

北海道大学工学部

正員 清水 達雄 横田 義昭
○学生員 堀内 淳一 正員 那須 義和

1 はじめに 嫌気性消化プロセスには、数種の機能の異なる微生物群が関与することが知られている。したがって、本プロセスの効率化、安定化のための方法を確立するには、関与する微生物群の代謝特性、速度論的知見、ならびに各種微生物間の相互関係に関する知見が必要である。本研究では、プロセス改善のための基礎的知見を得ることを目的として、固型ならびに溶解性有機物のメタン、炭酸ガスおよび菌体などへの変換に関して、連続培養系を用いて速度論的に検討を行った。その結果、固型有機物の可溶化反応、代謝中間体である各種有機酸、水素、炭酸ガス等の生成とメタンガスへの変換について、2～3の知見を得たので報告する。

2, 実験方法 ケモスタット培養槽を用いて、セルロース、グルコース、および酢酸を制限基質として、(各基質の供給濃度は約10.000%) pH 7, 37°Cの条件下で嫌気的に連続培養を行い、残存基質濃度, MLSS, 有機酸濃度, ガス発生量および組成を経時的に測定した。得られた測定値から、種々の滞留時間における定常状態での値を求めて、速度論的解析を行った。

3, 結果および考察 Fig-1は、セルロースを制限基質とした培養系について、各滞留時間に対して、残存セルロース濃度、セルロース分解率, MLSS, および酢酸に換算した全有機酸濃度の定常値を示したものである。滞留時間15日以上では、セルロースは90%以上分解され、全有機酸濃度も低く維持され、ほぼ完全にガス化された。それ以下の滞留時間になると、残存セルロース濃度が急激に増加し、酢酸、プロピオン酸、酪酸が代謝中間体として検出され、全有機酸として最高1000%まで蓄積した。また総括メタン生成速度は10日で最大となりメタンガスの生産性を最大にする条件とセルロース分解率を高める条件とは異なった。発生ガスのメタンガス含有率は、長い滞留時間では60%程度であり、滞留時間の短縮に伴い水素ガスが若干検出された。Fig-2は、分解されたセルロースがどのような比率で、菌体合成や生産物生成に利用されているかを炭素収支をとって示したものである。滞留時間15日以上では主にガス化され、メタン、炭酸ガスの比率が大きいが、滞留時間の短縮に伴い代謝中間体(有機酸等)に変換される比率が急激に増加した。また、菌体合成に利用される比率は20%程度では一定であった。

Fig-3は、グルコースを制限基質として連続培養を行った時の解析結果を示している。滞留時間を短くしてもグルコースは低濃度にまで分解された。滞留時間が10日以下になると有機酸が検出され始め、5日以下になると有機酸およびエタノールが高濃度(約4000%)蓄積されると同時に、水素ガスが検出された。生成ガスのメタン含有率は、長い滞留時間では65%程度で滞留時間の短縮に伴い水素分圧が上昇し、メタンガスが検出されなくなる滞留時間は1日以下であった。メタンガス

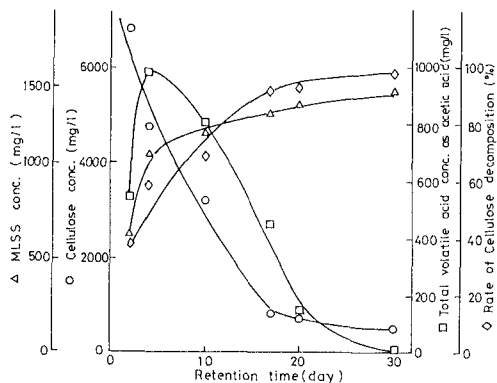


Fig. 1 Residual cellulose, MLSS and total volatile acid concentration vs. retention time for cellulose digestion.

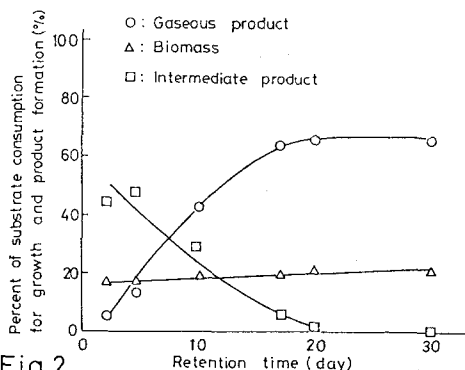


Fig. 2 Fractional substrate assimilation for growth and product formation in cellulose digestion.

