

研究論文

サツマイモの生育および収量に対するメタン発酵消化液の施用効果

松尾光弘・久藤至彦・寺尾寛行・小川紹文・安藤定美¹⁾・西脇亜也¹⁾

宮崎大学農学部植物生産環境科学科

¹⁾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

(2010年12月27日 受理)

Effects of anaerobically digested slurry to the growth and yield of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.).

Mitsuhiro MATSUO, Yoshihiko KYUTOH, Hiroyuki TERAOKA, Tsugufumi OGAWA, Sadami ANDO¹⁾, and Aya NISHIWAKI¹⁾

Department of Agricultural and Environmental Science, Faculty of Agriculture, University of Miyazaki,

¹⁾Field Science Center, Faculty of Agriculture, University of Miyazaki

Summary : To estimate ability of anaerobically digested slurry from bio-gas plant as manure on the sweet potato cultivation, the nutritive effects on the rooting, growth and yield of sweet potato plants were investigated.

Rooting on cut-sprouts of sweet potato was shown in the slurry diluted with low concentrations, however, the number of nodal roots developed in the low concentration of slurry was less than that in tap water. Cut-sprouts placed in the slurry itself were not rooting at all.

On pot experiments, there were no difference in growth of sweet potato plants and formation of tuberous roots between treatments of the slurry, at planting day and at 1 month after planting. On field experiments, timing and treating methods under the combination of the slurry and chemical fertilizer at before or after ridge plowing were also investigated. However, there were no difference by their treatments on the growth of sweet potato plants, formation and yield of tuberous roots.

From the results of these experiments, it was clear that higher concentration of anaerobically digested slurry was inhibited to the development of nodal roots. And, it was demonstrated that it's need not treat on chemical fertilizer before ridge plowing by utilizing of the slurry. Furthermore, the yield of tuberous roots by treatment of the slurry only was the same as that on conventional cultivation. Therefore, it was suggested that the slurry had high nutritive effects as a substitute for chemical fertilizer in sweet potato cultivation.

Key words : Anaerobically digested slurry, Bio-gas plant, Fertilizer application, Sweet potato, Tuberous root yield.

緒言

近年、家畜糞尿あるいは家庭からの生ごみ等の有機性廃棄物が多く排出されるようになり、それらの不十分な処理から悪臭や地下水汚染等の環境

問題が生じ始めている。そのため、有機性廃棄物を適正に処理するだけでなく、資源としての有効利用が期待されている。日本では、家畜糞尿はこれまでに堆肥化処理施設により堆肥化され、それ

を有機肥料として作物生産に利用することが多かったが、近年それらをエネルギー資源として有効に利用する試みがなされている。その方法の一つに、バイオガスプラントがある。このプラントは、メタン発酵によって畜産廃棄物中の炭素分をメタンガスとして回収できることから、それをエネルギー源として活用することができる。バイオガスの利用方法としては、主に発電のための燃料として利用されている(塚原ら 2005)。一方、炭素以外の成分はメタン発酵消化液(以下、消化液)として排出されるが、大量に回収されるその消化液の処理が更に問題となっている。消化液は、水分量の高い有機性廃棄物からエネルギー資源を取り出す際に必然的に発生する液体であるが、エネルギー資源生産の観点から見れば廃棄物となるため、現在では下水処理される場所が多い。しかし、消化液には作物の栄養となる多くの成分が含まれていることから、現在作物生産において多量に使用されている化成肥料の代替として利用できる可能性があることが示唆されている(宮田ら 2005)。そこで、消化液を液肥として農業現場に利用できれば有効な資源となり、また廃棄する際のコストも不要になると考えられる。

以上のようなことから、消化液を代替肥料としてより有効に利用するため、近年トマト(*Solanum lycopersicum* L.) (宮田ら 2005)、メロン(*Cucumis melo* L.) (中野・上原2003)、ブロッコリー(*Brassica oleracea var. Italica*) (村中ら 2009)、キャベツ(*Brassica oleracea* L.) あるいはハクサイ(*Brassica pekinensis* L.) などの葉茎菜類(徳田ら 2007)、さらにはイネ(*Oryza sativa* L.) (古賀ら 2010) に対する影響についての報告がなされている。その結果、消化液を液肥として施用した場合、いずれの作物においても慣行法である化成肥料施用区と比較して生育あるいは品質に差がないことが認められたことから、消化液は化成肥料に代わるものとして利用可能と判断されている。しかし、飼料作物を含めた多くの作物生産において消化液を利用するためには、それぞれの作物に対する肥料的効果、また栽培体系下での施用方法あるいは効率性についてのデータを蓄積し、普遍的な評価を行っておく必要がある。

南九州は、サツマイモ(*Ipomoea batatas* L.)

が幅広く生産されている地域であり、鹿児島県および宮崎県では作付面積が全国の42%、生産量が46%を占めている(農林水産省 2008)。主な用途は青果用、でんぷん原料用、焼酎原料および飼料用であり、南九州での基幹作物として経営上重要な地位を占めている。サツマイモは収穫期間が長く、労力配分あるいは前作後作の選定の自由度が高い。また、根の養分吸収力が他作物よりも強いいため、温度条件さえ満たせばある程度の収量が期待できることから、窒素施肥量が少量で済む環境保全に適した作物であると言える。このようなことから、南九州地域の基幹作物であるサツマイモ栽培において消化液を肥料として利用することは、地域資源循環システムの技術確立に寄与するものと期待できる。そのためには、消化液をサツマイモ栽培下においてどのように施用し、また消化液がサツマイモの生育あるいは収量にどのような影響を及ぼすのかを明らかにしておく必要がある。

そこで、本研究はサツマイモの発根に対する消化液の影響を明らかにするとともに、サツマイモ栽培体系下への利用の観点から、消化液の施用時期とサツマイモ塊根形成との関係について明らかにすることを目的として行った。

材料および方法

消化液

宮崎県都城市山田町の養豚農家より譲受した糞尿を、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内に2007年3月に建設されたバイオガスプラント内で発酵させて、得られた消化液を供試した。以下の各実験に供試した消化液の成分組成は表1のとおりである。

