

ホテイアオイからのメタンガス生産
I. ホテイアオイ及び鶏糞混合体からのメタンガス生産

小島 孝之
(園芸工学研究室)
昭和61年4月15日 受理

Generation of Methane Gas from Waterhyacinth
I. Production of Methane Gas from Combinations of Waterhyacinth
and Fowl Droppings

Takayuki KOJIMA
(Laboratory of Food Science and Horticultural Engineering)
Received April 15, 1986

Summary

Various agricultural wastes are available as a source of biomass energy. The production of methane gas from water-hyacinth and fowl droppings was tested in this experiment.

The results are summarized in the followings.

1) The moisture contents of water-hyacinth and fowl droppings were 95.33 percent and 73.04 percent, respectively. Ratios of carbon (C) to nitrogen (N) of water-hyacinth and fowl dropping were 24.98 and 10.57, respectively.

2) The most efficient production of methane gas by fermentation was obtained when a mixture of 6 parts water-hyacinth and 4 parts fowl droppings was used.

3) The ratio of C to N in the mixture of water-hyacinth and fowl droppings (6 : 4, by weight) changed from 17.93 to 22.73 during the fermentation process. The ratio of C to N in fowl droppings alone changed from 10.57 to 20.26 during the fermentation process. There was no change, however, in the ratio of C to N in the fermentation of water-hyacinth alone.

4) During the fermentation process in the mixture of water-hyacinth and fowl slops, the pH of the solution, which was initially in the range of 5.0 to 5.5, gradually rose at the middle stage, and then converged to a range of pH 6.8 to 7.6 at the last stage. During the fermentation process, the rate of pH-change was affected by both the temperature and the concentration of materials to metanobacteria.

緒 言

農業生産に投入されるエネルギーの多くは、石油に由来するものであるが、石油は非更新資源である。非更新資源に基礎をおく生産システムはいずれ行き詰まると考えられる。人間社会ではまた、都市、農産漁村を問わず有為なバイオマス資源が廃棄物として焼却、あるいは棄却されている。これらを有効にバイオマス資源として再利用することは、穏当な環境経済の観点から、あるいは将来のエネルギー事情を考慮する上からも、重要なことであると考えられる。

Table 1 Area of creek in and around Saga city.

City and Towns	Area (m ²)	Average depth (m)	Volume (m ³)
Saga-city	3,113,867	2.77	8,623,813
Chiyoda-town	2,451,717	2.17	5,335,134
Kawasoe-town	1,718,435	1.06	1,617,316
Morodomi-town	558,276	1.08	600,176
Higashiyoka-t.	1,075,668	1.25	1,345,565

佐賀平野は有明海背後地に位置し、その肥沃な土地と温暖な気候に恵まれて、北部九州における主要な食糧供給基地となっている。また、古くからの干拓事業により農地化されてきたため高度が低く、高低差が小さく、土質は重粘土層が厚く堆積している。さらに、佐賀平野では、背後の山々が浅く、河川流域に占める水田面積の比率は全国主要河川中最大となっており、このため平野の水不足に対応するために平野を縦横に走るクリークが半人工的水路として作られてきた。このクリークに引き込まれる河川水あるいはアオ（淡水）を利用して豊富な農業用水とし、水稻栽培が行われてきた。このクリーク水面の面積³⁾は佐賀市及びその周辺の千代田町、川副町、諸富町、東与賀町で、およそ891haにも達する (Table 1)。また、このクリーク水面には多量のホテイアオイが自生し、夏から秋にかけて美しい紫色の花を付けて、素晴らしい景観を楽しませてくれる。しかし、一方ではクリークの流れ、水上の交通等に支障をきたし、冬場に枯死したホテイアオイがクリークを埋め尽くす様は、景観を損なうばかりでなく、その水系の水質汚濁を引き起こす。

本研究の目的は農村廃棄物等のあらゆるバイオマスからエネルギーを回収し、これを農業生産体型の中に組み入れることである。本実験は、上述の様な状態にあるホテイアオイを計画的に栽培回収した場合の利用法としてメタン発酵によるガスエネルギー生産の可能性を検討するための基礎資料を得ようとするものである。

