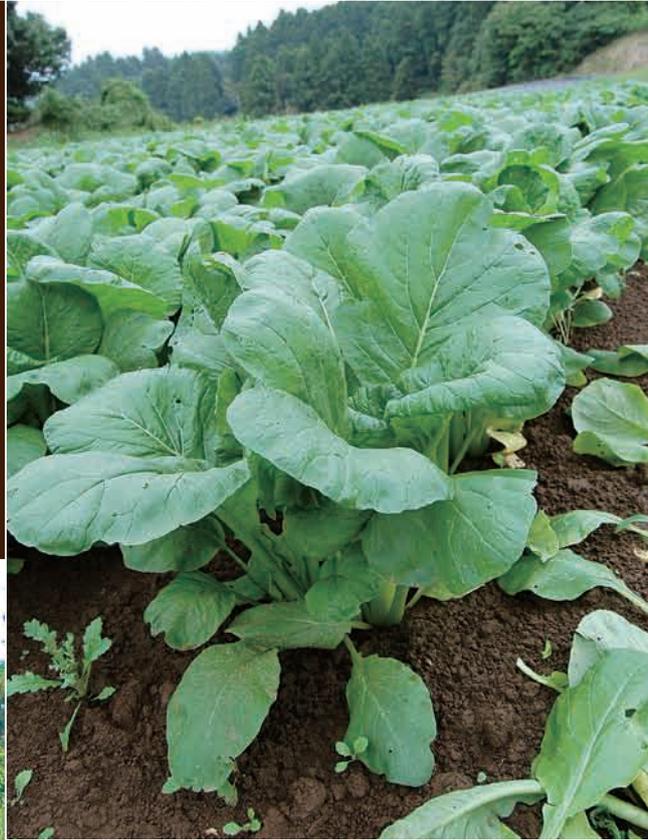




メタン発酵消化液 の畑地における 液肥利用 —肥料効果と環境への影響—



2012年3月

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
National Agriculture and Food Research Organization

農村工学研究所

National Institute for Rural Engineering

メタン発酵消化液とは

メタン発酵とは、家畜排せつ物や食品廃棄物等から、嫌気性微生物の働きを利用して、バイオガス（メタン濃度約60%）を回収する技術です（図1）。得られたバイオガスは発電機やボイラー等の燃料として利用できます。一方、バイオガスを取り出した後に残る液体が「メタン発酵消化液（消化液）」です。



図1 メタン発酵のフロー

消化液は、排水処理を行った上で河川等に放流する場合と肥料成分が多く含まれる特長を活かして液肥として利用する場合があります。排水処理を行う場合には、凝集剤などの薬品の使用量が多く、多大なコスト・エネルギーがかかるという指摘があります。そのため、散布するための農地面積が確保できるような地域では、液肥利用が望ましいと考えられます。液肥利用を行うことにより、消化液に含まれる窒素、カリウム等の肥料成分を有効利用でき、肥料資源の有効利用が図れます。

また、消化液の液肥利用は、メタン発酵プラントの運転者にとって、プラントの運転コストを削減できるというメリットがあります。一方、耕種農家にとっても、肥料代の節約（消化液は一般的に、通常の肥料より安く提供されることが多いため）や肥料散布労力の軽減（消化液の輸送・散布作業もメタン発酵プラント側が行うため）というメリットがあります（表1）。

表1 消化液の液肥利用と排水処理の特徴

	液肥利用	排水処理（浄化処理）
長所	消化液に含まれる窒素、カリウム等の肥料成分を有効利用でき、化学肥料使用量を削減できる。	農家の意向や天候に左右されず、安定的に処理できる。
短所	<ul style="list-style-type: none"> 散布するための十分な農地面積の確保が必要。 輸送・散布に要する労力が大きい。 	凝集剤などの薬品の使用量が多く、多大なコスト・エネルギーがかかる。

農村地域では、液肥利用を採用することにより、コストの削減や資源の有効利用が図れる可能性がある。

メタン発酵プラントにとってのメリット・・・消化液の処理コストを削減できる。

耕種農家にとってのメリット・・・肥料代を節約できる、肥料散布労力を低減できる。

農村工学研究所が行ってきた消化液の液肥利用研究

(独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所では、農事組合法人和郷園とともに、千葉県香取市に試作・設置したメタン発酵プラント（山田バイオマスプラント）（図2）の消化液を用いて、畑地（黒ボク土）における液肥利用に関する研究を行ってきました。

山田バイオマスプラントでは、消化液のほぼ全量（年間約1500t）を年間約50haの圃場に散布しています。消化液は一時的に消化液貯留槽で貯留された後、バキューム車（タンク容量3.7m³）で農地に運ばれ、液肥散布車で散布されます。また、液肥散布車（タンク容量1.6m³）の輸送は2tトラックを用いて行われます（図3）。



図2 山田バイオマスプラント



図3 山田バイオマスプラントにおけるメタン発酵消化液の液肥利用プロセス

消化液の肥料成分

メタン発酵において、原料に含まれる肥料成分の窒素、リン、カリウムは、ほぼ全量が消化液に移行するため、その成分はメタン発酵原料の成分組成を反映します。山田バイオマスプラントでは乳牛ふん尿が主原料（一部、野菜残渣）なので、乳牛ふん尿の成分を反映して、窒素やカリウムに対してリンの含有量が少なくなっています。また、窒素のうち、約半分が速効性の肥料成分であるアンモニア態窒素なので、消化液は化学肥料の代わりに利用できます（表2）。



表2 山田バイオマスプラントの消化液の成分（平均値, n=23）

	成分	消化液 1tあたりの含有量
含水率	95.8 %	—
pH	7.7	—
EC（電気伝導度）	2.0 S/m	—
全窒素	3,400 mg/L (0.34%)	3.4 kg
アンモニア態窒素	1,800mg/L (0.18%)	1.8 kg
硝酸態窒素	<1 mg/L (<0.01%)	0 kg
リン酸	1,200mg/L (0.12%)	1.2 kg
カリ	3,900 mg/L (0.39%)	3.9 kg
全炭素	9,600 mg/L (0.96%)	9.6 kg

原料が変化すると消化液の肥料成分も・・・

山田バイオマスプラントでは、乳牛ふん尿と野菜残渣を原料としています。野菜残渣の割合が50%程度まで高まった時期の成分を表3に示します。野菜残渣は水分が多く、カリウムが相対的に多いという特徴がありますが、消化液もそれを反映した成分となります。原料の成分組成が変化する場合は、消化液の肥料成分も変化することに留意する必要がありますが、肥料成分をEC*から推定することも可能です。山田バイオマスプラントでは、ECとアンモニア態窒素の関係（図4）を利用して、施肥設計に生かしています。ただし、ECとの関係はプラントにより異なると考えられるため、プラントごとに作成する必要があります。

* ECとは電気伝導度であり、現場において短時間（1～2分）で測定できます。

表3 山田バイオマスプラントの消化液の成分（野菜残渣の割合が50%の時）

	成分	消化液 1tあたりの含有量
含水率	97.4 %	—
pH	7.4	—
EC（電気伝導度）	1.4 S/m	—
全窒素	1,800 mg/L (0.18%)	1.8 kg
アンモニア態窒素	730mg/L (0.073%)	0.73 kg
硝酸態窒素	<1 mg/L (<0.01%)	0 kg
リン酸	1,000mg/L (0.10%)	1.0 kg
カリ	3,100 mg/L (0.31%)	3.1 kg
全炭素	8,800 mg/L (0.88%)	8.8 kg

