

嫌気性消化における揮発性脂肪酸分解に及ぼす水素の影響

九州大学 工学部 学 佐藤和大○正 古米弘明
同上 正 楠田哲也 学 久場隆広

1. はじめに

従来、嫌気性消化過程における水素の役割は、極めて重要であることが指摘されてきたが、水素に関する微生物群の相互の役割について実際には研究は少なく未だ不明な点が多い。従って本研究は、水素の基本的な挙動を把握するために、嫌気性消化における揮発性脂肪酸分解に及ぼす水素の影響と水素消費速度に関する、回分実験を行い、若干の考察を加えたものである。

2. 実験装置及び方法

使用した汚泥は、福岡市下水処理場の嫌気性消化槽汚泥を約1年間、完全混合槽で馴養したものである。汚泥の種類は、酢酸(HAc)、プロピオン酸(HPr)、酪酸(n-HBu)をそれぞれ単一有機源とする基質で馴養された汚泥と、HAc, HPr, n-HBuを2:1:1で混合した混合有機源基質(以下 Mix)で馴養した汚泥の4種である。完全混合槽の装置と投入基質組成は、図-1及び表-1に示す。培養条件は毎日一回のFill & Draw方式で水理学的滞留時間は13日~15日である。系内のガス発生量及びpHは一定であり、汚泥状態は安定している。また、基質を投入し1日後には汚泥内に揮発性脂肪酸は残っておらず、投入基質はほぼメタンガスに転換され、水素ガスは検出されない状態にあることが確認されている。

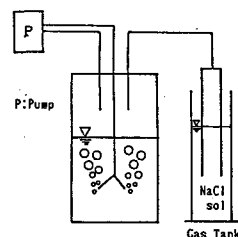


図-1 完全混合槽

表-1 投入基質組成 (mg/l)

有機源 (COD)	HAc, HPr, n-HBu	10000
	Mix (HAc:HPr:n-HBu=2:1:1)	10000
無機塩類	以下 各有機源共通	
	(NH ₄) ₂ HPO ₄	700
	KCl	750
	NH ₄ Cl	830
	MgCl ₂ ・6H ₂ O	815
	MgSO ₄ ・7H ₂ O	246
	CoCl ₃ ・6H ₂ O	18
	CaCl ₂ ・6H ₂ O	147
緩衝剤	NaHCO ₃	4000
	K ₂ HPO ₄	4000
酵母エキス		100

揮発性脂肪酸分解に及ぼす水素の影響を検討する実験では、基質投入後、水素を添加する回分実験(実験A)を行なった。水素消費には硫酸還元菌が大きく関与していると思われるので、硫酸塩の有無による各汚泥の比較回分実験(実験B)を行なった。実験の条件は表-2に示す。

回分装置としてはガラスバイアルを用いた。汚泥を適量分取したガラスバイアルを恒温振とう槽を用いて攪拌振とうさせた。振とう槽内は35℃に保ち、振とう数は120回/minとした。ガラスバイアル内は、事前に窒素で置換し、ブチルゴム栓とアルミキャップで密閉した。汚泥、基質水素、その他の添加物はガラスシリンジを用いて注入した。測定項目は揮発性脂肪酸(VFA)濃度、ガス組成、ガス体積である。ガス体積は、バイアル内を常に陽圧になるように初期設定を行ないガラスシリンジを用いて測定した。また嫌気状態を検知するための指示薬としてレサズリンを用い、還元剤としてシステイン、Na₂S・9H₂Oを添加した。

表-2 実験条件

	実験 A	実験 B
バイアル容積	120 ml	60 ml
汚泥濃度	80 ml	30 ml
汚泥の馴養基質	Mix	HAc, HPr, n-HBu, Mix
添加 VFA	—	Mix
基質 水素	1atm 12 ml	1atm 10 ml
無機塩 (H ₂ SO ₄ ・7H ₂ O)	—	(1) 2g/l (2) —
その他の添加物	—	NaHCO ₃ 500mg/l 147% 10 1mg/l 325% 250mg/l Na ₂ S・9H ₂ O 250mg/l

