

原 著

## 食用油または尿素を添加した豚糞の堆肥化過程における臭気 および温室効果ガス発生特性

古屋元宏<sup>1</sup>・長田 隆<sup>2</sup>・荻野暁史<sup>2</sup>・清水景子<sup>1\*</sup>・福沢昭文<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>山梨県畜産試験場, 山梨県中央市, 409-3812

<sup>2</sup>国立研究開発法人農研機構畜産研究部門, 茨城県つくば市, 305-0901

\*現所属 山梨県西部家畜保健衛生所, 山梨県韮崎市, 407-0024

**要 約** 食用油または尿素を添加した豚糞堆積混合物の堆肥化過程における臭気および温室効果ガスについて、温暖期および寒冷期における発生量を精密に測定した。堆肥化には豚糞とオガクズを混合し含水率70%としたものを初発堆積原料に用いた。実験区分は食用油（なたね、大豆）を原料重量比約4%添加した食用油添加区（C/N比13.0~14.4）と、尿の混入を想定し尿素を約4%添加した尿素添加区（C/N比5.0~9.8）の2区分とした。各区1.5t（約3m<sup>3</sup>）規模で堆積繰り返し方式による堆肥化を行った。堆積混合物を定量換気チャンバー（幅3.0m×奥行3.0m×高2.2m）で被覆し、チャンバー上部からのブロワーによる定量換気（約51m<sup>3</sup>/h）の排気中の臭気および温室効果ガスを堆肥化初発から11週間測定した。また、週毎に切返し、採取した試料の性状、細菌数等を分析した。結果として、各区のアンモニアと臭気指数は温暖期・寒冷期とも初発~4週目に盛んに発生したが、尿素添加区に比べ食用油添加区の方が全期間を通じて低く推移した。一酸化二窒素については、温暖期は両区とも大差なく微量であったが、寒冷期は食用油添加区に明瞭な発生ピークが見られた。これは発酵温度等微生物の活動環境の違いを反映したものと示唆された。以上から、豚糞堆肥化原料に食用油あるいは尿素を添加するとアンモニアと臭気指数は食用油添加区の方が尿素添加区より低く、また食用油添加区においては通常寒冷期に発生が少ないとされる一酸化二窒素の発生が確認された。

キーワード: 食用油、温室効果ガス、アンモニア、豚排せつ物堆肥、尿素

受領日: 10.10.2016. 受理日: 23.02.2017.

日本畜産環境学会誌 No16 (1) pp50-60. 2017

### 緒 言

農業地と住宅地との混在化の進行に伴い、養豚経営の環境問題への対応は年々厳しくなっている。豚排せつ物に由来する悪臭、特に堆肥化処理する際の高濃度臭気の発生抑制は近隣と調和する上で重要度が高い。また、地球規模での環境保全的観点からは温室効果ガス（GHG）の発生抑制が大きな課題として取り上げられている[3, 12]。

一般的に、同畜種の糞でも油脂類等の炭素源を加えて初発混合堆積物のC/N比（炭素率）を高めることによって試験レベルでアンモニア発生を抑制できることが知られている[6, 7, 8, 9]。実際の生産現場においても、炭素源となりうる廃食用油や油かす等植物油残渣を堆肥化時に混合している事例が見られる[10, 11, 14]。しかし、油脂類の添加については厳冬期や強制発酵装置における連続

## 油等添加豚糞堆肥化 GHG 発生特性

発酵維持などの堆積物昇温のための熱源としての期待の方が大きく、臭気軽減効果の評価は現場における感覚的な尺度で捉えられているのみである。豚糞の実用規模の堆肥化において油脂類を添加した際の臭気やGHG発生に関する詳細な調査の報告は見当たらず、臭気やGHG発生特性の把握は、費用効果の高い現場対策技術の選定や国家GHGインベントリ算定値の追加とGHG削減策選定における重要な基礎知見となる。

そこで、本研究では実規模に近い豚糞堆肥化処理での油脂類添加の影響について、堆肥化時の臭気およびGHG発生特性を明らかにすることを目的とした。なお、実験は豚糞敷料混合物に食用油を加えた場合と、尿の混入を想定し尿素を加えた場合について、温暖期および寒冷期に堆肥化を行い、その過程において排出される臭気およびGHGを測定、比較した。

### 材料および方法

#### 1. 堆肥化実験の方法

堆肥化原料は山梨県畜産試験場飼養豚由来の豚糞を用いた。スノコ式肥育豚舎から尿と分離されて機械式除糞スクレーパーで搬出された豚糞、10日分を堆肥舎にストックした後、オガクズを添加しタイヤローダーで均一に混合し目標水分70%の初発混合堆積物とした。これを約1.5tずつに二分し、実験に供した。実験区分は、食用油として業務用白絞油（食用なたね油、食用大豆油の植物由来調合油）を初発混合堆積物重量に対し3.7%添加混合した区（食用油添加区；C/N比13.0~14.4）と、肥料用尿素（窒素46%）を初発混合堆積物重量に対し3.5%添加混合し尿混合を想定した区（尿素添加区；C/N比5.0~9.8）とした。食用油、尿素の添加率は堆きゅう肥の品質実態調査事業[17]における豚堆肥の成分組成実績のC/N比の上下限値を参考に、現場での堆肥性状を観察しながら