表1. メタン発酵消化液の成分組成

| | 分析値 (mg/消化液1L) | | | |
|---------------------------------|----------------|-------|--------|--------|
| | 2007年度 | | | 2008年度 |
| | 発根実験 | ポット実験 | | |
| | | 挿苗直後 | 挿苗1ヵ月後 | |
| N | 1848 | 4246 | 4090 | 3913 |
| NH ₄ ⁺ -N | 1831 | 3325 | 3096 | 3486 |
| P | 145 | 686 | 1015 | 409 |
| K | 996 | 2330 | 1627 | 1683 |
| Total Solid | 5525 | 12999 | 12863 | 10692 |

サツマイモ

本研究は、サツマイモ品種として‘宮崎紅’を供試した。

1. 発根に対する消化液の影響

本実験は、2007年5月～6月にかけて宮崎大学農学部作物学研究室で行った。消化液は、原液に対して等倍、1/2倍、1/4倍、1/8倍および1/16倍の濃度となるように水道水で希釈した後、各液200 mlを三角フラスコ内に入れ、5節を有するサツマイモ幼苗について下位2節が液に浸るように挿入した。幼苗は脱脂綿で固定し、三角フラスコの周囲はアルミホイルを巻いて遮光した。それらフラスコは、25℃一定、12時間日長下の温度勾配恒温器(TG-180-5L, 日本医化器械製作所)内に設置し、7日間育成した。なお、水道水で育成した対照区を設けた。実験は、各濃度について4個体を供試した。実験開始後7日目に幼苗を取り出し、根数(長さ5 mm以上)および根長を測定した後、60℃の乾燥器(DV400, ヤマト科学株式会社)で48時間乾燥させて根重を測定した。また、低濃度(原液に対して1/16倍、1/32倍、1/64倍、1/128倍および1/256倍濃度)下での発根調査についても同様に行い、さらに実験前後におけるpHおよびECを測定した。

2. サツマイモ栽培体系下への消化液の利用

本実験は、いずれも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・木花フィールド(農場)内圃場で行った。

1) ポット実験

1) -1 2007年度

本実験は、2007年6月～11月に行った。6月5日に、1/2,000 aワグネルポット内に焼土(宮崎焼土1号, 株式会社山宗商会, 宮崎市, 以下同)を詰め、5節を有するサツマイモ幼苗を2節が埋土するようにポット中央に1本を斜め植えで挿苗した。挿苗直後および挿苗1ヶ月後(7月9日)に消化液原液に対して等倍、1/2倍、1/4倍および1/8倍の濃度とした消化液をポットにそれぞれ施用した。なお、消化液等濃度でのポット当たり窒素施用量は10 a当たり4 kgとし、消化液を与えない無施用区も設けた。各区ともに4反復とした。

消化液の施用後は、それぞれの濃度下におけるサツマイモ植物体について茎長および葉数を毎週調査した。最終調査として、11月2日にポットよりサツマイモ株を掘り取り、塊根数および形状(長さ、幅および重さ)を測定した。

1) -2 2008年度

本実験は、2008年5月～10月に行った。6月9日に、1/2,000 aワグネルポットに焼土を詰め、サツマイモ幼苗を2節が埋土するように1本を斜め植えで挿苗した。試験区は、消化液単用区、消化液に不足するリン酸およびカリウムを加えた混用区および化成肥料区とし、それらの施用時期を挿苗2週間あるいは挿苗直後として行った。なお、消化液単用区は10 a当たり窒素(N)が4 kgとなるように消化液を、化成肥料区は10 a当たり窒素(N)が4 kgとなるように硫酸アンモニウム(窒素含有率21%, 宇部興産, 以下同)を、リン酸(P_2O_5)が12 kgとなるように熔成リン酸(リン酸含有率20%, 貴州清和化学, 以下同)を、カリウム(K_2O)が10 kgとなるように塩化加里(カリウム含有率60%, 三菱化学, 以下同)を施用し、また消化液とリン酸およびカリウムの混用区ではリン酸が12 kg、カリウムが10 kgとなるようにそれぞれ施用した。各区ともに4反復とした。施用後は、それぞれの施用区におけるサツマイモ植物体について茎長および葉数を毎週調査した。最終調査として、10月3日にポットよりサツマイモ株を掘り取り、塊根数、形状および総根長を調査した。

2) 圃場実験(2008年度)

本実験は、2008年5月～11月に行った。5月18日に、基肥として10 aあたりに高度複合肥料BB824(窒素8%, リン酸12%, カリウム24%, 株式会社アグロメイト)を20 kg、熔成リン酸を50 kg、硫酸加里(カリウム含有率50%, 株式会社アグロメイト)を20 kgとなるように施用した。施肥区および化成肥料無施肥区を設置し、それぞれの区において耕起後に50 cm幅で畝立てして黒ビニルでマルチした。5月22日に、消化液原液を施用した単用区および消化液原液に10 a当たり12 kgの熔成リン酸および10 kgのカリウムを加えた混用区を設けて、それぞれに施用した(挿苗2週

前施用). また, 6月5日においても単用区および混用区を設けて消化液を施用した(挿苗直後施用). 消化液の施用量は10 a当たり窒素(N)が4 kg相当とし, 消化液はジョウロにより, 化成肥料は手で, 一度ビニルマルチを剥いで畝表面に施した. それら試験区に, 株間30 cmとなるようにサツマイモ幼苗を斜め植えで挿苗した. 試験区の長さは1.8 mとし, 施肥区は8反復, 無施肥区は6反復とした. 施肥区には, 消化液を施用しない対照区を設置した. 挿苗後は, それぞれの試験区におけるサツマイモ植物体について茎長を毎週調査した. 最終調査として, 11月12日にサツマイモ株を掘り取り, 地下部全重, 塊根重および塊根数を調査し, さらに塊根についてはその長さ, 幅, 重さ, 形状および病害虫被害程度を調査した. なお, 塊根の形状および病害虫被害程度は, 普通作物調査基準(宮崎県 1986)に従って達観により評価した.

