

養液栽培の廃棄培養液処理における 数種作物の無機要素吸収特性の研究

松岡瑞樹^{1*}・伊藤百世¹・福田直也²

¹筑波大学農林技術センター,
305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1

²筑波大学大学院生命環境科学研究科,
305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

要 旨

高糖度トマト栽培に使用した後の廃棄培養液から無機要素を植物により吸収除去するために、数種作物について各種無機要素吸収特性を評価した。ツケナ、ソルガムならびにトウモロコシについて標準培養液および高塩類濃度培養液で栽培した結果標準培養液ではいずれも高い無機要素吸収特性を示した。一方、高塩類濃度培養液の場合トウモロコシが最も高い耐塩性を示し各種無機要素を吸収した。トウモロコシの無機要素吸収効果について、吸水の有無の影響を評価した。減水時の給水の有無に関わらずリンについては定植後28日目を境に濃度が急激に低下し、58日後には環境に影響がなくなる濃度まで低下することが示された。一方窒素の場合濃度の低下率は低く減水時に給水を行った場合でも処理終了時点で600ppmの高い濃度を維持した。

キーワード：吸収除去，数種作物，養液，養液栽培

緒 言

近年、農業生産現場における環境負荷の問題が懸念されている。特に、残留肥料から溶脱する硝酸態窒素などの無機要素による地下水汚染の問題などがクローズアップされており露地圃場では速効性化学肥料から緩効性のものへと転換することが図られている。養液栽培においても、栽培終了時に出る廃棄培養液や、非循環型システムから排出される培養液に含まれる無機要素が地下水などを汚染する可能性が指摘されている（篠原 2004）。環境負荷を低減するための対策として、植物の水耕栽培で水を浄化するビオパークシステム（中里 2000）などが提唱されている。また、さまざまな植物における無機要素吸収特性について評価し、植物による廃棄培養液処理（常磐 2002）が検討されており、吸肥力という点で成長速度の速いケナフなどもその候補となっている（水田ら 2004）。加えて、脱窒システムや活性炭による濾過シス

* Corresponding Author: mzkmtok@sakura.cc.tsukuba.ac.jp

テムと植物の吸収作用の組み合わせによる廃棄培養液処理についても評価が進んでいる（繆ら 2001, 根岸ら 2001, 阿部 2005）。

筑波大学農林技術センターでも、トマトやメロンの養液栽培が行われており、栽培更新時には大量の廃棄培養液が発生する。その中でも塩ストレスを利用した高糖度トマト生産時に使用する高塩類濃度培養液についてこれを廃棄培養液として流すことは環境に影響を及ぼす可能性がある。本研究ではトマト養液栽培における廃棄培養液処理について数種植物の無機要素吸収特性について異なる二段階の濃度において検討し植物の吸収作用による培養液処理に関する基礎的知見を得た。また、実際に廃棄培養液を処理するシステムとして植物の吸収による減液量を水で補い希釈する方式と培養液濃度は調節せず全量植物に吸収させる方法についてそれぞれ検討した。

材料および方法

実験1：ガラス温室内で、ツケナ（‘タアサイ’、‘エンサイ’、タキイ種苗（株））、トウモロコシ（‘キャンベラ82’、同）ならびにソルガム（‘ラッキーソルゴー’、同）を2004年1月23日に播種した。温度条件は、昼25～30℃ 夜10～15℃で行った。いずれの植物とも、2月17日に温室内で湛液水耕装置に定植した。湛液水耕はワグネルポット（1/2000a）に培養液を10L入れエアープンプによる通気を行い実施した。培養液には、市販の培養液（大塚化学水耕用肥料B処方、（株）大塚化学）を使用した。実験では二段階の培養液濃度を設定した、培養液実験区として、標準区（S区）では、標準培養液濃度を電気伝導率で（EC） $2.4\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ とした。一方、高塩類濃度区（H区）としてはトマトの高糖度処理栽培に使用する培養液を想定して標準培養液に塩化ナトリウム（NaCl）を添加しECを $8.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ とした。実験は定植後20日間実施し、実験開始後5日毎に生育調査を行った。同時に培養液を採取し、簡易型無機イオン濃度分析器（RQフレックスプラス、関東化学（株））によって、硝酸イオン（ NO_3^- ）、リン酸イオン（ PO_4^{3-} ）、カリウムイオン（ K^+ ）、カルシウムイオン（ Ca^{2+} ）ならびにマグネシウムイオン（ Mg^{2+} ）濃度を計測した。また、携帯型塩分計（Compact Salt Meter C-121、（株）堀場製作所）により、培養液中塩化ナトリウム濃度を調査した。実験は、植物4種、培養液濃度区2段階を組み合わせた要因実験として8処理区設定し、それぞれ2回反復を行った。

