

称号及び氏名	博士（農学）宮田 尚稔
学位授与の日付	平成 17 年 9 月 30 日
論文名	「トマト栽培におけるメタン発酵消化液の液肥利用に関する研究」
論文審査委員	主査 池田 英男 副査 森 源治郎 副査 大門 弘幸

論文要旨

緒 言

近年、家畜排せつ物や生ごみ等の有機性廃棄物の増加が著しい。特に我が国で発生する家畜排せつ物は、年間約 9,400 万 t 以上で、窒素排せつ量は年間 77 万 t と推定されている。畜産農家の規模拡大に伴って、家畜排せつ物の一戸当たりの排出量は増加し、適切に処理できないケースも出てきている。これまで、家畜排せつ物の多くは堆肥として再利用されてきたが、輸送性や土壌における窒素過剰の問題などから、農地還元は限界にきている。さらに、「家畜排せつ物の管理の適正化およびその利用の促進に関する法律」が 5 年間の猶予期間を終えて、平成 16 年 11 月より完全施行となり、従来の野積みや素掘り投棄が禁止された。このような状況を考えると、家畜排せつ物の適正処理、および資源としての有効利用についての早急なる対策が必要となる。

こうした対策を考えると、メタン発酵の技術は有効と見られながら、なかなか普及が進まないのが現状である。その一因として、メタン発酵後に出てくる消化液の処理に安価で有効な手段が見出せなかったことが挙げられる。消化液を液肥として利用できれば有効な資源となり、廃棄時の水処理コストも不要となる。そこで本研究では、トマトを供試材料として消化液の液肥利用の方法について検討した。

第 1 章 消化液が養液土耕、やしがら耕、ロックウール耕および水耕におけるトマトの生育に及ぼす影響

養液土耕や養液栽培における消化液の液肥としての適性を判定するために、マサ土を培地とした養液土耕、やしがら耕、ロックウール耕および水耕でトマト栽培に用いた場合に、消化液に多く含まれるアンモニウム態窒素 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) や、ナトリウム (Na)、塩素 (Cl) が

生育に及ぼす効果を評価した。

消化液を希釈しただけのもの（補正なし）、希釈して不足成分を補正したもの（補正あり）、大塚ハウス肥料A処方培養液を1/2倍に希釈したもの（大塚1/2）の3種を液肥として使用し、トマト品種‘ハウス桃太郎’を温室内で53日間栽培した。養液土耕では、外観的な異常はほとんど認められず、生育も大塚1/2に匹敵した。しかし、これ以外の栽培法では、消化液を与えると、葉中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度は高くなり、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 過剰害が顕著に認められた。その結果、生育は大塚1/2に比べて明らかに抑制された。抑制の程度は、補正ありは補正なしより軽かった。養液土耕では他の栽培法に比べて、葉中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度が低かったことや、培地から採取した溶液中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度が消化液施与直後でも低かったことから、硝酸化成の進行や土壌への $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の吸着あるいは固定によって $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 過剰害が軽減したものと判断した。

消化液中のNaやClがトマトの生育に及ぼす影響を調査したところ、いずれの栽培法でも葉中のNaやCl濃度は生育阻害レベルより低く、NaやClによる外観上の異常は認められなかった。しかし、栽培期間中に溶液のNaやCl濃度は著しく上昇し、それに伴ってECも上昇した。

以上の結果より、消化液は、トマトの養液土耕において液肥として利用することが可能であることがわかった。しかし、長期間の栽培に利用すると、NaやClの集積による障害が発生する可能性が示唆された。

第2章 消化液を液肥として利用した場合の培地中の窒素挙動

第1章の結果を検証するために、消化液を与えた場合の培地中の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の吸着や固定、および硝酸化成について、フラスコ培養法によって詳細に調査した。本実験では、供試培地として、第1章で供試したマサ土、やしがら、ロックウールを用いた。また、マサ土以外の土壌でも同じ結果が得られるかを確認するために、大阪府立大学農学部構内の実験圃場より採取した畑土壌を用いて、同様に窒素の挙動を調査した。

マサ土に消化液を与えると、消化液中の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ は土壌中で硝酸化成されるものや、土壌に吸着、固定されるものが認められた。これに対して、やしがらやロックウールの場合には、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ はほとんど硝酸化成されなかった。別の実験から、マサ土は $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 固定能が非常に高いことを明らかにした。一般に、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 固定は2:1型粘土鉱物で見られる現象であるが、マサ土中に、2:1型粘土鉱物であるバーミキュライトの存在が電子顕微鏡観察で多く確認された。また、マサ土では、与えた $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の多くは土壌に固定されたが、フラスコでの培養期間中に固定された $\text{NH}_4^+\text{-N}$ が土壌溶液中に再び溶出されることはなく、生成した $\text{NO}_3^-\text{-N}$ はかなり少なかった。

別に、大阪府立大学農学部構内の実験圃場より採取した畑土壌を用いて窒素の挙動を調査したところ、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ は土壌に固定されず、与えた $\text{NH}_4^+\text{-N}$ は速やかに硝酸化成された。生成された $\text{NO}_3^-\text{-N}$ はマサ土に比べてかなり多かった。

