

研究論文

メタン発酵消化液のブロッコリー栽培における施用効果について

村中智恵子・西脇亜也*・宇田津康弘*・杉本安寛

宮崎大学農学部地域農業システム学科,

*宮崎大学農学部附属自然共生フィールド科学教育研究センター

(2008年11月28日 受理)

The effect of digested slurry of manure from bio-gas plant on the cultivation of broccolies.

Chieko MURANAKA, Aya NISHIWAKI*, Yasuhiro UDATHU*, Yasuhiro SUGIMOTO

Department of Regional Agricultural Systems, Faculty of Agriculture, Miyazaki University,

*Field Science Center, Faculty of Agriculture, University of Miyazaki

Summary : Bio-gas plant is expected for resource recycling. We try to know the effect of digested slurry of manure from bio-gas plant on the cultivation of broccolies. At the seedling stage, treatment of digested slurry application is better than treatment of chemical fertilizer. But three times application of digested slurry decreased the growth.

At the cultivation stage on the field, there is few effect of digested slurry on yield compare to chemical fertilizer at the treatment of standard level application. But there is negative effect at the treatment of three times application of digested slurry. There are no differences of contents of nitrate content or ascorbic of treatments of digested slurry compare to chemical fertilizer. The digested slurry of manure is useful fertilizer on cultivation of broccolies at the treatment of standard level application.

Key words : Bio-gas plant, Broccolies, Digested slurry, Fertilizer, Yield.

はじめに

バイオガスプラントは、家畜糞尿などのバイオマス（有機物）をメタン発酵させてエネルギーを得ることができる環境面で優れたシステムとして注目されている（菱沼ら，2008）。

しかし一方で、メタン発酵後の消化液が大量に発生する問題が生じている。一般には、消化液の処理には水処理施設を要することから、その経費は莫大なものになるが、消化液を液肥として利用できれば有効な資源となり、廃棄する際の水処理

コストも不要となる（宮田，2005b）。実際、消化液には窒素，リン酸，カリウムや微量元素などを豊富に含んでおり、液肥としての利用が期待されている（宮田，2005b）。

現在では、牧草（松中，2007）、飼料イネ（須永，2007）、デントコーン（若木，2005）、トマト（宮田，2005a；宮田，2005b；宮田，2006）、レタス・ハウレンソウ（甘利，2006）、水稻（小畑，2006，中村，2007）、麦類（君和田，2005）、てん菜・ジャガイモ・秋まき小麦（古舘，2004）、メ

ロン（中野，2003），茶（宮本，2008）などの様々な農作物への消化液の施用試験が行われ，その結果の多くは，消化液は液肥として有効であり，化学肥料の代替利用が可能であることを示している。

一方，消化液にはN源としてアンモニア態窒素を多く含むが硝酸態窒素の含有率は低いこと，カルシウム，マグネシウムの濃度は高いものの水溶性成分の濃度は低いこと，リン酸の濃度が低く，ナトリウムや塩素濃度が高いことなど液肥として利用する場合に留意すべき点も多い（宮田，2005a）．特に野菜は直接人の口に入るものであるため，新規の肥料である消化液を使って生産された野菜の品質や安全性については慎重に検討される必要がある。

相崎（2007）は，様々な作物に対して消化液を施用し，特にブロッコリーについては過剰な施用はアンモニアの過剰障害を生じさせると述べている．相崎（2007）の試験では，「弁当肥」として育苗ポットを消化液に浸漬する処理の回数を変化させて施肥を行ったため，苗に与えられた肥料成分量が不明である．また，彼らはアンモニアの過剰障害が生じたと考えているが，与えた消化液中のリン酸濃度が低いことによる生育不良が生じた可能性もある。

そこで，先のブロッコリーの生育障害の理由を明らかにするためには，ブロッコリーの栽培にあたり，施用する肥料成分量を調整した肥料実験を行う必要がある．さらに実際の消化液利用を想定した場合，定植後の圃場栽培でも生育障害が生じるかどうかを明らかにすることは重要であると考えられる。

