

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00959

研究課題名(和文) スイートソルガムを素材としたカーボンニュートラル概念の獲得教材の開発

研究課題名(英文) Development of the Teaching Materials for Learning the Carbon Neutral Concept Using the Sweet Sorghum

研究代表者

長南 幸安 (CHOUNAN, Yukiyasu)

弘前大学・教育学部・教授

研究者番号：30250674

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：現行の教科書調査と、バイオエタノールの現地調査を行い、教材に適したスイートソルガムの選定を行った。その結果、品種は高糖分ソルゴーが適していること、播種時期は5月、収穫時期は11月が適していることを明らかに出来た。栽培方法については、学校現場では袋栽培が適していることがわかった。次に、学校現場での教材について、スイートソルガムの搾汁にはミキサーを用いる方法で搾汁器と同等の液量が得られることがわかった。また器具として、ディスポーサブルシリンジが有用であることも見出した。本教材の期待される授業効果の検証のため、授業実践を行った。アンケートの結果、期待される授業効果が見られる教材の開発が出来た。

研究成果の概要(英文)：We investigated into current textbook and about the field of the bioethanol. We have chosen the sweet sorghum suitable for the teaching materials. As a result, we have cleared that high sugar sorghum is the best kind, the best seeding time is in May and the best crop time is in November. We suggested that the cultivation with bag was suitable in school as the cultivating method. Then, we found that the liquid quantity by a juice device was equal to that by a mixer about juice of the sweet sorghum. In addition, we found that disposal syringe was useful. We practiced it in classroom for the inspection of the effect of these teaching materials. As a result of questionnaire, we developed the useful teaching materials for learning the carbon neutral concept using the sweet sorghum

研究分野：化学教育

キーワード：カーボンニュートラル バイオエタノール スイートソルガム バイオマス アルコール発酵 エネルギー教育 環境教育 寒冷地

1. 研究開始当初の背景

化石燃料の枯渇と二酸化炭素の増加による地球温暖化の懸念により、カーボンニュートラルの概念に適したバイオマスの活用が有効と考えられている。

このバイオマス作物の候補としては、キャッサバやサトウキビなどの熱帯植物が当時において主流であり、日本では沖縄などの一部を除いて栽培が不可能である。しかし今回使用するスイートソルガムは温帯で栽培可能であるため、日本のほとんどの地域で栽培することが出来る。ソルガムを原材料としたバイオエタノールの生成は、食料としての競合の心配が少なく、またサトウキビと同じく茎に糖を蓄積するため、エタノールを生成する際の糖化处理が不要であるという利点がある。しかし我が国におけるソルガムの栽培に関する知見は子実型ソルガムとソルゴー型ソルガムを対象に粗飼料およびクリーニングクroppとしての利用を想定したもので、スイートソルガム(砂糖モロコシ)に関する知見は少ない。本申請者は播種後4~5ヶ月の間で収穫し、その茎の搾汁に含まれる糖度を計測したところ、5ヶ月前後に収穫したもので糖度が高くなることを明らかにしていた。しかし、播種後同化によって茎に蓄積した糖は、幼穂発育期~登熟期(生殖成長期)にエネルギーとして消費されることが容易に推察されるものの、どのような生育ステージで収穫すれば糖を効率よく回収できるのかは明らかではない。また単位あたり糖含量が高くてもバイオマスとしての総量が小さければ得られる糖全量は上がらない。そこで当研究ではソルガムの生育特性を鑑み、スイートソルガムをどのような作型で栽培・収穫すれば、糖全量(単位あたり含有量×総茎量)がもっとも大きくなるかを明らかにすることを目的とした。

申請者は、バイオマス資源として「スイートソルガム」の活用を研究している。スイートソルガムは、イネ科のモロコシ属の植物であり、以下の特徴を持つ。

1. 形状はサトウキビに類似
2. 幹の糖を蓄積
3. 温帯で生育可能
4. 120日程度で収穫可能

特に幹に糖を蓄積することから、サトウキビと同様に砂糖の原料としての利用がかつて検討されたが、スイートソルガムから取り出した糖は固体にならず液状のままであり、固体の形状が必要な砂糖としては産業化されなかった。スイートソルガムの糖含有量はサトウキビと同等である。よってサトウキビがバイオエタノール原料のエネルギー作物として考えられているように、砂糖の原料としては不適だったスイートソルガムでもバイオエタノールの原料としては申し分ない。以上の点から、スイートソルガムはエネルギー作物としての価値は以前より指摘されていた。特にバイオエタノールなどバイオマ