前章と本章の結果を併せて考えると、マサ土を培地にした場合、消化液を液肥としたト

マトの初期生育において $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 過剰害は軽減されたが、その主因は、硝酸化成の進行よりもむしろマサ土が持つ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の吸着能や固定能によるものであり、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 過剰害の軽減効果は一時的であると推察できる。これに対して、畑土壌では、消化液を与え続けても $\text{NH}_4^+\text{-N}$ が速やかに硝酸化成されるため、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 過剰害は起こりにくく、消化液を長期間の栽培に利用できるものと考えられる。

第3章 貯蔵中の消化液からのアンモニウム態窒素の消失とその軽減対策

第1章の栽培実験の中で、消化液の貯蔵中に $\text{NH}_4^+\text{-N}$ が消失することが判明した。本章では、アンモニア (NH_3) 揮散が消化液からの $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 消失の原因であることを検証するとともに、その軽減対策についても検討した。

2% ほう酸液を NH_3 捕集液として、貯蔵中の消化液からの NH_3 揮散を調査した。その結果、常温で貯蔵した消化液から多量の NH_3 が揮散することが明らかになった。また NH_3 揮散は、消化液に過剰に含まれる炭酸 (H_2CO_3) や重炭酸イオン (HCO_3^-) が、炭酸ガス (CO_2) として揮散することによって、消化液の pH が上昇するために生じることが判明した。

消化液の pH と温度が NH_3 揮散に及ぼす影響を調査したところ、pH5.5 以下では消化液中の大部分の HCO_3^- を CO_2 として揮散させることで、 NH_3 揮散は抑制された。また、25~40℃ の範囲に限っては、 NH_3 揮散に及ぼす温度の影響は少ないものと判断された。

実用化するに当たっては、消化液の pH を 4.5 まで下げて完全に HCO_3^- を CO_2 として揮散させるのではなく、30~50 mg L⁻¹ 程度の HCO_3^- を残して消化液に pH 緩衝能を付与するため、pH を 5.5 程度に調整するのがよい。また、pH の調整に硝酸やリン酸を単用または併用すれば、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 過剰害の抑制やリンの補足に効果的であると考えられた。

第4章 消化液が養液土耕におけるトマトの生育と果実収量に及ぼす影響

養液土耕でトマトを栽培した場合に、消化液が生育と果実収量に及ぼす影響について評価した。

消化液は pH を調整後希釈して不足成分を補正したが、pH 調整に硝酸を用いたもの（硝酸補正）と、硫酸を用いたもの（硫酸補正）の2区を設定した。硝酸補正では消化液中の硝酸態窒素 ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) と $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の濃度比は 1:1 であったのに対し、硫酸補正では窒素源は $\text{NH}_4^+\text{-N}$ のみであった。対照には、大塚ハウス肥料 A 処方培養液を 1/2 倍に希釈したもの（大塚 1/2）を用いた。これら3種類の培養液を用いて、マサ土と、大阪府立大学農学部構内の実験圃場で実際の作物栽培に利用されている土壌で、トマト品種‘ハウス桃太郎’を栽培した。

マサ土では、生育中期以降、葉中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度は高くなって、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 過剰害が発現した。その結果、生育は阻害され、果実収量は大きく低下した。この原因は、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ が固定されることによって植物による $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の吸収は一時的に抑制されたが、土壌の固定能を超えて $\text{NH}_4^+\text{-N}$ を供給した場合には、硝酸化成の進行が伴わず、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ が多く吸収されたためと考えられた。処理間で比較すると、 NH_4^+ 過剰害は硝酸補正のほうが硫酸補正より軽減され、硝酸併用効果

が認められた。

一方、畑土壌では、硝酸補正、硫酸補正ともに生育は良好であった。硝酸補正では尻腐れ果はほとんど発生せずに、正常果重や1果重は大塚1/2に匹敵した。それに対して、硫酸補正では、第1果房から3果房収穫期にかけて $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 過剰害が進行したため、果実収量は次第に減少した。このように、畑土壌では、硝酸をある程度併用すれば、消化液は液肥として十分に利用できることがわかった。

本研究で一連の実験を行った結果、メタン発酵消化液は $\text{NH}_4^+\text{-N}$ を主要な窒素源とするが、高いpHを低下させるのに硝酸を用いることによって、消化液を貯蔵中に生ずる NH_3 揮散を防ぐことができること、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ に $\text{NO}_3^-\text{-N}$ を併用することによってトマトの生育や果実収量を改善する効果をもたらすこと、また与えた $\text{NH}_4^+\text{-N}$ が速やかに硝酸化成される土壌を培地とすることによって、メタン発酵消化液がトマト栽培に液肥として利用できることを明らかにした。

