

竹からバイオエタノールをつくる

2年3組 豊田 祐生 2年3組 山下 健吾
2年4組 西田 顕吾 2年4組 安岡 佑樹
指導者 木村 康郎

1 研究の目的

各地でモウソウチク竹の分布拡大が起こっており、竹公害を生じている。これは近年の竹や筍の輸入、竹の代替材の普及などによって竹の利用が減少し、竹林の管理放棄が起きているためである。それにより、竹林の荒廃、農地や住居への竹の侵入（図1）に留まらず、それに起因する様々な派生的環境被害を生み出しており、森林の公益的機能を低下させるのではないかと懸念されている。

この竹を有効に活用することが出来れば竹公害の抑止に繋がると考え、竹のセルロースから効率よくバイオエタノールを作る方法を探る研究を行った。



図1：畑に侵入した竹

2 仮説

高温・高圧で処理した竹の粉末を酸や塩基で処理することにより、セルロースの加水分解の効率を上げ、バイオエタノールを作ることができる。

3 方法

- (1) ヤスリを用いて竹をおがくず状に粉砕する（図2）。
- (2) 圧力鍋を用いて約117℃で20分間加熱する（図3）。
- (3) おがくずを乾燥させる。
- (4) 5.0gのおがくずを容器にとり、純水、NaOHaq(2.0%,5.0%,10%)、 H_2SO_4 aq(2.0%,5.0%,20%,30%,40%,50%)を10mLずつ加えて、10分間浸した後、3回純水で洗浄し、乾燥させる。
- (5) 酵素セルラーゼを含む水溶液と酢酸緩衝溶液を1:1で混合した溶液10mLに、(4)のおがくず0.50gを加え、酵素(セルラーゼ)を用いて50℃で24時間加水分解を行う（図4）。



図2：粉砕した竹



図3：圧力鍋



図4：恒温装置

(6) 糖度計(ATAGO Serial NO.A903591)を用いて各溶液中の糖度を測定する(図5)。

(加水分解によって増加した糖度)

$$= (\text{各溶液の糖度}) - (\text{セルラーゼ水溶液の糖度}) \times 1/2$$



図5：糖度計

4 結果と考察

- (1) 酵素(セルラーゼ)を含む水溶液中の糖度を測定すると56.0であった。
- (2) 【実験I】 NaOHaq(2.0%)、H₂SO₄aq(20%,30%,40%,50%)を加えて加熱処理したおがくずに、酵素(セルラーゼ)を含む水溶液と酢酸緩衝溶液の混合溶液を加えて24時間加水分解を行った。

【実験Iの結果】

表1：セルラーゼによる加水分解後の糖度

	NaOH (2.0%)	H ₂ SO ₄ (20%)	H ₂ SO ₄ (30%)	H ₂ SO ₄ (40%)	H ₂ SO ₄ (50%)	純水
1回目	31.8	30.1	30.4	30.9	28.8	31.8
2回目	31.9	30.4	30.2	30.7	29.2	31.7
3回目	31.9	30.6	30.1	30.9	29.2	31.9
平均値	31.9	30.4	30.2	30.8	29.0	31.8
増加量	3.9	2.4	2.2	2.8	1.0	3.8

糖度の増加量

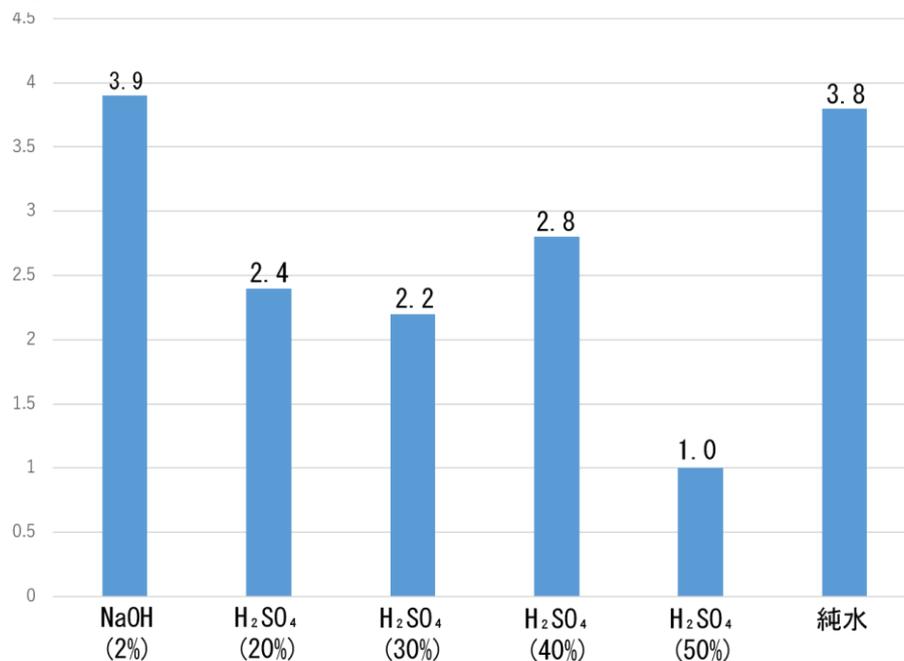


図6：セルラーゼによる加水分解した後の糖度の増加量

【実験Ⅰの結果から分かること】

ア NaOHaq で処理したおがくずを用いた場合が、最も糖度が増加したが、純水とほぼ同じ結果になった。その原因は、セルラーゼ水溶液自体が未反応のセルロースを含んでいたため、そのセルロースが加水分解を受けて糖度が増加した可能性があると考えられる。