実験2：ガラス温室内で、トウモロコシ（‘キャンベラ82’、タキイ種苗（株））を、2004年11月22日に播種した。温度条件は、昼25～30℃ 夜10～15℃で行った。プラグトレイ上で育苗後、12月28日に温室内で湛液水耕装置に定植した。湛液水耕はプラスチック栽培槽に培養液を50L入れエアープンプによる通気を行い実施した。培養液には実験1と同じ培養液を使用した。また、実験区として植物体による培養液吸収に合わせて水道水を補給する吸収時水補給区（SW区）と水を補給しない無補給区（NSW区）を設けた。標準濃度となる培養液濃度区（S区）はECを $2.4\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ とし、高塩類濃度区（H区）については、標準培養液に塩化ナトリウムを添加しECを $8.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ としたものを使用した。以上、水道水の補給の有無ならびに培養液濃度二段階について要因実験を設定し、合計4処理区を設けた。

実験は、定植後2ヶ月間実施し、実験開始後2週間毎に生育調査を行った。同時に培養液を採取し、ECおよびpHを測定するとともに、環境基準中問題となる硝酸イオンとリン酸イオン濃度について、実験1と同様に分析した。

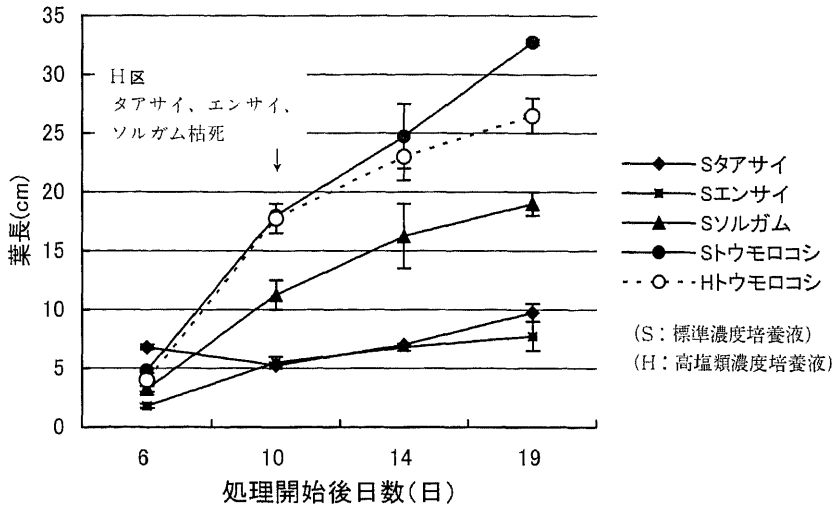


図1 各種培養液処理における作物別最大葉長の変化。
(図中のエラーバーは標準誤差 (n = 6) を示す.)

結 果

実験1：S区では、いずれの作物とも良好な生育を示した(図1)。一方H区では、トウモロコシの生育は比較的良好であったが、タアサイならびにエンサイは、処理開始後10日目には枯死しソルガムも最終的には全個体中50%が枯死した。

処理開始後20日目には、S区の培養液中各種無機要素総量 (mg/ポット) が、処理区平均で硝酸イオンは13%、リン酸イオンは49%、カルシウムイオンは29.5%、マグネシウムイオンは63.4%低下した(図2, 図3)。また、培養液中カリウムイオン濃度はエンサイとソルガムを除いて最終日には測定器の限界濃度である250ppm以下となった(図3)。一方、H区ではトウモロコシだけが全多量要素についてS区と同程度に吸収した。しかしながら、トウモロコシもH区において塩化ナトリウムは吸収できず培養液に残留し結果として培養液中濃度が実験中に50%以上増加した(図4)。

