

# 浄化槽汚泥・し尿・生ごみ由来メタン発酵消化液の 窒素特性と水稻への肥料効果

横田仁子 大森誉紀

Nitrogen mineralization and fertilizer effect on the rice plant growth in the soil applied digested liquid from methane fermentation of thickened sewage, night-soil and food waste sludge

YOKOTA Satoko and OOMORI Takanori

## 要 旨

浄化槽汚泥やし尿,生ごみを原料としたメタン発酵消化液は,全窒素のうちアンモニア態窒素が89%を占めた.消化液を開放状態で保管すると28日目には85%のアンモニア態窒素が揮散したことから,搬送,保存には密閉条件が必要である.アンモニア態窒素の施肥後の消失を考慮すると窒素を20%程度増量し,土壌に混和後速やかに入水・代かきを行う方法が望ましい.

キーワード:メタン発酵消化液,水稻,アンモニア態窒素,無機態窒素

## 1. 緒言

近年,我が国では資源循環型社会の転換を模索しており,家畜糞尿,浄化槽汚泥,し尿,生ごみ等の有機性廃棄物の資源化による有効利用が注目されている.具体的には,新しい汚泥処理場の建設時に有機性廃棄物から発生させたバイオガスを電力供給に利用するメタン発酵システムが導入され,国内では2010年時点で49施設が稼働している(社団法人地域環境循環センター,2010).このメタン発酵施設では,岩手県岩手郡雫石町の「(株)バイオマスパワーしずくいし」や熊本県山鹿市の「山鹿市バイオマスセンター」のように多くが家畜排泄物を原料としており,近年の研究成果より発酵後に産出されるメタン発酵消化液(以下,消化液)は,作物の栄養成分を有することや(宮田ら,2005),貯蔵中にアンモニアが揮散することが明らかにされている(宮田・池田,2006).農業分野では液体肥料としての利用が期待され(善明ら2009),水稻,トマト,草地等の栽培場面に利用した試験結果が報告されている(上岡・亀和田,2011;松中ら,2003).一方,福岡県大木町の「おおき循環センター」のような浄化槽汚泥を主体に生ごみやし尿を原料とするメタン発酵施設の稼働数は少なく,同センターの取り組みは希少事例となるが,社会生活一般から排出される豊富な原料を活用できるメリットがある.ここで産出される消化液は有機液肥「くるっ肥」の銘柄で年間約6000t製造され,栽培現場に供給されている(三好,2010).現在,愛媛県下ではメタン発酵施設は導入されていない.しかし,将来的に施設導入が図られた場合,施設稼働後の消化液を農業分野で効率的に利用するためには,善明ら

(2009)が指摘するように,消化液の特性を活かして特別な施用器材によらず,かけ流し処理が可能な水稻への適用性が最も高いと言える.しかしながら,浄化槽汚泥・し尿・生ごみを原料とする消化液では,作物体への施用方法を検討する際の指標となる窒素特性や貯蔵中の性状変化に関する報告は見当たらない.そこで,本消化液の窒素特性と水稻への基肥利用による肥料効果を明らかにしたので報告する.

## 2. 材料と方法

### 2.1 消化液の成分分析及び無機態窒素量の変化

2010年5月に福岡県大木町のメタン発酵施設「おおき循環センター」より採取した消化液を供試した.

消化液の成分分析は定法(財団法人日本土壌協会,2001)に基づいて実施した.すなわち,全窒素はケルダール法,アンモニア態窒素は水蒸気蒸留法,リン酸はバナドモリブデン酸法,カリウムは原子吸光法(Z-5010,(株)日立製作所)で測定した.pH,ECは消化液の原液をガラス電極法(HM-50S,東亜ディーケーケー(株))で測定した.

