

低撹拌条件下でのセルロースのメタン発酵に及ぼす pH の影響

信州大学大学院 学生会員 ○渡邊 颯太
 信州大学工学部 正会員 松本 明人

1. はじめに

近年、地球温暖化や化石燃料の枯渇の対策として、バイオマスからのエネルギー回収が注目されている。その中で、食糧生産と競合がなく収集が容易で、かつエネルギー資源としての未利用量が多いものに、農作物の非食用部や刈草といった草本系バイオマスがある。この草本系バイオマスは、含水率が高く、生物分解が早いという特徴を有しており、メタン発酵によるエネルギー生産への活用が期待される。ゆえに、草本系バイオマスのメタン発酵における効率的な運用方法は重要となる。

そこで本研究では、草本系バイオマスの主要成分であるセルロース（ろ紙粉末）を基質に用い、低撹拌条件下の反応槽で、pH を 7.0 から 6.0 まで低下させ pH がセルロースの分解やメタン生成に及ぼす影響について検討した。

2. 実験装置および方法

反応槽には市販のスピナー・フラスコ 1 L（セルスター WHEATON 社製）を用いた。撹拌はマグネチック・スターラー（バイオスター WHEATON 社製）で行った。基質は注射器を用いて一日一回投入し、同時に反応槽内容液の引き抜きを行った。本実験に用いた基質の組成を表 1 に示す。炭素源には、ろ紙粉末（セルロース、100~200 メッシュ、ADVANTEC 製）を用い、その濃度は 10,000 mg/L とした。また、槽内の pH を低下させるために塩酸を添加した。さらに、pH を中性付近に上昇させるときに NaOH 1,500 mg/L を基質に添加させた。種汚泥には、長野県千曲川流域下水道上流処理区終末処理場（アクアパル千曲）における中温嫌気性消化槽から採取した消化汚泥を用いた。

実験は運転温度を 35 °C、HRT を 8 日とし、撹拌子回転数を 10 rpm とした。反応槽内の pH を 7.0 から 6.5、6.0、7.0 と変化させた。測定項目は、ガス生成量、ガス組成、pH、残存糖濃度、COD 濃度、VSS 濃度、揮発性脂肪酸濃度（酢酸、プロピオン酸、酪酸）濃度である。

3. 実験結果および考察

pH7.0 と 6.5 の系では運転期間 30 日以上で各分析項目の値がほぼ一定となり、定常状態とした。それぞれのグラフに示した点は定常状態に達してからの 5 点を抜き出したものである。また、pH6.0 の系はバラつきが大きくなってしまったため、条件変更直前の 5 点を抜き出した。図 1 に各 pH でのメタン生成量を示す。メタン生成量は 1 日当たりのガス生成量とガス組成から算出した。メタン生成量において pH7.0 の系と pH6.5 の系で大きな変化は見られなかったが pH6.0 ではその他の系に比べて約 40 %低下した。

表 1 基質組成

炭素源	(mg/L)	無機塩	(mg/L)
粉末ろ紙	10000	KCl	750
無機塩	(mg/L)	NH ₄ Cl	830
(NH ₃) ₂ HPO ₄	700	MgCl ₂ · 6H ₂ O	815
pH調整剤	(mg/L)	MgSO ₄ · 7H ₂ O	246
NaHCO ₃	3500	FeCl ₂ · 6H ₂ O	416
NaOH	1500	CoCl ₂ · 6H ₂ O	18
HCl	1.2mL~5.0mL	NiCl ₂ · 6H ₂ O	18

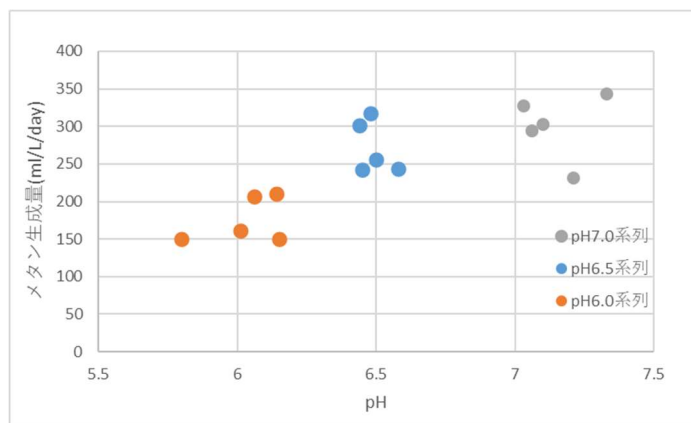


図 1 各系列のメタン生成

図2では各pHにおけるVSS濃度を示す。VSSとは浮遊性有機物を示しており、菌体及びろ紙粉末と考えられる。図中の上層、中層、下層とは反応層の高さ方向におけるサンプリング位置を表している。どの系列でも上層、中層ではきわめて低濃度であった。これは攪拌速度が緩やかであり、菌体及びろ紙粉末が反応層底部に堆積しているためである。一方下層のVSSはpH7.0の系では約8200 mg/LでありpH6.5の系では3200 mg/Lと約60%低下している。pH6.0の系ではVSSの増大が止まらず、他の系と比べても高い値を示している。このようにpH6.5で最もろ紙粉末、菌体の濃度が低く、pH6.0では時間経過とともにろ紙粉末堆積しているためと考えられる。

