

修士論文

スイートソルガムを素材とするバイオエタノール生成を
題材としたカーボンニュートラルの教材化

弘前大学大学院教育学研究科

教科教育専攻 理科教育専修

15GP211 原田 拓真

目次

第1章 緒論	1
第2章 教科書でのバイオマスエネルギーの取り扱い方についての調査.....	4
第1節 理科教科書の調査.....	4
2-1-1 小学校	4
2-1-2 中学校	4
2-1-3 高等学校.....	4
第2節 技術教科書の調査.....	5
第3節 教科書におけるバイオマスエネルギーの取り扱い方についての考察.....	6
第3章 スイートソルガムの品種の選定及び作型の検討.....	16
第1節 2015年におけるスイートソルガムの栽培	16
第2節 2016年におけるスイートソルガムの栽培	17
第3節 教材化に適したスイートソルガムの品種の選定	18
3-3-1 品種の選定方法	18
3-3-2 品種間の搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の結果	19
3-3-3 品種間の搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の考察	22
第4節 教材化に適したスイートソルガムの作形の検討.....	23
3-4-1 作形の検討方法	23
3-4-2 作型による搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の結果	25
3-4-3 作型による搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の考察	31
第5節 スイートソルガムの栽培を実践するにあたって	33
第4章 バイオエタノールの生成	72
第1節 材料の選定	72
第2節 発酵実験でのディスポーザブルシリンジの有用性の検討	72
4-2-1 実験手順.....	73
4-2-2 結果と考察	73
第3節 学校現場においてのバイオエタノール合成	74
4-3-1 スイートソルガムの搾汁の簡易化.....	74
第5章 カーボンニュートラルの教材化	82
第1節 教材化の意義.....	82
第2節 本教材における期待される教育効果	83
第3節 授業実践.....	83
5-3-1 授業実践の概要	84
5-3-2 実践	99
5-3-3 アンケート結果	99

5-3-4 アンケート考察	104
5-3-5 授業実践総括.....	106
総括.....	121
参考文献	122
資料 授業実践の事後アンケート 生徒の感想	128

第1章 緒論

現在、二酸化炭素の増加による地球温暖化の懸念により、二酸化炭素の排出量を削減することが国際的な課題である¹⁾。その背景の下、カーボンニュートラルの概念が注目されており、バイオマスエネルギーはカーボンニュートラルである点で非常に期待されている²⁾。バイオマスエネルギーとは、トウモロコシやサトウキビ、生ゴミ、家畜の排出物などのバイオマス資源から生み出されるエネルギーのことをいい、適切に原料を管理することでエネルギー源として永続的に利用できるため再生可能エネルギーとされている。2015年の日本の燃料消費は、石油、天然ガス、石炭が約91.7%を占めている。所謂これら化石燃料の使用は、地下において固定された炭素を地上に持出し使用することになるため、大気中の二酸化炭素を増加させることにつながる。二酸化炭素の量を削減するために、エネルギー変換する際の二酸化炭素の排出量が少ない方法が考えられ、その一つとしてカーボンニュートラルが注目され始めた。カーボンニュートラルとは、カーボン（炭素）がニュートラル（中立）ということを指し、二酸化炭素の排出量と吸収量が等しく大気中の二酸化炭素量の増減が無い状態のことを言う。バイオマス資源から得られたエネルギーを使用することによって排出される二酸化炭素の量は、そのバイオマスが吸収した二酸化炭素の量と同じと考えられるため、カーボンニュートラルであると言われている。このような点でバイオマスエネルギーは地球温暖化対策のひとつとして期待されている。

バイオマスエネルギーには、植物油や廃食油を使って作られるバイオディーゼル、家畜の糞尿や生ごみをメタン発酵させ作るバイオガス、サトウキビ等をアルコール発酵させ作るバイオエタノールなどがある。その中でもバイオマスエネルギーは、ガソリンに添加できるため石油の代替燃料として二酸化炭素量の削減が期待されている。しかしその原料にはトウモロコシやサトウキビが使用されており、物価の上昇や食糧問題の原因となる食糧との競合がバイオエタノールの課題となっている。

そこで本研究では、バイオエタノールの原料としてスイートソルガムに注目した。スイートソルガムは大型のイネ科の植物であり、茎に糖を蓄える。またサトウキビとは異なり、比較的寒冷な地域でも育ち、青森県においても栽培が可能であることが分かっている⁴⁾。日本においてスイートソルガムは食糧との競合が無い⁴⁾ため、バイオエタノールの生産に関して危惧することはない。

一方、学校教育において、平成 24 年度から施行された中学校学習指導要領理科では、「環境保全と科学技術の利用」の単元で「自然環境の保全と科学技術の利用の在り方について科学的に考察し、持続可能な社会をつくることが重要であることを認識すること」と明記されている³⁾。つまり、環境教育は理科においてさらに重要になってきている。それに伴い再生可能エネルギーについて、特に風力や太陽光発電などは実験し実感できる教材が種々開発されている一方で、バイオマスのカーボンニュートラルという概念を実感できる教材はほとんどない。バイオエタノールを用いた授業実践報告は、廃棄されるリンゴを用いたものが報告されているものの⁵⁾、スイートソルガムを原料としたバイオエタノールを用いた授業実践報告はまだない。

そこで、本研究ではスイートソルガムを材料としたバイオエタノールの生成を通して、カーボンニュートラルを実感できる教材を開発することを目的とした。

教材化にあたって、教科書においてのカーボンニュートラルの扱われ方を調査した。次に、生徒にカーボンニュートラルを実感させるためには、スイートソルガムが二酸化炭素を固定し、日々成長する過程を目で見る必要があると考えた。そのためにはスイートソルガムを技術の授業や特別活動で育てる必要があり、学校現場でスイートソルガムを栽培する際に最適な品種、栽培方法の確立が求められると考えた。そこで、教材化に適したスイートソルガムの品種の選定及び栽培方法の確立を行った。次にカーボンニュートラルを学習するためのバイオエタノールの生成が学校現場で実験可能である必要があると考え、実際にスイートソルガムの搾汁からバイオエタノールの生成までを行い、

学校現場で行える実験内容や学校現場で扱える実験器具の検討を行った。最後に授業でスイートソルガムを用いてバイオエタノールの生成を行った結果、生徒がカーボンニュートラルを学習することができるかを検証するため、授業実践を行った。

本論文では、第2章で教科書でのバイオマスエネルギーの取り扱われ方についての調査、第3章で教材化に適したスイートソルガムの品種の選定及び栽培方法の確立、第4章でバイオエタノールの生成、第5章でスイートソルガムとカーボンニュートラルの教材化について述べていく。

第2章 教科書でのバイオマスエネルギーの取り扱い方についての調査

第1節 理科教科書の調査

平成23年度に発行された小学校・中学校・高等学校の教科書を用いて、バイオマスエネルギーについて文献調査を行った。出版社ごとに教科書を調査した結果の表を挙げる。

2-1-1 小学校

小学校の理科教科書においては、バイオマスエネルギーについての記載はなかった⁶⁻¹¹⁾。

2-1-2 中学校

中学校の理科教科書においてのバイオマスエネルギーの取り扱い方を表2-1、2-2に示す¹²⁻¹⁶⁾。

表2-1、2-2よりバイオマスエネルギーの扱われ方は、主にバイオマス発電が取り上げられており新エネルギーの一つとして紹介されていた。バイオマス発電については文章内で扱われており、バイオマスエネルギーを題材とした実験は無かった。またバイオマス発電については、環境保全に関して学習する場面で扱われているものの、バイオマス発電のメリットとデメリットを調べ考えさすような課題学習が主であり、カーボンニュートラルの記載があった教科書は学校図書の一社にとどまった。

2-1-3 高等学校

高等学校の理科教科書調査では、科学と人間生活、物理基礎、物理、化学基礎、化学、生物基礎、生物、地学基礎、地学についてバイオマスエネルギーの取り扱い方を調べた¹⁷⁻⁷⁷⁾。

そのうちバイオマスエネルギーに関する記載があったものは、科学と人間生活、物理基礎、化学、生物基礎であった。記載があったものについて表2-3、2-4、2-5で示す。

表 2-3 より科学と人間生活ではバイオマスエネルギーは、微生物がバイオマスから作り出す燃料としてバイオエタノールとバイオメタンが紹介されていた。物理基礎では、再生可能エネルギーまた化石燃料の代替としてバイオマスエネルギーが紹介されており、再生可能エネルギーについてはカーボンニュートラルの記載もあった。表 2-4 より化学では、啓林館でエーテルを学習する場面でコラムとしてバイオエタノールと ETBE が紹介されており、数研出版は教科書巻末において新しいエネルギーの利用形態の一つとしてバイオエタノールが紹介されていた。表 2-5 より生物基礎では、物質循環のなかで炭素循環するものとしてバイオエタノールが紹介されていた。

カーボンニュートラルという単語の記載がないもののバイオエタノールやバイオマスエネルギーの利点であるカーボンニュートラルの概念について、文章で説明をしている教科書もあった。しかし、バイオマスエネルギー及びカーボンニュートラルを題材とした実験は無かった。

第 2 節 技術教科書の調査

平成 25 年及び平成 28 年から使用されている技術教科書を用いて調査し、バイオマスエネルギーについて文献調査を行った⁷⁸⁻⁸³⁾。出版社ごとに教科書を調査した結果の表 2-6、2-7、2-8 を挙げる。表 2-6、2-7、2-8 より、平成 25 年に発行された教科書と平成 28 年に発行された教科書の両方でバイオマスエネルギーは扱われている。平成 25 年に発行された教科書ではバイオマスエネルギーは「エネルギー変換に関する技術」の単元で主に扱われおり、東京書籍では「生物育成に関する技術」でもバイオマスエネルギーを扱っていた。一方で平成 28 年に発行された教科書では全ての教科書が「生物育成に関する技術」の単元でもバイオマスエネルギーを扱うようになっている。東京書籍では、バイオマスエネルギーに関する記述は再生エネルギーをしての紹介とバイオエタノールまたはバイオマス発電のメリットとデメリットを考える課題学習が主であった（表

2-6)。教育図書では、バイオマスエネルギーに関する記述は主に新たなエネルギー源の一部として紹介されている。また教育図書では「材料と加工に関する技術」の單元でもバイオマスエネルギーを扱っており、木をバイオマスエネルギーとして利用することによる「炭素循環」をカーボンニュートラルの概念と同類として扱っていた（表 2-7）。開隆堂では、主に石油の代替となるエネルギー資源としてバイオマスエネルギーは扱われていた（表 2-8）。またバイオマスエネルギーに関する記述がある一方で、バイオマスエネルギーを題材とした実習及びカーボンニュートラルを体感できる実験は無かった。

第 3 節 教科書におけるバイオマスエネルギーの取り扱い方についての考察

理科教科書におけるバイオマスエネルギーは、中学校では全出版社で扱われている一方で、高等学校では科学と人間生活、物理基礎、化学、生物基礎で扱われており、記載があるのも一部出版社のみであった。このことはバイオマスエネルギーに関する内容が応用化学であり部分的に物化生地を横断するような内容であるため、その分野の基礎的な内容に焦点を当てる高校理科よりも、理科および科学全体を知ることに関心を当てた中学理科で扱われることが多くなっていると推測される。バイオマスエネルギーの扱われ方は、中学校と高等学校の両方で新エネルギーの一つとして紹介が主であり、バイオマスエネルギーで期待されるカーボンニュートラルという概念を扱っているのは中学校では 1 社、高等学校では物理基礎で 1 社、化学で 2 社であった。またバイオマスエネルギー及びカーボンニュートラルを題材とした実験は無い。これは、植物からバイオエタノール等を生成するに要する時間が授業時間を超えること、カーボンニュートラルは目に見えないため実感しづらいということに起因するのではないかと推察する。

技術教科書におけるバイオマスエネルギーは、平成 25 年に発行された教科書と平成 28 年に発行された教科書の両方で石油代替エネルギーもしくは新エネルギーとして扱われている。平成 25 年に発行された教科書と比較すると、平成 28 年に発行された教科

書ではバイオマスエネルギーを扱う単元は「エネルギー変換に関する技術」のみならず、「生物育成に関する技術」でも扱われるようになっていることがわかった。また「生物育成に関する技術」の単元で扱われているバイオマスエネルギーに関連する題材は、新エネルギーとしての紹介にとどまらずバイオマスエネルギーの技術とそれを取り巻く社会環境との関係についても扱っている。これは技術分野の目標である「技術と社会や環境とのかかわりについて理解を深め」という記述を反映したものであると考えられ、エネルギーと環境に関する教育においてバイオマスエネルギーが重要視されているエネルギーの一つであることを示しているのではないかと推察される。技術教科書においてもバイオマスエネルギー及びカーボンニュートラルを題材とした実習、実験は無かった。これは理科と同様に授業時間を超える時間が植物からバイオエタノール等を生成するに要することが原因ではないかと考えられる。また技術分野の目標に「技術を適切に評価し」という部分があり、バイオマスエネルギーを使用することによるカーボンニュートラルが実際に起きているかを評価するのが難しいという点も、バイオマスエネルギーを題材とした実習、実験がないことの原因ではないかと推測される。

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があると教科書調査からわかった。

表 2-1 中学校理科における学校図書、大日本図書、東京書籍の教科書でのバイオマスエネルギーの扱い

学校図書

学年	取り上げられている 単元名	取り上げられている 題材	扱い方（本文・ コラム）	具体的な学習内容
第三学年	・運動とエネルギー ・自然と人間	・バイオマス発電 ・バイオエタノール ・カーボンニュートラル	・本文 P69 ・コラム P246 ・コラム P246	・新しいエネルギー資源 ・エネルギーの移り変わり ・エネルギーの移り変わり

大日本図書

学年	取り上げられている 単元名	取り上げられている 題材	扱い方（本文・ コラム）	具体的な学習内容
第三学年	・地球の明るい未来 のために	・バイオマス	・コラム P275	・これからの暮らしを考える

東京書籍

学年	取り上げられている 単元名	取り上げられている 題材	扱い方（本文・ コラム）	具体的な学習内容
第三学年	・科学技術と人間 ・自然と人間	・バイオマス発電 ・バイオマス発電施設 ・バイオマス発電 ・バイオマス燃料	・本文 P206 ・本文 P206 ・本文 P227 ・本文 P263	・再生可能なエネルギー資源 ・再選可能なエネルギー資源 ・新エネルギー資源を活用した効率のよいエネルギーの活用 ・地球とわたしたちの未来のためにできること

表 2-2 中学校理科における啓林館、教育出版の教科書でのバイオマスエネルギーの扱い

啓林館

学年	取り上げられている 単元名	取り上げられている 題材	扱い方（本文・ コラム）	具体的な学習内容
第三学年	<ul style="list-style-type: none"> ・運動とエネルギー ・自然と人間 	<ul style="list-style-type: none"> ・バイオマス発電 ・バイオマス発電 ・バイオマスエネルギー ・バイオマス発電 	<ul style="list-style-type: none"> ・本文 P175 ・本文 P180 ・本文 P225 ・本文 P227 	<ul style="list-style-type: none"> ・世代をこえてエネルギー資源を利用するためには ・多様なエネルギーを求めて ・自然環境を保全するうえでどのような課題があり、どのように解決すべきか ・自然環境を保全するうえでどのような課題があり、どのように解決すべきか

教育出版

学年	取り上げられている 単元名	取り上げられている 題材	扱い方（本文・ コラム）	具体的な学習内容
第三学年	<ul style="list-style-type: none"> ・科学の発展と人間の生活 	<ul style="list-style-type: none"> ・バイオマス発電 	<ul style="list-style-type: none"> ・本文 P95 	<ul style="list-style-type: none"> ・新しいエネルギーを利用した発電

表 2-3 高等学校における科学と人間生活、物理基礎の各教科書でのバイオマスエネルギーの扱い
科学と人間生活

出版社	取り上げられている 単元名	取り上げられている 題材	扱い方（本文・ コラム）	具体的な学習内容
数研出版				
東京書籍				
啓林館	・微生物とその利用	・バイオメタン ・バイオエタノール ・バイオマス	・本文 P59 ・本文 P59 ・本文 P59	・バイオマスを原料とする燃料 ・バイオマスを原料とする燃料 ・バイオマスを原料とする燃料
第一学習社				

物理基礎

出版社	教科書番号	取り上げられている 単元名	取り上げられている 題材	扱い方（本文・ コラム）	具体的な学習内容
東京書籍	物基 301	・エネルギーとその利用	・バイオマス発電 ・バイオマス燃料 ・バイオマス ・カーボンニュートラル	・本文 P213 ・本文 P213 ・本文 P213 ・本文 P213	・再生可能エネルギー ・再生可能エネルギー ・再生可能エネルギー ・再生可能エネルギー
	物基 302				
実教出版	物基 303				
	物基 304				
啓林館	物基 305				
	物基 306				
数研出版	物基 307				
	物基 308				
第一学習社	物基 309	・エネルギーとその利用	・バイオマスエネルギー ・バイオマス	・コラム P260 ・コラム P260	・化石燃料の利用と環境保全 ・化石燃料の利用と環境保全
	物基 310	・エネルギーとその利用	・バイオマスエネルギー	・コラム P141	・太陽エネルギーとその 移り変わり

表 2-4 高等学校における化学の各教科書でのバイオマスエネルギーの扱い

化学

出版社	教科書番号	取り上げられている単元名	取り上げられている題材	扱い方（本文・コラム）	具体的な学習内容
東京書籍	化学 301				
	化学 302				
実教出版	化学 303				
	化学 304				
啓林館	化学 305	・酸素を含む脂肪族化合物	<ul style="list-style-type: none"> ・バイオエタノール ・ETBE ・カーボンニュートラル 	<ul style="list-style-type: none"> ・コラム P300 ・コラム P300 ・コラム P300 	<ul style="list-style-type: none"> ・バイオエタノールとETBEの紹介 ・バイオエタノールとETBEの紹介 ・バイオエタノールとETBEの紹介
数研出版	化学 306	・環境と化学	<ul style="list-style-type: none"> ・バイオマス ・バイオエタノール ・カーボンニュートラル ・バイオ ETBE 	<ul style="list-style-type: none"> ・コラム巻末 P3 ・コラム巻末 P3 ・コラム巻末 P3 ・コラム巻末 P3 	<ul style="list-style-type: none"> ・バイオマスとバイオエタノールの紹介 ・バイオマスとバイオエタノールの紹介 ・バイオマスとバイオエタノールの紹介 ・バイオマスとバイオエタノールの紹介
第一学習社	化学 307				

表 2-5 高等学校における生物基礎の各教科書でのバイオマスエネルギーの扱い

生物基礎

出版社	教科書番号	取り上げられている単元名	取り上げられている題材	扱い方（本文・コラム）	具体的な学習内容
東京書籍	生基 301				
	生基 302				
実教出版	生基 303	・エネルギーの流れと物質循環	・バイオエタノール	・コラム P131	・物質循環
	生基 304				
啓林館	生基 305				
	生基 306				
数研出版	生基 307				
	生基 308				
第一学習社	生基 309				
	生基 310				

表 2-6 中学校技術における東京書籍でのバイオマスエネルギーの扱い

平成 25 年発行教科書 技術 721

取り上げられて いる単元名	取り上げられている題材	扱い方（本文・ コラム）	具体的な学習内容
・エネルギー変換	・バイオマス発電	・本文 P147	・環境に配慮した充電の方法を考えよう
・生物育成	・バイオエタノール	・本文 P180	・生物を育てる技術の活用の例；燃料となるトウモロコシの生産
・最新の技術を見てみよう	・バイオエタノール製造	・本文口絵 4	・自動車燃料用エタノールを製造する実証施設の紹介

平成 28 年発行教科書 技術 724

取り上げられて いる単元名	取り上げられている題材	扱い方（本文・ コラム）	具体的な学習内容
・技術分野のガイダンス	・バイオマス発電	・本文 P11	・木質チップを用いたバイオマス発電
・エネルギー変換に関する技術	・バイオマス	・本文 P96	・発電方式別のエネルギー変換効率
・生物育成に関する技術	・バイオマスエタノール	・本文 P188	・生物育成に関する新しい技術の開発
	・バイオマスエタノール	・本文 P188	・トウモロコシをバイオマスエタノールにすることについての見方・考え方の例

表 2-7 中学校技術における教育図書でのバイオマスエネルギーの扱い

平成 25 年発行教科書 技術 722

取り上げられて いる単元名	取り上げられている題材	扱い方（本文・ コラム）	具体的な学習内容
・材料と加工に関 する技術 ・エネルギー変換 に関する技術	・バイオマスエネルギー ・バイオマス発電	・コラム P45 ・本文 P93	・木に関連した炭素循環 ・新エネルギーを利用した発電

平成 28 年発行教科書 技術 725

取り上げられて いる単元名	取り上げられている題材	扱い方（本文・ コラム）	具体的な学習内容
・技術の発達が環 境問題を解決す る ・材料と加工に関 する技術 ・エネルギー変換 に関する技術 ・生物育成に関す る技術	・バイオマスの処理工場 ・バイオマスエネルギー ・バイオマス ・バイオマス ・バイオマス	・本文序章 P5 ・コラム P61 ・本文 P99 ・本文 P195 ・本文 P264	・エネルギー源としてのバイオマス ・木に関連した炭素循環 ・これからのエネルギー ・畜産と環境 ・発電方法の比較

表 2-8 中学校技術における開隆堂でのバイオマスエネルギーの扱い

平成 25 年発行教科書 技術 723

取り上げられて いる单元名	取り上げられている題材	扱い方（本文・ コラム）	具体的な学習内容
・生活に社会にお ける技術の役割	・バイオマス	・本文 P10	・再生可能なエネルギーの例
・エネルギー変換 に関する技術	・バイオマス発電	・本文 P95	・石油に代わるエネルギー資源の区分
	・バイオマス熱利用	・本文 P95	・石油に代わるエネルギー資源の区分
	・バイオマス燃料製造	・本文 P95	・石油に代わるエネルギー資源の区分
	・バイオマス	・本文 P97	・発電別のエネルギー変換効率

平成 28 年発行教科書 技術 726

取り上げられてい る单元名	取り上げられている題材	扱い方（本 文・コラム）	具体的な学習内容
・エネルギー変換に 関する技術	・バイオマス	・本文 P96	・一次エネルギーと二次エネルギー
・生物育成に関する 技術	・バイオマス発電	・コラム P97	・バイオマスの利用
	・バイオ燃料	・本文 P170	・生物育成に関する技術と社会環境
	・バイオエネルギー工場	・本文 P170	・バイオエタノールの研究
	・バイオエタノール	・本文 P170	・世界のバイオエタノール生産量の 推移と見通し
・進んで技術を評価 し生活をよりよく する	・バイオ燃料	・本文 P249	・農業生産に関する物資循環

第3章 スイートソルガムの品種の選定及び作型の検討

第1節 2015年におけるスイートソルガムの栽培

平畝による粗放栽培を行った。使用した品種は、甘味ソルゴー、スーパーシュガーソルゴー、ビッグシュガーソルゴー、高消化シュガーソルゴー、高糖分ソルゴーである。まず、播種は2015/5/18と2015/6/19の二回行った。播種は、育苗するために2015/5/18（以降5月播種）では各品種128穴セルトレイに128個体を播種した（写真3-1）。2015/6/19（以降6月播種）では一つの128穴セルトレイに各品種の種を24個定植した。育苗場所は弘前大学教育学部中庭で行った。次に定植を播種からおおよそ1ヶ月後に行った。5月播種の個体は2015/6/22に、6月播種の個体は2015/7/24に定植を行った。定植場所は弘前大学千年農場で行い、畝は3畝を使用し、2畝に5月播種個体を、残りの1畝に6月播種個体を定植した。畝は幅90cm×長さ2200cmで、畝と畝との間に90cmの通路を設けた。畝には元肥として肥料（N:P:K=8:8:8）を1平米あたり100gとなるように、1畝ごとに200gまいた。定植の方法は、畝の中心にロープを張り、ロープの直下とロープから左右約20cm離れた位置に同じ品種の苗を定植した。これを一列とし、列間に30cmの間隔を設け、各品種8列分、合計24個体を定植した（写真3-2）。また品種間には60cmの幅を設けた。収穫は10月と11月の二回行い、出穂していた個体を収穫した。

また畑の無い学校現場を考慮して土嚢袋による袋栽培を行った。使用品種は高糖分ソルゴーとビッグシュガーソルゴーを用いた。土嚢袋には千年農場の土を12L入れ、肥料（K:P:N=8:8:8）を袋ごとに72g入れた。定植は2015/6/23に行い（写真3-3）、2015/5/18に播種し育苗していた個体を各袋に2個体を定植した。それぞれの品種について6袋用意した。収穫は10月に行った。

第 2 節 2016 年におけるスイートソルガムの栽培

畑による慣行栽培を行った。使用した品種は甘味ソルゴーである。栽培場所は弘前大学教育学部中庭にある 4 平米の畑を二つ、合計 8 平米の畑で行った。まず、播種は 2016/5/19 に行った。播種は、ばらまきによって行い 1 平米あたり 25 g になるように、8 平米に 200 g の種をばらまき、うすく土を種にかぶせた。また 2016/6/27 に 1 平米あたり 50 g となるように肥料 (N: P: K = 8: 8: 8) を施用した。個体間で 10~20 cm 程度の間隔があくように、2016/6/4、2016/6/6、2016/6/27、2016/7/22 に間引きを行った。間引きの結果、東側の畑では 3×8 個体、西側の畑では 3×7 個体となった。また風による被害を考慮し、畑に支柱を 3×4 本立て、その時のソルガムの葉身の高さである 110~120 cm に PP テープを巻きつけた (写真 3-4)。追肥は 2016/8/10、2016/9/21 に 1 平米あたり 50 g の肥料 (N: P: K = 8: 8: 8) を施用した。収穫は 2016/11/25 に行った。収穫では東側と西側からそれぞれ 7 個体を収穫した。

また 2015 年の袋栽培の再現性を検証するため、袋栽培を行った。栽培場所は弘前大学教育学部中庭にて行った。使用した品種は、甘味ソルゴーと高糖分ソルゴーである。使用した袋はそれぞれの品種で 18 袋であり、それぞれの袋に弘前大学千年農場の土を 18 L 入れ、肥料 (N: P: K = 8: 8: 8) を 1 L あたり 6 g になるよう 108 g を施用した。播種は 2016/5/20 に行い、一つの袋に同種の種を 3×3 の浅目の穴に 1 つずつ入れ、軽く土をかぶせた。播種した袋は、同種の袋が隣り合わないよう設置した (写真 3-5)。2016/6/4 に 1 袋あたり 2 個体になるよう間引きを行った。また発芽していた個体が 2 個体未満の袋に関しては追い播きを行った。追い播きを行った袋は、甘味ソルゴーで 2 袋、高糖分ソルゴーで 4 袋であった。追肥は 2016/6/27、2016/8/10、2016/9/21 に 1 袋あたり肥料 (N: P: K = 8: 8: 8) を 30 g 施用した。また台風 10 号の影響でソルガムの損傷が大きく、2016/9/5 と 2016/9/14 に 100 倍希釈したメネデールを 1 袋あたりおよそ 0.7 L 施用した。収穫は 10 月と 11 月の二回行った。

第3節 教材化に適したスイートソルガムの品種の選定

3-3-1 品種の選定方法

スイートソルガムを教材化するためには、より少ない個体数で授業内の実験に必要な液量が確保される必要がある。より少ない個体数という観点からは、学校現場では栽培に使用できる土地面積が限定されているからである。またエタノールの生成量は発酵効率を一定とするとスイートソルガムに含まれる糖量に比例するため、多くのバイオエタノールを得るためにより搾汁液の糖度がより高い品種である必要があると考えた。よって教材に適しているかを評価するにあたって、各品種の搾汁液の質量と糖度を用いることにした。

品種の選定は2015年と2016年の2回行った。2015年では5品種より教材化に適した品種を選定し、2016年では2015年の結果の再現性を確かめ、さらなる品種の選定を行った。

2015年の品種の選定には5月に播種し10月に収穫した粗放栽培の5品種の個体を用いた。各品種10個体を収穫し、搾汁を行った。また収穫する個体は損傷のない個体を選び、10個体確保できなかった場合は収穫できた個体のみを用い再収穫は行わなかった。収穫した個体は、サトウキビの搾汁に用いられる搾汁器で搾汁した。搾汁の際、2015年では個体ごとに原料茎重(g)、原料茎の長さ(cm)、搾汁液の液量(ml)、搾汁液の質量(g)と糖度(Brix%)を測定した。

2016年の品種の選定には、2015年での結果を基に甘味ソルゴーと高糖分ソルゴーの2品種について、5月に播種し10月に収穫した袋栽培の個体と5月に播種し11月に収穫した袋栽培の個体を用いた。それぞれの収穫時期に各品種の7個の袋からそれぞれ2個体、合計14個体を収穫し、搾汁を行った。収穫する際は、エクセルのランダム関数を用い無作為に収穫した。収穫の際に目視にて袋内に損傷が激しい個体があった袋からは収穫は行わず、14個体を確保できなかった場合は収穫できた個体のみを用いた。2016

年では個体ごとに生重量 (g)、草丈 (cm)、原料茎重 (g)、原料茎での長さ (cm)、搾汁液の質量 (g)、糖度 (Brix%) を測定した。

糖度は 2015 年と 2016 年の両方でデジタル糖度計である Spitz IPR-101α ASONE を用いて測定した。

3-3-2 品種間の搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の結果

2015 年 10 月に収穫した 5 品種の各個体の搾汁液の質量 (g) と糖度 (Brix%) を表 3-1 に示す。ビッグシュガーソルゴーは生育速度が遅く、出穂していない個体が多かったため 5 個体のみの収穫となった。また高消化ソルゴーにおいて、個体の大きさの影響で搾汁液質量と糖度を計測するに十分な搾汁液を得られない個体が存在したため、十分な搾汁液を得られなかった個体を除外した 6 個体を用いる。まず各品種間での搾汁液の質量と糖度を比較するため、各品種の値を箱ヒゲ図にした (図 3-1, 3-2)。図 3-1 より搾汁液質量においては、甘味ソルゴーが他品種よりも平均値及び中央値が高いことがわかった。また高消化ソルゴーは平均値が 4.1 ± 1.4 g であり、教材化にあたって搾汁液を一定量確保することが難しいと考えた。次に図 3-2 より搾汁液糖度においては、平均値が高消化ソルゴーで最も高く、ビッグシュガーソルゴーが最も低いことがわかり、他の 3 品種間で差が無いことがわかった。

搾汁液質量が最も大きいものを選定するために、搾汁液質量の平均値が最も高かった甘味ソルゴーと他品種について Welch t-test を行った。検定の繰り返しによる α エラーの回避及び多重解析を行うにはサンプル数が少ないという点から、甘味ソルゴーを基準とし、他の 1 品種との間で検定を行った。高消化ソルゴーの搾汁液質量が他品種と比べ著しく低いため (図 3-1)、高消化ソルゴーは検定から除外した。また搾汁液糖度においては、平均値が最も高いのは高消化ソルゴーであるが (図 3-2)、搾汁液質量の値が低いことから同様に高消化ソルゴーは検定から除外した。高消化ソルゴーとビッグシュガ

ーソルゴーを除いた3品種間では平均値に差がなかった(図3-2)。先行研究においてスイートソルガム搾汁液が14%以上の時、搾汁液を発酵、蒸留させると液が着火することがわかっている⁹³⁾。甘味ソルゴー、高糖分ソルゴー、スーパーシュガーソルゴーの糖度の平均値は14%を超えているため(図3-2)、検定の基準となる品種を決定できなかった。そこで搾汁液質量の平均値が最も高い甘味ソルゴーを基準として(図3-1)、搾汁液糖度についても甘味ソルゴーと他品種について Welch t-test を行った。本研究ではサンプル数が少なく、データから外れ値を外すと標本数が少なく正確な検定が行えない可能性が考えられる。よって検定の結果は、外れ値のデータを含める場合と含めない場合の両方の結果を載せる。また外れ値は箱ヒゲ図の結果より、判定している。以降全ての検定において同様である。外れ値に関しての記述がない場合は、個体群に外れ値が存在しなかったことを表す。統計解析には統計解析ソフト R 3.3.1 を用いた。

検定の結果、まず外れ値を含むデータの場合、甘味ソルゴーと他品種間の搾汁液質量では、スーパーシュガーと甘味ソルゴーの間に有意な差が認められた ($t = 3.0142, P = 0.01357$)。一方で高糖分ソルゴーと甘味ソルゴーの間では有意な差は認められず ($t = 1.9882, P = 0.06519$)、ビッグシュガーソルゴーと甘味ソルゴーの間でも有意な差は認められなかった ($t = 1.4183, P = 0.1822$)。次に甘味ソルゴーと他品種間の搾汁液糖度では、ビッグシュガーソルゴーと甘味ソルゴーとの間に有意な差が認められた ($t = 5.9839, P = 6.096e^{-05}$)。一方で高糖分ソルゴーと甘味ソルゴーとの間では有意な差は認められず ($t = 0.074285, P = 0.9419$)、スーパーシュガーソルゴーと甘味ソルゴーとの間にも有意な差は認められなかった ($t = 1.0311, P = 0.3165$)。

次に外れ値を含まないデータの場合では、甘味ソルゴーと他品種間の搾汁液質量では、スーパーシュガーと甘味ソルゴーの間に有意な差が認められた ($t = 4.232, P = 0.00209$)。一方で高糖分ソルゴーと甘味ソルゴーの間では有意な差は認められず ($t = 1.7874, P = 0.09193$)、ビッグシュガーソルゴーと甘味ソルゴーの間でも有意な差は認められな

った ($t=0.91226$, $P=0.3863$)。次に甘味ソルゴーと他品種間の搾汁液糖度では、ビッグシュガーソルゴーと甘味ソルゴーとの間で有意な差が認められた ($t=7.843$, $P=2.824e^{-05}$)。一方で高糖分ソルゴーと甘味ソルゴーの間では有意な差は認められず ($t=0.27109$, $P=0.7914$)、スーパーシュガーソルゴーと甘味ソルゴーの間にも有意な差は認められなかった ($t=0.51927$, $P=0.6104$)。

以上より、甘味ソルゴーと多品種の比較では、搾汁液質量についてスーパーシュガーの搾汁液質量が有意に少ないということが分かる (図 3-1)。搾汁液糖度についてはビッグシュガーソルゴーの糖度が有意に低いということがわかった (図 3-2)。高糖分ソルゴーは搾汁液質量と搾汁液糖度について甘味ソルゴーとの間に有意な差がなかった。

