

# バナナバイオエタノール

## ～環境保全と経済活性化の両立を目指して～

Y. I. <科学②>

### 1. はじめに

現在のバナナ栽培は、環境保全の観点で深刻な課題を抱えている。バナナは一度果実をつけると二度と結果しないため、現地のバナナ農家はその偽茎を切り倒し新しい土地を求めて移動する必要がある。偽茎は非常に強固であるので、切り倒された後も十分に分解されず土壤を腐らせてしまう。このように土壤に廃棄されるバナナの偽茎は年間10億tほど存在しており、環境に対して大きな悪影響が生じている。こうした課題の根本的な原因是、切り倒された偽茎を回収する動機がなく、その場に放置されるということにある。そこで、偽茎を主原料とするバイオエタノールの優れた製造法の開発を通して、様々な課題の解決に繋げたいと考えた。

### 2. バナナの偽茎の現状

#### 2.1 バイオエタノール生成方法

グルコースを微生物が代謝することでエタノールを生成することができる。バナナの偽茎の主成分はセルロースであり、セルロースはグルコースが多く量に繋がった連続体であるため、分解することで微生物に代謝させることができなり、エタノールを生成することができる。

#### 2.2 生成条件

バイオエタノールのデメリットとして、生成におけるコストが高いことが挙げられる。また、セルロースを分解する過程で薬品を用いることによる環境負荷が懸念される。そこでセルロースの分解において、セルラーゼを保有するカビを用いることでコストを低く、環境負荷を小さく抑える。

### 3. 仮説と調査方法

#### 3.1 仮説

セルロースを加水分解しグルコースを得る過程において、セルラーゼを保有するカビを用いる効率的な方法がある。

#### 3.2 実験や調査内容 1



セルロース系を主原料としたバイオエタノールは上図に従って生成する。

#### ①偽茎自体で生成できるアルコール量の検証

試験管を2本用意し、粉碎した偽茎の絞り汁を入れたものとそこに酵母（イースト菌）を加えたものを一週間放置した。

#### ②糖化（加水分解）後のグルコース量の検証

- 一般的な加水分解（2molの水酸化ナトリウムと硫酸をそれぞれ用いて比較）
- かび（きのこ）由来のセルラーゼを用いた加水分解（5mm角のろ紙と粉碎した偽茎で比較）

③④より、バナナの偽茎にはセルラーゼの働きを阻害する物質が含まれていることが示唆されたため、その阻害物質を抑制する方法の検証

- 水洗いを繰り返した偽茎
- 煮出した（電子レンジ）偽茎

#### ④カビによる条件別の分解の検証

偽茎の異なる部位から採取したカビB0・B1・B2・B3のうちより偽茎に生えやすいB2・B3を用いてセルロース（偽茎）を分解し、30°Cを保った後、冷蔵庫に移動させた。30°Cを保つ時間は、48時間・120時間・168時間の3通りで比較した。

### 4. 整理・分析

#### 4.1 実験結果

①の実験の結果、微量の泡が確認された。この泡はアルコールである可能性が高いため、偽茎は微量のグルコースを含むことが示唆された。

#### ② 薬品を用いた加水分解後の条件ごとのpH

加水分解の条件	処理なし	水酸化ナトリウム(NaOH)	硫酸(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
pH	8.64	9.48	2.01 (1000倍希釈)

図1：薬品を用いた加水分解後の条件ごとのpH

セルラーゼ（きのこカビ由来）を用いた加水分解では、ろ紙の加水分解後グルコースが確認されたが、偽茎では確認されなかった。

#### ③ 阻害物質処理方法別グルコース濃度

水洗い	61 mg/L
煮出す	123 mg/L

図2：阻害物質処理方法別グルコース濃度

煮出したものは水洗いしたもの倍以上のグルコースを得られた。

#### ④ 条件別の加水分解別グルコース濃度

かび / 条件	30°C : 48 h	30°C : 120 h	30°C : 168 h
B2	-4616	-4855	-5476
B3	-5256	-6403	-5666

\*グルコース生成量 [mg/L]

図3：条件別の加水分解別グルコース濃度

## 参考文献

- [1]日本調理アカデミー
  - [2]バイオエタノールの製造方法
  - [3]国立環境研究所
  - [4]「トコトンやさしいバイオエタノールの本」・日刊工業新聞社出版  
各URLは下記
- [1]<https://www.nihon-chouri.ac.jp/>
- [2][http://www.kuramae-bioenergy.jp/assets/files/biomass/bio\\_ethanol.pdf](http://www.kuramae-bioenergy.jp/assets/files/biomass/bio_ethanol.pdf)
- [3] <https://www.nies.go.jp/>

## 5. 考察

①の結果より、バイオエタノール生成には、加水分解によってセルロースを分解し、グルコースを増やす必要があるということが分かった。

②より、性質上硫酸を用いた加水分解はpHが非常に低くなり環境負荷が大きいことが懸念されるため、バナババイオエタノール生成には適さないということが分かった。

③の結果より、煮出すことでセルラーゼのはたらきを阻害する物質を抑制し、より効率よくグルコースを得られるということが示唆された。

## 6. おわりに（結び、まとめetc）

### 3.1 結論

セルロースは多量にグルコースを得られるため、容易に加水分解を行う方法が確立すれば効率的にバイオエタノールを生成することが可能である。その方法の過程の加水分解において、硫酸や水酸化ナトリウム等薬品を用いることはコストが高いことと大きな環境負荷が懸念されるため、バナババイオエタノール生成には適さない。そこで煮出す処理を済ませた偽茎をセルラーゼを保有しているカビを用いて加水分解の処理を行うことで、コストと環境負荷をともに軽減させることが可能である。

### 3.2 今後の課題

加水分解の過程において、用いるカビの効率の良い培養方法や、カビにセルラーゼを保有させる方法、技術提供をする国や地域の環境ごとのカビの種類の変化などが現時点での課題である。

## 謝辞

探Q指導員の反町先生には、幅広く詳細まで様々な助言をいただきました。深く感謝申し上げます。

ドリーム・パスのコーチである森さんには、一つの分野にとどまらず、様々な視点からのアドバイスをいただきました。深く感謝申し上げます。

また、ドリーム・パス関係者の方々に多大な協力をしていただいたこと、深く感謝申し上げます。

株式会社エンザイム・センサ様からは、グルコースの測定キットをお貸しいただきました。ありがとうございます。

株式会社あやねさんには、栃木県のバナナ農園を訪問させていただき、偽茎を提供していただきました。この研究の根本を支えてくださったこと、大変深く感謝申し上げます。

## 放射線をより遮蔽する物質を探す

K. I. <科学②>

(6) ドライヤーの温風を装置に吹きかけられるように、ドライヤーを設置した。

### 1.はじめに

我々にも核の脅威から自分の身を守らねばならないときが来るのかもしれない。そこで私は放射線を遮蔽できるより身近な物質を探すことにした。放射線の通る飛跡を観察するため簡単な霧箱を製作し、遮蔽実験を行った。

### 2.実験方法

#### 2.1 事前調査

本実験で製作した霧箱とは、電子などの電気を帯びた粒子や放射線を観察するための装置である。今回の実験では放射線の線源としてランタン用のマントルを使用した。マントルにはトリウムという放射性物質が含まれており放射線の一一種である $\alpha$ 線を放出する。この $\alpha$ 線を可視化するために霧箱を用いた。霧箱の中は気化したエタノール蒸気が冷やされることで過飽和状態になっているこのか飽和状態の気体の中に放射線が入射すると小さな液滴が生成され目に見えるようになる。

#### 2.2 仮説

一般的に、 $\alpha$ 線と $\beta$ 線はそれぞれ紙とアルミニウム等の薄い金属板で止められることが知られている。よって、金属製の板の方が遮ることができるだろうと考えた。

#### 2.3 材料

エタノール 保冷剤 放射線源 ビーカー 20mLプラスコ 沸騰させた湯 黒の敷材 ドライヤー 懐中電灯 遮蔽物(アルミ板、木材、ゴム板、亜鉛板)、プラスチック容器 フェルト こまごめピペット