が殆んど発生しない酸生成反応系での主要な蓄存代謝生成物は、酢酸、プロピオン酸、酪酸、およびエタノールであり、滞留時間の短縮に伴いエタノールが増加した。Fig-4は、代謝されたグルコースがどのような比率で、菌体合成や生産物生成に利用されているかを炭素収支をとって示したものである。セルロースの場合と同様、長い滞留時間ではガス状生成物に変換される比率が多く、滞留時間の短縮に伴い、有機酸などの蓄存代謝中間体の比率が急激に増加している。菌体利用される比率はガス状生成物への変換率が高い滞留時間では、約20%であったが、滞留時間が短くなると、蓄存代謝中間体への変換率が高くなることと、メタン生成菌の流出のために減少した。

Fig-5は、酢酸を制限基質として用いた培養系についての定常状態における解析結果を示したものである。滞留時間10日前後で系は不安定になり、メタン菌の流出がおこり、残存酢酸濃度が増加した。このことから、酢酸利用メタン生成菌の最大比増殖速度は、 $0.1 (\text{day}^{-1})$ 程度であると推定された。また、Fig-4に示すように、代謝された酢酸は大部分がガス化され、平均菌体収率は、約4%であった。この値は、前述したセルロースやグルコースを基質として用いた場合に比し、極めて小さな値であった。

これら3つの異なる基質を用いた連続培養結果を比較するとセルロース培養系では、滞留時間の短縮に伴う各種有機酸および残存セルロース濃度の急激な上昇のために、処理水質が悪化したのに対し、グルコース培養系では、残存グルコース濃度は極めて低く保たれたが、メタン生成菌の流出に伴う有機酸等の蓄積により処理水質が悪化した。このことは、グルコース培養系では有機酸からのメタン生成段階が全プロセスの律速段階となるのに対し、セルロース培養系では、有機酸からのメタン生成段階と共に、セルロースの可溶性化反応速度も全体の処理効率に影響を与えることを示している。したがって、セルロースのような固型有機物を含む廃水の処理を効率化するためには、その可溶性化反応を増大させる条件を見出すことが重要である。また、グルコースのような溶解性有機物を含む廃水の処理の場合には、メタン菌の菌体収率および最大比増殖速度が小さいため、流動床システムやリサイクルシステム等を採用して、メタン菌のSolid Retention Timeを増大させ、菌体濃度を高める必要がある。この場合、さらに酸生成段階とメタン生成段階を分離することにより処理効率と安定性の増加が期待できる。また、メタン生成菌が反応槽内に維持される最小滞留時間は、セルロース、グルコース培養系では5日程度であったのに対し、酢酸培養系では10日前後であった。この結果から、前者では生体内酸化還元反応から生成される水素と炭酸ガスを用いてメタン生成が行われ、この反応に基づくメタン菌の増殖速度は、酢酸利用メタン菌のそれよりも大きいことが考察された。

なお、本研究の一部は文部省科学研究費（一般研究C）の補助を受けて行ったものである。

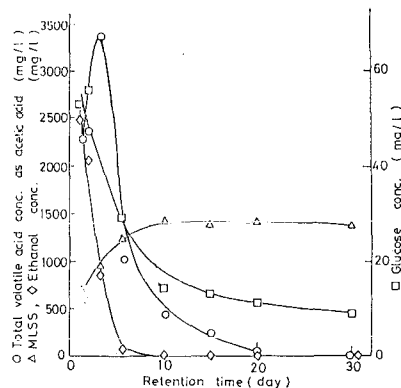


Fig.3 Total volatile acid, MLSS and ethanol concentration vs. retention time for glucose digestion.

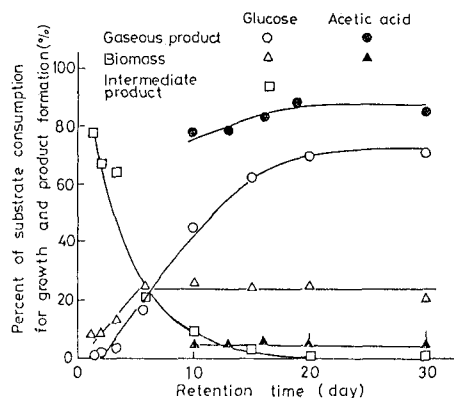


Fig.4 Fractional substrate assimilation for growth and product formation.

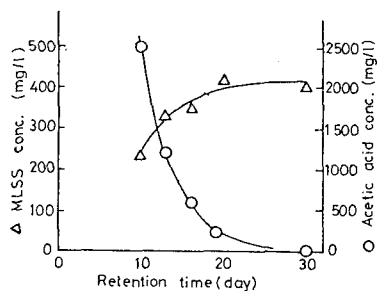


Fig.5 Residual acetic acid and MLSS concentration vs. retention time for acetic acid digestion.