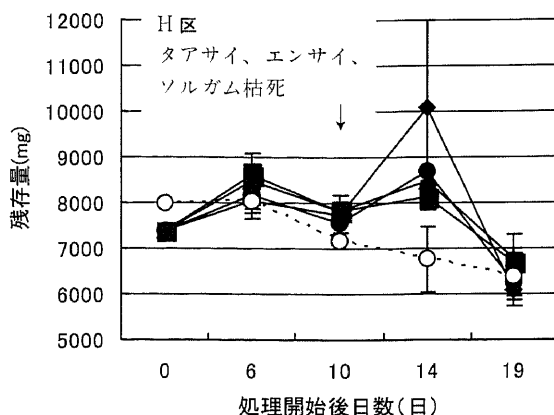
実験2：各試験区において、草丈の推移を観察したところ、いずれの処理区ともにトウモロコシは定植後以降順調な伸長を示し処理終了時には100cm程度の草丈となった(図5)。一方、葉数についても、草丈同様に各処理間に大きな差は観察されなかった。

硝酸イオン濃度は、SW区では処理開始後28日後以降急激に低下したが、NSW区では硝酸イオン濃度が一定もしくは上昇した(図6)。リン酸イオン濃度に関しては、SW区では処理開始後14日後を境に急速に低下した一方、NSW区については、処理開始後28日後より低下した。

考 察

実験1より、標準培養液濃度ではいずれの作物も比較的順調に各種無機要素イオンを吸収できることが示され中でもトウモロコシは、リンやカリウムについては高い吸収能力を示した(図2, 図3)。窒素分とリン分に関する吸収にはトウモロコシが有望であることが報告されて

硝酸イオン残存量



リン酸イオン残存量

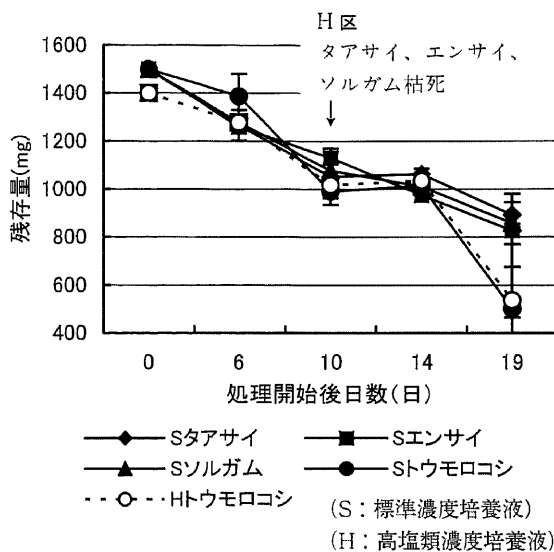


図2 数種作物を栽培した際の標準濃度培養液ならびに高塩類濃度培養液区における培養液中硝酸イオンならびにリン酸イオン残存量の変化。
(図中のエラーバーは標準誤差 (n = 2) を示す。)

いる (常盤 2002)。加えて本研究により高糖度トマト栽培で使用した廃棄培養液を想定して植物による培養液の吸収処理を行う場合トウモロコシ程度の耐塩性をもつ植物が必要となることが示された。しかしながら、トウモロコシはリンやカリウムなどの無機要素吸収力が強く、廃棄培養液を吸収させる植物としては適している一方で、塩化ナトリウムを有効に吸収できなかったことから、アッケシソウなど耐塩性が高く、かつ塩化ナトリウムを吸収できる植物と組み合わせる必要があるものと考えられる。

