

デンプンから作る生分解性プラスチック

福井県立武生高等学校 河井凜音 日下紗良 佐竹菜希

Abstract

Recently, biodegradable plastics that are decomposed by nature have received attention from the world. Also, in making plastics, we can give features of plastics to starches by esterification (to connect between materials and materials by ester binding) and this fact is common knowledge. We found a way to make biodegradable plastics that can make everyone using inexpensive starches and changing conditions. Moreover, we verified our products are biodegradable or not based on an examination using microbes.

キーワード：生分解性プラスチック、デンプン、プラスチック、SDGs

1 はじめに

1.1 プラスチックによる環境破壊

現在、プラスチックによる環境破壊が問題になっている。例えば、海に流れたマイクロプラスチックを海洋生物が摂取し、分解されずに体内に残ることで消化不良や摂食障害、最終的には人間の健康にも影響を及ぼすと言われている。そこで微生物のはたらきによって分解される生分解性プラスチックが注目され、普及が進んでいる。しかし、これらのプラスチックを作るために森林を伐採していたり、石油から作っていることにより分解の際に二酸化炭素を排出したりと本当に環境に優しいとは言えないという現状がある。

1.2 エステル化

現在、デンプンをエステル化するとプラスチック性を付与できるということが明らかになっている。デンプンはグルコースが連なったものであり、デンプンに酸を加えると図1に↑で示した水酸基に酸のH+が結合して水分子を生成する。そしてもとのデンプンの構造から生成された水分子が抜け、新しくエステル結合と呼ばれる共有結合をもたせることができる。このように物質から水分子が取れて縮合することをエステル化という。これによりデンプンは回転した形だった繊維がまっすぐな一本の繊維になり、異なる性質を持つようになる。

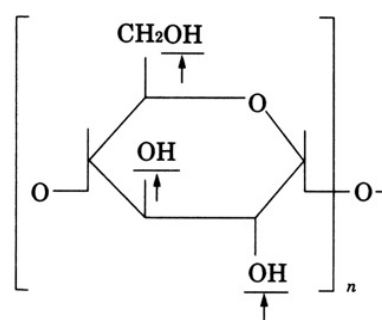


図1 でん粉のアルコール性水酸基(OH)
(木下製粉株式会社HPより引用)

1.3 先行研究

片栗粉からプラスチックのような固体を作成することが最も良い作成方法であること（大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎、2019）、葛粉からプラスチックのような固体を作成することが最も良い方法であること（大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎、2020）が先行研究により明らかになっている。しかし、2つの論文の結論が異なっており、どちらが正しいのかが不明であるため、その作成方法を確立させることから私たちの研究を始めることにした。

2 実験方法

2.1 生分解性プラスチックの作成

先行研究に書かれた生分解性プラスチックの作成方法

- ①試験管を準備し、デンプン(片栗粉もしくは葛粉)2g、純水2ml、酢酸2ml、硫酸1~2滴を入れる
- ②ゴム栓をして振り混ぜる
- ③80°Cの湯で20分間湯浴する(この際反応の促進のため数分おきに試験管を振り混ぜる)
- ④試験管を取り出し人肌温度になるまで冷ましてから、NaHCO₃水溶液で泡が出なくなるまで中和する
- ⑤中身をシャーレに取り出し乾燥させる

以上が先行研究に書かれていた作成方法だが、試験管を振り混ぜる回数や湯浴の際に使う道具、どこで乾燥させるのかなど不明な点が多かった。また、生成するのに適したデンプンが、資料によっては片栗粉と書かれていて、他の資料には葛粉と書かれていた。したがって私たちは、様々な条件を変えて実験し、まずは生成物の作成方法を確立することから始めた。

実験手順

私たちは、あらかじめベースとする作成方法を決めて、5つの条件を変えて実験を行った。

実験準備物

試験管(必要な本数)、ピペット4本、ゴム栓、ビーカー、ホットスターラー、葉さじ、葉包紙、電子てんびん、NaHCO₃飽和水溶液、シャーレ、温度計、ミクロスパーテル、片栗粉(馬鈴薯デンプン)、葛粉

