

スイートソルガムを用いたバイオエタノールの合成

Synthesis of Biomass Ethanol from Sweet Sorghum

山田 緑*・矢野 慎*・杉本 将英*

小野寺美佳*・肥田野 豊**・長南 幸安*

Midori YAMADA*・Makoto YANO*・Masahide SUGIMOTO*

Mika ONODERA*・Yutaka HIDANO**・Yukiyasu CHOUNAN*

要 旨

近年、化石燃料の代替エネルギーが注目されている。その中でもカーボンニュートラルの観点からバイオマスエネルギーが注目されている。しかし、それらの原料になるサトウキビやトウモロコシは熱帯地方で食糧と競合し農産物の価格高騰を招いているという問題がある。そこで本研究では日本でも栽培できるスイートソルガムを原料とし効率的なバイオエタノールの合成方法の検討を行った。バイオエタノールの合成には搾汁液に高い糖度が必要であるが今回供試したハイグレンソルゴーは他品種より糖度が低く蒸留してもエタノールを抽出することができず、砂糖で糖度を上げることによりエタノールを得ることができた。今後は糖度の高い品種を用い簡単に処理する方法や発酵条件を検討していく必要がある。

Key Words：スイートソルガム・バイオエタノール・環境問題

はじめに

近年バイオマスエネルギーは、枯渇性資源である化石燃料を代替する非枯渇性資源として注目されている。バイオマスエネルギーとは生物体（バイオマス）の持つエネルギーを利用したアルコール燃料や合成ガスのことである¹⁾。これらのエネルギーは、カーボンニュートラルの観点から大気中の二酸化炭素を吸収し、固定している植物によって生産されたバイオマスエネルギーが燃やされるなどして二酸化炭素が発生しても大気中に戻るだけで、大気中の二酸化炭素の増減に影響を与えないため地球規模で見た二酸化炭素のバランスを壊さないクリーンエネルギーといわれ注目されている¹⁾。特にエネルギー資源の大部分を他国からの輸入に依存している日本では、国内で生産が可能な作物をエネルギー資源とするので期待されている²⁾。

このようにバイオマスエネルギーの特性として長所がある一方で、バイオエタノールの原料としてサトウキビやトウモロコシが用いられ食糧と競合し世界的な食物の物価高騰の原因になっていることや、エネ

ギーレベルが低く、また植物を原料とするので季節によって供給量に変動性があるなどの短所もある。

学習指導要領の改訂により環境教育の充実が強調される中で、このようなエネルギー・環境問題について生徒の理解が不十分であると指摘されている⁵⁾。本研究では身近な材料でできるバイオエタノールに注目し環境教育に取り組む。実感を伴った理解から一人一人が主体的に考え、行動に移す教育が必要だとされていることからバイオマスエネルギーの長所や短所を理解するためにはバイオマス植物からエネルギーが生産される工程を実際に体験することが効果的だと考える。

このような背景の下、日本でも簡単に栽培でき食糧と競合しない材料に注目して、効率的なバイオエタノールの合成方法の検討の経過を以下に報告する。

バイオエタノールの合成方法

1) 材料の選定

バイオエタノールの合成材料として本研究ではスイートソルガムを使用した。スイートソルガムは他の多くのバイオマス作物と異なり、比較的低温に強く、

* 弘前大学教育学部理科教育講座

Department of Natural Science, Faculty of Education, Hirosaki University

** 弘前大学教育学部技術教育講座

Department of Technology, Faculty of Education, Hirosaki University

日本でも栽培が可能である。さらに生育期間も約4～5ヶ月と非常に育てやすい。よって、バイオエタノールの合成に適切な材料であると考ええる。また、食用作物として利用されていないので食糧生産や経済と競合する懸念がない。そのような糖質原料であるスイートソルガムを搾汁液にし直接発酵させ蒸留、精製することでバイオエタノールを製造することができる¹⁾。茎にサトウキビと同程度の糖度を蓄積し10%以上の糖度を搾汁液に含み、品種によっては20%程度の高い糖度を搾汁液に含むことが確認されている⁶⁾。