そこで本研究では，ブロッコリー栽培において，消化液は化学肥料の代替利用が可能かどうか，そして多量に施用した場合に過剰障害が生じるのかわかりやすく明らかにすることを目的とする。

材料および方法

消化液

宮崎県小林市に2006年2月に建設されたバイオガスプラントから2006年8月9日に80リットル，同年10月26日に80リットルの消化液の提供を受けた。

それぞれの消化液の成分測定値（浅野ら，未発表）によると，8月9日と10月26日の消化液中の窒素濃度はそれぞれ4033 mg/l，5104 mg/lでありその多くはアンモニア態窒素であった．また，リン濃度は822 mg/l，1199 mg/l，カリウムは1908 mg/l，2597 mg/l，マグネシウムは56 mg/l，381 mg/l，カルシウムは850 mg/l，2442 mg/lであり，その他の微量元素も含め作物の栄養となる多くの成分が含まれていることが確認された。

1. 育苗での消化液施用処理

2006年8月9日に7種類の育苗床土を作り，1要因7処理4反復の完全実施要因計画（full factorial design）によって栽培実験を行った．36セル（1セル4.7×4.7×5 cm）のペーパーポットを1単位としてそれぞれのセルに床土を詰めた．そのため7×36×4=1008セルを用いた実験となった（写真1）。

育苗床土は，黒色火山灰土（宮崎焼土）15 kgあたり牛糞堆肥（商品名サングリーン）1.8 kgと苦土石灰30 gを加えたものを基本培土とし，これに処理毎に異なる資材を加えて処理区とした．すなわち，慣行区：化成肥料（くみあい苦土有機化成特A801，NPK=8%，8%，8%）15 gと溶燐（くみあいようりん，P=20%）75 g，消化液半分区（消・0.5区）：消化液の分析結果から，窒素が慣行量（N=1.2 g/15 kg）の半分（N=0.6 g/15 kg）となる量の消化液を使った消化液半分区，消化液同量区（消・1区，N=1.2 g/15 kg），消化液3倍区（消・3区，N=3.6 g/15 kg），消化液半分P区（消・0.5P区）：消・0.5区に溶燐75 gを加えた処理区，消化液同量P区（消・1P区）：同様に消・1区に溶燐75 gを加えた処理区，消化液3倍P区（消・3P）：同様に消・3区に溶燐75 gを加えた処理区の計7処理区である。

ブロッコリーは早生品種の“ハイツ”（タキイ種苗株式会社）を使用した．2006年8月24日に1セルにつきブロッコリー種子を2粒ずつ播種した。

ポットは木花フィールド内のビニールハウス内に置き、定植するまで土の乾き具合を見ながら灌水を行った。その後9月4日に間引きを行い、定植直前の9月11日には、苗の生存率と健全苗率（倒伏や徒長、生育不良、病虫害などが見られない定植可能と判断した苗の割合）の調査を行った。処理区ごとの生存率と健全苗率は、36セルあたりの生存数と健全苗数から求めた。そして36セルにつき4本ずつの生育が平均的な苗を選び、その草丈、根長、本葉数、重量（生重と乾物重）を測定した。乾物重は、70℃で48時間以上通風乾燥した後測定した。

2. 圃場栽培における消化液施用処理

木花フィールド3号圃場の一部（10×20 m）に8月8日に40 kgの石灰、8月22日に40 kgの鶏糞（ダルマ有機、NPK=3.6%，6.5%，3.9%）、9月4日に14 kgの化成肥料（株式会社アグロメイトBB360、NPK=13%，16%，10%）を散布し、それぞれの日に耕耘した。そのため、基肥としては窒素で化成肥料が9.2 kg/10 a、鶏糞が1.44 kg/10 a、合計で10.64 kg/10 aを施用したことに