#### 2.4 準備

- (1) プラスチック容器内部のフェルトにエタノールをこまごめピペットを用いて染み込ませた。
- (2) 保冷剤の上に黒の敷物を敷き、1のプラスチック容器を、開口部を下にして設置した。
- (3) 容器内に懐中電灯で光を照射しエタノールの粒が見えるように設置した。
- (4) 20 mL三角フラスコに放射線源を隙間なく詰め、プラスチック容器から一定距離置いて設置した。
- (5) プラスチック容器の上に200mLビーカーを置き、沸騰させた湯をそそいだ。

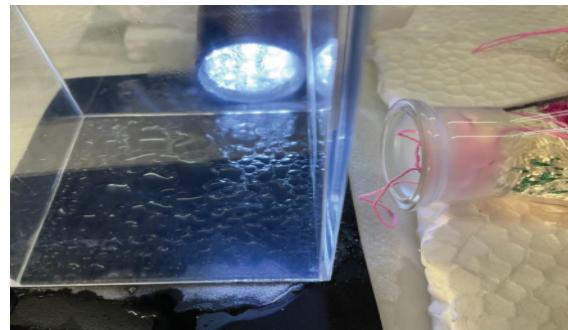
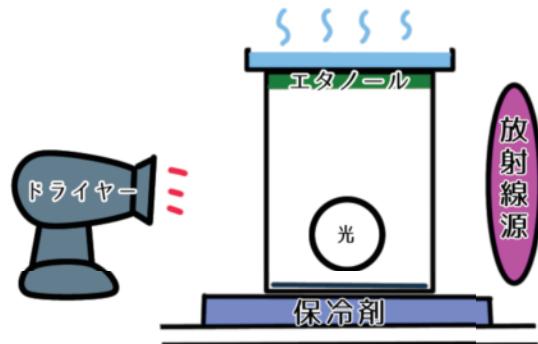


図1 装置の様子



#### 2.5 実験方法

容器内に通過する放射線の軌跡を、遮蔽する前後で10秒ずつ動画を撮影し、計測した。前後での数の変化を調べて、どのくらい放射線を遮蔽することができるのかを調べた。

### 3.結果・分析

#### 3.1 結果

図1の通り、霧箱内で白い筋のようなものに見える放射線の飛跡が観察された。遮蔽実験では、亜鉛板、木材、ゴム板、アルミ板の4つの素材を用いて実験した。平均値を見ると、どの素材でも遮蔽前後で数値が減少していることがわかった。

表1 放射線遮蔽前後の放射線の通過回数

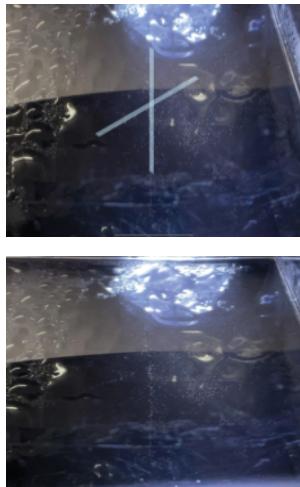
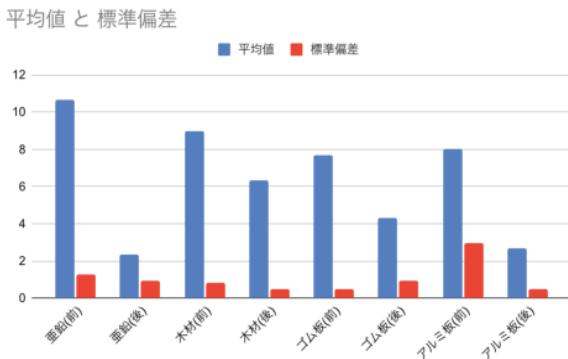


図2 放射線の飛跡

### 謝辞

本研究を進めるにあたって、終始熱心なアドバイスを頂いた探Q指導員の返町さんにこの場を借りて感謝いたします。ありがとうございました。

### 参考文献

- [1]おうちで実験！拡散霧箱の作りかた(+原理と放射線源の入手法)  
<http://www.02320.net/how-to-make-cloud-chamber/>
- [2]霧箱のしくみ  
[http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Lecture/霧箱説明資料基礎4p\\_170712.pdf](http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Lecture/霧箱説明資料基礎4p_170712.pdf)
- [3]霧箱で見る放射線の通り道  
<https://www.mirai-kougaku.jp/laboratory/pages/181019.php>
- [4]ドライアイス等を使用しない簡易霧箱での遮へい実験  
[https://www.radi-edu.jp/radi/wp-content/uploads/2021/12/yokou\\_202102.pdf](https://www.radi-edu.jp/radi/wp-content/uploads/2021/12/yokou_202102.pdf)

### 3.2 考察

結果より金属からなる物質の方がより遮蔽できる放射線の割合が高いと示唆される。また、表1を見ても遮蔽前より遮蔽後の平均値の数値が減少しているのが確認できたことより、木材やゴム板でも、金属板には及ばないものある程度放射線を遮蔽することができると考えられる。

### 4.結論

#### 4.1 結論

今回の実験で、放射線の遮蔽に最も有効だと考えられるのは亜鉛版であることがわかった。

#### 4.2 今後の課題

今回は4つの素材を用いて実験を行ったが、今後はさらに種類を増やしてより効果的な素材を探したい。また、今回の実験では放射線の飛跡を安定して観測することにも苦労した。そこで、放射線の飛跡がよく見えるような室温、湿度、温度差などに着目して、よりよい霧箱や環境づくりにも取り組んでいきたい。

## 「絶対に溺れないプール」を作る

S.K. <科学②>

### 1.はじめに

私は長年泳ぐことが苦手である。その理由として、”浮く”という行為と”前に進む”という行為を同時に違う感覚がわからないからだと考えた。どちらか片方をやろうとするとも一方を失敗するというジレンマに陥ってしまうのである。このような理由で泳ぐのが苦手だと感じる人も多いようだ。そんな人達も、沈むことがない「絶対に溺れないプール」が作られれば、全員が楽しく泳げるようになるのではないかと思い、この研究をするに至った。

「絶対に溺れないプール」を作成するに当たり、人体の頭部が水面上に常に存在すれば、溺れることなく泳げるものと想定し、水に様々な物質を溶かし溶液の密度を上げることでこれを成そうとした。

本論では、実際に茨城県立竹園高等学校に「絶対に溺れないプール」を設置することを想定し、(I)安全性、(II)経済性の2点に留意し、最もふさわしいと考えられる物質を測定する。

### 2.事前調査

#### 2.1 浮力について

物体が流体上に浮揚し続けるとき、この物体は流体から浮力を受けている。私達が水中を遊泳する際もこの浮力が働くことにより沈まずに泳ぎ続けることができる。一般に、人の体密度は水よりも重いとされるが、呼吸の際に取り込む空気などにより人体は水上に浮揚できる。また、体脂肪率や筋肉量、呼吸により取り込む空気の量などにより、流体から受ける浮力には個人差が生じる。浮力は「 $F = (\rho_f - \rho_s) V g$ 」( $F$ : 浮力、 $\rho_f$ : 流体の密度、 $\rho_s$ : 物体の密度、 $V$ : 物体の体積、 $g$ : 重力加速度)」の公式で表され、物体が流体より軽い( $\rho_s < \rho_f$ )とき、 $F > 0$ 、すなわち物体は浮く。逆に物体が流体より重い( $\rho_s > \rho_f$ )とき、 $F < 0$ 、すなわち物体は沈む。この公式において、人体の密度( $= \rho_s$ )と重力加速度( $= g$ )は不变であるとみなし、流体の密度( $= \rho_f$ )を増加させることで浮力を大きくする。

#### 2.2 用いる値

青年期(15~18歳とする)のヒトの体密度は約1.07 g/cm<sup>3</sup>と知られており、 $\rho_s$ にはこの数値を用いる。また、竹園高校のプールの容積は約1400000 L( $1.4 \times 10^6$  L)であり、表中の必要経費はこの値を用いて算出する。加えて、実際のプールには消毒を目的として塩素を溶かしているが、密度の変化は微量であるため、考慮しないものとする。

青年期の男性の頭部の体積は人体の体積の約11.8%とされている。このことから、「ヒトの頭部が水面上に常に存在する」ことは「溶液がヒトに与える浮力が、ヒトの頭部を除いた人体が溶液中に存在するときに受ける浮力と等しい」とこと同値である。このときに必要な溶液の密度は $1 / (1 - 0.118) \times 100 = 1.13$  g/mLである。

