

植物性残渣の嫌気性消化処理の性能向上に適した添加物の検討

新潟食料農業大学

非会員

佐藤 央弥

正会員

阿部 憲一

1. はじめに

トマトの施設栽培において商品価値のない茎葉は廃棄物であり、その処理は大きな課題である。我々は嫌気性消化（＝メタン発酵）処理を用いることでトマト茎葉を微生物的に低分子まで分解して、熱エネルギーや肥料資源として再利用できる可能性に着目した。トマト茎葉残渣由来の得られた分解生成物を熱エネルギーや肥料資源として再利用できれば、施設栽培におけるゼロエミッション化も夢ではない。

メタン発酵の処理性能を向上・安定させる方法の一つとして、微生物間の物質移動の促進を狙った導電性物質（活性炭、鉄系資材など）の添加がある^{1,2)}。これは異種間電子伝達（Interspecies Electron Transfer; IET）と呼ばれており、有機物の低分子化に伴い酸生成細菌等から放出される水素（ H^+/e^- ）を、それを利用する微生物（主として水素酸化性メタン生成古細菌）への受け渡しを促すことで、メタン発酵槽内での水素の蓄積の回避や CO_2 からのメタン化の促進といった効果が期待できるものである。

本研究では、トマト茎葉を処理対象物としたメタン発酵において、処理性能の向上・安定に最も有効な添加物を決定するために、メタン発酵の性能を向上させる効果が報告されている砂鉄（IS）、使用済みカイロ（UHP）、もみ殻燐炭（RHC）をそれぞれ添加したメタン発酵回分試験を実施した。

2. 実験方法

2.1 メタン発酵回分試験

一般家庭から排出される食品残渣を処理する中温メタン発酵タンクの発酵液を PET ボトル容器に移して、一晚以上放置して自然沈降による固液分離を行った。その後、上澄み区分を可能な限り注ぎ分けた。沈降区分の固形分（TS）はおよそ 4%であったので、取り分けた上澄み区分と混合して、TS4.6%（H）区、2.6%（M）区、1.3%（S）区と固形分（≒微生物濃度）を 3 条件に設定したメタン発酵液を調整した。それぞれの試験区に微生物群集の順適の目的でトマト葉破砕物を一定量投入し、ガス発生がほぼ観察されなくなるまで 25～30℃条件下で静置した。この順適済み発酵液を V-50 バイアル瓶に 15 g 計り取り、そこにあらためて分解対象物としてトマト葉破砕物（T）5 g を投入した。そこに砂鉄（IS）、使用済みカイロ（UHP）、もみ殻燐炭（RHC）のいずれかをそれぞれ 1.5 g を添加した試験区を設けた（無添加区は Non と表記）。バイアル瓶の気相部を Ar ガスで置換した後、ブチルゴム栓とアルミキャップで密閉し、30℃に設定した恒温器内に静置（一日一回の頻度で手動での攪拌あり）した状態で 130 日間の試験を実施した。試験期間中は適宜ガラス製注射器を用いて発生したガス量の測定を行い、採取したガスはアルミガスバッグに貯留して、GC-TCD によるガス組成分析に用いた。なお、トマト葉破砕物を投入しない各ブランク試験区からは、添加物の有無にかかわらずガス発生は観察されなかった。

2.2 微生物群集解析

試験を終了した 132 日目に発酵液を採取し、 $10,000 \times g$, 5min で遠心分離をした沈殿物に対して、原核生物の 16S rRNA 遺伝子 V4 領域を標的としたアンプリコンシーケンス解析を実施した（糺生物技研に依頼）。

