

セルロースの嫌氣的分解に及ぼす可溶性デンプン混合の影響

東北大学 学生員 矢口淳一
同 学生員 福田 実
同 正会員 野池達也

1. はじめに

多くの廃水中有機成分の半分以上を占めるセルロースの分解が、嫌気性消化プロセスの機能向上の鍵であることはよく知られている。また最近の代替エネルギー開発の流れの中で、バイオマスとしてのセルロースは重要なエネルギー源として注目されている。しかしセルロースの分解速度は遅く、嫌気性消化槽中のSSの増加とメタン生成の減退をもたらす。

ところで反すう動物の第一胃、ルーメンに関する研究では少量のデンプンの添加がルーメン中でのセルロース消化を促進させることが報告されている¹⁾。これは、デンプンのような利用し易い炭水化物の添加が、ルーメン細菌叢の生態と代謝とセルロース分解菌の栄養要求を満足させるように変容させるからだ^{2) 3)}と推定されており、このようなセルロース分解菌と非セルロース分解菌との間の相互作用はある種のVFA (Volatile Fatty Acids) を媒介としたものであることが最近明らかにされた。嫌気性消化槽とルーメンの細菌叢を構成している細菌群は類似しており、デンプンを少量添加すれば、嫌気性消化プロセスでもセルロースの分解が促進されると考えられる。そこで本研究では、嫌気性消化プロセスにおけるセルロースの分解に及ぼす可溶性デンプン添加の影響について、連続実験で検討する。

2. 実験装置、材料 および方法

実験装置は、基質の連続的投入とガス循環による混合液の連続的な引き抜き可能な嫌氣的ケモスタート型反応槽で、その概略を図-1に示す。種汚泥は、福島市下水道浄化センターの嫌気性消化槽より採取された消化汚泥を表-1に示すセルロースを単一炭素源とする基礎的合成基質に約2ヶ月間馴致させたものを用いた。実験方法としては、基礎的合成基質に各系毎にそれぞれ可溶性デンプンと重炭酸アンモニウムを添加し、各系の可溶性デンプン濃度を0, 3000, 5000, 7500, 10000 mg/lに設定し、またC/N比が5.0となるように添加する重炭酸アンモニウム量を調整した。各系の可溶性デンプン補充基質の炭素源、窒素源の濃度およびpHを表-2に示す。菌体滞留時間(SRT)は、

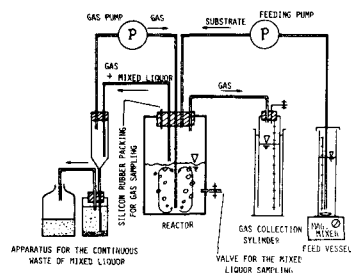


図-1 実験装置概略図

表-1 基礎的合成基質の化学的組成

成 分	濃 度 (mg/l)
Cellulose	5000
NH ₄ HCO ₃	2510
K ₂ HPO ₄	125
Na ₂ HPO ₄ · 12H ₂ O	100
MgCl ₂ · 6H ₂ O	100
FeSO ₄ · 7H ₂ O	25
MnSO ₄ · 4H ₂ O	15
CuSO ₄ · 5H ₂ O	5
CoCl ₂ · 6H ₂ O	0.125

表-2 各系の基質の性状とSRT

消化槽番号	セルロース(mg/l)	可溶性デンプン(mg/l)	重炭酸アンモニウム(mg/l)	pH	SRT (日)
No. 1	5000	0	2510	8.86	5.02
No. 2	5000	3000	4010	8.50	5.30
No. 3	5000	5000	5020	8.80	4.93
No. 4	5000	7500	6270	8.85	5.18
No. 5	5000	10000	7520	8.39	5.26

5日前後に設定し、各系の実際のSRTを表-2に示す。基質の投入はマイクロチューブポンプにより、行なうたが、チューブの詰まりを防ぐためにタイマーを併用して1回約30分ずつ12回/dayに分けて投入した。定常状態が確立されるのを保証するため、各反応槽は約1~2ヶ月間運転され、また各反応槽は35℃に保たれた恒温槽中で加温した。