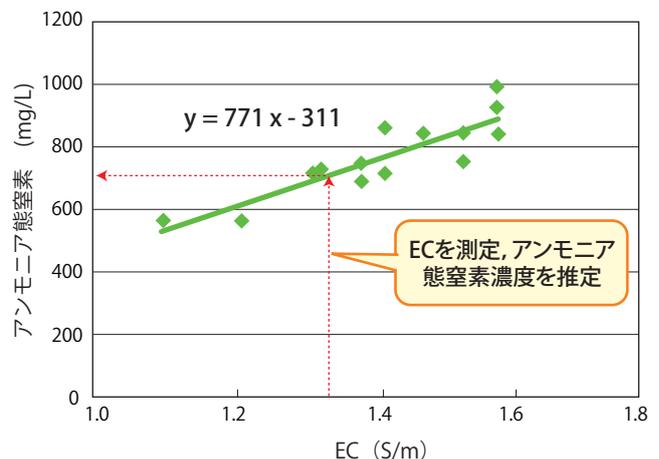


図4 ECとアンモニア態窒素の関係(山田バイオマスプラント)

これまでに行った消化液の液肥利用研究の内容

1. 消化液の肥料効果と環境への影響 (担当：農村工学研究所).
(消化液を施用した土壌におけるアンモニア揮散量, 窒素溶脱量等)
2. 消化液を連用した時の土壌への影響 (担当：農村工学研究所).
(土壌炭素蓄積量, 表層土壌の乾燥密度等)
3. 液肥利用システムの温室効果ガス排出量の評価 (担当：農村工学研究所).
(温室効果ガス排出の傾向, 排水処理との比較等)
4. 農家圃場での栽培実証試験 (担当：農事組合法人と郷園).
(農家圃場での栽培試験, 消化液の効率的な輸送・散布方法の検討等)



1. 消化液の肥料効果と環境への影響

肥料として農地土壌（ここでは畑地）に施用された窒素は、様々な形態変化を経て、作物に吸収されたり（作物吸収）、気体となって大気へ放出されたり（ガス揮散）、土壌中の水の下方移動によって地下水へ流出されたり（溶脱）します（図5）。

消化液に含まれる窒素成分を肥料として環境保全的に利用するためには、消化液を施用した土壌での窒素の動態の把握することが重要です。そこで、以下の項目について検討しました。

なお、消化液中のリン酸、カリについては、堆肥での例から考えると、大部分が作物に利用可能な形態であると考えられるため、窒素に着目して検討を行いました。

【検討項目】

消化液の肥料効果に関する項目

- 有機態窒素の無機化量…消化液に含まれる有機態窒素のうち、どの程度が無機化するか。
- アンモニア揮散量……施用後に消化液に含まれる窒素のうち、どの程度がアンモニアとして揮散するか。
- 消化液の施用可能量……施用直後に表面流出が生じない施用量はどの程度か。

消化液の施用に伴う環境影響に関する項目

- 地下への窒素溶脱量……作物に吸収されずに下方へ移動する割合はどの程度で、地下水質に及ぼす影響はどの程度か。

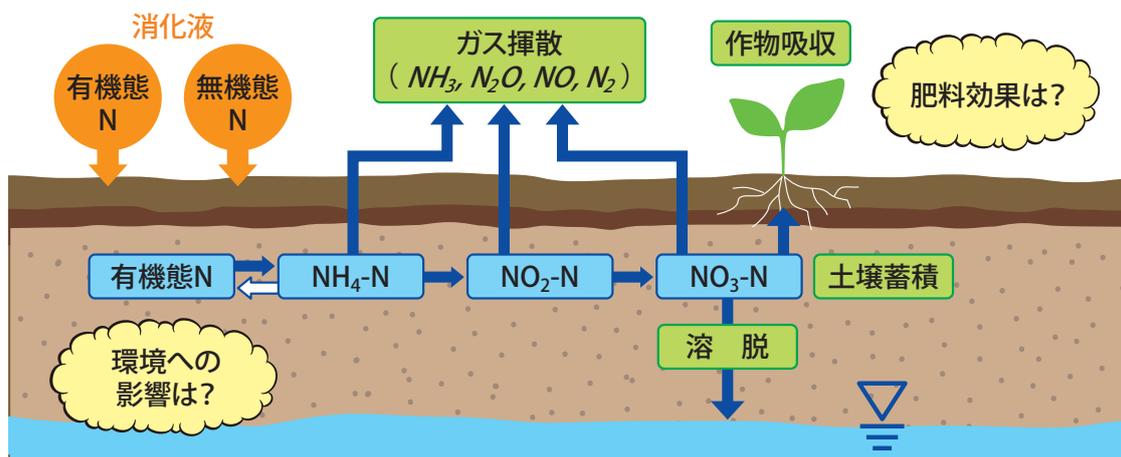


図5 消化液を施用した土壌での窒素の動態

消化液に含まれる有機態窒素の無機化量

消化液に含まれる窒素の約半分が有機態窒素です。有機態窒素の無機化やアンモニア態窒素の硝化の特性を調べ、消化液に含まれる窒素の何%程度が硝酸態窒素（畑地において作物が主に吸収利用する形態）になるのか（図6）を把握するため、畑地条件（黒ボク土）での培養試験（30℃）を行いました（アンモニア揮散を抑制するため、施用後土壌と混和した条件）。

消化液に含まれる有機態窒素の一部の無機化とアンモニア態窒素の硝化により、施用後1ヶ月間に消化液に含まれる窒素の65%程度が硝酸態窒素となり、速効性の窒素肥料として利用できると判断されました。消化液に含まれているアンモニア態窒素は約50%なので、有機態窒素のうち、無機化したのは約30%程度であると考えられます（図7）。