本研究においては弘前大学千年農場にて栽培したスイートソルガムの「ハイグレンソルゴー」(早生種)を使用した。種子は雪印種苗株式会社の市販品を用いた。以下の表に示すように、スイートソルガムには他にも「高糖分ソルゴー」(中晩生種)や「ビッグシュガーソルゴー」(極晩生種)などがあり、「ハイグレンソルゴー」より高い糖度が含まれていることがわかっているが⁶⁾、茎が太く非常に粉碎処理が難しい。スイートソルガムの品種を選択するにあたって、実験を取り入れる授業で扱うという視点から、比較的、粉碎処理が簡単で、短い期間で生育する「ハイグレンソルゴー」(早生種)を選んだ。

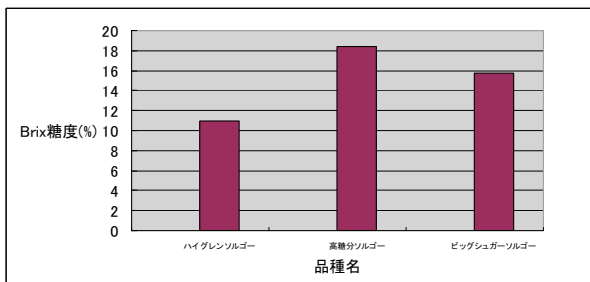


表1 スイートソルガムの品種別糖度

2) スイートソルガムの量と糖度

水に溶かすことのできるスイートソルガムの量は100 mLに対して50 g～75 gが限界である。本来スイートソルガム(ハイグレンソルゴー)に含まれる約10%の糖度は水に溶かすことにより約5%まで低下してしまう。しかしエタノールの合成には高い糖度が必要である。そこで糖度を上げるためにスイートソルガム25 gを溶かした液体100 mLをガーゼで濾し、さらにその液体に25 gのスイートソルガムを溶かし、再び濾すことを繰り返し、糖度の変化を測定した。

スイートソルガムを水100 mLに25 g溶かしたときの糖度は2.5%であったが溶かす量が多くなれば多くなるほど糖度は上がり300 g溶かしたときには約8%であった。更に溶かしてもその後は糖度が上がらな

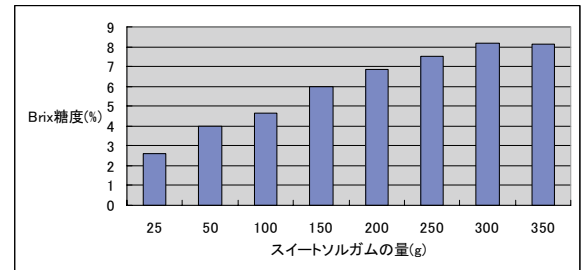


表2 スイートソルガムの量と Brix 糖度

かったが、本来スイートソルガム(ハイグレンソルゴー)の茎に含まれる約10%と同等の糖度まで上げられることがわかる。

3) アルコール発酵と糖度測定

アルコール発酵は酸素を使わない嫌気条件でのみ進行し、酸素があるとピルビン酸を完全に分解して水と二酸化炭素に変えるが、パン酵母などを使用した場合、酸素があっても発酵を好むため、発酵条件によっては好気条件でもエタノールを生産することができる。1分子のグルコースからエタノールと二酸化炭素が2分子ずつでき、糖の約半分がエタノールとして生成される。また酵母による発酵の結果、糖度計による計測糖度の値の約半分の値のアルコールが生成される⁸⁾。

スイートソルガムは1個体に約100 gの糖を含み、1個体から生産可能なエタノールは約55～60 mLである。また茎には約10～20%の糖が含まれるので、うまくいけば5～10%のエタノールが生成できることがわかる¹⁾。