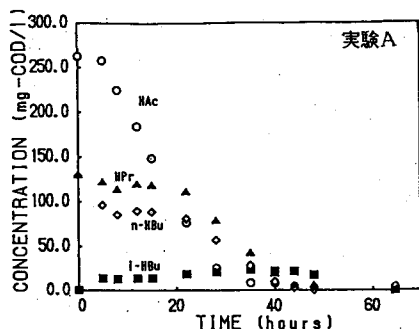


図-2 (a) 揮発性脂肪酸濃度の経時変化

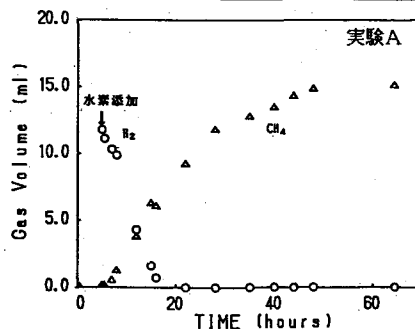


図-2 (b) 水素及びメタンの体積変化

3. 実験結果及び考察

3-1 水素の影響（実験A） 各揮発性脂肪酸分解、水素消費及びメタン生成の経時変化を図-2 (a,b)に示す。プロピオン酸と酪酸の分解は水素添加後、水素が消費されるまで停滞しており、酢酸以外の揮発性脂肪酸の分解は水素の影響を受けるというMcCartyらの動力学的検討結果を裏付けていると考えられる。しかしながら、本実験では分解が再開する水素濃度については細かな分析が出来ておらず、今後の検討の余地を残している。一方、酢酸分解は水素の影響を受けていない。このことは、熱力学的な面からも妥当である。水素を添加後、それが消費される間(5時間～16時間)のメタン発生量が急激な立ち上がりが見られる。この期間のメタン増加量は、酢酸分解由来にくわえて水素からのメタン発生量に起因すると推測される。

本実験よりHPrとHBuの分解には水素濃度が深くかかわっていることが、確認されたので、これらの分解菌とsyntrophicな関係にある水素を消費する菌群（水素利用メタン菌、硫酸還元菌）について、その水素消費速度を求める実験Bを行なった。

3-2 水素消費速度（実験B） 各汚泥の水素消費、メタン生成の経時変化を図-3、図-4、図-5に示す。グラフより初期の傾きを求め、水素消費速度、メタン生成速度を算定した。結果は、表-3に示す。このとき硫酸塩を添加した場合と、そうでない場合では水素消費速度に明確な差が生じた。一方、両者のメタン生成速度には差がないことより、両実験ともメタン生成菌による水素消費は同様に起こっていたと言える。また、硫酸塩無添加の場合、水素消費速度とメタン生成速度の比は化学量論式より得られる値(4:1)を満足している。以上のことより、硫酸塩添加の有無による速度差は、硫酸還元菌による水素消費速度を意味することが推察できる。

汚泥別に水素消費速度を比較すると、メタン生成菌による水素消費速度と硫酸還元菌による水素消費速度はともに酪酸培養汚泥の場合が最も大きい。また、すべての汚泥について硫酸還元菌による水素消費速度はメタン生成菌によるものより大きい。一方、化学量論的に考察すると、同じCOD基質濃度条件ではプロピオン酸の分解で発生する水素量は、酪酸、Mixの約3倍であることより、プロピオン酸培養汚泥中の水素利用菌量及び消費速度は他の培養汚泥より大きくなると推測できる。この推測は上記の実験結果で得られた傾向と相反する。今後、酪酸培養汚泥で最も水素消費速度が大きい理由等を各培養汚泥中の水素利用菌量を推定することにより検討する必要がある。

4. おわりに

今後は、個々の揮発性脂肪酸への水素の影響についても定量的に検討を加えるほか、動力学的手法を用いて水素利用菌の菌体量推定を行なう予定である。

<参考文献>

- 1) McCarty: Proc. Second Symp. on Anaerobic Digestion pp3~22 1981

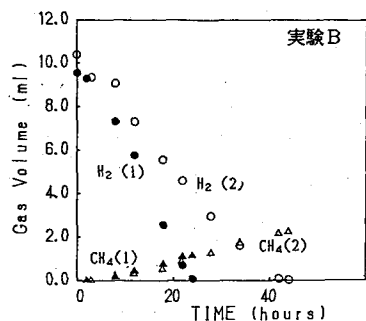


図-3 水素及びメタンの体積変化 (HPr)

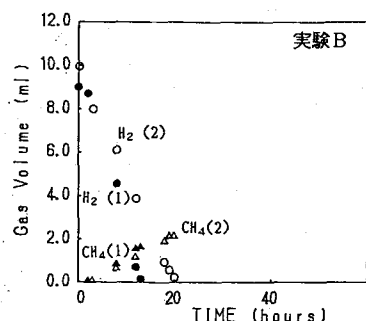


図-4 水素及びメタンの体積変化 (n-HBu)

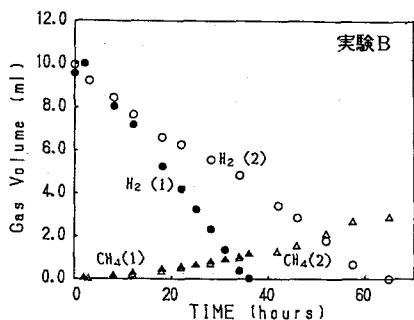


図-5 水素及びメタンの体積変化 (Mix)

表-3 水素消費速度及びメタン生成速度 (ml/l・h)

汚泥	実験 B-(1)		実験 B-(2)		水素消費速度差 H ₂ (1)-H ₂ (2)
	H ₂ (1)	CH ₄ (1)	H ₂ (2)	CH ₄ (2)	
HAc培養	0.90	0.02	0.81	0.04	0.09
HPr培養	15.76	2.21	8.26	2.26	7.50
HBu培養	26.67	4.82	16.79	4.08	9.88
Mix培養	9.93	1.11	5.25	1.30	5.25