

紙からエタノールを作ろう！

岩手県立一関第一高等学校 3年
明石亜子 及川友菜 小野寺南美 後藤晴花 佐藤きり

要約

私たちは、セルロースをグルコースに分解し生物発酵させるとバイオエタノールができるということを知り、セルロースを主成分とする紙からバイオエタノールを作りたいと考えた。そこで予備的研究として、まず脱脂綿を用いて実験を行った結果、エタノールの生成に成功した。

<キーワード> バイオエタノール 生物発酵 セルロース

ABSTRACT

We learned that we can produce bioethanol by hydrolyzing cellulose and fermenting glucose. We constructed a hypothesis about whether we can make bioethanol from paper which contains cellulose. For the first step we used cotton instead of paper. So that the hydrolysis process was easy. As a result we succeeded in producing bioethanol.

1 はじめに

紙の主成分はセルロースである。私たちは、セルロースをグルコースに分解し生物発酵させるとバイオエタノールができるということを知り、紙をグルコースに分解することができれば、紙からエタノールを作れるのではないかと考えた。

また近年、大気中の二酸化炭素の濃度が増加し、地球温暖化が深刻な問題となっている。最近では、環境にやさしいバイオエタノールの製造が盛んに行われているが、バイオエタノールはとうもろこしなどの食料を原料としているため、新たに食料問題を引き起こしている。

私たちは、学校にあふれている紙資源を利用してバイオエタノールを作ることができたら、食料問題も地球温暖化も解決できるのではないかと考え、これを課題研究のテーマとした。

研究の流れは図1の通りである。私たちはまず、紙と同様にセルロースでできている上に分解しやすい脱脂綿を用いて、より効率良くエタノールを製造する方法を見つけた後、紙からのエタノールの製造を試みた。

2 実験

(1) 予備実験

① 実験説明

純粋な 0.5 mol/L グルコース溶液 30 mL とイースト菌 1.5 g を用いてキューネ管で発酵させ、エタノールを生成する実験を行った。



(i)式より、発生した二酸化炭素の物質質量から生成したエタノールの物質質量が分かるため、キューネ管内に発生した二酸化炭素の量を調べ、イースト菌が最も良く働く温度を見つけた。10℃、20℃、30℃、40℃、

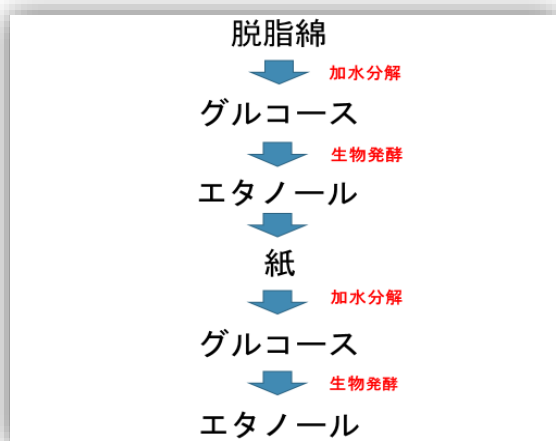


図1 本研究のロードマップ

50℃の温度でそれぞれ実験を行った。

②結果

図2から分かるように、温度を上げる程、二酸化炭素の発生量は増加した。しかし、50℃になると発生量に40℃以前のような大きな変化が見られなくなった。また、50℃は高温であるため温度を維持するのが難しく、火傷の危険もあるためこれからは40℃で実験を行うことにした。

③考察

生物発酵に用いるイースト菌は生物であるため、人間の体温に近い40℃付近で活発に活動したと考えられる。

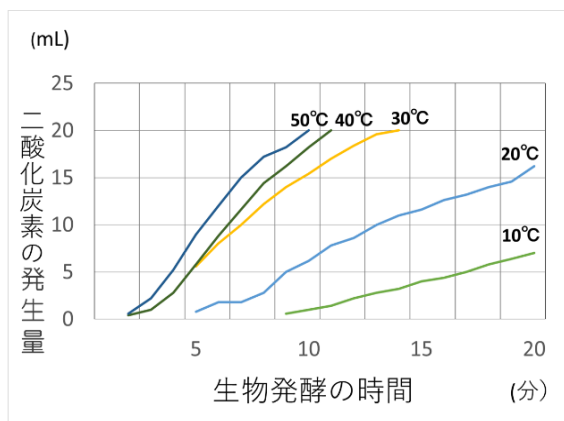
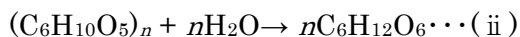


