



あたらしい 農業技術

No.531

メタン発酵消化液の処理と
利用に関する研究
～化成肥料の代替としての
消化液の利用方法について～

平成 21 年度

要 旨

1 技術、情報の内容および特徴

再生可能なエネルギーとして、家畜ふんや生ゴミなどを原料にするバイオマスプラントが注目されています。このプラントを普及させるためには、副産物である「消化液」の有効活用が不可欠です。そこで、消化液の特性や肥料価値、散布方法を調査して、消化液の肥料利用について以下のとおり検討を行いました。

消化液の肥効率は窒素：リン酸：加里でそれぞれ0.5:0.4:0.8と推定されます。この肥効率から計算した量の消化液を畑に施用して、飼料用トウモロコシ、イタリアンライグラスやサニーレタスを栽培したところ、化学肥料とほぼ同程度の生育や収穫量が得られました。そのため、化学肥料の代替として十分に利用できることが分かりました。

また、消化液の施用方法としては、広い耕地であればバキュームやスラリーインジェクターの利用が効率的です。軟弱野菜などの施設栽培での利用は、3 mm程度の穴を開けた灌水チューブで消化液を施用することが可能です。

2 技術情報の適用効果

化学肥料の使用量削減に貢献できます。

3 適用範囲

県下一円

4 普及上の注意点

- (1) 消化液の肥料成分は、原料によって変化するため、利用にあたり分析を行う必要があります。
- (2) 消化液の連年利用にあたっては、肥料成分の蓄積の可能性から土壌分析を実施することが必要です。

目 次

はじめ	1
1 消化液の肥料特性	2
(1) 肥料成分	2
(2) 肥効成分	3
(3) ほ場への施用量	3
2 化学肥料代替試験	4
3 省力的な施用方法	6
(1) 灌水チューブを用いる場合の条件	6
(2) 灌水チューブを用いた散布方法	6
おわりに	8
参考文献	8

はじめに

静岡県では、地域循環型のモデルケースを実証するため、天城地域において発生するバイオマス資源の循環利用として、平成 17 年度に「天城バイオマスプラント」（表 1、写真 1～4、図 1）を伊豆市に所在する天城放牧場に設置しました。このプラントは、天城放牧場の牛ふんと地元のスーパーマーケットや学校給食から排出される生ごみを原料にしてメタン発酵処理を行い、得られたメタンガスを発電用の燃料として活用する施設です。一方、メタン発酵後の残りかすとして「メタン発酵消化液」（以下、消化液）と呼ばれるドロドロの液体が発生します。この消化液は窒素やリン酸、加里などの肥料成分を多く含むとても有用な資源です。しかし、残念ながら、北海道を除く多くでは、消化液は手間とコストをかけて浄化処理され、河川等へ放流されることがほとんどです。つまり、せっかくの資源の有効活用が進んでいないのが現状です。

そこで、天城バイオマスプラントから排出された消化液の肥料成分を分析して、肥料としての利用について検討を行いました。また、作物や野菜を用いて化学肥料の代替として消化液を散布した栽培試験を行い、収量等についても調査しました。さらに、消化液は液体であり、取り扱い性に難があることから、散布方法についても検討を行いました。

表 1 天城バイオマスプラントの概要

1 対象バイオマス	家畜排せつ物(牧場内)	: 3.39t/日
	生ごみ(地元スーパー・学校給食)	: 1.60t/日
2 処理方式	湿式メタン発酵、中温発酵(38℃)、滞留日数 40 日	
3 バイオガス発生量	300 m ³ /日	
4 バイオガス利用	発電、消化液殺菌	
5 発電と電気利用	発電量	: 450kwh/日
6 熱回収(発電の廃熱を回収)	利用先: 発酵槽の加温、哺乳牛舎の床暖房	
7 液肥発生量	2.4t/日(場内散布)	



