

環境保全・高品質生産を目的とした イオン濃度制御培養液管理システムの開発

(課題番号 13660263)

平成 13 年度～平成 14 年度科学研究費補助金（基盤研究(C) (2)）研究成果報告書

平成 15 年 3 月

研究代表者 位 田 晴 久

(宮崎大学農学部教授)

はしがき

養液栽培では通常、既成の全国一律の標準処方を採用し、植物の吸収により養液が薄まったら規定の EC になるよう、その濃厚液を補充している。そのため特定成分の過不足がどうしても生じるが、慣行の EC 制御法では対応できない。したがって農家は定期的に養液の更新を行っているが、その手間、肥料代、廃液による環境汚染、さらに不適正な養液で栽培されたことによる生育抑制など多くの問題をかかえている。

そこで当研究室では、植物により吸収されたイオンに応じ、必要な肥料成分のみを組み合わせることで補充し、養液を長期連続使用することが可能なイオン濃度制御法を開発し研究を進めている。本研究では、補充用濃厚養液調製ソフトを用い数種の野菜を供試して実証栽培し、さらに植物工場など大規模栽培施設用のリアルタイム制御による全自動システムの検証や、実証試験で明らかになった問題点を改良したシステムの開発などを行った。

本研究を遂行するにあたり、宮崎大学農学部植物生産科学講座促成園芸学研究室学生諸氏の協力を得た。記して、心より謝意を表する。

研究組織

研究代表者： 位田 晴久 (宮崎大学農学部教授)

(研究協力者： 霧村 雅昭)

交付決定額 (配分額)

(金額単位：千円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 13 年度	2,400	0	2,400
平成 14 年度	1,100	0	1,100
総計	3,500	0	3,500

研究発表

久保田 豊, 位田晴久, 東 順正, 中原光久

養液イオン濃度調製プログラムを使用したキュウリの栽培

植物工場学会誌, 13(2), 2001 年 6 月

位田晴久，霧村雅昭，久保田豊，中原光久

複合肥料を用いたイオン濃度制御によるキュウリの養液栽培

農業環境工学関連 4 学会 2001 年合同大会講演要旨，2001 年 6 月

森岡仁志，位田晴久，久保田豊，中原光久

イオン濃度制御法によるイチゴ養液栽培について

園芸学会九州支部研究集録，9，2001 年 9 月

位田晴久，松下奈緒子

イオン濃度制御法による K 濃度低減養液管理がトマトの生育と果実品質に及ぼす影響

園芸学会雑誌，71（別 2），2002 年 10 月

位田晴久

培養液のイオン濃度管理システムについて

植物工場学会九州支部大会シンポジウム要旨，2002 年 12 月

霧村雅昭， 位田晴久

イオン濃度調整プログラム 'IonAdjuster' のインターフェースの改良

農業環境工学関連 5 学会 2003 年合同大会講演要旨，2003 年 9 月発表予定

霧村雅昭， 位田晴久

インテリジェントシステムにおける培養液中イオン濃度補正精度の向上を目的とした

IonAdjuster の改良

農業環境工学関連 5 学会 2003 年合同大会講演要旨，2003 年 9 月発表予定

霧村雅昭， 位田晴久

イオン濃度制御養液栽培における培養液補正計算の最適化

植物工場学会誌，投稿中

目次

研究の背景・概要・特色	1
培養液自動管理装置の開発	6
1) 培養液管理技術	6
2) 動作原理	7
3) プログラムの応用	8
4) 使用機材およびアルゴリズム	8
5) 成果ならびに今後の展開	9
システムの改良と実証栽培	15
1) 手動“イオン濃度制御”によるトマトの栽培試験	15
2) “イオン濃度培養液管理システム”による自動制御でのトマトの栽培試験	25
3) “イオン濃度制御”によるキュウリの栽培試験	34
4) 培養液イオン濃度調整システムにおける pH の安定化	51
5) “イオン濃度制御”によるイチゴの栽培試験	56
6) “イオン濃度制御”によるウルトラジャンボ・ピーマンの栽培試験	58
7) 複合肥料を用いた“イオン濃度制御”によるキュウリの栽培試験	65
8) “イオン濃度制御”を応用したイチゴ高設養液耕の栽培試験	71
9) イオン濃度制御を用いた K 濃度低減養液管理によるトマトの栽培試験	75

1. 研究の背景

近年、連作障害回避、省力化、高品質化、周年栽培等を目的として養液栽培が注目され、急激な伸びをみせている。養液栽培のメリットを十分生かすには、培養液の組成・濃度を作物の種類・栽培時期・生育段階に応じ調整する必要があるが、培養液管理は肥料塩の混合の計算が煩雑すぎて、かなり経験のある農家といえども既成の全国一律の標準処方そのまま採用しているのが現状である。肥料塩の混合を毎週のように行う手間を少しでも軽減しようと自動養液管理装置が各養液栽培プラントメーカーから市販されている。しかしこれらは肥料塩の濃厚液を、養液中の全塩類の電気伝導度（EC）のモニタリングに基づいて補充する制御にすぎないため、栽培植物の吸収特性に変化が無くかつ肥料組成と全く同じでない限り、特定の塩類の過不足が生じる。したがって栽培経過に伴いイオンバランスが狂ってきて生育障害が発生するため、栽培期間中に何度も培養液の全量交換を行わざるを得ない。このことは培養液の廃棄が環境保全の観点から問題となっており、また養液栽培のコストダウンが切実となっている今日、解決を急がねばならぬ重要課題といえる。

なお現場では上記の培養液循環式以外に、特に固形培地耕においては掛け流し式も多く見られる。この方式では常に適正な組成の養液が新たに供給され、植物体に吸収されなかった養液は強制的に排出されるため、アンバランスが生じていても問題とならない。しかし、常に肥料分を含んだ養液が廃棄されるわけであり、肥料の利用効率が悪いとともに土壌や地下水の汚染による環境への負荷が大きい。オランダでは1996年11月以降全ての養液システムは循環式であることが義務づけられており、日本でも早晚規制が強化されるであろう。

2. 研究の概要

養液栽培は土耕と異なり培地に緩衝作用がほとんど無いため、植物体にその生育段階における各肥料成分の最適濃度で施肥するのが非常に重要である。しかし農家がある特定の肥料成分を増施したいと思っても、肥料で補充する場合には複合塩の形であるため望まない成分までも補充することになり、調合する肥料の種類・量を求めるには複雑な計算をしなければならず、大変な労力がかかる。さらに養液栽培の原水として専ら使用されている農業用水は地域により、また同一地域でも季節により大きな変動がみられることなどから、培養液組成・濃度の重要性はわかっているにもかかわらず新たに調製することは困難とあきらめ、専らその作物用の養液組成をそのまま濃くしたり薄くしたりして用いているのが現状である。

そこで、‘培養液調製支援プログラム’の開発に取り組んだ。これは一般的なPC/AT互換パソコンを用い、表計算ソフト上のワークシートで、希望する培養液のイオン濃度組成を入力すると、調製に必要な肥料の種類と量を自動的に算出するもので、開始時の調製はむろんのこと、栽培中の培養液の補充、原水の各要素濃度の変化に対応するルーチンも付け加えてある。制御フローシートを第2-1図に示す。まず最初に、ごく小規模の栽培装置で

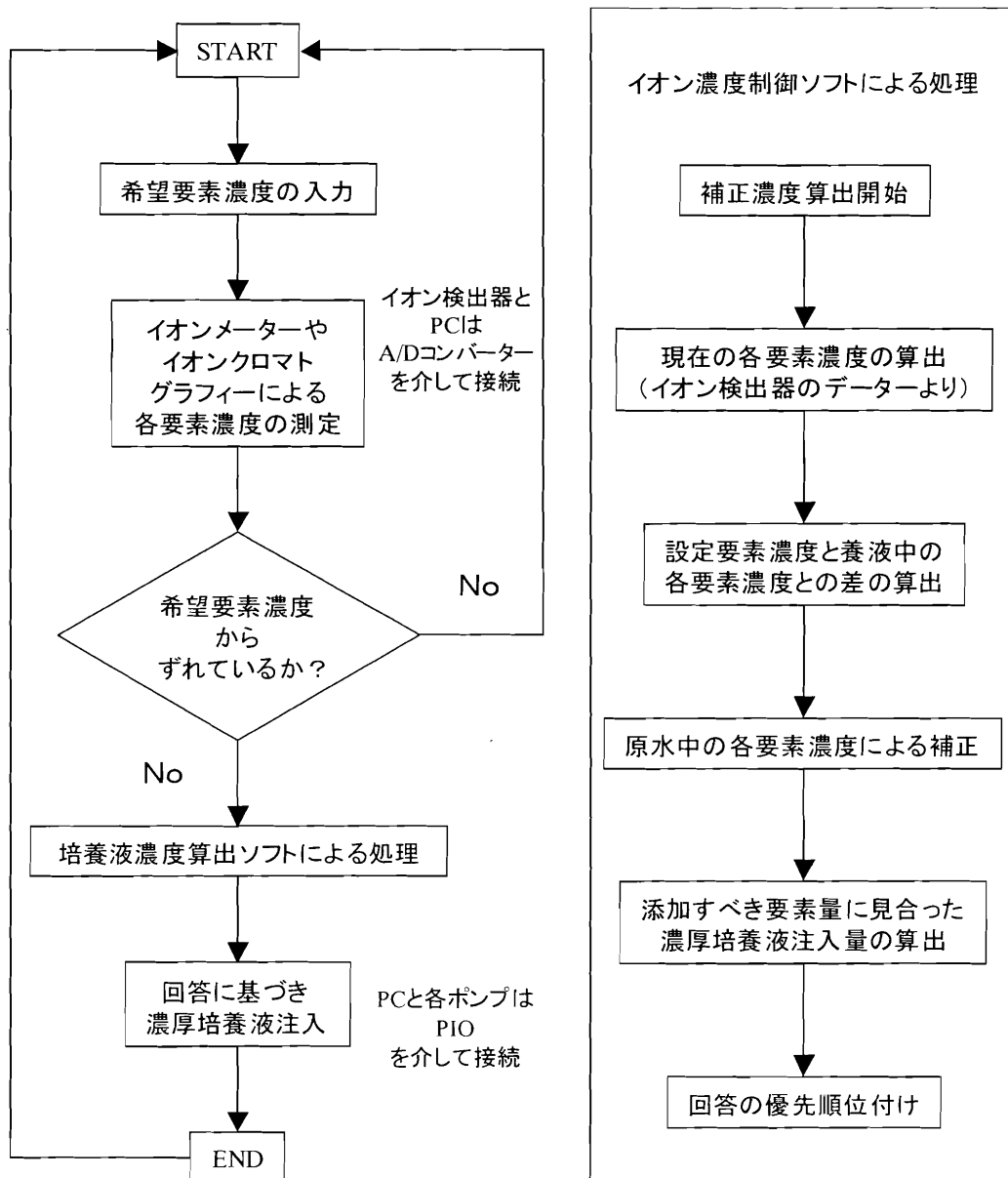
定期的に養液をサンプリングし、実験室内の各種分析計で分析後、パソコンにデータを入力し、その回答に基づいてピペットマンで手動注入するという予備試験を行った。本研究はこのプログラムを利用し、培養液中のイオン濃度を自動測定した情報に基づき、パソコンから濃厚液添加量を自動注入装置に出力し、イオン濃度の自動制御をほぼリアルタイムで行える装置を開発し、ソフトウェアの検証ならびに培養液のイオン濃度自動制御の実用化を図るのが目的である。

なお、これまでは各種無機成分の簡便な計測法がネックとなっていたが、数種のイオン濃度を同時に計測する装置（東芝 LQ202）が開発されているのを知り、それを利用して培地のイオン濃度の自動制御をできないかと考え、貸与を受け自動計算プログラムと組み合わせた自動制御法の開発に取り組んだ。しかし LQ202 では実用上 3 種のイオン濃度しか対応できず、他の分析法も併用しなくてはならない。そこでカチオンはイオンクロマトグラフィーで、アニオンの中でも最も重要な硝酸イオンはイオン電極法で測定することにした。センサー、PC、制御機器および制御対象の関係を第 2-2 図に示す。さらに初期のプログラムは計算に時間がかかりすぎるとか、養液の pH が実用に耐えないものまで回答するとか多々問題があったが、徐々に改良を加えた。また使用する肥料塩として当初は 15 種類をあげていたが、最適解にある程度の幅を持たせることにより、9 種類にまで絞り込むようにした。これによりタンク数や注入ポンプ数を減らすことが出来、初期投資が少なくて済む。さらに実証試験で各肥料塩の使用頻度を明らかにし、ソフトに修正を加えさらに削減する事も目指した。本研究はイオンメーターとイオンクロマトグラフィーによる測定に基づいたリアルタイム制御の実証を試み、同時により簡便な制御法（低コストのイオン濃度測定法、養液栽培用市販混合肥料の利用など）開発のための基礎データを得ることも目的として行った。

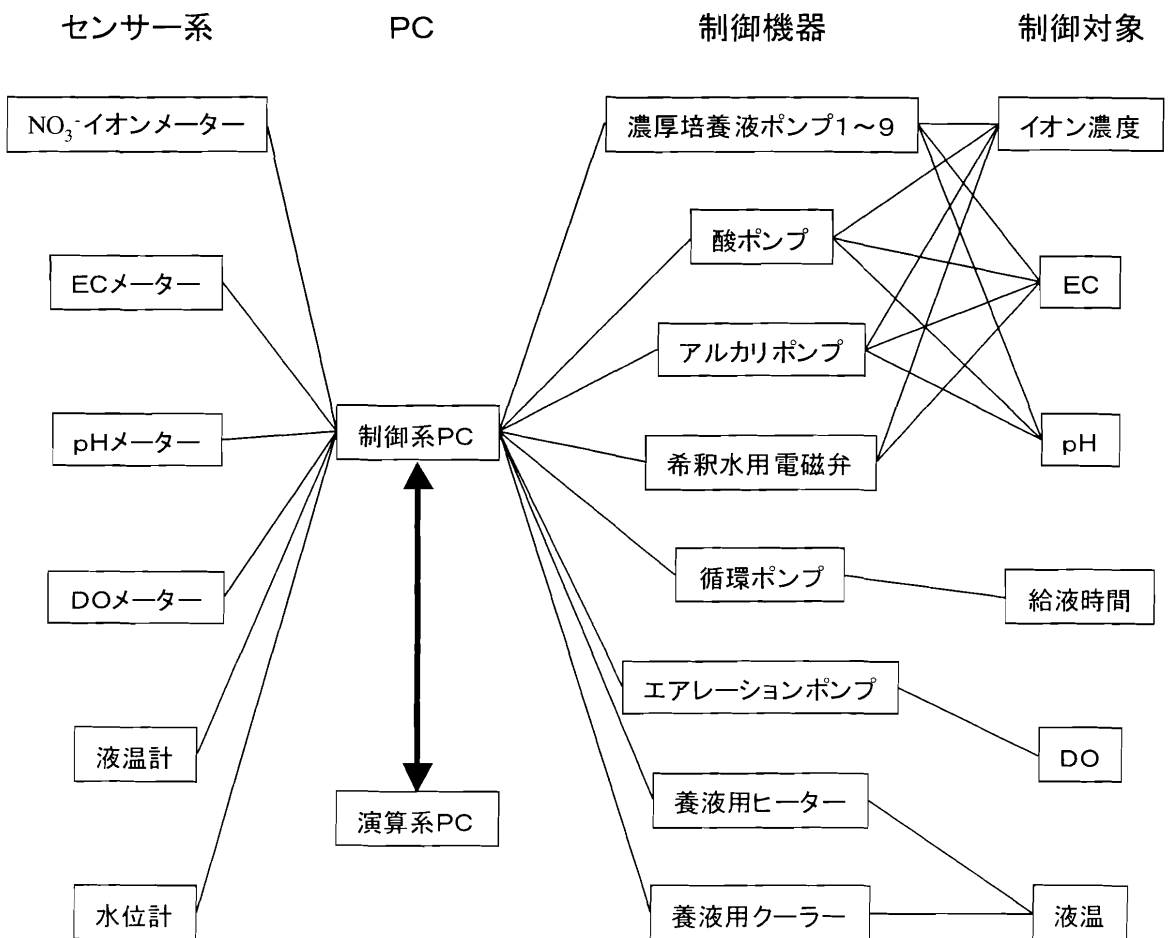
従来より開発を進めてきた“培養液自動調節プログラム”を基に、(株)ニシム電子工業の開発した制御装置、フロントエンドソフトウェアを組み合わせた“イオン濃度培養液管理システム”によりトマト栽培試験を行い、同時に慣行の EC 制御との比較も行った。

次に、我国の養液栽培においてトマト、ミツバについて栽培面積が多く、施肥に対する反応が明瞭なキュウリを用い、イオン濃度制御法と慣行の EC 制御法とで栽培し、両者における生育、収量、果実中無機成分含量、培養液中無機成分含量を比較検討し、新たに開発したイオン濃度制御法の有用性を立証することを目的として実験を行った。また、pH 安定化ロジックの組み込みによる栽培中の pH の安定化の検討も行った。

続いて、イチゴとウルトラジャンボピーマンを用いて“イオン濃度制御”による養液栽培を行った。また、イオン濃度制御法を応用し、複合肥料を用いたキュウリの栽培やイチゴの高設養液耕の栽培実験を行った。さらに、新たな培養液管理法として生育ステージごとに特定成分を低減させる培養液管理法も試みた。



第 2-1 図. 制御フローチャート



第 2-2 図. センサー, PC, 制御機器および制御対象の関係

3. 本研究の特色

本研究の培養液調整プログラムは植物工場での全自動化を可能とする一方、簡易検定法であっても養液のおおよそのイオン濃度さえ明らかにすれば直ちに補充すべき肥料の種類と量を回答するもので、一般養液栽培農家向けのソフトウェアとしても利用できる。すなわち高品質生産・環境保全型培養液管理法として画期的なものであり、いずれ全ての培養液管理はこの方式に移行するであろう。世界随一の養液栽培プラントメーカーである grodan 社の研究部長の Stuart W. Lambie 氏や、古くからの知己で養液栽培の権威である Dr. Benoit（ベルギー野菜試験場長）らからも、本研究に対し強い支持を得た。

なお養液栽培農家が培養液の管理に最も苦慮していることは周知であり、それゆえに多くのメリットがあることを知りながらも養液栽培に転換しかねている農家が多いのもまた事実である。養液栽培であれば将来の農業経営を考えてみても良いという若者が多いことから、本システムの完成により養液栽培の魅力が増せば農業後継者の確保という社会的要請にも応えうると考えられる。

4. 培養液自動管理装置の開発

1) 培養液管理技術

近年、養液栽培が再び注目されている。養液栽培には、培養液の組成・濃度を作物の種類・生育ステージに応じて調整することにより、植物の成長を随意に制御できる大きな長所があるが、現状ではそのメリットは十分に活かされていない。例えばイチゴにおいて用いられている培養液処方ほとんどが山崎イチゴ処方かその変形であり、また生育に応じた変更をすることも育苗時と本圃の2段階のみのものが多い。

なぜなら、培養液の自動制御といっても大部分が全塩類の電気伝導度（EC）とpHのモニタリングに基づく3ないし4原液（濃厚液）制御であり、特定の塩類の過不足には対応できていないからである。したがって、栽培経過に伴い特異的にあるイオンの吸収が進みイオンバランスやpHに異常が起きた場合や、生育ステージに応じて組成を変更したいような場合には、培養液の全量交換を行わざるを得ない。

このことは培養液の廃棄が環境に及ぼす影響を考慮すると大きな問題であり、また大規模化によるメリットの大きい植物工場では、なおのこと解決を急がねばならぬ課題といえよう。なお、EC・pH制御で培養液を一定期間ごとに交換しても、更新してしばらくすると基準組成からかなりずれた組成になることが、イチゴを用いた千葉農試の宇田川（1990）の試験によって認められ、我々も確認している。さらに生産者が培養液調製に使用する原水はイオン濃度組成に大きな変動がみられること、かつ培養液調製がほとんど使用プラントメーカー専用ないしは推奨の複合肥料で行われることなどから、イチゴの各生育ステージにおける最適イオン濃度はわかっているにもかかわらずそれに合わせる事が困難であり、最適な培養液組成・濃度で栽培できているとはいいがたい。安価な単肥を購入しそれらの混合濃厚液を原液として用いる農家もごく一部あるが、その場合も基本となる組成は品種に関わりなくほぼ山崎イチゴ処方で、生育ステージに応じ変更するにしても全体の濃度を変えているにすぎない。それは単肥といえども肥料養分が複合塩の形で供給されるため、ある特定のイオンのみの増量・減量を行おうとしても、調合する肥料の種類・量を一から計算し直さなければならぬため、大変な労力がかかり生産現場ではほとんど対応できないからである。

そこで、‘培養液調製支援プログラム’の開発に取り組み、それを利用した簡便な制御法について検討を進めている。なお、培養液調製プログラムとして既報のものはアメリカ園芸学会誌1993年にKawabata and Crileyが発表したものがあるのみで、それとても混合する肥料の量を入力すると、各肥料成分量が算出されるだけである。国内では東芝が、養液栽培制御装置GA700でイオン制御を試みているが、酸・アルカリ溶液で特定不足イオンを補う方式で考え方が全く異なり普及もしていない。

本研究室では、まずイチゴ植物工場プラントにおける培養液の完全自動管理に関しての

基礎研究として、培養液調整支援プログラムの開発を試みた。

2) 動作原理

本プログラムはLotus社製1-2-3R5J for Windows用のワークシートとして作成した。1-2-3は世界的に有名なソフトウェアであり、普及率が高く、各種関数も幅広く標準装備しており、このような数値計算をする上では非常に便利であることからこれを利用することにした。そして、‘ソルバー’と呼ばれる逆算機能が搭載されていることが大きなメリットである。この機能は、計算式と数値の範囲を与えておけば、回答の組み合わせを自動的に探索し求める、というものである。この機能を使用すれば、使用する薬品の成分を入力したテーブル、最終的に必要な元素別の成分、適当な条件式および計算式を用意すると、先に述べたように、回答の組み合わせが自動的に得られる。第4-2-1図にこのプログラムの基本となる‘薬品テーブル’の入力済みの画面を示した。なお、‘ソルバー’機能はMicrosoft Excelにも装備されているので、移植は容易と考えられる。

プログラムには各化合物の含有する原子数を入力すると、自動的に分子量が計算される式を入れた。このテーブルには養液栽培で比較的良好に使用される14種の薬品を登録してあるが、用途に応じて差し替えや追加などが簡単にできるようにした。なお硝酸と水酸化カリウムは、pHの調節用であると同時に硝酸態窒素、カリウムの濃度の調節用である。どちらも強酸、強アルカリであり、大量に混入するとpH調節上問題があるため、処方中の濃度にリミッターを設けた。

次に薬品テーブルの情報に基づき、実際に計算を行う参照テーブル、me（ミリイクイバレント）テーブルについて述べる。両テーブルとも薬品テーブルと同様に、すでに計算のための式が入力してあり、薬品テーブルに入力済みの14種の薬品のみを使用する場合は、変更は不要である。両テーブルの実際の使用時の画面を第4-2-2図および第4-2-3図に示した。式の内容は、分子量と混入量より養液中の各元素の濃度を計算するものである。

次に条件テーブルについて述べる。このテーブルは、薬品テーブルおよび参照テーブルによって計算される各薬品の混合量に対して、各元素濃度の条件を定めているものである。このテーブルに任意の各元素の濃度を入力すれば、その元素濃度の条件を満たす回答をソルバー実行により得ることができる。データを入力した画面を第4-2-4図に示した。使用時の利便性を考慮して、me/lとppmのどちらの単位系でも入力できるようにしてあり、使用しない単位系は計算式の部分をコメントアウトする。また特定の元素について計算する必要がない場合、コメントアウトすること（G5とH5）により、回答の自由度の増大、計算時間の短縮といった効果が現れる。また、原水の組成も考慮に入れる場合は、希望濃度と同じようにして原水の分析値を入力することで補正ができるようにした。さらに使用している養液中の各元素の濃度が判明すれば、その各濃度を原水濃度として入力することで、各試薬の追加量の算出もできるようにした。

最後に計算された回答について述べる。回答（第4-2-5図）は、ワークシート上の左から右へ1列を一組として表示される。また、回答の下には計算時において使用されたセル、および代入された数値の上限や下限などの各種の関連情報が表示される。この回答群は利用者が入力した条件を全て満たしているものである。現在のところは回答群中から手持ちの試薬、pHの値などを勘案し、目的に合う回答を選んでいるが、養液中の各イオン濃度と酸度のモニタリングとそれを組み込んだプログラムへのバージョンアップを検討している。

3) プログラムの応用

このワークシートプログラムはイチゴのみならず養液栽培全般の培養液の調合を省力化することができるものである。また、調合の省力化だけではなく新たな処方探索といった使用方法も考えられる。追加する要素としてコストを織り込めば、同じ組成の培養液を調製する際にコストの最も低くなる組み合わせを選び出すこともできるようになる。さらに、現在は培養液タンクからサンプリングし、イオン濃度を測定しパソコンに入力して、プログラムからの回答に応じて濃厚液をピペットマンで注入して管理しているが、リアルタイムで各イオン濃度を計測する装置を接続すると、タイムラグをほとんどなくすることが可能である。さらにそのデータに基づき自動注入する装置を取り付ければ、培地のイオン濃度の自動制御をほぼリアルタイムで行えるようになる。

これまでの結果を踏まえて、第4-3-1図に示すような試作プラントを構想した。コア部分をWindows上のLotus 1-2-3上で開発しているので、外部コントロールやデータ収集用の各種I/Oボードとのインターフェース部をVisual Basicなどで開発することができ、応用性が非常に高いと考えられる。また、大規模化したときのリモートコントロールもEtherNetケーブルを敷設するだけで可能である。このプラントで実際に栽培試験を行い、従来の養液管理法と比較することにした。

4) 使用機材およびアルゴリズム（Excel への移植）

ソフト全体の基礎となるスプレッドシートソフトウェアはMicrosoft Excel 97、パソコンとして一般的なPC/AT互換機を用いた。培養液調製支援ソフトは、開発開始以来のLotus 1-2-3上のもののアルゴリズムを基に、Microsoft Excelにより適した形にするため全面的に新コードとした。このソフトはLotus 1-2-3と同様にExcel上のワークシートで、希望する培養液の濃度（me/lかppm）を入力すると、調製に必要な薬品の種類と量が自動的に算出されるものである。前バージョンから強化した点は、“コスト”の概念の導入による最少コスト処方の算出と、培養液調製に使用する薬品の種類と演算ロジックの改良に伴う大幅な高速化、“純度”概念の導入、微量要素の同時算出である。

アルゴリズムは基本的に前バージョンの発展型であるが、最適解が最少コストの計算よりただ一つだけ求められる点が大きく異なる。薬品定義データベースには、薬品中の各

元素の原子数・原子量・分子量とイオン含有量，純度などのデータを記入してある（第 4-4-1，4-4-2，4-4-3 図）。条件設定は現在のところソルバーに対して直接行っている（第 4-4-4 図）。目的セルの部分は培養液調製に必要な薬品のコストの総計で，回答を求める条件としては常に最小値を指定する。変化させるセルは各薬品の名目上の濃度（ppm）であり，ソルバーがこの数値を操作し，回答を求める。その下の制約条件は利用者が指定する各要素の濃度であり，薬品定義データベースに記入されているイオン種数まで条件を増やすことができる。

5) 成果ならびに今後の展開

演算速度の向上は劇的であり，ほとんどの処方で演算は 10 秒以内（処理マシン：Pentium 133MHz Memory 64MByte，WindowsNT4.0Workstation，1997 年時点）で終了した。これによりリアルタイムフィードバック制御に必要な条件が 1 つクリアされた。また，回答がただ一つになったことにより回答テーブル（第 4-5-1 図）が小さくなり，出力にかかる時間も短縮できた。さらに CPU の演算能力のうち，処方算出用演算の占める割合が大きく低下したため，1 台の PC で処方算出と機器制御を兼ねることができると考えられる。また，今回は研究用試薬を調合するシミュレーションを行ったが，市販されている養液栽培用肥料も，その組成・濃度が明らかなものについては，純度概念を導入しているので薬品データベースに記入し，そのまま使用することができる。

現在イオンの解離定数から導き出される pH 予測ルーチンの組み込みに関して検討を重ねており，近日中に算出可能となる予定である。最終的に，現在まで開発を進めてきた“培養液自動調節プログラム”を基に，（株）ニシム電子工業の開発した制御装置，フロントエンドソフトウェアを組み合わせた“イオン濃度培養液管理システム”を使用した栽培試験を行うことができた。

スクリーンショット: 薬品テーブルの定義例

表の構造: 1列目: 項目名, 2列目: me/l, 3列目: NO3-N条件, 4列目: NH4-N条件, 5列目: P条件, 6列目: K条件, 7列目: S条件, 8列目: Cl条件, 9列目: Ca条件, 10列目: Mg条件.

