

琉球大学学術リポジトリ

甘藷茎葉のメタン発酵：第2 報大型発酵槽を用いた発酵(農芸化学科)

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 当山, 清善, 大久保, 勉, 石原, 昌信, 与那覇, 和雄, Toyama, Seizen, Ohkubo, Tsutomu, Ishihara, Masanobu, Yonaha, Kazuo メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/3960

甘藷茎葉のメタン発酵[†]

第2報 大型発酵槽を用いた発酵

当山清善*・大久保勉**・石原昌信*・与那覇和雄*

Seizen TOYAMA*, Tsutomu OHKUBO**, Masanobu ISHIHARA*,
and Kazuo YONAHARA* : Methane fermentation of sweet
potato stalks and leaves (II) Pilot-scale methane fermenta-
tion

Summary

Methane fermentation of dried stalks and leaves of sweet potato was carried out at 37°C, pH 7.5 in a pilot scale fermentor (0.6 m³) containing the sludge which was previously acclimated to the same substrate, and following results were obtained. The total gas evolved from dried stalks and leaves in 10 days fermentation was 290 L per kg of the substrate with a methane ratio of 70%. About 80% of the total volume of gas evolved in 6 days. Acetic and propionic acids accumulated in the mash after 3 days of fermentation and decreased gradually during the fermentation process. When fermentation was carried out by the addition of dried stalks and leaves at 5-day intervals, the total gas evolved was 330 L per kg of the substrate with a methane ratio of 69.5%. Soaking of stalks and leaves in water caused a decrease in total gas yield.

結 言

近年、作物を栽培して生産される有機物を完全利用するための方式として、多量に副生する収穫残渣（農産廃棄セルロース物質等）をメタン発酵の原料として利用するための研究が推進されつつある¹⁻⁶⁾。熱帯あるいは亜熱帯地域で有機物生産量が多い甘藷の完全利用を図るための手段として、塊根（芋）及び茎葉をそれぞれアルコール発酵及びメタン発酵の原料として利用し、発酵残渣を作物栽培の肥料として利用するための方式の確立が望まれている。

[†] 農産廃棄物を原料とするメタン発酵に関する研究（第2報）

〔第1報 琉大農学報 30：177～184（1983）〕

* 琉球大学農学部農芸化学科

** 西南総合開発（株）

琉球大学農学部学術報告 31：29～34（1984）

前報^{7,8)}では、甘藷茎葉を原料として小型メタン発酵容器を用いた発酵を行ない、乾燥処理した茎葉がメタン発酵の良好な原料となり得ることを明らかにした。本報では、大型発酵槽(0.6 m³容)を用いて乾燥処理した甘藷茎葉を原料としたメタン発酵を行ない、発酵過程におけるガス発生経過、発生ガス量及び発生ガスの組成等について調べた結果を報告する。

実験方法

(1) 甘藷茎葉と茎葉の処理：メタン発酵に供した茎葉は、沖縄県読谷村及び本学農学部附属農場で栽培された収穫時の甘藷(宮農36号)から採取したものである。茎葉の成分は水分84.2%、全糖19.8%及びセルロース20.1%であった。茎葉の炭素及び窒素含量はそれぞれ44.9及び4.7%で、C/N比は9.6である。メタン発酵には、採取直後の茎葉をタナカ式飼料用粉碎機(MB型)で粗砕したのち天日乾燥を行ない、さらに粉碎機で微粉碎した茎葉を用いた。生茎葉からの乾燥茎葉の回収率は13%であった。

(2) メタン発酵槽：実験に使用した発酵槽は、松下電器産業(株)電化研究所で設計、製作されたもので、内容量0.6 m³の一層式発酵槽である(Fig.1)。発酵槽内の温度はカートリッジヒーターと感熱筒により制御され、攪拌は2段ピッチドバドル型攪拌翼を水封式シャフトを用いてモーターにより回転(430 rpm)して連続または間欠的に行われる。

発生ガス中の硫化水素は、ガスをカートリッジ入り粉末活性炭層を通過させて脱硫される。発生ガスの貯溜には、水封構造の浮蓋式ガスホルダー(15 m³)を用いた。

(3) メタン発酵用種スラッジとその馴養：種スラッジは松下電器産業(株)電化研究所で調製され、メタン生成速度が高く耐酸性のある中温メタン菌(メタノバクテリウム・カドメンシス S T 23)と酸生成菌を集殖、馴養されたものである。甘藷茎葉のメタン発酵用スラッジとして使用するために、上記種スラッジ200 l (pH 7.5)を発酵槽に採り、窒素ガスにより置換したのち乾燥茎葉(1.0 kg)の水浸漬液20 lを連日30日間加え、37°Cで間欠的に攪拌して馴養を行った。馴養中、窒素源として尿素及びグルタミン酸ナトリウム(各0.02%)を加えた。発酵には、ガス発生が中止した馴養スラッジ(0.6 m³, pH 7.5)を用いた。スラッジ液を遠心分離(10,000 rpm, 10分)して得られる沈殿(スラッジ量)は湿重で10%である。