写真 1 プラントの外観



写真 2 施設の内部



写真3 発電機



写真4 生ごみ投入の様子

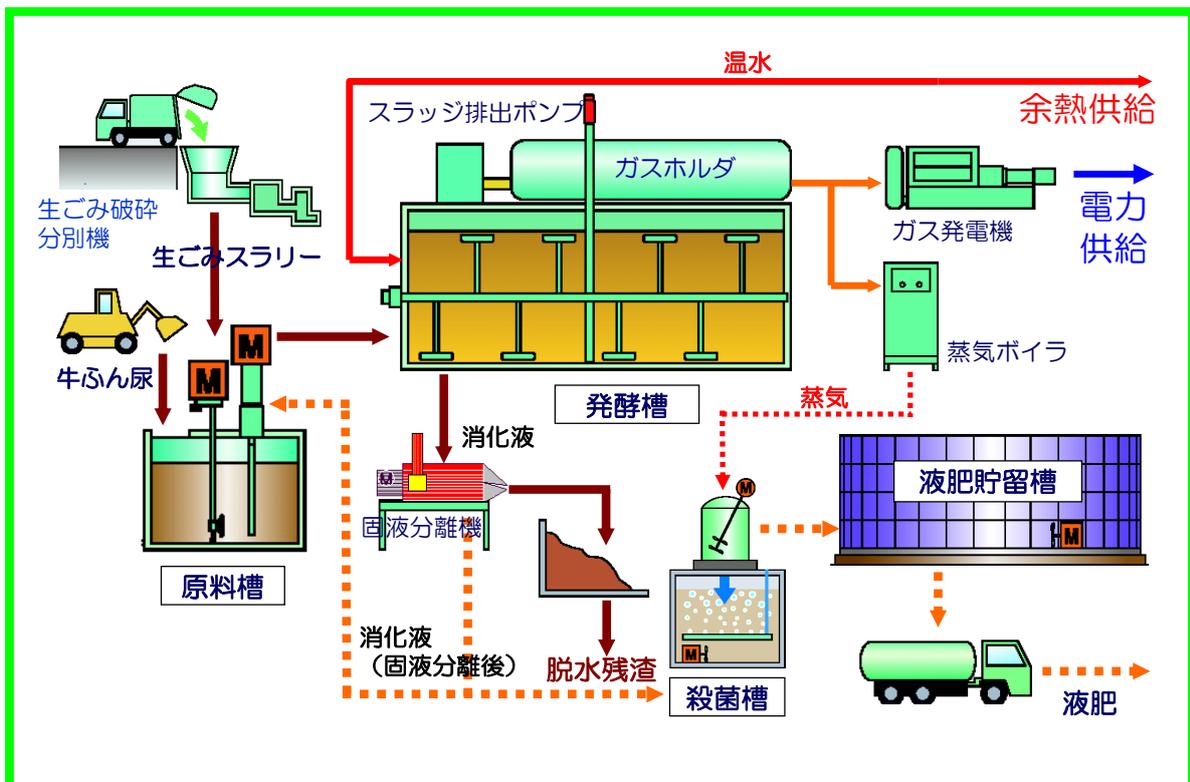


図1 天城バイオマスプラントの処理フロー

1 消化液の肥料特性

(1) 肥料成分

消化液の肥料成分のうち、全窒素 0.49% の約 4 割にあたる 0.21% はアンモニウム態窒素でした (表 2)。また、リン酸と加里はそれぞれ 0.1%、0.20% でした。この数値を他県の消化液と比較すると、窒素と加里はほぼ同等ですが、リン酸が特に高いことが分かりました (表 3)。これは、原料にリン酸を多く含む残渣が多いことを示しています。更に、消化液中の重金属含有量は肥料取締法の基準値を下回っており、肥料としての利用は問題ないことが分かりました (表 4)。

ところで、原料の窒素・リン酸・加里の含有量はメタン発酵によって増減することはなく、ほぼ、そのまま消化液の含有量となることから、投入原料の変動に大きく影響されます。牛

ふんについては、年間を通じ投入量の変動はあまりないのですが、スーパーからの生ごみなどは、季節ものの野菜や果物の外葉やカットくずが多いので、時期による変動が大きくなりやすくなります。

以上のことから、化学肥料の代替として大量に施用する場合は、事前に消化液の肥料成分を分析して利用する必要があります。

(2) 肥効成分

消化液中の窒素には、アンモニウム態窒素と硝酸・亜硝酸態窒素といった無機態窒素と有機態窒素が半分ずつ含まれています。そのため、肥料として消化液を利用する場合は、堆肥やスラリーなどの有機質肥料と同様に、成分値ではなく、作物に利用される割合、つまり、成分値に「肥効率」を乗じた数値を使う必要があります。窒素成分のうち、アンモニウム態窒素と硝酸・亜硝酸態窒素の合計が植物に肥料としてすぐに利用される「即効性窒素」となることから、全窒素中の肥効率は50%と考えます。その他の成分については、多くの研究で明らかになっており、現行のスラリーの肥効率をそのまま消化液に当てはめることができます。つまり、それぞれの肥効率は、リン酸で40%、加里で80%を基準として考えます(表5)。

