本研究で得られた結果を概括すると以下ようになる。

Ⅱ章では、促成トマトの防根ひも栽培に適する培地の条件を明らかにするため、先行の研究⁹³⁾で用いられたものに近い組成の混合培地（田土：パーク堆肥：ピートモス：パーライト＝2：4：1：1）を含む培地の種類が生育および収量に及ぼす影響について検討するとともに、促成トマトの防根ひも栽培法においてCRFを用いた培地混和による全量基肥施用法の開発を行った。

培地比較試験の結果、培地の種類によって三相分布は大きく異なり、栽培の前後でも粉碎籾殻、混合培地、籾殻燻炭およびパーク堆肥では、その分布が大きく変化した。可販果収量には培地間で大きな違いがみられ、混合培地で最も高く、粉碎籾殻で最も低かった。果実糖度には培地間で有意差は認められなかった。栽培前後の培地の液相率および気相率と可販果収量との間の関係をみると、気相率よりも液相率の方が、また栽培後より栽培前の値の方が相関は高かった。パーク堆肥および粉碎籾殻において、培地溶液のECおよびPO₄-Pを除く無機成分濃度が他の培地よりも高くなる時期があったが、養分の過剰や欠乏の症状は特にみられなかったことから、本実験の範囲では培地溶液の無機成分濃度が収量に及ぼす影響は小さいと考えられた。以上の結果から、促成トマトの防根ひも栽培における培地選択の際には、栽培前の混合培地の液相率を指標にすることができ、本手法では、液相率が45～55%の範囲に入るよう設定すれば適当と判断され、この点で、上記の混合培地は本手法に適しているものと考えられた。そのため、以降の研究では、田土：パーク堆肥：ピートモス：パーライト＝2：4：1：1の混合培地を使用することとした。

次に、培地混和法によるCRF施用において、促

成15段栽培に適切な施肥量(1株あたり)を明らかにするために、11.3 g、16.2 gおよび21.0 gの3段階の窒素施肥量を検討した。21.0 gでは塩類濃度障害の萎れ症状がひどく途中で栽培を打ち切った。可販果収量には16.2 gと11.3 gで有意差はなかったが、果実糖度は16.2 gの方が高かった。栽培終了時の莖径は、16.2 gの方が11.3 gより大きかった。11.3 gと16.2 gにおいて、培地溶液の無機成分濃度は、生育中期以降各成分とも低濃度で推移したことから、培地溶液中への養分蓄積は生じないと考えられた。以上のことから、窒素施用量でみた場合、大玉トマト促成15段栽培では株あたり16.2 gの施肥が適量の範囲内であると考えられた。

続いて、前実験において適当と考えられた16.2gN/株のCRFを施用した場合とEC管理による培養液を施用した場合において果実収量などを比較した。可販果収量はCRF施用の方が低く、その差は主に上位果房の収量差によるものであった。栽培終了時の莖径は下位果房下ではCRF施用の方が大きかったが、上位果房下では培養液施用の方が大きかった。したがって、収量性を向上させるためには、施用するCRFの種類を再検討する必要があると考えられた。一方、CRFの施用で培養液を施用した場合よりも果実生産に対する養分利用効率を高められる可能性があることが示唆された。また、培地溶液中のECおよび無機成分はCRF施用の方が低く推移し、特に生育中期以降は非常に低い値で推移した。このことから、CRFを施用した場合、肥料からの成分の溶出と植物の吸収のタイムラグが非常に小さい可能性も示唆された。

これらの結果を基に、施用するCRFの種類を改良した上でEC管理による培養液管理と果実生産量や養分利用効率および時期別の養分吸収を比較したところ、可販果収量には施用した肥料の種類によって差がみられなかったがCRFを施用した方が養分吸収量は少なく、果実生産に対する養分利用効率は高かった。したがって、CRFを施用した場合、培養液施用に比べて収量性を維持した上で養分利用効率を高められることがわかった。肥料の違いによる養分吸収量の差は、木部いっ泌液を分析した結果、主に生育後半に生じていると考えられた。また、培地溶液中のECおよび無機成分はCRF施用の方が低く推

移し、特に生育中期以降は非常に低い値で推移したのに対し、いっ泌液中の無機成分濃度は高い値を示したことから、CRFを施用した場合、肥料からの成分の溶出と植物の吸収のタイムラグが非常に小さいという先述の仮説を強く支持する結果となった。

以上の結果から、CRFの施用でも培養液施用と同等の果実収量を得ることが可能であるとともに、培養液を施用する場合に比べて果実生産に対する養分利用効率を高められることがわかった。

Ⅲ章では、本栽培法において、施肥の簡素化・軽労化と培地の再利用の簡便化を目指し、CRFを給水タンク内に施用する方法の開発を行った。その際、培地混合法や置肥法との間で果実生産性や養分動態の違いについて比較を行うとともに、タンク内施用法における尻腐れ果発生の抑制法について検討を行った。まず、予備試験の結果からタンク内施用法ではCRF含有窒素の高いNH₄-N比率によると考えられる尻腐れ果の発生が懸念されていたため、その対策として給水タンク内の窒素の硝化を促進する方法について検討した。その結果、タンク内にバーク堆肥を添加しエアレーションを行うことで硝酸化成を効率的に進められると考えられた。

次に、CRFの施用法としてタンク内施用法が可能かどうかを検討するために、培地混合法ならびに置肥法と生育および収量を春夏作および秋冬作において比較するとともに、給水タンク内の硝化处理が尻腐れ果の軽減に有効かどうかについて検討した。その結果、CRFの培地混合法に比べてタンク施用法では、尻腐れ果の発生が多いため可販果収量が少なかったが、給水タンク内で上述の方法による硝化处理を行ってNH₄-N濃度比率を低下させると、可販果収量は培地混和区並に向上することから、CRFのタンク内施用法は十分成立可能であると考えられた。また、CRFの施用法によって尻腐れ果の発生率が異なったが、これは果実肥大初期のCa吸収量の違いによるものであり、Caの吸収抑制はNH₄-N吸収との拮抗作用によるものと考えられた。この結果から、CRFの施用方法により、窒素を吸収する段階での施肥窒素の形態別の割合が異なる可能性が考えられた。そこで、NH₄-Nを¹⁵NでラベリングしたCRFを用いて、施肥方法の違いが、木部いっ泌液中の窒素形態別の濃度と形態変換に及ぼす影響を調査した。

その結果、置肥法およびタンク施用法では、培地混和法に比べて施肥窒素が根に吸収されるまでに十分に硝化されないためにCa吸収阻害が起りやすく、尻腐れ果が多発したと推察された。

これらの結果を基に、より実用的な場面を想定し、長期促成栽培におけるCRFのタンク内施用法の検討を行った結果、タンク施用法は、培地混和法と比べて同等の果実収量および養分利用効率を得ることができるとともに、培地中の養分残存量が少ないので培地の再利用が容易になると考えられた。以上のことから、CRFのタンク内施用法は防根ひも栽培法による長期促成栽培において極めて実用性の高い施肥方法であると考えられた。

