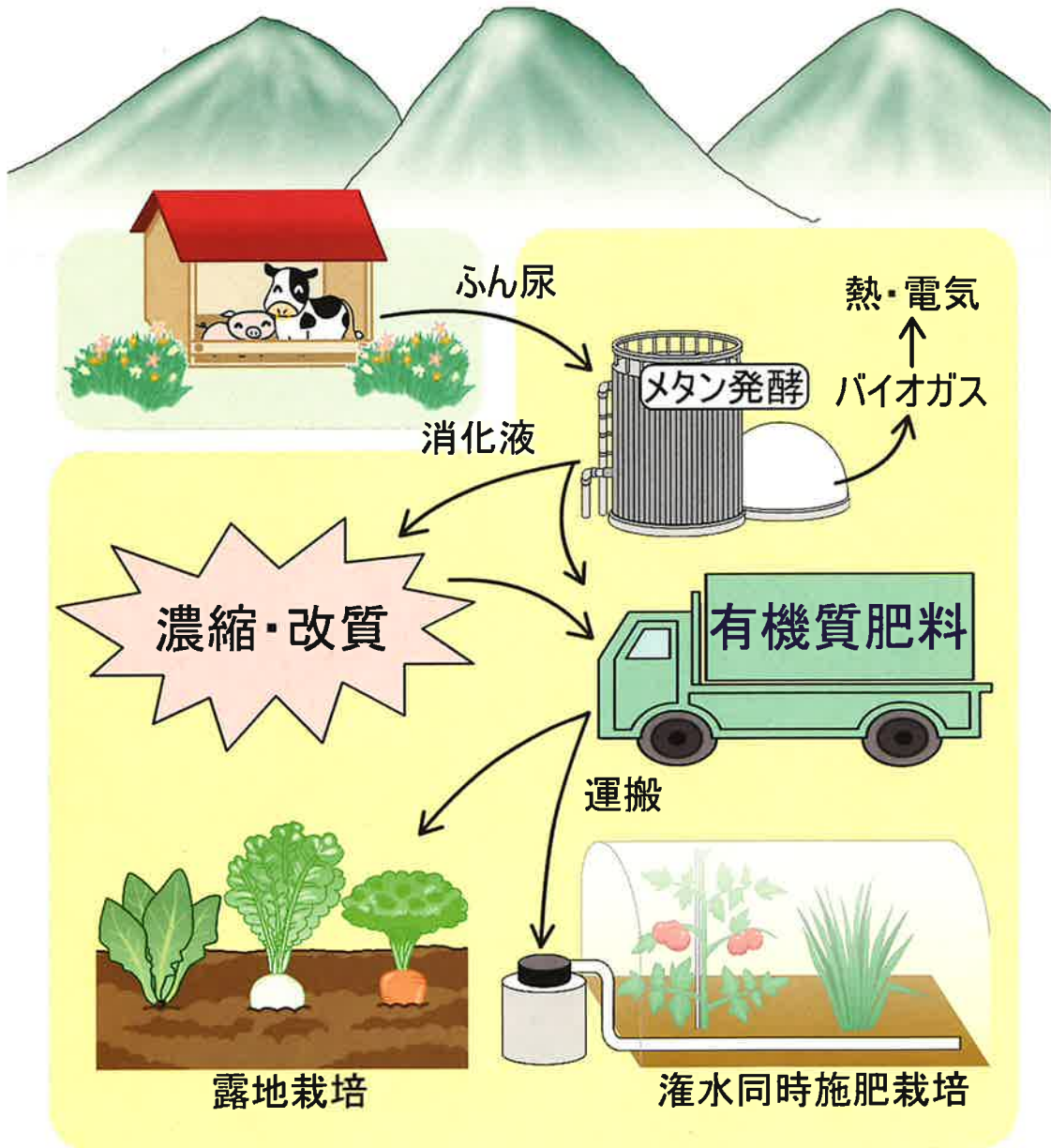


メタン発酵消化液の濃縮・改質による 野菜栽培利用マニュアル



平成 25 年 2 月

まえがき

平成11年11月に「家畜排せつ物の管理の適正化および利用の促進に関する法律」が施行されて以降、家畜排せつ物の適正な管理を行うための処理施設の整備が進められてきました。平成19年3月には「家畜排せつ物利用の促進を図るための基本方針」が策定され、この中に家畜排せつ物のエネルギーとしての利用の推進が掲げられました。さらに、平成24年9月に「バイオマス事業化戦略」の重点的に活用する実用化技術の1つとしてメタン発酵が位置づけられました。

エネルギー利用の1つであるメタン発酵は、家畜ふん尿からメタンガスを生産できる優れた技術ですが、この後に残る残渣（消化液）の処理が問題となっています。消化液は、即効性の窒素・加里を含む良質な消化液として牧草地へ散布利用できます。北海道を除く都府県では、散布のための十分な草地面積を確保するのが困難な現状です。また、大部分を水分が占めているための運搬性の悪さや、粘度があるための取り扱い性の悪さなども、消化液の利用の妨げになっています。メタン発酵を普及するためには、草地以外での散布利用技術を確立し、消化液の消費を促進する必要があります。そこで、これまで（独）農業・食品産業技術総合研究機構が得てきた知見（第1章）をふまえて、消化液の濃縮や改質の技術およびこの技術によって調製した有機質資材を野菜栽培に利用する技術を検討し、ここにマニュアルとしました。

本マニュアルが、家畜ふん尿処理に活用され、畜産経営の安定の一助となれば幸甚であります。

平成25年2月

財団法人 畜産環境整備機構
理事長 堤 英隆

【注記】

- 本マニュアルでは、カリウムについて、イオン態 (K^+) を意味するときは「カリウム」、肥料成分 (K_2O) を意味するときは「加里」と表記しました。
- 参考文献は巻末に示しました。

目 次

第1章 消化液の野菜栽培利用

1. 利用可能な消化液の条件.....2
2. 畑作における消化液の液肥利用.....5
3. 消化液の成分や性状.....6
4. 利用に当たっての注意点.....8
5. 農家圃場での栽培実証試験.....20
6. まとめ.....25

第2章 濃縮・改質による利用性の向上

1. 消化液の野菜栽培利用における問題点.....26
2. 濃縮・改質の技術.....28
3. 濃縮・改質試験の内容.....30
4. 試験に使用した消化液.....34
5. スクリーンによる分離.....35
6. MF膜による分離.....36
7. 乾燥による濃縮.....40
8. 膜分離液の硝酸化による改質.....43
9. 濃縮・改質による調製物の成分と性状.....45
10. 濃縮・改質の物質収支.....45
11. 栽培試験に使用した資材の成分.....49
12. 濃縮・改質にかかるコスト.....50
13. 濃縮・改質に当たっての注意点.....51

第3章 濃縮による露地栽培利用

1. 栽培試験の概要.....53
2. ニンジン栽培の結果.....55
3. バレイショ栽培の結果.....58
4. ホウレンソウ栽培の結果.....61
5. コカブ栽培の結果.....63
6. 栽培結果のまとめ.....65
7. 利用に当たっての注意点.....66

第4章 改質による灌水同時施肥栽培利用

1. トマトの栽培試験.....68
2. 葉ネギの栽培試験.....76
3. 利用に当たっての注意点（散布方法）.....82

参考文献

第1章 消化液の野菜栽培利用

1. 利用可能な消化液の条件

メタン発酵処理後の残渣（消化液）を野菜栽培に施用するためには、以下の条件を備えている必要があります。

(1) 農作物や人に害のある微生物が含まれていない

病原性微生物は、メタン発酵のみでは死滅しないため、熱による殺菌が必要です。ここでは、メタン発酵の流れ（図1）に従って、デンマークで用いられているバイオガスプラントの衛生消毒規定を示します（表1）。メタン発酵



（有機質資材を用いた栽培をしているピーマン）

には、加温する温度の違いによって、35℃前後の中温発酵と55℃前後の高温発酵があり、発酵温度の違いによって、その後の消毒の程度が違います。理学的滞留時間とは、メタン発酵槽の容積を1日あたりの原料投入量で割った値です。最低保証滞留時間とは、消化液が消毒槽に確実に滞留している時間です。これらの値によっても、その後の消毒の程度が違います。

野菜栽培では、ウイルス病の問題もあります。ニンニクのモザイク病の原因となるモザイクウイルスは不活化するために80～85℃もの温度を要します（文献1）。このような、通常の消毒条件では対応できない病原ウイルスを持ち込む可能性のある野菜クズなどを原料にした消化液は、野菜栽培に利用しない方が無難です。もし、このような消化液を利用する場合は、原料とする野菜クズをウイルス病に冒されていない農地に限定するなどの工夫が必要です。

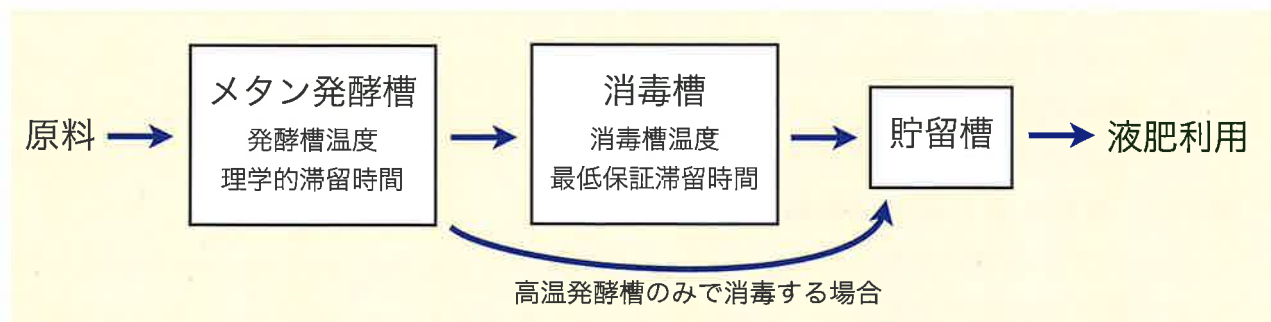


図1 メタン発酵の流れ

表1 デンマークでの衛生消毒規定

○消毒槽のみで消毒する場合

| 消毒槽温度 | 最低保証滞留時間 |
|-------|----------|
| 70℃ | 1時間 |

○高温発酵槽のみで消毒する場合

| 発酵槽温度 | 最低保証滞留時間 |
|-------|----------|
| 52℃ | 10時間 |
| 53.5℃ | 8時間 |
| 55℃ | 6時間 |

○高温発酵槽＋消毒槽で消毒する場合

| 発酵槽温度 | 理学的滞留時間 | 消毒槽温度 | 最低保証滞留時間 |
|-------|---------|-------|----------|
| 52℃以上 | 7日以上 | 55℃ | 5.5時間 |
| | | 60℃ | 2.5時間 |
| | | 65℃ | 1時間 |

○中温発酵槽＋消毒槽で消毒する場合

| 発酵槽温度 | 理学的滞留時間 | 消毒槽温度 | 最低保証滞留時間 |
|--------|---------|-------|----------|
| 20～52℃ | 14日以上 | 55℃ | 7.5時間 |
| | | 60℃ | 3.5時間 |
| | | 65℃ | 1.5時間 |

(2) 雑草の種子が含まれていない

雑草種子の多くは、60℃で3時間の熱処理で発芽しなくなりますが（文献2）、アレチウリの種子は55℃のメタン発酵でも死滅させることは難しいです（文献3）。メタン発酵の前段もしくは後段に、スクリーンプレス等を用いて目開き1mm以下のスクリーンを通して、雑草種子を取り除くようにします。

(3) 農作物や環境に悪影響のある物質が含まれていない

メタン発酵の原料に、除草剤や重金属等が入らないようにします。もし、様々な原料を受け入れている場合は、消化液に問題が起きたときに原因を明らかにするために、それぞれの原料の一部を日々採取して保管しておくべきです。

(4) 肥料成分の濃度が分かっている

最低限、窒素と加里の濃度は必要です。窒素については、アンモニア態窒素の濃度が重要ですが、全窒素の半分をアンモニア態窒素として、消化液の施用量を概算することもできます。より詳細な施肥設計方法は、次ページ以降に示します。

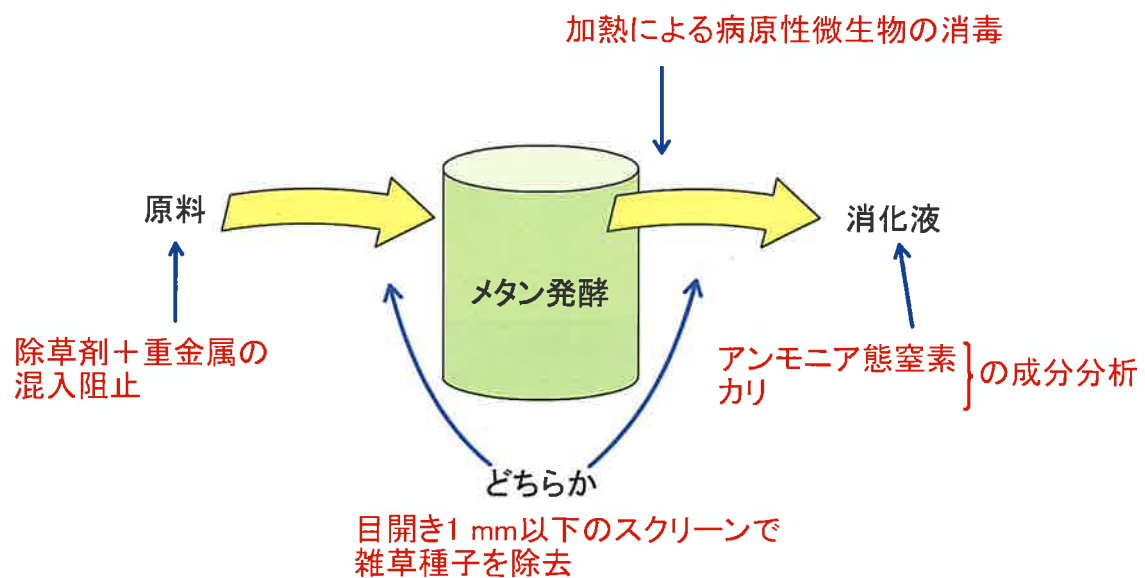


図2 農地に使える消化液の条件

2. 畑作における消化液の液肥利用

畑地における消化液の液肥利用では、一般的にスラリースプレッダ、スラリーインジェクタ等の液肥散布車を用いて散布します。畑地を中心に消化液を利用している山田バイオマスプラント（農林水産省の委託プロジェクト研究「バイオリサイクル」において千葉県香取市に試作・設置されたメタン発酵施設）（文献4）では、図3のようなプロセスで消化液の輸送・散布を行っています。消化液は一時的に消化液貯留槽で貯留し、バキューム車（タンク容量3.7m³）で農地に運び、液肥散布車で散布しています。また、クローラタイプの液肥散布車（タンク容量1.6m³）は走行スピードが遅く、公道を自走できないため、2tトラックを用いて運搬しています。他のメタン発酵施設では、運搬専用の回送車を用いているところもあります。液肥利用を行っているメタン発酵施設では、消化液の輸送・散布作業も担っている事例が多いので、耕種農家は肥料散布労力を節減できています。輸送・散布料金も安価に設定されている場合が多いですので、肥料代の節約につながります。



図3 畑作におけるメタン発酵消化液の液肥利用プロセス（山田バイオマスプラントの例）

3. 消化液の成分や性状

様々な原料のメタン発酵消化液の成分を表2に示します。消化液の肥料成分の特徴として、窒素の約半分が速効性の肥料成分であるアンモニア態窒素であることがあげられます。このため消化液は、硫酸などの速効性の化学肥料と同等の利用ができます。堆肥は、同じ家畜排せつ物等を原料にしても、アンモニア態窒素の割合が低く、窒素肥料の効きが遅いことから、使用方法が違います。

また、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。例えば、原料が乳牛ふん尿の消化液の場合、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ります。3要素のいずれかが相対的に高濃度の場合には、過剰施用を防ぐために、その成分量が施用量を決定するための制限要因となります。

原料は、消化液の肥料成分濃度にも影響します。原料が含水率の高い野菜残渣の場合（表2の施設E、施設F）や畜舎の洗浄水などを一緒にメタン発酵槽に投入している場合（施設C）には、消化液の肥料成分濃度が低くなります。液肥利用を前提とするならば、水分の高い原料を避けることや洗浄水の混入を避けることが望ましいです。洗浄水が少ない家畜排せつ物（施設A、施設B）や窒素成分の高い生ごみ（施設D）が主原料だと、全窒素が3,000mg/ℓ程度と比較的高濃度の消化液が得られ、液肥利用に有利です。

生ごみを原料とする堆肥では、塩分や油分の含有率が問題視される場合があります。作物の生育に影響を及ぼさない塩分（NaCl）施用量の上限値は、1m²あたり約50gであるとされています（文献5）。この上限値を適用すると、ナトリウム濃度が消化液施用量3t/10aで6,600mg/ℓ、5t/10aで3,900mg/ℓとなり、これ以下であれば、作物に影響を及ぼさないと考えられます。表2に示したナトリウム濃度は、塩分濃度の高さが懸念される生ごみを原料とした消化液でも、この上限値を大きく下回っており、液肥利用に支障がないといえます。油分（粗脂肪）についても、いずれも低濃度であり、液肥利用に支障がないレベルです。

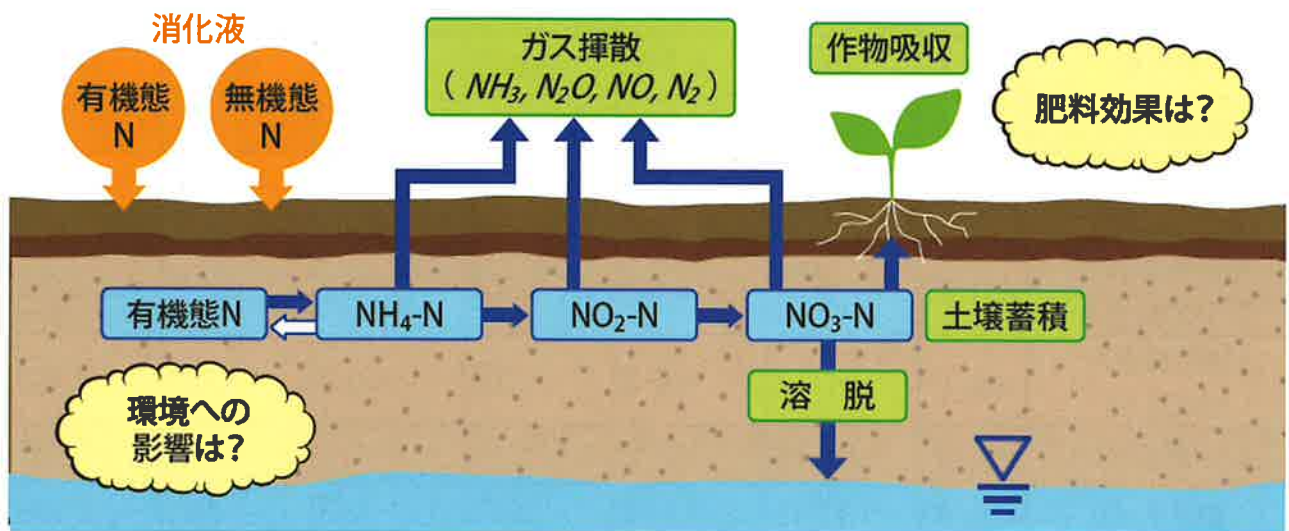
表2 様々な原料のメタン発酵消化液の成分
(本文で触れている数字を赤字で示した)

| | 単位 | 施設A | 施設B | 施設C | 施設D | 施設E | 施設F |
|-------------------------------------|------|-----------|-----------|---------------------|--------|--------------------|----------------------|
| 主な原料 | | 乳牛 ふん尿 | 乳牛 ふん尿 | 豚ふん尿 (洗浄水 含む) | 生ごみ | 食品加工 残渣・ 生ごみ | 野菜加工 残渣・乳 牛ふん尿 |
| 水分 | % | 93.9 | 95.9 | 98.3 | 98.2 | 97.4 | 97.5 |
| pH | | 8.03 | 7.66 | 7.79 | 8.04 | 8.08 | 7.48 |
| EC | S/m | 1.97 | 1.96 | 0.82 | 2.05 | 1.49 | 1.43 |
| C/N比 | | 5.2 | 2.9 | 2.8 | 1.8 | 2.4 | 4.5 |
| 全炭素 | mg/ℓ | 17,000 | 9,790 | 3,620 | 4,930 | 3,900 | 8,180 |
| 全窒素(N) | mg/ℓ | 3,270 | 3,390 | 1,290 | 2,710 | 1,640 | 1,820 |
| アンモニア態窒素 (NH ₄ -N) | mg/ℓ | 1,480 | 1,740 | 731 | 1,550 | 961 | 798 |
| 亜硝酸態窒素 (NO ₂ -N) | mg/ℓ | <0.3 | <0.3 | <0.3 | <0.3 | <0.3 | <0.3 |
| 硝酸態窒素 (NO ₃ -N) | mg/ℓ | <0.3 | <0.3 | <0.3 | <0.3 | <0.3 | <0.3 |
| リン酸(P ₂ O ₅) | mg/ℓ | 2,175 | 1,228 | 612 | 733 | 545 | 926 |
| 加里(K ₂ O) | mg/ℓ | 3,542 | 3,867 | 590 | 1,433 | 2,289 | 3,096 |
| 苦土(MgO) | mg/ℓ | - | 1,096 | - | 13 | 71 | - |
| 石灰(CaO) | mg/ℓ | - | 2,239 | - | 57 | 34 | - |
| ナトリウム | mg/ℓ | - | 850 | - | 1,480 | 1,120 | - |
| 塩化物イオン | mg/ℓ | 1,100 | 1,390 | 307 | 1,520 | 1,030 | 786 |
| 粗脂肪(油分) | mg/ℓ | - | - | - | 17.8 | 26.2 | 24.6 |
| SS | mg/ℓ | 33,900 | 26,700 | 9,630 | 10,500 | 15,900 | 14,900 |
| VSS | mg/ℓ | 22,300 | 17,900 | 7,510 | 6,340 | 10,600 | 11,000 |
| TS | mg/ℓ | 61,200 | 41,300 | 17,200 | 17,800 | 26,200 | 24,600 |
| VS | mg/ℓ | 40,500 | 24,200 | 11,600 | 8,730 | 14,800 | 14,300 |
| COD _{Mn} | mg/ℓ | 17,800 | 14,100 | 3,290 | 4,200 | 8,010 | 7,880 |
| COD _{Cr} | mg/ℓ | - | - | - | 12,900 | 18,000 | - |
| BOD | mg/ℓ | 2,710 | 2,320 | 1,150 | 1,890 | 2,430 | 1,640 |
| TOC | mg/ℓ | 6,250 | 6,220 | 738 | 406 | 1,860 | 3,840 |

4. 利用に当たっての注意点

(1) 畑地土壌における窒素の動き

畑地に施用された、消化液由来窒素の動きを図4に示します。施用された窒素のすべてが作物へ吸収されるわけではありません。肥料として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）、気体となって大気に放出されたり（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。



NH₄-N：アンモニア態窒素、NO₂-N：亜硝酸態窒素、NO₃-N：硝酸態窒素

図4 畑地に施用された窒素の動き

これらの割合は、土壌の種類、温度、降水量等の環境条件、肥料の施用方法やその後の土壌管理、作物の窒素吸収特性による影響を受けますが、施用された窒素の形態によっても大きく異なります。堆肥や消化液等の有機質資材はそれぞれ窒素の組成が異なるため、特徴を把握した上で、作物の収量を維持しつつ、環境負荷を最小化する利用方法を採用することが重要です。

消化液の場合、含まれる窒素の約半分がアンモニア態窒素、残りが有機態窒素です。消化液中のアンモニア態窒素は、圃場施用後、その一部がアンモニアとして大気へ揮散します。消化液のようなアンモニア態窒素を含む液体を土壌に施用する場合にはアンモニア揮散が起こりやすいといわれています。アンモニア揮散のしやすさは、液体のアンモニア態窒素濃度、液体のpH、温度、風速等多くの因子の影響を受け、消化液のように、アンモニア態窒素を多く含み、pHがやや高い液体は、アンモニアとして揮散しやすいといわれています。アンモニアが多量に揮散すると、悪臭の原因となるとともに、肥料成分である窒素分のロスにつながります。

一方、有機態窒素の中には農地に施用後速やかに無機化する易分解性のものと、長期的に分解しない難分解性のものがあります。有機態窒素のうち、無機化する成分は作物が利用しやすい速効性成分であり、施肥設計をする上で考慮すべき要素です。消化液の場合、含有するアンモニア態窒素と短期間に無機化する有機態窒素の量が、短期間に効く窒素肥料成分量の目安となります。畑地では、アンモニア態窒素や有機態窒素の無機化した窒素は、最終的に、畑地において作物が主に吸収利用する形態である硝酸態窒素になります。

畑地において、作物要求量以上に窒素を過剰に施用した場合、地下水の硝酸態窒素汚染を引き起こします。土壌中の粘土鉱物や腐植物質はマイナスの電荷をもっているため、同じマイナスの電荷を持つ硝酸態窒素は土壌にほとんど吸着されません。そのため、作物に吸収されなかった硝酸態窒素は浸透水に溶けて溶脱し、地下水の硝酸態窒素汚染につながります。

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きの特徴を把握することが重要です。そこで、日本の代表的な畑地土壌である黒ボク土を対象として、表3に示す項目について検討しました。

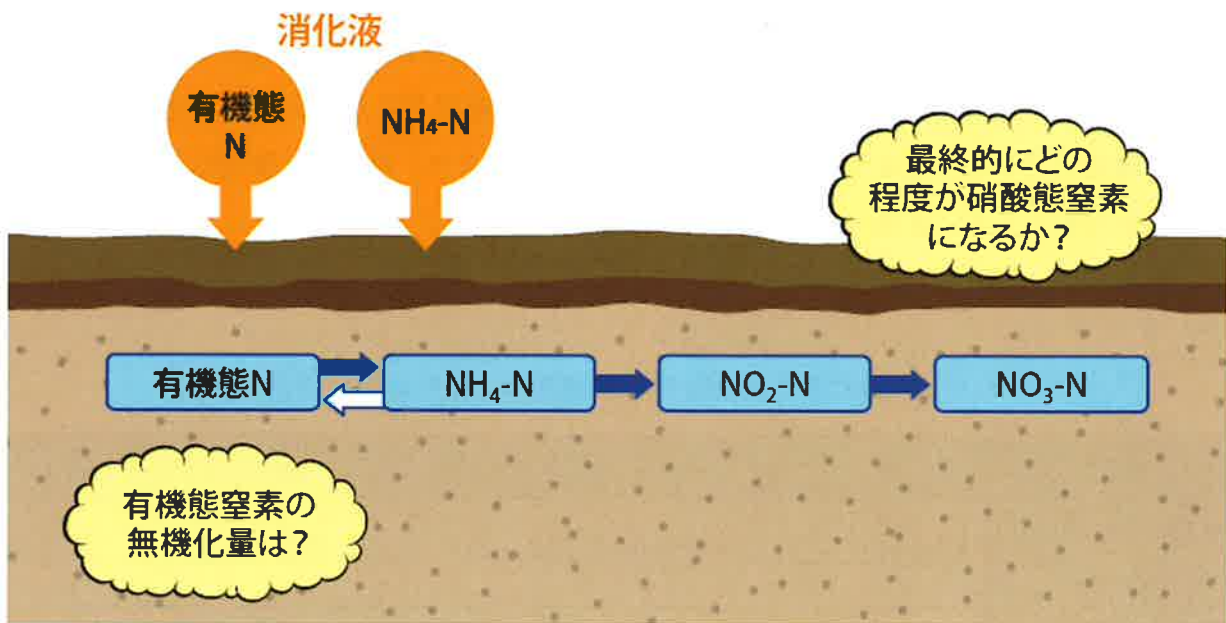
表3 消化液の肥料効果や環境負荷に関する検討項目

| 検討項目 | 評価のポイント |
|-------------|---|
| 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 | 消化液に含まれる有機態窒素のうち、施用後に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。 |
| 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、地下水質に及ぼす影響はどの程度か。 |
| 連用による土壌への影響 | 消化液の連用により、消化液に含有する炭素や窒素はどの程度蓄積するか。土壌の物理性は変化するか。 |

(2) 消化液に含まれる有機態窒素の無機化量

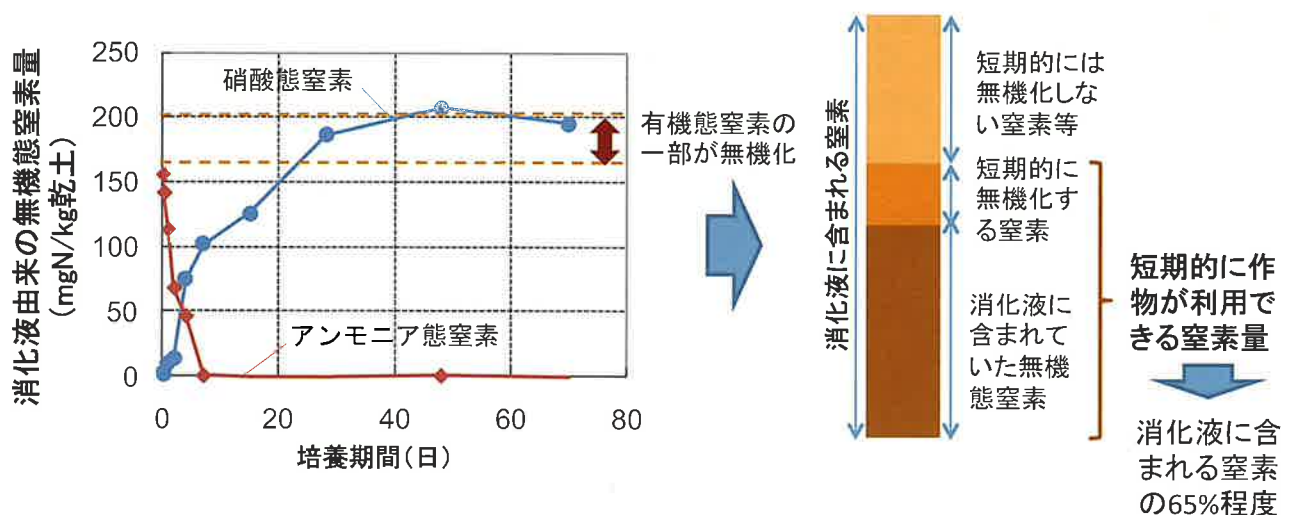
消化液に含まれる窒素の約半分が有機態窒素です。有機態窒素の無機化やアンモニア態窒素の硝化の特性を調べ、消化液に含まれる窒素の何%程度が硝酸態窒素（畑地において作物が主に吸収利用する形態）になるのか（図5）を把握するため、畑地条件（黒ボク土）での培養試験（30℃）を行いました（アンモニア揮散を抑制するため、施用後土壌と混和した条件）。

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ことがわかりました。有機態窒素のうち、無機化したのは約20%程度であると考えられます（図6）。



