

学 位 論 文 要 旨

氏 名

霧村 雅昭

題 目

イオン濃度制御法を用いた養液栽培に関する研究
(Studies on the hydroponics using the ion control system)

養液栽培における培養液管理は作物の収量や品質に大きな影響を与えるため重要である。その最適管理には培養液の組成・濃度を作物の種類・生育段階に応じ調整する必要であるが、肥料塩混合の計算と手間が煩雑すぎ、既成の全国一律の標準処方方を栽培時期に関係なく採用しているのが現状である。そのため、培養液の成分バランスと植物体による各成分の吸収量のずれから組成や pH が変動し、それにより生育遅延や生理障害が発生するので、培養液を廃棄して更新せざるを得なくなる。多量の廃培養液は、含まれる NO_3^- や PO_4^{3-} イオンによる湖沼や河川、地下水の汚染という問題を引き起こす。

これらの問題に対して著者らのグループは培養液の各要素の濃度を明らかにさえすれば直ちに「補充すべき肥料の種類と量」を回答する“イオン濃度調整プログラム（以下、IonAdjuster）”を開発し（Inden and Kubota, 1995; Inden *et al.*, 1996; Inden *et al.*, 2000）、それに基づくイオン濃度制御法を考案した（特開平成13-103855）。その結果、培養液無交換栽培が可能となり（Nakahara *et al.*, 2000）、また EC 制御法に比べ廃培養液の低減、増収が可能となった（Kubota *et al.*, 2001; Inden *et al.*, 2001）。

そこで、培養液管理における省力化や自動化、システムコストの削減、生育の向上を図り、イオン濃度制御法の生産農家への普及性を高めることを目的として、1) 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、2) イオン濃度制御キュウリ養液栽培において $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度設定値が培養液の pH 変動に及ぼす影響、3) イオン濃度制御法と EC 制御法を融合させた新しい培養液管理法（IIAS）の開発について研究を行った。

本研究の結果、“IonAdjuster”による培養液補正計算へ最小二乗法を組み込むことにより特定の成分への誤差の集中を回避でき、課題であった $\text{NH}_4\text{-N}$ 等の補正精度を高めることができた。また、キュウリ養液栽培において培養液の pH に大きな影響を及ぼす $\text{NH}_4\text{-N}$ について、既存の濃度を基準とした定値制御だけではなく比率制御の必要性を明らかにした。すなわち、キュウリ栽培では初期培養液の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を 8 mg/L とし、栽培初期に追加供給する N 源の $\text{NO}_3\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ 比を 10~17、中期以降は比を 30 以上にする事で培養液の pH を正常に維持できた。また、IIAS の開発により従前の手動イオン濃度制御に比べ培養液管理の省力化や培養液中の成分濃度と pH などの培地環境変動の抑制、増収を可能とした。

養液栽培の培養液管理に、開発した IIAS を導入することで、生育ステージごとに培養液組成を容易に制御でき収穫物の品質向上を図れたことから、有用な技術と考えられる。

学 位 論 文 要 旨

氏 名

Masaaki Kirimura

題 目

Studies on the hydroponics using the ion control system
(イオン濃度制御法を用いた養液栽培に関する研究)

During the last years, the hydroponics of vegetables and ornamentals has been increasingly shifted to closed systems. The main advantage provided by closed systems is the restriction of surface and ground water pollution through greenhouse effluents, which are rich in nitrates and phosphates. Moreover, recycling the excess nutrient solution, which runs off after each watering application, results in considerable fertilizer savings. However, systems based on continual nutrient solution recirculation proved to be rather unfavourable for long term crops. This has been attributed to the progressive appearance of nutrient imbalances in the recirculating solution.

Therefore, to establish an environment-friendly hydroponics system, the ion concentration control method for nutrient solution was developed. This demonstrated to be superior to the EC control method in respect to reduction of effluent and increase of yield.

In this study, the optimization of calculation for the ion concentration control, the effect of $\text{NH}_4\text{-N}$ supply method and the development of new ion adjuster system integrated with EC control method for controlling nutrient solution in hydroponics.

1) The software for automatic ion control of nutrient solution for hydroponics, named "IonAdjuster", was invented and inspected practically. The ion unbalance problem in the nutrient solution sometimes occurred due to the uneven distribution of ion error range, in the software. To improve the precision of calculation of nutrient solution, Tolerance method and Least squares method were developed and examined.

Least squares method was suggested as the most suitable way in calculating a supply of fertilizer to the nutrient solution for compensation of ion concentrations.

2) "Integrated Ion Adjuster System (IIAS)" integrated with an ion concentration control method and an EC control method for controlling nutrient solution in hydroponics was developed. The IIA System adopt the EC control method for real-time control of ion concentrations, and adopt the ion concentration control system for preparation of stock solutions and adjustment of ion concentration in the nutrient solution. Cultivation of cucumber using the IIAS resulted in keeping root environment well, laborsaving, and the increase of yields. Still more saving of the initial and running cost should be possible in the IIAS, and consequently the IIAS may contribute to promotion of closed hydroponic system.