データ行 (me/l):

me/l	11.2	4.8	6	2	0	0	1.6	0
ppm								

計算式: (S条件) = (me/Cl条件) = (me/1) * 1

合計式: (N総計) = (D3(P総計) + (D3(K総計) + (P3(S総計) + (G(Cl総計) + (H(Ca総計) + (I(Mg総計) + (J3)

残存値表 (me/l):

me/l	0	0	0	0	0	0	0	0
ppm								

第 4-2-1 図. 薬品テーブルの定義例

スクリーンショット: 参照テーブルの一例

表の構造: 1列目: 項目名, 2列目: me/l, 3列目: H, 4列目: O, 5列目: N, 6列目: P, 7列目: K, 8列目: S, 9列目: Cl, 10列目: Ca, 11列目: Mg, 12列目: C, 13列目: 元素合計.

データ行 (me/l):

me/l	755.71	38.07	453.2	264.5	0	0	0	0	0	0	0	0	755.7
me/l	574.87	30.22	319.8	70	154.8	0	0	0	0	0	0	0	574.9
me/l	-636.5	-43.7	-308	-135	-149	0	0	0	0	0	0	0	-636
me/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
me/l	247.92	3.672	116.6	0	56.43	71.23	0	0	0	0	0	0	247.9
me/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
me/l	188.92	6.451	128	22.41	0	0	0	0	32.06	0	0	0	188.9
me/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
me/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
me/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
me/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
me/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
me/l	10	0.16	7.617	2.223	0	0	0	0	0	0	0	0	10
me/l	10	0.18	2.852	0	6.959	0	0	0	0	0	0	0	10
me/l		35.03	719.6	224.1	61.95	78.2	0	0	32.06	0	0	0	

第 4-2-2 図. 参照テーブルの一例

スクリーンショット: me テーブルの一例

表の構造: 1列目: 項目名, 2列目: me/l, 3列目: NO3-N, 4列目: NH4-N, 5列目: P, 6列目: K, 7列目: S, 8列目: Cl, 9列目: Ca, 10列目: Mg, 11列目: 元素合計.

データ行 (me/l):

me/l	755.7	9.441	9.441	0	0	0	0	0	0	0	755.71
me/l	574.9	0	4.998	14.99	0	0	0	0	0	0	574.87
me/l	-636	0	-9.54	-14.5	0	0	0	0	0	0	-636.5
me/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
me/l	247.9	0	0	5.465	1.822	0	0	0	0	0	247.92
me/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
me/l	188.9	1.6	0	0	0	0	0	1.6	0	0	188.92
me/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
me/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
me/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
me/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
me/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
me/l	10	0.159	0	0	0	0	0	0	0	0	10
me/l	10	0	0	0	0.178	0	0	0	0	0	10
me/l		11.2	4.8	6	2	0	0	1.6	0	0	

第 4-2-3 図. me テーブルの一例

Excel spreadsheet showing a condition table. The main table has columns A through J and rows 1 through 19. It lists various chemical substances and their values under different conditions (N, NH4-N, P, K, S, Cl, Ca, Mg). A summary formula is provided: (N総計)=(D3(F総計)=(E3(K総計)=(F3((S総計)=(G(Cl総計)=(H(Ca総計)=(I(Mg総計)=(J3). Below the main table, there are two smaller tables for '残存値' (Residual Value) in me/l and ppm.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	希望濃度	N03-N条件	NH4-N条件	P条件	K条件	S条件	Cl条件	Ca条件	Mg条件
2	me/l	11.2	4.8	6	2	0	0	1.6	0
3	ppm								
4	正数条件								
5	硝酸アンモニウム	1	0	1	0	1	(S条件)=(me(Cl条件)=(a	1	1
6	リン酸2水素アンモニウ	1					(N総計)=(D3(F総計)=(E3(K総計)=(F3((S総計)=(G(Cl総計)=(H(Ca総計)=(I(Mg総計)=(J3)		
7	リン酸水素2アンモニウ	0							
8	硫酸アンモニウム	1							
9	リン酸1カリウム	1							
10	リン酸2カリウム	1							
11	硝酸カルシウム	1							
12	塩化カルシウム	1							
13	硝酸カリウム	1							
14	硫酸カリウム	1							
15	塩化カリウム	1							
16	硫酸マグネシウム	1							
17	硝酸	1	1						
18	水酸化カリウム	1	1						
19									

残存値	N03-N条件	NH4-N条件	P条件	K条件	S条件	Cl条件	Ca条件	Mg条件
me/l								
ppm	0	0	0	0	0	0	0	0

第 4-2-4 図. 条件テーブルの一例

Excel spreadsheet showing a data table. The main table has columns A through BP and rows 1 through 21. It lists various chemical substances and their values across multiple conditions (49-63). The substances include 硝酸アンモニウム, リン酸2水素アンモニウム, リン酸水素2アンモニウム, 硫酸アンモニウム, リン酸1カリウム, リン酸2カリウム, 硝酸カルシウム, 塩化カルシウム, 硝酸カリウム, 硫酸カリウム, 塩化カリウム, 硝酸, and 水酸化カリウム.

	B	C	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP
1	硝酸アンモニウム	98.67	0	0	98.67	0	0	0	0	98.67	0	0	98.67	0	0	0	0
2	リン酸2水素アンモニウム	0	141.8	0	0	141.8	0	0	0	141.8	0	0	141.8	0	0	0	0
3	リン酸水素2アンモニウム	0	0	0	0	0	0	91.39	91.39	0	0	0	0	0	0	0	91.39
4	硫酸アンモニウム	0	0	81.44	0	0	0	0	0	0	0	0	81.44	0	0	0	81.44
5	リン酸1カリウム	181.4	13.7	181.4	181.4	13.7	181.4	97.57	97.57	0	0	0	0	0	0	0	0
6	リン酸2カリウム	0	0	0	0	0	0	0	0	232.2	17.53	232.2	232.2	17.53	232.2	124.9	124.9
7	硝酸カルシウム	874.4	874.4	874.4	0	0	0	874.4	0	874.4	874.4	874.4	0	0	0	0	874.4
8	塩化カルシウム	0	0	0	811.1	811.1	811.1	0	811.1	0	0	0	0	811.1	811.1	811.1	0
9	硝酸カリウム	667.2	791.6	667.2	667.2	791.6	667.2	729.5	729.5	532.4	791.7	532.4	532.4	791.7	532.4	667.2	667.2
10	硫酸カリウム	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	塩化カリウム	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	硝酸	464.7	464.7	464.7	464.7	464.7	464.7	464.7	464.7	464.7	464.7	464.7	464.7	464.7	464.7	464.7	464.7
13	水酸化カリウム	46.01	46.01	122.7	512.6	512.6	590.2	84.85	551.5	130	52.36	207.7	598.6	519	674.3	130	0

第 4-2-5 図. 回答の一例

Microsoft Excel - 医薬品データベース

MSゴシック 12 B I U

A39	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	WX	Y	Z
		H	O	NO3N	NHN	N	P	K	S	Cl	Ca	Mg	C	Na	Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo			factor	cost (100g/ven)	
1																									
2	Ammonium Nitrate	4	3	1	1																			0.98	250
3	Ammonium Phosphate, Monobasic	6	4	1																				0.985	240
4	Ammonium Sulfate	8	4		2																			0.99	140
5	Ammonium Chloride	4			1																			0.985	230
6	Potassium Phosphate, Monobasic	2	4																					0.985	170
7	Potassium Phosphate, Dibasic	1	4																					0.995	250
8	Calcium Nitrate, Tetrahydrate	8	10	2																				0.98	190
9	Calcium Chloride, Dihydrate	4	2																					0.98	200
10	Potassium Nitrate	3	1																					0.99	180
11	Potassium Sulfate	4																						0.99	250
12	Potassium Chloride	1																						0.99	130
13	Magnesium Sulfate, Heptahydrate	14	11																					0.99	140
14	Sodium Nitrate	1	3	1																				0.99	280
15	Potassium Hydroxide	1	1																					0.99	164
33	Fe-EDTA	18	11			2							10	1		1							1	1120	
34	Boric Acid	3	3																					0.99	170
35	Manganese(II) Chloride Tetrahydrate	8	4								2									1				0.99	360
36	Zinc Sulfate Heptahydrate	14	11																		1			0.99	160
37	Copper(II) Sulfate Pentahydrate	10	9																			1		0.99	240
38	Ammonium Molybdate(VI) Tetrahydrate	32	28			6																	7	0.99	1600

第 4-4-1 図. 薬品定義テーブル (原子数)

Microsoft Excel - 医薬品データベース

MSゴシック 12 B I U

AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ
	H	O	NO3N	NHN	N	P	K	S	Cl	Ca	Mg	C	Na	Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo				molecular weight	use flag	
1																									
2	NH4NO3	4.03	48	14	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80.04344	TRUE
3	NH4H2PO4	6.05	64	0	14	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	115.02742	TRUE	
4	(NH4)2SO4	8.06	64	0	28	0	0	0	32	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	132.1406	TRUE	
5	NH4Cl	4.03	0	0	14	0	0	0	0	35.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53.4912	TRUE	
6	KH2PO4	2.02	64	0	0	0	31	39.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	136.085542	TRUE	
7	K2HPO4	1.01	94	0	0	0	31	78.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174.179502	TRUE	
8	Ca(NO3)2 4H2O	8.06	160	28	0	0	0	0	0	40.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	238.149	TRUE	
9	CaCl2 2H2O	4.03	32	0	0	0	0	0	70.9	40.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	147.01396	TRUE	
10	KNO3	0.48	14	0	0	0	39.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	101.10324	TRUE	
11	K2SO4	0.64	0	0	0	0	78.2	32.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174.2602	TRUE	
12	KCl	0	0	0	0	0	39.1	0	35.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74.551	TRUE	
13	MgSO4 7H2O	14.1	176	0	0	0	0	32.1	0	0	24.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	246.47556	TRUE	
14	MgNO3	0.48	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	84.954706	TRUE	
15	KOH	1.01	16	0	0	0	39.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56.10564	TRUE	
33	Fe-EDTA	18.1	176	0	0	28	0	0	0	0	0	120	23.0	55.8	0	0	0	0	0	0	0	0	421.096568	TRUE	
34	KH2PO4	3.02	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.8	0	0	0	0	0	0	0	61.83302	TRUE	
35	MnCl2 4H2O	8.06	64	0	0	0	0	0	0	70.9	0	0	0	0	0	54.9	0	0	0	0	0	0	197.90407	TRUE	
36	ZnSO4 7H2O	14.1	176	0	0	0	0	32.1	0	0	0	0	0	0	0	65.4	0	0	0	0	0	0	287.56556	TRUE	
37	CaSO4 5H2O	10.1	144	0	0	0	0	32.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63.5	0	249.595	TRUE	
38	(NH4)6Mo7O24 4H2O	32.3	448	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1235.85772	TRUE	

第 4-4-2 図. 薬品データベース (原子量)

Microsoft Excel - 医薬品データベース

MSゴシック 12 B I U

BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ
	NO3 -	SO4 2-	PO4 3-	Cl -	OH -	Mo7O24 6-																			ion balance
1																									
2	NH4NO3	1																							TRUE
3	NH4H2PO4		1																						TRUE
4	(NH4)2SO4			2																					TRUE
5	NH4Cl				1																				TRUE
6	KH2PO4				3												1								TRUE
7	K2HPO4																2								TRUE
8	Ca(NO3)2 4H2O																2								TRUE
9	CaCl2 2H2O																2								TRUE
10	KNO3																	1							TRUE
11	K2SO4																		2						TRUE
12	KCl																			1					TRUE
13	MgSO4 7H2O																								TRUE
14	MgNO3																								TRUE
15	KOH																								TRUE
33	Fe-EDTA																								FALSE
34	KH2PO4																								TRUE
35	MnCl2 4H2O																								TRUE
36	ZnSO4 7H2O																								TRUE
37	CaSO4 5H2O																								TRUE
38	(NH4)6Mo7O24 4H2O																								TRUE

第 4-4-3 図. 薬品データベース (イオン数)



第 4-4-4 図. 演算条件の設定

セル (Cell)	名前 (Name)	計算前の値 (Previous Value)	セルの値 (Cell Value)
\$AB\$2	Ammonium Nitrate 名目ppm	0	283
\$AB\$3	Ammonium Phosphate, Monobasic 名目ppm	0	-0
\$AB\$4	Ammonium Sulfate 名目ppm	0	0
\$AB\$5	Ammonium Chloride 名目ppm	0	0
\$AB\$6	Potassium Phosphate, Monobasic 名目ppm	0	119
\$AB\$7	Potassium Phosphate, Dibasic 名目ppm	0	83
\$AB\$8	Calcium Nitrate, Tetrahydrate 名目ppm	0	526
\$AB\$9	Calcium Chloride, Dihydrate 名目ppm	0	273
\$AB\$10	Potassium Nitrate 名目ppm	0	436
\$AB\$11	Potassium Sulfate 名目ppm	0	0
\$AB\$12	Potassium Chloride 名目ppm	0	93
\$AB\$13	Magnesium Sulfate, Heptahydrate 名目ppm	0	498
\$AB\$14	Sodium Nitrate 名目ppm	0	334
\$AB\$15	Potassium Hydroxide 名目ppm	0	39
\$AB\$33	Fe-EDTA 名目ppm	0	0
\$AB\$34	Boric Acid 名目ppm	0	0
\$AB\$35	Manganese(II)Chloride Tetrahydrate 名目ppm	0	0
\$AB\$36	Zinc Sulfate Heptahydrate 名目ppm	0	0
\$AB\$37	Copper(II)Sulfate Pentahydrate 名目ppm	0	0
\$AB\$38	Ammonium Molybdate(VI), Tetrahydrate 名目ppm	0	0

Microsoft Excel - 培養液再開発2

Microsoft Word - 培... / Microsoft Excel - ... / NUM

第 4-5-1 図. 回答の一例, 園試処方多量要素のみ

5. 栽培試験

1) 手動“イオン濃度制御”によるトマトの栽培試験

トマトの養液栽培における培養液管理をイオン濃度制御法と EC 制御法で行い、両者における生育、収量、無機成分を比較検討した。

(1) 材料および方法

春夏作はトマト(*Lycopersicon esculentum* Mill.)品種‘桃太郎 8’、秋冬作は‘桃太郎ヨーク’(いずれもタキイ種苗)を供試した。春夏作は 1998 年 5 月 19 日に、秋冬作は 1998 年 10 月 2 日に 1 段果房開花期前後の植物体を、ガラス温室の SS 式養液栽培装置に株間 0.4m、一条植えて 1 ベッドあたり 8 個体定植した。主茎 1 本仕立てとし、2 段果房上に 2 葉残して摘心した。着果ホルモンとしてはトマトラン(2-hydroxymethyl-1-4-chlorophenoxy acetic acid)水溶液(春夏作は 100 mg/l、秋冬作は 196 mg/l)を果房開花時に 1 果房あたり 1ml ずつハンドスプレーで果房全体に散布した。培養液は 1/2 園試処方を用いた。処理区としてイオン濃度制御区と EC 制御区の 2 区を設け、それぞれに湛液耕、ロックウール耕の 2 通りを組み合わせた計 4 区(イオン濃度制御湛液耕を IW 区、イオン濃度制御ロックウール耕を IR 区、EC 制御湛液耕を EW 区、EC 制御ロックウール耕を ER 区とする)で実験を行った。培養液の酸素供給は給液ポンプの作動による液の循環で行った。循環頻度は湛液栽培では通年一定とし、ロックウール栽培では月によって変更した。1 回当たりの給液時間は湛液栽培では 15 分、ロックウール栽培では 10 分とした。培養液の調整はイオン濃度制御区においては 1 週間に 1 度タンク内から培養液を採取、分析し、各要素が 1/2 園試処方となるようイオン濃度自動制御プログラムで補充すべき試薬の種類とその量を計算し、補充した。EC 制御区においては EC 値が 1.2 dS/m になるように 1 週間に 1 度濃厚液を補充した。また、培養液濃度の推移を知るために 1 週間に 1 度の補正の他にも、培養液を採取、分析した。EC、pH、液温を毎回測定した。また生育調査を行い、開花 30 日前後の果実と完熟果を収穫し分析した。

(2) 結果および考察

培養液制御方式の違いが草丈に及ぼす影響については、草丈は春夏作では IW 区で有意に高かったが、秋冬作では逆に IW 区で有意に低く、IR 区で有意に高かった。莖径については春夏作、秋冬作ともにすべての処理区で有意差はみられなかった。葉長・葉幅は春夏作では有意差はみられなかったが、秋冬作では EW 区で有意に大きく、IR 区で有意に小さかった。培養液濃度や水位で草勢をコントロールできる程度は小さく、定植時の苗齢のほうがより確実に草勢をコントロールできるといわれている(佐々木, 1979)。本実験ではすべての処理区において育苗日数を統一しており、草勢の違いは培養液の違いによると考え

られるので今後検討を進めたい。着果節位は春夏作、秋冬作ともにイオン濃度制御区で EC 制御区より低下した。

葉緑素含量については春夏作では EC 制御区で有意に高く、秋冬作では湛液耕で有意に高かった(第 5-1-1, 5-1-2 図)。春夏作では EW 区, ER 区で有意に高かったのに対し秋冬作では ER 区がかなり低く、また全体的に値にばらつきがみられ、培養液制御方式の違いがトマトの葉緑素含量に及ぼす影響は明確ではなかった。

培養液制御方式の違いによるトマトの草丈の推移は春夏作では、2 段果房が開花し始めた 6/4 以降から IR 区の成長率が他の区と比較して高かった。秋冬作では、すべての処理区において成長率にほとんど差がなかったが、2 段果房が開花し始めた 10/29 以降から成長率にばらつきがみられた。しかし、春夏作において成長率が高かった IR 区が、秋冬作では EW 区, ER 区よりも低く、唯一 IW 区より高いだけであった。茎径の推移については春夏作、秋冬作ともに顕著な差はみられなかった。葉長・葉幅については春夏作では顕著な差はみられなかったが、秋冬作では 10/10 にはすでに生育に差が出始めていた。なお、葉長・葉幅が大きいほど葉緑素含量が高かった。

定植から開花までの日数については、春夏作の 2 段果房でイオン濃度制御による有意な短縮が認められた(第 5-1-4 図)。また、有意な差はみられなかったが春夏作、秋冬作ともに 1 段果房でイオン濃度制御区のほうがわずかに短かった(第 5-1-3, 5-1-5 図)。育苗環境や品種によって異なるが、播種後約 25~30 日、展開葉 2 枚程度の苗で 1 段果房の花芽が分化するといわれている。定植後に培養液制御方式を変えて栽培しており、育苗管理をすべての処理区で同一とした本実験においては顕著な差が出にくかったと考えられる。それにもかかわらずイオン濃度制御区で開花までの日数が短縮されたことは注目すべきである。

開花から完熟までの日数については、春夏作の 1 段果房では ER 区で有意に短縮された。また、有意な差はみられなかったが春夏作の 2 段果房では IW 区で 1 番短く、秋冬作の 1 段果房, 2 段果房ともに IR 区で 1 番短かった(第 5-1-4,5,6 図)。春夏作では 1 段果房で 1 番日数が短かった ER 区が 2 段果房では 1 番日数が長くなり、逆に IW 区は 1 段果房では長く 2 段果房では短かった。これは高段になるにつれ EC 制御区の培養液のイオンバランスが乱れ、IW 区で短くなったというよりは ER 区で長くなったためと考えられる。秋冬作ではイオン濃度制御区でわずかに短縮され、また同じ制御区内ではロックウール耕の方が日数は短かった。全般にイオン濃度制御区で定植から完熟までの日数がわずかに短縮された。特に、ロックウール耕ではさらに日数の短縮が期待できる(第 5-1-3,4,5,6 図)。秋冬作で定植から完熟までの日数が春夏作よりも長かったのは、秋冬作の育苗期間中長雨が続き日照不足となったためと考えられる。日照不足になると同化養分がたまらず花芽分化が抑制され着果不良、結果不良等が起こる。本実験でも日照不足のために秋冬作では花芽分化が遅れ、開花、完熟までの日数が長くなったと考えられる。

開花 30 日後の果実重については有意な差はなかったものの春夏作の 1 段果房では EW 区

で大きく、IR 区で小さい、2 段果房では ER 区で大きい、秋冬作の 1 段果房、2 段果房で ER 区で大きい傾向が認められた。果径については春夏作の 1 段果房の IW 区、EW 区で有意に増加した。春夏作の 2 段果房、秋冬作の 1 段果房、2 段果房においては有意な差はみられなかった。比重についてはすべての処理区において有意な差はみられなかった。空洞程度については春夏作では EW 区で最も低かった。秋冬作では 1 段果房、2 段果房ともに差はみられなかった。EC 制御区の方がイオン濃度制御区より空洞程度が低かったのは、イオン濃度制御区では栄養状態が良好すぎて草ボケ気味であったことが影響しているとも考えられる。イオン濃度制御によりまさにその時の植物に対する各イオンの最適濃度が与えられるのであれば、培養液濃度は現行よりやや低めの方が望ましいのかも知れない。

完熟果の果実重については、秋冬作の 1 段果房では IW 区で最も増加したのを除けば、開花 30 日後の果実重の結果と一致していた。果径については春夏作、秋冬作とも有意な差はみられなかった。

秀品果割合については春夏作、秋冬作ともに EC 制御区よりもイオン濃度制御区で高く、特に春夏作湛液栽培で差が顕著であった（第 5-1-7 図）。これにはイオン濃度制御区で春夏作では裂果の割合が低く、秋冬作では奇形果の割合が低かったことが大きく貢献している。このことから異常果の発生を抑え秀品果割合を高くするのにイオン濃度制御が有効であることが認められた。

食味テストの結果、春夏作では IW 区がすべての項目で評価が高く、特に総合評価ではすべての被験者が IW 区の果実を best と評価した。またその他の項目でも IW 区と IR 区の合計は 70% を越えていた。秋冬作では明確な差はみられなかった（第 5-1-8, 9 図）。食味は果実内のカリウム含量と関係があるとされている。春夏作ではイオン濃度制御区の果実内カリウム含量が高かった（第 5-1-10 図）。このことは次に述べる培養液中のイオン濃度の推移とも符合していた。

培養液中の硝酸態窒素は春夏作において、イオン濃度制御区では濃度が低下しても 1 週間毎の培養液補正によって適当な濃度になったが、EC 制御区では 7/7 まで低い濃度で推移した。完熟果の収穫を始めた 7/10 以降はすべての区において上昇傾向がみられた。秋冬作ではイオン濃度制御区、EC 制御区ともに春夏作ほど大きな変動がなく、安定していた。

アンモニア態窒素は春夏作において、イオン濃度制御区では濃度が低下しても 1 週間毎の培養液補正によって適当な濃度になったが、EC 制御区では栽培期間中低い濃度で推移した。秋冬作において、イオン濃度制御区では前半激しい変動があったものの春夏作同様、濃度が低下しても 1 週間毎の培養液補正によって適当な濃度になった。EC 制御区では前半は適当な濃度を保っていたが 11/7 あたりから低い濃度で推移した。

リンは果実の肥大とともに吸収が増大する。また、高培地温になると過剰吸収を招き、その結果として Fe 欠乏症、Zn 欠乏症、Cu 欠乏症を誘発しやすい(加藤, 1996)。春夏作においてもその傾向がみられ、特に EC 制御区のロックウール耕では 6/23 から培養液中の濃

度が0に近い状態で推移した。秋冬作においてイオン濃度制御区では常に吸収されているのに対し EC 制御区では 12/1 あたりからほとんど吸収されることがなくなった。

カリウムは春夏作において、イオン濃度制御区では開花期に濃度が著しく低下したがその後は 1 週間毎の培養液補正によって最適濃度を保っていた。EC 制御区では開花期に低下したまま低い濃度で推移した（第 5-1-11, 12 図）。秋冬作においてイオン濃度制御区では 11/7 から 11/30 にかけてカリウム濃度の低下が激しく、1 週間毎の補正を行っても最適濃度に保つことができなかった。EC 制御区では 100 mg/l 前後の低濃度で推移した（第 5-1-13, 14 図）。

カルシウムは春夏作において、イオン濃度制御区では 6/16 から低下傾向にありトマトがかなり吸収していたと考えられる。EC 制御区では 6/30 から上昇傾向にあり、カチオン同士の拮抗作用によって吸収が妨げられたと考えられる。秋冬作においてイオン濃度制御区では 12/25 前後に急に濃度が上昇した。EC 制御区では 12/18 以降低下し始めた。

マグネシウムは春夏作において、イオン濃度制御区では濃度が低下しても、1 週間毎の培養液補正によって適当な濃度を保っていた。EC 制御区では上昇傾向にあった。秋冬作においてイオン濃度制御区では 11/1 から 12/18 までは低下傾向にあり、培養液の補正を行っても適当な濃度にはならなかった。EC 制御区では低下しても最適濃度を保ち 1/8 以降は上昇傾向にあった。

トマトではリン、カリウム濃度は低下しやすく、カルシウム、マグネシウム濃度は上昇しやすい傾向にある。これは培養液中のリン、カリウムの吸収が容易でこれらの濃度は低下しやすいが、逆にカルシウム、マグネシウムの吸収は遅く、それらが培養液に蓄積した結果、成分バランスが崩れるといわれている(板東, 1991)。また、カルシウム吸収阻害にアンモニア態窒素、カリウム、マグネシウムなどのカチオンの拮抗作用があることも認められている。本実験でも春夏作においては EC 制御区でリン、カリウム濃度の低下およびカルシウム、マグネシウム濃度の上昇がみられた。その一方イオン濃度制御区ではリン、カリウム、カルシウム、マグネシウム濃度は多少の増減がみられたものの 1/2 園試濃度の成分比を保っていた。秋冬作においては EC 制御区でカリウム濃度の低下、およびわずかであるがマグネシウム濃度の上昇がみられた。カルシウム濃度については 12/11 まで上昇傾向にあったが急に低下した。カルシウムの吸収がおきたのはカリウムやマグネシウムなどの濃度が低下したことによって拮抗作用が弱まったからかもしれない。

このように培養液の組成はイオン濃度制御区では比較的安定していたが、EC 制御区では特に春夏作でバランスの乱れがみられた。成分バランスの乱れは短期間であれば、直ちに生育の阻害や生理障害の発生に結びつくとはいえないが、長期になるとその影響は大きい。本実験では 2 段果房までしか栽培を行わなかったが、トマトの長段栽培を行う場合は栽培期間が長期化するためイオン濃度制御の意義は大きいと考えられる。

pH は春夏作では EC 制御区で栽培後期に大きな変動がみられたのに対し、イオン濃度制

御区では漸増傾向がみられたものの比較的安定していた(第 5-1-15 図)。秋冬作では EC 制御区が上昇傾向を示したのに対し、イオン濃度制御区は好適範囲内である pH 6.5 前後で推移した。