なお、肥効率は、土壌の性質や消化液の散布方法、土壌との混和の有無、降雨の状況や地温といった要因にも左右されるので、消化液を施用する場合は、作物の生育状況を見ながら追肥で加減したり、土壌分析を併用することが理想です。

(3) ほ場への施用量

消化液は肥効成分の偏りが大きいことから、元肥として施用する場合は、窒素が過剰となりやすく、リン酸が不足しがちになります。最大施用量は窒素、リン酸、加里のいずれか一つでも肥料成分の必要量を上回らない量として、不足する成分は化学肥料で補うようにします。なお、参考にレタス栽培での最大散布量の計算例を示しました(表6)。この例では、窒素成分の全量を消化液8,333kgから供給し、リン酸と加里は消化液のみでは必要量に達しないことから「ようりん」や「塩化カリ」などの化学肥料を成分量でそれぞれ7kgと5kg追加して施すこととなります。

表2 消化液の肥料成分 (mg/ℓ)

全炭素	アンモニウム態窒素	硝酸・亜硝酸態窒素	全窒素	リン酸 (P ₂ O ₅)	加里 (K ₂ O)	硫酸イオン	C/N比
18,100	2,120	358	4,880	1,830	2,000	62.7	3.70

表3 他県メタン発酵処理施設の消化液成分 (mg/ℓ)

施設 (原料)	アンモニウム態窒素	全窒素	リン酸 (P ₂ O ₅)	加里 (K ₂ O)
プラント1 (生ゴミ)	1,400	2,500	700	1,600
プラント2 (酪農)		1,700	800	1,900
プラント3 (酪農)	1,780	3,595	600	2,907

表4 消化液の重金属含有量

(mg/kg)

	カドミウム	ひ素	水銀	クロム	ニッケル	鉛
分析値	0.1	0.05	0.05	0.1 未満	0.1 未満	0.37
肥料取締法の基準値	5 未満	50 未満	2 未満	—	—	—

表5 基準とする肥効率と肥効成分

(%)

肥料成分	成分含量	肥効率	肥効成分
窒素	0.49	50	0.24
リン酸	0.18	40	0.07
加里	0.20	80	0.16

表6 消化液の最大散布量の計算例 (10a 当り成分量)

	窒素	リン酸	加里
レタスの肥料必要量 (A) kg	20	13	18
消化液の肥効成分 (B) %	0.24	0.07	0.16
成分ごとに必要な散布量 kg (A ÷ B)	8,333	18,571	11,250
↓ 最も少ない 8,333kg を最大散布量とす			
消化液 8,333kg 中の肥効成分 (8,333 kg × B = C)	20	6	13
化学肥料で補う量 (A - C)	0	7	5

2 化学肥料代替試験

化学肥料の代替として消化液を施用して飼料用トウモロコシ、イタリアンライグラスとサニーレタスの栽培試験を行いました。施肥量は、静岡県土壤肥料ハンドブックを参考に、消化液区では表6のように計算をして、不足するリン酸と加里を化学肥料で補いました。栽培試験の結果、全ての作物で消化液は化学肥料とほぼ同等の生育を示し、収量にも差がありませんでした(表7)。また、化学肥料代は、消化液区のほうが10aあたり約6.8千円から12.3千円少なくすみました(平成20年度の肥料価格換算)。

同様に東部農林事務所でも、ハウレンソウ、水稲への消化液の施用効果の実証試験をしています。この試験では、ハウレンソウで窒素のうち、53.7%、水稲で60.3%を消化液とし、残りは化学肥料で補充しました。ハウレンソウで消化液区は対照の化学肥料区に比べ収量が多くなりました(表8)。この結果からハウレンソウ栽培に十分利用ができると思われることが

できます。水稻栽培では、消化液の施用は、水田の水口からの水流に混ぜる方法で行ったのですが、消化液と水との混和が不十分だったのか、均一散布ができませんでした。そのため、生育にばらつきが生じましたが、収量は消化液区のほうが化学肥料区よりも多い結果となりました（表8）。千粒重と食味についての差異も見られませんでした（表9）。

水口から流し込むやり方は、水田の省力的な施用方法であることから、他県でも実証されています。しかし、天城バイオマスプラントの消化液は粘度が高いため、このままでは散布は難しいと考えられました。そこで、水口から流し込む方法を使うなら、あらかじめ消化液を水で希釈してから利用するなどの改善が必要と思われます。

