

トウモロコシ非可食部の搾汁液を利用した

バイオエタノールの減圧蒸留と

バイオ燃料の活用及び家畜飼料製造

実験概要

私はトウモロコシの茎や葉の非可食部からつくられた発酵液のアルコール濃度を高め、純粋なエタノールを精製するための研究を行った。

結果、発酵液を減圧蒸留とモレキュラーシープ実験にてアルコール濃度100%のバイオエタノールを精製することに成功した。その後エタノールで動くエンジンを搭載したバイクを開発した桐生工業高校自動車部と共同で、本研究部が精製したバイオエタノールをバイクの燃料として使用する実験を行い、燃料として活用できることを証明した。

また、飼料実験も担当し、生のままの搾汁残渣と乳酸発酵させたサイレージの2種類を牛に与えたところサイレージを食べるという結果が得られた。このことからトウモロコシの非可食部搾汁残渣はサイレージとして家畜飼料に有効に使用した。

以上のことから、茎や葉からも純粋なエタノールが精製できることがわかり、この方法でトウモロコシの茎や葉から汁を絞りエタノールを製造し燃料として活用すれば、可食部を本来の目的である人間の食糧として活用することができ、燃料問題の緩和と食料問題の緩和の両立ができることを実感した。さらに搾汁後の残渣も家畜飼料としての活用することができ、飼料としての活用が期待できる事がわかった。

群馬県立伊勢崎興陽高等学校

総合学科 いのちと緑を育む系列 植物バイオ研究部3年

首藤 大介

はじめと目的

1 はじめに

私たち人類はその誕生と共に多くの文明を築き、その中で様々な知識や知恵を養ってきた。そしてそれは技術を生み出し、人類は発展の一途をたどった。しかし技術の進歩の過程で、いつからか人類は産みの親でもある地球への配慮を忘れてしまった。

そして21世紀、私たち人類の自己中心的な欲求から生まれた代償である地球温暖化現象。それは自然環境のメカニズムを破壊し続け、ついに私たち人類に対しその矛先を向けた。

2 目的

伊勢崎興陽高等学校植物バイオ研究部では、食糧問題と地球温暖化現象の2つの問題の緩和を目標に、平成20年からトウモロコシの葉や茎である非可食部に着目したバイオエタノールの精製実験を行っている。研究部では20年度、トウモロコシの非可食部を搾汁し搾汁液に含まれる糖をアルコールに変換することに成功し、トウモロコシの非可食部に含まれる糖がアルコール発酵をすることを確認することに成功した。

そこで今年度はこの発酵液のアルコール濃度を高め、純粋なエタノールを精製し燃料へ活用すること、光合成により二酸化炭素を吸収した植物体を燃料とした場合にその二酸化炭素排出量が見かけ上0になるというカーボンニュートラルの原理を実証することを目標に実験を行った。

本実験はトウモロコシという植物体を余すことなく使い切ることを目標に掲げ、可食部は食糧とし、非可食部を今回の研究のメインテーマであるバイオエタノールとして活用し、さらに非可食部の残渣が発生するためそれを乳酸発酵させ家畜の飼料として活用し、地域の家畜農家へ飼料として提供する。最後に、家畜が出した排泄物を堆肥として来年度この研究で再びトウモロコシを栽培する際に活用するという、学校と地域が連携した地産地消による環境保全型持続可能な社会へのサイクルを形成することを目的とする。

アルコールの減圧蒸留、バイオ燃料の活用

1 目的

トウモロコシの非可食部の搾出液のアルコール発酵後はアルコール濃度が約8%であり、これに含まれるエタノールを取り出すため蒸留実験を行った。蒸留は、水の沸点(100)とエタノールの沸点(78.2)の差を利用し、不純物とエタノールを分ける方法である。また、減圧蒸留は、減圧ポンプで発酵液の入った容器の中を減圧状態にすることで、水とエタノールの沸点を下げるができる。これにより通常の蒸留方法と比べ、エタノールを取り出す時間の短縮に繋がるため、この蒸留方法を用いて数回蒸留を行いエタノールの分離と濃度を高めた。さらに、その濃度をより高めるためモレキュラーシーブを利用し、脱水を行った。蒸留した液体がエタノールであることを確かめるため、ヨードホルム反応による定性実験を行い、アルコールであることを確かめた。そして、精製したエタノールを燃料として活用するため、桐生工業高校が開発したエタノールバイクで実験を行った。

