

主論文の要約

並行複式無機化栽培法による種々の有機性廃棄物の効率的硝化法の開発

青山（河邑）　ちひろ

資源の枯渇と廃棄物の増大が深刻な問題となり、持続可能な循環型社会の実現が求められている。現代農業に必須な化学肥料の製造には大量の地下資源が使われており、有機性廃棄物の肥料活用が期待される。日本では有機性廃棄物の利用が進められてきたものの、食品廃棄物については 1/4 程度が利用されるに留まっている。また途上国では急激な発展に伴い適切な廃棄物処理が望まれる一方、高価な焼却炉を多数即刻導入することは難しく、有機性廃棄物からの安価な肥料製造が期待される。一方、土耕栽培では施肥中窒素成分の地下水への流亡による地下水の汚染や湖沼・内湾の富栄養化が生じており、日本では輸入食飼料として海外から持ち込まれた窒素も同様の問題となっている。これらの対策として、国内で産出する有機性廃棄物を有機質肥料として活用し、循環式や湛液式の養液栽培を行うことが望まれる。

しかし従来の養液栽培では有機質肥料を適切に無機化できず、養液中に残存する有機物によって植物の生育は妨げられていた。2006 年に並行複式無機化栽培法が開発され、有機質肥料を用い植物を健全に養液栽培することが初めて可能となった。この手法では有機物は養液中に構築された微生物生態系によって、アンモニウムイオンから硝酸イオンへと同一系内で連続的に速やかに無機化される。

先行研究では液体の有機質肥料を用いた野菜の栽培に成功しているものの、用いることのできる有機質肥料については、C/N 比の上限が確かめられているのみである。また硝化に必須な酸素供給法については検討されておらず、効率的な酸素供給方法は確立されていない。さらに固体の有機質肥料を用いた栽培の報告例は無く、液体の有機質肥料についても実用規模の栽培実証は行われておらず、実用規模での栽培管理体系は確立されていない。

そこで本研究では有機質肥料の性質（固体か液体か、C/N（炭素/窒素）比）による硝化の容易さを、無機態窒素回収率（生成された養液中の無機態窒素濃度／投入した窒素量）を指標とし、さらに PCR-DGGE 解析による養液中の微生物相の観点から調べた。また有機質肥料の硝化に適した酸素供給方法を検討した。養液栽培で広く用いられているエアープンプによる曝気法について検討したところ、固体の有機質肥料を用いる場合には、生成された無機態窒素が養液中から失われる現象がみられた。そこで容器形状の検討や養液を不織布袋でろ過し沈澱を取り除く操作（固液分離）を行い、その効果を調べた。さらにショッピングセンターから排出された固体の食品残渣を用いたサラダナの栽培試験を行った。また液体の鰹煮汁を用いた実用規模のトマトの栽培を試み、特に生

育に応じた施肥管理方法について検討した。

C/N 比による硝化の容易さを調べた実験において、振とう機を用いて 14 種類の有機質肥料を硝化した結果、C/N 比が 5-8 程度の有機質肥料は 60%以上の高い無機態窒素回収率を得ることができ、C/N 比が 10 を超えたあたりで無機態窒素は回収できなくなった。C/N 比が高い有機質肥料については、前処理として嫌気性消化を組み合わせたところ無機態窒素を回収でき、嫌気性消化の有効性が示唆された。また CSL (コーンスターチ製造時の廃液)、菜種油粕、食品残渣、トマト腋芽について硝化完了後の養液と微生物源について DGGE 解析を行った結果、全有機質肥料に共通して 4 種類の微生物が検出された。これらの微生物は無機化に重要な役割を果たしていると考えられる。

有機質肥料の硝化プロセスにおける酸素供給方法の検討について、エアーポンプを用いた曝気法、水流ポンプを用いた攪拌法、攪拌機を用いた攪拌法、攪拌機とエアーポンプの組み合わせ法による硝化実験を行った。液体の CSL の場合は曝気法よび、攪拌機による攪拌法において 60%を超える高い無機態窒素回収率を容易に得ることができた。固体の菜種油粕の場合は、攪拌機を用い攪拌強度を CSL の 2 倍以上の 1300rpm にすることで 60%を超える無機態窒素回収率を得ることができた。養液中溶存酸素濃度、硝化完了後の養液中全窒素量、浮遊物量、脱窒菌数から、十分な酸素の供給、底面の均一な攪拌、固形物が沈澱しづらい環境が攪拌機の高い無機態窒素回収率の要因と思われる。一方曝気法では円筒形の容器を用いることが重要である。直方体の容器では固形物は容易に沈殿し、沈澱周囲には厚いバイオフィームが観察され、生成した硝酸イオンは養液中から失われた。沈澱によるエネルギー供給と嫌気的環境が生じることによって、脱窒やアナモックスが起こったと思われる。固液分離を行うと硝酸イオンは養液中に保持された。固液分離は養液中から沈澱を除去し、厚いバイオフィーム構造を破壊することによって、脱窒やアナモックスを防ぐ効果があると思われる。