また、これに加えて実験Bでは無水酢酸を使用した。

《ベースの作成方法》

- ①乾いた試験管を準備し、デンプン(片栗粉もしくは葛粉)2g、純水2ml、酢酸2ml、硫酸1~2滴を入れる
- ②ゴム栓をして100回振り混ぜる
- ③ホットスターラーを使って80°Cの湯で20分間湯浴する(反応促進のために5分おきに30回振り混ぜる)

④試験管を取り出し人肌温度になるまで冷ましてから、飽和NaHCO₃水溶液で泡が出なくなるまで中和する

⑤ミクロスパーテルを使って中身をシャーレに取り出し室温で乾燥させる

(注)下線部は先行研究に記載がなく、私たちが設定した方法

実験結果

条件A 片栗粉と葛粉の比較

片栗粉と葛粉両方を用いて作成を行い、取り出し直後と1週間乾燥させた後の生成物を比較した(表1、写真1)。

	取り出し直後	1週間後
片栗粉	柔らかい固体、半透明	硬い固体、半透明
葛粉	液体、半透明	硬い固体、白

表1

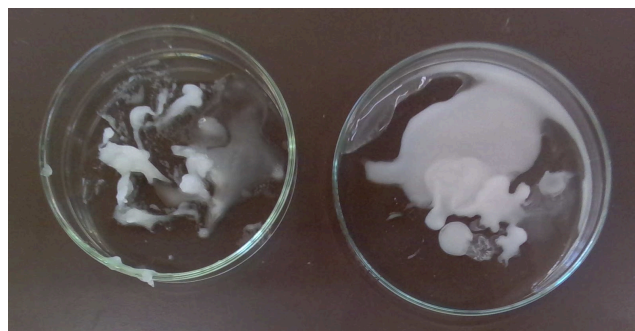


写真1 取り出し直後の生成物
左: 片栗粉 右: 葛粉

条件B 酢酸を無水酢酸に変更

デンプン、硫酸、無水酢酸、純水の順に試験管に入れた結果、純水を入れた際にボンッと音がして爆発のような反応が起き、生成物が得られなかった。

条件C 試薬を振り混ぜる回数を変更

振り混ぜる回数が生成物に影響を与えるのかどうか、ゴム栓をして一度も振らない、ゴム栓をして200回振る(5分置きに60回振る)に分けて検証

(表2、写真2、3)。

	0回振り(直後)	200回振り(直後)
片栗粉	固体、半透明	どろどろの液体、半透明
葛粉	液体、白色	どろどろの液体、白色

表2

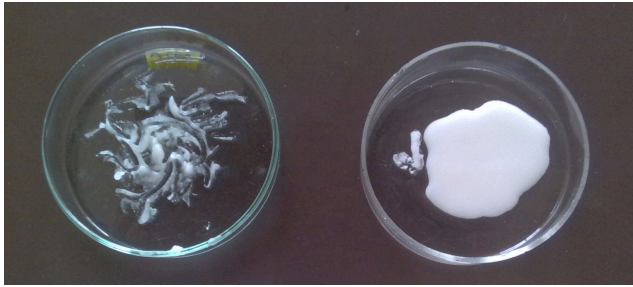


写真2 0回振り 左：片栗粉 右：葛粉



写真3 200回振り 左：片栗粉 右：葛粉

1週間後はすべての物質が取り出し直後の状態の形状を保ったまま固まっていた。

条件D 酢酸を3mlに変更

酢酸はデンプンと結びつくので、酢酸の量を増やせばより多くの生成物ができるのではないかとこの考えから検証（表3、写真4）。

	取り出し直後	1週間後
酢酸1.5倍 (3ml)	白色、強い酢酸の匂い	固まっていない

表3



写真4

酢酸1.5倍量で作ったものは中和作業の際に泡が発生し続け、中和が終わらなかった。

条件E 湯浴時間を短縮

Dまでの条件を変えながら作成を行うなかで、湯浴開始から5分程度である程度個体できていた。このことから、湯浴時間を数分短縮しても同様に生成物ができるのではないかと考え検証（表4、写真5、6）。

