

学位論文題名

家畜ふん尿のメタン発酵における 副資材の発酵特性に関する研究

学位論文内容の要旨

家畜ふん尿は産業廃棄物としての認識が現在でも主流であり、家畜ふん尿を原因とする公害にまで発展するケースもみられる。バイオガスプラントは処理過程で発生するメタンガスをカーボンニュートラルなエネルギーとして利用可能であるために、近年高い注目を集めているが、その経済性の確保には家畜ふん尿とともに他の有機性廃棄物を副資材として発酵させる共発酵技術が必要不可欠である。しかし実規模バイオガスプラントでは、副資材の投入過剰による発酵阻害の発生は珍しくない。そこで本研究では発酵阻害を回避するために、各種副資材の発酵特性を明らかにすると共に、発酵阻害指標としてのVFA(揮発性脂肪酸)利用の可能性を検討した。

1 食品廃棄物の共メタン発酵における発酵特性

牛ふん尿の中温発酵における食品廃棄物の基礎的な発酵特性を調べた。三大栄養素のいずれを主成分とする共発酵資材においても発酵槽容積あたりメタンガス発生量は増加した。共発酵による発酵性能の低下が発生しない共発酵資材の限界VS負荷は、パン粉2.4gVS/L·day, バター2.2gVS/L·day, プロテイン0.8gVS/L·dayであった。共発酵資材の投入VSあたり平均メタンガス発生量はバターが最も大きく0.82L/gVS, 次いでパン粉0.42L/gVS, プロテイン0.31L/gVSの順であった。脂質および炭水化物の共発酵資材VS負荷1.1gVS/L·day程度での投入では、牛ふん尿の単独発酵と同等の発酵安定性を確保したまま、発酵槽容積あたりメタンガス発生量を牛ふん尿単独発酵時と比較して脂質の投入で約3倍、炭水化物の投入で約2倍に増加させることが可能であった。一方たんぱく質の投入では、低い共発酵資材VS負荷(0.2gVS/L·day)においてもVFAの蓄積がみられた。

2 食品廃棄物の共メタン発酵における発酵阻害特性の解明および発酵阻害指標の検討

副資材投入による発酵阻害特性および発酵阻害指標の利用可能性を解明するために、三大栄養素をそれぞれ主成分とした副資材の投入による発酵阻害実験を行った。炭水化物の投入による発酵阻害ではTVFA(揮発性脂肪酸総量)が蓄積した。副資材VS負荷の過剰によりメタン発酵が停止したと考えられる。脂質の投入による発酵阻害ではTVFAの蓄積はほとんどみられず、脂質の分解により生成された長鎖脂肪酸に起因した発酵阻害が発生したと考えられる。たんぱく質の投入による発酵阻害ではTVFAおよびアンモニア態窒素の蓄積がみられた。たんぱく質の分解によって生成されたアンモニア態窒素による発酵阻害に起因して、メタン発酵が停止したと考えられる。

炭水化物およびたんぱく質を主成分とする副資材の投入では、副資材の投入量あたりメタンガス発

生量からメタンガス阻害率を算出することにより、発酵槽容量あたりメタンガス発生量を発酵阻害指標として利用可能と考えられる。また、発酵阻害指標としてTVFA蓄積率を利用することにより、より早期に発酵阻害を察知可能と考えられる。しかし、脂質を主成分とする副資材の投入では、発酵阻害の進行が急激で、またTVFAも蓄積しないために、発酵槽あたりメタンガス発生量、TVFA濃度はいずれも発酵阻害指標として有効ではなかった。アンモニア態窒素は発酵阻害物質であるが、アンモニア態窒素蓄積に起因する発酵阻害指標としては有効ではなかった。