結 果

1. 発根に対する消化液の影響

5段階の濃度に設定した消化液内にサツマイモ幼苗の2節を挿入した場合, 原液, 1/2および1/4濃度では発根が全く見られなかった. 発根が見られた1/8および1/16濃度における苗当たりの根数は, それぞれ3本および13本となり, 32本であった対照区と比較して有意に少なかった. 苗当たり

表2. 異なる濃度の消化液がサツマイモ幼苗の発根に及ぼす影響

| 消化液濃度 | 根数(本/苗) | 根長(cm/苗) | 根重(g/苗) |
|-----------|---------|----------|---------|
| 1回目(5/8) | | | |
| 原液 | - | - | - |
| 1/2 | - | - | - |
| 1/4 | - | - | - |
| 1/8 | 3 ** | 0.7 | 0.003 |
| 1/16 | 13 ** | 1.5 | 0.024 |
| 対照 | 32 | 2.7 | 0.058 |
| 2回目(5/25) | | | |
| 1/16 | 8 ** | 2.6 | 0.044 |
| 1/32 | 11 * | 3.2 | 0.021 |
| 1/64 | 13 * | 3.8 | 0.039 |
| 1/128 | 15 | 4.2 | 0.040 |
| 1/256 | 15 | 3.9 | 0.045 |
| 対照 | 27 | 3.8 | 0.047 |

**, *は対照と比較して1%あるいは5%で有意差あり.
(Tukeyの多重検定)

表3. 実験前後における消化液のpHおよびECの変化(2回目実験)

| pH | 消化液濃度 | | | | | 対照 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | 1/16 | 1/32 | 1/64 | 1/128 | 1/256 | |
| 実験前 | 8.19 | 8.15 | 8.07 | 7.91 | 7.67 | 7.11 |
| 実験後 | 7.55 | 6.95 | 6.88 | 6.5 | 6.41 | 6.15 |
| EC(s/m) | | | | | | |
| 実験前 | 52.58 | 31.68 | 20.48 | 14.81 | 11.7 | 8.46 |
| 実験後 | 67.23 | 30.53 | 18.7 | 12.56 | 8.61 | 6.46 |

の根長および根重については, 濃度による有意差は認められなかった(表2).

さらに低濃度とした消化液にサツマイモ幼苗の2節を挿入した場合, 全ての濃度下において発根が見られた. 発根が見られた1/16, 1/32および1/64濃度における苗当たりの根数はそれぞれ8本, 11本および13本となり, 27本であった対照区と比較して有意に少なかった. 苗当たりの根長および根重については, 濃度による有意差は認められなかった(表2).

実験に供試した消化液の各濃度におけるpHは7.67~8.19であり, 消化液が高濃度ほどpHはややアルカリ性に偏った. 実験終了後においても測定したが, いずれの濃度においてもpHは変化して酸性傾向を示していた. また, pHと同様にECについても調査したが, 実験前は高濃度ほど高い数値を示した. 実験終了後のECは, 1/64~1/256濃度区では実験前と比較して数値が低下していたが, 1/32濃度区では変化が見られず, 1/16濃度区ではECが上昇していた(表3).

2. サツマイモ栽培における消化液の導入

1) ポット実験

1) - 1 2007年度

4段階の濃度に設定した消化液をサツマイモの挿苗直後あるいは挿苗1週間後に施用したが, 株当たりの茎長は日数の経過とともに徐々に伸長し, いずれの施用時期あるいは濃度においてもほぼ同様の長さに推移した. しかし, 挿苗直後の原液施用において他の試験区と比較して茎長が有意に長く推移した. 挿苗後140日目において茎長が最も長かったのは, 挿苗直後に原液を施用した場合であり(36.3 cm), 挿苗直後に1/2濃度を施用した場合に最も短かった(20.4 cm)が, 有意差は認め

られなかった (図1)。

株当たりの葉数は、日数の経過とともに徐々に増加し、いずれの試験区においても同様に推移した。挿苗直後の原液区では、挿苗後30日目から56日目にかけて他の試験区と比較して葉数がやや多く見られたが、その後は差異が見られなかった。挿苗後140日目において葉数が最も多かったのは、挿苗1ヵ月後に原液を施用した場合であり (33枚)、挿苗1ヶ月後に1/4濃度を施用した場合に最も少なかった (23枚) が、有意差は認められなかった (図1)。

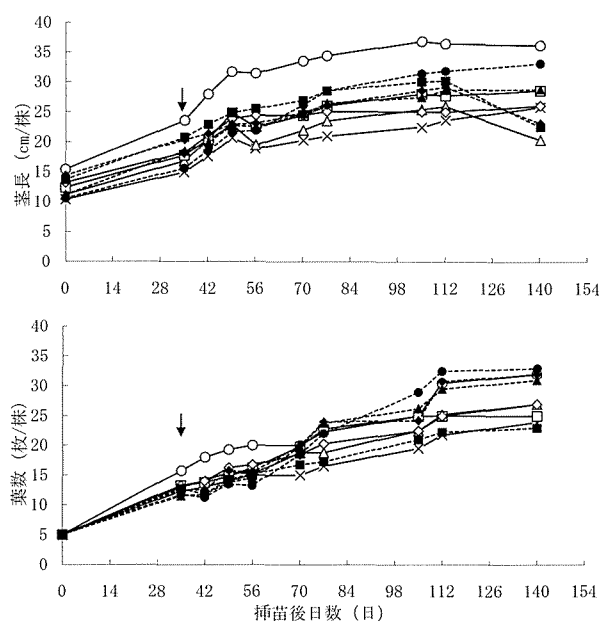


図1. 消化液の施用時期および濃度の違いがサツマイモ地上部の生育に及ぼす影響

注) 図中の矢印は挿苗1ヵ月後の施用時期を示す。

—×—対象 —○—挿苗直後・原液 —△—直後・1/2倍濃度
 —□—挿苗直後・1/4倍濃度 —◇—挿苗直後・1/8倍濃度
 —●—挿苗1ヶ月後・原液 —▲—挿苗1ヶ月後・1/2倍濃度
 —■—挿苗1ヶ月後・1/4倍濃度 —◆—挿苗1ヶ月後・1/8倍濃度