3) Cucumber plants were grown in solution culture for 6 days in 4 levels of $\text{NH}_4\text{-N}$ density.

Thereby $\text{NH}_4\text{-N}$ absorption speeds increase drastically and solution pH decreased as the $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration was raised. After plants had exhausted $\text{NH}_4\text{-N}$ in the culture solution, solution pH unchanged or rather increased. It was thought that the $\text{NH}_4\text{-N}$ density management was very difficult.

The next experiment was carried out in order to investigate the effects of ratios of $\text{NO}_3\text{-N}$ to $\text{NH}_4\text{-N}$ and concentrations of each N source on growth and solution pH controlled by the IIAS.

The results indicated that ratios of $\text{NO}_3\text{-N}$ to $\text{NH}_4\text{-N}$ in the supplied nutrient solution under IIAS should be keeping 30 in the early stage, between 10 and 17 in the mid stage, higher than 30 in the late stage.

学位論文審査結果の要旨	
学位申請者 氏名	霧村 雅昭
審査委員	主査 宮崎大学 教授 位田 晴久
	副査 宮崎大学 教授 山下 研介
	副査 鹿児島大学教授 衛藤 威臣
	副査 佐賀大学 教授 田代 洋丞
	副査 宮崎大学 教授 永田 雅輝
審査協力者	
題目	イオン濃度制御法を用いた養液栽培に関する研究 (Studies on the hydroponics using the ion control system)
<p>養液栽培における培養液の最適管理には、培養液の組成・濃度を作物の種類・生育段階に応じ調整する必要があるが、肥料塩混合の計算と手間が煩雑すぎ、既成の全国一律の標準処方を栽培時期に関係なく採用しているのが現状である。そのため、培養液の成分バランスと植物体による各成分の吸収量のずれから組成やpHが変動し、それにより生育抑制や生理障害が発生するので、培養液を廃棄して更新せざるを得なくなる。多量の廃培養液は、含まれる硝酸イオンやリン酸イオンによる湖沼や河川、地下水の汚染という問題を引き起こす。</p> <p>これらの問題に対して、培養液の各要素の濃度を測定すれば直ちに「補充すべき肥料の種類と量」を回答するイオン濃度調整プログラム（以下、IonAdjuster）を開発し、それに基づくイオン濃度制御法を考案した。その結果、培養液無交換栽培が可能となり、またEC制御法に比べ廃培養液の低減、増収が可能となった。</p> <p>これまでの培養液組成に関する研究の多くは、培養液中の成分濃度の初期値を</p>	

一時的・短期的に調整・把握したものであり、時間の経過とともに変化する培養液中の各成分濃度や pH, EC 値などを総合的・長期的に把握・制御した報告はほとんどない。特に果菜類は栄養成長と生殖成長が並行し栽培期間が長いため、経時的に変化する養分吸収特性を把握し、培地環境を管理することは困難であった。

本論文は、培養液管理における省力化や自動化、システムコストの削減、培養液中の各成分濃度や pH, EC 値の総合的・長期的な把握・制御、生育の向上を図り、イオン濃度制御法の生産農家への普及性を高めることを目的として、1) 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、2) イオン濃度制御キュウリ養液栽培において $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度設定値が培養液の pH 変動に及ぼす影響、3) イオン濃度制御法と EC 制御法を融合させた新しい培養液管理法 (IIAS, Integrated IonAdjuster System) の開発についての研究を行い、その結果を取り纏めたものである。得られた研究成果の概要は次の通りである。

1) “IonAdjuster”による培養液補正計算へ最小二乗法を組み込むことにより特定の成分への誤差の集中を回避し、課題であった $\text{NH}_4\text{-N}$ 等の補正精度を高めた。

2) キュウリ養液栽培において培養液の pH に大きな影響を及ぼす $\text{NH}_4\text{-N}$ について、既存の濃度を基準とした定値制御だけではなく比率制御の必要性を明らかにした。すなわち、キュウリ栽培では初期培養液の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を 8 mg l^{-1} とし、栽培初期に追加供給する N 源の $\text{NO}_3\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ 比を 10~17, 中期以降は比を 30 以上にすることで培養液の pH を正常に維持できた。また、pH 制御装置の必要性がなくなることからシステムコストの削減も可能となった。

3) IIAS の開発により培養液中の各成分濃度や pH, EC 値の総合的・長期的な把握・制御が可能となり、従前の手動イオン濃度制御に比べ培養液管理の省力化や培養液中の成分濃度と pH などの培地環境変動の抑制、増収を可能とした。