(4) メタン発酵と発生ガス量：発酵は、乾燥粉碎した甘藷茎葉(1~3 kg)に水(10~20 l)を加えて一夜放置したものを馴養スラッジ(0.6 m³)に加え、初発 pH 7.5, 37°Cで5~10日間攪拌して行った。発酵液の攪拌は30分間、1日6回行った。発生ガスの容量は積算ガスメーターを読み取り、全発生ガス量(l)及び発酵1日当たりの発生ガス量(l/day)で示した。

(5) 発生ガス、有機酸及び全糖の分析：発生ガスの分析は、前報⁷⁾に準じて島津GC-4C型ガスクロマトグラフィーを用いて行った。発生ガス中のメタン含量は、標準ガス分析値から算出し、%で示した。発酵液中の揮発性有機酸は、発酵液から酸性下でエーテル抽出により分別したのちガスクロマト

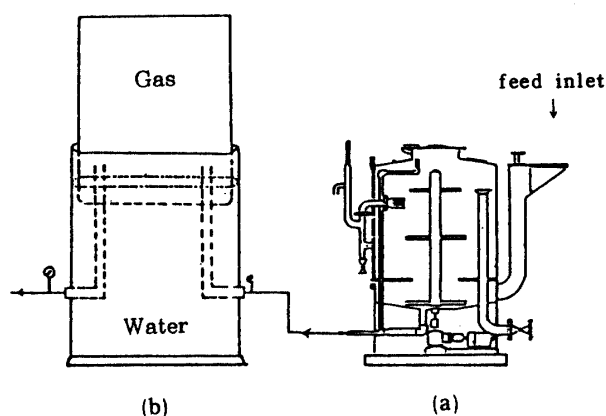


Fig.1 Methane fermentation apparatus

- (a) methane fermentor (0.6 m³, working volume)
 (b) gas holder (15 m³)

当山ほか：甘藷茎葉のメタン発酵 (II)

グラフィーを用いて定量し、 mg/l で示した。発酵液中の全糖量はフェノール硫酸法により定量し、グルコース mg/l で示した。

実験結果

1. 乾燥茎葉を用いた回分メタン発酵

0.6 m³ 容発酵槽を用い、甘藷茎葉を原料としたメタン発酵におけるガス発生及び発酵液中の揮発性有機酸等の成分変化を調べるために、茎葉の水浸漬液で馴養したスラッジに乾燥茎葉粉碎物 3 kg を加え、pH7.5, 37°C で10日間発酵を行った。Fig.2は、発酵過程における発生ガス量、メタン含量、発酵液中の全糖量、揮発性有機酸量及びpHの変化を調べた結果である。発酵に伴ってガス発生がみられ、全発生ガス量は発酵7日目まで直線的に増加し、10日目にはガス発生は停止する。1日当たりの発生ガス量は発酵2日目で最も高く、3日目以後次第に減少した。発酵液中の全糖量は発酵1日目に最高値に達し、2日目には急減した。発酵開始とともに酢酸及びプロピオン酸が発酵液中に生成蓄積され、両有機酸の蓄積は発酵3日目で最も高く、4日目以後減少した。プロピオン酸は発酵8日目に、酢酸は10日目には完全に消失した。発生ガス中のメタン含量は、有機酸の生成蓄積とともに低下し、発酵4日目以後有機酸の減少に伴い高くなった。発酵液のpHは、発酵期間中7.5～8.0を保ちほとんど変化はみられない。茎葉 3 kg からの全発生ガス量は発酵10日間で 870 l (茎葉 1 kg 当たり 290 l)、メタン含量は70%であった。