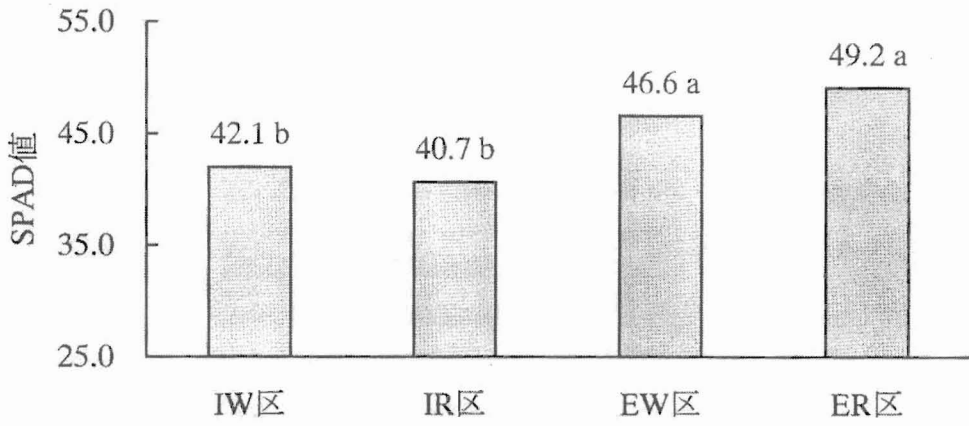
(3) 総合考察

循環式の場合、EC 制御による培養液管理では栽培期間の長期化にともなって成分バランスの乱れによる生育や収量の落ち込みがしばしば観察される。本実験の結果、秀品果割合は春夏作、秋冬作ともに EC 制御区よりもイオン濃度制御区で多く、イオン濃度制御区で収量の増大が可能であることが示唆された。これは、イオン濃度制御区で裂果、尻腐れ果、奇形果の割合が低かったためである。一般にトマトの養液栽培ではリン、カリウム濃度は低下しやすく、カルシウム、マグネシウム濃度は上昇しやすい傾向にある。本実験でも EC 制御区において春夏作でリン、カリウム濃度の低下およびカルシウム、マグネシウム濃度の上昇、秋冬作でカリウム濃度の低下およびマグネシウム濃度の上昇がみられ、成分バランスが乱れた。このため EC 制御区で生理障害果の発生が多くなったと考えられる。

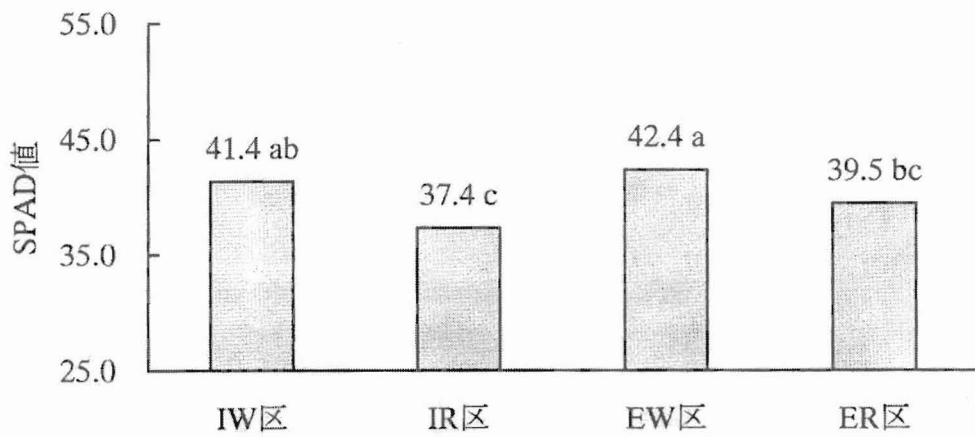
本実験の結果、有意な差はみられなかったものの春夏作、秋冬作ともにイオン濃度制御区では EC 制御区に比べ着果節位が低下し、定植から完熟までの日数がわずかに短縮された。本実験では育苗管理をすべて同一としたため、培養液制御方式の違いは定植から開花までの日数よりも、むしろ開花から完熟までの日数に影響を及ぼしたと考えられる。開花から完熟までの日数は春夏作では 1 段果房で最も短かった ER 区が 2 段果房では最も長かった。これは高段になるにつれて EC 制御区の培養液の成分バランスが乱れたためと考えられる。本実験では 2 段果房までしか栽培を行わなかったが、長段栽培では着果節位の低下および成熟日数の短縮がより認められるかもしれない。もしそうならば、連続的な収穫が可能となり収量の増加も大いに期待できる。これについてはさらなる検討が必要である。

近年、外観のよさに加えて、食味のよいトマトの要求が高まっている。本実験の食味テストの結果、春夏作は IW 区がすべての項目で評価が高く、品質の向上があったと考えられる。秋冬作ではいずれの処理区間にもあまり差はみられなかった。トマト果実内のカリウム含量の増加によって食味が良くなるといわれている。春夏作の果実内カリウム含量はイオン濃度制御区で高く、秋冬作では制御区による差がはっきりしなかった。この結果からも、果実内のカリウム含量と食味が関係していることが考えられる。また、培養液中のカリウム濃度の推移は春夏作では EC 制御区で顕著な低下がみられたのに対し、秋冬作ではイオン濃度制御区で果実肥大期に大きく変動するのが認められ、EC 制御区は低い値で推移していた。春夏作のイオン濃度制御区で食味が優れたのは吸収量の多いカリウムの補給が次々行われたのに対し EC 制御区では十分でなく、果実内カリウム含量も低下したためと考えられる。一方、秋冬作では吸収量が少なくイオン濃度制御区でもある程度濃度が維持されたため、果実内カリウム含量や食味にあまり差がみられなかったのかもしれない。

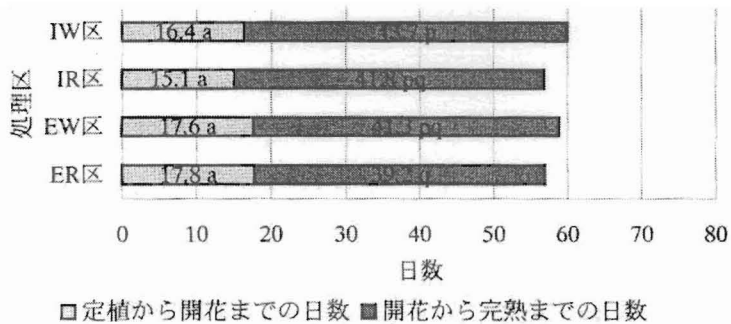
カリウムは吸収量が多いためか、イオン濃度制御区において補正を行ってもかなり濃度に変動がみられた。特に果実肥大期には頻繁な分析、補給が必要と考えられる。作物は多量のカリウムが存在するとカリウムを贅沢吸収して体内に多量に蓄積するが、過剰害が起こることは少ない。そのため、生育段階にあわせて培養液中のカリウム濃度を高めに管理すれば、食味のよいトマトの栽培が可能であると考えられる。しかし、高めにしすぎると他のカチオンの吸収が阻害され、マグネシウム欠乏などを引き起こすことがあるため、注意が必要である。北条ら(1996)は高品質果実生産には培養液濃度の急激な変化を避けるのが有効と報告している。本実験の結果、イオン濃度制御により培養液濃度の変化を少なくするとともに、成分バランスの乱れを防止できることが示された。これによって培養液更新の必要がなくなるため、環境保全の面からもイオン濃度制御の意義は大きいと考えられる。また、イオン濃度制御によって秀品果割合の上昇が認められたが、それに加え果実品質の向上を図るためには、生育段階にあわせた最適な培養液組成や培養液濃度などの検討を進める必要がある。



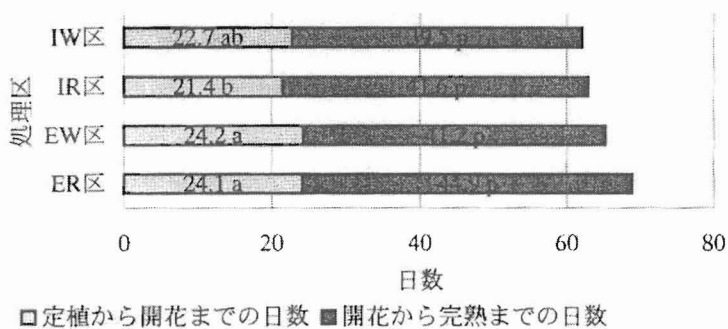
第 5-1-1 図. 培養液制御方式の違いが春夏作トマトの葉緑素含量に及ぼす影響



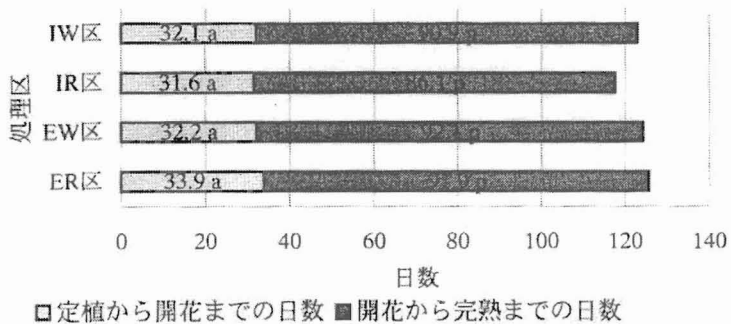
第 5-1-2 図. 培養液制御方式の違いが秋冬作トマトの葉緑素含量に及ぼす影響



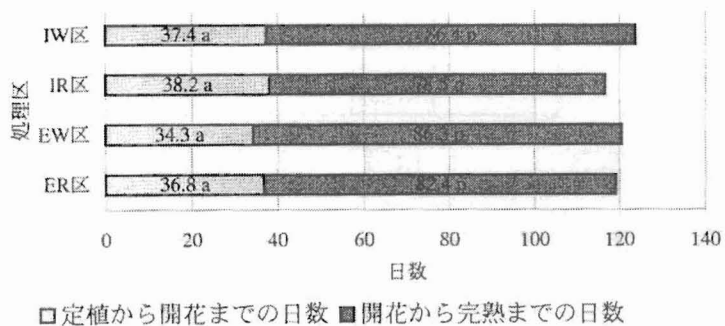
第 5-1-3 図. 培養液制御方式の違いが春夏作の 1 段果房の開花, 完熟までの日数に及ぼす影響



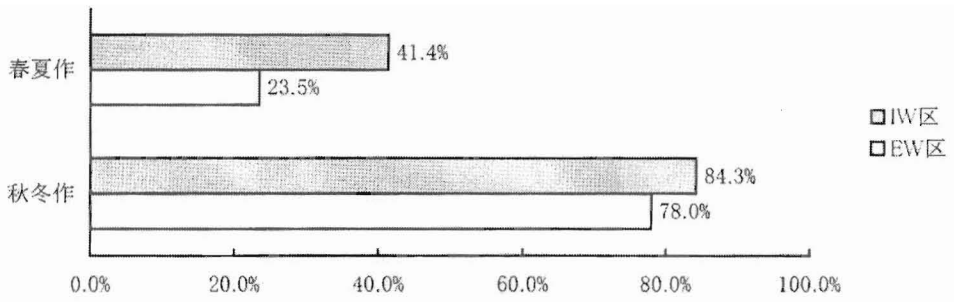
第 5-1-4 図. 培養液制御方式の違いが春夏作の 2 段果房の開花, 完熟までの日数に及ぼす影響



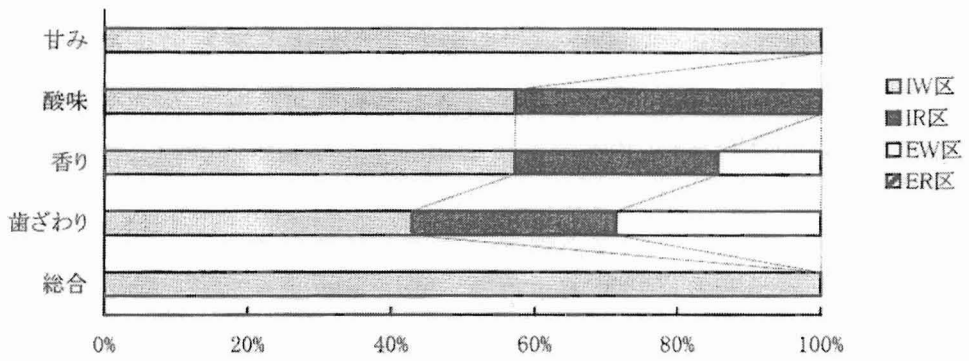
第 5-1-5 図. 培養液制御方式の違いが秋冬作の 1 段果房の開花, 完熟までの日数に及ぼす影響



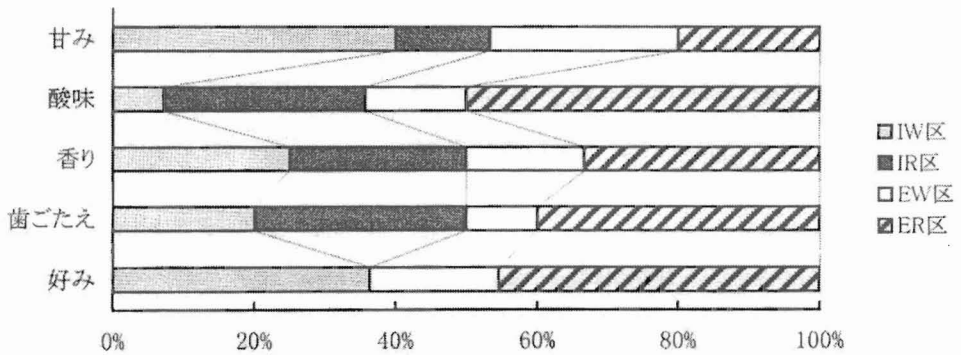
第 5-1-6 図. 培養液制御方式の違いが秋冬作の 2 段果房の開花, 完熟までの日数に及ぼす影響



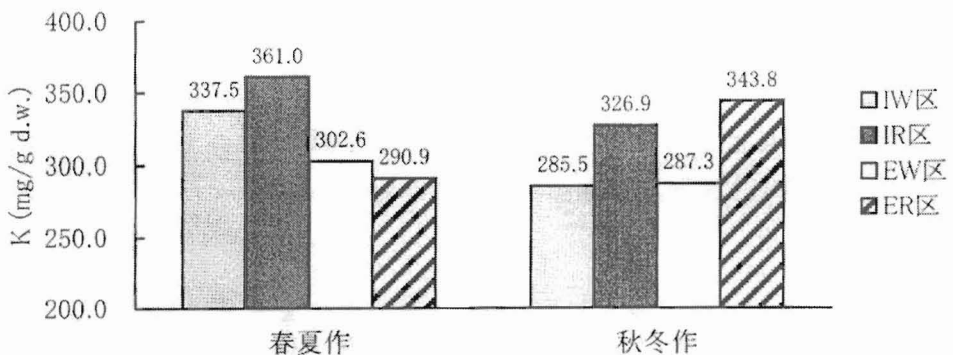
第 5-1-7 図. 培養液制御方式の違いがトマトの秀品割合に及ぼす影響



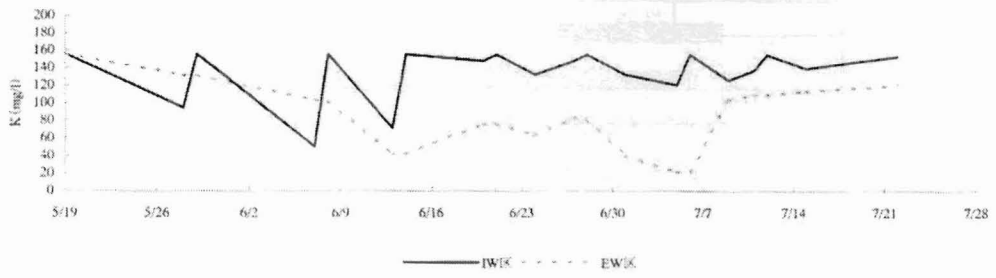
第 5-1-8 図. 春夏作トマトの食味評価 (それぞれの区を Best と回答した人の割合)



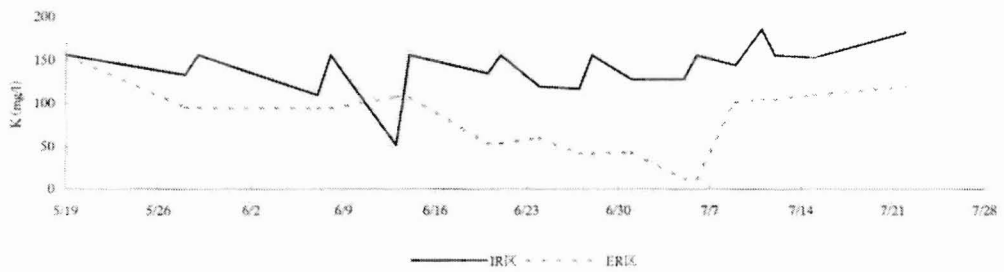
第 5-1-9 図. 秋冬作トマトの食味評価 (それぞれの区を Best と回答した人の割合)



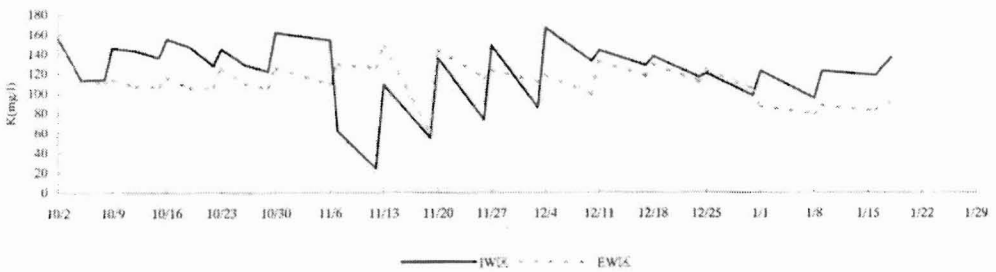
第 5-1-10 図. 培養液制御方式の違いが開花 30 日後の果実中カリウム含有量に及ぼす影響



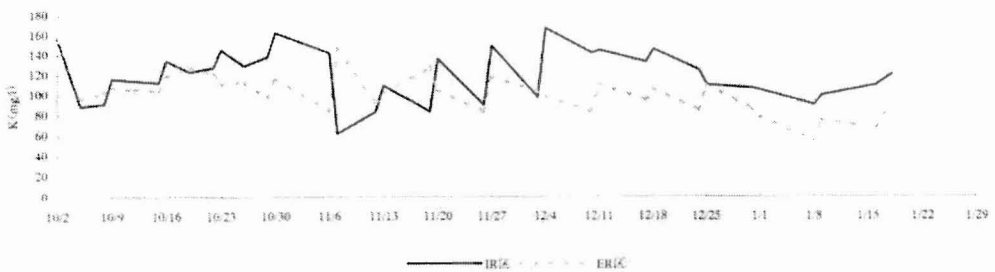
第 5-1-11 図. 培養液制御方式の違いが培養液中の K 濃度に及ぼす影響 (春夏作湛液)



第 5-1-12 図. 培養液制御方式の違いが培養液中の K 濃度に及ぼす影響 (春夏作 RW)



第 5-1-13 図. 培養液制御方式の違いが培養液中の K 濃度に及ぼす影響 (秋冬作湛液)



第 5-1-14 図. 培養液制御方式の違いが培養液中の K 濃度に及ぼす影響 (秋冬作 RW)

2) “イオン濃度培養液管理システム”による自動制御でのトマトの栽培試験

従来より開発を進めてきた“培養液自動調節プログラム”を基に、(株)ニシム電子工業の開発した制御装置、フロントエンドソフトウェアを組み合わせた“イオン濃度培養液管理システム”を使用した栽培試験を行い、同時に従来のEC制御との比較も行った。

(1) 栽培システムの概要、実験方法

本実験は宮崎大学農学部促成園芸学研究室圃場内のシクスライトハウス内で行った(第5-2-1 図)。供試材料として今回はイチゴより吸水量、吸肥量の多いトマト(*Lycopersicon esculentum* Mill.)の品種‘桃太郎’を用い、1998年12月7日にハウス内のベッドに株間0.5 mで1ベッドあたり6個体を定植した。イオン濃度制御区とEC制御区を各2ベッドずつ設置した。ベッドやプラントはSS式水耕装置(シーアイ化成)を湛液用に改造したものである。養液タンクの容量は、イオン濃度制御区は1 kL、EC制御区は200 Lとした。養液タンク内の水位が植物体の吸収や空気中への蒸発などにより低下する問題に対しては、水位センサーやフロートによる自動給水機構を設置することにより対処した。濃厚培養液の補給は養液タンク中に注入し培養液濃度、組成をフィードバック制御する方式である。イオン濃度制御区での養液中のイオン濃度検出法として NH_4^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} のカチオンに関しては東亜電波工業(株)製イオン分析計IA-100によるイオンクロマトグラフィー法、 $\text{NO}_3\text{-N}$ に関しては東亜電波工業(株)製イオンメーターIM-40Sと硝酸イオン電極N-135によるイオン電極法を用いた。イオン濃度制御区においては1週間に1度制御システムを起動し調整を行い、EC制御区においては従来型のEC値のみで管理する自動養液管理機による自動制御とした。エアレーションは各区において養液タンク内でポンプで攪拌を行い、溶存酸素濃度が飽和もしくは飽和に近い状態を維持した上で、ベッドへの循環ポンプをタイマー制御することで調節した。

(2) システムの設定

試薬の選択

今回の栽培試験に際し、9種類の試薬を用意した(第5-2-1表)。これらの試薬は園試処方や山崎処方、およびその派生処方で比較的良好に用いられるものを参考に選択した。原液の濃度設定はイオン濃度制御の精度に直接関わってくるので、各試薬の溶解度と大量に作成しなければならないことを考慮に入れ、おおよそ0.5ないし1 Mの濃厚液を作成した後にイオンクロマトグラフィーを用いて正確な濃度を測定し決定した。

原液注入ポンプの調整

イオン濃度制御区においては養液タンクの容量が1 kLと大きいため、原液注入ポンプの吐出量を200 ml/min.に設定した。吐出量もイオン濃度制御の精度に直接関わってくるの

で大まかに 200 ml/min. に調整した後に検定を行い、各ポンプについて吐出量を測定した。EC 制御区に関してはポンプの吐出量に関してあまり大きな意味がないため、2 台のポンプの吐出量を約 100 ml/min. で揃えた。

養液処方の決定

本システムの最初の実働試験ということ considering、一般的な 1/2 園試処方と山崎トマト処方をを用いた。本来の園試処方と山崎トマト処方はともに 4 種の試薬で調製できるので、調整に用いる試薬の種類をむやみに増やさなくても済むことが期待されたからである。また、園試処方はその変形処方も含めてきわめて適用範囲が広く、他の植物への転用を考えた場合に有効なデータを得ることができると考えられたからである。まず最初に山崎処方 ($\text{NO}_3\text{-N}=98 \text{ mg/L}$, $\text{Ca}^{2+}=60 \text{ ppm}$, 他は 1/2 園試処方と同じ) を設定値とし、その後 1/2 園試処方に変えてみて、生育ステージによるイオン濃度設定値の変更を実際に行ってみた。

(3) 結果

イオンコントロールの精度

イオン濃度制御区における各イオン濃度の制御精度の変動を示す (第 5-2-2 図)。マーカの付いていない線が目標値である。測定値は目標値を頂点とするほぼノコギリ波形を示しており、ほぼ予測通りの結果を示している。イオン制御開始時には装置の操作に不慣れたことや装置固有の癖が分からないこともあり目標値からのずれがみられたが、硝酸態窒素イオン電極の校正時間の延長や、電極部の流速の調整などにより、精度を向上させることができた。ただカチオンと硝酸態窒素イオンの測定法の違いによると考えられる測定誤差は依然存在している。

地上部の状態

イオン濃度制御と EC 制御による植物体の地上部の生育状況を示す (第 5-2-3, 4 図)。両区の植物体の成長に顕著な差は見られなかった。しかし、葉色に関しては有意な差が見られた。イオン濃度制御区が正常な葉色を呈していたのに対して、EC 制御区では全般に葉色が薄く、小葉の一部が黄変ないしは褐変している個体も見られた。これは、イオン濃度制御区では培養液処方通りの硝酸態窒素が供給されており、植物体の栄養成長に必要な水準を満たしていたのに対し、EC 制御区では EC 値こそ規定の水準を満たしているものの培養液中のイオン濃度のバランスが崩れ、硝酸態窒素が不足していたことによると考えられ、これは手動によるイオン濃度制御での実験結果とも符合する。

根部の状態

植物体の根部の生育状況について第 5-2-5, 6 図に示す。地上部とは異なりイオン濃度制御区で劣っていた。主根の発生状況は両者においてあまり差が無いものの、細根の発生状況は EC 制御区の方が優れていた。これは培養液の pH が EC 制御区ではおおむね pH 6.0 から 6.5 で推移したのに対し、イオン濃度制御区では時間の経過とともに pH が低下していき、最終的には pH4.9 まで低下したことが大きく関与していると考えられる。

(4) 考察

今回の実験では培養液の pH の低下という現象が見られたが、これは一般にトマトの養液栽培を行った時認められる pH の緩やかな上昇傾向とは異なっている。その理由としてイオン濃度制御では培養液中のイオンバランスの崩れに対し、その時点で不足分を能動的に算出し追加していくアルゴリズムを採用しているため、溶液になると弱酸性を示す試薬の注入が重ねて生じ、結果的に培養液が酸性に傾いたことが考えられる。また養液が酸性に傾くなどのストレスにより根が障害を受け有機酸などが分泌され、さらに pH が低下するということが起きたのかもしれない。なおこのことから、植物が養液中のイオンバランスとはかなり異なる選択的吸収を行っていることが示唆された。植物は根部環境、特に pH によってイオンの吸収特性を大きく変化させることが知られており、またそれぞれの作物によって最適 pH はかなり異なる。今回の pH 低下は大きく根部へのストレスが高くなりすぎたが、十分湛液耕に順化していない苗を急いで定植するなど栽培に問題があったことが考えられる。現に手動によるイオン濃度制御ではこのような pH の低下はみられなかった。現在のところどの薬品をどういった組み合わせで注入すれば、pH がどう動くのかといった要素は全くソフトウェアには組み込んでいないため、pH 調節はソフトウェアで規定している薬品を酸液とアルカリ液として注入する方法しか無い。今回の試験では初めての自動制御栽培試験ということもあり、pH 調節をあえて一切行わなかったことと、植物体の生育ステージによる吸収特性の違い、養液中の残存イオン濃度の違いなどによるものと考えられる。たとえわずかしき養液中の残存各イオン濃度が違わないとしても注入する薬品の組み合わせや量が全く異なるといったことが本ソフトウェアでは生じ得る。また、最適解を求める制限条件として「総薬品注入量を最少とする」とした場合と「総薬品コストを最少とする」とした場合では、養液中の残存各イオン濃度が同じでも異なった計算結果が得られることになる。これに関しては、平成 11 年度に各種薬品の組み合わせ、濃度による pH の動きを経験則も含めて制限条件としてある程度は組み込む予定なので、酸液やアルカリ液の使用も含めて、「pH が設定値と極めて近い値になる」という条件に置き換えることによって解決できるものと思われる。

(5) その他問題点と解決法

これまでの試験栽培でイオン濃度制御装置はおおむね予測どおりの動作を行ったが、時

としてすべての条件を満たす回答が見つからず、期待とは異なる結果が出ることを承知で操作を続行することがあった。具体的には何らかの要因で設定値より高いイオン濃度が検出された場合や、アンモニア態窒素イオンのように設定値が小さいものの濃度を合わせようとする場合である。アンモニア態窒素に関しては設定値からのずれに関して相対的に許容範囲が広いと思われるので、警報発生と回答算出時の精度を下げることにより対処できると思われる。硝酸態窒素に関してはカチオンと異なりイオン電極法を用いたため測定誤差が度々生じた。調整開始前の校正の段階でうまく条件を揃えなければ培養液調整時の電極の感度にばらつきが生じ、さらに測定部にセットして培養液を流す段階で電極の突き出し長さや流速のばらつきの影響を受けて大きな誤差が生じていた。これに関してはリンも含めたトータルな測定条件の平準化という意味からも、アニオンの測定法をイオンクロマトグラフィー法に移行することが望ましいと考えられる。