材料及び方法

実験材料にはクリークに自生しているホテイアオイ及び鶏舎から採取した新鮮な鶏糞を用いた。供試したホテイアオイと鶏糞の組成成分割合を Table 2 に示す。

メタン菌の種菌としては用水路の底に沈澱している汚泥を利用し、次回からの発酵実験には発酵槽内の消化液を用いた。種メタン菌量は汚泥の体積 (cc) で表示した。

実験材料の供試方法としては、主として生ホテイアオイを 1 cm 以内に切断したもの、ミキサ

Table 2 Constituents of water-hyacinth and fowl-droppings.

Materials	Water-hyacinth	Fowl droppings
Moisture content (%)	95.33	73.04
Solid (%)	4.67	26.97
Ash (%)	0.82	12.85
Ash in solid (%)	17.56	47.65
Carbon (%)	82.44	52.35
Nitrogen (%)	3.30	4.95
C/N ratio	24.98	10.57

で粉碎したものを、ホテイアオイを充分乾燥したのち粉碎したものを、これらと鶏糞を混合したもの、及び鶏糞だけのものを用いた。

実験は上記の材料にメタン菌を混入攪拌したものを、容量1,000ccのジュースビンを利用した発酵槽に投入し、水を加えて約900ccの体積に調整した。生ホテイアオイのみを材料とした実験区の場合で汚泥50g、水429ccから800ccに対し30gから286gのホテイアオイを投入した。この発酵槽を恒温水槽内に設置してメタン発酵を開始した。この場合の発酵槽内試料の含水率、固形分含量はそれぞれ98.00から99.83%及び2.00から0.17%とかなりの低濃度であった。発生したガスは別の水槽内のガス採集容器内にビニルパイプにより導入した。実験装置の概要と消化ガス採集法を Fig. 1 に示す。

測定項目は温度、pH、C/N 比、流動性及びガス発生量とガス組成 (CO_2 と O_2 、その他をメタンガスとした) である。温度は 0.6ϕ の C-C 熱電対で検出し、サーモダック III (江藤電気KK製) により、当初は1時間毎に記録し、水槽内温度の安定度を確認の後は2時間毎に測定記録した。pH 測定には F-8L pH メータ (堀場制作所製) を使用した。C/N 比は次の様にして求めた。発酵槽内の試料を十分攪拌し、これをるつぼに適量採取し、90から95°Cで2、3日間充分乾燥させた後、るつぼ内で加熱燃焼させ、その残りを灰分とし、乾燥重 - 灰分 = 炭素量 (C) として、これより C 含量を求めた。窒素分 (N) はケルダール法により測定した。そして、それら C と N の重量比として C/N を求めた。流動性は山崎式回転粘土計とストマー回転粘土計で測定した。ガス発生量は毎日夕方の一時間帯に測定した。ガス発生量の測定法には Fig. 1 に示すような方法を利用した。ガス組成はオルザットガス分析計により O_2 と CO_2 のみを測定し、その残りをメタンガスとした。

結果及び考察

供試材料の成分分析結果は Table 2 に示した。ホテイアオイは佐賀市内のクリークから採取したものである。鶏糞は鶏舎から新鮮なものを選んで採取したものである。これによると、生ホテイアオイの含水率は95.33%、固形分は4.67%、灰分は0.82%で固形分中の炭素Cと窒素Nはそれぞれ82.44%と3.3%であった。鶏糞の含水率は73.04%、固形分は26.97%、灰分は12.85%で、固形分中の炭素と窒素はそれぞれ52.35%と4.95%であった。従って、ホテイアオイの C/N 比は24.98、鶏糞の C/N 比は10.57となった。

1 ガス発生速度と発酵槽の温度

Fig. 2 は、ホテイアオイを乾燥粉碎した試料を26g、種メタン菌を50cc投入し、これに水750ccを加えて調整した場合の発酵温度毎のガス発生量の経時変化を示したものである。発酵槽温度が高くなるにつれてガス発生量のピークの発現時期が早く、かつそのピークもより高くなっ