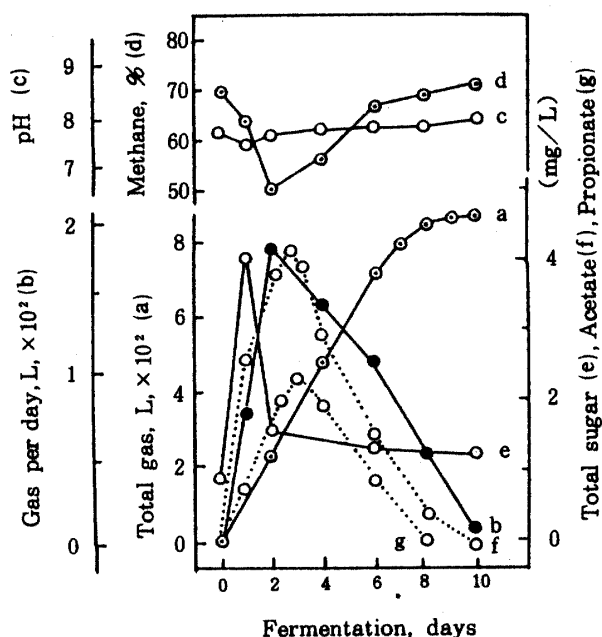


Fig.2 Methane fermentation of dried stalks and leaves of sweet potato by batchwise method

Fresh stalks and leaves were chopped to pieces, dried and ground to 40 mesh for the substrate of fermentation. The sludge used was previously acclimated to the same substrate. Methane fermentation was carried out at 37°C for 10 days in a fermentor containing 0.6m³ of the acclimated sludge and 3.0 kg of the substrate. The pH of the mash was adjusted to 7.5. The volume of gas evolved and pH were determined daily. The gas composition and volatile acids in the mash were analyzed using gas chromatography.

2. 乾燥茎葉を用いた半連続メタン発酵

茎葉を原料とした回分発酵で生産されるガス量の80%は発酵6日目までに発生することがわかったので (Fig. 2), 次に茎葉を半連続的に発酵槽へ加えガス発生経過を調べた。茎葉 1.0 kg を5日毎に加え、25日間発酵を行ない全発生ガス量、1日当りのガス発生量及びメタン含量を経時的に調べたのが Fig.3で

ある。茎葉添加1回目の発酵では発生ガス量が少い。茎葉添加(仕込み)回数の増加に伴いガス発生速度が高くなり、発生ガスのメタン含量も増加した。発酵液のpHは発酵初期に変動がみられるが、仕込み回数の増加とともに一定となり発酵が安定化してくることを示している。茎葉を半連続的に添加した発酵で発生するガス量は乾燥茎葉1kg当たり330ℓで、発生したガス中のメタン含量は69.5%である。

3. 乾燥茎葉の浸漬とガス発生との関係

乾燥破砕した茎葉がメタン発酵の原料として利用できることがわかったので、次に茎葉を水に浸漬して得られる抽出液と残渣を用いて発酵を行ない発生ガス量を調べた。Fig. 4は、茎葉1.0kgに20倍量の水を加え、pH6.0 25°Cで7日間浸漬したのち固液分離を行ない浸漬残渣と抽出液を基質とした発酵におけるガス発生経過である。発酵10日間で浸漬残渣及び抽出液からの発生ガス量は少く、無浸漬茎葉からの発生ガス量のそれぞれ44%及び13%であった。

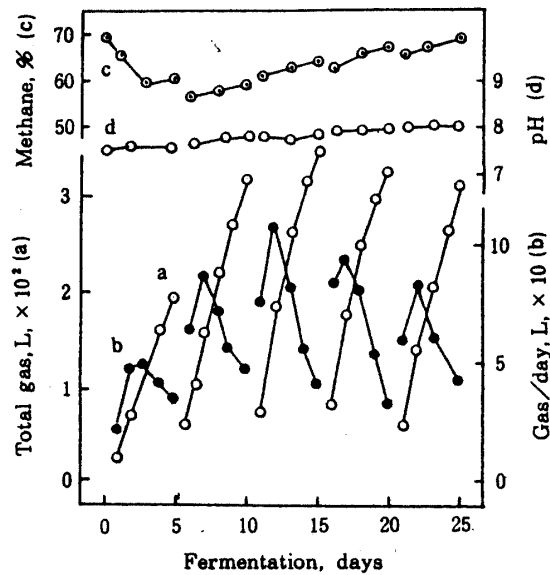


Fig.3 Semicontinuous methane fermentation of dried stalks and leaves of sweet potato

Methane fermentation was carried out for 25 days by the addition of 1.0 kg of stalks and leaves at 5-day intervals. Other conditions are the same as Fig.2.