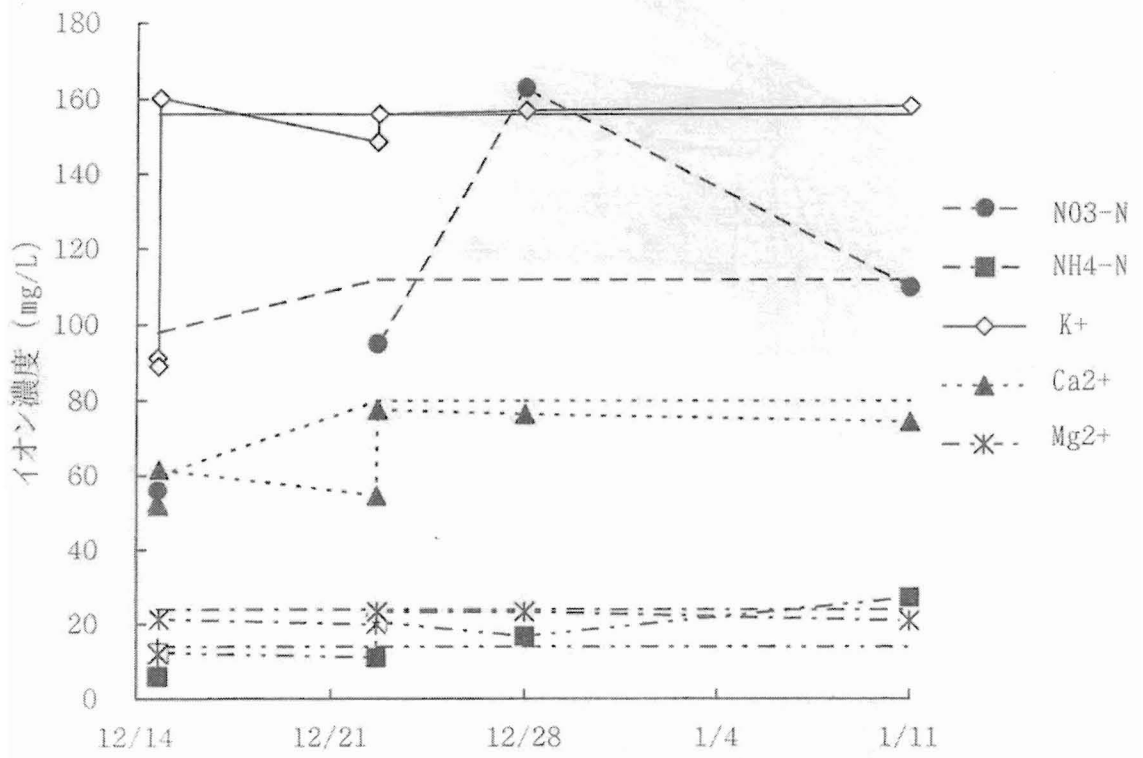
また本実験においては手動による制御との比較や、簡易測定式時のコスト、労力軽減を意識しすぎ、イオン濃度補正を1週間に1回の割でしか行わなかったが、各イオン濃度を設定値に近く維持するためには週に2回以上計測補給するようにした方がよいと考えられた。またそうでないとイオン濃度測定による自動制御の特性が十分発揮されないと思われる。次年度は生育ステージごとの各イオンの吸収量に見合った濃度設定について検討を進めたい。その際現行より低濃度の培養液での栽培試験を行う予定である。これは現在一般に行われている EC 制御では各イオンの吸収にある程度のバラツキがあってもどのイオンも不足とならぬよう必要以上に高濃度組成になっていると考えられるからである。必要十分のイオン濃度が維持できるイオン濃度測定制御法ならより低い濃度組成でも良好な生育が得られるはずで、省コストとともに環境に優しいシステムであることの実証を行う。さらに今回問題となった pH についてはもちろん、市販調合肥料の利用などについても試験を行う予定である。



第 5-2-1 図. 実験を行ったハウスと制御装置

第 5-2-1 表. 培養液調整に使用した試薬

薬品名	濃度 (M)
硝酸アンモニウム	1.42
リン酸 2 水素アンモニウム	0.71
硫酸アンモニウム	1.42
硝酸ナトリウム	0.86
リン酸 2 水素カリウム	0.985
硝酸カルシウム 4 水和物	0.90
硝酸カリウム	0.86
硫酸カリウム	0.49
硫酸マグネシウム 7 水和物	0.55



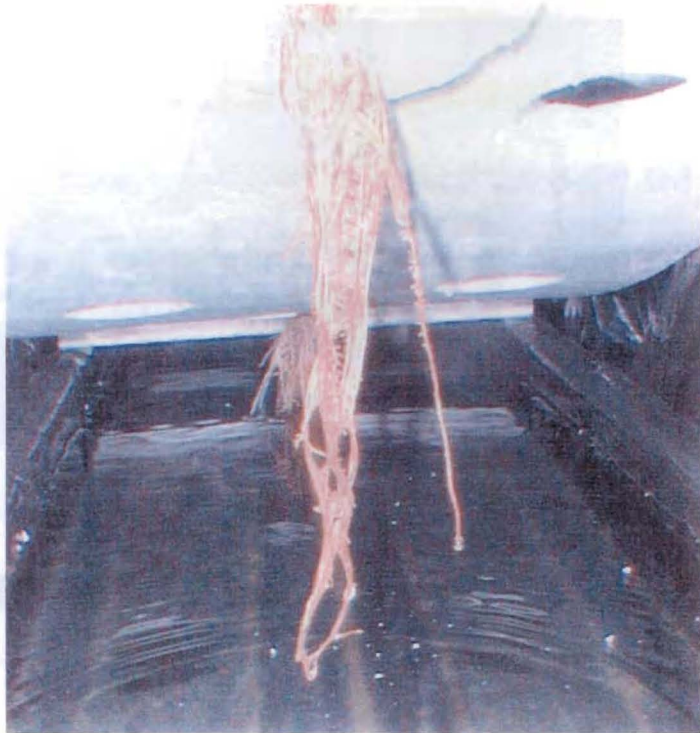
第 5-2-2 図. イオン濃度調整結果の精度



第 5-2-3 図. イオン濃度制御区における地上部の生育の様子



第 5-2-4 図. EC 制御区における地上部の生育の様子



第 5-2-5 図. イオン濃度制御区における根部の様子



第 5-2-6 図. EC 制御区における根部の様子

参考図



第 5-2-7 図. イオン濃度制御装置



第 5-2-8 図. EC 制御装置

3) “イオン濃度制御”によるキュウリの栽培試験

我国の養液栽培においてトマト，ミツバについて栽培面積が多く，施肥に対し反応しやすいキュウリ (*Cucumis sativus* L.) を用い，イオン濃度制御法と従来の EC 制御法とで栽培し，両者における生育，収量，果実中無機成分含量，培養液中無機成分含量を比較検討し，新たに開発したイオン濃度制御法の有用性を立証することを目的として行った。

(1) 材料および方法

キュウリ品種‘永緑’ (丸種) を供試した。夏作は 1999 年 6 月 1 日に，冬作は 1999 年 11 月 2 日に自根苗を定植した。処理区としてイオン濃度制御区 (以下イオン区とする) と EC 制御区 (以下 EC 区とする) の 2 区を設け，それぞれ 2 ベッドで，1 ベッド当たり 7 個体ずつを株間 50 cm で定植した。両区とも循環式湛液水耕とした。なお整枝法として夏作は 2 節摘心を，冬作は子づるつる下げ誘引を用いた。培養液は夏作，冬作ともに山崎キュウリ処方を，また微量要素として大塚ハウス肥料 5 号を用いた。ただしアンモニア態窒素については，予備試験でもう少し高めの方が適当と考えられ，かつ常に不足していたので組成の 2 倍濃度とした (以下修正山崎キュウリ処方と呼ぶ)。

イオン区では 1 週間に 1 度，培養液をサンプリングし，培養液中の硝酸態窒素，アンモニア態窒素，カリウム，マグネシウム，カルシウムを測定した。次に各イオンが修正山崎キュウリ処方の組成となるようにイオン濃度制御プログラムで補充すべき肥料の種類と量を計算し，その結果を基に各種濃厚肥料液を補充した。夏作においてはこの一連の動作をニシム電子工業株式会社のイオン濃度自動制御装置によって行った。リン，鉄については別の機器を用い測定のみ行った。手動で行った冬作ではリンを制御要素に付け加えたが，鉄については測定のみとした。また冬作では培養液の分析・制御頻度を高め，生育段階に応じた組成の変更も行った (第 5-3-1-1 表)。各イオンの測定は夏作ではカチオン (アンモニア態窒素，カリウム，マグネシウム，カルシウム) については東亜電波工業株式会社の IA-100 を用い，硝酸態窒素については東亜電波工業株式会社のイオンメーター IM-40S を，リン，鉄 (2 価鉄と 3 価鉄の合計値) は山本産業株式会社の β -6 Type II，マルチイオンメーターを用いた。冬作ではカチオンについては東ソー製イオンクロマトグラフィー (CCPS デュアルポンプ，CM-8020 電気伝導度検出器，CO-8020 カラムオープン，Chromatocorder 21) によって分析した。硝酸態窒素，リン，鉄については β -6 Type II，マルチイオンメーターを用いた。

EC 区では夏作・冬作いずれにおいても修正山崎キュウリ処方の EC 値である 2.2 dS/m を設定値として SS 式肥料管理機 (AS-3，シーアイ化成) で自動制御した。

EC，pH，液温は養液採取の都度，測定した。

収穫は各果実の長さが 22-23 cm になった時行った。収穫果実は外観より，A 品 (上物)，B 品 (中物)，C 品 (下物) の 3 段階に分けた。果実の無機成分含量の分析は夏作，冬作い

ずれも収穫期間を3期に分け、各期のA品果5個を凍結乾燥した粉末試料について行った。硝酸態窒素、アンモニア態窒素はイオン電極法で、リンは分光光度計による比色法で、カリウム、カルシウム、マグネシウムは原子吸光光度法で分析した。

(2) 結果および考察

培養液中の各要素濃度の推移

硝酸態窒素については夏作(第5-3-1図)において、イオン区では栽培後期になるにつれて $\text{NO}_3\text{-N}$ の吸収量が増加したが栽培期間を通じて1週間毎の調整で目標値に戻った。EC区では6/13に設定値を大きく上回ったが、6/25以降は設定値を下回って推移した。冬作(第5-3-2図)において、イオン区では11/30まで目標値を上回って推移したが、それ以降は1週間毎の調整でほぼ目標値に戻った。EC区では栽培前期以外は大体設定値を上回って推移した。

アンモニア態窒素については夏作(第5-3-3図)において、イオン区では7/2までは1週間毎の調整でほぼ目標値に戻った。目標値として山崎キュウリ処方の2倍の濃度を設定したが、7/9以降では1週間毎の調整でも目標値よりも10 mg/L前後低い値で推移した。EC区では6/21までは $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は設定値よりも10 mg/L前後高い値で推移したが、それ以降はほとんど検出限界以下に低下した。冬作(第5-3-4図)において、イオン区では夏作の結果を踏まえ、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度目標値を14→18→28 mg/Lと変更した。11/22~12/13は目標値よりも低い濃度で推移したがそれ以外は1週間毎の調整でほぼ目標値に戻った。EC区では初期に10 mg/Lとなったのを除いて、ほぼ2~3 mg/Lで推移した。

リンについては夏作(第5-3-5図)のイオン区では制御を行っておらず、栽培前期は目標値よりも高い値で推移し、栽培後期は低い値で推移した。EC区では7/13に設定値を下回ったが、それ以外は高い値で推移した。冬作(第5-3-6図)において、イオン区では1週間毎の調整でほぼ目標値に戻った。EC区では収穫開始後、12/21までは減少したが、12/21以降は増加した。

カリウムについては夏作(第5-3-7図)において、イオン区では $\text{NH}_4\text{-N}$ と類似した濃度の推移がみられた。EC区では6/21を除いて収穫終了時まで減少し続けた。冬作(第5-3-8図)において、イオン区では夏作の結果を踏まえ、K濃度目標値を234→345 mg/Lと変更した。12/28、12/31の調整で目標値よりも140 mg/L前後高い値となった他は、1週間毎の調整でほぼ目標値に戻った。EC区では11/10~11/26は設定値よりもかなり低い値で推移したが、それ以降はほぼ設定値を維持していた。

カルシウムについては夏作(第5-3-9図)において、イオン区では、7/2までは1週間毎の調整でほぼ目標値に戻ったが、それ以降では目標値より20 mg/L前後低い濃度で推移した。EC区では、栽培期間を通じて設定値よりも高い値で推移した。冬作(第5-3-10図)において、イオン区では夏作の結果を踏まえ、Ca濃度目標値を140→210→170 mg/Lと

変更した。11/15 までは目標値変更に伴い、ばらつきがみられたが、それ以降は 1 週間毎の調整で目標値付近まで濃度が戻った。また栽培後期になるに従って吸収量が多くなる傾向がみられた。EC 区では 11/15 以降、目標値よりもかなり高い値で推移した。冬作において、イオン区では 11/30 まで目標値を上回って推移したが、それ以降は 1 週間毎の調整でほぼ目標値に戻った。EC 区では栽培前期以外はおおむね設定値より高く推移した。

マグネシウムについては、夏作（第 5-3-11 図）において、イオン区で 7/11 までは 1 週間毎の調整では吸収に供給が追いつかなかったが、それ以降はほぼ目標値を維持できた。EC 区では、栽培期間を通じて高めに推移した。冬作（第 5-3-12 図）においては、イオン区で補正頻度を多くしたことによりほぼ目標値を維持できた。EC 区では、11 月中旬を除き高い値で推移した。

以上を総合すると EC 区において、夏作では収穫開始後 P、K 濃度の低下がみられた。Ca、Mg は目標値よりも高い値で推移した。また NH₄-N は収穫開始直後にほぼ 0 となり、以後も低いまま推移した。冬作では Ca、Mg、NH₄-N については同様の結果がみられたが、P、K 濃度は夏作と異なり上昇していた。イオン区において、夏作では P、K、NH₄-N は EC 区と同様の結果が得られたが、Ca、Mg は生育後期も吸収されていた。これはイオンバランスが良く、カチオン同士の拮抗作用が起きにくかったためではないかと考えられる。冬作でも同様の結果が得られた。イオン区では 1 週間毎の調整で夏作の P を除いてほぼ修正山崎キュウリ処方成分比を保っていた。

EC については、EC 区では夏作、冬作ともにほぼ設定値の 2.2 dS/m で推移した（第 5-3-13,14 図）。イオン区では夏作は 1.7 dS/m 前後で推移したのに対し、冬作では 11 月下旬から徐々に低下し始め、漸減傾向が続き、12 月末には約 1 dS/m まで下がった。

果実品質について

イオン区では夏作、冬作いずれにおいても、曲がり果、尻太り果の発生率が低くなり、A 品割合が高くなった（第 5-3-2, 3, 4, 5 表）。養液栽培では曲がり果と尻太り果の発生が比較的多く、曲がり果は株が若く草勢があるときは発生が少ないものの、収穫中後期になると増加し、培養液濃度が低下すると発生が助長されるといわれている。しかし本実験では収穫中後期にイオン区の方が EC 区よりも培養液の EC が低くなったにもかかわらず、曲がり果の発生が少なかった。また尻太り果は株が老化すると発生が多くなり、特に K が不足すると多発するとされている。本実験では夏作、冬作のいずれの処理区においても、株が老化した収穫中後期に K は不足していなかったが（第 5-3-7, 8 図）、EC 区では尻太り果の発生がイオン区よりも多くみられた。したがってイオン区は各イオンのバランスが良いため、株の老化を遅らせる効果があるとも考えられる。また夏作ではイオン区は収穫前期から後期までを通じ A 品の割合が EC 区よりも多くなり、冬作では C 品の割合が少なくなった（第 5-3-15, 16 図）。さらに検討が必要であるが、イオン濃度制御が不整形果の

発生を抑え、可販果割合を増加させたことは高く評価できる。

果実中無機成分について各要素ごとに見てみると、硝酸態窒素含有量については夏作では前期と後期においてイオン区が有意に低かった。冬作では期間を通じて有意差は見られなかったが前期ではイオン区、後期ではEC区が低くなる傾向が見られた(第5-3-6表)。

アンモニア態窒素含有量では夏作では中期と後期でイオン区が有意に高くなった。また期間を通じての変動はEC区、イオン区ともあまりみられなかった。冬作では有意差はなかったものの前期と後期ではイオン区が高く、中期ではEC区が高くなる傾向がみられた。また両区とも期間を通じて後期になるほど高くなる傾向がみられた。(第5-3-7表)。

リン含有量は夏作では期間を通じてEC区で有意に高くなった。また後期になるほど高くなる傾向がみられた。冬作では期間を通じて有意差はみられなかった。また夏作とは逆に後期になるほど低くなる傾向がみられた(第5-3-8表)。

カリウム含有量は夏作では前期と中期でEC区が有意に高くなった。後期でも有意差はなかったもののEC区が高い傾向を示した。冬作では中期にEC区で有意に高くなったが前期と後期では有意差はなかった(第5-3-9表)。

カルシウム含有量は夏作では期間を通じて有意差はみられなかった。EC区、イオン区とも後期になるほど高くなる傾向がみられた。冬作では後期でイオン区が有意に高くなった。EC区、イオン区とも後期になるほど低くなる傾向がみられ、EC区では顕著であった(第5-3-10表)。

マグネシウム含有量は夏作では期間を通じて有意差はみられなかった。両処理区とも中期で高くなり後期で低くなる傾向がみられた。冬作では前期でEC区が有意に高くなったが中期、後期では有意差はなかった(第5-3-11表)。

以上の結果を総合すると、夏作ではアンモニア態窒素を除きEC区の方が果実内無機成分含量がわずかに高い傾向がみられたが、冬作ではイオン区、EC区に差はみられなかった。アンモニア態窒素含量がイオン区で高くなったのは、イオン区では培養液中の濃度がEC区よりも高く維持されていたためと考えられる。夏作イオン区でEC区に比べ硝酸態窒素含量が有意に減少したのは、近年硝酸態窒素の摂取を控えることが勧められていることから意義深いと考えられる。

本実験の結果、イオン濃度制御によって培養液中の成分バランスの乱れが少なくなり、培養液の更新の必要がなくなる可能性が示された。実際栽培では本実験よりもはるかに多くの個体を栽培し、長い期間収穫を行うのが普通である。栽培期間が長くなると培養液中のイオン濃度バランスの乱れが大きくなる。近年の消費者の高品質志向に対応し、鮮度を長く保つためにも培養液組成、管理法の改善が望まれる。本実験より、キュウリの培養液は収穫盛期にはKを重点的に補給し、またCa、Feは再移動性の小さな元素であるから、常に補給されるようにし、NH₄-Nに関しても特に生育後期に多く補給するのが望ましいと考えられる。またキュウリの場合低日照下では、全窒素中のNO₃-Nの比率がやや低い方

が生育が良いという報告もある。今後さらに簡易なイオン濃度測定法の開発や，現在よりも全体的に低いイオン濃度での栽培が可能と考えられるので，各イオンの相互作用を含め，検討していく必要がある。

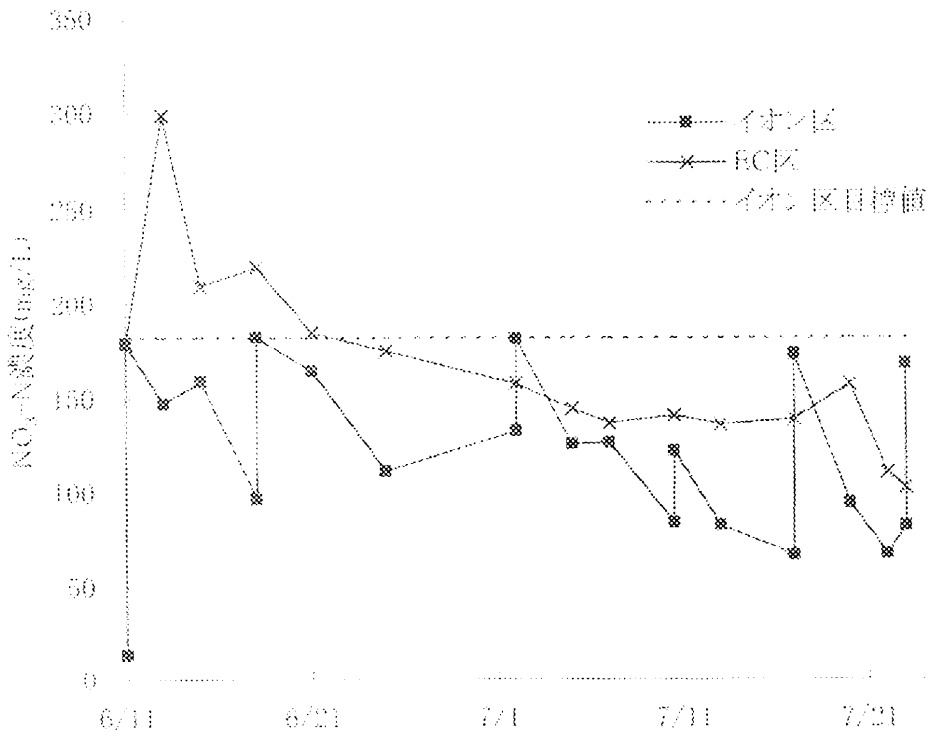
第 5-3-1 表. イオン濃度制御区の夏作, 冬作における
培養液の補正日と無機成分目標値 (mg/L)

補正日	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg
6/5	182	28	31	234	140	48
6/11	182	28	31	234	140	48
6/18	182	28	31	234	140	48
7/2	182	28	31	234	140	48
7/8	夏作収穫開始(EC区も同日)					
7/10	182	28	31	234	140	48
7/17	182	28	31	234	140	48
7/23	182	28	31	234	140	48
補正日	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg
11/2	182	14	31	234	140	48
11/5	182	14	31	234	140	48
11/10	182	14	31	234	140	48
11/15	182	14	31	234	140	48
11/18	182	14	31	234	140	48
11/22	182	18	31	345	210	48
11/26	182	28	31	345	210	48
11/30	182	28	31	345	210	48
12/6	182	28	31	345	210	48
12/8	冬作収穫開始(EC区では12/10)					
12/9	182	28	31	345	210	48
12/13	182	28	31	345	210	48
12/16	182	28	31	345	210	48
12/20	182	28	31	345	210	48
12/25	182	28	31	345	210	48
12/28	182	28	31	345	210	48
12/31	182	28	31	345	170	48
1/5	182	28	31	345	170	48

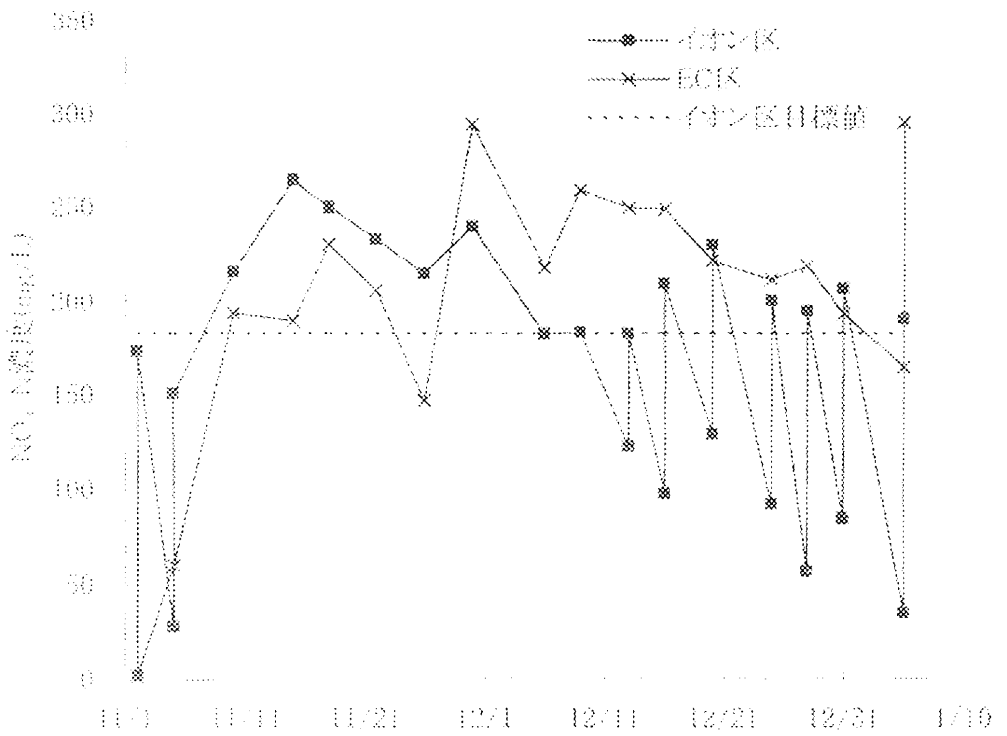
夏作では1回日の採取・分析後30分ないし1時間培養液の調整を行い、その後2回目の採取・分析を行った。さらにその3日後にも採取・分析を行った。

