

東北大学 学生員 林 秋 裕
同 学生員 山口 浩 人
土木研究所 正 員 佐藤 和 明

1. はじめに

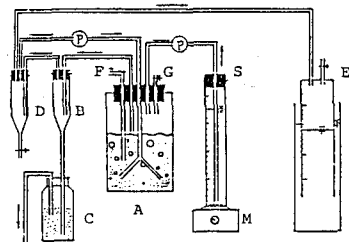
嫌気性消化においては、下水汚泥、し尿および都市ゴミなどの廃棄物の主要な有機物である蛋白質、炭水化物、および脂質は分解を受けて最終的にメタンと二酸化炭素になる。嫌気性消化は実際には二相性であり、酸生成相およびメタン生成相の二相に分類される。二相消化法による嫌気性消化の機能向上に関する研究が数多く行われているが、高濃度基質のメタン生成相の浄化機構に関する研究は少なく、混合基質に対する菌体増殖の最適制御および物質代謝速度の均衡を考慮したプロセスの構成に関して、多くの未知事項が残されている。本研究は酸生成相における主要な発酵生成物である酢酸、プロピオン酸および酪酸を混合した基質を用いて、中温域のメタン生成相の基質消費、メタン生成、および菌体増殖の特性について連続実験によって検討したものである。

2. 実験装置、材料および方法

実験装置は図-1に示すような基質投入、余剰混合液の引き抜きおよび生成ガスの循環による攪拌を連続的に行うケモスタット型の嫌気的反応槽である。投入基質は実際のメタン生成相の基質となっている酢酸 (HAc)、プロピオン酸 (HPr) および酪酸 (HBu) を混合した合成基質で、混合基質の濃度は COD として表示した。種汚泥は、仙台市南蒲生下水処理場の下水汚泥消化槽より採取した消化汚泥を、濃度 20000 mg COD/l の混合基質で 35℃ の条件下 1 年以上馴致させた。混合基質 (表-1) 中の HAc、HPr、HBu の割合は酸生成相で生成される揮発性脂肪酸の割合⁽¹⁾を考慮してそれぞれ COD として 2:1:1 であった。実験は、まず最初に、35℃ の反応槽 4 本に種汚泥を嫌気的条件下で接種して開始し、各々定められた滞留時間 (DT) に制御した。更に 1 週間 1℃ づつ温度を下げ、30℃ で定常を取り、また更に、同様にして 25℃ でも定常状態を取った。これと平行して、35℃ から 40℃ に温度を上げて定常をとる実験も行った。定常状態に達したか否かを判断する指標としては、菌体濃度 (MLVSS)、残存揮発性脂肪酸 (VFA)、pH、ガス生成速度およびメタンガス含有率などを用いた。実験 pH は 7.1~7.3 の中性域に設定し、濃塩酸または 10N-NaOH で制御した。定常状態を得るために各 Run において 7 週間以上の期間、実験を継続した。これによって得られたデータより、基質消費特性ならびに動力学定数などについて考察を行った。表-2 に実験方法を要約した。

3. 実験結果および考察

揮発性脂肪酸成分の挙動 図-2 に各系列の定常時の平均残存 VFA 成分濃度 (HAc、HPr、HBu のみ) と滞留時間、希釈率の関係を示す。一般に、残存 VFA 濃度は、希釈率



A: Reactor
B, C: Mixed Liquor Overflow System
D, E: Gas Collection System
F: Sampling Port
G: Gas Sampling Port
M: Mixer
P: Pump
S: Substrate

Table 1 Composition of Mixed Substrate

(NH ₄) ₂ HPO ₄	700 mg/l
NH ₄ Cl	850 mg/l
MgSO ₄ ·7H ₂ O	250 mg/l
KCl	750 mg/l
MgCl ₂ ·6H ₂ O	810 mg/l
FeCl ₃ ·6H ₂ O	420 mg/l
NaHCO ₃	6720 mg/l
CoCl ₂ ·6H ₂ O	18 mg/l
Acetic acid	50 %
Propionic acid	25 %
n-Butyric acid	25 %

† Base on COD

Table 2 Summary For Experimental Methods

Series	Detention Time (days)	Temperature (°C)	Feed Substrate Concentration (mg COD/l)
I	15; 10; 7; 4.5	40	20000
II	15; 10; 7; 4.5	30	20000
III	30; 15; 10; 7	25	20000

