

日産科学振興財団 理科／環境教育助成 成果報告書

回次：第 **4** 回 助成期間：平成 **19** 年11月1日～平成 **20** 年10月31日（期間 **1** 年間）
 テーマ： 甜菜バイオエタノールをつくる
 氏名： 中野英之 所属： 獨協埼玉中学高等学校 登録番号： 07297

1. 課題の主旨

近年、化石燃料の代替エネルギーとして、バイオエタノールが注目されている。再生可能でCO₂ニュートラルであるといったバイオエタノールの長所は広く認識されるようになった一方で、バイオエタノールの問題点についての生徒の理解は不十分であるという指摘がされている。バイオエタノールの長所や短所を理解するためには、バイオエタノールの原料となる作物がどのように生産され、どのような工程を経てエタノールに変換されるのかを生徒が実際に体験することが効果的である。そこで、バイオエタノールの原料となる甜菜の栽培から、バイオエタノールの製造までの一連の工程を生徒に体験させる教育実践を行った。

2. 準備

本教育実践は①甜菜の栽培、②甜菜搾汁液の発酵、③発酵液の蒸留の3つの柱から構成される。実習方法の詳細については、4. 実践内容で触れる。ここでは、甜菜の栽培および、甜菜搾汁液の発酵に用いる発酵槽の作製について述べる。

[甜菜の栽培] バイオエタノールの原料は、大きくデンプン質原料と糖質原料に分けることができる。このうち、糖質原料はデンプン質原料に比べて糖化の作業を省略でき、エタノール製造工程が単純である。糖質原料にはサトウキビと甜菜が主に用いられるが、サトウキビは関東地方では栽培が困難なため、甜菜を栽培することにした。北海道で栽培される甜菜2種類（フルーデンR、スタウト）を学校内に整備した圃場で栽培した。5月上旬に育苗ポットに甜菜種子を播種し、5月下旬に圃場に移植した。9月上旬に甜菜を収穫した。



収穫した甜菜

[甜菜搾汁液の発酵] バイオエタノールは甜菜搾汁液を発酵・蒸留して得られる。搾汁液を発酵させるための大型の発酵槽を作製した。発酵槽は木製であり、全クラス分の搾汁液を同時に発酵させることができる広さがある。恒温器の蓋にはコタツ用のヒーターを2台取り付け、蓋の開閉状態を調節することにより内部の温度調節を行った。



作製した恒温器

3. 指導方法

[甜菜の栽培] 5月下旬に生徒が甜菜の幼苗を圃場に移植した。育苗ポットから圃場に移植する際の注意点などを説明した。理科の授業で時間にゆとりがあるときに生徒を連れ甜菜の生育状況をチェックさせた。

[甜菜搾汁液の発酵・蒸留] アルギン酸ナトリウムを用いた酵母菌固定法の方法について詳細な指導を行った。蒸留法については中学2年次に全生徒が行っているため、重要と思われる注意事項の確認に留めた。

4. 実践内容

対象となる生徒は、勤務校に在籍する中学3年生5クラス、約170名である。1クラスを7班に分け教育実践を行った。2007年度は物理分野のエネルギーの単元で、2008年度は生物分野の生態系の単元で本教育実践を行った。2007年度は3学期に搾汁液の発酵・蒸留を行ったので、甜菜を収穫後、冷凍保存をした。実践の全体的な流れは両年度とも同じであるため、以下に2007年度の実践内容について報告する。

【甜菜の栽培(5月～9月)】甜菜幼苗の圃場への移植、甜菜の生育状況の確認、甜菜の収穫を行う。

【搾汁液の発酵(2月)】

搾汁液の発酵:解凍した甜菜をおろし器ですりおろし、ボールに移す。布巾ですりおろした甜菜を搾り、搾汁液を得る。搾汁液の糖度をデジタル糖度計で測定したのち、フラスコに移す。このフラスコに別途作製した酵母菌固定化ゲル(アルギン酸ナトリウム水溶液に酵母菌を混ぜ、塩化カルシウム水溶液に滴下して作製)を入れる。ゲルを入れたフラスコを恒温器(37℃)に入れ、2日間発酵させる。