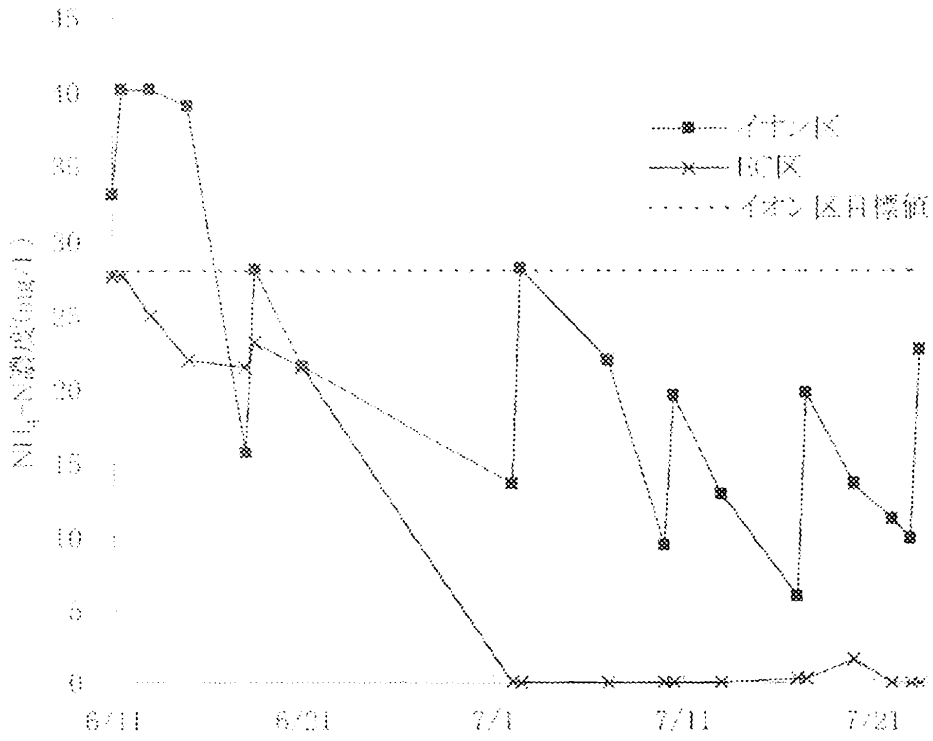
冬作では補正日の翌日に2回目の採取・分析を行った。

EC制御区の無機成分目標値は藤田山崎キョウリ処方でEC2.2dS/cm維持のため夏作イオン濃度制御区と同じである。

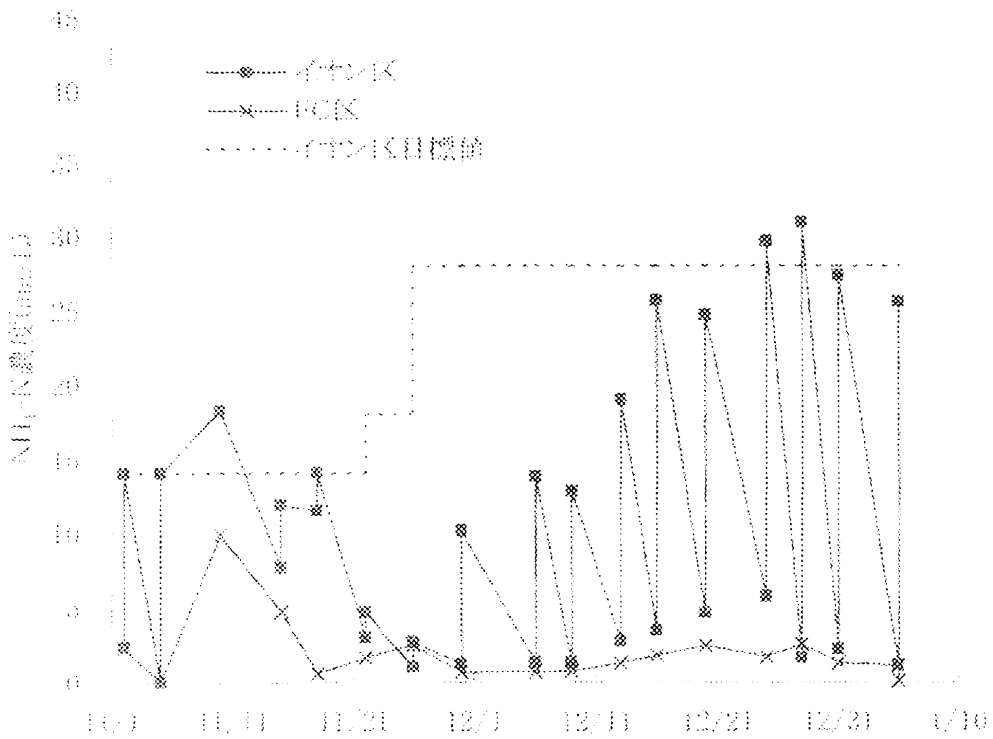


第 5-3-1 図. 夏作キュウリにおける培養液中 NO₃-N 濃度の推移

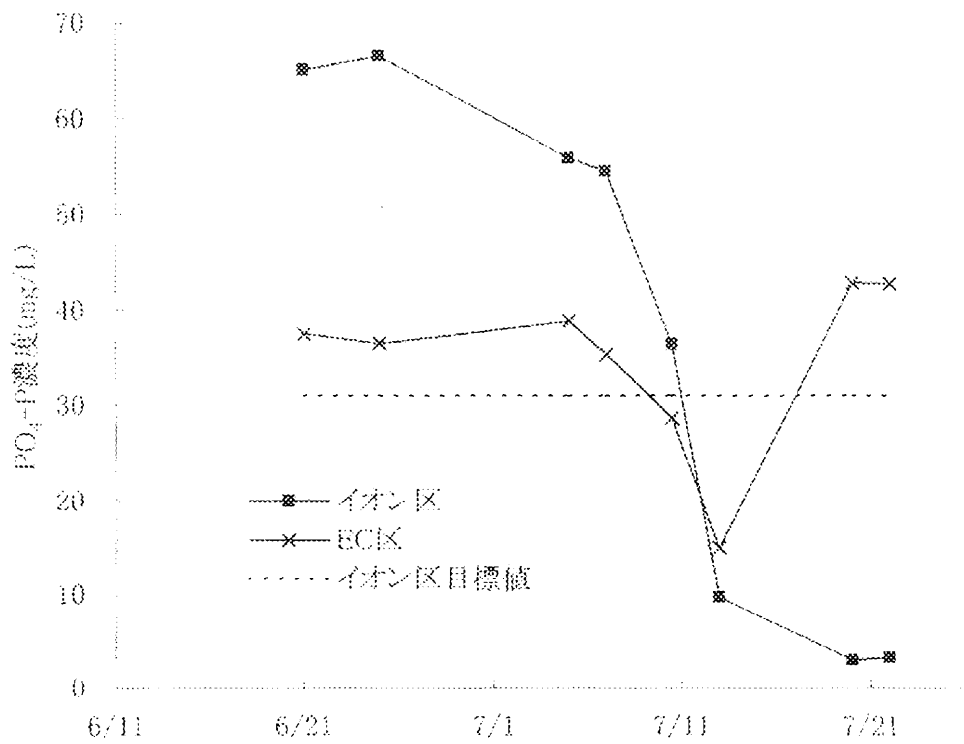




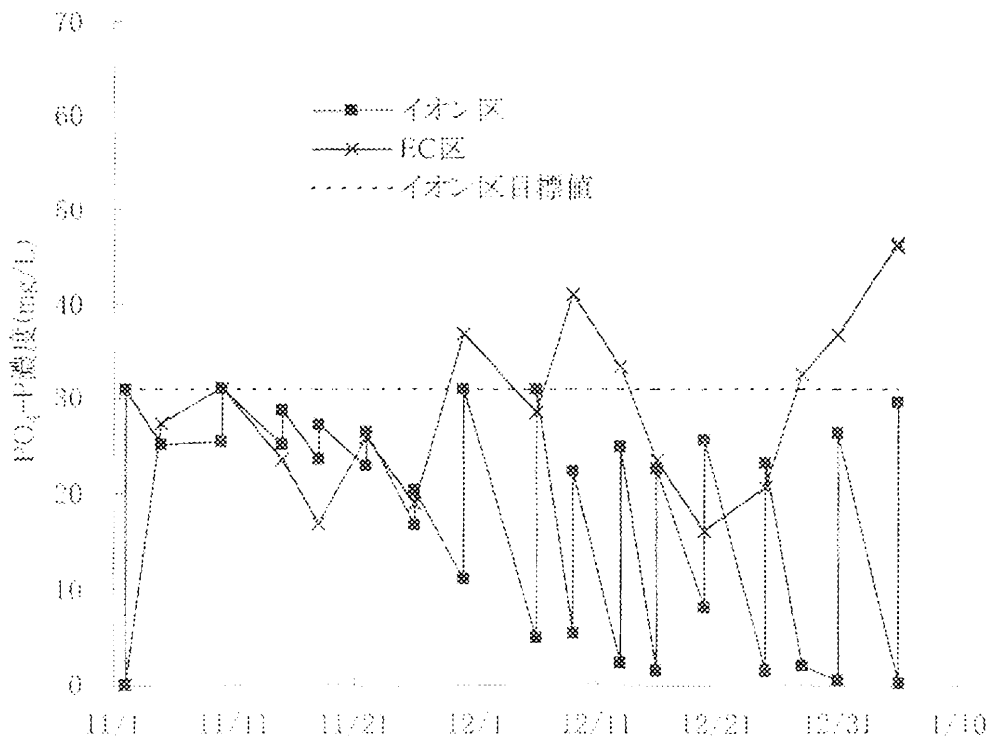
第 5-3-3 図. 夏作キュウリにおける培養液中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の推移



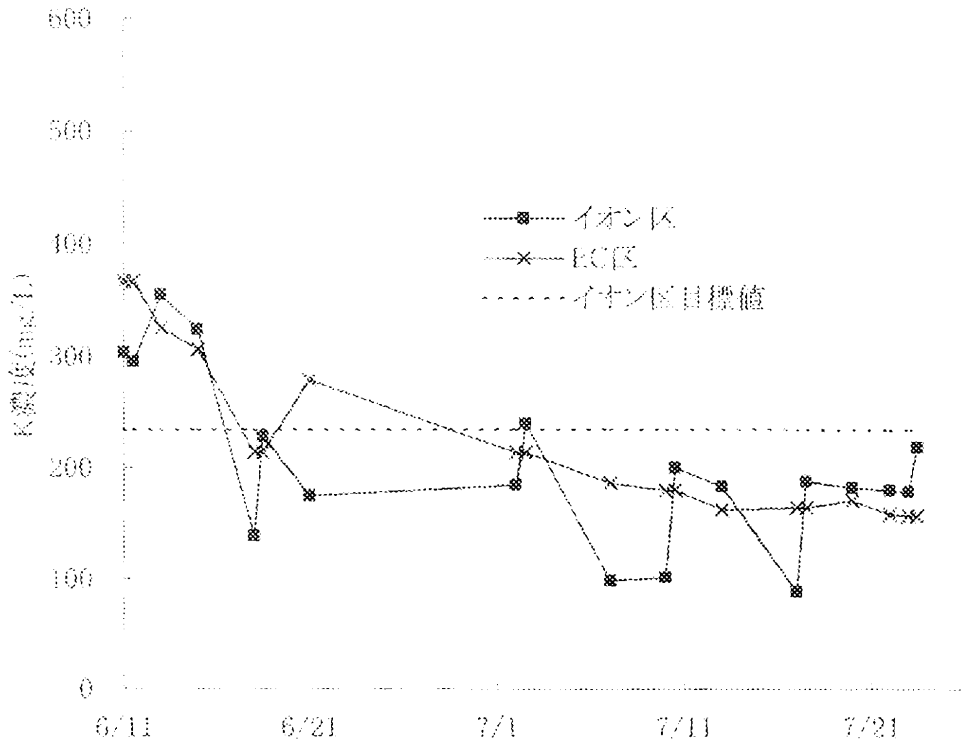
第 5-3-4 図. 冬作キュウリにおける培養液中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の推移



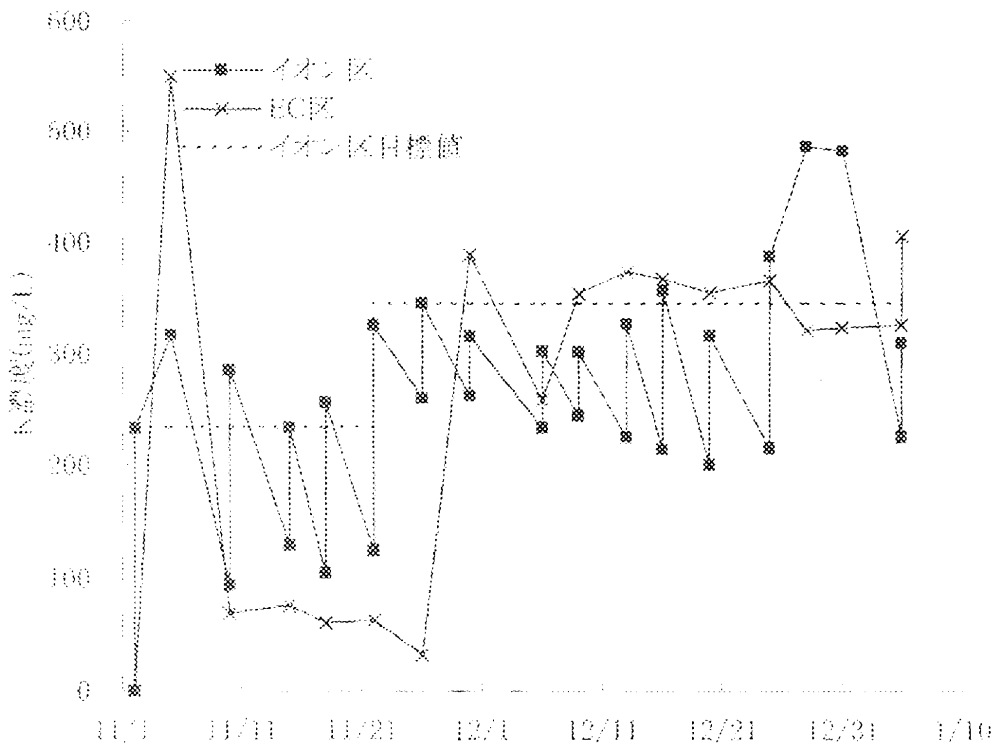
第 5-3-5 図. 夏作キュウリにおける培養液中 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の推移



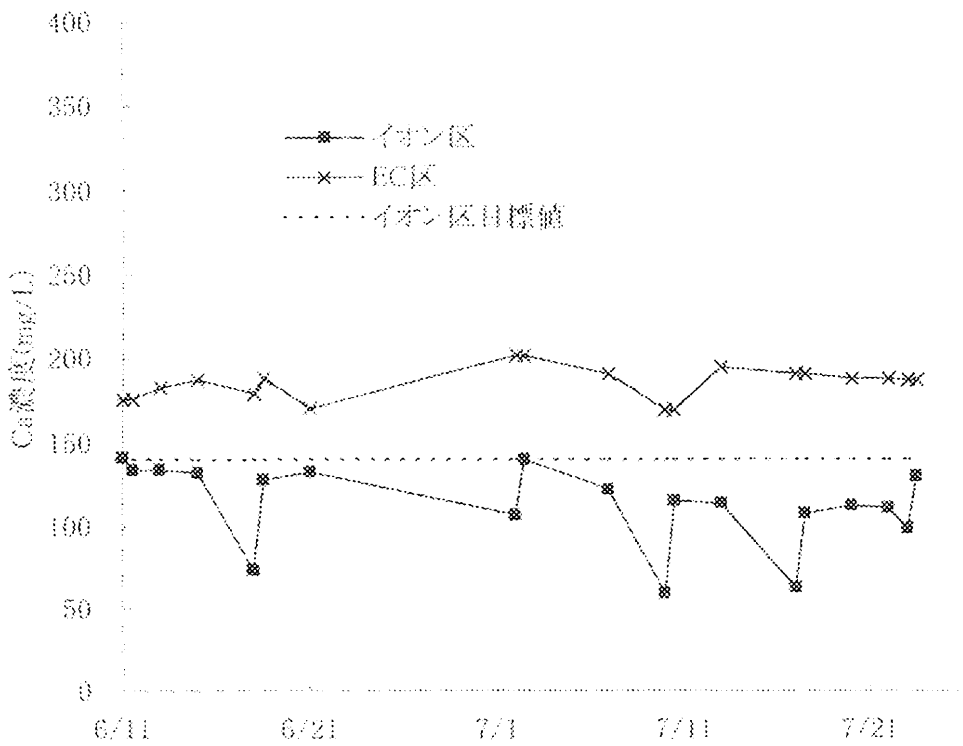
第 5-3-6 図. 冬作キュウリにおける培養液中 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の推移



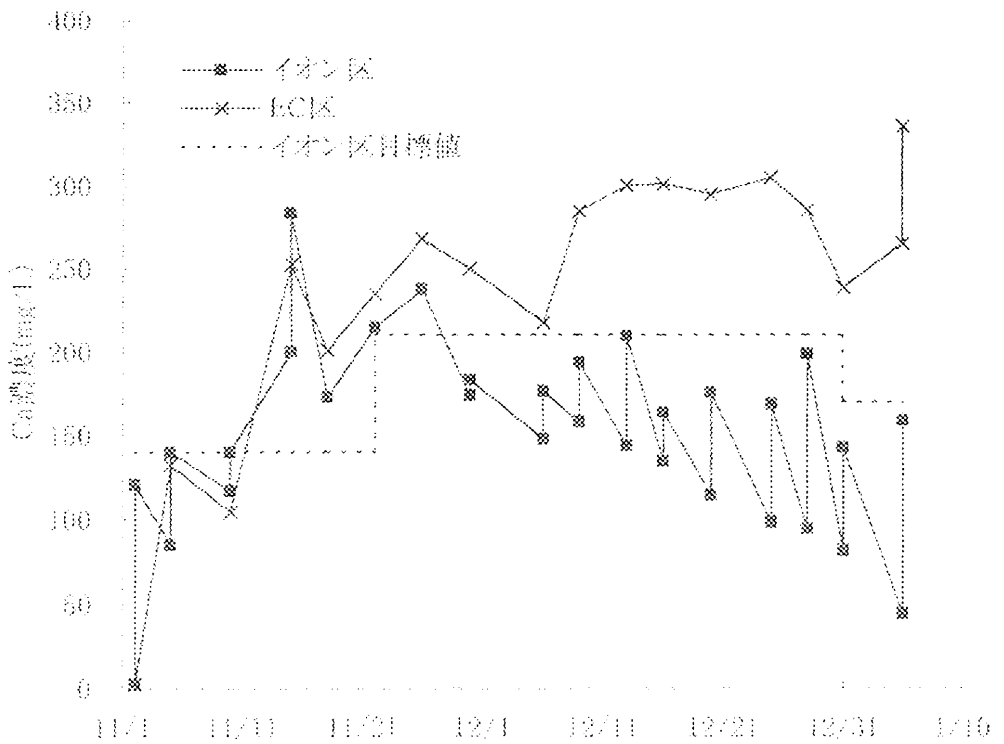
第 5-3-7 図. 夏作キュウリにおける培養液中 K 濃度の推移



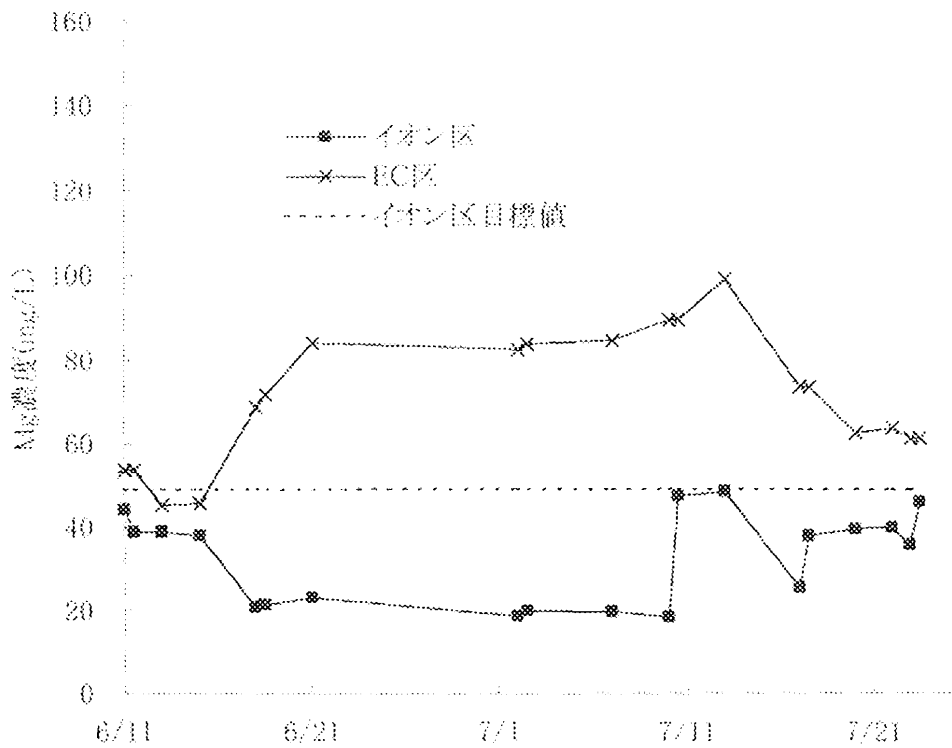
第 5-3-8 図. 冬作キュウリにおける培養液中 K 濃度の推移



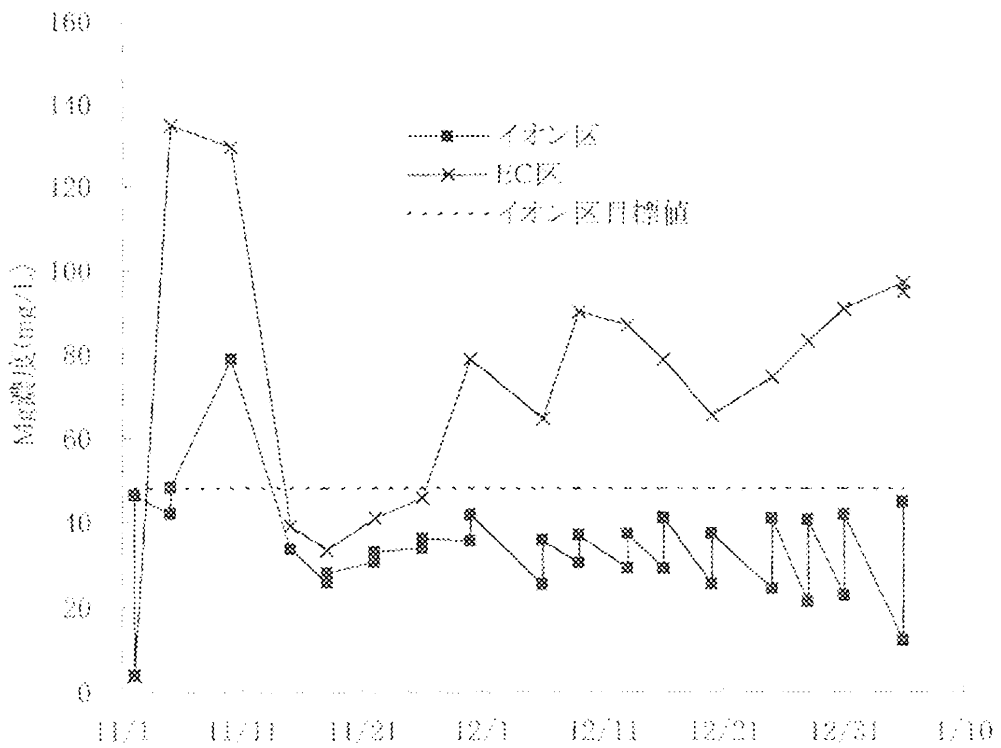
第 5-3-9 図. 夏作キュウリにおける培養液中 Ca 濃度の推移



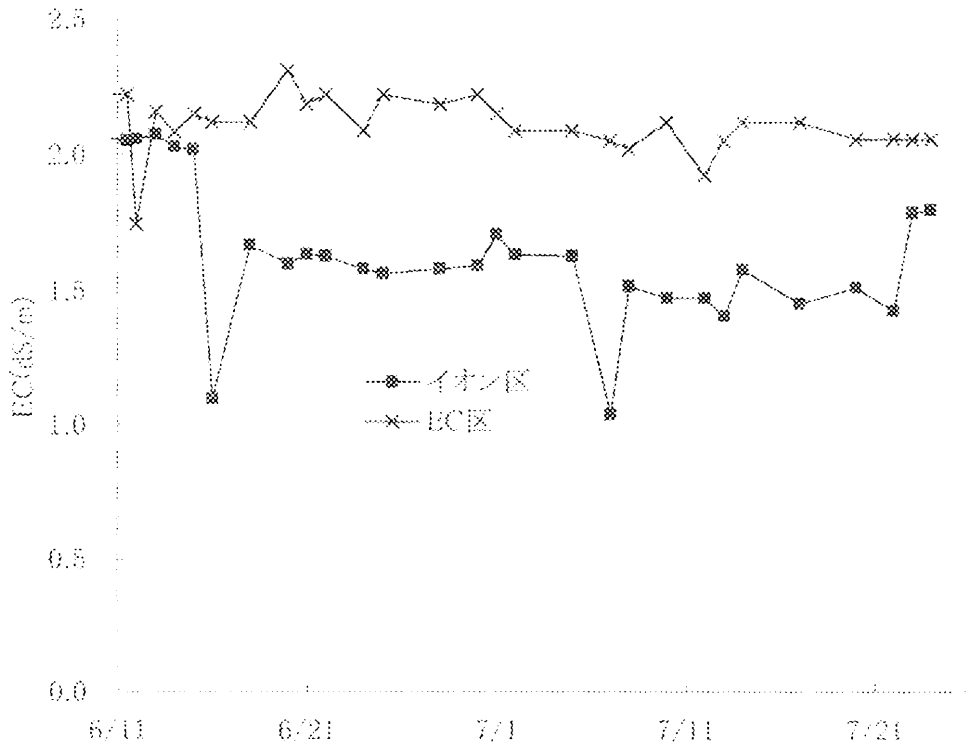
第 5-3-10 図. 冬作キュウリにおける培養液中 Ca 濃度の推移



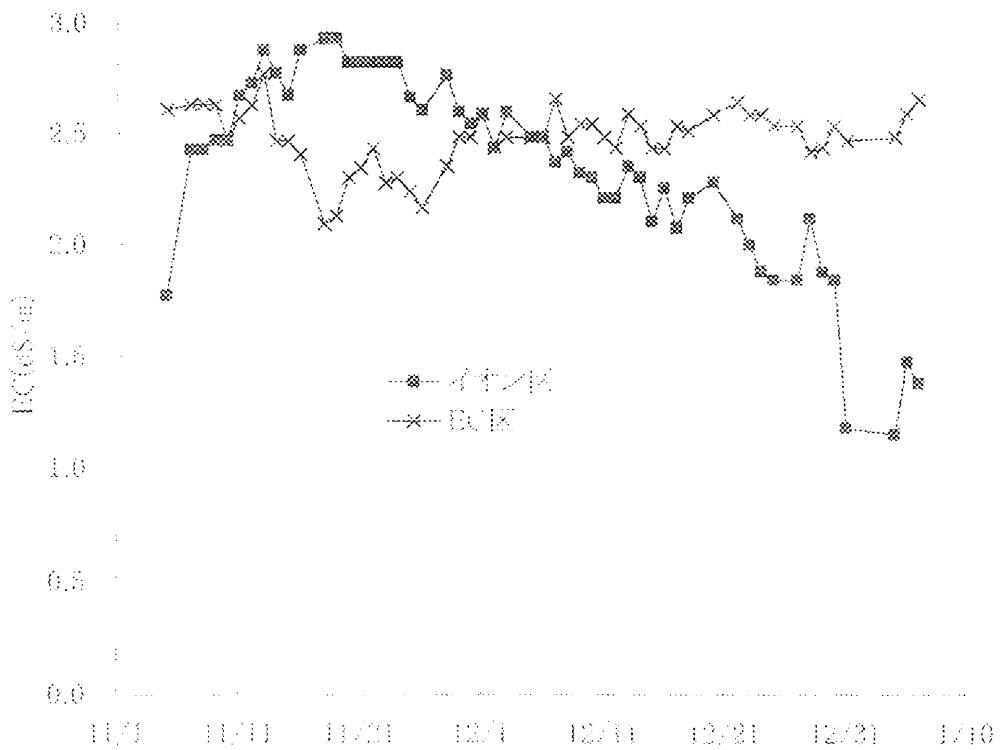
第 5-3-11 図. 夏作キュウリにおける培養液中 Mg 濃度の推移



第 5-3-12 図. 冬作キュウリにおける培養液中 Mg 濃度の推移



第 5-3-13 図. 夏作キュウリにおける培養液中 EC の推移



第 5-3-14 図. 冬作キュウリにおける培養液中 EC の推移

第 5-3-2 表. 培養液制御方式の違いが夏作キュウリの収量と等級に及ぼす影響

処理区	等級(%)			総収量(果数)
	A品	B品	C品	
イオン区	59.8	29.9	10.3	117
EC区	37.9	44.8	17.3	58

第 5-3-3 表. 培養液制御方式の違いが冬作キュウリの収量と等級に及ぼす影響

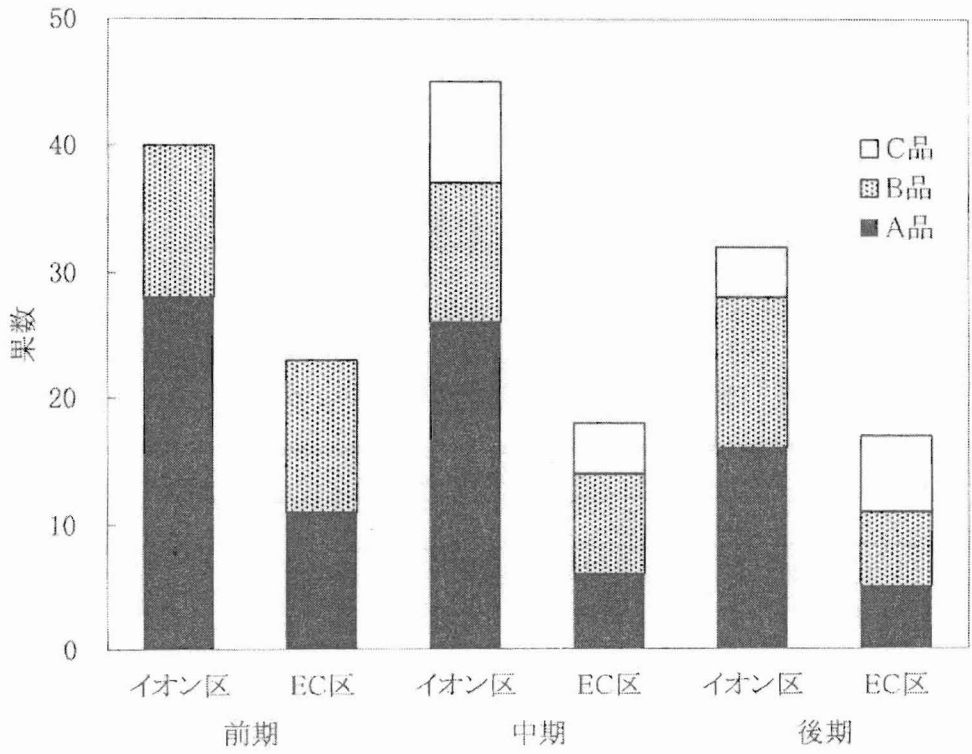
処理区	等級(%)			総収量(果数)
	A品	B品	C品	
イオン区	68.6	25.5	5.8	204
EC区	53.7	31.3	15.0	201