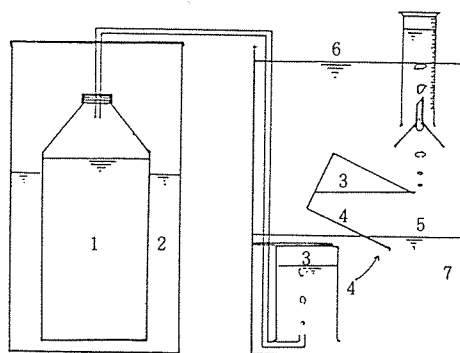


Fig. 1 Schematic representation of digester and gas measuring method
1 : digester bin
2 : constant-temperature water bath
3 : gas
4 : gas collector (beaker)
5 : water level (at collecting)
6 : water level (at measuring)
7 : water bath for collecting gas

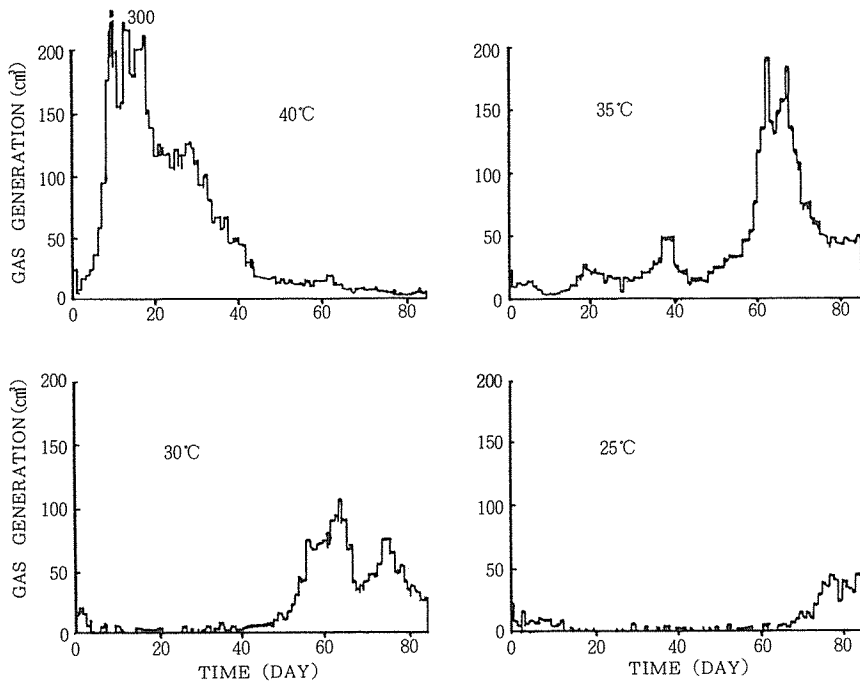


Fig. 2 Effect of temperature on methane gas generation

ている。25°C区の場合70日後になってガス発生が活発化し始めている。30°C及び35°C区の場合では60日前後にこれが見られる。そして、40°C区では実験開始一週間後から良好なガス発生が始まり、10日頃には最大となって、40日過ぎにはガス発生が大体終了した。従って、本実験条件での最適発酵温度は、40°C近辺にあるといえるが、本研究では、より省エネルギー的観点から主たる発酵温度条件を30°Cにおいて全体的実験を行った。

2 ホテイアオイに鶏糞を加えた場合のガス発生量

Fig. 3はホテイアオイに鶏糞を加えた場合のガス発生量を示したものである。この場合の試料は水800ccに対し固形分材料18gの割合である。ホテイアオイだけを発酵材料とした場合では、50日頃からガスの発生が活発になり始め、そのガス発生量も鶏糞だけを発酵材料とした場合やあるいは他の混合区の場合のガス発生量に比べて最も小さくなっている。これに次いでガス発生量の小さいのは鶏糞のみの区で、ホテイアオイに鶏糞を加えた混合区は何れの場合もガス発生量が大きくなっている。とくに、80日間の積算ではホテイアオイ対鶏糞の乾燥重量比が6:4のとき、量もガス発生量が大きであった。