保温静置培養法(財団法人日本土壌協会,2001)により,消化液を土壌に施用した際の無機態窒素量の変化を測定した.供試土壌は愛媛県西予市宇和町の水田土壌(細粒灰色低地土)を風乾後,2mm目の篩に通したものをを用いた.水田条件では,直径30mmの試験管に風乾細土30gを入れ,少量の水で代かき状態まで攪拌し,消化液1gを混和後湛水状態とした.培養温度は30℃で,培養開始日から0,2,5,10,20,30日目に微量拡散分析法(土壌養分分析法,1980)で無機態窒素を測

定した。なお、消化液添加区から無添加区を差し引き、消化液 1kg 当たりの無機態窒素 (mg) を求めた。畑条件では、UM サンプル瓶 (ガラス製容器) に最大容水量の 40% になるよう水分調整した土壌 10g に消化液 1g を添加した。蒸発する水分量を適宜補正し、培養温度や測定日は水田条件と同様とした。無機態窒素とアンモニア態窒素は微量拡散分析法 (土壌養分分析法, 1980) で測定し、無機態窒素からアンモニア態窒素を差し引いた数値を硝酸態窒素とした。試験は 3 反復とした。

## 2.2 消化液中のアンモニア態窒素濃度の推移

500ml のポリエチレン製容器に消化液を 500g 入れ、室温下で密閉と開放条件で静置した。消化液を 0, 2, 6, 9, 14, 21, 28 日に採取し、水蒸気蒸留法 (財団法人日本土壌協会, 2001) で消化液中のアンモニア態窒素濃度を求めた。

## 2.3 水稲に対する消化液の基肥施肥による肥料効果

松山市上難波の愛媛県農林水産研究所内で採取した水田土壌を風乾し、1/5,000a ワグネルポット当たり 4kg 充填したものをを用いた。施肥量試験では、消化液 0, 38, 77, 154, 307g をポットの上層土壌 (10cm 深, 2kg 重) に混和し、ただちに湛水し、代かき状態まで混和した。2010 年 6 月 18 日に品種 'ヒノヒカリ' をポット当たり 3 株 (播種 20 日後苗) 移植し、研究所内の網室ハウスで管理した。8 月 26 日に茎数と葉色 (SPAD-502, ミノルタ (株)) を、10 月 26 日に全重、初重、初数、穂数を 1 区 3 反復で調査した。

施肥法試験では、混和区と表面区の 2 種類の処理区を設け、

混和区は施肥量試験と同様の方法で行い、表面区は湛水後代かき状態にした土壌表面に消化液を施用した。消化液の施用量はポット当たり 480g と 240g 施用区を設置し、対照区とする化学肥料区では硫酸アンモニウム、粒状過リン酸石灰、硫酸カリウムを消化液と同じ成分量になるように施用した。2010 年 5 月 25 日に品種 'コシヒカリ' を移植 (播種 20 日後苗) し、7 月 13 日に生育調査を、8 月 26 日に収量調査を行った。両試験とも基肥のみの施用とし、栽培跡土壌の無機態窒素は微量拡散分析法 (土壌養分分析法 1980) で分析し、pH は土液比 1 : 2.5 でガラス電極法により測定した。

## 3 結果

### 3.1 消化液の成分分析及び無機態窒素量の変化

消化液は全窒素 2,140mg kg<sup>-1</sup> に対しアンモニア態窒素は 1,900mg kg<sup>-1</sup> であった。pH は 8.0 とアルカリ性を示し、EC は 1.8 S m<sup>-1</sup> であった (表 1)。

水田条件における消化液の無機態窒素量は培養 2 日目で最大となり、1,950mg kg<sup>-1</sup> になった (表 2)。その後、無機態窒素量は徐々に減少し、培養 30 日目には 1,530mg kg<sup>-1</sup> になり、培養 2 日目に比べ約 20% 減少した。畑条件では、無機態窒素量は培養 2 日目で 1,810mg kg<sup>-1</sup>、培養 30 日目で 1,670mg kg<sup>-1</sup> になった (表 3)。また、硝酸態窒素は培養開始約 10 日目から急速に増加し、培養 20 日目で土壌中の硝酸態窒素とアンモニア態窒素はほぼ同量となり、培養 30 日目には無機態窒素のうち硝酸耐態窒素が 79% を占めた。

表 1 消化液の成分含量および pH, EC 値

全窒素 (mg kg <sup>-1</sup> )	アンモニア態窒素 (mg kg <sup>-1</sup> )	リン酸 (mg kg <sup>-1</sup> )	加里 (mg kg <sup>-1</sup> )	pH	EC (S m <sup>-1</sup> )
2140	1900	1200	1100	8.0	1.8