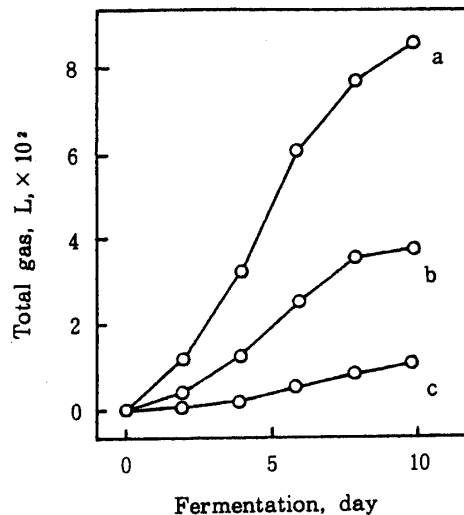


Fig.4 Cumulative gas volume evolved during the fermentation of unsoaked, soaked residues and soaked extracts of sweet potato stalks and leaves

Dried stalks and leaves (3.0 kg) were soaked in 20 L of water at 25°C for 10 days. Soaked residues and extracts were separated, and subjected to fermentation. Other conditions are the same as Fig.2. (a) unsoaked, (b) soaked residues, (c) soaked extracts

当山ほか：甘藷茎葉のメタン発酵（Ⅱ）

考 察

甘藷茎葉をメタン発酵の原料として利用するためには、蔓性の生茎葉を切断・破碎する必要があるが、破碎茎葉を直接メタン発酵に供するか、あるいは乾燥したのち発酵に供するかによって発酵条件及び発生ガス量が異なる。生茎葉を原料とした発酵でもガス発生はみられるが、茎葉の溶解が遅く、原料添加（仕込み）回数の増加に伴い発酵液中への未分解固形物が多くなり発酵率が低下する。小型発酵容器（注射筒）を用いた発酵においても生茎葉を破碎、乾燥したのち、さらに粉碎処理した茎葉からの発生ガス量が生茎葉より多いことが明らかにされた。^{7,8)}

茎葉を原料とした発酵におけるガス発生経過及び発生ガス量等は、供試スラッジ量とその馴養の程度及び原料添加量などの発酵条件によって異なる。大型発酵槽の馴養スラッジ（0.6 m³）に乾燥茎葉（3 kg）を添加して回分発酵を行った結果、発酵初期に茎葉の加水分解反応が進行して発酵液中での糖の増加がみられ、糖の減少に伴って揮発性有機酸が生成蓄積される。発酵液中の有機酸は酢酸とプロピオン酸が主体で、*n*-酪酸及びギ酸が僅かに認められた。発酵初期の酸生成蓄積時には、1日当たりの発生ガス量が最も高く、多量の炭酸ガスが発生し、発生ガス中のメタン含量は低い値を示した。発酵の進行に伴って有機酸が減少しメタン含量が増加することは、有機酸からのメタン生成反応が順調に進行していることを示している。小型発酵容器を用いた発酵では、有機酸生成蓄積時に発酵液のpH低下がみられたが、大型発酵でのpH低下はほとんどみられなかった。

発酵液中の有機酸の減少及び発生ガス量からみた乾燥茎葉の発酵期間は10日間で、総ガス発生量の80%は発酵6日間で発生することが明らかになった。茎葉を5日毎に添加する半連続発酵を行った結果、茎葉添加回数の増加に伴ってガス発生速度が高くなり、発酵期間が短縮される。茎葉kg当たりの総発生ガス量は、発酵10日間の回分発酵では290ℓであったが、半連続発酵を行なうことにより330ℓに増加した。茎葉を半連続的に添加して発酵を行ってもガス発生はみられるが、茎葉添加量の増加に伴い未分解固形物が多くなり、発生ガス量が徐々に低下する。従って、半連続発酵を長期間実施するに当たってはスラッジ量に応じた適正な添加量を設定する必要がある。茎葉の添加量を増加する手段としての茎葉の水浸漬、すなわち予備発酵して得られる茎葉を用いた発酵では所期の発生ガス量は得られなかった。茎葉の浸漬残渣及び浸漬液からのガス発生は少く、発酵に当たっては茎葉を所定量の水あるいは副原料とともに直接発酵槽へ添加することにより所期の発生ガス量が得られる。

甘藷栽培における生茎葉の収量は、甘藷の品種、栽培条件及び収穫時期等によって異なるが、収穫される根塊（芋）重量の50%に相当する。従って、芋100kg当たり50kgの生茎葉が得られ、その全量をメタン発酵に供することにより2.15m³のガスが発生し、1.5m³のメタンガスが生産される。芋を原料とした省エネルギーによるアルコール生産方式を確立するための研究も実施中であり^{9~12)} 茎葉及びアルコール蒸留廃液のメタン発酵で得られるメタンガスをアルコール生産のための所要熱源として利用することができる。また、メタン発酵後に得られる発酵汚泥を甘藷栽培等の肥料として利用するための研究が行われている。^{12,13)}

