

酸生成細菌叢と水素ガス生成について

日本大学大学院 学員○小木曾直行

日本大学工学部 正員 中村玄正

日本大学工学部 正員 松本順一郎

1. 目的

嫌気性消化は、高分子有機物の加水分解を経て揮発性有機酸を生成する酸生成相と、メタン生成が行われるメタン生成相に分けられ、それぞれの相に関与する酸生成菌とメタン生成菌の増殖速度や生物学的特性も異なっている。これまで、エネルギー回収という面ではメタン生成相におけるメタンガスが主に研究されてきたが、酸生成相で発生する水素ガスもエネルギー資源として期待できる。

本研究では、グルコースの嫌気性分解を通じて、酸生成相における温度の違いが水素ガス生成にどのような影響を及ぼすのか検討する。また、VFA生成とこれに関与する酸生成細菌群の分布特性についても検討を行う。

2. 実験方法

実験装置の概略を図-1に示す。表-1に装置諸元を示す。実験装置は嫌気性ケモスタット型反応槽である。これを5槽並列に設置し、反応槽内温度をクーラー及びヒーターでそれぞれ5, 15, 25, 35, 45℃に設定した。なおSRTは各槽とも4hrに設定した。流入基質は表-2に示す組成成分を水道水に加えて作成したものである。実験に供した汚泥は、郡山市の終末処理場の消化汚泥をグルコースで約2ヵ月間馴致したものをを用いた。それぞれの温度は30℃から5日間につき1℃の割合で徐々に変化させて設定し、その後定常実験に入った。実験分析項目は、pH、ORP、COD_{Cr}、ソモギ法、揮発性有機酸、エタノール、ガス組成等を行った。また、各嫌気性細菌の分離培養にあたっては選択培地を用い、ロールチューブ法で行った。それぞれの細菌の培養を各設定温度で20日間行った後、コロニー形成数を求めた。

3. 実験結果と考察

図-2に設定温度とグルコース消費速度との関係を示す。これによると、グルコース消費速度は設定温度25℃において最大となり、これより低温域および高温域では徐々に小さくなるという傾向が見られた。このことより、本実験における細菌群の活性は設定温度25℃において最大であることがわかる。従来の嫌気性消化ではメタン生成により基質の消費が促進され、メタン生成の活発な35℃付近において基質消費速度は最大となる傾向がみられた。一方メタン生成がほと

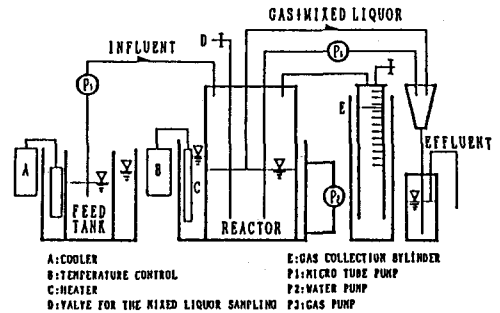


図-1 実験装置の概略図

表-1 装置諸元

有効容量	2.0 g
反応液量	1.0 g
攪拌方式	ガス攪拌
設定温度	5, 15, 25, 35, 45℃

表-2 基質組成

Glucose	11700	mg/g
Yeast extract	100	mg/g
NaHCO ₃	8000	mg/g
NH ₄ Cl	38.2	mg/g
Na ₂ HPO ₄	17.3	mg/g
KH ₂ PO ₄	2.6	mg/g
MgCl ₂ ·6H ₂ O	16.0	mg/g
MnSO ₄ ·4H ₂ O	2.6	mg/g
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.8	mg/g
CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.015	mg/g
FeSO ₄ ·7H ₂ O	4.0	mg/g

んど行われない今回の実験では25℃付近が基質の最大消費速度を示す結果となった。

図-3に設定温度と揮発性有機酸濃度の関係を示す。各反応槽とも流出水中の揮発性有機酸濃度は、酢酸>n-酪酸>n-吉草酸>プロピオン酸の順に生成されている。本実験においてプロピオン酸の濃度が酢酸や酪酸の濃度に比べて低いという傾向が見られ、プロピオン酸分解による水素を水素資化性硫酸塩還元細菌が消費したと考えられる。また、設定温度5℃においてそれぞれの揮発性有機酸とも最大値を示しているが、これは温度が低いため揮発性有機酸が水素ガスや二酸化炭素に気化し難くなったものと考えられる。