NH₄-N：アンモニア態窒素、NO₂-N：亜硝酸態窒素、NO₃-N：硝酸態窒素

図5 消化液由来窒素の畑地土壌での無機化・硝化



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。

図6 消化液に含まれる有機態窒素の無機化量

(3) 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(図7)。

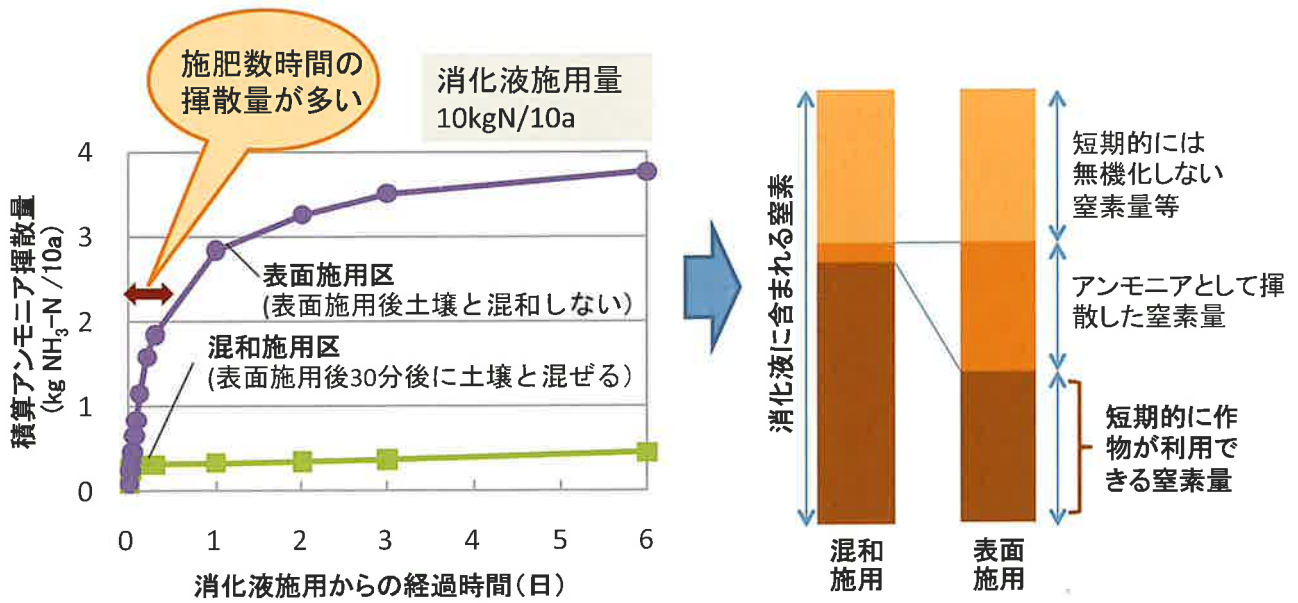


図7 消化液を施用した圃場からのアンモニア揮散

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

を表面施用後30分後に土壌と混ぜる)した場合のアンモニア揮散量を室内試験で調べました。

この結果、表面施用では、施用後3時間以内におけるアンモニア揮散量が多く、施用後1日間で施用した窒素の最大30%程度がアンモニアとして揮散しました。一方、混和施用では、土壌と混和後の揮散量がほぼ0でした。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(耕起する)することが望ましいといえます(図8)。



- 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。

図8 消化液を施用した土壌におけるアンモニア揮散量

施用直後のアンモニア揮散を抑制する方法としては、施用後すぐに土壌と混和する方法の他に、溝切り散布法（文献6、文献7）、スラリーインジェクタによる土中施用（文献8）、酸（硫酸、リン酸等）を添加してpHを下げ、揮散を抑制する方法（文献9、文献10）などがあります（施用直後のアンモニア揮散の傾向は、スラリー、液状きゅう肥、豚尿等の液体有機肥料の施用直後にも同様に起こり、それらを施用する場合と同様に考えることができます）。

一方、消化液施用直後の混和や酸添加を行わない場合には、揮散による窒素の損失が多いことを考慮した施肥設計が必要です。ただし、アンモニア揮散量は、液相のpH、温度、風速等多くの因子の影響を受けるため、揮散量の予測が難しいです。環境条件によりアンモニア揮散量が変動するため、肥料効果も一定しないことが予想されますので、作物の生育状況から肥料の効き具合を判断して、追肥で過不足を補う対応が求められます。

上述したように、消化液施用後のアンモニア揮散の傾向は、スラリー施用後と類似しています。スラリーの利用が行われている地域で、施用指針が策定されているような場合には、それを参考にできます。

(4) 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壌に浸透せず、土壌表面を流れ、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壌に浸透し、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壌に浸透せず、土壌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9）。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回の施用量の限界であると考えられます。

消化液表面施用15分後

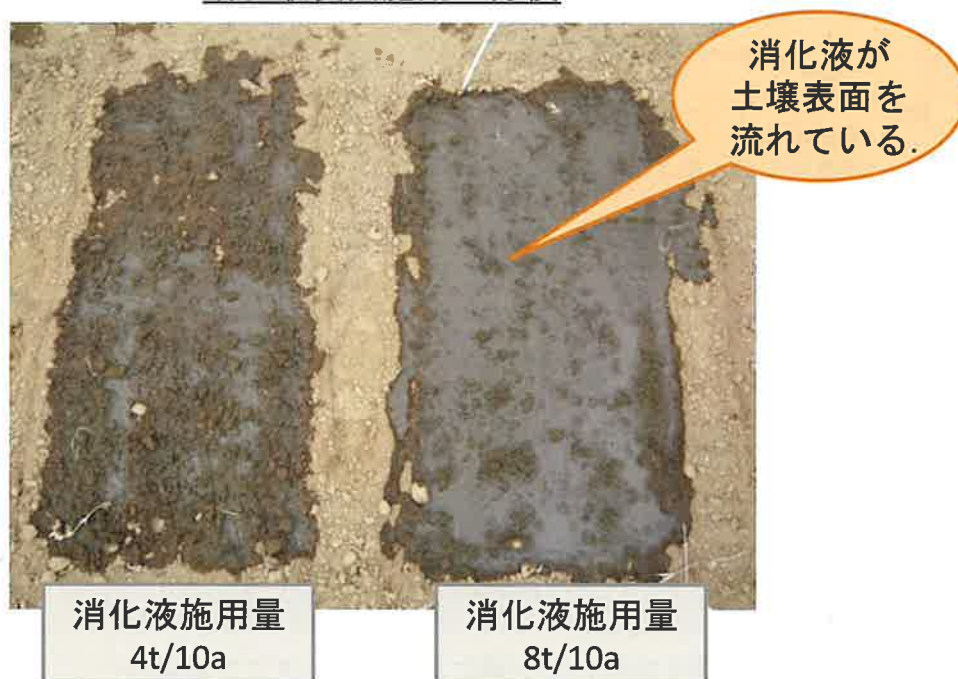


図9 消化液施用後15分後の土壌表面の様子

(5) 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の場合と比較するため、ライシメータ（図10）を用いて調査を行いました。ライシメータとは、土壌を浸透した水を土壌の下から採取できる実験施設です。表4に示すように、消化液

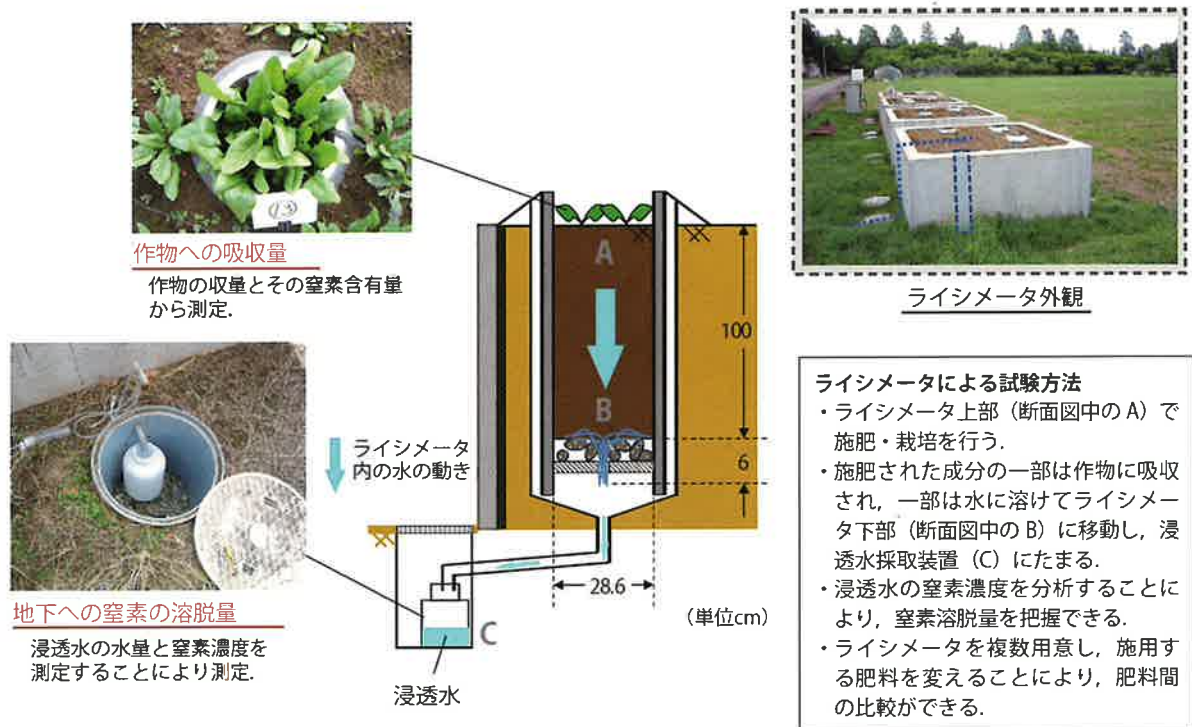


図10 ライシメータ断面図（右上の写真の青破線部分の断面）

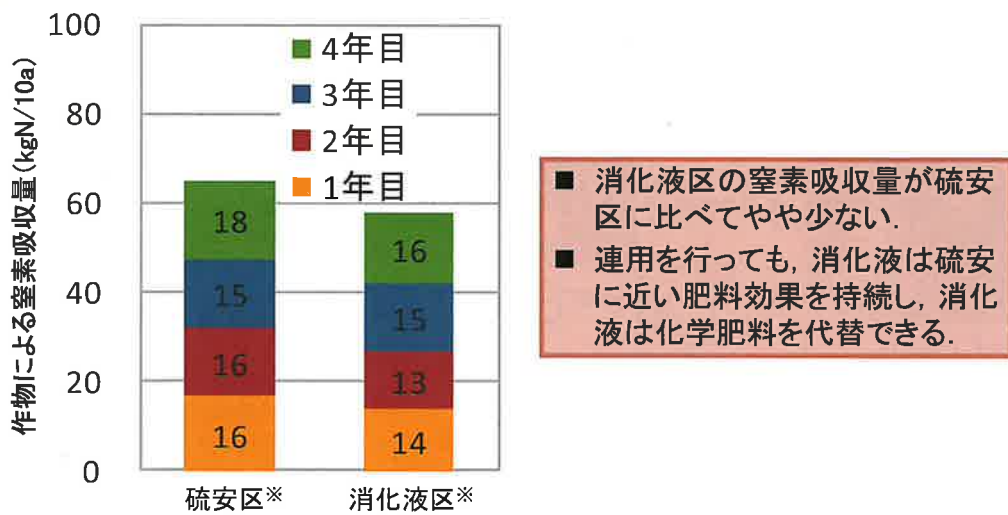
表4 ライシメータ試験の試験条件

| | |
|----------------|---|
| 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 (硫安区) (2), 消化液区(2) |
| 供試土壌 | 淡色黒ボク土 |
| 測定項目 | 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-加里 = 12-12-12 kg/10a) ホウレンソウ (窒素-リン酸-加里 = 25-25-25 kg/10a) (消化液区のリン酸, 加里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するため) |
| 試験期間 | 4年間 |

区、硫安区、無施肥区を設定し、年3作（春作、夏作：コマツナ、秋作：ハウレンソウ）の作付けで、4年間試験を行いました。

4年間12作の結果を1年ごとに集計して示します。消化液区の作物の窒素吸収量は4年間を通して硫安区よりやや少なく、消化液は硫安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11）。

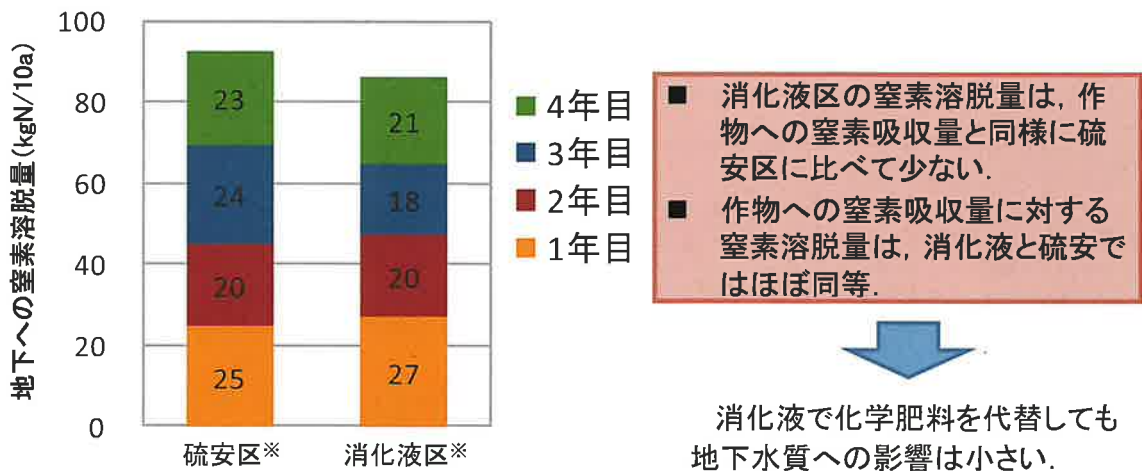
ライシメータに充填している土壌の高さは1mなので、浸透水への施肥の影響は施肥後半年程度してから現れます。浸透水の窒素濃度の時期的なトレンドは、消化液区と硫安区でほぼ同様でしたが、窒素溶脱量（浸透水量と浸透水の窒素濃度の積）は、作物への吸収量と同様に消化液区でやや少なくなりました。つまり、作物への窒素吸収量に対する窒素溶脱量は、消化液と硫安ではほぼ等しいという結果となりました。このことは、消化液で化学肥料を代替しても、適切な施用量であれば、地下水質への影響は小さいことを示しています（図12）。



■ 消化液区の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。

※ 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11 作物への窒素吸収量



■ 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。

※ 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12 地下への窒素溶脱量

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13）。

以上の結果をもとに、消化液もしくは窒素化学肥料の硫酸を施用した畑地における4年間の窒素収支は図14のようになりました。

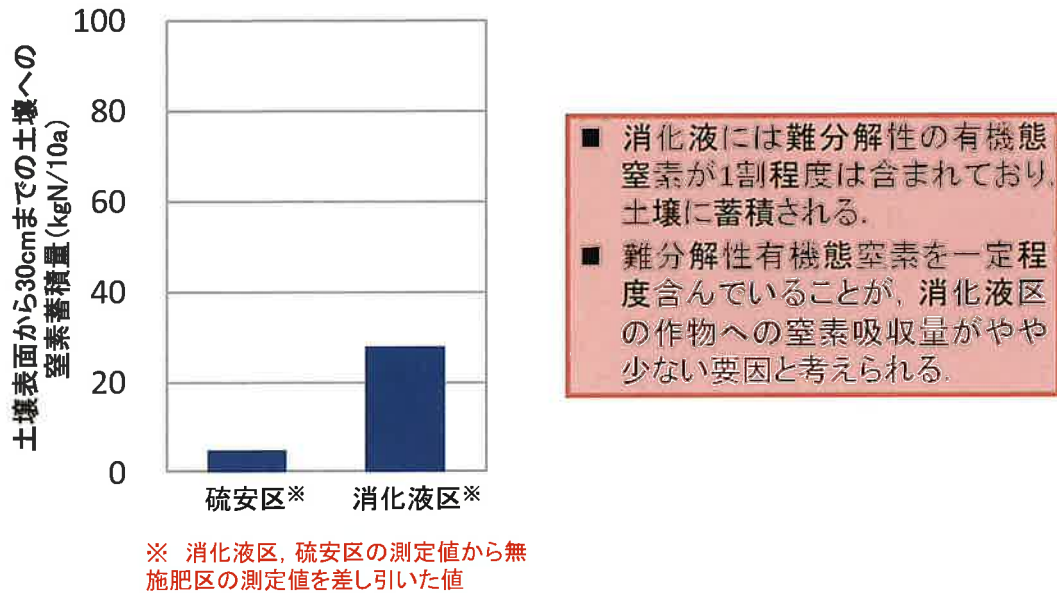
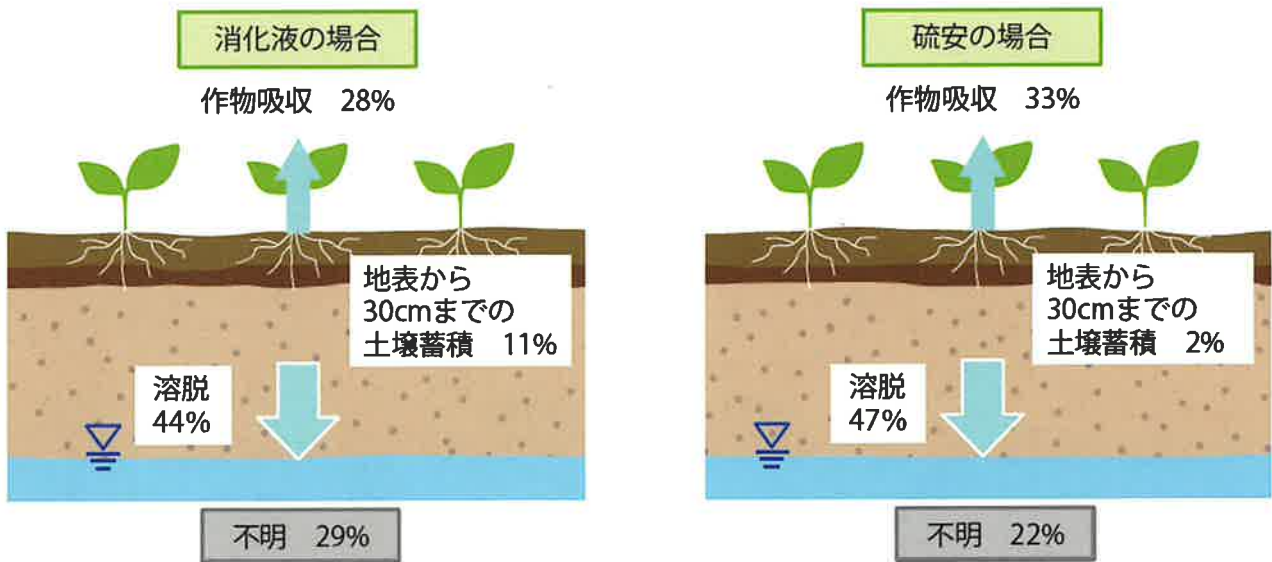


図13 土壌表面から30cmまでの土壌への窒素蓄積量



(消化液区, 硫酸区の測定値から無施肥区の測定値を差し引いた値)

図14 施肥された窒素の行き先（4年間の窒素収支）

(6) 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ります。消化液を連用した時に、このような効果が期待できるかを調査するため、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5、表6）。

この結果、表層土壌の乾燥密度（容積重）は、牛ふん堆肥区や汚泥コンポスト区では、無施肥区や硫安区よりも低くなりましたが、消化液区では差が見られませんでした（図15）。したがって、消化液は、粗大な有機物が含まれていないため、連用しても土壌の膨軟化効果などの土壌の物理性改善効果が期待できないということになります。

一方、表層土壌への炭素の蓄積量は、牛ふん堆肥区や汚泥コンポスト区に比べて少ないですが、消化液区でも上昇しており、一定の炭素蓄積効果が見られました（図16）。施用した炭素量あたりの土壌に残存した炭素量の割合で見ると、図16の棒グラフの先に示したように、消化液由来炭素の土壌への残存率自体は堆肥等と同じ割合であり、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。

なお、これらの結果は、様々な成分がある消化液の中の一例です。消化液の成分によって、土壌改良効果や炭素蓄積効果が違う可能性があります。

表5 消化液連用試験の試験条件

| | |
|----------------|--------------------------------------|
| 試験区設定 (反復数) | 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 |
| 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 |

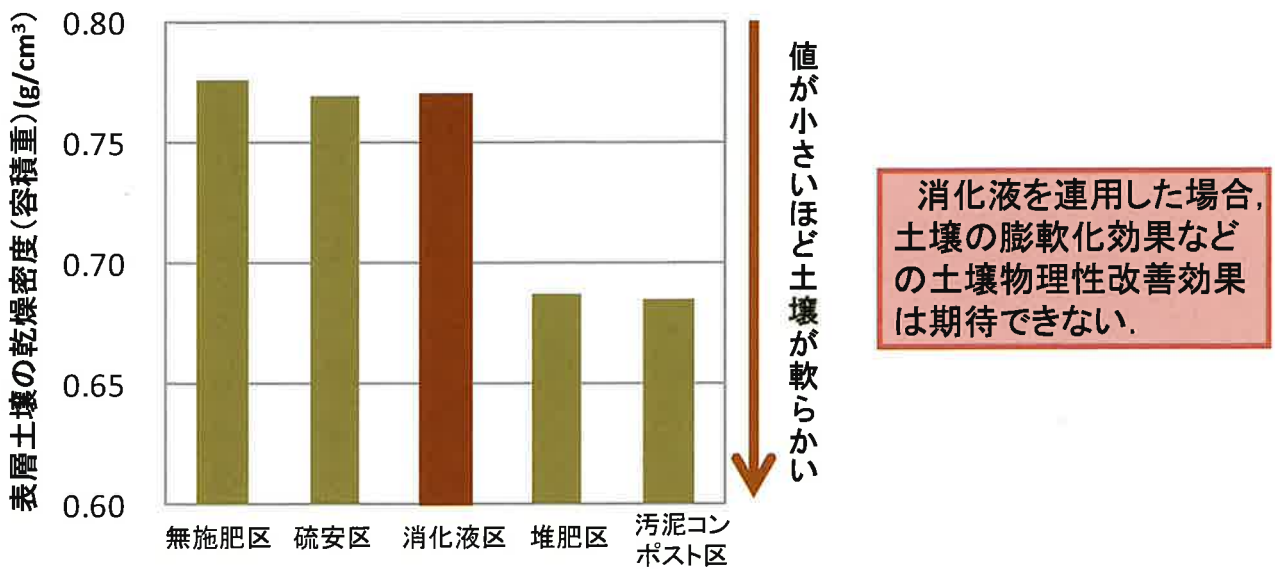


図15 5年間連用後の表層土壌 (0~10cm) の乾燥密度 (容積重)

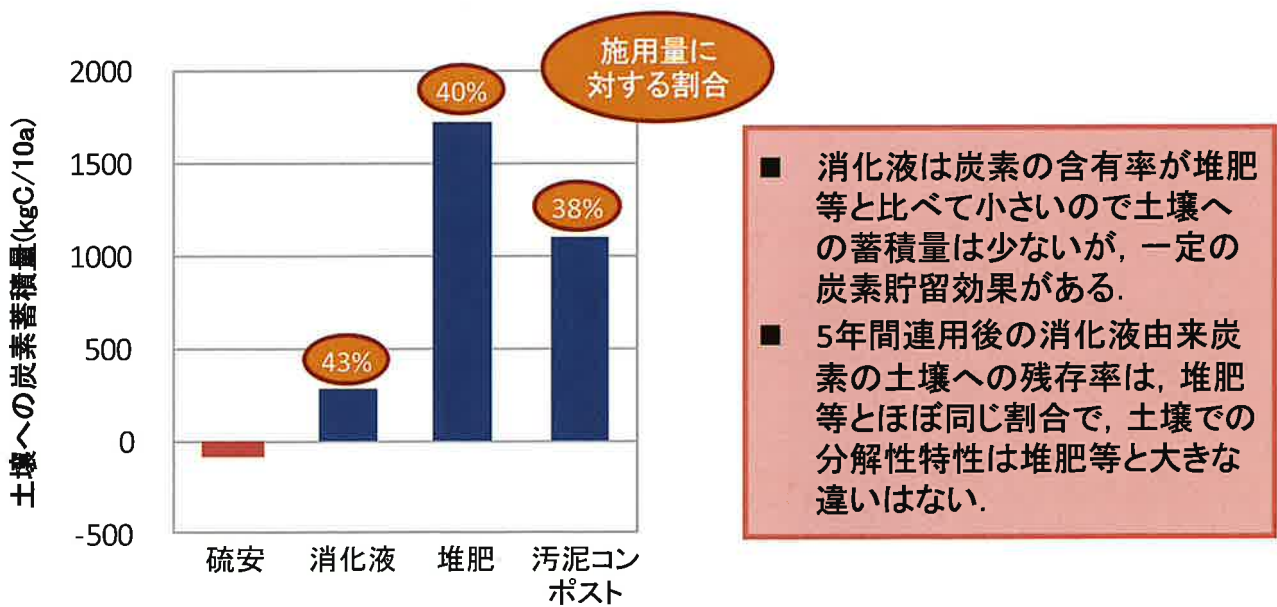


図16 5年間連用後の表層土壌 (0~30cm) への炭素蓄積量

(7) 利用に当たっての注意点まとめ（消化液の肥料効果と環境影響）

前節までに述べたことを踏まえ、消化液を施用した土壌における窒素の動きを以下にまとめます。

消化液を土壌表面に施用すると、消化液に含まれる速効性の肥料成分であるアンモニア態窒素の一部が揮散し、速効性の肥料成分が損失します。アンモニア揮散は、下記の対策をとることで抑制できます。

- ①施用後速やかに土壌と混和する
- ②スラリーインジェクタにより土中施用する
- ③消化液に酸を添加してpH調整する

これらの対策によっても、少量のアンモニアが揮散しますが、消化液中のアンモニア態窒素の多くを肥料として利用することができます。これに有機態窒素の2割程度が無機化する分を含めて、消化液に含まれる窒素の約6割程度を速効性の窒素肥料と考えることができます。しかし、それらの対策が困難な場合には、消化液に含まれるアンモニア態窒素の30%~60%が揮散により失われることとなります。しかも、その量は環境条件に左右され、図17に示すように予測が難しいため、追肥で過不足を調整する対応が求められます。

土壌に吸着された後のアンモニア態窒素の動きに関しては、消化液由来と硫酸等の化学肥料由来とで大きな差異はありません。すなわち、アンモニア揮散を考慮に入れて適切な施肥設計を行えば、消化液は化学肥料同等の肥料効果を発揮でき、化学肥料を施用した場合と比較して地下への溶脱等による環境負荷も増加しません。

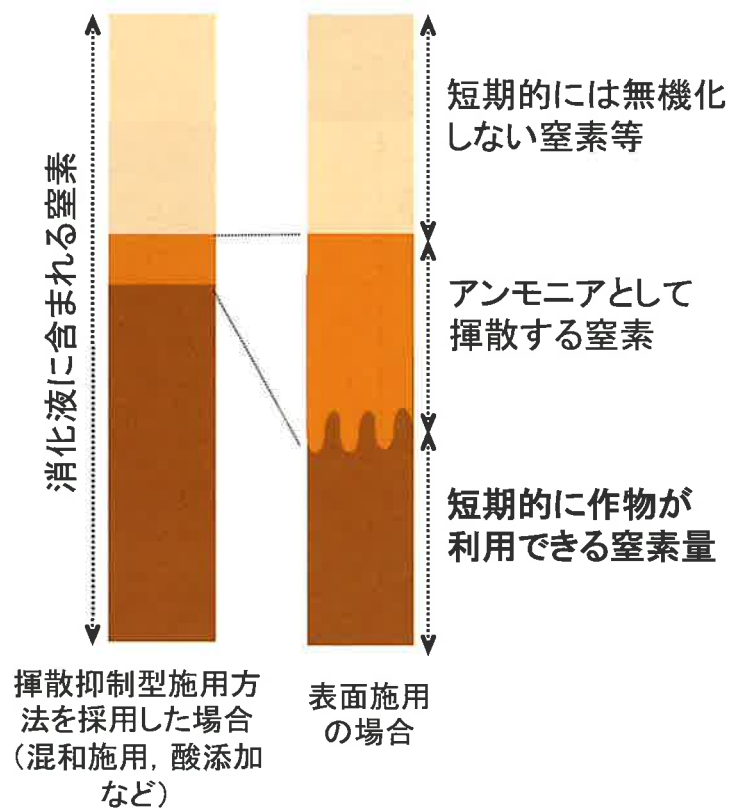


図17 施用方法による消化液由来窒素の利用可能割合の違い

(8) 消化液由来の有効成分量と施肥設計例

これまでに述べた結果をもとに、以下のような前提条件で施肥設計を行った例を示します。なお、肥効率については、メタン発酵原料によって違ったり、考え方にもいろいろあるため、ここで示した値はあくまでも一例として扱ってください。

【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、揮散抑制型施用方法の場合を消化液に含まれる窒素の5%、表面施用の場合を消化液に含まれる窒素の30%とする。
- リン酸肥効率を80%、加里肥効率を90%とする（ここでは千葉県の実験結果の堆肥の肥効率を参考にした）。

消化液由来の有効成分量（化学肥料相当量）は表7のようになります。この消化液1tあたりの有効成分量をもとに、コマツナの場合の施肥設計した表8）。

ただし、窒素、リン酸、加里のいずれにおいても施肥基準量を超えないように消化液の施用量を設定すること（家畜は排せつ物を原料とする場合は加里過剰に注意が必要）、表面流出を防ぐために消化液の施用量を5～6t/10a程度にとどめることに留意する必要があります。

表7 消化液由来の有効成分量

| | | 消化液中の成分濃度 | 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 |
|-------------------------------------|-----------|------------|---------------|--|
| 窒素(N) | 揮散抑制型施用方法 | 3,400 mg/ℓ | 3.4 kg | $3.4 \times (65 - 5) \div 100 = 2.0$ kg |
| | 表面施用 | | | $3.4 \times (65 - 30) \div 100 = 1.2$ kg |
| リン酸(P ₂ O ₅) | | 1,200 mg/ℓ | 1.2 kg | $1.2 \times 80 \div 100 = 1.0$ kg |
| 加里(K ₂ O) | | 3,900 mg/ℓ | 3.9 kg | $3.4 \times 90 \div 100 = 3.5$ kg |

表8 施肥量設計例（コマツナの場合）

- 栽培作物：コマツナ（施肥基準量 窒素-リン酸-加里=12-12-12 kg/10a）
- 消化液施用量：3 t/10a

| | | 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 |
|-------------------------------------|-----------|------------------------------|--------------------------|
| 窒素(N) | 揮散抑制型施用方法 | $2.0 \times 3 = 6.0$ kg/10a | $12 - 6.0 = 6.0$ kg/10a |
| | 表面施用 | $1.2 \times 3 = 3.6$ kg/10a | $12 - 3.6 = 8.4$ kg/10a |
| リン酸(P ₂ O ₅) | | $1.0 \times 3 = 3.0$ kg/10a | $12 - 3.0 = 9.0$ kg/10a |
| 加里(K ₂ O) | | $3.5 \times 3 = 10.5$ kg/10a | $12 - 10.5 = 1.5$ kg/10a |

5. 農家圃場での栽培実証試験

(1) 栽培実証試験概要

前述した山田バイオマスプラントでの消化液（年間約1,500t）は、ほぼ全量を農事組合法人と郷園の生産農家が多様な野菜の栽培に使用しています（図18）。消化液の輸送・散布に使用する車両は、バキューム車、2tトラック、液肥散布車の3台です（図19）。消化液の輸送・散布は山田バイオマスプラントが行っており、農家には輸送・散布の負担はありません。畑作物は種類が多様であるために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。

消化液を5年間使った生産農家の方からは「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、施用をしています。液肥の肥料成分を考慮し施用量を決めれば、通常の肥料と同様に活用できると感じています。」との感想を得ています。



写真提供：農事組合法人と郷園 相原秀基氏

図18 消化液で栽培した作物

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）



図19 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

(2) 輸送・散布作業におけるトラブル

輸送・散布作業では、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トラブルがありました（図20）。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、詰りの原因になっていました。また、消化液貯留槽に沈殿している粗大固形物も詰まりの原因になりました。

これらの問題に対して、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する、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する、③消化液採取用ホースの先に装着したストレーナ（図20）により、粗大物な固形物の吸い込みを防止する、の3つの対策を行いました。その結果、吐出部分のつまりはほぼ解消され、液肥散布作業を中断することなく、予定通り行えるようになりました。



図20 輸送・散布のトラブルと解決策の例

(3) 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。そのため、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。

【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（図21）。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。



図21 消化液の情報を記したカードの例

【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（図22）。

【明るい色のバキューム車】

バキューム車を明るい色にすることで、さらにイメージが改善されました（図23）。



図22 消化液輸送車両用ステッカーの例



図23 明るい色のバキューム車の例

(4) 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を測定しました（図24）。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。