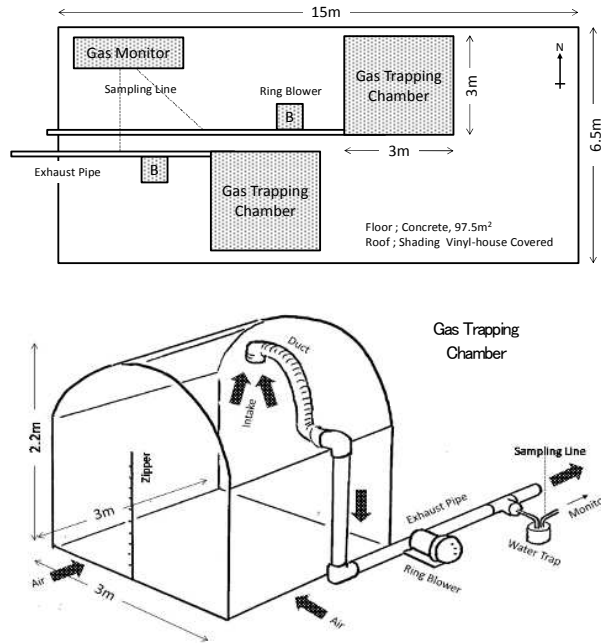
決定した。それぞれ円錐形に堆積し、自然通気式堆積発酵とした。切り返しはタイヤローダーと人力により行い、頻度は5週目までは週毎、6週目以後は発酵状態により切り返し作業の要否を判断して行った。堆肥化期間は初発から11週間の設定で、温暖期を2013年9月26日から12月11日まで（期間平均気温12.7℃）、寒冷期を2014年11月14日から翌年2015年1月29日まで（期間平均気温3.4℃）とし、それぞれ実施した。

堆肥化に係る測定項目について、発酵温度はワイヤレスサーモレコーダーRTW-31S（ESPEC（株）；大阪）、外気温湿度はRTR-503（（株）T&D；長野）を用い1時間毎に記録した。発酵温度は堆肥中心の底部から2/3高位置とした。堆肥の成分分析は切り返し毎に行い、堆積重量、含水率、有機物含量（VS）、灰分、pH、全窒素（T-N）、C/N比、アンモニア態窒素（NH<sub>4</sub>-N）、亜硝酸態窒素（NO<sub>2</sub>-N）、硝酸態窒素（NO<sub>3</sub>-N）、電気伝導度（EC）、アンモニア酸化細菌（AOB）数、亜硝酸酸化細菌（NOB）数について測定した。堆肥重量は牛用体重計Smart Scale 200（GALLAGHER；USA）にコンパネを組み合わせ荷台面積を上げたものを用い計量した。含水率、VS、ケルダール窒素は土壤環境分析法[2]に従い測定した。NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-NおよびNO<sub>3</sub>-Nは水抽出液についてイオンクロマトグラフ法により測定した。T-Nはケルダール窒素分析値にNO<sub>2</sub>-NおよびNO<sub>3</sub>-Nを加算した値を採用した。C/N比は初発および終了時に乾式燃焼法により全炭素を求め算出した。pHおよびECは10倍量蒸留水での抽出液をpH/EC計HI-1282（HANNA Instruments Japan（株）；千葉）を用い測定した。AOBおよびNOB数はMPN法（土壤微生物実験法[1]）に従い算出した。

#### 2. ガス測定施設と方法

測定施設およびチャンバーの概要を図1

## 油等添加豚糞堆肥化 GHG 発生特性



**Figure 1.** Outline of GHG measurement facility (upper placement), and overview of gas trapping chamber (lower schematic).

に示した。堆肥化実験は山梨県畜産試験場（所在；山梨県中央市、標高249m、気象条件；平均気温14.7℃、最高37.7℃、最低-5.9℃、年間降水量1,190mm；気象庁2014甲府市）敷地内の環境試験用ハウス（寸法；間口7.5×奥行15.0×軒高4.0m、盤コンクリート敷床（6.5×15.0m、約100m<sup>2</sup>）、遮光フィルム被覆パイプハウス式屋根）において行った。

GHG等のガス測定は、円錐形に積んだ実験堆肥にガス捕集用チャンバー（以下、チャンバー）を被覆し捕集することにより行った。チャンバーは2基設置し、間口3.0m×奥行3.0m×高さ2.2m、容積約16m<sup>3</sup>の蒲葺型ハウスで、チャンバー上部に設置したダクトを通じてチャンバー内をリングブロワーVFZ301PN（TERAL（株）；広島）で常時定量吸引換気（51m<sup>3</sup>/h）し、50φ塩ビ管で環境試験用ハウスの外へ排気した。排気経路の塩ビ管の風量はピトー管式風速計DT8920微差圧測

定器（（株）MK Scientific；神奈川）で確認しながら2基の換気量調節を行った。2基のチャンバーの排気経路の塩ビ管から外径4mmのテフロンチューブで分配器を通じて光音響マルチガスモニターINNOVA-1412-5i（LumaSense Technologies；デンマーク）に導き、アンモニア（NH<sub>3</sub>）、一酸化二窒素（N<sub>2</sub>O）、メタン（CH<sub>4</sub>）について1時間毎に測定した。また、チャンバー外の環境空気をバックグラウンドとして測定した。臭気指数は週毎に塩ビ管内排気を畜環研式ニオイセンサーXP-329III R（NEW COSMOS ELECTRIC（株）；大阪）により測定した。

### 3. ガス排出係数

各ガスの排出係数は土屋ら[16]と同様の方法で次により求めた。チャンバーはブロワーによって常時一定量の空気の吸入と排出が行われており、堆肥から発生したガスはチャンバー上部のダクトを通じて一定方向に流れる。このため、NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>の揮散量は換気量の1時間平均値（m<sup>3</sup>/hr）と、吸気と排気中の濃度測定値（mg/m<sup>3</sup>）から各ガスの1時間の発生量を次式により算出した。

$$\begin{aligned} & \text{各ガス発生量 (mg/hr)} \\ & = ([\text{排気中濃度 mg/m}^3] - [\text{吸気 (外気) 中濃度 mg/m}^3]) \times \text{換気量 (m}^3/\text{hr)} \end{aligned}$$