図-4に設定温度と一般嫌気性細菌、Clostridium属、硫酸塩還元細菌のコロニー形成数の関係を示す。この図より、一般嫌気性細菌のコロニー形成数は $2.4 \sim 6.3 \times 10^7$ CFU/mlであり、設定温度25℃において、 6.3×10^7 CFU/mlと最大値を示した。一般に嫌気性消化槽は、SRT20日前後で温度が35℃付近で運転されているが、本実験のようにSRTを比較的短い4hrに設定した場合、25℃付近において細菌数が最も多くなることがわかった。Clostridium属のコロニー形成数は $2.3 \sim 9.8 \times 10^6$ CFU/mlであり、設定温度25℃において 9.8×10^6 CFU/mlと最大値を示した。また、Clostridium属の一般嫌気性細菌における割合は設定温度5, 15, 25, 35, 45℃でそれぞれ9, 7, 16, 7, 12%であった。このような結果から、混合培養系におけるClostridium属の至適温度は25℃付近であることが考えられる。硫酸塩還元細菌のコロニー形成数は、 $1.4 \times 10^4 \sim 4.9 \times 10^5$ CFU/mlであり、設定温度25℃において 4.9×10^5 CFU/mlと最大値を示した。また、設定温度5～15℃においては $1.4 \sim 2.0 \times 10^4$ CFU/mlと低い値を示していることから、硫酸塩還元細菌数は低温域において減少することがわかる。

図-5に設定温度と酸生成嫌気性細菌のコロニー形成数を示す。これは図-5とは別の日に実験したものである。酸生成嫌気性細菌のコロニー形成数は $3.5 \times 10^7 \sim 3.9 \times 10^8$ CFU/mlの範囲であり、25～35℃の中温域で高くなっている。低温域の5℃では最も多い35℃の約1割のコロニー形成数であることから、温度の影響が大きいと言える。