バラのロックウール栽培廃液でソルガム、エンサイ、ポーチユラカの3種類で浄化試験を行

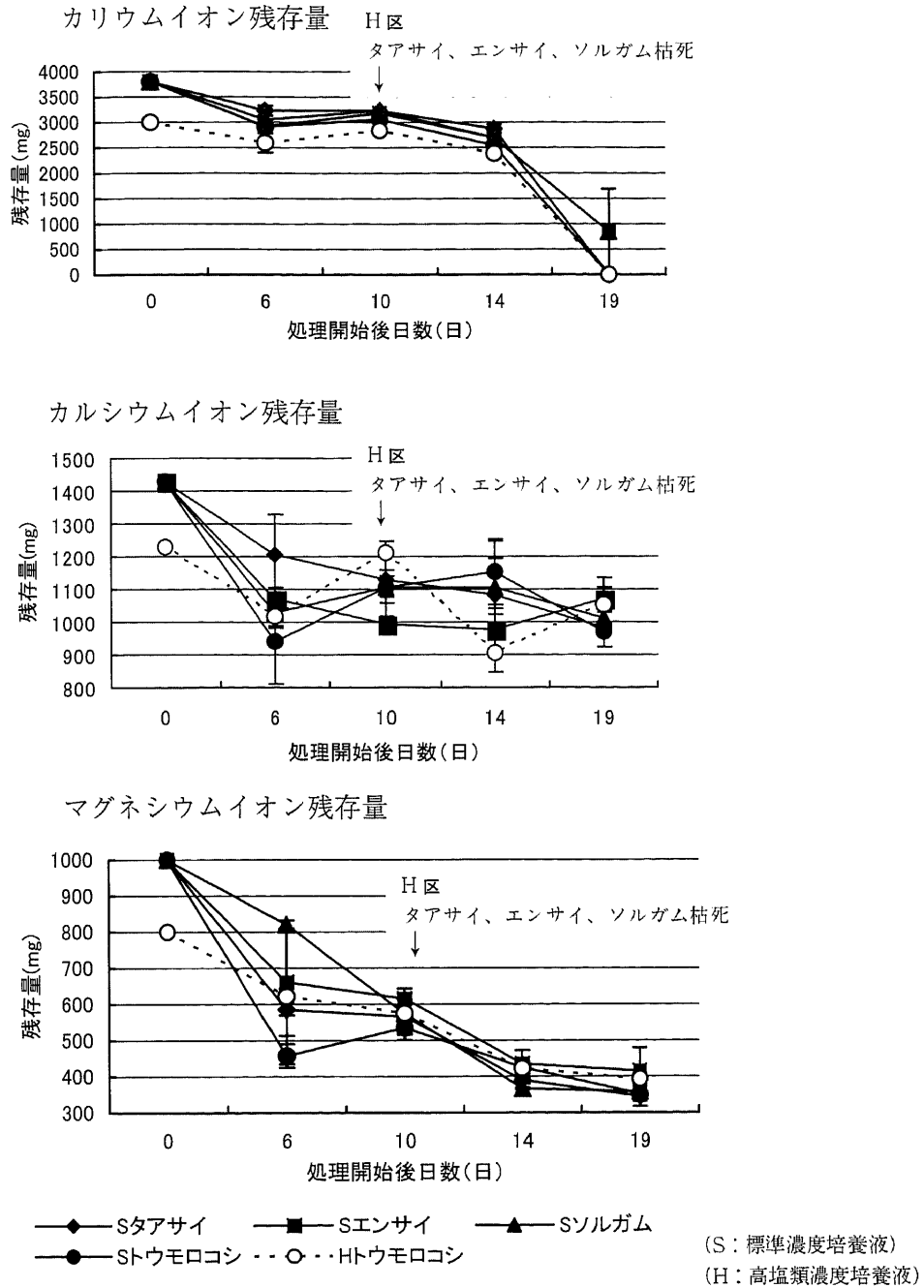


図3 数種作物を栽培した際の標準濃度培養液ならびに高塩類濃度培養液区における培養液中カリウムイオン、カルシウムイオンならびにマグネシウムイオン残存量の変化。(図中のエラーバーは標準誤差 (n = 2) を示す.)