Fig. 4に発生ガス量の経時的積算値を示す。この図から分かるようにホテイアオイに加える鶏糞の割合が大きくなるに従いガス発生量の立ち上がり時間が早くなる。しかしながら、単に鶏糞の混合割合を大きくすることが、必ずしもガス発生量の増大には結び付かないが、少なくともホテイアオイだけの場合より、ガス発生量が大きくなるし、ガス発生時期も早めることができた。これらの結果は、種メタン菌以外に、混入された鶏糞自体が持つメタン菌が加わり、種菌としてのメタン菌量が多くなったこと、さらにメタン発酵材料としてのC/N比の値がよ

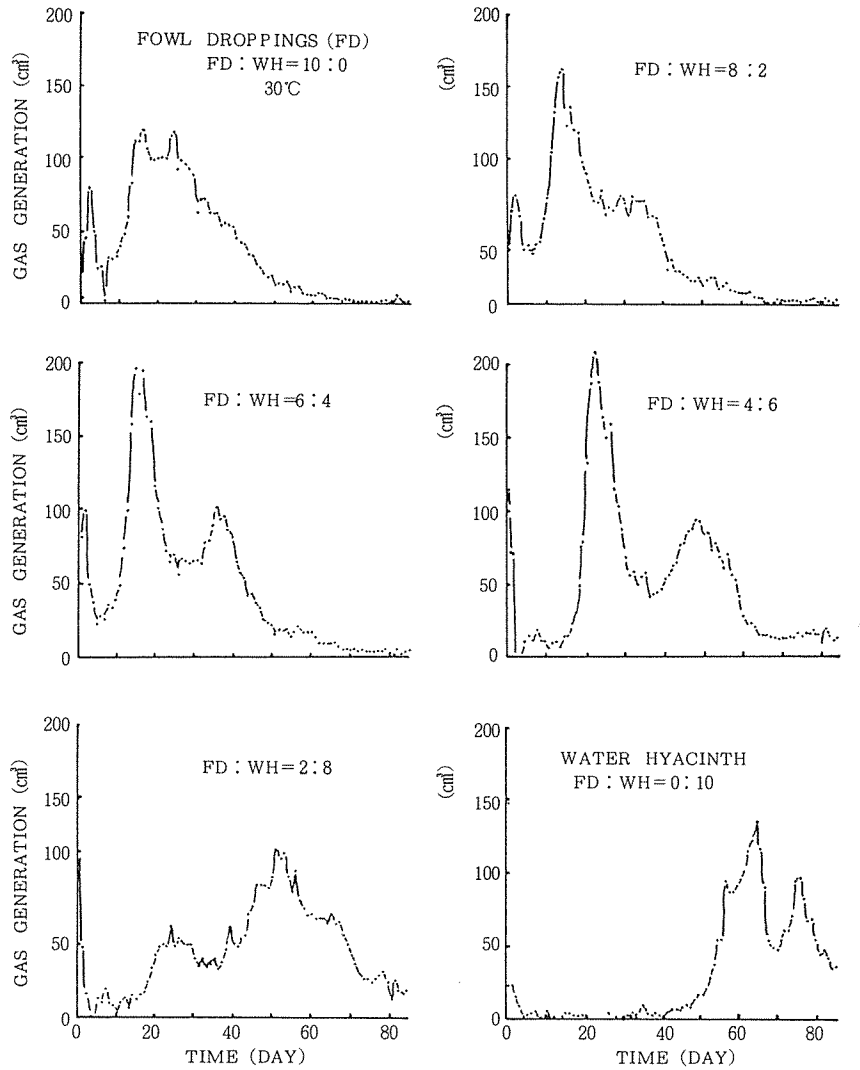
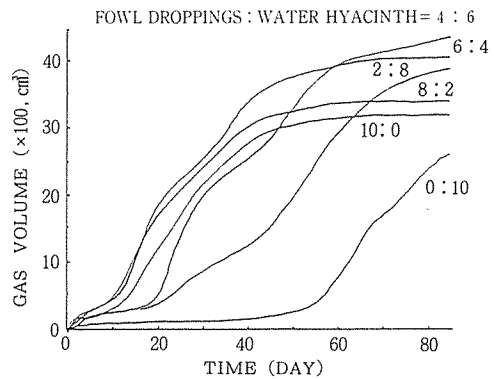


Fig. 3 Gas generation from various combinations of water-hyacinth and fowl droppings at 30 degree C.