#### 2.3 用いる物質

溶質を決めるにあたり(I)安全性、(II)経済性の2点に留意し溶液を作成するため、日常的に見るもの、また、比較的の値段が安いと思われるものを溶質として用いることとした。また、溶媒には一般的な水道水を用いた。

### 3.仮説と調査方法

#### 3.1 仮説

①食塩と砂糖は日常的に摂取するもののため安全性が高く、塩化カルシウムは中毒量が小さいため、安全性は低い

②食塩は溶かす量が少ないため経済性が高く、コンソメは単価が高いので経済性は低い

#### 3.2 実験や調査内容1

- (I) 水道水100 mLを用意し、溶質(食塩・砂糖・味の素・コンソメ・塩化カルシウム)をそれぞれ徐々に溶かしていった。(写真1、2は塩化カルシウム)
- (II) 適宜作成した溶液を10 mL取り出し質量を測った。
- (III) (I) ~ (II) を質量の値が11.3 gを取るまで繰り返した。
- (IV) 溶質について、①加えた溶質の量、②実際にプールに溶かすときにかかる経費(必要経費と表記する)を表1に示した。
- (V) 安全性・経済性において、順位の値をそのまま得点(ただし、ここでいう順位とは安全性では中毒量が少ない順、経済性では必要経費が少ない順である)とし、得点が少ない順から「絶対に溺れないプール」を作成するに適した物質であるものとした(得点が同じ場合は、安全性がより高いものが適した物質であるとした)。



図1

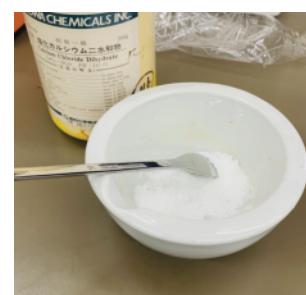


図2

### 4.整理・分析

#### 4.1 実験結果

表1

溶質	溶かした量(g/100 mL)	必要経費(千円)
食塩	21	11,480
砂糖	45	152,460
コンソメ	33	738,276
味の素	41	456,330
塩化カルシウム	33	36,960

- 「値段」は1 kgあたりの値段を「価格ドットコム」により算出し計算した
- コンソメは常温では溶けず、熱湯を用いた(浮力の公式に温度に関する値は含まれないため、温度の条件の違いは無視する)

#### 4.2 安全性

食塩: 中毒量は体重1 kgあたり0.5~1.0 gより、青年期の男性(体重: 60 kg前後)はおよそ200 mLの溶液を飲み込むと臓器に深刻な影

響をもたらす

砂糖：中毒量は体重1 kgあたり2.5-5.0 gより、青年期の男性はおよそ500 mLの溶液を飲み込むと臓器に深刻な影響をもたらす

コンソメ：具体的な参考数値は見つからなかった。  
5.3 g（固形一つ）あたり食塩相当量2.5 gが含まれてい（味の素、ホームページより）ことから、食塩の中毒量飲みを考慮して計算するとおよそ250 mLの溶液を飲み込むと臓器に深刻な影響をもたらす

味の素：具体的な参考数値は見つからなかった。1 gあたり食塩相当量0.30 gが含まれている（味の素、ホームページより）ことから、塩の中毒量飲みを考慮して計算するとおよそ300 mLの溶液を飲み込むと臓器に深刻な影響をもたらす

塩化カルシウム：中毒量は体重1 kgあたりおよそ0.4 gより、青年期の男性はおよそ73 mLの溶液を飲み込むと臓器に深刻な影響をもたらす

表2

溶質	中毒量 (g/体重1 kg)	中毒量を含む溶液の体積 (mL)
食塩	0.5~1.0	200
砂糖	2.5~5.0	500
コンソメ	-	(250)
味の素	-	(300)
塩化カルシウム	0.4	73

※コンソメ、味の素は食塩相当量を元にして算出した

以上より、砂糖、味の素、コンソメ、食塩、塩化カルシウムの順に安全である。

#### 4.3 経済性

表1の「必要経費」の項目より、食塩、塩化カルシウム、砂糖、味の素、コンソメの順に必要経費が少ない

#### 5. 考察

第一に、安全性に関して考察する。

塩と砂糖の安全性が高いと仮説を立てたが、中毒量に着目して考えると、食塩は全体の4番目という結果になり仮説に反した。これは食塩の中毒量が他の物質の中毐量よりも大きく、コンソメや味の素は食塩だけでなく他の物質も多く含んでいるため、相対評価をすると安全性は低くなるからだと考えられた。一方、塩化カルシウムは中毒量も大きく、溶かした量も全体の3番目に多いので、安全性は低くなった。

第二に、経済性に関して考察する。

仮説に反し、塩化カルシウムの必要経費が砂糖の必要経費を大幅に下回った。これは、砂糖よりも塩化カルシウムのほうが他の用途例が限定的であり、多くの量を安く販売していることや、溶かした量が砂糖よりも少なかったことが理由として考えられる。一方、コンソメは仮説通り単価が高かったため砂糖や味の素よりも溶かした量は少なかつたが、経済性は低くなつた。

最後に、安全性と経済性を統合して考える。

溶質を得点が低い順に並べると、砂糖（4点）、塩（5点）、味の素（6点）、塩化カルシウム（7点）、コンソメ（8点）となつた。よって、砂糖が「絶対に溺れないプール」を作るのに最も適していると考えられる。

#### 6.結論

##### 6.1 結論

「絶対に溺れないプール」を作るという目的のもとこの実験をしたところ、砂糖を溶かすのが最も良いことがわかつた。質量パーセント濃度31%の砂糖水を用いたプールを作れば、みんなが楽しく泳げるようになるだろう。

##### 6.2 今後の課題

実験では、実際のプールに溶かす塩素は密度の変化がごく少量のため考慮しなかつたが、他の物質を溶かした際に化学変化等の理由で安全性は変化する可能性があるため、今後はこれも考慮した測定を行いたい。

また、物質を水に溶かしていくと溶液の体積も少しずつ増加してしまうため、ある一定の量の溶液を作りたい場合には、溶液の体積の増加率も考慮して必要経費を算出しなくてはならない。

実験では物質を1種類ずつ溶かして計測したが、2種類以上の物質を同時に溶かしていくと、それ自体は安全性が低いが、混ぜ合わせることでさらに安全性や経済性が高い溶液を作成することが可能かもしれないため、他の物質と組み合わせた場合も考えたい。

#### 謝辞

探Q指導員の返町先生には、探Q活動において、多くの助言とご協力をいただき、感謝申し上げます。

#### 参考文献

- [1]J-STAGE 研究資料
- [2]味の素ホームページ
- [3]価格.comホームページ

各URLは下記

- [1][https://www.jstage.jst.go.jp/article/jje1965/1/3/1\\_3\\_43/pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jje1965/1/3/1_3_43/pdf)
- [2]<https://www.ajinomoto.co.jp/>
- [3]<https://kakaku.com/>

## フードロスの新たな形 ～納豆を用いたバイオエタノールへの活用～

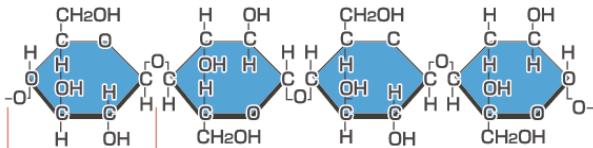
R.K. <科学②>

### 1.はじめに

1970年代からガソリンなどの石油由来のエネルギーの代替物としてバイオエタノールが使われ始めた。メリットとして石油の枯渇問題の緩和、余剰作物の活用、地球温暖化の対策等が挙げられる。近年では科学技術の進歩により様々なものがバイオエタノールにできるようになった。例えば福岡県ではラーメンの残り汁を市内の店から集めてバイオエターノールに活かしてトラックを走らせるという取り組みをしている。このように地域の特産品の食品廃棄物をバイオエタノールに変えるという取り組みが増えてきている。そこで私は地域の特産品をエネルギー問題の解決の手助けになるものはないかと考え茨城の特産品である納豆についてバイオエネルギー界に貢献できることはないかを研究した。