さらに、各ガス発生量に総測定時間を乗じて算出した総排出量を、NH<sub>3</sub>およびN<sub>2</sub>Oについては初発糞中窒素量で、CH<sub>4</sub>については初発糞中有機物量で除した値を各ガスの排出係数とした。

### 4. 統計解析

両実験区の発生ガス等測定結果について、反復測定分散分析によりF値を検定した。解析には統計ソフトR（R Development Core Team；オーストリア）[13]を用いた。

# 油等添加豚糞堆肥化 GHG 発生特性

**Table 1.** Chemical components of compost samples.

Season	Time	File	Moisture %	VS %	T-N %/DM	pH	EC mS/cm	C/N	Weight (gross) kg	VS (gross) kg	T-N (gross) kg	NH <sub>4</sub> -N mg/kgDM	NO <sub>2</sub> -N mg/kgDM	NO <sub>3</sub> -N mg/kgDM
Sm	Ini	Urea	48.2 (1.6)	44.7 (1.6)	3.9	8.9 (0.1)	4.6 (0.1)	9.8	1,388	620	27.8	1,243.1 (25.3)	14.4	12.4
Sm	Fin	Urea	27.0 (0.5)	56.9 (0.7)	4.4	8.7 (0.0)	3.9 (0.0)	8.6	604 [44%]	310 [50%]	17.1 [62%]	501.6 (25.9) [40%]	4.5	95.9
Sm	Ini	Oil	57.3 (3.2)	36.8 (3.2)	2.8	7.7 (0.1)	6.0 (0.0)	14.4	1,390	511	16.7	5,185.0	36.3	28.5
Sm	Fin	Oil	23.3 (0.7)	60.2 (2.2)	3.7	8.7 (0.0)	3.4 (0.0)	9.3	626 [45%]	267 [52%]	13.2 [79%]	962.3 [19%]	1.8	76.7
Wt	Ini	Urea	63.4 (2.4)	30.5 (1.8)	7.8 (0.2)	8.7 (0.0)	3.7 (0.2)	5.0	1,509	553	43.3	1,764.4 (135.5)	0.0	2.6
Wt	Fin	Urea	53.0 (1.5)	37.5 (1.9)	4.8 (0.1)	9.2 (0.0)	3.2 (0.0)	7.2	598 [40%]	267 [48%]	12.7 [29%]	779.8 (57.6) [44%]	0.0	2.4
Wt	Ini	Oil	62.3 (1.9)	30.1 (1.1)	3.3 (0.1)	7.2 (0.0)	2.6 (0.0)	13.0	1,507	454	18.6	375.8 (62.3)	0.0	12.8
Wt	Fin	Oil	44.1 (1.8)	43.1 (2.4)	4.1 (0.1)	8.4 (0.1)	2.7 (0.1)	8.7	838 [56%]	350 [77%]	18.3 [99%]	125.7 (1.6) [33%]	5,327.9	418.0

Sm, summer; Wt, winter; Ini, initial (raw); Fin, final (dried); Urea, urea addition manure; Oil, cooking oil addition manure; VS, volatile solids; T-N, total-nitrogen; EC, electrical conductivity; C/N, carbon to nitrogen ratio; NH<sub>4</sub>-N, ammonium-nitrogen; NO<sub>2</sub>-N, nitrite-nitrogen; NO<sub>3</sub>-N, nitrate-nitrogen. The values represent the average (standard deviation) [residual rate].

## 結 果

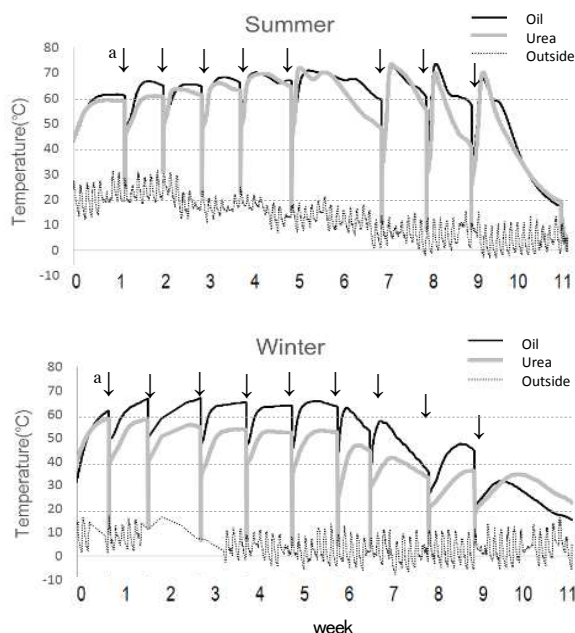
### 1. 堆肥化の状況

各実験区分の初発と終了時における堆肥化混合物の理化学分析値を表1に示した。初発含水率はいずれの区・期においても70%を目標に調整したものの、特に温暖期は蒸散のためか調整後の実測値とずれが生じた。しかし、いずれの区・期とも初発から終了時にかけて含水率が減少し、寒冷期の方が減少度合いがやや少ないものの総じて順調な堆肥化が行われ、区間に差異を生じるものではなかった。堆肥化混合物総重量は温暖期で食用油添加区が1,390kgから626kgと初発重量の約45%まで減少し、尿素添加区で1,388kgから604kgと初発重量の約44%まで減少した。寒冷期は食用油添加区で1,507kgから838kgと約56%まで減少し、尿素添加区で1,509kgから598kgと約40%まで減少した。温暖期は両区とも減少割合は変わらないが、寒冷期は食用油添加区の減少割合が小さかった。VS