本実験では発酵液からエタノールを取り出し、濃度をほぼ100%にし、バイオエタノールを燃料として活用することを目的として、実験に取り組んだ。

2 実施場所及び期間

(1) 実施場所 群馬県立伊勢崎興陽高等学校 植物バイオ実験室

(2) 実施期間 平成21年6月1日～8月11日

3 材料及び方法

(1) 実験材料 発酵液(5L)、減圧蒸留装置、モレキュラーシーブ、エタノールバイク、減圧蒸留装置

(2) 実験方法

減圧蒸留装置の作成

まず始めに冷却機の作成を行った(写真1)。ポリピンの蓋に穴をあけ、チューブを巻き付けた試験管を穴に通し、チューブの出入り口の穴をあけチューブを通した。

次に蒸留鍋の作成を行った(写真2)。直径22cmの家庭用鍋の上にガラスロートをはめ込み、空気が漏れないよう間にシリコンを塗り固めた。ロートの先端にチューブをつなげるため、ピペットチップをとおしてロートとチューブを繋げた。その後また隙間を埋めるためシリコンを塗り固めた。

他にも自作ではないが、作成する上で必要な減圧ポンプ(写真3)、鍋の中の温度を計るための温度計、鍋内の圧力を計るための圧力計などを用意し減圧蒸留装置を作成した(写真4)。

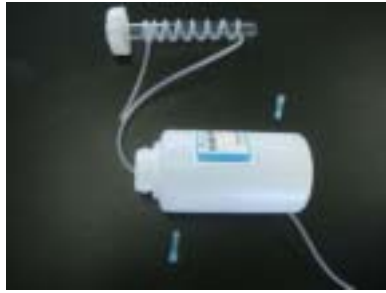


写真1 冷却機



写真2 蒸留鍋



写真3 減圧ポンプ



写真4 蒸留装置

減圧蒸留装置による蒸留

- ア 5 Lの発酵液を蒸留鍋の中に入れ、ガスバーナーで加熱、減圧ポンプで鍋の空気を抜き、減圧状態にした。
- イ 発酵液から取り出したエタノールは濃度が低いため、3回繰り返し蒸留を行うことで濃度を高めた。

結果

蒸留1回目は、発酵液の量が多く、回数を分けて蒸留を行ったため、濃度を特定することができなかったが、2回目は45%、3回目は85%と、濃度を高めることができた。しかし、蒸留でこれ以上濃度を高めることは困難であり、引火の危険性もあったため、100%濃度にすることができなかった。

モレキュラーシーブによる脱水実験

アルコール濃度をより高める方法として、モレキュラーシーブを利用した脱水実験（写真5）を行った。モレキュラーシーブと呼ばれる試薬には水分子を吸着する効果がある。この性質を利用し、残りの水分を吸着させることで濃度を高めた。



写真5 脱水実験

結果

水分を吸着することに成功し、100%濃度のアルコールを精製することに成功した(表1)。

表1 アルコール蒸留の回数別濃度

| | 1回目(%) | 2回目(%) | 3回目(%) | モレキュラーシープ(%) |
|---------|--------|--------|--------|--------------|
| アルコール濃度 | 不明 | 45 | 85 | 100 |

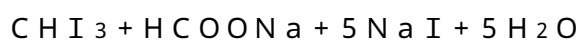
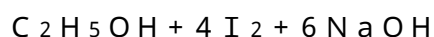
アルコール定性実験

蒸留した液体がアルコールであることを確かめるためヨードホルム反応による定性実験を行った。試験管にヨウ素、0.1規定の水酸化ナトリウム水溶液を入れ加熱し、反応を確かめた。