図2 温度別二酸化炭素の発生量

(2) 脱脂綿の加水分解

①実験操作

脱脂綿を強酸である塩酸と硫酸を用いて加水分解をし、セルロースをグルコースに分解した。セルロースの加水分解は以下の(ii)式で表される。



1.0mol/L、6.0mol/Lの塩酸、硫酸をそれぞれ40mLずつビーカーに入れ、0.96gの脱脂綿を浸して湯煎で15分間加熱した。その後、溶液を濾過し、ベネジクト液の反応からグルコースの有無を確認した。

②結果

表1から分かるように、1.0mol/Lでは塩酸、硫酸両方とも反応しなかったが、

6.0mol/Lでは両方とも反応した。

特に、硫酸6.0mol/Lを用いた時にベネジクト液が最も良く反応した。このことから、硫酸6.0mol/Lで加水分解を行ったときに最も多くのグルコースが生成したと言える。

表1 加水分解とベネジクト液の反応結果

	溶けたか	ベネジクト液
硫酸 1.0 mol/L	×	×
硫酸 6.0 mol/L	○	◎
塩酸 1.0 mol/L	×	×
塩酸 6.0 mol/L	○	○

◎：反応が特に良い ○：反応が良い ×：反応がない

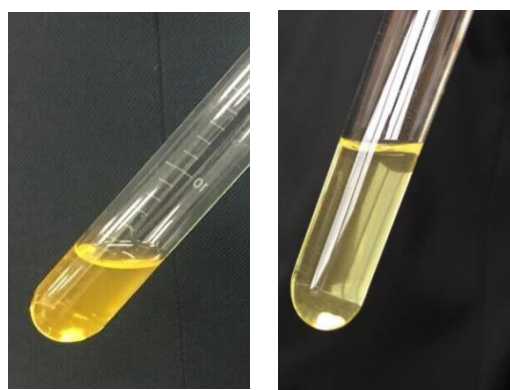


図3 ベネジクト液の反応の様子
(左が硫酸6.0mol/L、右が塩酸6.0mol/L)

③考察

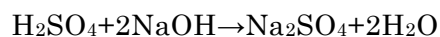
同じ6.0mol/Lの塩酸、硫酸を用いた時に塩酸よりも硫酸のほうがベネジクト液との反応が良かったのは、硫酸が二価の酸であるため同じ濃度の塩酸よりも溶液内の水素イオン濃度が2倍高いからであると考えられる。

(3) 分解したグルコースを用いた生物発酵

①実験操作

実験(2)で得たグルコースを用いて生物発酵を行った。

まず、強い酸性の条件下ではイースト菌が活動できないと考え、水酸化ナトリウム水溶液を用いて中和を行った。



加水分解した溶液40mLの一部(15mL)に6.0mol/L水酸化ナトリウム溶液を滴下

したところ、滴下量は 35.5mL になった。

次に、中和してできた溶液 50.5mL の一部 (30mL) とイースト菌を用いて温度を 40°C に保って 20 分間生物発酵を行った。

②結果

二酸化炭素は発生せず、エタノールを生成することはできなかった。

③考察

生物発酵がうまくいかなかった原因として、脱脂綿の量が少なかったため、生成されたグルコースの量も少なかったことが考えられる。

また、確かに実験 (2) でベネジクト液は良く反応したが、ベネジクト液はグルコース以外の糖にも反応するため、グルコースだけではなく、グルコースが 2 つ繋がった状態である二糖類のセルビオースにも反応していたのではないかと考えられる。このことから、加水分解の時間が不十分なため、セルロースがグルコースに完全に分解されていないということが予想できる。

そこで、脱脂綿の量と加水分解の時間を増やして実験を行うことにした。

(4) 加水分解の時間と脱脂綿の量を増やし最適条件を見つける part 1

①実験操作

1.0g、2.0g の脱脂綿を硫酸 6.0mol/L を用いて 20 分~60 分加水分解を行い、中和した後、20 分間生物発酵を行って二酸化炭素の発生量を比較した。