要 約

大型発酵槽（0.6 m³）を用い、乾燥した甘藷茎葉を馴養スラッジに加えてpH 7.5, 37°Cでメタン発酵を行ないガス発生経過、発生ガス量及び発生ガス中のメタン含量等について調べた。乾燥茎葉を10日間メタン発酵して得られる総発生ガス量は茎葉kg当たり290ℓで、その80%は発酵6日間で発生した。発生ガス中のメタン含量は70%であった。発酵3日目に酢酸及びプロピオン酸が発酵液中に蓄積したが発酵4日目以後は減少した。茎葉を5日毎、半連続的に添加した発酵で発生するガス量は茎葉kg当たり330ℓで、メタン含量は69%であった。茎葉を水に浸漬したのち発酵に供すると発生ガス量は減少した。

本研究を実施するに当たりメタンスラッジを恵与下さった松下電器産業(株)電化研究所,発酵槽の運転管理等について御指導下さった大阪市立大学理学部山本武彦教授及び大井進教授に感謝します。

なお,本研究の費用の一部は昭和56年度,57年度及び58年度文部省科学研究費補助金,エネルギー特別研究によったもので謝意を表します。

引用文献

1. Fouth, G.L., Graddy, J.L. 1981 Culture studies on the conversion of corn stover to methane, *Biotechnol. Bioeng. Symp. No. 11*, 249 ~ 262
2. Laube V.M., Martin, S.M. 1981 Conversion of cellulose to methane and carbon dioxide by triculture of *Acetivibrio cellulolyticus*, *Desulfovibrio* sp., and *Methanosarcina barkeri*, *Appl. Environ. Microbiol.* **42**: 413 ~ 420
3. Mountfort, D. O., Asher, R.A., Bauchop, T. 1982 Fermentation of cellulose and carbon dioxide by a rumen anaerobic fungus in a triculture with *Methanobrevibacter* sp. strain RA1 and *Methanosarcina barkeri*, *Appl. Environ. Microbiol.* **44**: 128 ~ 134
4. Oi, S., Yamanaka, H., Yamamoto, T. 1980 Methane fermentation of bagasse and some factors to improve the fermentation, *J. Ferment. Technol.* **58**: 367 ~ 372
5. 大井進, 田中俊雄, 谷口誠 1984 農産廃物のメタン発酵—牧草, 芝生などについて, 日本農芸化学会 昭和59年度大会, 要旨集 P.223
6. Shelef, G., Kimchie, S., Grynberg, H. 1980 High-rate thermophilic digestion of agricultural wastes, *Biotechnol. Bioeng. Symp. No. 10*, 341 ~ 351
7. 当山清善, 大久保勉, 石原昌信, 与那覇和雄 1983 甘藷茎葉のメタン発酵 第1報 小型容器を用いた発酵, *琉大農学報* **30**: 177 ~ 184
8. 当山清善, 大久保勉, 石原昌信, 与那覇和雄 1983 甘藷を原料とするメタン発酵, 日本農芸化学会 昭和58年度西日本支部・関西支部合同大会 要旨集 P. 29
9. 当山清善, 石原昌信, 与那覇和雄, 大久保勉 1983 生甘藷の酵素による糖化とアルコール発酵, *琉大農学報* **30**: 185 ~ 192
10. Toyama, S., Yonaha, K., Ishihara, M. 1984 Enzymatic processes of raw sweet potato tubers for ethanol fermentation, "Research on energy from biomass", SPEY 7, P. 163 ~ 165
11. 当山清善, 石原昌信, 与那覇和雄, 大久保勉 1984 酵素剤利用による甘藷芋からのエタノールの生産, *琉大農学報* **31**: ~
12. Yamamoto, T., Oi, S., Toyama, S., Miyazato K. 1984 The anaerobic digestion of leaf and stem of sweet potato to save energy for production of alcohol from the potato, "Research on energy from biomass", SPEY 7, p. 197 ~ 199
13. Yamamoto, T., Oi, S., Toyama, S. 1982 Methane fermentation of leaf and stem of sweet potato to supply energy for production of alcohol and fertilizer for cultivation of the crop, EC. 2nd Conference on energy from biomass, Berlin