さて、消化液は水分が多いために肥料成分の濃度が低く、化学肥料の代替利用をするとすると、大量散布が必要となります。また、消化液は液体なのでタンクなどの密閉容器が必要ですし、さらに通常の化学肥料に用いる施肥機械では散布できません。しかし、省力的な散布が可能であれば、化学肥料の代替として十分に活用ができ、肥料代が削減できることは確かです。家畜尿やスラリーよりも臭気は少ないものの、人家近くのほ場での散布には少し配慮が必要です。また、消化液は有機質が多く含まれていますので化学肥料と異なる肥効を示します。つまり、土壌中に蓄積するため、長期的に使い続けるためには、定期的に土壌分析を行い、施肥量の加減をした方が無駄はなくなります。

表7 消化液の化学肥料代替試験

供試作物	試験区	施肥量(kg/10a)*	収量(kg/10a)	化学肥料代(円)	備考
飼料用トウモロコシ	化学肥料区	N:P:K=15:20:17.5	4,650	16,250	
	消化液区		4,827	9,475	過リン酸石灰と塩化カリで調整
イタリアンライグラス	化学肥料区	N:P:K=15:20:17.5	5,830	16,250	
	消化液区		5,370	9,475	過リン酸石灰と塩化カリで調整
リーフレタス	化学肥料区	N:P:K=23:18:17	2,087	18,482	
	消化液区		2,165	6,153	ようりんと塩化カリで調整

* N : N、P : P₂O₅、K : K₂O
(東部農林事務所実施分)

表8 消化液の化学肥料代替試験

供試作物	試験区	施肥量(kg/10a)*	収量(kg/10a)	備考
ハウレンソウ	化学肥料区	N:P:K=17:10:14.8	1,033	
	消化液区	N:P:K=7.2:9.2:25.4	1,500	窒素の53.7%が消化液由来
水稻	化学肥料区	N:P:K=7.1:18.3:8.7	341	
	消化液区	N:P:K=6.8:17.8:10.6	442	窒素の60.3%が消化液由来

* N : N、P : P₂O₅、K : K₂O

表9 水稻栽培における消化液施用の千粒重と食味への影響

試験区	千粒量	食味
化学肥料区	21.5g	74.0
消化液区	21.5g	75.5

※食味は静岡精機の食味計により計測した

3 省力的な施用方法

前述のように消化液は液状のため、粒状の肥料を散布するブロードキャストなどの機械で散布することができません。また、化学肥料と比べて肥料成分が少ないことから、例えば、化学肥料と同量の窒素量を確保するには約 50 倍の施用量が必要となります。そのため、遠隔地への運搬は経費がかかるため、コストメリットが活かせなくなります。さらに実際の施用作業も大量の液状物を対象にした省力的な作業体系を検討する必要があります。

天城放牧場では、トラクタに装着した高圧ポンプ搭載型バキュームタンクでプラント近くの牧草地に省力的に消化液を散布しています(写真 5)。これらの作業時間調査は、バキュームタンクへの消化液吸引から運搬、散布までの 1 回あたり 35 分でした(表 10)。比較的広い耕地であれば同様の方法でできますが、もう一つの方法として住宅が隣接しているほ場であればスラリーインジェクターを使い消化液を直接土壌へ注入する方法もあります。これは、住宅が近くにある耕地で消化液を施用する場合に臭気の飛散を防ぐことができます。また、前述した水稻栽培で実施した水口からの消化液投入も省力的な施用方法として利用できます。

次に、施設での洋菜類栽培を想定し、灌水チューブを利用した消化液の省力的散布方法を検討しました。

(1) 灌水チューブを用いる場合の条件

灌水チューブで消化液を散布するためには、チューブに開けた穴が詰まらないことが前提条件となります。そこで、消化液に残った固形物による目詰まりの可能性を調べるため 4、2 および 1 mm のメッシュに 500ml の消化液の原液を流し、30 分後にメッシュに残った重量を測定しました。その結果、4 mm メッシュでは詰まることは無くほぼ全量通過したのですが、2 mm メッシュでは 1.9% が通過せずに残り、1 mm メッシュでは 6.8% が残りました(表 11、写真 6、7)。

以上のことから灌水チューブの流出口の口径が 4 mm 以上あれば詰まることは無いと思われました。2 mm 以下の口径で灌水施用するのであれば、予め流出口の口径よりも小さなメッシュでろ過してから使う必要が生じてきます。