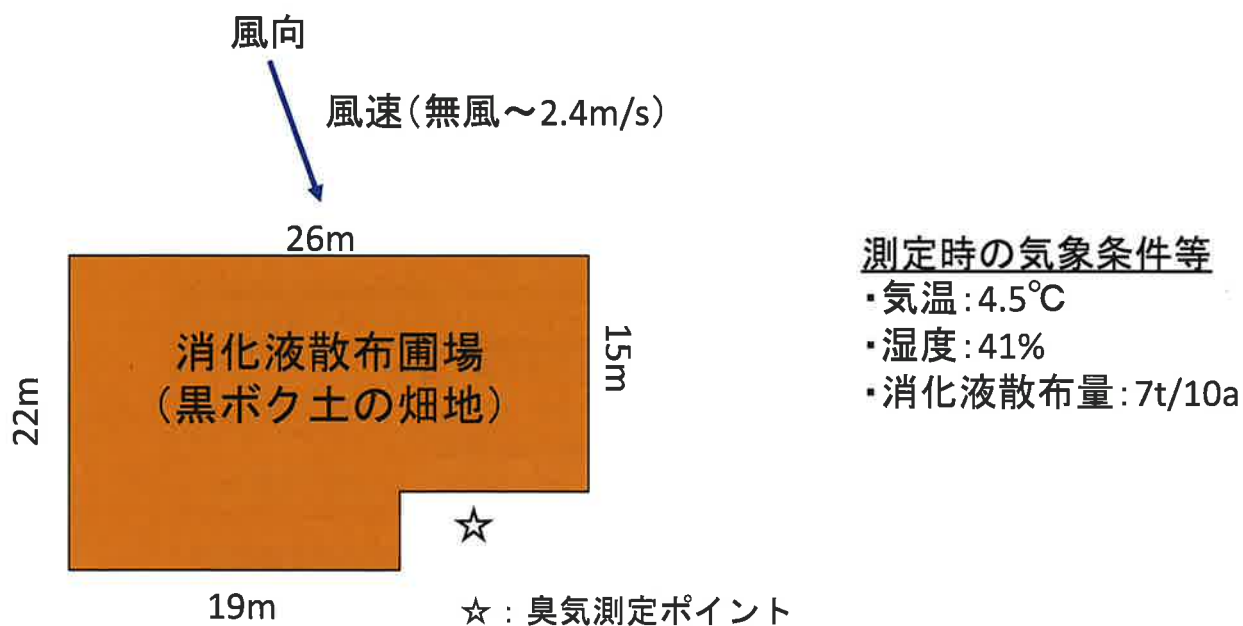


図24 消化液散布圃場

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ました）。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になりました（表9）。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すが、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（消化液の臭気の質・強さは原料により異なります）。

表9 消化液散布30分後の悪臭物質濃度

| 悪臭物質 | 濃度(ppm) |
|-----------|---------|
| 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 |

6. まとめ

本章では、消化液の畑地での利用について、肥料効果、環境影響および実際に農家で液肥として利用する場合の留意点について述べました。

消化液は速効性の肥料成分を含むため、化学肥料の代わりに利用できますが、化学肥料の場合とは施用後のアンモニア揮散特性が大きく異なります。そのため、適正な施肥設計のためには、アンモニア揮散量を考慮に入れる必要があります。適切な施用量であれば、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と考えられます。また、農家圃場での栽培実証試験の結果からは、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り、様々な工夫を行うことにより、トラブルを少なくし、円滑に作業を実施できることが示されました。

本章の一部は、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。

第2章 濃縮・改質による利用性の向上

1. 消化液の野菜栽培利用における問題点

メタン発酵消化液を野菜栽培に利用するにあたって、クリアすべき点や改善が望まれる点が多くあります（表10）。第1章では、表10に示す①～④のクリアすべき問題点について解決策を示しました。ここでは、⑥～⑧の改善が望まれる問題点について述べます。

表10 消化液の野菜栽培利用における問題点と解決策

| 問題点 | 解決策 |
|-----------------------|-----------------------------|
| ①農地に利用して障害がない質の確保 | 第1章 項目1 を参照 |
| ②肥料成分の見積りと施肥設計の方法 | 第1章 項目3、項目4 を参照 |
| ③輸送と散布方法の確保 | 第1章 項目5 (1) (2) を参照 |
| ④散布時の臭気対策と周辺住民への配慮 | 第1章 項目4 (3)、項目5 (3) (4) を参照 |
| ⑤消化液の貯留 | 施用時期を勘案して十分な容積を確保する |
| ⑥肥料成分が薄いために運搬できる距離が短い | 本章にて述べます |
| ⑦粘度が高いために施用方法が限られる | 本章にて述べます |
| ⑧水耕栽培等への利用に適さない場合がある | 本章にて述べます |

(1) 肥料成分が薄いために運搬できる距離が短い

前章の表2（7ページ）の中で最も窒素成分が高い施設Bの消化液でも、全窒素で3,390mg/ℓ、単位を%に直すと0.339%になります。表11に示す硫安や家畜ふん堆肥（文献11）に比べると非常に低い濃度です。仮に同じ窒素量だけ施用すると、消化液は硫安の61倍もの量が必要になります。これは水分が高いことに起因しており、消化液の施用は大部分が水を施用していることになります。このために消化液は、長距離を運搬できません。デンマークでは、輸送によるエネ

表11 消化液、硫安、堆肥の窒素成分の比較

| 項目 | 単位 | 消化液 (注1) | 硫安 | 家畜ふん堆肥（注2） | | | | |
|------------|------|-------------|----|------------|-----|-----|-----|-------|
| | | | | 乳牛 | 肉牛 | 豚 | 採卵鶏 | ブロイラー |
| 全窒素 (N) | %現物重 | 0.339 | 21 | 1.0 | 1.1 | 2.2 | 2.2 | 2.5 |
| 10kg窒素の施用量 | kg | 2,950 | 48 | 953 | 951 | 451 | 447 | 393 |
| 水分 | %現物重 | 96 | 0 | 52 | 52 | 37 | 23 | 33 |

注1：7ページ表2の施設Bの消化液

注2：文献11の平均値、全窒素は現物あたりに換算した値

ルギーの損失やコスト的な収支を理由に、消化液の輸送は半径10km以内にするに法的に決められています（文献12）。消化液の輸送距離の制約は、消化液の農地利用の機会の減少につながるため、大きな問題です。

(2) 粘度が高いために施用方法が限られる

消化液の水分は95～98%ほどありますが、粘度が高く、ポンプや配管による送液に支障が起きやすいです。長い配管を送る場合にはスネークポンプ（図25）などの高価な機材が必要になる場合もあります。



図25 スネークポンプ

(3) 水耕栽培等への利用に適さない場合がある

消化液の無機の窒素成分はアンモニア態です。アンモニアよりも硝酸を好む作物の水耕栽培では、窒素がうまく利用できない場合が想定されます（表12）。また、消化液にはカリウム、ナトリウム塩素などのイオンを多く含むため、各成分のバランスを検討する必要があります。

養液土耕や露地栽培など、土壌を介する栽培の場合は、土壌でアンモニアが硝酸に変わるため、問題になることはありません。また、カリウム、ナトリウム塩素などのイオンについても、大量に過剰施用しない限り、支障が出ることは少ないです。

表12 水耕栽培の培養液の組成の例（単位me/ℓ、文献13）

| 品目 | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ²⁻ | SO ₄ ²⁻ | NH ₄ ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
|------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------|------------------|------------------|
| トマト | 7.0 | 2.0 | 2.0 | 0.7 | 4.0 | 3.0 | 2.0 |
| キュウリ | 13.0 | 3.0 | 4.0 | 1.0 | 6.0 | 7.0 | 4.0 |
| メロン | 13.0 | 4.0 | 3.0 | 1.3 | 6.0 | 7.0 | 3.0 |
| イチゴ | 5.0 | 1.5 | 1.0 | 0.5 | 3.0 | 2.0 | 1.0 |

2. 濃縮・改質の技術

(1) 水分の蒸発による濃縮・改質

水分の蒸発による濃縮では、①高温加熱乾燥、②減圧蒸留乾燥（減圧して加熱）、③温風乾燥、④天日乾燥といった方法が考えられます（表13）。①では、ボイラーなどの熱源が必要になるため、エネルギー的な損失が大きいです。②や③では、バイオガス発電の廃熱を利用することで、エネルギーを効率よく活用できます。②では発泡しやすく、泡となった消化液を減圧ポンプが吸い出してしまう問題があり、あらかじめ凝集分離して粘性を落としたり（文献14）、消泡剤を添加したり（文献15）などの対策が必要になります。③や④は処理能力が消化液の水面積に依存しており、特に能力の低い④では、広大な面積を要します。

消化液を金属表面などを介して加熱すると、固形物が付着して熱伝導効率が低下します（文献16）。②の場合、伝熱管などによる加熱ではこのような問題が生じやすいため、あらかじめ加熱した消化液を減圧容器内に流し込むフラッシュ蒸発方式（文献15）を採用するなどの工夫が必要です。

表13 蒸発処理の特徴

| 分類 | 処理条件 | 残留物 | 蒸発分離成分 | 問題点 |
|-----------|---------------------------------|--------------------|----------|--|
| ① 高温乾燥 | 高温加熱（100℃） | 有機態窒素、加里、リン酸 | 水分、アンモニア | 高温の熱源が必要 分離したアンモニアの処理 |
| | 酸添加 高温加熱（100℃） | 無機態窒素、有機態窒素、加里、リン酸 | 水分 | 酸の費用がかかる 高温の熱源が必要 有機資材でなくなる |
| ② 減圧蒸留 | 前処理に凝集分離処理 減圧 低温加熱（80℃） | 有機態窒素、加里、リン酸 | 水分、アンモニア | 凝集分離の費用がかかる 減圧の動力が必要 有機資材でなくなる 分離したアンモニアの処理 |
| | 消泡剤添加 減圧 低温加熱（80℃） | 有機態窒素、加里、リン酸 | 水分、アンモニア | 消泡剤の費用がかかる 減圧の動力が必要 有機資材でなくなる 分離したアンモニアの処理 |
| | 酸添加 消泡剤添加 減圧 低温加熱（80℃） | 無機態窒素、有機態窒素、加里、リン酸 | 水分 | 酸と消泡剤の費用がかかる 減圧の動力が必要 有機資材でなくなる |
| ③ 温風乾燥 | 温風加熱（70℃） | 有機態窒素、加里、リン酸 | 水分、アンモニア | 送風の動力が必要 処理に時間がかかる |
| ④ 天日乾燥 | 天日乾燥ハウス | 有機態窒素、加里、リン酸 | 水分、アンモニア | 広い面積が必要 処理に時間がかかる |

蒸発による濃縮では、アンモニアの揮発が起きてしまい、濃縮物の窒素の損失になります。また、揮発したアンモニアの処理も問題になります。消化液に酸を添加することで、アンモニアの蒸発を押さえることができます（文献15、17）。しかし、かなりの量の酸を添加せねばならず、費用を要します。また、硫酸などでは有機資材にならなくなるし、有機資材のリン酸などの添加ではさらに費用を要することになります。

蒸発乾燥の後に残った残留物は、肥料成分が濃縮されて可搬性が改善されます。乾燥の程度により、半乾燥したペースト状態や完全に乾燥した固形状態になります。施用作業や成分安定性を考えると固形状態が望ましいですが、乾燥の費用を要します。蒸発した中に含まれるアンモニアは、凝縮水などに回収され、粘性のない良質の有機性窒素肥料として、消化液から改質されることになります。

(2) 膜やスクリーンの分離による濃縮・改質

膜やスクリーンを用いた消化液の分離の特徴を表14に示しました。MF膜については、次ページ以降に詳しく述べますので、ここでは他の方法について述べます。

水分子程度しか透過しない逆浸透膜（RO膜）による分離による濃縮が試みられています（文献17）。消化液そのままでは分離が困難であり、凝集分離やMF膜分離などの前処理が必要です。また、酸を加えて酸性にしないと、アンモニアが膜を透過します。スクリーン分離は、目開きが0.15mmの細かいスクリーンでも、膜透過液に大きな影響を与えません（文献18）。

酸性にしてRO膜を透過した液は、公共用水域に放流可能な水質レベルになります。酸性にせずRO膜を透過した液は、低濃度アンモニアを含むため、灌漑用水などへの利用に適していません。RO膜は、成分が高まると分離が困難になるため、濃縮の面では効果を望めません。

表14 膜およびスクリーンによる分離処理の特徴

| 処理条件 | 膜濃縮成分 | 膜透過成分 | 問題点 |
|----------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| 前処理に凝集分離処理 RO膜分離 | ほとんど全て、 ウィルスを阻止 | 水分、一部のアン モニア、一部の加里 | 凝集分離の費用がかかる RO膜が高価 有機資材でなくなる |
| 前処理に凝集分離処理 酸添加 RO膜分離 | ほとんど全て、 ウィルスを阻止 | 水分、一部の加里 | 酸と凝集分離の費用がかかる RO膜が高価 有機資材でなくなる |
| 前処理にMF膜分離処理 RO膜分離 | ほとんど全て、 ウィルスを阻止 | 水分、一部のアン モニア、一部の加里 | MF膜の費用がかかる RO膜が高価 |
| MF膜 | 有機態窒素、リン 酸、細菌を阻止 | 水分、アンモニア、 加里、ウィルス | MF膜の費用がかかる |
| スクリーン分離 (目開き0.15mm) | 不溶性粒子 | ほとんど全て | ほとんどの肥料成分が透過 |
| スクリーン分離 (目開き1mm) | 粗大粒子 | ほとんど全て | ほとんどの肥料成分が透過 |

3. 濃縮・改質試験の内容

試験では図26に示す処理フローによる濃縮・改質を図27、図28、表15（32ページ）に示す実験装置を用いて行いました。

(1) スクリーン分離処理

消化液によっては、大きな夾雑物が含まれており、ポンプや配管のつまりなどのトラブルの原因になりやすいことから、まず最初に目開き1mmのスクリーンを通しました。機械圧搾はせず、液の攪拌と重力による分離としました。

スクリーンに残った残渣をスクリーン上に10分間放置することで、ほぼ水分の流出がなくなったものを**スクリーン残渣**としました。この残渣については、堆肥化処理を想定しました。

(2) MF膜分離処理

スクリーンを通った**スクリーン透過液**は、MF膜で**膜透過液**と**膜濃縮液**に分離しました。MF膜とは、精密ろ過法（Microfiltration）に使用される孔径が $0.01\sim 10\mu\text{m}$ の間にある膜のことです（文献19）。 $0.01\mu\text{m}$ 小さな孔径になると膜の素材の親和性が分離に影響しますが、MF膜では、膜の孔径にしたがった分離がなされるとされています。外観に違いによって、中空糸膜と平膜の2つのタイプがあります（図29）。機能的に同等ですが、中空糸膜は安価、平膜は洗浄しやすいという特徴があります。今回の試験では、孔径が平均 $0.32\mu\text{m}$ （ $0.2\sim 0.8\mu\text{m}$ ）の平膜を使用しました。タンパク質などの大きな水溶性分やウイルスなどは透過しますが、細菌や孔径よりも大きな微粒子は通りません。

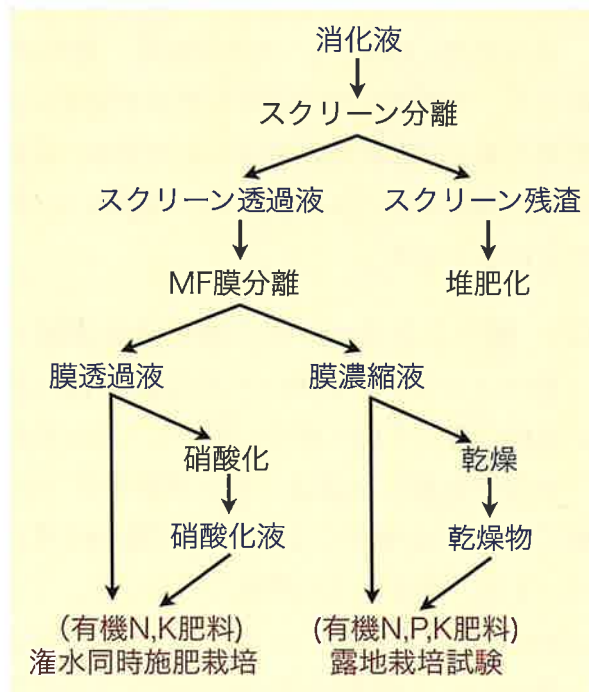


図26 濃縮・改質の処理フロー



図29 中空糸膜（左）と平膜（右、この試験に使用したもの）

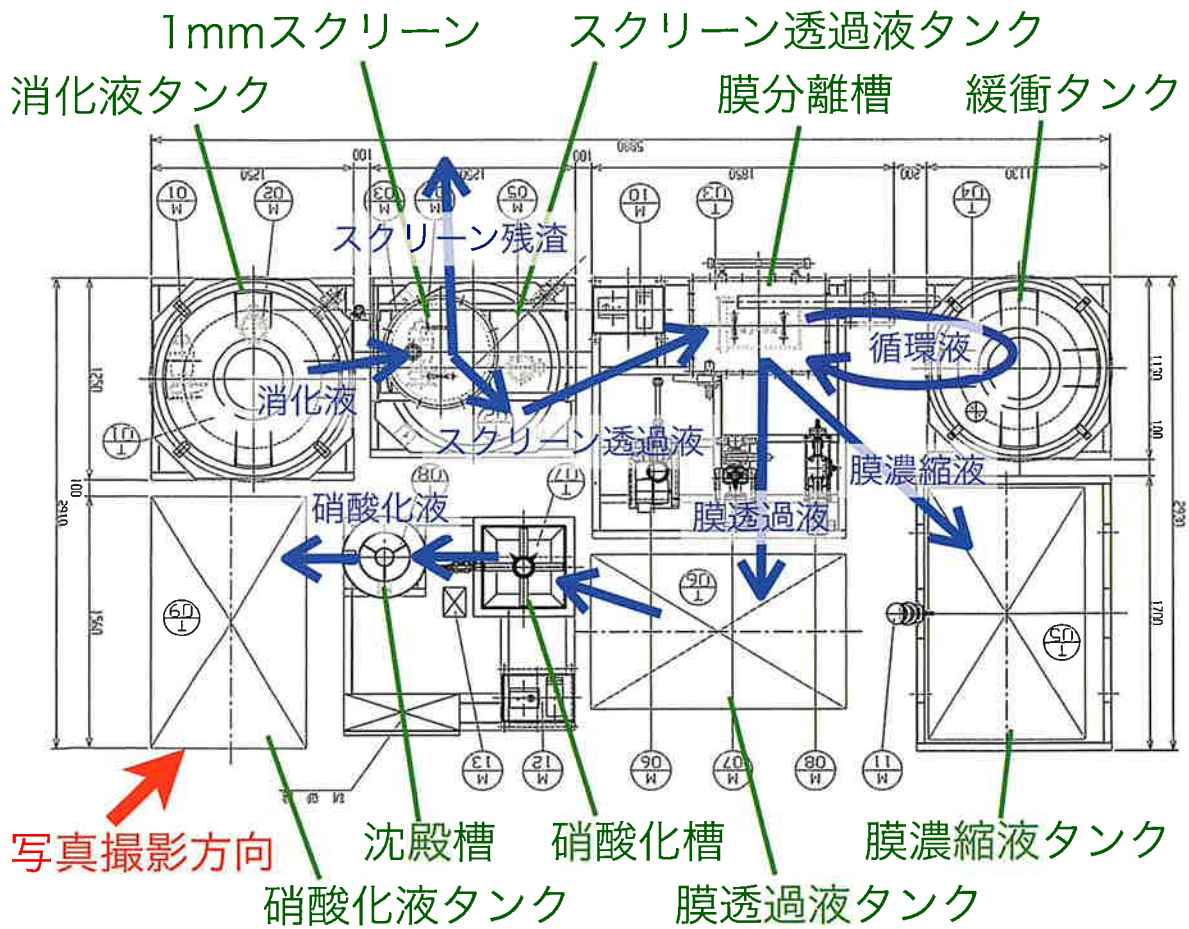


図27 濃縮・改質実験装置の図面（上）と外観（下）



図28 小型膜分離実験装置
(中に水を入れた状態)

表15 実験装置の諸元

| 実験装置 | 名称 | 規格 |
|---------------|-------------|-----------------------|
| 濃縮改質 実験装置 | 消化液タンク | 1,000 l |
| | スクリーン | 目開き1mm |
| | スクリーン透過液タンク | 1,000 l |
| | 膜分離槽 | 365 l |
| | 緩衝タンク | 500 l |
| | 膜透過液タンク | 1,000 l |
| | 膜濃縮液タンク | 1,000 l |
| | 硝酸化槽 | 250 l |
| | 沈殿槽 | 34 l |
| 小型膜分離 実験装置 | 膜分離槽 | 24 l |
| | 緩衝タンク | 50 l |
| 天日乾燥ハウス | | 1.0m ² ×3器 |

MF膜分離試験は、栽培試験に用いる膜透過液調製に図27の装置に含まれる膜分離装置を、膜分離条件の検討や各種消化液の試験に図28の膜分離装置を使用しました。同じ平膜を図27には10枚、図28には1枚使用しています。

膜分離装置は、図30に示す構造になっています。膜分離は、消化液の投入と膜濃縮液の排出をまとめて行うバッチ式にしました。すなわち、装置内を消化液で満たした後に一定速度で膜透過液を排出し、液の濃度が高まったところで全ての液を膜濃縮液として排出します。

MF膜は、膜の表面に付着した固形物を剥離するため、槽内を曝気します。また、長時間空気

にさらされると劣化するため、常に水中にあるようにします。このため、膜分離槽の水位を一定に保つ構造として、オーバーフローで排出する配管、これを受ける緩衝タンク、循環ポンプを設けました。緩衝タンクの液を常時膜分離槽に送ることで液を循環させます。膜分離が進むにしたがって、緩衝タンクの水位が低下します。

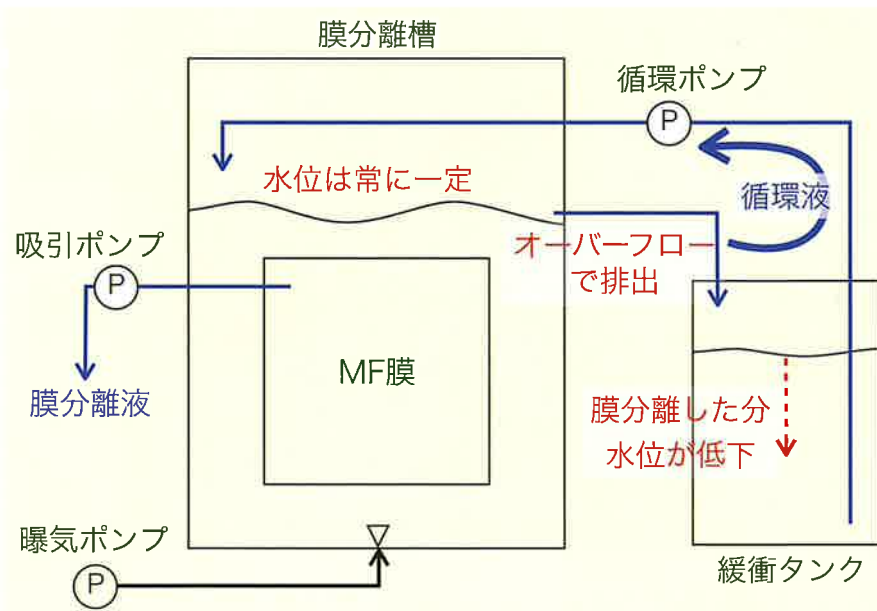


図30 膜分離装置の構造

(3) 硝酸化処理

MF膜を通った**膜透過液**は、曝気曝気する水槽に投入し、微生物にアンモニアを硝酸に酸化させることで**硝酸化液**に改質しました。硝酸化槽（図31）にはろ材を設置し、この表面に生物膜形成する生物膜法を採用し、剥離した汚泥を沈殿槽で分離した上澄を**硝酸化液**としました。

(4) 乾燥処理

乾燥処理は、イニシャルやランニングのコストが少ないと思われる天日乾燥を採用し、小型のハウス（図32）にて試験しました。

(5) 栽培試験

MF膜を通った**膜透過液**と、これを硝酸化した**硝酸化液**を灌水同時施肥栽培試験に用いましたMF膜を通らなかった**膜濃縮液**と、乾燥処理した**乾燥物**を露地栽培試験に用いました。栽培試験については、次章以降をご覧ください。



図31 試験に用いた硝酸化槽



図32 天日乾燥ハウス

4. 試験に使用した消化液

試験には5カ所のメタン発酵プラントから採取した消化液を使用しました（表16）。消化液の成分を表17に示します。消化液の特徴は以下のとおりです。

- ・施設M：豚ふんのみを原料とした消化液
- ・施設H：豚ふん:生ゴミ:焼酎粕:下水汚泥=4:3:2:1のいろんな原料が混ざった消化液
- ・施設B：食品残渣のみを原料とした消化液
- ・施設S：乳牛ふんを原料とした固形物の多い消化液
- ・施設T：乳牛ふんを原料とした固形物の少ない消化液

表16 濃縮・改質試験に供試した消化液を調製したメタン発酵プラントの概要

| 施設記号 | 施設タイプ | 原料 | 処理量 m ³ /日 | 前処理内容 | メタン発酵 | | | |
|------|-------|-------------------------|--------------------------|----------------------------------|------------|-----------|---------------|-------------|
| | | | | | 発酵温度 °C | 滞留日数 日 | 攪拌方式 | 原料投入 回/日 |
| | | | | | | | | |
| M | 個別型 | 豚ふん尿 | 2 | 目開き1mm 固液分離 | 35 | 25 | 機械攪拌、 常時攪拌 | 1 |
| H | 集中型 | 豚ふん尿、生ゴミ、 集落排水汚泥、焼酎粕 | 65 | 生ゴミ粉碎袋除去、 カッターポンプ、 簡易ばっ気処理 | 35-38 | 30 | ガス攪拌、 常時攪拌 | 20 |
| B | 集中型 | 食品残渣 | 100 | 粉碎プラ除去、カッターポンプ、 酸発酵 | 35-37 | 40 | 機械攪拌、 常時攪拌 | 一定投入 |
| S | 集中型 | 酪農ふん尿、 敷料 | 81 | カッターポンプ | 42 | 40 | 機械攪拌、 常時攪拌 | 複数回 |
| T | 個別型 | 酪農ふん尿 | 5 | 目開き1mm 固液分離 | 36 | 47 | 機械攪拌、 常時攪拌 | 1 |

表17 濃縮・改質試験に供試した消化液の成分（現物重あたりの%）

| 施設記号 | 水分 | 蒸発残留物 (TS) | 強熱減量 (VS) | 全窒素 (N) | アンモニア態窒素 (NH ₄ -N) | リン酸 (P ₂ O ₅) | 加里 (K ₂ O) |
|------|------|---------------|--------------|------------|----------------------------------|---|--------------------------|
| M | 97.1 | 2.9 | 1.9 | 0.45 | 0.32 | 0.10 | 0.22 |
| H | 98.4 | 1.6 | 1.0 | 0.33 | 0.22 | 0.07 | 0.12 |
| B | 95.1 | 4.9 | 3.4 | 0.47 | 0.23 | 0.08 | 0.11 |
| S | 94.6 | 5.4 | 3.9 | 0.38 | 0.23 | 0.10 | 0.39 |
| T | 96.7 | 3.3 | 2.1 | 0.28 | 0.18 | 0.07 | 0.24 |

5. スクリーンによる分離

消化液のスクリーン分離は、スクリーン上で攪拌しながら水分を重力で分離し、液の流出がほぼなくなった後にそのまま10分間放置したものを残渣として回収しました。施設Bについては、粘度が非常に高く、目開き1mmでは、全く水分が分離できなかつたため、目開き2mmのスクリーンを使用しました（表18）。分離された残渣の現物重量の割合は、施設MとTが少なく、敷料として使用されていた麦幹が多く入っている施設Sが非常に多い結果になりました。スクリーン残渣の外観は様々でした（図33）。

表18 スクリーン分離による残渣率

| 施設記号 | スクリーン分離残渣率 | スクリーン目開き |
|------|------------|----------|
| | % (±SD) | mm |
| M | 2.8 ±0.1 | 1 |
| H | 4.2 ±0.4 | 1 |
| B | 6.2 ±0.4 | 2 |
| S | 34.5 ±2.4 | 1 |
| T | 2.9 ±0.3 | 1 |

施設M



施設H



施設B



施設S



施設T



図33 スクリーン残渣の外観（全て同縮尺）

6. MF膜による分離

図28（32ページ）の装置にて、膜面積0.4m³、開始時の液量70ℓ、膜洗浄ブロワ風量15ℓ/分、開始時フラックス（膜面積あたりに1日で膜分離する液量）約0.016（m³/m²・日）で5種類の消化液を分離しました。フラックスは、一定時間維持された後に、急速に低下し始める屈曲点が見られました（図34）。この屈曲点は、吸引圧力の最低圧が上昇した時期と一致し、膜分離の限界点と考えられました。屈曲点での濃縮倍率は消化液ごとに違い、M施設が最も濃縮ができた一方、B施設とS施設は、このフラックス条件では膜分離できないと考えられました（表19）。

表19 MF膜分離の屈曲点における膜濃縮液の濃縮倍率とフラックス

| 施設 記号 | 液量 | | | 蒸発残留物 (TS) | | | フラックス | |
|----------|-----|-----|------|------------|------|------|-------------------------------------|-------|
| | (ℓ) | | 濃縮倍率 | (%) | | 濃縮倍率 | (m ³ /m ² ・日) | |
| | 開始 | 屈曲点 | | 開始 | 屈曲点 | | 開始 | 屈曲点 |
| M | 70 | 23 | 3.0 | 2.9 | 10.9 | 3.8 | 0.015 | 0.015 |
| H | 70 | 43 | 1.6 | 1.3 | 2.3 | 1.8 | 0.016 | 0.014 |
| B | 70 | 69 | 1.0 | 4.5 | 4.6 | 1.0 | 0.016 | 0.015 |
| S | 70 | 69 | 1.0 | 3.6 | 3.7 | 1.0 | 0.015 | 0.016 |
| T | 70 | 47 | 1.5 | 3.1 | 4.9 | 1.6 | 0.016 | 0.015 |