2016 年に収穫した 2 品種の各個体の搾汁液の質量 (g) と糖度 (Brix%) を表 3-2 に示す。11 月収穫分の高糖分ソルゴーについては、損傷が激しく 7 個の袋より収穫したのが 13 個体のみの収穫となった。まず 2 品種間での搾汁液の質量と糖度を比較するため、2 品種の値を収穫時期ごとに箱ヒゲ図にした (図 3-3, 3-4, 3-5, 3-6)。次に品種間での搾汁液質量と搾汁液糖度の平均値に有意な差があるか Welch t-test を行った。

検定の結果、まず外れ値を含むデータの場合について述べる。10 月に収穫した個体について、搾汁液質量で品種間に有意な差は認められず ($t = 0.57598$, $P = 0.5701$)、搾汁液糖度でも品種間に有意な差は認められなかった ($t = 0.80387$, $P = 0.4299$)。11 月に収穫した個体について、搾汁液質量では品種間に有意な差は認められなかった ($t = 1.6212$, $P = 0.1175$)。一方で搾汁液糖度では品種間に有意な差が認められた ($t = 3.2805$, $P = 0.003062$)。

次に、外れ値を含まないデータの場合について述べる。10 月に収穫した個体について、搾汁液質量で品種間に有意な差は認められず ($t = 1.1103$, $P = 0.2828$)、搾汁液糖度でも品種間に有意な差は認められなかった ($t=0.17252$, P

=0.8652)。11月に収穫した個体について、搾汁液質量では品種間に有意な差は認められなかった ($t=1.6123$, $P=0.122$)。一方で搾汁液糖度では品種間に有意な差が認められた ($t=3.8335$, $P=0.00085$)。

以上より、高糖分ソルゴの糖度は甘味ソルゴの糖度より有意に高いということがわかった (図 3-6)。

3-3-3 品種間の搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の考察

2015年の10月に収穫した5品種の中で甘味ソルゴと他品種について搾汁液質量と搾汁液糖度を比較した結果、外れ値の有無に関係なく搾汁液質量を多い品種という点では甘味ソルゴ、高糖分ソルゴ、ビッグシュガーソルゴが適しており、搾汁液糖度が高い品種という点では、甘味ソルゴ、高糖分ソルゴ、スーパーシュガーソルゴが適しているということが統計解析よりわかった。搾汁液質量は、品種の早晩生による個体のサイズに直接関係すると考えられる。よって中生である高糖分ソルゴ、中晩生である甘味ソルゴ、晩生であるビッグシュガーソルゴで搾汁液質量が多くなったと考えられる。しかし、甘味ソルゴより有意に搾汁液質量が小さかったスーパーシュガーソルゴも甘味ソルゴと同じ中晩生である。これはスーパーシュガーソルゴが粗放栽培を行った畝の真ん中に植えられ、品種間及び品種内で光競合が生じ、生育が十分行えなかったのではないかと推測する。搾汁液糖度は、生育有効基準温度が関係すると考えられる。スイートソルガムは登熟が進むにしたがって糖度が高くなり、10月上旬をピークに減少することが先行研究よりわかっている⁸⁴⁾。またソルガムの生育有効基準温度は約15℃である⁸⁵⁾。これらより成長段階が終了し糖度の減少が始まる10月上旬もしくは気温が15℃以下になるまでの期間がより長い品種がより多くの糖を蓄積できるのではないかと推測した。早生である高消化ソルゴは成長段階の期間が短く、糖蓄積を行える期間多品種よりも長いため、糖度の値が高くなったと考えられる。晩生で

あるビッグシュガーソルゴーは成長段階の期間が他の品種と比べ長く、糖蓄積を行える期間が短かったため、糖度の値が低くなったと考えられる。中生の高糖分ソルゴーと中晩生である甘味ソルゴーとスーパーシュガーソルゴーは糖蓄積を行える期間が高消化ソルゴーとビッグシュガーソルゴーの間にあたる長さであったため、糖度もその間の値となったと考えられる（図 3-2）。以上より教材化に適している品種として、搾汁液質量では成長段階の期間が長い中生、中晩生、晩生の品種が、搾汁液糖度では糖蓄積の期間が長い早生、中晩生の品種が適していると推定された。よって両条件を満たす中生及び中晩生の品種が教材化に適しており、2015 年の栽培結果より中生の品種からは高糖分ソルゴーを、中晩生の品種からはより搾汁液質量が多い甘味ソルゴーを教材に用いる品種と暫定した。

2016 年に収穫した甘味ソルゴーと高糖分ソルゴーの搾汁液質量と搾汁液糖度を比較した結果、外れ値に関係なく 11 月に収穫した個体の搾汁液糖度についてのみ高糖分ソルゴーが甘味ソルゴーよりも有意に高い値であることがわかった。これは中生と中晩生の間で糖蓄積を行える期間が中生の方が長いことにより生じた結果であると推測する。これより、搾汁液糖度では中晩生よりも中生の品種を用いる方が高い糖度を期待されるため、品種の選定では教材に用いるのは中生である高糖分ソルゴーが適しているとした。

第 4 節 教材化に適したスイートソルガムの作形の検討

3-4-1 作形の検討方法

品種の選定と同様に、スイートソルガムの搾汁液質量が多く、搾汁液糖度も高くなる作形が教材化するにあたって求められる。よって作形の検討においても、教材に適しているかを評価するにあたって、各品種の搾汁液の質量と糖度を用いることにした。

作形の検討は 2015 年と 2016 年の 2 回行った。2015 年ではビッグシュガーソルゴー

と高糖分ソルゴーの2品種を用いた。最適な播種時期の検討として5月に播種し11月に収穫した10個体と6月に播種し11月に収穫した10個体について、各品種で播種時期の異なる個体の搾汁液質量と搾汁糖度をそれぞれ比較することで最適な播種時期を検討した。また最適な収穫時期の検討として、5月に播種し10月に収穫した10個体と5月に播種し11月に収穫した10個体について、各品種で収穫時期の異なる個体を播種時期の検討と同様に比較することで最適な収穫時期を検討した。また5月に播種し10月に収穫した袋栽培の個体10個体と同時期に播種収穫された粗放栽培の個体10個体の搾汁液質量と搾汁液糖度をそれぞれ比較し、袋栽培の有用性についても検討を行った。なお収穫する個体は出穂が確認できた個体であり、予定した個体数を確保できなかった場合が収穫できた個体のみを用い、再収穫は行わなかった。

2016年では2015年に行った袋栽培の再現性を確かめた。使用した品種は、2015年の品種の選定の結果より甘味ソルゴーと高糖分ソルゴーの2品種を用いた。播種は5月に行い、10月と11月に各品種7個の袋からそれぞれ2個体、合計14個体を収穫し搾汁を行い、各品種で収穫時期ごとの搾汁液質量と搾汁液糖度をそれぞれ比較した。また袋栽培の有用性を検証するため、高糖分ソルゴーについては2016年の袋栽培と2015年の粗放栽培で搾汁液質量と搾汁液糖度を比較し、甘味ソルゴーについては2016年の袋栽培と2016年の慣行栽培で搾汁液質量と搾汁液糖度を比較した。

収穫した個体は、サトウキビの搾汁に用いられる搾汁器で搾汁した。搾汁の際、2015年では個体ごとに原料茎重(g)、原料茎の長さ(cm)、搾汁液の液量(ml)、搾汁液の質量(g)と糖度(Brix%)を測定した。2016年では個体ごとに生重量(g)、草丈(cm)、原料茎重(g)、原料茎の長さ(cm)、搾汁液の質量(g)と糖度(Brix%)を測定した。2015年と2016年共に糖度はデジタル糖度計である Spittz IPR-101α ASONE を用いて測定した。

3-4-2 作型による搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の結果

2015 年について、まず播種時期と収穫時期の検討に用いた各個体の搾汁液の質量(g)と糖度(Brix%)を表 3-3 に示す。5 月播種 10 月収穫のビッグシュガーソルゴーについては、出穂していた個体が少なかったため 5 個体のみの収穫となった。また 6 月播種 11 月収穫の個体については、成長が遅く出穂している個体が少なかったため各品種 5 個体のみの収穫となった。まず品種ごとに播種時期による搾汁液質量を比較するため、品種ごとに箱ヒゲ図にした(図 3-7, 3-8)。また同様に搾汁液糖度についても品種ごとに箱ヒゲ図にした(図 3-9, 3-10)。その結果、播種時期について、搾汁液質量は高糖分ソルゴーとビッグシュガーソルゴーとの両種で 5 月播種の個体の平均値が 6 月播種の個体より大きい値であることがわかった(図 3-7, 3-8)。搾汁液糖度は、図においては両種で 5 月播種と 6 月播種の個体の平均値に差は見られなかった(図 3-9, 3-10)。次に品種ごとに収穫時期による搾汁液質量を比較するため、品種ごとの値を箱ヒゲ図にした(図 3-11, 3-12)。また同様に搾汁液糖度についても品種ごとに箱ヒゲ図にした(図 3-13, 3-14)。その結果、収穫時期について、搾汁液質量は両種で 11 月収穫の個体の平均値が 10 月収穫の個体のものより大きい値であることがわかった(図 3-11, 3-12)。搾汁液糖度は、図において高糖分ソルゴーでは 10 月収穫個体の平均値が 11 月収穫個体のものより大きい値、ビッグシュガーソルゴーでは 11 月収穫個体の平均値が 10 月収穫個体のものより大きい値であった(図 3-13, 3-14)。

次に統計解析を行った。搾汁液質量と搾汁液糖度について、播種時期による平均値の差を各品種 Welch t-test で求めた。

その結果、まず外れ値を含むデータでは搾汁液質量について、高糖分ソルゴーで播種時期による有意な差が認められ($t = 5.3339, P = 0.0004155$)、ビッグシュガーソルゴーでも播種時期による有意な差が認められた($t = 2.9931, P = 0.01074$)。搾汁液糖度については、高糖分ソルゴーで播種時期による有意

な差は認められず ($t = 0.43148, P = 0.6734$)、ビッグシュガーソルゴーでも播種時期による有意な差は認められなかった ($t = 2.0901, P = 0.06166$)。次に、外れ値を含まないデータの場合について述べる。搾汁液質量については、ビッグシュガーソルゴーのみ外れ値が認められ、播種時期による有意な差が認められた ($t = 4.329, P = 0.001201$)。搾汁液糖度については、高糖分ソルゴーでのみ外れ値が認められ、播種時期による有意な差は認められなかった ($t = 1.2722, P = 0.2274$)。

以上より、播種時期による搾汁液質量では高糖分ソルゴーとビッグシュガーソルゴーの両種において 5 月に播種した個体が 6 月に播種した個体より有意に高い値を示すことが分かった。搾汁液糖度については播種時期による変化はないことがわかった。

次に搾汁液質量と搾汁液糖度について、収穫時期による平均値の差を各品種 Welch t-test で求めた。その結果、外れ値を含むデータでは搾汁液質量について、高糖分ソルゴーで収穫時期による有意な差が認められ ($t = 2.5321, P = 0.0214$)、ビッグシュガーソルゴーでも収穫時期による有意な差が認められた ($t = 2.9493, P = 0.01131$)。搾汁液糖度について、高糖分ソルゴーでは収穫時期による有意な差は認められなかった ($t = 2.0228, P = 0.06494$)、一方ビッグシュガーソルゴーでは収穫時期による有意な差が認められた ($t = 2.2673, P = 0.04454$)。次に、外れ値を含まないデータの場合について述べる。その結果、搾汁液質量については、ビッグシュガーソルゴーにのみ外れ値が認められ、収穫時期による有意な差が認められた ($t = 3.2716, P = 0.008905$)。搾汁液糖度については、高糖分ソルゴーでのみ外れ値が認められ、収穫時期による有意な差が認められた ($t = 2.4028, P = 0.03474$)。

以上より収穫時期については、搾汁液質量では高糖分ソルゴーとビッグシ

ユガーの両種において、11月に収穫した個体が10月に収穫した個体より有意に高い値を示すことがわかった。搾汁液糖度については、高糖分ソルゴーでは10月に収穫した個体が11月に収穫した個体より高い値を示すことが分かり、ビッグシュガーソルゴーでは11月に収穫した個体が10月に収穫した個体より高い値を示すことがわかった。

次に、2015年での袋栽培と粗放栽培での搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の結果である。まず袋栽培と粗放栽培の比較に用いた個体の搾汁液質量と搾汁液糖度を表3-4に示す。袋栽培の個体は、風の影響により損傷が大きかったため品種ごとに4袋から1個体、各品種合計4個体を収穫した。粗放栽培の個体は、収穫時期の検討に用いた5月播種10月収穫の個体を用いた。粗放栽培のビッグシュガーソルゴーは収穫時期と同じく5個体である。袋栽培と粗放栽培での搾汁液質量を比較するため、品種ごとの値を箱ヒゲ図にした(図3-15, 3-16)。また同様に搾汁液糖度についても品種ごとに箱ヒゲ図にした(図3-17, 3-18)。その結果、搾汁液質量について、高糖分ソルゴーとビッグシュガーソルゴーの両種において袋栽培の個体の平均値が粗放栽培のものよりも大きな値であることがわかった(図3-15, 3-16)。搾汁液糖度については、高糖分ソルゴーでは粗放栽培の個体の平均値と袋栽培の個体の平均値との間に差は見受けられなかった(図3-17)。一方でビッグシュガーソルゴーでは袋栽培の個体の平均値が粗放栽培のものより大きい値であることがわかった(図3-18)。

次に統計解析を行った。搾汁液質量と搾汁液糖度について、栽培方法による平均値の差をWelch t-testで求めた。その結果、外れ値を含むデータでは搾汁液質量について、高糖分ソルゴーでは有意な差は認められず($t = 2.6138$, $P = 0.06159$)、ビッグシュガーソルゴーでは有意な差が認められた($t = 5.16652$, $P = 0.0007669$)。搾汁液糖度については、高糖分ソルゴーで有意な差は認められなかった($t = 0.10399$, $P = 0.9193$)。一方でビッグシュガーソルゴーでは有意

な差が認められた ($t = 2.9392$, $P = 0.0257$)。次に外れ値を含まないデータについて述べる。外れ値が認められたのは、ビッグシュガーソルゴの搾汁液質量のみで認められ、栽培方法による有意な差が認められた ($t = 7.7019$, $P = 0.002615$)。

以上より、高糖分ソルゴでは搾汁液質量と搾汁液糖度について栽培方法による変化が無いことがわかった。一方ビッグシュガーソルゴでは、搾汁液質量と搾汁液糖度の両方について、袋栽培の方が有意に高い値であることがわかった。

2016 年に行った袋栽培から収穫した 2 品種の各個体の搾汁液の質量 (g) と糖度 (Brix%) を表 3-2 に示す。また収穫した慣行栽培の各個体の搾汁液の質量と糖度を表 3-5 に示す。11 月収穫分の高糖分ソルゴについては、損傷が激しく 7 個の袋より収穫したが 13 個体のみの収穫となった。まず高糖分ソルゴについて 2015 年に行った 10 月収穫の袋栽培及び粗放栽培の個体と 2016 年に行った 10 月収穫の袋栽培の個体での搾汁液の質量と糖度を比較するため、搾汁液質量についての値を箱ヒゲ図にした (図 3-19)。また同様に搾汁液糖度についても各品種の値を箱ヒゲ図にした (図 3-20)。その結果、搾汁液質量では 2016 年の袋栽培の平均値は、粗放栽培の平均値よりも大きい一方で、2015 年の袋栽培の平均値より小さいことがわかった (図 3-19)。搾汁液糖度では、2016 年の袋栽培の平均値は、2015 年の粗放栽培と袋栽培の平均値より小さいことがわかった (図 3-20)。

次に統計解析を行った。まず高糖分ソルゴについて 2016 年に行った袋栽培の個体と 2015 年に行った粗放栽培の個体間で搾汁液質量と搾汁液糖度に有意な差があるか Welch t-test で求めた。なお、搾汁液質量および搾汁液糖度で使用データ内に外れ値は認められなかった。その結果、搾汁液質量では 2016 年の袋栽培と 2015 年の粗放栽培との間に有意な差は認められなかった ($t = 1.5935$, $P =$

0.1291)。搾汁液糖度でも、2016 年の袋栽培と 2015 年の粗放栽培との間に有意な差は認められなかった ($t = 1.2976$, $P = 0.2214$)。2015 年と 2016 年の袋栽培についての統計解析は、2015 年の袋栽培の個体数と 2016 年の袋栽培の個体数の差が 10 個体であり、正確に有意差を求められないので行わないことにした。

次に甘味ソルゴーについて 2016 年の袋栽培と慣行栽培の個体での搾汁液の質量と糖度を比較するため、搾汁液質量についての値を箱ヒゲ図にした (図 3-21)。また同様に搾汁液糖度についても各品種の値を箱ヒゲ図にした (図 3-22)。その結果、搾汁液質量では慣行栽培の平均値が、10 月収穫および 11 月収穫の袋栽培より大きいことがわかった。搾汁液糖度では、慣行栽培と 10 月収穫の袋栽培では慣行栽培の平均値が高く、慣行栽培と 11 月収穫の袋栽培では平均値に差は見受けられなかった。

次に統計解析を行った。搾汁液質量と搾汁液糖度に有意な差があるか慣行栽培の個体と 10 月収穫の袋栽培の個体、慣行栽培の個体と 11 月収穫の個体について外れ値を含む場合と含まない場合で Welch t-test を行った。その結果、まず外れ値を含まないデータでは、搾汁液質量について 10 月収穫の袋栽培と慣行栽培で有意な差が認められた ($t = 4.5918$, $P = 0.0003334$)。11 月収穫の袋栽培と慣行栽培でも有意な差が認められた ($t = 3.8333$, $P = 0.001206$)。搾汁液糖度については、10 月収穫の袋栽培と慣行栽培との間に有意な差が認められ ($t = 2.0864$, $P = 0.0481$)、11 月収穫の袋栽培と慣行栽培の間に有意な差は認められなかった ($t = 0.56259$, $P = 0.579$)。外れ値を含まないデータでは、搾汁液質量について 10 月収穫の袋栽培と慣行栽培で有意な差が認められた ($t = 4.9385$, $P = 0.0002337$)。11 月収穫の袋栽培と慣行栽培でも有意な差が認められた ($t = 4.2142$, $P = 0.0005447$)。搾汁液糖度については、10 月収穫の袋栽培と慣行栽培との間に有意な差が認められなかった ($t = 0.759$, $P = 0.4588$)。11

月収穫の袋栽培と慣行栽培の間でも有意な差は認められなかった ($t = 1.706$, $P = 0.1013$)。

次に 2016 年の袋栽培について収穫時期による搾汁液質量を比較するため、品種ごとに搾汁液質量を箱ヒゲ図にした (図 3-23, 3-24)。また搾汁液糖度についても同様に箱ヒゲ図にした (図 25, 26)。その結果、搾汁液質量について甘味ソルゴーでは 11 月の個体の平均値が 10 月のものより大きいことがわかった (図 3-23)。高糖分ソルゴーでは 10 月の個体の平均値が 11 月のものより大きいことがわかった (図 3-24)。搾汁液糖度については、甘味ソルゴーと高糖分ソルゴーの両種に置いて 11 月の平均値が 10 月のものより大きいことがわかった (図 3-25, 3-26)。

次に 2016 年の袋栽培について、10 月に収穫した個体と 11 月に収穫した個体間で搾汁液質量と搾汁液糖度に有意な差があるか各品種 Welch t-test で求めた。その結果、外れ値を含むデータでは搾汁液質量について、甘味ソルゴーで 10 月と 11 月の個体の平均値の間に有意な差は認められなかった ($t = 1.083$, $P = 0.2902$)。高糖分ソルゴーでも、10 月と 11 月の個体の平均値の間に有意な差が認められなかった ($t = 1.1886$, $P = 0.2458$)。搾汁液糖度について、甘味ソルゴーで 10 月と 11 月の個体の平均値の間に有意な差は認められた ($t = 3.1935$, $P = 0.00367$)。また高糖分ソルゴーでも 10 月と 11 月の個体の平均値の間に有意な差は認められた ($t = 4.363$, $P = 0.0002249$)。次に外れ値を含まないデータでは搾汁液質量について、甘味ソルゴーで 10 月と 11 月の個体の平均値の間に有意な差は認められなかった ($t = 0.88635$, $P = 0.3904$)。高糖分ソルゴーでも、10 月と 11 月の個体の平均値の間に有意な差が認められなかった ($t = 1.8038$, $P = 0.08409$)。搾汁液糖度について、甘味ソルゴーで 10 月と 11 月の個体の平均値の間に有意な差は認められた ($t = 3.2611$, $P = 0.004434$)。また高糖分ソルゴーでも 10 月と 11 月の個体の平均値の間に有意

な差は認められた ($t = 1.9753$, $P = 6.395e^{-05}$)。

以上より、外れ値に関係なく 2016 年に行った袋栽培と 2015 年に行った粗放栽培の間に搾汁液質量と搾汁液糖度について有意な差が無いことがわかった。また袋栽培と慣行栽培の間では、搾汁液質量については慣行栽培の方が有意に高いことがわかり、搾汁液糖度では外れ値を含まない場合で袋栽培と慣行栽培との間に有意な差がないことがわかった。収穫時期については 2016 年の袋栽培において収穫時期が 11 月の方が、有意に搾汁液糖度が高いということがわかった。

3-4-3 作型による搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の考察

まずは搾汁液質量について、2015 年の粗放栽培の結果より、5 月に播種し 11 月に収穫する作型がより多くの搾汁液を得ることができると高糖分ソルゴーとビッグシュガーソルゴーの両種から推定された。搾汁液糖度について、2015 年の粗放栽培の結果より、播種時期による糖度の変化は認められなかった。しかし収穫時期について、高糖分ソルゴーでは 10 月収穫の個体の方が有意に糖度が高く、ビッグシュガーソルゴーでは 11 月収穫の個体の方が有意に糖度が高かった。これより品種によって、糖度が高くなる時期に異なりがあることがわかった。スイートソルガムは、出穂期後における穂の切除により Brix 糖度が、穂を切除していない個体より高くなる傾向があることがわかっており、茎から穂への糖の移行が存在すると考えられている⁸⁴⁾。よって、品種によって糖度が高くなる時期が異なる原因は、出穂期の異なりによることが考えられる。これらより、より高い糖度の搾汁液をより多く得るために最適な作型は、播種時期は 5 月であり、収穫時期は種の早晩生によって異なるため、品種に適した収穫時期に設定する必要があるとわかった。

次に 2015 年に行った袋栽培について考察する。2015 年では袋栽培の個体は各品種 4

個体しか収穫できなかったため、統計解析の結果の信頼性は高くないと考えた。しかし箱ヒゲ図より、収穫個体に偏りはあるものの高糖分ソルゴーとビッグシュガーソルゴーの両種において袋栽培においてもスイートソルガムが育成できることがわかった（図 15, 16, 17, 18）。この結果より 2016 年では袋の数を増やし、袋栽培でのスイートソルガム育成の再現性を検証した。その結果、高糖分ソルゴーにおいて、2015 年の粗放栽培との間で搾汁液質量と搾汁液糖度の両方で有意な差が認められなかった。よって袋栽培は粗放栽培と同じ程度に成長することがわかった。しかし、甘味ソルゴーについて慣行栽培した個体と袋栽培の個体を比較したところ、搾汁液質量について慣行栽培の方が有意に高い値を示した。これは袋栽培が慣行栽培に比べ根圏が狭く、土の保水力が袋栽培で弱いからだと考えられる。搾汁液質量が多いという点では慣行栽培の方が望ましいが、学校現場では各学年が理科、技術、特別活動等で栽培を行っており、花壇など慣行栽培を行える面積は限られている。そのことを考慮すると袋栽培は独立しているため、慣行栽培より袋栽培が適していると考ええる。また袋栽培は、雑草との資源競争が粗放栽培より少なく、畝を立てる必要もないため粗放栽培比べ作業量が少ない。よって、学校現場では袋栽培がより適していると考ええる。

2015 年において、搾汁液糖度は品種によって最適な収穫時期が異なることから、2016 年では品種の検討で選定された中生の高糖分ソルゴーと中晩生の甘味ソルゴーを用いて、収穫時期による搾汁液の質量と糖度の変化を再検証した。その結果、両品種において搾汁液質量では 10 月と 11 月で有意な差がなかった。これは 2015 年の粗放栽培の結果と異なる。そこで 2016 年の袋栽培の 10 月収穫個体と 11 月収穫個体の草丈を比較した。比較する草丈は分蘗^{げっ}を除き、主茎だけの値を用いた。比較には Welch t-test を用いた。その結果、甘味ソルゴーで 10 月と 11 月の間に有意な差は認められなかった ($t = 0.79637, P = 0.4334$)。また高糖分ソルゴーでも有意な差が認められなかった ($t = 1.61331, P = 0.1157$)。次に生重量についても同様に比較したところ、甘味ソルゴーで 10 月と 11

月との間に有意な差は認められず ($t = 0.88333$, $P = 0.3866$)、高糖分ソルゴーでも有意な差は認められなかった ($t = 0.30111$, $P = 0.7662$)。この結果より、10月から11月にかけて甘味ソルゴーと高糖分ソルゴーは成長を行っていないことが推測される。2015年と2016年の10月の日平均気温を比べると2015年の方が低いため^{86, 87)}、気温による成長抑制とは考えにくい。成長抑制の主な原因として水分不足による乾燥ストレスが考えられる。乾燥ストレスによって植物体内のアブシシン酸濃度が上昇することが知られており⁸⁸⁾、アブシシン酸はオーキシンの働きを阻害するため、乾燥ストレスによる植物の成長抑制があることが分かっている。袋栽培は平畝で行った粗放栽培と比べ、1個体の根圏が狭い。そのため、水分を十分に確保できず、乾燥ストレスによって成長が抑制されてしまい、結果として搾汁液質量に変化が無かったのではないかと推測される。次に搾汁液糖度では11月の方が有意に糖度が高いことがわかった。これも2015年の粗放栽培の結果と異なる。これは11月の気温が関係していると考えられる。2016年11月は2015年11月に比べ、日平均気温、平均最低気温が低い^{86, 87)}。低温ストレスによる糖度の上昇は寒締め栽培などで知られているため、2016年の袋栽培でも低温ストレスによる糖蓄積が行われ、糖度が10月から11月で上昇したと推測される。

以上よりスイートソルガムを教材化するにあたっての最適な作型については、播種時期は5月が最適であることがわかった。しかし最適な収穫時期については品種の早晩生によって収穫時期が異なると2015年の結果より推測されたが、2016年の結果からはその傾向が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る。栽培方法は作業量の少なさから土嚢袋を用いた袋栽培が学校現場では適しているとした。

第5節 スイートソルガムの栽培を実践するにあたって

教材化に向け、適したスイートソルガムの品種、栽培方法を検討した。品種については、搾汁液質量が多く、エタノールが着火するが期待される糖度という点で、2015

年の粗放栽培で甘味ソルゴーと高糖分ソルゴーが適していると暫定し、2016 年の袋栽培 11 月収穫において高糖分ソルゴーが最も適しているとした。しかし、搾汁液 1 L 中の糖組成は先行研究より、高糖分ソルゴーで Glucose : Fructose : Sucrose = 17.2 g : 15.6 g : 45.5 g、甘味ソルゴーで Glucose : Fructose : Sucrose = 15.4 g : 14.4 g : 49.8 g であることが分かっている⁹⁴⁾。Glucose と Fructose についてはアルコール発酵によって 1 mol 当たり 2 mol のエタノールが生成される。また Sucrose はアルコール発酵によって 1 mol 当たり 4 mol のエタノールが生成される。よって理論的には、高糖分ソルゴー搾汁液 1 L からは 41.3 g、甘味ソルゴー搾汁液 1 L からは 42.1 g のエタノールが得られることになる。高糖分ソルゴーと甘味ソルゴー間の差は 0.8 g であり、授業で扱う搾汁液の容積を鑑みるに、高糖分ソルゴーと甘味ソルゴーの糖組成の違いによるエタノール生成率に大きな違いはないと考えられる。また糖度については、14%以上であれば、発酵、蒸留を行うことで着火が可能であることがわかっており⁹³⁾、2016 年の袋栽培の結果では 11 月収穫の糖度は甘味ソルゴー、高糖分ソルゴー共に 14%を超えている。そのため、11 月収穫であれば甘味ソルゴーと高糖分ソルゴーのどちらの品種でも教材として用いることができる考える。

次に栽培方法については述べる。作型について、播種時期は搾汁液質量が多いという点で 5 月播種が適していることがわかり、6 月播種の個体は搾汁液質量が 5 月播種に比べ著しく少ないため、播種は 5 月に行うべきである。収穫時期は、2015 年の粗放栽培の結果及び 2016 年の袋栽培の結果より、11 月収穫の方が適しているのではないかと推定された。最適な収穫時期については再検証の余地があり、袋栽培では 11 月収穫がより高い糖度の搾汁液を得られる暫定的結論である。また 2016 年袋栽培 10 月収穫の平均糖度は 14%を下回るが高糖分ソルゴーで 13.8%、甘味ソルゴーで 13.4%と 14%に近い値であるため、袋栽培については 10 月収穫でも教材として用いることができると考える。そこで、実際に授業を 1 学年全クラスで行う際は、搾汁液の糖度よりも授業を行

うにあたって必要な搾汁液質量を計算し、設置可能な袋の個数や授業を行う時期に合わせて収穫時期を変えることを推奨する。



写真 3-1 2015 年栽培 甘味ソルゴーを播種した 128 穴セルトレイ



写真 3-2 2015 年栽培 千年農場定植の様子



写真 3-3 2015 年栽培 袋栽培定植後の様子



写真 3-4 2016 年栽培 慣行栽培の様子



写真 3-5 2016 年栽培 袋栽培播種後の様子

スィートソルガム 5品種比較 搾汁液質量

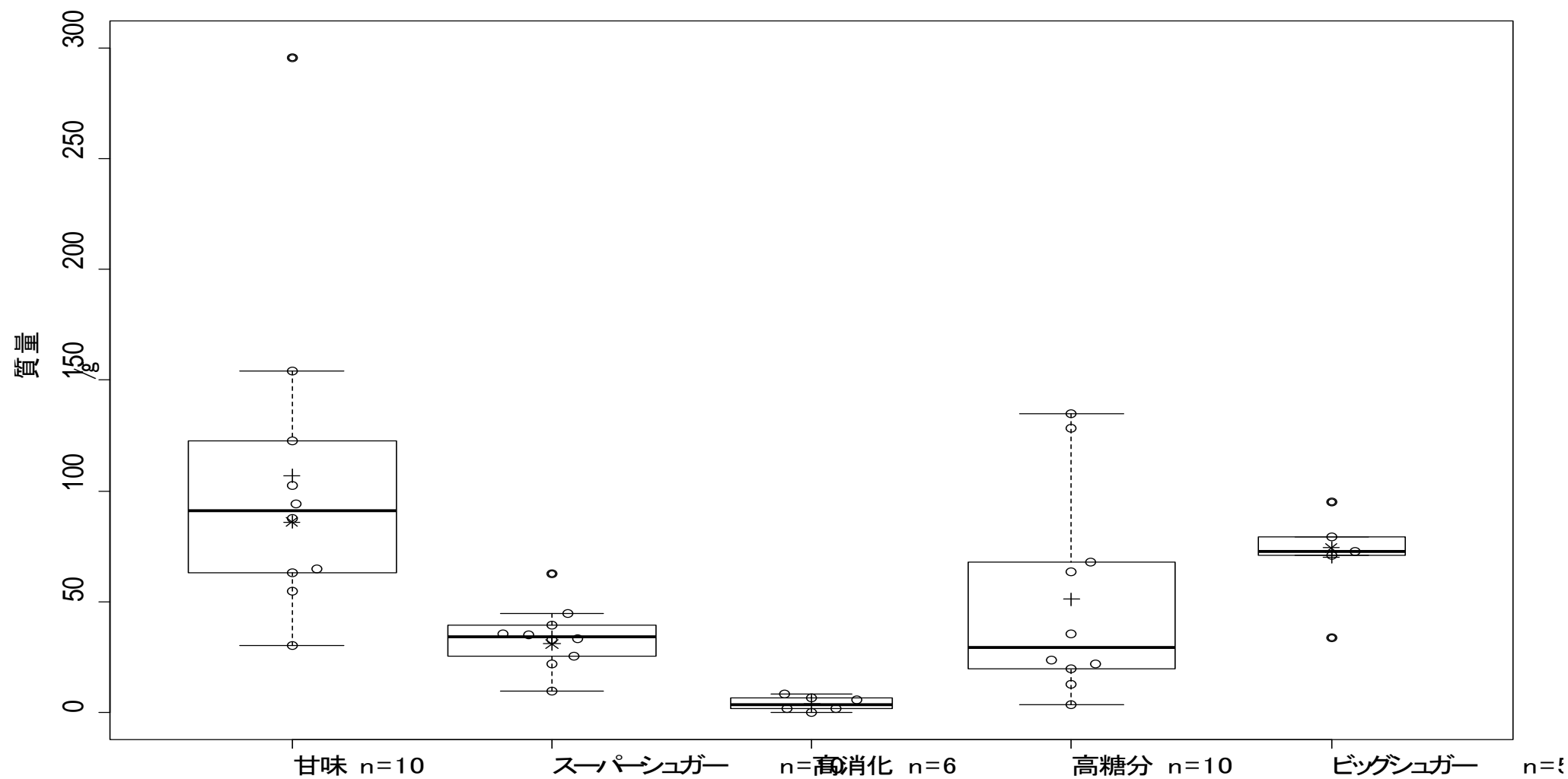


図 3-1 2015 年 5 品種の搾汁液質量の箱ヒゲ図 (図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