第 5-3-4 表. 培養液制御方式の違いが夏作キュウリの不整形果割合に及ぼす影響

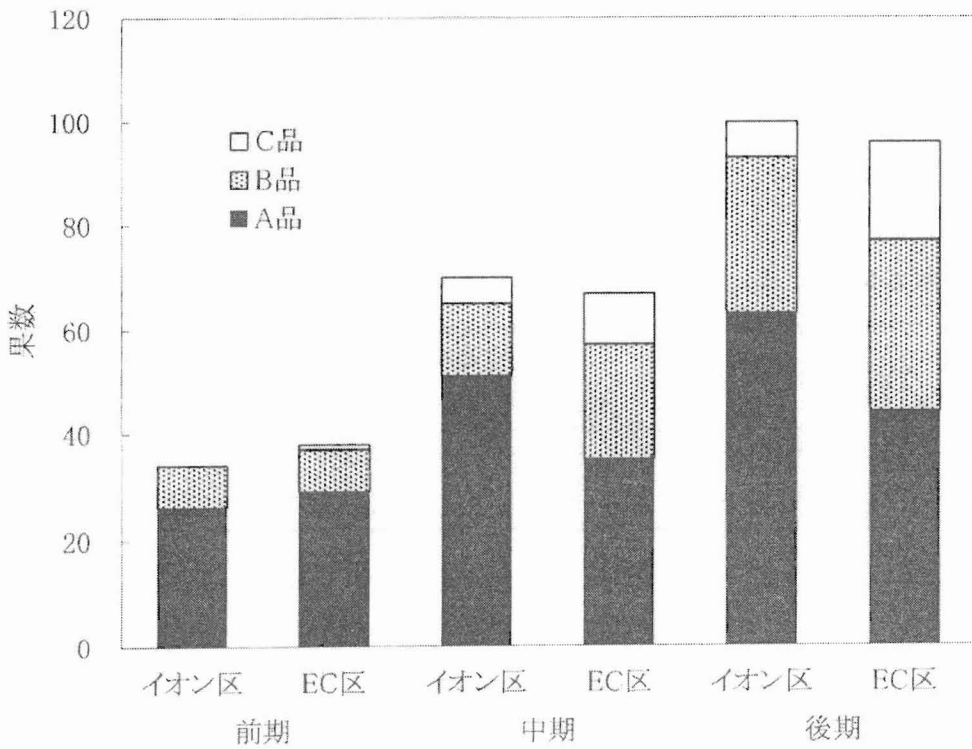
処理区	不整形果(%)			可販果割合(%)
	曲がり果	尻太り果	その他	
イオン区	3.4	1.7	5.2	89.7
EC区	5.2	3.4	8.7	82.7

第 5-3-5 表. 培養液制御方式の違いが冬作キュウリの不整形果割合に及ぼす影響

処理区	不整形果(%)		可販果割合(%)
	曲がり果	尻太り果	
イオン区	2.9	2.9	94.2
EC区	9.0	6.0	85.0



第 5-3-15 図. 培養液制御方式の違いが夏作キュウリの時期別収量と等級に及ぼす影響



第 5-3-16 図. 培養液制御方式の違いが冬作キュウリの時期別収量と等級に及ぼす影響

第 5-3-6 表. 培養液制御方式の違いが夏作, 冬作キュウリの
果実中硝酸態窒素含有量に及ぼす影響

処理区	硝酸態窒素含有量(mg/g d.w.)					
	夏作			冬作		
	前期	中期	後期	前期	中期	後期
イオン区	27.96	79.91	28.78	40.47	57.66	54.72
EC区	53.94	51.76	71.45	55.68	55.92	30.85
ANOVA ^z	*	NS	*	NS	NS	NS

^z: NS, * および ** は分散分析により, それぞれ有意差なし, P=0.05, 0.01で有意差あり.

第 5-3-7 表. 培養液制御方式の違いが夏作, 冬作キュウリの
果実中アンモニア態窒素含有量に及ぼす影響

処理区	アンモニア態窒素含有量(mg/g d.w.)					
	夏作			冬作		
	前期	中期	後期	前期	中期	後期
イオン区	7.25	7.19	7.02	5.60	6.21	8.31
EC区	4.96	5.07	4.59	5.19	6.69	8.18
ANOVA ^z	NS	**	**	NS	NS	NS

^z: NS, * および ** は分散分析により, それぞれ有意差なし, P=0.05, 0.01で有意差あり.

第 5-3-8 表. 培養液制御方式の違いが夏作, 冬作キュウリの
果実中リン含有量に及ぼす影響

処理区	リン含有量(mg/g d.w.)					
	夏作			冬作		
	前期	中期	後期	前期	中期	後期
イオン区	30.32	35.46	36.11	40.62	37.18	31.16
EC区	40.39	42.40	44.67	42.25	36.78	31.42
ANOVA ^z	*	*	*	NS	NS	NS

^z: NS, * および ** は分散分析により, それぞれ有意差なし, P=0.05, 0.01で有意差あり.

第 5-3-9 表. 培養液制御方式の違いが夏作, 冬作キュウリの
果実中カリウム含有量に及ぼす影響

処理区	カリウム含有量(mg/g d.w.)					
	夏作			冬作		
	前期	中期	後期	前期	中期	後期
イオン区	123.53	129.67	149.53	172.58	131.23	156.96
EC区	161.41	184.17	176.42	191.12	161.25	151.72
ANOVA ²	*	**	NS	NS	**	NS

²: NS, * および ** は分散分析により, それぞれ有意差なし, P=0.05, 0.01で有意差あり.

第 5-3-10 表. 培養液制御方式の違いが夏作, 冬作キュウリの
果実中カルシウム含有量に及ぼす影響

処理区	カルシウム態窒素含有量(mg/g d.w.)					
	夏作			冬作		
	前期	中期	後期	前期	中期	後期
イオン区	21.48	35.48	36.11	26.33	26.48	24.58
EC区	40.39	42.40	44.67	26.35	21.00	17.45
ANOVA ²	NS	NS	NS	NS	NS	*

²: NS, * および ** は分散分析により, それぞれ有意差なし, P=0.05, 0.01で有意差あり.

第 5-3-11 表. 培養液制御方式の違いが夏作, 冬作キュウリの
果実中マグネシウム含有量に及ぼす影響

処理区	マグネシウム含有量(mg/g d.w.)					
	夏作			冬作		
	前期	中期	後期	前期	中期	後期
イオン区	17.82	26.98	22.42	20.14	23.43	25.10
EC区	23.65	28.76	21.92	31.66	23.75	24.01
ANOVA ²	NS	NS	NS	**	NS	NS

²: NS, * および ** は分散分析により, それぞれ有意差なし, P=0.05, 0.01で有意差あり.

4) 培養液イオン濃度調整システムにおける pH の安定化

循環式湛液水耕での培養液の管理にイオン濃度制御を実際に導入して試験栽培を行った結果、実用化可能との結果を得た。しかし、再検討が必要な箇所もいくつか明らかになった。その中で特に pH の変動に関して前節 3) で述べた実験の中で検討を行った。

(1) pH 変動の原因

本システムでは培養液の組成・濃度の制御に、硝酸態窒素、アンモニア態窒素をはじめとする培養液中のイオン濃度を測定し、目標値に対して不足している分だけ追加注入するという方式をとっている。したがって制御ループの中に pH のパラメーターが存在せず、結果として pH がどのように変動しようともそれに関係なくイオン濃度についてのみ条件を満たすよう動作する。

また、追加注入する薬品類は主にイオンの状態で養液中に存在するが、これらイオンはそれぞれ別の解離定数を有しており、一定濃度で溶解している場合でも pH に対する影響は様々である。さらに重炭酸やリン酸の緩衝効果も含めると、pH 変動の原因は複雑多岐である。

(2) pH 変動による影響

一般に各植物の成長に好適な pH はある範囲内に限られる。これは植物により代謝機構の違いなどから各栄養素の要求比率が異なり、各栄養素の吸収利用効率も pH により違ってくこと、耐性機構の違い、共生根圏微生物の好適 pH の違いなどに由来する。したがって、各植物の好適 pH から大きく外れた培養液で栽培を行うと植物体の成長鈍化に始まり栄養障害、根の壊死などの現象が現れる。これらは生産量・収穫量の減少に結びついてしまう。

(3) pH の安定化を行う方法

現在一般に実用化されている養液栽培プラントでは主に EC 制御により養液の管理を行っているが、このタイプのシステムでは pH が変動した場合、各種の酸・アルカリを濃厚培養液とは別に添加して pH を元に戻すといった操作が通常行われている。また長期間にわたる栽培では培養液の全量交換を栽培途中で行うことで各種の養液に起因するトラブルを防止するため、pH 変動が顕在化しにくいともいえる。

しかしイオン濃度制御では、長期間にわたり培養液交換を不要にするという目標が存在するので、全量交換といった方法は緊急時以外採用できない。また単純に酸やアルカリを添加する方法では、培養液の組成制御のために測定しているイオン濃度そのものに影響が出てしまうので、使用できる薬品の種類が限定され、またイオン濃度計算のロジックにも大幅に手を加えなければならないので採用しにくい。

以上の理由により、イオン濃度制御システムに組み込みやすく実用上問題のない程度まで pH を安定化できる新しいロジックの検討を行った。

(4) 新しい pH 安定化ロジック

本システムの内部では追加注入する薬品の種類・量を計算するときその薬品に含まれている全種類のイオンあるいは官能基に関する計算を行っている（第 5-4-1 図）。これは植物体に栄養分として吸収されるもの以外についても、である。当然のことながら、この中には H^+ （プロトン）・ OH^- （水酸基）も含まれている。このことを利用して $H^+=OH^-$ という条件を培養液組成算出条件に加えることにした（第 5-4-2 図）。

(5) 栽培結果

pH 安定化ロジックを組み込まなかった夏作と、組み込んだ冬作の pH の変動を比較すると（第 5-4-3, 4 図）、冬作の中期以降で変動が少なくなっている。冬作前期で pH が大きく低下しているのは培養液組成算出条件中の $H^+=OH^-$ 条件の順位を最下位に設定していたため、条件が満たされないことが多かったためである。栽培中期以降は $H^+=OH^-$ 条件を最上位に設定したため常に条件が満たされるようになり、pH の安定化が実現した。

収量に関しては、夏作では EC 制御に比べイオン濃度制御の方が高かったものの収穫後期に減少した（第 5-3-15 図）。これは夏作ではリン濃度の制御を行っていないため、収穫後期に濃度がほぼ 0 に近い状態で推移したことと、栽培中期に培養液の pH が極端に下がり根が大きなストレスを受けた結果と考えられる。一方冬作ではリン濃度を制御の対象に加えたことである程度の濃度を維持したことと、 $H^+=OH^-$ 条件を加えたことにより栽培前期の pH 低下幅の縮小とその後の安定化により、根に対するストレスが少なかったため老化があまり進行せず、結果として収量の減少がなかった（第 5-3-16 図）と考えられる。

収穫果実の無機成分含量に関しては硝酸態窒素とマグネシウムにおいて差が見られた。夏作における硝酸態窒素は収穫前期と後期で低く収穫中期に高くなった（第 5-3-6 表）。これは栽培中期での pH の極端な低下により硝酸態窒素の吸収量が減少し、その影響が収穫後期の果実におよんだものと考えられる。一方冬作では pH の安定化により窒素吸収が阻害されなかったため収穫中期と後期でほぼ同様の硝酸態窒素含有量となったと考えられる。マグネシウムについても同様の傾向がみられた（第 5-3-11 表）。

(6) 今後の課題

pH 安定化ロジックを組み込んだことにより一応 pH を安定させることができた。しかしこのことによる副作用が発生した。設定する条件が増えたためにすべての条件を満足する解が存在しない確率が多くなり、その結果、特定の条件が連続して満足されず、ある要素が不足した状態に陥るということである。具体的には冬作で栽培前期からマグネシウムの

注入不足が生じた。これはマグネシウムの条件順位を最下位に設定していたためである。その対策として、すべての条件設定に＝（イコール）を用いていたのを改め、 \leq や \geq を用いるという方法がある。すなわちあまり過剰障害の発生しない要素に対しては「設定値以上であれば一定の範囲まで過剰注入しても良い」といった条件設定を行う。また、条件順位に関しても検討の必要があると考えている。

Microsoft Excel - 19991206.xls

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 挿入(I) 書式(O) ツール(T) データ(D) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)

0B257

	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BH	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY
1	me	NO3-N	SO4-S	PO4-P	Cl-	OH-	Mo7O24 6-	NH4-N	Mg2+	Ca2+	K+	Na+	H+	B3+	Fe3+	Mn2+	Cu2+	Zn2+
2	NH4NO3	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	NH4H2PO4	0.00	0.00	2.52	0.00	0.00	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	(NH4)2SO4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	KH2PO4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Ca(NO3)2 4H2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	CaCl2 2H2O	0.00	0.00	0.00	3.11	0.00	0.00	0.00	0.00	3.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	KN03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	K2SO4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	KCl	0.00	0.00	0.00	1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	MgSO4 7H2O	0.00	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	NaN03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	KOH	0.00	0.00	0.00	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
122																		
123	me	NO3-N	SO4-S	PO4-P	Cl-	OH-	Mo7O24 6-	NH4-N	Mg2+	Ca2+	K+	Na+	H+	B3+	Fe3+	Mn2+	Cu2+	Zn2+
124	sum total	0.05	0.87	2.52	4.27	1.68	0.00	0.89	0.87	3.11	2.84	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
251																		
252		NO3-N	SO4-S	PO4-P	Cl-	OH-	Mo7O24 6-	NH4-N	Mg2+	Ca2+	K+	Na+	H+	B3+	Fe3+	Mn2+	Cu2+	Zn2+
253	set (me)	8.00		2.00				0.67	2.00	3.28	4.00							
254																		
255																		
256																		
257																		
258																		
259																		

商品定義入力条件: 計算 / コマンド

第 5-4-1 図. 条件・計算テーブルの内容.

薬品に含まれる全てのイオンと官能基を定義している

Microsoft Excel - 19991206.xls

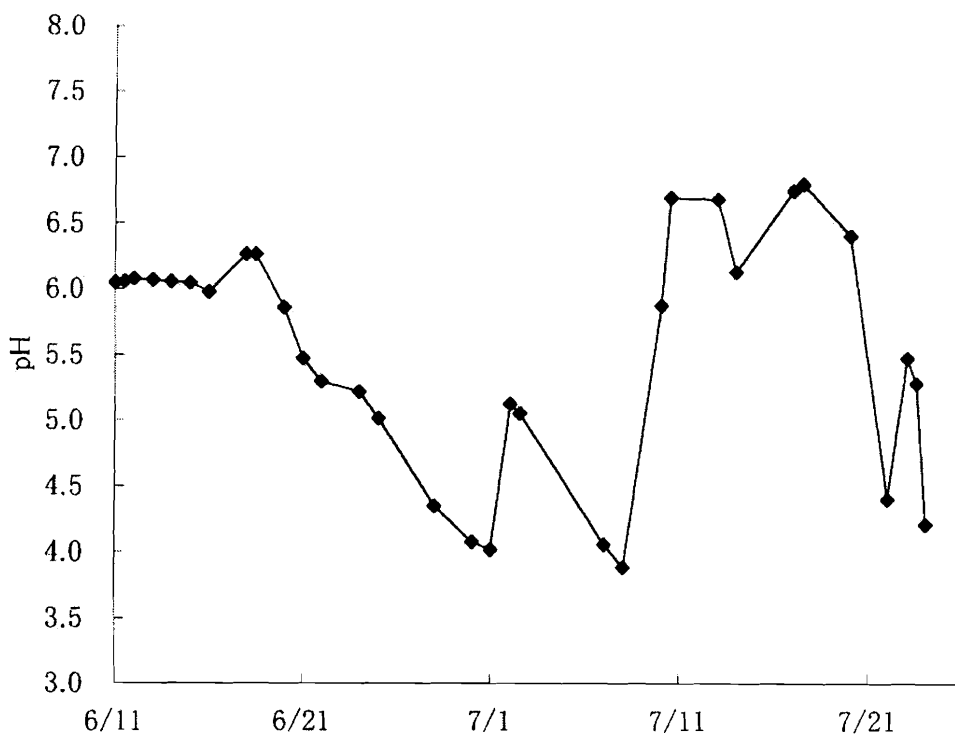
ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 挿入(I) 書式(O) ツール(T) データ(D) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)

AF124

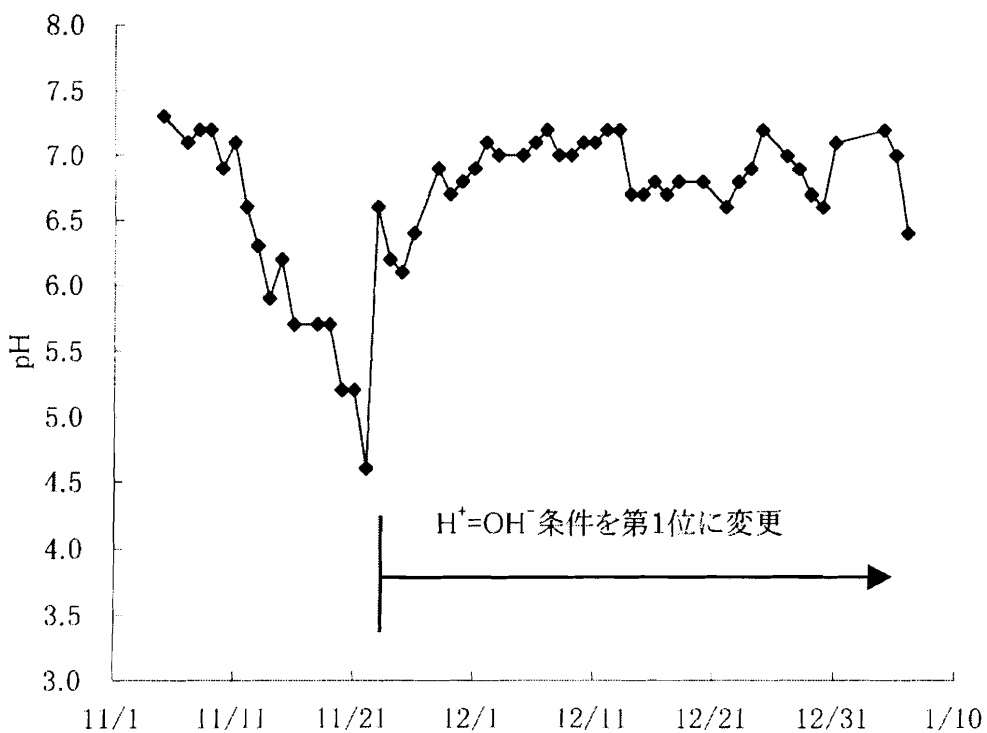
	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BIB	BIB	BIB	BIB	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW
1	SO4-S	PO4-P	Cl-	OH-	0.00	Mo7O24 6-	#####	#####	#####	#####	NH4-N	Mg2+	Ca2+	K+	Na+	H+	B3+	Fe3+	Mn2+
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	#####	#####	#####	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	2.52	0.00	0.00	0.00	0.00	#####	#####	#####	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	#####	#####	#####	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	#####	#####	#####	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	#####	#####	#####	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	3.11	0.00	0.00	0.00	#####	#####	#####	0.00	0.00	3.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	#####	#####	#####	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	#####	#####	#####	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	1.16	0.00	0.00	0.00	#####	#####	#####	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	#####	#####	#####	0.00	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	#####	#####	#####	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	1.68	0.00	#####	#####	#####	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
122																			
123	SO4-S	PO4-P	Cl-	OH-	0.00	Mo7O24 6-	#####	#####	#####	#####	NH4-N	Mg2+	Ca2+	K+	Na+	H+	B3+	Fe3+	Mn2+
124	0.87	2.52	4.27	1.68	0.00	0.00	#####	#####	#####	0.89	0.87	3.11	2.84	0.00	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00
251																			
252	SO4-S	PO4-P	Cl-	OH-	0	Mo7O24 6-					NH4-N	Mg2+	Ca2+	K+	Na+	H+	B3+	Fe3+	Mn2+
253		2.00									0.67	2.00	3.28	4.00					
254																			
255																			
256																			
257																			
258																			
259																			

商品定義入力条件: 計算 / コマンド

第 5-4-2 図. 新たに培養液算出条件に組み込んだ $H^+=OH^-$ という条件



第 5-4-3 図. 夏作における培養液の pH 変化 (pH 安定化ロジック無し)



第 5-4-4 図. 冬作における培養液の pH の変化 (pH 安定化ロジック有り)

5) “イオン濃度制御”によるイチゴの栽培試験

(1) 材料および方法

イチゴ(*Fragaria*×*ananassa* Duch.) ‘あすカルビー’を供試した。温度勾配恒温器を用い、15℃低温暗黒条件で花芽分化促進処理を20日間行なった苗24個体を、1999年10月4日に定植した。苗は、ロックウールスラブを薄切りにしたもので地下部を包み、5cm径のネトロンパイプに差し込み、高設湛液水耕ベッド(シーアイSS式水耕ベッド)に株間17cmで1ベットあたり12個体ずつ定植した。培養液は24時間循環させた。処理区として、イオン区とEC区の2区を設け、イオン濃度制御区においては3日おきにタンク内から培養液を採取・分析し、各要素が山崎イチゴ処方を満たすようにイオン濃度自動制御プログラムで補充すべき試薬量を計算し、試薬を組み合わせる添加した。EC区においては常にEC値が1.2 dS/mになるようにSS式肥料管理機によって自動制御を行った。

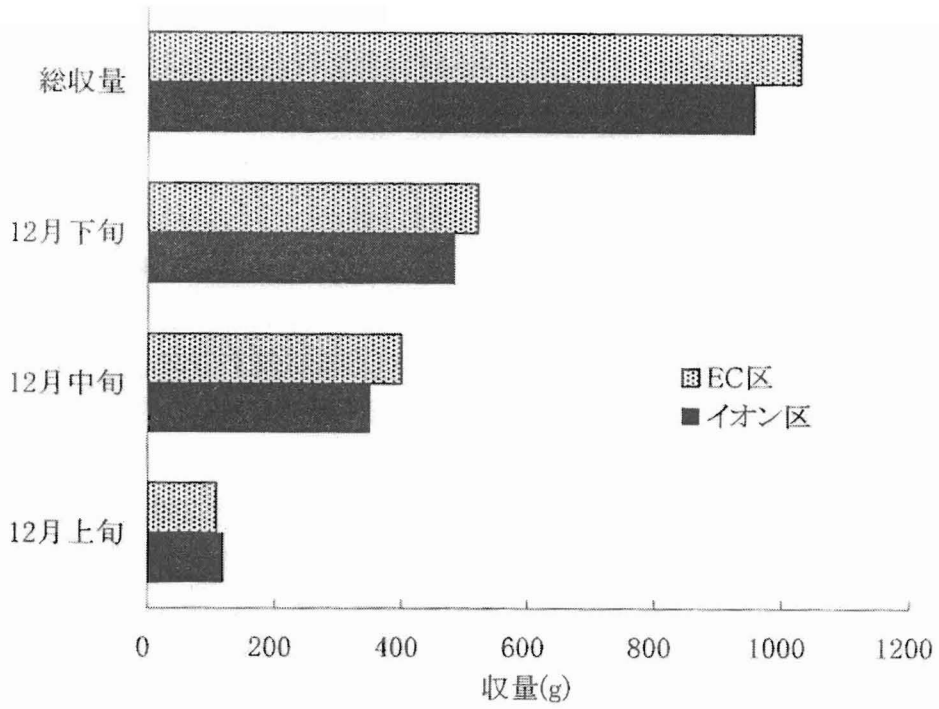
(2) 結果および考察

果実収穫は、イオン区の1999年11月17日が最も早く、12月上旬までの早期収量は124gで、EC区のそれを上回ったが、12月下旬、1月上旬にはEC区の収量はイオン区を上回り、1月上旬までの総収量でも、EC区が1013gで高くなった(第5-5-1図)。これはイオン区において栽培中期にpHがかなり低下したためと思われる。果径、果長はイオン区の方が上回った(データ略)。また、収穫果の構成では、EC区に比べ20g以上の大果が多く見られた(第5-5-2図)。

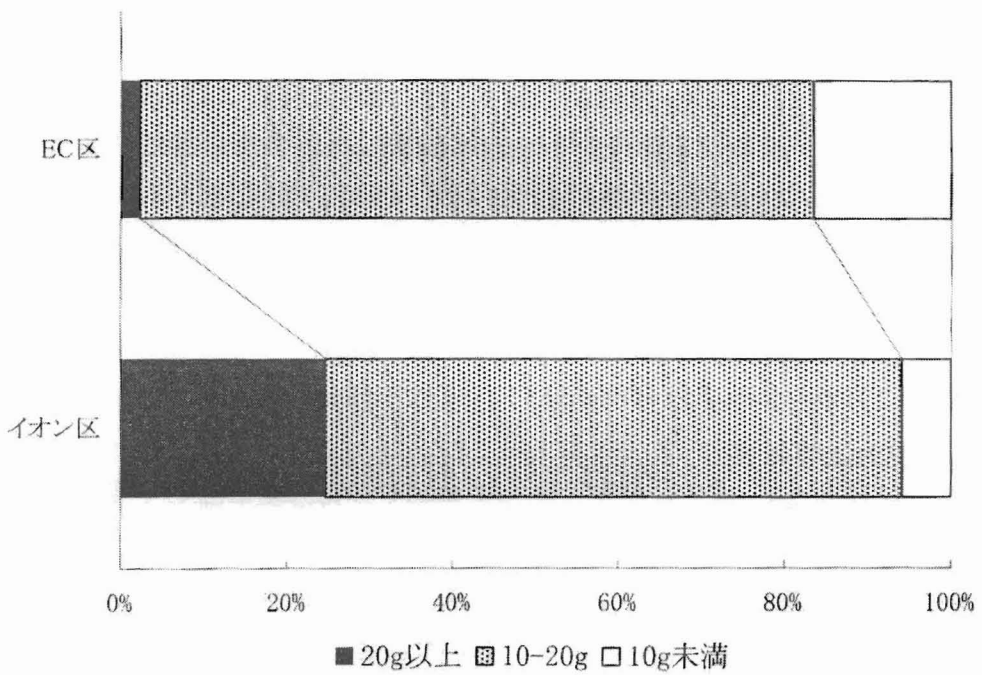
両処理区における培養液中の各イオン濃度の推移については、EC区で多くのイオンが過剰に推移していたのに対しイオン区ではほぼ目標値に近い濃度で管理することが出来(データ略)、イオン濃度制御により培養液中のイオンバランスの乱れを防止することができるが示された。これにより、培養液更新による廃液が環境に与える悪影響や培養液作製にかかるコストの削減が可能と考えられ、イオン濃度制御は有効と考えられる。

総収量に関してはEC制御がイオン濃度制御を上回ったが、大果割合がイオン濃度制御によって増加した。このことから、長期にわたる収穫では、イオン濃度制御がEC制御の総収量を上回る可能性があると考えられる。

今後、イオン濃度制御による長期栽培での収量や、イチゴの体内成分を含めた品質への影響について、さらに明らかにしていく必要があると考えられる。



第 5-5-1 図. 培養液管理法の違いが収量に及ぼす影響



第 5-5-2 図. 培養液管理法の違いが収穫果の構成に及ぼす影響.