そこで、スイートソルガムを用いてエタノールを合成するにあたり、エタノールの収率を上げるために、発酵条件を検討する必要がある。本研究では、①温度、②酵母の量、③発酵日数この3つに注目し、最適な反応条件を検討した。発酵が進んでいることは、デジタル糖度計で発酵液の糖度を定期的に測定し、糖度が低下していることで、糖が酵母菌の作用により、エタノールに変換しているとした。

まずドライイーストの量の違いによる発酵中の糖度を定期的に測定した結果である。水100 mLにスイートソルガム100 g, 200 g, 300 g溶かし、それぞれドライイーストを混入させない処理区、1.0 g, 2.0 g, 3.0 g混入させる処理区を設けた。室温における発酵中の糖度変化を測定した結果を(表3, 4, 5)に、恒温槽(40℃)における発酵中の糖度変化を測定した結果を(表6, 7, 8)に示す。初期糖度が200 g, 300 gの処理区でほぼ同じであった。これは茎全体で約10%の糖度を含んでいるが、収穫時期によって糖度は変化

し、また節によって含まれる糖度は違うのでそのことが関係しているのではないかと考えられる。糖度は、室温で発酵した場合半日～2日間かけて約1%, 恒温槽で発酵した場合2～2時間半かけて約2%程度下がった。また室温において自然発酵の場合糖度変化はほとんどなかった。ドライイーストの量を1.0～3.0 gと変えて処理区を設けたが、この3つの処理区においてドライイーストの量の違いでは実験結果に大きな差は見られなかった。恒温槽を使用した場合もドライイースト無混入区はほとんど糖度の変化がなかった。しかし、ドライイーストの量は1.0～3.0 gの中で量が多い程発酵は早く進み、より糖度が低下した。よって、温度は恒温槽を用いて40℃に保ち、ドライイーストは3.0g 混入で発酵時間は2～2.5時間程度で十分だといえる。

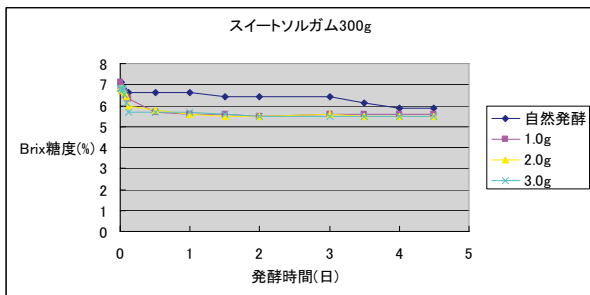


表3 実験結果 (室温)

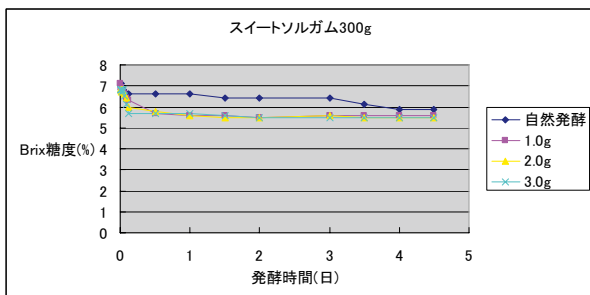


表4 実験結果 (恒温槽40℃)

4) 蒸留

本研究では、2) の搾汁液200 mL に溶かし、ドライイースト6 gを加え、恒温槽の中で約40℃に保ち発



図1 実験結果 (恒温槽40℃)

酵させてできた発酵液を使用した。200 mL の枝付きフラスコに発酵液を濾過した濾液を入れ、図のような装置を組み立て、ガスバーナーで穏やかに加熱し、出てくる気体を氷水に入れた試験管の中に集めた。試験管に得られたエタノールをそれぞれ濾紙に含ませ、着火実験を行った。