### 2.バイオエタノールの現状・基本知識

#### 2.1 バイオエタノールの精製方法



基本的にバイオエタノールはグルコースと呼ばれる糖をアルコール発酵することで生成されている。ただグルコースにするまでの過程が材料によって異なる。例えばブラジルで最も盛んなサトウキビを原料にして作るものはもとからグルコースが多く含まれているためほとんど手間なく生成できる。一方トウモロコシや竹といったものを原料にすると一度糖化させるという作業をしないとグルコースを得られない。

#### 2.2 現状の課題

バイオエタノールを作る原料は食料や自然環境から獲得しているため食糧不足や環境問題との兼ね合いも難しくなっている。日本では食料不足ということは殆どないが代わりにフードロスが問題視されている。そこでフードロスのものを原料としている場合セルロース分解が必要になってくる。ただ現状では硫酸や水酸化ナトリウムを用いた加水分解を行っている。しかし濃度の設定などで手間がかかってしまう。そんな中で別の方法として酵素を用いたセルロース分解がある。酵素を入れておくだけなので手間がかからない。だがデメリットとして反応速度が遅く、加水分解に比べて時間がかかるてしまう。

### 3.仮説と調査方法

#### 3.1 仮説

納豆はとても健康に良いと効くので何か特殊な力を持っていると思う。以後記されている実験1では納豆菌は糖化作用をもつと知ったので麹なしのものでも泡が発生すると期待する。また納豆菌はほとんどエタノールの発生の有無に関係ないと考える。以後記されている実験2ではセルロース分解は徐々に進んでいくと考える。

#### 3.2 実験や調査内容1

①実際に納豆からバイオエタノールの生成

下記の4種類の条件下でバイオエタノールの生成実験を行った。分け方は強い菌である納豆菌がエタノール生成時に間にか影響を及ぼすかを調べるために納豆菌あり、なし、またそれぞれで糖化の作用があるかどうかを調べる麹菌あり、なしとした。

手順1、納豆を半分に分けて片方をオートクレーブで納豆菌を死滅させた。

手順2、オートクレーブをかけているものとかけていないものを半分に分けてそれぞれの片方づつに米麹を5 gずつ入れた。

手順3、全てのものにドライイーストを1 g入れて発酵させ泡が発生するかどうかを調べた。

手順4、泡が出た物を遠心分離機にかけて液体だけの状態にして、それを蒸留して、できた液体に火がつくかどうかを調べた。(図1)

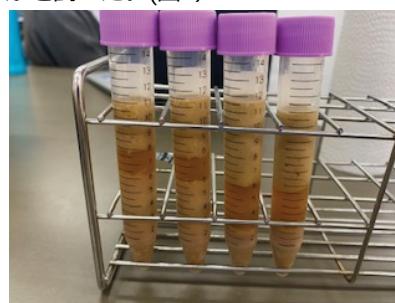


図1

#### ②納豆菌のセルロース分解作用の測定

手順1、竹をヤスリで細かく削った。

手順2、水、納豆菌を入れた水、水酸化ナトリウム(0.5 mol/L)、硫酸(0.24 mol/Lと2.4 mol/L)それぞれ20 mlに削った竹を0.2 gずつ入れた。

\* 納豆菌を入れた水は市販の納豆を水で濯いだ残り汁を使用した。

\* 水酸化ナトリウムと硫酸は従来の方法である加水分解を起こすために入れた。また濃度は参考文献を元に最も反応が起こりやすいと考えられる濃度にした。硫酸で2種類の濃度に分けたのは竹の外側と内側で発生が起こりやすい濃度に差があったために分けた。

手順3、丸一日恒温槽の中に設定温度を30 °Cにした。

手順4、糖度計によって液体の糖度を調べた。

\* 水酸化ナトリウムと硫酸は機器の損傷を防ぐために中和作業を施してから測定した。

手順5、同じ作業を1週間後繰り返した。

### 4.整理・分析

#### 4.1 実験結果

##### 実験1

この実験ではドライイーストを入れた時に<sup>く</sup>納豆菌なし麹ありのものが最もよく泡が発生し、その次に<sup>く</sup>納豆菌あり麹ありのものから。また最も泡が発生した<sup>く</sup>納豆菌なし麹ありのものを遠心分離機かけて蒸留した液体に火をつけたがつかなかった。だがこの条件のものを作つてから時間が立っていたので、もう一度同じ条件のものを作つて蒸留したが火はつかなかった。

	1	2	3	4
納豆菌	○	○	×	×
麹	○	×	○	×
泡の発生の有無	○	×	◎	×

## 実験2

最も糖度が増加したのは濃い硫酸だった。結果から水酸化ナトリウムと硫酸の加水分解は起こった。濃い硫酸は時間が経つと竹が茶色くなり、水酸化ナトリウムは黄色くなっていた。

	水	納豆水	NaOH 0.5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.24	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2.4
1日後	0.1	0.1	1.7	2.7	10.7
1週間後	0.1	0.1	3.7	3.1	10.1

単位は Brix%とする

## 5. 考察

実験1から納豆菌がないほうが泡が発生しやすかったことから納豆自体をエタノールにするとときは納豆菌は不要であると考えられる。また麹を入れないと泡が発生しないことから納豆菌自体の糖化作用はあまり期待できない。しかし目で見てわかるほどの泡が発生しなかったが少しあはエタノールができていたかもしれない。またこの実験では時間が経つごとに匂いがましていくとても臭くなつた。さらに蒸留実験では思うように火がつかなかつた。要因として考えられるのは蒸留回数が少なかつたために濃度が低かったと考えられる。匂いでも判断ができるかを試したが納豆の匂いが強すぎてわからなかつた。これを踏まえると実験1からは納豆をバイオエタノールにしようとする最も効率よく精製するためにはたくさんの手順が必要となるのですべきではないと思う。実験2では納豆菌のセルロース分解作用を表す結果はうまく出なかつた。これは要因として反応させる時間が短かつた事が考えられる。また竹という材料の結合が強すぎて悪かったのかもしれない。総じて仮説通りの結果は出なかつた。

## 6.おわりに

### 3.1 結論

実験1よりバイオエタノールを生成するときに納豆菌は不要であるとわかった。実験2より納豆菌のセルロース分解作用は短期間では働かない。

### 3.2 今後の課題

実験1では仮説通りの結果は出してくれなかつた。何が原因かを究明することはできなかつたので細かく調べていきたい。またもっと多量の液体で数回蒸留実験をした結果を調べたい。実験2ではさらなる時間反応させたり竹ではない例えは大根や人参などの野菜の葉っぱなども試してみたい。更に市販に売っている納豆の種類を変えてもやってみたい。

## 謝辞

今回、研究案および実験方法の手伝いをしてくださつた探求指導員の反町さんに深く感謝いたします。この活動を通して得た経験を今後の人生に生かしていきたいと思います。

## 参考文献

[1]バイオエタノール製造方法  
[http://www.kuramae-bioenergy.jp/assets/files/biomass/bio\\_ethanol.pdf](http://www.kuramae-bioenergy.jp/assets/files/biomass/bio_ethanol.pdf)

[2]竹からバイオエタノールを作る  
<https://uwajimahigashi-h.esnet.ed.jp/uploads/h292nen15.pdf>

[3]国立研究開発法人 産業技術総合研究所 中国センター機能化学研究部門  
[https://unit.aist.go.jp/ischem/ischem-clm/bioethanol\\_pretreatment/bioethanol\\_pretreatment.html](https://unit.aist.go.jp/ischem/ischem-clm/bioethanol_pretreatment/bioethanol_pretreatment.html)

[4]国立研究開発法人 国立環境研究所  
<https://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=6>

[5]納豆菌の菌外体セルラーゼ及びキシラナーゼの研究  
<https://core.ac.uk/download/pdf/235430139.pdf>

[6]小泉武夫マガジン  
<https://koizumipress.com/archives/23455>

## 固定酵母を身近にする ~発酵を家庭でできるように~

S. S. <科学②>

### 1 背景と動機

固定酵母とは、アルギン酸ナトリウムという物質の架橋反応を利用して酵母菌をアルギン酸ナトリウムの中に閉じ込めたものである。それ自体で発酵を行えるもので、見た目はイクラのような見た目で、つまんでも崩れない程度の耐久力がある。固定酵母の優れている点は、従来の発酵方法と違って、発酵させるものに酵母菌が溶け出さないことがない。また、耐久力もあるため連続して発酵を行うことができるという利点がある。先程述べた、アルギン酸ナトリウムという酵母菌を包む物質について、実際に触ってみると意外と特別な感触ではなかったため、身近なもので代用することができるのでないかと思った。そこで、アルギン酸ナトリウムを身近な物質で代用することで、家でも発酵を気軽に楽しめるのではないかという考えのもと研究を始めた。