以上のように、本研究によって、長期促成トマトの防根ひも栽培法におけるCRFを用いた簡易かつ省力的な肥培管理技術を開発することができた。また、CRFの施用は濃度管理による培養液の施用に比べて、果実生産に対する養分利用効率を高められることから、施肥量の低減が可能であることがわかった。このことは、資源の節約や環境保全、さらに農業経営上大きなメリットである。また、Ⅲ章で検討したCRFの給水タンク内への施用技術は今までほとんど検討されることのなかった技術であり、非常に省力的な施肥技術であることから、一般の養液栽培も含めて今後利用する価値の高いものであると考えられる。

一方、梶田ら⁹⁸⁾は、防根ひも栽培法によるトマト栽培を行った結果、水利用率が97%と極めて高く、乾物生産や果実生産に対する水利用効率も従来の灌水手法に比べて高いことを示している。したがって、本栽培法は節水栽培と位置づけることもできる。また、Ⅱ章で図示した栽培装置は自作が可能であり、資材コストは10 aあたり約150万円と見積もられる。これは、一般の養液栽培の設置費用の1/2～1/4程度であり、極めて低コストである。また、本栽培法と同様に吸水性の資材を用いて毛管給液を行う簡易・低コストな栽培システムがSakuma・Suzuki¹³⁹⁾、浦山ら¹⁷¹⁾あるいはZarza-Silvaら^{186, 187)}によって開発されている。それらの資材コストをみると、Sakuma・Suzukiのシステムの資材コストは浦山¹⁷⁰⁾によって10 aあたり315万円、Zarza-Silvaらのシステムの資材コストは10 aあたり226万円と

見積もられており、それらのシステムと比較しても本栽培法の方が格段に低コストである。これは、本栽培法の方が使用する資材が少ないためであると考えられる。一方、一般の養液栽培における低コスト型の栽培槽としてポリマルチを利用したものがあるが、それに比べると栽培槽には比較的耐久性の高い雨樋を使用しているため、耐用年数は長いと考えられる。したがって、本栽培法は、極めて水利用効率の高い節水栽培であるとともに低コストな栽培システムであることから、例えば途上国の乾燥地帯など、投資能力が小さい上に灌漑用水が限られている地域に最も適していると考えられる。わが国は降雨量が多いため水に困ることは比較的少ないが、それでも香川県をはじめとする瀬戸内地域などでは降雨不足による渇水が問題となることがしばしばあり、灌漑用水の確保が難しい場合もあるため、そういった地域において本栽培法は適していると考えられる。

最後に、本栽培技術における残された課題について述べる。先述のように、CRFの利用によって、果実生産に対する養分利用効率を高められることがわかったが、CRFの溶出は温度に依存したものであるため、作型や地域が異なる場合、本研究で施用した肥料の組み合わせがそのまま適用できない可能性が高い。特に、土耕栽培と異なり土からの養分供給がほとんどないことから、肥料の養分量や溶出速度をあらかじめ推定することは極めて重要である。給水タンク内水温や培地温がわかれば、CRFの窒素の溶出は市販のソフトを使ってシミュレートできるため、タンク水温や培地温をあらかじめその作型や地点の気温や日射量などの気象条件からシミュレートできるようにモデルを開発する必要があると考えられる。また、トマトの品種が異なる場合も必要養分量が異なると考えられるため、品種に応じた施肥量を検討する必要がある。特に、養分要求量が大きく異なると考えられる大玉、中玉および小玉別に適正施肥量を整理する必要があると考えられる。これらの点は、本栽培法においてCRFの利用を広めるために必要な課題であり、今後の検討を要する。

現在、防根ひも栽培法は、西日本地域の数カ所の生産者によって導入されており、徐々に栽培面積は広まりつつある。今後、本栽培法の認知度が上がり、コンセプトと導入のメリットを理解して、導入する

生産者が増加すれば幸いである。

謝 辞

本論文を取りまとめるにあたり、岡山大学大学院教授（現名誉教授）・榊田正治博士には終始懇切なご指導とご鞭撻を賜った。心より感謝の意を表す。同教授・吉田裕一博士、同准教授（現石川県立大学教授）・村上賢治博士からは多くの適切なお助言とご校閲を賜った。また、同教授・後藤丹十郎博士には適切なお助言を賜った。深く感謝の意を表す。さらに、近畿中国四国農業研究センター傾斜地園芸研究領域長の田坂幸平博士ならびに東北農業研究センター畑作園芸研究領域長の熊倉裕史博士には本論文を校閲していただいた。心より御礼申しあげる。

本研究は、筆者が岡山大学大学院博士課程に在籍しつつ、近畿中国四国農業研究センターにおいて実施したものであり、遂行にあたっては多くの方々のご指導ならびにご協力をいただいた。元中山間傾斜地域施設園芸研究チーム長（現北海道農業研究センター）の菅谷博氏には大学院に在籍しての研究を開始・遂行するにあたり暖かいご配慮をいただいた。実験を行うにあたって、元広域農業水系保全研究チームの吉川省子博士（現農業環境技術研究所）、渡邊修一氏（現営農・環境研究領域）ならびに石川葉子博士（現中央農業総合研究センター）、元レタスビッグベイン研究チーム（現水田作研究領域）の野見山孝司氏ならびに元中山間傾斜地域施設園芸研究チーム（現花き研究所）の中野善公博士には、元素分析や無機成分濃度の測定などの化学分析の手法や、イオン交換樹脂を用いた実験手法についてご教示いただいた。また、中山間傾斜地域施設園芸研究チーム（現傾斜地園芸研究領域）の研究職員の方々には多くの有益な示唆とご激励をいただいた。さらに、栽培管理や分析補助では、業務第2科の香川基氏、渡辺修一氏、香川信次氏、加賀宇昌宏氏、関浩二氏、秋山正樹氏、松崎健文氏、森江昌彦氏、塩本知氏、上枝博樹氏、桑田将能氏ならびに契約職員の中路純子氏にご助力いただいた。ここに記して関係者各位に深く感謝の意を表す。