挿苗140日目にポットから株を抜き取って地下部を調査した結果、株あたりの塊根数は3～5個であった。塊根1個当たりの長さは、挿苗直後の原液施用では63.08 mmであったが、1/2以下の濃度の場合においては約57 mmの長さとなった。塊根1個当たりの幅は、濃度が低くなるに従って広くなる傾向が見られ、特に1/8濃度では32.14 mmとなって最も大きかった。一方、原液では25.79 mmとなって塊根の幅が最も狭かった。塊根1個当たりの重さは、1/4濃度において20.49 gと最も重かったが、それ以外の濃度においては20 g以下の重さとなった。塊根を除いた株当たりの細根あるいは梗根の重さは、塊根の重さの場合と同様に1/4濃度において最も重く (40.37 g)、1/2濃度で最も軽かった (36.63 g)。なお、挿苗直後の消化液の施用によるサツマイモ地下部への影響は、いずれの濃度においても有意差は認められなかった (表4)。

挿苗1ヵ月後に消化液を施用した場合、株当たりの塊根数は3～4個となった。塊根1個当たりの長さは、濃度が低くなるにつれて長さが短くなる傾向が見られた。塊根1個当たりの幅は、原液では32.29 mmとなって最も大きくなり、一方1/4濃度では22.94 mmとなって最も小さかった。塊根1個当たりの重さは、塊根の幅と同様の傾向を示し、原液では29.72 gとなって最も重くなり、一方1/4濃度では13.39 gとなって最も軽かった。塊根を除いた株当たりの細根あるいは梗根の重さは、1/8濃度の場合に53.99 gとなって最も重かったが、他の濃度の場合は50 g以下となって軽かった。挿苗1ヵ月後の消化液の施用によるサツマイモ地下部への影響は、いずれの濃度においても有

表4. 消化液の施用時期および濃度の違いがサツマイモ地下部に及ぼす影響 (2007年度ポット実験結果)

| 消化液の施用時期 | 消化液濃度 | 塊根 | | | 細根・梗根重さ (g/株) |
|----------|-------|---------|-----------|----------|---------------|
| | | 数 (個/株) | 長さ (mm/個) | 幅 (mm/個) | |
| 挿苗直後 | 原液 | 5 | 63.08 | 25.79 | 38.64 |
| | 1/2 | 4 | 56.30 | 27.63 | 36.63 |
| | 1/4 | 3 | 58.58 | 30.69 | 40.37 |
| | 1/8 | 3 | 58.57 | 32.14 | 39.25 |
| 挿苗1ヵ月後 | 原液 | 3 | 88.52 | 32.29 | 44.99 |
| | 1/2 | 3 | 88.52 | 30.57 | 40.68 |
| | 1/4 | 3 | 75.65 | 22.94 | 39.02 |
| | 1/8 | 4 | 59.32 | 29.60 | 53.99 |
| 対照 | | 3 | 60.86 | 23.84 | 38.37 |

意差は認められなかった (表 4)。

消化液の施用時期と濃度について見た場合、株当たりの塊根数は挿苗直後の原液施用で最も多く 5 個であった。塊根 1 個当たりの長さは、挿苗 1 ヶ月後の原液あるいは 1/2 濃度において最も長くなり (88.52 mm)、一方挿苗直後の 1/2 濃度では最も短かった (56.30 mm)。塊根 1 個当たりの幅は、挿苗 1 ヶ月後の原液施用において最も大きく (32.29 mm)、挿苗 1 ヶ月後の 1/4 濃度において最も小さかった (22.94 mm)。塊根 1 個当たりの重さは、挿苗 1 ヶ月後に原液を施用した場合に最も重く (29.72 g)、挿苗直後の 1/2 濃度では最も軽かった (13.20 g)。また、塊根を除いた株当たりの細根あるいは梗根の重さは、挿苗 1 ヶ月後に 1/8 濃度を施用した場合に最も重く (53.99 g)、挿苗直後に 1/2 濃度を施用した場合に最も軽かった (36.63 g)。いずれの形質においても、施用時期と濃度による有意差は認められなかった (表 4)。

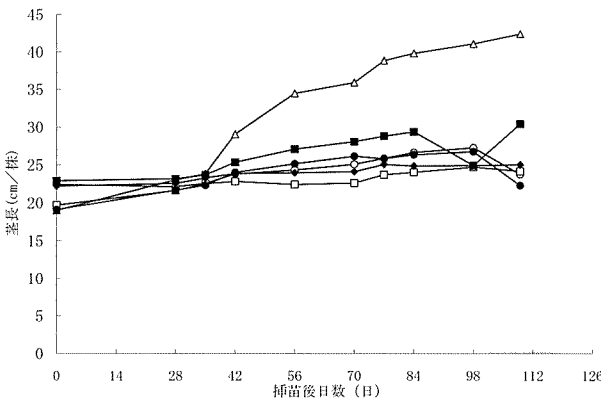


図 2. 消化液を導入した施肥体系の違いがサツマイモ茎長に及ぼす影響 (2008年度ポット実験結果)

○— 挿苗2週前・化成肥料 □— 挿苗2週前・消化液単用
 △— 挿苗2週前・PK混用 ●— 挿苗直後・化成肥料
 ■— 挿苗直後・消化液単用 ◆— 挿苗直後・PK混用

1) - 2 2008年度

消化液の施用方法と施用時期の違いによるサツマイモへの影響について、ポットを用いて調査した結果、挿苗直後は 21 cm であった茎長はその後徐々に伸長した。挿苗 2 週前に消化液と PK を混用した場合 (以下、PK 混用区) において、挿苗後 42 日目以降に茎長は急激に伸長し、挿苗後 112 日目には約 40 cm の長さとなった。挿苗後 112 日目において茎長が最も長かったのは、挿苗 2 週前の PK 混用区であり (42.4 cm)、最も短かったのは挿苗直後に化成肥料を施用した場合 (22.3 cm) であった。しかし、これらの間に有意差は認められなかった (図 2)。

ポットよりサツマイモを抜き取って地下部を調査したが、消化液の挿苗 2 週前施用では株当たりの塊根数は化成肥料区の場合に 5 個となり、単用区および PK 混用区では 3 個となった。塊根 1 個当たりの長さは、化成肥料区 (45.96 mm) と比較して単用区および PK 混用区では約 60 mm となって長かった。塊根 1 個当たりの幅および重さについても、塊根の長さの場合と同様の傾向を示し、特に単用区では塊根の幅が 18.22 mm となって最も広くなり、また塊根の重さは 19.92 g となって化成肥料区と比較して 3 倍程度の重さとなった。株当たりの総根長は、単用区では約 10,000 cm、PK 混用区および化成肥料区では約 12,000 cm となった。なお、挿苗 2 週前の施用体系の違いによる地下部への影響にいずれも有意差は認められなかった (表 5)。