は寒冷期の食用油添加区で終了時の残存率が77%と高かった。またT-Nも同様に寒冷期に食用油添加区で終了時の残存率は99%と高かった。NH<sub>4</sub>-Nは食用油添加区の温暖期の初発が高めの値となったが、残存率としては食用油添加区が温暖期：19%および寒冷期：33%、同様に尿素添加区が40%および44%であった。NO<sub>2</sub>-NおよびNO<sub>3</sub>-Nは寒冷期の食用油添加区において初発から終了にかけて急激に増加した。初発から終了時のC/N比は、食用油添加区が温暖期14.4→9.3、寒冷期13.0→8.7と低下し、一方、尿素添加区は9.8→8.6、5.0→7.2と変化した。

堆肥化過程における発酵温度の推移を図2に示した。温暖期は食用油添加区および尿素添加区とも1週目には約60℃に達し、ピーク持続時間は短くなっていくものの、7～8週目にかけてピーク温度は上昇し70℃を超えた。7週目以降は切り返し後の昇温が徐々に弱まり、11週目で測定を終了とした。一方、

## 油等添加豚糞堆肥化 GHG 発生特性



**Figure 2.** Fermentation temperature variation in summer and winter condition.

a ↓, Compost cutback with machine, and sampling to analyze compost; Oil, cooking oil addition; Urea, urea addition; Outside, outside air temperature.

寒冷期は温暖期ほど急激ではないが1週目からゆるやかに温度上昇し、食用油添加区で7週目にかけて60~68°C、尿素添加区も同様に7週目にかけて45~58°Cで推移した。7週目以降には顕著な温度上昇は見られなかった。

### 2. アンモニア (NH<sub>3</sub>) および臭気指数

各区・各期におけるNH<sub>3</sub>濃度および臭気指数の推移を図3に示した。NH<sub>3</sub>は堆肥化開始直後から発生が見られた。温暖期は初発から5週目まで高濃度であり、食用油添加区で100~300mg/m<sup>3</sup>、尿素添加区で100~900mg/m<sup>3</sup>で推移し、食用油添加区が尿素添加区に比べ有意 ( $P < 0.001$ ) に低濃度であった。各区とも切り返し直後に明瞭な発生ピークが確認された。5週以降は発生量が減少し、食用油添加区で50 mg/m<sup>3</sup>以下、尿素添加区で100 mg/m<sup>3</sup>以下で推移した。一方、寒冷期は初発から4週目あたりまで高濃度であり、食用油

添加区で50~200mg/m<sup>3</sup>、尿素添加区で50~800mg/m<sup>3</sup>で推移し、食用油添加区が尿素添加区に比べ有意 ( $P < 0.001$ ) に低濃度であった。4週以降は発生量が減少し、食用油添加区で10mg/m<sup>3</sup>、尿素添加区で10~200mg/m<sup>3</sup>で推移した。

臭気指数は各区・各期とも初発から終了にかけて堆肥化の進行とともに減少した。尿素添加区は初発においてニオイセンサーの臭気指数上限値40を超えたが、食用油添加区は期間を通じて上限値を超えることはなかった。食用油添加区が尿素添加区に比べ温暖期は臭気指数値で5~1ポイント低く、寒冷期は17~5ポイント低かった。

### 3. 温室効果ガス (N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>)

各区・各期におけるN<sub>2</sub>OおよびCH<sub>4</sub>濃度の推移を図4に示した。N<sub>2</sub>Oは温暖期においては初発から終了まで全期間を通して3mg/m<sup>3</sup>以下の低濃度で推移した。一方、寒冷期は4週以降に食用油添加区に5~60mg/m<sup>3</sup>の幅で明瞭な発生ピークが見られ、尿素添加区では9週以降に若干の発生が見られた以外はほとんど発生がなかった。寒冷期には測定期間を通して食用油添加区が有意 ( $P < 0.001$ ) に高濃度であった。

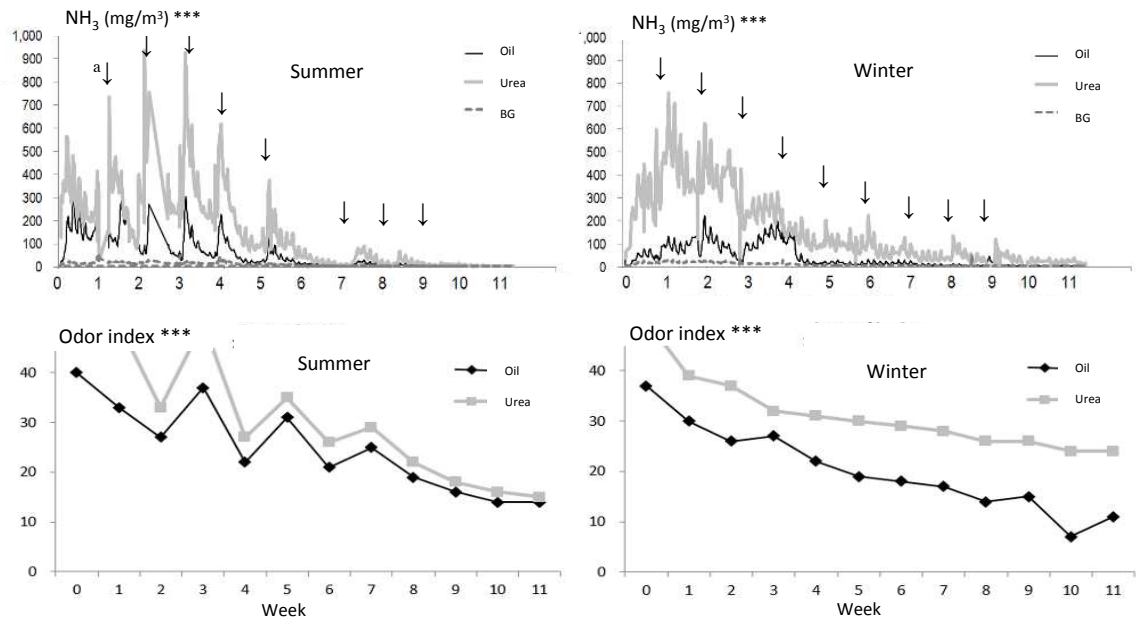
CH<sub>4</sub>は全体的に低濃度ではあるが各区・各期とも切り返し後に20~40mg/m<sup>3</sup>程度の微小な発生ピークが見られ、寒冷期には測定期間を通して食用油添加区が有意 ( $P < 0.001$ ) に高濃度であった。