	におい	色	中和の際の泡	状態
5分	強い酢酸の匂い	透明	泡の粒が大きい	ゼリー状
15分	少し酢酸の匂い	透明	細かな泡、爆発的	ゼリー状

表4

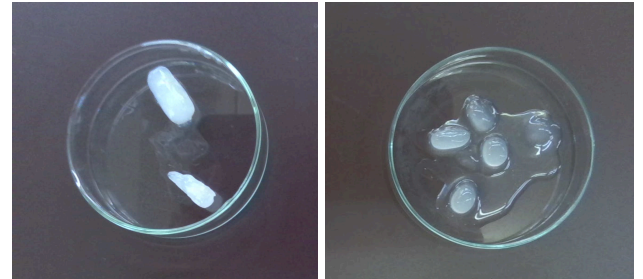


写真5 湯浴時間 5分 写真6 湯浴時間 15分

湯浴時間が5分の場合、生成物から強い酢酸の匂いがし、中和の際の泡の粒の大きさも大きかった。15分の場合では、酢酸の匂いが5分に比べて少なく、中和の際の泡の粒の大きさも小さかった。

考察1（実験1より）

条件Aについて、葛粉から作成した生成物は取り出した直後から液体であり、固体としての形を保っていなかったことからプラスチックを作る際に適しているデンプンは片栗粉である。条件Bについて、失敗した原因は試薬を入れる順番を誤ったからである。葛粉を入れた試験管は、中身が焦げだし匂いがした。また、無水酢酸は酢酸に比べ反応が早く進むので扱うのが難しいことから、以降酢酸で作成することにした。

条件Cについて、いずれの場合も得られた物質は条件Aで得られた物質と異なる特徴もっていた。条件Aの方法のほうが先行研究に忠実であることから、試験管を100回振るのを最も実験に適した条件として採用することに決めた。

条件Dについて、中和作業が終わらなかったということはすなわち、反応せずに残った酢酸が過剰量あったということである。したがって、酢酸の量は先行研究に従い2mlのままで十分であり、今後の実験は酢酸の量を2mlで作成することにした。

条件Eについて、湯浴時間を短くした際、湯浴時間5分では酢酸の匂いが強かったことから、酢酸とデンプンが十分に反応していないと考えた。湯浴時間を15分にした際は、20分のときとほぼ同質の物質が得られたため、湯浴時間は15分に短縮できることがわかった。この後の実験はすべて湯浴時間15分で行う。

以上の実験より、私たちが確立した作成方法は以下の通りである。

- ①乾いた試験管を準備し、片栗粉2g、純水2ml、硫酸1～2滴を入れる
- ②ゴム栓をして100回振り混ぜる
- ③ホットスターラーを使って80℃の湯で20分間湯浴する(反応促進のために5分おきに30回振り混ぜる)
- ④試験管を取り出し人肌温度になるまで冷ましてから、飽和NaHCO₃水溶液で泡が出なくなるまで中和する
- ⑤ミクロスパーテルを使って中身をシャーレに取り出し常温で乾燥させる

また、ここから先に記載する実験に使用した生成物は全てこの確立した方法で作ったものである。

2.2 プラスチック性の検証

プラスチックの定義

熱か圧力あるいはその両者によって塑性変形させて成形することができる高分子化合物の総称。その成形品の個々をさすこともある。このような高分子化合物には天然樹脂と合成樹脂とがあるが、プラスチックといえば後者をさすのがふつうであり、熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂に大別される(岩波理化学辞典より引用)。