挿苗直後に消化液を施用した場合、株当たりの塊根数はいずれも 3 ~ 4 個となった。塊根 1 個当たりの長さは、PK 混用区で 62.88 mm と最も長く、単用区では 51.27 mm となって最も短かった。塊根 1 個当たりの幅は、PK 混用区で 20.94 mm となっ

表 5. 消化液を用いた施肥体系の違いがサツマイモ地下部に及ぼす影響 (2008年度ポット実験結果)

| 施用時期 | 施肥 | 塊根 | | | | 総根長 (cm/株) |
|---------|--------|--------|----------|---------|---------|------------|
| | | 数(個/株) | 長さ(mm/個) | 幅(mm/個) | 重さ(g/個) | |
| 挿苗 2 週前 | 化成肥料 | 5 | 45.96 | 11.38 | 6.74 | 12065 |
| | 消化液 | 3 | 60.76 | 18.22 | 19.92 | 10141 |
| | 消化液+PK | 3 | 58.59 | 17.46 | 15.27 | 12301 |
| 挿苗直後 | 化成肥料 | 3 | 58.32 | 15.63 | 14.54 | 14912 |
| | 消化液 | 4 | 51.27 | 17.37 | 11.63 | 12587 |
| | 消化液+PK | 3 | 62.88 | 20.94 | 21.36 | 14196 |

て最も広く、化成肥料区では15.63 mmとなって最も狭かった。塊根1個当たりの重さは、PK混用区で21.36 gとなって最も重く、単用区では11.63 gとなって最も軽かった。株当たりの総根長は、単用区は約12,000 cmとなり、PK混用区および化成肥料区では約14,500 cmとなった。なお、挿苗直後の施肥体系の違いによる地下部への影響にいずれも有意差は認められなかった(表5)。

消化液を用いた施肥体系について見た場合、株当たりの塊根数は挿苗2週前施用の化成肥料区で5個と最も多かった。塊根1個当たりの長さは、挿苗直後のPK混用区において最も長くなり(62.88 mm)、一方挿苗2週前の化成肥料区では最も短かった(45.96 mm)。塊根1個当たりの重さは、塊根の長さと同様の傾向を示し、挿苗直後のPK混用区で最も重く(20.94 mm)、挿苗2週前の化成肥料区において最も短かった(11.38 mm)。塊根1個当たりの重さについても、塊根の長さあるいは塊根の幅の場合と同様の傾向を示し、挿苗直後のPK混用区では最も重く(21.36 g)、挿苗2週前の化成肥料区では最も軽かった(6.74 g)。株当たりの総根長は、挿苗直後の混用区において最も長くなり(14,196 cm)、挿苗2週前の単用区では最も短かった(10,141 cm)。いずれの形質についても、施肥体系による有意差は認められなかった(表5)。

2) 圃場実験

消化液の施用方法と施用時期によるサツマイモへの影響について、圃場により調査した結果、挿苗直後は24 cmであった茎長はその後徐々に伸長した。挿苗後147日目において茎長が最も長かったのは、畝立前に化成肥料を施用して消化液を施用しなかった場合であり(320.2 cm)、最も短かったのは畝立前に化成肥料を施用して挿苗2週前に消化液を単用した場合(282.5 cm)であった。しかし、これら試験区の間には有意差は認められなかった(図3)。

圃場よりサツマイモを抜き取って地下部を調査したが、畝立前に化成肥料を施用した場合、挿苗2週前あるいは挿苗直後に消化液を単用すると、株当たりの地下部全重は挿苗2週前に単用した場合に2.05 kg、挿苗直後に単用した場合に1.97 kgとなった。株当たりの塊根重および塊根比率につ

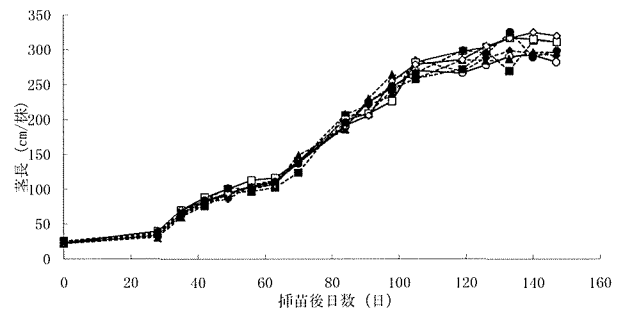


図3. 消化液を導入した施肥体系の違いとサツマイモ茎長との関係 (2008年度圃場試験結果)

- 化成肥料なし・挿苗2週前・単用
- 化成肥料あり・挿苗2週前・単用
- 化成肥料なし・挿苗2週前・PK混用
- 化成肥料あり・挿苗直後・単用
- ▲— 化成肥料なし・挿苗直後・単用
- ◇— 化成肥料あり・施用なし
- ◆— 化成肥料なし・挿苗直後・PK混用

いても、地下部全重の場合と同様の傾向を示し、特に挿苗2週前に単用した場合では塊根重が1.90 kgと最も重くなり、塊根比は0.93と最も高かった。株当たりの塊根数は、いずれも6~7個となった。塊根1個当たりの長さは、挿苗直後に単用した場合に22.8 cmと最も長く、消化液を施用しなかった場合には19.8 cmと最も短かった。塊根1個あたりの幅および重さは、挿苗直後に単用した場合においていずれも大きく、塊根の幅は54.9 mmと最も大きく、塊根の重さは374.6 gと最も重かった。10 a当たりの収量は、挿苗2週前あるいは挿苗直後に消化液を施用した場合にいずれも約1,200 kgとなったが、消化液を施用しなかった場合には約800 kgとなった。なお、畝立前に化成肥料を施用した場合の施用体系の違いによるサツマイモ地下部への影響にいずれも有意差は認められなかった(表6)。