写真6 変色した薬液

化学式



結果

試験管の薬液が濃い黄色に変色した(写真6)。ヨウ素がアルコールと反応したために変色し、ヨードホルム反応特有の臭気がした。よって発酵液がアルコールであることがわかった。

桐生工業高校エタノールバイク

桐生工業高校自動車部がバイオエタノールで動くバイク(写真7)の開発に成功したということを知った。そこで桐生工業高校に行き、詳しい話を聞くことにした。そして、バイオエタノールの入手ルートがまだ見つからないことを聞いた。そこで、本研究部が造っているバイオエタノールを燃料に使って頂けるか桐生工業自動車部員に相談したところ、快く承諾してくださり、協同研究という形で研究を進めていくことになった。



写真7 バイオエタノールで動くバイク

結果

ほぼ100%のバイオエタノール27mlとハイオクガソリン27mlで、50%の混合状態で使用したところ(写真8、9、10)エンジンが起動し、後輪の回転を確認することができ、バイク実験は成功し、バイオエタノールを燃料として活用することを実証できた。



写真8 バイオ燃料混合



写真9 混合した燃料



写真10 バイオ燃料

4 今後の課題

今回の実験では精製したエタノールよりもその過程で使用したエネルギーの方が多くなってしまったので、作業の効率化を計る。また今回のエタノールバイクの始動実験では、50%の混合割合で行ったが、この割合では燃料の消費が激しいため今後も協同研究を続け、燃費の高い混合割合を開発することが今後の課題として挙げられる。

搾汁残渣（サイレージ）活用

1 目的

バイオエタノール製造実験において残った植物体は飼料として活用するため、サイレージの製造を行なった。搾汁した際に残った植物体は校内で保存し、発酵させたものを家畜用飼料として利用することにした。このサイレージを家畜が実際に食べてくれるかを調べるために、自営牧場で家畜を管理しているという本校職員の鹿沼先生にこの実験の依頼をし、特別に協力していただくことになった。本実験では、完成したサイレージを数頭の牛に与え、食べてくれるかを調べると同時に、サイレージと比較をするための実験として、トウモロコシの非可食部を裁断しただけのものを用意し、牛1頭につき2種類の飼料を同時に与えて、先にどちらを食べてくれるのかも調べ、飼料としての価値、及び実用性があるかを調査することにした。

2 実施場所及び期間

(1) 場所 生物工学実験室及び校内農業施設

(2) 期間 平成21年6月1日～平成21年7月23日

3 材料及び方法

(1) 実験材料

トウモロコシ (*zea mays*) 品種 (甘えん坊、ピーターコーン)

(2) 実験方法

サイレージ作成方法～実験準備

トウモロコシ収穫後の非食部を裁断機で細かく砕き(写真11)、砕いた非食部は搾汁器で植物液を絞り出す(写真12)。絞り出した後の非食部は残渣として利用するため、袋に入れ、掃除機を使って中の空気を完全に抜いた状態で常温保存をする(写真13, 14)。しばらくして発酵しているかどうか、その様子を観察しながら発酵を終えるまで更に常温で保存を続ける。

実験当日に、トウモロコシの非食部を伐採し、裁断機にかけて裁断しただけのものを学校で用意しておく。その後、牧場にて和牛5頭、ホルスタイン5頭にサイレージと裁断しただけのものを同時に与える。



写真 1 1 植物体裁断の様子



写真 1 2 搾汁の様子



写真 1 3 脱気作業中



写真 1 4 脱気作業後

家畜飼料実験

裁断したトウモロコシの茎葉を圧縮し、汁を取ったトウモロコシの茎葉はそのまま処分するのではなく、残渣として活用する。脱気した後にしばらく保存したこの残渣は良好に発酵し、次第に乳酸香気があらわれるようになった。