2010 年 5 月にメタン発酵施設「おおき循環センター」より採取した消化液を測定した。

表 2 水田条件における消化液の無機態窒素量の変化

培養期間 (日)	0	2	5	10	20	30
無機態窒素 (mg kg <sup>-1</sup> )	1880	1950	1840	1760	1640	1530

消化液 1kg 当たりの窒素量 (mg)。

表 3 畑条件における消化液の無機態窒素量の変化

培養期間 (日)	0	2	5	10	20	30
アンモニア態窒素 (mg kg <sup>-1</sup> )	1750	1780	1620	1530	980	340
硝酸態窒素 (mg kg <sup>-1</sup> )	0	30	130	230	740	1330
無機態窒素 (mg kg <sup>-1</sup> )	1750	1810	1750	1760	1720	1670

消化液 1kg 当たりの窒素量 (mg)。

### 3.2 消化液中のアンモニア態窒素濃度の推移

密閉条件におけるアンモニア態窒素濃度は静置 28 日目に  $1.9\text{mg L}^{-1}$  となった。開放条件では 2 日目に  $1.8\text{mg L}^{-1}$ , 14 日目に  $1.0\text{mg L}^{-1}$ , 28 日目に  $0.3\text{mg L}^{-1}$  と静置日数の経過とともに減少した (図 1)。

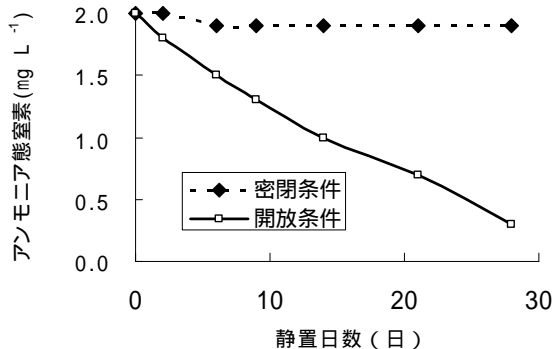


図 1 消化液中のアンモニア態窒素濃度の推移

### 3.3 水稻に対する基肥施肥による肥料効果

消化液の施用量増加に伴い、茎数や葉色 (SPAD 値) は有意に増加した (図 2)。収量の指標となる穂数, 籾重, 籾数についても消化液の施用量が多くなるほど有意に増加した (表 4)。施肥法試験では, ポット当たり 480g の消化液を施用した試験では, 消化液混和区のイネ苗は移植直後に枯死し, 消化液表面区や化肥料区は順調に生育した (表は省略)。消化液を 240g 施用した試験では, いずれの処理区も枯死や生育障害は認められなかったが, 消化液表面区の籾重は消化液混和区の

72%, 籾数は 50% で, 消化液表面区の収量は消化液混和区よりも低い収量性を示した (表 5)。また, 消化液混和区の生育は化肥料区に比べ劣り, 穂数, 籾重, 籾数は有意に低くなった。栽培跡土壌の無機態窒素はいずれの処理区もほぼ同じで無肥料区よりやや少なく, pH は消化液区と無肥料区で同等であり, 化肥料区で低かった (表 6)。

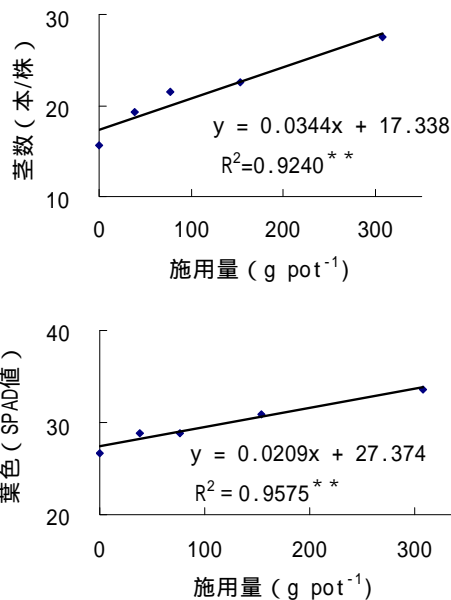


図 2 消化液の施用量が水稻の茎数と葉色に及ぼす影響  
供試品種 'ヒノヒカリ'。2010 年 8 月 26 日に調査。

$R^2$  は回帰分析による決定係数。\* \* は 1% 水準で有意 (n=3)。

表 4 消化液の施用量が水稻の収量に及ぼす影響

消化液施用量 (g pot <sup>-1</sup> )	穂数 (本)	全重 (g)	籾重 (g)	籾数 (粒)
0	15.5	23.3	5.0	611
38	15.3	35.0	9.3	816
77	18.0	46.3	15.0	896
154	17.5	47.0	15.7	988
307	21.3	56.5	19.3	1211
決定係数 ( $R^2$ )	0.889*	0.787*	0.787*	0.922**