スイートソルガム 5品種比較 搾汁液糖度

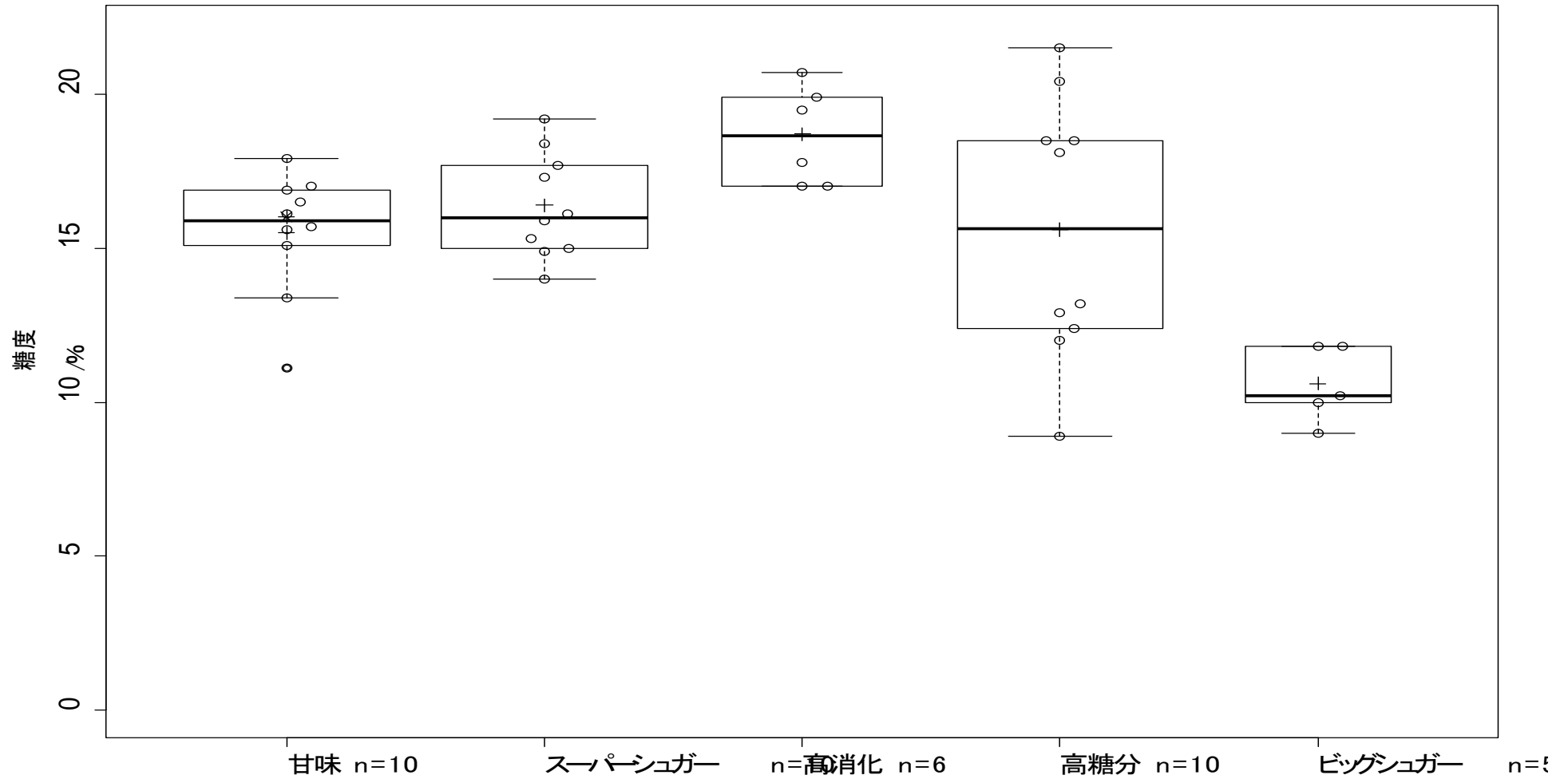


図 3-2 2015 年 5 品種の搾汁液糖度の箱ヒゲ図 (図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

スイートソルガム袋栽培 2品種比較 搾汁液

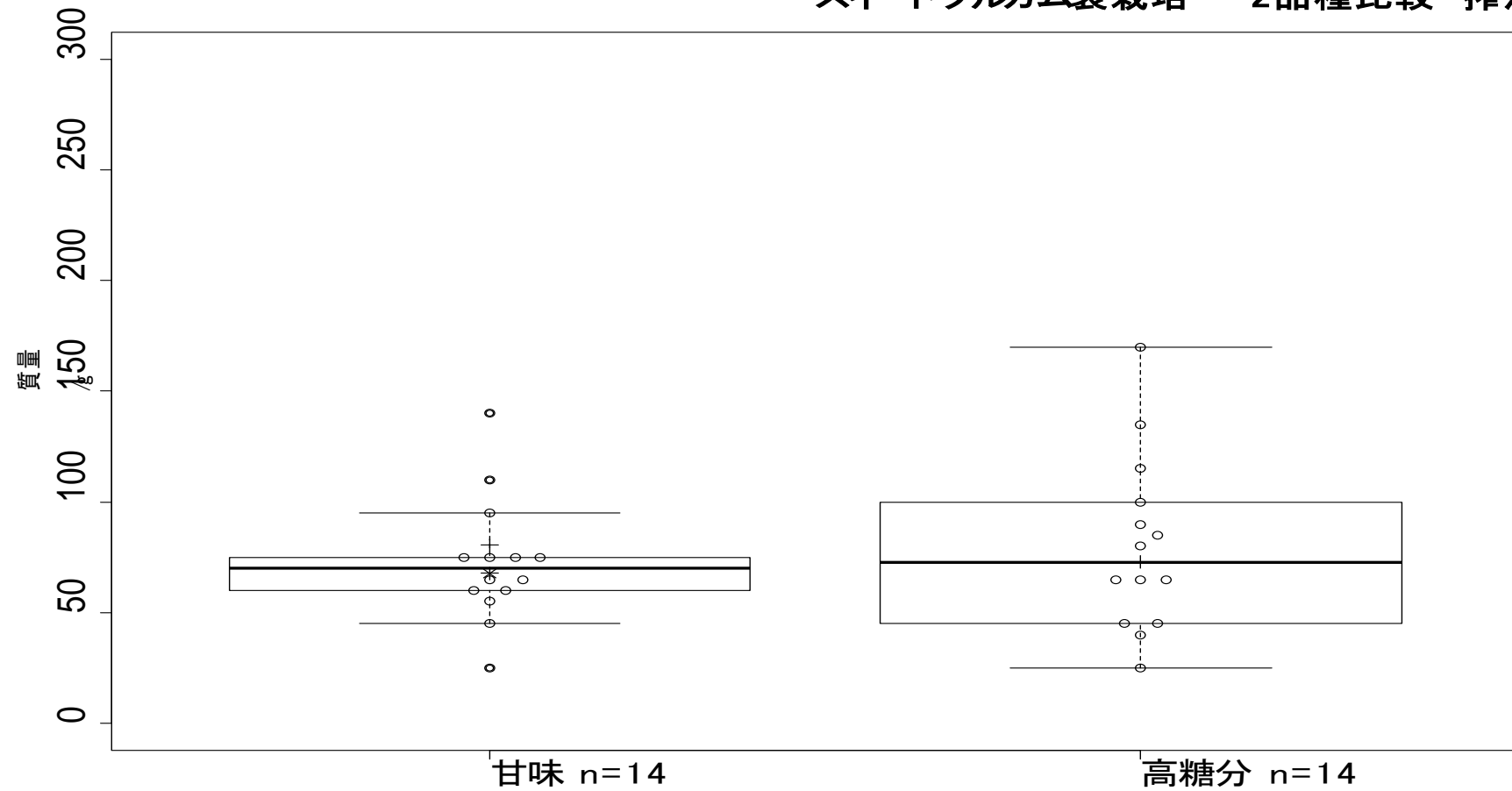


図 3-3 2016 年 10 月に収穫した 2 品種の搾汁液質量の箱ヒゲ図
(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

スイートソルガム袋栽培 2品種比較 搾汁液

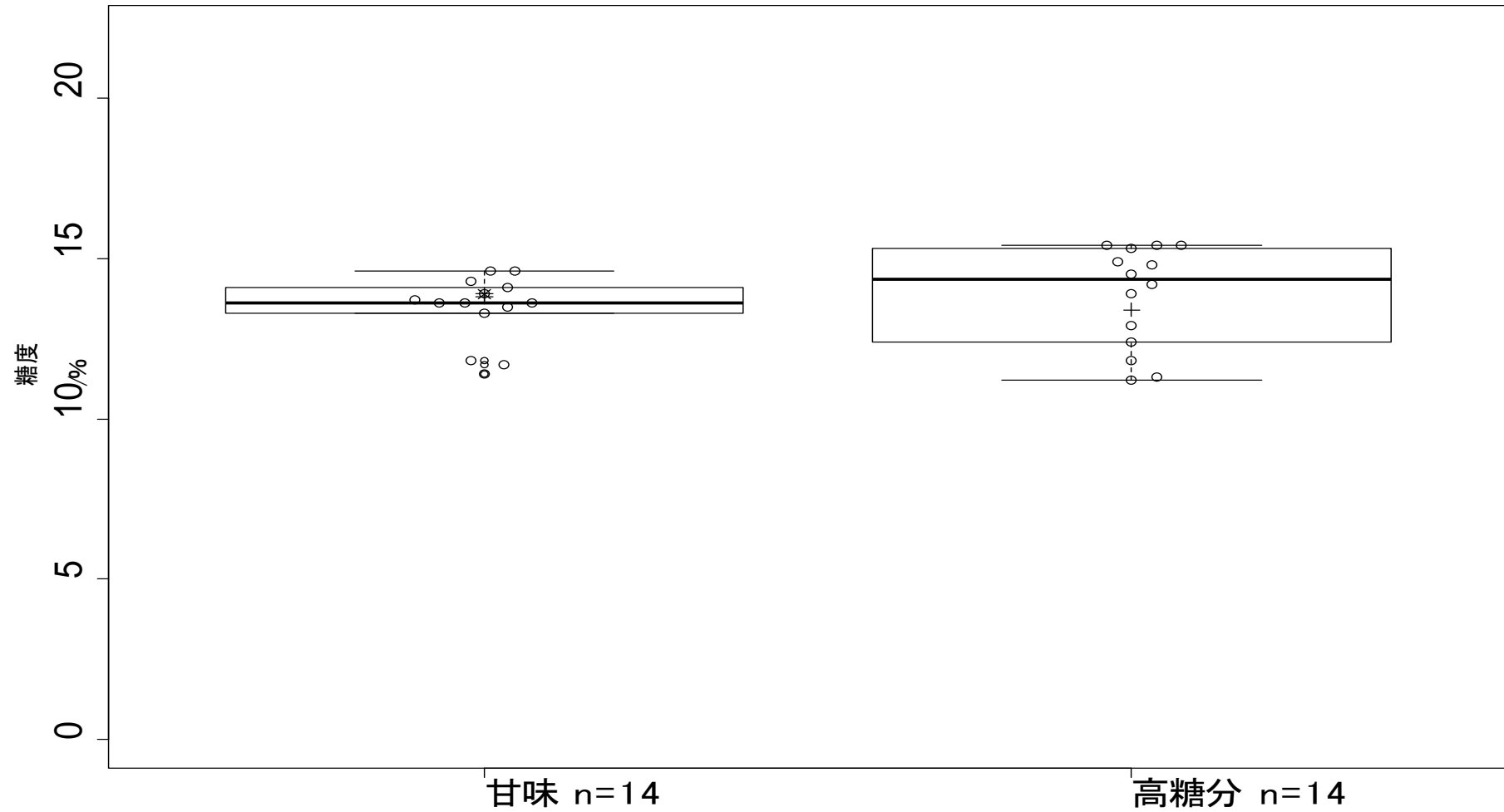


図 3-4 2016 年 10 月に収穫した 2 品種の搾汁液糖度の箱ヒゲ図
(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

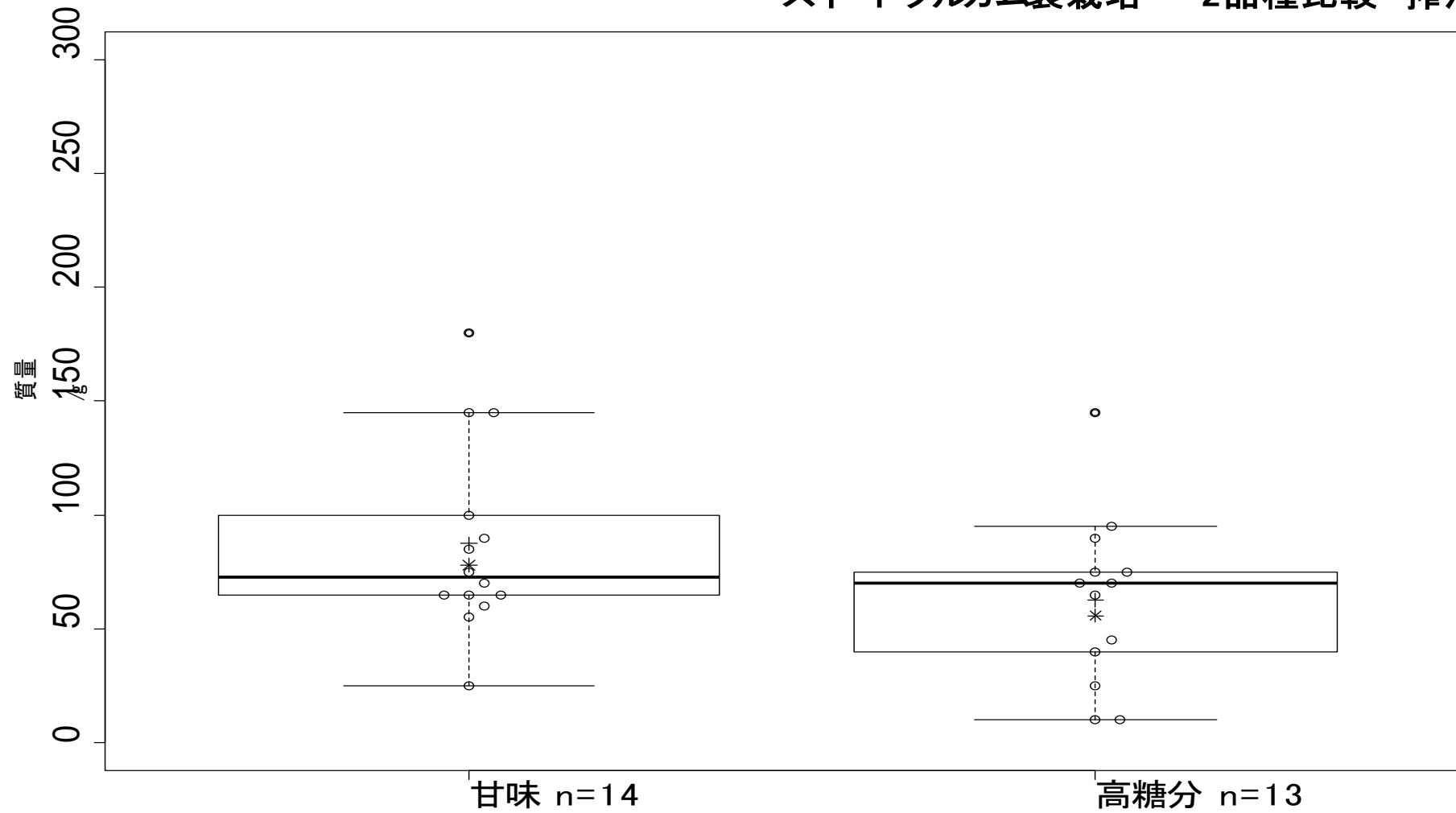


図 3-5 2016 年 11 月に収穫した 2 品種の搾汁液質量の箱ヒゲ図

(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

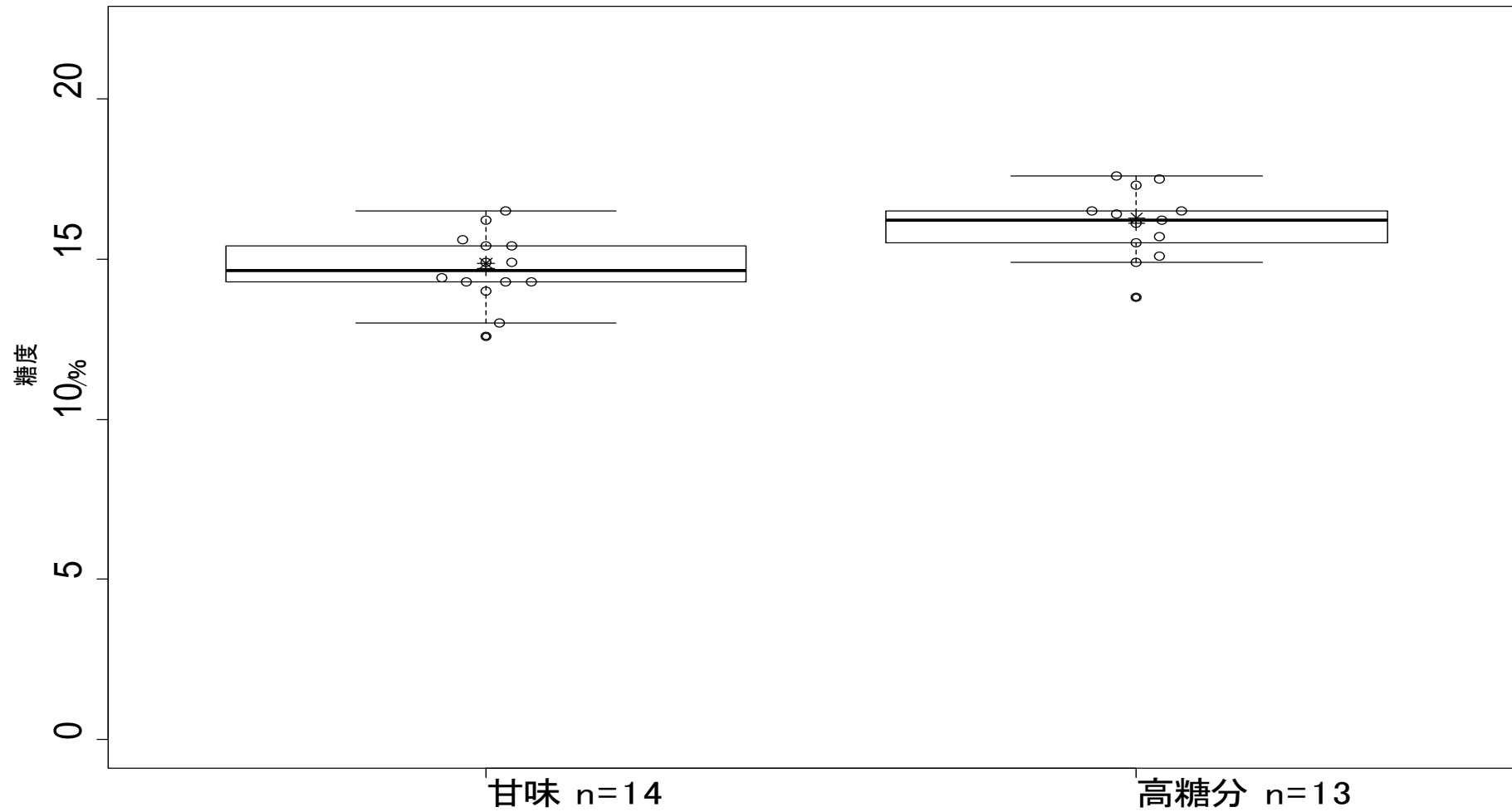


図 3-6 2016 年 11 月に収穫した 2 品種の搾汁液糖度の箱ヒゲ図
 (図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

高糖分ソルゴー 播種時期比較 搾汁液質量

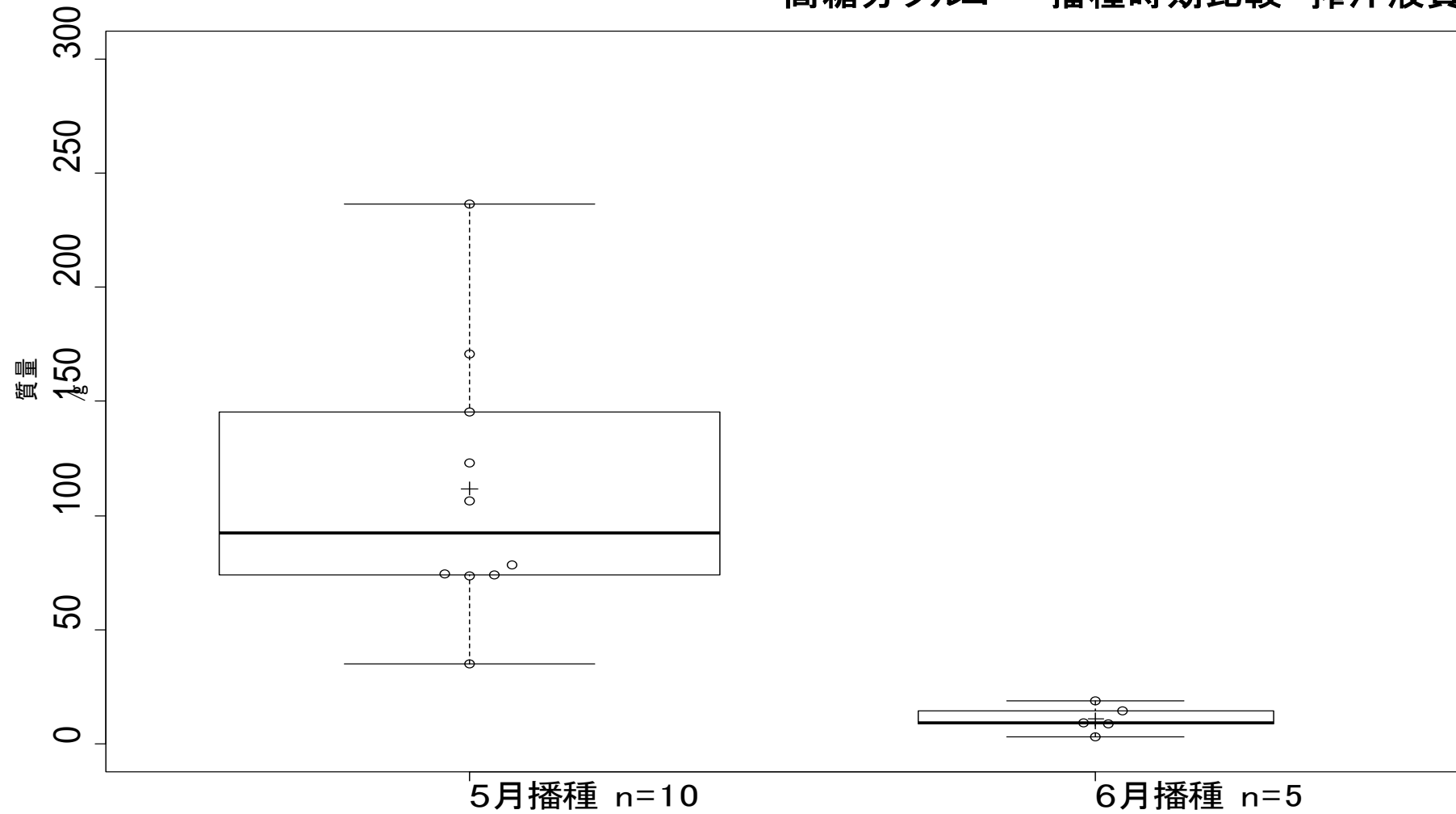


図 3-7 2015 年 高糖分ソルゴー 11 月収穫個体の搾汁液質量の播種時期比較

(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

ビッグシュガーソルゴー 播種時期比較 搾汁

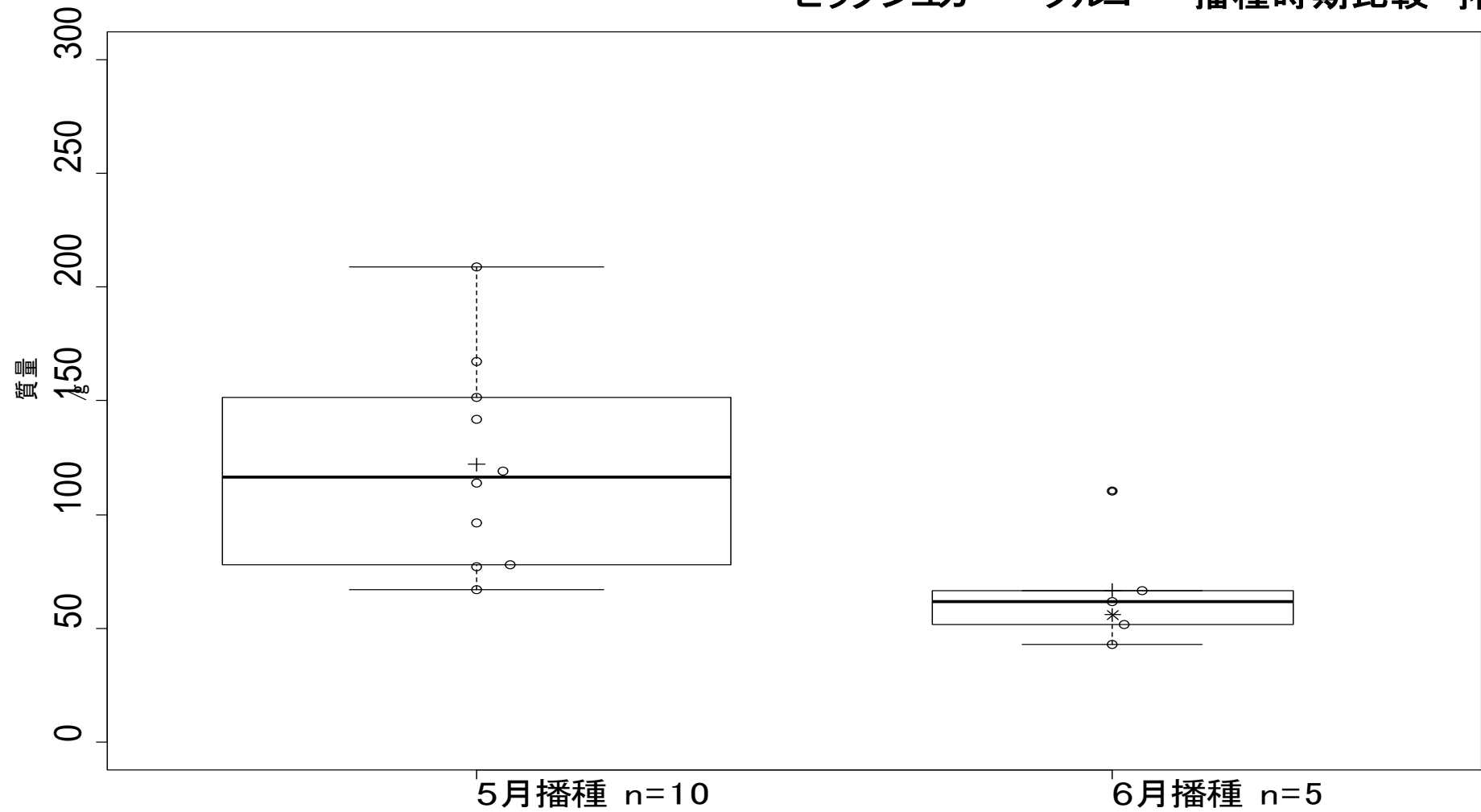


図 3-8 2015 年 ビッグシュガーソルゴー 11 月収穫個体の搾汁液質量の播種時期比較
(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

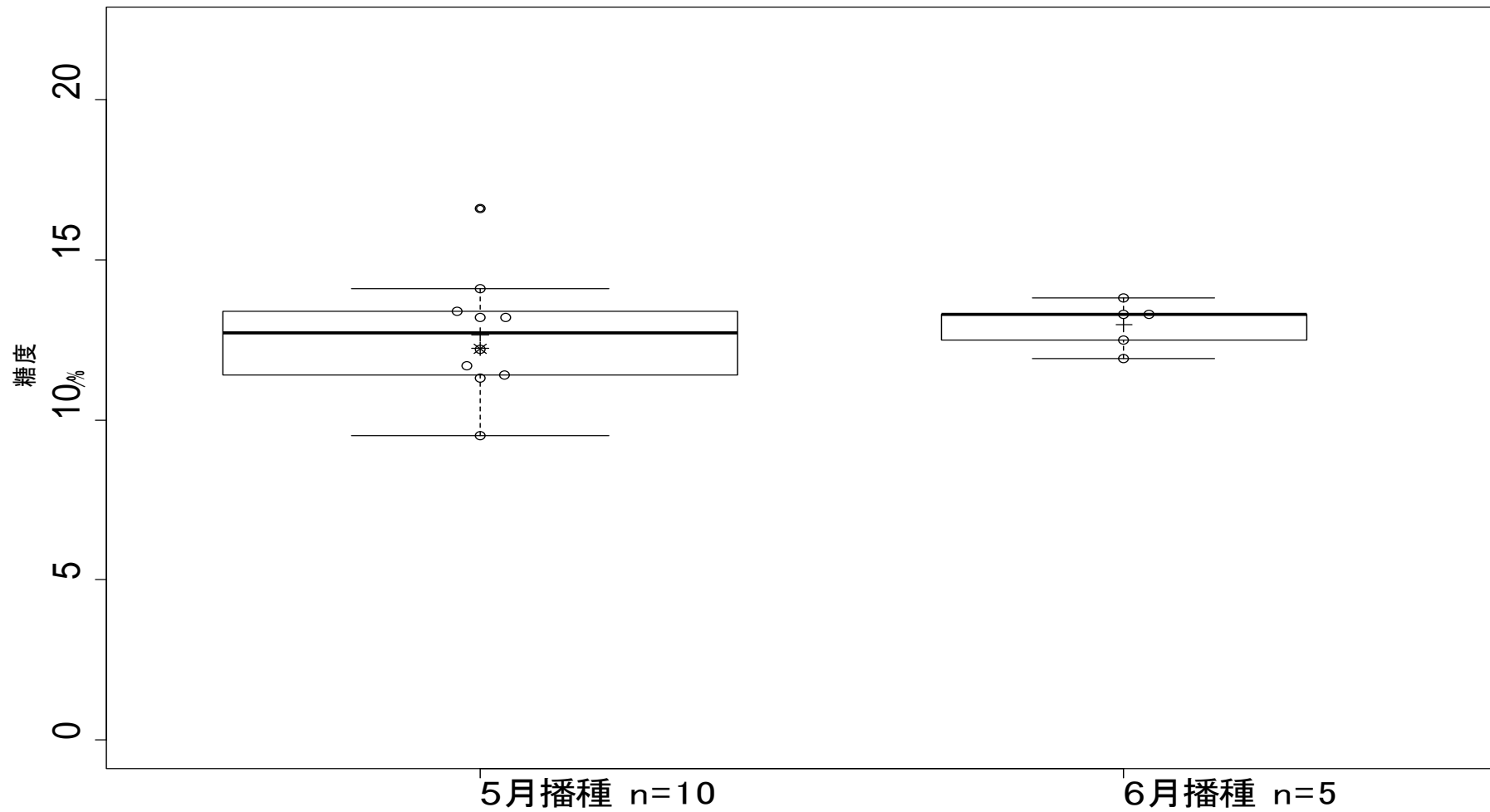


図 3-9 2015 年 高糖分ソルゴー 11 月収穫個体の搾汁液糖度の播種時期比較

(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

ビッグシュガー ソルゴー 播種時期比較 搾汁

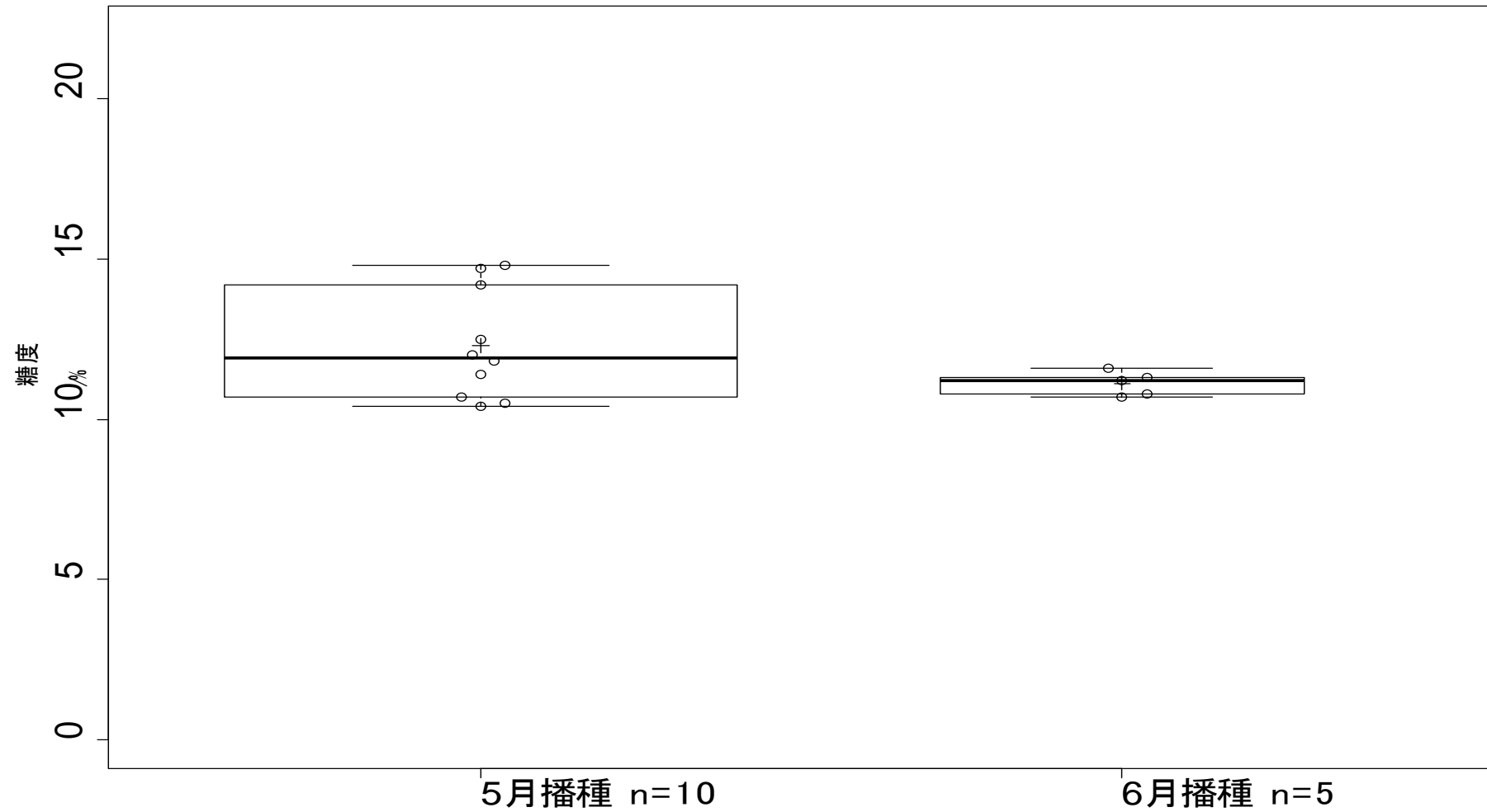


図 3-10 2015 年 ビッグシュガーソルゴー 11 月収穫個体の搾汁液糖度の播種時期比較
(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

