

嫌気性消化における酸生成菌の増殖及び揮発酸発酵に関する研究

東北大学 正員 野池達也

同 学生員 ○遠藤銀明

同 学生員 常山 哲

1. はじめに、嫌気性消化の酸生成相は投入された有機物を加水分解し揮発性有機酸を生成する過程である。この相での最終生産物である揮発性有機酸はひき続くメタン生成相においてメタン発酵される。この二つの相に關する微生物群は代謝活性及び生理的特性等がかなり異なるとされている。従来の嫌気性有機物の研究のほとんどは、これら両相の微生物群の混合培養下になされており、各相に対する最適操作条件に関する知見はあまり報告されていない。本研究は菌体の滞留時間の減少に伴うメタン菌の Wash-out 現象と酸生成菌の増殖動力学的特性及び揮発性有機酸の発酵動力学的特性に関する基礎的知見を得る目的の下になされた。

2 実験材料、装置及び方法。種汚泥：仙台市南浦生下水処理場の嫌気性消化槽より採取した消化汚泥と下記の合成基質に4ヶ月間以上馴致させた。投入基質；グルコースを単一有機炭素源、重炭酸イオンモニウムを単一窒素源とし無機炭素塩類を添加した最小培地組成のもので、この合成基質のCODは約12000mg/L、pHは8.2、C/N比は5.0である。この合成基質の化学的組成を表-1に示した。実験装置；基質の連続的投入と循環による混合液の連続引き抜き可能な嫌気的ケモスタット反応槽を用いた。この装置の概略を図-1に示した。実験方法；菌体の平均滞留時間(SRT)を流入(出)流量と反応容積により0.09日～0.1日の範囲で8段階に変化させ各分析項目の定常状態が得られるより各SRTにおいて2ヶ月～3ヶ月にわたる連続実験を行った。実験装置は25℃に保たれた恒温器中に収納し加温した。

表-1. 合成基質の化学的組成

成 分	濃 度 (mg/L)
グルコース	11700
NH_4HCO_3	5235
K_2HPO_4	125
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	100
$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	15
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	5
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.125
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	25

3. 実験結果及び考察。各滞留時間(SRT)における発生ガス中の CH_4 含有率及びMLVSSの定常状態の平均値を図-2に示した。 CH_4 ガスの発生によって示されるメタン菌の活性はSRTが0.43日より長い場合において見られるが、これより短くSRTではメタン菌は活性を維持できず Wash-out された。したがってこの Wash-out 現象に基づくメタン菌のみかけの最大比増殖速度は2/日～3/日程度であろうと推察される。MLVSS濃度はSRT 0.09日においても高く、このようなSRTにおいても酸生成菌が増殖可能であることから酸生成菌はかなり大きな増殖速度をもつことが知られた。図-3に発酵生産された揮発性有機酸(VFA)の定常状態の平均値を示した。総揮発性有機酸(TVFA)濃度は短いSRTにおいて減少を示したがTVFAの生成速度と比較するとSRT 3.0日では1528mg/L/日、SRT 0.09日では2868mg/L/日であり

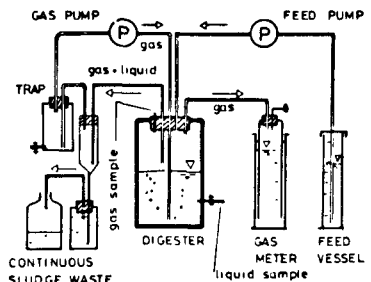


図-1. 実験装置概略図

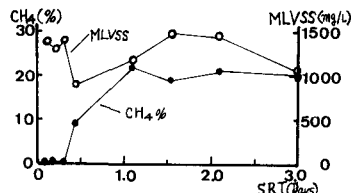


図-2. 各SRTにおける CH_4 含有率とMLVSS.

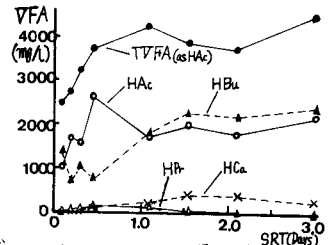


図-3. 各SRTにおける揮発性有機酸

SRTの短いところでのVFAの生成速度がかなり大きいことが知られた。生成されたVFAのほとんどは酢酸炭酸酸であったが、より低級な酢酸とプロピオン酸はSRTの短い場合に高濃度となり、より高級な酪酸とカプロン酸はSRTの長い場合に高濃度となった。

酸生成菌の増殖動力学的方程式及び発酵動力学的方程式は基本的に、 $\mu = k_d + D \dots (1)$ 、基質の物質収支より； $\mu = \frac{S_0 - S}{X} \cdot D \dots (2)$ 、VFAの物質収支より； $\lambda = \frac{A}{X} \cdot D \dots (3)$ [S ；槽内基質濃度， S_0 ；流入基質濃度， X ；菌体濃度， D ；希釈率(=1/SRT)， k_d ；死滅速度定数， μ ；比増殖速度， ν ；基質比消費速度， λ ；VFA比生成速度]。増殖収率の概念を用いることによって菌体と基質についての物質収支と結合して次式を得る； $(S_0 - S)/X = (k_d/Y_g) \cdot 1/D + 1/Y_g \dots (4)$ [Y_g ；真の増殖収率]。得られたデータと(4)式に基づいて図-4にプロットした。ここでは基質濃度としてグルコース濃度を、菌体濃度としてMLVSS濃度を用いた。図-2において発酵がス中のメタン含有率からSRT 0.43日以下ではメタン菌の活性が失われほぼ完全な酸生成菌の単独相であるとみなされたが、図-4からもSRT 0.43日以下における微生物の増殖は特定の動力学的定数をもつことが知られた。SRT 0.43日以下の酸生成菌単独相について求められた定数を表2に示した。