が減少するにつれ増した。ここで、40℃系列におけるHPRの蓄積は、35⁽²⁾、30、25℃とは違うことに注意してもらいたい。40℃系列のDT 10, 7, 4.5日における残存HPR濃度は非常に高かった。これは、HPRの分解を行うAcetogenic菌の活性が40℃の温度では低いことが原因の一つであると考えられる。HPRは温度変化につれて蓄積すると報告されている⁽³⁾。なお、HPR分解の律速段階は、HPRのHAcへの転換であり、HBU分解の律速段階は、HAcのメタンへの転換であると報告されている⁽⁴⁾。本実験の全系列で見れた、HPR及びHAcの蓄積は、これが原因の一つであると考えられる。また、40℃系列のDT 7, 4.5日、30℃系列のDT 7, 4.5日および25℃系列のDT 7日の各Runからは、投入基質に含まれていないisoおよびnormal吉草酸が検出された。これは、低級VFAから高級VFAへの生成及び死滅した菌体から放出されたためと考えられる^(5,6)。

メタン転換率 本実験での定常時における生成ガスのメタン含有率は、30℃系列DT 4.5日を除いて、62~67.5%で“ほぼ”一定値であり、温度による影響が見られない。図-3には、各温度におけるメタン生成速度と基質消費速度の関係を示す。この図によれば、メタン生成速度は、基質消費速度の増大に伴って直線的に増大しており、温度には依存しないことが分かる。また、回帰直線の傾きより、VFAからメタンへの転換率は消費されたVFA 1g COD当り、0.313 l (STP) であることが知られる。

動力学的パラメーター Michaelis-Menten式に基づいて完全混合培養系の動力学的パラメーターである最大比基質消費速度 V_{max} 、基質飽和定数 K_s 、増殖収率 Y_g および死滅係数 K_d を求めた。図-4に各温度での基質消費速度(V)と流出基質濃度の関係を示す。これによれば、 V は35℃ >> 30℃ > 25℃ > 40℃の順になっており、35℃のメタン生成相の菌群は、35℃において他の温度に比べ高い基質消費活性を持っていることが分かる。図-5に最大基質消費速度に対するArrheniusプロットを示す。この図より、中温消化のメタン生成菌群の最大比基質消費速度の温度依存性は、35℃が限界で異なることが知られる。以上の結果より、35℃は中温消化のメタン生成相における最適消化温度であることが分かる。

4. おわりに

(1) 35℃は中温メタン生成相の最適操作温度である。(2) 中温のHPR分解菌の活性は40℃のときより低い。(3) 基質のメタン転換率は温度には依存しない。

参考文献: 1. Ghosh, S. et al.: JWPFC, Vol. 47, No. 1 (1975)

2. 林, 佐藤, 社本: 東北支部技術研究発表会講演概要, 昭和57年度 (1982)

3. Kirsch and Sykes: Progress Industrial Microb., Vol. 9 (1971)

4. 張, 野池, 社本: 土木学会論文報告集, 第320号(1982), 第333号(1983)

5. McCarty and Jeris: JWPFC, Vol. 35, No. 12 (1963)

6. Goldberg and Cooney: Appl. and Envir. Microb., Vol. 41, No. 1 (1981)

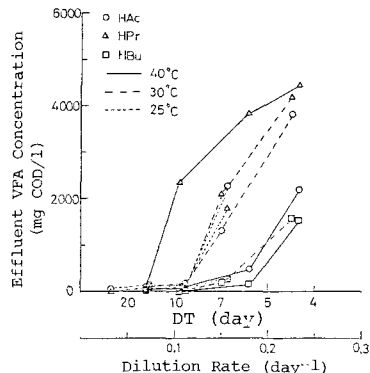


図-2 定常時の残存VFA成分濃度

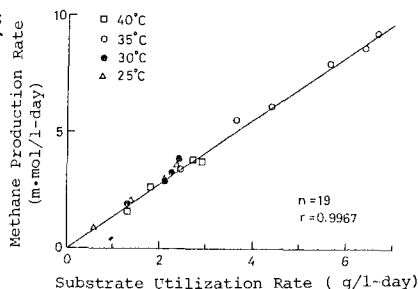


図-3 メタン生成速度と基質消費速度の関係

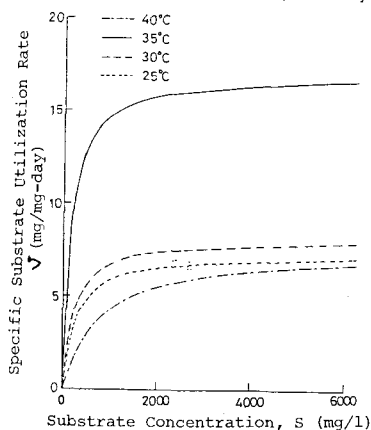


図-4 比基質消費速度の温度依存性

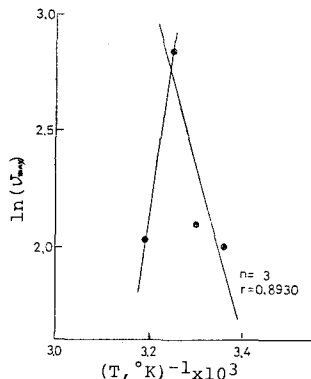


図-5 最大比基質消費速度に対するArrheniusプロット