高糖分ソルゴー 収穫時期比較 搾汁液質量

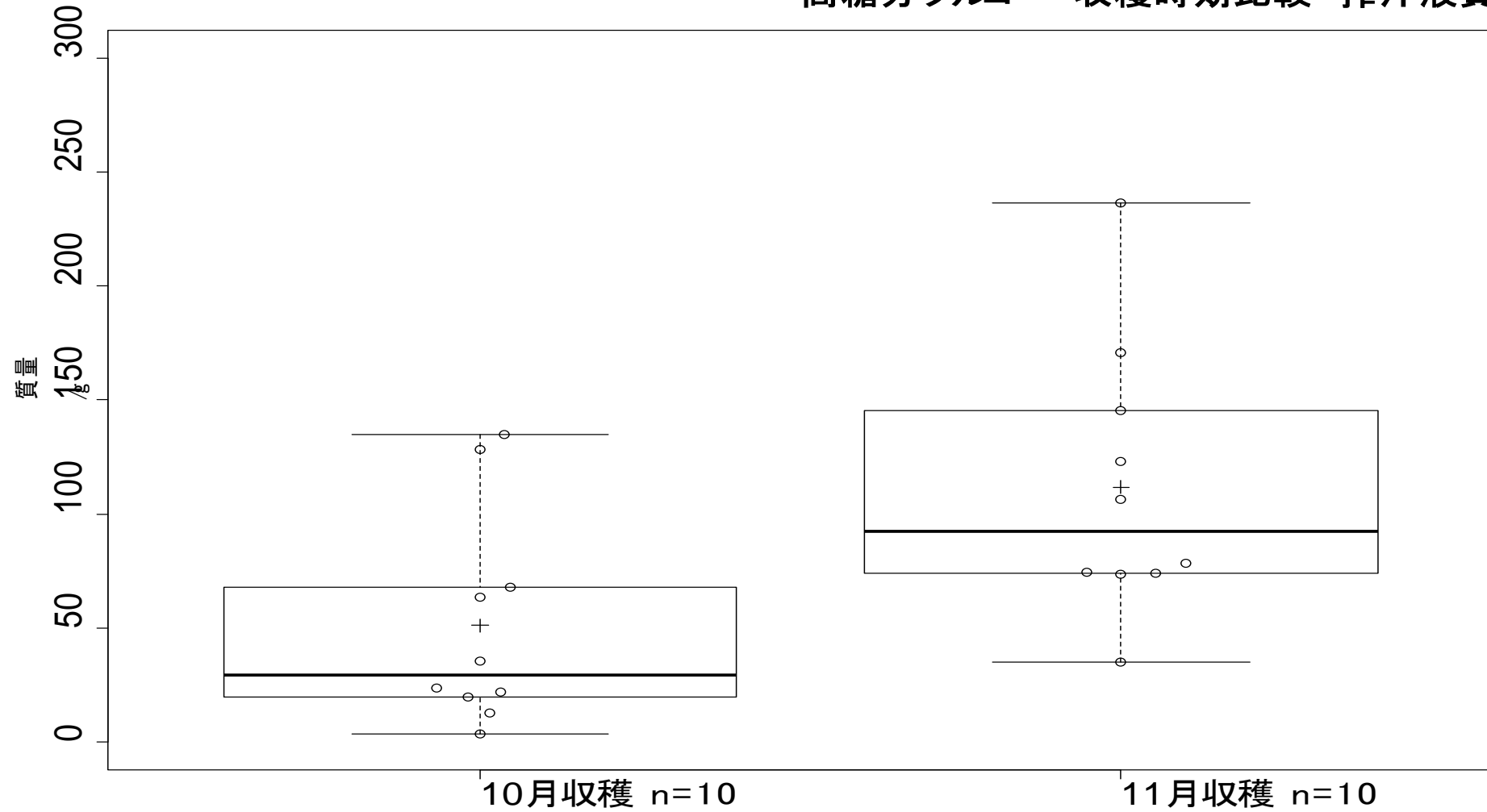


図 3-11 2015 年 高糖分ソルゴー 5 月播種個体の搾汁液質量の収穫時期比較
(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値を表す)

ビッグシュガー ソルゴー 収穫時期比較 搾汁

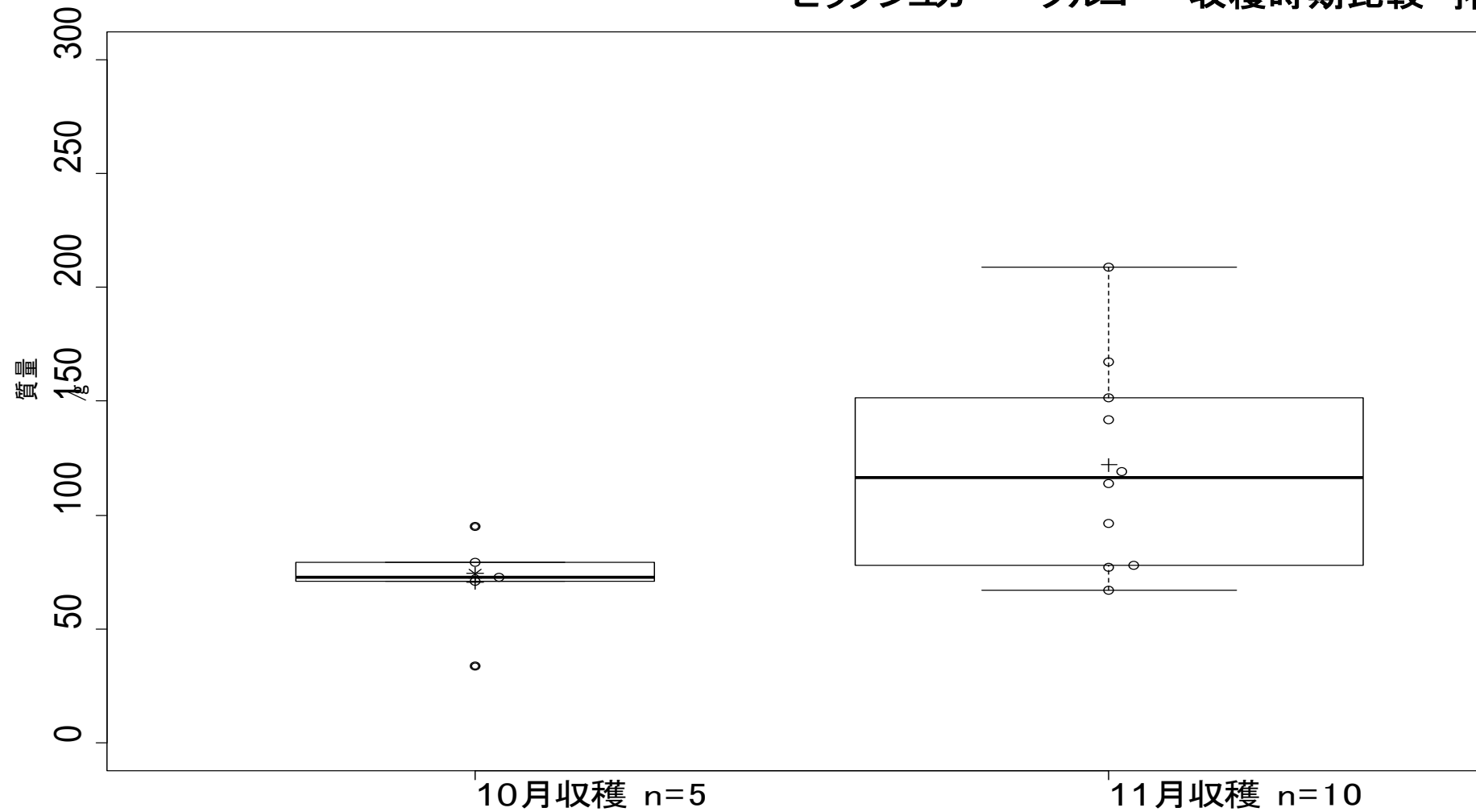


図 3-12 2015 年 ビッグシュガーソルゴー 5 月播種個体の搾汁液質量の収穫時期比較

(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

高糖分ソルゴー 収穫時期比較 搾汁液糖度

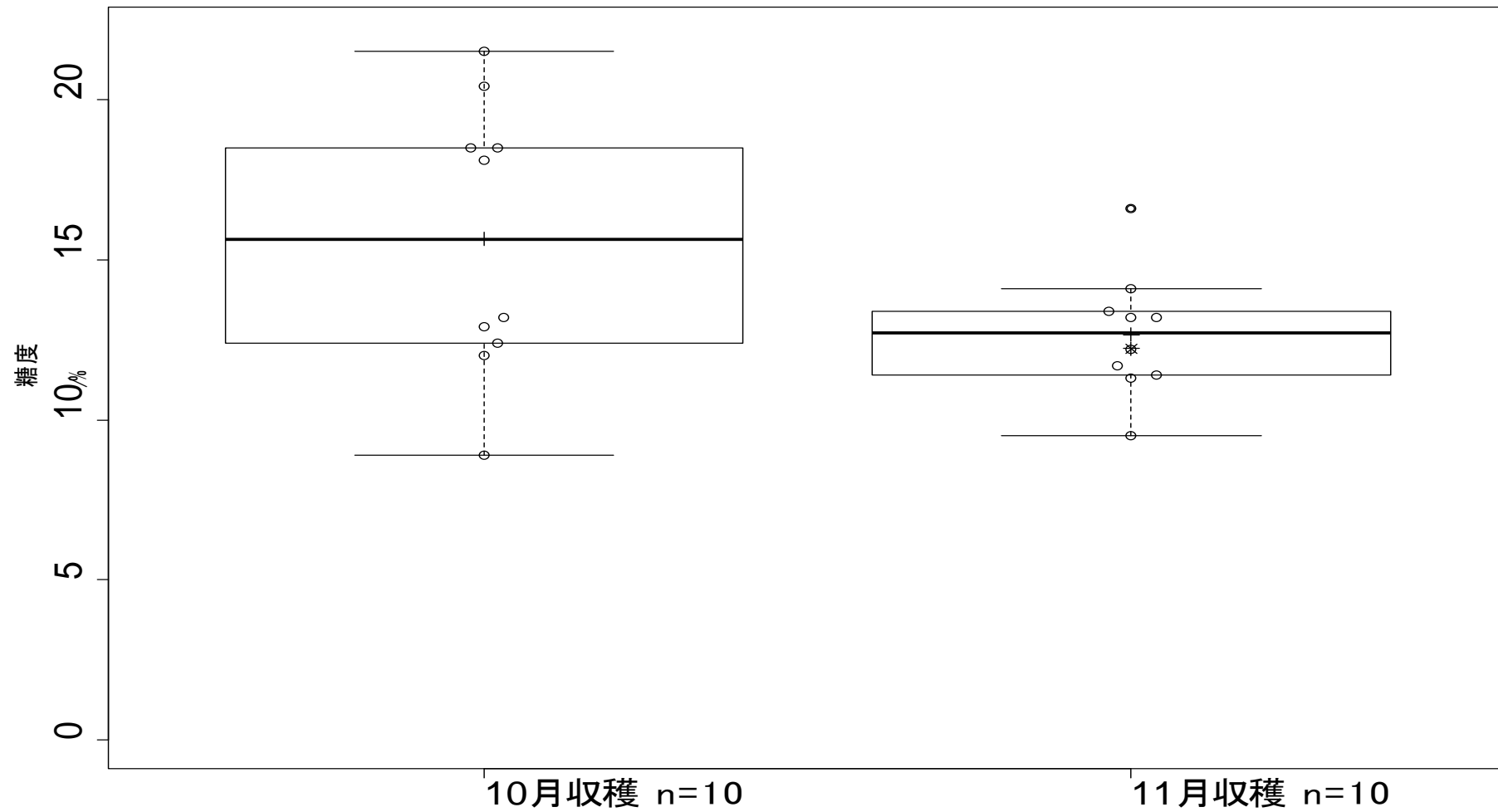


図 3-13 2015 年 高糖分ソルゴー 5 月播種個体の搾汁液糖度の収穫時期比較

(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

ビッグシュガー —ソルゴー 収穫時期比較 搾汁

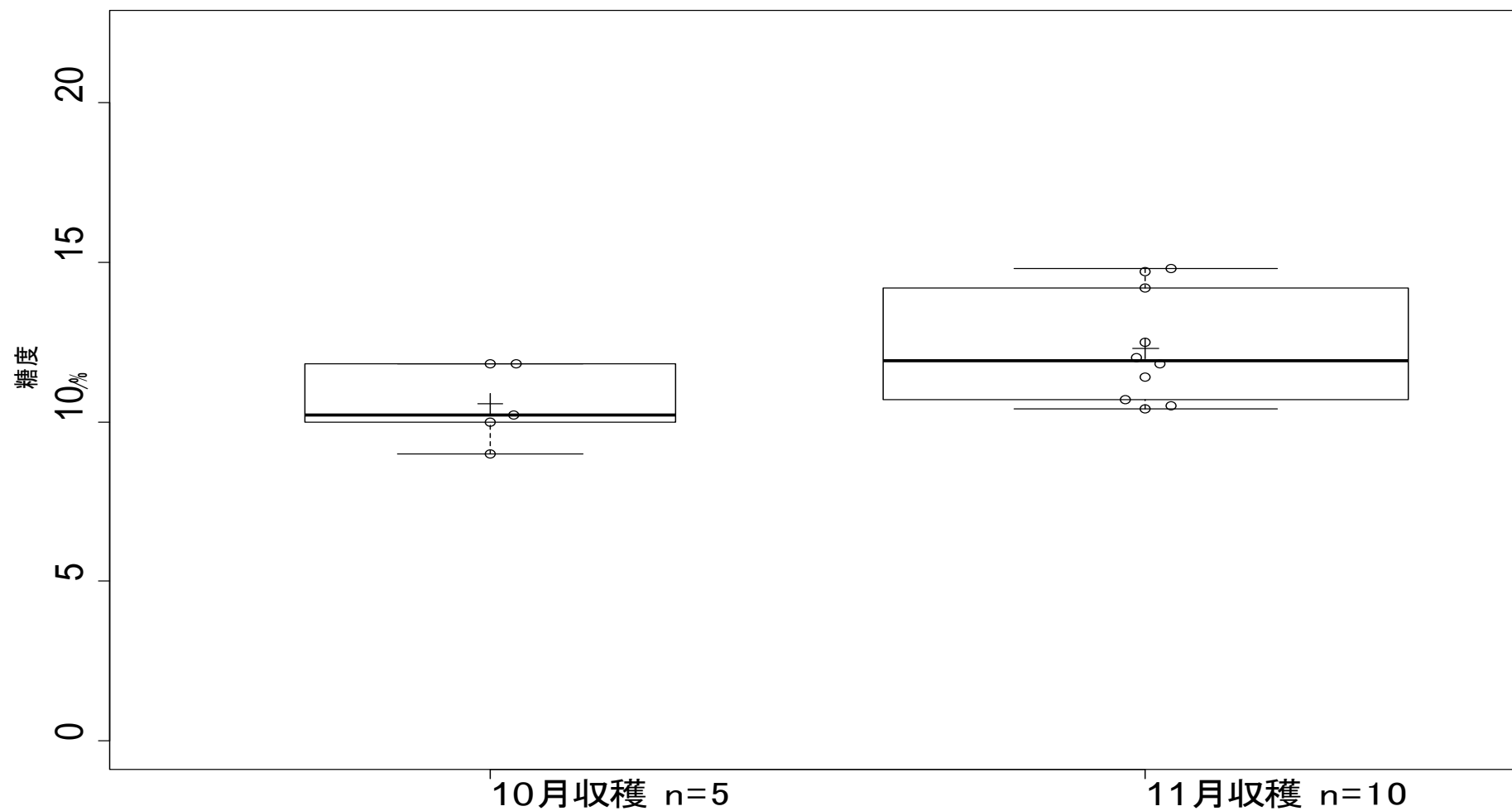


図 3-14 2015 年 ビッグシュガーソルゴー 5 月播種個体の搾汁液糖度の収穫時期比較
(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値を表す)

高糖分ソルゴー 栽培方法による搾汁液質量と

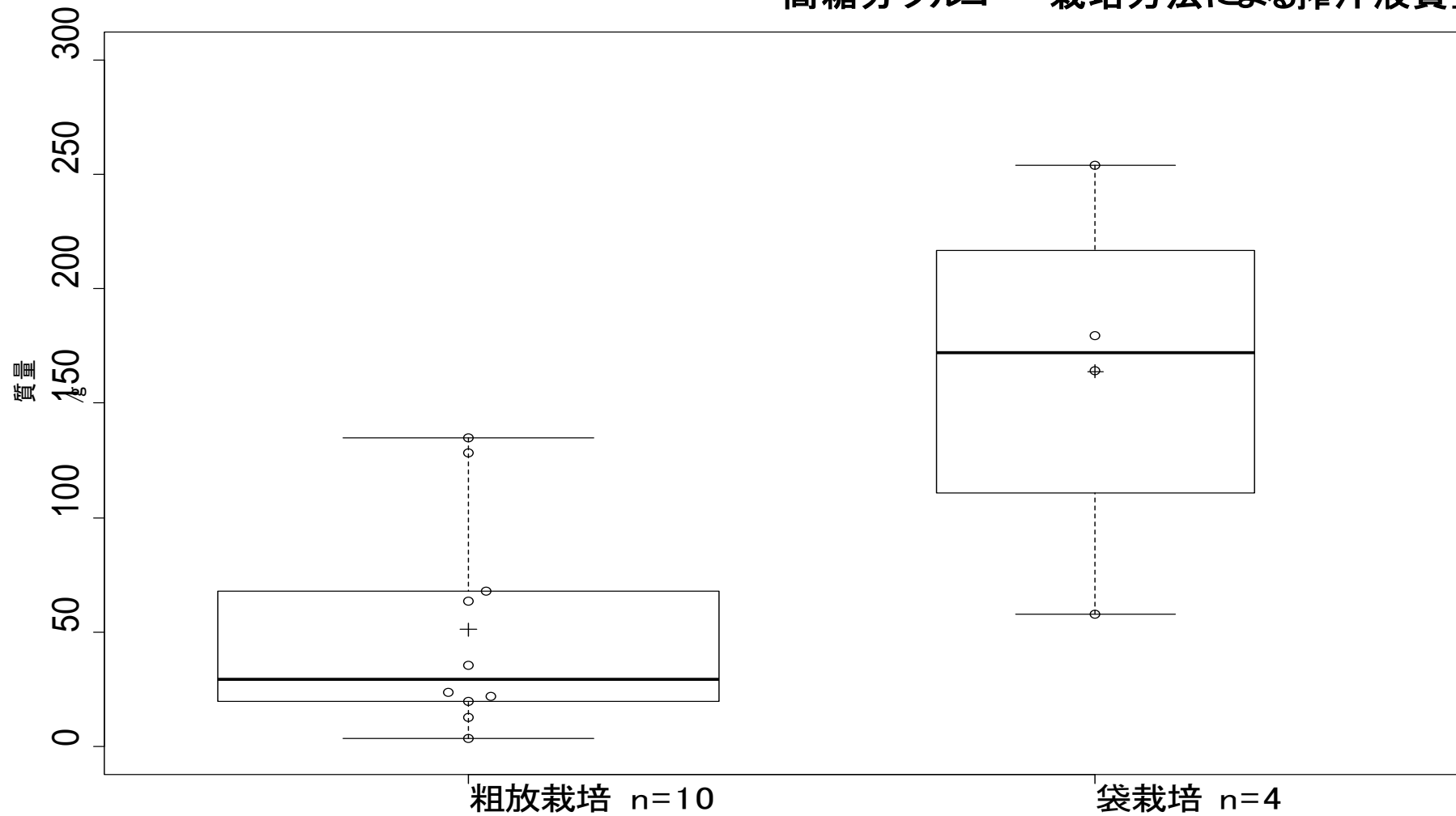


図 3-15 2015 年 高糖分ソルゴー 5 月播種 10 月収穫個体の栽培方法による搾汁液質量の比較
(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値を表す)

ビッグシュガーソルゴー 栽培方法による搾汁液

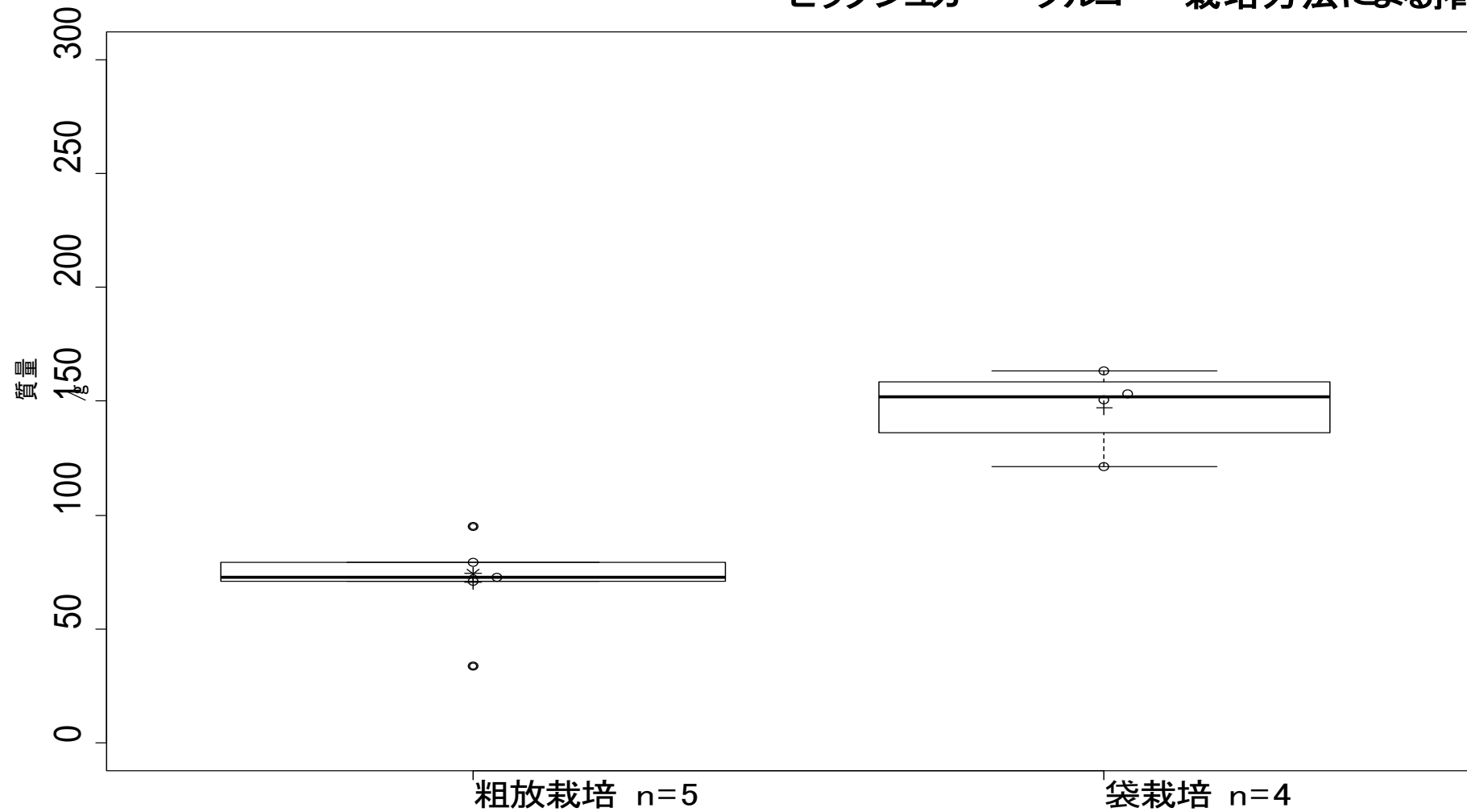


図 3-16 2015 年 ビッグシュガーソルゴー 5 月播種 10 月収穫個体の栽培方法による搾汁液質量の比較
(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

高糖分ソルゴー 栽培方法による搾汁液糖度と

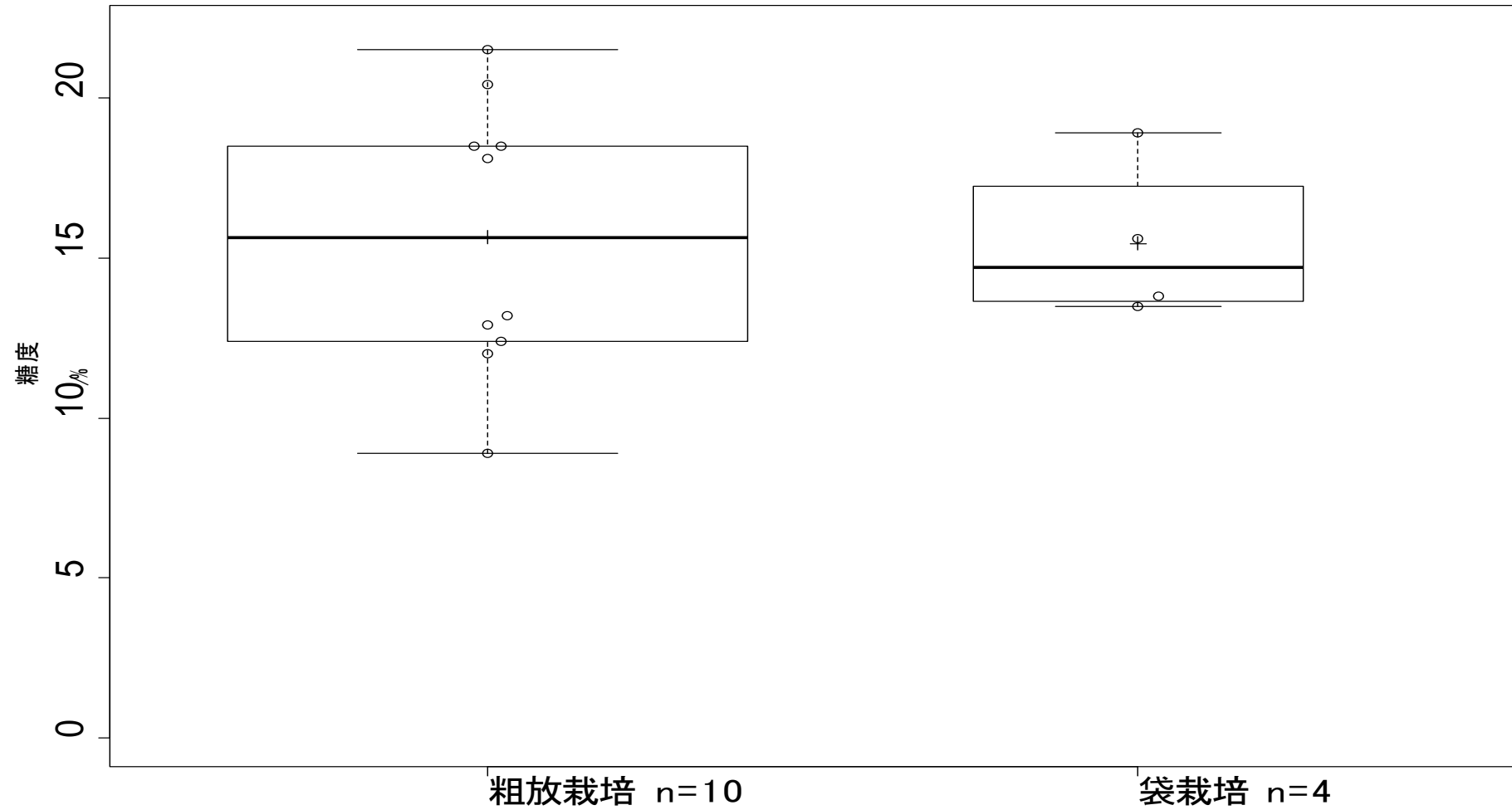


図 3-17 2015 年 高糖分ソルゴー 5 月播種 10 月収穫個体の栽培方法による搾汁液糖度の比較
(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値を表す)

ビッグシュガーソルゴー 栽培方法による搾汁液糖度の比較

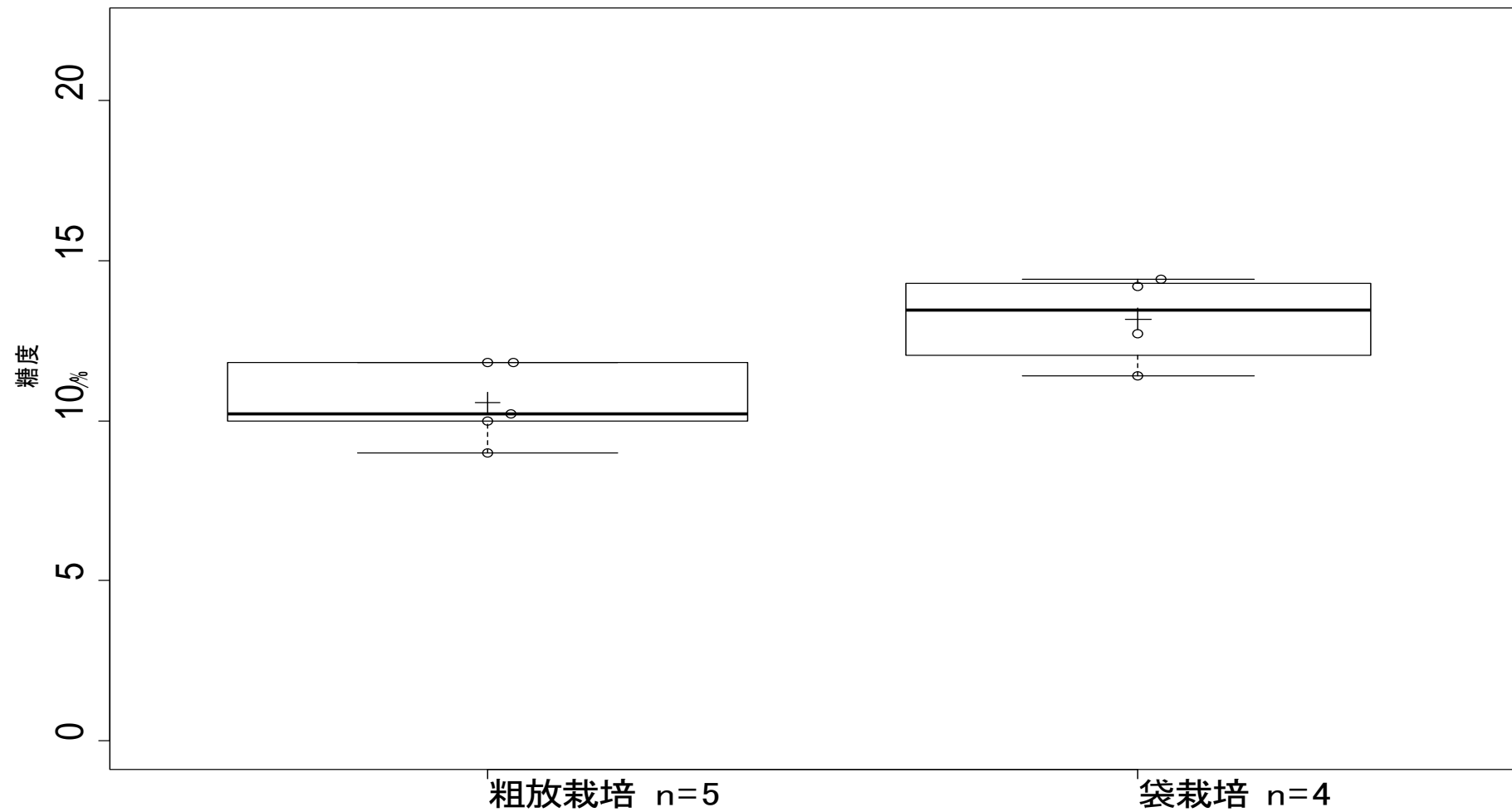


図 3-18 2015 年 ビッグシュガーソルゴー 5 月播種 10 月収穫個体の栽培方法による搾汁液質量の比較
(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値を表す)

高糖分ソルゴー 2015年及び2016年での栽培方法に

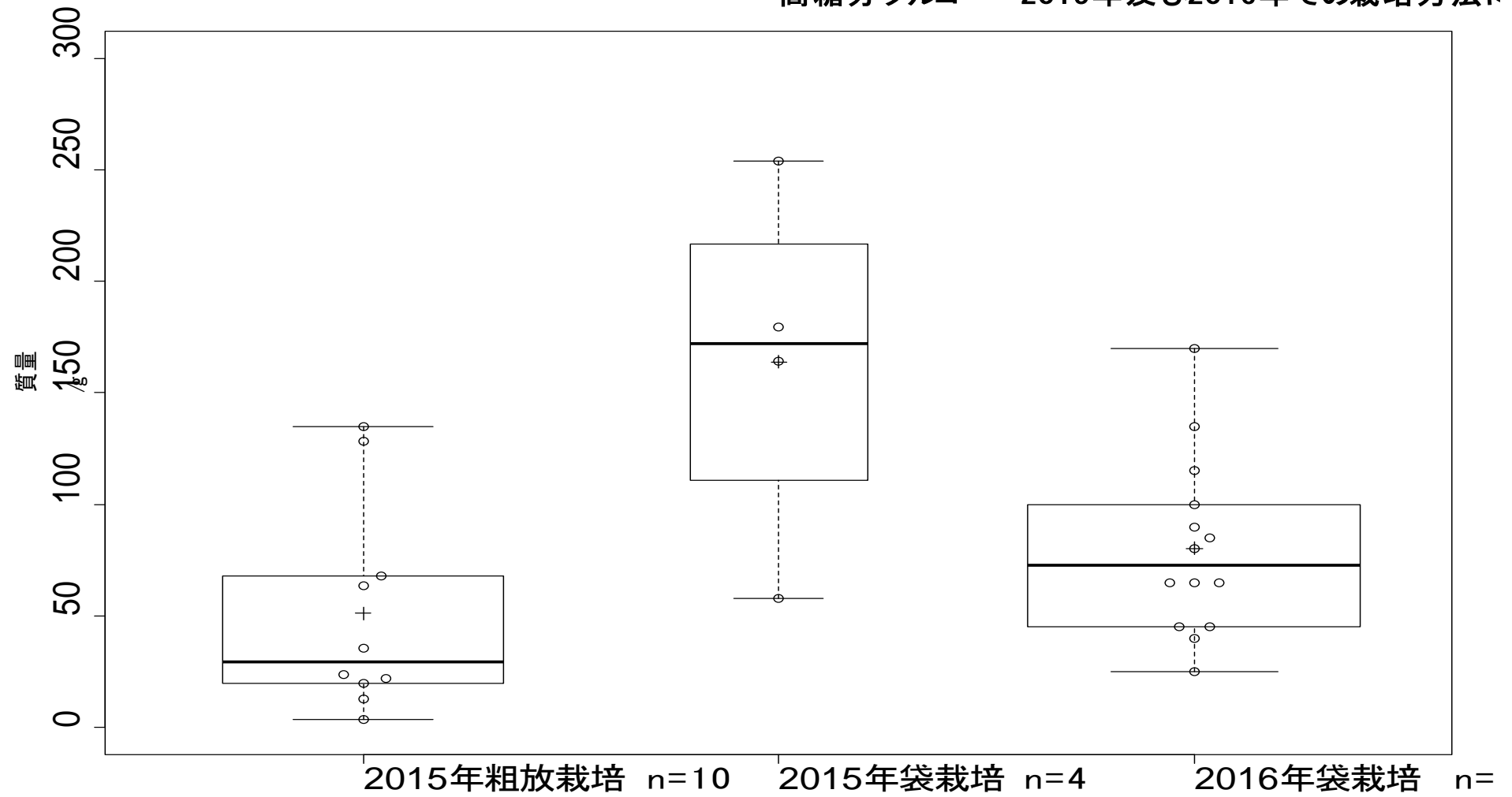


図 3-19 高糖分ソルゴー 2016 年袋栽培と 2015 年粗放栽培および袋栽培での搾汁液質量の比較
(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値を表す)