供試品種 'ヒノヒカリ'。2010 年 10 月 26 日に調査。\*, \*\* ; 5%, 1% 水準でそれぞれ有意 (n=3)。

表 5 消化液の施用法が水稻の生育および収量に及ぼす影響

	草丈 (cm)		茎数 (本/株)		葉色 (SPAD値)		穂数 (本)	全重 (g)	籾重 (g)	籾数 (粒)
	6/18	7/13	6/18	7/13	6/18	7/13				
消化液混和区	50.3 bc	86.7 bc	16.7 bc	23.3 bc	42.7 b	31.3 b	14.3 c	61.3 c	22.0(100) c	1215(100) c
消化液表面区	44.3 b	75.7 ab	16.0 bc	18.3 bc	40.1 b	31.1 ab	10.0 b	39.0 b	15.8(72) b	608(50) b
化肥料混和区	51.7 c	85.5 bc	22.7 c	36.0 d	40.9 b	38.2 c	22.7 d	83.3 d	30.0(100) d	1737(100) d
化肥料表面区	46.0 bc	93.7 c	14.0 ab	29.7 cd	41.2 b	39.4 c	22.0 d	79.3 d	32.7(109) d	1725(99) d
無肥料区	34.3 a	68.3 ab	8.7 ab	7.3 a	33.8 a	26.2 ab	3.0 a	11.3 a	4.7 a	226 a

供試品種 'コシヒカリ'。穂数, 全重, 籾重, 籾数はポット当たりの値。( ) 内は混和区を 100 とした場合の指数。

同一英文字間には Tukey 'stest (5%) により有意差は認められない。

表6 消化液の施用方法が栽培跡土壌の無機態窒素と pH 値に及ぼす影響

試験区	無機態窒素 (mg kg <sup>-1</sup> )	アンモニア態窒素 (mg kg <sup>-1</sup> )	硝酸態窒素 (mg kg <sup>-1</sup> )	pH(H <sub>2</sub> O) (1:2.5)
消化液混和区	9	5	4	6.4
消化液表面区	9	7	2	6.4
化肥混和区	8	4	3	5.7
化肥表面区	9	7	2	5.8
無肥料区	12	7	5	6.4

#### 4 考察

本試験で供試した消化液では、全窒素の 89% がアンモニア態窒素であった。乳牛ふん尿主体を原料とする消化液では、上岡・亀和田 (2011) は全窒素に占めるアンモニア態窒素が 67%、須永ら (2009) は 85% と報告している。今回の試験において浄化槽汚泥・し尿・生ごみ等を原料とする消化液では、乳牛ふん尿原料の消化液と同等かそれ以上の割合でアンモニア態窒素を含むことが判明した。このことから、水稻への速効性肥料としての利用が可能と考えられる。

密閉条件で貯蔵した消化液中のアンモニア態窒素濃度は処理 28 日目でもほぼ変わらなかったが、開放条件では処理開始日に比べ約 15% に減少した。宮田・池田 (2006) は、畜糞尿と生ごみ原料の消化液を常温で貯蔵中、アンモニアが揮散しアンモニア態窒素の濃度低下が認められたことを報告している。本消化液においても同様の傾向が認められ、開放条件における消化液中のアンモニア態窒素濃度の低下はアンモニアの揮散が原因と考えられる。このことから、本消化液は遠距離搬送や保管の際には密閉条件が必要となるため、窒素の損失速度を考慮するとメタン発酵処理施設に近隣する農地で速やかに消費することが望ましい。

畑条件の培養試験では処理 10 日目以降に急激に硝化作用が進み、28 日目には無機態窒素のうち硝酸態窒素が占める割合は約 80% となった。実際の水田では入水前は畑条件下となり、消化液を施用すると硝化作用が進み下層への窒素溶脱が起こる可能性が高い。そのため、消化液は土壌に混和後、速やかに入水・代かきを行う必要がある。