スエネルギーは、生産や製造コストの面で、原子力発電にはかなわないと考えられてきた。しかし東日本大震災において発生した原子力発電の事故により、風力や地熱、太陽エネルギーなど再生可能エネルギーへの関心・興味が高まっている。合わせてスイートソルガムは、実現可能なバイオエタノール源として研究されており、宇都宮大学では試験的にE03・E10を実施している。学習指導要領においても、環境教育やエネルギー教育が前回以上に重視されている。バイオマス作物として日本で教材化されているものは、サトウキビやテンサイなどである。サトウキビは北限があり日本全国で栽培できない。テンサイは亜寒帯作物なので基本的に日本全国で栽培は可能であるが、気温が高いところでは糖分の収量が低下する。

このように現在教材化されているものには、一長一短がありベストと呼べるものはない。

スイートソルガムは、当時は教材化はされていなかった。従来の教材化されているバイオマス作物と比較し、現実的な環境問題を考える教材としての可能性を探求したいと考えている。研究を進める上で、申請者は申請テーマに関して以下の予備調査および研究結果を得ていた。

- (1) 青森県(中南地区)においてもスイートソルガムが栽培可能であること(長南他、2010年~)
- (2) 青森県で栽培したスイートソルガムでも、糖含有量はサトウキビと同じ程度(10%前後)(長南他、2010年~)
- (3) スイートソルガムの絞り汁を用いた発酵条件の検討(長南他、2010年~)
- (4) 教材化に適した種類の選定作業(2011年~)

2. 研究の目的

本研究の目的は、申請者らが研究を進めているバイオエタノール源として寒冷地でも栽培可能な「スイートソルガム」を素材に、弘前の地において、スイートソルガムから糖を得るために適した作型を明らかにすることである。続いて環境教育の一環としてカーボンニュートラルを学習・獲得できるような教材として開発することである。

3. 研究の方法

スイートソルガムをカーボンニュートラルの教材化するために、本研究計画では以下の研究項目を予定していた。

- 1) スイートソルガムの教材化に向けた情報や方法を収集する。
- 2) スイートソルガムを栽培し、栽培方法と品種による含有糖度を比較する。
- 3) スイートソルガムの搾汁方法・発酵方法・確認方法の検討をする。

- 4) スイートソルガムを教材として実践を行い、省察する。
- 5) スイートソルガムの教材の普及活動をする。

具体的な方法

1) スイートソルガムの教材化に向けた情報収集

a. バイオエタノール教材の文献調査

既に開発・使用されているサトウキビやテンサイなどを素材に用いたバイオエタノール教材の詳細について論文等によって調べる。

b. バイオエタノール教材の現地調査

サトウキビでの実践例が多い沖縄県や九州地方を対象とする。

2) スイートソルガムの教材化に向けた栽培方法と品種の選定

これに関して、研究分担者として本学部の栽培専門の勝川健三准教授が担当し、協力して研究を進める予定である。

具体的には、弘前大学千年園場で実験計画に基づいた3因子栽培実験(播種期、摘芯、収穫期)を行い、糖の含有量を計測、また発酵によって得られるエタノール量を推定することによって、弘前におけるスイートソルガムから糖を得るために適した作型を開発する。スイートソルガムはC4植物であるため、盛夏期は生殖生長に移行させず、分げつを含めた栄養生長を行わせる作型が望ましいと考える。そこで、イネ科植物の生殖生長期に移行する止葉が展葉する前に摘芯を行うなど栄養生長を促す作型を検討する。また研究分担者は、宿根性のガーベラが冬季など生育に適していない環境条件下にあるとき、根および短縮茎に乾物を蓄積することを明らかにしているが、ソルガムでも晩秋などの不良環境期にtankとなる茎に糖を蓄積する可能性が考えられる。そこで当実験では播種期、摘芯処理の有無と時期、収穫時期を因子とした実験計画に基づく栽培試験を行う。収穫したソルガム地上部は、穂長・穂長・分げつ数・節数・最大節間径を計測し、次いで葉を剥いて茎だけとし、新鮮重を計測、搾汁器を用いて絞汁し、その容量(もしくは重さ)を計量、屈折光度計を用いてBrixを計測、またキューネ発酵管と恒温槽を用いて酵母による嫌気発酵を行い、単位当たり汁液から生成された二酸化炭素量からスイートソルガム1個体から得られるエタノール量を推測する。この結果から糖を得るためにはどのような作型がよいのか考察する。