高糖分ソルゴー 2015年及び2016年での栽培方法に

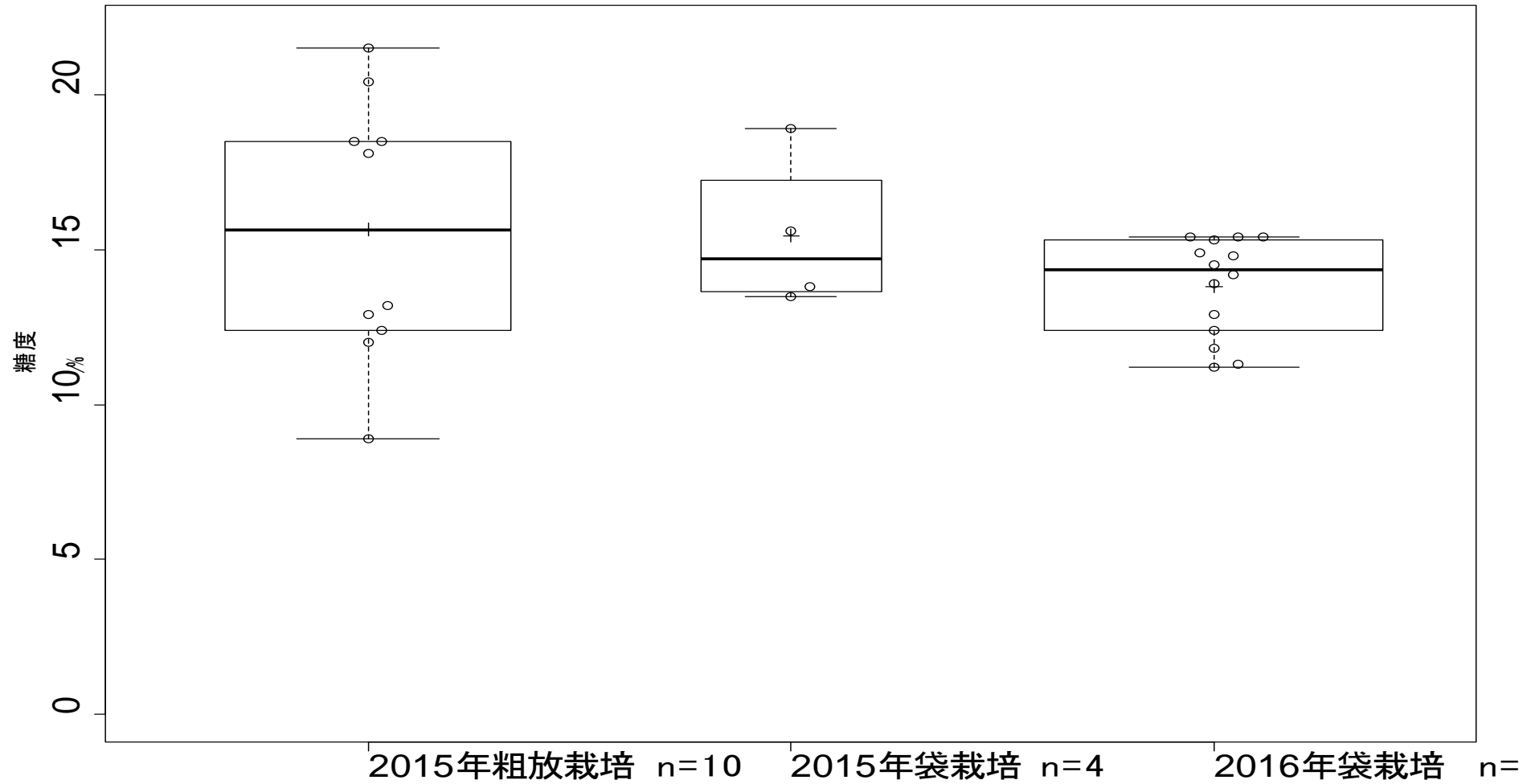


図 3-20 高糖分ソルゴー 2016 年袋栽培と 2015 年粗放栽培および袋栽培での搾汁液糖度の比較
(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値を表す)

甘味ソルゴー 2016年 袋栽培と慣行栽培の比較 搾

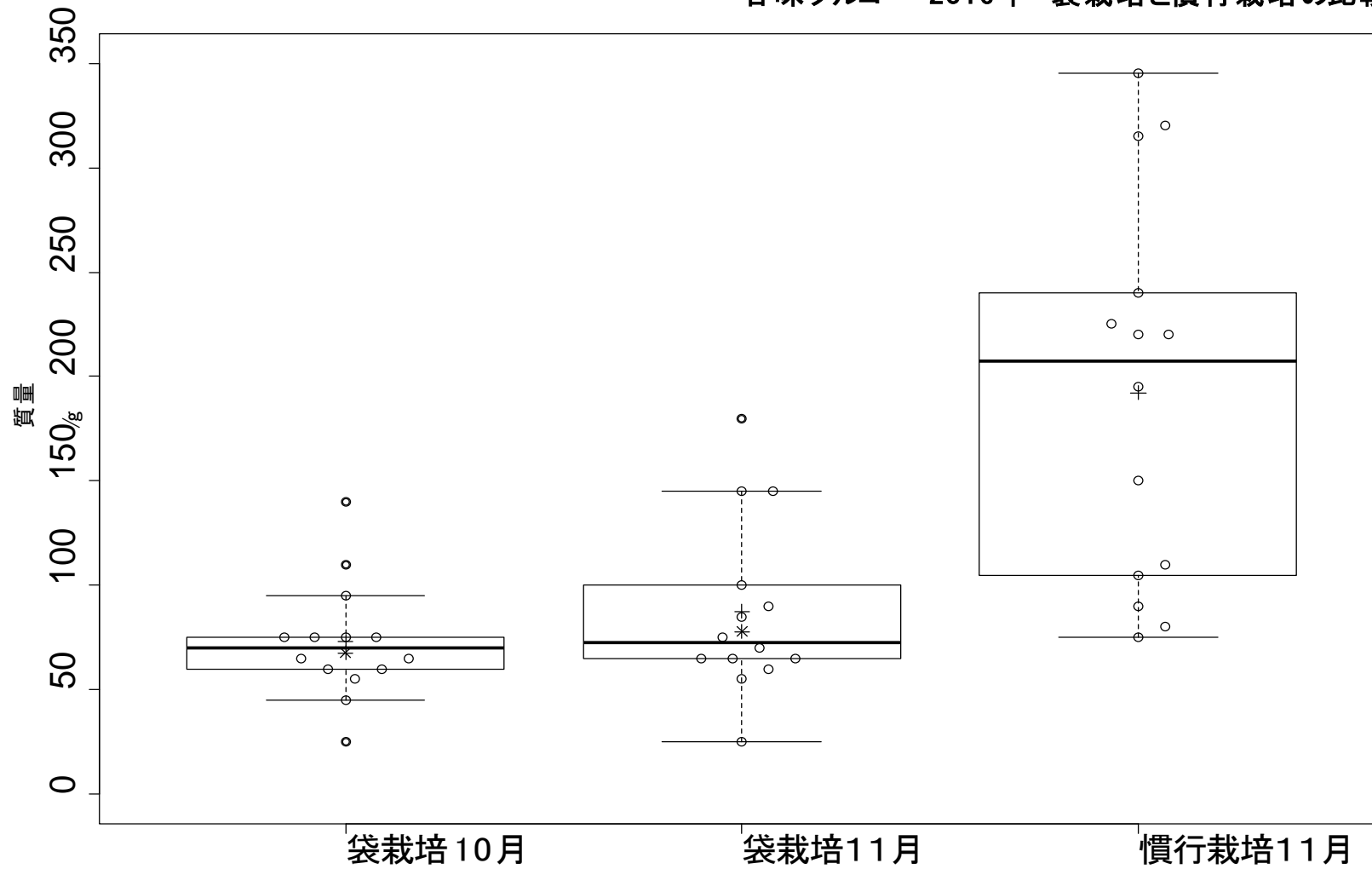


図 3-21 2016 年 甘味ソルゴー 袋栽培と慣行栽培の比較 搾汁液質量

(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

甘味ソルゴー 2016年 袋栽培と慣行栽培の比較 搾

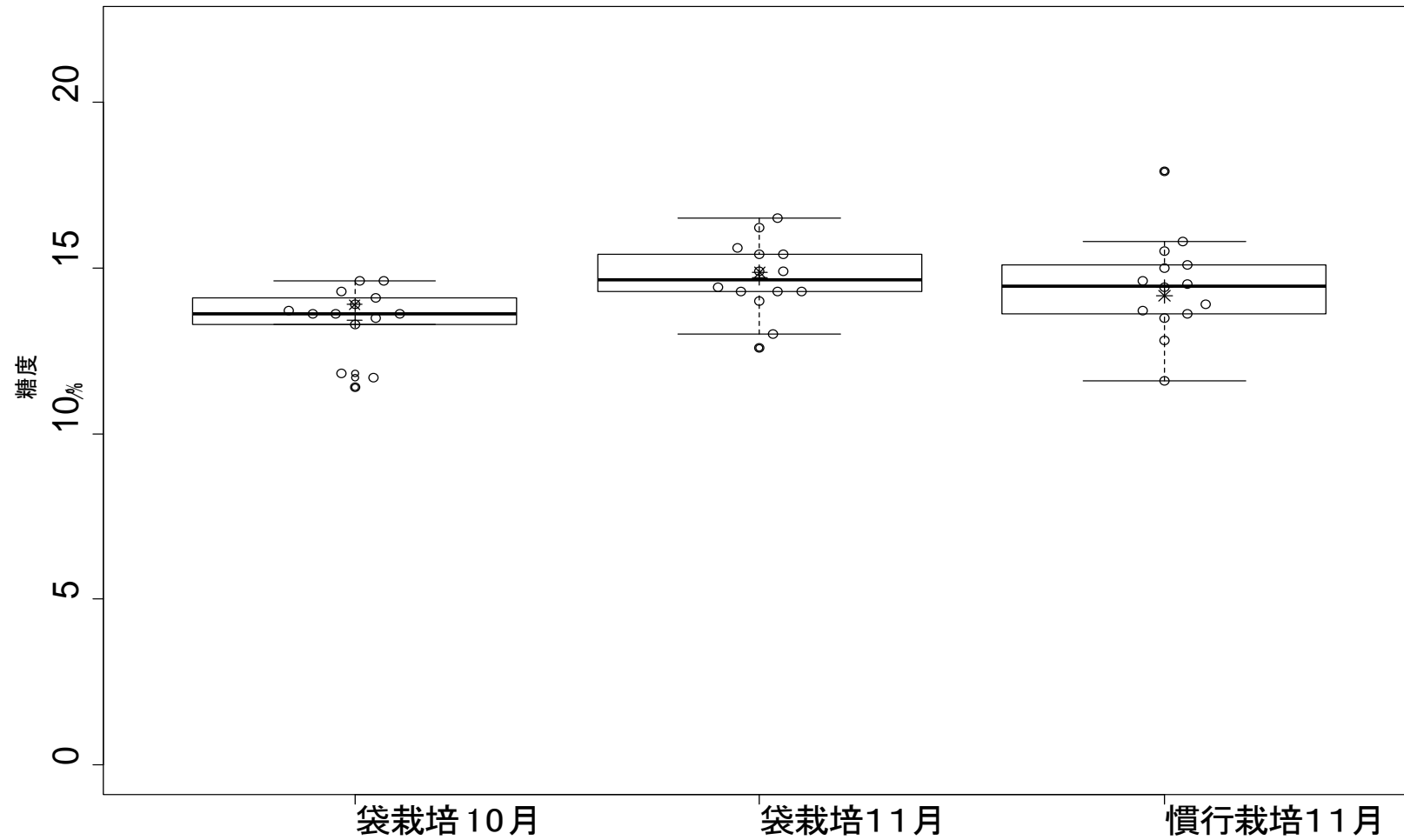


図 3-22 2016 年 甘味ソルゴー 袋栽培と慣行栽培の比較 搾汁液糖度

(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

甘味ソルゴー 袋栽培 収穫時期による搾汁液

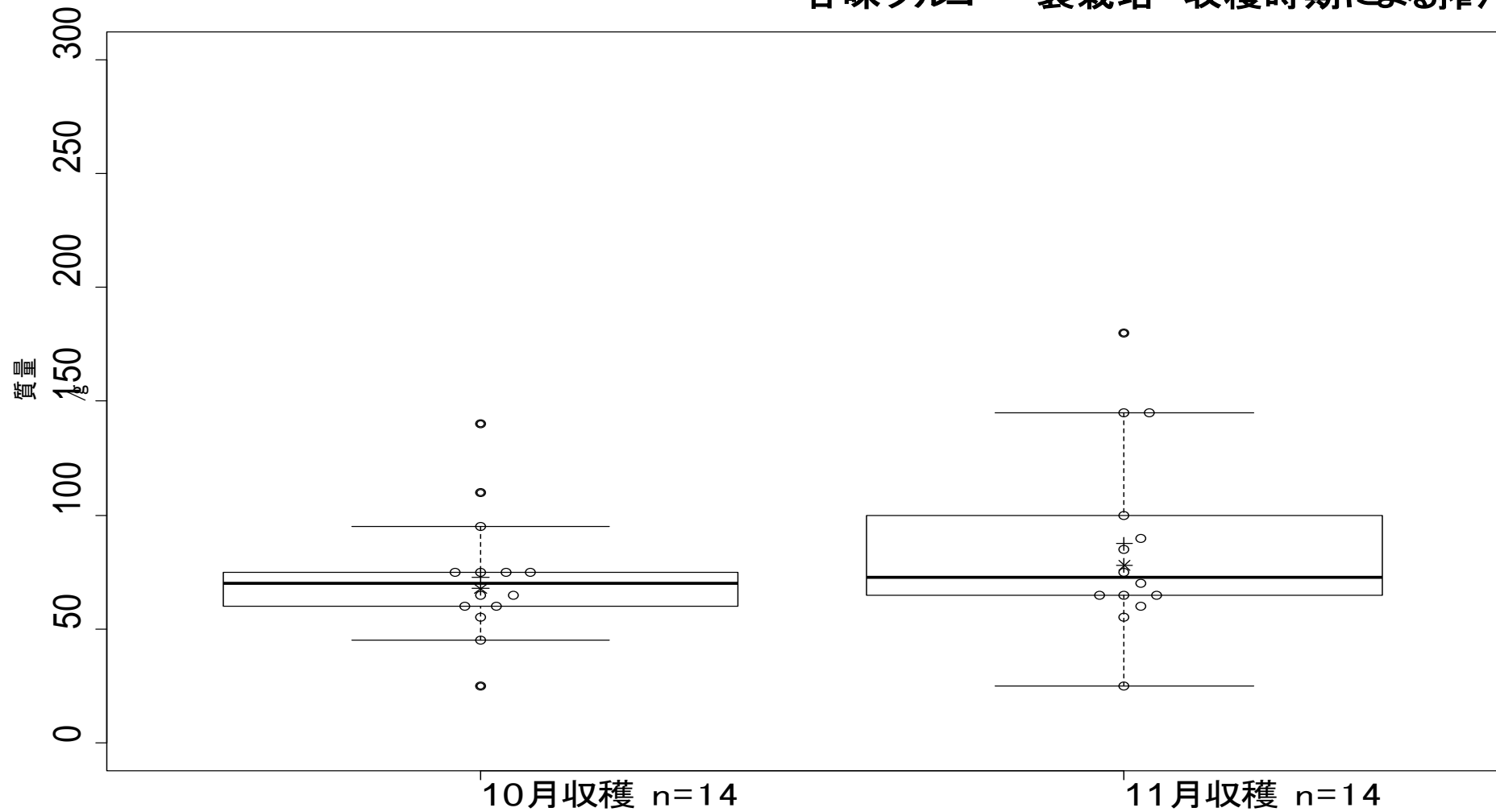


図 3-23 2016 年 甘味ソルゴー 袋栽培 5 月播種個体の搾汁液質量の収穫時期比較

(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

高糖分ソルゴー 袋栽培 収穫時期による搾汁

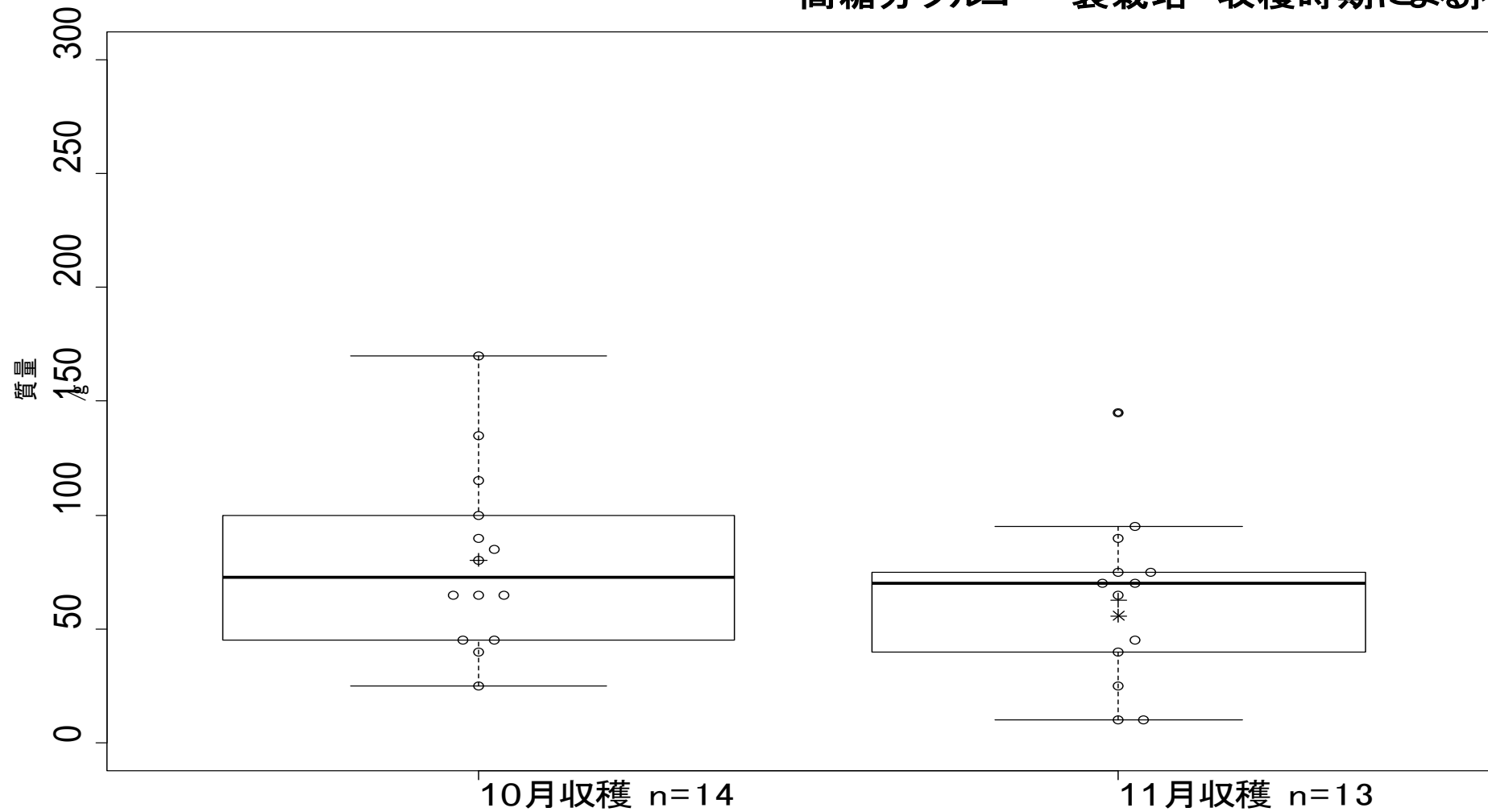


図 3-24 2016 年 高糖分ソルゴー 袋栽培 5 月播種個体の搾汁液質量の収穫時期比較
(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

甘味ソルゴー 袋栽培 収穫時期による搾汁液

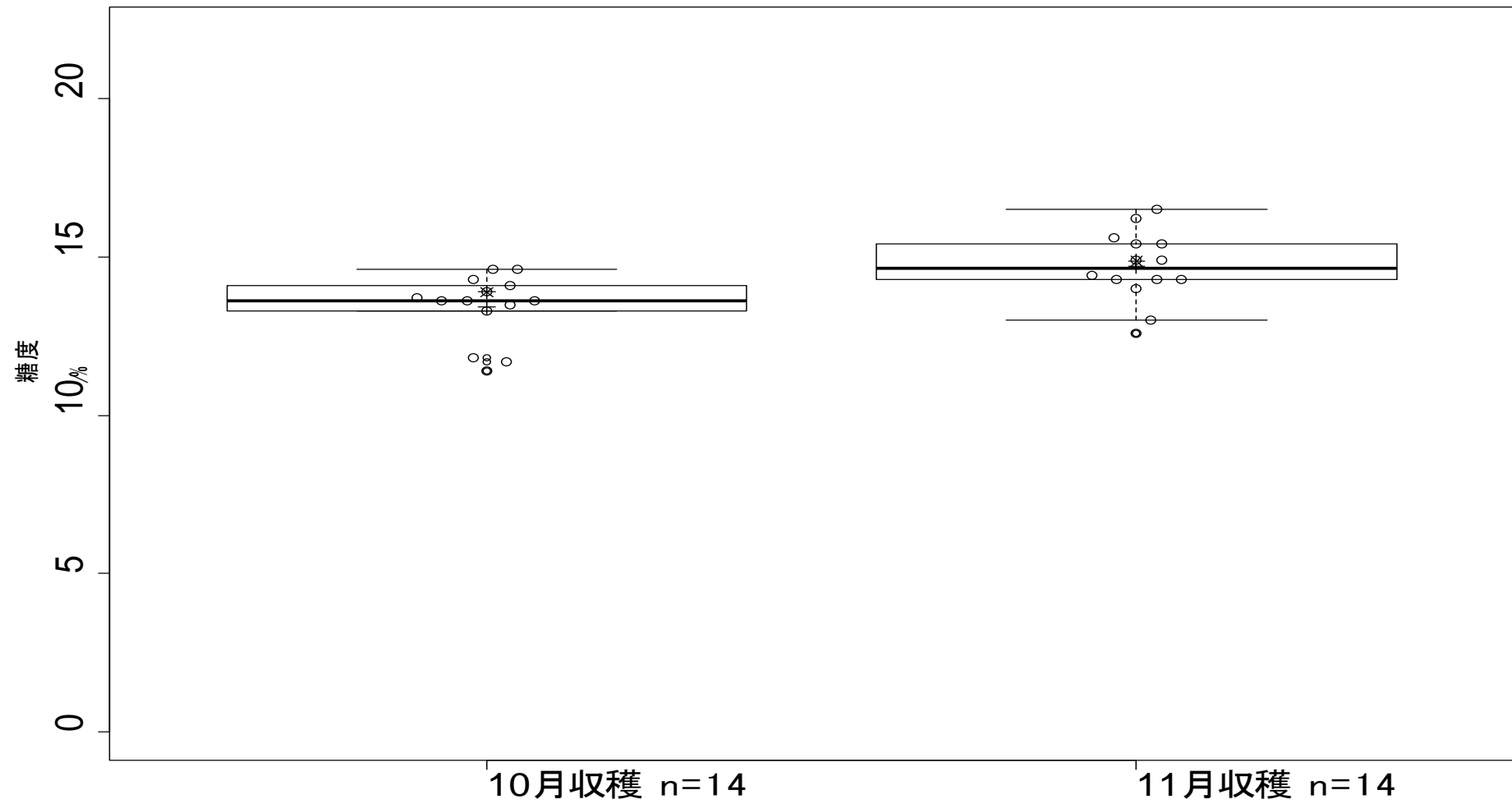


図 3-25 2016 年 甘味ソルゴー 袋栽培 5 月播種個体の搾汁液糖度の収穫時期比較
 (図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

高糖分ソルゴー 袋栽培 収穫時期による搾汁

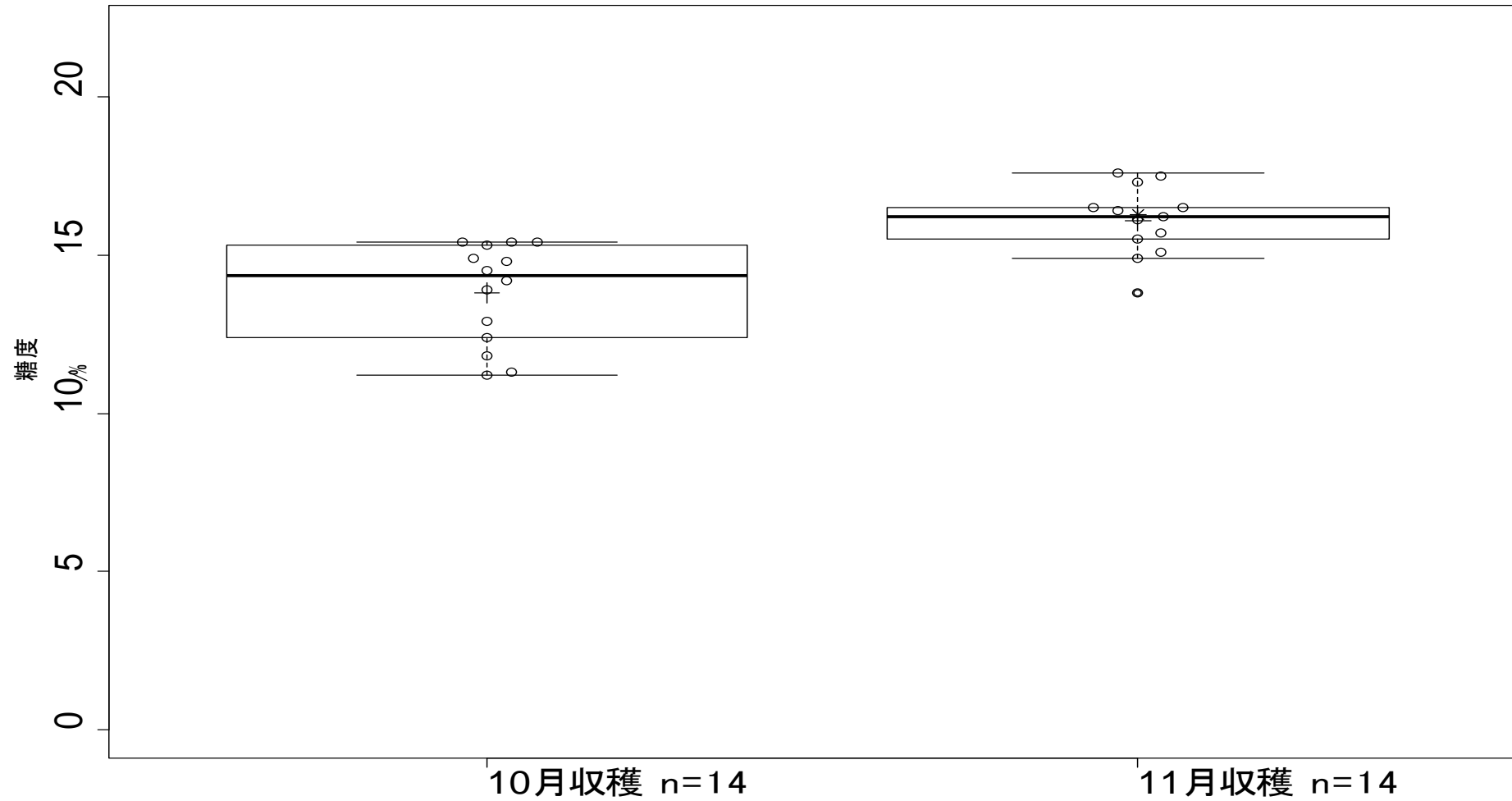


図 3-26 2016 年 高糖分ソルゴー 袋栽培 5 月播種個体の搾汁液糖度の収穫時期比較
(図中の白丸はそれぞれの個体の値、十字は外れ値を含む平均値、*は外れ値を除く平均値を表す)

表 3-1 2015 年に収穫した粗放栽培 5 品種の各個体の搾汁液の質量 (g) と糖度 (Brix%)
(no data : 搾汁液量が少なく測定が不可能)

収穫個体		搾汁液		収穫個体		搾汁液	
品種	個体番号	質量/g	糖度/%	品種	個体番号	質量/g	糖度/%
甘味 ソルゴー	1	65.1	11.1	高糖分 ソルゴー	1	3.6	18.5
	2	87.7	15.6		2	134.8	12.9
	3	102.3	16.9		3	128.2	13.2
	4	30.16	13.4		4	63.7	12.0
	5	54.89	16.1		5	68.0	12.4
	6	154.0	15.1		6	23.7	8.9
	7	295.3	15.7		7	35.3	18.1
	8	122.4	16.5		8	22.1	18.5
	9	63.2	17.9		9	19.7	20.4
	10	94.2	17.0		10	12.6	21.5
スーパー シュガー ソルゴー	1	9.9	15.9	ビッグシ ュガーソ ルゴー	1	79.5	10.0
	2	39.7	16.1		2	72.7	9.0
	3	35.3	15.0		3	70.8	10.2
	4	32.8	14.0		4	33.8	11.8
	5	22.1	14.9		5	95.0	11.8
	6	33.4	15.3				
	7	62.6	17.3				
	8	25.5	17.7				
	9	35.1	19.2				
	10	44.7	18.4				
高消化 ソルゴー	1	no data	no data				
	2	no data	no data				
	3	no data	no data				
	4	2.0	17.0				
	5	no data	no data				
	6	0.2	19.5				
	7	5.5	20.7				
	8	8.5	17.0				
	9	6.9	17.8				
	10	1.8	19.9				

表 3-2 2016 年に収穫した袋栽培 2 品種の各個体の搾汁液の質量 (g) と糖度 (Brix%)

10 月収穫				11 月収穫			
収穫個体		搾汁液		収穫個体		搾汁液	
品種	個体番号	質量/g	糖度/%	品種	個体番号	質量/g	糖度/%
甘味 ソルゴー	1	65.0	13.5	甘味 ソルゴー	1	25.0	14.0
	2	65.0	14.3		2	60.0	14.3
	3	75.0	13.6		3	145.0	13.0
	4	75.0	13.7		4	65.0	14.4
	5	95.0	14.1		5	65.0	15.6
	6	110.0	13.6		6	85.0	16.5
	7	45.0	13.9		7	55.0	12.6
	8	75.0	13.3		8	75.0	15.4
	9	55.0	14.6		9	145.0	14.3
	10	60.0	14.6		10	65.0	15.4
	11	140.0	11.4		11	100.0	14.3
	12	25.0	11.8		12	90.0	16.2
	13	75.0	11.7		13	70.0	14.9
	14	60.0	13.6		14	180.0	14.9
高糖分 ソルゴー	1	45.0	14.5	高糖分 ソルゴー	1	65.0	15.7
	2	135.0	14.9		2	45.0	15.1
	3	45.0	11.3		3	40.0	16.5
	4	100.0	14.8		4	70.0	16.5
	5	65.0	13.9		5	90.0	16.1
	6	85.0	11.2		6	75.0	14.9
	7	65.0	11.8		7	75.0	15.5
	8	90.0	12.9		8	145.0	16.4
	9	25.0	12.4		9	95.0	17.5
	10	170.0	14.2		10	10.0	17.6
	11	40.0	15.4		11	10.0	17.3
	12	115.0	15.3		12	25.0	16.2
	13	80.0	15.4		13	70.0	13.8
	14	65.0	15.4				

表 3-3 2015 年に収穫し播種時期と収穫時期の検討に用いた各個体の搾汁液の質量 (g) と糖度 (Brix%)

(品種の高糖分は高糖分ソルゴーを、ビッグシュガーはビッグシュガーソルゴーを指す)

5 月播種						収穫個体		搾汁液		6 月播種				
	収穫個体		搾汁液		収穫時期	品種	個体番号	質量/g	糖度/%		収穫個体		搾汁液	
収穫時期	品種	個体番号	質量/g	糖度/%						収穫時	品種	個体番号	質量/g	糖度/%
10 月	高糖分ソルゴー	1	3.6	18.5	11 月	高糖分	8	122.9	13.2	11 月	高糖分	1	3.3	13.0
		2	134.8	12.9			9	236.4	14.1			2	18.8	13.0
		3	128.2	13.2			10	74.1	16.6			3	9.0	13.8
		4	63.7	12.0	10 月	ビッグシュガーソルゴー	1	79.5	10.0			4	14.3	11.9
		5	68.0	12.4			2	72.7	9.0			5	9.1	12.5
		6	23.7	8.9			3	70.8	10.2		ビッグシュガー	1	43.1	12.2
		7	35.3	18.1			4	33.8	11.8			2	66.6	10.8
		8	22.1	18.5			5	95.0	11.8			3	51.9	11.6
		9	19.7	20.4			1	67.12	10.4			4	62.0	11.3
		10	12.6	21.5			2	113.6	10.7			5	110.3	10.7
		1	35.0	9.5	11 月		3	96.2	11.8					
		2	106.2	11.7			4	77.3	11.4					
3		73.7	11.4	5			77.8	10.5						
4		78.5	11.3	6			119.3	14.8						
5		74.6	12.2	7			208.8	12.0						
6		145.5	13.4	8			167.2	12.5						
7		170.9	13.2	9			151.3	14.7						
11 月								10	141.7		14.2			

表 3-4 2015 年 袋栽培と粗放栽培の個体の比較に用いた個体の各個体の搾汁液の質量 (g) と糖度 (Brix%)