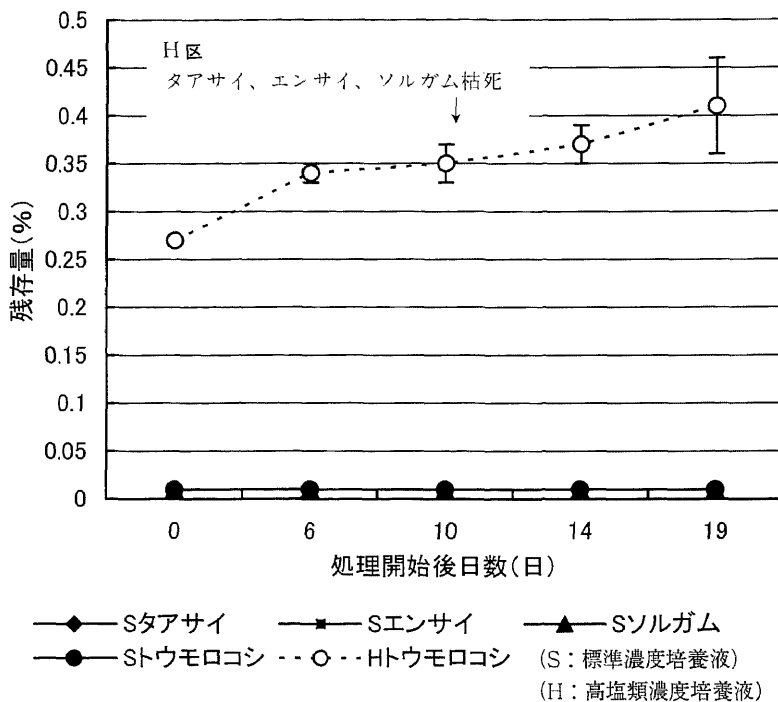


図4 数種作物を栽培した際の標準濃度培養液ならびに高塩類濃度培養液区における培養液中塩化ナトリウム濃度の変化。
(図中のエラーバーは標準誤差 (n = 2) を示す.)

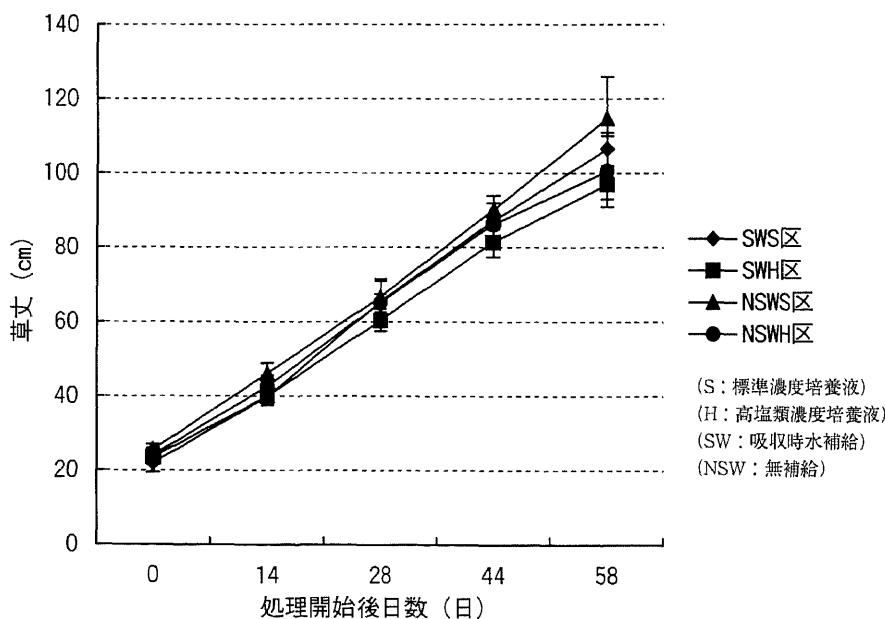


図5 養液栽培廃液吸収処理を目的とした吸収時水補給区ならびに無補給区において標準濃度または高塩類濃度培養液区で栽培したトウモロコシの草丈変化。
(図中のエラーバーは標準誤差 (n = 5) を示す.)