3) スイートソルガムの教材化に向けた実験方法の検討

a. スイートソルガムの搾汁方法・発酵方法・確認方法の検討

スイートソルガムの学校で実施可能で適した搾汁方法・発酵方法・確認方法を検討し、適した実験方法を明らかにする。具体的には、

搾汁方法としてジューサーの検討や1回の搾汁量の検討など、発酵方法に関しては酵母菌の検討や発酵温度の検討など、確認方法については分析機器の使用も検討項目に加えて行う。

4) スイートソルガムの教材化に向けた栽培方法と品種の選定と見直し

a. スイートソルガムの栽培方法の検証

前年度に選定したスイートソルガムを学校で児童・生徒が栽培可能な方法を検討し、問題点の明確化と解決方法を明らかにする。花壇の利用や鉢植えの可能性を検討し、後のバイオエタノールの実験に利用可能な栽培方法として問題がないかどうかを明らかにする。

b. スイートソルガムの栽培品種の検証

前年度に選定したスイートソルガムの学校で児童・生徒が栽培可能な候補品種を検討し、問題点の明確化と解決方法を明らかにする。

c. スイートソルガムの含有糖度の測定による検証

前項二つに関連して、スイートソルガムの栽培方法や品種による含有糖度を測定し、実験に適した栽培方法と品種による相違を明らかにする。

5) スイートソルガムの教材化に向けた実験方法の検討

a. スイートソルガムの搾汁方法・発酵方法・確認方法の検証

前年度に検討を加えたスイートソルガムの学校で実施可能で適した搾汁方法・発酵方法・確認方法を検討し、適した実験方法の検証と改良を行う。

6) スイートソルガム教材の実践と検証

a. スイートソルガム教材の実践活動

スイートソルガムを素材とした教材を用いて、学校現場において実践活動を行う。基本的には搾汁・発酵・精製までを行う短期的な活動と、春の栽培から秋の収穫までの年間を通した長期的活動を実践し検証する。具体的には以下の手順で行う。

- 1) 第一次案の評価・分析
- 2) 第二次指導案の作成
- 3) 教材のブラッシュアップ
- 4) 授業実践による第二次指導案と教材の検証作業

b. スイートソルガム教材・指導法の普及活動

最終年度は開発した教材・授業法の普及活動を行う。普及活動としては、教員研修や実験教室などの実施、DVD作成、映像をHPにアップすることを予定している。特にオンデマンド型の情報発信は、近年のICT教育の環境整備により重要かつ有効な手法になりつつあるので、この充実には特に取り組む予定である。

4. 研究成果

1) スイートソルガムの教材化に向けた情報収集

理科教科書及び技術教科書におけるバイオマスエネルギーの取り扱い方を調査した結果、バイオマスエネルギーは新エネルギーとしてのメリットとデメリットを生徒に調べさせるような課題学習で主に扱われていることがわかり、バイオマスエネルギーを使用する利点であるカーボンニュートラルを記載していない教科書があることが分かった。以上よりバイオマスエネルギーの有用性を理解することが難しいと考え、カーボンニュートラルを体感できるようなバイオマスエネルギーに関する教材の開発に臨む必要性があると教科書調査からわかった。

また日本におけるバイオエタノールの燃料（エネルギー源）としての現状調査を行った。調査当時は、原油価格が低かった時期であり、経済面から生産コストが高いバイオエタノールの利用は非常に限られたものであった。地域自治体の取り組みとして、バイオエタノールを E03(含有率 3%)あるいは E10(含有率 10%)を実施しているところはあるが、普及面でまだ日本においては未発展段階であることがわかった。