粗放栽培				袋栽培			
収穫個体		搾汁液		収穫個体		搾汁液	
品種	個体番号	質量/g	糖度/%	品種	個体番号	質量/g	糖度/%
高糖分ソルゴー	1	3.6	18.5	高糖分	1	253.83	15.6
	2	134.8	12.9		2	57.63	18.9
	3	128.2	13.2		3	179.57	13.5
	4	63.7	12.0		4	164.30	13.8
	5	68.0	12.4	ビッグシュガー	1	121.18	11.4
	6	23.7	8.9		2	153.13	12.7
	7	35.3	18.1		3	163.48	14.2
	8	22.1	18.5		4	150.82	14.4
	9	19.7	20.4				
	10	12.6	21.5				
ビッグシュガー	1	79.5	10.0				
	2	72.7	9.0				
	3	70.8	10.2				
	4	33.8	11.8				
	5	95.0	11.8				

表 3-5 2016 年に収穫した慣行栽培甘味ソルゴの各個体の

搾汁液の質量 (g) と糖度 (Brix%)

収穫個体		搾汁液	
品種	個体番号	質量/g	糖度/%
甘味ソルゴ	1	195	17.9
	2	240	13.6
	3	80	15.5
	4	105	15.8
	5	110	11.6
	6	225	13.7
	7	150	14.6
	8	345	13.5
	9	320	13.9
	10	315	14.5
	11	90	15.1
	12	75	14.4
	13	220	15.0
	14	220	12.8

第4章 バイオエタノールの生成

第1節 材料の選定

第1章で述べたように、食糧との競合による物価の上昇や食糧不足問題がバイオエタノールでは危惧されている。そこで本研究では、日本において食用ではないスイートソルガムをバイオエタノールの材料とした。酵母を用いた発酵及び蒸留を行うことで、スイートソルガムの搾汁液よりエタノールを得られるかについては、先行研究において密度比重計によるアルコール度数を測定しておりエタノールが得られることがわかっている⁸⁹⁾。

また発酵にもちいる酵母については、市販のドライイーストを用い 40℃の恒温に保つことでスイートソルガムの糖度が減少することが分かっているため⁹⁰⁾、本研究でも市販のドライイーストを用いることにした。

第2節 発酵実験でのディスポーザブルシリンジの有用性の検討

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。そこでディスポーザブルシリンジを用い、ディスポーザブ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。ディスポーザブルシリンジは、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、ディスポーザブルシリンジの方が有用性が高いと考えた。そこでディスポーザブ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。

4-2-1 実験手順

シリンジはテルモシリンジ 50 mL TERUMO®を使用した（写真 4-1）。まず、2016 年 10 月に収穫した甘味ソルゴの搾汁液を 40 g と水 36 g にドライイースト 4 g を溶かした 10%ドライイースト水溶液 40 g を混合した。混合した溶液について、Brix 糖度をデジタル糖度計である Spitz IPR-101α ASONE を用いて測定した。その後、用意した 2 本のディスポーザブルシリンジにそれぞれ混合溶液を 30 mL 入れ、酵母が吹きこぼれないようバッファーとして空気を 10 mL 入れた。ディスポーザブルシリンジにはシリンジ番号を記入した。あらかじめ 40℃に設定しておいた恒温槽にディスポーザブルシリンジを入れ、24 h 発酵させた。24 h 後ディスポーザブルシリンジを恒温槽から取り出し、混合溶液の Brix 糖度を測定した。

24 h 発酵したそれぞれシリンジの液をビーカーに移した。ビーカーにラップをかけ、80℃の恒温槽に 20 分以上入れ、混合液内の酵母を失活させた。その後、沸騰石を入れた 100 mL の枝つきフラスコにビーカー内の混合液を 40 mL 入れた。枝つきフラスコをスタンドとクランプによって固定し、温度計がささったゴム栓をした。枝つきフラスコの枝部分に、ガラス管がついたゴムチューブをつけ、ガラス管を試験管に入れた。試験管は水の入ったビーカーに入れた。ヒーターの上に砂浴を載せ、砂浴にて枝つきフラスコを加熱し蒸留を行った。枝つきフラスコ内の温度計が 80.0℃が示したことを確認後、蒸留を終了した。試験管内に得た蒸留液を 1 cm 四方に切ったにろ紙に染み込ませ、火を近づけて液に着火するかを確かめた。

4-2-2 結果と考察

それぞれのシリンジについて発酵前と発酵後で測定した Brix 糖度の結果を表 4-1 に示す。

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、ディスポーザブルシリンジを 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。

次に蒸留の結果について述べる。蒸留の結果、試験管内に白濁した液体を確認できた。試験管内の液をろ紙に染み込ませ、火を近づけたところ青色の火が 2 秒ほど確認できた。ろ紙に火がついた場合は赤い火が確認できるため、蒸留液に火がついたと推測される。またエタノールが着火すると青い火が確認できるため、蒸留液はエタノールであると推測される

以上より、ディスポーザブ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。

第 3 節 学校現場におけるバイオエタノール合成

授業でスイートソルガムからバイオエタノールを生成するにあたって、学校現場で実施可能な実験方法でなければならない。本研究でのバイオエタノール生成の手順は、スイートソルガムの搾汁、発酵、蒸留の 3 つの段階に分けられる。このうち、搾汁において実験の簡易化の必要があると考え、実験の簡易化を検討した。

4-3-1 スイートソルガムの搾汁の簡易化

品種及び作型の決定において、スイートソルガムの搾汁ではサトウキビの搾汁に用いられる搾汁器を使用した。しかし、この搾汁器は高価であり、搾汁を行うローラーの部分に手が入ると非常に危険で、学校現場で用いるには適さないと考えた。そこで市販の

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。

搾汁にあつて、バーミックス M300 ベーシック barmix[®]というミキサーを使用した(写真 4-2)。10 月に 2016 年の袋栽培のうち、品種の選定及び作型の検討に用いない袋から甘味ソルゴー1 個体収穫した。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(写真 4-3)、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(写真 4-4)、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。その結果と 2016 年の袋栽培で 10 月に収穫した甘味ソルゴーの搾汁器を用いた時の搾汁液の収率をまとめたものを表 4-2 に示す。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。



写真 4-1 実験に用いたテルモシリンジ 50 mL TERUMO®



写真 4-2 バーマックス M300 ベーシック barmix®



写真 4-3 細かくしたスイートソルガム 1 節分をスーパーグラインダー入れた様子



写真 4-5 粉碎したスイートソルガム1節分を洗濯機のくず取りネットにいれた様子

表 4-1 ディスポーザブルシリンジを用いた発酵 発酵前と発酵後での Brix 糖度変化

シリンジ番号	発酵前の Brix 糖度/%	発酵後の Brix 糖度/%
1	13.0	3.7
2	13.0	3.6

表 4-2 ミキサーと搾汁器を用いた時の搾汁液の収率の比較

ミキサーを用いた搾汁方法

節番号	節質量/g	搾汁液質量/g	収率
1	28.1	8.2	0.29
2	15.8	4.9	0.31
3	14.0	5.0	0.36
4	18.6	6.8	0.37

搾汁器を用いた搾汁方法

個体番号	全節質量/g	搾汁液質量/g	収率
1	232.5	65.0	0.28
2	295.0	65.0	0.22
3	320.0	75.0	0.23
4	270.0	75.0	0.28
5	400.0	95.0	0.24
6	310.0	110.0	0.35
7	215.0	45.0	0.21
8	307.5	75.0	0.24
9	220.0	55.0	0.25
10	260.0	60.0	0.23
11	370.0	140.0	0.38
12	115.0	25.0	0.22
13	290.0	75.0	0.26
14	260.0	60.0	0.23

収率平均

搾汁方法	収率平均
ミキサー	0.33
搾汁器	0.26

第5章 カーボンニュートラルの教材化

第1節 教材化の意義

まず環境教育については、2003年に制定された環境保全のための意欲増進及び環境教育の推進に関する法律によると、「環境教育」とは、持続可能な社会の構築を目指して、家庭、学校、職場、地域その他のあらゆる場において、環境と社会、経済及び文化とのつながりその他環境の保全についての理解を深めるために行われる環境の保全に関する教育及び学習」と定義付けられている⁹¹⁾。また学校現場で行われる環境教育については、中学校指導要領解説理科編において、「自然環境の保全と科学技術の利用の在り方について科学的に考察し、持続可能な社会をつくることが重要であることを認識すること。」とあり⁹²⁾、環境教育は理科において重要になってきている。

その一方で、中学校指導要領解説理科編の(7) 科学技術と人間 ウ自然環境の保全と科学技術の利用 (ア) 自然環境の保全と科学技術の利用において、科学技術の利用と環境保全にかかわる事柄について生徒に調べ学習させ、理科の学習で習得してきた知識や技能を活用し、論理的な思考力、判断力、表現力の育成及び科学的な根拠に基づいて意思決定させる機会をつくることに重点をおいている⁹²⁾。しかし、環境教育でとりあつかう題材については、科学だけでなく社会情勢など複数の要因がからみあうトランスサイエンスであることが多く、理科の学習で習得してきた知識や技能のみでは、生徒自身が調べたことが科学的知見であるのか否かを判断することが一部困難ではないかと考える。そこで、授業で取り扱う科学技術の利用と環境保全にかかわる事柄を決定した後に、教師側からその事柄に関する科学的な基本概念を生徒に学習させた上で、科学技術や科学概念をもって持続可能な社会をつくりあげていくべきかを調査させ、科学的考察を行わすことが科学的な根拠に基づいて意思決定させる機会をつくるのではないかと考えた。

そこで本研究では、中学校指導要領解説理科編の(7) 科学技術と人間 ウ自然環境の保全と科学技術の利用 (ア) 自然環境の保全と科学技術の利用で、科学技術の利用と環

境保全にかかわる事柄の一つの例として挙げられている「バイオ燃料利用とその課題」に焦点を当て、バイオ燃料の利点のひとつであるカーボンニュートラルという概念を教えるために教材化を行った。

第2節 本教材における期待される教育効果

本教材は、まず現在において地球温暖化が解決すべき環境問題であることを提示し、その原因である二酸化炭素を削減することの重要性を説明する。その後、主な二酸化炭素場所が発電所であることを提示し、発電による二酸化炭素を削減する必要性を説明する。二酸化炭素の削減が求められる一方で、電気が現在の日常生活にかかせないということに触れたあと、発電量を減らさずに発電による二酸化炭素を削減する方法を生徒に考えさせる。その後、現在二酸化炭素の増加を止めると期待されているカーボンニュートラルの概念を説明し、実際にスイートソルガムを素材としてバイオエタノールを生成し、スイートソルガムが吸収した二酸化炭素がバイオエタノールの燃焼で空気に排出されることの観察を通して、最終的にカーボンニュートラルを生徒が理解し、説明できるようにすることをねらいとしている。

生徒は、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もち、環境問題を考える機会を与えられると期待される。

第3節 授業実践

これまで論じてきたスイートソルガムでのバイオエタノール生成を題材とした教材を用いて中学生を対象に授業実践を行った。

5-3-1 授業実践の概要

授業実践の対象校、対象生徒、実施日、及び評価方法は以下の通りである。

【対象】 青森県八戸市立白山台中学校 中学1年生2クラス 58名

【日時】平成28年12月14日

【授業時数】1時間/クラス

【授業の進め方】

プリントと板書を中心とした講義とエタノールの合成と分離の実験を行う。

【評価方法】

事前アンケート、事後アンケート、環境意識に関するアンケートによる調査

環境意識に関するアンケートについては、授業を実践していない4クラスについても実施した。授業実践に使用した指導案及び板書計画、授業で使用したプリントを掲載する。

第一学年学習指導案

日 時 平成 28 年 12 月 14 日 (水)

対象 : 3 年生 (29 名)

指導者 : 原田拓真

1. 題材名「カーボンニュートラルとは何だろう」

2. 教材観

本教材は、中学校指導要領理科編での第 1 分野目標 (4)「物質やエネルギーに関する事物・現象を調べる活動を行い、これらの活動を通して科学技術の発展と人間生活とのかかわりについて認識を深め、科学的に考える態度を養うとともに、自然を総合的に見ることができるようにする。」と内容 (7)「科学技術と人間」ウ「自然環境の保全と科学技術の利用」(7) 自然環境の保全と科学技術の利用「自然環境の保全と科学技術の利用の在りかたについて科学的に考察し、持続可能な社会をつくることが重要であることを認識すること。」を受けて設定したものである。

本教材は、スイートソルガムを素材としてバイオエタノールを生成し、スイートソルガムが吸収した二酸化炭素がバイオエタノールの燃焼で空気に排出されることの観察を通して、カーボンニュートラルを理解し説明できることをねらいにしている。

地球温暖化は生徒にとって実感することが難しく、地球温暖化はマクロな現象なので生徒が地球温暖化解決に大きく関与することも難しい。教科書では、地球温暖化の原因を二酸化炭素の増加と記載しており、二酸化炭素の排出量を削減するために有効な科学技術を紹介している。しかし、紹介されている科学技術は再生可能エネルギーとされる発電方法が主であり、その発電方法によって地球温暖化がどのように改善されるかが生徒にとってイメージしにくい。そのため生徒は地球温暖化の解決を考えるにあたって、漠然と二酸化炭素の排出量を抑える必要があるという認識にとどまるのではないかと考える。二酸化炭素の排出量をどの程度抑えるべきか、また二酸化炭素の排出量を削減するためにはどのような考え方が必要かを生徒に教える教材の必要性を感じ、本教材を開発した。排出量と吸収量を同じにするというカーボンニュートラルの概念が重要であり地球温暖化の解決につながるということを教え、生徒には二酸化炭素の排出量をどの程度抑えることが地球温暖化解決につながるかを考えられる力を身につけさせたい。

3. ねらい

- ・バイオエタノール生成の実験を通して、カーボンニュートラルを理解し、説明できる。

4. 評価の規準

評価規準	A の具体例	C の具体例、生徒への手立ての例
[自然現象についての思考・表現] カーボンニュートラルを説明できる。	・カーボンニュートラルとは、二酸化炭素の排出量と吸収量が同じとなることで、空気全体として二酸化炭素の量が増えないということである。	・カーボンニュートラルとは、バイオエタノールを燃やすことで、空気中の二酸化炭素は増加しない。 ・手立て 二酸化炭素の排出と吸収がどのように行われているかを整理させ、空気全体での二酸化炭素の量の変化を考えさせる。

5.本時の展開

	教師の働きかけ	予想される生徒の反応	留意点
導入 8分	<p>1.地球温暖化と二酸化炭素</p> <p>○ワークシート配付</p> <p>地球温暖化を知っていますか？ →地球が温暖化,つまり気温が上がる こと。</p> <p>地球が温暖化することで我々にど のような影響があるだろう？ →地球の平均気温が上がると自然 災害や水不足、更には食糧不足によ り、今までのような生活が難しくな るかもしれない。</p> <p>今までのような生活ができなくな る。さてどうしよう？ →地球温暖化を解決しよう。</p> <p>地球温暖化の原因はなんでしょう か？ →空気中の二酸化炭素が増えてい ることが原因です。</p> <p>どこから発生する二酸化炭素を減 らすべきだろうか？ワークシート の円グラフから考えてみよう。 →二酸化炭素の年間排出量の割合 が最も多い発電での二酸化炭素の 排出量を減らすのが効果的です。</p> <p>発電ではなぜ二酸化炭素が大量に 排出されるのでしょうか？ →燃料を燃やして発電しているか らです。</p> <p>二酸化炭素が排出されて空気中の</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・地球が暑くなること ・二酸化炭素が増えること ・温室効果ガスによって地球が 暑くなること ・夏がより暑くなる ・クーラーで電気代がかかる ・ゲリラ豪雨が増える ・地球温暖化をとめる ・二酸化炭素を出さない ・生活の仕方を変える ・二酸化炭素 ・温室効果ガス ・電気、クーラー ・発電、エネルギー転換部門 ・産業部門 ・運輸部門 ・家庭部門 ・燃料を燃やしているから ・電気ができる時に二酸化炭素 も同時にできるから 	<ul style="list-style-type: none"> ・円グラフの出典 温室効果ガスインベントリ オフィス 「日本の 1990~2014 年度の 温室効果ガス排出量デー タ」 ※エネルギーと燃料の区別 は生徒には難しいため、本 時では表現を燃料で統一す る。 エネルギー：物体がもって いる仕事をする能力

	<p>二酸化炭素が増えることが問題と言いました。</p> <p>では二酸化炭素を排出しても空気中の二酸化炭素が増えない方法を考えてみましょう。</p>		<p>燃料：エネルギーを発生させるもの</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 小学校第 6 学年；燃焼のしくみ
<p>展開 37 分 (実験) (20 分)</p>	<p>学習課題</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>カーボンニュートラルを説明できるようになる。</p> </div> <p>2.カーボンニュートラルとは</p> <p>カーボンニュートラルを聞いた事がありますか？</p> <p>カーボンニュートラルとは二酸化炭素が循環して、二酸化炭素が増えないということです。</p> <p>二酸化炭素が循環するとは、どうい うことでしょうか？</p> <p>→空気中の二酸化炭素が色々なもの の間を移動して、空気に戻ってくる ことです。</p> <p>二酸化炭素の移動を考えましょう。 燃料から発生する二酸化炭素は燃 料からどこへ移動しますか？</p> <p>○空気と燃料の図を黒板に張り、二 酸化炭素の移動を矢印で表す。</p> <p>空気中の二酸化炭素が燃料を通っ て再び空気中に戻ってくるために は、どのようなものの間を移動すれ ばよいのでしょうか？</p> <p>→植物は二酸化炭素を吸収しまし たね。植物が二酸化炭素を吸って、 その植物が燃料になれば、燃料を燃 やすことで二酸化炭素は循環した ことになります。</p> <p>○植物の図を黒板に張り、二酸化炭</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ ない ・ しらない ・ 二酸化炭素が回る ・ 二酸化炭素が空気中と燃料の 間を行き来する ・ 空気 ・ 植物が二酸化炭素を吸って、 植物が燃料になる ・ 二酸化炭素が燃料に吸われる ・ 植物から燃料への二酸化炭素 はどうやって移動するのだ ろうか 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 小学校第 6 学年；植物 の養分と水の通り道

<p>素の移動を矢印で表す。</p> <p>空気中の二酸化炭素が増えることが地球温暖化の原因でした。</p> <p>二酸化炭素が循環する時、なぜ空気の二酸化炭素量増えないのでしょうか？</p> <p>→植物による吸収量と燃料からの排出量が同じなので、二酸化炭素の量は変化しません。</p> <p>だから、地球温暖化の解決にカーボンニュートラルの考えが重要とされています。</p> <p>3. バイオエタノールの生成</p> <p>二酸化炭素が循環するには、植物が燃料になる必要があります。</p> <p>また燃料がどうなれば、二酸化炭素が空気に排出されるのですか？</p> <p>→燃料が燃えると二酸化炭素が空气中に放出されます。</p> <p>植物から作った燃料は燃えると思いますか？</p> <p>→実際に植物から燃料をつくって燃えるか確かめよう。</p> <p>◆実験</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・循環するから ・二酸化炭素が出ないから ・吸う量と出る量が同じだから <ul style="list-style-type: none"> ・燃える <ul style="list-style-type: none"> ・思う ・思わない 	
<div style="border: 1px dashed black; padding: 10px;"> <p>・ バイオエタノールの生成</p> <p>エタノールの生成ではなく、生成までの過程を生徒に行わすことに重点をおく。</p> <p>①搾汁～②発酵</p> <p>・ 材料（実験 1 組分、太字はクラス全体で使用する物）</p> <p>50℃のお湯：3L 程度 深さが 25cm 以上の容器：3 個</p> <p>シリンジ 50mL：1 つ ビーカー 100mL：2 つ さじ：1 つ</p> <p>10%ドライイースト水溶液：約 25mL</p> <p>スイートソルガムの搾汁液：約 25mL</p> </div>		<p>・ バイオエタノールの生成は①搾汁②発酵③蒸留の 3 段階に分かれる。</p> <p>※搾汁液とドライイースト水溶液は事前に準備しペットボトルに保存しておく。</p> <p>※授業が始まる前に、搾汁液とドライイースト水溶液のそれぞれを 50mL のビーカーに 25mL 入れておく。</p>

	<p>方法</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ドライイースト液 25mL にスイートソルガム搾汁液 25mL を入れよく混ぜる。 2. 混合液をシリンジに 30mL を入れる。 3. 50℃のお湯をいれた容器にシリンジを入れる。 4. 気泡がでることを確認し、発酵の様子を 5 分程度観察する。 <p>③蒸留</p> <p>・材料（実験 1 組分）</p> <p>ビーカー100mL：2 つ 枝つきフラスコ（100mL）：1 個 ゴムチューブ・ガラス管：各 1 本試験管：1 本 ゴム栓：1 つ 温度計：1 本 沸騰石：適量 アルコールランプ スタンド：1 つ クランプ：1 つ チャッカマン 小さく切ったろ紙 燃焼皿：1 つ</p> <p>・方法</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 容器からシリンジを取り出す。シリンジ内の発酵液をビーカーに移す。 2. ビーカー内液を枝つきフラスコの 1/3 程度入れる。沸騰石も入れる。 3. フラスコにゴム栓をし、ゴム栓に温度計をさす。温度計の先はフラスコの枝の部分に来るようにする。 4. フラスコの枝の先にゴムチューブを付け、ゴムチューブにガラス管をつけ、ガラス管を試験管に入れる。ガラス管は水を入れたビーカーに入れる。 5. フラスコをガスバーナーで熱し、温度計が 80℃を超えないようにする。 6. 温度計が 80℃になったところで火を止める。 7. 試験管内に液が確認できれば、液を燃焼皿に入れたろ紙に染み込ませ、チャッカマンの火を近づけて着火できるか確かめる。液が確認できない場合は、事前に用意した液を用いる。 	<p>※発酵は、気泡が出ていることを確認できれば、蒸留に移ってよい。</p> <p>・ビーカーは使いまわす</p> <p>※事前に蒸留しておいた液を用意しておく。</p> <p>・エタノールが燃えた場合、青い火が観察できる。ろ紙が黒くなる、または赤い火が観察できた場合はろ紙が燃えている。</p> <p>・観察しづらい場合は電気を消し観察する。</p>
--	---	--

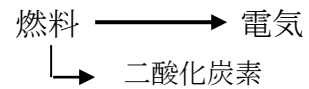
<p>まとめ 5分</p>	<p>6.まとめ</p> <p>カーボンニュートラルを自分の言葉で説明しましょう。ワークシートに書いてください。</p> <div data-bbox="225 499 1090 819"> <p>カーボンニュートラルとは、 空気中の二酸化炭素で成長した植物由来の燃料を使用することで二酸化炭素が循環し、空気全体としての二酸化炭素の量が変化しないということ。 しかしカーボンニュートラルを再現するには、植物から燃料までの過程を含めて排出量と吸収量を一致させなければならない。</p> </div>	<p>発表</p> <ul style="list-style-type: none"> ・二酸化炭素が循環し、空気全体の二酸化炭素の量が変化しないこと。 ・二酸化炭素の吸収量と排出量が同じであること。 	<div data-bbox="1110 159 1465 331"> <p>[自然現象についての思考・表現] ワークシート・発表</p> </div> <p>規準に達しない生徒への手立て：黒板に張ってある図に注目させ、二酸化炭素の吸収と排出を整理させ、空気全体での二酸化炭素量の変化を確かめさせる。</p>
-------------------	--	---	--

カーボンニュートラルを理解しよう

地球温暖化→地球の温度があがること

原因：(1) 二酸化炭素の増加

(2) 発電による二酸化炭素を減らす

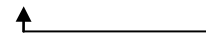


二酸化炭素が増えない方法を考えよう

カーボンニュートラル

二酸化炭素が循環し、増えない

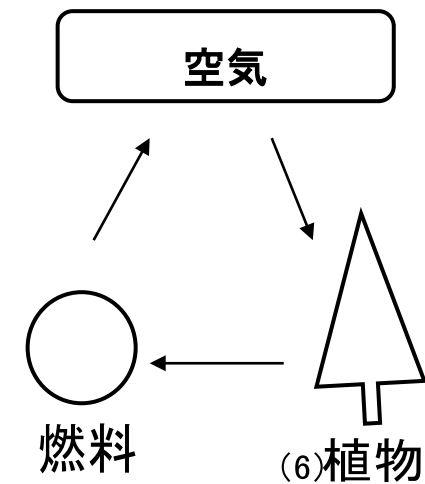
(5) 空気⇒植物⇒燃料



(7) 吸収量と (8) 排出量が

(9) 同じなので (10) 変化しない

燃料を作る過程の二酸化炭素も考えないと
カーボンニュートラルにはならない



・ 右図：カーボンニュートラルのサイクルは用意した紙を黒板に張る予定である。

「カーボンニュートラルとは何だろう」

_____組 _____番

氏名_____

◆地球温暖化：地球の温度が上がること

- 地球温暖化による影響

自然災害、水不足、食糧不足 ➡ 今のような生活ができなくなる

- 地球温暖化の原因

空気中の (1) _____ の増加

◆二酸化炭素の増加を止めるには？

- どこから発生する二酸化炭素を減らすべき？

(2) _____ によって

排出される二酸化炭素を減らす。

- 発電による二酸化炭素の排出

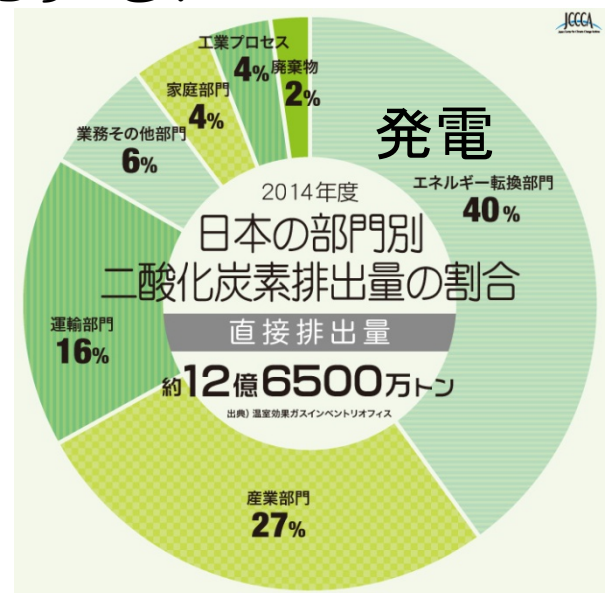
燃料を燃やして発電している。

燃料が燃えると

(1) _____ が排出される。

二酸化炭素が排出されても、

空気中の二酸化炭素が増えない方法を考えよう。



学習課題

◆カーボンニュートラル

二酸化炭素が(3)_____して、

二酸化炭素が(4)_____ということ。

・二酸化炭素の循環

空気中の二酸化炭素が色々なものを移動して、(5)_____に
戻ってくること。

・二酸化炭素の移動



二酸化炭素が循環する時、二酸化炭素の量は

(7)_____と(8)_____が

(9)_____なので(10)_____しない。

◆植物と燃料

二酸化炭素の循環には、(6)_____が燃料になる必要がある。

燃料が (11)_____と二酸化炭素が空气中に排出される。

- ・植物から燃料を作って燃えるか確かめよう。

◆実験「バイオエタノールの生成」

植物からできるエタノール⇒バイオエタノール

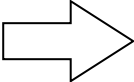
準備物	<ul style="list-style-type: none">・ 50℃のお湯：3L 程度・ 深さが 25cm 以上の容器：3 個・ シリンジ 50mL：1 つ・ ビーカー 100mL：2 つ・ さじ：1 つ・ 10%ドライイースト水溶液：約 25mL・ スイートソルガムの搾汁液：約 25mL・ 枝つきフラスコ（100mL）：1 個・ ゴムチューブ・ガラス管：各 1 本・ 試験管：1 本・ ゴム栓：1 つ・ 温度計：1 本・ 沸騰石：適量・ ガスバーナー・ 小さく切ったろ紙・ スタンド：1 つ・ クランプ：1 つ・ チャッカマン・ 燃焼皿：1 つ
-----	---

<p>手順</p>	<p>発酵</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ドライイースト液 25mL にスイートソルガム搾汁液 25mL を入れよく混ぜる。 2. シリンジに 30mL の混合液入れる。 3. 50℃のお湯をいれた容器にシリンジを入れる。 4. 発酵の様子を観察する。 5. 発酵中に蒸留装置の組み立てをする。 6. 容器からシリンジを取り出し、ビーカーに移す。 7. 発酵液と沸騰石を枝つきフラスコに入れる。 8. フラスコにゴム栓をし、ゴム栓に温度計をさす。温度計の先はフラスコの枝の部分にくるようにする。 9. ガラス管の先を、水を入れたビーカーに入れる。 10. フラスコをガスバーナーで熱し、温度計が 80℃になるまで熱する。 11. ろ紙に試験管内の液を染み込ませ燃焼皿に置く。チャッカマンの火を近づけ火がつくかを確かめる。
<p>結果</p>	

植物からつくった燃料は（11）

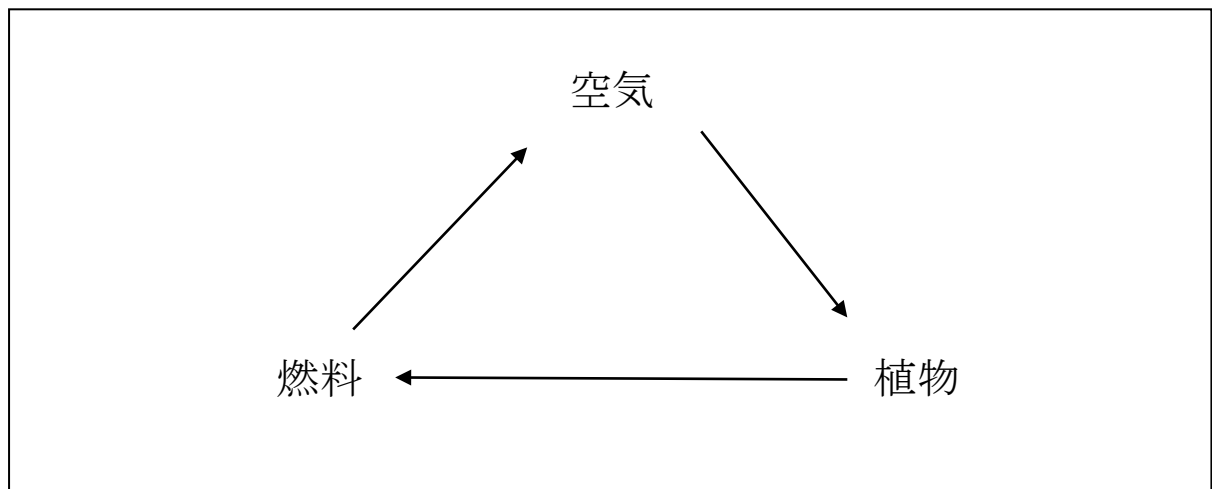
⇒二酸化炭素が循環した。

◆二酸化炭素の排出量と吸収量

- ・バイオエタノールを使う  二酸化炭素は循環する。

二酸化炭素の排出量と吸収量は同じになるだろうか？

- ・二酸化炭素の移動



バイオエタノールを使う時のカーボンニュートラル

⇒植物から燃料をつくる過程を含めて、

二酸化炭素の（7）_____と（8）_____を
同じにしなければならない。

◆まとめ カーボンニュートラルを説明しよう。

カーボンニュートラルとは、空気中の二酸化炭素で成長した植物由来の燃料を使用することで、二酸化炭素が_____し、空気全体としての二酸化炭素の量が_____しないということ。

しかし、カーボンニュートラルを再現するには、植物から燃料をつくる過程を含めて_____と_____を同じにしないといけない。

5-3-2 実践

5-3-1 での計画に従い、授業実践を行った。授業の導入については、指導案のとおりである。展開部分の実験について、1 つ目のクラスにおいて蒸留装置を組み立てる作業に時間がかかり、その結果予定していた実験時間を大幅に超えてしまった。そのため蒸留装置を組み立てたところで蒸留の実験については終了し、事前に用意していたバイオエタノールを生徒に提示した。また、バイオエタノールの着火実験において全ての実験班のろ紙にバイオエタノールを染み込ませてから、火をつけるように指導したため、エタノールが揮発しバイオエタノールの燃焼を確認できない生徒がでてしまった。更に、授業時間の超過が懸念されたので、実験後は指導案の 4. バイオエタノールの生成とカーボンニュートラル、5.カーボンニュートラルの再現については行わず、6.まとめに移行した。

以上を踏まえ、2 つ目のクラスでは、蒸留装置を事前に組み立てて置き、各実験班ではなく教師による演示実験を行った。その結果、実験時間が予定していた時間に収まった。またバイオエタノールの着火実験においては、ろ紙にバイオエタノールを染み込ませてからすぐに火をつけるように指導した。その結果、全ての実験班でバイオエタノールの燃焼を観察できた。授業の様子を写真 5-1 で示す。

5-3-3 アンケート結果

実施授業前と実施授業後にアンケート調査をした。なお、事前アンケートと事後アンケートの①~⑤は対応しており、授業前後での生徒の意識の変化を見出せると考えた。

また実施授業の 1 週間後に、授業実施クラスとそれ以外のクラスで環境に関する意識に違いがあるかを調べるため、環境意識に関するアンケートを第一学年の全クラスでアンケート調査した。

使用したアンケートについては、次ページ以降に掲載する。

事前アンケート 組 番 (男 ・ 女)

このアンケートは、みなさんの今回行う授業内容の認知度を調べるものです。
アンケートの結果はコンピューターで処理・分析されますが、個人を特定したりすることはありません。回答は当てはまる部分に○をして答えてください。

5 : そう思う 4 : 少しそう思う 3 : どちらでもない 2 : あまりそう思わない 1 : 思わない

① 地球温暖化を説明できますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

② 地球温暖化は解決すべきだと思いますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

③ カーボンニュートラルを説明できますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

④ カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

⑤ カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

⑥ 地球温暖化について知っていることを自由に書いてください。

⑦ カーボンニュートラルについて知っていることを自由に書いてください。

知らない場合は、知らないと書いてください。

ご協力ありがとうございます。

事後アンケート 組 番 (男 ・ 女)

このアンケートは、みなさんの授業後の認知度を調べるものです。
アンケートの結果はコンピューターで処理・分析されますが、個人を特定したりすることはありません。回答は当てはまる部分に○をして答えてください。

5 : そう思う 4 : 少しそう思う 3 : どちらでもない 2 : あまりそう思わない 1 : 思わない

①地球温暖化を説明できますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

③カーボンニュートラルを説明できますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

⑥今回の授業はよくわかりましたか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

⑦今回の授業は楽しかったですか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

⑧今回の授業の内容に興味をもてましたか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

⑨今回の授業の内容はこれからの自分に役に立ちそうですか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

授業の感想を自由に書いてください。

ご協力ありがとうございます。

環境意識アンケート 組 番 (男 ・ 女)

このアンケートは、みなさんの環境に対する意識を調べるものです。
アンケートの結果はコンピューターで処理・分析されますが、個人を特定したりすることはありません。回答は当てはまる部分に○をして答えてください。