(2) 灌水チューブを用いた散布方法

内径 25mm の灌水チューブ(カクイチマックスフロー)を 11m 用意し、これに 30cm ごとに 3 mm 径の穴を 2 ヶ所ずつ開けました。このチューブに取り付けた如雨露に予め 1 mm メッシュでろ過した消化液の原液を入れ 1 m の高さに持ち上げて 5 リットルずつ 2 回流し込んだところ、穴が詰まることなく消化液は流出しました。また、穴の大きさを 5 mm 径とした場合は、流し込み口から 10m 離れた場所まで届かず、そのほとんどは流し込み口近で流出しました。このことから 5 mm 径以上の流出口では使えないといえます。

次に、消化液の原液と水で 2、3、5 および 10 倍に希釈したものを前の実験と同じように 1 m の高さから 10 リットル流し込み、流し込み口から 1 m、5 m、10 m 離れた位置の流出量を調査しました。すると、消化液の濃度による流出量の差はほとんど見られませんでした。流し込み口からの距離による流出量の差の方が大きく、10 m の地点では 1 m 地点の約半分の流出量でした(表 12)。また、原液の消化液では、濃度が濃いために、流出した消化液が土壌

の表面にたまって、地下に浸透しにくかったことも観察されました。そのため、灌水チューブで消化液を施用する場合は、5倍程度に希釈した方が使いやすいでしょう。

以上のことから、消化液を1mmメッシュで事前ろ過し、3mm径の穴を開けた灌水チューブを用いれば消化液の散布ができるのですが、流し込み口から離れた位置では消化液の流出量が少なくなります。そこで、実際の利用にあたっては、①消化液のタンクの位置を上げて圧力を増やす②チューブの穴をタンクに近いほうでは間隔を空けて、先端付近では幅を狭くする③チューブの長さを短くする④加圧機を利用するなどの工夫をして、施用量をうまく調整してください。

表 10 天城放牧場での消化液散布作業時間

作業内容	作業時間
ホース脱着	5分
吸引時間	5分
移動時間	20分
散布時間	5分
1回所要時間	35分

*バキュームタンクの能力：積載量6t、散布能力1.2t/分



写真5 天城放牧場での消化液散布の様子

表 11 メッシュ径の差異による消化液残渣量

(現物 kg/500ml)

メッシュ径	残渣重量	残渣比率
4(mm)	1.1(g)	0.2 (%)
2	9.5	1.9
1	34.1	6.8

表 12 灌水チューブからの流出量 (ml)

区分	1m	5m	10m
消化液原液	550	255	265
〃 2倍希釈	548	327	271
〃 3倍希釈	478	282	237
〃 5倍希釈	465	262	202
〃 10倍希釈	510	388	214
水	342	303	235



写真6 1mmメッシュでろ過した
消化液残渣



写真7 2mmメッシュでろ過した
消化液残渣

おわりに

世界人口が増加し、資源の争奪が激しくなる中で、地域のバイオマス資源をいかに有効活用していくかが今後の農業に求められてくると思います。解決の一つの方法として、バイオマス資源の堆肥化と有効活用や生ごみや家畜排泄物を原料にしたバイオマスプラントの設置があげられます。バイオマスプラントについては、コストが高いことや消化液が大量に排出され、その処理が難しいなどの問題があることから日本では普及が限られています。県で設置した天城バイオマスプラントでの実証結果から、排出される消化液は、省力的な施用を行えば、肥料として十分に活用できることが確認されました。消化液の実際の利用に関してご不明な点がございましたら畜産技術研究所まで連絡していただければと思います。

参考文献

- 1) 相沢万裕美, 2006. 生ごみメタン発酵消化液の野菜苗への肥効について, 埼玉県農林総合研セ研報, 6, 78-80.
- 2) 相沢万裕美, 2006. 生ごみメタン発酵消化液による根の活性について, 日本土壤肥料学会関東支部大会講演要旨.
- 3) 河原弘文, 2006. 佐賀畜試研報, 42, 54-57.
- 4) 土井真也, 2004. メタン発酵残さのイタリアンライグラスへの肥料効果, 滋賀県畜産関係技術発表会抄録, 21.
- 5) 土井真也, 2005. 飼料イネ栽培におけるメタン発酵消化液の肥料効果, 滋賀県畜産関係技術発表会抄録, 16.
- 6) 宮本大輔, 2006. 膜型メタン発酵システムから排出される消化液の茶園への施用について, 茶業技術研究発表会抄録, 102, 40-41.
- 7) 脇谷裕一郎, 2005. 汚水処理物を利用した土壌施用技術の確立, 佐賀畜試研報, 41, 112-116.

畜産技術研究所 環境飼料部
主任研究員 稲垣敦之

平成21年8月発行

静岡県産業部振興局研究調整室

〒420-8601

静岡市葵区追手町9-6

TEL 054-221-2676