以上のように本研究は、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、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 供給量制御による培養液の pH 管理、IIAS の開発などにより養液栽培における培養液管理の省力化と増収を可能とした。さらにこれらの結果は、環境や使う人に優しい養液栽培の普及・発展にも大いに貢献すると期待できることから、本論文は、博士 (農学) の学位論文として十分に価値のあるものと判定した。

最終試験結果の要旨	
学位申請者 氏名	霧村 雅昭
審査委員	主査 宮崎大学 教授 位田 晴久
	副査 宮崎大学 教授 山下 研介
	副査 鹿児島大学教授 衛藤 威臣
	副査 佐賀大学 教授 田代 洋丞
	副査 宮崎大学 教授 永田 雅輝
審査協力者	
実施年月日	平成 18 年 1 月 7 日
試験方法 (該当のものを○で囲むこと。) <input checked="" type="radio"/> 口答 <input type="radio"/> 筆答	
<p>主査及び副査は、平成18年1月7日の公開審査会において学位申請者に対して、学位申請論文の内容について説明を求め、関連事項について試問を行った。具体的には別紙のような質疑応答がなされ、いずれも満足できる回答を得ることができた。</p> <p>以上の結果から、審査委員会は申請者が博士(農学)の学位を受けるに必要なかつ十分な学力ならびに識見を有すると認めた。</p>	

学位申請者
氏 名

霧村 雅昭

[質問1] IIAS で連続使用される培養液中の微生物相は培養液の連続使用によってどのように変化するか？また、微生物はこのシステムによる培養液のイオン濃度や pH のコントロールに大きな影響を与えるのか？

[回答1] 栽培条件によって硝酸化成菌の影響は異なりますが、本研究では特に大きな影響はみられませんでした。栽培環境を無菌状態に維持すれば培養液管理に影響を及ぼす要因を限定でき、かつ衛生的ともいえますが、今後は有用微生物との共生やその有効利用についても研究を進めていきたいと考えています。

[質問2] 野菜の種類、品種及び整枝法などの栽培方法の違いに対して IIAS の養分吸収予測方法はどのように対応するのか？

[回答2] IIAS で初めて栽培する作物の場合は、First Calculation と Second Calculation により養分吸収量データを収集します。2作目からはそれまでに得られた養分吸収データを基に最適な予測法を選択し、養分吸収量予測を行います。さらにデータベースを構築することにより生産者が要求する様々な目標（高品質・多収・有用成分高含有）に対して、より適した栽培方法を追求することが可能と考えています。

[質問3] 茎葉菜では一定の培養液条件に保つことが好ましいかもしれないが、果菜ではどうか？ステージごとに好ましい条件があると思われる。また、ストレスがかかる方が甘味等の品質が改善されることがミカン等では知られているがどうか？

[回答3] ご指摘の通りだと思います。生育ステージに応じて施肥方法を変えることは有効と考えられますが、栽培管理が煩雑なため、これまであまり報告がありません。今回開発した IIAS により栽培管理の省力化が図れるため、今後の研究で取り組みたいと考えています。

[質問4] 養液栽培でも旧来の栽培技術が生かされるべき。例えば摘芯や摘葉、葉果比、栽培環境（温度・湿度）など、あるいは補光や反射光の利用等々で種々

の効果が期待できる。養液条件にこだわりすぎなくても良いのではないかと根本的な問題になってしまうが。

[回答 4] 正確なデータを得るためには完全に環境を制御できる栽培条件下において、各環境要因の影響を調査することが必要と考えられます。現在研究中であり、今後様々な条件下で栽培を行い、データを収集し、最適な栽培管理法を確立したいと考えています。

[質問 5] アンモニア態窒素と硝酸態窒素のバランスで pH の調整をするのは良い考え。生育初期、中期、後期でその比を変えて pH の調整が成功した理由は？どのようにしてその方法を思いついたのか？

[回答 5] 自身が蓄積した栽培データを検討し、また多くの研究報告を参考にし、アンモニア態窒素と pH の関係の仮説を立て試してみました。

[質問 6] IIAS は使用する個人の能力の違いによって収量などに影響を受けるのか？

[回答 6] システムを手順に従って用いればほとんど個人差はないと思います。しかし、栽培経験を生かして、システムの運用をアレンジすれば、より高度な栽培が可能と考えられます。さらに、栽培方法に関するデータベースを構築し、エキスパートシステムを開発することにより、栽培技術の向上が見込め、個人差もより小さくなると考えています。

[質問 7] 液温の管理については論文に載っていないが、どのように行ったのか？

[回答 7] 液温は吸収に大きく影響すると考えられますが、今回の実験では処理区間差がなく栽培適正範囲内であるように気をつけたものの、厳密な制御はしておりません。今後は液温を制御した条件下での培養液管理についても調査したいと考えています。

[質問 8] キュウリの品質基準はどのように決めたのか？

[回答 8] 農林水産省標準規格を参考にしました。