次にショッピングセンターから排出された食品残渣を有機質肥料として用い、2011 年 10 月 12 日から 11 月 9 日まで、愛知県名古屋大学のガラス室でサラダナの養液栽培を行った。ポットに水道水 3 L を注ぎ、微生物源として不織布袋に包んだ堆肥 15 g (1.5 g/L) を吊り下げ、食品残渣 3.0 g (1.0 g/L) を 4 日間連続添加しエアーポンプで曝気した。固液分離を行わない区と行う区を 3 区ずつ設け、養液の初期濃度は 40 mg N/L とし、1 ポットあたり 3 株定植し、合計 0.59 g (34 mg N/株) の食品残渣を添加した。K、P 源として草木灰を、その他の要素源として有機石灰を施肥した。対照区として無機肥料区を設け有機区と同量の窒素を施肥した。この結果、地上部新鮮重量は固液分離区では 15.4 ± 4.3 g、無固液分離区では 12.4 ± 3.1 g、対照区の無機区では 16.7 ± 7.1 g となり、食品残渣を用いて対照区と遜色無いサラダナを収穫できた。収穫時まで養液中から硝酸イオンが検出されていたことから、養液中にサラダナの生育に十分な無機態窒素が存在していたことが要因と考えられる。3 株あたりの窒素吸収量と定植時の養液中の無機態窒素量は同程度であり、追肥は不要であったと示唆される。また固液分離による収量差はなかったため、円筒形の容器を用いる場合には固液分離は必要無いと思われる。栽培期

間が長い作物の場合は、養液中に沈澱が蓄積するため、栽培中に固液分離を行う必要があるかもしれない。

実用規模のトマトの栽培を、2010年5月19日から9月27日まで三重県野菜茶業研究所の温室で行い、NFT（Nutrient Film Technique）で養液100Lを循環させ、トマト100株を定植し、5段栽培を行った。4区設け、施肥は1区あたり鰹煮汁0.275gを1単位とし、生育に応じ150単位まで増やし頂点を止めた後は順次減らした。K、P源としてパームヤシ灰を、その他の要素源として有機石灰を施肥した。対照区として無機肥料区を設け、有機区と同程度の窒素量を施肥した。栽培63日目に有機区ではトマトに著しい萎れが生じ、根部には厚いバイオフィームが形成されていた。この数日前から有機区では養液中からアンモニウムイオンが、無機区では硝酸イオンが検出されていたため、施肥量がトマトの吸収量を上まわり余剰分がバイオフィームの発達を引き起こし、根の酸素吸収が阻害されたと思われる。このことから施肥過剰の判断にはアンモニウムイオンの測定が有効と思われる。また萎れの数日前からECの急激な上昇が観察されたことから、ECの測定によって施肥過剰を予防できるかもしれない。萎れは養液を水道水で希釈することで解消され、その後トマトは健全に育ち、果実を収穫することができた。収穫果数は2、3段目では有機区の方が多く、果実新鮮重量は2から4段目においては無機区と同程度の収量が得られた。果実糖度は無機区に比べ有機区で10%程高かった。

このように並行複式無機化栽培法によって種々の有機質肥料の効果的な硝化が可能となった。液体の有機質肥料を使用する場合には曝気や攪拌機を用い、固体の場合には攪拌機を用いることで効率的な硝化が可能である。曝気法を用いる場合には円筒形の容器を用い固液分離を行うことが望ましい。C/N比が高く硝化の困難な有機質肥料を用いる際には、前処理としての嫌気性消化の有効性が示唆された。また固体の食品残渣を用いたサラダナの養液栽培を行い、無機区と同等の収量を得ることができたことから、固体の有機性廃棄物を用いた並行複式無機化栽培法の基礎的手法を確立した。このことによって有機性廃棄物の利用が促進されることが期待される。さらに鰹煮汁を用いたトマトの実用規模の栽培に成功した。この際、過剰施肥は作物に深刻な影響を与えること、過剰施肥の判断に養液中のアンモニウムイオンの測定が有効であること、養液中のECの測定によって過剰施肥の前兆を捉えられる可能性が明らかになった。

今回使用したショッピングセンターから日々排出される食品残渣の全量を並行複式無機化栽培法に利用する場合について試算すると、6ha（60,000m²）の面積で80kg/日（4.6kg N/日）の乾燥食品残渣を窒素肥料として用い、年間720万株のサラダナを栽培することができる。

並行複式無機化栽培法による有機性廃棄物利用の実用化に向け、本研究において固体の有機質肥料を用いた研究室規模の葉菜類の栽培および、液体の有機質肥料を用いた実用規模の果菜類の栽培について成功を収めたことは重要な成果である。今後は過剰施肥を予防する方法の確立と固体の有機質肥料を用いた実用規模の栽培法を確立する必要がある。