

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06336

研究課題名(和文)メタン発酵及び好気処理の相補的結合による液肥製造システム

研究課題名(英文)Liquid Fertilizer Production System by Complemental Integration between Methane Fermentation and Aerobic Treatment

研究代表者

田中 宗浩(Tanaka, Munehiro)

佐賀大学・農学部・教授

研究者番号：50295028

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：メタン発酵及び液状好気高温発酵の連結条件を明らかにするために、炭素源として草本系バイオマスである麦茎葉をモデル材料としたメタン発酵と好気処理を連結した液肥化試験を行い、発生熱量と処理液の肥料特性を検証した。麦をC源としたメタン発酵は約66%の資化率を示し、純メタンの発生率は6.2 L/gC (0.28 mol/gC)となった。好気処理は、炭素源としての麦茎葉添加が増加するほど発熱量が増加したが、外気から2℃程度の上昇に留まり、高温域への遷移は確認されなかった。好気処理液は完熟堆肥と類似した肥効を示し、植害試験で4倍濃度投入でも生育阻害は発生せず、極めて良好な肥効を示すことが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

メタン発酵技術は、食品残さ、尿尿、家畜糞尿、汚泥などの有機物を材料としたエネルギー生産と消化液の肥料供給を可能とする資源化処理技術として注目されている。しかし、地域によって発生する有機物資源の種類は様々であるため、メタン発酵のみでは多様なバイオマス資源へフレキシブルに対応した安定処理を行う事が困難であった。そこで、本研究ではメタン発酵と好気処理の融合処理技術を発案した。また、廃棄バイオマスの微生物処理で問題となる炭素源の不足に対して、未利用資源である草本系バイオマスが有効な炭素源となることを確認した。さらに最終生産物の液体肥料は完熟堆肥と同レベルの品質を示すことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In order to clarify the conditions for coupling methane between methane fermentation and liquid aerobic thermophilic treatment, the liquid fertilizer conversion experiments were conducted using both methods coupled with barley stems and leaves of herbaceous biomass for the model materials as a carbon resource, then verified the amount of unit heating value and fertilizer characteristics of the treated liquid. Methane fermentation using barley as the C resource resulted in 66% contribution rate and a net methane production rate was 6.2 L/gC (0.28 mol/gC). In the aerobic treatment, the calorific values were increasing by barley additions, but the increase was only about 2°C above the ambient air temperature. Treated liquid by the aerobic treatment showed similar properties to fully ripe compost. By the plant growth inhibition tests, there were no inhibitions for plant growth and extremely good fertility of aerobically treated liquid.

研究分野：農業環境工学

キーワード：メタン発酵 好気処理 草本系バイオマス 液肥 植害試験

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

メタン発酵はエネルギー供給と同時に、発酵最終物であるメタン消化液(以下、消化液と記す)の肥料利用が可能な技術である。消化液を肥料として利用する場合、近年では処理工程の中に消化液の改質や加熱殺菌を行うためのプロセスを組み入れることが求められ、その結果、処理工程におけるエネルギー収支の悪化と、施設の維持管理コストの増加を招いている。これらの課題解決には、マテリアル及びエネルギーバランスを抜本的に向上させた新たな資源化理論の構築が不可欠であると考えられる。

また、非畜産地帯においては、メタン発酵材料の調達についても課題が顕在化している。福岡県大木町、みやま市、築上町、長崎県壱岐市は、人のし尿を材料とした液体の肥料製造施設を導入して肥料製造と利用普及に取り組んでいるが、近年ではトイレ水洗化に伴う生し尿の濃度低下や、浄化槽の普及による低濃度汚泥の引き抜き処理が増加しており、その結果、液肥化施設で生産する肥料濃度の低下が深刻な課題となっている。

材料バイオマスの高濃度化として、液肥の濃縮や食品残さ等の追加補填が必要であると考えられるが、これらの技術は未確立である。従って、地域の多様なバイオマス資源分布に対してフレキシブルに対応でき、従来型の生物処理技術よりもマテリアル及びエネルギーバランスを改善する手法を明らかにし、様々な種類の有機物資源を複合的に資源化するために最適な変換システムを構築することが求められている。さらには出口である