施肥量の試験では、ポット当たりの消化液の施用量を 0 から 307g (32kgN/10a) まで段階的に増やしたところ、消化液の施用量が増えるほど栄養生長等が高まり、消化液の肥料効果が確認された。

施用方法の試験では、ポット当たり 480g (50kgN/10a) の消化液を土壌に混和した場合、イネ苗は移植直後に枯死し、これは高 EC で誘発されたものと推察している。ポット当たり 240g (25kgN/10a) の試験区では、いずれの処理区も順調な生育を示し、化肥混和区と化肥表面区では生育や収量に有意差は認められなかった。しかし、消化液表面区は消化液混和区に比べ生育が劣り、籾重が 72%、籾数が 50% まで減少した。開放条件で保管した消化液は処理 28 日目にアンモニア態窒素が 15% に減少したことから、消化液表面区では施用直後

からアンモニアが空气中に揮散し、イネが吸収利用できなかったことが考えられる。

消化液混和区では、消化液施用後ただちに混和したためアンモニア態窒素は土壌に吸着され水稻は利用可能であったと判断されたが、化肥混和区に比べ消化液混和区の籾重や籾数は約 70% と少なかった。上岡・亀和田 (2011) は消化液 (乳牛ふん尿原料) の施肥量を全窒素に基づいて算出すると窒素量が不足し、アンモニア態窒素で算出すると化学肥料と同等の肥効が得られたと報告している。また、表 2 のように湛水条件下でも処理後 30 日で約 20% の無機態窒素が消失していることが確認された。このことから、水稻の基肥を施肥設計する際は全窒素ではなくアンモニア態窒素で計算し、さらに無機態窒素の消失量を考慮して窒素を 20% 程度増量させて施用することが望ましいと考える。

以上、浄化槽汚泥・し尿・生ごみ等を原料とする消化液は家畜糞由来の消化液とほぼ同等の特性を持ち、水稻栽培に利用可能であることがわかった。消化液の利用は農家にとって新しい資材や施肥体系となるため、消化液の窒素特性を十分考慮した利用法を示すことが必要であると思われる。

#### 謝辞

試験の実施にあたりご協力いただいた南予地方局産業經濟部八幡浜支局西予農業指導班の関係各位に謝意を表する。

#### 引用文献

- 松中照夫・熊井実鈴・千徳あす香 (2003): パイオガスプラント消化液由来窒素のオーチャードグラスに対する肥料効果, 土肥誌, 74, 31-38.
- 宮田尚稔・池田英男・小島敬良 (2005): メタン発酵消化液が養液土耕, やしがら耕, ロックウール耕および水耕におけるトマトの生育に及ぼす影響, 土肥誌, 76, 619-627.
- 宮田尚稔・池田英男 (2006): 貯蔵中のメタン発酵消化液からのアンモニウムの消失, 土肥誌, 77, 577-581.
- 三好進祐 (2010): パイオマスを活用した循環型農業による農産物への付加価値の創出について, 調査研究情報誌, Vol.27, No.2, 36-41.
- 岩下幸司・岩田将英 (2010): メタン発酵消化液の液肥利用マニュアル, 社団法人地域環境循環センター, 東京, 16.
- 財団法人日本土壌協会 (2001): 堆肥等有機物分析法, 18-45, 147-152.

- 須永薫子・吉村季織・侯紅・Khin Thawd WIN・田中治夫・吉川美穂・渡邊裕純・本林隆・加藤誠・西村拓・豊田剛己・細見正明(2009): 飼料イネ栽培へのメタン発酵消化液の多量投入が土壌, 水質, 大気環境に及ぼす影響, 土肥誌, **80**, 596-605.
- 善明高英・山川武夫・菊池政道(2009): メタン発酵消化液の施用方法の違いが水稻の生育に及ぼす影響, 九大農学芸誌, **64**, 1-5.
- 土壌養分測定法委員会編(1980): 肥沃度測定のための土壌養分分析法, 養賢堂, 東京, 184-195.
- 上岡啓之・亀和田國彦(2011): 水稻コシヒカリに対するメタン発酵消化液の基肥利用, 土肥誌, **82**, 31-40.