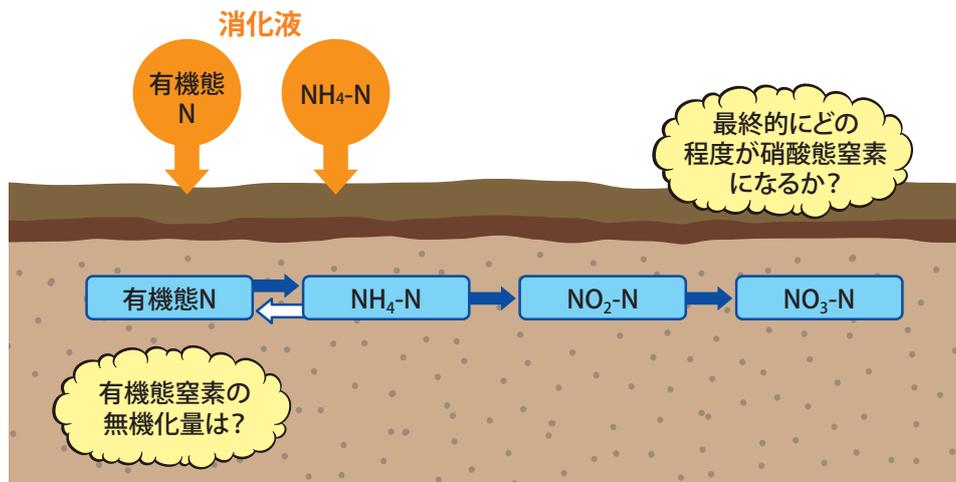


図6 消化液由来窒素の畑地土壌での無機化，硝化

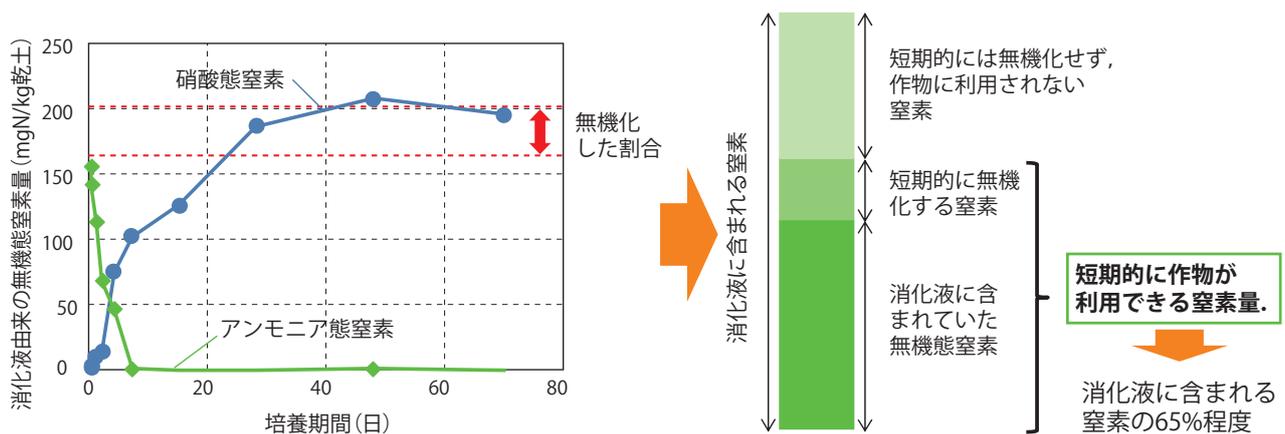


図7 培養期間と消化液由来の無機態窒素量の関係（30℃，畑地条件）

消化液に含まれる窒素の65%程度が速効性の窒素肥料として利用できる。

消化液を施用した土壌におけるアンモニア揮散量

消化液を農地土壌に表面施用すると、その直後に消化液中のアンモニア態窒素の一部が大気中に揮散し、施用した肥料成分の損失につながります。また、アンモニアは大気汚染物質でもあるので、消化液に含まれる窒素の施用後の揮散量を把握することは重要です（図8）。消化液を表面施用（消化液を土壌表面に施用し、そのまま放置）した場合と混和施用（消化液を土壌表面に施用し、30分後に土壌と混ぜる）した場合のアンモニア揮散量の違いを調べました。

その結果、消化液を表面施用すると、その直後にアンモニアの揮散が起こり、そのまま放置すれば、施用後1日で、施用した窒素の最大30%程度がアンモニアとして揮散することがわかりました（アンモニア揮散量は風速、気温等の気象条件により左右されます）。一方、土壌との混和により、揮散は抑制されました。つまり、消化液に含まれるアンモニア態窒素を最大限利用し、アンモニアによる大気環境への負荷を削減するためには、施用後速やかに土壌と混和する（耕起する）必要があります（図9）。一方、直後の混和（耕起）が困難な場合は、揮散による窒素の損失を考慮した施肥設計が必要です。



図8 消化液を施用した圃場からのアンモニア揮散

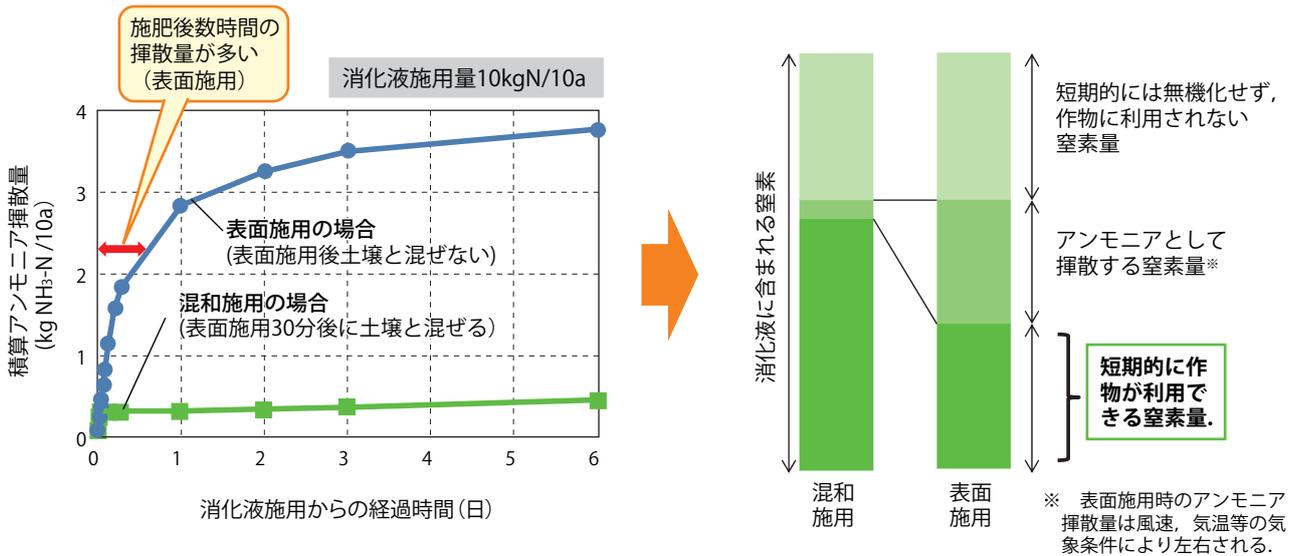


図9 消化液を施用した土壌におけるアンモニア揮散量

- 消化液施用後、速やかに土壌と混ぜる（耕起する）と窒素成分を有効利用できる。
- 消化液施用後速やかに土壌と混ぜる（耕起する）ことができない場合は、窒素成分の損失があることを考慮して、施肥設計を行う必要がある。

消化液の施用可能量

消化液は水分が多いため、施用量が多いと一部が土壤に浸透せず、土壤表面を流れ、施肥ムラを引き起こすおそれがあります。施用直後に表面流出が生じない施用量を把握するため、畑地（黒ボク土）に消化液をそれぞれ 4t/10a, 8t/10a 施用して、表面流出を観察しました。

その結果、4t/10a の場合、施用した消化液はほぼ土壤に浸透し、表面流出は起きませんでした。一方、8t/10a では消化液の一部が土壤に浸透せず、土壤に消化液の液面ができ、表面流出が生じ、施肥ムラが生じました（図 10）。以上より、消化液を均一に施用するためには、5～6t/10a 程度が 1 回の施用量の限界と考えられます。

均一に施用するためには、5～6t/10a 程度が 1 回の施用量の限界。



消化液施用量 4t/10a

消化液施用量 8t/10a

図 10 消化液施用 15 分後の土壤表面の様子

消化液由来の有効成分量と施肥設計例

以上の結果をもとに、消化液を畑地において液肥利用する場合について、施用方法ごとの消化液由来の有効肥料成分量を計算し、施肥設計を考えます（表 4, 表 5）。

消化液由来の有効成分量（化学肥料相当量）

前提条件

- ▷ 消化液に含まれる窒素の 65% 程度が速効性の窒素肥料として利用できるとする。
- ▷ アンモニア揮散率は、混和施用の場合消化液に含まれる窒素の 5%、表面施用の場合 30% とする。
- ▷ リン酸肥効率、カリ肥効率をそれぞれ 80%、90% とする（千葉県の施肥基準より）。

混和施用：消化液施用後 1～2 時間以内に耕起する場合。
表面施用：消化液施用後速やかに耕起しない場合。

表 4 消化液由来の有効成分量

	消化液中の成分量	消化液 1 t あたりの含有量	消化液 1 t あたりの有効成分量	
			混和施用の場合	表面施用の場合
窒素	3,400 mg/L (0.34%)	3.4 kg	2.0 kg	1.2 kg
リン酸	1,200 mg/L (0.12%)	1.2 kg	1.0 kg	1.0 kg
カリ	3,900 mg/L (0.39%)	3.9 kg	3.5 kg	3.5 kg

施肥設計例

栽培作物：コマツナ（施肥基準量 窒素 - リン酸 - カリ = 12-12-12 kg/10a）

消化液施用量：3.0t/10a

表 5 施肥設計例（コマツナの場合）

	消化液から供給される有効成分量		不足する量 = 化学肥料等で補う必要がある量	
	混和施用の場合	表面施用の場合	混和施用の場合	表面施用の場合
窒素	$2.0 \times 3 = 6.0$ kg	$1.2 \times 3 = 3.6$ kg	$12 - 6.0 = 6.0$ kg	$12 - 3.6 = 8.4$ kg
リン酸	$1.0 \times 3 = 3.0$ kg	$1.0 \times 3 = 3.0$ kg	$12 - 3.0 = 9.0$ kg	$12 - 3.0 = 9.0$ kg
カリ	$3.5 \times 3 = 10.5$ kg	$3.5 \times 3 = 10.5$ kg	$12 - 10.5 = 1.5$ kg	$12 - 10.5 = 1.5$ kg