2. 研究の目的

日本国内で発生している廃棄物系バイオマスとして、食品残さ(厨芥)、屎尿、家畜糞尿、汚泥などが挙げられ、これらの利活用は国策として不可避の課題である。廃棄物系バイオマスの利用方法の主たる技術として農業用肥料への変換利用があり、大別すると堆肥化(固形状の好気高温発酵)、メタン発酵(湿式及び乾式)、強制発酵(液体状の好気高温発酵)、活性汚泥法などがあるが、通常、廃棄物系バイオマスは高含水率であるため、湿潤状態のまま処理が可能であれば、脱水調整に要するエネルギー損失の回避、水分調整や乾燥工程等の前処理が軽減され、処理施設の小型化や臭気拡散防止のメリットが生まれる。このメリットを損なわない方策、つまり液状を保持したままバイオマスの処理を可能とする技術であるメタン発酵と液体状好気高温発酵の融合を提案し、双方のマテリアルバランスに基づいて、要素技術を連結した生物処理技術の構築を目的とした。

3. 研究の方法

1) 草本系バイオマスの微細化と消化率への影響

近年メタン発酵の炭素源として草本等に含まれる構造多糖類の添加の有効性が示されており、ラボスケールの 500ml プラスチックボトルのメタン発酵装置を用いて、消化液に含まれる固形物の磨砕処理による微細化の効果を検証した。ミル破砕微細化した麦茎葉を、固形物を除去したメタン発酵消化液を種菌として導入したリアクターへ供試し、C/N 比 15 の条件下による草本系バイオマスの物理的破壊による嫌気性消化効率への影響を検討した。

2) 炭素源としての草本系バイオマスの酸アルカリ処理による可溶化への影響

メタン発酵による有機物の消化速度を最適に維持するために、C/N 比 15 程度が推奨され、下水汚泥や家畜糞尿のような窒素過多の基質は、炭素源の追加による消化率の向上が見込まれる。そこで、草本系バイオマスに着目した。バイオマス中のセルロース等の繊維は微生物に資化されにくいですが、それ以外の可溶成分がメタン発酵で利用できれば、C/N 比調整用の基質として使用できる可能性がある。また、酸・アルカリを用いて事前にバイオマスの可溶成分を液化分解しておけば、嫌気性消化の基質となって促進が期待される。そこで、本研究では大麦茎葉を草本系バイオマスのモデル材料とし、嫌気性消化の前処理として酸アルカリ可溶化処理の可能性を検討した。

3) 消化液の好気処理条件における草本系バイオマス添加の影響と酸素消費速度の変化

メタン消化液は、水田への利用技術は確立されているが、畑地ではアンモニア態及び有機態窒素の硝酸化成を促すために厳密な土壌含水量の管理が必要であり、効果的な利用体系構築が遅れ、利用普及が進まない状態となっている。そこで、消化液を好気処理してアンモニア態窒素を硝化させて改質するためには、より多くの炭素源を必要とする。そこで、草本系バイオマスを消化液の好気処理(活性汚泥法)の追加基質として供試し、炭素源としての利用可能性を検討した。

4) 消化液及び好気処理液の肥料品質評価

草本系バイオマスを追加して処理したメタン消化液及び好気処理液を用いて植害試験を実施し、液肥の肥料特性を検討した。また、消化液の特殊な肥効を解明するために、固液分離を行い、それぞれを植害試験へ供試して肥料特性を検証した。

5) 地方自治体による資源循環の取り組みと地域への導入シナリオの検討 (福岡県大木町とタイ国ウドンタニ市比較)

有機性廃棄物(厨芥・し尿・浄化槽汚泥)のメタン発酵に取り組む福岡県大木町(人口 14,220人(2019)、町面積 18.43km²(うち、農地 53%、水路 8%、居住地区 22%))と、タイ北東部にあるウドンタニ自治区(人口 130,457人(2019)、面積 47.7 km²、し尿・生活排水は郊外のラグーンで緩速濾過による浄化放流、廃棄物は埋め立て処理)を比較し、行政による廃棄物処理が地域へ及ぼす波及効果を検討した。

