

[別紙 2]

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 峯 洋子

施設園芸においては、現在の開放系から硝酸態窒素やリンの系外への排出を抑える閉鎖型システムへの移行が望ましい。本研究は、閉鎖型養液栽培システムにおいて培養液を再利用・循環利用する際に不可欠な培養液殺菌・除菌技術のうち、低コスト・省エネルギー型のサンドフィルターを用いた緩速砂ろ過法に着目し、これを安定的技術として開発することで閉鎖型システムへの移行に貢献することを目的として実施した。

本論文は5章からなり、第1章では養液栽培における培養液殺菌除菌技術の現状と緩速砂ろ過法の可能性について概説した。第2章、第3章では緩速砂ろ過法の養液栽培への適用性を検証し確認するために、実際にトマト植物体を用いた NFT (Nutrient Film Technique: 薄膜水耕) 栽培システムへ導入して栽培諸管理への影響を調べるとともに除菌効果・病害拡散の抑制効果を調査した。この方法では、サンドフィルターを組込んだ循環系の培養液からは Mn がほとんど除去されてしまい、トマトには2週間目頃から Mn 欠乏の黄化症状が見られるものの、微量元素液肥の追加で回避できた。一方、このフィルターを循環型ロックウール栽培システムに組込むと、欠乏症状は半年以上見られなかったが、これはロックウール培地自体に Mn が含まれることによるためと考えられた。NFT 培養液循環系の培養液タンクに大腸菌、トマト青枯病細菌、*Fusarium* sp. を添加したとき、ろ過後の濃度はタンク初期濃度の 1%以下となった。また NFT 栽培ベッド植栽したトマトの一部に青枯病細菌を人為的に接種して発病させて、緩速砂ろ過法の効果を調べたところ、発病株よりも上流の植物体への二次感染を抑えることが実証できた。本実験においては、発病株からは多量の病原菌が放出されたが、ろ過直後の培養液に病原菌はまったく検出されず、本フィルターの高機能性が明らかになった。

第4章ではサンドフィルターを組み込んだ緩速砂ろ過法を一層効果的で確実な培養液除菌技術にするための基礎知見として除菌率を測定する手法の開発を試みた。まず緩速砂ろ過の菌排出パターンの調査からはじめた。サンドフィルターに一定の菌濃度の水溶液を人的に流入させると、約 16 時間の保持時間 (retention time) 後にろ過水菌濃度が急上昇し始めて最大値に達した後、その最大菌濃度がしばらくの時間維持された。このプラトー時の菌濃度と流入水溶液内菌濃度との関係を利用して除菌率を計算することで、高精度の除菌率が得られるものと考えられた。菌のサンドフィルター内での移動速度が水溶液に比べて極めて遅いことから、除菌メカニズムには菌とろ材との間の吸着/脱着作用が大きく関与していることが示唆された。

第5章では前章の結果に基づいて除菌性能評価方法を確立して、除菌性能に影響する変動要因やサンドフィルターの熟成プロセスについての知見を得て、除菌性能の改善に取り組んだ。小型のモデルフィルターを作成し、大腸菌をモデル菌として菌排出パターンを調べた。菌を3時間以上流入させると、約6時間の保持時間を経て定常状態(プラトー)に達するが、その時点でろ過水菌濃度を測定することが効率的測定法であることが解った。

そこで流入水菌濃度とこのろ過水菌濃度の対数差であるLRD(Logarithmic reduction of microbe density)を除菌効果の指標として以降の除菌性能評価に活用することとした。フィルターの生物的熟成プロセスすなわち除菌性能の経時的な向上現象について調べたところ、バラロックウール栽培の培養液排水を5週間循環させたフィルターでは、大腸菌除菌効果のLRDは初期値の1.0~1.3から熟成して2.5~2.8へと上昇した。一方、フィルターに単なる水を循環させた場合のLRDは初期値から上昇することはなかった。また熟成フィルターへ循環させている培養溶液の排水から水溶液へと変えたとき、LRDは初期値まで低下した。逆に、加温・曝気処理(酸素添加)をした培養液排水を熟成フィルターに循環させると、LRDはそれまで安定していた2.5~2.8が更に上昇して4以上となった。これらのことは、熟成プロセスとは、累積的・不可逆的な一方向の変化ではなく、流入する水溶液の性質に依存した可逆的平衡状態への移行プロセスであることが示唆された。流入菌がろ過水へ排出されるまでの保持時間は新規のサンドフィルターよりも生物膜が形成された熟成フィルターで長い、これは本ろ過システムの熟成により吸着性が増加して菌の移動速度が遅くなったことを意味している。また、熟成フィルターが大腸菌を除菌している際の大腸菌の砂層における垂直分布を調べたところ、流入した菌の大部分は生きたまま砂表層の生物ろ過膜に捕捉されていることがわかった。これらのことから、熟成のメカニズムとは、捕食等の生物的除去作用が強化というよりも、吸・脱着性等の物理的除去作用の強化の寄与度が高いことが示された。

さらに高度に熟成させたサンドフィルターのモデル植物病原菌に対する除菌効果を検証したところ、トマト根腐萎凋病菌、バラ高温性疫病菌に対する効果は高かったものの、トマト青枯病細菌に対しては低かった。しかし、トマトに実際に青枯病を発病させた第4章の試験では、菌が大量に混入した培養液を本法でろ過した培養液からは、青枯病細菌が全く検出されず、高い除菌効果が発揮されていた。このことから、常時大量に流入する病原菌自身が、その菌に特異的な生物的除去作用(捕食等)を誘導し、実用場面では除菌率測定結果よりも安定した効果が期待できる可能性が示された。しかしながら、除菌されにくい他の菌種について、その菌種に特異的な除去作用が誘導されるか否かについては、現在のところ不明である。

以上、本研究では、緩速砂ろ過法について、施設栽培における培養液除菌技術として栽培管理上大きな問題がなく、安定的に病害拡散抑制効果を発揮できることを明らかにした。また本システムにおける除菌効果を変動させる熟成プロセスの特性の解明を通して、サンドフィルター性能改善の基礎知見を得ることで、緩速砂ろ過法の現地適用性に一定の指針を与えた。これらは、学術研究および技術開発に貢献する有用な成果であると判断した。よって審査員一同は本論文が博士(農学)の学位論文として価値のあるものと認めた。