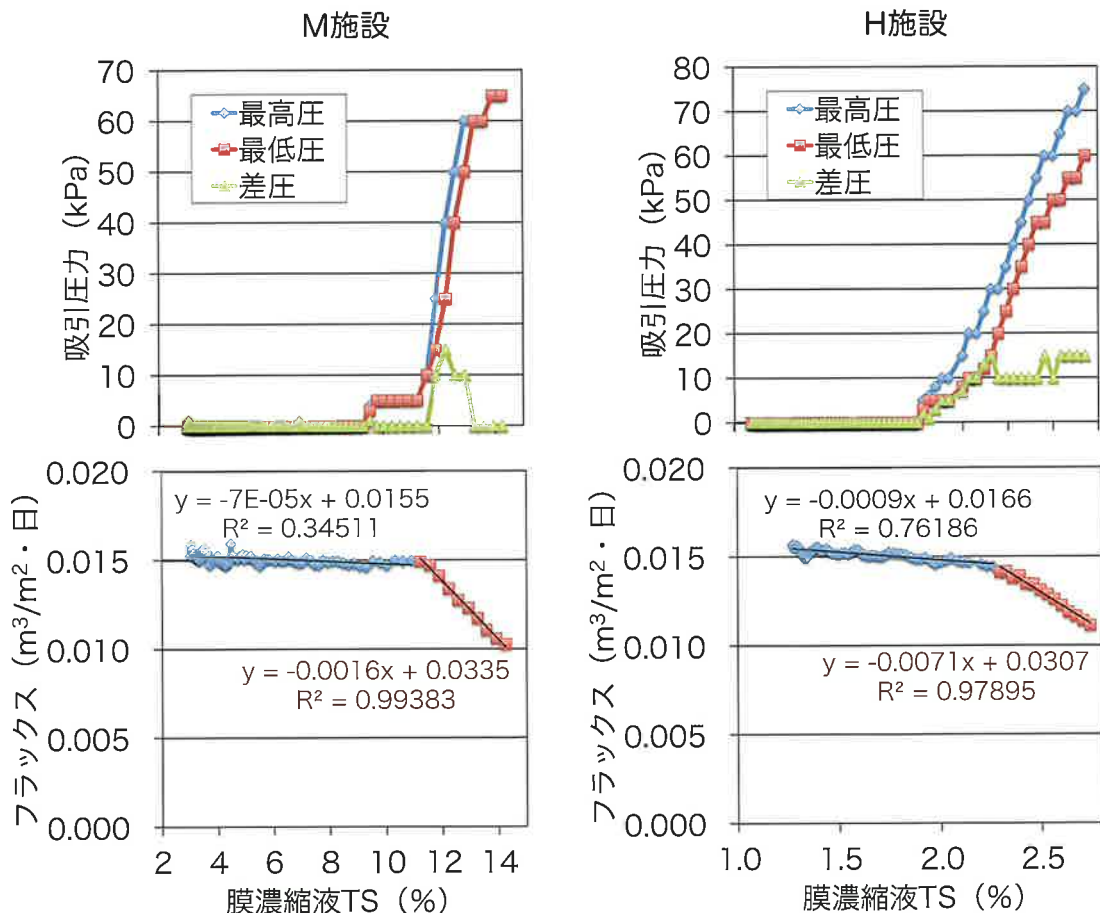
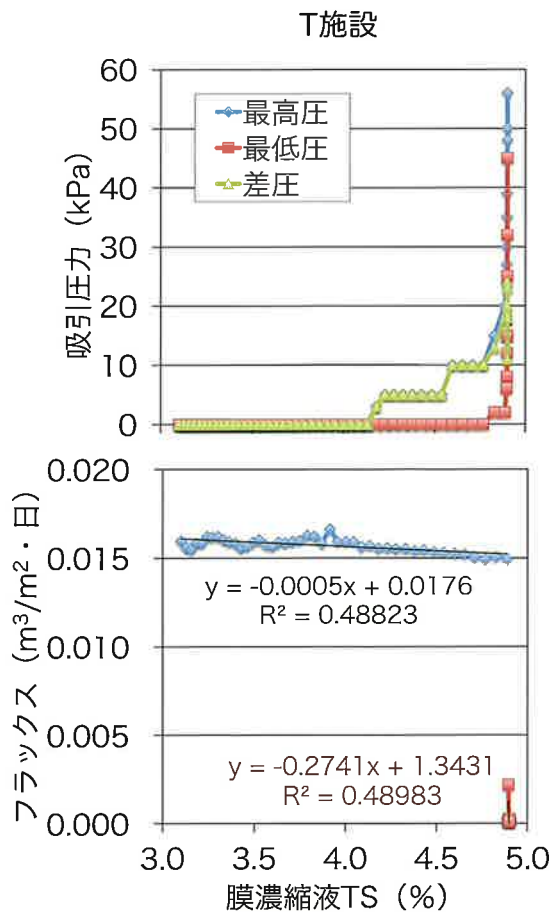
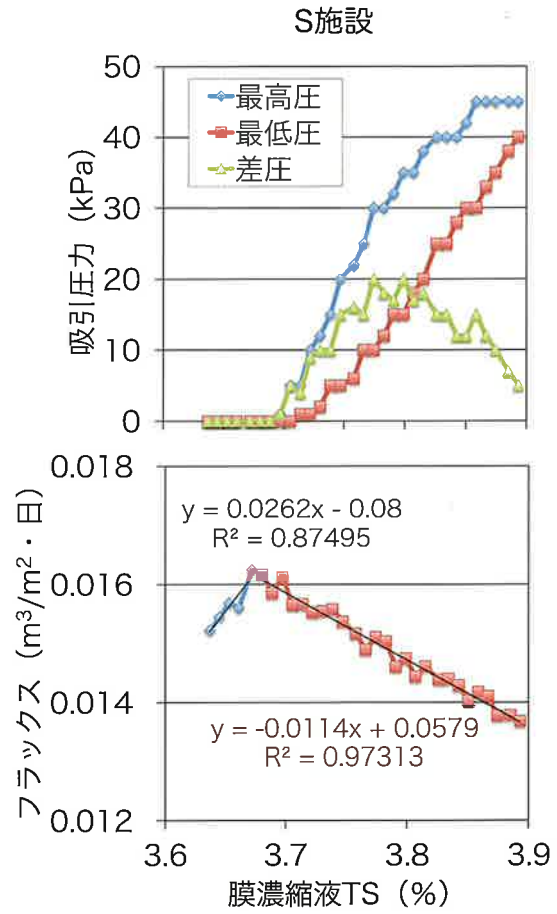
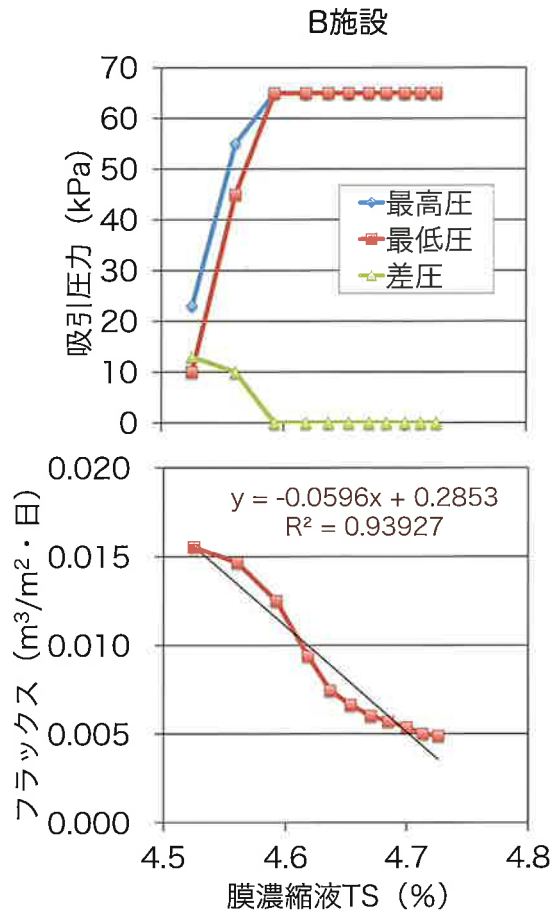


図34 各種消化液のMF膜濃縮のTSと吸引圧とフラックス（次ページまで続く）

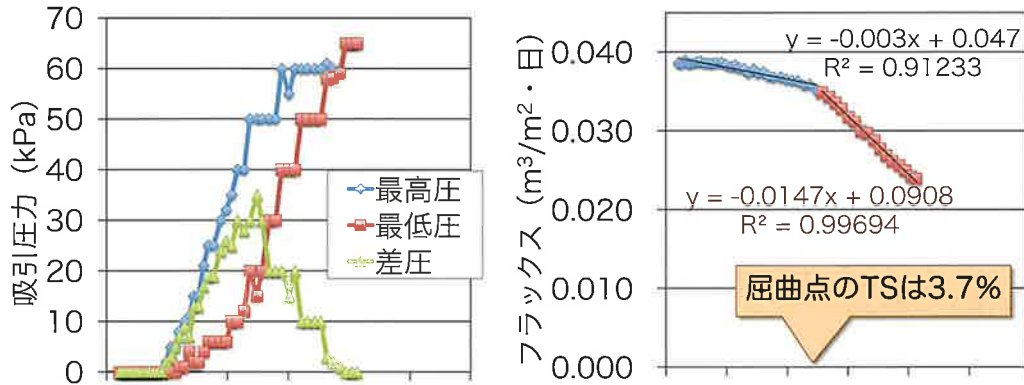


吸引圧力は負圧です。このグラフでは符号を反転、例えば-60kPaを60kPaとして示してあります。吸引は、5分稼働、5分停止を繰り返すようにしました。稼働中に最も値が大きくなったときを「最高圧」、停止時に小さくなったときを「最低圧」とし、この差を「差圧」として示しました。

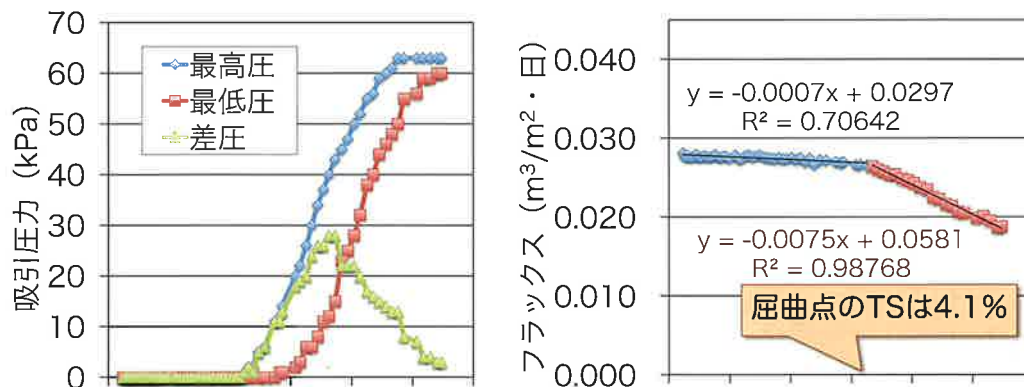
フラックスの青線と赤線の変わり目は、AIC (赤池の情報量規準) をもとに算出し、これを屈曲点としました。B施設では、開始直後からフラックスの低下が見られました。

フラックスは到達可能なTS濃度に影響します（図35）。フラックスを低く設定することによって、より高い濃縮が可能になりますが、生産する膜透過液あたりの膜面積が多くなるため、膜分離設備の規模が大きくなります。

開始フラックス $0.039\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$



開始フラックス $0.028\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$



開始フラックス $0.016\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$

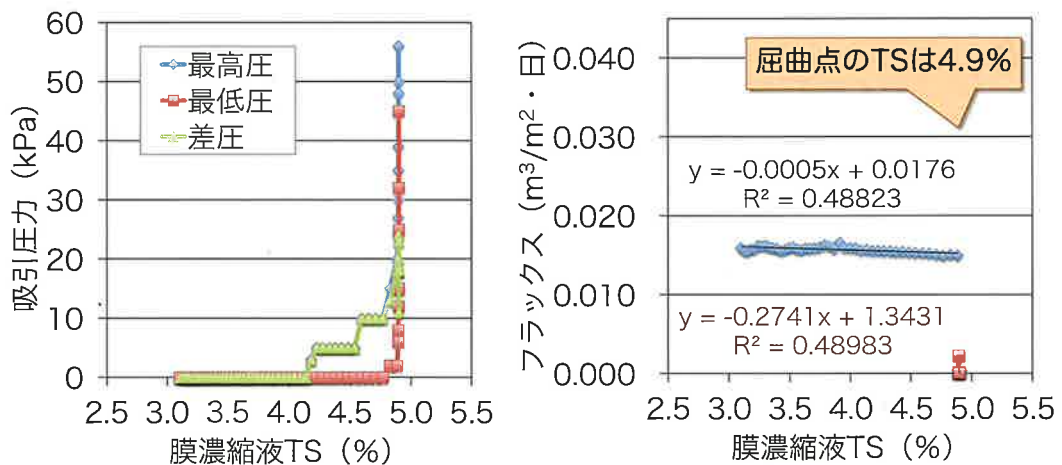


図35 H施設の消化液で初期フラックスを替えて膜分離したときの吸引圧とフラックス

B施設とS施設は、ほとんど膜分離できませんでしたが、図34に示す吸引圧が高くなった後、低いフラックス条件にした結果、引き続き膜分離ができました（図36）。しかし、B施設については、フラックスを下げても膜の性能保証負圧の20kPaを超える高い吸引圧が見られたことから、膜分離は困難だと考えられました。後述するように、B施設は高い粘度があり、これは膜分離に影響したものと思われます。

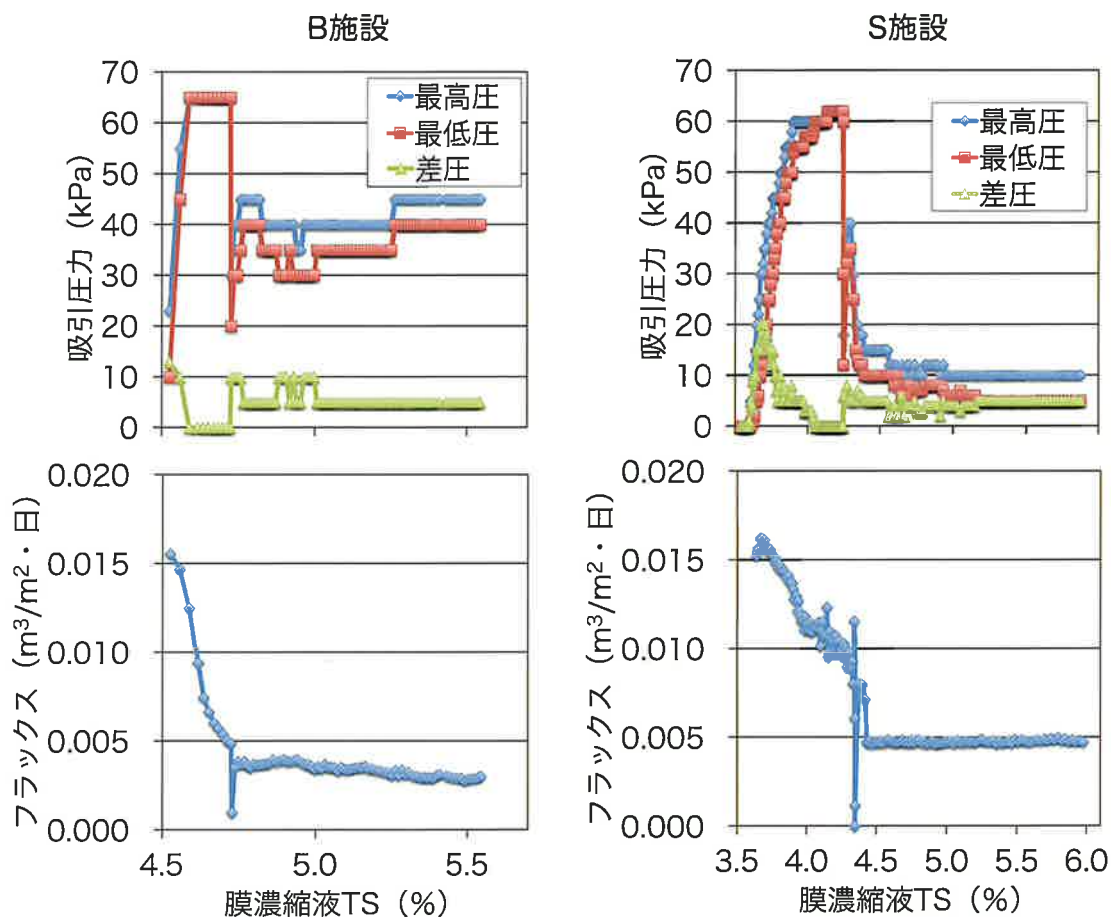


図36 低フラックスでの膜分離

7. 乾燥による濃縮

(1) 天日による乾燥

図32 (33ページ) の乾燥ハウスに水面積が 0.12m^2 ($42\text{cm}\times 28\text{cm}$) のステンレスバットを置き、これにT施設から調製した膜濃縮液を1~6cmの深さに入れ、乾燥速度を測定しました。その結果、深さに関係なく、乾燥が進んでも一定の割合で乾燥が進みました (図37)。重量の減少は相関係数が-1に近いことから直線的であり、乾燥速度は平均 $5.0\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ でした (表20)。

ある程度粘度を持った液体を乾燥する場合、ペースト状になってから乾燥速度が低下する場合があります。しかし、消化液の場合、そのような現象は見られませんでした。また、表面の乾燥が進み、かさぶた状になって乾燥が低下する場合がありますが、消化液では、そのような現象も深さ6cmまで見られませんでした (図37)。したがって、乾燥するまで直線的に重量が減少するとしてよいと思われれます。

この試験は畜環研の敷地内にて、平成23年7月4~26日に行ったものであり、この間の日平均気温は $20.7\sim 23.4^\circ\text{C}$ 、湿度 $35\sim 90\%$ 、10mmを超える降水のあった日が2日間だけと、乾燥に適した天候であったことから、乾燥に適した時期にのみ天日乾燥を行うのであれば $5.0\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ を見込めるが、年間通して天日乾燥するのであれば、堆肥舎と同等の $1.0\text{t}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ (文献20) を用いて施設規模を算定するべきです。

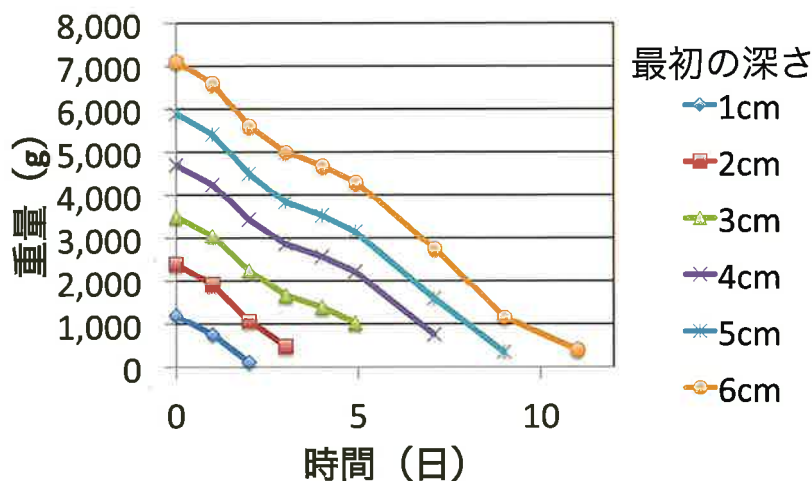


図37 天日乾燥における膜濃縮液の重量の減少

表20 膜濃縮液の天日乾燥速度におよぼす最初の液の深さの影響

| 最初の深さ | 1cm | 2cm | 3cm | 4cm | 5cm | 6cm |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 回帰直線の傾き | -0.546 | -0.661 | -0.518 | -0.543 | -0.607 | -0.621 |
| 相関係数 | -0.994 | -0.995 | -0.988 | -0.994 | -0.997 | -0.996 |
| 乾燥速度 ($\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{日}$) | 4.6 | 5.6 | 4.4 | 4.6 | 5.2 | 5.3 |

(2) 温風による乾燥

バイオガスによる発電のエンジン冷却廃熱と排ガス熱を乾燥に利用できます。これらの廃棄熱で暖めた温風で膜濃縮液を乾燥物にする設備について、下記の条件を想定して検討しました。

- 膜濃縮液の粘度が高いことからトンネル型乾燥機（図38）を使用
- 母豚1,000頭一貫経営のメタン発酵発電廃熱の50%（9.6GJ/日）を乾燥に使用
- 廃熱から温風への熱交換効率80%
- M施設の消化液の質とし、膜濃縮液は水温20°C、水分95%
- 乾燥物の水分10%
- 乾燥特性

熱伝導率30W/m²・K（一般的な乾燥機の値）

限界水分率0.201kg/kgDM（表面が乾燥する状態の水分、天日乾燥試験データ）

限界水分率0.13kg/kgDM（最も乾燥した状態の水分、乾燥物水分）

乾燥物比熱886J/kg・K（文献21）

以上の条件で乾燥に必要な乾燥機の構造を算出（文献22）した結果、この熱量では膜濃縮液1m³/日程度しか乾燥できませんでした。原料が家畜ふんのみでは原料あたりのガス発生量が少ないことから、機械乾燥は現実的でないと考えられました。しかし、食品残渣を原料としているB施設では、発電廃熱で全消化液を水分29%の半乾燥状態にできていたことから、ガス発生量の多い原料が含まれている場合には、機械乾燥も利用可能だと考えられます。

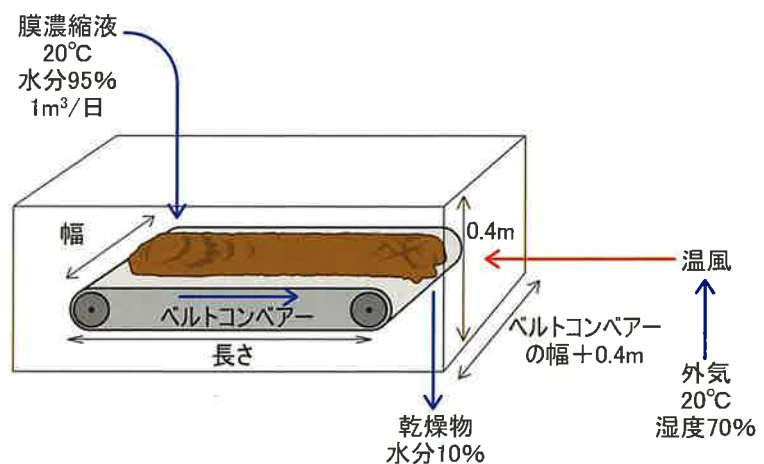


図38 想定した温風乾燥機のイメージ

膜濃縮液1m³/日を乾燥させるとして、風速と温風温度を変えた場合を検討した結果、風速は遅いほど、温風温度は高いほど、乾燥機の規模は小さくなりました（表21）。また、乾燥排気温度は、温風温度から大きく下がることはないので、この排気熱を循環利用することで、乾燥できる量を多くできる可能性があります。

表21 乾燥条件と乾燥機の構造と排気温度の関係

| 風速 (m/s) | 温風温度65°C | | | 温風温度50°C | | |
|-------------|----------|-------|--------------|----------|-------|--------------|
| | ベルトコンベアー | | 排気温度 (°C) | ベルトコンベアー | | 排気温度 (°C) |
| | 幅(m) | 長さ(m) | | 幅(m) | 長さ(m) | |
| 1 | 4.5 | 7.0 | 51.1 | 6.4 | 7.2 | 40.8 |
| 2 | 2.0 | 15.8 | 51.1 | 3.0 | 15.3 | 40.8 |
| 5 | 0.6 | 52.6 | 51.1 | 1.0 | 46.0 | 40.8 |

(3) 乾燥物の性状と成分

乾燥物は、硬度を持った数cm角の板状になりました（図39）。栽培試験に用いたT施設の乾燥物は、目開き5mmのハンマークラッシャーで粉碎しました。

乾燥物は、水分が非常に低くなりました（表22）。肥料成分等は、消化液の成分に依存するため、様々な値となりました。M施設、S施設、B施設は、発芽率が低くなりました。これらはECが高いことから、塩濃度が発芽率に影響したものと考えられます。これらの乾燥物を施用する場合は、過剰にならないように注意が必用と思われれます。



図39 乾燥途中（左）と乾燥後（右）のT施設の膜濃縮液

表22 乾燥物の成分および性状

| 施設記号 | 水分 | 灰分 | pH | EC | C/N比 | 窒素全量 | リン酸全量 | 加里全量 | 石灰全量 | 苦土全量 | 鉄全量 | マンガン全量 | 銅全量 | 亜鉛全量 | 発芽率 |
|------|-----|------|-----|-------|------|------|-------|------|------|------|---------|--------|-----|------|-----|
| | 現物% | | | mS/cm | | 現物% | | | | | mg/kg現物 | | | % | |
| M | 2.1 | 16.1 | 7.0 | 5.5 | 14.9 | 2.8 | 4.1 | 3.0 | 4.4 | 1.5 | 5,13 | 406 | 312 | 558 | 57 |
| H | 1.5 | 17.1 | 7.6 | 3.4 | 16.5 | 2.6 | 5.2 | 1.7 | 8.0 | 0.7 | 2,14 | 223 | 51 | 162 | 91 |
| S | 1.8 | 18.3 | 9.5 | 6.3 | 20.2 | 2.0 | 1.6 | 4.6 | 2.3 | 1.0 | 3,53 | 209 | 149 | 119 | 22 |
| B | 1.6 | 27.6 | 7.6 | 6.1 | 13.3 | 3.0 | 2.1 | 1.1 | 14.8 | 0.3 | 6,59 | 94 | 22 | 63 | 45 |
| T | 2.1 | 13.5 | 8.2 | 4.7 | 26.9 | 1.6 | 2.4 | 2.9 | 3.6 | 1.5 | 2,96 | 257 | 45 | 398 | 81 |

8. 膜分離液の硝酸化による改質

微生物によるアンモニアの硝酸への酸化（ここでは硝酸化と呼びます）に影響する主な要因として、微生物量、pH、曝気量、水温、アンモニア流入量があります。

(1) 微生物量

微生物量は、硝酸化槽内の汚泥量になります。多いほど硝酸化できるアンモニア量を多くできます。硝酸化に参与する細菌は増殖が遅いため、処理水として細菌が流出にしにくい方式として、ろ材に微生物膜を形成させる接触曝気法を採用しました。この方式は、汚泥を水中に浮遊させる方式に比べて汚泥の量がろ材の表面積によって決定されることから、管理が容易です。しかし、試験期間中の正確な汚泥量を把握することができません。使用したろ材は表面積比 $100\text{m}^2/\text{m}^3$ 、容積 107l であり、生物膜を厚さ 2mm で水分 98% とすると、ろ材体容積あたりの MLSS は $4,000\text{mg}/\text{l}$ になります。

(2) pH

硝酸化は下記の2段階の反応を経ます。

- ① アンモニア → 亜硝酸
- ② 亜硝酸 → 硝酸

一般に①の反応は②よりも速度が早く、亜硝酸が高濃度になると微生物活性を低下させるため、硝酸化処理の条件が不適切になると亜硝酸が蓄積して硝酸化が停止します。①の反応は pH8 前後に、②の反応は pH7 前後に活性のピークがあります (図40)。②の反応が①を上回り、十分な活性が見込める pH6.5~7.0 が亜硝酸が蓄積しにくく、硝酸化に適しています。

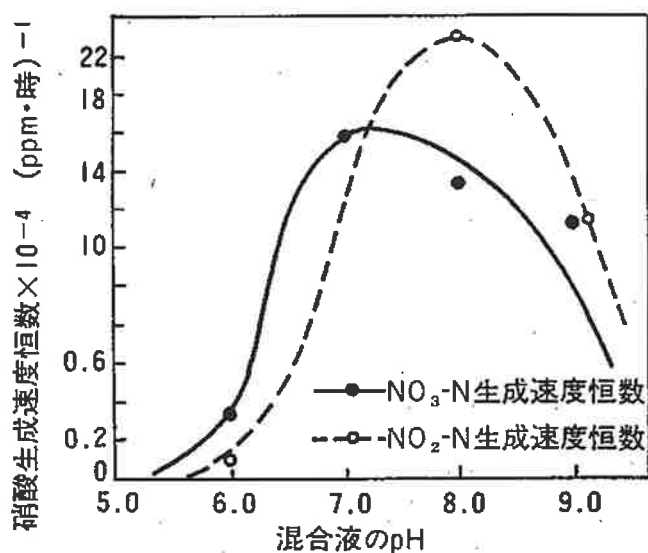


図40 pHと亜硝酸および硝酸の生成速度とpHの関係 (文献23から引用)

(3) 曝気量

曝気には、酸素の供給と槽内の液の攪拌の2つの役割があります。硝酸化の場合、アンモニア (アルカリ性) から硝酸 (酸性) への反応であることから、曝気の風量をpHが低下したら弱く、pHが上昇したら強くすることで、pHの調整に使用しました。結果として $65\sim 93\text{l}/\text{m}^3\cdot\text{分}$ (ろ材容積 1m^3 あたり1分間の空気量) の間の風量になりました。

(4) 水温

水温も硝酸化活性の重要なファクターであり、一般に 15°C 以下になると高い硝酸化活性が望めないとされています。メタン発酵施設では、熱源が豊富にあることから、硝酸化槽の水温を 25°C に維持するとしました。

(5) アンモニア流入量

pH6.5~7.0に曝気量で調整、水温25°Cの条件で、図31 (33ページ) に示した硝酸化槽にてT施設の膜透過液を硝酸化しました。この結果、消化液の投入速度が0.070kg/m³・日（ろ材容積1m³あたり1日に投入されるアンモニア態窒素量）では安定的に維持できました（図41）。投入速度を0.103kg/m³・日にしたところ、7日目から亜硝酸の蓄積が見られ、さらに0.150kg/m³・日に上げると急速に硝酸の低下、亜硝酸の上昇が起きました。この装置で処理可能なアンモニア態窒素量は、0.070~0.103kg/m³・日の間にあると考えられました。

仮に、消化液の投入速度を0.070kg/m³・日、MLSSを4,000mg/ℓとすると、窒素-MLSS負荷は0.0175kgN/kgMLSS・日になります。一般的な污水浄化処理施設は、0.04kgN/kgMLSS・日（文献24）程度の値に設定します。この値は脱窒槽も含むため、槽の半分で硝酸化できるとすれば0.08kgN/kgMLSS・日で十分であることとなります。この値は、今回の試験結果の4.6倍にもなります。今回の試験で、汚泥あたりの能力が低くなった原因として、想定したよりもろ材に付着した微生物が少なかった（馴養が十分でなかった）、消化液の膜透過液では、何らかの栄養塩（リンなど）が不足しており、細菌の増殖が抑制された、といったことが考えられます。

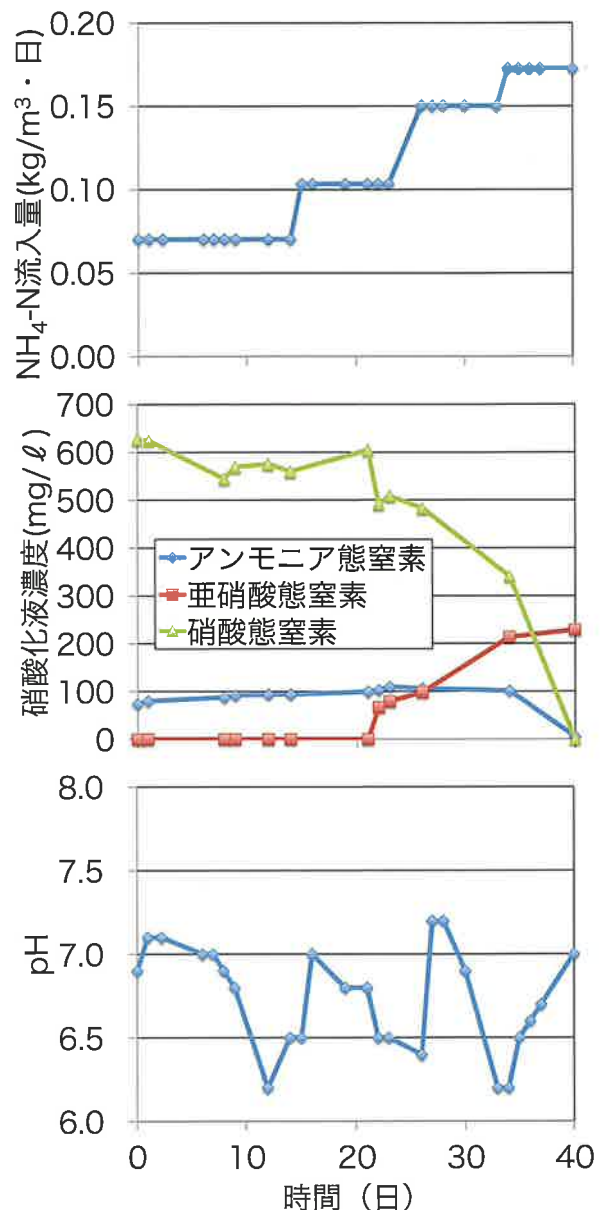


図41 硝酸化槽へのNH₄-N負荷が無機窒素濃度とpHに及ぼす影響

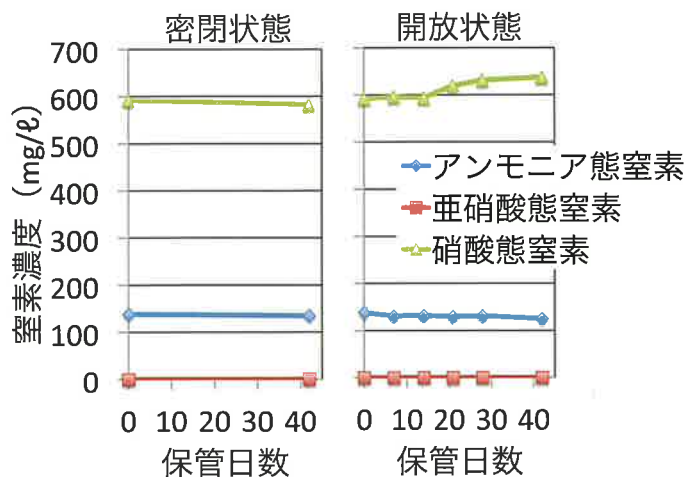


図42 硝酸化液の保管 (30°C) とその間の密閉・開放状態が無機態窒素成分に及ぼす影響

硝酸は、保管中に微生物の作用を受けて脱窒される可能性が考えられます。そこで、開放状態（雰囲気湿度は極力100%に維持）と密閉状態で、30°Cに静置したときの無機窒素濃度を測定した結果、開放状態で若干硝酸化が進みましたが、成分にはほとんど影響しませんでした（図42）。したがって、保管は容易だと考えられました。