引用文献

- 1) Akl, I. A., D. Savvas, N. Papadantonakis, N. Lydakis-Simantris, and P. Kefalas 2003. Influence of ammonium to total nitrogen supply ratio on growth yield and fruit quality of tomato grown in a closed hydroponic system. *Europ. J. Hort. Sci.* 6: 204 – 211.
- 2) Allaire, S. E., J. Caron, C. Menard and M. Dorais 2005. Potential replacements for rock wool as growing substrate for greenhouse tomato. *Can. J. Soil. Sci.* 85: 67 – 74.
- 3) 青久・稲垣卓次 2000. 茶栽培における被覆尿素を用いた省力施肥法と硝酸態窒素の溶脱低減効果. *土肥誌* 71: 546 – 549.
- 4) Armstrong, M. J. and E. A. Kirkby 1979. Estimation of potassium recirculation in tomato plants by comparison of the rates of potassium and calcium accumulation in the tops with their fluxes in the xylem stream. *Plant Physiol.* 63: 1143 – 1148.
- 5) 芦田哲也 2003. 初期溶出抑制型被覆肥料利用によるマリーゴールド及びインパチェンスの草姿改善技術. *京都農研報* 25: 27 – 32.
- 6) 坂東一宏・河野充憲・黒田康文・草刈真一・山崎基嘉・前田拓也・高麗寛紀 2008. トマトロックウール栽培における銀担持光触媒を利用した殺菌装置の殺菌効果と収量、品質、培養液無機成分濃度に及ぼす影響. *園学研* 7: 309 – 315.
- 7) 坂東一宏・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.
- 8) Bialczyk, J., Z. Lechowski, and D. Dziga 2004. Composition of the xylem sap of tomato seedlings cultivated on media with HCO_3^- and nitrogen source as NO_3^- or NH_4^+ . *Plant and Soil.* 263: 265 – 272.
- 9) Böhme, M. 1995. Effects of closed systems in substrate culture for vegetable production in

- greenhouses. *Acta Hort.* 396: 45 – 54.
- 10) Bradfield, E. G. and C. G. Guttridge 1984. Effect of night-time humidity and nutrient solution concentration on the calcium content of tomato fruit. *Sci. Hort.* 22: 207 – 217.
 - 11) 近乗偉夫・安部勇徹・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 – 110.
 - 12) Chiu, T. and C. Bould 1976. Effects of shortage of calcium and other cations on ⁴⁵Ca mobility, growth and nutritional disorders of tomato plants (*Lycopersicon esculentum*). *J. Sci. Food Agric.* 27: 969 – 977.
 - 13) 伊達修一・寺本 豊・村山乃里子・寺林 敏・藤目幸廣 2007. アンモニア態窒素比率の低い緩効性肥料の使用による低投入・低排出型 (Low Input and Low Emission; LILE) 水耕栽培装置の改良. *園学研* 6 (別1): 160.
 - 14) 土井元章・小野芳三・矢次雅恵・浅平 端 1988. 緩効性被覆肥料を用いたイチゴの簡易ロックウール栽培. *生環調* 26: 101 – 106.
 - 15) Dolar, S.G. 1971. A self-watering system for growing plants in potted soils. *Agr. J.* 63: 334 – 336.
 - 16) Ehert, D. and L. C. Ho 1986. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Ann. Bot.* 58: 679 – 688.
 - 17) 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PEAT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.
 - 18) 舟越雄二・磯村政弘 2000. イチゴの高設栽培技術の確立 第2報 杉皮培地での施肥量, 培地加温, 連作数と生育・収量. *九農研* 62: 181.
 - 19) ———・松垣喜詞・磯村政弘・徳丸健太郎 1999. イチゴの高設栽培技術の確立. *九農研* 61: 166.
 - 20) Ge, T., D. Tang, B. Lu, S. Song, and D. Huang 2008. Influence of organic and inorganic nitrogen supply on the composition of tomato seedling root exudates, xylem and phloem sap grown in hydroponic culture. *Acta Hort. Sinica.* 35: 39 – 46.
 - 21) Gerard, C. J. and B. W. Hipp 1968. Blossom-end rot of ‘Chico’ ‘Chico Grande’ tomatoes. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 93: 521 – 531.
 - 22) Goodwin, P. B., M. Murphy, P. Melville and W. Yiasoumi 2003. Efficiency of water and nutrient use in containerized plants irrigated by over head, drip or capillary irrigation. *Austral J. Expt. Agr.* 43: 189 – 194.
 - 23) 羽生友治 2007. 被覆肥料. 緩効性化学肥料. 農業技術体系土壌施肥編7-①. 農文協, 東京. 135 – 144の15.
 - 24) Hartman, P. L., H. A. Mills, and J. B. Jones, Jr 1986. The influence of Nitrate: ammonium ratios on growth, fruit development, and element concentration in ‘Floradel’ tomato plants. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 111: 487 – 490.
 - 25) 橋田泰昌・徳永和代・内野浩二・川島俊次・橋元祥一 2004. 屋根掛け栽培‘吉田ポンカン’における肥効調節型肥料を用いた省力施肥法. *鹿児島県果樹試研報* 4: 9 – 17.
 - 26) He, Y., S. S. Terabayashi, and T. Namiki 1998. The effect of leaf position and time of sampling on nutrient concentration in the petiole sap from plants cultured hydroponically. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 67: 331 – 336.
 - 27) Hegde, D. M. and K. Srinivas 1990. Effect of irrigation and nitrogen fertilization on yield, nutrient uptake, and water use of tomato. *Gartenbauwissenschaft.* 55: 173 – 177.
 - 28) Heiskanen, J. 1995. Water status of sphagnum peat and a peat-perlite mixture in containers subjected to irrigation regimes. *HortScience.* 30: 281 – 284.
 - 29) 東出忠桐・笠原賢明・伊吹俊彦・角川 修 2005. 傾斜地トマト栽培のための低コスト・閉鎖系養液栽培システムの開発. *園学研* 4: 33 – 40.
 - 30) Higashide, T., H. Shimaji, H. Hamamoto and M. Takaichi 2004. A method to measure low drainage flow and to control nutrient solution