実験準備物

実験準備物は以下の通りである。

実験2.1にて作成した生成物、オーブントースター、シャーレ、ピンセット、軍手、キムワイプ

実験方法

実験手順を以下に示す。

(1)シャーレに入れた生成物をオーブントースターに入れ、生成物が柔らかくなるまで(1～2分程度)加熱する。

(2)加熱した生成物をピンセットで引っ張り、観察する。

実験結果

生成物に繊維が見られ、冷えてその形を保ったまま固まった(写真7)。



写真7

2.3 生分解性の検証

実験3-1

実験準備物

次のとおりである。

試験管(×6)、ろうと、ろうと台、ろ紙(×7)、ガラス棒、ビーカー、メスフラスコ、パラフィルム

実験方法

(1) 準備

試験管に①～⑥の番号を振り①～④には湯浴時間15分で作った生成物を、⑤⑥には湯浴時間15分で作った生成物を質量計測した後、それぞれ試験管に入れる。

①②⑤には純水を③④⑥には川の水を、それぞれメスシリンダーで20ml測定し注ぎ、7週間放置する。この際、外部からホコリが侵入するのを防ぐために試験管にパラフィルムを被せる。

(2) 目視での確認

7週間後、液体に浸した生成物に変化が見られるか目視で観察する。

(3) ろ過・乾燥及び減少量の測定

①～⑥の液体をろ過したろ紙に加えて、純水で濡らしただけのろ紙を1枚準備する。

これは常温で乾燥させたあともろ紙の中に水分が残っている可能性を考慮して、コントロール用に作ったものであり、これを⑨とする。

①～⑥の液体をろ過し、数日間乾燥させたろ紙の質量を計測する。これらのそれぞれの質量から⑨の質量を引いた値を求める。この値が、液体中に残った生成物の真の質量となる。実験前の質量とこれらの値の差をとることで減少量を求めることができる。

実験結果

写真8は目視で確認した7週間後の試験官の様子である。

写真8から、③④⑥では生成物が浮遊していることがわかる。

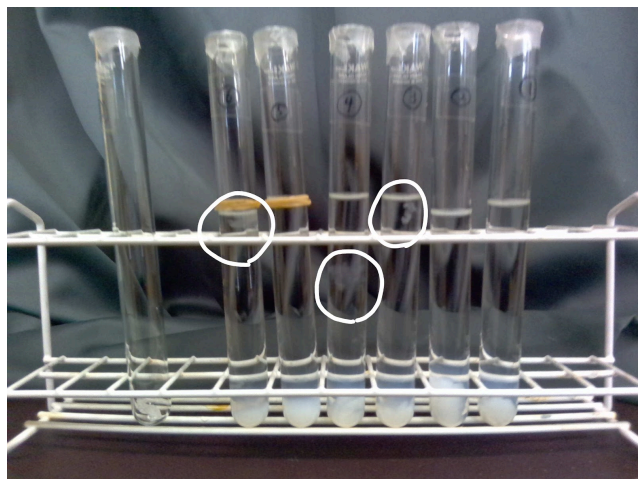


写真8

下の表5は、質量測定の結果である。

	①	②	③	④	⑤	⑥
実験前	0.422	0.428	0.467	0.467	0.560	0.396
実験後	0.061	0.150	0.053	0.053	0.087	0.099
減少量	0.361	0.462	0.414	0.414	0.473	0.297