留意点

- ▷ 消化液の施用量は、窒素、リン酸、カリのいずれにおいても施肥基準量を超えないように設定する（家畜排せつ物を原料とする場合はカリ過剰に注意が必要）。
- ▷ 消化液の施用量は、表面流出を防ぐため、5～6t/10a 程度にとどめる。

地下への窒素溶脱量

地下水の硝酸態窒素汚染の原因の一つは、施肥であると言われており、施用する肥料・資材からの窒素の溶脱特性を把握することは重要です。消化液を施用した時の窒素の溶脱特性を化学肥料を施用した場合と比較するため、ライシメータを用いて調査を行いました（図 11）。ライシメータは消化液等の施用が地下水の水質に及ぼす影響をモニタリングできます。このライシメータを 6 基使い、消化液区、硫酸区、無施肥区を設定し、年 3 作（春作：コマツナ、夏作：コマツナ、秋作：ホウレンソウ）の作付けで、4 年間試験を行いました。

消化液区の作物の収量や窒素吸収量は 4 年間を通して硫酸区よりやや少なく、消化液は硫酸に近い窒素肥料として利用でき、消化液は化学肥料を代替できることが示されました（図 12）。作物への窒素吸収量に対する窒素溶脱量は、消化液と硫酸ではほぼ同等であり、消化液で化学肥料を代替しても、適切な施用量であれば、地下水質への影響は小さいことがわかりました（図 13）。また、消化液には難分解性の有機態窒素が 1 割程度含まれており、作物に吸収されたり、溶脱したりせず、土壌の表層に蓄積されることが示されました（図 14）。以上の結果をもとに、消化液・硫酸を施用した畑地における 4 年間の窒素収支は図 15 のようになりました。