3. 実験結果および考察

図-2に定常状態におけるセルロース分解量、セルロース分解活性、および溶解性糖濃度の平均値を示す。セルロース分解量は可溶性デンプンを3,000 mg/l投入したNO.2の系で、対照(可溶性デンプン無添加; NO.1の系)より増加し、セルロース除去率は約14%向上した。しかし投入可溶性デンプン濃度がさらに増加した系では、セルロース分解量は対照より減少した。またCM-Cellulose (Carboxyl-Methyl-Cellulose) 分解活性として求められたセルロース分解活性もセルロース分解量に対応して変化し、NO.2の系で最大となり、投入可溶性デンプン濃度が7,500 mg/lを超えるNO.4およびNO.5の系ではセルロース分解活性は非常に低下した。これらの結果は、嫌気性消化プロセスでもルーメンと同様に、セルロース分解菌と非セルロース分解菌との間の相互作用が少量の可溶性デンプンの添加によって刺激されることを示唆する。両細菌群間の相互作用は、セルロース分解菌の増殖必須因子であるiso-HVa, n-HVa, iso-HBuなどのある種のVFAを媒介として成り立つので、表-3に本研究で得られたこれらのVFAの濃度を示す。セルロース分解率が最大となったNO.2の系でこれらのVFAの濃度が低かった。

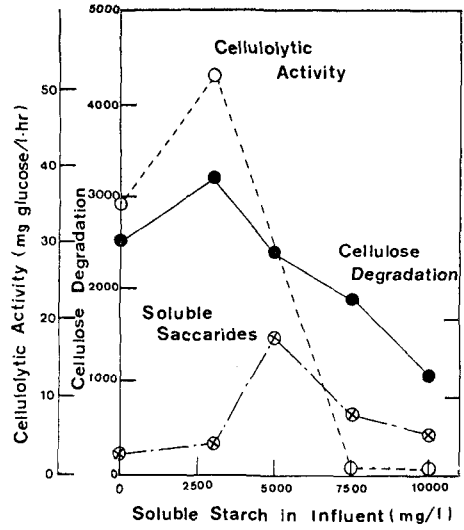


図-2 各系におけるセルロース分解量、セルロース分解活性および溶解性糖濃度

表-3 各系におけるある種のVFA生成量は、セルロース分解菌の増殖によるVFA消費の結果だと考えられる。ところでNO.4とNO.5の系で生じた大量のデ

消化槽番号	VFA生成量 (mM/l)		
	iso-HBu	n-HVa	iso-HVa
No. 1	0.23	0.10	0.21
No. 2	0.15	0.05	0.07
No. 3	0.32	0.29	0.14
No. 4	-	0.24	0.13
No. 5	-	0.05	0.21

ンプン添加によるセルロースの分解の抑制は、おそらくセルロース分解菌と非セルロース分解菌との間のエネルギー源以外の必須栄養の摂取に関する競合現象に帰因するものと思われる。

図-3に定常状態における各系の有機性窒素濃度および見掛けの増殖収率を示す。有機性窒素濃度は細菌の増殖量に相当し、全細菌量は投入可溶性デンプン濃度とほぼ比例して増加している。また見掛けの増殖収率はほぼ一定であるが、NO.4とNO.5の系ではわずかに高く、デンプン中心の基質の方が、いく分増殖収率が高いことが知られる。

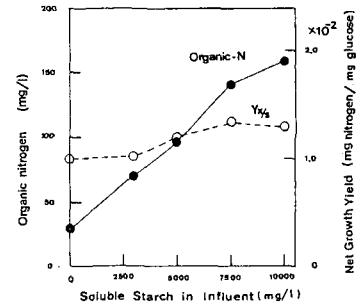


図-3 各系における有機性窒素濃度と見掛けの増殖収率

図-4には定常状態における揮発性脂肪酸濃度とpHの平均値を示す。生成された揮発性脂肪酸の大部分は酢酸とプロピオン酸であり、プロピオン酸は基質負荷に連動して急激に増大した。またn-酪酸は少量しか検出されなかった。Acetogenic菌によるプロピオン酸の酢酸への分解には非常に低い水素分圧が必要とされ、反応槽内の水素分圧はプロピオン酸の分解に必要な値以上だと推定される。

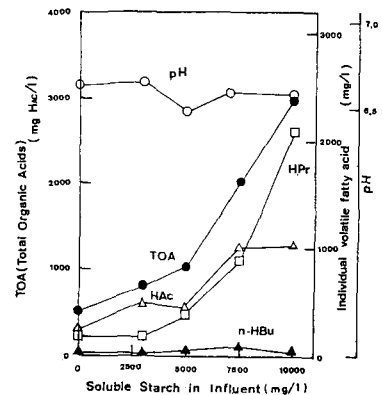


図-4 各系における揮発性脂肪酸濃度とpH

4. 結び

少量の可溶性デンプンの添加は、嫌気性消化プロセスにおけるセルロースの分解を促進させる効果があることが知られた。《参考文献》 1) Belasco, I. J. (1956) J. Anim. Sci. 2) Bryant, M. P. (1973) Fed. Proc. 3) Miura, H. et al. (1980) Appl. Environ. Microbiol.