9. 濃縮・改質による調製物の成分と性状

MF膜分離による膜透過液は、粘度が低く、取り扱い性が改善されました（表23）。S施設については、スクリーン透過液よりも膜濃縮液の粘度が若干低下し、MF膜分離処理の間の膜洗浄用の曝気的作用によって、固形分が沈澱しやすくなったためではないかと思われました。膜濃縮液は粘度が高く、施用時の取り扱いに工夫が必要だと思われました。

調製物の成分は、乾燥物では肥料成分が高まり、窒素のほとんどが有機態の窒素と考えられました（表24）。

表23 濃縮・改質による調製物の粘度（単位mPa・s）

| 施設記号 | スクリーン透過液 | 膜透過液 | 膜濃縮液 |
|------|----------|------|-------|
| M | 3.0 | 1.5 | 600.0 |
| H | 19.5 | 1.5 | 140.0 |
| B | 75.0 | 1.5 | 350.0 |
| S | 1,000.0 | 1.5 | 850.0 |
| T | 20.8 | 1.5 | 165.0 |

注) そのままでは測定できないサンプルがあったため、一晩静置した上澄を測定した。測定時の水温は25℃とした。

10. 濃縮・改質の物質収支

35ページに述べたように、スクリーン分離は、B施設は目開き2mmで、他は1mmです。MF膜分離については、39ページの述べたように、B施設とS施設は、通常のフラックスでは膜透過液が調製できなかったため、他よりも低いフラックスで調製しました。

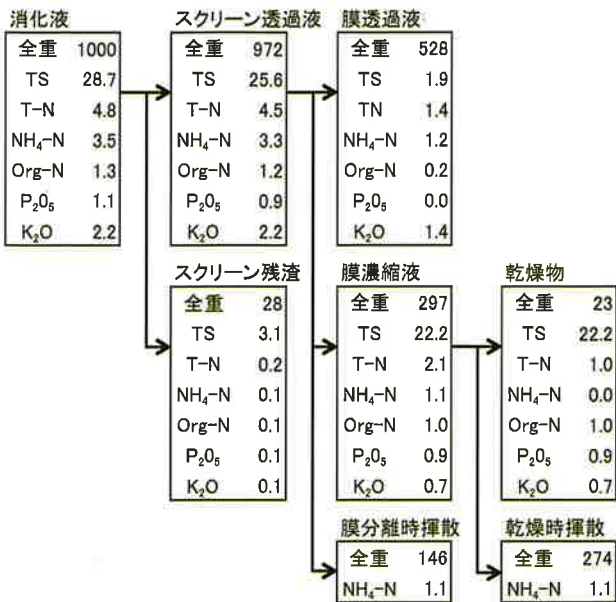
1000kg (1m³) の消化液に含まれる各成分の量 (kg/m³) の物質収支を図43に示しました。M施設は、膜透過液多く、膜分離に要する時間が長かったことが膜分離時のアンモニア態窒素の揮散が多くなった原因と考えられました。B施設とS施設は、消化液のTSが高かったですが、S施設は、多くがスクリーン残渣に移行したのに対し、B施設は、ほとんどが乾燥物に残存しました。結果として、B施設の乾燥物は量が多くなりました。また、B施設は、膜透過液が少ないため、乾燥時の揮散した全重量（ほとんどが水分）が多くなりました。B施設では、膜透過液にイオン態のリン酸 (PO₄²⁻) が見られ、他の消化液とリンの存在形態が違うと考えられました。アンモニア態窒素は、スクリーン残渣と膜透過液に回収された以外は、ほとんどが揮散して失われました。

消化液に含まれる各成分の量を100としたときの分配の比率を図44に示しました。膜透過液が多く分離できたM施設、H施設、T施設では、膜分離時のアンモニア態窒素の揮散が全量の約3割程度になりました。B施設は、膜透過液が少なかったため、アンモニア態窒素の多くが膜濃縮液に残り、乾燥時に揮散しました。S施設は、スクリーン残渣が多かったため、全ての成分について他よりも高い割合がスクリーン残渣として分離されました。

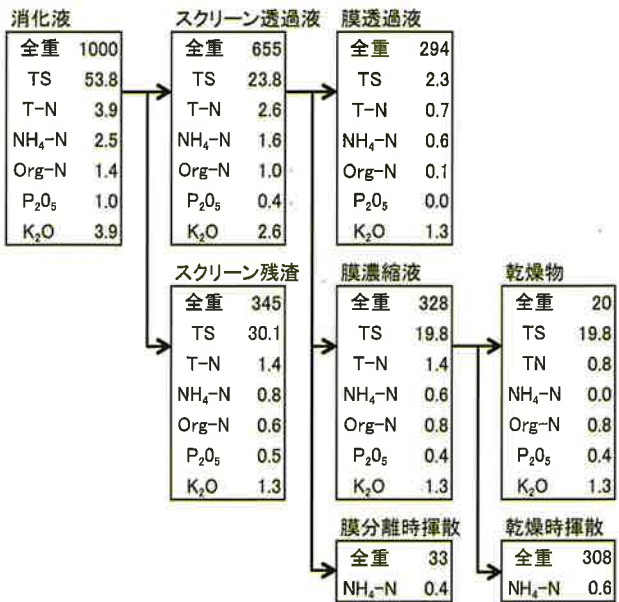
表24 濃縮・改質の調製物の成分（単位は現物あたりの％）

| 施設 記号 | 調製物 | 水分 | 蒸発 残留物 (TS) | 全窒素 (N) | アンモニア 態窒素 (NH ₄ -N) | リン酸 (P ₂ O ₅) | 加里 (K ₂ O) |
|----------|----------|------|-------------------|------------|--------------------------------------|---|--------------------------|
| M | 消化液 | 97.1 | 2.9 | 0.48 | 0.35 | 0.13 | 0.11 |
| | スクリーン透過液 | 97.4 | 2.6 | 0.47 | 0.34 | 0.13 | 0.10 |
| | スクリーン残渣 | 89.2 | 10.8 | 0.66 | 0.38 | 0.28 | 0.40 |
| | 膜透過液 | 99.6 | 0.4 | 0.26 | 0.22 | 0.03 | 0.00 |
| | 膜濃縮液 | 92.5 | 7.5 | 0.71 | 0.36 | 0.35 | 0.32 |
| | 乾燥物 | 2.1 | 97.9 | 4.56 | 0.00 | 4.56 | 4.14 |
| H | 消化液 | 98.4 | 1.6 | 0.33 | 0.22 | 0.11 | 0.07 |
| | スクリーン透過液 | 98.7 | 1.3 | 0.31 | 0.22 | 0.08 | 0.06 |
| | スクリーン残渣 | 90.1 | 9.9 | 0.40 | 0.22 | 0.18 | 0.44 |
| | 膜透過液 | 99.8 | 0.2 | 0.18 | 0.16 | 0.02 | 0.00 |
| | 膜濃縮液 | 97.4 | 2.6 | 0.40 | 0.19 | 0.20 | 0.14 |
| | 乾燥物 | 1.5 | 98.5 | 7.56 | 0.00 | 7.56 | 5.23 |
| B | 消化液 | 95.1 | 4.9 | 0.48 | 0.25 | 0.23 | 0.08 |
| | スクリーン透過液 | 95.5 | 4.5 | 0.47 | 0.25 | 0.23 | 0.08 |
| | スクリーン残渣 | 88.6 | 11.4 | 0.54 | 0.22 | 0.33 | 0.13 |
| | 膜透過液 | 99.4 | 0.6 | 0.21 | 0.20 | 0.01 | 0.06 |
| | 膜濃縮液 | 94.1 | 5.9 | 0.53 | 0.25 | 0.28 | 0.10 |
| | 乾燥物 | 1.8 | 98.2 | 4.69 | 0.00 | 4.69 | 1.59 |
| S | 消化液 | 94.6 | 5.4 | 0.39 | 0.25 | 0.14 | 0.10 |
| | スクリーン透過液 | 96.4 | 3.6 | 0.40 | 0.25 | 0.15 | 0.06 |
| | スクリーン残渣 | 91.3 | 8.7 | 0.40 | 0.24 | 0.16 | 0.16 |
| | 膜透過液 | 99.2 | 0.8 | 0.23 | 0.19 | 0.03 | 0.00 |
| | 膜濃縮液 | 94.0 | 6.0 | 0.43 | 0.20 | 0.23 | 0.13 |
| | 乾燥物 | 1.6 | 98.4 | 3.82 | 0.00 | 3.82 | 2.10 |
| T | 消化液 | 96.7 | 3.3 | 0.28 | 0.19 | 0.09 | 0.07 |
| | スクリーン透過液 | 96.9 | 3.1 | 0.28 | 0.19 | 0.09 | 0.07 |
| | スクリーン残渣 | 89.0 | 11.0 | 0.33 | 0.19 | 0.14 | 0.24 |
| | 膜透過液 | 99.6 | 0.4 | 0.12 | 0.10 | 0.02 | 0.00 |
| | 膜濃縮液 | 94.7 | 5.3 | 0.33 | 0.16 | 0.17 | 0.13 |
| | 乾燥物 | 2.1 | 97.9 | 3.13 | 0.00 | 3.13 | 2.38 |

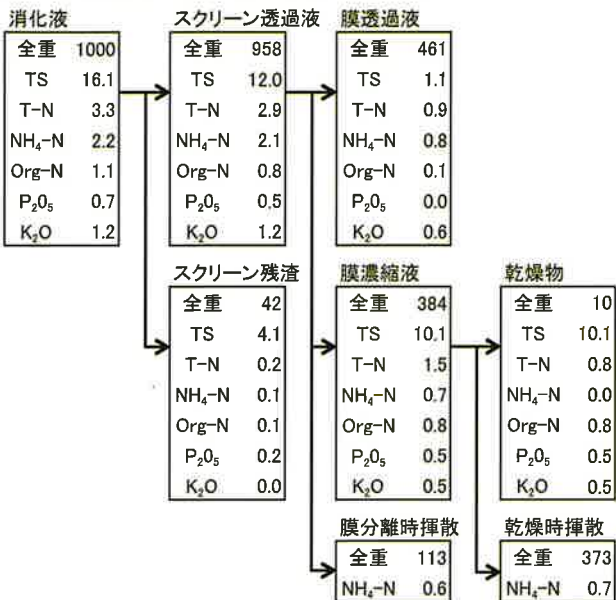
M施設(豚ふん尿のみ)



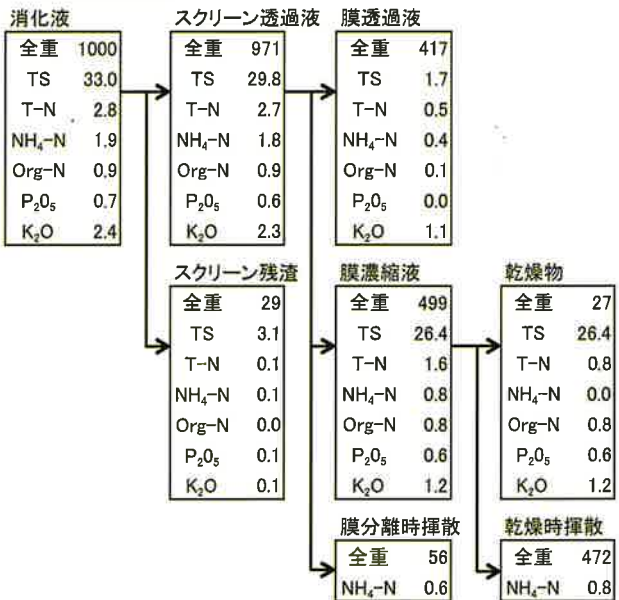
S施設(酪農ふん尿、敷料)



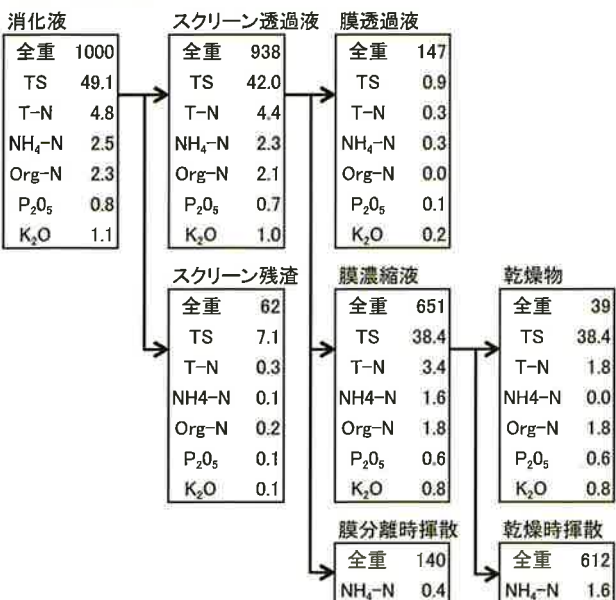
H施設(豚ふん尿、生ゴミ、集落排水汚泥、焼酎粕)



T施設(酪農ふん尿)



B施設(食品残渣)



それぞれの項目は下記の内容を意味しています。

全量：液体は液の重量、揮散物は揮散した水分などの重量、乾燥物は現物重量

TS：蒸発残留物

T-N：全窒素

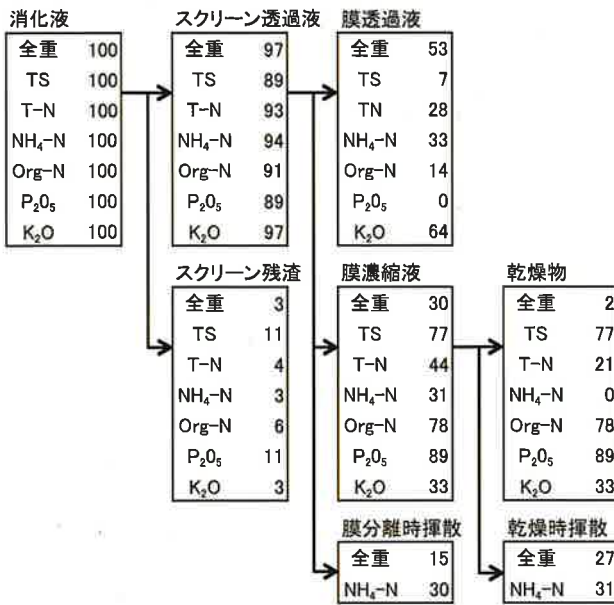
NH₄-N：アンモニア態窒素

Org-N：有機態窒素（全窒素からアンモニア態窒素を差し引いたもの、全体に渡って、アンモニア態窒素以外の無機窒素は見られなかった）

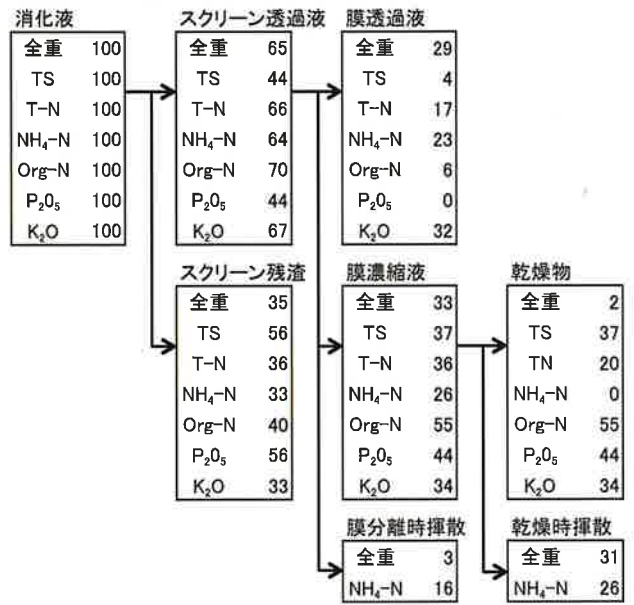
P₂O₅：全リン酸

図43 原料消化液1m³あたりの濃縮・改質による物質収支（単位kg/m³）

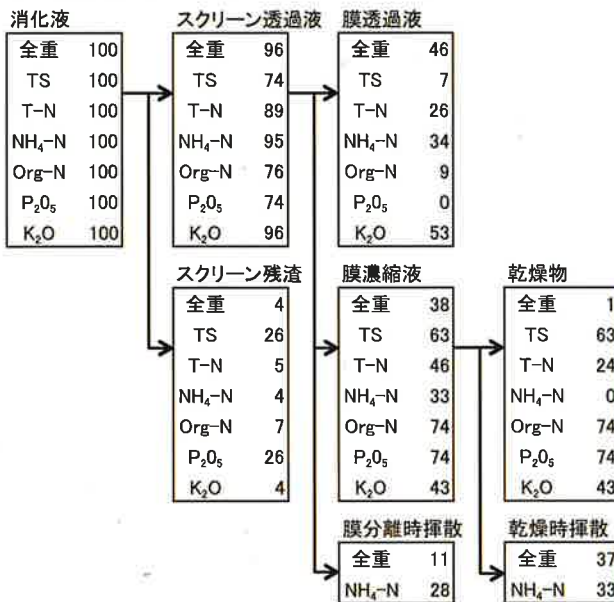
M施設(豚ふん尿のみ)



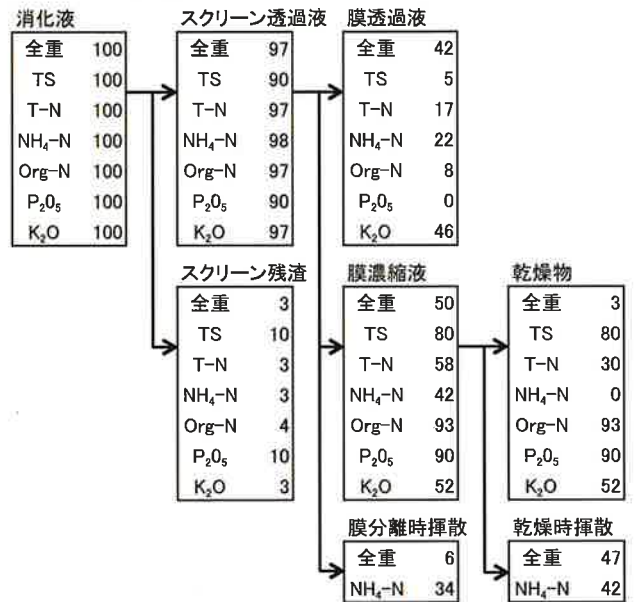
S施設(酪農ふん尿、敷料)



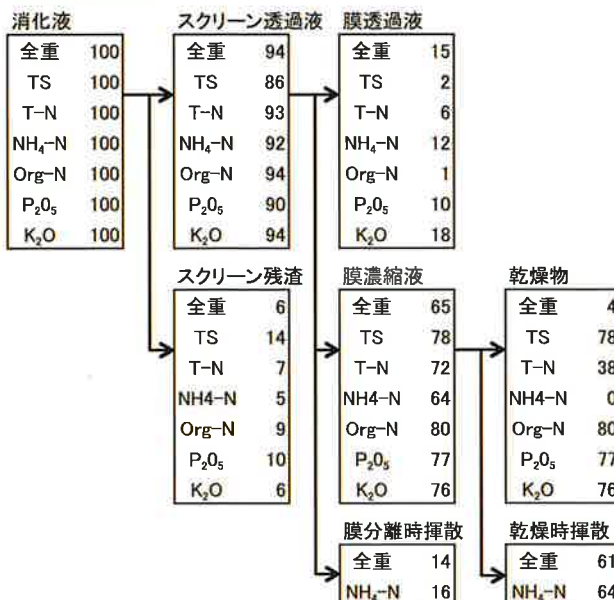
H施設(豚ふん尿、生ゴミ、集落排水汚泥、焼酎粕)



T施設(酪農ふん尿)



B施設(食品残渣)



それぞれの項目は下記の内容を意味しています。

全量：液体は液の重量、揮散物は揮散した水分などの重量、乾燥物は現物重量

TS：蒸発残留物

T-N：全窒素

NH₄-N：アンモニア態窒素

Org-N：有機態窒素（全窒素からアンモニア態窒素を差し引いたもの、全体に渡って、アンモニア態窒素以外の無機窒素は見られなかった）

P₂O₅：全リン酸

図44 原料消化液の各成分を100としたときの濃縮・改質による分配比率（単位%）

11. 栽培試験に使用した資材の成分

栽培試験には、T施設の消化液を原料とした資材を用いました（試験結果は次章以降）。

露地栽培に使用した資材では、乾燥物の窒素、リン酸、有効態窒素率に差が見られました（表25）。ハウレンソウ、コカブに使用した資材の調製に用いた消化液は、6m³のタンクに貯留している間に固形分の一部が分離し、攪拌が不十分な状態で上澄を使用したために、固形分に含まれる窒素やリン酸が少なくなった可能性が考えられました。水溶性の窒素が比率的に多くなったことが、有効態窒素率の増加につながったのではないかと考えられます。

灌水同時施肥栽培に使用した資材では、葉ネギに使用した膜透過液で、アンモニア態窒素の一部が硝酸化されていました（表26）。硝酸化槽の硝化細菌を含む飛沫が膜分離槽に入り、MF膜分離の間に作用したのではないかと考えられました。トマトの硝酸化液は、無機窒素のほとんどが亜硝酸になっていたことから、膜分離液を混合し、アンモニア態窒素と硝酸態窒素の比率1:1に近くなるようにしました。葉ネギの硝酸化液は、アンモニア態窒素と亜硝酸態窒素が含まれていたため、そのまま使用しました。

表25 露地栽培試験に使用した資材の成分

| 栽培品目 | 資材タイプ | 成分（現物%） | | | | 有効態窒素率（%） |
|---------------|-------|---------|--------|-------------------------------------|----------------------|-----------|
| | | 水分 | 全窒素（N） | リン酸（P ₂ O ₅ ） | 加里（K ₂ O） | |
| ニンジン バレイショ | 膜濃縮液 | 97.3 | 0.20 | 0.18 | 0.14 | 32.3 |
| | 乾燥物 | 11.7 | 4.20 | 5.90 | 4.66 | 14.6 |
| ハウレンソウ コカブ | 膜濃縮液 | 94.7 | 0.33 | 0.13 | 0.25 | 48.3 |
| | 乾燥物 | 2.1 | 1.62 | 2.38 | 4.63 | 45.5 |

表26 養液土耕試験に使用した資材の成分

| 栽培品目 | 資材タイプ | イオン濃度（mg/l） | | | | | | | 肥料成分（現物%） | |
|------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|-----|-----|-----|-----------|----------------------|
| | | NH ₄ -N | NO ₂ -N | NO ₃ -N | K | Cl | Na | Mg | 全窒素（N） | 加里（K ₂ O） |
| トマト | 膜透過液 | 1,152 | nd | nd | 2,012 | 886 | 458 | 111 | 0.12 | 0.24 |
| | 硝酸化液 | 371 | 9 | 438 | 2,015 | 926 | 480 | 115 | 0.08 | 0.24 |
| 葉ネギ | 膜透過液 | 842 | 124 | 82 | 2,141 | 902 | 482 | 52 | 0.10 | 0.26 |
| | 硝酸化液 | 269 | 246 | 763 | 1,781 | 789 | 387 | 120 | 0.13 | 0.21 |

（注）ndは測定限界以下、リン酸イオンと硫酸イオンは全て測定限界以下でした。

12. 濃縮・改質にかかるコスト

母豚1,000頭一貫経営の豚舎汚水をメタン発酵処理した消化液について、浄化処理した場合と濃縮・改質処理した場合の費用を試算した（表27）。消化液の処理費用で比較すると、浄化処理が50,139千円/年、濃縮・改質処理が38,085千円/年であり、24%減少した。メタン発酵部分の収入を差し引き、出荷豚あたりの処理費用で比較すると、浄化処理が1,006円/年、濃縮・改質処理が458円/年であり、54%減少した。

表27 消化液を浄化処理する場合と濃縮・改質処理する場合の費用の試算結果

- ・母豚1,000頭一貫経営を想定した。
- ・M施設（原料が豚のみ）の消化液成分を想定した。
- ・浄化処理はメタノール添加の循環脱窒法を想定した。
- ・堆肥化施設の維持管理費用は堆肥販売収入と同等とした。
- ・硝化処理と濃縮・改質処理の人件費は同等とした。
- ・膜透過液は運搬に係る経費と同等の価格で販売されるとした。
- ・乾燥物はペレット堆肥と同等の価格で販売するとした。

| 項目 | 値 | 単位 | 備考 |
|----------------------|----------|------------------------------------|---|
| 【諸元値】 | | | |
| 汚水量（消化液） | 72 | m ³ /日 | =7.2（ℓ/頭肥育豚・日）×1,000（頭母豚）×10 |
| 消化液BOD | 4,195 | mg/ℓ | 実測値 |
| 消化液T-N | 4,700 | mg/ℓ | 実測値 |
| スクリーン残渣TS | 10.8 | % | 実測値 |
| スクリーン透過液配分率 | 0.972 | m ³ /m ³ 消化液 | 実測値 |
| スクリーン残渣配分率 | 0.028 | m ³ /m ³ 消化液 | 実測値 |
| 膜透過液配分率 | 0.528 | m ³ /m ³ 消化液 | 実測値 |
| 膜濃縮液配分率 | 0.297 | m ³ /m ³ 消化液 | 実測値 |
| 乾燥物配分率 | 0.023 | m ³ /m ³ 消化液 | 実測値 |
| 電力単価 | 16 | 円/kWh | |
| 水槽製作単価 | 40,000 | 円/m ³ | |
| 減価償却年数 | 15 | 年 | |
| メタン発酵部分の収支（収入） | ¥28,010 | 千円/年 | メタン発酵施設設置費（発電施設含む）250,000(千円)、施設維持費5,186(千円/年)、売電量3,336(kWh/日)、売電単価40.95(円/kWh)から算出 |
| 【浄化処理する場合の費用】 | | | |
| 浄化処理施設設置費 | ¥200,000 | 千円 | =20,000（円/頭肥育豚）×1,000（頭母豚）×10 |
| 堆肥化処理施設設置費 | ¥77,500 | 千円 | =7,750（円/頭肥育豚）×1,000（頭母豚）×10 |
| 施設設置費総額 | ¥277,500 | 千円 | =浄化処理施設設置費+堆肥化処理施設設置費 |
| 減価償却費 | ¥18,500 | 千円/年 | =施設設置費総額/15（年） |
| 硝化槽曝気必要風量 | 64 | m ³ /分 | 全窒素を硝化するのに必要な風量として算出 |
| 硝化槽曝気電力消費量 | 878 | kWh/日 | =12.2（kW、新明和ヘリカルプロワARH150S、25m ³ /分・台）×3（台） |
| 硝化槽曝気電気料金 | ¥8,015 | 千円/年 | =878.4（kWh/日）×16（円/kWh）×365（日） |
| 脱窒槽容積 | 529 | m ³ | 全窒素と総窒素MLSS負荷0.04（kgN/kgMLSS・日）から硝化脱窒槽容積を算出し、半分を脱窒槽とした |
| 脱窒槽攪拌電力消費量 | 168 | kWh/日 | =7（kW、ツルミMR9032、80m ³ /分）×24時間 |
| 脱窒槽攪拌電気料金 | ¥981 | 千円/年 | =168（kWh/日）×16（円/kWh）×365（日） |
| 凝集剤消費量 | 19 | kg/日 | =1.93（ml/頭肥育豚・日、1.5%濃度で使用）×1,000（頭母豚）×10 |
| 凝集剤費 | ¥5,287 | 千円/年 | =19.3（kg/日）×750（円/kg）×365（日） |
| メタノール脱窒の窒素量 | 238 | kg/日 | 全窒素量-BOD量/3として算出 |
| メタノール消費量 | 594 | kg/日 | =238（kg/日）×2.5（kgMeOH/kgN） |
| メタノール費 | ¥17,356 | 千円/年 | =594（kg/日）×80（円/ℓ） |
| 消化液の浄化処理経費合計 | ¥50,139 | 千円/年 | =減価償却費+硝化槽曝気電気料金+脱窒槽攪拌電気料金+凝集剤費+メタノール費 |
| メタン発酵を含めた処理費用 | ¥1,006 | 円/頭出荷豚 | =(消化液の浄化処理経費合計-メタン発酵部分の収支（収入）)/（1,000（頭母豚）×22（頭出荷/頭母豚・年）） |

(表27の続き)

| 項目 | 値 | 単位 | 備考 |
|-------------------------|----------|-------------------|---|
| 【濃縮・改質処理する場合の費用】 | | | |
| スクリーン設備設置費 | ¥19,020 | 千円 | モリプラントスクリープレス8m ³ /hrタイプ2.2kw、処理前貯留槽（貯留3日分）と処理後水槽（貯留1日分）を含む |
| スクリーン残渣水分調整後容積 | 0.95 | m ³ /日 | スクリーン残渣配分率、スクリーン残渣TS、オガズ水分25（%）、調整後水分60（%）として算出 |
| 床面積 | 43 | m ² | 堆積期間90日、堆積高さ2（m）として算出 |
| 堆肥化施設設置費 | ¥2,140 | 千円 | =43（m ² ）×50,000（円/m ² ） |
| MF膜必要面積 | 4,751 | m ² | スクリーン分離液量とフラックス0.015（m ³ /m ² ・日）から算出 |
| MF膜分離設備費 | ¥151,004 | 千円 | 三菱レーヨンMF膜ユニットSUR334-210散気管つき（23器）、MF膜分離槽、膜透過液槽（貯留60日分）、膜濃縮液槽（貯留2日分）、ポンプ類、建家、据え付け費含む |
| 乾燥施設床面積 | 19,620 | m ² | 膜濃縮液量、乾燥物量、乾燥速度1（ℓ/m ² ・日）から算出 |
| 乾燥施設設置費 | ¥106,098 | 千円 | 乾燥ハウス単価5,000（円/m ² ）として算出、破碎ふるい分け設備含む |
| 脱臭処理風量 | 369 | m ³ /分 | MF膜分離設備と乾燥ハウス施設の排気 |
| 脱臭設備設置費 | ¥134,000 | 千円 | 松下空調エンジニアリングロックウール設備4設備 |
| 施設設置費総額 | ¥535,941 | 千円 | 上記設置費合計+諸経費（30%） |
| 減価償却費 | ¥35,729 | 千円/年 | =施設設置費総額/15（年） |
| スクリーン設備維持費用 | ¥416 | 千円/年 | 電気料金、消耗部材交換費 |
| MF膜交換費用 | ¥5,520 | 千円/年 | 3年に1回交換とした |
| MF膜薬液洗浄液（0.5%）消費量 | 49 | m ³ /年 | 年に4回洗浄するとした |
| MF膜曝気洗浄空気量 | 42 | m ³ /分 | メーカー推奨値 |
| MF膜分離維持費用 | ¥9,191 | 千円/年 | =MF膜交換費用+MF膜薬液費+MF膜洗浄曝気電気料金 |
| 乾燥施設維持費用 | ¥190 | 千円/年 | 破碎ふるい設備の電気料金と消耗部材交換費 |
| 脱臭設備電気料金 | ¥2,278 | 千円/年 | ブロワ電気料金 |
| 乾燥物販売価格 | ¥15,000 | 円/m ³ | ペレット堆肥と同等とした |
| 乾燥物販売収入 | ¥9,719 | 千円/年 | =乾燥物量×乾燥物販売価格 |
| 消化液の濃縮・改質処理経費合計 | ¥38,085 | 千円/年 | =減価償却費+スクリーン設備維持費用+MF膜分離維持費用+乾燥施設維持費用+脱臭設備電気料金-乾燥物販売収入 |
| メタン発酵を含めた処理費用 | ¥458 | 円/頭出荷豚 | =（消化液の濃縮・改質処理経費合計-メタン発酵部分の収支（収入））/（1,000（頭母豚）×22（頭出荷/頭母豚・年）） |