5 : そう思う 4 : 少しそう思う 3 : どちらでもない 2 : あまりそう思わない 1 : 思わない

①地球温暖化を説明できますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

③環境問題は自分と関係があると思いますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

④科学の力で環境問題が解決すると思いますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

⑤環境問題について聞かれた時、科学的理由を基に自分の意見を言えますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

⑥環境問題について自分から本を読んだり調べたりしますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

ご協力ありがとうございます。

事前アンケートと事後アンケートの結果を示す（図 5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 5-5、表 5-3, 5-4, 5-5, 5-6, 5-7）。また事後アンケートの項目⑥～⑨の授業評価についての結果を示す（図 5-6）。

アンケートの分析には、統計解析ソフトである R 3.3.1 を用いた。解析は、質問①～⑤について行い、各項目で選んだ選択肢の番号を足し、その値を解答数で割って求めた平均値について、事前アンケートと事後アンケート間で有意な差があるかを Welch t-test で求めた。使用したデータ、事前事後の両方を回収できた 55 組を用いた。

統計解析の結果、「①地球温暖化を説明できますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t = 6.7678, P = 2.472e^{-9}$)。「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t = 3.4749, P = 0.0009363$)。「③カーボンニュートラルを説明できますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t = 32.114, P < 2.2e^{-16}$)。「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t = 15.489, P < 2.2e^{-16}$)。「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t = 8.6793, P = 4.704e^{-14}$)。

次に環境意識に関するアンケートについての結果を示す（図 5-7, 5-8, 5-9, 5-10, 5-11, 5-12、表 5-8, 5-9, 5-10, 5-11, 5-12, 5-13）。アンケートの分析には、統計解析ソフトである R version 3.3.1 を用いた。解析は、質問①～⑥について行い、各項目で選んだ選択肢の番号を足し、その値を解答数で割った平均値について、授業実践ありと授業実践なし間で有意な差があるかを Welch t-test で求めた。使用したデータは、授業を実施したクラスからは 57 人、授業を実施していないクラスからは 112 人の結果を用いた。

統計解析の結果、「①地球温暖化を説明できますか。」では、授業実践ありと授業実践

なしとの間に有意な差が認められた ($t = 4.448, P = 1.81e^{-5}$)。「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」授業実践ありと授業実践なしとの間に有意な差が認められなかった ($t = 0.76394, P = 0.4466$)。「③環境問題は自分と関係があると思いますか。」授業実践ありと授業実践なしとの間に有意な差が認められなかった ($t = 1.288, P = 0.2003$)。「④科学の力で環境問題が解決すると思いますか。」授業実践ありと授業実践なしとの間に有意な差が認められた ($t = 3.1253, P = 0.002209$)。「⑤環境問題について聞かれた時、科学的理由を基に自分の意見を言えますか。」授業実践ありと授業実践なしとの間に有意な差が認められた ($t = 3.4892, P = 0.0006754$)。「⑥環境問題について自分から本を読んだり調べたりしますか。」授業実践ありと授業実践なしとの間に有意な差が認められなかった ($t = 0.91342, P = 0.363$)。

5-3-4 アンケート考察

事前アンケートと事後アンケートの項目①～⑤の全てに置いて、有意な差があり、アンケート結果のグラフから授業前より授業後で「そう思う」「少しそう思う」を選んだ生徒が増えていることがわかった。「②地球温暖化は解決すべきですか。」において授業後で有意に高い値がでたことから、地球温暖化の解決に考える機会を生徒に提供できたのではないかと推察する。「③カーボンニュートラルを説明できますか。」と「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」では、事前アンケートの段階で過半数の生徒が「思わない」「あまりそう思わない」「どちらでもない」を選択していた。これは生徒がカーボンニュートラルの概念を知っていないことを意味し、事前アンケートの自由記述「⑦カーボンニュートラルについて知っていることを自由に書いてください。」でも生徒の記載が「知らない」しかなかったため、カーボンニュートラルは生徒が知らない新規の概念であることがわかった。「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」でも有意な差がでていた。しかし、授業内に

においてバイオエタノールは製造過程を含めると二酸化炭素の排出量が吸収量を上回ると説明している。今回の授業実践では、カーボンニュートラルの再現の難しさを生徒に理解させるに至らなかったことが推察される。

次に環境意識に関するアンケートについて考察する。まず「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」については有意差がなく、図 5-8 より授業実施の有無に関わらず全体の 8 割の生徒が地球温暖化を解決すべきであると認識していることが推測された。一方で「①地球温暖化を説明できますか。」という項目について有意に高いということが図と統計解析からわかった。これより、中学 1 年生の段階で地球温暖化の解決の必要性が分かっているものの地球温暖化の理解度については生徒間で差があることと、授業の実践により地球温暖化をあまり理解していなかった生徒に理解させることができたのではないかと考える。「③環境問題は自分と関係があると思いますか。」については有意差がなく、図 5-9 より多くの割合の生徒が環境問題を自身にも関係していると認識していることがわかった。「④科学の力で環境問題が解決すると思いますか。」では有意差があり、図 5-10 より授業実践によって、生徒が環境問題と科学技術の関係性を知ることができたのではないかと推測される。「⑤環境問題について聞かれた時、科学的理由を基に自分の意見を言えますか。」についても有意差があった。図 5-11 より、授業実践により生徒に環境問題について考えさせる機会を与えられたのではないかと推測される。しかしその一方で「⑥環境問題について自分から本を読んだり調べたりしますか。」では有意差が無く。図 5-12 から生徒が積極的に環境問題について調べようとしないことがわかった。授業実践クラスにおいて「そう思う」「少しそう思う」の割合が 4 割以下となった原因の一つとして、バイオエタノールやカーボンニュートラルが生徒にとって身近でなく、実感しにくかった可能性が示唆される。今後は、生徒に身近な現象や物質を用いた、実感のある教材にしていく必要性が感じられた。また、設問より本からのみの情報という認識をし、「そう思う」「少しそう思う」の割合がさがれてしまった可能

性が危惧される。

5-3-5 授業実践総括

今回の授業実践での生徒の感想の一部を以下に挙げる。

- ・実験がとても楽しかったです。カーボンニュートラルもわかりやすい説明をしてくださったのでよくわかりました。
- ・カーボンニュートラルは実際に行われているのですか。
- ・カーボンニュートラルを持続させたとしても、二酸化炭素を減少させることはできないから、減少させられることをしたほうが良いと思う。
- ・カーボンニュートラルを実現させると、二酸化炭素が増えずに、地球温暖化は改善されると思うけど、植物を燃料にするので、砂漠化がどんどん進んで緑が減り、光合成されないで、二酸化炭素が増えてしまうと思います。
- ・カーボンニュートラルについて、もっとくわしく調べてみたいです。
- ・植物から燃料にする時に、二酸化炭素が発生すると、またさらに、二酸化炭素が増えたりしませんか。

以上からわかるように、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、第5章第2節で述べた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。

しかし、本教材を用いて授業実践を行った結果、生徒は実験に興味関心を強く持ったことが事後アンケートの感想よりわかった。そこから、生徒にとっての本教材の中核となる部分は、バイオエタノールの生成であるのではないかと推察された。また、授業時間も50分では、生徒にとって新しい情報や概念が多く、授業内容を咀嚼しながら理解し、自身の意見をもつということが困難だったのでないかと思われる。カーボンニュート

ラルを学習するため、授業の内容は大きく3つに分かれると考える。地球温暖化及びカーボンニュートラルの説明、バイオエタノールの生成、カーボンニュートラルの科学的な評価である。今回の授業実践では、地球温暖化及びカーボンニュートラルの説明、バイオエタノールの生成は行えたものの、カーボンニュートラルの科学的な評価に時間をかけることができなかった。その結果が授業の中核がバイオエタノールの生成になってしまった要因であると考え。なので、授業時間数を50分×2コマで行い、1コマ目で地球温暖化及びカーボンニュートラルの説明、バイオエタノールの生成を行った後に、2コマ目で1コマ目の実験が本当にカーボンニュートラルであったか、ライフサイクルアセスメントの視点から科学的な評価を生徒自身が行い、それに対して自身の意見をもつことで、生徒がカーボンニュートラルを学習し、環境問題について考える機会が与えられたと言えると考え。

また今回行ったアンケートは、環境問題について考える機会を生徒に与えられたかを判別することができなかった。さらにアンケートの項目が期待される授業効果を測定するために最適でなかったと考えている。よって次回以降の授業実践では、規範活性化モデル⁹⁵⁾を基にモデル項目を設定し、それに沿ったアンケート項目を設定することにした。またアンケートの解析には、各モデル項目について授業の事前と事後を比較することで、モデル項目ごとの授業効果を調べると共に、モデル項目間で共分散構造分析を行うことで、環境問題についてどの段階にいるかを理解できるのではないかと考えている。

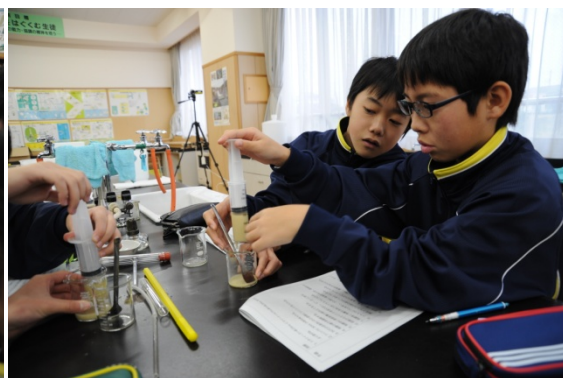


写真 5-1 授業実践の様子

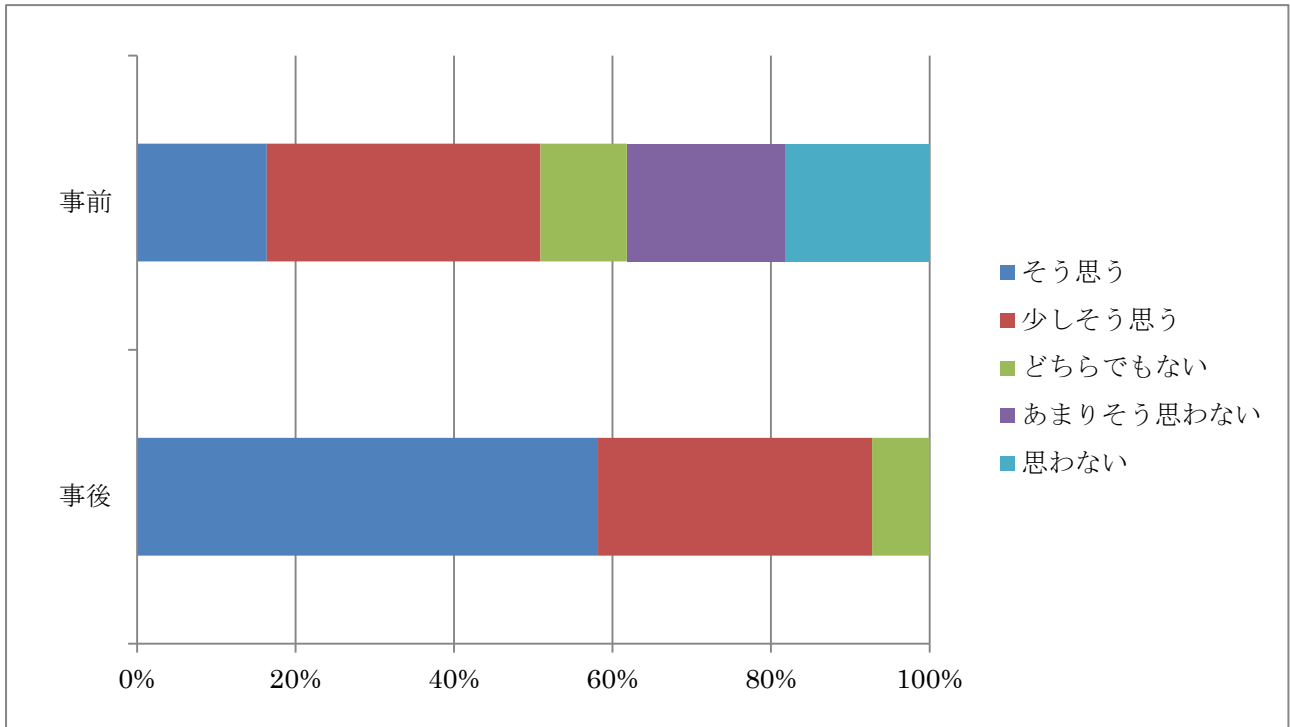


図 5-1 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 5-3 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果集計表

	5：そう思う	4：少しそう思う	3：どちらでもない	2：あまりそう思わない	1：思わない
事前	9	19	6	11	10
事後	32	19	4	0	0

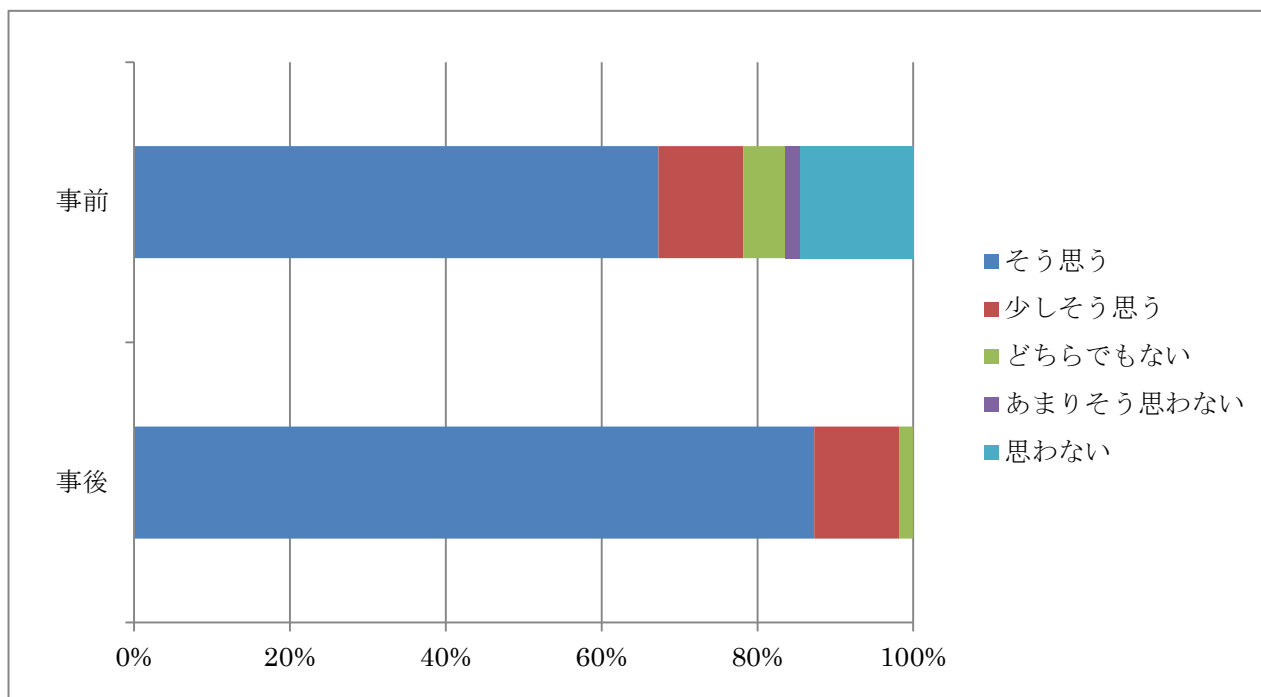


図 5-2 「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 5-4 「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5：そう思う	4：少しそう思う	3：どちらでもない	2：あまりそう思わない	1：思わない
事前	37	6	3	1	8
事後	48	6	1	0	0

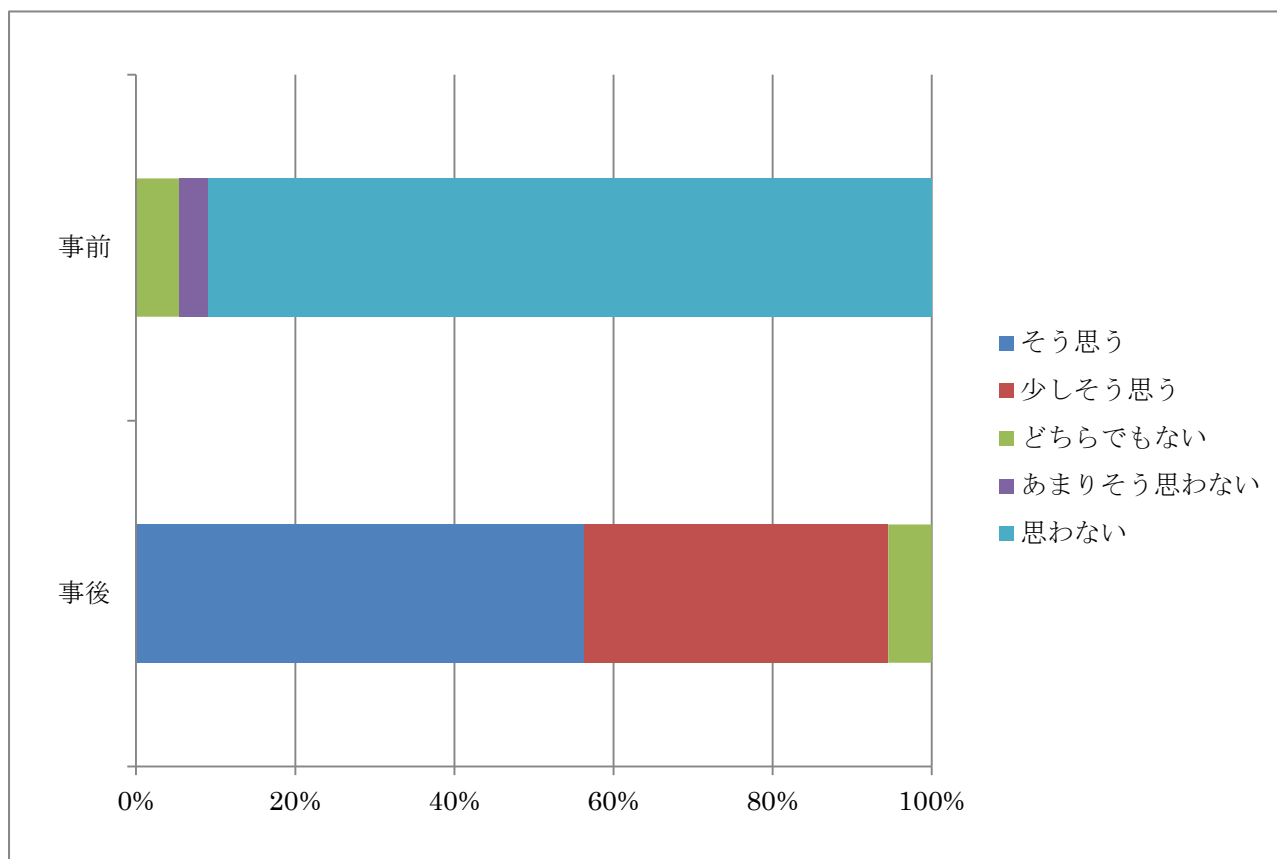


図 5-3 「③カーボンニュートラルを説明できますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 5-5 「③カーボンニュートラルを説明できますか。」についてのアンケート結果集計表

	5 : そう思う	4 : 少しそう思う	3 : どちらでもない	2 : あまりそう思わない	1 : 思わない
事前	0	0	3	2	50
事後	31	21	3	0	0

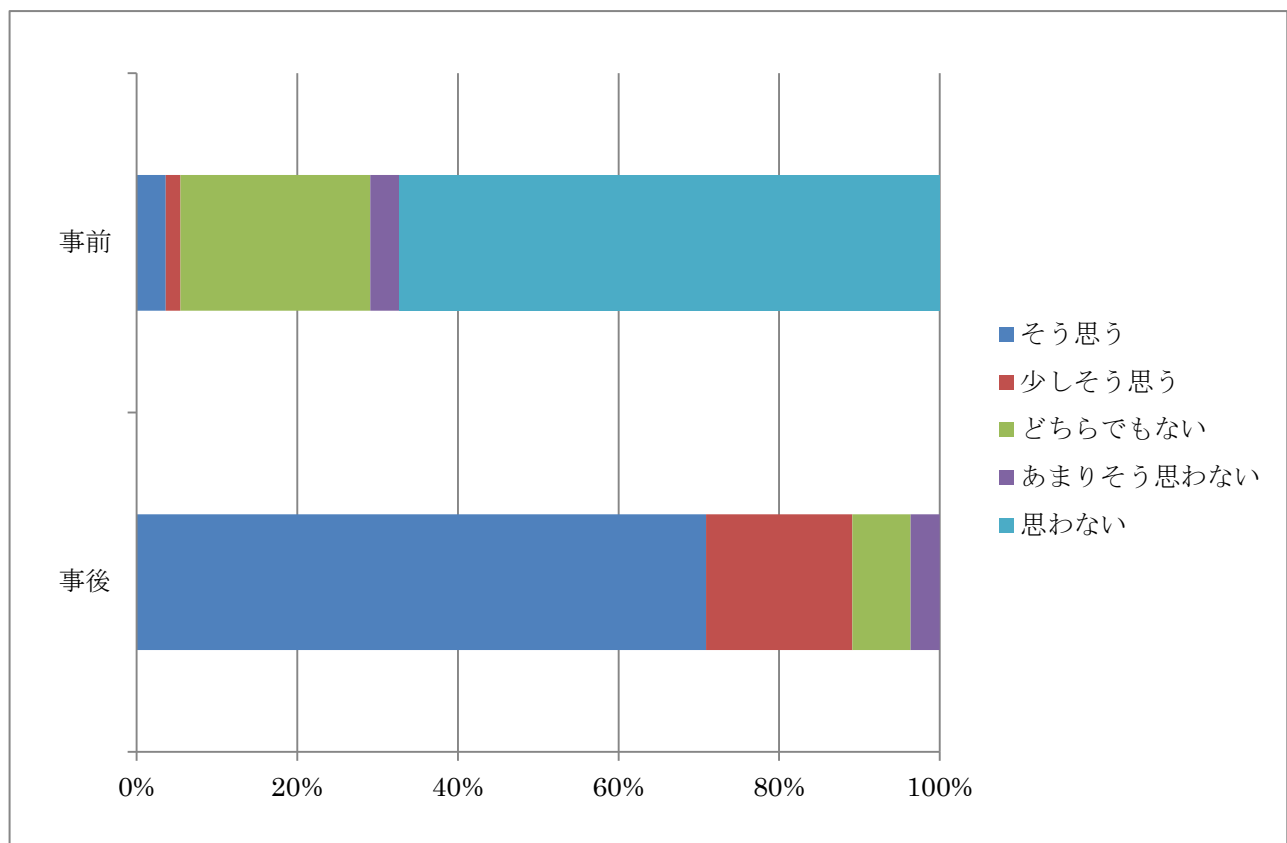


図 5-4 「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 5-6 「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5：そう思う	4：少しそう思う	3：どちらでもない	2：あまりそう思わない	1：思わない
事前	2	1	13	2	37
事後	39	10	4	2	0

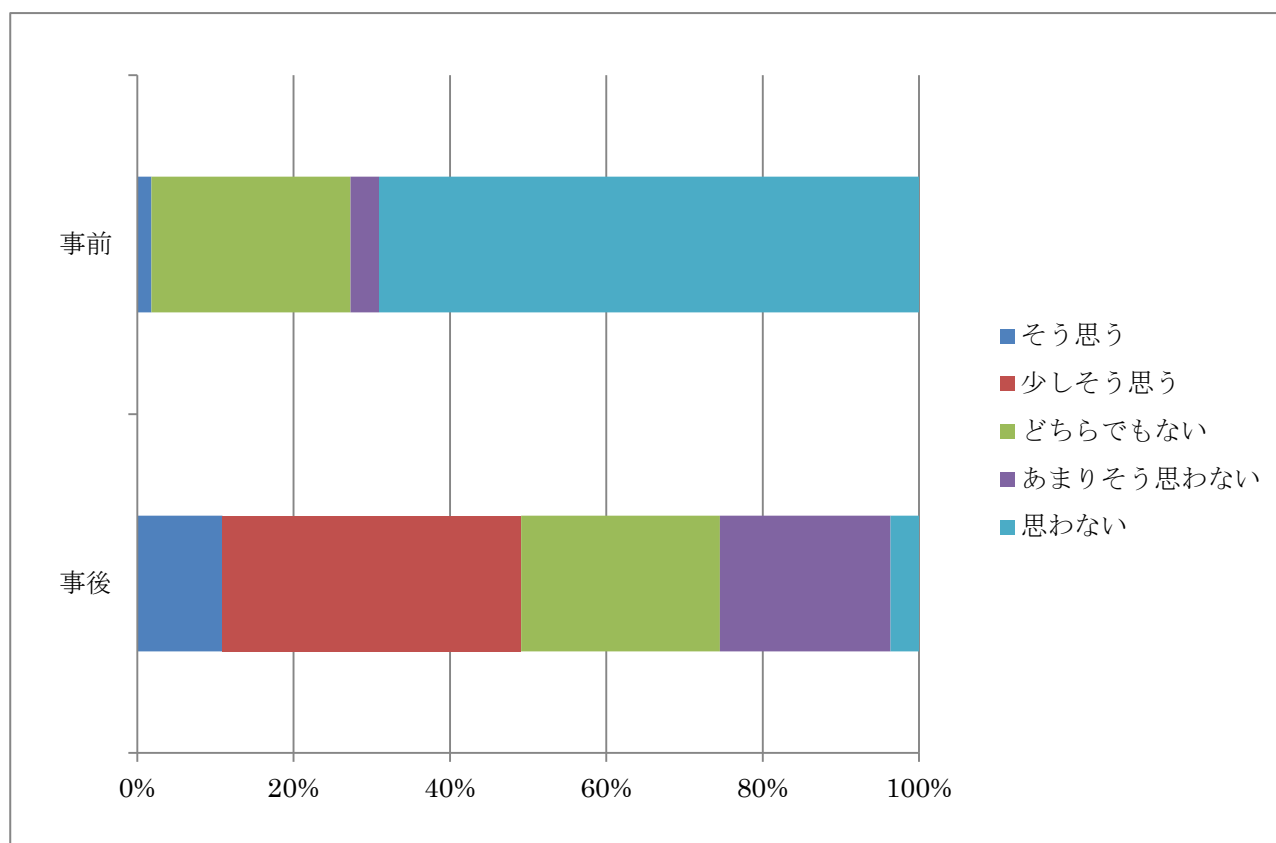


図 5-5 「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 5-7 「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5：そう思う	4：少しそう思う	3：どちらでもない	2：あまりそう思わない	1：思わない
事前	1	0	14	2	38
事後	6	21	14	12	2

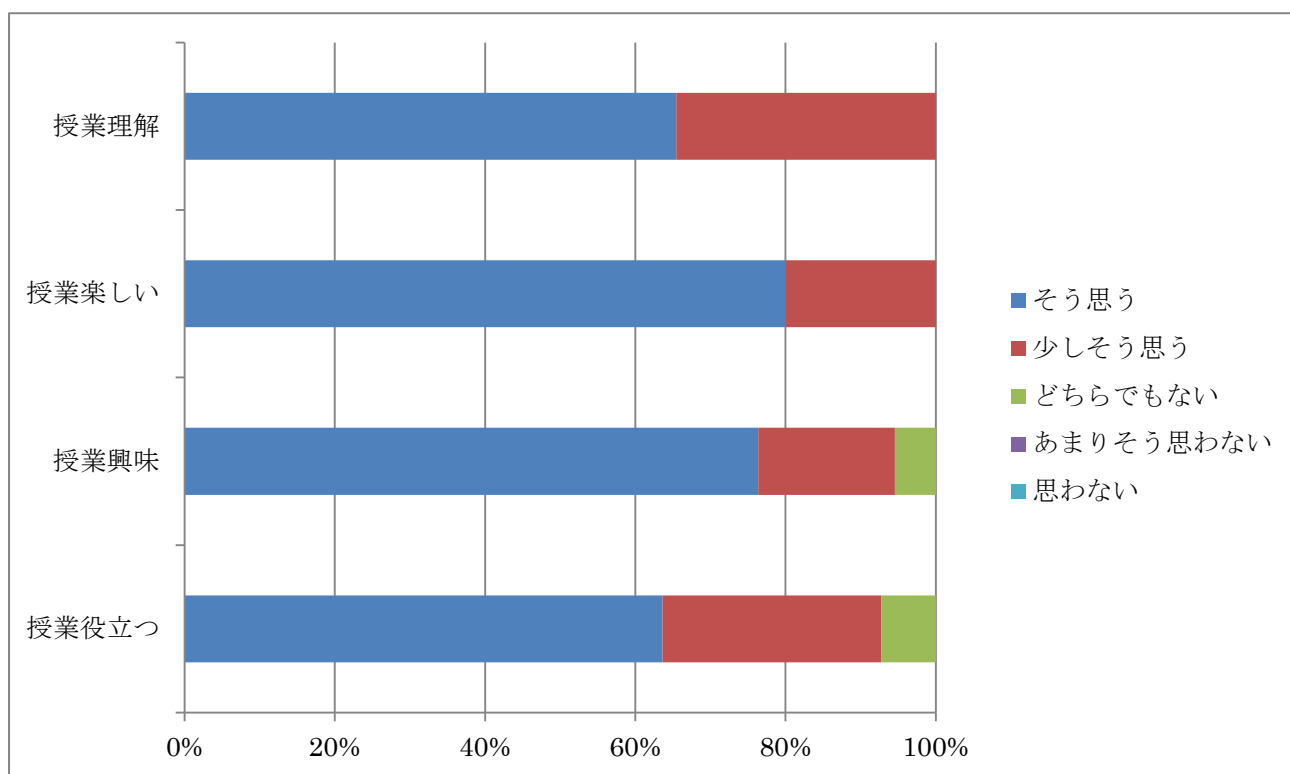


図 5-6 授業評価についてのアンケート結果グラフ

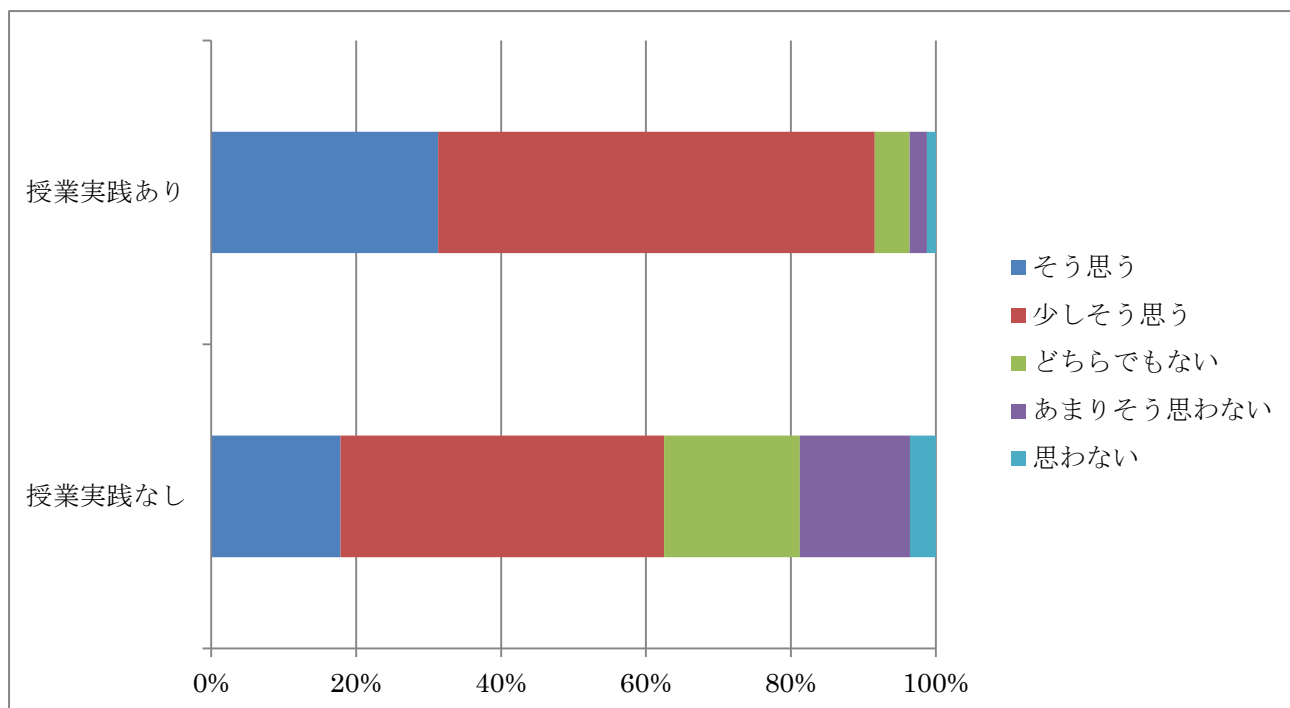


図 5-7 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 5-8 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果集計表

	5：そう思う	4：少しそう思う	3：どちらでもない	2：あまりそう思わない	1：思わない
授業 実施 あり	26	24	4	2	1
授業 実施 なし	20	50	21	17	4

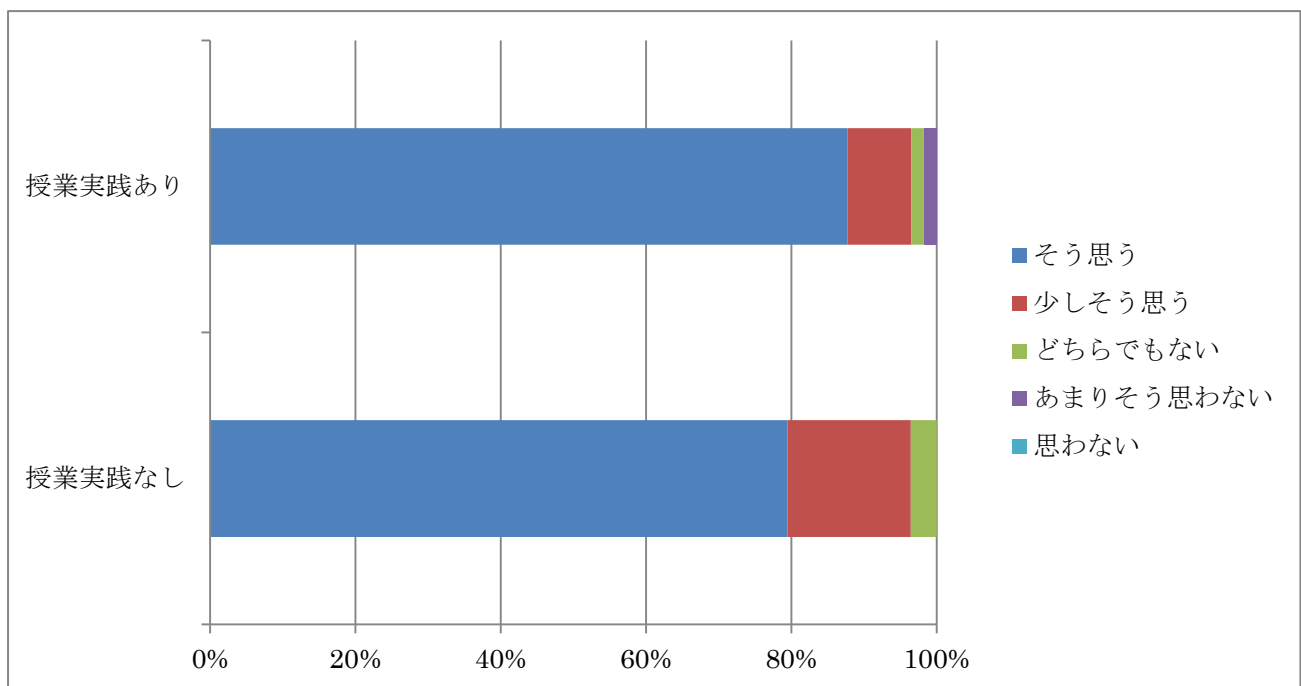


図 5-8 「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 5-9 「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5：そう思う	4：少しそう思う	3：どちらでもない	2：あまりそう思わない	1：思わない
授業 実施 あり	50	5	1	1	0
授業 実施 なし	89	19	4	0	0