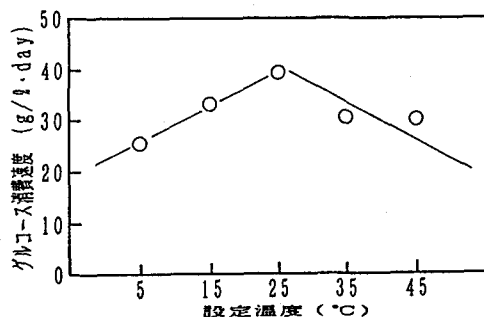


図-2 設定温度とグルコース消費速度の関係

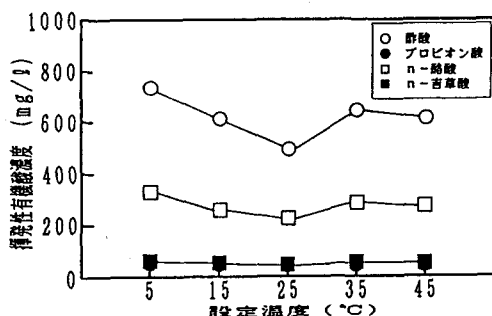


図-3 設定温度と揮発性有機酸濃度の関係

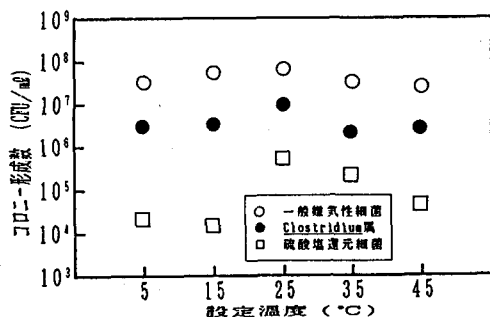


図-4 設定温度と一般嫌気性細菌、Clostridium属、硫酸塩還元細菌のコロニー形成数

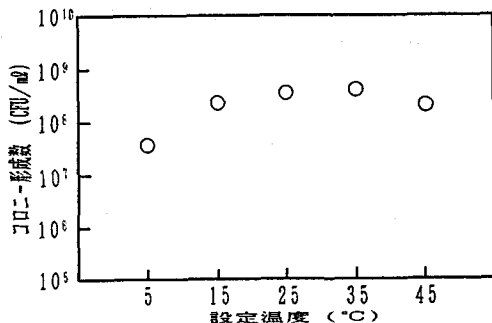


図-5 設定温度と酸生成嫌気性細菌のコロニー形成数

図-6に設定温度と水素ガス発生速度および水素・メタンガス発生割合の関係を示す。水素ガス発生速度は5℃の低温域と45℃の高温域で低下している。水素ガスの発生割合は、設定温度5～25℃の範囲では11～14%と高い割合であるが、設定温度35～45℃では9～10%とこれより若干低い割合であった。一方メタンガスの発生割合は、設定温度5～25℃の範囲ではほとんど0%であるが、設定温度35～45℃では1.4～2.0%であった。これらの結果から、設定温度が高い35～45℃の範囲では水素ガスがメタンガスに転換したことがわかる。すなわち、設定温度が35～45℃の範囲では、SRTを比較的短い4hrに設定した場合でも、僅かではあるがメタン生成菌によって水素ガスがメタンガスに転換されることがわかった。

図-7に設定温度と炭素収支率の関係を示す。未分解のグルコースは設定温度5℃で最も高い割合となっており、低温域ではグルコースは分解され難い。また、揮発性有機酸（酢酸+プロピオン酸+n-酪酸+n-吉草酸）は設定温度5

℃で最も高い割合となっていることから、低温域では揮発性有機酸がガスに変換されないで高い割合を示したものと考えられる。エタノールは4～5%の範囲であり、温度による影響は少ないと考えられる。VSSは低温域で若干減少する傾向が見られた。また乳酸は今回の温度設定範囲が5～45℃であったことから、各設定温度とも0.3%未満と少なかった¹⁾。その他の生成物としてはi-酪酸、i-吉草酸、メタノール、蟻酸等が考えられ、25℃付近でそれらの代謝産物が多くなるという結果が得られた。

4. 結論

本実験の結果、次のことがわかった。

- (1) グルコース消費速度は設定温度25℃で最大値3.9 g/l·dayを示した。
- (2) 一般嫌気性細菌、*Clostridium*属、硫酸塩還元細菌は設定温度25℃で細菌数が最大となった。
- (3) 本実験では、プロピオン酸の蓄積が見られず、プロピオン酸分解による水素を水素資化性硫酸塩還元細菌が消費したと考えられる。
- (4) 設定温度35～45℃の範囲では僅かではあるがメタンガスが発生した。
- (5) 全ガス中に占める水素ガスの割合は低温域で高くなったが、水素ガス発生速度としては25℃が最大となった。

なお、本研究は一部土木学会の補助を得たことを記し謝意とします。

参考文献

- 1) R. J. ZOETEMEYER et.al.(1982):Influence of temperature on the anaerobic acidification of glucose in a mixed culture forming part of a two-stage digestion process. Water Res. Vol.16, 313-321.

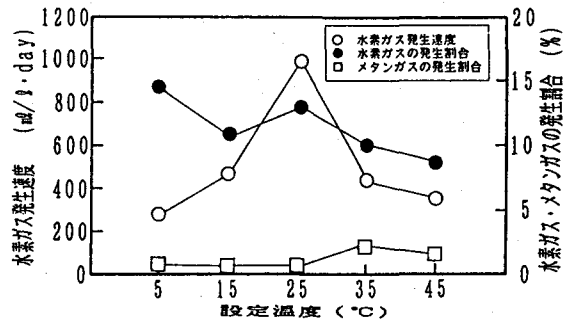


図-6 設定温度と水素ガス発生速度および水素ガス・メタンガスの発生割合の関係

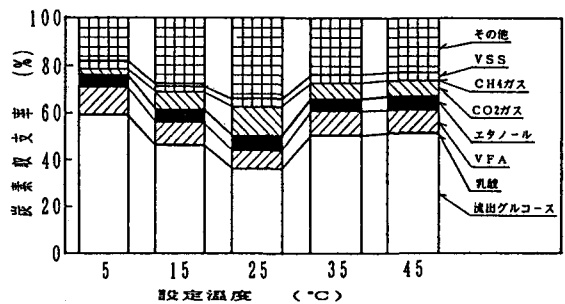


図-7 設定温度と炭素収支率の関係