この乳酸発酵したサイレージを家畜の飼料として利用できないかと考え、本校職員の鹿沼先生に協力して頂き、和牛、ホルスタイン（どちらも5頭ずつ）の飼料実験に使用させて頂いた。今回は、乳酸発酵が終わったサイレージと、新鮮裁断飼料の2種類を用意し（写真15，16）和牛5頭とホルスタイン5頭にそれぞれ2種類の飼料を同時に与えてみる実験を行った。



写真 1 5 新鮮裁断飼料



写真 1 6 乳酸発酵したサイレージ

4 結果及び考察

(1) 結果

家畜飼料実験は、和牛5頭、ホルスタイン5頭に2種類の飼料を同時に与えた。結果、和牛は2頭がサイレージを食べ、別の2頭が非可食部を裁断しただけのものを食べた(写真17)。残りの1頭は先に新鮮裁断飼料を一口だけ食べ、その直後にサイレージを多く食べた。

ホルスタインは5頭中、5頭全部が発酵したサイレージを食べたが(写真18)、その中の1頭は新鮮裁断飼料を先に口に入れたが吐き出し、その後に発酵サイレージの方を食べるといった行動が見られた。ほとんどの牛がサイレージの方を好んで食べたことから、植物体から製造したサイレージは、飼料としての価値、及び実用性があるということが分かった。

(2) 考察

この実験から、普通なら処分されてしまうトウモロコシの植物体も、家畜の飼料として有効に活用できるという結果が出た。

しかし、今回の実験で使用した乳牛と肉牛はそれほど多くのサイレージを食べてくれたわけではなく、2~3口ほど食べた後はほとんどの牛がサイレージを口にしなくなってしまった。普段は牧草を発酵させ、乾燥させたものを牛に食べてさせているため、今回使用したサイレージを与えた際は、牧草とサイレージは味が異なるため、普段食べているものと違う味だと牛が認識したのと同時に、牛が牧草ではないと判断して驚いたために食べなくなってしまったのではないかと考えられる。



写真17 新鮮裁断飼料を食べる和牛



写真18 サイレージを食べる

ホルスタイン

まとめ

本研究にて、一般では処分されるトウモロコシの非可食部に着目し、茎や葉からの搾出液をアルコール発酵させ蒸留し、さらに発酵液に含まれる微量の水分をモレキュラーシーブを用いアルコール濃度100%のエタノールを精製することに成功した。そして精製したエタノールを桐生工業高校自動車部が開発した、エタノールを燃料とするエンジンを搭載したバイクを使用し、燃料としての始動実験を行った。結果、ガソリンと混合したものではあるがエンジンを始動させることに成功し、トウモロコシの非可食部から精製した純粋なバイオエタノールを燃料として活用できること証明することができた。

以上のことから、植物体搾汁後の残渣を飼料として活用し、当初の目標であるトウモロコシの植物体を余すことなく使い切ることができ、地産地消による環境保全型持続可能な社会へのサイクルの環境を整えることに成功した。

反省・感想

実験当初、私はトウモロコシの非可食部搾汁液をアルコール発酵液にすることは可能でも純粋なエタノールを精製することは少々困難になると考えていた。しかし、様々な実験を行うにつれて少しずつ希望が見え始めモレキュラーシーブ実験にて発酵液をアルコール濃度100%にすることができた際は、大きな感動を覚えた。困難に対する努力を続けたことが、この成功に繋がったと考えている。

今回のこの研究を今後より進展させ、地球温暖化をはじめとする現在の地球における、深刻な環境問題改善へ向けて貢献したいと考えている。

謝辞

本研究の実験は、平成21年6月1日から平成21年8月11日にわたり行ったものであり、その間ご指導いただいた松島真史先生に謹んで感謝をいたします。また、家畜飼料実験で快く飼育牛をご提供いただいた鹿沼牧場様、その他の先生方にお礼を申し上げます。

参考文献

平成18年度植物バイオ関係課題研究資料 群馬県立伊勢崎興陽高等学校
平成20年度報告書

「トウモロコシの幹を利用したバイオエタノールの生成と家畜飼料の製造」

「新制 チャート式シリーズ 新化学I B・II」 野村祐次郎、小林正光、上地眞一
鈴木啓介