3 豚ふん尿固液分離後固形分の共メタン発酵における発酵特性

難分解性有機物を多く含んだ副資材である豚ふん尿固液分離後固形分の発酵特性を明らかにするために、豚ふん尿スラリーと豚ふん尿固液分離後固形分との共発酵実験を行った。アンモニア態窒素濃度は、固液分離後固形分の副資材投入割合が40%までにおいては4g NH₄-N/L以下、60%では5.4g NH₄-N/Lであった。このレベルのアンモニア態窒素濃度では発酵阻害が発生する恐れがある(Hansen et al., 1998)が、本実験では安定したガス発生量の維持が可能であった。発酵槽容積あたりメタンガス発生量は、豚ふん尿スラリー単独発酵と比較して、固液分離後固形分を副資材投入割合60%で投入することにより約2倍となった。実験区における平均有機物負荷は4kgVS/m³・dayと、都市ゴミの高温湿式メタン発酵プロセスにおける最適有機物負荷である6kgVS/m³・day(Hartmann and Ahring, 2006)を下回っていることから、実験区で発生した発酵阻害は高いアンモニア態窒素濃度に起因したものである可能性が高いと考えられる。しかしこのアンモニア態窒素による投入VSあたりメタンガス発生量の低下は、固液分離後固形分を投入した実験区にメイン発酵槽と同容量の中温(34°C)ポスト発酵槽を組み合わせることにより、補うことが可能であった。

4 豚ふん尿固液分離後固形分の共発酵における発酵阻害特性および発酵阻害指標の検討

豚ふん尿と豚ふん尿固液分離後固形分との共発酵において、塩化アンモニウムのパルス添加によりアンモニア態窒素濃度を増加させ、発酵阻害特性および急性アンモニア発酵阻害における発酵阻害指標について明らかにした。アンモニア態窒素濃度とメタンガス阻害率との間に強い負の相関($R^2 = 0.85$)がみられた。アンモニア態窒素濃度11.1g NH₄-N/Lにおいてメタンガス阻害率は50%であった。家畜ふん尿のメタン発酵において最も多く生産されるVFAである酢酸およびプロピオン酸は、アンモニア態窒素濃度の増加により蓄積しなかった。イソ酪酸、酪酸およびイソ吉草酸のそれぞれが発酵阻害指標として有効であると考えられる。これは酪酸およびイソ酪酸の組み合わせ指標が特に優れた発酵阻害指標だとするAhring et al.による研究報告と同様の結果であった。

家畜ふん尿と有機性廃棄物との共発酵において、各種副資材の発酵特性および発酵阻害時の発酵パラメーターの挙動を明らかにするという当初の目的は達成されたものと考えられる。VSあたりメタンガス発生量理論値が三大栄養成分中最も高く、優れた副資材だと考えられているたんぱく質が、本研究ではVSあたりメタンガス発生量が最も低く、またアンモニア態窒素阻害が発生するために限界VS負荷も最も低いことが示された。脂質はVSあたりメタンガス発生量が最も高い優れた副資材ではあるが、脂質の過剰投入による発酵阻害は急激に発生するために、その回避が難しいことも明らかとなった。また、豚ふん尿固液分離後固形分は窒素含有量が高いため、その共発酵では発酵阻害物質であるアンモニア態窒素濃度が容易に上昇することが明らかとなった。

炭水化物、たんぱく質を主成分とする副資材に対してはメタンガス阻害率およびTVFA蓄積率が発

酵阻害指標として利用できることが示された。残る脂質を主成分とした副資材に対応する発酵阻害指標の検討が今後の課題である。また、アンモニア態窒素による発酵阻害に関しては、イソ酪酸、酪酸、イソ吉草酸が発酵阻害指標として有効であるとの結論を得た。

学位論文審査の要旨

主 査 准教授 近江谷 和 彦

副 査 教 授 木 村 俊 範

副 査 教 授 野 口 伸

副 査 教 授 荒 木 肇 (北方生物圏フィールド
科学センター)

学 位 論 文 題 名

家畜ふん尿のメタン発酵における 副資材の発酵特性に関する研究

本論文は、全 7 章からなる総頁数 121 の和文論文である。論文には図 21, 表 13, 引用文献 91 が含まれている。

家畜ふん尿は産業廃棄物としての認識が現在でも主流であり、家畜ふん尿を原因とする公害にまで発展するケースもみられる。バイオガスプラントは処理過程で発生するメタンガスをカーボンニュートラルなエネルギーとして利用可能であるために、近年高い注目を集めているが、その経済性の確保には家畜ふん尿とともに他の有機性廃棄物を副資材として発酵させる共発酵技術が必要不可欠である。しかしバイオガスプラントでは、副資材の投入過剰による発酵阻害の発生は珍しくない。そこで本研究では発酵阻害を回避するために、各種副資材の発酵特性および発酵阻害指標を明らかにすることを目的とした。