- supply in aeroponics system. Environ. Cont. Biol. 42: 277 - 286.
- 31) 日置雅之・池田彰弘・山田良三・早川岩夫 1996. 肥効調節型肥料を用いた露地野菜の全量基肥施肥法 (第1報) 年内採りハクサイ. 愛知農総試研報 28 : 141 - 147.
- 32) ———・————・————・———— 1997. 肥効調節型肥料を用いた露地野菜の全量基肥施肥法 (第2報) 年内採りブロッコリー. 愛知農総試研報 29 : 121 - 126.
- 33) ———・今井克彦・池田彰弘・久野智香子・岩田久史 1995. 肥効調節型肥料を用いた小麦の全量基肥施肥法. 愛知農総試研報 27 : 69 - 76.
- 34) Ho, L. C. 1989. Environmental effects on the diurnal accumulation of ⁴⁵Ca by young fruit and leaves tomato plants. Ann. Bot. 63: 281 - 288.
- 35) ———, R. Belda, M. Brown, J. Andrews, and P. Adams 1993. Uptake and transplant of calcium and the possible causes of blossom-end rot in tomato. J. Exp. Bot. 44: 509 - 518.
- 36) 北条正章 2001. 培養液の交換と廃棄. 養液栽培. 農業技術体系野菜編12. 農文協, 東京. 96の68 - 72.
- 37) 本間利光・白鳥 豊・門倉綾子・星野 卓 2002. 砂丘地ダイコン栽培における環境保全的施肥法の検討. 新潟農総試研報 5 : 11 - 19.
- 38) 細井徳夫 2001. 養液耕による施設栽培長段トマト個体群の収量に好適な葉面積指数に関する研究. 野茶試報 16 : 329 - 349.
- 39) ———・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の残留がないトマト養液栽培. 野茶研報 4 : 87 - 119.
- 40) 細川卓也・小松秀雄・前田幸二・中村和洋・吉田徹志・福元康文 2006. ヤシガラ・パーク成型培地を用いた養液栽培での日射比例給液制御による長段どりトマトの高糖度果実生産. 園学研 5 : 39 - 44.
- 41) 池田彰弘・井戸 豊 1994. 被覆尿素を利用したイチジクの全量基肥施肥法. 愛知農総試研報 26 : 281 - 286.
- 42) 池田英男 2003. 養液栽培の展開. 五訂施設園芸ハンドブック. 日本施設園芸協会, 東京. 258 - 273.
- 43) ———・大沢孝也 1988. 培養液のNO₃/NH₄比と液温がトマトの生育, 収量ならびに尻腐れ果発生に及ぼす影響. 園学雑 57 : 62 - 69.
- 44) 今井克彦・日置雅之・鈴木智香子・澤田守男 1993. 肥効調節型肥料の溶出パターンの推定と水稻の全量基肥施与法への適応性. 愛知農総試研報 25 : 51 - 60.
- 45) ———・今泉諒俊 1990. 水稻湛水直播栽培における全量基肥施肥法に関する研究 (1) 窒素供給パターンと生育. 愛知農総試研報 22 : 41 - 50.
- 46) 今野裕光・榊田正治・村上賢治 2011. 肥効調節型肥料の紐上置肥によるトマトの防根給水ひも栽培. 園学研 10 : 41 - 47.
- 47) ———・村上賢治・榊田正治 2009. 「防根給水ひも」による果菜類の養水分需給バランス栽培法の開発. 第10報. 緩効性肥料のひも上「置き肥」の効果. 園学研 8 (別2) : 630.
- 48) 伊森博志・坂東義仁・友廣啓二郎 1994. 遅効性肥料を利用した施肥田植機によるコシヒカリの全量基肥施肥法. 福井農試研報 31 : 53 - 63.
- 49) Incrocci, L., F. Malorgio, A. Della Bartola and A. Pardossi 2006. The influence of drip irrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water. Sci. Hortic. 107: 365 - 372.
- 50) 位田藤久太郎 1953. 蔬菜の根の生理に関する研究. 第1報. 蔬菜の酸素要求に就いて. 園学雑 21 : 202 - 207.
- 51) 井上博道・伊藤豊彰・三枝正彦 1999. 肥効調節型肥料を用いたデントコーンの全量基肥・接触施肥栽培における雑草の生育反応. 土肥誌 71 : 345 - 349.
- 52) 井上恵子・山本富三・末信信二 1994. 水稻「ヒノヒカリ」に対する被覆尿素肥料の施肥法. 福岡農試研報A (作物) 13 : 17 - 22.
- 53) 石原良行・人見秀康・八巻良和 2006. 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が培地内溶液濃度および収量に及ぼ

- す影響. 園学研 5 : 265 - 270.
- 54) 石井 貴・河野 隆 2007. 露地ニラ栽培における肥効調節型肥料を利用した窒素減肥が収量, 施肥窒素利用率, 環境負荷軽減に及ぼす影響. 茨城農総七園芸研報 15 : 29 - 36.
- 55) 石川 啓・野中 稔・藤井栄一 2002. 肥効調節型肥料による‘宮内イヨ’の施肥効率向上に関する研究. 愛媛果樹試研報 15 : 21 - 34.
- 56) 磯村政弘・舟越雄二 2001. イチゴの高設栽培技術の確立 第3報 杉パーク培地での施肥法と灌水法および培地保水対策. 九農研 63 : 180.
- 57) 磯崎真英・糀谷 斉・小西信幸・黒田克利・佐藤法子・古田堅持・鈴木啓史・田中一久・富川章 2006. 実用規模トマト栽培での排液再利用式ロックウールシステムの有用性の実証. 園学研 5 : 135 - 140.
- 58) ——・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 7 : 63 - 68.
- 59) ——・——・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.
- 60) 伊藤豊彰・井上博道・三枝正彦 2000. 耕起法と窒素肥料種が全量基肥・接触施肥栽培におけるデントコーンの出芽に及ぼす影響. 土肥誌 71 : 187 - 193.
- 61) 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 - 12.
- 62) ——・三枝正彦 2001. 培養液の $\text{NO}_3\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ 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.
- 63) ——・佐々木丈夫・千葉佳朗・三枝正彦 1999. 土壌を培地としたトマトの循環型灌水施肥システムにおける排液イオン組成の変動. 園学雑 68 : 1161 - 1169.
- 64) —— 2003. 培地の緩衝能を活用したトマトの循環型養液栽培システムの開発. 宮城農園研報 71 : 1 - 64.
- 65) —— 2005. 固形培地の理化学性と作物の生育. 日本土壤肥料学会編. 養液土耕と液肥・培地管理. 博友社, 東京. 29 - 64.
- 66) 景山美葵陽・青木正孝 1969. 被覆下そ菜園土壌の生産力低下防止に関する研究 第5報 トマトの時期別養分吸収について. 園試報 B - 9 : 45 - 70.
- 67) 甲斐秀昭 1981. 土壌中における窒素の動態. 土の微生物. 土壤微生物研究会編. 博友社, 東京. 352 - 372.
- 68) 鎌田 淳 2005. 秋冬ネギ栽培における緩効性肥料を利用した全量基肥法. 埼玉農総研研報 5 : 13 - 17.
- 69) 神田真帆・大串卓史 2005. 被覆肥料を利用した玉露・てん茶園の窒素施肥量削減. 茶研報 100 : 67 - 72.
- 70) 金田吉弘・栗崎弘利・村井 隆 1994. 肥効調節型肥料を用いた育苗箱全量施肥による水稲不耕起移植栽培. 土肥誌 65 : 385 - 391.
- 71) Kang, B. K. and S. H. Han 2005. Production of seed potato (*Solanum tuberosum* L.) under the recycling capillary culture system using controlled release fertilizers. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 74: 295 - 299.
- 72) 神崎正明・佐々木次郎 2010. 肥効調節型肥料を用いた「シラネコムギ」の全量基肥栽培. 宮城県古川農試研報 8 : 1 - 6.
- 73) 片岡圭子・榊原俊雄・南 洋久 1998. フェレノプシス鉢生産における底面ひも給液法の導入. 京大農報 8 : 9 - 17.
- 74) 片山勝之・三浦憲蔵・皆川 望 2003. 太陽熱処理および肥効調節型肥料施用による減肥・減農薬栽培がニンジンの収量および品質に及ぼす影響. 中央農研報 3 : 89 - 97.
- 75) 加藤政司・大藪哲也・矢部和則 2005. 単為結果性トマト‘ルネッサンス’の遺伝特性を利用した省力栽培技術の確立. 愛知農総試研報 37 : 55 - 60.
- 76) 加藤俊博 2002. 培地の種類・特性. 養液栽培