4. 研究成果

1) 草本系バイオマスの微細化と消化率への影響

麦茎葉をブレンダーで1次破碎してホモジナイズ(10000rpm×1min)実施した処理と、5cm程度へカットした処理区を比較した結果、ホモジナイズ処理(M区)がカット(C区)よりも優位にメタン発生量が増加した(M区 2.82 m³/kg-VS, C区 2.34 m³/kg-VS)。総メタン発生量から資化された麦中の炭素源を試算すると、M区は35.4%、C区は29.4%を示し、麦茎葉の破碎によるメタン収率の向上が確認された。消化された有機物は、M区が48.7%、C区が47.7%であり、VSではM区が50.2%、C区が43.0%を示し、物理的破碎による消化促進が確認された。大麦の可溶性固形物に含まれる資化可能な基質の濃度は68%程度であることが確認された。純メタンの発生率は6.2L/gC(0.28mol/gC)となった。また、茎葉の比率を変化させて消化試験を実施したが、メタン発生量と茎葉添加量の違いによる有意差は確認されず、茎葉を基質とした場合は、メタン発生に要する炭素源以外の成分が律速となった可能性が示唆された。

2) 炭素源としての草本系バイオマスの酸アルカリ処理による可溶化への影響

茎葉の細胞接着を司るペクチン質の分解を促すため1:120濃度のH₂SO₄及びNaOHを用いて100×30分の酸アルカリ処理を施した分解液及び固形物を作成し、メタン発酵試験(C/N=15)へ供試した結果、メタン発酵前後の茎葉の分解率は、対照区が69.9%~72.2%に対して、酸アルカリ処理は83.5%を示し、粗繊維以外の固形物はメタン発酵によってほぼ全量が可溶化されたことが確認された。しかし、総メタン発生量は、対照区に対して酸アルカリ処理は46%と著しく減少する結果となった。

3) 消化液の好気処理条件における草本系バイオマス添加の影響と酸素消費速度の変化

好気処理の種菌として60以上の好気高温状態の固形堆肥から35の水を用いて菌体を抽出し、消化液の全窒素をN基準としてC/N比25となるように消化液と茎葉を混合し、好気処理を実施した結果、曝気処理中のDOは対照区が9.0mg/Lを示したのに対して、茎葉添加区は5~4mg/Lと低下し、茎葉の消化率は68.3~67.7%を示した。茎葉の添加量が増加するほど発熱量が増加したが、外気から2程度の上昇に留まり、高温域への遷移は確認されなかった。曝気後のpHは8.7程度まで上昇したため、アンモニア態窒素は消失し、硝酸態窒素は5~8ppmの生成に留まる結果となった。

以上から、麦茎葉は嫌気及び好気処理の両方で高い消化率を示すことが確認され、同時に微生物処理に伴う菌体増殖に起因する一種の窒素飢餓が発生している可能性が示唆された。

4) 消化液及び好気処理液の肥料品質評価

本研究では、2)及び3)によって製造した消化液及び好気処理液を植害試験へ供試し肥料特性を検討した結果、消化液は標準~2倍濃度までは標準区と同レベルの100%の生育指数が得られたが、3~4倍では生育阻害が確認された。好気処理液は、完熟たい肥の肥料特性と類似した肥効を示し、施肥量が標準~4倍区まで良好な生育を示すことが確認された。