審査結果の要旨

近年、家畜排せつ物や生ゴミなどの有機性廃棄物の増加が著しく、これら廃棄物の適正処理、あるいは資源としての有効利用についての早急なる対策が求められている。メタン発酵の技術は有効と見られながらも、普及が進まないのが現状である。その一因として、メタン発酵後に出てくる消化液の処理に安価で有効な手段が見出せなかったことが挙げられる。本研究では、メタン発酵消化液を液肥として養液栽培あるいは土耕への有効利用についての検討を行った。以下はその成果の概要である。

第1章では、土耕や養液栽培における消化液の液肥としての適性を判定するために、土耕（マサ土）、やしがら耕、ロックウール耕および水耕で、消化液を希釈しただけのもの（補正なし）、希釈して不足成分を補正したもの（補正あり）、大塚ハウス肥料 A 処方培養液を1/2倍に希釈したもの（大塚1/2）の3種を液肥として与え、トマト品種‘ハウス桃太郎’をハウス内で栽培した。土耕以外の栽培では、消化液を与えると葉中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度は高くなり、 NH_4^+ 過剰害が顕著に認められ、生育は明らかに抑制された。一方土耕では、外観的な異常はほとんど認められず、生育も大塚1/2に匹敵して、消化液の液肥利用の可能性が示された。この場合、葉中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度が低かったことや、培地から採取した溶液の NH_4^+ 濃度が消化液施与直後でも低かったことなどから、硝化の進行や土壌への NH_4^+ の吸着あるいは固定によって NH_4^+ 過剰害が軽減したものと判断した。

第2章では、マサ土、やしがら、ロックウールならびに大阪府立大学農学部構内の実験圃場より採取した畑土壌について、消化液を与えた場合の NH_4^+ の吸着や固定、および硝化について、フラスコ培養法によって詳細に調査した。やしがらやロックウールでは、 NH_4^+ はほとんど硝化されなかったが、マサ土では、消化液中の NH_4^+ は土壌中で硝化されるものや、土壌に吸着、固定されるものが認められた。一方畑土壌では、与えた NH_4^+ は土壌に固定されず速やかに硝化されること、生成された NO_3^- はマサ土よりかなり多いことを明らかにし、消化液を与え続けても NH_4^+ が速やかに硝化されるため NH_4^+ 過剰害は起こりにくく、消化液を長期間の栽培に利用できること示唆した。

消化液の貯蔵中に NH_4^+ が消失することが判明したので、第3章ではその原因を検証するとともに、軽減対策についても検討した。まず、常温で貯蔵した消化液から多量の NH_3 が揮散することを明らかにした。また NH_3 揮散は、消化液に過剰に含まれる H_2CO_3 や HCO_3^- が CO_2 として揮散することによって、消化液の pH が上昇したために生じたことを明らかにした。消化液の pH と温度が NH_3 揮散に及ぼす影響を調査したところ、pH5.5以下では消化液中の大部分の HCO_3^- を CO_2 として揮散させることで、 NH_3 揮散は抑制された。また、25~40℃の範囲に限っては、 NH_3 揮散に及ぼす温度の影響は少なかった。

第4章では、マサ土と上記畑土壌でトマトを第3果房まで栽培して、消化液が生育と果実収量に及ぼす影響について評価した。消化液は pH を調整後不足成分を補正したが、pH 調

整に硝酸を用いたもの ($\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+ = 1:1$) と、硫酸を用いたもの (全量 NH_4^+) を比較した。対照には大塚 1/2 を用いた。マサ土では、栽培初期には NH_4^+ が固定されることで植物による NH_4^+ 吸収は一時的に抑制されたものの、土壌の固定能を超えて NH_4^+ を供給すると、栽培中期以降には葉中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 濃度が高くなって生育が阻害され、果実収量は低下した。 NH_4^+ 過剰害は硝酸補正のほうが硫酸補正より軽度であった。一方畑土壌では、硝酸補正、硫酸補正ともに生育は良好であった。硝酸補正では尻腐れ果がほとんど発生せずに、正常果重や 1 果重は大塚 1/2 に匹敵したことから、硝酸をある程度併用すれば消化液は液肥として十分に利用できることを示した。

以上のように、本研究では、メタン発酵消化液を液肥として利用することを前提に、培地の特性を比較して、マサ土のような 2 : 1 型鉱物を多く含む場合には NH_4^+ の多くは土壌に固定されて、見かけ上 NH_4^+ 過剰害は軽減されるが、固定能を超えて与え続けるとやがて NH_4^+ 過剰害が生ずること、畑土壌のように硝化が速やかに進行する培地であれば消化液を液肥として利用できることなどを明らかにした。また、消化液の保存中に生ずる NH_3 揮散の様相を解明して、その対策を確立した。このように、本研究はメタン発酵消化液を畑作物の液肥として利用するために必要な条件について有効な知見を提供すると同時に、トマト栽培において実用の可能性を示した。また本研究の結果は、園芸学のみならず、土壌・肥料学ならびに作物栄養学にも貢献するところが大きく評価できる。よって、最終試験の結果と併せて、博士 (農学) の学位を授与することを適当と認める。