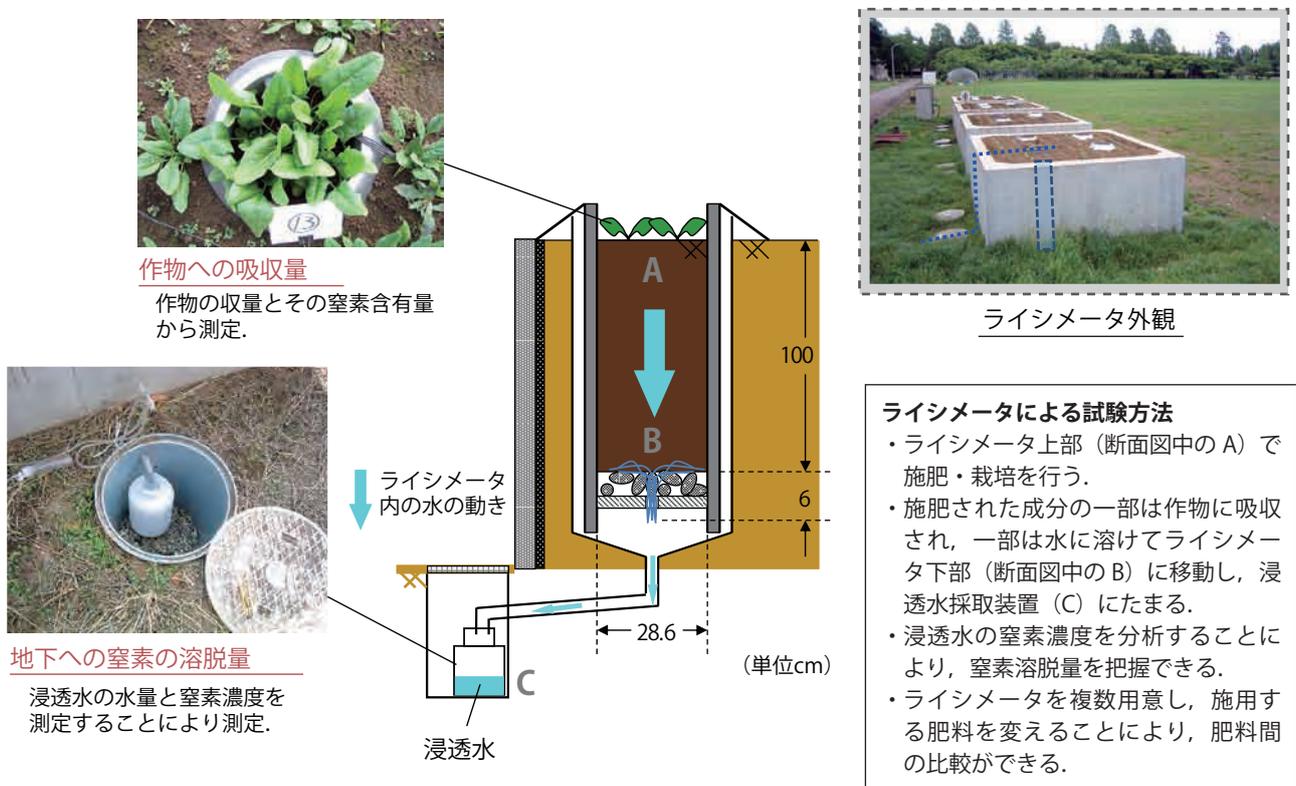


図 11 ライシメータ断面図（青破線部分）

試験装置：ライシメータ 6 基

試験区設定（反復数）：無施肥区（2）、硫酸アンモニウム（硫酸区）（2）、消化液区（2）

供試土壌：淡色黒ボク土

測定項目：収量、作物への窒素吸収量、地下への窒素溶脱量、土壌への窒素の蓄積量

栽培作物：年 3 作（春作・夏作：コマツナ、秋作：ホウレンソウ）

施肥条件：千葉県施肥基準（全窒素合わせ）

コマツナ（窒素－リン酸－カリ＝12－12－12 kg/10a）

ホウレンソウ（窒素－リン酸－カリ＝25－25－25 kg/10a）（消化液区のリン酸、カリは化学肥料の単肥で補う）

施用後の処置：施用後速やかに土壌と混和←アンモニア揮散を抑制

試験期間：4 年間

注）この試験で用いた土壌は、土壌からの窒素の供給量が多い（可給態窒素水準が高い）。そのため、無施肥区においても、収量や窒素吸収量が比較的多い。

収量・作物への窒素吸収量

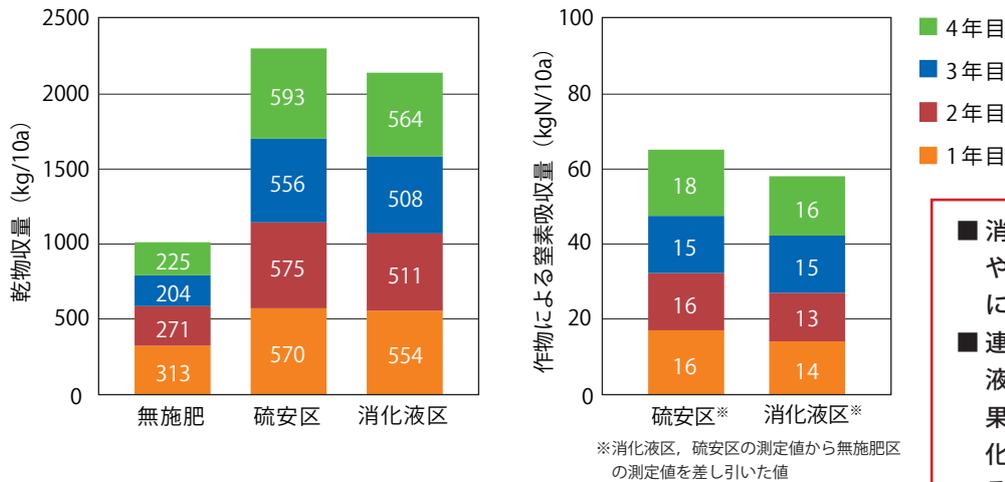


図 12 収量と作物への窒素吸収量

- 消化液区の作物の収量や窒素吸収量が硫安区に比べてやや少ない。
- 連用を行っても、消化液は硫安に近い肥料効果を持続し、消化液は化学肥料を代替できる。

地下への窒素溶脱量

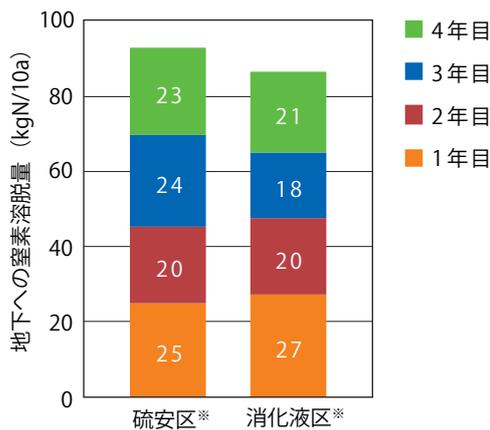


図 13 地下への窒素溶脱量

※ 消化液区、硫安区の測定値から無施肥区の測定値を差し引いた値

- 消化液区の窒素溶脱量は、作物への窒素吸収量と同様に硫安区に比べて少ない。
- 作物への窒素吸収量に対する窒素溶脱量は、消化液と硫安ではほぼ同等。



消化液で化学肥料を代替しても地下水質への影響は小さい。

土壌表面から 30cm までの土壌への窒素蓄積量

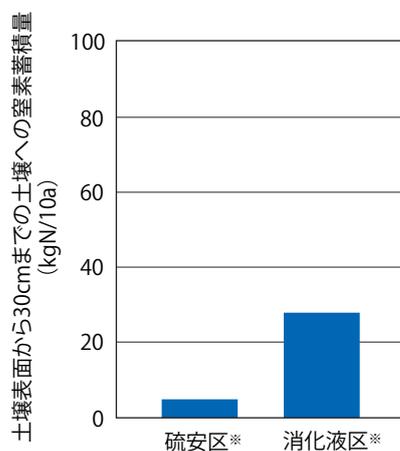
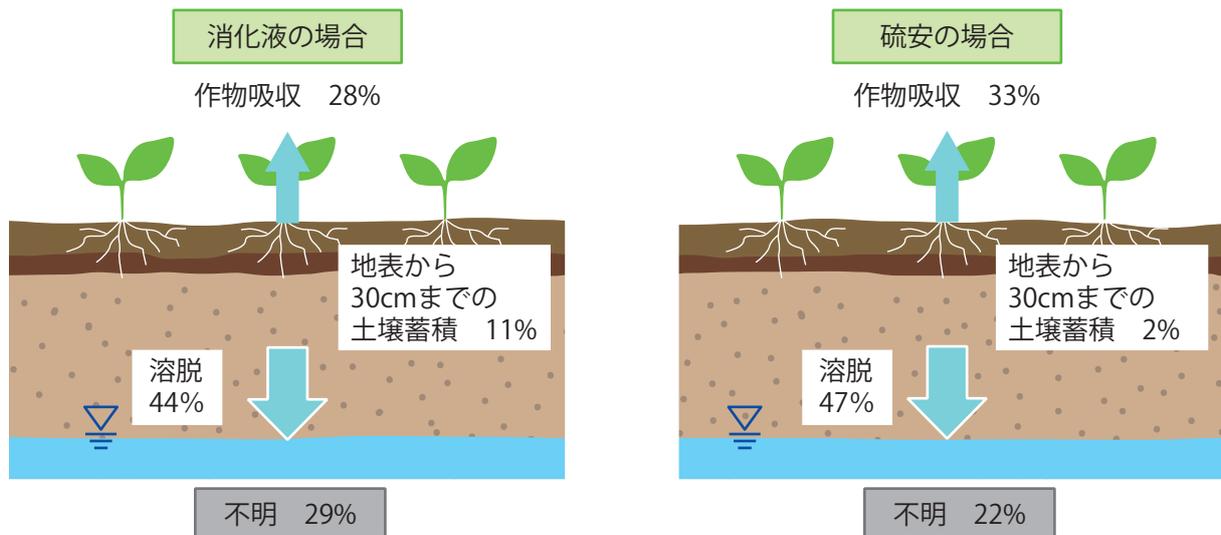


図 14 土壌表面から 30cm までの窒素の蓄積量

※ 消化液区、硫安区の測定値から無施肥区の測定値を差し引いた値

- 消化液には難分解性の有機態窒素が 1 割程度は含まれており、土壌に蓄積される。
- 難分解性有機態窒素を一定程度含んでいることが、消化液区の作物への窒素吸収量がやや少ない要因と考えられる。

ライシメータ試験まとめ（4年間の窒素収支）



(消化液区, 硫安区の測定値から無施肥区の測定値を差し引いた値)

図 15 施肥された窒素の行き先（4年間の窒素収支）

2. 消化液を連用した時の土壌への影響

農地土壌への有機物の施用は、土壌の物理性改善効果があるとされています。また、土壌に炭素を蓄積させることにより、土壌が大気中の二酸化炭素の吸収源となり地球温暖化対策になるといわれています。消化液を連用した時のそれらの効果を調査するため、硫安、消化液、牛ふん堆肥、汚泥コンポストをそれぞれ連用した試験区を設定して、試験を行いました（表 6）。

消化液連用圃場の表層土壌の乾燥密度（容積重）は、無施肥区や硫安区とほぼ同等であり、堆肥や汚泥コンポストを施用した場合に比べて大きいことがわかります。つまり、消化液には粗大な有機物が含まれていないため、連用した場合でも、土壌の膨軟化効果などの、土壌の物理性改善効果は期待できないといえます（図 16）。

また、消化液を 15t/年施用した場合の表層土壌への蓄積量は、牛ふん堆肥を 5.4t/年、汚泥コンポストを 2.6t/年施用した場合に比べて少ないが、一定の炭素蓄積効果があることが示されました。また、消化液由来炭素の土壌への残存率自体は堆肥等とほぼ同じ割合であり、消化液に含まれる炭素の分解特性は堆肥由来炭素と大きな違いがないことが示唆されました（図 17）。

【検討項目】

- 表層土壌の乾燥密度……消化液の施用は土壌を軟らかくする効果があるのか。
- 土壌炭素蓄積量……消化液連用後の土壌にどの程度の炭素が蓄積されるのか。堆肥の場合と比べてどうか。

試験区設定：無施肥区，硫安区，消化液区，牛ふん堆肥区，汚泥コンポスト区

供試土壌：淡色黒ボク土

栽培作物：コマツナ，ホウレンソウ

試験期間：5年間（15作）

表 6 各資材の施用量

	無施肥区	硫安区	消化液区	牛ふん堆肥区	汚泥コンポスト区
施用量 (t/10a/年)	0	0	15	5.4	2.6
施用された炭素量 (kgC/10a/年)	0	0	130	870	580

5年間連用後の表層土壌の乾燥密度

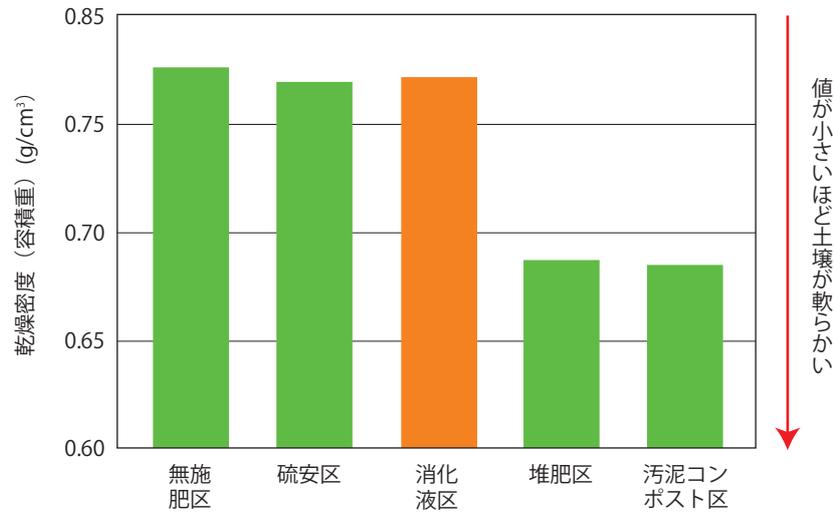


図 16 5年間連用後の表層土壌 (0-10cm) の乾燥密度 (容積重)