②結果

表 2 加水分解時間と脱脂綿の量

	1.0g	2.0g
20 分	×	0.4 mL
30 分	0.8 mL	1.4 mL
40 分	1.2 mL	2.2 mL
50 分	1.2 mL	3.6 mL
60 分	1.2 mL	2.6 mL

表 2 より、脱脂綿の量を増やすほど二酸化炭素の発生量が増えることが分かる。また、40 分までは加水分解の時間を長くするほど二酸化炭素の発生量が増えることが分かる。

③考察

表 2 から分かるように、脱脂綿 1.0g では加水分解時間 50 分と 60 分で二酸化炭素の発生量に変化はなかったのに対し、脱脂綿 2.0g では加水分解時間 50 分の方が 60 分よりも二酸化炭素の発生量は多かった。

加水分解 50 分、60 分の時の二酸化炭素の発生量に大きなばらつきが出たため、生物発酵の時間を 60 分、加水分解の時間を 50 分、60 分とし脱脂綿の量をさらに増やして二酸化炭素が最も多く発生する条件を見つける実験を行うことにした。

(5) 加水分解の時間と脱脂綿の量を増やし最適条件を見つける part 2

①実験操作

脱脂綿の量を 3.0g~6.0g に増やし、50 分~60 分加水分解を行い、中和した後、60 分間生物発酵を行って二酸化炭素の発生量を比較した。

②結果

図 4 から加水分解の時間は 50 分よりも 60 分の方が二酸化炭素の発生量が多いと分かる。私たちが行うことができる実験の範囲での最適条件は加水分解 60 分、脱脂綿 6.0g である。

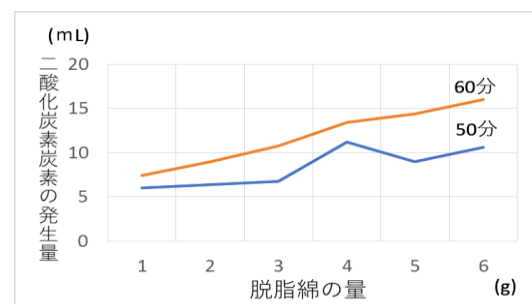


図 4 脱脂綿の量別二酸化炭素の発生量

③考察

脱脂綿の量を増やせば増やすほど、また加水分解の時間を長くすればするほど二酸化炭素の発生量は多くなる。

最適条件の下で生成した二酸化炭素の物質量は気体の状態方程式 $PV=nRT$ より

$$1.0 \times 10^5 \times 1.6 \times 10^{-2} = n \times 8.3 \times 10^3 \times (273 + 40)$$

$$n = 6.2 \times 10^{-4} \text{ [mol]}$$

(i)式より、二酸化炭素とエタノールは反応の係数比で 1 : 1 の関係であるから、脱脂綿 6.0 g から生成されたエタノールの総量は、

$$6.2 \times 10^{-4} \times (50.5 / 30) \times (40 / 15)$$

$$= 2.8 \times 10^{-2} \text{ [mol]}$$

なお、50.5 / 30 の 50.5 は中和によってできた溶液の量 50.5mL、30 は生物発酵に用いた溶液の量 30mL、40/15 の 40 は加水分解に用いた溶液の量 40mL、15 は中和に用いた溶液の量 15mL のことである。

また(i)式のアルコール発酵において、全てのグルコースがエタノールに変化したと仮定すると、グルコースとエタノールの反応の係数比が 1 : 2 の関係であるから、グルコースの質量は、

$$2.8 \times 10^{-2} \times 180 \div 2 = 0.25 \text{ [g]}$$

一方、(ii)式の加水分解において、全てのセルロースがグルコースに分解されたと仮定すると、グルコースの物質量は、

$$6.0 / 162 n \times n = 3.7 \times 10^{-2} \text{ [g]}$$

よって、セルロースの加水分解からアルコール発酵までの一連の操作におけるエタノールの収率は、以下のように求められる。

$$0.25 / 3.7 \times 10^{-2} \times 100 = 0.925 \text{ [%]}$$

これは、工業的な方法を用いた場合のバイオエタノールの収率と比較して大きく劣っているため、より収率を増やすための改善が求められる。

(6) 量産してエタノールの存在を確認する

①実験操作

脱脂綿、6.0mol/L 硫酸の量を最適条件の 3 倍(脱脂綿 18 g、6.0mol/L 硫酸 120mL)にしたところ、中和によってできた溶液の量が最適条件の 8 倍になったので、イースト菌の量を 8 倍 (12 g) にして生物発酵を