6) “イオン濃度制御”によるウルトラジャンボ・ピーマンの栽培試験

イオン濃度制御法の普及を図るためには多くの作物での実証試験が必要となる。そこでウルトラジャンボ・ピーマンを供試し、イオン濃度制御法、EC 制御法、両者における生育、収量、無機成分を比較検討した。

(1) 材料および方法

カラーピーマン (*Capsicum annuum* L.) ‘パプリレッド’を供試した。9月29日にSS式果菜用ベッド(シーアイ化成)に株間0.4m、1条植えて、1ベッド当たり9個体を定植した。培養液は1/2倍濃度園試処方を用いた。

処理区は、培養液管理法としてイオン濃度制御法とEC制御法の2区、培地として湛液水耕とロックウール耕の2区、を組み合わせた4区とした。しかし11月初旬に、青枯病の症状と類似した急性で全身的な、不可解な萎れ(病原菌検出されず。養液中の SO_4^{2-} イオンが異常に増加)が発生し、湛液区での実験続行は不可能となった。そこで、被害の程度が比較的軽かったロックウール耕の、培養液の全量交換を行った11月10日以降についてのみ述べることにする。

イオン濃度制御区は5日ごとに培養液の養分分析を行い、イオン濃度自動調製プログラムに分析結果を入力し、その回答に基づいて肥料塩類を投入した。EC制御区はSS式肥料管理機を用い、培養液の濃度が1.2 ds/mを下回った時点で自動的に濃厚液を補充するように設定した。整枝は3本仕立て主枝成りとし1番花から3番花までは摘花した。

培養液は5日おきに補正を行い、養液のサンプリングを補正時と、補正後に養液タンク内とベッド内のECが一致した時点に行った。さらに補正2日後にもサンプリングを行い、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、P、K、Mg、Caの推移を調査した。草丈の測定は3日に一度、葉緑素含量(SPAD値)の測定は養液補正日に行った。開花、落花数は毎朝記録した。

実験終了時に果実を収穫し、果径、果長、果実重、体積、肉厚、糖度、還元型AsA含量、P、K、Mg、Caの無機成分含量を測定した。植物体については地上部の新鮮重、乾物重、葉中のP、K、Mg、Caの無機成分含量を測定した。

(2) 結果および考察

ロックウール耕における異なる培養液制御下での草丈の推移を第5-6-1図に示した。定植時の草丈はイオン濃度制御区、EC制御区でそれぞれ40.8、42.5 cmであったが、定植45日後にはイオン濃度制御区の草丈がEC制御区を上回るようになった。定植105日後の実験終了時にはイオン濃度制御区、EC制御区でそれぞれ115.0、95.3 cmであった。しかし、両区の草丈に有意差は認められなかった(第5-6-1表)。

葉緑素含量(SPAD値)については、定植60日後、定植105日後いずれにおいてもイオン濃度制御区でEC制御区に比べ有意に高かった(第5-6-1表)。

1株当たりの開花数は、定植30日後にはイオン濃度制御区の方がEC制御区より少なかったが、定植60日後にはイオン濃度制御区の方が多くなった(第5-6-2表)。しかしいずれも有意差はなかった。定植90日後および105日後の開花数はイオン濃度制御区で有意に高くなった。カラーピーマンの栽培においては、初期は栄養成長を促進するため摘花を行うぐらいであるので、初期にやや少なくその後はEC区より多くなったというイオン濃度制御区の開花数の増加パターンは望ましいものと言えるかも知れない。

1株当たりの落花数は、定植60日後まではEC制御区の方がイオン濃度制御区よりも多い傾向がみられた(第5-6-3表)。しかし定植90日後、105日後の落花数はイオン濃度制御区で有意に高くなった。イオン濃度制御区では開花数が多く、担果負担も多くなったためと考えられるが、実際栽培にあたってはこの時期の落花を少なくするように培養液組成を検討していく必要が有ろう。

着果数を第5-6-2図に示した。定植60日後にはイオン濃度制御区で有意に高くなったが、定植30、90、105日後では有意差はなかった。イオン濃度制御によって開花数は増加するものの、着果率はEC区と同様であった。イオン濃度制御は随時、組成や濃度の変更が可能であるので、90日後以降の落花を減少させる培養液管理を考えねばならない。後述するがこの時期に培養液のpHがかなり低下していたことの影響も考えられる。

葉中の無機成分含量を第5-6-4表に示した。カリウム、マグネシウムはEC制御区で有意に高かった。リンはイオン濃度制御区で高くなったが、有意差はなかった。

イオン濃度制御区とEC制御区の果実形質を第5-6-5表に示した。EC制御区にくらべ、イオン濃度制御区で果長、果径、果重、体積、肉厚が大きくなった。一方、糖度はEC制御区で高い傾向がみられ、AsA含量はEC制御区で有意に高くなった。

果実中の無機成分含量を第5-6-6表に示した。イオン濃度制御区ではEC制御区に比べマグネシウム、カルシウムが高く、リン、カリウムが低かったが、いずれも有意差はなかった。

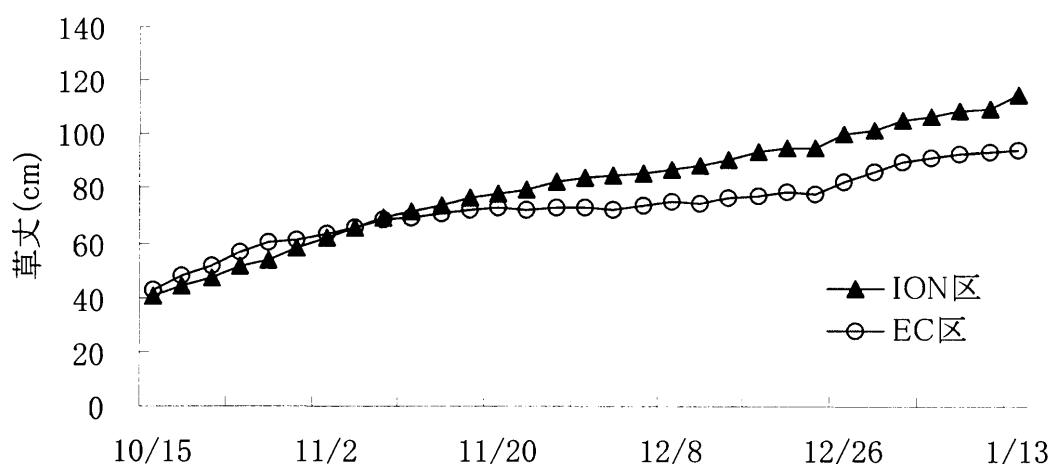
ロックウール耕におけるイオン濃度制御区、EC制御区でのpHの推移を第5-6-3図に示した。実験開始時のpHはイオン濃度制御区、EC制御区でそれぞれ7.0、6.7であった。イオン濃度制御区では徐々にpHは低下し、11月後半から培養液のpH補正を頻繁に行わなければならなかった。

培養液のアンモニア態窒素濃度の推移を第5-6-4図に示した。EC制御区では実験再開始2週間後にはほぼ0mg/Lまで低下し、そのまま低いレベルで推移したのに対して、イオン濃度制御区ではかなり変動が大きかったものの、ほぼ3mg/L以上のレベルで推移した。これらのことからカラーピーマンにおいても、アンモニウムイオンの優先吸収が行われていたと考えられる。この連続したアンモニア態窒素の吸収により、培養液のpH低下が引き起こされたと考えられる。イオン濃度制御プログラムで培養液中のアンモニア態窒素濃度を設定値に維持できることが明らかになったが、カラーピーマンでは健全な生育のために

はある程度期間が経過した後は、その設定値を低く変更するのが望ましいと考えられた。

イオン濃度制御を用いてトマトやキュウリを栽培した場合、果実品質の向上が認められているが、カラーピーマンでは糖度、AsA 含量などの果実品質の向上はみられなかった。しかし果実サイズや、収量の増加はみられていることから、担果負担が大きかったためかも知れない。担果負担の影響が出やすいピーマンの特性に見合った培養液組成・濃度を検討することにより、果実品質も高めることができると考えられる。

今回の実験は、不可解な萎れなどで成長の遅れやばらつきがあり、不十分な結果しか得ることが出来なかった。今後さらに検討を進めていきたい。



第 5-6-1 図. ロックウール耕において培養液制御法の違いが草丈の推移に及ぼす影響

第 5-6-1 表. ロックウール耕において培養液制御法の違いが草丈, SPAD 値に及ぼす影響

	草丈 (cm)		SPAD 値	
	定植後日数			
	60	105	60	105
ION 区	83.9 a ^z	115.0 a	51.4 a	53.8 a
EC 区	72.9 a	94.3 a	46.7 b	50.9 b

^z LSD 検定により各列の異なるも時間に 5%水準で有意差あり.

第 5-6-2 表. ロックウール耕において培養液制御法の違いが開花数に及ぼす影響

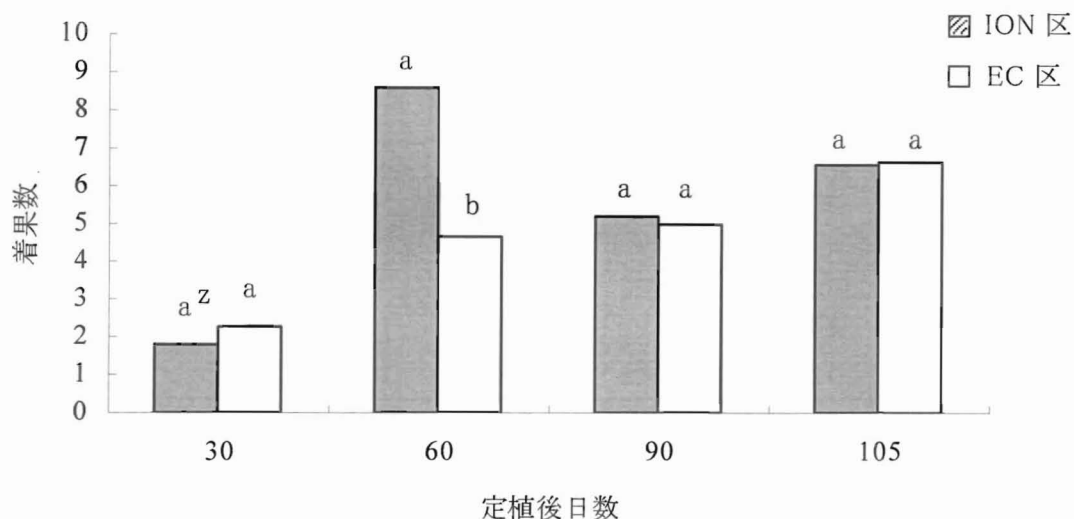
	開花数			
	定植後日数			
	30	60	90	105
ION 区	7.1	17.9	24.2	26.4
EC 区	8.3	15.7	19.0	20.7
t 検定	NS	NS	**	**

** : t 検定により各列の異なる文字間に 1%水準で有意差あり.

第 5-6-3 表. ロックウール耕において培養液制御法の違いが落花数に及ぼす影響

	落花数			
	定植後日数			
	30	60	90	105
ION 区	2.3	6.3	16.0	16.9
EC 区	3.0	8.0	11.0	11.0
t 検定	NS	NS	**	**

** : t 検定により各列の異なる文字間に 1%水準で有意差あり.



第 5-6-2 図. ロックウール耕において培養液制御法の違いが着果数に及ぼす影響

^z LSD 検定により各列の異なる文字間に 1%水準で有意差あり

第 5-6-4 表. ロックウール耕において培養液制御法の違いが
葉内の無機成分含量に及ぼす影響

	無機成分含量 (mg/100gdw)			
	P	K	Mg	Ca
ION 区	533.4a ^z	4152.6b	682.6b	185.8a
EC 区	521.7a	4931.0a	869.3a	206.3a

^z LSD 検定により各列の異なる文字間に 1%水準で有意差あり

第 5-6-5 表. ロックウール耕における培養液制御法の違いが果実形質に及ぼす影響

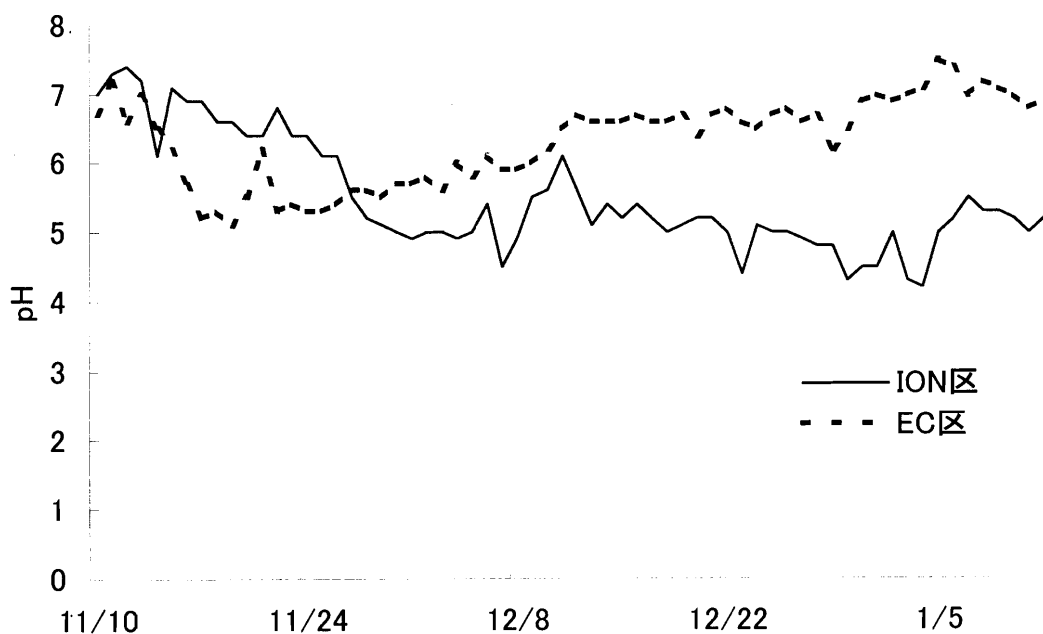
	果長 (cm)	果径 (cm)	果重 (g)	体積 (cm ³)	肉厚 (mm)	糖度	AsA 含量 (mg/100g)
ION 区	11.69 a ²	6.84 a	123.81 a	278.95 a	5.90 a	7.73 a	142.73 b
EC 区	9.94 a	5.85 a	109.10 a	189.31 b	5.50 a	7.90 a	163.61 a

² LSD 検定により各列の異なる文字間に 5%水準で有意差あり

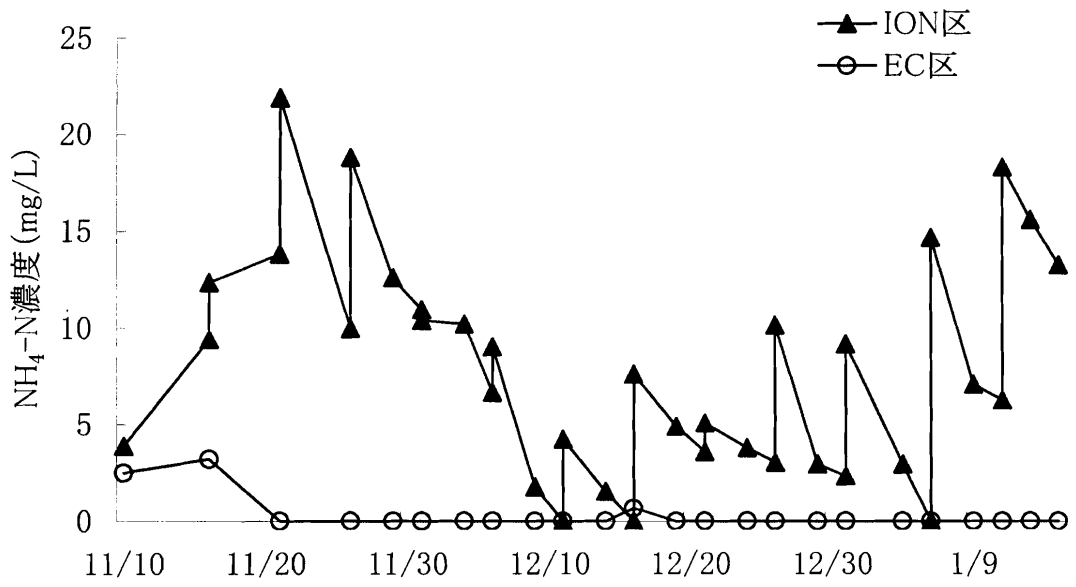
第 5-6-6 表. ロックウール耕における培養液制御法の違いが
果実の無機成分含量に及ぼす影響

	無機成分含量 (mg/100gdw)			
	P	K	Mg	Ca
ION 区	348.9 a ²	2179.7 a	169.9 a	271.9 a
EC 区	357.0 a	2890.6 a	163.3 a	236.9 a

² LSD 検定により各列の異なる文字間に 5%水準で有意差あり



第 5-6-3 図. ロックウール耕において培養液制御法の違いが pH の推移に及ぼす影響



第 5-6-4 図. ロックウール耕において培養液制御法の違いが
NH₄-N 濃度の推移に及ぼす影響

7) 複合肥料を用いた“イオン濃度制御”によるキュウリの栽培試験

昨年までのイオン濃度制御では単肥試葉を用いてきたが、単肥では濃厚液タンクが多数必要となる。実際に栽培を行う農家への普及を考えると、より扱いやすい複合肥料を前提とした調整プログラムの開発・検証が必要である。

そこで本実験は、市販の養液栽培専用複合肥料を用いたイオン濃度制御を行い、培養液の無機成分含量と pH の変動、収量、果実内無機成分含量について EC 制御と比較検討し、イオン濃度制御法の有用性を立証することを目的として行った。

(1) 材料および方法

本実験では大塚化学養液栽培専用肥料を使用し、培養液処方は SA 処方 ($\text{NO}_3\text{-N}$; 237.0 mg/L, $\text{NH}_4\text{-N}$; 8.0 mg/L, $\text{PO}_4\text{-P}$; 45.8 mg/L, K; 298.5 mg/L, Ca; 164.4 mg/L, Mg; 36.2 mg/L, $\text{SO}_4\text{-S}$; 53.0 mg/L) とした。夏作には‘アルファー節成’ (久留米交配)、冬作には‘翠星節成 2 号’ (久留米交配) を供試した。本葉が 5 枚展開した自根苗を夏作は 5 月 14 日、冬作は 10 月 22 日に定植した。処理区としてイオン濃度制御区 (以下 ION 区) と EC 制御区 (以下 EC 区) の 2 区を設け、夏作は株間 50 cm で 1 ベッド当たり 7 個体ずつ、冬作は株間 60 cm で 1 ベッド当たり 6 個体ずつ各区 2 ベッドに定植した。両区とも循環式湛液水耕とした。ION 区では、夏作、冬作とも 1 週間に 2 度、タンク内から培養液を採取・分析し、各イオン濃度が大塚 SA 処方の組成となるようにイオン濃度調整プログラムで補充すべき肥料量を計算し、肥料を組み合わせで添加した。EC 区では EC が常に 2.4 dS m^{-1} になるように SS 式肥料管理機 (シーアイ化成) で制御した。EC, pH, 液温は毎日測定した。収穫は、夏作は 5 月 29 日から 7 月 4 日、冬作は 11 月 13 日から 1 月 10 日まで行った。収穫果実は外観より、A 品, B 品, C 品に分けた。

(2) 結果および考察

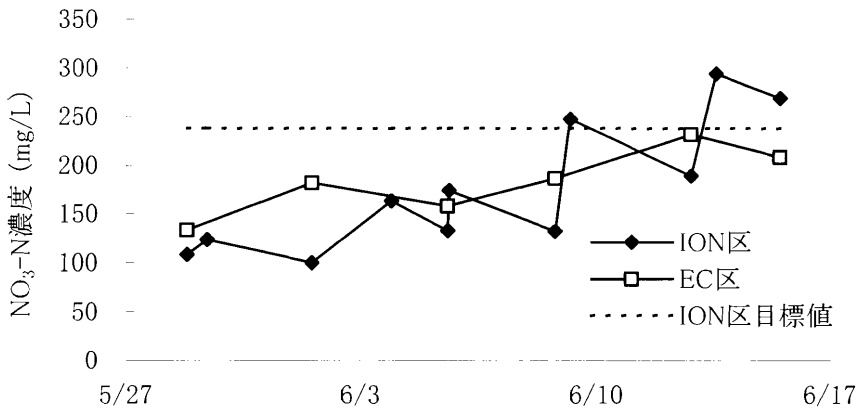
夏作において、両区とも培養液中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の初期値が目標値よりも低い値を示した (第 5-7-1 図)。これは初期吸収が多かったためと考えられる。冬作では EC 区の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が目標値よりも高く、ION 区では低く推移した (第 5-7-2 図)。培養液中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は定植直後から急速に減少し、EC 区ではほぼ 0 mg L^{-1} となり、その後もほぼ 0 mg L^{-1} で推移した (第 5-7-3,4 図)。ION 区では補正日ごとに $\text{NH}_4\text{-N}$ を補給したが、夏作では測定時には 0 mg L^{-1} まで低下していた。これは培養液中に $\text{NH}_4\text{-N}$ が存在する場合 $\text{NO}_3\text{-N}$ よりも $\text{NH}_4\text{-N}$ を優先的に吸収するというキュウリの特性によると考えられる。その他の成分は EC 区が ION 区よりも若干高く推移した (データ略)。

果実中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は夏作では、後期には ION 区で EC 区に比べ有意に低く、前・中期も低い傾向がみられた (第 5-7-5, 6 図)。近年発癌性との関係などから野菜中の硝酸塩含量に関心が高まっており、イオン濃度制御を行うことでそれが低下したのは意義深い。

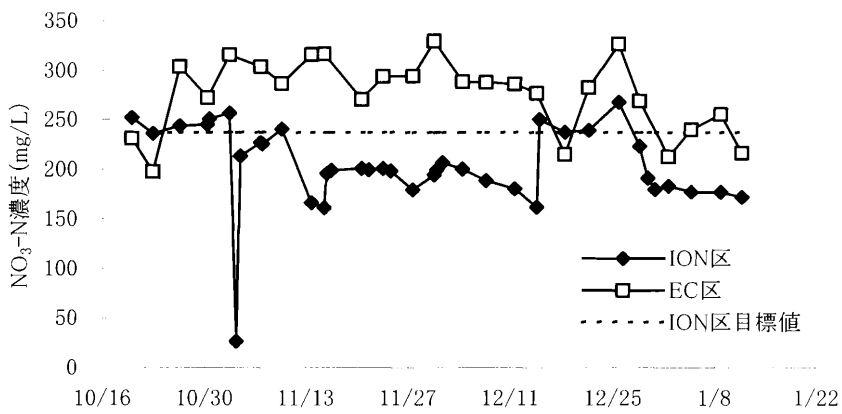
一方、果実中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は夏作・冬作の全栽培期間において ION 区で有意に高かった (第 5-7-7, 8 図)。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は $\text{NO}_3\text{-N}$ よりも速効性である反面、過剰症がしやすい。 $\text{NH}_4\text{-N}$ が過剰に吸収されると細胞壁を構成するための炭水化物が不足し組織が軟弱となるので、病害虫や機械的障害に対する抵抗性が弱くなりやすい。また $\text{NH}_4\text{-N}$ の過多は茎葉を過繁茂にし、成熟遅延をもたらし、果実収量を低下させたりもする。しかし今回の実験では夏作、冬作とも両区間に収量の有意な差はみられず、その他の $\text{NH}_4\text{-N}$ 害もみられなかった (第 5-7-11, 12 図)。

培養液の pH は、EC 区では冬作で上昇、ION 区では夏作、冬作ともに低下する傾向が見られた (第 5-7-10 図)。培養液の pH は種々の要因によって変化するが、植物が $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ のどちらを優先吸収するかという性質にも強く影響される。一般的に $\text{NO}_3\text{-N}$ が優先吸収される場合には pH は上昇傾向となり、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が優先吸収される場合には逆に低くなる。EC 区では、大塚ハウス肥料が主な P 源として $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ を用いているため、キュウリは培養液中に $\text{NH}_4\text{-N}$ が存在するうちは、これを優先的に吸収する傾向が強いので pH は低下するが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ がなくなると培養液中の窒素源としては $\text{NO}_3\text{-N}$ のみとなり、pH は上昇したと考えられる。生育中～後期が秋から冬期の作型で弱日照条件の場合、草勢を維持するためには、 $\text{NO}_3\text{-N}$ のみではなく適度の $\text{NH}_4\text{-N}$ を加用すると効果的であることが知られている。しかし今回の実験では $\text{NH}_4\text{-N}$ の毎回の追加はむしろ pH の過度の低下に結びついた。これは栽培地が宮崎で、十分な日射量があったため、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が過剰に吸収されたためと考えられる。このことからイオン濃度制御で従来の EC 制御用に開発された組成を維持することは決して生育最適条件を与えることにならず、途中から組成の修正をする、もしくは新たな組成を開発する必要があると考えられた。この知見は、近年急速な普及を見せている保肥性の高い有機培地での養液栽培や、ロックウール掛け流しでも集積が生じているような場合の参考となるであろう。またキュウリで硝酸同化がスムーズに行われているような場合、あるいは pH の低下時には、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の供給を抑える方が望ましいと考えられた。

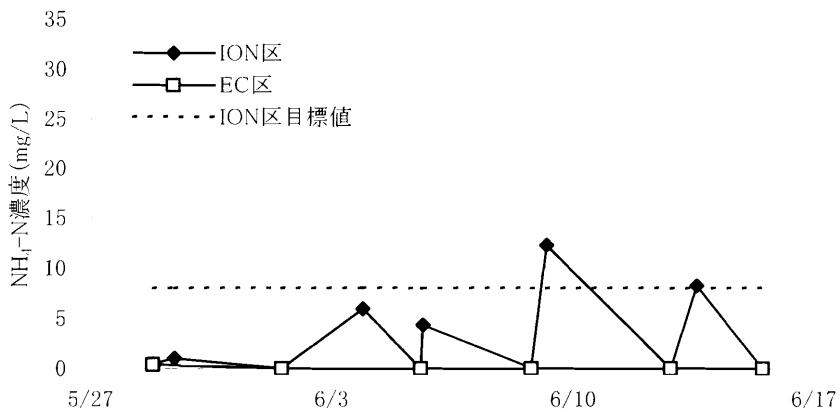
今後は $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の調整などによる pH の安定化や、植物体の生育度に応じた培養液組成・管理の検討を進め、イオン濃度制御に適合した複合肥料の開発も考えていきたい。



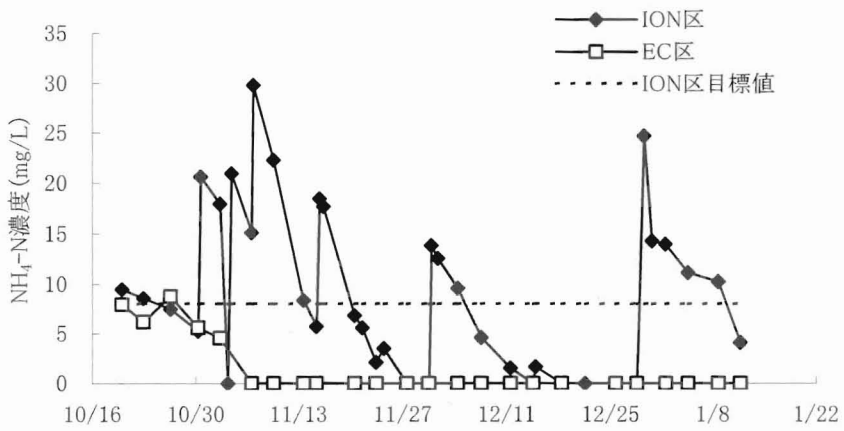
第 5-7-1 図. 夏作キュウリにおける培養液中 NO₃-N 濃度の推移.