表5

①②⑤での減少量が少なく③④⑥での減少量が多くなっていけば、生分解性を持つことを定量的に証明することができたのだが、質量の減少量に一定の傾向は見られなかった。

実験3-2

実験準備物

実験の準備物は次の通りである。

薬品さじ、薬包紙、電子ばかり(小数点第3位まで表示されるもの)、無菌シャーレ、ピペットエイド、酒麴菌、味噌麴菌

実験手順

実験手順を次に示す。

A:YPD培地

B:グルコースの代わりに合成物を用いた培地

C:YPD培地からグルコースを取り除いた培地の3種類の培地を2つずつ、合計6つ作成する。

(1) 培養液の作成

A:酵母エキス1%、ペプトン2%、グルコース2%、寒天1%の割合になるように薬品さじ、薬包紙、電子ばかりを用いてそれぞれの質量を計測する。

B,C:酵母エキス1%、ペプトン2%、寒天1%の割合になるように薬品さじ、薬包紙、電子ばかりを用いてそれぞれの質量を計測する。

(2) 培地の作成

(2)以降の作業はすべてクリーンベンチ内で行う。作成した培養液をピペットエイドを用いて無菌シャーレの半分ほどまで入れ、ベンチ内で乾燥させる。

(3) 培地Bへの合成物の埋め込み

作成した培地Bに私たちが実験1にて確立した手順で作成した合成物を埋め込む。

(4) 培地A,B,Cへの酒麴菌と味噌麴菌の埋め込み
作成した培地Aに酒麴菌を埋め込んだものと味噌麴菌を埋め込んだものを各1つずつ作成する。同じ手順を培地B、培地Cにも行う。

(5) インキュベーターに作成した培地を入れ、2週間おいた後微生物の増え方を観察
24.9度に保たれたインキュベーターに作成した培地を入れ、2週間おく。その後、微生物の増え方を観察する。

結果3-2

結果は以下の通りである。

サケ

ミソ



A:YPD培地(写真9、10)



B:グルコースの代わりに合成物を用いた培地(写真11、12)



C:YPD培地からグルコースを取り除いた培地(写真13、14)

培地Aでは酒麴菌、味噌麴菌ともに培地内で菌が増加した(写真9、10)。

培地Bでは酒麴菌、味噌麴菌ともに培地内で菌が増加したが、栄養となるはずの合成物に寄って増加したわけではなかった(写真11、12)。

培地Cでは酒麴菌、味噌麴菌ともに培地内で菌は増加した(写真13、14)。

実験3-3

実験準備物

次のとおりである。

2ml遠心チューブ(×4)、ピペットエイド、市販のプラスチック片(0.5×0.5cm²)、木材腐朽菌の酵素液、実験1で作った生成物

実験方法

(1)遠心チューブ4本に、それぞれ1000マイクロメートルの酵素液をピペットエイドで加える。

(2)(1)の操作後の遠心チューブのうち2本には市販のプラスチック片を、残りの2本には実験1で作った生成物を加える。

この実験は目視での変化を観察することが目的のため、質量の計測は行わなかった。

(3)木材腐朽菌の酵素活性が最も活発である人肌温度(約37°C)で1時間半ほど振り、チューブ内のプラスチックの様子を観察する。

結果3-3

次の写真のとおりである。



写真15、16 市販のプラスチック片



写真17、18 合成プラスチック片

生成物は溶けてなくなったが、市販のプラスチック片は溶けずに残った(写真15、16、17、18)。

4 考察2 (実験2、3より)

実験2より、生成物は熱可塑性を持ち、プラスチックである。実験3-1で定量的にプラスチックの減少を確認できなかったのは、ろ過の方法または測定の方法に問題があるか、生成物を川の水に浸す期間が短かったためである。実験3-2で全ての培地で菌が増えたのは寒天に含まれていた栄養分が

原因である。実験3-3で合成プラスチック片は形が変わらず、生成物はなくなったため生成物は生分解性プラスチックである。

5 今後の課題

プラスチックを作成する手順や材料が複雑で、一度に多くの量を作成できないため効率が悪く実用化が難しいことが挙げられる。また、生分解性の検証が定量的にできておらず、その方法も一般的に認められるものかどうか分からないということも課題である。

6 参考文献

- ・大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎
「課題研究・応用」(プルーフⅡ)研究成果報告書
2019年度 p53~56 2020年度 p67~70
- ・米から作る生分解性プラスチック「ライスプラ」の合成
- ・ポリ乳酸の分解と再生