図3では各系列の下層におけるセルロース除去率を示している。上層、中層ではセルロースが検出されていないため下層のみを示した。pH7.0の系では約55%であり、pH6.5の系では約80%であった。一方pH6.0の系で分解率は10%を下回った。各系列で比較するとpH6.5の系で分解率が最大となり、pH6.0の系ではほとんど分解が起こらず残存していることが分かる。pH6.0では分解菌の活性が低下している。

図4に各系列の上澄みCOD濃度を示した。混合液のCODは残存糖濃度と同様の挙動を示した。揮発性脂肪酸濃度はどの系列においても50~200 mg/L程度であり、阻害が起こるほどの濃度の蓄積は検出されなかった。pH6.0の系列で最低となり、pH7.0の系で最大となった。揮発性脂肪酸が蓄積していないことから、揮発性脂肪酸以外の中間生成物がpH7.0の系では他の系列に比べ多いと考えられる。一方pH6.0の系では分解率が最低であるため中間生成物も少なく、溶解性COD濃度が低い。さらに、pH7.0の系とpH6.5の系でセルロース除去率に25%の差があるのに対しメタン生成量に大きな変化が見られなかったことからCOD収支をとったところ、pH7.0の系のCOD収支がトータルで130%となった。その原因としてpH6.0の運転期間中に蓄積したセルロースがpH7.0では分解され、メタンに変換されたためと考えられる。また、pH7.0の系でのセルロース除去率等についても暫定値の可能性があるので結果を継続的に確かめる必要がある。

4. まとめ

セルロースを基質とし、実験を行った結果、以下の知見が得られた。

- 1) メタン生成量はpH6.0の系で低下し、pH7.0とpH6.5それぞれの系では大きな変化は見られなかった。
- 2) セルロース除去率はpH6.5の系で最大となり、pH6.0の系で最少となりほとんどが分解されず残存した。
- 3) VSS濃度はpH6.5の系では最少となりpH6.0の系では濃度の増大が止まらず、安定した値を示さなかった。これは未分解のろ紙粉末が蓄積したためと考えられる。
- 4) 各系列を比較し、メタン発酵を良好に運転するためにはpH6.5付近が望ましい。

謝辞：本研究は科学研究補助金(19K04664)の支援によって行われた。

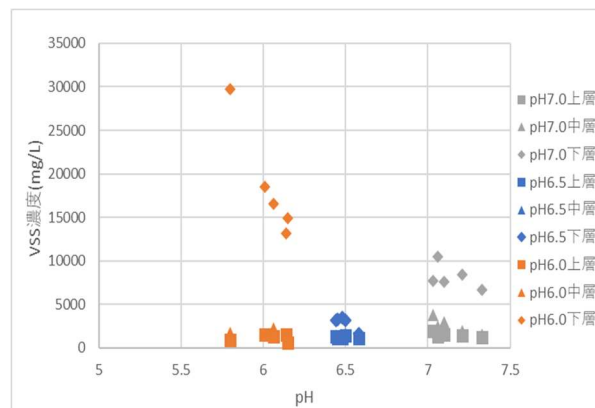


図2 各系列のVSS濃度

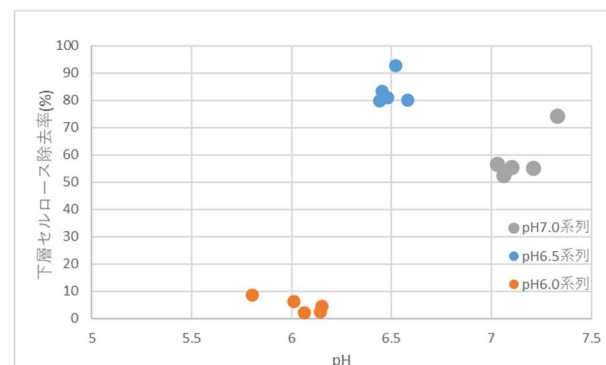


図3 各系列の下層セルロース除去率

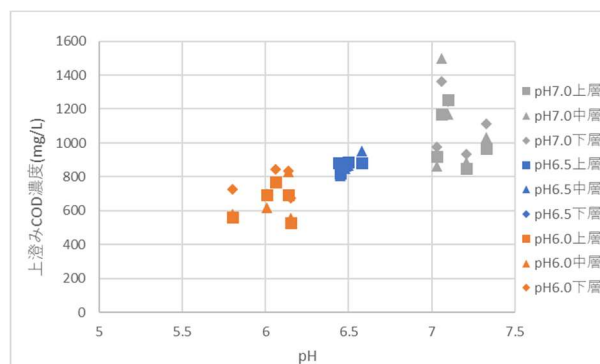


図4 各系列の上澄みCOD濃度