畝立前に化成肥料を施用しなかった場合、株当たりの全重は挿苗2週前に単用した場合に1.3 kgとなったが、その他の施用区はいずれも約2 kgの全重となった。株当たりの塊根重および塊根比についても、全重の場合と同様の傾向を示し、特に挿苗直後に単用した場合では塊根重が1.89 kgとなって最も重く、また塊根比は0.93と最も高かった。株当たりの塊根数は、いずれの試験区においても5~6個となった。塊根1個当たりの長さは、挿苗直後に単用した場合で24.1 cmと最も長く、一方挿苗2週前に単用した場合では22.2 cmと最も短かった。塊根1個当たりの幅は、挿苗直後にPKを混用した場合に56.2 mmと最も大きく、挿苗2週前に単用した場合では42.7 mmと最も小さ

表6. 消化液を導入した施肥体系の違いがサツマイモ地下部に及ぼす影響 (2008年度圃場実験結果)

| 畝立前 化成肥料 | 畝立後 | | 全重 (kg/株) | 塊根重 (kg/株) | 塊根比 | 塊根 | | | | 収量 (kg/10a) |
|-------------|-------|--------|--------------|---------------|------|--------|----------|---------|---------|----------------|
| | 施用時期 | 施肥 | | | | 数(個/株) | 長さ(cm/個) | 幅(mm/個) | 重量(g/個) | |
| 施用あり | 挿苗2週前 | 消化液単用 | 2.05 | 1.90 | 0.93 | 7 | 21.2 | 43.3 | 278.4 | 1188 |
| | 挿苗直後 | 消化液単用 | 1.97 | 1.83 | 0.93 | 6 | 22.8 | 54.9 | 374.6 | 1141 |
| | | なし | 1.41 | 1.26 | 0.90 | 6 | 19.8 | 46.5 | 244.8 | 789 |
| 施用なし | 挿苗2週前 | 消化液単用 | 1.30 | 1.17 | 0.90 | 5 | 22.2 | 42.7 | 238.0 | 731 |
| | 挿苗2週前 | 消化液+PK | 1.98 | 1.83 | 0.92 | 6 | 22.6 | 47.5 | 330.8 | 1141 |
| | 挿苗直後 | 消化液単用 | 2.03 | 1.89 | 0.93 | 5 | 24.1 | 52.2 | 413.2 | 1181 |
| | 挿苗直後 | 消化液+PK | 2.02 | 1.88 | 0.93 | 6 | 23.8 | 56.2 | 413.6 | 1177 |

表7. 消化液を導入した施肥体系の違いとサツマイモ塊根の形状との関係 (2008年度圃場実験結果)

| 畝立前 化成肥料 | 畝立後 | | 塊根の形状 | | | | | | | | | | | | 計 |
|-------------|-------|--------|-------|------------|------------|-------|-----------|------|-------|------------|------------|--------|-----------|------|---------|
| | 施用時期 | 施肥 | 長紡錘形 | 肩張 長紡錘形 | 下膨 長紡錘形 | 紡錘形 | 肩張 紡錘形 | 塊形 | 短紡錘形 | 肩張 短紡錘形 | 下膨 短紡錘形 | 円筒形 | 下膨 紡錘形 | 球形 | |
| 施用あり | 挿苗2週前 | 消化液単用 | 5(9) | 7(13) | 1(2) | 3(5) | 3(5) | 0 | 9(17) | 14(26) | 0 | 10(19) | 0 | 2(4) | 54(100) |
| | 挿苗直後 | 消化液単用 | 4(9) | 8(18) | 0 | 4(9) | 5(11) | 2(4) | 8(18) | 5(11) | 0 | 9(20) | 0 | 0 | 45(100) |
| | | なし | 1(2) | 5(11) | 0 | 4(9) | 10(23) | 0 | 4(9) | 12(28) | 1(2) | 5(11) | 0 | 2(5) | 44(100) |
| 施用なし | 挿苗2週前 | 消化液単用 | 0 | 3(10) | 0 | 2(7) | 2(7) | 0 | 2(7) | 7(23) | 0 | 14(46) | 0 | 0 | 30(100) |
| | 挿苗2週前 | 消化液+PK | 1(3) | 7(18) | 0 | 3(8) | 6(16) | 0 | 5(13) | 4(10) | 0 | 12(32) | 0 | 0 | 38(100) |
| | 挿苗直後 | 消化液単用 | 3(9) | 6(19) | 0 | 3(9) | 4(13) | 0 | 7(22) | 2(6) | 0 | 6(19) | 0 | 1(3) | 32(100) |
| | 挿苗直後 | 消化液+PK | 1(3) | 9(25) | 0 | 5(14) | 7(19) | 0 | 6(17) | 6(17) | 0 | 2(5) | 0 | 0 | 36(100) |

注1) 数値は1試験区当たりの合計。

注2) () 内の数値は総計に対する割合(%)。

かった。塊根1個当たりの重さは、塊根の幅の場合と同様の傾向を示し、挿苗直後にPKを混用した場合は413.6gと最大となり、一方挿苗2週前に単用した場合は238.0gと最も軽かった。10a当たりの収量は、挿苗2週前に単用した場合は731kgとなったが、その他の施用区では約1,200kgとなった。なお、畝立前に化成肥料を施用しない場合のサツマイモ地下部への影響にいずれも有意差は認められなかった(表6)。

化成肥料および消化液を用いた施肥体系と施用時期について見た場合、株当たりの全重は畝立前に化成肥料を施用して挿苗2週前に単用した場合に2.05kgと最も重く、一方畝立前の施肥なしで挿苗2週前に単用した場合に1.30kgと最も軽かった。株当たりの塊根重は、全重の場合と同様の傾向を示し、畝立前に化成肥料を施用して挿苗2週前に単用した場合に最も重く(1.90kg)、畝立前の施肥なしで挿苗2週前に単用した場合に最も軽かった(1.17kg)。株当たりの塊根比は、いずれの施肥体系あるいは施用時期においてもおおよそ0.9となった。株当たりの塊根数は、畝立前に化成肥料を施用して挿苗2週前に単用した場合に最も多く(7個)、畝立前の施肥なしで挿苗2週前