3. 実験結果と考察

3.1 メタン発酵回分試験

図 1 に各試験区の累積ガス発生量の推移を示す。H-Non 区では試験開始初期に 50mL 程度のガスが発生した後、20 日間ほどの停滞期を経て再び顕著なガス発生が観察された。発酵液の固形物分が低くなるにつれ停滞期間が長くなり、S-Non 区では本試験期間中に停滞期が継続した。砂鉄を添加した IS 区では、固形物分が高い H-IS 区のガス発生挙動は H-Non 区と類似していたが、M-IS 区、S-IS 区では同じ固形物分の Non 区と比べて停滞期が短縮され、再びガス発生量が増加する挙動が観察された。一方、使用済みカイロを添加した UHP 区では停滞期からガス発生量が再増加する挙動は小さく、試験終了時の累積ガス発生量も他の試験区と比べて明確に低い傾向にあった。もみ殻燐炭を添加した RHC 区では、固形物分が高い H-RHC 区の停滞期は 10 日間未満と他の試験区よりも短く、また最終的なガス発生量も最も多かった。M-RHC 区でも類似度が高いガス発生挙動であり、また固形物分が少ない S-RHC 区でも 50 日間程の停滞期の後に顕著なガス発生が確認された。回分試験終了時のバイアル瓶内気相部のガス組成（図 2）は、S-Non 区と UHP 区以外は CH_4/CO_2 が 1.7～2.5 と良好なメタン発酵が進行していたと判断できる。S-Non 区は CO_2 の割合が優位であり、発酵不良に陥っていたことが疑われる一方で、UHP 区は CO_2 が 1.2%以下と顕著に低い割合であった。これは DIET 効果により水素酸化性メタン生成経路が活発になり、メタン発酵の各工程で発生した CO_2 のメタン化が推進した可能性も考えられるが、他方、使用済みカイロ由来の鉄成分と CO_2 とが反応して炭酸鉄などを形成して不溶化した可能性も考慮せねばならない。停滞期の短さとガス発生総量から判断すると、メタン発酵処理性能は H, M, S いずれ