13. 濃縮・改質に当たっての注意点

今回用いた濃縮・改質の技術は、下記の注意すべき点があります。

- B施設やS施設のような年度の高い消化液ではMF膜分離処理ができません。
- 消化液の質によっては、MF膜分離時に発生する泡が問題となることがあります。この場合は消泡機等の導入が必要です。
- 膜分離液は、保管中に亜硝酸化が進むことがあります。この場合、亜硝酸は野菜栽培で問題になることはありませんが、窒素成分をアンモニア濃度だけで評価できません。
- 膜濃縮液は粘度が高いため、スネークポンプ等の高粘度対応のポンプが必要です。
- 乾燥物は水に入れても溶解しません。乾燥物を製品として販売する場合、水分を吸って変質する可能性が低い反面、処理施設内の配管等で乾燥物が蓄積し、トラブルの原因となります。

第3章 濃縮による露地栽培利用

露地栽培の試験は、消化液の膜分離による濃縮液と、その乾燥物を利用し、2012年に千葉県香取市で実施しました。土壌は、表層腐植質黒ボク土です。栽培品目は、根菜類、いも類、葉菜類を対象とし、春作（2月～6月）がニンジンとバレイショ、秋作（9月～10月）がホウレンソウとコカブとしました（図45、図46）。ここでは、その試験事例を紹介します。



図45 春作の栽培状況（生育期：5月20日）



図46 秋作の栽培状況（収穫期：10月22日）

1. 栽培試験の概要

(1) 試験区

濃縮液と乾燥物の利用の適否を判断するため、窒素施肥量を基準として、6つの試験区を設けました。

①化学肥料区

化学肥料を用い、千葉県標準的な施肥量で栽培した試験区です。この区が濃縮液と乾燥物の利用の適否を判断する基準になります。

②濃縮液区、③乾燥物区

化学肥料区と同量の窒素施肥量を濃縮液または乾燥物で全量代替した試験区です。

④濃縮特栽区、⑤乾燥特栽区

濃縮液または乾燥物のみでは、肥料的効果が期待できない場合も想定されたため、特別栽培基準の範囲内で化学肥料を加えた試験区です。補足する化学肥料の量は、濃縮液または乾燥物の窒素肥効率を考慮して設定しました。

⑥無窒素区

窒素は施用せず、化学肥料を用いて、リン酸と加里のみで栽培した試験区です。上記5つの試験区の窒素肥料としての効果をみる指標になります。

(2) 施肥設計

濃縮液と乾燥物は、春作と秋作で製造時期が異なり、各肥料成分、窒素肥効率が変わりました（表28）。

現物の施用量と施肥分量は、春作が表29、秋作が表30になります。

化学肥料は、窒素質肥料に硫安（窒素成分：21%）、リン酸質肥料に熔リン（リン酸成分：20%）、加里質肥料に硫加（加里成分：50%）を用いました。

濃縮液と乾燥物の施用量は、両資材に含まれる窒素成分から決定しました。窒素施肥分量のうち、無機態窒素量は両資材の窒素肥効率から算出しました。

各試験区のリン酸施肥量は同量となるように化学肥料で調整しました。加里施肥量は、乾燥物区と乾燥特栽区では、乾燥物に含まれる加里成分が高く、窒素に合わせると他の区に比べて高くなりました。

表28 濃縮液および乾燥物の肥料成分と窒素肥効率

| 資材名 | 作期 | 肥料成分 (%) | | | 窒素肥効率 (%) |
|-----|----|----------|------|------|-----------|
| | | 窒素 | リン酸 | 加里 | |
| 濃縮液 | 春作 | 0.20 | 0.18 | 0.14 | 32.3 |
| | 秋作 | 0.33 | 0.13 | 0.25 | 48.4 |
| 乾燥物 | 春作 | 4.20 | 5.90 | 4.66 | 14.6 |
| | 秋作 | 1.62 | 2.38 | 4.63 | 45.5 |

表29 春作のニンジンとバレイショ栽培における施用量

| 試験区 | 10 a あたり現物施用量 | | | | | 施肥成分量 (kg/10a) | | |
|------|---------------|----------|---------|----------|---------|----------------|------|------|
| | 濃縮液 (ℓ) | 乾燥物 (kg) | 硫安 (kg) | 熔リン (kg) | 硫加 (kg) | 窒素(無機態) | リン酸 | 加里 |
| 化学肥料 | - | - | 48 | 125 | 20 | 10.0 (10.0) | 25.0 | 10.0 |
| 濃縮液 | 5,000 | - | - | 80 | 6 | 10.0 (3.2) | 25.0 | 10.0 |
| 乾燥物 | - | 238 | - | 55 | - | 10.0 (1.5) | 25.0 | 11.1 |
| 濃縮特栽 | 5,000 | - | 32 | 80 | 6 | 16.8 (10.0) | 25.0 | 10.0 |
| 乾燥特栽 | - | 238 | 36 | 55 | - | 17.5 (9.0) | 25.0 | 11.1 |
| 無窒素 | - | - | - | 125 | 20 | 0.0 (0.0) | 25.0 | 10.0 |

表30 秋作のホウレンソウとコカブ栽培における施用量

| 試験区 | 10 a あたり現物施用量 | | | | | 施肥成分量 (kg/10a) | | |
|------|---------------|----------|---------|----------|---------|----------------|------|------|
| | 濃縮液 (ℓ) | 乾燥物 (kg) | 硫安 (kg) | 熔リン (kg) | 硫加 (kg) | 窒素(無機態) | リン酸 | 加里 |
| 化学肥料 | - | - | 48 | 73 | 20 | 10.0 (10.0) | 14.7 | 10.0 |
| 濃縮液 | 3,060 | - | - | 54 | 5 | 10.0 (4.8) | 14.7 | 10.0 |
| 乾燥物 | - | 616 | - | - | - | 10.0 (4.5) | 14.7 | 28.5 |
| 濃縮特栽 | 3,060 | - | 25 | 54 | 5 | 15.2 (10.0) | 14.7 | 10.0 |
| 乾燥特栽 | - | 616 | 26 | - | - | 15.5 (10.0) | 14.7 | 28.5 |
| 無窒素 | - | - | - | 73 | 20 | 0.0 (0.0) | 14.7 | 10.0 |

2. ニンジン栽培の結果

ニンジン、トンネルマルチ栽培で行いました。2012年2月20日に施肥し、2月22日に播種しました。栽植様式は、ベッド幅120cm（条間12cm、株間13cm）の8条播き、通路幅60cmです。品種には「愛紅」を用い、6月14日に収穫しました。

(1) 根重の推移

生育期間中の根重は、化学肥料区に比べて、無窒素区が少なく、他の4区は同程度以上に推移しました（図47）。

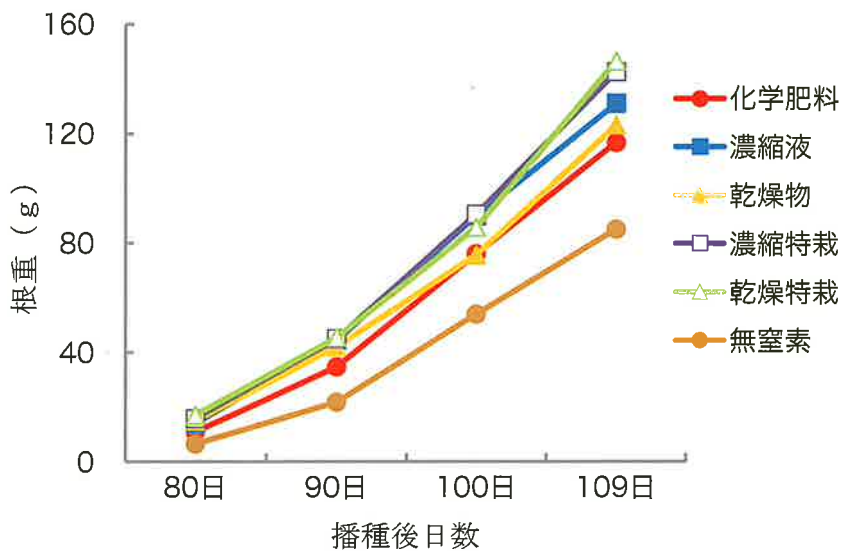


図47 ニンジン栽培における根重の推移

(2) 収穫時の生育

濃縮液区と乾燥物区は、化学肥料区に比べて、葉重が少なく、根重が多い傾向でした。濃縮特裁区と乾燥特裁区は、他の区に比べて葉重と根重がいずれも多い状況でした（図48）。

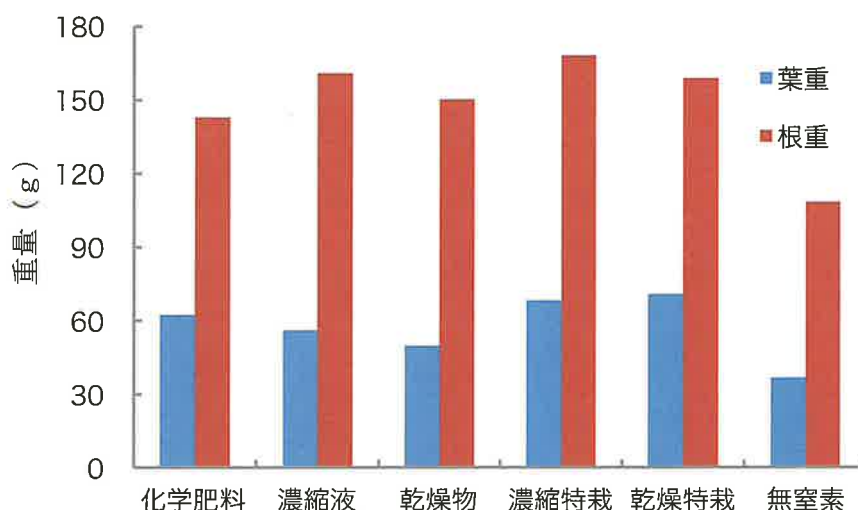


図48 ニンジン栽培における収穫時の葉重と根重

(3) 収量と外観品質

濃縮液区と乾燥物区は、化学肥料区に比べて、総収量が多く、上物収量も同程度以上に得られました。また、化学肥料区に対して、目立った障害の発生はみられませんでした（図49、図50、表31）。

濃縮特栽区と乾燥特栽区は、濃縮液区と乾燥物区に比べて、総収量が多いものの、上物収量は少ない傾向でした（図50）。



図49 ニンジンの収穫株

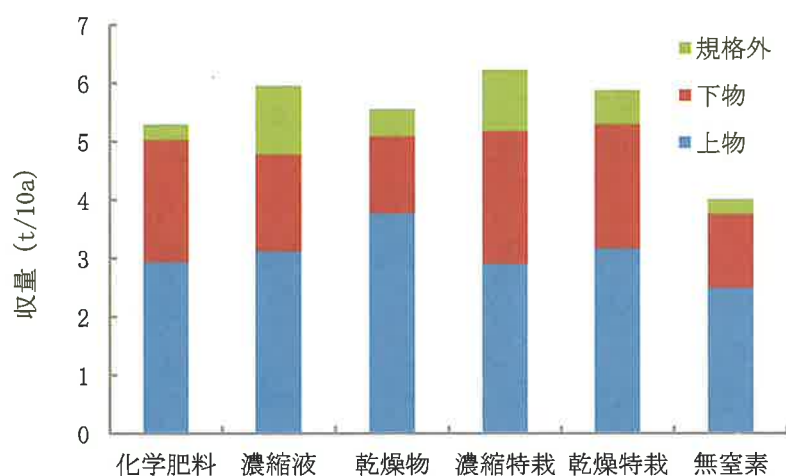


図50 ニンジン栽培における収量

表31 ニンジン栽培における障害等の発生状況

| 試験区 | 障害等の発生率(%) | | | | |
|------|------------|----|----|-----|-----|
| | しみ症 | 裂根 | 岐根 | 曲がり | その他 |
| 化学肥料 | 15 | 0 | 2 | 25 | 2 |
| 濃縮液 | 10 | 6 | 4 | 21 | 2 |
| 乾燥物 | 10 | 2 | 4 | 15 | 4 |
| 濃縮特栽 | 27 | 0 | 4 | 19 | 8 |
| 乾燥特栽 | 4 | 0 | 8 | 21 | 10 |
| 無窒素 | 4 | 0 | 6 | 23 | 6 |

(4) 土壌中の無機態窒素含量、土壌pH

無機態窒素含量は、作付け前が1.0mg/100g程度、収穫時が各区とも1.1mg/100g以下と少ない状況でした（図51）。

土壌pH（H₂O）は、作付け前が6.0、収穫時が各区とも5.9～6.0の範囲で、変動はみられませんでした。

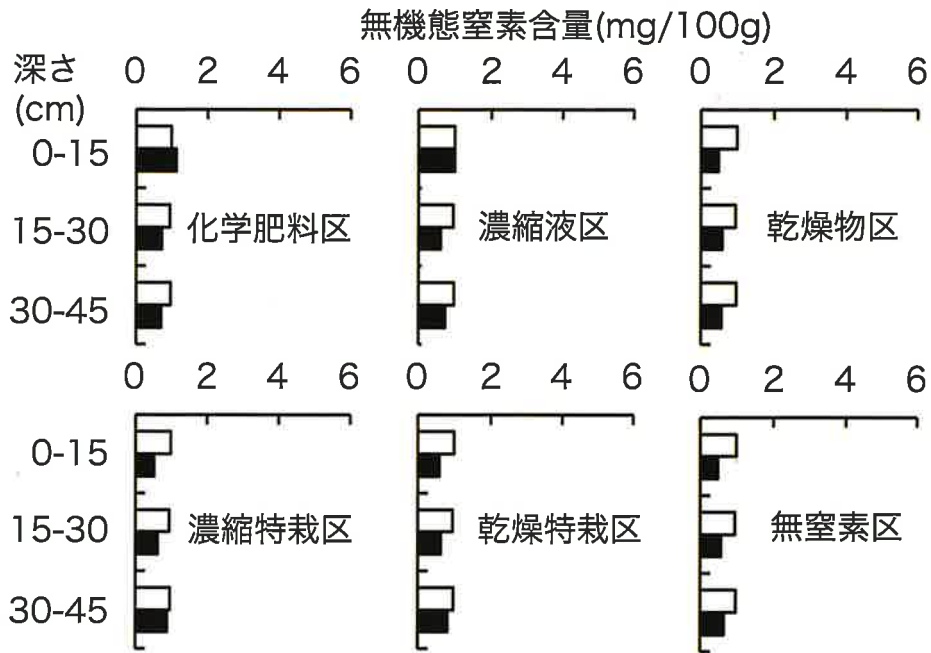


図51 ニンジン栽培における作付け前と収穫時の土壌中無機態窒素含量
注) 白が作付け前、黒が収穫時を示す

3. バレイショ栽培の結果

バレイショは、マルチ栽培で行いました。2012年2月20日に施肥し、2月28日に植付けました。栽植様式は、畦幅90cm、株間30cmの1条植えです。品種には「トヨシロ」を用い、6月26日に収穫しました。

(1) 葉色の推移

生育期間中において、葉色の濃淡を表わすSPAD値は、化学肥料区に比べて、濃縮液区と乾燥物区が低めで淡く、濃縮特栽区と乾燥特栽区が高めで濃く推移しました（図52）。

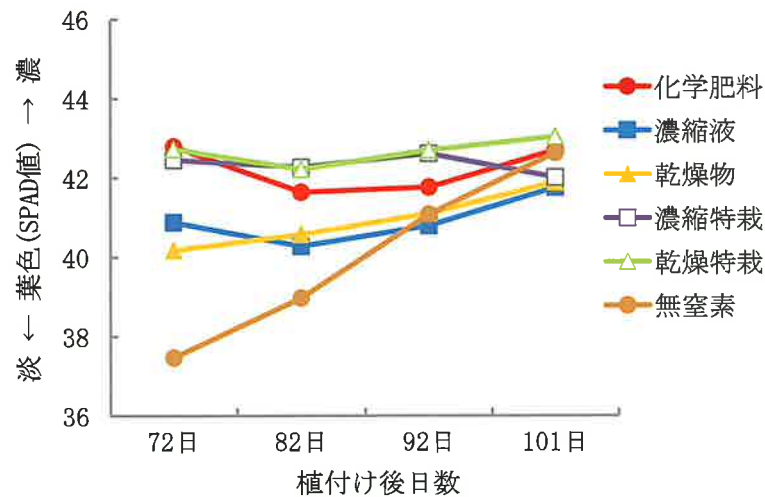


図52 バレイショ栽培における葉色 (SPAD値) の推移
注) SPAD値は、葉色の濃淡を表わす

(2) 地上部重

植付け後108日（6月15日）における地上部重は、化学肥料区に比べて、濃縮液区、乾燥物区、濃縮特栽区、乾燥特栽区のいずれも少ない状況でした（図53）。

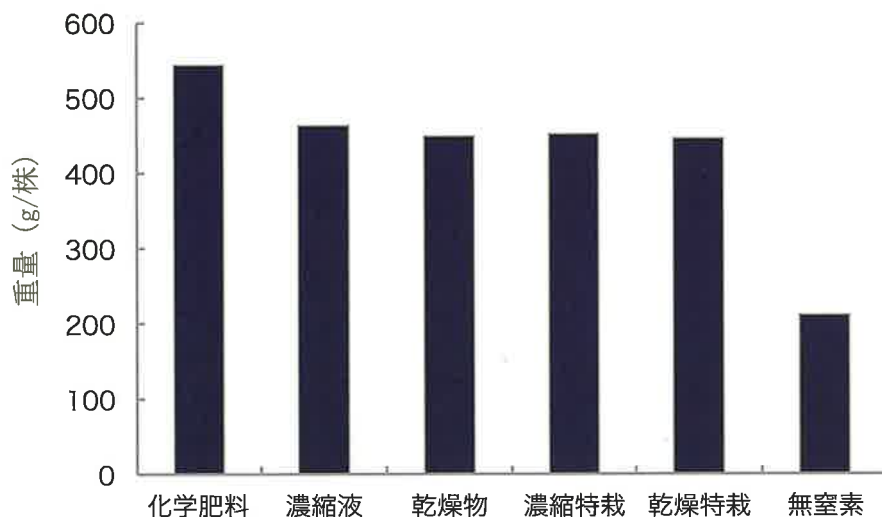


図53 バレイショ栽培における地上部重

(3) 収量と外観品質

濃縮液区と乾燥物区は、化学肥料区に比べて、総いも重が少なく、かつ腐敗いもや変形いもの発生率が高く、上いも重も少ない状況でした（図54、表32、表33）。

濃縮特栽区と乾燥特栽区は、濃縮液区と乾燥物区に比べて、総いも重は多いものの、化学肥料区と比べた腐敗いもの発生率は、同様に高い状況でした（表32、表33）。



化学肥料区

濃縮液区

乾燥物区

図54 バレイシヨの規格別収穫いも

(左上：2L、右上：L、左中：M、右中：S、左下：障害等、右下：屑)

表32 バレイシヨ栽培における収量

| 試験区 | 総いも重 (kg/10a) | 上いも重 (kg/10a) | 上いも率 (%) | 平均いも 1個重 (g) | 株あたり いも数 (個) |
|------|------------------|------------------|-------------|--------------------|--------------------|
| 化学肥料 | 4,570 | 1,843 | 40 | 138 | 8.9 |
| 濃縮液 | 4,198 | 1,517 | 36 | 131 | 8.8 |
| 乾燥物 | 3,938 | 1,346 | 34 | 119 | 8.9 |
| 濃縮特栽 | 4,819 | 1,662 | 34 | 124 | 10.5 |
| 乾燥特栽 | 4,406 | 1,840 | 42 | 135 | 8.8 |
| 無窒素 | 2,791 | 1,551 | 56 | 99 | 7.7 |

注) 上いもは、S~L(50~199g)の範囲で、商品性の優れるいも

表33 バレイショ栽培における障害等の発生状況

| 試験区 | 障害等の発生率(%) | | | |
|------|------------|----|------|----|
| | 腐敗 | 変形 | そうか病 | 裂開 |
| 化学肥料 | 9 | 9 | 4 | 0 |
| 濃縮液 | 13 | 10 | 8 | 0 |
| 乾燥物 | 18 | 20 | 5 | 1 |
| 濃縮特栽 | 23 | 9 | 4 | 1 |
| 乾燥特栽 | 16 | 8 | 2 | 0 |
| 無窒素 | 8 | 9 | 7 | 0 |

(4) 土壌中の無機態窒素含量、土壌pH

無機態窒素含量は、作付け前が1.0mg/100g程度、収穫時が各区とも1.0mg/100g以下と少ない状況でした(図55)。

土壌pH (H₂O) は、作付け前が6.0、収穫時が各区とも5.9~6.0の範囲で、変動はみられませんでした。

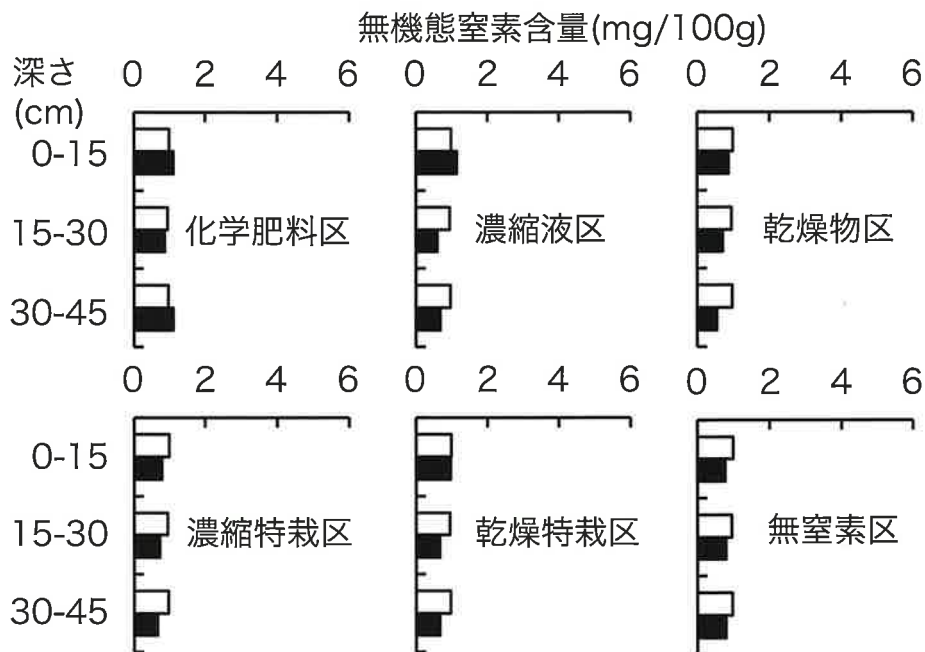


図55 バレイショ栽培における作付け前と収穫時の土壌中無機態窒素含量
注) 白が作付け前、黒が収穫時を示す

4. ホウレンソウ栽培の結果

ホウレンソウは、露地栽培で行いました。春作のニンジン跡地の圃場で、2012年8月31日に施肥し、9月5日に播種しました。栽植様式は、ベッド幅120cm（条間17cm、株間5cm）の6条播き、通路幅60cmです。品種には「ミストラル」を用い、10月19日に収穫しました。

(1) 生育

ホウレンソウの生育量は、9月29日（播種後24日）では、化学肥料区に比べて、濃縮液区、乾燥物区、濃縮特栽区、乾燥特栽区ともに同等以上、10月19日（収穫時）では、多い状況でした。葉色（SPAD値）は、各区とも同程度でした（表34）。

表34 ホウレンソウ栽培における生育状況

| 試験区 | 葉数 (枚) | | 葉長 (cm) | | 葉重 (g) | | 葉色 (SPAD値) |
|------|-----------|-------|------------|-------|-----------|-------|---------------|
| | 9/29 | 10/19 | 9/29 | 10/19 | 9/29 | 10/19 | 10/19 |
| 化学肥料 | 6 | 14 | 11 | 28 | 3 | 27 | 39 |
| 濃縮液 | 6 | 16 | 12 | 32 | 4 | 42 | 39 |
| 乾燥物 | 6 | 16 | 13 | 40 | 5 | 69 | 39 |
| 濃縮特栽 | 6 | 16 | 11 | 34 | 3 | 46 | 40 |
| 乾燥特栽 | 7 | 16 | 14 | 38 | 6 | 66 | 38 |
| 無窒素 | 6 | 12 | 9 | 20 | 2 | 16 | 38 |

(2) 収量

濃縮液区と乾燥物区は、化学肥料区に比べて、いずれも収量が多く、特に乾燥物区が多収でした（図56、図57）。また、障害等の発生はみられませんでした。

濃縮特栽区は、濃縮液区に比べて収量は多かったものの、乾燥特栽区は、乾燥物区に比べて収量は少ない状況でした。また、両特栽区においても、乾燥特栽区の収量が優りました（図57）。



図56 ホウレンソウの収穫株

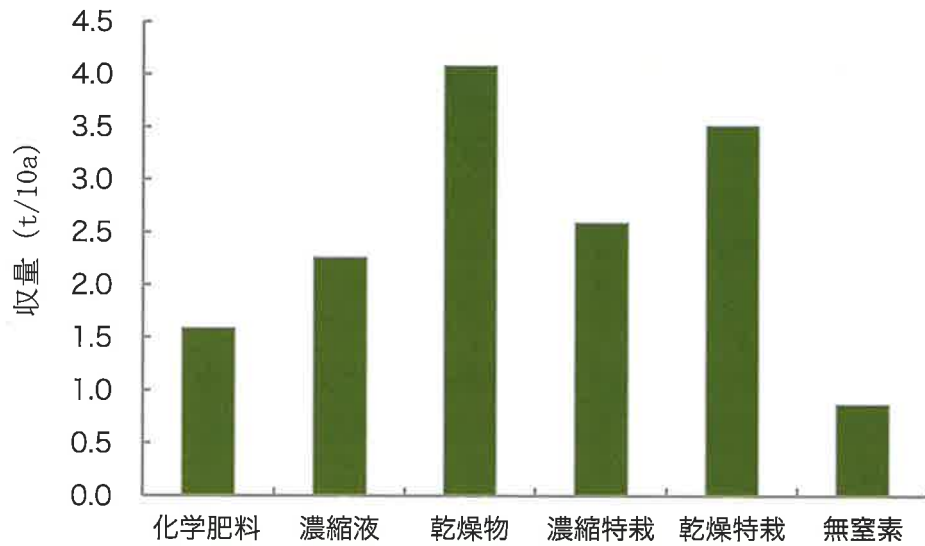


図57 ホウレンソウ栽培における収量
注) 収量は、古葉を除いた調製株の総重量

(3) 土壌中の無機態窒素含量、土壌pH

無機態窒素含量は、作付け前が各区とも1.1mg/100g以下でした。収穫時は、無窒素区が1.4~2.1mg/100gで、他の区が1.4~2.5mg/100gと同程度でした(図58)。

土壌pH (H₂O) は、作付け前が5.9~6.0でした。収穫時は、化学肥料区と無窒素区が6.2、他の区が6.2~6.4の範囲で、濃縮液と乾燥物の連用による影響は小さい状況でした。

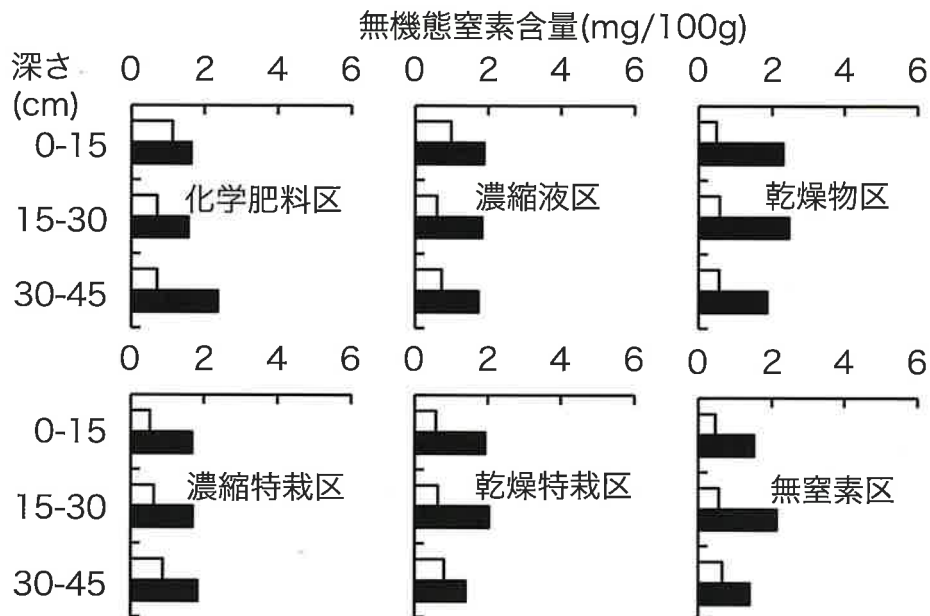


図58 ホウレンソウ栽培における作付け前と収穫時の土壌中無機態窒素含量
注) 白が作付け前、黒が収穫時を示す

5. コカブ栽培の結果

コカブは、防虫ネットを用いたトンネル栽培で行いました。春作のバレイショ跡地の圃場で、2012年8月31日に施肥し、9月6日に播種しました。栽植様式は、ベッド幅120cm（条間15cm、株間15cm）の8条播き、通路幅60cmです。品種には「CR白涼」を用い、10月19日に収穫しました。

(1) 生育

コカブの生育量は、9月29日（播種後23日）では、化学肥料区に比べて、濃縮液区、乾燥物区、濃縮特栽区、乾燥特栽区ともに同等以上で、10月19日（収穫時）も同様な状況でした（表35）。

表35 コカブ栽培における生育状況

| 試験区 | 葉重(g) | | 根径(mm) | | 根重(g) | |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | 9/29 | 10/19 | 9/29 | 10/19 | 9/29 | 10/19 |
| 化学肥料 | 12 | 70 | 16 | 56 | 2 | 79 |
| 濃縮液 | 13 | 78 | 17 | 59 | 3 | 87 |
| 乾燥物 | 14 | 79 | 16 | 57 | 3 | 80 |
| 濃縮特栽 | 15 | 97 | 18 | 59 | 3 | 91 |
| 乾燥特栽 | 19 | 89 | 20 | 59 | 4 | 90 |
| 無窒素 | 10 | 65 | 14 | 56 | 2 | 76 |

(2) 収量と外観品質

濃縮液区は、化学肥料区に比べて、総収量と可販収量が多いものの、亀裂褐変症の発生がみられ、上物収量は同程度でした。乾燥物区は、化学肥料区に比べて、総収量が多いものの、裂根の発生率が高く、上物収量は少ない状況でした（図59、図60、表36）。

濃縮特栽区は、濃縮液区に比べて、総収量と上物収量が多く、裂根の発生率がやや高い状況でした。乾燥特栽区は、乾燥物区に比べて、総収量が多いものの、さらに裂根の発生率が高く、上物収量が少ない状況でした（図60、表36）。



化学肥料区

濃縮液区

乾燥物区

図59 コカブの収穫株

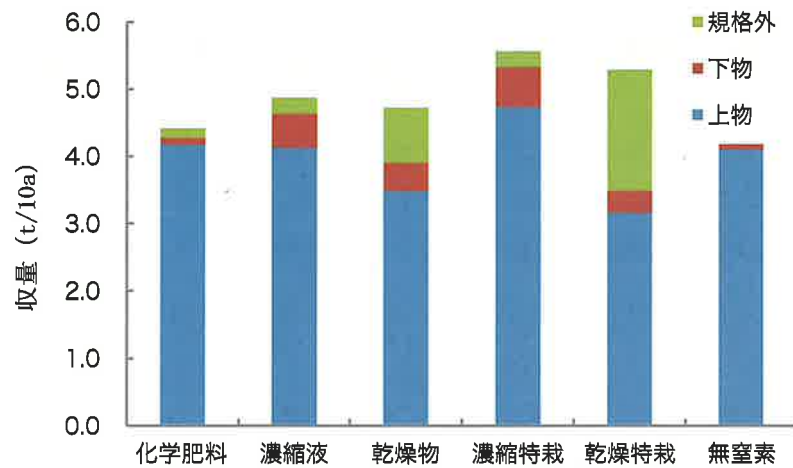


図60 コカブ栽培における収量

表36 コカブ栽培における障害等の発生状況

| 試験区 | 障害等の発生率(%) | | |
|------|------------|-------|----|
| | 裂根 | 亀裂褐変症 | 変形 |
| 化学肥料 | 4 | 0 | 0 |
| 濃縮液 | 6 | 6 | 0 |
| 乾燥物 | 21 | 2 | 0 |
| 濃縮特栽 | 13 | 4 | 0 |
| 乾燥特栽 | 33 | 0 | 2 |
| 無窒素 | 2 | 0 | 0 |