あるいは挿苗直後に単用した場合に最も少なかった(5個)。塊根1個当たりの長さは、畝立前の施肥なしで挿苗直後に単用した場合に最も長く(24.1cm)、畝立前に化成肥料を施用して挿苗直後に単用した場合に最も短かった(19.8cm)。塊根1個当たりの幅は、畝立前に施肥なしで挿苗直後にPKを混用した場合に最も大きく(56.2mm)、畝立前の施肥なしで挿苗2週前に単用した場合に最も小さかった(42.7mm)。塊根1個当たりの重さは、畝立前の施肥なしで挿苗直後に単用あるいはPKを混用した場合に共に最も重く(いずれも413g)、畝立前に化成肥料を施用して消化液を施用しないあるいは畝立前の施肥なしで挿苗2週前に単用した場合に最も軽かった(いずれも約240g)。10a当たりの収量は、畝立前に化成肥料を施用して消化液を施用しないあるいは畝立前の施肥なしで挿苗2週前に施用した場合に約760kgとなり、それ以外の施用区においては1,165kg前後となった。いずれの形質についても、施肥体系と施用時期による有意差は認められなかった(表6)。

施肥体系の違いとサツマイモ塊根の形状との関係を調査したが、畝立前に化成肥料を施用した場合、挿苗2週前に単用あるいは消化液を施用しな

表 8. 消化液を導入した施肥体系の違いとサツマイモ塊根の病害虫被害程度の関係 (2008年度圃場実験結果)

| 畝立前 化成肥料 | 畝立後 | | 病害虫被害程度 | | | | 計 |
|-------------|-------|--------|---------|------|--------|--------|---------|
| | 施用時期 | 施肥 | 多 | 中 | 少 | 無 | |
| 施用あり | 挿苗2週前 | 消化液単用 | 2(4) | 4(7) | 15(28) | 33(61) | 54(100) |
| | 挿苗直後 | 消化液単用 | 0 | 3(7) | 11(24) | 31(69) | 45(100) |
| | | なし | 1(2) | 0 | 13(30) | 30(68) | 44(100) |
| 施用なし | 挿苗2週前 | 消化液単用 | 0 | 1(4) | 6(20) | 23(76) | 30(100) |
| | 挿苗2週前 | 消化液+PK | 0 | 1(3) | 13(34) | 24(63) | 38(100) |
| | 挿苗直後 | 消化液単用 | 0 | 1(3) | 4(13) | 27(84) | 32(100) |
| | 挿苗直後 | 消化液+PK | 0 | 0 | 12(33) | 24(67) | 36(100) |

注1) 数値は1試験区当たりの合計。

注2) () 内の数値は総計に対する割合(%)。

い場合には肩張短紡錘形が、挿苗直後に単用した場合には円筒形がそれぞれ最も多く形成された。一方、畝立前に化成肥料を施用しない場合には、挿苗2週前に単用あるいはPKを混用した場合は共に円筒形が、また挿苗直後に単用あるいはPKを混用した場合は共に肩張長紡錘形がそれぞれ最も多く形成された。施肥体系と施用時期について見た場合、肩張長あるいは肩張短を含む肩張紡錘形および円筒形が塊根全体のおよそ70%を占めていた(表7)。

施肥体系の違いとサツマイモ塊根の病害虫被害程度との関係を調査したが、畝立前に化成肥料を施用した場合、被害程度が多いと判断された塊根数は挿苗2週前に単用した場合に最も多かったが(2個)、挿苗直後に単用した場合には見られなかった。被害が中程度の塊根数は、挿苗2週前に単用した場合に最も多かったが(4個)、消化液を施用しなかった場合では見られなかった。被害が少程度である塊根数は、挿苗2週前に単用した場合に最も多かったが(15個)、挿苗直後に単用した場合には最も少なかった(11個)。病害虫の被害が無かった塊根数は、いずれの施用区においてもおおよそ31個であり、同じ傾向が見られたが、特に挿苗2週前に単用した場合には33個と最も多かった(表8)。

畝立前に施肥しなかった場合、被害程度が多いと判断された塊根数はいずれの施用区においても見られなかった。被害が中程度である塊根数は、挿苗2週前に単用あるいはPKを混用および挿苗直後に単用した場合にいずれも1個であり、挿苗直後にPKを混用した場合には見られなかった。被害が少程度である塊根数は、挿苗2週前あるい

は直後にPKを混用した場合において多く(約13個)、一方挿苗2週前あるいは直後に単用したばあいにはいずれも10個以下となり、特に挿苗直後に単用した場合は4個と最も少なかった。病害虫による被害が無かった塊根数は、挿苗直後に単用した場合に27個と最も多かったが、それ以外の施用区についてはおおよそ24個であり、特に挿苗2週前に単用した場合に23個と最も少なかった。施肥体系と施用時期についてみた場合、畝立前の化成肥料の施用よりも無施用の場合に、またPK混用よりも単用の場合において、病害虫の被害が軽減していた(表8)。

考 察

本研究は、バイオガスプラントから排出される消化液の有効利用として、サツマイモ栽培への導入を試みるために、発根に対する影響および栽培体系下への施用時期と塊根形成との関係について明らかにすることを目的とした。

まず、サツマイモ幼苗の発根に対する消化液の影響について検討したが、その結果消化液の濃度が高いと発根は抑制されることが分かった。これは、消化液中に含まれるアンモニア態窒素量が高濃度のために幼苗に生育障害が起きたものと考えられた。一般に、アンモニアは作物に対して有害物質とされており、水耕栽培下において消化液を使用すると、アンモニア態窒素がそのままの形態で植物に吸収されるためにアンモニア過剰障害が生じることが分かっている(宮田ら2005)。しかし、サツマイモ幼苗からの発根抑制がアンモニア態窒素による影響なのか、あるいは揮発したアンモニアガスによる影響なのか、今後詳細に調査す

る必要がある。また、本実験では25℃一定の恒温器内で幼苗を育成したが、中谷(1992)は30℃付近がサツマイモ苗活着の最適温度としている。従って、25℃の温度が発根を抑制しているとも考えられるため、培養温度を30℃として再実験を行い、発根への影響について再確認する必要がある。