消化液を連用した場合、土壌の膨軟化効果などの土壌物理性改善効果は期待できない。

5年間連用後の土壌炭素蓄積量

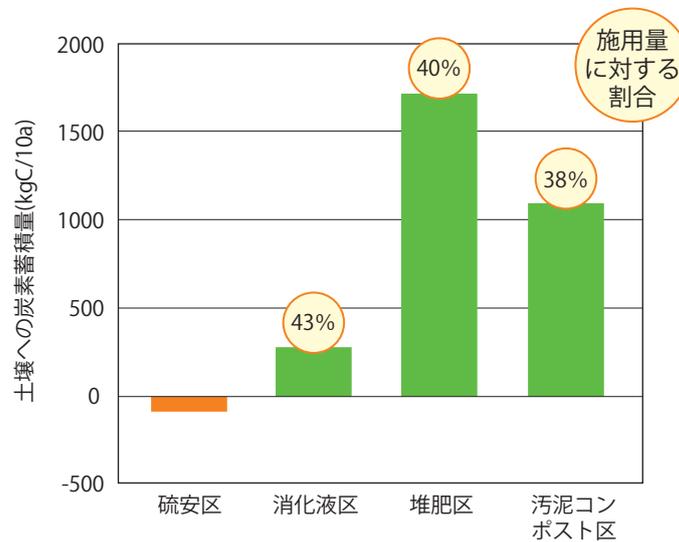


図 17 5年間連用後の表層土壌 (0-30cm) への炭素蓄積量

- 消化液は炭素の含有率が堆肥等と比べて小さいので土壌への蓄積量は少ないが、一定の炭素蓄積効果がある。
- 5年間連用後の消化液由来炭素の土壌への残存率は、堆肥等とほぼ同じ割合で、土壌での分解特性は堆肥等と大きな違いはない。

3. 液肥利用システムの温室効果ガス排出量の評価

一般的に消化液の排水処理を行う場合には、多大なコストとエネルギーを要するという指摘があります。しかし、液肥利用の場合でも、消化液の輸送・散布のためのエネルギー消費やそれに伴う温室効果ガス排出、消化液散布農地土壌からの温室効果ガスである亜酸化窒素発生があります。そのため、消化液の液肥利用プロセスについて、温室効果ガス排出の観点からの評価が必要です（図 18）。

山田バイオマスプラントでの運転実績をもとに、消化液の液肥利用に伴う温室効果ガス排出量を算定しました。温室効果ガス排出量は、輸送・散布車両の燃料消費量、プラントから圃場までの距離、輸送に用いた燃料（軽油）の温室効果ガス排出係数より求めました。また、消化液施用圃場からの亜酸化窒素発生量は、3 箇所の圃場での実測値の平均値としました（表 7）。



消化液貯留槽

山田バイオマスプラントの消化液利用実績
 消化液散布量：約 1500t/年
 散布圃場数：約 200 筆/年
 散布面積：約 50ha/年
 プラントから農地までの輸送距離の平均値：約 12km

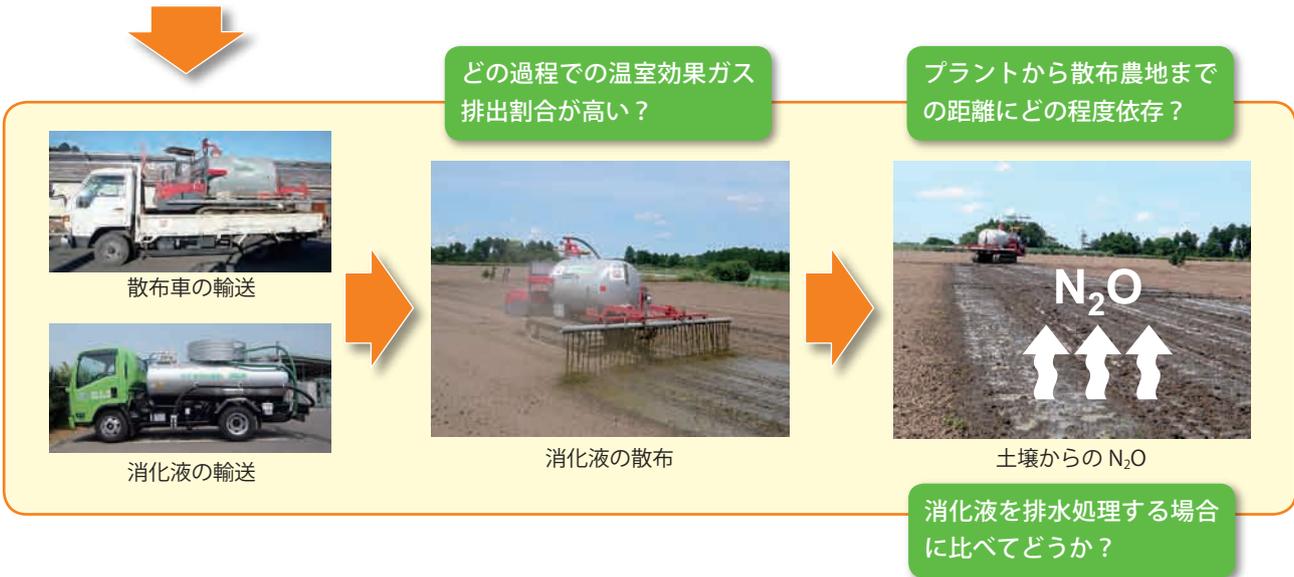


図 18 液肥利用システムの温室効果ガス排出量の評価

表 7 液肥利用システムの温室効果ガス排出量の算定方法

	算定方法
輸送車両からの排出	燃料消費量 (L/km), プラントから圃場までの距離, 輸送に用いた燃料 (軽油) の温室効果ガス排出係数から算定.
散布車両からの排出	燃料消費量 (L/10a), 散布圃場の面積, 輸送に用いた燃料 (軽油) の温室効果ガス排出係数から算定.
消化液施用圃場からの亜酸化窒素発生量	3 箇所の圃場での実測値の平均値.

液肥利用に伴う温室効果ガス排出量(山田バイオマスプラント2008)

液肥利用に伴う温室効果ガスの排出量の中では、輸送車両からの排出の割合が高いこと(図19)、温室効果ガス排出量はメタン発酵プラントから圃場までの平均輸送距離に大きく依存すること(図20)が明らかとなりました。そのため、排出量削減のためには、近傍圃場への散布量を増やし、圃場までの輸送距離を短縮することが有効であり、輸送距離を1km短縮するごとに、消化液1tあたり約0.42 kg-CO₂eq.削減できます。温室効果ガス排出量は、プラントから圃場までの距離に大きく依存するため、大幅な削減のためには、消化液散布圃場をプラント周辺に配置することが有効です。メタン発酵プラントが市町村の農業関係部局などと密に連携し、周辺の耕種農家に積極的に働きかけるなどの取組を行うことが重要であると考えられます。

一方、消化液の排水処理過程での排出量は、Muroyama et al.の報告を参考に、消化液1tあたり18.1 kg-CO₂eq.と算定されました。このことから、液肥利用に伴う温室効果ガス排出量は、排水処理に伴う温室効果ガス排出量より少ないことが示されました(図20)。

参考文献

Katsuhiko Muroyama, Yoshiteru Nakagawa, Jun'ichi Hayashi, Yuki Sakamoto, Takuya Hayashi, Takayuki Nakata(2006) : Life Cycle Inventory Assessment of a Livestock Waste Treatment Plant, 環境科学会誌, 19(6), 517-526.