2) スイートソルガムの教材化に向けた栽培方法と品種の選定

教材化に適した品種、作型について本研究の結果より、品種は高糖分ソルゴーが搾汁液の多さと糖度の高さという点で適していることがわかった。作型については、播種時期は5月が適していることがわかった。収穫時期については 2015 年の結果より推測された種の早晩生と関係性が、2016 年の結果ではみられなかったため、最適な収穫時期については再検証が必要であった。その後、2017 年の再検証の結果、11 月に収穫時期としたものが、最適であるという結論に至った。

栽培方法については、袋栽培が慣行栽培に比べ搾汁液質量は劣るものの、栽培に手がかからず、学校現場にある畑から独立して栽培できるという点で教材化に適しているとした。

3) スイートソルガムの教材化に向けた実験方法の検討

アルコール発酵は嫌気条件下において酵母が行う代謝である。そのため、発酵を行う際は、酵母が嫌気呼吸を行うよう、発酵液と酸素を触れ合わないことが必要である。そこでディスポーサルシリンジを用い、ディスポーサルシリンジ内で発酵を行うことが可能であるか検討した。ディスポーサルシリンジは、ビーカーなどより口径が小さいため液体と空気の接触面積が小さく、注射器型であるため押し子を押し引きすることで、液を吸うこととシリンジ内の空気を出すことが容易である。また、発酵中酵母の体積が増え吹き

こぼれそうになったときも、シリンジ内の容積を調節することで吹きこぼれを防ぐことができる。発酵に用いる実験器具としてキューネ発酵管があげられるが、一般的に容量が小さく高価であるため、ディスポーサルシリンジの方が有用性が高いと考えた。そこでディスポーサルシリンジを用いて、スイートソルガムの搾汁液をドライイーストによって発酵させ、Brix 糖度の減少が生じるかを検証した。また、発酵させた液を蒸留させることで得た液に着火するかどうかでエタノールを生成できたかを確かめた。

糖度測定の結果、用いた両方のシリンジにおいて Brix 糖度が 9%以上減少した。しかし発酵前の混合液が黄濁色であった一方で、発酵後の混合液が黄色透明であった。ショ糖の屈折率を基準として測定する Brix 糖度からでは、Brix 糖度の減少値の全てが糖の減少によるものであるかは確かではない。しかし、ディスポーサルシリンジを 40 恒温槽につけてから 5 分後より、シリンジ内で気泡の発生が確認されたため、シリンジ内で発酵が行われていたと推測される。

以上より、ディスポーサルシリンジを発酵実験の器具として用いることが可能であると結論付けた。

次に品種及び作型の決定において、スイートソルガムミキサーを搾汁機の代替とし、原料茎にしたスイートソルガムを粉碎し、洗濯機のくず取りネットに入れ、手で絞ることでミキサーが搾汁器と同等の搾汁が行えるかを検証した。ミキサーを搾汁機の代替とし、原料茎にしたスイートソルガムを粉碎し、洗濯機のくず取りネットに入れ、手で絞ることでミキサーが搾汁器と同等の搾汁が行えるかを検証した。

搾汁にあって、バーミックス M300 ベーシック barmix^R というミキサーを使用した。収穫した個体を原料茎にした後、節ごとに切断しそれぞれ節の質量を測定した。その後剪定はさみで適度な大きさに切り、節別にスーパーグラインダーというアタッチメントにいれ、30 秒間粉碎した。粉碎されたスイートソルガムを洗濯機のくず取りネットにいれ、ネットを絞り搾汁液を得た。得た搾汁液はビーカーにいれ質量を測り、測定値を粉碎前の質量で割ることで搾汁液の収率を求めた。搾汁器を用いた時の搾汁液の収率の平均が 0.26 に対して、ミキサーを用いた搾汁方法での収率の平均が 0.33 であった。このことより、ミキサーを用いた搾汁方法でも搾汁器を用いた方法と同等の質量の液をスイートソルガムから得られることがわかった。また、搾汁器に比べミキサーが安価であること、搾汁作業中の危険性が低いことから学校現場での搾汁は搾汁器よりもミキサーを用いる方が好ましいと考えられる。しかし、ミキサーによる搾汁の場合、一度に搾汁出来る量が搾汁器と比べ小さいため、ミキサーを用いた更なる効率のよい搾汁方法の確立が要され