イ H₂SO₄aq で処理したものは、2.0%NaOHaq や純水で処理したものに比べ、全て加水分解後の糖度が低くなった。H₂SO₄aq で処理した場合には、処理後の水溶液や竹のおがくずが黒ずんでおり、硫酸によるセルロースの炭化が起こったため、加水分解によって生じる糖が少なくなった可能性が考えられる。

(3) 【実験Ⅰ】 NaOHaq(2.0%,5.0%,10%)、H₂SO₄aq(2.0%,5.0%)を加えて加熱処理したおがくずに、酵素セルラーゼを含む水溶液と酢酸緩衝溶液の混合溶液を加えて24時間加水分解を行った。

[実験Ⅱの結果]

表2：セルラーゼで加水分解した後の糖度

	NaOH (2.0%)	NaOH (5.0%)	NaOH (10%)	H ₂ SO ₄ (2.0%)	H ₂ SO ₄ (5.0%)	セルラーゼ 溶液 +緩衝溶液
1回目	30.1	29.8	28.0	31.2	29.2	34.3
2回目	30.6	29.4	30.0	30.8	29.5	34.6
3回目	29.8	29.9	29.8	31.4	29.3	34.5
平均値	30.2	29.7	29.3	31.1	29.3	34.5
増加量	2.2	1.7	1.3	3.1	1.3	6.5

糖度の増加量

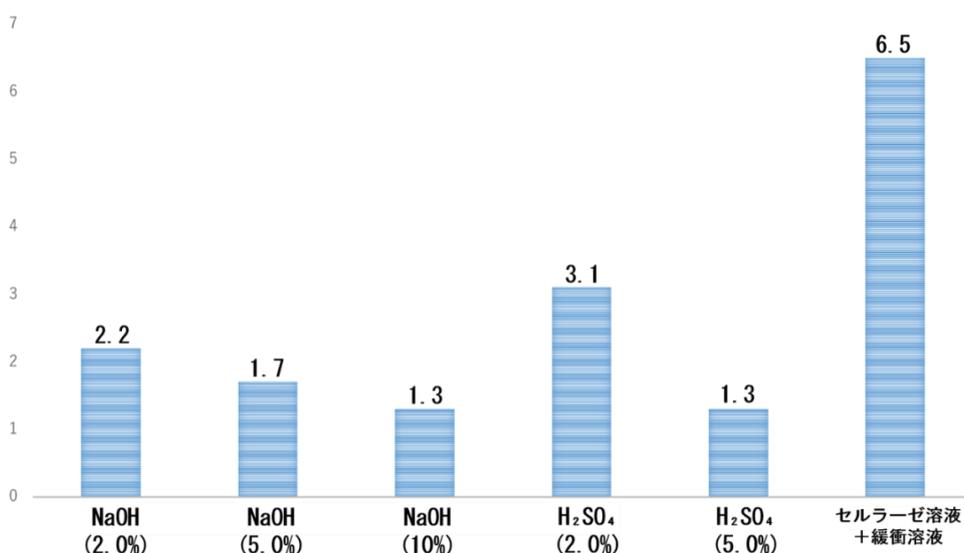


図7：セルラーゼで加水分解した後の糖度の増加量

- ア NaOH、H₂SO₄共に、溶液の濃度が低い方が、糖度の増加が大きいことが分かった。
- イ 【実験Ⅰ】に比べ【実験Ⅱ】の実験結果の方が糖度増加の値が全体的に小さかった。これは、【実験Ⅰ】では外側の表皮(緑色の部分)を含むおがくずを用いたのに対し、【実験Ⅱ】では竹の内部の部分だけをおがくずにしたものを使用したことで違いが生じたことが考えられる。
- ウ 対照実験として行った実験でも、糖度が増加していることから、セルラーゼを含む酵素溶液中にはセルロースが含まれているといえる。

5 まとめと今後の課題

加水分解による糖度増加はわずかな値にとどまった。その理由として次のようなことが考えられる。

- (1) 竹では、繊維質がリグニンによって非常に強く結合されているため、繊維の分離を効率的に行うことが難しく、セルロースを効率よく取り出せていないことが考えられる。竹のおがくずを、より高い温度や圧力の下で長時間処理するなど、リグニン除去を効果的に行う方法の改善に取り組まなければならない。今後の最大の課題である。
- (2) セルロースを含まない酵素セルラーゼを使用できれば、それを用いた比較実験を行いたい。
- (3) この実験では、糖度計(ATAGO PEN-J)を用いて糖度を測定した。この糖度計は、屈折率を基に糖度を表示するようになっている。一般に、屈折率を決めるのは密度であるが、果汁の場合は、密度を決定する要素のほとんどが溶解している糖の含有量によるものであるため、屈折率によって糖度を測定することができる。しかし、本実験の試料溶液はさまざまな物質が溶けた混合溶液になっているだけでなく、固形物やコロイド粒子なども含まれている。屈折率で測定する糖度計を用いること自体の可否についても、確認しなければならない。

参考文献

- ・農林水産省林野町森林総合研究所木材化工部 1994,01,24
- ・永木優介, 竹からエタノールの発酵生産に関する研究,p2-34,2010,3
- ・監修 磯貝 明,セルロース利用技術の最先端,p35,シーエムシー出版