(3) 土壌中の無機態窒素含量、土壌pH

無機態窒素含量は、作付け前が各区とも1.3mg/100g以下でした。収穫時は、無窒素区が2.0~2.3mg/100gで、他の区が1.5~3.0mg/100gの範囲でした(図61)。

土壌pH (H₂O) は、作付け前が5.9~6.0でした。収穫時は、化学肥料区と無窒素区が6.0、他の区が6.1~6.3の範囲で、濃縮液と乾燥物の連用による影響は小さい状況でした。

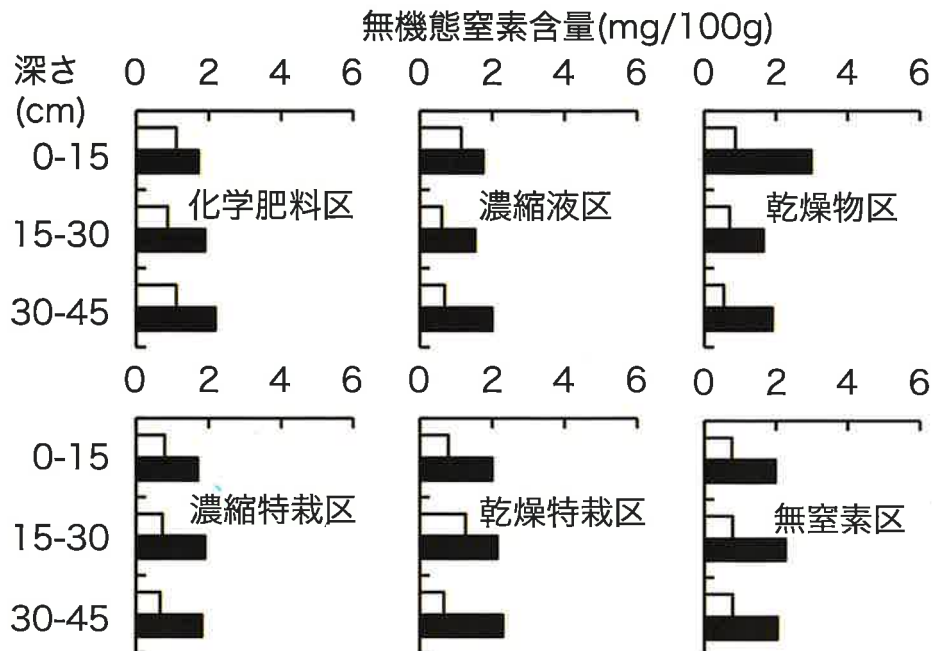


図61 コカブ栽培における作付け前と収穫時の土壌中無機態窒素含量
注) 白が作付け前、黒が収穫時を示す

6. 栽培結果のまとめ

ニンジン栽培では、濃縮液と乾燥物ともに、化学肥料と同等かそれ以上の収量が得られ、特に顕著な障害発生もみられませんでした。また、化学肥料を補足する必要もなく、濃縮液や乾燥物のみで栽培できると考えられます。

バレイショ栽培では、濃縮液と乾燥物ともに、化学肥料並みの収量が得られず、腐敗いも等の障害発生も多い状況でした。また、化学肥料を補足することで、収量水準を高めることは可能と考えられますが、同様に障害発生が懸念されます。

ホウレンソウ栽培では、濃縮液と乾燥物ともに、化学肥料より収量が多く得られ、特に乾燥物の施用効果が高い状況でした。また、化学肥料の補足によって、さらに生育が促進し、増収しました。

コカブ栽培では、濃縮液と乾燥物ともに、化学肥料より収量が多く得られましたが、乾燥物では裂根の発生が多く上物収量が少なくなりました。また、化学肥料の補足によって、収量水準は高まりましたが、裂根の発生も多くなったことから、化学肥料は補足する必要がないと考えられます。

以上のことから、化学肥料に替えて、窒素全量を濃縮液と乾燥物で代替した場合、品目別の適否は表37のようにまとめられます。

表37 栽培試験による濃縮液と乾燥物の品目別の適否

| 作期 | 品目 | 適否 (○：向く、△：栽培可能、×：不向き) | |
|----|--------|---------------------------|-----|
| | | 濃縮液 | 乾燥物 |
| 春作 | ニンジン | ○ | ○ |
| 春作 | バレイショ | × | × |
| 秋作 | ホウレンソウ | ○ | ○ |
| 秋作 | コカブ | ○ | △ |

なお、秋作試験では、同一消化液資材を連用しても、問題なく栽培できました。ただし、その連用効果や影響については、さらに調査する必要があります。また、同じ品目でも、作型が異なる場合には、施用効果の確認が必要です。

7. 利用に当たっての注意点

濃縮液と乾燥物の施用量は、両資材に含まれる各肥料成分に基づき決定する必要があります。特に、乾燥物については、加里過剰とならないように注意が必要です。また、土壌pHを考慮し、化学肥料と同様に、圃場ごとの土壌診断結果に基づいて施用量を加減することが理想です。

濃縮液は、従来の消化液と同様に、5,000～6,000 ℓ /10a程度が1回の施用量の限界と考えられます。また、土壌水分状態によっても、土壌への浸透状況が異なります（図62）。

土壌乾燥条件



土壌湿潤条件



図62 土壌水分状態の違いによる濃縮液散布後の様子
(散布量：約3,000 ℓ /10a)

乾燥物は、濃縮液に比べて施用量が少なくて済み、固形状なので扱いやすい利点があります。ただし、粉状のものも含まれており、飛散しやすいため（図63）、風の強い日の散布は避ける必要があります。



図63 乾燥物散布時の様子

第4章 改質による灌水同時施肥栽培利用

灌水同時施肥栽培の試験は、消化液のMF膜分離による「膜透過液」と、このアンモニア態窒素を硝酸化した「硝酸化液」を利用し、2012年に千葉県千葉市で実施しました。土壌は表層腐植質黒ボク土です。栽培品目は、トマト（7月12日定植）と葉ネギ（9月11日播種）です。ここでは、その試験事例を紹介します。

1. トマトの栽培試験

(1) 試験区

膜透過液および硝酸化液を使って、化学液肥による灌水同時施肥栽培や化学肥料による土耕栽培と同様に栽培できるか確認するため、以下の6試験区の考え方により、表38に示す試験区を設置して試験を行いました。表38の施肥設計の目標施肥量に合わせて、毎日かん液を行う灌水同時施肥栽培を実施しました。なお、品種は「桃太郎グランデ」（タキイ種苗（株））を用いました。

①膜透過液N標準区、②硝酸化液N標準区

化学肥料区と同量の窒素施用量を膜透過液又は硝酸化液で全量代替した試験区です。

③膜透過液N50%区、④硝酸化液N50%区

膜透過液又は硝酸化液のみでは、肥料的効果が期待できない場合も想定されたため、特別栽培農産物の栽培基準の範囲内で、窒素施用量の50%に化学肥料を用いた試験区です。

⑤化学液肥区、⑥化学肥料区

化学肥料を用い、千葉県の標準的な施用量で栽培した試験区です。この区が膜透過液と硝酸化液の利用の適否を判断する基準となります。

表38 トマト栽培試験の試験区の構成

| 試験区 | 主な使用資材 | 目標施用量 (kg/10a) | | | 栽培方法 |
|-----------|----------------------|----------------|------|------|--------|
| | | 窒素 (うち化学肥料) | リン酸 | 加里 | |
| 膜透過液N標準区 | 膜透過液 | 24.0 (0.0) | 24.0 | 50.6 | 灌水同時施肥 |
| 膜透過液N50%区 | 膜透過液、尿素 | 24.0 (12.0) | 24.0 | 25.3 | 灌水同時施肥 |
| 硝酸化液N標準区 | 硝酸化液 | 24.0 (0.0) | 24.0 | 71.4 | 灌水同時施肥 |
| 硝酸化液N50%区 | 硝酸化液、尿素 | 24.0 (12.0) | 24.0 | 35.7 | 灌水同時施肥 |
| 化学液肥区 | 養液土耕3号、尿素 | 24.0 (24.0) | 22.6 | 24.1 | 灌水同時施肥 |
| 化学肥料区 | CDU555、 磷硝安加里S604 | 24.0 (24.0) | 24.0 | 22.0 | 土耕 |

注) 各区のリン酸施用量はBMようりんにより調節した

(2) 膜透過液と硝酸化液の成分

栽培試験に使用した有機液肥の成分を表39に示します。

膜透過液と硝酸化液の施用量は、両資材に含まれる窒素成分から決定しました。

各試験区のリン酸施用量は同量となるように化学肥料で調整しました。加里施用量は、膜透過液と硝酸化液に含まれる加里成分が高く、膜透過液N標準区と硝酸化液N標準区で、他の区に比べて高くなりました。

表39 トマト栽培試験に使用した膜透過液と硝酸化液の成分

| 資材タイプ | イオン濃度 (mg/ℓ) | | | | | | | | |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-------|-----|-----------------|-----|-----|
| | NH ₄ -N | NO ₂ -N | NO ₃ -N | PO ₄ | K | Cl | SO ₄ | Na | Mg |
| 膜透過液 | 1,152 | nd | nd | nd | 2,012 | 886 | nd | 458 | 111 |
| 硝酸化液 | 371 | 9 | 438 | nd | 2,015 | 926 | nd | 480 | 115 |

nd: 測定限界以下

(3) 施肥設計

表38の目標施用量に合わせて、表40の施肥設計とし、毎日かん液を行う灌水同時施肥栽培を実施しました。かん液は、定植後の7月19日から栽培終了の10月22日まで、トマトの生育に合わせて濃度やかん液量を調節して行いました。

表40 トマト栽培試験の施肥設計 (72ページまで続く)

①膜透過液N標準区

| 区分 | 使用資材名 | 施用日 | | 期間中 の 日数 | 成分量 (%) | | | 期間中の かん液量 (ℓ/m ²) | 肥料 使用量 (g/m ²) | 希釈 倍率 | 成分施用量 (kg/10a) | | |
|----------------|--------|-------|-------|----------------|---------|-------|------|-------------------------------------|----------------------------------|----------|----------------|------|------|
| | | 開始 | 終了 | | 窒素 | リン酸 | 加里 | | | | 窒素 | リン酸 | 加里 |
| 土壌改良 | 九十九里堆肥 | 6/27 | | - | 1.54 | 2.82 | 2.75 | - | 2,000 | - | 9.2 | 45.1 | 49.5 |
| | 苦土石灰 | 7/5 | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 50 | | | | |
| | BMようりん | | | | 0.00 | 20.00 | 0.00 | | 120 | | 24.0 | | |
| 定植前 | 膜透過液 | 7/11 | | - | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 6.9 | 261 | 26 | 0.3 | 0.0 | 0.6 |
| 定植 | 水 | 7/12 | 7/18 | 7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.4 | 0 | - | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 一段開花 | 膜透過液 | 7/19 | 8/1 | 14 | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 6.4 | 347 | 19 | 0.4 | 0.0 | 0.8 |
| | 膜透過液 | 8/2 | 8/7 | 6 | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 20.7 | 174 | 119 | 0.2 | 0.0 | 0.4 |
| 3段開花 | 膜透過液 | 8/8 | 8/15 | 8 | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 27.6 | 748 | 37 | 0.9 | 0.0 | 1.8 |
| | 膜透過液 | 8/16 | 8/20 | 5 | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 17.3 | 1,042 | 17 | 1.2 | 0.0 | 2.5 |
| 4段開花 | 膜透過液 | 8/21 | 8/31 | 11 | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 38.0 | 1,910 | 20 | 2.2 | 0.0 | 4.6 |
| 収穫開始 | 膜透過液 | 9/1 | 9/7 | 7 | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 29.0 | 1,303 | 22 | 1.5 | 0.0 | 3.2 |
| | 膜透過液 | 9/8 | 9/25 | 18 | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 62.1 | 3,821 | 16 | 4.4 | 0.0 | 9.3 |
| | 膜透過液 | 9/26 | 10/10 | 15 | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 41.4 | 3,560 | 12 | 4.1 | 0.0 | 8.6 |
| | 膜透過液 | 10/11 | 10/22 | 12 | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 27.6 | 2,953 | 9 | 3.4 | 0.0 | 7.2 |
| 合計 (堆肥中の成分を除く) | | | | | | | | 283 | 16,118 | | 18.6 | 24.0 | 39.1 |

(表40の続き)

②膜透過液N50%区

| 区分 | 使用資材名 | 施用日 | | 期間中 の 日数 | 成分量 (%) | | | 期間中の かん液量 (l/m^2) | 肥料 使用量 (g/m^2) | 希釈 倍率 | 成分施用量 (kg/10a) | | |
|----------------|--------|------|-------|----------------|---------|-------|------|-----------------------------|--------------------------|----------|----------------|------|------|
| | | 開始 | 終了 | | 窒素 | リン酸 | 加里 | | | | 窒素 | リン酸 | 加里 |
| 土壤改良 | 九十九里堆肥 | 6/27 | | | 1.54 | 2.82 | 2.75 | | 2,000 | | 9.2 | 45.1 | 49.5 |
| | 苦土石灰 | | 7/5 | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | 50 | - | | | |
| | BMようりん | | | | 0.00 | 20.00 | 0.00 | | 120 | | 0.0 | 24.0 | 0.0 |
| 定植前 | 膜透過液 | 7/11 | | - | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 6.9 | 130 | 53 | 0.2 | 0.0 | 0.3 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 0 | | 0.2 | | |
| 定植 | 水 | 7/12 | 7/18 | 7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.4 | 0 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 一段開花 | 膜透過液 | 7/19 | 8/1 | 14 | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 6.4 | 174 | 37 | 0.2 | 0.0 | 0.4 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.4 | | 0.2 | | |
| 3段開花 | 膜透過液 | 8/2 | 8/7 | 6 | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 20.7 | 87 | 238 | 0.1 | 0.0 | 0.2 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.2 | | 0.1 | | 0.0 |
| | 膜透過液 | 8/8 | 8/15 | 8 | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 27.6 | 373 | 74 | 0.4 | 0.0 | 0.9 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.9 | | 0.4 | | 0.0 |
| 4段開花 | 膜透過液 | 8/16 | 8/20 | 5 | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 17.3 | 521 | 33 | 0.6 | 0.0 | 1.3 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 1.3 | | 0.6 | | 0.0 |
| | 膜透過液 | 8/21 | 8/31 | 11 | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 38.0 | 955 | 40 | 1.1 | 0.0 | 2.3 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 2.4 | | 1.1 | | 0.0 |
| 収穫開始 | 膜透過液 | 9/1 | 9/7 | 7 | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 29.0 | 651 | 44 | 0.8 | 0.0 | 1.6 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 1.6 | | 0.8 | | 0.0 |
| | 膜透過液 | 9/8 | 9/25 | 18 | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 62.1 | 1,910 | 33 | 2.2 | 0.0 | 4.6 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 4.8 | | 2.2 | | 0.0 |
| | 膜透過液 | 9/26 | 10/10 | 15 | 0.12 | 0.00 | 0.24 | 41.4 | 1,780 | 23 | 2.1 | 0.0 | 4.3 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 4.5 | | 2.1 | | 0.0 |
| 合計 (堆肥中の成分を除く) | | | | | | | | 283 | | | 18.6 | 24.0 | 19.5 |

③硝酸化液N標準区

| 区分 | 使用資材名 | 施用日 | | 期間中 の 日数 | 成分量 (%) | | | 期間中の かん液量 (l/m^2) | 肥料 使用量 (g/m^2) | 希釈 倍率 | 成分施用量 (kg/10a) | | |
|----------------|--------|-------|-------|----------------|---------|-------|------|-----------------------------|--------------------------|----------|----------------|------|------|
| | | 開始 | 終了 | | 窒素 | リン酸 | 加里 | | | | 窒素 | リン酸 | 加里 |
| 土壤改良 | 九十九里堆肥 | 6/27 | | | 1.54 | 2.82 | 2.75 | | 2,000 | | 9.2 | 45.1 | 49.5 |
| | 苦土石灰 | | 7/5 | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | 50 | - | | | |
| | BMようりん | | | | 0.00 | 20.00 | 0.00 | | 120 | | | 24.0 | |
| 定植前 | 硝酸化液 | 7/11 | | - | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 6.9 | 366 | 19 | 0.3 | 0.0 | 0.9 |
| 定植 | 水 | 7/12 | 7/18 | 7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.4 | 0 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 一段開花 | 硝酸化液 | 7/19 | 8/1 | 14 | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 6.4 | 488 | 13 | 0.4 | 0.0 | 1.2 |
| | 硝酸化液 | 8/2 | 8/7 | 6 | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 20.7 | 244 | 85 | 0.2 | 0.0 | 0.6 |
| 3段開花 | 硝酸化液 | 8/8 | 8/15 | 8 | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 27.6 | 1,050 | 26 | 0.9 | 0.0 | 2.6 |
| | 膜透過液 | 8/16 | 8/20 | 5 | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 17.3 | 1,500 | 12 | 1.2 | 0.0 | 3.6 |
| 4段開花 | 硝酸化液 | 8/21 | 8/31 | 11 | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 38.0 | 2,683 | 14 | 2.2 | 0.0 | 6.5 |
| 収穫開始 | 硝酸化液 | 9/1 | 9/7 | 7 | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 29.0 | 1,829 | 16 | 1.5 | 0.0 | 4.4 |
| | 硝酸化液 | 9/8 | 9/25 | 18 | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 62.1 | 5,366 | 12 | 4.4 | 0.0 | 13.0 |
| | 硝酸化液 | 9/26 | 10/10 | 15 | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 41.4 | 5,000 | 8 | 4.1 | 0.0 | 12.2 |
| | 硝酸化液 | 10/11 | 10/22 | 12 | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 27.6 | 4,146 | 7 | 3.4 | 0.0 | 10.1 |
| 合計 (堆肥中の成分を除く) | | | | | | | | 283 | 22,672 | | 18.6 | 24.0 | 55.1 |

(表40の続き)

④硝酸化液N50%区

| 区分 | 使用資材名 | 施用日 | | 期間中 の 日数 | 成分量 (%) | | | 期間中の かん液量 (ℓ/m ²) | 肥料 使用量 (g/m ²) | 希釈 倍率 | 成分施用量 (kg/10a) | | |
|----------------|--------|-------|-------|----------------|---------|-------|------|-------------------------------------|----------------------------------|----------|----------------|------|------|
| | | 開始 | 終了 | | 窒素 | リン酸 | 加里 | | | | 窒素 | リン酸 | 加里 |
| 土壌改良 | 九十九里堆肥 | 6/27 | | | 1.54 | 2.82 | 2.75 | | 2,000 | | 9.2 | 45.1 | 49.5 |
| | 苦土石灰 | 7/5 | | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | 50 | - | | | |
| | BMようりん | | | | 0.00 | 20.00 | 0.00 | | 120 | | 0.0 | 24.0 | 0.0 |
| 定植前 | 硝酸化液 | 7/20 | | - | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 6.9 | 183 | 38 | 0.2 | 0.0 | 0.4 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 0 | | 0.2 | | |
| 定植 | 水 | 7/23 | 7/30 | 7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.4 | 0 | - | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 一段開花 | 硝酸化液 | 7/19 | 8/1 | 14 | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 6.4 | 244 | 26 | 0.2 | 0.0 | 0.6 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.4 | | 0.2 | | |
| 3段開花 | 硝酸化液 | 8/2 | 8/7 | 6 | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 20.7 | 122 | 170 | 0.1 | 0.0 | 0.3 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.2 | | 0.1 | | 0.0 |
| | 硝酸化液 | 8/8 | 8/15 | 8 | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 27.6 | 524 | 53 | 0.4 | 0.0 | 1.3 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.9 | | 0.4 | | 0.0 |
| 4段開花 | 膜透過液 | 8/16 | 8/20 | 5 | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 17.3 | 750 | 23 | 0.6 | 0.0 | 1.8 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 1.3 | | 0.6 | | 0.0 |
| | 硝酸化液 | 8/21 | 8/31 | 11 | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 38.0 | 1,341 | 28 | 1.1 | 0.0 | 3.3 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 2.4 | | 1.1 | | 0.0 |
| 収穫開始 | 硝酸化液 | 9/1 | 9/7 | 7 | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 29.0 | 915 | 32 | 0.8 | 0.0 | 2.2 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 1.6 | | 0.8 | | 0.0 |
| | 硝酸化液 | 9/8 | 9/25 | 18 | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 62.1 | 2,683 | 23 | 2.2 | 0.0 | 6.5 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 4.8 | | 2.2 | | 0.0 |
| | 硝酸化液 | 9/26 | 10/10 | 15 | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 41.4 | 2,500 | 17 | 2.1 | 0.0 | 6.1 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 4.5 | | 2.1 | | 0.0 |
| 収穫開始 | 硝酸化液 | 10/11 | 10/22 | 12 | 0.08 | 0.00 | 0.24 | 27.6 | 2,073 | 13 | 1.7 | 0.0 | 5.0 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 3.7 | | 1.7 | | 0.0 |
| 合計 (堆肥中の成分を除く) | | | | | | | | 283 | | | 18.6 | 24.0 | 27.5 |

⑤化学液肥区

| 区分 | 使用資材名 | 施用日 | | 期間中 の 日数 | 成分量 (%) | | | 期間中の かん液量 (ℓ/m ²) | 肥料 使用量 (g/m ²) | 希釈 倍率 | 成分施用量 (kg/10a) | | |
|----------------|--------|-------|-------|----------------|---------|-------|-------|-------------------------------------|----------------------------------|----------|----------------|------|------|
| | | 開始 | 終了 | | 窒素 | リン酸 | 加里 | | | | 窒素 | リン酸 | 加里 |
| 土壌改良 | 九十九里堆肥 | 6/27 | | | 1.54 | 2.82 | 2.75 | | 2,000 | | 9.2 | 45.1 | 49.5 |
| | 苦土石灰 | 7/5 | | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | 50 | - | | | |
| | BMようりん | | | | 0.00 | 20.00 | 0.00 | | 0 | | | 0.0 | |
| 定植前 | 養液土耕3号 | 7/11 | | - | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 6.9 | 2 | 3,450 | 0.3 | 0.0 | 0.3 |
| 定植 | 水 | 7/12 | 7/18 | 7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.4 | 0 | - | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 一段開花 | 養液土耕3号 | 7/19 | 8/1 | 14 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 6.4 | 2.7 | 2,415 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| | 養液土耕3号 | 8/2 | 8/7 | 6 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 20.7 | 1.3 | 15,525 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 3段開花 | 養液土耕3号 | 8/8 | 8/15 | 8 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 27.6 | 5.7 | 4,808 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| | 養液土耕3号 | 8/16 | 8/20 | 5 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 17.3 | 8.0 | 2,156 | 1.2 | 0.0 | 1.2 |
| 4段開花 | 養液土耕3号 | 8/21 | 8/31 | 11 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 38.0 | 14.7 | 2,588 | 2.2 | 2.2 | 2.2 |
| | 養液土耕3号 | 9/1 | 9/7 | 7 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 29.0 | 10.0 | 2,898 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| 収穫開始 | 養液土耕3号 | 9/8 | 9/25 | 18 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 62.1 | 29.3 | 2,117 | 4.4 | 4.4 | 4.4 |
| | 養液土耕3号 | 9/26 | 10/10 | 15 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 41.4 | 27.3 | 1,515 | 4.1 | 4.1 | 4.1 |
| | 養液土耕3号 | 10/11 | 10/22 | 12 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 27.6 | 22.7 | 1,218 | 3.4 | 3.4 | 3.4 |
| | 養液土耕3号 | | | | | | | | | | | | |
| 合計 (堆肥中の成分を除く) | | | | | | | | 283 | | | 18.6 | 17.1 | 18.6 |

⑥化学肥料区 (土耕栽培)

| 区分 | 使用資材名 | 施用日 | | 期間中 の 回数 | 成分量 (%) | | | 期間中の かん液量 (l/m^2) | 肥料 使用量 (g/m^2) | 希釈 倍率 | 成分施用量 (kg/10a) | | |
|----------------|-----------|----------|------|----------------|---------|-------|-------|-----------------------------|--------------------------|----------|----------------|------|------|
| | | 開始 | 終了 | | 窒素 | リン酸 | 加里 | | | | 窒素 | リン酸 | 加里 |
| 主壇改良 | 九十九里堆肥 | 6/27 | | | 1.54 | 2.82 | 2.75 | | 2,000 | | 9.2 | 45.1 | 49.5 |
| | 苦土石灰 | 7/5 | | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | 50 | - | | | |
| | BIMようりん | | | | 0.00 | 20.00 | 0.00 | | 30 | | | 6.0 | |
| 基肥 | CDUS555 | 7/5 | | - | 15.00 | 15.00 | 15.00 | - | 53 | - | 8.0 | 8.0 | 8.0 |
| 追肥 | 燐硝安加里S604 | 3段 開花 | 8/7 | - | 16.00 | 10.00 | 14.00 | - | 50 | - | 8.0 | 5.0 | 7.0 |
| 追肥 | 燐硝安加里S604 | 5段 開花 | 8/21 | - | 16.00 | 10.00 | 14.00 | - | 50 | - | 8.0 | 5.0 | 7.0 |
| 合計 (堆肥中の成分を除く) | | | | | | | | | | | 24.0 | 24.0 | 22.0 |

注) 堆肥の肥効率はN30%、リン酸80%、加里90%とする

(4) 栽培結果

①摘心時の生育

いずれの区も順調に生育し、摘心時の生育に区間差はありませんでした (表41)。

②開花日、収穫開始日

開花日、収穫開始日についても、区間差はありませんでした (表42)。

③栽培終了時の生育

栽培終了時における生育については、葉重において、膜透過液および硝酸化液で、N50%区に比べN標準区でやや葉重が重くなりましたが、その他の生育に区間差はありませんでした (図64)。

表41 調製液肥を用いた灌水同時施肥栽培における
トマトの摘心時の生育 (8月28日)

| 試験区 | 茎径 (mm) | 草丈(cm) |
|-----------|-----------|----------|
| 膜透過液N標準区 | 12.3 ±0.8 | 194 ±7.0 |
| 膜透過液N50%区 | 12.9 ±0.6 | 192 ±6.1 |
| 硝酸化液N標準区 | 12.9 ±0.9 | 187 ±3.4 |
| 硝酸化液N50%区 | 13.0 ±0.0 | 184 ±2.8 |
| 化学液肥区 | 12.2 ±0.3 | 193 ±0.6 |
| 化学肥料区 | 12.4 ±0.3 | 195 ±2.1 |

注) 数値は、平均±標準偏差を示す

表42 調製液肥を用いた灌水同時施肥栽培におけるトマトの開花日および収穫開始日

| 試験区 | 開花日 | | | | | |
|-----------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| | 1段 | 2段 | 3段 | 4段 | 5段 | 6段 |
| 膜透過液N標準区 | 7月26日 | 7月31日 | 8月8日 | 8月14日 | 8月19日 | 8月28日 |
| 膜透過液N50%区 | 7月27日 | 8月1日 | 8月8日 | 8月14日 | 8月20日 | 8月28日 |
| 硝酸化液N標準区 | 7月26日 | 7月31日 | 8月8日 | 8月14日 | 8月19日 | 8月27日 |
| 硝酸化液N50%区 | 7月27日 | 8月1日 | 8月9日 | 8月14日 | 8月20日 | 8月28日 |
| 化学液肥区 | 7月26日 | 8月1日 | 8月8日 | 8月14日 | 8月19日 | 8月26日 |
| 化学肥料区 | 7月26日 | 8月1日 | 8月8日 | 8月14日 | 8月20日 | 8月27日 |

| 試験区 | 収穫開始日 | | | | | |
|-----------|-------|------|-------|-------|-------|--------|
| | 1段 | 2段 | 3段 | 4段 | 5段 | 6段 |
| 膜透過液N標準区 | 8月31日 | 9月6日 | 9月16日 | 9月24日 | 10月2日 | 10月14日 |
| 膜透過液N50%区 | 9月2日 | 9月7日 | 9月16日 | 9月26日 | 10月3日 | 10月13日 |
| 硝酸化液N標準区 | 9月1日 | 9月7日 | 9月15日 | 9月24日 | 9月29日 | 10月10日 |
| 硝酸化液N50%区 | 9月2日 | 9月7日 | 9月17日 | 9月24日 | 10月1日 | 10月13日 |
| 化学液肥区 | 9月1日 | 9月6日 | 9月16日 | 9月24日 | 9月30日 | 10月11日 |
| 化学肥料区 | 9月1日 | 9月7日 | 9月15日 | 9月25日 | 9月30日 | 10月13日 |

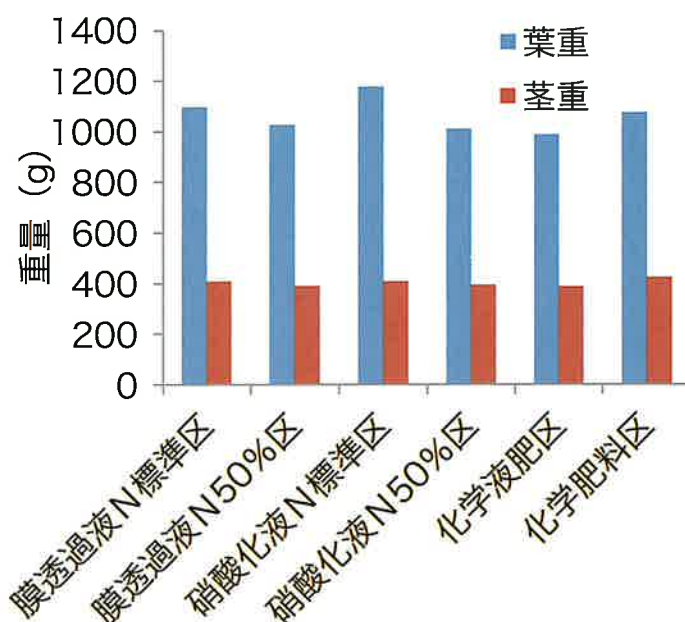


図64 調製液肥を用いた灌水同時施肥栽培におけるトマトの栽培終了時の葉重および莖重

④収量

収量については、全ての区において区間差はありませんでした（図65）。

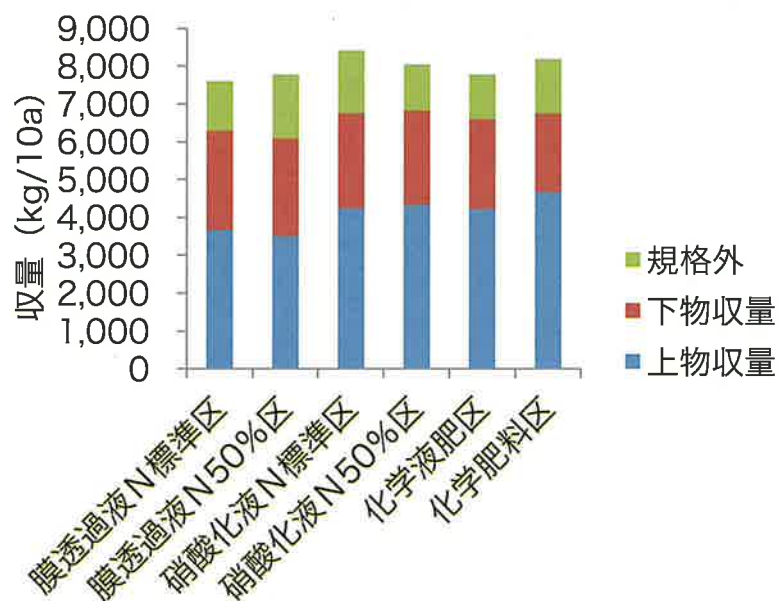


図65 調製液肥を用いた灌水同時施肥栽培におけるトマトの収量

⑤糖度

糖度については、全ての区、全ての段位において区間差はありませんでした（表43）。

表43 調製液肥を用いた灌水同時施肥栽培におけるトマトの糖度

| 試験区 | 糖度 (Brix%) | | | | | | 期間平均 |
|-----------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | 段位 | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 膜透過液N標準区 | 4.8 | 4.2 | 4.2 | 4.3 | 4.1 | 4.0 | 4.3 |
| 膜透過液N50%区 | 4.6 | 4.1 | 4.2 | 4.1 | 4.3 | 4.0 | 4.2 |
| 硝酸化液N標準区 | 4.6 | 4.0 | 4.1 | 4.1 | 3.9 | 4.5 | 4.2 |
| 硝酸化液N50%区 | 4.5 | 3.8 | 4.4 | 3.9 | 4.0 | 4.3 | 4.2 |
| 化学液肥区 | 4.6 | 4.2 | 3.9 | 4.0 | 4.0 | 4.3 | 4.2 |
| 化学肥料区 | 4.5 | 4.1 | 3.8 | 4.1 | 3.9 | 4.1 | 4.1 |