図19 山田バイオマスプラントにおける液肥利用プロセスの温室効果ガス排出量

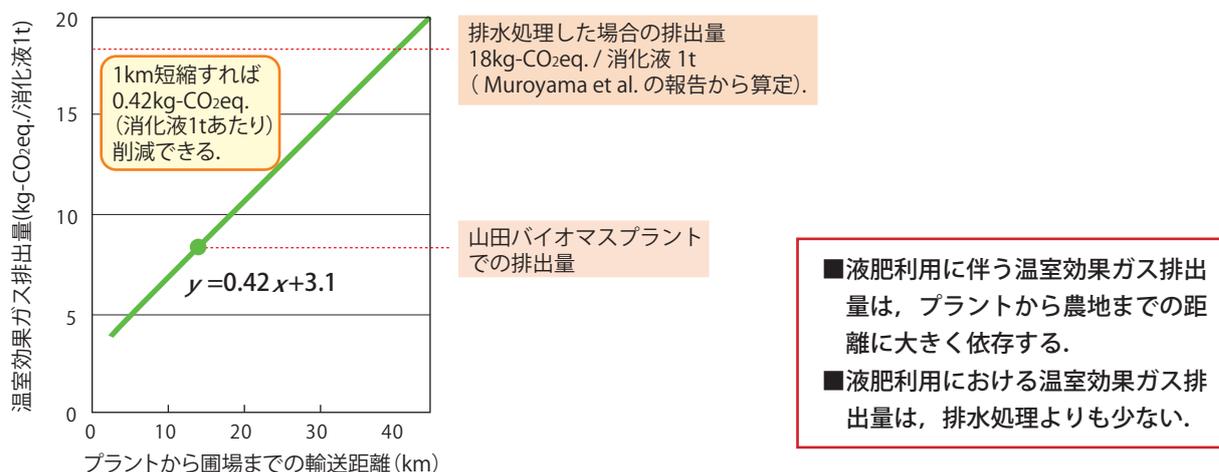


図20 圃場までの輸送距離と温室効果ガス排出量の関係

4. 農家圃場での栽培実証試験

山田バイオマスプラントで生成する消化液（年間約 1500t）のほぼ全量を共同研究を行っている農事組合法人和郷園の生産農家で使用しています（図 21）。消化液の輸送・散布は山田バイオマスプラントの運転者が行うため、農家は輸送・散布の負担はありません。消化液は、主に畑作物の基肥として利用しています。畑作物は種類が多様のため、施肥時期を分散でき、結果として、輸送・散布労力の分散につながっています（図 22）。

消化液の輸送・散布まではメタン発酵プラント側が行うので、農家の輸送・散布の負担はない。



図 21 畑地における消化液の液肥利用プロセス

消化液散布量：約 1500t/年
 散布圃場数：約 200筆/年
 散布面積：約 50ha/年
 栽培作物：オオバ・カボチャ・ギニアグラス・キュウリ・ゴボウ・コマツナ・サトイモ・サンチュ・シバ（芝生）・ジャガイモ・ショウガ・ソルガム・ダイコン・ニンジン・ハス・ブロッコリー・ホウレンソウ・ミツバ・ミニハクサイ・ムギ・ヤマトイモ・ラッカセイ・レタス・飼料稲・水稲・エダマメ

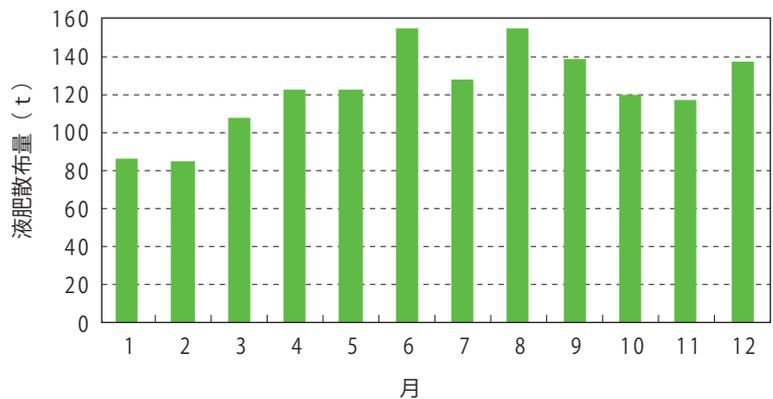


図 22 消化液の月別散布量（2007～2009年の平均値）

山田バイオマスプラントで使用している 輸送車両・散布車両

消化液の輸送／バキューム車（タンク容量 3.7m³）



液肥散布車の輸送／2tトラック



消化液の散布／液肥散布車（タンク容量 1.6m³）



輸送・散布作業におけるトラブル例

消化液中の固形分による詰まり

- (事象) 消化液に含まれる粗大な固形物により、液肥散布車の吐出部分で詰まる。
- (原因) バキューム車をメタン発酵の原料である乳牛ふん尿の輸送と消化液輸送の兼用で使っていたため、乳牛ふん尿由来の敷料が消化液に混入し、詰まりの原因となった。また、消化液貯留槽に沈殿している粗大固形物も詰まりを引き起こした。
- (対策) 1. バキューム車の兼用をやめ、消化液輸送専用のバキューム車を導入した。
2. 消化液の採取位置を「貯留槽の底」から「液面に近い位置」に変更し、底部に沈殿している固形物を吸い込まないようにした。
3. 消化液採取用ホースの先に装着したストレーナにより、粗大物な固形物の吸い込みを防止した。
- (結果) 吐出部分の詰まりはほぼ解消され、液肥散布作業が中断することがなく、予定通り行えるようになった。



液肥散布車の吐出部分



消化液採取用ホースの先に装着したストレーナ（穴の直径8mm）



消化液貯留槽

輸送・散布作業を円滑に行うために

消化液の輸送・散布作業は、バキューム車等を用いるなど見た目があまりよくありませんが、地域住民に不審を抱かれないための工夫を行うことにより、作業を円滑に進められました。

Biomass Project YB Yamada		肥料の名称: バイオ消化液肥	
原料の種類: たい肥			
届出申請した届出番号: 千葉県第1919号			
原料: 牛ふん尿、野菜汁			
山梨成分の含有率: 窒素全量 0.5% 炭素 9.6% 酸全量 0.5% 炭素 加算全量 0.5% 炭素 炭素電率比 8.5			
要素: リン、カリウムの分析値 (平成18年7月6日サンプル)			
T-N: 3420 mg/L	NH ₄ -N: 1330 mg/L	T-P: 555 mg/L	T-K: 3220 mg/L
4000Lあたりの成分 (目安として10aあたり約4000L散布)			
T-N: 13.68 kg	NH ₄ -N: 5.32 kg	T-P: 2.22 kg	T-K: 12.88 kg
農事組合法人 和歌山 (表示者): 〒545-0001 和歌山県和歌山市			
山田バイオマスプラント (生産・保管): 〒545-0001 和歌山県和歌山市			
〒連絡先 TEL&FAX: 0734-22-0001 E-mail: BiomassProject@yama.or.jp			

消化液の情報を記した名刺サイズのカード

農家や散布圃場周辺の住民への説明用に使用しています。このカードを使用することにより、現場での各種液肥の説明をすばやく行うことが可能となり、周辺住民の方の理解を得やすくなります。また、このカードは新しい利用先の開拓にも利用できます。



消化液輸送車両用ステッカー

消化液の輸送・散布作業は、バキューム車を用いるため、廃棄物の投棄と勘違いされる可能性があります。そのため、輸送車両に「バイオ消化液肥」と書いた大きなステッカーを貼り、遠くからでも廃棄物ではなく液肥を散布していることがはっきりわかるようにしました。