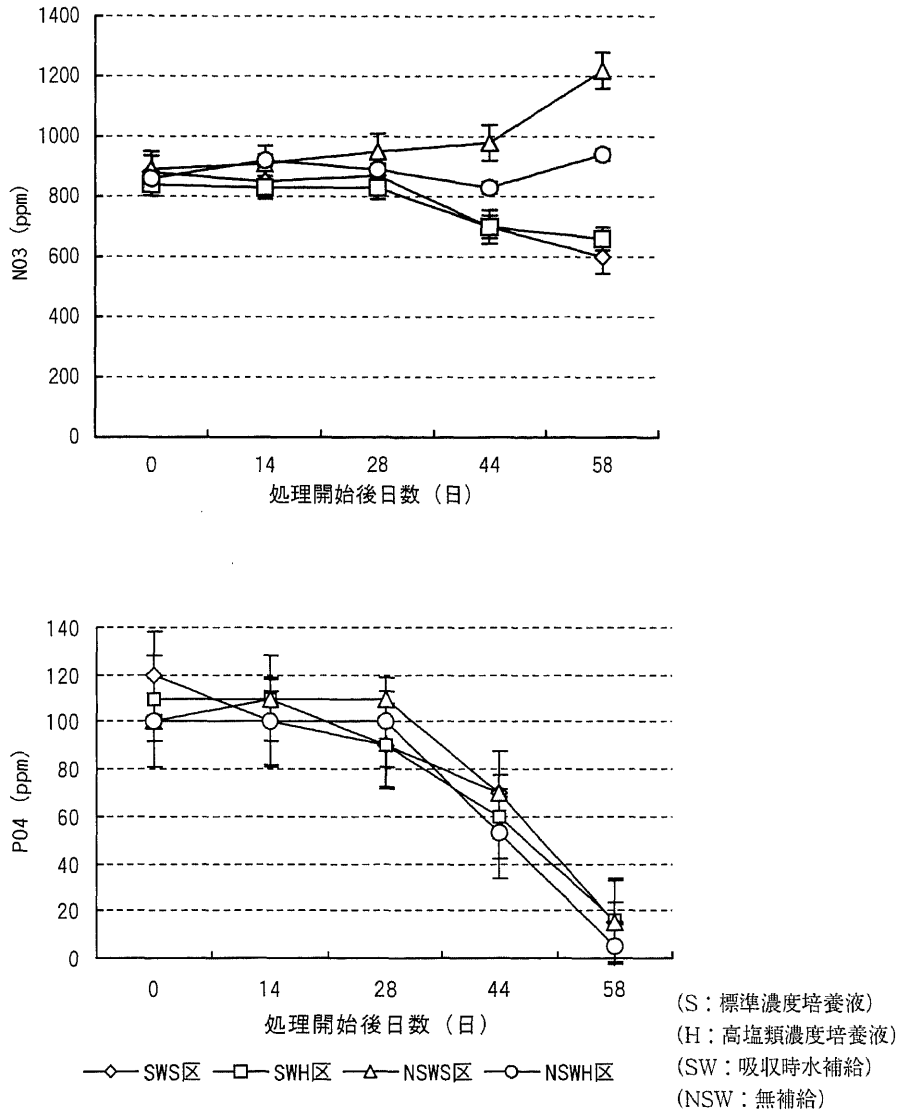


図6 養液栽培廃液吸収処理を目的とした吸収時水補給区ならびに無補給区において標準濃度または高塩類濃度培養液区でトウモロコシを栽培した際の培養液中硝酸イオンならびにリン酸イオン濃度の変化。
(図中のエラーバーは標準誤差 (n = 2) を示す.)

うと、エンサイが最も窒素とリンを効率的に回収できたとの報告もある(阿部 2005)。処理システムを構築するにあたり、エンサイは、窒素とリンを多く吸収するのでトウモロコシと組み合わせることにより、効率的に廃液を吸収浄化することが可能である。

実験2において実際的な処理システムを想定した試験を行ったが、減水分を補給しなかったところ、窒素に関しては水との吸収比率ではやや水吸収速度が速く培養液中濃度は上昇していく一方リンは水よりも要素吸収速度が速く吸収処理中に培養液濃度が低下することが判明した。リンなどの要素は、エネルギーを使用して能動的に根より吸収され植物体内で濃縮される

(谷田沢 1980)。しかしながら、窒素やカルシウムなどの要素の吸収は吸水速度に左右される部分があり(福田ら 1993)、植物体内での濃縮程度もリンやカリウムに比べると低い(谷田沢 1980)。実験1でも、培養液中のリンやカリウムの残存量は急速に減少した一方で、窒素やカルシウム残存量減少率は低かった。このように窒素の場合、水を補給せずに植物吸収処理を行うと要素に対する吸水速度が高く結果として濃度が上昇する可能性があるがリンの場合トウモロコシでは水の補給がない時でも高塩類濃度培養液でも、吸収がやや遅れるものの最終的には吸収できることが示された。