図1 実際の固定酵母の様子

### 2. 研究概要

#### 2.1 内容1

##### 方針

使用する固定酵母の作成として、固定酵母の中に閉じ込める酵母菌として、ドライイーストを3 g 用意し、乳鉢と乳棒を用いてできるだけ細かくなるようにすりつぶした。その後、事前に試した寒天の濃度と、硬さから考えて、3%, 6%, 10%の濃度の寒天粉末を用意した。この寒天を電子レンジを用いて、液状になるまで溶かし、温度計で液状寒天の温度がドライイーストの活動温度の限界である60°Cになるまで計り固体にならぬうちにドライイーストを混ぜた。出来上がった固定酵母が使えるかどうかを調べるために、アルコール発酵を行った。この際、10%の砂糖水を用意してその中に温度を40°Cに保つて数日間固定酵母を漬け込んだ。今回は実際に濃度別で分けた寒天を用いてアルギン酸ナトリウムの代用とした。作成した固定酵母が発酵をしているかの確認として、アルコール発酵を行った。アルコール発酵の際完成した固定酵母を小さく切り刻んで小さくした。また、実際に使用することを想定したとき、耐久力が必要であるため、硬さについても調べた。発酵した過程を数値で表すために15分毎に実験装置の蓋を開けて重さを測り、減少した重さを発生した二酸化炭素と仮定した。この際に、一番理想的であった6%の寒天粉末による固定酵母を使用した。

### 2.2 内容2

	3%	6%	10%
硬さ	脆い	弾力あり	固く脆い
匂い	ツンとする	ツンとする	ツンとする

図1

### 重さgと時間min

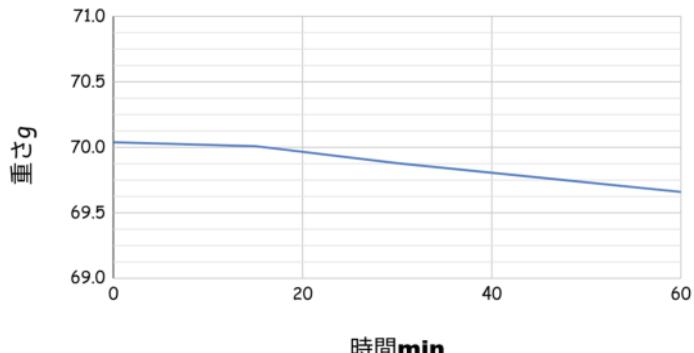


図2 6%の固定酵母による重さと時間のグラフ

結果から3%の寒天では硬さはとても脆く、6%では丁度いい弾力があり、10%では固すぎて脆くボロボロと崩れるという結果に至った。匂いに関してはすべてツンとした匂いがした。また実験を通して、実験中の砂糖水は時間が経過すると泡が発生していた。また、日が経つにつれ、中の固定酵母が崩れて砂糖水に溶け込んでいた。15分毎に重さを測った結果、時間が経つに連れて減少する数値が増え、実験開始から15分後から、一定に数値が減少していった。



図3 アルコール発酵 図4 作成した固定酵母の様子

考察

結果から、砂糖水に酵母を投入した結果泡が発生したことや、主観的であるが酒のような匂いが感じられたところから、アルコール発酵が起きていることが分かる。また、日に経つに連れて崩れてしまった原因としては、作成した固定酵母を小さく刻んだため、切断面がそのまま砂糖水にさらされてしまつたため、崩れやすくなってしまったと考えられる。実際に固定酵母として使用することを考慮すると6%のときの硬度がある程度の弾力があり、一番長持ちしていたため理想的であると考えられる。重さと時間の測定結果では時間が経つに連れて二酸化炭素が徐々に減少していったため、このことからも作成した固定酵母がアルコール発酵を起こしていたことが考えられる。アルギン酸ナトリウムと寒天粉末の共通点を考えてみると、寒天粉末の主成分であるアガロースという物質と、アルギン酸ナトリウムはどちらも多糖類であり、化学的構造が似ていた。画像1,2のように多糖類の化学構造は鎖のような形をしている。寒天が固まるときは、この複雑な分子が水分とともに絡みついて網目状になることでゼリーのようになる。アルギン酸ナトリウムは架橋反応をおこして固まる。この架橋反応というのは、寒天とは固まる方法が異なるが、分子が網目状になって固体になる。このことから分子の形が複雑である多糖類ならアルギン酸ナトリウムの代用になるとを考えられる。身近なものだとこんにゃくや、キャッサバから作られるタピオカなどが適すると考えられる。

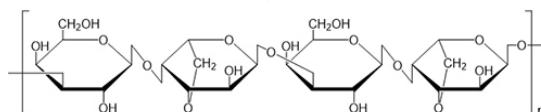


図4 寒天粉末

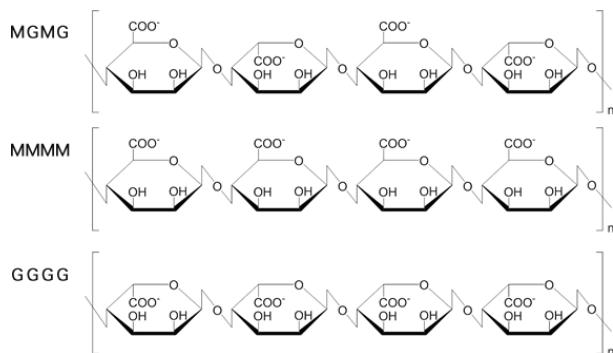


図5 アルギン酸ナトリウム

### 3. おわりに（結び、まとめetc）

#### 3.2 今後の課題

今回の実験では、使用したアルギン酸ナトリウムの代用の物質が寒天粉末だけだったので、考察から考えられた多糖類のこんにゃくやタピオカなどの原材料のこんにゃく芋やキャッサバ用いて固定酵母を作りたい。また、作成した固定酵母が機能するかの確認実験がアルコール発酵だけであり、測定方法も主観的なものがあつたので、実験方法を変更をしてみたい。具体的には、アルコール発酵の測定では、短時間でのみの測定となり、濃度別に分けて数値を出したというわけではないので、今後は測定時間を長くして、濃度別に分けて測定することで、濃度によってどれほど耐久性が変わるかを数値化させて表せるようにしたい。。またアルコール発酵だけでは、簡易的な確認方法であるため、実際に作成した固

定酵母を使って何かを発酵させて、その上で生じる問題点などを解決できるようにしたい。また、今回は無毒な寒天であったが、今後使用を試みているこんにゃく芋やキャッサバについて、こんにゃく芋はシュウ酸カルシウムという毒素を含んでおり、キャッサバにはシアン化物という毒素が含まれているので、それぞれを実際に固定酵母として使用しようとしたとき、この毒素をどう取り除くかということを考えたい。

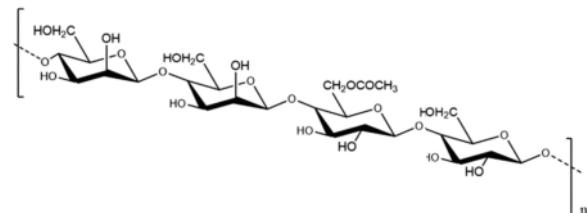


図6 こんにゃくの糖分 グルコマンナン

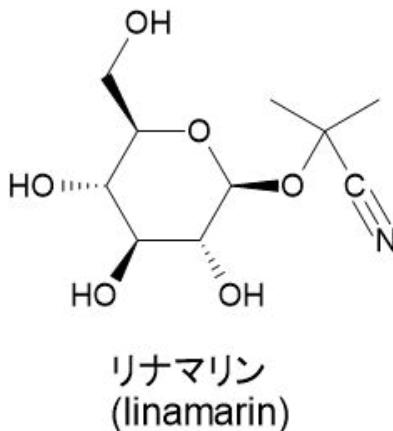


図7 タピオカの原料となるキャッサバの糖分

### 謝辞

今回、研究案および実験方法の手伝いをしてくださった探求指導員の返町さん深く感謝致します。この研究をより深く彫り詰めていきたいと思います。

### 参考文献

- [1] ところで君はUFOを見たか「固定酵母の作り方」
- [2] 固定酵母を用いたワイン醸造
- [3] <https://slimemould.exblog.jp/7872915/>
- [4] [https://kindai.repo.nii.ac.jp/?action=repository\\_action\\_common\\_download&item\\_id=13115&item\\_no=1&attribute\\_id=40&file\\_no=1](https://kindai.repo.nii.ac.jp/?action=repository_action_common_download&item_id=13115&item_no=1&attribute_id=40&file_no=1)