N<sub>2</sub>OおよびCH<sub>4</sub>とも特に寒冷期の尿素添加区ではほとんど発生が見られなかった。

### 4. 堆肥中のアンモニア・亜硝酸酸化細菌

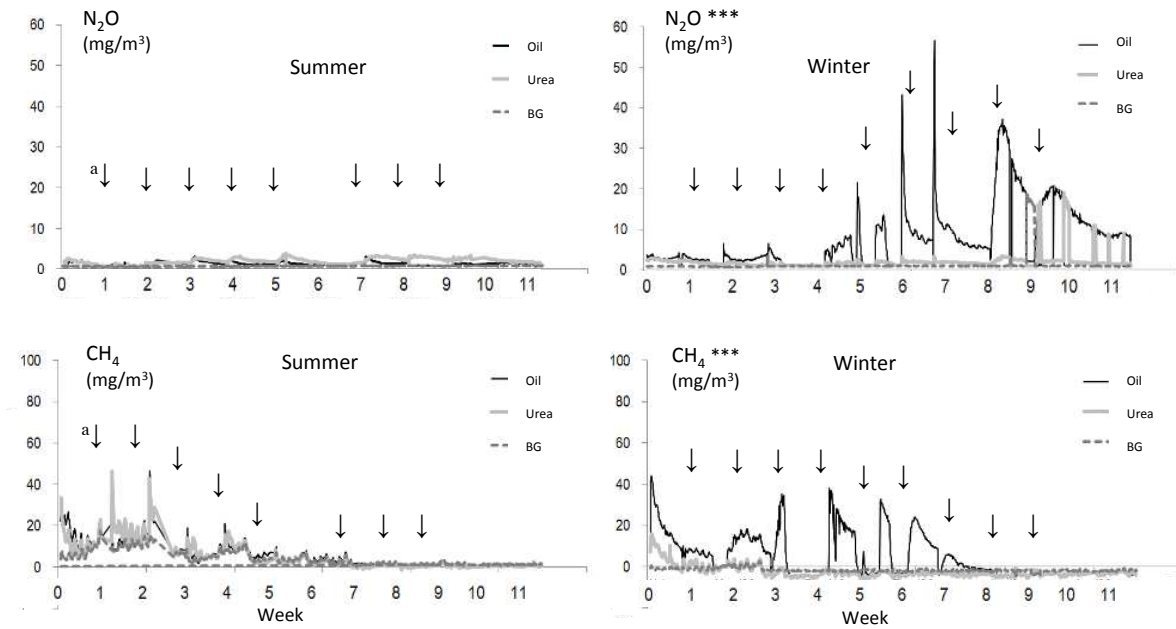
各区・各期におけるAOBおよびNOB数の推移を図5に示した。AOB数について、温暖期は食用油添加区および尿素添加区でほぼ同じ推移を示し、堆肥化後半の7週目あたりか

## 油等添加豚糞堆肥化 GHG 発生特性



**Figure 3.**  $\text{NH}_3$  gas generation and odor index variation in summer and winter condition.

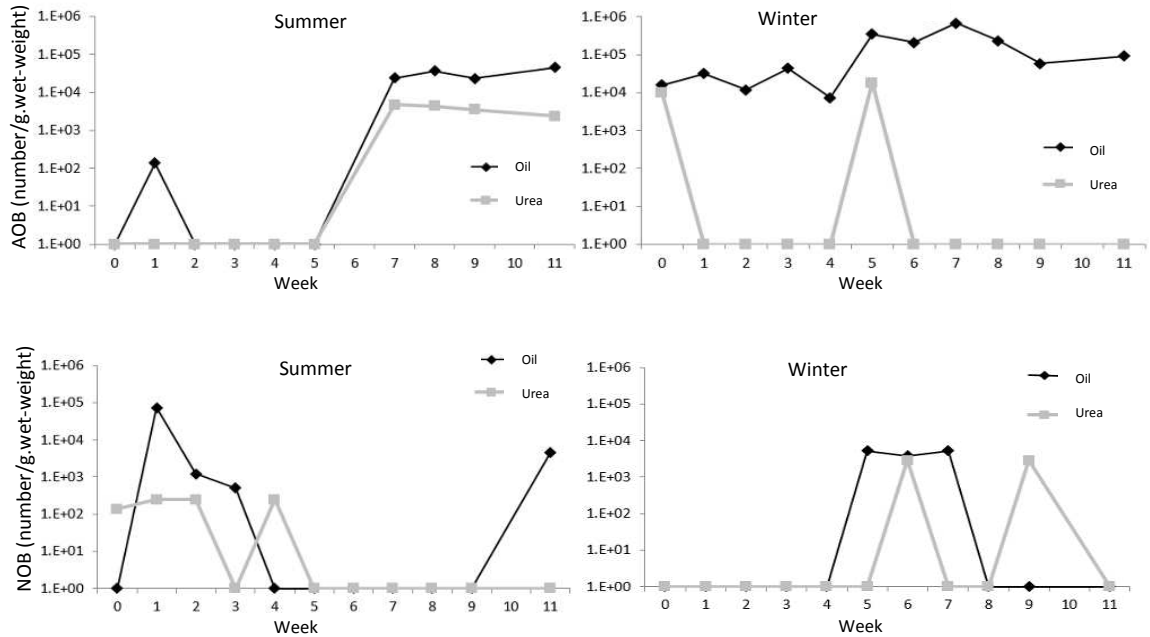
a ↓, Compost cutback with machine, and sampling to analyze compost; BG (background), ambient air; Odor index, Value measured by odor sensor. Index 40 is the upper limit; \*\*\*  $P < 0.001$ , Significant difference by the repeated-measures ANOVA.