なる。

9月12日に、慣行区と消・0.5区、消・1区、消・3区（消・3P区を含む）の苗を用いて、1区画につき25株を4反復（1区画2×5 m、2条植え、株間33 cm）として定植した。そのため1要因4処理4反復の完全実施要因計画となり、合計で16区画、500株の実験配置となった（消・3P区の苗100株を含む）。その後9月17日に台風被害があり、半分以上の個体に被害が出たために、各区画あたりの生存本数は5～8本となった。

9月28日と10月31日に追肥と土寄せを行った（写真1）。慣行処理区には化成肥料NK7（株式会社アグロメイト、N、K=14%，14%）を1区画につき0.35 kg（N、K=4.9 kg/10 a）、消・0.5区には慣行区の追肥量の約半分の窒素量に調整した消化液を1株につき150 ml（N=2.45 kg/10 a）、消・1区には300 ml（N=4.9 kg/10 a）、消・3区には900 ml（N=14.7 kg/10 a）ずつブロッコリーの株元に施用した。

2回目追肥の直後の11月1日には1区画につき3本ずつ生育が平均的な株を選び、その草丈と株の直径を調べた。

育苗（8月24日～）



定植後の追肥（9月28日）



収穫（11月10日～）



2回目追肥（10月31日）



写真1. ブロッコリー栽培試験風景

11月10日以降に収穫適期になったものから順に収穫を行った（写真1）。

収穫した個体毎の草丈，幅，茎の太さ，収穫物の重量（生重）を調べた。また収穫物から約10 gのサンプルを2つ採集し，1つは乾物率の測定用とし，残りの1つは -7°C で冷凍保存しておき，その後ビタミンC濃度，糖度，硝酸イオン濃度を測定した。その際，凍結サンプル10 gを粉碎し，蒸留水を加えて50 gにした液を測定サンプルとし，希釈倍率を考慮して元のサンプル中の濃度を算出した。ビタミンC濃度 (mg/l) は簡易測定キット（ビタミンC試験紙（アスコルビン酸）TPA-VC，共立理化学研究所）を用い，硝酸イオン濃度 (mg/l) はRQフレックス法を用い，糖度は糖度計（アタゴ手持屈折計，N-1E）を用いて測定した。乾物重は， 70°C で48時間以上通風乾燥した後測定した。

3. 統計解析

実験計画法に基づき，育苗では1要因7処理4反復の，圃場栽培では1要因4処理4反復の完全実施要因計画（full factorial design）とした。疑似反復を避けるために育苗での実験区画はブロック内に無作為に割り付けて配置したが，圃場栽培では，処理数と反復（ブロック）数が等しいのでラテン方格による配置とした。どの測定データについても一元配置分散分析を用いて解析を行った。

結果

1. 育苗での消化液施用の影響

生存率：消・3区が消・0.5区，消・1区および消・1P区に比べて有意に低かった（図1）。消・3P区は，消・3区よりも生存率が若干高かつ

たが有意ではなかった。

健全苗率：消・3区と消・3P区が消・0.5区，消・1P区に比べて有意に低かった（図2）。

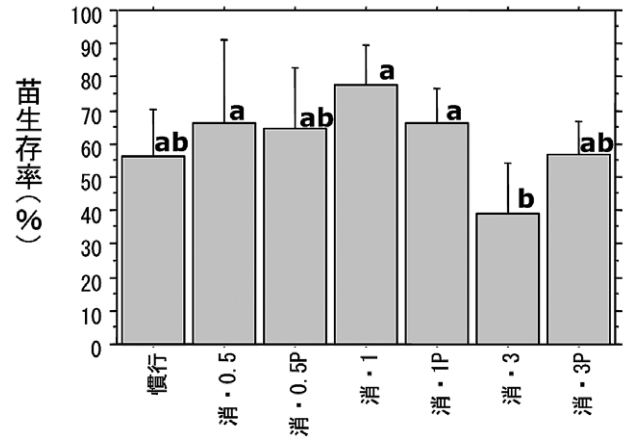


図1. 床土での肥料処理別のブロッコリー苗生存率 ($F=2.35$, $P=0.068$). 図中の異なるアルファベットはFisherのPLSD検定で有意 ($P<0.05$). エラーバーは標準偏差。