# 野菜の糖度を上げるには ~加熱方法による変化~

C. S. <科学②>

## 1.はじめに

さつまいもの糖度は加熱すると増すことをメディアで知り、他の野菜においての糖度変化について興味を持った。さつまいもの糖度が上がる仕組みには主成分であるデンプンと酵素のアミラーゼが関係している。デンプンはブドウ糖で構成されているが、加熱により糊状となり、デンプンがアミラーゼによって細かく分解される。この作用により麦芽糖やオリゴ糖が作り出される。この原理から他の野菜でも同様の結果を起こすのか調べる。また野菜の色や部位で糖度は変化するのか実験する。

## 2.実験方法

### 2.1 仮説

アミラーゼとデンプンを含む野菜は、さつまいもと同様に加熱すると糖度が上がる。野菜の色や部位の違いによる糖度は栄養素の含有量によって変化すると考える。

### 2.2 実験や調査内容

実験1として野菜の部位による変化ではブロッコリーのつぼみ、茎で分けて実験した。野菜の色による変化を調べる実験ではパプリカの赤色、黄色を対象とした。実験2として加熱による糖度の変化ではデンプンとアミラーゼを含む野菜、それらを含まない野菜で比較して実験を行った。デンプンとアミラーゼを含む野菜にはれんこん、それらを含まない野菜にはブロッコリーのつぼみと茎を用いた。実験3としてアミラーゼとデンプンを含む野菜はオープン加熱のワット数を100 W、200 W、400 W、500 Wと細かく分けて実験した。ワット数と時間をかけた数字が36000 Wsと等しくなるように加熱した。

## 3.結果

実験1のブロッコリーのつぼみと茎の比較では明らかにつぼみの方が糖度が高くなった。パプリカの色の違いによる実験では赤色が黄色より高くなかった。実験2のオープン加熱、ゆでる、電子レンジ加熱の全方法で、アミラーゼとデンプンを含むれんこんが最も糖度の上昇する割合が大きかった。対してアミラーゼとデンプンを含まないブロッコリーの茎とパプリカの赤色は加熱後の糖度の変化の割合が小さかった。れんこんのオープン加熱では200Wが最も糖度を上昇させた。

表1 測った糖度の値

ブロッコリー	糖度	パプリカ	糖度
つぼみ	11.2	赤	7.1
茎	6.7	黄	6.8

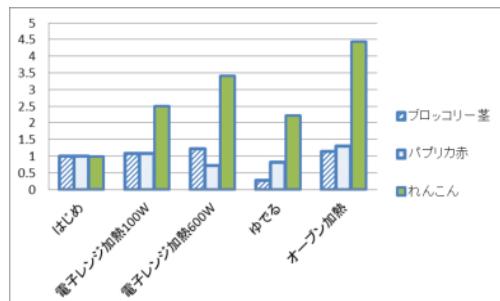


図1：実験2 加熱前の糖度を1としての変化量  
左から順にブロッコリー、パプリカ、れんこん

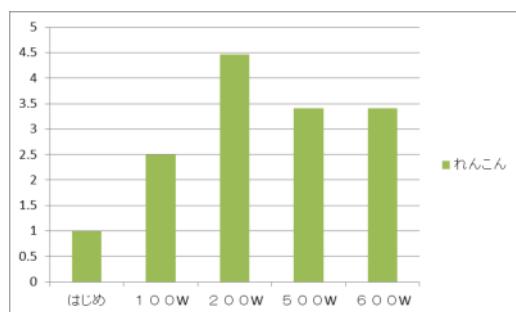


図2：実験3 加熱前の糖度を1としての変化量

## 4.考察

ブロッコリーのつぼみの方が茎より糖度が高いのはつぼみの方が栄養素を多く含むと思われる。つぼみは花を咲かせるため栄養素を多く含む必要があると考えられる。パプリカ赤の方がパプリカ黄より糖度が高いのは赤色の方が熟しているからだと考えられる。実験2では、れんこんの糖度の上昇が大きいのはアミラーゼとデンプンを含むからだと思われる。前半に説明したさつまいもと同様の原理が働いていると考えられる。アミラーゼとデンプンを含まないブロッコリーの茎やパプリカ赤の糖度もわずかに変化したが、それは他の栄養素またはわずかに含むアミラーゼやデンプンが加熱により変化したからだと考える。実験3で電子レンジ加熱で200 Wが最も糖度を上昇させたのは、れんこんのデンプンが糊化し始める温度とアミラーゼが働くことができる温度があるためだと思われる。デンプンが糊化し始める温度は野菜ごとに異なるが、アミラーゼは80°Cを超えると働くなくなる。デンプンが糊化し、アミラーゼが働く80°Cを超えないような温度で長く加熱すると糖度が上昇して甘くなるだろう。

## 5.おわりに

### 5.1 結論

野菜の部位による変化ではブロッコリーのつぼみや茎では、花を咲かせる必要があるつぼみの方が糖度が高かった。パプリカの赤色と黄色では熟している赤色の方が少し糖度が高かった。アミラーゼとデンプンを含む、れんこんは、それらを含まないブロッコリーの茎やパプリカの赤色より加熱による糖度の変化が大きかった。れ

んこんは電子レンジ加熱で200Wでの糖度の上昇が最も大きかった。

## 5.2 今後の課題

れんこんのデンプンが糊化する温度を調べ、より糖度を上昇させるのに適した温度を知る。電子温度計は測定に時間がかかり、その間にれんこんの温度が下がる。そのため正確な温度を知るために、より適した方法を考える。

## 謝辞

本研究を進めるにあたって、ご指導いただいた返町先生に感謝申し上げます。

## 参考文献

[1] サツマイモが甘くなる加熱のコツ : Z-SQUARE - Z会  
<https://www.zkai.co.jp/saponavi/el/series/48617/>

[2] 色によって栄養素も味も違う！パプリカは何色がオススメ？  
<https://weathernews.jp/s/topics/202206/060185/>

## 被覆肥料による環境汚染を解決しよう～環境に優しい肥料～

R.T. 〈科学②〉

### 1.はじめに

被覆肥料とは肥料を樹脂等の被膜材でコーティングし、肥料成分の溶出を作物の生育に合わせてコントロールした肥料である。これにより最適な時期にコーティングから肥料が溶け出し、追肥なしで肥料を補充することができる。

被覆肥料に使われている被覆材(膜)はプラスチックでできており、それらが海や川に流出して環境汚染となってしまっていることを知った。もし被覆材が完全に分解されるものでできていれば、この問題を解決できるのではないかと考え、研究を開始した。



### 2.実験方法

#### 2.1 仮説

寒天の濃度が高いほど、被覆材としてのはたらきは大きくなり、肥料は溶出されにくくなる。

#### 2.2 実験方法

はじめに被覆材として寒天を用いた。今回は固形肥料であるトマトの肥料とシクラメンの肥料を使用した。濃度が0%、1%、5%、10%の液体の寒天を用意し、肥料に被覆材としてコーティングした。40 mLの水の中にコーティングした肥料を入れ振とう機で一週間振とうさせて肥料の水への溶け具合を調べた。これは実際に肥料を実用化するときの水の流れを再現したものである。そして肥料が溶けた溶液を吸光度計を用いて濃度の違いを求めた。



<https://www.tech-try.com/bunkou/information/sikumi.html>

### 3.結果

#### 3.1 トマトの肥料

2週間振とうさせたところ、肥料が崩れてしまった。実験に用いたトマトの肥料が脆く、柔らかいという性質を持っていたため、振とう機の揺れで形が崩れてしまったと考えられる。したがって、すべての濃度の寒天で溶液が黒っぽく濁ってしまったため吸光度計で濃度を図ることは不可能であった。