- の新マニュアル. 誠文堂新光社, 東京. 14 - 19.
- 77) 川崎佳栄・西原基樹・横山明敏 2008. 抑制キュウリにおける被覆燐硝安加里肥料を用いた植穴施肥栽培. 農及園83: 1179 - 1188.
- 78) 鬼頭郁代・成田秋義・高瀬輔久 2006. ハウスイチジクのコンテナ栽培における全量基肥施肥法. 愛知農総試研報 38: 81 - 86.
- 79) 北村秀教・今泉諒俊 1990. 水稻への窒素供給量からみた全量基肥施肥法. 愛知農総試研報 22: 51 - 60.
- 80) 小林尚司・時枝茂行・永井耕介・桐村義孝・西村十郎・藤原辰行 1989. 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2報. 培地資材の違いがトマトの収量並びに品質に及ぼす影響. 兵庫中央農技研報 (農業編) 37: 23 - 28.
- 81) 小菅佐代子・桑野伸晃・三枝正彦 2001 a. トマト栽培における肥効調節型肥料を利用した全量基肥施肥法. 土肥誌 72: 621 - 626.
- 82) ———・山田ゆき・東 隆夫・三枝正彦 2001 b. 肥効調節型肥料を利用したイチゴの育苗ポット全量施肥栽培. 土肥誌 72: 88 - 91.
- 83) 小杉 徹・堀田 柏 1996. セルリー栽培における肥効調節型肥料を用いた施肥量削減. 静岡農試研報 41: 3 - 62.
- 84) ———・中村仁美・若澤秀幸 2007. 肥効調節型肥料を用いたトマト育苗鉢内全量施肥法. 土肥誌 78: 207 - 211.
- 85) ———・高橋和彦・鈴木則夫 2004. 肥効調節型肥料を用いたセルリー鉢上げ時施肥による施肥量削減. 土肥誌 75: 373 - 376.
- 86) 今野陽一・熊谷勝巳・富樫政博・黒田 潤・上野正夫 2001. 肥効調節型肥料を利用したネギの全量基肥局所施肥栽培. 山形農試研報 35: 37 - 43.
- 87) 窪田 哲・赤池一彦・木下耕一 2003. 種子繁殖型イチゴ 'F₁エラン' を用いた高冷地での夏秋どり安定生産技術. 山梨総農試研報 13: 9 - 14.
- 88) Lorenz, H. 1976. Nitrate, ammonium and amino acids in the bleeding sap of tomato plants in relation to form and concentration of nitrogen in the medium. *Plant and Soil*. 45: 169 - 175.
- 89) Lu, Y. L., C. C. Xu, Q. R. Shen, and C. X. Huang 2009. Effects of different nitrogen forms on the growth and cytokinin content in xylem sap of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seedlings. *Plant Soil*. 315: 67 - 77.
- 90) 馬 啓林・山口武視・中田 昇・中野貴章・田中朋之・中野淳一 2005. ダイズ茎基部からの出液を用いた過湿による根系機能低下の評価. 根の研究 14: 3 - 8.
- 91) 榊田正治 1989. トマトおよびキュウリの真昼と真夜中における木部いつ泌液の無機成分濃度. 園学雑 58: 619 - 625.
- 92) ——— 2008. 「防根給水ひも」によるトマトの新規栽培手法. 農及園83: 20 - 25.
- 93) ———・福元祥子 2008. 「毛管給水ひも」によるトマト栽培の可能性について. 岡大農報 97: 49 - 54.
- 94) Masuda, M. and K. Gomi 1982. Diurnal change of the exudation rate and the mineral concentration in xylem exudates after decapitation of grafted and non grafted cucumbers. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 51: 293 - 298.
- 95) 榊田正治・長谷川 博・野村眞史 1996. トマトの昼夜間における根から果房への¹⁵Nと⁴⁵Caの移行. 園学雑 65: 571 - 577.
- 96) ———・野村眞史 1995. トマトの摘心および果実除去が根の養分吸収と酸素消費に及ぼす影響. 園学雑 64: 73 - 78.
- 97) ———・島田吉裕 1993. トマト木部いつ泌液における無機成分濃度の日変化およびその濃度に及ぼす光照度と苗齢の影響. 園学雑 61: 839 - 845.
- 98) ———・恒川仰一・太田靖子 2010. トマト「紐」栽培における要水量と土壤養分の収支. 農及園85: 1199 - 1204.
- 99) Matsuda, R., K. Suzuki, Y. Nakano, H. Sasaki and M. Takaichi 2010. Daily based quantitative nutrient management in rockwool hydroponics: Growth and yield of tomato and nutrient use at elevated CO₂. *J. Agr. Meteorol.* 66: 217 - 226.
- 100) 松本昌直・大須賀隆司・大場誠司・高橋和彦