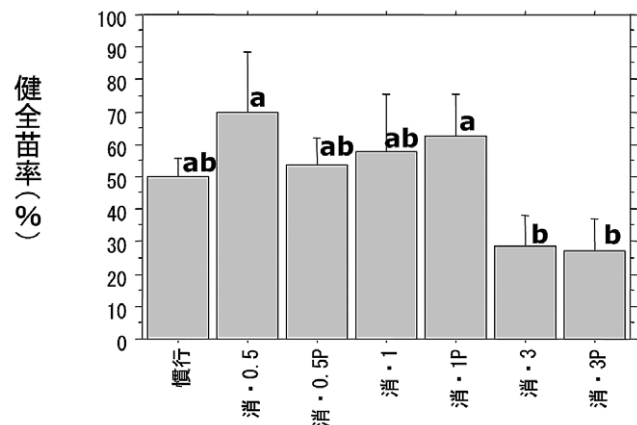


図2. 床土での肥料処理別のブロッコリー健全苗率 (定植可能な苗の割合; $F=6.56$, $P=0.0005$). 図中の異なるアルファベットはFisherのPLSD検定で有意 ($P<0.05$). エラーバーは標準偏差。

表1. 定植直前のブロッコリー苗の性状

処理区	例数	草丈 (cm)	標準偏差	根長 (cm)	標準偏差	本葉数	標準偏差	乾重 (g/本)	標準偏差
慣行	4	7.55	0.74	9.63	1.88	3.00	0.00	0.08	0.01
消・0.5	4	9.70	1.93	15.38	1.38	3.00	0.82	0.11	0.06
消・1	4	9.00	0.91	16.38	3.09	3.50	0.58	0.10	0.01
消・3	4	8.30	1.21	14.63	4.33	2.75	0.50	0.08	0.02
消・0.5P	4	7.43	0.72	13.63	3.71	3.00	0.00	0.07	0.02
消・1P	4	8.93	1.65	10.88	1.89	3.25	0.50	0.09	0.04
消・3P	4	6.75	0.96	15.00	2.86	2.75	0.50	0.06	0.02
<i>F</i>		2.85		2.92		1.14		0.93	
<i>P</i>		0.03		0.03		0.37		0.49	

定植直前の苗の性状：草丈では消・0.5区、消・1区が他の処理区よりも有意に長かった（表1）。根長では慣行区が他の処理区に比べて短かった。本葉数、乾重は処理区間に有意な差は認められなかった（表1）。

2. 圃場栽培での消化液施用の影響

〔株の成長〕

2回目の追肥直後の草丈は50~60 cm（図3）、株直径も90~100 cm（図4）と順調に生育し、処理区間には有意差が認められなかった。株の成長に対する消化液の施用による過剰障害は慣行の3倍施用でも認められなかった。

〔播種から収穫までの日数〕

播種から収穫までの日数については、慣行区、消・0.5区、消・1区では80日前後で処理区間に

有意差が認められなかったが、消・3区では90日以上の子が多く、他の処理区に比べて収穫までの日数が有意に長くなっていた（図5, FisherのPLSD, $P < 0.05$ ）。

〔収穫率〕

区画毎に収穫されたブロッコリーの個体当たり収穫率には処理区間に有意な差が認められた（図6）。慣行区に比べて消・0.5区と消・1区には差がないものの若干高い値を示した。一方、消・3区は消・0.5区、消・1区よりも有意に低い値を示した（FisherのPLSD, $P < 0.05$ ）。