#### 3.2 シクラメンの肥料

実験期間は2週間

	0%	1%	5%	10%
吸光度	1.68	0.082	1.1	0.032

5%のビーカーのみ、水の蒸発が多く分光光度計を使用するのに必要な量の試料を確保することができなかつたため、蒸発量を少なくするためにビーカーにパラフィルムとアルミホイルを被せて再度実験を行った。

	0%	1%	5%	10%
--	----	----	----	-----

吸光度	0.503	0.005	0.021	0.099

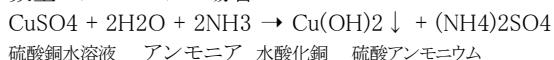
5%と10%の溶液の吸光度が大きくなってしまったのは菌が繁殖してしまったためだと考えられる。

### 3.3 アンモニアの濃度の測定

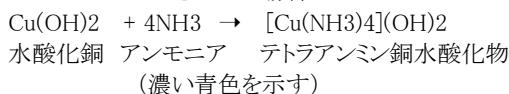
#### 3.3.1 化学反応を用いた方法

肥料の成分であるアンモニアの濃度を測定することで、水溶液の中にどれくらいの肥料が溶けているかを調べる。

数量のアンモニアの場合



さらにアンモニアを加えた場合

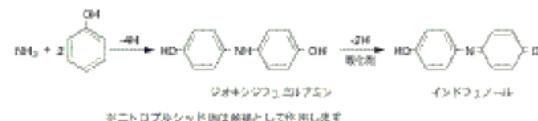


この方法で実験を行った結果、どの試料でも沈殿が発生しなかった。よってそれぞれの肥料に含まれるアンモニアの量はこの反応が起きるのに十分な量ではなかったと言える。

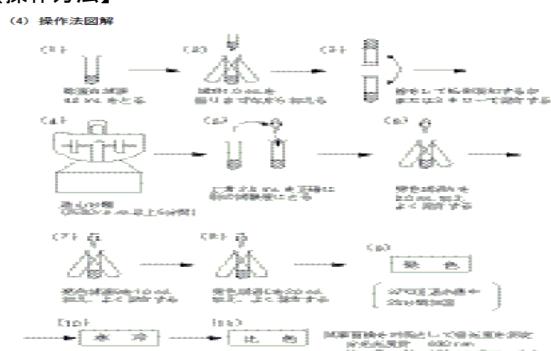
#### 3.3.2 血液検査用アンモニアキットを用いた方法

##### 【測定原理】

試料に除蛋白試液を加えて除蛋白することにより、呈色阻害成分を除去すると同時に試料中の諸酵素を失活させる。この上清に、フェノール、ペンタシアノニトロシル鉄(III)酸ナトリウム(ニトロブルドナトリウム)を加えさらにアルカリ性とした後、次亜塩素酸ナトリウムで参加すると、インドフェノールを生成し青色を呈する。この青色の吸光度を測定することにより試料中のアンモニア窒素濃度を求める。

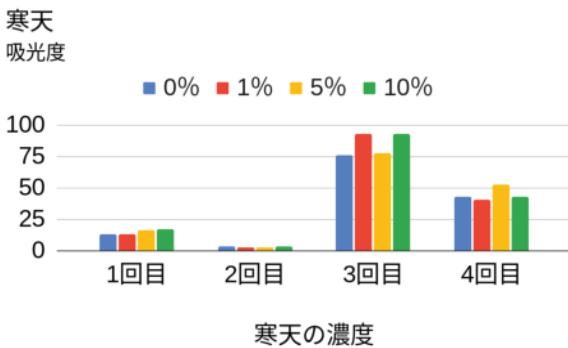


##### 【操作方法】



試料は1000倍希釈したものを用いた。除蛋白試料(※1)を2.0mL取り、試料0.05mLを振りながら加えた。栓をしてよく振り、よく混同させた。混同させた試料の上澄1.0mLを正確に量り取り、別の容器に入れた。発行試料A(※2)を1.0mL加えよく混ぜた。発行試料B(※3)を0.05mL加えよく混ぜた。さらに発行試料C(※4)を1.0mL加えよく混ぜた。これらの操作が終わり、暫く待つと青色の発光が見られた。

- ※1: タングステン酸ナトリウム(リン酸を含有)
- ※2: フェノール  
  ベンタシアのニトロシル鉄(III)酸ナトリウム二水塩
- ※3: 水酸化カリウム
- ※4: 炭酸カリウム(次亜塩素酸ナトリウムを含有)



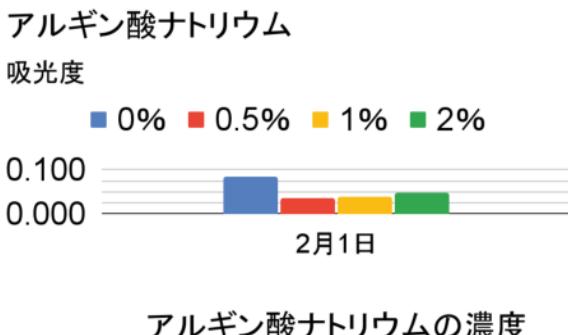
1回目は30倍、2回目は10倍、3.4回目は1000倍希釀した溶液を用いた。

寒天の濃度が大きいほど吸光度が高いことがわかる。しかし、濃度が小さいもののほうが吸光度が大きくなると考えられる。他の物質の結果と比較するためにアルギン酸ナトリウムを被覆材として同じ実験を行った。

### 【実験方法】

アルギン酸ナトリウムの濃度が0%、0.5%、1%、2%の水溶液を用意し、それぞれシクラメンの肥料にコーティングさせる。その後、10%の塩化カルシウム水溶液の中に30秒置きアルギン酸ナトリウム水溶液をゲル化させる。40mLの水の中にコーティングした肥料を入れ振とう機で一週間振とうさせて肥料の水への溶け具合を調べた。肥料が溶けた溶液を吸光光度計を用いて濃度の違いを求めた。

### 【実験結果】



1000倍希釀した溶液を用いた。  
寒天の濃度が小さいものが最も吸光度が大きくなつた。  
それ以外の濃度ではほとんど値が変わらなかつた。

### 4.考察

寒天とアルギン酸ナトリウムとでは実験結果が異なつた。寒天では濃度が大きいほど吸光度が大きく、アルギン酸ナトリウムでは濃度が小さいほど吸光度が大きかつた。一般的に考えて、寒天の結果は不自然である。よって寒天が何らかのはたらきをして肥料の粒子が水中に溶けたと考えられる。よって寒天は被覆材としては適していないと言える。

### 5.おわりに

#### 5.1 結論

環境に優しい被覆肥料を作るために寒天を被覆材として実験を行つた。しかし、濃度が大きいほど吸光度が大きくなり肥料の粒子が流出してしまつた。そこでアルギン酸ナトリウムを被覆材として再度実験を行つた。0%で吸光度が一番大きくなつたため、被覆材としての役割は果たすことがわかつた。

#### 5.2 今後の課題

アルギン酸ナトリウムの濃度が0.5%、1%、2%であり変化がなかつたためどの濃度が一番適するのか研究する。

実際に植物を用いて、市販品の肥料と植物の成長の仕方を比較する。

#### 謝辞

今回、研究案および実験方法の手伝いをしてくださつた探求指導員の返町さんに深く感謝いたします。この研究をより深く彫り詰めていきたいと思います。

#### 参考文献

- [1]被覆肥料の流出機構  
<https://www.jcam-agri.co.jp/series/>
- [2]ルーラル電子図書館  
<https://lib.ruralnet.or.jp/nrpd/#koumoku=16117>
- [3]セントラル化成の農業だより  
北海道における秋まき小麦と晩春まきブロッコリーへのセラコートRの施用法  
[https://central-chemical.co.jp/kitakara/339\\_kitaminami.pdf](https://central-chemical.co.jp/kitakara/339_kitaminami.pdf)
- [4]おもしろ化学実験室～化学反応を使ったカラフルカプセルを作つてみよう～  
[https://www.mirai-kougaku.jp/laboratory/pages/171208\\_02.php](https://www.mirai-kougaku.jp/laboratory/pages/171208_02.php)
- [5]アンモニアーテストワロー  
[https://www.info.pmda.go.jp/tgo/pack/27A2X00125000018\\_A\\_01\\_03/](https://www.info.pmda.go.jp/tgo/pack/27A2X00125000018_A_01_03/)