2007. チンゲンサイの硝酸イオン低減化 産地実態及び肥培管理による硝酸イオン低減化. 静岡農試研報 51: 25 - 32.
- 101) 松沢宗一・大槻 昭・久根下栄一・河原正昭・正木唯尾・市川清志 1982. 桑に対する被覆肥料（コーティング肥料）の肥効試験. 長野蚕試要報 18: 30 - 38.
- 102) Million, J., T. Yeager and C. Larsen 2007. Water use and fertilizer response of azalea using several no-leach irrigation methods. HortTech. 17: 21 - 25.
- 103) 深山陽子・米山 裕・衣巻 巧・土屋恭一 2004. トマト循環型養液栽培におけるロックウール代替培地としてのもみがらの検討. 神奈川農総研報 145: 27 - 33.
- 104) 水上浩之・郡司掛則昭 2008. キャベツ栽培黒ボク畑において亜酸化窒素発生削減に有効な施肥法. 熊本農研セ研報 15: 62 - 69.
- 105) 森国博全・嶋田永生 2001. トマトの隔離床栽培における尻腐れ果発生におよぼす施用窒素形態の影響. 土肥誌 72: 489 - 498.
- 106) 森重歩己・榊田正治・村上賢治 2009 a. 大玉トマトの防根給水ひも栽培における生育途中の根域拡張と「ひも」適用が果実生産に及ぼす影響. 岡大農報 98: 23 - 29.
- 107) 森重歩己・榊田正治・村上賢治 2009 b. 「防根給水ひも」による果菜類の養水分需給バランス栽培法の開発 第 8 報. 長期促成栽培における大玉トマトの生育収量に及ぼす培養液濃度の影響. 園学研 8 (別 1): 360.
- 108) 森下年起・藪野佳寿郎 2007. 肥効調節型肥料による促成エンドウの施肥改善に関する研究. 和歌山県農林水技セ研報 8: 53 - 59.
- 109) 長縄寿信・浅井英樹・田口勝士・豊田喜彦 2004. 環境に配慮した飼料作物栽培技術の開発 (第 4 報) 肥効調節型肥料施肥法の検討. 岐阜畜研報 4: 40 - 46.
- 110) 中川文彦・熊谷勝巳・今野陽一・山口金英 2001. 育苗箱施肥と牛ふん堆肥による水稻の 50% 減化学肥料栽培. 土肥誌 72: 565 - 569.
- 111) Nakano, Y., H. Sasaki, A. Nakano, K. Suzuki and M. Takaichi 2010. Growth and yield of tomato plants as influenced by nutrient application rates with quantitative control in closed rockwool cultivation. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 79: 47 - 55.
- 112) 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.
- 113) 永田茂穂・清本なぎさ・長友 誠・久米隆志 2001. 被覆尿素の利用と施肥位置改善による露地野菜の省施肥技術. 土肥誌 72: 283 - 286.
- 114) 二瓶直登・丹治克男 2004. 肥効調節型肥料の全量基肥施用に対するダイズの収量と根の反応. 日作紀 73: 18 - 22.
- 115) ——・丹治克男 2006. 肥効調節型肥料の全量基肥施用に対するダイズの根の反応と収量. 福島農試研報 37: 19 - 27.
- 116) 西畑秀次 2006. ネギにおける合理的施肥法に関わる研究. 富山農技セ研報 23: 73 - 79.
- 117) 仁科弘重・趙 日煥・田中基司・橋本 康 1993. 果実送風によるトマト尻腐れ発生防止とそのメカニズムの解明. 植物工場学会誌 5: 26 - 38.
- 118) 西尾敏彦・中村英司 1984. トマト尻ぐされ果発生に関する研究 (第 7 報) トマト果実の初期肥大成長の様相と尻ぐされ果発生について. 滋賀短大学雑誌 25: 37 - 41.
- 119) 野田 滋 2001. 施肥改善による亜酸化窒素の発生量削減. 土肥誌 72: 575 - 581.
- 120) Noguchi, A., M. Kageyama, F. Shinmachi, Urs. Schmidhalter and I. Hasegawa 2005. Potential for using plant xylem exudates to evaluate inorganic nutrient availability in soil. I. Influence of inorganic nutrients present in the rhizosphere on those in the xylem exudates of *Luffa cylindrical* Roem. Soil Sci. Plant Nutr. 51: 333 - 341.
- 121) Norem, W. L. 1936. Mineral nutrition and seasonal growth of ageratum in sand cultures with auto-irrigation. Amer. J. Bot. 23: 545 - 555.
- 122) 農林水産省 2009. 園芸用ガラス室・ハウス

- 等の設置状況. 〈<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001051847>〉.
- 123) 糠谷 明 1999. オランダの施設園芸における閉鎖系栽培システム. 農業技術体系土壌施肥編3. 農文協, 東京. 8の20-23.
- 124) 岡本将宏・吉澤克彦 1994. 被覆肥料利用によるトマト, キュウリの固形培地耕(第1報)培地資材と肥培管理法. 滋賀農試報 35: 31-42.
- 125) 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. 生環調 37: 63-71.
- 126) 大井義弘・大津善雄 2003. レタス連作圃場の土壌実態と年内・年明けどりレタスの2作1回施肥. 長崎絵農林試研報(農業部門) 29: 51-63.
- 127) 大森誉紀・松本英樹 2009. サトイモ専用肥効調節型肥料の開発と硝酸態窒素溶脱抑制効果. 土肥誌 80: 413-416.
- 128) Pardossi, A., P. Malorgio, L. Incrocci, C.A. Campiotti and F. Tognoni 2002. A comparison between two methods to control nutrient delivery to greenhouse melons grown in recirculating nutrient solution culture. *Scientia Hort.* 92: 89-95.
- 129) Pill, W. G. and V. N. Lambeth 1980. Effect of soil water regime and nitrogen form on blossom-end rot, yield, water relations, and elemental composition of tomato. *Am. Soc. Hort. Sci.* 105: 730-734.
- 130) Rahman, S. M. L, E. Nawata and T. Sakuratani 1999. Effect of water stress on growth, yield and eco-physiological responses of four tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 68: 499-504.
- 131) Raines, M. A. 1937. Wick culture of seedlings with different rates of water flow. *Amer. J. Bot.* 24: 185-187.
- 132) Regulski, Jr. F. J. 1984. Changes in physical characteristics of bark-based and gasifier residue-based container media over time and by sample depth. *HortScience.* 19: 494-496.
- 133) 三枝正彦・大鷲高志・渡辺 肇・鈴木和美 2008. 肥効調節型被覆硝酸カルシウムの接触施用による水稲への硝酸態窒素の供給. 日作東北支部報 51: 17-18.
- 134) 齋藤龍司・高橋正輝・由井秀紀・水谷俊秀 1996. 被覆肥料を用いたカーネーション栽培の基肥重点施肥法. 長野県野菜花き試報 9: 71-79.
- 135) 境垣内岳雄・森田茂紀・阿部 純・山口武視 2005. 水稲における追肥後の窒素吸収の経時変化. 日作紀 74: 285-290.
- 136) Sakaigaichi, T., S. Morita, J. Abe and T. Yamaguchi 2007. Diurnal and phonological changes in the rate of nitrogen transportation monitored by bleeding in field-grown rice plants (*Oryza sativa* L.). *Plant Prod. Sci.* 10: 270-276.
- 137) 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.
- 138) 佐久間青成 2001. 低コスト簡易な養液栽培装置による葉菜類の栽培. 農及園76: 797-802.
- 139) Sakuma, H. and K. Suzuki 1997. Development of energy-saving hydroponics systems without requiring energy. *JIRCAS J.* 4: 73-77.
- 140) Santamaria, P., G. Campanile, A. Parente and A. Elia 2003. Subirrigation vs drip-irrigation: Effects on yield and quality of soilless grown cherry tomato. *J. Hort. Sci. & Biotech.* 78: 290-296.
- 141) 佐藤之信・安達栄介・中西政則・齋藤謙二・安藤隆之 2006. ネット入り肥料を用いた育苗ポット内局所施肥法によるスイカの全量基肥栽培. 土肥誌 77: 87-91.
- 142) 佐藤福男・泉 誠 1993. 水稲に対する被覆緩効性肥料の基肥施用効果. 秋田農試研報 33: 10-15.
- 143) 関 稔・中嶋泰則 1993. 西三河洪積台地の