**Figure 4.**  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$  gas generation and odor index variation in summer and winter condition.

a ↓, Compost cutback with machine, and sampling to analyze compost; BG (background), ambient air; \*\*\*  $P < 0.001$ , Significant difference by the repeated-measures ANOVA.

## 油等添加豚糞堆肥化 GHG 発生特性



**Figure 5.** Number of ammonium oxidation bacteria (AOB) and nitrite oxidation bacteria (NOB) variation of compost in summer and winter condition.

ら増加が見られた。一方、寒冷期は検出の少ない尿素添加区に対して食用油添加区は堆肥化初期から菌数の増加が確認された。NOB数については各区・各期とも似た推移ではあるが菌数は少なく散発的で、温暖期は堆肥化初期と終期、寒冷期は堆肥化中盤以降で検出された。

### 5. 環境負荷ガス (NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>) の排出係数

各区・各期における NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>O および CH<sub>4</sub> の排出係数を表 2 に示した。NH<sub>3</sub> について温暖期は食用油添加区で 22.01%、尿素添加区で 41.35%、寒冷期は食用油添加区で 15.92%、尿素添加区で 32.17% となり、温暖期および寒冷期とも食用油添加区が尿素添加区のおよそ半分程度であった。また、N<sub>2</sub>O について同様に温暖期は食用油添加区で 0.32%、尿素添加区で 0.41%、寒冷期は食用油添加区で 3.13%、尿素添加区で 0.18% となり、寒冷期は食用油添加区が高く、尿素添加区の約 17

**Table 2.** Estimated emission factor of NH<sub>3</sub>-N, N<sub>2</sub>O-N, CH<sub>4</sub>.

		NH <sub>3</sub> -N	N <sub>2</sub> O-N	CH <sub>4</sub>
		%gNH <sub>3</sub> -N/gTN	%gN <sub>2</sub> O-N/gTN	%gCH <sub>4</sub> /gVS
Summer	Urea	41.35	0.41	0.06
	Oil	22.01	0.32	0.08
Winter	Urea	32.17	0.18	0.00
	Oil	15.92	3.13	0.07
Average	Urea	36.76	0.30	0.03
	Oil	18.97	1.73	0.08
NIR2015 <sup>*</sup>				
Fig manure composting		19.70	2.50	0.16

<sup>\*</sup> National GHG Inventory Report of JAPAN (2015). Edited by Greenhouse Gas Inventory Office of Japan (GIO), Center for Global Environmental Research (CGER), National Institute for Environmental Studies, Japan (NIES).

倍であった。CH<sub>4</sub> については各区・各期とも発生はわずかであった。

### 考 察

温暖期、寒冷期とも切り返す度に発酵温度が上昇、食用油を添加した食用油添加区において若干の高温持続性が見られたものの、両区・両期とも期間の経過とともに低下した。

## 油等添加豚糞堆肥化 GHG 発生特性

含水率は緩やかに低下し、VS は緩やかに増加するなど通常の堆肥化に伴う変化が観察された。1.5 t の規模であれば水分調整と切り返し作業を適正に実施することで、寒冷期の低温環境下でも良好な堆肥化が可能であった。

乾物当たり T-N については当初、尿素を添加した尿素添加区が堆肥化初発から高濃度を示すと予測したが、初発に比べ 1 週間後以降に増加する傾向が見られた。これは使用した尿素が顆粒状物であったことから堆肥原料と馴染むまでにある程度時間を要し、サンプリング誤差がでやすかったことが要因と考えられた。

$\text{NH}_3$  は温暖期・寒冷期とも初発から 4 週目頃まで盛んに発生し、常時、食用油添加区の発生濃度が低く推移した。通常、糞中の有機態窒素が無機化していく過程で  $\text{NH}_3$  が発生するが、尿素添加区は尿素添加によって窒素濃度が高められたことに加え、pH の上昇が見られたことからさらに発生しやすくなったと考えられる。一方、食用油添加区で発生が低かった要因として、有機酸生成による pH の低下、および窒素を全く含まない有機物（食用油）を添加した際には微生物が周辺の無機化窒素を体内に取り込む（窒素の有機化）[5] ため一時的に窒素が減ることから、 $\text{NH}_3$  が発生しにくくなったと考えられた。

C/N 比は通常堆肥化の進行に伴い、有機物の分解による炭素の減少と窒素残留のため次第に値は小さくなる。しかし、尿素添加区において C/N 比の低下が少ないかあるいは逆に上昇していることから、尿素添加区において窒素は炭素以上に減少したと推察され、 $\text{NH}_3$  の揮散を裏付けている。

臭気指数については温暖期・寒冷期とも食用油添加区が低く推移し、概ね  $\text{NH}_3$  発生の変移と同調していることから、 $\text{NH}_3$  の寄与が推察された。また今回の測定において、温暖期