Fig. 4 Accumulative curves of gas generation on various combinations of water-hyacinth and fowl droppings at 30 degree C.



り適切な範囲に入ってきたこと及び鶏糞とホテイアオイの有機質割合の差（鶏糞のC含量は52%，ホテイアオイのC含量は82%，何れも固形分中）などに起因しているものと考えられる。

Table 3 Change in the C/N ratio of the various combinations of water-hyacinth and fowl droppings.

Mixing ratio, F/W	At the first stage	At the latter term
10/0	10.58	20.26
8/2	12.67	23.88
6/4	15.10	24.47
4/6	17.93	22.73
2/8	21.28	25.50
0/10	25.29	26.09

* F/W : Dry weight ratio of F (fowl droppings) to W (water-hyacinth)

Table 3 に鶏糞とホテイアオイの混合比別の C/N 比を、そのメタン発酵実験開始初期とメタン発酵終了期近くの後期について示した。Table 3 が示すように、発酵実験開始初期の C/N 比は材料が鶏糞だけの場合では 10.58 であるが、ホテイアオイの混合割合が大きくなるにつれて大きくなり、ホテイアオイだけになると 25.29 となる。また、メタン発酵課程を経過した C/N 比の変化は、鶏糞だけの場合では 10.58 から 20.26 へと大きく変化しているが、ホテイアオイの混合割合が大きくなるにつれてその変化の割合は小さくなり、ホテイアオイだけになると、25.29 から 26.09 へとほとんど変化していない。従って、これらの材料でのメタン発酵におけるその C/N 比を発酵後期だけについてみると、C/N 比の値は 20 から 26 の範囲に収れんしてきている。鶏糞区での C/N 比の変化が大きいの、窒素含量が多いためにアミノ酸などの分解によって生成するアンモニアが多くなり、アンモニアガスとして飛散し、分母の N が小さくなったものと考えられる。

3 ガス発生中の pH の変化

Fig. 5 及び Fig. 6 はガス発生中の pH の経時変化を示したものである。Fig. 5 中のグラフ(1) は鶏糞区のガス発生中における pH の変化である。発酵初期の鶏糞区の pH は 7.2 付近にあるが、メタン発酵が進むにつれて pH 7.5 から 8.0、そして 8.3 まで上昇している。ところが、ホテイアオイ区における pH の初期値は、乾燥粉碎した材料区 (グラフ(4)) で 4.9、生のみじん切り区 (グラフ(3)) で 5.5 であったが、メタン発酵中に徐々に上昇し、発酵開始 56 日目頃にはいずれも pH 7 強の値を示した。これらを混合した鶏糞+ホテイアオイ区 (グラフ(2)) では、鶏糞のみ区とホテイアオイのみ区の間値を示しながらも、わずか 5 日で pH 6.4 から pH 7.1 まで変化し、その後は安定的に 50 日間で pH 7.5 付近まで上昇している。さらに発酵材料としてのホテイアオイの濃度、あるいはメタン菌の量の多少によって槽内の材料液の pH がどのような経過をたどるかを調査した。この調査には発酵槽として 300cc のビーカーを利用した。このビーカー内に発酵材料とメタン菌を入れ、総量 300cc に調整し、これを 40°C 及び 30°C の恒温槽内に設置してそれらの pH の変化を追跡した。その結果を Fig. 6 に示した。ホテイアオイを乾燥粉碎して発酵材料とした場合の pH は、発酵温度が 40°C 区では発酵初期においては 5.1 から 5.5 の範囲であったものが、5 日から 16 日の間に 6.7 から 6.9 の範囲まで上昇し、その後は 40 日以降の pH 7.1 から 7.6 の範囲まで漸増の傾向がみられる。