〔収穫時の株の大きさ〕

収穫した全ての株の草丈、茎の太さ、直径に処理区間の有意な差は認められなかった（データ省略）。

〔収穫物〕

収穫物（ブロッコリー）の生重量、乾物率、サ

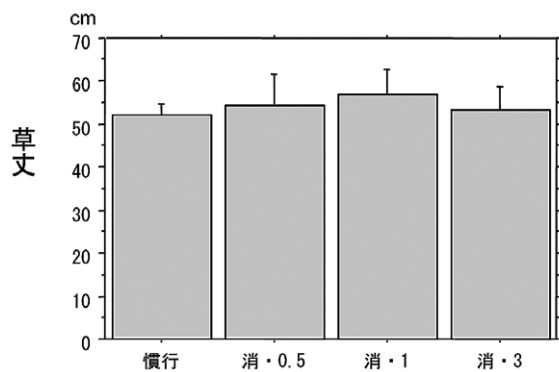


図3. 2回目追肥直後（11月1日）の草丈。
（処理区間に有意差無し）。エラーバーは標準偏差。

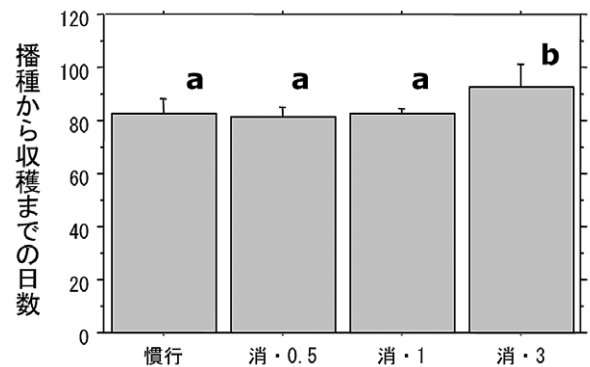


図5. 播種から収穫までの日数
（ $F=14.04$, $P < 0.0001$ ）。消・3区で有意に日数増加（Fisher's PLSD: $P=0.0001$ ）。エラーバーは標準偏差。

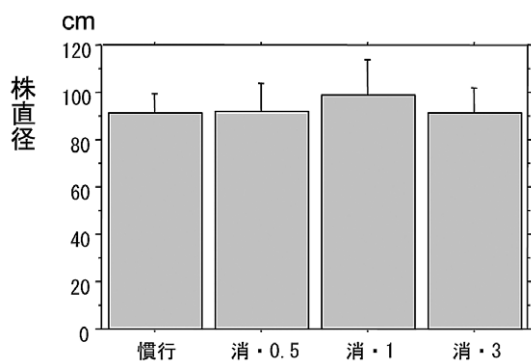


図4. 2回目追肥直後（11月1日）の茎直径。
（処理区間に有意差無し）。エラーバーは標準偏差。

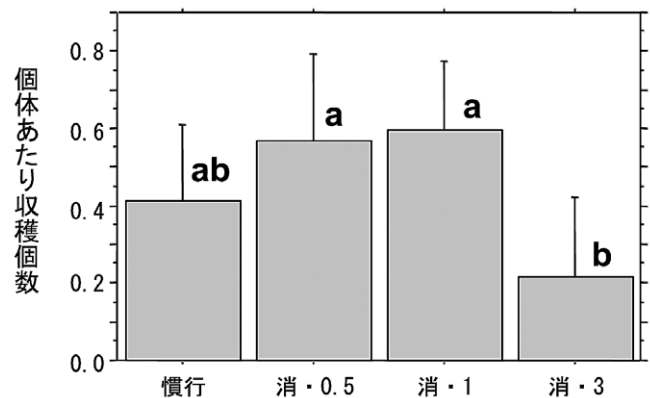


図6. 圃場での処理と収量（収穫個数/個体）との関係
（ $F=3.98$, $P=0.027$ ）。図中の異なるアルファベットはFisherのPLSD検定で有意（ $P < 0.05$ ）。エラーバーは標準偏差。