⑥土壌の化学性

栽培前後の土壌の化学性は、表44のとおりでした。

表44 トマト栽培前後の土壌の化学性

| 試験区 | 施肥前 | | | | | |
|-----------|-----|--------------|----------------|--------|---------------------|-------------------------------|
| | pH | EC (ms/m) | 無機態窒素(mg/100g) | | 可給態リン酸 (mg/100g) | K ₂ O (mg/100g) |
| | | | 硝酸態 | アンモニア態 | | |
| 膜透過液N標準区 | 6.3 | 38.0 | 11.4 | 4.8 | 52.8 | 95.5 |
| 膜透過液N50%区 | 6.3 | 62.6 | 17.9 | 4.5 | 54.5 | 83.8 |
| 硝酸化液N標準区 | 6.4 | 42.6 | 14.7 | 3.5 | 72.2 | 129.5 |
| 硝酸化液N50%区 | 6.4 | 46.2 | 14.7 | 3.1 | 75.9 | 119.1 |
| 化学液肥区 | 6.2 | 48.4 | 17.0 | 3.3 | 79.3 | 92.6 |
| 化学肥料区 | 6.1 | 31.2 | 12.0 | 1.4 | 80.2 | 108.5 |

| 試験区 | 栽培後 | | | | | |
|-----------|-----|--------------|----------------|--------|---------------------|-------------------------------|
| | pH | EC (ms/m) | 無機態窒素(mg/100g) | | 可給態リン酸 (mg/100g) | K ₂ O (mg/100g) |
| | | | 硝酸態 | アンモニア態 | | |
| 膜透過液N標準区 | 6.5 | 18.3 | 3.9 | 0.2 | 74.8 | 146.8 |
| 膜透過液N50%区 | 6.3 | 39.8 | 19.2 | 0.3 | 73.7 | 100.2 |
| 硝酸化液N標準区 | 7.0 | 22.2 | 2.1 | 0.4 | 101.9 | 227.3 |
| 硝酸化液N50%区 | 6.9 | 21.1 | 4.3 | 0.3 | 95.9 | 145.5 |
| 化学液肥区 | 7.0 | 14.3 | 3.3 | 0.4 | 94.2 | 100.6 |
| 化学肥料区 | 7.0 | 10.1 | 0.6 | 0.3 | 120.1 | 96.2 |

⑦まとめ

以上の結果から、膜透過液および硝酸化液を用いた区と、化学液肥および化学肥料を用いた区との間に差はなく、灌水同時施肥栽培への利用には問題がないものと考えられました。また、膜透過液および硝酸化液を用いた区において、特異的な障害は見られなかったこと、点滴チューブの詰まり等の問題もなかったことから、灌水同時施肥栽培への利用には問題がないものと考えられました(図66)。



図66 生育中のトマト(膜透過液N標準区、9月13日撮影)

2. 葉ネギの栽培試験

(1) 試験区

膜透過液および硝酸化液を使って、化学液肥による灌水同時施肥栽培や化学肥料による土耕栽培と同様に栽培できるか確認するため、トマト同様に以下の6試験区を設置して試験を行いました。各試験区の考え方はトマトの項目を参照してください。表45の施肥設計の目標施用量に合わせて、毎日かん液を行う灌水同時施肥栽培を実施しました。なお、品種は「金夏」（みかど協和（株））を用いました。

表45 葉ネギ栽培試験の試験区の構成

| 試験区 | 主な使用資材 | 目標施用量 (kg/10a) | | | 栽培方法 |
|-----------|----------------------|----------------|------|------|--------|
| | | 窒素 (うち化学肥料) | リン酸 | 加里 | |
| 膜透過液N標準区 | 膜透過液 | 22.0 (0.0) | 26.0 | 54.1 | 灌水同時施肥 |
| 膜透過液N50%区 | 膜透過液、尿素 | 22.0 (11.0) | 26.0 | 27.1 | 灌水同時施肥 |
| 硝酸化液N標準区 | 硝酸化液 | 22.0 (0.0) | 26.0 | 36.9 | 灌水同時施肥 |
| 硝酸化液N50%区 | 硝酸化液、尿素 | 22.0 (11.0) | 26.0 | 18.5 | 灌水同時施肥 |
| 化学液肥区 | 養液土耕3号、尿素 | 22.0 (22.0) | 26.0 | 22.0 | 灌水同時施肥 |
| 化学肥料区 | CDU555、 燐硝安加里S604 | 22.0 (22.0) | 26.0 | 20.3 | 土耕 |

注) 各区のリン酸施用量はBMようりんにより調節した

(2) 膜透過液と硝酸化液の成分

栽培試験に使用した有機液肥の成分を表46に示します。

表46 葉ネギ栽培試験に使用した膜透過液と硝酸化液の成分

| 資材タイプ | イオン濃度 (mg/l) | | | | | | | | |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-------|-----|-----------------|-----|-----|
| | NH ₄ -N | NO ₂ -N | NO ₃ -N | PO ₄ | K | Cl | SO ₄ | Na | Mg |
| 膜透過液 | 842 | 124 | 82 | nd | 2,141 | 902 | nd | 482 | 52 |
| 硝酸化液 | 269 | 246 | 763 | nd | 1,781 | 789 | nd | 387 | 120 |

nd: 測定限界以下

(3) 施肥設計

表45の目標施用量に合わせて、表47の施肥設計とし、毎日かん液を行う灌水同時施肥栽培を実施しました。かん液は、発芽が揃った9月18日から栽培終了の12月17日まで、葉ネギの生育に合わせて濃度やかん液量を調節して行いました。

表47 葉ネギ栽培試験の施肥設計（79ページまで続く）

①膜透過液N標準区

| 区分 | 使用資材名 | 施用日 | | 期間中の の 日数 | 成分量 (%) | | | 期間中の かん液量 (ℓ/m ²) | 肥料 使用量 (g/m ²) | 希釈 倍率 | 成分施用量 (kg/10a) | | |
|------|--------|-------|-------|-----------------|---------|-------|------|-------------------------------------|----------------------------------|----------|----------------|------|------|
| | | 開始 | 終了 | | 窒素 | リン酸 | 加里 | | | | 窒素 | リン酸 | 加里 |
| 土壌改良 | 九十九里堆肥 | 8/15 | | | 1.54 | 2.82 | 2.75 | | 1,000 | | 4.6 | 22.6 | 24.8 |
| | 苦土石灰 | | 8/22 | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | 50 | - | | | |
| | BMようりん | | | | 0.00 | 20.00 | 0.00 | | 130 | | 26.0 | | |
| 播種 | 水 | 9/11 | | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2 | 0 | - | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 膜透過液 | 9/18 | 9/21 | 4 | 0.10 | 0.00 | 0.26 | 12 | 382 | 31.4 | 0.4 | 0.0 | 1.0 |
| | 膜透過液 | 9/22 | 10/1 | 10 | 0.10 | 0.00 | 0.26 | 20 | 1,431 | 14.0 | 1.5 | 0.0 | 3.7 |
| | 膜透過液 | 10/2 | 10/22 | 21 | 0.10 | 0.00 | 0.26 | 40 | 4,294 | 9.3 | 4.5 | 0.0 | 11.1 |
| | 膜透過液 | 10/23 | 11/12 | 21 | 0.10 | 0.00 | 0.26 | 40 | 5,248 | 7.6 | 5.5 | 0.0 | 13.5 |
| | 膜透過液 | 11/13 | 11/29 | 17 | 0.10 | 0.00 | 0.26 | 40 | 5,248 | 7.6 | 5.5 | 0.0 | 13.5 |
| | 膜透過液 | 11/30 | 12/9 | 10 | 0.10 | 0.00 | 0.26 | 15 | 2,386 | 6.3 | 2.5 | 0.0 | 6.2 |
| | 膜透過液 | 12/10 | 12/17 | 8 | 0.10 | 0.00 | 0.26 | 12 | 2,004 | 6.0 | 2.1 | 0.0 | 5.2 |
| 合計 | | | | | | | | 181 | 20,993 | | 22.0 | 26.0 | 54.1 |

②膜透過液N50%区

| 区分 | 使用資材名 | 施用日 | | 期間中の の 日数 | 成分量 (%) | | | 期間中の かん液量 (ℓ/m ²) | 肥料 使用量 (g/m ²) | 希釈 倍率 | 成分施用量 (kg/10a) | | |
|------|------------|-------|-------|-----------------|---------|-------|------|-------------------------------------|----------------------------------|----------|----------------|------|------|
| | | 開始 | 終了 | | 窒素 | リン酸 | 加里 | | | | 窒素 | リン酸 | 加里 |
| 土壌改良 | 九十九里堆肥 | 8/15 | | | 1.54 | 2.82 | 2.75 | | 1,000 | | 4.6 | 22.6 | 24.8 |
| | 苦土石灰 | | 8/22 | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | 50 | - | | | |
| | BMようりん | | | | 0.00 | 20.00 | 0.00 | | 130 | | 0.0 | 26.0 | 0.0 |
| 播種 | 水 | 9/11 | | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2 | 0 | - | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 膜透過液 尿素 | 9/18 | 9/21 | 4 | 0.10 | 0.00 | 0.26 | 12 | 191 | 62.9 | 0.2 | 0.0 | 0.5 |
| | 膜透過液 尿素 | 9/22 | 10/1 | 10 | 0.10 | 0.00 | 0.26 | 20 | 716 | 27.9 | 0.8 | 0.0 | 1.8 |
| | 膜透過液 尿素 | 10/2 | 10/22 | 21 | 0.10 | 0.00 | 0.26 | 40 | 2,147 | 18.6 | 2.3 | 0.0 | 5.5 |
| | 膜透過液 尿素 | 10/23 | 11/12 | 21 | 0.10 | 0.00 | 0.26 | 40 | 2,624 | 15.2 | 2.8 | 0.0 | 6.8 |
| | 膜透過液 尿素 | 11/13 | 11/29 | 17 | 0.10 | 0.00 | 0.26 | 40 | 2,624 | 15.2 | 2.8 | 0.0 | 6.8 |
| | 膜透過液 尿素 | 11/30 | 12/9 | 10 | 0.10 | 0.00 | 0.26 | 15 | 1,193 | 12.6 | 1.3 | 0.0 | 3.1 |
| | 膜透過液 尿素 | 12/10 | 12/17 | 8 | 0.10 | 0.00 | 0.26 | 12 | 1,002 | 12.0 | 1.1 | 0.0 | 2.6 |
| 合計 | | | | | | | | 181 | | | 22.0 | 26.0 | 27.1 |

(表47の続き)

③硝酸化液N標準区

| 区分 | 使用資材名 | 施用日 | | 期間中 の 日数 | 成分量 (%) | | | 期間中の かん液量 (L/m) | 肥料 使用量 (g/m) | 希釈 倍率 | 成分施用量 (kg/10a) | | |
|------|--------|-------|-------|----------------|---------|-------|------|-----------------------|--------------------|----------|----------------|------|------|
| | | 開始 | 終了 | | 窒素 | リン酸 | 加里 | | | | 窒素 | リン酸 | 加里 |
| 土壌改良 | 九十九里堆肥 | 8/15 | | | 1.54 | 2.82 | 2.75 | | 1,000 | | 4.6 | 22.6 | 24.8 |
| | 苦土石灰 | | | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | 50 | - | | | |
| | BMぼうりん | 8/22 | | | 0.00 | 20.00 | 0.00 | | 130 | | | 26.0 | |
| 播種 | 水 | 9/11 | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2 | 0 | - | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 硝酸化液 | 9/18 | 9/21 | 4 | 0.13 | 0.00 | 0.21 | 12 | 313 | 38.3 | 0.4 | 0.0 | 0.7 |
| | 硝酸化液 | 9/22 | 10/1 | 10 | 0.13 | 0.00 | 0.21 | 20 | 1,174 | 17.0 | 1.5 | 0.0 | 2.5 |
| | 硝酸化液 | 10/2 | 10/22 | 21 | 0.13 | 0.00 | 0.21 | 40 | 3,521 | 11.4 | 4.5 | 0.0 | 7.6 |
| | 硝酸化液 | 10/23 | 11/12 | 21 | 0.13 | 0.00 | 0.21 | 40 | 4,304 | 9.3 | 5.5 | 0.0 | 9.2 |
| | 硝酸化液 | 11/13 | 11/29 | 17 | 0.13 | 0.00 | 0.21 | 40 | 4,304 | 9.3 | 5.5 | 0.0 | 9.2 |
| | 硝酸化液 | 11/30 | 12/9 | 10 | 0.13 | 0.00 | 0.21 | 15 | 1,956 | 7.7 | 2.5 | 0.0 | 4.2 |
| | 硝酸化液 | 12/10 | 12/17 | 8 | 0.13 | 0.00 | 0.21 | 12 | 1,643 | 7.3 | 2.1 | 0.0 | 3.5 |
| 合計 | | | | | | | | 181 | 17,216 | | 22.0 | 26.0 | 36.9 |

④硝酸化液N50%区

| 区分 | 使用資材名 | 施用日 | | 期間中 の 日数 | 成分量 (%) | | | 期間中の かん液量 (L/m) | 肥料 使用量 (g/m) | 希釈 倍率 | 成分施用量 (kg/10a) | | |
|------|--------|-------|-------|----------------|---------|-------|------|-----------------------|--------------------|----------|----------------|------|------|
| | | 開始 | 終了 | | 窒素 | リン酸 | 加里 | | | | 窒素 | リン酸 | 加里 |
| 土壌改良 | 九十九里堆肥 | 8/15 | | | 1.54 | 2.82 | 2.75 | | 1,000 | | 4.6 | 22.6 | 24.8 |
| | 苦土石灰 | | | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | 50 | - | | | |
| | BMぼうりん | 8/22 | | | 0.00 | 20.00 | 0.00 | | 130 | | 0.0 | 26.0 | 0.0 |
| 播種 | 水 | 9/11 | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2 | 0 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 硝酸化液 | 9/18 | 9/21 | 4 | 0.13 | 0.00 | 0.21 | 12 | 157 | 76.7 | 0.2 | 0.0 | 0.3 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.4 | | 0.2 | | |
| | 硝酸化液 | 9/22 | 10/1 | 10 | 0.13 | 0.00 | 0.21 | 20 | 587 | 34.1 | 0.8 | 0.0 | 1.3 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 1.6 | | 0.8 | | 0.0 |
| | 硝酸化液 | 10/2 | 10/22 | 21 | 0.13 | 0.00 | 0.21 | 40 | 1,761 | 22.7 | 2.3 | 0.0 | 3.8 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 4.9 | | 2.3 | | 0.0 |
| | 硝酸化液 | 10/23 | 11/12 | 21 | 0.13 | 0.00 | 0.21 | 40 | 2,152 | 18.6 | 2.8 | 0.0 | 4.6 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 6.0 | | 2.8 | | 0.0 |
| | 硝酸化液 | 11/13 | 11/29 | 17 | 0.13 | 0.00 | 0.21 | 40 | 2,152 | 18.6 | 2.8 | 0.0 | 4.6 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 6.0 | | 2.8 | | 0.0 |
| | 硝酸化液 | 11/30 | 12/9 | 10 | 0.13 | 0.00 | 0.21 | 15 | 978 | 15.3 | 1.3 | 0.0 | 2.1 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 2.7 | | 1.3 | | 0.0 |
| | 硝酸化液 | 12/10 | 12/17 | 8 | 0.13 | 0.00 | 0.21 | 12 | 822 | 14.6 | 1.1 | 0.0 | 1.8 |
| | 尿素 | | | | 46.00 | 0.00 | 0.00 | | 2.3 | | 1.1 | | 0.0 |
| 合計 | | | | | | | | 181 | | | 22.0 | 26.0 | 18.5 |

(表47の続き)

⑤化学液肥区

| 区分 | 使用資材名 | 施用日 | | 期間中 の 日数 | 成分量 (%) | | | 期間中の かん液量 (l/m^2) | 肥料 使用量 (g/m ²) | 希釈 倍率 | 成分施用量 (kg/10a) | | |
|------|--------|-------|-------|----------------|---------|-------|-------|-----------------------------|----------------------------------|----------|----------------|------|------|
| | | 開始 | 終了 | | 窒素 | リン酸 | 加里 | | | | 窒素 | リン酸 | 加里 |
| 土壌改良 | 九十九里堆肥 | 8/15 | | | 1.54 | 2.82 | 2.75 | | 1,000 | | 4.6 | 22.6 | 24.8 |
| | 普土石灰 | 8/22 | | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | 50 | - | | | |
| | BMようりん | | | | 0.00 | 20.00 | 0.00 | | 23 | | | 4.6 | |
| 定植 | 水 | 9/11 | | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2 | 0 | - | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 一段開花 | 養液土耕3号 | 9/18 | 9/21 | 4 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 12 | 3 | 4,500 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| | 養液土耕3号 | 9/22 | 10/1 | 10 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 20 | 10 | 2,000 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| 3段開花 | 養液土耕3号 | 10/2 | 10/22 | 21 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 40 | 30 | 1,333 | 4.5 | 4.5 | 4.5 |
| 4段開花 | 養液土耕3号 | 10/23 | 11/12 | 21 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 40 | 37 | 1,091 | 5.5 | 5.5 | 5.5 |
| 収穫開始 | 養液土耕3号 | 11/13 | 11/29 | 17 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 40 | 37 | 1,091 | 5.5 | 5.5 | 5.5 |
| | 養液土耕3号 | 11/30 | 12/9 | 10 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 15 | 17 | 900 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| | 養液土耕3号 | 12/10 | 12/17 | 8 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 12 | 14 | 857 | 2.1 | 2.1 | 2.1 |
| 合計 | | | | | | | 181 | | | | 22.0 | 26.6 | 22.0 |

⑥化学肥料区

| 区分 | 使用資材名 | 施用日 | | 期間中 の 日数 | 成分量 (%) | | | 期間中の かん液量 (l/m^2) | 肥料 使用量 (g/m ²) | 希釈 倍率 | 成分施用量 (kg/10a) | | |
|----------------|-----------|-------|----|----------------|---------|-------|-------|-----------------------------|----------------------------------|----------|----------------|------|------|
| | | 開始 | 終了 | | 窒素 | リン酸 | 加里 | | | | 窒素 | リン酸 | 加里 |
| 土壌改良 | 九十九里堆肥 | 8/15 | | | 1.54 | 2.82 | 2.75 | | 1,000 | | 4.6 | 22.6 | 24.8 |
| | 普土石灰 | 8/22 | | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | 50 | - | | | |
| | BMようりん | | | | 0.00 | 20.00 | 0.00 | | 47 | | | 9.4 | |
| 基肥 | CDUS555 | 8/22 | | - | 15.00 | 15.00 | 15.00 | - | 51 | - | 7.7 | 7.7 | 7.7 |
| 追肥 | 濃縮安加里S604 | 10/16 | | - | 16.00 | 10.00 | 14.00 | - | 45 | - | 7.2 | 4.5 | 6.3 |
| 追肥 | 濃縮安加里S604 | 11/15 | | - | 16.00 | 10.00 | 14.00 | - | 45 | - | 7.2 | 4.5 | 6.3 |
| 合計 (堆肥中の成分を除く) | | | | | | | | | | | 22.1 | 26.1 | 20.3 |

注) 堆肥の肥効率はN30%、リン酸80%、加里90%とする

(4) 栽培結果

①生育、収量

12月17日の収穫時の生育および収量を、表48、図67に示しました。化学肥料区は、手かん水でかん水を行っていましたが、養液土耕の区に比べ、かん水量が少なかったため生育が劣りました。その他の膜透過液および硝酸化液を用いた区と、化学液肥区との間にはほとんど差はありませんでした（図68）。

表48 調製液肥を用いた灌水同時施肥栽培における葉ネギの生育（収穫時）

| 試験区 | 株数 (本/条1m) | 葉数 (枚) | 全長 (cm) | 葉鞘径 (mm) | 葉色 (SPAD値) |
|-----------|---------------|-----------|------------|-------------|---------------|
| 膜透過液N標準区 | 35.7 | 3.6 | 66.1 | 9.0 | 25.3 |
| 膜透過液N50%区 | 33.3 | 3.5 | 65.0 | 8.9 | 24.6 |
| 硝酸化液N標準区 | 33.7 | 3.6 | 67.8 | 9.6 | 24.9 |
| 硝酸化液N50%区 | 34.3 | 3.7 | 68.1 | 9.3 | 25.5 |
| 化学液肥区 | 40.3 | 3.7 | 67.6 | 9.5 | 24.8 |
| 化学肥料区 | 33.3 | 3.5 | 58.4 | 8.6 | 25.2 |

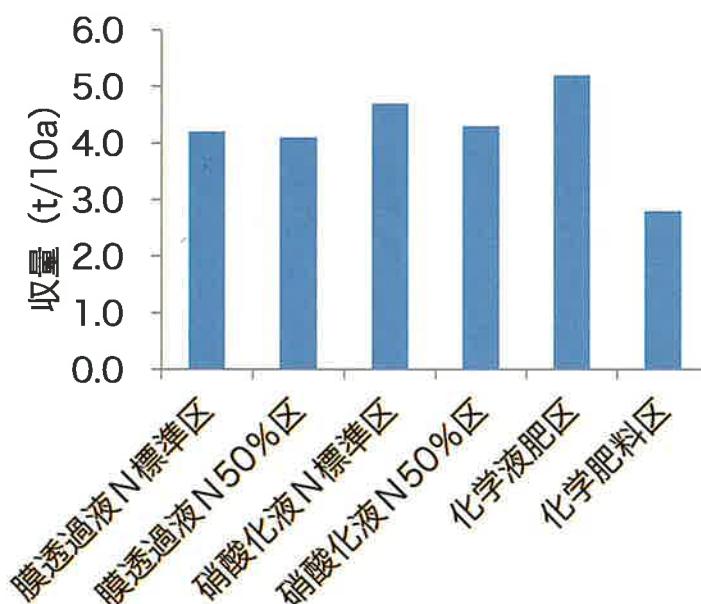


図67 調製液肥を用いた灌水同時施肥栽培における葉ネギの収量（収穫時）



図68 収穫時の葉ネギ

(左：膜透過液N標準区 中央：硝酸化液N標準区 右：化学液肥区)

②土壌の化学性

土壌の化学性は表49のとおりでした。

表49 葉ネギ栽培前後の土壌の化学性

| 試験区 | 施肥前 | | | | 栽培後 | | | |
|-----------|-----|--------------|--------------------|------------|-----|--------------|--------------------|------------|
| | pH | EC (ms/m) | 無機態窒素 (mg/100g) | | pH | EC (ms/m) | 無機態窒素 (mg/100g) | |
| | | | 硝酸態 | アンモ ニア態 | | | 硝酸態 | アンモ ニア態 |
| 膜透過液N標準区 | 6.0 | 27.1 | 1.5 | 0.6 | 6.8 | 33.0 | 3.2 | 0.3 |
| 膜透過液N50%区 | 6.0 | 26.7 | 1.8 | 0.6 | 6.6 | 28.8 | 4.1 | 1.0 |
| 硝酸化液N標準区 | 5.9 | 32.0 | 1.7 | 0.5 | 6.6 | 33.5 | 5.1 | 0.4 |
| 硝酸化液N50%区 | 5.7 | 37.1 | 2.1 | 0.6 | 6.4 | 37.6 | 5.7 | 0.4 |
| 化学液肥区 | 6.0 | 25.9 | 1.9 | 0.4 | 6.4 | 31.0 | 8.2 | 0.3 |
| 化学肥料区 | 5.8 | 31.7 | 2.1 | 0.5 | 6.2 | 36.3 | 2.8 | 0.2 |

③まとめ

以上の結果から、膜透過液および硝酸化液を用いた区と、化学液肥を用いた区との間に差はなく、灌水同時施肥栽培への利用には問題がないものと考えられました。また、膜透過液および硝酸化液を用いた区において、特異的な障害は見られなかったこと、点滴チューブの詰まりなどの問題もなかったことから、灌水同時施肥栽培への利用には問題がないものと考えられました。

3. 利用に当たっての注意点（散布方法）

(1) 調製方法

膜透過液および硝酸化液については窒素分量が化学液肥資材に比べて少ないため、必要とする窒素量によっては、液肥の濃度が高すぎて液肥混入器を使用できない場合があります。このようなときは、大きなタンク等で希釈し、ポンプでかん液する等の方法で対応します。

また、膜透過液および硝酸化液には加里が多いため、施肥設計にあたり、各圃場の施用量は土壌診断に基づいて決定し、加里過剰にならないよう注意する必要があります。



図69 タンクとポンプによるかん液

(2) 作物の適、不適

今回の試験の結果、膜透過液および硝酸化液の利用は、トマトおよび葉ネギでの灌水同時施肥栽培に適することが分かりました。トマトおよび葉ネギ以外の作物についても、灌水同時施肥栽培が可能な作物であれば、膜透過液および硝酸化液による灌水同時施肥栽培ができる可能性があると考えられます。

参考文献

- (文献1) ニンニクから分離されたタバコモザイクウイルスのアブラナ科系統について. 李治遠・上田一郎・四方英四郎. 北海道大学農学部邦文紀要, 13(4): 542-549, 1983.
- (文献2) Effect of duration of heat exposure on upland weed seed viability (畑雑草種子の生存に及ぼす加熱時間の影響). 西田智子・黒川俊二・柴田昇平・北原徳久, 雑草研究, 44(1): 59-66, 1999.
- (文献3) メタン発酵処理が雑草種子の死滅率に及ぼす影響. 畜産草地研究所, http://www.affrc.go.jp/ja/research/seika/data_nilgs/h17/ch05033
- (文献4) 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-. 中村真人・柚山義人・山岡賢・折立文子・藤川智紀・清水夏樹・阿部邦夫・相原秀基, 農村工学研究所技報, 210: 11-36, 2010.
- (文献5) 食品廃棄物の堆肥化とその農業利用に関する研究. 竹本 稔, 農業技術センター研究報告, 148: 1-121, 2005.
- (文献6) 乳牛スラリー原液およびその発酵液の圃場散布に伴う窒素動態におよぼす散布条件の影響. 北海道開発土木研究所月報, 横濱充宏・中川靖起, 627: 29-41, 2005.
- (文献7) キャベツの露地栽培におけるメタン発酵消化液の効果的な施用方法. 徳田進一・田中康男・東尾久雄・村上健二・相澤証子・浦上敦子・國久美由紀, 日本土壤肥料学雑誌, 81(2): 105-111, 2010.
- (文献8) 液肥(スラリー)の施用技術. 住田憲俊・澤村 篤, 畜産の研究, 106-110, 2003.
- (文献9) 圃場還元液状きゅう肥からのアンモニア揮散量の推定と酸添加による揮散の低減法. 斎藤元也・木村 武・倉島健次, 草地試験場研究報告, 41: 1-9, 1989.
- (文献10) 佐賀県における家畜尿の有効利用について. 吉岡秀樹, 畜産環境情報, 13: 7-15, 2001.
- (文献11) 堆肥の品質実態調査報告書. (財)畜産環境整備機構, p32 表9, 平成17年3月.
- (文献12) デンマークバイオガス研修旅行に参加して(1). 長峰孝文, 畜産の研究, 58(7): 814-821, 2004.

- (文献13) 養液栽培のすべて 植物工場を支える基本技術. (社) 日本施設園芸協会・日本養液栽培研究会 共編, 誠文堂新光社, p212, 2012.
- (文献14) メタン発酵消化液の脱水ろ液の減圧蒸留による減量. 山岡賢・柚山義人・中村真人, 農業土木学会論文集, 245: 125-126, 2006.
- (文献15) 家畜排せつ物のメタン発酵後処理装置の開発. 畠山 修一郎, 家畜排せつ物処理コスト低減等技術開発推進事業-技術開発研究総括報告書-平成14年度完了課題<企業・大学>, (財) 畜産環境整備機構, 239-259, 2003. (概要 <http://www.leio.or.jp/technical/rd/index2.html>)
- (文献16) 減圧蒸留によるメタン発酵消化液ろ液からのアンモニアの分離とろ液の濃縮. 山岡賢・柚山義人・中村真人, 農業農村工学会論文集, 75(4): 393-401, 2007.
- (文献17) アグリ・バイオマスタウン構築へのプロローグ. 編集 農林水産バイオリサイクル研究「システム実用化千葉ユニット」, (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村高価研究所, 32-39, 2007.
- (文献18) 曝気および膜分離等によるメタン発酵消化液の性状変化(短報). 大泉長治・山口岑雄, 千葉県畜産総合研究センター研究報告, 6: 61-62, 2006.
- (文献19) 上水膜. 上水膜 (第2版) 編集委員会, 技報堂出版, p78, 2008.
- (文献20) 家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術. (財) 畜産環境整備機構, p17, 2004.
- (文献21) 蒸気圧縮型蒸発缶の原理を応用した汚泥脱水システム解析, A.M.I. FIGUEROA・金沢正澄・岡山新史・小野浩二・山崎堯右, 高知大学学術研究報告, 第42巻, 33-47, 1993.
- (文献22) 初歩から学ぶ乾燥技術. 中村正秋・立元雄治, 丸善出版, 2011.
計算プログラム <http://homepage3.nifty.com/ntechx/sub9.html>
- (文献23) 活性汚泥による脱窒素. 桜井敏郎, 用水廃水ハンドブック (3) . 産業用水調査会, p558, 1979.
- (文献24) 汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領 1006改訂版. (社) 全国都市清掃会議, p188, 2006.

【家畜排せつ物の低コストエネルギー・副産物利用技術開発普及事業推進委員会委員名簿】

(敬称略、あいうえお順、◎は委員会座長)

- 梅津 一孝 帯広畜産大学大学院 畜産衛生学専攻 教授
亀岡 俊則 NPO法人 バイオガスシステム研究会 理事長
東城 清秀 東京農工大学大学院 農業環境工学部門 教授
本田 善文 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター 企画管理部 業務推進室 室長
薬師堂 謙一 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター バイオマス研究統括コーディネーター、バイオマスエネルギープロジェクトチーム プロジェクトリーダー
◎柚山 義人 (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 上席研究員

【執筆者名簿】

- 第1章 1. 長峰 孝文 (財) 畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所 主任研究員
第1章 2. ~6.
中村 真人 (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 主任研究員
相原 秀基 (株) 和郷 環境事業部 係長
藤川 智紀 東京農業大学 地域環境科学部 生産環境工学科 助教
柚山 義人 (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 上席研究員
阿部 邦夫 農事組合法人和郷園 顧問
山岡 賢 (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 主任研究員
折立 文子 (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 主任研究員
第2章 長峰 孝文 (財) 畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所 主任研究員
第3章 高野 幸成 千葉県農林総合研究センター 北総園芸研究所 畑作園芸研究室 研究員
第4章 佐藤 侑美佳 千葉県農林総合研究センター 生産技術部 野菜研究室 研究員

畜産環境技術研究所 所在地



メタン発酵消化液の濃縮・改質による野菜栽培利用マニュアル

平成25年2月15日発行

発行：財団法人 畜産環境整備機構

〒105-0001 東京都港区虎ノ門5-12-1 (ワイコービル2階)

TEL 03-3459-6300/FAX 03-3459-6315

編集および連絡先：財団法人 畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所

〒961-8061 福島県西白河郡西郷村大字小田倉字小田倉原1

TEL 0248-25-7777 (代) /FAX 0248-25-7540

メールアドレス：ilet@chikusan-kankyo.jp

ホームページ：http://www.chikusan-kankyo.jp