一方 30°C 区では、発酵初期における pH は 5.4 であったが、8 日目頃の pH 値は約 5 となり、一時的に低下している。そして、8 日目を以降に漸次上昇の傾向がみられたが、その速度は遅く、pH 6.6 付近まで回復するのは、早い区 (この場合、メタン菌量に対して発酵材料が少ない方)

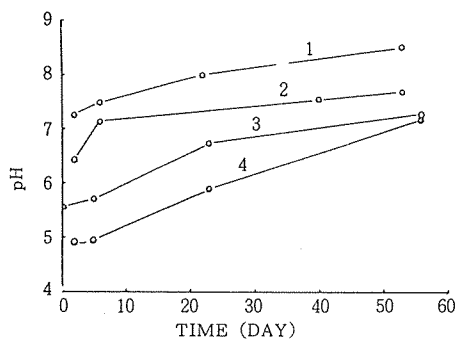


Fig. 5 pH values for the materials in digesters.

- 1 : fowl droppings
- 2 : water-hyacinth+fowl droppings
- 3 : chopped water-hyacinth (raw)
- 4 : powder of dried water-hyacinth

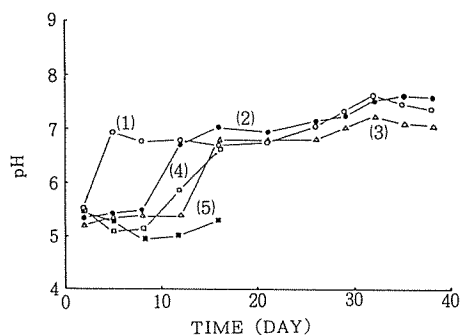


Fig. 6 Effect of temperature and concentration of the test solution on its pH value.

Conditions : Total volume is 300cc.
 (1) ; Water-hyacinth (WH) 9g and fowl slops 100cc in the test solution (300cc), at 40°C. (2) ; WH 4.5g and fowl slops 10cc, 40°C. (3) ; WH 9.0g and fowl slops 10cc, 40°C. (4) ; WH 4.5g and fowl slops 10cc, 30°C. (5) ; WH 9g and fowl slops 10cc, 30°C.

で、16日目頃であった。従って、発酵槽温度の高い区の方が、pHの上昇が早いといえる。また、同温度区では、メタン菌量に対するホテイアオイの投入量が大きいくほど、pH 7付近までの立ち上がり時間が長くなる結果となった。すなわち、40°C区においてはメタン菌量10ccに対し乾燥粉碎ホテイアオイ 9 gの場合、pH6.8になるまで16日、同量のメタン菌量に対し乾燥粉碎ホテイアオイ4.5 gの場合は pH6.8になるまで約13日、そしてメタン菌量100ccに対し乾燥粉碎ホテイアオイ 9 gの場合は pH6.9になるまで、実験開始からわずか5日目であった。

Fig. 6において、同じ濃度同じメタン菌量の条件の下では、温度の高い方の pH が早く上昇し始めた。同じ温度同じメタン菌量の条件下ではそれらが適切な範囲内であれば発酵材料濃度の小さい方が、そして同じ温度同じ材料濃度の条件下ではメタン菌量の多い方がより早く pH 値が上昇した。その pH 値の変動及び移行幅はそれぞれおよそ5.0~5.5から6.8~7.6であった。

4 供試材料の流動特性

生ホテイアオイを1cm以内に切断したものを供試材料とした区はそれらのチップが発酵槽の上層に浮上し、槽中で分離した形となり、流動化がかなり遅れた。このことが、メタン発酵開始期の遅れの原因の一つでも考えられる。発酵終了時点ではかなりのチップが軟腐化し、液化して、流動状態が良くなっていた。これらの状態を粘度計で測定しようと試みたが、浮遊物が多過ぎ、再現性のあるデータは得られなかった。