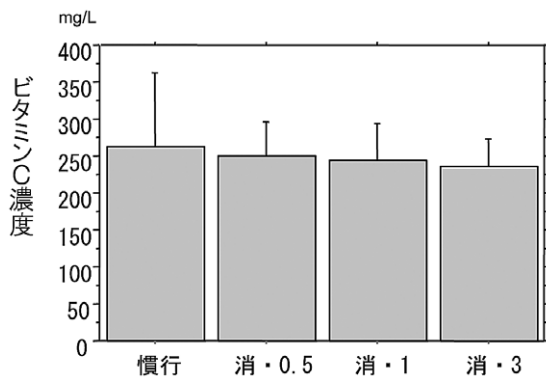


図7. ブロッコリーのビタミンC濃度
(処理区間に有意差無し). エラーバーは標準偏差.

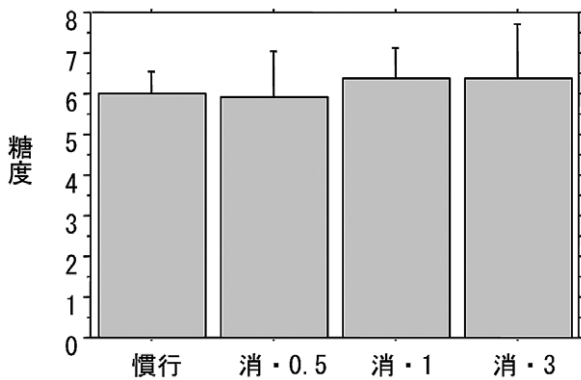


図8. ブロッコリーの糖度
(処理区間に有意差無し). エラーバーは標準偏差.

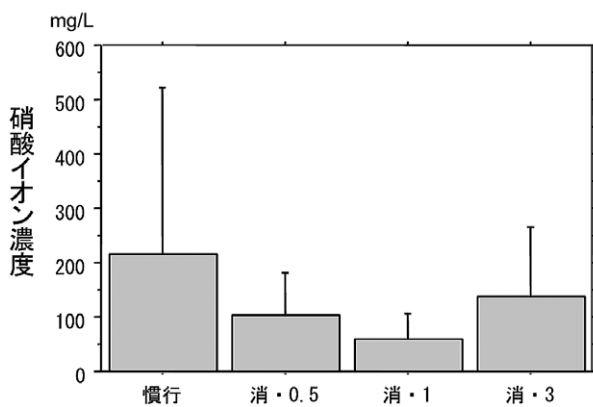


図9. ブロッコリーの硝酸イオン濃度
(処理区間に有意差無し). エラーバーは標準偏差.

ンプルのビタミンC濃度 (図7), 糖度 (図8), 硝酸イオン濃度 (図9) には, いずれにも処理区間に有意な差は認められなかった.

考 察

1. 育苗での消化液施用の影響

化成肥料を施用した慣行区と比較して消化液を同程度の窒素量を施用した処理区の生存率, 健全苗率, 乾物重などは同等以上であり, 育苗段階で消化液を使った場合では, 化成肥料と同等以上の施肥効果が得られることが確認された.

しかし生存率, 健全苗率は消化液を3倍施用した区で有意に低かったことから, 消化液を大量に与えると, 生育が阻害されることが明らかとなった.

育苗段階の生育については, 窒素量で慣行と半分か同等の消化液を施用した場合は慣行よりも若干良かった. しかし窒素量で慣行の3倍の消化液の場合は生育障害が生じたが, これは相崎(2007)の結果と符合するものである. そしてこの生育障害はリン酸を加えてもほとんど改善されなかった. このことから生育不良の原因はリン酸不足などの栄養バランスが悪いことによるのではなく, 濃度障害をもたらす過剰施用によるものであると考えられ, アンモニア態窒素の含有率が高い消化液の過剰な施用は禁物であるとする相崎(2007)の主張を支持する結果となった.

しかしながら, 今回の結果では新たに, 慣行と同程度の施用であれば過剰障害は生じないこと, リン酸の添加は必ずしも必要とは言えないことが明らかとなった.