- 輪換畑における小麦「農林61号」の全量基肥施肥法. 愛知農総試研報 25: 113 - 126.
- 144) 進藤勇人・佐藤福男・金田吉弘 2001. 寒冷地における肥効調節型肥料を用いた夏どりキャベツの全量局所施肥栽培. 土肥誌 72: 803 - 806.
- 145) 篠原 信 2006. 有機肥料の養液栽培 - 並行複式無機化法による養液内微生物生態系構築法 -. 農及園81: 753 - 764.
- 146) 宍戸 貢・土佐明夫・遠藤征彦 1994. 被覆肥料入り桑専用肥料による春一回施肥法. 岩手蚕試要報 17: 20 - 24.
- 147) 志和将一 2005 a. 被覆肥料の茶園全面施用による施肥効率の向上. 茶研報 100: 83 - 85.
- 148) ——— 2005 b. 茶園における年1回施肥と生分解性マルチを利用した窒素溶脱防止. 茶研報 100: 99 - 102.
- 149) Son, J. E., D. H. Jung and Y. J. Lui 2002. Analysis of root zone environment in pot plant production system with subirrigation method using wick. Acta Hort. 578: 389 - 393.
- 150) 杉沼千恵子・佐藤賢一・中村幸二・山崎晴民 2005. 肥効調節型肥料を活用した葉菜類の硝酸低減化技術の検討. 埼玉農総研報 5: 1 - 7.
- 151) 橋 昌司 1990. 根域環境と蔬菜の生育. 蔬菜園芸学. 川島書店, 東京. 188 - 189.
- 152) Tachibana, S. and I. Suzuki 1980. Studies on the fertilization and cultivation of horticultural crops under covering conditions. VI. Effects of the concentration of nutrient solution on the chemical constituents in the root exudates of cucumber and tomato. Bul. Fac. Agr. Mie Univ. 60: 1 - 13.
- 153) 高橋能彦 2001. 水田転作サイズに対する被覆尿素の深層施肥技術の開発. 土肥誌 72: 323 - 326.
- 154) 高橋行継・大島賢一・神沢武男・吉田智彦 2007. 群馬県の早植・普通期水稻栽培における育苗箱全量基肥栽培. 日作紀 76: 171 - 180.
- 155) 竹川昌宏・永井耕介・斎藤隆雄・小松正紀 2005. コマツナ, シュンギクの体内硝酸イオン濃度に及ぼす緩効性肥料の影響. 近中四農研 6: 62 - 66.
- 156) 武田正人 2005. 肥効調節型肥料を用いたキュウリ苗ポット内基肥施肥法. 埼玉農総研報 5: 23 - 31.
- 157) ——— 2006. ハウス抑制栽培のキュウリ苗ポット内基肥施用法. 埼玉農総研報 6: 57 - 62.
- 158) 田中哲司 2003. トマトの養液土耕栽培における葉柄汁液中硝酸イオン濃度を用いた生育診断指標の策定. 愛知農総研報 35: 73 - 78.
- 159) 田中有子・小山田勉 2000. セル成型苗利用による秋冬穫りネギの肥効調節型肥料を用いた全量基肥溝施肥法. 茨城農総七園芸研報 8: 19 - 26.
- 160) 谷泉忠幸 2004. 露地ホウレンソウにおける側条施肥の効果. 土肥誌 75: 493 - 495.
- 161) 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.
- 162) Terabayashi, S., K. Takii and T. Namiki 1991a. Variation in diurnal uptake of water and nutrients by tomato plants of different growth stages grown in water culture. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 59: 751 - 755.
- 163) ———, ——— and ——— 1991b. Variation in diurnal uptake of water and nutrients by tomato plants grown hydroponically. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 60: 547 - 553.
- 164) Thippayarugs, S., K. Suzuki, Y. Katsuta, A. Yoshida, N. Matsumoto, N. Kabaki and C. Wongwongwatchai 2001. Vegetable production using energy-saving hydroponics systems in northeast Thailand. JIRCAS J. 9: 33 - 38.
- 165) Toth, J., E. J. Nuethen and K. Y. Chan 1988. A simple wick method for watering potted plants which maintains a chosen moisture regime. Aust. J. Exp. Agr. 28: 805 - 808.
- 166) 豊福博記・宇留嶋美奈・磯村政弘・松垣喜詞

2003. イチゴの高設栽培技術の確立 第4報 杉パーク培地での肥料の種類, 収穫延長に対応した施肥法, 培地加温法. 九農研 65: 190.
- 167) 土田通彦・相川博志・岡島量男 2003. 肥効調節型肥料による露地ウンシュウミカンの年1回施肥法. 土肥誌 4: 519-524.
- 168) 内山知二・清水 武・日野和裕 1990. 冷涼地における緩効性被覆肥料を利用した雨よけ栽培トマトの施肥法. 大阪農技セ研報 26: 1-4.
- 169) 宇井 睦・高野泰吉 1995. 果実肥大期における温度と培養液濃度が水耕トマトの尻ぐされ発生に及ぼす影響. 生環調 33: 7-14.
- 170) 浦山 久 2009. 熱帯地域におけるココナツコイアを利用した作物の養液栽培および耕地への還元利用に関する研究. 筑波大学大学院生命環境科学研究科博士論文 1-120.
- 171) ——・L. J. Matthews, V. J. Coetzee, 山下忠明 2005. ココナツコイアを用いた省エネルギー型養液栽培装置によるキュウリの栽培試験. 熱帯農業 49: 154-158.
- 172) 後 俊孝・田辺茂男・船越建明 1989. マサ土地帯における緩効性肥料を用いた果菜類の効率的施肥法. 広島農試報 52: 105-115.
- 173) Van Os, E. A. 1995. Engineering and environmental aspects of soilless growing systems. Acta Hort. 396: 25-32.
- 174) ——, —— 2001. Design of sustainable hydroponic systems in relation to environment-friendly disinfection methods. Acta Hort. 548: 197-205.
- 175) 渡邊 肇・日高秀俊・三枝正彦・大江真道・渋谷暁一 2006. 中山間地における育苗箱全量施肥による水稲の不耕起移植深水栽培. 日作紀 75: 264-272.
- 176) 渡辺公敏 1979. 鉢物花きかん水法. 園芸学会東海支部, 第25回シンポジウム集 60-62.
- 177) 渡辺 武・石川隆之・陽 捷行 1999. 肥効調節型肥料および硝酸化成抑制剤入り肥料による亜酸化窒素の発生抑制効果. 土肥誌 70: 747-753.
- 178) Widders, I. E. and O. A. Lorenz 1982. Ontogenetic changes in potassium transport in xylem of tomato. Physiol. Plant. 56: 458-464.
- 179) 山口武視・津野幸人・中野淳一・真野玲子 1995. 水稲の茎基部からの出液速度に関する要因の分析. 日作紀 64: 703-708.
- 180) 山本二美・松丸恒夫 2007 a. 夏どりネギにおけるチェーンポット内施肥の施肥窒素量と追肥窒素量の検討. 土肥誌 78: 179-186.
- 181) ——・—— 2007 b. ネギのチェーンポット内全量窒素施肥が生育および収量に及ぼす影響. 土肥誌 78: 371-378.
- 182) Yamasaki, A. 2003. Root-pressure driven xylem exudates flow in greenhouse melon (*Cucumis melo* L.): Diurnal Change and effects of shading, growth stage, rootstock and fruit number. Plant Soil. 255: 409-412.
- 183) 山崎敬亮・熊倉裕史・濱本 浩 2007. 促成イチゴの高設栽培における連続出蓄性に与える定植後の培地昇温抑制と施肥時期の効果. 近中四農研報 7: 35-47.
- 184) 山崎慎一 2003. 土壌における養分の動態. 各種養分の動態=苦土. 農業技術体系土壌施肥編1. 土壌の働きと根圏環境. 農文協. 東京. 183-184の2.
- 185) Yeager, T. H. and R. W. Henley 2004. Irrigation and fertilization for minimal environmental impact. Acta Hort. 638: 233-240.
- 186) Zarza-Silva, H., T. Maruo, M. Takagaki, M. Hohjo and Y. Shinohara 2004. Lettuce production in closed type capillary hydroponic system using substrates of tropical origin. Jpn. J. Trop. Agr. 48: 246-252.
- 187) ——, ——, ——, —— and —— 2005. Lettuce production using a commercial scale recirculated capillary hydroponic system. Jpn. J. Trop. Agr. 49: 45-52.
- 188) Zoha, M. S.・榊田正治 2009. 「防根給水ひも」を用いたトマト砂栽培手法の開発—異なる粒子中の水移動と生育収量に及ぼす砂中湿度の影響—. 園学研 8 (別1): 119.