明るい色のバキューム車

バキューム車を明るい色にしたら、イメージがさらに改善されました。

消化液の散布に伴う臭気

消化液の散布作業で発生する臭気の強さを調査するため、消化液散布 30 分後の圃場における臭気の測定を実施しました（図 23）。消化液を散布した圃場の風下側の境界上で（地上から 1m の高さ）、消化液散布約 30 分後に空気を採取し、悪臭物質の濃度を分析しました。

消化液散布時にはアンモニア臭を感じましたが、測定を行った散布 30 分後にはかすかにアンモニア臭を感じる程度でした（地表付近ではアンモニア臭を感じた）。消化液散布約 30 分後のすべての悪臭物質濃度は検出限界以下という結果となりました（表 8）。測定した時期が冬で低温であったことなど臭気が強くなりにくい条件での測定結果であります。消化液の散布に伴う臭気はそれほど強いものではないといえます。

注）消化液の臭気の質・強さは原料により異なります。

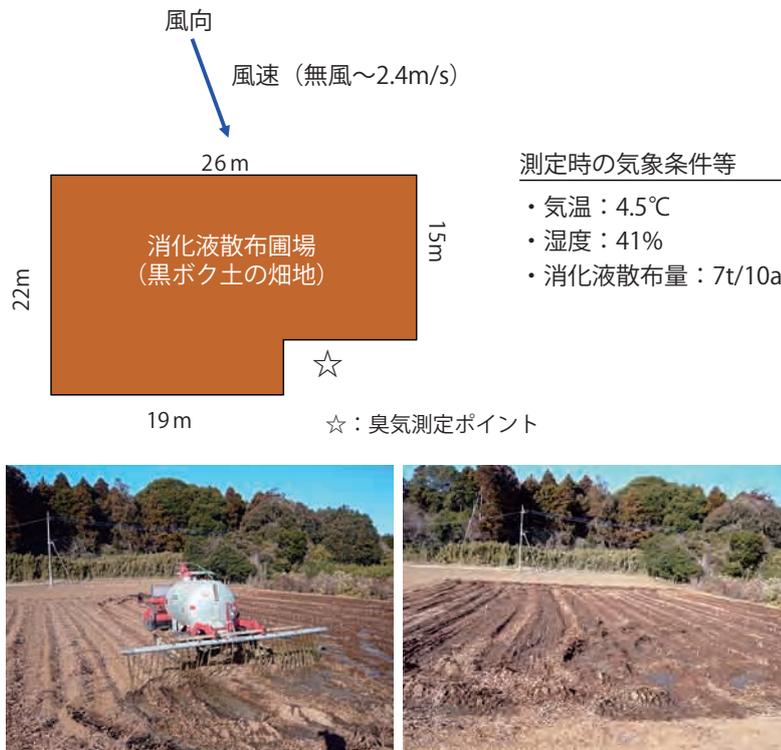


表 8 消化液散布 30 分後の悪臭物質濃度

アンモニア	< 0.1
トリメチルアミン	< 0.005
硫化水素	< 0.002
硫化メチル	< 0.002
二硫化メチル	< 0.002
メチルメルカプタン	< 0.002
ノルマル酪酸	< 0.0009
ノルマル吉草酸	< 0.0009
イソ吉草酸	< 0.0009
プロピオン酸	< 0.0009

（単位：ppm）



図 23 消化液散布圃場

消化液を使った農家の感想

消化液を肥料として 5 年間使い続けた農家の感想として、以下のような声がありました。消化液は実際の農業生産活動の中で十分使えることを実証できました。

消化液を 5 年間使った農家の感想

「消化液を肥料として、ほうれん草、小松菜、枝豆、ブロッコリーなどの栽培をしています。事前に土壌分析をして、この液肥と鶏糞、微量元素肥料などを組み合わせて、施肥をしています。液肥の肥料成分を考慮し施肥量を決めれば、通常の肥料と同様に活用できると感じています。」

消化液で栽培した作物



まとめ

1. 消化液の肥料効果と環境への影響

- ・消化液を施用後速やかに土壌と混和すれば、消化液に含まれる窒素の約 65% は速効性成分として利用できる。
- ・消化液施用後速やかに耕起することが、アンモニア揮散を抑制し、窒素成分の有効利用につながる。速やかな耕起ができない場合には、窒素成分の損失を考慮した施肥設計が必要である。
- ・消化液で化学肥料を代替しても地下水質への影響は小さい。

2. 消化液を連用した時の土壌への影響

- ・消化液は炭素の含有率が堆肥等と比べて小さいので土壌への蓄積量は少ないが、一定の炭素蓄積効果がある。

3. 液肥利用システムの温室効果ガス排出量の評価

- ・液肥利用システムの温室効果ガス排出量を考えると、消化液輸送過程での排出量が多い。
- ・液肥利用システムは、排水処理システムより温室効果ガス排出量が少ない。

4. 農家圃場での栽培実証試験

- ・消化液の効率的な輸送散布が可能で、畑地に均一に散布できることを実証できた。
- ・消化液を使った農家から、消化液は実際の生産活動の中で、肥料として使える資材であるという感想が得られた。

参考文献

山田バイオマスプラントに関すること

中村真人, 柚山義人, 山岡賢, 折立文字, 藤川智紀, 清水夏樹, 阿部邦夫, 相原秀基 (2010): メタン発酵プラントのトラブル記録と長期運転データの解析—山田バイオマスプラントを事例として—, 農村工学研究所技報, 210, 11-36.

消化液の肥料効果と環境への影響, 消化液を連用した時の土壌への影響に関すること

藤川智紀, 中村真人, 柚山義人, 前田守弘, 太田健 (2006): チャンバ付モノリスライシメータによる施肥窒素の動態観測, 農業土木学会誌, 74 (11), 11-14.

藤川智紀, 中村真人, 柚山義人 (2008): メタン発酵消化液の施用による土壌から大気への温室効果ガス発生量の変化, 農業農村工学会論文集, 254, 85-95.

中村真人, 藤川智紀, 柚山義人, 前田守弘, 山岡賢 (2009): メタン発酵消化液の施用が畑地土壌からの温室効果ガス発生と窒素溶脱に及ぼす影響, 農業農村工学会論文集, 77 (6), 17-26.

藤川智紀, 中村真人 (2010): 乳牛ふん由来のメタン発酵消化液の施用方法がコマツナの収量と亜酸化窒素発生量に与える影響, 日本土壌肥科学雑誌, 81 (3), 240-247.

中村真人 (2011): メタン発酵消化液の液肥利用の環境影響評価, 農研機構発—農業新技術シリーズ第3巻 農業・農村環境の保全と持続的農業を支える新技術 独立行政法人 農業食品産業技術総合研究機構編, 農林統計出版, 184-187.

中村真人, 藤川智紀, 柚山義人, 山岡賢, 清水夏樹, 折立文字 (2011): メタン発酵消化液の長期連用が畑地土壌の窒素収支と土壌炭素蓄積に及ぼす影響, 平成 23 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 646-647.

中村真人, 藤川智紀, 柚山義人, 山岡賢, 折立文字 (2012): メタン発酵消化液の施用方法がアンモニア揮散および亜酸化窒素の発生に及ぼす影響, 日本土壌肥科学雑誌, 83 (2), 139-146.

液肥利用システムの温室効果ガス排出量の評価に関すること

中村真人, 柚山義人, 山岡賢, 藤川智紀, 清水夏樹 (2008): 消化液を液肥利用するメタン発酵システムによる温室効果ガス削減効果, 農業農村工学会学会誌, 76 (11), 3-16.

中村真人, 柚山義人, 山岡賢, 清水夏樹 (2012): メタン発酵消化液の液肥利用過程におけるエネルギー消費量および温室効果ガス排出量, バイオマス科学会議論文集, 7, 212-213.

謝 辞

農林水産省農林水産技術会議事務局の委託プロジェクト研究「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発（バイオマス利活用モデルの構築・実証・評価）（Cm3200）」の成果です。

問い合わせ先

（独）農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所 資源循環工学研究領域

資源循環システム担当（担当：中村真人）

〒305-8609 茨城県つくば市観音台2丁目1-6

TEL: 029-838-7508

