

|         |  |         |       |
|---------|--|---------|-------|
| 氏名      | 黄 薇薇 (Weiwei HUANG)  |         |       |
| 学位の種類   | 博 士 (環境学)  |         |       |
| 学位記番号   | 博 甲 第 7948 号   |         |       |
| 学位授与年月日 | 平成 28 年 9 月 23 日   |         |       |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当   |         |       |
| 審査研究科   | 生命環境科学研究科  |         |       |
| 学位論文題目  | Enhanced Dry Anaerobic Digestion of Swine Manure and Changes of Its Nutrients Bioavailability<br>(豚糞の乾式嫌気性消化の強化及びそれらの栄養分の生物利用性の変化) |         |       |
| 主査      | 筑波大学 教授  | 博士 (農学) | 張 振亜  |
| 副査      | 筑波大学准教授  | 工学 博士   | 雷 中方  |
| 副査      | 筑波大学准教授  | 博士 (理学) | 内海 真生 |
| 副査      | 筑波大学准教授  | 博士 (学術) | 水野谷 剛 |

## 論 文 の 要 旨

畜産業廃水、特に養豚所廃水 swine manure (SM) の廃棄量は大きく、有機物、窒素、リン等を豊富に含有し、地球温暖化ガスの排出や水環境の富栄養化、地下水汚染などを引き起こし、世界的な環境問題になっている。それらの汚染負荷を低減させ、持続可能な農業の発展のため、SM の再資源化や窒素、リン、メタンなどの有価物の回収技術の開発は必要となっている。一方、乾式嫌気性消化技術はバイオエネルギー生産や栄養塩類の回収に重要かつ有望な技術として位置付けられているが、制限要因としては高濃度のアンモニアによりメタン菌の増殖阻害、揮発性脂肪酸の阻害、豚糞に含まれているリグノセルロース系バイオマスの加水分解の難しさなどが指摘され、長い水理学的滞留時間やバイオマスエネルギー変換効率を低下させる。ここで審査の対象となる研究論文は、SM の嫌気性消化性を改善するため、アンモニア阻害を制御し、揮発性脂肪酸 (VFAs) の生産性を向上させることに着目し、適正かつ効率的な SM 前処理技術の確立を目指している。特に、著者は持続的な農業の発展のため、畜産廃棄物である豚糞を研究の対象として、異なる処理プロセスにおいて、C、N、P 資源の回収、生物の利用性や総合利用技術の研究開発を試み、畜産廃棄物から資源の回収技術の確立を目的としている。

著者は異なる SM の前処理プロセスを実験で下記の 2 つの実験を試みた。1) 短期間の乾式嫌気性発酵を行い、SM の加水分解及びアンモニアの生成を促進し、その後エアストリッピング法でアンモニア回収及び固液分離法で VFAs 分離を行った。VFAs やアンモニアを分離した後の固体分を乾式メタン発酵の材料として利用すれば、アンモニアや VFAs による阻害を最小限に抑制出来ると考えられた。2) 水熱前処理法を用い SM の前処理を行い、SM の加水分解を促進してアンモニアを回収可能とすることで、乾式メタン発酵への阻害低減を試みた。主な結果は下記の通りである。

1. 短期間の乾式嫌気性発酵を行い、バイオガスの先駆物質である揮発性脂肪酸 VFAs の生産性、発酵物からアンモニアをストリッピング法で回収率、リンの生物利用性について検討した。乾式発酵物に対しストリッピング法を、固液分離した液に対し湿式ストリッピング法を実施した結果、初期 pH11.3、発酵温度 55℃、TS20%、8 日間の発酵物に対し 3 時間のストリッピングでは、高いアンモニア回収率が得られ、それぞれ 96.2 と 99.7%に達し、VFAs 濃度は変化が殆どなかった。また、初期 pH8.6、発酵温度 55℃、TS 20%、8 日間の乾式発酵では、高い VFAs 収率(94.4 mg-COD/g-VS)、高いアンモニア濃度 NH<sub>4</sub>-N (20.0 mg/g-VS)、高いリンの生物利用性 P (10.6 mg/g-TS)が得られたことから、上記が最適処理条件として考えられた。また、ストリッピングプロセスのデータはよく偽一次動力モデルに合致した( $R^2 = 0.9916-0.9997$ )。乾式或いは湿式のストリッピングにおいて、理論上のアンモニア回収率は 90%に達し、エネルギーコストが低い、化学薬品を使用しない、気泡が発生しない等の利点を考えると、乾式ストリッピング法は適切な方法と考えられた。ストリッピングした後の残渣の C/N 比は 18 から 25.7 に改善され、生物利用性リン (8.1 mg/g-TS) を高濃度含有し、バイオガスの生産に適した乾式発酵材料と考えられた。
2. 著者は水熱法を用いて豚糞の前処理を実施した。まずは、pH 調整せず、110℃と 130℃水熱前処理した SM の乾式メタン発酵を行った結果、未処理のものとは比べ、VS の分解率とメタンガス生成量はそれぞれ 14.18%-18.98% と 13.89%-33.70%に増加した。メタンガス生成量が向上されたほか、乾式発酵過程の有機態窒素の無機化率が促進され、発酵残渣が有機肥料として適していると考えられた。さらに、バイオガスの生産性やエネルギー収支、窒素やリンなどの栄養塩の変化も検討した。130℃で水熱処理した豚糞の乾式メタン発酵 (R-130) で、70 日間の発酵ではアンモニアは総窒素量に対する割合は 70.67%に達し、未処理の場合の 37.84%に比べて大幅に改善された。また、その場合のリンの生物利用性は 23.21%であった。メタン収率は 334.58 ml/g-VS に達し、未処理の豚糞に比べて 34%に向上されたことが明らかになった。

以上の結果から、本研究で行った二つの前処理方法では、SM 乾式メタン発酵に対し、有効かつ効率的な方法であると判断された。

## 審 査 の 要 旨

本論文は、短期間の乾式嫌気性発酵を行い、SM の加水分解及びアンモニアの生成を促進し、その後、エアストリッピング法でアンモニア回収及び固液分離法で VFAs 分離を行った、世界で初めての報告例となる。固体分の乾式メタン発酵時のアンモニアや VFAs による障害を解決できたことや、水熱前処理法を用い SM の前処理を行うことで、SM の加水分解を促進し、アンモニアを回収可能とすることで、乾式メタン発酵への障害低減などが確認できた。本研究で異なる 2 つの SM の前処理プロセスを比較実験することで、効率かつ有効なバイオマスエネルギー化技法を確立することができた。

本論文で行った 2 つの前処理方法は、SM 乾式メタン発酵に対し、水理学的滞留時間の短縮や、メタンガスの生産性の向上に有効かつ効率的な方法として考えられた。畜産廃棄物のエネルギー化や有価資源の回収に貴重な実験データや有用な情報が得られ、将来の環境浄化分野やバイオエネルギー分野への応用に関して、科学的かつ技術的な助言を提供できた点が、オリジナリティに富む研究として高く評価される。

平成 28 年 7 月 13 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査および最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判断された。

よって、著者は博士（環境学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。