の臭気指数は堆肥化前半の変動が大きいのが、これは繰り返し直後のガス発生が安定していない状態で測定したためであり、一方、寒冷期は繰り返し翌日にガス発生が安定してから測定したことが要因と考えられた。

$\text{N}_2\text{O}$  については温暖期には両区ともほとんど発生がなく、寒冷期には食用油添加区に発生が見られた。特に堆肥化中盤以降に発生ピークが確認された。これは前述のとおり、 $\text{NH}_3$  揮散抑制により、 $\text{N}_2\text{O}$  生成の直接的な原因物質である亜硝酸イオン ( $\text{NO}_2^-$ ) が蓄積し、 $\text{N}_2\text{O}$  の発生を助長したと考えられた。寒冷期の食用油添加区の堆肥化中盤以降に  $\text{NO}_2^-$ -N が蓄積していく現象も確認されており（表 2）、堆積式堆肥化における  $\text{N}_2\text{O}$  発生の最大値は堆肥化後期に現れるというこれまでの  $\text{N}_2\text{O}$  発生に関する知見[12]を裏付ける結果であった。

硝化細菌について、図 5 に示すように食用油添加区における AOB は寒冷期でも堆肥化初発から活性が高まっていた。AOB と NOB では活動適温域が違い、NOB は比較的高温に弱いことが知られている。AOB は堆肥温度が  $60^\circ\text{C}$  くらいまで下がると活性化し  $\text{NO}_2^-$  を生成、さらに温度が下がると NOB が活性化し硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ ) を生成する。今回の堆肥化で、温暖期は  $70^\circ\text{C}$  程度の高温持続時間が長くかつ急速な温度降下に対し、寒冷期は  $60^\circ\text{C}$  程度の時間が長くかつ緩やかな温度降下であった。つまり、温暖期には AOB の活性化は中盤以降であり NOB の活性化とのタイムラグが少ないが、寒冷期には早い段階から AOB の活動可能温度域であったため、AOB が初発段階から活性が高く、NOB の終盤の活性化までのタイムラグが大きい。このタイムラグの差が温暖期と寒冷期の  $\text{NO}_2^-$  量の差となり、寒冷期に多く蓄積することから、寒冷期における食用油添加区の  $\text{N}_2\text{O}$  発生につながったものと推察された。

$\text{CH}_4$  は各区・各期とも低く推移した。これ



## 油等添加豚糞堆肥化 GHG 発生特性

は、堆肥化処理での  $\text{CH}_4$  発生抑制には通気が有効で、通気量増加は効果的に  $\text{CH}_4$  を減少させる[12]とした報告と一致しており、本実験における好氣的処理が  $\text{CH}_4$  の低排出につながったと考えられた。

$\text{NH}_3$  排出係数は両期とも食用油添加区は尿素添加区の約半分であった。国内の観測データを基に設定された現行の 2015 年日本国温室効果ガスインベントリ報告書 (NIR; National Inventory Report) [4]に示された豚糞全ての処理方式を含む排出係数 19.70% を基準に比較すると、食用油添加区の数値はほぼ同程度であった。一方、尿素添加区は NIR の数値の約 2 倍の排出係数となった。尿素添加を豚糞への尿混合と捉えたと  $\text{NH}_3$  発生を抑制するためには尿の分離が不可欠と考えられ、従来から家畜排せつ物処理における基本として指導がなされている固液分離の重要性が再認識でき、今回の精密測定によりその高い効果を定量的に把握することができた。

$\text{N}_2\text{O}$  排出係数は温暖期では両区とも同レベルであったが、寒冷期では食用油添加区で高まり尿素添加区の約 17 倍となった。しかし、NIR の 2.50% と比較すると寒冷期の食用油添加区が NIR の値と同程度であり、温暖期と寒冷期の尿素添加区での排出がむしろ低くなっていたと考えられる。これまでの豚糞堆肥化実験で観察された  $\text{N}_2\text{O}$  発生極大は、概ね、堆肥化過程の後期～末期である [12, 15]。今回  $\text{N}_2\text{O}$  排出が小さくなったのは、 $\text{N}_2\text{O}$  発生以前に実験を終了した可能性、あるいは、堆肥化が好氣的に管理され、 $\text{NH}_3$  形態での窒素排出が大きくなっていったために、後段で起きる  $\text{N}_2\text{O}$  排出を低減した可能性がある。このことは、堆肥化過程における  $\text{N}_2\text{O}$  排出係数の考え方を実際の堆肥化混合物の搬出→堆肥化の開始・進行→完成堆肥の利用の流れの中で再考する必要性を提示している。

$\text{CH}_4$  排出係数は、NIR の値と同様に低値であ

った。

以上から、食用油を添加すると尿素を添加した場合と比べ、豚糞堆肥化時の  $\text{NH}_3$  発生およびそれに連動する臭気指数が低く推移することが確認された。一方、寒冷期において初発から AOB の活性が高く保たれることから、硝酸生成が盛んに行われ集積することにより、寒冷期でも  $\text{N}_2\text{O}$  は NIR に示された排出レベルで発生することが確認された。しかし、食用油添加の他にも環境負荷ガス発生に影響を与える要因は多く存在し、要因の重要性や相互関係などを明らかにしていくため、今後も引き続き実測データを蓄積していくことが重要である。

### 謝 辞

臭気測定および堆肥中の細菌検査をご指導くださった農研機構畜産研究部門畜産環境研究領域の安田知子主任研究員、茨城県畜産総合技術センター生産技術研究室の合原義人室長、大窪敬子主任研究員、窒素等分析にご協力くださった山梨県総合農業技術センター環境部の長坂克彦部長、馬場久美子研究員、五味敬子研究員ほか同部職員の皆様、現場における堆肥化作業全般にご尽力くださった山梨県畜産試験場養豚科の保坂和彦主任技能員ほか同科職員の皆様に心から感謝します。

### 文 献

- [1] 土壌微生物研究会編(1994)新編土壌微生物実験法:養賢堂、東京.
- [2] 土壌環境分析法編集委員会(1997)土壌環境分析法:博友社、東京.
- [3] Food and Agriculture Organization of the United Nations (2006) Livestock's Long Shadow - Environmental Issues and Options: FAO report.
- [4] Greenhouse Gas Inventory Office of Japan (GIO), Center for Global

## 油等添加豚糞堆肥化 GHG 発生特性

Environmental Research (CGER), National Institute for Environmental Studies, Japan (NIES) (2015): National GHG Inventory Report of Japan 2015.