考 察

得られた蒸留物は、濾紙に含ませ着火実験を行ったが火がつかずエタノールと確認することができなかった。糖穂変化は初期糖度が約8%, 終了糖度が約5%であり初期糖度が低く、また完全に糖がアルコールに変換できていない為だと考えられる。そこで、8%まで糖度を上げた搾汁液に砂糖を加え約15%まで糖度を上げ、発酵させた液体を蒸留したところ抽出物での着火実験は成功し、エタノールと確認することができた。また温度、酵母の量、発酵日数に注目してアルコール発酵の検討を行い、温度は約40℃、発酵日数は数時間程度で十分であることがわかった。しかし、本研究では搾汁液の糖度を十分に上げることができず市販の砂糖も使用して実験を行っている。発酵によって糖度が完全にアルコールに変換していないことから、今後は発酵の最適条件の検討として、最適 pH や酸素濃度を考え、またバイオリアクターを加えることも検討し、スイートソルガムのみの糖分でバイオエタノールの合成をしたいと考える。

結 言

本研究は、スイートソルガムを用いた効率的なバイオエタノールの合成方法の研究を目的として行っている。今回材料としたハイグレンソルゴーは他のスイートソルガムの品種よりも糖度が低い。茎が細いので処理は簡単であるので使用したがバイオエタノールの合成には高い糖度が必要である。茎が太い品種でも簡単に処理する方法や、水に溶かさずに、茎に含まれる高い糖度をそのまま搾汁液にできる方法を検討することが大きな課題になるといえる。

また発酵条件に関しても、室温・恒温槽において共に期待していたほど糖度の低下が見られなかったことより再考の余地があると考えられる。ドライイーストの効果が思ったほど見られなかったことから、ドライイーストだけを水に溶かすと、吸水のダメージにより、酵母の30～50%が死滅するといわれているのであらかじめドライイーストをスクロースと反応させておくことにより酵母の死滅を防がなければいけないと考

えられる。また、本実験では温度、酵母の量に注目し実験を行ったが、この他にも発酵にとって良い条件として、発酵環境を中性付近の pH 6~8 に保つこと、酸素を適した濃度に維持することなどが挙げられるので pH、酸素濃度にも注目して今後も発酵条件を検討していく必要がある。

今後はこの研究を応用し身近な材料を用いて、身の回りのものでエネルギーを生産できるという教材に発展させていきたい。実感を伴った理解を得ることができる体験活動であり、また時間をかけて栽培し、発酵、蒸留と手間をかけても得られるバイオエタノールはわずかである。このことから食糧と競合しない植物から環境にやさしいバイオマスエネルギーが得られるというメリット、またエネルギーを作ることの難しさ、バイオマスエネルギーができるまでにも多くのエネルギーが必要とされるなどのデメリットを考察し、自分にできることは何か、自ら考え行動に移す力を育てることができるのではないかと考える。化学のみではなく理科の各教科、社会問題についても考察できる総合的な教材になると期待できる。栽培、発酵、蒸留などの工程を経てバイオエタノールを抽出し、着火実験によりエタノールであることを確認することは、非常に中学生の興味深くと考えられるので課題を解決しスィートソルガムなどの糖度からバイオエタノールを抽出できる実験方法を検討していきたいと考える。

参考文献・参考 URL

- (1) 協和発酵工業（株）（2008） 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
- (2) 星川 清親（1982） バイオマスエネルギーの利用 -「スィートソルガムによるバイオマス国産計画」生物の科学遺伝 vol.36 No. 4
- (3) 星川 清親（1980） 新編 食用作物 第9章モロコシ 東京株式会社 養賢堂
- (4) 藤巻 宏（1998） 地域生物資源活用大辞典 農山漁村文化協会
- (5) 川守 理己（2007） 「青森県における中学生のエネルギー・環境教育に関する基礎的研究 第3章」弘前大学 修士論文
- (6) 山田 裕也（2008） 「スィートソルガムの栽培に関する研究」 弘前大学 卒業論文
- (7) 新岡 卓也（2004） 「青森県におけるスィートソルガムの栽培に関する研究」 弘前大学 卒業論文
- (8) 協和発酵工業(株)（2008）トコトンやさしい発酵の本 日刊工業新聞社
- (9) 前川哲也（2003） 化学と教育 「蒸留でエタノールを取り出す」 51巻4号

(2010. 8. 9 受理)