る。

4) スイートソルガム教材の実践と検証

本研究にて開発した教材では、地球温暖化の原因である二酸化炭素が主にどこから排出されているかということと、カーボンニュートラルの概念を学習することで、地球温暖化のために二酸化炭素を減らすということを科学的に考察するための知識を得るとともに、カーボンニュートラルに対してさまざまな意見を持ち、環境問題を考える機会を生徒に与えられると期待される。授業実践の結果、事前事後アンケートの比較と事後アンケートの生徒の感想より、おおよその生徒はカーボンニュートラルについて理解したと推測される。また感想より、授業に対する疑問や、バイオエタノールに対する反対意見なども見られ活発な意見発信が行われていた。このことより、期待される教育効果が達成できたのではないかと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

原田拓真, 勝川健三, 長南幸安, 技術教科書におけるバイオマスエネルギーの取り扱いに関して - 中学校の技術教科書の調査 -, 弘前大学教育学部紀要, 査読無, 116-1, 2016, pp.45-52

https://hirosaki.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=2604&item_no=1&page_id=13&block_id=21

原田拓真, 勝川健三, 長南幸安, 理科教科書におけるバイオマスエネルギーの取り扱いに関して - 小学校・中学校・高等学校の理科教科書の調査 -, 弘前大学教育学部紀要, 査読無, 115-1, 2016, pp.39-43

https://hirosaki.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=2575&item_no=1&page_id=13&block_id=21

[学会発表](計14件)

長南幸安, 川村梓, 原田拓真, 勝川健三, 畠山洋一, カーボンニュートラル概念導入のためのバイオマス教材開発, 日本化学会第98春季年会, 2018

長南幸安, 原田拓真, 勝川健三, 川村梓, 畠山洋一, カーボンニュートラル概念獲得の授業実践, 第66回日本理科教育学会中国支部大会, 2017

川村梓, 原田拓真, 勝川健三, 畠山洋一, 長南幸安, バイオマス教材を用いたカーボンニュートラル概念導入のための授業実践とその分析, 日本理科教育学会第56

回東北支部大会, 2017

長南幸安, 原田拓真, 勝川健三, 川村梓, バイオマス教材のための実験方法の開発, 平成29年度化学系学協会東北大会, 2017

長南幸安, 原田拓真, 勝川健三, 川村梓, カーボンニュートラル概念獲得のための教材開発, 日本環境教育学会第28回年次大会(in岩手), 2017

長南幸安, 原田拓真, 勝川健三, 川村梓, カーボンニュートラル概念の導入のためのバイオマス教材の実践と分析, 日本科学教育学会第41回年会香川大会, 2017

長南幸安, 原田拓真, 勝川健三, 川村梓, カーボンニュートラル概念獲得教材の開発, 日本エネルギー環境教育学会第12回全国大会, 2017

長南幸安, 原田拓真, 勝川健三, 川村梓, カーボンニュートラル概念の導入のためのバイオマス教材開発, 日本化学会第97春季年会, 2017

原田拓真, 勝川健三, 長南幸安, カーボンニュートラルを学習するための教材開発, 日本理科教育学会第55回東北支部大会, 2016

原田拓真, 長南幸安, 勝川健三, LCAを考慮したカーボンニュートラルを学習するための教材の開発, 平成28年度化学系学協会東北大会, 2016

長南幸安, 原田拓真, 勝川健三, カーボンニュートラル概念の導入のためのバイオマス教材, 日本科学教育学会第40回年会大分大会, 2016

長南幸安, 原田拓真, 勝川健三, カーボンニュートラル概念の導入のためのバイオマス教材の検討, 日本化学会第96春季年会, 2016

原田拓真, 勝川健三, 長南幸安, カーボンニュートラル概念の導入を目的とした環境教育, 日本理科教育学会東北支部第54回大会, 2015

原田拓真, 長南幸安, 勝川健三, バイオマスエタノールを活用した環境教育活動, 平成27年度化学系学協会東北大会, 2015

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長南 幸安 (CHOUNAN, Yukiyasu)
弘前大学・教育学部・教授
研究者番号：30250674

(2) 研究分担者

勝川 健三 (KATSUKAWA, Kenzo)
弘前大学・教育学部・准教授
研究者番号：30735098

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()