Development of a Simplified, Laborsaving and Low-Environmental-Impact Production System for Tomato Cultivation by Applying of Controlled Release Fertilizers via Root-Proof Capillary Wick Irrigation

Takafumi KINOSHITA *

Summary

The root-proof capillary wick irrigation system, a type of sub-irrigation method, is expected to reduce environmental impact by eliminating drainage and save labor by eliminating the use of irrigation equipment. Application of controlled release fertilizers (CRF) by using this system has economic benefits because fertigation equipment is not required. The purpose of this study was to establish a laborsaving and low-environmental-impact production system for forcing tomato culture by using a single basal application of CRF with this irrigation method.

First, I investigated the effects of various substrates on growth and yield in relation to 3-phase distribution of substrates and inorganic nutrient solution in substrate solution in forcing tomato culture to determine an appropriate substrate for this culture method. These results suggested that liquid-phase distribution of substrates would be an indicator of suitable substrate selection in this culture; the value was around 45-55%, including a substrate consisting of paddy soil: bark compost: peatmoss: perlite at a ratio of 2:4:1:1 (v/v).

Secondly, a suitable level of CRF, which was applied by mixing the fertilizers with substrates in a conventional manner, for the forcing tomato culture was evaluated. Initially, 16.2 g N/plant appeared to be sufficient. I, then, investigated the effect of this concentration of CRF and liquid fertilizer (LF) on fruit productivity and nutrient dynamics. Marketable fruit weight was significantly lower with CRF than with LF, especially at the upper trusses, indicating that nutrient supply was lower in later phases of the plant growth cycle using CRF. Therefore, further investigations are required to determine the level of nutrients that is sufficient to increase fruit yield during the later period of cultivation. On the other hand, nutrient use efficiency for fruit production was higher with CRF than with LF. I, then, examined fruit production in plants treated with modified combinations of CRFs, compared CRF and LF with respect to nutrient uptake and transport in forcing tomato cultures. No significant difference was noted in marketable fruit yield between CRF- and LF-treated plants. The quantity of nutrient uptake per plant and per fruit yield was lower with CRF than with LF, indicating that nutrients were utilized more efficiently for fruit production in plants grown with CRF. Analysis of the volume and mineral concentrations of xylem exudates indicated that the amount of nutrients absorbed was greater with LF than with CRF, particularly after the 10th truss was harvested. Mineral concentrations in the substrate solution of CRF-

Hillside Horticulture Research Division, NARO Western Region Agricultural Research Center

* NARO Tohoku Agricultural Research Center

treated plants were initially higher than those in the substrate solution of LF-treated plants, but were extremely low after the second truss was harvested; mineral concentrations in the xylem exudates were similar in CRF- and LF-treated plants until the eighth truss was harvested. Thus, the difference in mineral concentrations between the xylem exudates and substrate solution was much larger for plants treated with CRF than for plants treated with LF, indicating that plants absorbed the bulk of the nutrients immediately after their release from the CRF surface. Therefore, CRF is suitable in this system because it combines high fruit production with high nutrient utilization efficiency.

Finally, a tank-fertilization method (TF), in which CRF was supplied in the water reserve tank, was developed to simplify and reduce labor requirements for application of CRF and reutilization of substrate. In the TF method, efficient nitrification (production of $\text{NO}_3\text{-N}$) was achieved in the water tank by combining the addition of bark compost (substrate for nitrifying bacteria) with aeration of the water. Next, we compared 3 CRF fertilization methods: (1) completely mixed with the substrate (“mixed-fertilization” [MF]); (2) packed in bags and placed on the wick (“packed bag-fertilization” [PF]); and (3) TF in a short tomato-cultivation period. Fruit yield was lower under PF and TF than under MF, because a high incidence of blossom-end rot (BER) occurred in plants fertilized by PF and TF. However, promotion of nitrification under TF using the above-mentioned method increased fruit yield to the same level as that observed under MF, due to decreased incidence of BER. Thus, the use of CRF via “tank fertilization” for tomato production is effective by promoting nitrification in the water reserve tank. On the other hand, high incidence of BER probably was due to suppression of Ca uptake caused by high $\text{NH}_4\text{-N}$ uptake. I, then, investigated the difference in the uptake ratio of $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ and nitrogen conversion of the supplied fertilizer, and attempted to determine the reason for the difference in BER rate among the different CRF-application methods. Based on nitrogen concentration in xylem exudates, the uptake ratio of $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ appeared to be lower under MF than under PF and TF. Therefore, the high $\text{NH}_4\text{-N}$ uptake under PF and TF could be the cause of Ca deficiency and increased incidence of BER. From these results, I finally investigated the applicability of the TF method to long-term forcing culture of tomato. Fruit yield under TF was similar to that under MF and LF. Furthermore, nutrient use efficiency for fruit production under TF was similar to that under MF and higher than LF. Moreover, substrates treated using TF may have high reusability.

In conclusion, I demonstrated the effectiveness of a simplified, laborsaving, and low-environmental-impact production system for long-term forcing tomato cultivation using a single basal application of CRF via root-proof capillary wick irrigation. Moreover, it was revealed that fertilizer use could be reduced by application of CRF in the system, because nutrients were utilized more efficiently for fruit production in plants grown with CRF than in those grown with LF. This finding is very important for environmental and resource conservation and for agricultural management. In addition, the tank-fertilization method of applying CRF, which was newly developed in this study, is important for other soilless culture systems because it is a laborsaving fertilization technique.