[5]家畜ふん尿処理・利用の手引き(1997):財団法人畜産環境整備機構.

[6]加藤博美、市川 明、中谷 洋(1998)豚ふん堆肥化における廃食用油添加の効果(第2報)酸性化した豚ふんの堆肥化に対する炭酸カルシウム及び堆肥の混合効果:愛知県農業総合試験場研究報告:30:317-322.

[7]岸本一郎、村中謙昭、酒井久明(1999)C/N比調整による鶏糞発酵時のアンモニア濃度の低減技術の開発:広島県立畜産技術センター研究報告:12:53-59.

[8]前田武己、松田従三(1998)家畜糞の堆肥化におけるアンモニア揮散(第1報):農業機械学会誌:60(6):63-70.

[9]松田従三、前田武己(2007)家畜糞の堆肥化におけるアンモニア揮散:財団法人畜産環境整備機構:新技術内外畜産環境情報.

[10]宮崎光加、本多勝男、矢島 潤(1995)密閉型強制発酵機による牛ふんの連続発酵処理試験Ⅲ. 白土添加による牛ふんの連続発酵処理試験:神奈川県畜産研究所研究報告:85:43-49.

[11] 宮崎光加、本多勝男、矢島 潤(1995)密

閉型強制発酵機による牛ふんの連続発酵処理試験Ⅳ. 廃油添加による牛ふんの連続発酵処理試験:神奈川県畜産研究所研究報告:85:50-54.

[12]長田 隆(2001)家畜排泄物からの環境負荷ガスの発生について:日畜会報:72(8):167-176.

[13] R Development Core Team (2005). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

[14]崎元道男(2000)廃食用油でたい肥づくり:ちくさんナビ:4:畜産情報ネットワーク.

[15] Tamura T, Katayama T, Haga K (1999): Emission patterns of malodorous compounds and greenhouse gases from the pile-type composting of cattle manure: Anim Sci J:70:235-239.

[16]土屋いづみ、悦永秀雄、堂岸 宏、坂本卓馬、石田三佳、長谷川三喜、長田 隆(2014)鶏糞乾燥処理施設における温室効果ガス発生量の測定:日畜会報:85(1):61-69.

[17]財団法人畜産環境整備機構(2003)堆きゅう肥の品質実態調査事業:畜産環境技術研究所年報:7:61-62.

Original Paper

## Patterns and quantities of odor and greenhouse gas emissions from swine manure composting with addition of cooking oil or urea

Motohiro FURUYA<sup>1</sup>, Takashi OSADA<sup>2</sup>, Akifumi OGINO<sup>2</sup>,  
Keiko SHIMIZU<sup>1\*</sup>, and Akifumi FUKUZAWA<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Yamanashi Livestock Experimental Station, Chuo, Yamanashi 409-3812,

<sup>2</sup>NARO Institute of Livestock and Grassland Science, Tsukuba, Ibaraki 305-0901

\*Present: Yamanashi Seibu Livestock Hygiene Service Center, Nirasaki, Yamanashi 407-0024,

We examined the patterns and quantities of odor and greenhouse gas (GHG) emissions from practical-scale swine manure composting using cooking oil and urea additives in summer and winter conditions. After being adjusted to an approx. 70% moisture content, 1.5 tons (approx. 3 m<sup>3</sup>) of a swine manure and sawdust mixture were piled in parallel chambers as the start materials. We established two composting wards as follows: 4% (w/w) of the cooking oil (soybean, rapeseed; carbon to nitrogen ratio (C/N) 13.0–14.4; [Oil]) or 4% (w/w) of the urea (nitrogen 46%; C/N 5.0–9.8; [Urea]). Both piles were stored in composting chambers (width 3.0 m × depth 3.0 m × height 2.2 m) under continuous ventilation (51 m<sup>3</sup>/hr), and composting was carried out with several turnings, following the general procedure of swine farming. Throughout the 11 weeks' composting in summer (September–December) and in winter (November–January), the GHG and ammonia (NH<sub>3</sub>) concentrations, ventilation rate, and temperature were measured every hour. We also measured chemical properties and the number of bacteria. The NH<sub>3</sub> emission and odor index were high from the start to 4 weeks, and the addition of oil significantly reduced those indexes compared to the urea addition in both seasonal runs. No differences were observed in CH<sub>4</sub> or N<sub>2</sub>O emissions in the summer, but the N<sub>2</sub>O emission from the oil addition manure was rather high in the winter. The results suggested that a difference in activity of microbes produced by the fermentation temperature influenced the N<sub>2</sub>O emission.

**Key words** : cooking oil, greenhouse gas, NH<sub>3</sub>, swine manure compost, urea

**Corresponding: Motohiro Furuya** furuya-vtf@pref.yamanashi.lg.jp

Receipt of Ms: 10.10.2016. Accepted: 23.02.2017.

Journal of Animal Production Environment Science No16 (1) pp50-60. 2017