行い蒸留して、ヨードホルム反応によりエタノールが生成されていることの証明を行った。エタノールは水に溶けやすいため、無水硫酸ナトリウムを用いて溶液を乾燥させ、エタノールの純度を上げた。量産実験の際の蒸留装置図の様子を図 5 に示す。



図 5 量産実験の蒸留の様子

②結果

図 6 から分かるように、蒸留開始後すぐにエタノールの沸点 (78°C) を超えてしまった。開始後 1.5 分から 9 分の間に採取した溶液を用いてヨードホルム反応を確かめたところ、図 7 のように溶液が白く濁った。

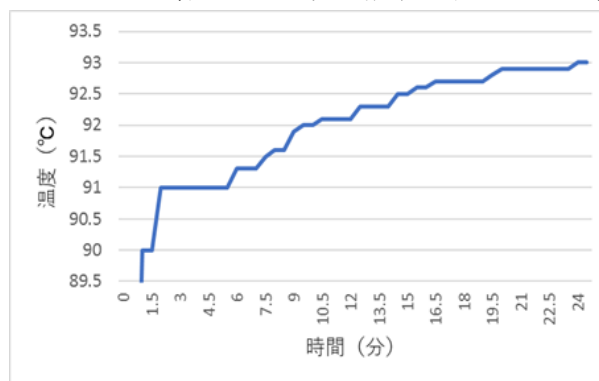


図 6 蒸留したときの温度変化

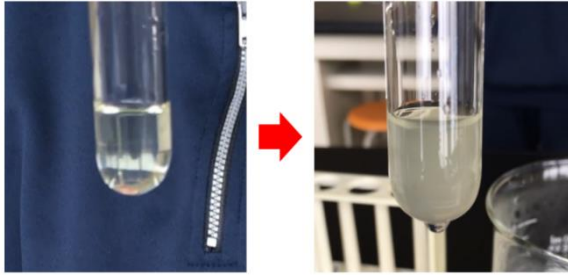


図7 ヨードホルム反応の様子
(左が反応前、右が反応後)

③考察

蒸留開始後すぐにエタノールの沸点を超えてしまった原因として、生成したエタノールの量が少なかったことが考えられる。

しかし、溶液が白く濁ったことから生物発酵によってエタノールが生成されたことが証明された。

(7) 量産を紙で行う

①実験操作

脱脂綿を紙に変えて(5)と同様の方法で行った。

②結果

図8のように加水分解の段階で紙が炭化してしまいエタノールを生成することができなかった。



図8 炭化してしまった紙

③考察

紙が炭化してしまった原因として、高濃度の硫酸を加水分解に使ったため、濃硫酸による脱水作用の影響があると考えられる。

脱脂綿で量産を行った時にはこの影響を受けなかった理由として、紙よりも脱脂綿の方がH-Oの結合部分が少ないなどの構造の違いが考えられる。

3 まとめ

実験(1)(5)より脱脂綿を用いてエタノールを生成する最適条件を見つけることに成功し、6.0mol/Lの硫酸を用いて60分間加水分解を行い、60分生物発酵を行った時が最も多くのエタノールを得られることが分かった。また、実験(6)より私たちが発見した最適条件を用いてエタノールの量産を行ったところ、ヨードホルム反応によってエタノールの存在の証明に成功した。しかし、実験(7)で脱脂綿を紙に変えて加水分解を行ったが紙が炭化してしまい量産を行うことができなかった。これは、紙と脱脂綿で構造が異なることが関係しているのではないかと考えられる。

4 今後の展望

硫酸の脱水作用が起きてしまったのは硫酸の濃度が高いからであるため紙が炭化しない硫酸の濃度を調べる必要がある。また、材質によって適切な硫酸の濃度が異なると考えられるので、紙以外の材質などに応用するときにはそれぞれ適切な濃度を調べる必要がある。

5 参考文献

- ・ <http://morita.la.coocan.jp/a/seito6.htm>
- ・ スクエア最新図説生物 neo
- ・ スクエア最新図説科学