2. 圃場栽培での消化液施用の影響

定植後の圃場での栽培時に窒素を基準として慣行の半分か同等の量の消化液を施用した場合, 慣行区と同等以上の施用効果が得られることが確認された. 多くの先行研究と同様に, 消化液は化成肥料の代替使用が可能であると判断される. しかしながら, 慣行の3倍量の消化液を追肥施用した場合は, 株の成長面では過剰障害は認められなかったが, 収穫までの日数が大幅に遅れ, そのため収穫数の大幅な低下となった. このことは, 圃場栽培においても, ブロッコリーの場合には消化液の大量施用による過剰障害が生じることを意味する. この過剰障害は花芽の生育の遅延に由来する.

以上より, ブロッコリー栽培においては, 育苗でも圃場栽培でも慣行と同等量の消化液を施用した場合, 化成肥料と同等以上の施用効果が得られることが明らかとなった.

相崎（2007）が報告した消化液施用によるブロッコリーの生育障害は、慣行区と同量程度の消化液の施用量では生じないと考えられる。

しかし実際に農業現場で消化液を液肥として施用する上では解決すべき問題点がいくつある。一つ目は、消化液を用いた施肥設計の難解さである。消化液は、メタン発酵させる生ごみや家畜糞尿の種類や量によって、含有成分が大きく変動する。そのため毎回、消化液の成分含有量を測定し、必要量を算出しなければならない。二つ目は、消化液の運搬、散布作業が重労働であることである。本実験では、追肥は消化液を一株ずつ株元施用したが、実際の農業現場ではホース配管などによる施用が必要だと考えられる。三つ目は匂いの問題である。消化液は発酵前の豚糞などに比較すれば臭いは少ないものの、やはりかなり強い臭気があり作業員や周辺住民の苦痛となる可能性がある。四つ目は、表面流亡の問題である。追肥時に表土が硬くなっている場合、消化液の多くが株元から流れ落ちてしまい畝間施用となることがある。

しかし、これらの問題を解決すれば、消化液は化成肥料の代替として十分に利用可能だと考えられる。特に消化液の散布においては、機械化による労力軽減や、消化液の固体化による軽量化と保存性の向上などの改善は有効であろう。

3. 今後の課題

消化液を慣行の3倍量施用した処理区で生じた過剰障害が消化液特有のものなのかどうかを知るためには、化成肥料の施用量を変えた比較対照実験などが必要である。

要約

バイオガスプラントは資源循環の観点から期待されているが、メタン発酵後に出る消化液の有効利用法の確立が求められている。本研究では、ブロッコリー栽培に消化液を使う利点と問題点を明らかにすることを目的とした。処理区は慣行化成肥料区、窒素が慣行の半分量の消化液を使った消化液半分区、消化液同量区、消化液3倍区、またそれぞれの消化液区にリン酸（溶燐）を加えた消化液半分P区、消化液同量P区、消化液3倍P区とし、育苗と圃場栽培でのブロッコリーの生育におよぼす消化液施用の影響を調査した。

育苗での生育については、窒素量が慣行と半分かつ同量相当の消化液を施用した場合は慣行と同等以上であった。しかし消化液を慣行の3倍量相当を施用した場合は過剰障害が生じた。この過剰障害はリン酸を加えて肥料バランスを調整しても改善されなかった。

定植後の圃場での生育について、窒素量が慣行と半分かつ同量相当の消化液を施用した場合は慣行と同等以上であった。しかし消化液を慣行の3倍量相当を施用した場合は、収穫までの日数が遅延し収穫数が減少する過剰障害が生じた。

以上より、ブロッコリー栽培において窒素が慣行区の半分かつ同量の消化液を使った場合、化成肥料と同等以上の施用効果が得られることが分かった。

キーワード：バイオガスプラント、消化液、施用効果、ブロッコリー、メタン発酵。

謝辞

本研究は、「平成18年度文部科学省特別研究経費・連携融合事業・農林畜産廃棄物利用による地域資源循環システムの構築」による運営費交付金を用いて実施された。研究の実施にあたり、「農林畜産廃棄物利用による地域資源循環システムの構築」に関係する宮崎大学の教職員各位、農学部附属自然共生フィールド科学教育研究センターの教職員各位、そして宮崎大学農学部西脇研究室の学生諸氏には様々な支援をいただいた。深く感謝を申し上げたい。