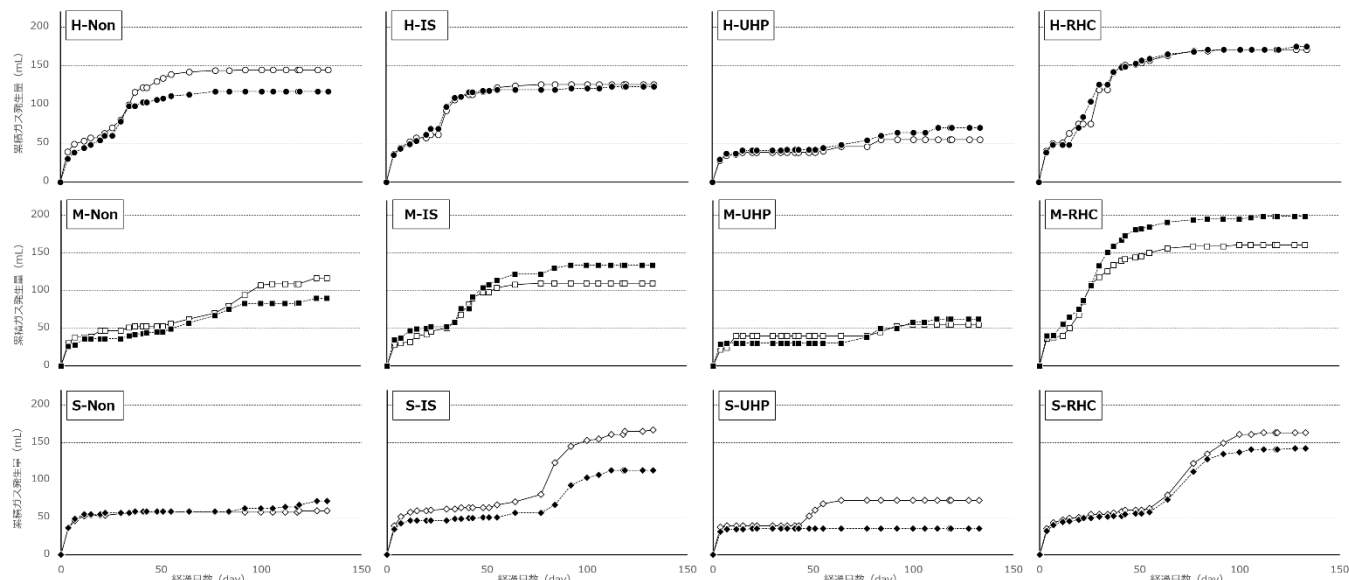


図1 メタン発酵回分試験における累積ガス発生量の推移

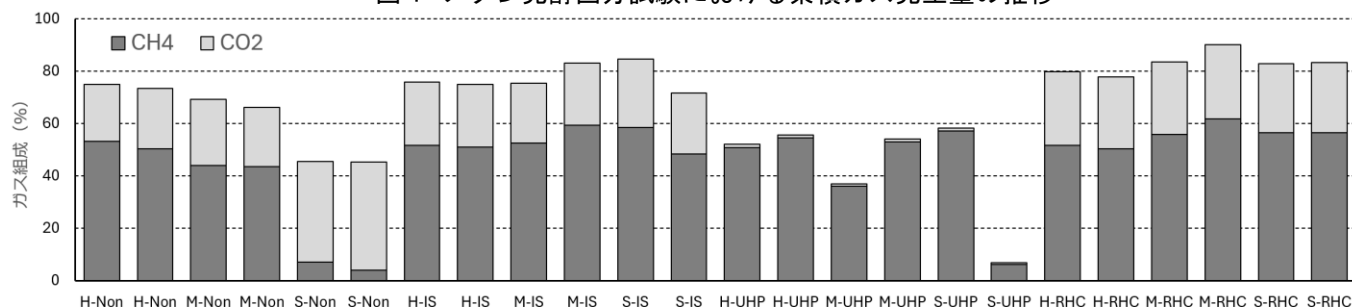


図2 メタン発酵回分試験終了時のバイアル瓶内気相部のCH₄、CO₂の割合

の試験区でも、RHC 区が高成績を示した。本試験では添加物の投入量を重量で統一したため、かさ比重が小さく、また表面積が相対的に大きいもみ殻燐炭が、微生物同士が密接に付着して生育可能な場を作り出したためだと考えられる。

3.2 微生物群集解析

回分試験終了時の発酵液のアンプリコンシーケンスデータの解析を進めている最中であるが、ここではメタン生成古細菌について現時点での解析結果を紹介する。水素資化性である *Methanobacterium*, *Methanothermobacter*, *Methanospirillum*, および酢酸資化性の *Methanotrix* と推定される ASVs の相対的存在割合は、発酵液の固形物分が少なくなるにつれ (H→M→S) 小さくなる傾向がみられた。一方、添加物がある試験区では固形物分が少ないほど、DIET 機能を有する種の存在が報告されている *Methanosarcina*³⁾ と推定される ASVs の割合が大きくなる傾向にあった。なお、砂鉄区および使用済みカイロともみ殻燐炭区では主要な *Methanosarcina* が明瞭に異なっていたが、これは鉄の存在量に影響を受けていると考えられる。

4. まとめ

トマト茎葉を投入したメタン発酵回分試験における累積ガス発生量の推移と、試験終了時のガス組成分析結果から、今回検討した添加物ではもみ殻燐炭が最もメタン発酵処理性能の向上に効果があると判断した。また、発酵液中の固形物分 (≒微生物量) が少なく、相対的に投入負荷が大きくなり発酵不良に陥る場合でも (S-Non), 砂鉄またはもみ殻燐炭が 10%(w/v) 程度添加されていることで発酵不良を回避できること (S-IS, S-RHC) が示された。

5. 参考文献

- 1) 朱愛軍, 覃宇, 謝成磊, 李玉友.: バイオメタン・バイオガス研究と応用の最新動向, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 32, No. 4, pp. 280-291, 2021.
- 2) 金子光瑠, 大門裕之.: メタン発酵技術に関する近年の動向, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 35, No. 2, pp. 107-113, 2024.
- 3) Mon Oo Yee, et. al.: Extracellular electron uptake by two *Methanosarcina* species, *Frontiers in Energy Research*, Vol.7, Article 29, 2019.