実験前後における消化液のpHは変化し、いずれの濃度においても酸性傾向に観察された。ECについてもpHと同様に実験前後で変化し、1/16濃度で数値が上昇したが、それ以外の濃度では数値の低下が見られた。これは、いずれの濃度においても消化液中の窒素および塩基成分が発根によって吸収され、それにより液中濃度が低下したために変化が見られたと考えられる。サツマイモ生育に対する最適pHは5.5~6.0とされており、本実験に用いた消化液のpHは7.67~8.19と高かった。従って、消化液のpHが発根を抑制している可能性があると考えられるため、消化液のpHを調整して再実験を行い、発根への影響について再確認する必要がある。

サツマイモ栽培体系下への消化液の導入について、ポット実験では苗の挿苗直後あるいは挿苗1ヵ月後に濃度を変えて施用したが、いずれの施用時期においてもサツマイモの生育あるいは塊根形成に差異は見られなかった。また、圃場実験では畝立前の化成肥料の有無、畝立後の消化液の施用時期あるいは施用の方法について比較したが、いずれもサツマイモの生育あるいは塊根形成に差異は見られなかった。これらのことから、消化液はサツマイモに対して化成肥料と同等の肥料効果が見られることが分かり、また施用時期あるいは消化液の濃度によるサツマイモへの影響は小さく、消化液を単用でサツマイモ栽培に施用できることが明らかとなった。すなわち、サツマイモ栽培体系下において消化液が化成肥料の代替となる可能性が高いことが示唆された。

施肥体系の違いとサツマイモ塊根の形状との関係を調査したが、塊根の形状については肩張長あるいは肩張短を含む肩張紡錘形および円筒形が塊根全体のおよそ7割で観察された。実験に供試したサツマイモ品種‘宮崎紅’の形状は一般に長紡錘形とされているが、消化液を導入した場合に肩張紡錘形および円筒形が多く形成された要因として、消化液中の成分、気温、土壤水分あるいは日

照量など考えられるが、本実験の結果に影響した要因の特定には至らなかった。従って、消化液を導入した場合における塊根形成について、長期栽培における年次変動も考慮しつつ調査を行う必要がある。

同様に塊根における病虫害被害程度との関係を調査したが、畝立前に化成肥料を施用すると、施用しない場合と比較して病虫害による被害が多く見られた。すなわち、化成肥料の施用が病虫害による被害を助長しているものと考えられるが、そのメカニズムについては今後検討する必要がある。一方、消化液中のアンモニアガスが土壤昆虫等に影響していることも考えられるが、消化液が土壤生物に与える影響については今後検討しなければならない。以上のことから、サツマイモ栽培において消化液を導入する場合には、畝立前に化成肥料を施用する必要がないことが分かり、また消化液の単用施用でサツマイモを栽培することも可能であるものと考えられた。

本研究により、サツマイモ栽培下において消化液の導入が可能であることが明らかとなったが、今後は圃場における消化液の施用方法について検討する必要がある。本研究では、試験面積が小さいためにジョウロを用いて施用したが、実際の圃場下では大量の消化液を施用する場合に資材が必要となる。現在、消化液の固形化に関する試験も試みられているが、固形化された場合に液体と同様の効果が認められるかは不明であることから、今後は省力的な消化液の施用方法についても調査しなければならない。これにより、地域資源循環システムの技術確立に寄与できるものと考えている。

要約

バイオガスプラントから排出されたメタン発酵消化液のサツマイモ栽培への導入を試みるために、苗の発根に対する消化液の影響を明らかにするとともに、サツマイモ栽培体系下への利用の観点から、施用時期と塊根形成との関係について明らかにすることを目的として行った。

1. 発根に対する消化液の影響について検討したが、5段階の濃度に設定した消化液に挿入した場合、1/8および1/16濃度で発根が見られたが、濃度による差異は見られなかった。またさらに

低濃度とした消化液に挿入した場合、全ての濃度で発根が見られたが、1/16、1/32および1/64濃度においては対照区と比較して苗当たりの発根数は少なかった。

2. ポット実験では、サツマイモ苗の挿苗直後あるいは挿苗1ヵ月後に濃度を変えて消化液を施用したが、いずれの場合においてもサツマイモの生育あるいは塊根形成に差異は見られなかった。また、圃場実験では畝立前の化成肥料の有無、畝立後の消化液の施用時期あるいは施用の方法について比較したが、いずれもサツマイモの生育あるいは塊根形成に差異は見られなかった。

キーワード：塊根収量，サツマイモ，施肥，バイオガスプラント，メタン発酵消化液

謝 辞

本研究は、「平成19・20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作物学研究室の学生諸氏には様々な支援を頂いた。深く感謝の意を表す。

引用文献

- 古賀巧樹・松尾光弘・寺尾寛行・小川紹文・日吉健二・蔭東清一・黒木義一・西脇亜也 (2010) イネの生育および収量に対するメタン発酵消化液の施用効果. 宮崎大学農学部研究報告 56, 15-28.
- 宮田尚稔・池田英男・小島敬良 (2005) メタン発酵消化液が養液土耕・やしがら耕，ロックウール耕および水耕におけるトマトの生育に及ぼす影響. 日本土壌肥料学会雑誌 76, 619-627.
- 宮崎県 (1986) 普通作物調査基準. 86-92.
- 村中智恵子・西脇亜也・宇田津康弘・杉本安寛 (2009) 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. 宮崎大学農学部研究報告 55, 57-64.
- 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ブリカーおよびメタン発酵消化液の利用がメロンの生育および収量に及ぼす影響. 園学研 2, 175-178.
- 中谷誠 (1992) サツマイモ苗の発根，活着に影響を及ぼす諸要因. 農業研究センター報告 21, 1-53.
- 農林水産省 (2008) 2 平成19年度かんしょ収穫量. 農林水産統計 (平成20年2月8日公表), 東京, 5.
- 徳田進一・田中康男・東尾久雄・村上健二・相澤証子・浦上敦子 (2007) 葉茎菜類の栽培におけるメタン発酵消化液による化成肥料全量代替の可能性. 日本土壌肥料学会講演要旨集 53, 152.
- 塚原健一郎・柳下立夫・澤山茂樹 (2005) 我が国におけるバイオガス発電の現状と課題. 日本エネルギー学会誌 84, 537-543.