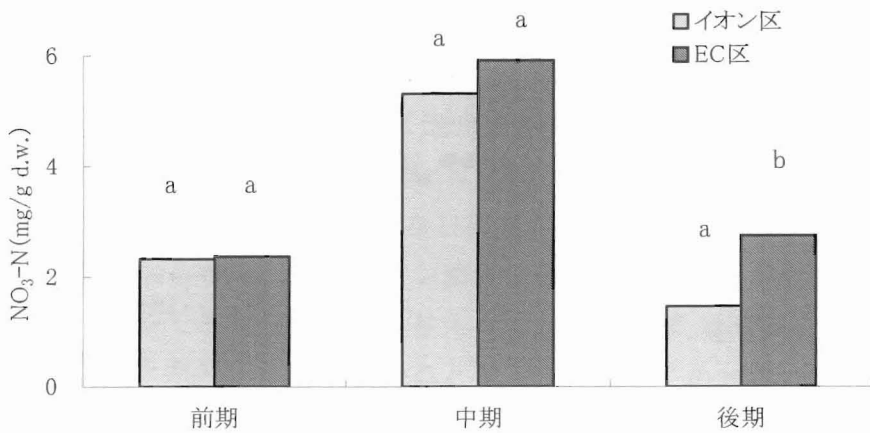
第 5-7-2 図. 冬作キュウリにおける培養液中 NO₃-N 濃度の推移.



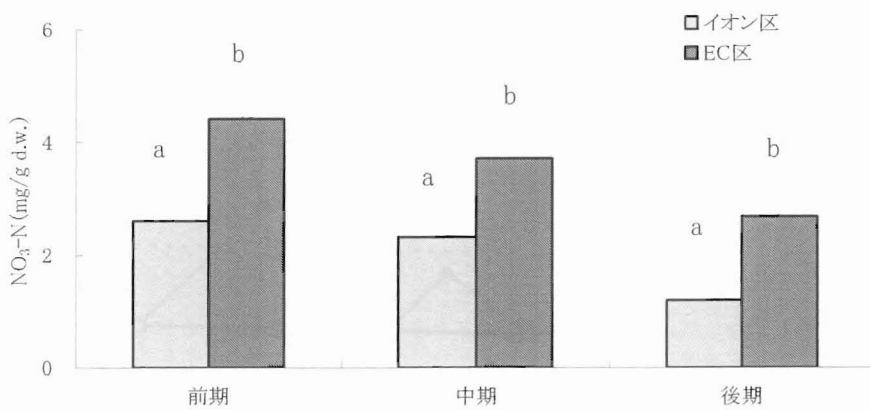
第 5-7-3 図. 夏作キュウリにおける培養液中 NH₄-N 濃度の推移.



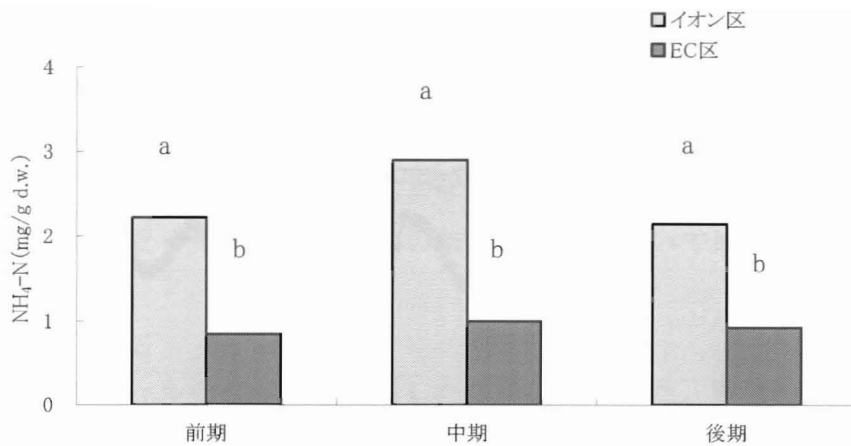
第 5-7-4 図. 冬作キュウリにおける培養液中 NH₄-N 濃度の推移.



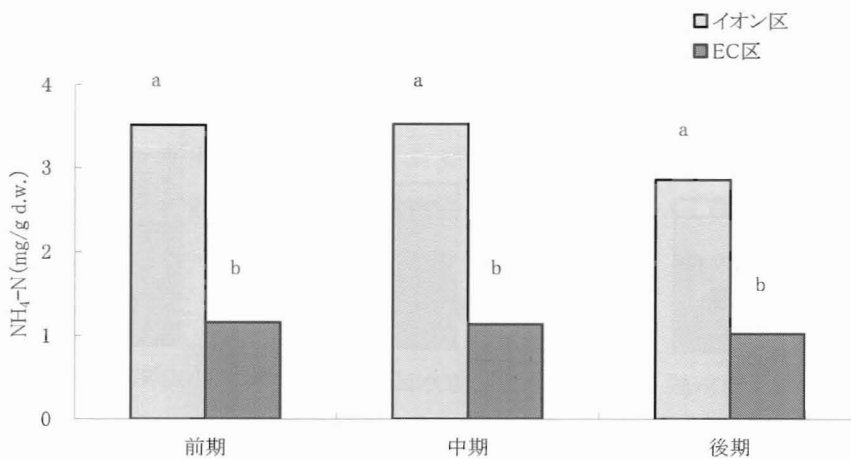
第 5-7-5 図. 培養液制御方式の違いが夏作キュウリ果実の NO₃-N 含有量に及ぼす影響.



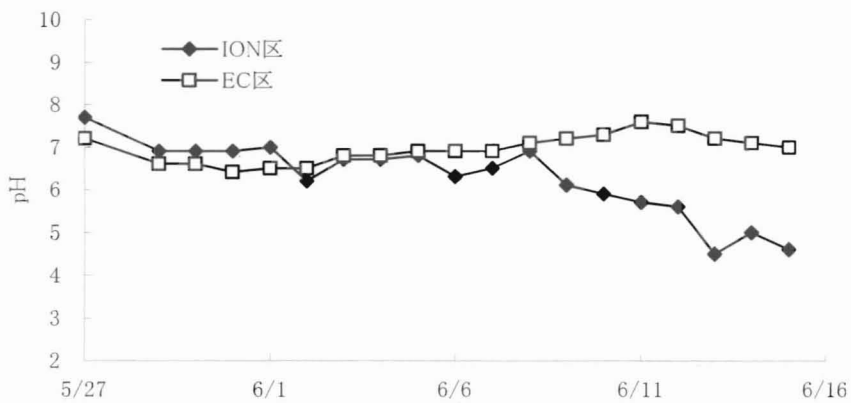
第 5-7-6 図. 培養液制御方式の違いが冬作キュウリ果実の NO₃-N 含有量に及ぼす影響.



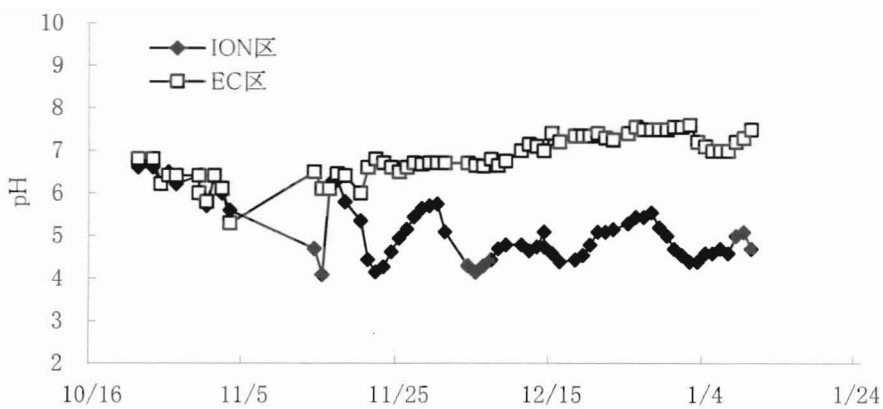
第 5-7-7 図. 培養液制御方式の違いが夏作キュウリ果実の $\text{NH}_4\text{-N}$ 含有量に及ぼす影響.



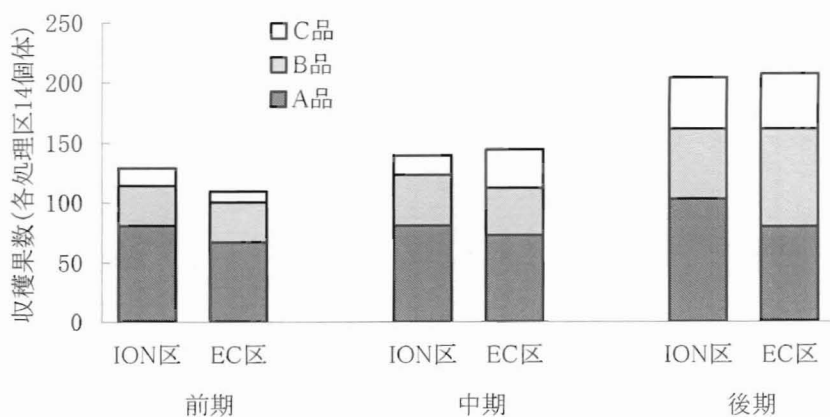
第 5-7-8 図. 培養液制御方式の違いが冬作キュウリ果実の $\text{NH}_4\text{-N}$ 含有量に及ぼす影響.



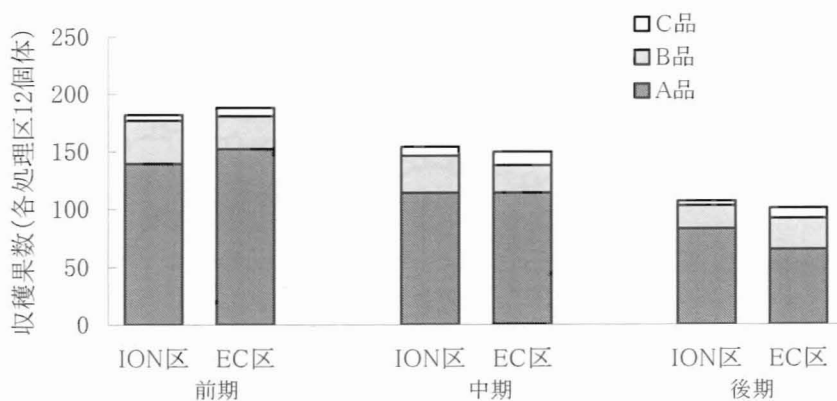
第 5-7-9 図. 夏作キュウリにおける培養液の pH の推移.



第 5-7-10 図. 冬作キュウリにおける培養液の pH の推移.



第 5-7-11 図. 培養液制御方式の違いが夏作キュウリの時期別収量と等級に及ぼす影響.



第 5-7-12 図. 培養液制御方式の違いが冬作キュウリの時期別収量と等級に及ぼす影響.

8) “イオン濃度制御”を応用したイチゴ高設養液耕の栽培実験

イチゴはほぼ1年中市場に出回っており、価格がキロあたり千円以上を維持し農産物の中できわめて安定している。しかし栽培管理には多大の労力を要するため、近年、様々な方式の高設栽培法が開発されているが、培地によっては栽培が安定しないなど問題もある。そこで本実験は、イチゴ促成用新品種‘あすカルビー’を用い、高設養液耕に適した緩衝能の高い有機質培地とイオン濃度制御法の組み合わせについて検討した。

(1) 材料および方法

栽培は発泡スチロールのベッドを利用した高設栽培とした。根部冷却により花芽分化促進処理をした苗を7月17日に、株間30 cm、条間25 cmで各処理区10株を定植した。処理区としてベストミックス区（粒状ロックウール：ピートモス＝1：1（v/v）、ニチアス）、ゆとり床土区（イチゴ高設栽培専用培地、菱東肥料）、地力添加区（ボラ土（小）：ココピート：地力（大東肥料）＝6.5：3：0.5（v/v））、ココピート区（ボラ土（小）：ココピート＝7：3（v/v））の4区を設けた。培養液は循環方式とし、山崎イチゴ処方を用いた。1ないし2週間に1度、タンク内から培養液を採取・分析し、各イオンが山崎イチゴ処方の組成となるようにイオン濃度制御プログラムで補充すべき試薬量を計算し、添加した。培地については培地温度と各収穫時の培地中無機成分含量について調査した。収穫果実は大果（15g以上）、中果（10g～15g）、非可販果（小果・不良果）の3段階に分けた。また果実の還元型AsA含量、クエン酸含量、糖度を測定した。

(2) 結果および考察

例年になく夏季の高温が厳しかったせいも、根部冷却の効果が不十分で果実収穫は11月からとなった。年内収量は地力添加区において256.9gと他の区より有意に多かった（第5-8-1表）。他の区に比べ、病果が多かったゆとり床土区では可販収量が少なく、培地の保水性にみあった給液量を考慮する必要があると考えられた（第5-8-1図）。収穫果の構成では、ベストミックス区において大果率が50%、中果以上の率が90%と高くなった。果実の糖酸比はゆとり床土区で14.18と最も高く、ベストミックス区で11.00と最も低かった。糖度については処理区間に有意差はなかったが、酸度はゆとり床土区で有意に低かった（第5-8-2表）。

培養液の無機成分含有量については、収穫期にMg、Ca濃度の低下が全処理区においてみられ、特に地力添加区において顕著であった（第5-8-2、3図）。またNH₄-N濃度は0となるが多かった（第5-8-4図）。Mg、Caの総吸収量は収量の多かった地力添加区で多かった（データ略）。培地中の無機成分含量の推移については、地力添加区では、多い時期にはNO₃-Nが1000 mg/L程度含まれていた（第5-8-5図）。今後、培地への集積も考慮し、果実品質を高めるイオン濃度制御用培養液組成の検討が必要と考えられる。

第 5-8-1 表. 培地の違いが果実の生育におよぼす影響

処理区	果重(g)	果長(cm)	果径(cm)	年内収量(g/株)	総収量(g)
ベストミックス区	13.80 a ²	3.28 a	2.99 a	58.07 ab	892.15 b
ゆとり床土区	10.72 c	3.05 a	2.78 a	55.70 b	964.41 ab
地力添加区	13.15 ab	3.19 a	2.96 a	85.65 a	1183.88 a
ココピート区	13.10 ab	3.26 a	2.96 a	52.44 b	1106.52 ab

²LSD 検定により, 各列の異なる文字間に 5%水準で有意差あり

第-5-8-2 表. 培地の違いが果実の品質特性におよぼす影響

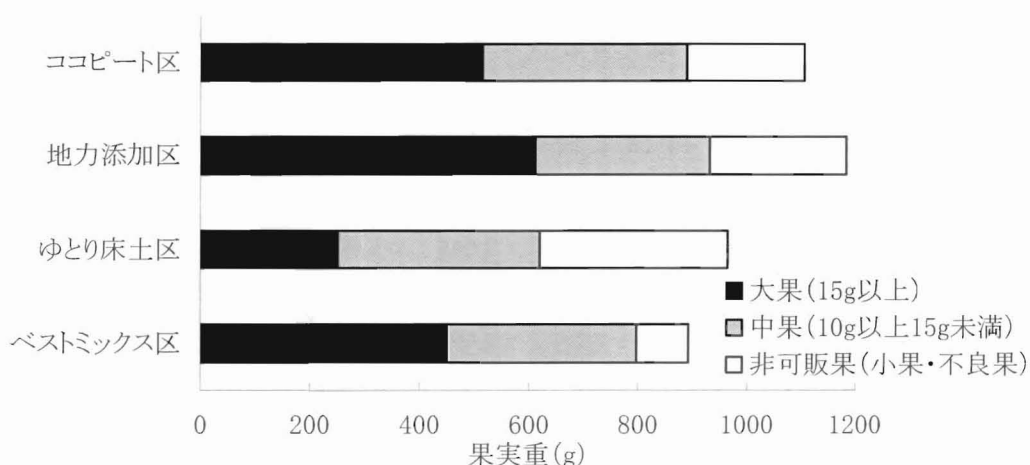
処理区	糖度(Brix)	酸度	糖酸比	還元型 AsA 含量
ベストミックス区	9.46 a ²	0.86 a	11.00 a	87.80 a
ゆとり床土区	10.35 a	0.73 c	14.18 b	74.40 b
地力添加区	9.63 a	0.87 a	11.07 b	75.90 b
ココピート区	9.66 a	0.82 ab	11.78 b	88.60 a

²LSD 検定により, 各列の異なる文字間に 5%水準で有意差あり

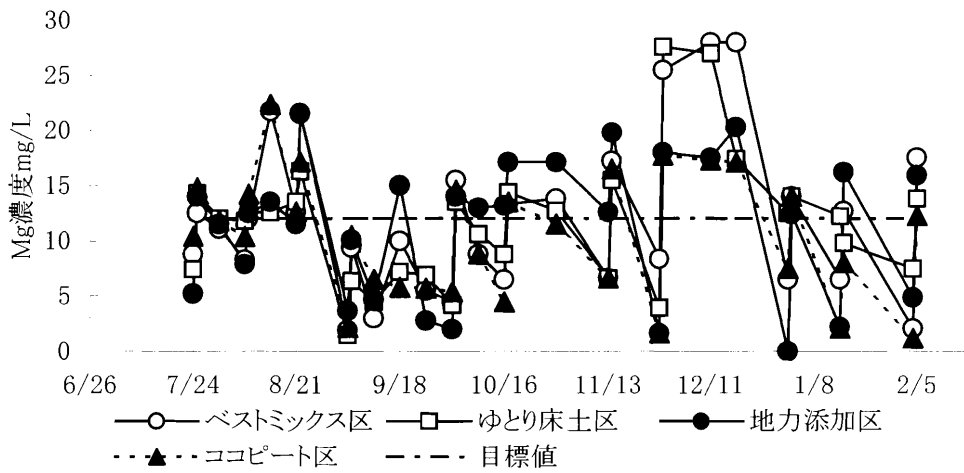
第 5-8-3 表. 培地の違いが葉数, 葉緑素含量に及ぼす影響

処理区	平均葉数	SPAD 値
ベストミックス区	9.23 a ²	39.78 ab
ゆとり床土区	9.95 a	39.14 b
地力添加区	9.60 a	41.14 ab
ココピート区	9.44 a	41.64 a

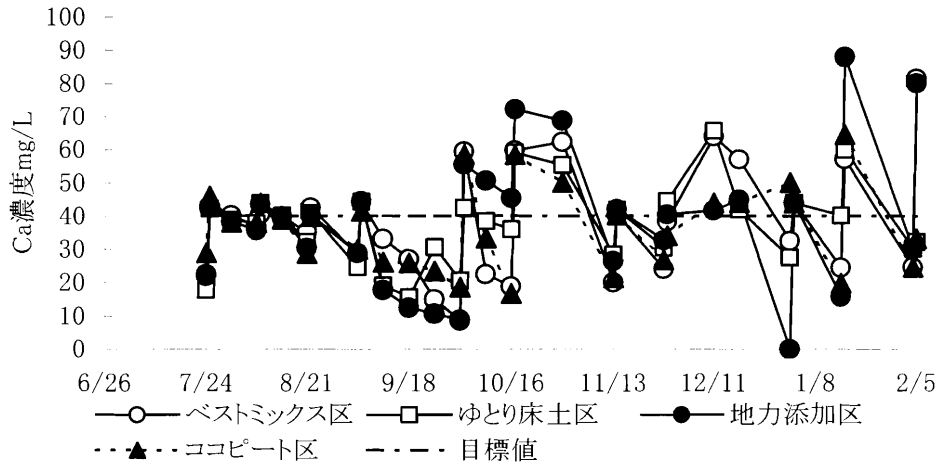
²LSD 検定により, 各列の異なる文字間に 5%水準で有意差あり



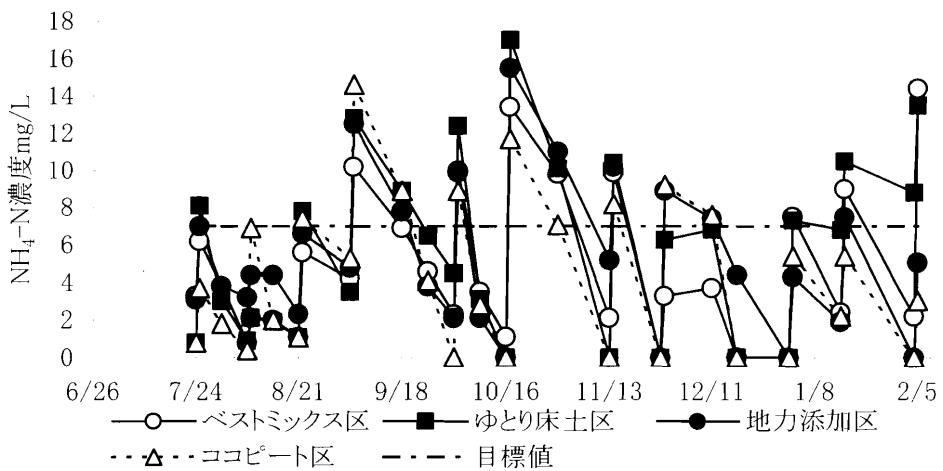
第 5-8-1 図. 培地の違いが収重に及ぼす影響



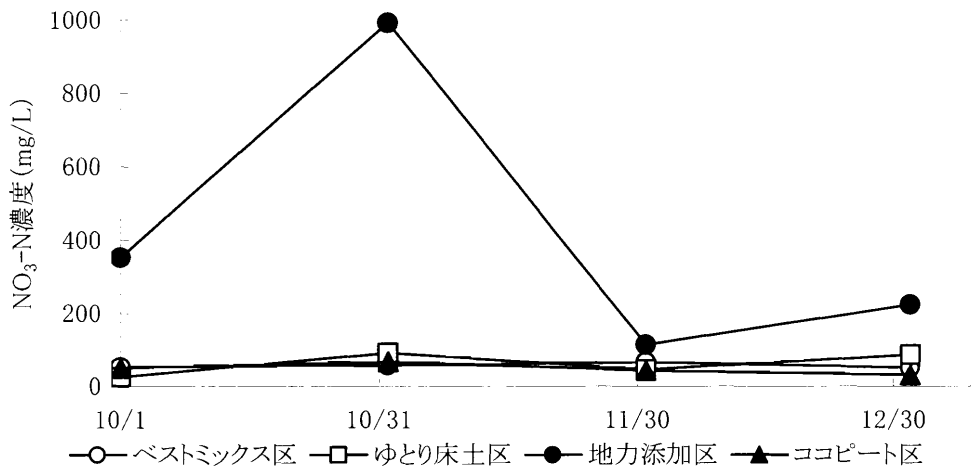
第 5-8-2 図. 培養液中の Mg 濃度の推移



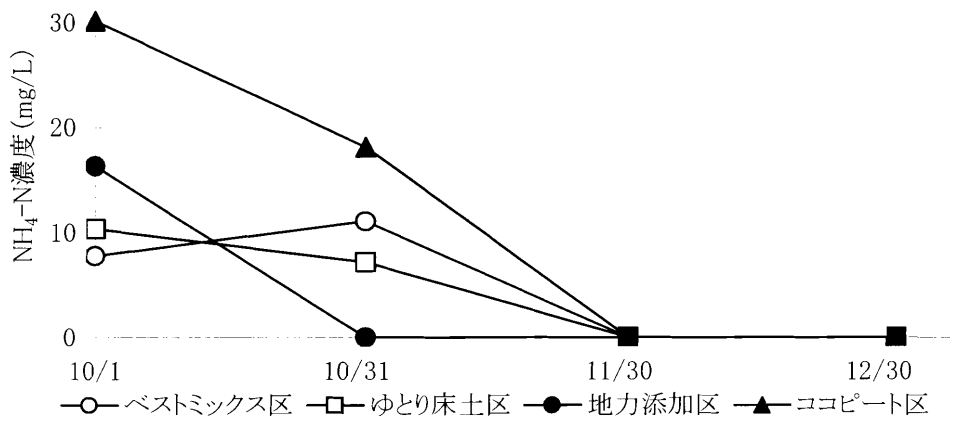
第 5-8-3 図. 培養液中の Ca 濃度の推移



第 5-8-4 図. 培養液中の NH₄-N 濃度の推移



第 5-8-5 図. 培地溶液中の NO₃-N 濃度の推移



第 5-8-6 図. 培地溶液中の NH₄-N 濃度の推移

9) イオン濃度制御を用いた K 濃度低減養液管理によるトマトの栽培試験

イオン濃度制御では植物体に吸収され減少した要素のみを添加することが可能で、栽培時期・生育段階に応じ、適切な養液組成・濃度を設定・維持することができる。必要成分のみの補充のため、生産費削減、廃液による環境負荷低減に有効と考えられるが、イオン濃度制御法にみあった養液管理はまだ十分に明らかに出来ていない。本実験ではぜいたく吸収が知られているカリウムの濃度を、生育段階別に減らした養液管理が、トマトの生育、果実品質ならびに無機成分含有量に及ぼす影響を調査した。

(1) 材料および方法

トマト(*Lycopersicon esculentum* Mill.) ‘レディーファースト’を供試し、イオン濃度制御法による循環式湛液水耕を行った。2001年10月20日にガラス温室内に定植した。第1果房開花期から第1果房肥大期までを前期、第1果房肥大期から第1果房収穫期までを中期、第1果房収穫期から第2果房収穫終了時までを後期とした。処理区は、対照区として1/2園試処方のイオン濃度で管理する区、ELP区は前期の、MLP区は中期の、LLP区は後期の培養液中のカリウム濃度を半分にする区とし、ELP区は2001年11月30日から12月27日まで、MLP区は12月27日から2002年2月28日まで、LLP区は2月28日から3月18日まで処理を行った。

(2) 結果および考察

各果房の開花35日後の果実の無機成分含有量を調査した結果、K含有量は第1果房ではELP区で有意に高かったが、第2果房では有意な差はみられなかった(第5-9-1表)。定植95日後に第1果房直下の葉を採取し、無機成分含有量を分析したところ、K含有量は、葉身ではELP区とMLP区で有意に低かったが、葉柄では有意な差はみられなかった(第5-9-1表)。このことから、養液中のK濃度が低下するとKは果実に優先的に分配されることが示唆された。各果房の果実の新鮮重、滴定酸度に有意な差はみられなかった(第5-9-2表)。糖度は、第1果房のMLP区で有意に低くなったが、第2果房では有意な差はみられなかった。培養液中のK濃度は、いずれの処理区においても処理開始後から設定濃度を維持することができ、処理終了後も設定濃度で安定して推移した。

生育段階別のK濃度低減処理にかかわらず、果実品質や生育に特に差はみられなかったことから、イオン濃度を変動無く維持すれば、培養液中のK濃度は、1/2園試処方(156 mg L⁻¹)の半分の濃度(78 mg L⁻¹)でも十分であるということが示された。引き続き、培養液中のK濃度が生育や果実品質に及ぼす影響を生育時期と培養液処理の組み合わせを変えて調査中である。また、Kと拮抗するイオンの濃度の変動幅を少なくするため、計算シートに用いる肥料の種類を検討を行っている。

Table 5-9-1. Potassium content of fruits and leaf grown under low levels of potassium concentration by stage.

Treatment	Potassium content (mg g ⁻¹ d.w.)			
	Fruit		Leaf ^z	
	1st	2nd	Blade	Petiole
Control	35.41 b ^y	35.67 a	47.3 a	55.4 a
ELP ^x	111.52 a	35.15 a	35.7 b	45.8 a
MLP	41.67 b	33.52 a	35.0 b	57.5 a
LLP	43.92 b	33.33 a	45.2 a	66.0 a

^z Leaf just under the first truss was sampled 95 days after transplanting.

^y Different letters within columns represent significant difference by LSD test(p<0.05).

^x ELP:Early stage under low levels of potassium.

MLP:Middle stage under low levels of potassium.

LLP:Late stage under low levels of potassium.

Table 5-9-2. Effects of low levels of potassium concentration by stag on tomato fruits of first and second trusses.

Treatment	Fresh weight (g)		Brix (%)		Titratable acidity(%)	
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
Control	345.32 a ^z	360.96 a	6.2 a	5.2 a	0.42 a	0.36 a
ELP	305.01 a	312.59 a	6.5 a	5.0 a	0.58 a	0.42 a
MLP	345.48 a	287.06 a	5.2 b	5.2 a	0.39 a	0.43 a
LLP	319.98 a	351.59 a	6.2 a	5.4 a	0.57 a	0.37 a

^z Different letters within columns represent significant difference by LSD test(p<0.05).