引用文献

- 相崎万裕美（2007）生ごみメタン発酵消化液の野菜苗への肥効について。埼玉県農林総合研究センター研究報告 6, 78-80.
- 甘利 誠・豊田剛己（2006）レタス・ホウレンソウの糸状菌病害におけるメタン消化液の施用効果。日本土壤肥料学会講演要旨集 52, 40.
- 小畑 仁・水谷裕典・水野隆文・脇田正彰・松葉捷也（2007）メタン発酵消化液を施した水田における窒素量の変化（予報）。日本土壤肥料学会講演要旨集 53, 275.
- 古館明洋・志賀弘行（2004）畑作物に対するメタン発酵消化液の肥効（北海道支部講演会）。日

- 本土壌肥料学会支部講演会講演要旨集2004年度, 247.
- 菱沼竜男・栗島英明・楊 翠芬・玄地 裕 (2008) LCA手法を用いたメタン発酵施設によるふん尿処理・利用方式の環境影響の評価：堆肥化・液肥化処理との比較. 日本家畜管理学会誌 **44**(1), 7-20.
- 君和田健二・安田道夫 (2005) 麦類に対するバイオガスプラント消化液の施用効果. 本土壌肥料学会講演要旨集 **51**, 154.
- 松中照夫・岡野智子 (2007) 過リン酸石灰添加による乳牛ふん尿消化液の牧草に対する肥料的効果の向上. 本土壌肥料学会講演要旨集 **53**, 139.
- 宮本大輔 (2008) 資源・環境 メタン発酵消化液の茶樹への利用について. 圃場と土壌 **40**, 6.
- 宮田尚稔・池田英男 (2005a) メタン発酵消化液を液肥として利用した場合の培地中の窒素挙動. 本土壌肥料学雑誌 **76**(6), 859-864.
- 宮田尚稔・池田英男・小島敬良 (2005b) メタン発酵消化液が養液土耕, やしがら耕, ロックウール耕および水耕におけるトマトの生育に及ぼす影響. 本土壌肥料学雑誌 **76**(5), 619-627.
- 宮田尚稔・池田英男 (2006) メタン発酵消化液が養液土耕におけるトマトの生育と果実収量に及ぼす影響. 本土壌肥料学雑誌 **77**(6), 619-626.
- 中野明正・上原洋一 (2003) かん水同時施肥栽培におけるコーンステイプリカーおよびメタン消化液の利用がメロンの生育および収量に及ぼす影響 (土壌管理・施肥・灌水). 園芸学研究 **2**(3), 175-178.
- 中村 愛・坂野正和・松田従三・荒木 肇 (2007) ポット栽培稲の生育に及ぼす乳牛糞尿由来消化液の効果. 日本育種学会・日本作物学会北海道談話会会報 **48**, 31-32.
- 中村公人・船本健正・三野 徹 (2007) メタン発酵消化液が投入された水田内での窒素動態. 環境技術 **36**(9), 639-646.
- 須永薫子・吉村季織・候 紅・Thawda Win Khin・吉川美穂・朝田 景 (2007) 水田-飼料イネ栽培システムを用いたメタン発酵消化液の浄化処理：2メタン発酵消化液多投入による土壌理化学性への影響. 本土壌肥料学会講演要旨集 **53**, 172.
- 若木 修・鈴木啓太・新海秀史・高橋太郎・平 克郎・八巻憲和・荒木 肇・松田従三 (2005) 土壌化学性の変化とデントコーン生育・収量に及ぼす消化液, 堆肥および化学肥料の影響：1. 施用1年目の効果. 北海道大学農場研究報告 **34**, 13-20.