消化液の肥効特性を確認するために、固液分離で得られた濾液及び固形物の肥料特性を検証した結果、濾液は

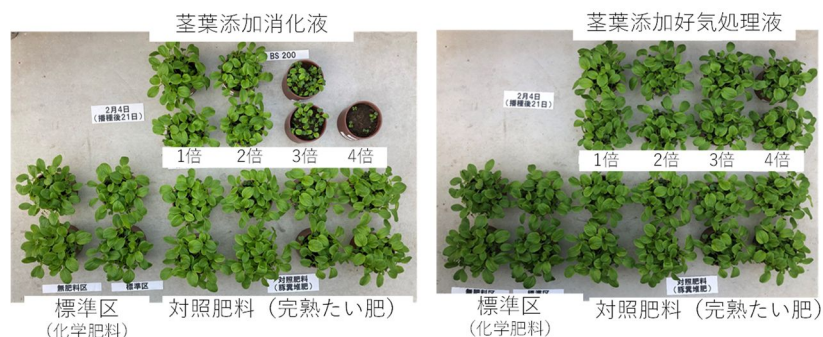


写真 肥料取締法に基づく植害試験結果(播種後21日目)

化学肥料と同様に標準濃度のみ100%の生育指数を示したが、2倍区以降は著しい発芽及び生育阻害が発生した。固形物は完熟たい肥同様に施肥量が標準~4倍区で生育指数100%前後の安定

した良好な生育結果となった。以上から、茎葉添加の液肥は、肥料濃度に対する高い緩衝作用を維持しながら、化成肥料と同レベルの即効性を維持した肥料となることが確認された。また、特にメタン発酵の C/N 比調整を目的として草本系バイオマスを加えることは可溶化過程に有効であり、消化液の肥料特性が改善される効果が確認された。

5) 地方自治体による資源循環の取り組みと地域への導入シナリオの検討（福岡県大木町とタイ国ウドンタニ自治区の比較）

福岡県大木町におけるメタン発酵施設の導入による地域への影響を経済波及効果として推計した結果、廃棄物処理コストは 32,335,000 円/年の支出削減となることが確認された。メタン発酵による自家発電（285,495kw/年）は全て施設内の自家消費であり売電代へ換算すると 7,936,761 円の代替効果を示した。消化液の肥料利用による地域農家の肥料代替効果は 10,298,211 円と試算された。

ウドンタニ自治区は、廃棄物処理としてオープンダンピングサイトを使用しているが、将来的にはプラスチックと紙を材料とした RDF 製造による発電事業（固定価格買取制度による売電）と、厨芥の堆肥化を計画している。発電量は 117,567,031kW、売電収入 38,797,120 円/年（18.4 円/kWh）と試算され（タイ国の国勢データに基づく）るが、これらの収入予測は RDF 関連施設の運営経費をわずかに上回る試算結果となった。厨芥の賦存量は 29,226t/年と推測され、これらを用いたメタン発酵が導入されれば、1,390,646kw/年の発電が可能であると試算された。消化液発生ポテンシャルから換算すると、水田 584ha（農地全体の 40.8%）に相当する肥料供給が可能であると試算された。さらにウドンタニはメコン川流域に位置しているため、乾季でも水田への灌漑水供給が可能である地域が広がっており、地域の農産物収量の増加に著しく貢献することが明らかになった。

表 1 自治体内で生産する液肥の供給量と農家の要求に対する液肥の供給率

	農地面積	液肥生産量	液肥供給面積	供給率	原料
ウドンタニ自治区	14.3 km ²	29 千トン	584ha	40.8%	生ごみ
福岡県大木町	18.4 km ²	6 千トン	120ha	6.5%	生ごみ及びし尿

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Gregory Sungliedong Kukpieun ZACKARIAH and Munehiro TANAKA
2. 発表標題 Validation of crop growing characteristics of Digested Liquid (DL) by methane Fermentation from Miyama City Biomass Center
3. 学会等名 2019年 農業食料工学会・農業施設学会・国際農業工学会第6部会 合同国際大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Gregory Sungliedong Kukpieun ZACKARIAH and Munehiro TANAKA
2. 発表標題 Quantification of The Introducing Potential on Local Biomass Resources as Fertilizer Based on The Chemical Properties of Soil and Water in Wa Municipality, Ghana
3. 学会等名 The 12th TSAE International Conference
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
タイ	UdonThani Rajabhat University	KMITL	