1 食品廃棄物の共メタン発酵における発酵特性

牛ふん尿の中温発酵における食品廃棄物の基礎的な発酵特性を調べた。共発酵による発酵性能の低下が発生しない共発酵資材の限界 VS (有機物) 負荷は、パン粉 2.4gVS/L·day, バター 2.2gVS/L·day, プロテイン 0.8gVS/L·day であった。共発酵資材の投入 VS あたり平均メタンガス発生量はバターが最も大きく 0.82L/gVS, 次いでパン粉 0.42L/gVS, プロテイン 0.31L/gVS の順であった。たんぱく質の投入では、低い共発酵資材 VS 負荷 (0.2gVS/L·day) においても VFA (揮発性脂肪酸) の蓄積がみられた。

2 食品廃棄物の共メタン発酵における発酵阻害特性の解明および発酵阻害指標の検討

副資材投入による発酵阻害特性および発酵阻害指標の利用可能性を解明するために、三大栄養素である炭水化物、脂質およびたんぱく質をそれぞれ主成分とした副資材の投入による発酵阻害実験を行った。炭水化物の投入による発酵阻害では TVFA (揮発性脂肪酸総

量)が蓄積した。副資材 VS 負荷の過剰によりメタン発酵が停止したと考えられる。脂質の投入による発酵阻害では TVFA の蓄積はほとんどみられず、脂質の分解により生成された長鎖脂肪酸に起因した発酵阻害が発生したと考えられる。たんぱく質の投入による発酵阻害では TVFA およびアンモニア態窒素の蓄積がみられた。たんぱく質の分解によって生成されたアンモニア態窒素による発酵阻害に起因して、メタン発酵が停止したと考えられる。

炭水化物およびたんぱく質を主成分とする副資材の投入では、副資材の投入量あたりメタンガス発生量からメタンガス阻害率を算出することにより、発酵槽容量あたりメタンガス発生量を発酵阻害指標として利用可能と考えられる。また、発酵阻害指標として TVFA 蓄積率を利用することにより、より早期に発酵阻害を察知可能と考えられる。しかし、脂質を主成分とする副資材の投入では、発酵阻害の進行が急激で、また TVFA も蓄積しないために、発酵槽あたりメタンガス発生量、TVFA 濃度はいずれも発酵阻害指標として有効ではなかった。

3 豚ふん尿固液分離後固形分の共メタン発酵における発酵特性

難分解性有機物を多く含んだ副資材である豚ふん尿固液分離後固形分の発酵特性を明らかにするために、豚ふん尿スラリーと豚ふん尿固液分離後固形分との共発酵実験を行った。発酵阻害物質であるアンモニア態窒素濃度は、固液分離後固形分の副資材投入割合が 60%において 5.4g NH₄-N/L であったが、安定したガス発生量の維持が可能であった。発酵槽容積あたりメタンガス発生量は、豚ふん尿スラリー単独発酵と比較して、固液分離後固形分を副資材投入割合 60%で投入することにより約 2 倍となった。アンモニア態窒素による投入 VS あたりメタンガス発生量の低下は、固液分離後固形分を投入した実験区にメイン発酵槽と同容量の中温(34°C)ポスト発酵槽を組み合わせることにより、補うことが可能であった。

4 豚ふん尿固液分離後固形分の共発酵における発酵阻害特性および発酵阻害指標の検討

豚ふん尿と豚ふん尿固液分離後固形分との共発酵において、発酵阻害特性および急性アンモニア発酵阻害における発酵阻害指標について明らかにした。アンモニア態窒素濃度とメタンガス発生率との間に強い負の相関($R^2 = 0.85$)がみられた。家畜ふん尿のメタン発酵において最も多く生産される VFA である酢酸およびプロピオン酸は、アンモニア態窒素濃度の増加により蓄積しなかった。イソ酪酸、酪酸および吉草酸のそれぞれが発酵阻害指標として有効であると考えられる。

本研究では家畜ふん尿のメタン発酵における副資材の発酵特性、発酵阻害特性および発酵阻害指標を明らかにした。その結果、発酵阻害を回避し、安定してメタン発酵を行うために極めて有用な知見が得られ、今後バイオガスプラント普及の促進に寄与するものと期待される。

よって、審査員一同は、中久保亮が博士(農学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。