酵母菌固定化ゲル

【発酵液の蒸留(2月～3月)】

発酵液の糖度をデジタル糖度計で測定したのち、発酵液100 mLを枝付フラスコに移し、蒸留を行う。

約93℃に達した段階で加熱を中止する。試験管に溜まったエタノールの体積をメスシリンダーで測定後、蒸発皿に移し着火実験を行う。



蒸留の様子



得られたエタノール

5. 成果・効果

収穫した甜菜の30-40%が搾汁液として取り出せ、搾汁液を発酵させて、1-7 mL程度のエタノールを蒸留法で得ることができた。大部分の班は取り出したエタノールの着火実験に成功した。搾汁液の糖度が発酵前後で17%から4%程度に低下していることから、糖が酵母菌の作用により、エタノールに変換されていることを確認できた。実験後、実際に取り出したエタノールは予想よりも多かったかどうかを質問紙法で生徒に質問したところ、約80%の生徒が少なかったと答え、多くの手間をかけても、得られるエタノールの量は僅かであることに驚いた生徒が多かったようである。また、バイオエタノールの製造工程で投入されるエネルギーを挙げさせたところ、農作業で使われるエネルギー、蒸留時のガスバーナーの熱、発酵槽の加熱に使われるエネルギーなど、多くの項目を挙げることができた。エタノールの製造工程でどのような場面でどのようなエネルギーが使われるのか、生徒が体験を通して肌で感じ取ることができた。実験後、自由に生徒に書かせた感想文の中には、「畑は食べ物をつくる場所であり、もっと利用価値の少ない植物からバイオエタノールがつくれないか」「甜菜の搾りかすをもっと有効に利用できないか」「荒地を甜菜畑にする」などの意見もみられた。また、実験後に行ったアンケートでは、本実験は面白かったかという点については95%以上の生徒が、この実験がバイオエタノールの理解に役立ったかという点については90%以上の生徒が肯定的な回答をした。総合的にみて、次の教育効果が得られた。①エネルギーや環境問題についての理解と興味を深めることができた。②バイオエタノールの長所と短所について実験を通して理解を深めることができた。③班で協力しながら楽しく実験を行うことができた。

6. 所 感

本教育実践を通して、楽しく実験をしながらバイオエタノールの長所や短所について理解を深めることができた。また、再生可能なエネルギーであっても、そのエネルギーの製造過程では多くのエネルギーが投入されていることを肌で生徒が体験できたことは大きな成果である。本教育実践でおこなった実験技術も生物・化学にまたがっており、中学3年生の最後に行う実験としても良い復習となったようである。

7. 今後の課題や発展性について

本教育実践は理科の授業内で行ったため、時間的な制約が大きく、生徒に甜菜の栽培管理をさせる十分な時間的なゆとりがなかった。本教育実践は総合学習の一貫として実施するほうが、実習時間の確保もしやすく、より深い教育実践ができると思われる。また、理科の授業内で実施する際は、授業進度との兼ね合いも問題となる。1年目の教育実践では中学3年の物理分野の学習(エネルギーの単元)の一貫で本教育実践を行った。エネルギーの学習は3学期に行く。甜菜は夏に収穫するため、実験で使用するまで、収穫した甜菜を冷凍保存しなければならなかった。教育効果を高めるためには、収穫後直ちに発酵・蒸留の工程に入るのが望ましい。新学習指導要領では、学年毎の学習進度は学校ごとに定めることができるようになるので、甜菜の栽培スケジュールに合わせた授業展開ができるようになるであろう。

将来的には、甜菜のような糖質原料だけでなく、落葉や雑草などのセルロース系原料の利用や、その土地独自の原材料を用いるなど、発展性は高い。蒸留のための熱源に太陽光を利用するなど、バイオエタノールを製造するためのエネルギー投入量を減らす工夫を取り入れることもできるだろう。

8. 発表論文、投稿記事、メディアなどの掲載記事

[論文]

1. 中野英之, 甜菜バイオエタノールの教材化, エネルギー環境教育研究, 第2巻, 第2号, p.59-63, 2008.
2. 中野英之, 中学校におけるエネルギー学習のための甜菜バイオエタノールづくり, エネルギー環境教育研究, 第3巻, 第1号, p.57-62, 2008(印刷中).

[口頭発表]

1. 中野英之, 甜菜栽培を通して学習するバイオマスエネルギー, 日本理科教育学会東北支部第46回研究大会, 岩手大学, 2007.
2. 中野英之, 甜菜バイオエタノールづくりで考えるエネルギー環境問題, 日本エネルギー環境教育学会第3回全国大会, 常葉学園大学, 2008.
3. 中野英之, 甜菜バイオエタノールづくりで考える地球環境問題, 日本地学教育学会第62回全国大会, 東京学芸大学, 2008.