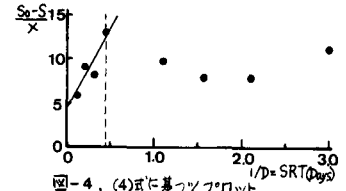


図-4. (4)式に基づくプロット

比増殖速度、基質比利用速度及びVFA比生成速度が μ 、 ν 、 λ と表し、 μ は基質濃度 S に対して Monod の式と同型の関数であるとする； $\mu = \frac{\mu_{max} \cdot S}{K_{\mu} + S}$ 、 $\nu = \frac{\nu_{max} \cdot S^2}{K_{\nu} + S^2}$ 、 $\lambda = \frac{\lambda_{max} \cdot S}{K_{\lambda} + S}$ [μ_{max} 、 ν_{max} 及び λ_{max} ；各々増殖、基質利用及びVFA生成の最大比速度， K_{μ} 、 K_{ν} 及び K_{λ} ；各々増殖、基質利用及びVFA生成に関する基質飽和定数]。これを動力学的解析に供するため Eadie-Plot を用いると； $S/\mu = (1/\mu_{max}) \cdot S + K_{\mu}/\mu_{max} \dots (5)$ ， $S/\nu = (1/\nu_{max}) \cdot S + K_{\nu}/\nu_{max} \dots (6)$ ， $S/\lambda = (1/\lambda_{max}) \cdot S + K_{\lambda}/\lambda_{max} \dots (7)$ 。酸生成菌の単独相における(5)，(6)，(7)式に基づくプロットを図-5，6，7に示した。図-7中に実線で示したものは純酢酸性有機酸(TVFA)；添字Tに対するもので、点線で示したものは酢酸；添字Aに対するものである。これらより得られた動力学的定数を表2に示した。図-8に増殖活性とVFA発酵の関連性を示した。 μ 対 λ の相関係数は0.946であり、TVFAの発酵は増殖連動型であることが知られた。酢酸については μ 対 λ の相関性が小さく($r=0.462$)増殖活性との連動性はみられなかった。

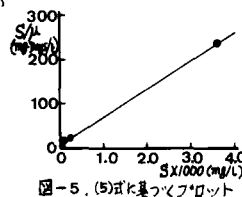


図-5. (5)式に基づくプロット

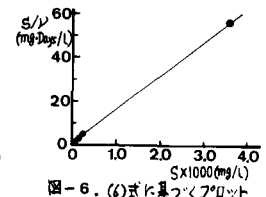


図-6. (6)式に基づくプロット

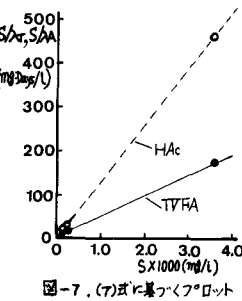


図-7. (7)式に基づくプロット

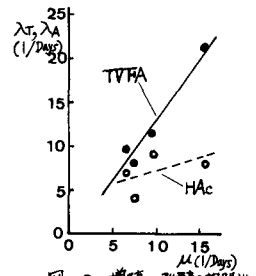


図-8. 増殖と発酵の相関性

基質利用の目的別分布とVFAの生成収率を知るためには、Ghosh³⁾によって提案された式を用いることができる； $X(U_g + U_e + m\theta) = S_0 - S \dots (8)$ [U_g 、 U_e ；各々菌体形成及びそのエネルギーのための基質の利用率， m ；維持係数， θ ；SRT]。VFAは菌体形成以外のために利用された基質部分より生成されるので； $A \cdot A_0 + C \cdot X \cdot (U_e + m\theta) \dots (9)$ [A 、 A_0 ；各々槽内及び流入VFA濃度， C ；VFAの生成収率]。(8)式と(9)式を組み合わせると； $(S_0 - S)/X = U_g + \frac{1}{C} \cdot \frac{A}{X} \dots (10)$ 。 U_g 及び U_e と真の増殖収率とは $Y_g = 1/(U_g + U_e) \dots (11)$ によって関係づけられる。(10)式に基づくプロットを図-9に示した。この回帰直線と(11)式から得られた各定数を表2に示した。

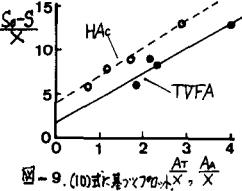


図-9. (10)式に基づくプロット

表-2. 得られた各動力学的定数

k_d	4.13/Day
Y_g	0.227
μ_{max}	15.6/Day
世代時間	1.07 hr
λ_{max}	66.2/Day
ν_{max}	21.4/Day
λ_{max}	8.0/Day
K_{μ}	81.6 mg/L
K_{ν}	70.5 mg/L
K_{λ}	111 mg/L
K_{λ}	18.7 mg/L
C	0.358
C_A	0.336
U_{AT}	1.67
U_{AT}	4.11
U_{AT}	2.74
U_{AT}	0.30

以上に示したような動力学的特性を酸生成菌が有していることが知られたが、これらの特性値は従来の嫌気性消化の操作条件によって与えられる特性値をはるかに含むものである。《参考文献》1) Monod, J.; A. Rev. Microbiol., 3, pp 371 (1949), 2) Lawrence, A. W., et al.; J. WPCF, 41, pp R1 (1969), 3) Ghosh, S., et al.; J. WPCF, 46, pp 718 (1974).