## 水の浄化と並行した発電 ～日本の環境問題を効率よく解決するには～

M. Y. <科学②>

### 1. 背景と目的

近年、日本では、水質汚濁や、エネルギー不足が問題となっている。一方、微生物を用いた発電が研究されている。今注目されている微生物の一つであるシュワネラ菌は土の中の有機物を分解することで電子を取り出し、その電子を用いて発電が行われる。この微生物を用いた微生物燃料電池が研究されている。また、このシュワネラ菌は嫌気性微生物である。嫌気性微生物は酸素を必要とせず、少ないエネルギー消費で水質を浄化することができる。そこで私は、その微生物を用いて発電と水の浄化を同時にを行うことで、効率よく日本の問題を解決できるのではないかと思い、今回は出力とpHに着目してこの研究を始めた。

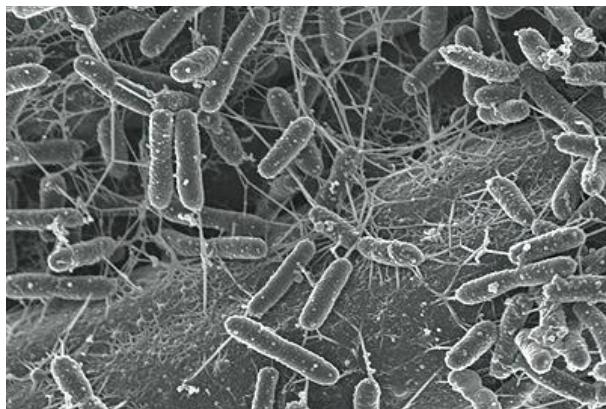


図1. 発電が期待されているシュワネラ菌

### 2. 材料・方法

#### 2.1 装置の作成

○花室川の土1000 gと水1500 gを水槽に入れ、2本の炭素板を片方を土の中、もう一方を水の中に入れた。



図2. 作成した微生物燃料電池

### 2.2 装置の説明

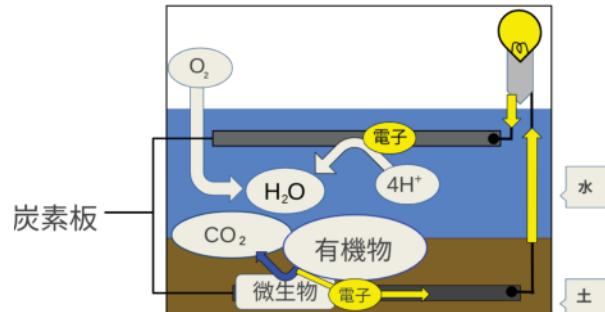


図3. 微生物燃料電池の仕組み

○時間がたつと土側の炭素板に微生物が付着する。その後、土側の炭素板に付着した微生物が有機物を分解して電子を取り出し、その電子によって発電が行われ、その後、電子が水側の炭素板に移動し、水中の水素イオンと空気中の酸素と反応して水となって水中に放出される。

#### 2.3 実験1

○電池にはそれぞれ出力が最も大きくなるときの抵抗の値が存在する。今回は、この電池でどの抵抗値で電池の出力が最も高くなるかを調べるために、テスターと抵抗器(1, 10, 100, 1 K, 10 K, 100 K, 1 MΩ)を用いて、電圧を測り、出力Wを求めた。その後、更に細かい抵抗器(300, 560, 750, 2 K, 3 K, 5.1 KΩ)を用いて同様に電圧、出力を求めた。



図4. 実験1の詳細

#### 2.4 実験2

○この装置は、図3の通り、水中の水素イオンと空気中の酸素分子を消費して、水を生成する。このことから私はこの装置を用いて水素イオンの濃度を下げることでpHの値を上昇させて水質を改善できるのではないかと考えた。そこで、この装置によるpHの値の変化を調べるために、pH緩衝液(酢酸ナトリウム、酢酸、pH4.5)を装置に投入し、水中のpHの値を固定した。その後、一週間ごとにpHの値をpH測定値を用いて測定した。

### 3. 結果

#### 3.1 出力の測定

出力Wと抵抗Ω

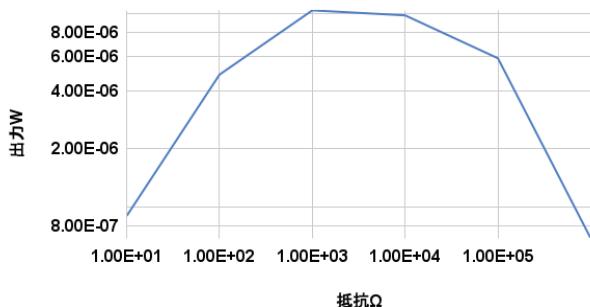


図5. 抵抗と出力の関係(1 Ω～1 MΩ)

この結果から、100 Ω～10 KΩのときに最も出力が高くなると考えた。

出力Ωと出力W

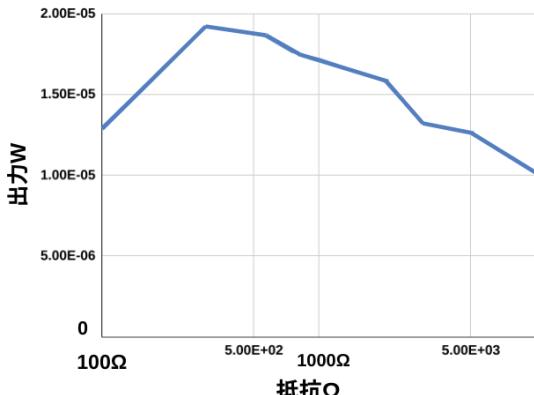


図6. 抵抗と出力の関係(100 Ω～10 KΩ)

結果は上のグラフの通りで、抵抗の値が約300Ωのとき出力が最も高くなかった。

#### 3.2 pHの測定

日付	pH
1日目	4.56
7日目	6.02
14日目	7.45

図7. pHの変化

週ごとにpHの値は7(中性)に近づいていった。

### 4. 考察と今後の課題

結果3.1の図6より、この電池は抵抗値が300Ωあたりで出力が最も高くなかった。このことから、この装置は実際に電池として使用できるということがわかった。しかし、この電池は出力が最大で約1.90E-05(0.0019)Wと低く、今後炭素板の大きさや、土の種類を変えたりするなどして、出力を上げる方法があるかを調べていきたい。

結果3.2の図7より、pHは次第に中性の7に近づいていった。よって、水中の水素イオンの濃度が下がり、装置によって水質が改善されたことがわかった。このことから、この装置は水質浄化のための道具となるかもしれない結論づけた。しかし、結果3.2の表のデータは3日分しかなく、一つの装置でしか行うことができていない。そのため今後は同じ装置を複数作り、更に日数を増やして実験を行いたい。水質汚濁は水中の水素イオンの濃度だけでなく、リンや有機物なども大きく関係している。そのため、今後はpHだけでなく、リンや有機物などについても着目しながら研究を進めていきたい。

2つの結果から、この装置を用いることで発電と水質の浄化を同時にを行うことができた。そのため、この装置は、出力が小さいながらも発電機、浄水器として使用できるかもしれないと考える。今後は発電と浄水を並行して効率を上げる事ができるように、研究を深めていきたい。

#### 謝辞

今回、研究案および実験方法の手伝いをしてくださった探求指導員の返町さんに深く感謝致します。この研究をより深く彫り詰めていきたいと思います。

#### 参考文献

[1]水田の『泥』に住む微生物が電気を作る！？見えてきた微生物燃料電池の実用化。発電と環境浄化が同時にできる「泥の電池」  
<https://www.rikelab.jp/post/3182.html>

[2]微生物が燃料を作る微生物燃料電池！おもしろ科学実験室  
<https://www.mirai-kougaku.jp/laboratory/pages/181012.php>

[3]「微生物燃料電池」を用いた排水処理の実現に向け、微生物発電セルのスケールアップに成功  
<https://www.kurita.co.jp/aboutus/press220120.html>