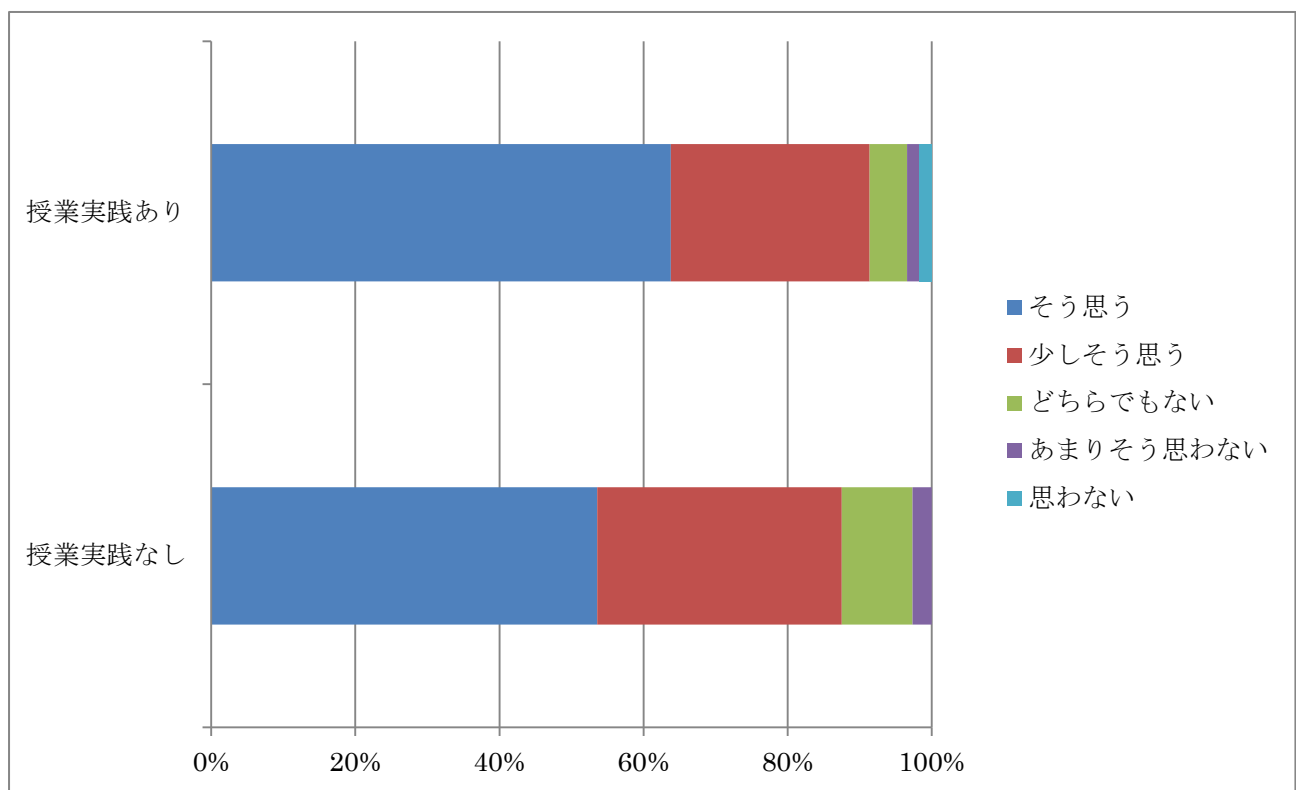


図 5-9 「③環境問題は自分と関係があると思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 5-10 「③環境問題は自分と関係があると思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5：そう思う	4：少しそう思う	3：どちらでもない	2：あまりそう思わない	1：思わない
授業 実施 あり	37	16	3	0	1
授業 実施 なし	60	38	11	3	0

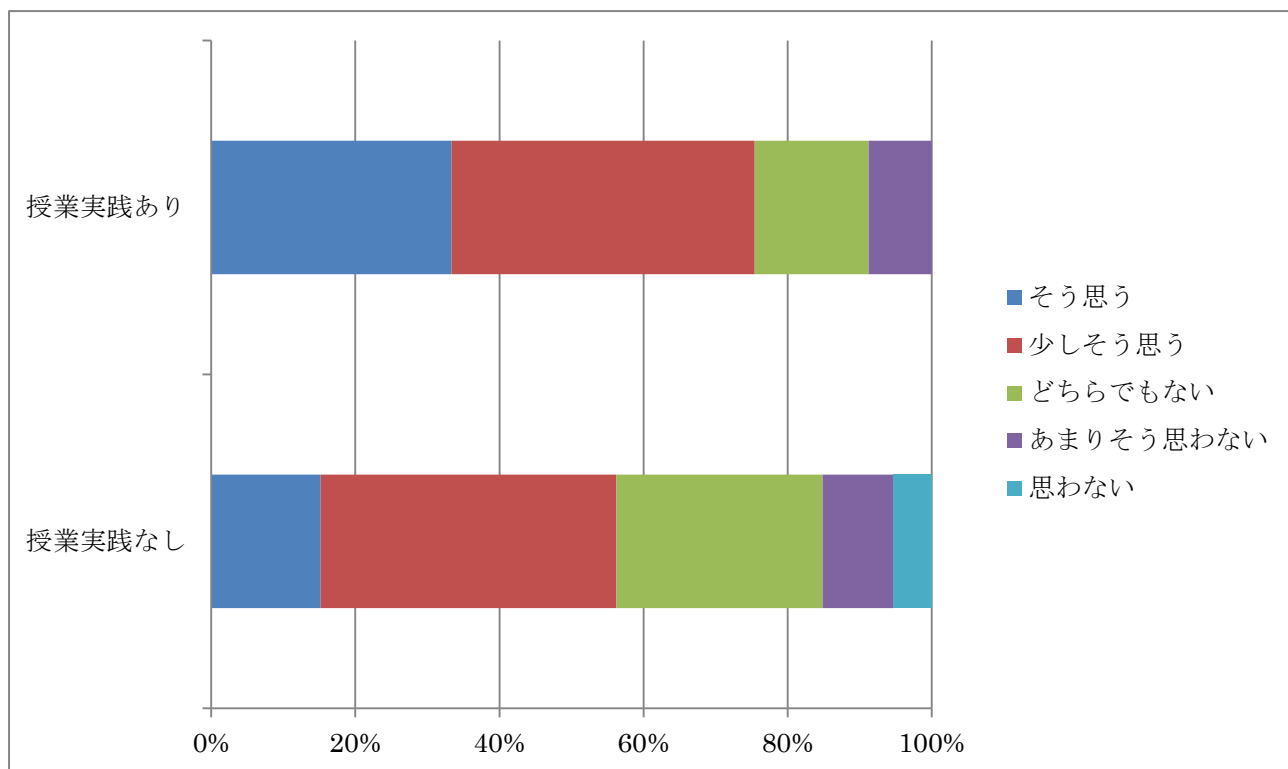


図 5-10 「④科学の力で環境問題が解決すると思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 5-11 「④科学の力で環境問題が解決すると思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5：そう思う	4：少しそう思う	3：どちらでもない	2：あまりそう思わない	1：思わない
授業 実施 あり	19	24	9	5	0
授業 実施 なし	17	46	32	11	6

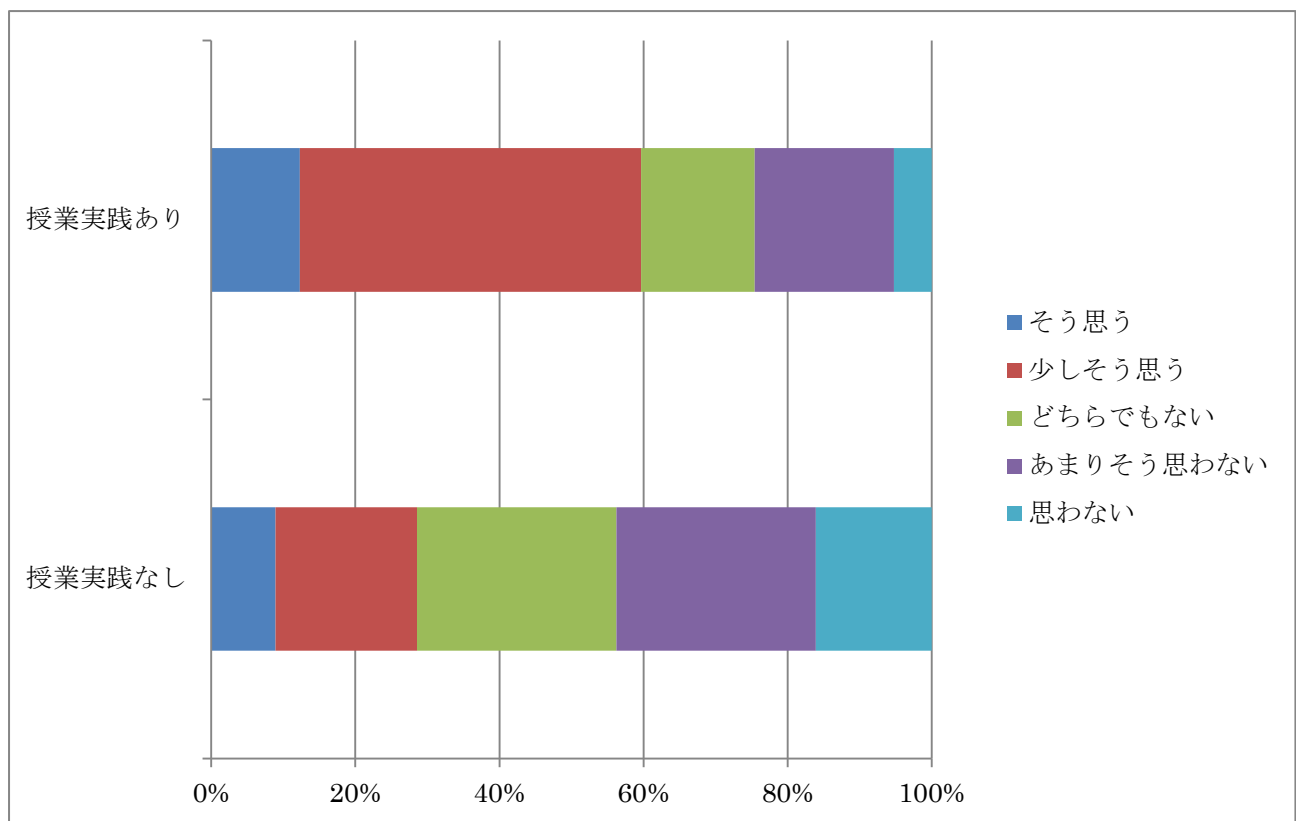


図 5-11 「⑤環境問題について聞かれた時、科学的理由を基に自分の意見を言えますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 5-12 「⑤環境問題について聞かれた時、科学的理由を基に自分の意見を言えますか。」についてのアンケート結果集計表

	5：そう思う	4：少しそう思う	3：どちらでもない	2：あまりそう思わない	1：思わない
授業 実施 あり	7	27	9	11	3
授業 実施 なし	10	22	31	31	18

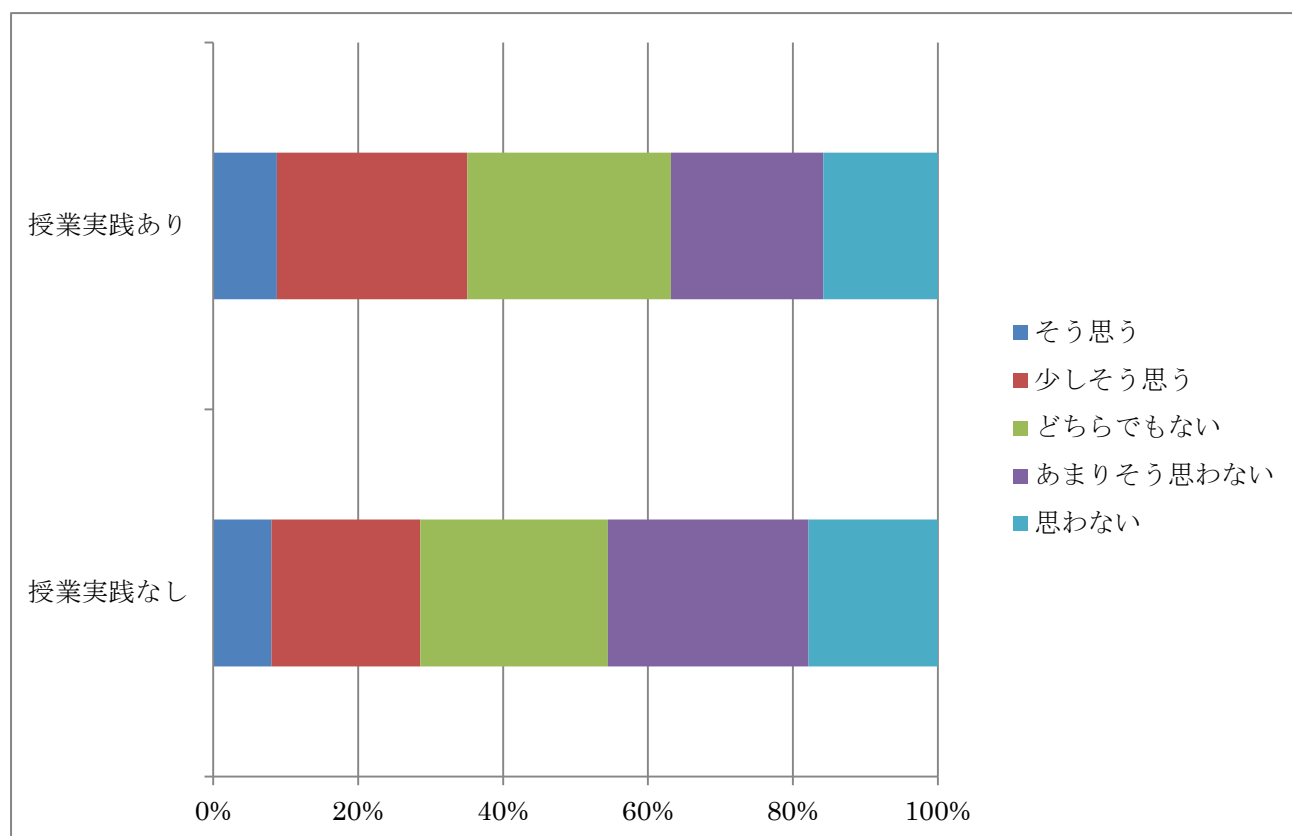


図 5-12 「⑥環境問題について自分から本を読んだり調べたりしますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 5-13 「⑥環境問題について自分から本を読んだり調べたりしますか。」についてのアンケート結果集計表

	5：そう思う	4：少しそう思う	3：どちらでもない	2：あまりそう思わない	1：思わない
授業 実施 あり	5	15	16	12	9
授業 実施 なし	9	23	29	31	20

総括

環境保全の視点からカーボンニュートラルが注目されており、学習指導要領においても環境教育は前回以上に重視されている。そこでスイートソルガムを原料としたバイオエタノールを用いたカーボンニュートラルの教材の開発を行った。

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る。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。

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、およそ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。一方で授業の実施のあったクラスにおいて、環境問題について自身から進んで調べようとする点が向上しなかった。今回の授業展開では生徒に環境問題を身近に感じさせることができなかった可能性が考えられる。よって今後、より生徒に身近な事象を扱った授業展開を考え、実践する必要がある。

参考文献

- 1) ICPP. 2014. 気候変動 2014 総合報告書, 政策決定者向け要約
https://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5_syr_spmj.pdf (2017 年 1 月 11 日現在)
- 2) 坂西 欣也 他. 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, pp.1-2
- 3) 文部科学省. 2008. 中学校学習指導要領解説 理科編, pp.56, pp.95
- 4) 小野寺 美佳. 2013. スイートソルガムを原料としたエタノール生産に関する研究. 弘前大学大学院教育学研究科修士論文, pp.75
- 5) 澤内 大樹. 2011. 新規材料によるバイオエタノール合成および教材化への応用. 岩手大学大学院教育学研究科修士論文
- 6) 毛利 衛, 黒田 玲子 他. 2014. 新しい理科 3・4・5・6. 東京書籍
- 7) 有馬 朗人 他. 2014. たのしい理科 3・4・5・6. 大日本図書
- 8) 霜田光一 他. 2014. 小学校理科 3 年・4 年・5 年・6 年. 学校図書
- 9) 養老 孟子, 角屋 重樹 他. 2014. 小学理科 3・4・5・6. 教育出版
- 10) 吉川 弘之 他. 2014. わくわく理科 3・4・5・6. 啓林館
- 11) 癸生川 武次 他. 2014. 楽しい理科 3・4・5・6. 信州教育出版
- 12) 岡村 定短, 藤嶋 昭 他. 2014. 新しい科学 1・2・3. 東京書籍
- 13) 有馬 朗人 他. 2014. 理科の世界 1 年・2 年 3 年. 大日本図書
- 14) 霜田 光一 他. 2014. 中学校科学 1・2・3. 学校図書
- 15) 細谷 治夫, 養老 孟子 他. 2014. 自然の探究 1・2・3. 教育出版
- 16) 吉川 弘之 他. 2014. 未来へ広がるサイエンス 1・2・3. 啓林館
- 17) 中村桂子 他. 2014. 科学と人間生活. 実教出版
- 18) 藤嶋 昭 他. 2013. 科学と人間生活. 啓林館
- 19) 河本 敏郎 他. 2014. 科学と人間生活 くらしの中のサイエンス. 数研出版
- 20) 中村英二 他. 2014. 高等学校科学と人間生活. 第一学習社

- 21) 竹内 敬人 他. 2014. 科学と人間生活. 東京書籍
- 22) 三浦 登 他. 2014. 物理基礎. 東京書籍
- 23) 三浦 登 他. 2014. 新編物理基礎. 東京書籍
- 24) 佐藤 文隆, 小牧 研一郎 他. 2014. 物理基礎. 実教出版
- 25) 佐藤 文隆, 小牧 研一郎 他. 2014. 高校物理基礎. 実教出版
- 26) 高木 堅志郎, 植松 恒夫 他. 2014. 物理基礎. 啓林館
- 27) 高木 堅志郎, 植松 恒夫 他. 2013. 新編物理基礎. 啓林館
- 28) 國友 正和 他. 2014. 物理基礎. 数研出版
- 29) 國友 正和 他. 2014. 新編物理基礎. 数研出版
- 30) 中村 英二 他. 2014. 高等学校物理基礎. 第一学習社
- 31) 中村 英二 他. 2014. 高等学校新物理基礎. 第一学習社
- 32) 三浦 登 他. 2014. 物理. 東京書籍
- 33) 佐藤 文隆, 小牧 研一郎 他. 2014. 物理. 実教出版
- 34) 高木 堅志郎, 植松 恒夫 他. 2013. 物理. 啓林館
- 35) 國友 正和 他. 2014. 物理. 数研出版
- 36) 中村 英二 他. 2014. 高等学校物理. 第一学習社
- 37) 竹内 敬人 他. 2015. 化学基礎. 東京書籍
- 38) 竹内 敬人 他. 2015. 新編化学基礎. 東京書籍
- 39) 井口 洋夫, 木下 實 他. 2014. 化学基礎. 実教出版
- 40) 井口 洋夫, 相原 惇一 他. 2014. 新編化学基礎. 実教出版
- 41) 務台 潔 他. 2014. 高校化学基礎. 実教出版
- 42) 齋藤 烈, 藤嶋 昭, 山本 隆一 他. 2013. 化学基礎. 啓林館
- 43) 齋藤 烈, 藤嶋 昭, 山本 隆一 他. 2013. 新編化学基礎. 啓林館
- 44) 辰巳 敬 他. 2014. 化学基礎. 数研出版

- 45) 野村 祐次郎, 辰巳 敬 他. 2014. 高等学校化学基礎. 数研出版
- 46) 辰巳 敬 他. 2014. 新編化学基礎. 数研出版
- 47) 山内 薫 他. 2014. 高等学校化学基礎. 第一学習社
- 48) 山内 薫 他. 2014. 高等学校新化学基礎. 第一学習社
- 49) 竹内 敬人 他. 2015. 化学. 東京書籍
- 50) 竹内 敬人 他. 2015. 新編化学. 東京書籍
- 51) 井口 洋夫, 木下 實 他. 2014. 化学. 実教出版
- 52) 井口 洋夫, 相原 惇一 他. 2014. 新版化学. 実教出版
- 53) 齋藤 烈, 藤嶋 昭, 山本 隆一 他. 2013. 化学. 啓林館
- 54) 辰巳 敬 他. 2014. 化学. 数研出版
- 55) 山内 薫 他. 2014. 高等学校化学. 第一学習社
- 56) 浅島 誠 他. 2014. 生物基礎. 東京書籍
- 57) 浅島 誠 他. 2014. 新編生物基礎. 東京書籍
- 58) 本川 達雄, 谷本 英一 他. 2013. 生物基礎. 啓林館
- 59) 本川 達雄, 谷本 英一 他. 2013. 新編生物基礎. 啓林館
- 60) 嶋田 正和 他. 2014. 生物基礎. 数研出版
- 61) 嶋田 正和 他. 2014. 新編生物基礎. 数研出版
- 62) 吉里 勝利 他. 2014. 高等学校生物基礎. 第一学習社
- 63) 吉里 勝利 他. 2014. 高等学校新生物基礎. 第一学習社
- 64) 馬場 昭次 他. 2014. 高校生物基礎. 実教出版
- 65) 庄野 邦彦 他. 2014. 生物基礎. 実教出版
- 66) 浅島 誠 他. 2014. 生物. 東京書籍
- 67) 本川 達雄, 谷本 英一 他. 2013. 生物. 啓林館
- 68) 嶋田 正和 他. 2014. 生物. 数研出版

- 69) 吉里 勝利 他. 2014. 高等学校生物. 第一学習社
- 70) 庄野 邦彦, 馬場 昭次 他. 2015. 生物基礎. 実教出版
- 71) 木村 龍治, 島崎 邦彦, 吉岡 一男 他. 2014. 地学基礎. 東京出版
- 72) 森本 雅樹, 天野 一男, 黒田 武彦 他. 2014. 地学基礎. 実教出版
- 73) 磯崎 行雄, 江里口 良治 他. 2013. 地学基礎. 啓林館
- 74) 小川 勇二郎 他. 2014. 地学基礎. 数研出版
- 75) 西村 祐二郎 他. 2014. 高等学校地学基礎. 第一学習社
- 76) 磯崎 行雄, 江里口 良治 他. 2013. 地学. 啓林館
- 77) 小川 勇二郎 他. 2014. 地学. 数研出版
- 78) 加藤 幸一, 永野 和男 他. 2013. 新しい技術・家庭科 技術分野. 東京書籍
- 79) 田口 浩継 他. 2016. 新編 新しい技術・家庭科 技術分野 未来を創る Technology.
東京書籍
- 80) 佐竹 隆顕 他. 2014. 技術・家庭科 技術分野. 教育図書
- 81) 佐竹 隆顕 他. 2016. 新技術・家庭科 技術分野. 教育図書
- 82) 間田 泰弘 他. 2014. 技術・家庭科[技術分野]. 開隆堂
- 83) 安東 茂樹 他. 2016. 技術・家庭科[技術分野]. 開隆堂
- 84) 荻野 耕司, 関村 栄, 太田 顕, 目黒 良平. 1987. 寒冷地におけるスイートソルガ
ムの出穂期及び糖度 (Brix%) の推移. 東北農業研究 第 40 号, pp197-198
- 85) 山口研農林水産部. 2012. 飼料作物栽培の手引き, pp14
http://www.nrs.pref.yamaguchi.lg.jp/hp_open/a172010/00000003/%E9%A3%BC%E6%96%99%E4%BD%9C%E7%89%A9%E6%A0%BD%E5%9F%B9%E3%81%AE%E6%89%8B%E5%BC%95%E3%81%8D.pdf (2017 年 1 月 11 日現在)
- 86) 気象庁ホームページ
http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly_a1.php?prec_no=31&block_no=0166&year=2015&month=&day=&view= (2017 年 1 月 12 日現在)
- 87) 気象庁ホームページ
http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly_a1.php?prec_no=31&block_no=0

166&year=2016&month=&day=&view=p1 (2017 年 1 月 12 日現在)

88) J. ZHANG and W. J. DAVIES. 1989. Absciscic acid produced in dehydrating roots may enable the plant to measure the water status of the soil. *Plant, Cell & Environment* Volume 12, Issue 1, pp 73–81

89) 小野寺 美佳. 2013. スイートソルガムを原料としたエタノール生産に関する研究. 弘前大学大学院教育学研究科修士論文, pp.49-50

90) 山口 緑. 2010. スイートソルガムを用いたバイオエタノールの合成方法と教材化. 弘前大学教育学部卒業論文, pp.12-16

91) 環境省. 2003. 環境教育等による環境保全の取組の促進に関する法律
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H15/H15HO130.html> (2017 年 1 月 13 日現在)

92) 文部科学省. 2008. 中学校学習指導要領解説 理科編, pp.56-57, pp95

93) 矢野 慎 他. 2011. スイートソルガムを用いたバイオエタノール合成の教材研究. 日本教育学会要旨, pp186

94) 小野寺 美佳. 2013. スイートソルガムを原料としたエタノール生産に関する研究. 弘前大学大学院教育学研究科修士論文, pp.54

95) 富村芽久美, 古川柳蔵. 座学と実習を併用したカリキュラムが環境配慮行動に与える行動. エネルギー環境教育研究, 第 11 巻第 1 号, pp.27-34

謝辞

本研究は弘前大学教育学部長南幸保教授のもとで行われました。本稿の作成ならびに研究を行う際の指導、実験にわたり御指導を賜りました。心より感謝の意を表します。

弘前大学教育学部勝川健三准教授には、スイートソルガムの栽培から収穫において終始ご指導ならび、研究を行う際の適切なご助言をいただきました。また同大学教育学部の島田透先生にはご専門の立場から有益なご助言をいただきました。

八戸市立白山台中学校畠山洋一教諭には、授業実践の指導案の添削ならびに指導案改善にむけての適切なご助言をいただきました。

弘前大学大学院教育学研究科修了生の小野寺美佳氏、弘前大学教育学部卒業生山田緑氏には数多くの貴重なデータを残していただき、本研究を行うきっかけをいただきました。

さらに、同大学教育学部学校教員養成課程理科研究室の学生の方々から励ましのお言葉を頂きました。

以上の各位に対して、心から感謝の意を表します。

資料 授業実践の事後アンケート 生徒の感想

ここでは事後アンケートに記載された生徒からの感想を記す。またアンケートに書かれたことをそのまま記載しているため、誤字等が見られるが生徒の言葉、表現を尊重した結果である。

- ・実験がとても楽しかったです。カーボンニュートラルもわかりやすい説明をして下さったので、よくわかりました。質問ですが、なぜあの液体はあんなに臭かったのですか？
- ・カーボンニュートラルは、実さいに行われていますか？
- ・カーボンニュートラルの実験をまたいつかの機会で行ってみたいです。
- ・カーボンニュートラルは、初めて知ったけど、地球温暖化の解決に役立つと思います、実験を最後までやりたかったです。
- ・カーボンニュートラルを持続させたとしても、CO₂を減少させることはできないから、減少させられるものの方がいいと思う。
- ・実験が楽しかった。あと後の実験がどうなったのか決になる。
- ・カーボンニュートラルについて初めて知ることが多くて大変勉強になりました。質問、バイオエタノールは、どんなせい分がありますか。
- ・カーボンニュートラルの事を知らなかったのとても良い勉強になりました。ありがとうございます。
- ・なぜあんなにくさかったんですか。とっても楽しかったです。
- ・もっと実験の続きやりたかった。
- ・混ぜたやつは人に害はないんですか。
- ・アルコールランプじょうりゅうをするのをやってみたかったです。
- ・なんで臭いの？あの黄色と白の液は何？アルコールランプなんのためにあったの？
- ・実験が楽しかったです。ワークシートとかも分かりやすかったです。
- ・何で植物由来の燃料を使うと循環できるのか。
- ・今日の授業でじっけんをやったりして、おもしろかったです。プリントもあったのでとてもわかりやすかったです。
- ・実験を最後までやりたかったです、
- ・カーボンニュートラルが全国でおきたらとてもいいと思う。
- ・液じたいがくさかったんですか。それとも、液と液とを混ぜたからくさかったんですか。
- ・実験がおもしろかったです。
- ・実験などがあって楽しかったです。カーボンニュートラルを実現させると、二酸化炭素がふえずに、地球温暖化は改ぜんされると思うけど、植物を燃りょうにするので、砂漠化がどんどんすすんで、緑が減り光合成されないの、二酸化炭素がふえてしまうと思います。
- ・とてもおもしろかったです。実験をじっくりやってみたいと思います。

- ・カーボンニュートラルを今後活用していくと、植物がなくなってしまうのではないのですか？
- ・くさかった理由
- ・植物の近くで息をしたら、すぐに植物は二酸化炭素を吸って酸素を増やしてくれるの？循環は何日くらいでできる？実験楽しかったー！！
- ・もっと実験したかった。
- ・カーボンニュートラルを再現するために植物由来の燃料を使用しすぎて自然がなくなる可能性はありますか。
- ・50℃のお湯にドライイースト液とスイートソルガムを混ぜた液体を入れるとすぐに発酵する理由が知りたいと思いました。分かりやすくカーボンニュートラルの説明をしていただけて理解ができました。
- ・今日の実験は久しぶりででした。カーボンニュートラルのことについてや、どうして地球温暖化があるのか、地球温暖化のかいけつなど、とても分かりやすかった。実験とても楽しかったし、知らないことをたくさん知れた。
- ・授業が分かりやすかったです。カーボンニュートラルについて、もっとくわしく調べてみたいです。
- ・なんで50℃以上のおゆに入れるとはっこうするのか、なんで白がったえきたいがエタノールにとうめいになったのか、どうやったら家でできるのか。
- ・バイオエタノール以外のものでも燃料をつくりカーボンニュートラルを成立させることはできるのですか？
- ・前までは、地球温暖化のことは、ほとんど知らなかったし、カーボンニュートラルなんて聞いたことなかったもので、すごいいい勉強でした。二酸化炭素を減らしたいさくは、ほかに何にかありますか？
- ・植物から燃料にするとき、二酸化炭素が発生すると、またさらに、二酸化炭素がふえたりしませんか？
- ・2つの液にどんな成分があつてはっこうしたり、エタノールになるのですか？
- ・カーボンニュートラルのしくみがすごいなあと思いました。他に二酸化炭素が増えないようにするための対策やできることがもっと知りたいです。
- ・今日の授業が実際に実験をして分かりやすかったです。カーボンニュートラル以外に地球温暖化を防ぐ手はありますか？
- ・ドライイースト液やスイートソルガムのことを、具体的に知りたいと思った。
- ・カーボンニュートラルもいいと思うけど、二酸化炭素をへらすには、なえぎをうえればいいと思います。
- ・ドライイーストとスイートソルガムを混ぜて温めるとなぜはっこうするのかきもんに思った。
- ・温暖化による災害には、今回教えてもらったこと意外にどのようなものがありますか。
- ・エタノールを作ることもやりたかったです。
- ・地球温暖化とカーボンニュートラルはどんなことをして解決するのか。
- ・普段できない体験ができて、おもしろかったです。バイオエタノールがどのようにはっこうされたかを知りたいです。
- ・なんでイーストとスイートソルガムをまぜてはっこうさせると、バイオエタノールができるのか知りたいです。実験や紙を用いて説明してくれていたのが分かりやすかったです。1つ、要望なんですが、後ろの方の席にいと、声がききとりづらいので、もう少し声を大きくしてくれると助かります。

- ・もうちょっと地球温暖化とカーボンニュートラルをくわしく知りたかったです。実験は楽しかったです！
 だけど、火につけるのをちゃんとやってほしかったです。
- ・ドライイースト液とスイートソルガム搾汁液を混ぜた液をもっと熱い湯で熱したらどうなるのか。なぜ試験管内の液を染み込ませたろ紙は激しく燃えなかったのか。この2つが疑問に思ったことです。
- ・ドライイースト液とスイートソルガム搾汁液とは何の成分か知りたい。発酵のしくみをしりたい。
- ・カーボンニュートラルについてくわしく知ることができて良かったです。地球温暖化による自然災害とは具体的にどのようなものがありますか？地球温暖化解決のために自分たちに何か身近でできるようなことがありますか？
- ・カーボンニュートラルを空気中→植物→原料となる所を全体的にみたかった。
- ・疑問に思ったのは、これから先の地球はどうなっていくのかとか、これから先どのような注意をしながら生活していけばよいのか知りたかったです。あと何個か聞き取れなかった所があって、循環の所をもっと知りたかった。
- ・地球温暖化がずっと続いたらどうなるのかということを詳しく知りたかったです。
- ・地球温暖化を解決するために自分たちは、どうしていきべきなのかくわしく知っておきたい。
- ・木を木りすぎたら、逆に砂漠化したりするといっているのでどのくらい植物を使うのか知りたいです。
- ・他にもカーボンニュートラルを実現する方法や、植物以外にもっといい燃料を作る方法などを考えたい。
- ・植物を燃料にすることで、手をかけずに酸素にかえられる植物をむだにしているかもしれないと感じた。「自然にやさしい」という点でも考える必要があると思う。