5 ホテイアオイのメタン発酵による総エネルギー量の試算

ホテイアオイの有機物量は乾物重量にして約4%であった。わが国の自然水系でのホテイアオイの生産量は20~25 t/ha程度⁴⁾であるが、計画栽培等によりさらに生産量が増大する可能性は大きい。例えば、奥田⁵⁾によるとm²当たり2株及び8株投入した場合でも1.5ヶ月後にはほぼ100%の被覆率となり、それらを放置した場合それぞれ28.2kg/m², 35.3kg/m²に生育した。従って、年5回の計画栽培をしたとすると30kg/m²として、150kg/m²・yとなり乾物重にして(150×0.0467)、年間約7kg/m²が収穫できることになる。

佐賀市周辺のクリーク面積は約891ha (Table 1) である。この内の3分の1の面積 (297ha) に整然と栽培するとして ($7 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{y} \times 2,970,000 \text{ m}^2 = 20,970,000 \text{ kg/y}$), 20,790 t/y のホテイアオイの乾物重を生産できる。

本実験によると、ガス発生効率は必ずしも良好なものではなかったが、30°C条件下でも、鶏糞4割程度加える等すると、放置状態40日間で、ホテイアオイ1kg当たり0.4m³生産出来、この内80~90%がO₂及びCO₂を除くガスであったので、これをメタンとすると、発熱量は約8,000 kcal/m³, 即ち $20,790,000 \times 0.4 \times 8,000 = 6.6528 \times 10^{10} \text{ kcal/y}$ 重油にして $6.6528 \times 10^6 \text{ l/y}$, 約6,650kl分の石油が得られる計算になる。

実験に協力していただいた山浦千鶴さん (S.59卒) および河野幸男君 (S.60卒) に謝意を表します。

摘 要

農村有利廃棄物からのバイオガス回収のための基礎的データを得るために、ホテイアオイと鶏糞を発酵材料としたメタンガス発生の実験を行った。

実験の結果は以下のようであった。

- 1) 生ホテイアオイと鶏糞の含水率はそれぞれ95.33%及び73.04%であった。またそれぞれのC/N比は24.98と10.57であった。
- 2) ホテイアオイと鶏糞の混合液を発酵させる場合、ホテイアオイ6鶏糞4の割合のときが最も良くガスが発生した。
- 3) ガス発生中のC/N比は鶏糞のみの場合10.58から20.26へと変化したが、ホテイアオイのみの場合は25.29から26.09へとほとんど変化が見られなかった。ホテイアオイと鶏糞の混合液試料 (混合比6:4の場合) ではC/N比の変化は17.93から22.73であった。
- 4) ホテイアオイと種汚泥混合液のガス発生中のpHは、発酵初期においては5.0~5.5の範囲にあったものが、発酵過程において徐々に上昇し最終的にはpH6.6~7.6の範囲に収れんした。その変化速度は温度、メタン菌量に対する材料濃度に影響された。

参 考 文 献

- 1) Dennis M. Sievers, David E. Brune (1978). Carbon/Nitrogen Ratio and Anaerobic Digestion of Swine Waste. *Trans. of the ASAE*, 537-541, 549.
- 2) J. R. Fischer, E. L. Iannotti, C. D. Fulhage (1983). Production of Methane Gas From Combinations of Wheat Straw and Swine Manure. *Trans. of the ASAE*, 546-548.
- 3) 九州農政局筑後川水系農業水利調査事務所 (1979). 筑後川下流域クリーク実態調査結果. 昭和54年度.
- 4) 沖陽子 (1982). 雑草の利用化——特に水性雑草について——. 農学進歩年報 第29号.
- 5) 奥田惟精 (1982). 手賀沼におけるホテイアオイの植栽実験. NEWSLETTER. No. 1, ホテイアオイ研究会.
- 6) 石橋憲一, 他5 (1983). 家畜廃棄物の嫌気性消化——牛糞からのメタンガス生産——. 農業施設, 14-1, 4-8.
- 7) 前川孝昭, 他3 (1984). 2相式メタン発酵装置の開発に関する研究 (第1報) ——豚糞・豚糞尿を基質とする有機物負荷特性——農業施設, 15-1, 7-21.