農林技術センターでは、高糖度トマトの低段密植栽培で30m²あたり50L~100Lの廃棄培養液が発生する。これを一般の農家の規模である3000m²に換算すると廃液は、5000L~10000Lになることが想定される。今回の実験の結果から考えると、17株のトウモロコシで50Lの培養液中のリンは100ppm前後から58日目以降20ppm以下になる。つまり1700株(550m²)のトウモロコシを栽培すると廃液5000L中のリンは、58日で処理することが可能である。一方窒素の場合、リンと比べると吸収速度が低く、58日間の処理後でも環境中に放流するために必要な低濃度化を達成することができなかつた。窒素濃度低下のためには、より長期間の植物吸収処理を実施する、あるいは、活性炭(繆ら2001)等の他の処理技術と組み合わせた処理方法を検討する必要がある。また、硫黄脱窒細菌(池本ら1999)や脱窒剤(阿部2005, 井原ら2004)など窒素を酸化し処理する技術が開発されつつある。植物による吸収とこれらの技術の組み合わせにより、水系汚染の原因となる窒素とリンを有効に処理することが期待できる。なお無機要素を吸収した植物については、堆肥として利用することによりゆっくりと土壌へ放出されることで環境への負担が軽くなると考えられる。

引用文献

- 阿部 薫 2005. 植物-濾材系(バイオジオフィルター)水路による養液栽培排水の浄化及び再利用. 圃場と土壌 37: 16-22.
- 福田直也・池田英男・奈良 誠 1993. 光質が人工環境下で栽培されたレタスの養水分吸収におよぼす影響. 農業施設 24: 31-38.
- 井原啓貴・太田 健・前田守弘 2004. 石灰硫黄系脱窒資材を濾材としたバイオジオフィルターによる養液栽培排水の浄化: 第2報バラロックウール栽培排水の浄化現地試験. 日本土壤肥料学会講演要旨集 50: 189.
- 池本良子・小森友明・井出康行 1999. 硫黄脱窒細菌を利用した養液栽培排水の処理. 環境技術 28(6): 419-426.
- 繆 冶煉・長谷井寛・三島 隆 2001. 活性炭を利用した養液栽培廃液の浄化処理-硝酸態窒素定量分析法の検討. 三重大学生物資源学部附属農場研究報告 12: 24-29
- 水田一枝・角重和浩・茨木俊行 2004. ケナフ等有用植物が用いたトマト少量培地耕栽培からの廃液浄化. 日本土壤肥料学雑誌 75: 497-500.
- 中里広幸 2000. 植物による環境負荷低減技術(ファイトレメディエーション)第5講植物の水耕栽培で水を浄化する総合システム. ビオパーク方式 135-168.
- 根岸 勉・日高 伸 2001. 脱窒ろ材と植物による養液栽培排水の浄化, (関東支部講演会)日本土壤肥料学会講演要旨集: 40.
- 篠原 温 2004. 環境に優しい養液栽培技術開発への課題, 農林水産技術研究ジャーナル 27: 5-11.
- 常盤秀夫 2002. ロックウール栽培排水の浄化に適した植物の検索. ハイドロポニックス 16: 21-23.
- 谷田沢道彦 1980. V. 養分の吸収と移動 p92-114, 新版作物栄養学, 朝倉書店, 東京.

Study on the Nutrient Uptake by Some Crops for Purification of the Drained Nutrient Solution in Hydroponics System

Mizuki MATSUOKA^{1*}, Momoyo ITO¹ and Naoya FUKUDA²

¹ Agriculture and Forestry Research Center, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577

² Graduate School of Life and Environmental Science, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572

Abstract

The nutrient uptakes by some crops were evaluated as cleaning crops to purify the nutrient solution drained from the hydroponics system for tomato production. In the experiment 1, two cultivars of tsukena 'En sai' and 'Tasai', sorghum and corn were grown hydroponically in two levels of salinity of nutrient solution. In the experiment 2, 2 types of purification systems with or without a system to supply tap water corresponding to the decrease of nutrient solution were evaluated. In the standard solution, all crops could show a high growth and uptakes of N, P, K, Ca and Mg. However, in high salinity nutrient solution, just only corn could grow and uptake those nutrients. By a supply of water corresponding to the nutrient solution decrease, the concentration of PO₄ ion in the nutrient solution was quickly decreased. But, the net absorption of nutrients was same in both systems, with or without the water supply system. On the other hand, the decrease of NO₃ ion concentration was lower than PO₄ ion. At the end of experiment, NO₃ concentration has kept about 600ppm level in the nutrient solution.

Key words: Cleaning crop, Hydroponics, Nutrient solution, Purification of drained solution

* Corresponding Author: nori@sakura.cc.tsukuba.ac.jp