

抽出リモネンを用いた発泡ポリスチレンの溶解に関する教材研究

山本祥子・島田秀昭

Studies on the dissolution of foamed polystyrene using extracted limonene from citrus fruits

Shoko Yamamoto and Hideaki Shimada

(Received September 28, 2018)

In the textbook of high school chemistry, the dissolution of foamed polystyrene using limonene has been introduced. In the present study, to obtain the suitable conditions for the extraction of limonene using steam distillation, we examined the effects of the amounts of water and orange peel on the limonene yield. Furthermore, we extracted the limonene from various citrus fruits, and compared for dissolution of foamed polystyrene.

Key words : limonene, citrus fruit, extraction, foamed polystyrene, dissolution

はじめに

高等学校化学では「高分子化合物の性質と利用」について学習する¹⁾。単元の項目の一つである「高分子化合物と人間生活」では、目標として「高分子化合物の性質や反応を観察、実験などを通して探究し、合成高分子化合物と天然高分子化合物の特徴を理解させるとともに、それらを日常生活や社会と関連付けて考察できるようにする」と記されている¹⁾。また、内容の取扱いとして、「吸水性高分子、導電性高分子、合成ゴムなどを取り上げ、その用途を中心に扱うこと」と記されており、高分子化合物と人間生活については、「高分子化合物が、その特徴を生かして人間生活の中で利用されていることを理解すること」をねらいとしている¹⁾。これらの目標を達成するための方法としては、合成高分子化合物の多くが石油を原料としていることに関連して、資源の再利用にも触れることや、実験として発泡ポリスチレンの溶解と再生に関する実験などが挙げられている¹⁾。ここで扱われるポリスチレンなどの熱可塑性樹脂は、食品の容器の主成分であり、日常生活に深く関わっているため、生徒の興味・関心をより高めることができると考えられる。

教科書における「高分子化合物」の実験としては、発泡ポリスチレンの溶解が取り上げられている^{2, 3)}。ここで紹介されている発泡ポリスチレンの溶解実験は、発泡ポリスチレン片をリモネンによって溶解させるものである⁴⁾。

リモネンは柑橘類の果皮に含まれており、柑橘系の

芳香を有するため香料として芳香剤、せっけん、洗剤、化粧品などに用いられている。リモネンは日常生活の中に広く存在しており、安全性も高いので実験教材として有用である。しかし、市販のリモネンは高価であり、学校現場での使用は予算的に難しいと思われる。

そこで、安価に行うことができる実験方法として、リモネンが含まれているオレンジの果皮を発泡ポリスチレン片に直接こすり付けて溶かす実験が紹介されている³⁾。この実験は、廃棄される果皮を利用するので、安価で環境に配慮した実験方法である。しかし、果皮を発泡ポリスチレン片に直接こすり付けた場合では、リモネン自体の存在を視覚的に確認することはできず、発泡ポリスチレンの溶解の度合いも少ないため、生徒が実感を伴って実験を行うことは難しいと思われる。

柑橘類の果皮からリモネンを取り出す方法として、水蒸気蒸留を用いた方法が紹介されている⁵⁾。水蒸気蒸留は化学の資料集でも紹介されており⁵⁾、これを発泡ポリスチレンの溶解実験に取り入れることにより、抽出に関する内容を同時に扱うことも可能である。しかし、水蒸気蒸留を用いたリモネンの抽出実験に関しては、使用する水量や果皮の量などの実験条件に関する情報量が少なく、検討の余地があると考えられる。

そこで本研究では、水蒸気蒸留を用いたリモネンの抽出に関する実験条件について検討した。また、種々の柑橘類からリモネンを抽出し、発泡ポリスチレンの溶解について比較した。さらに、採取した果皮の保存期間についても検討を加えた。

実験方法

1. 各種柑橘類の果皮を用いた発泡ポリスチレンの溶解

各種柑橘類：オレンジ，レモン，グレープフルーツ
およびカボスの皮（3cm×3cm）の外果皮側を発泡ポリスチレン（5cm×5cm×1.5cm）に1分間こすりつけた後5分間静置し，発泡ポリスチレンの溶解の様子を観察した。

2. リモネン抽出における果皮量と水量の検討

オレンジの外果皮40gを包丁で剥き，5mm角にみじん切りした。刻んだ外果皮と水25，50または100mLを200mL三角フラスコに入れ，ガラス管付きゴム栓をし，ガスバーナーで加熱した（図1）。沸騰後の抽出液を2mLずつ4本の試験管に採取した。抽出液が入った試験管に発泡ポリスチレン片（1cm³）を入れ，20分間静置し，溶解の有無を調べた。

発泡ポリスチレン片の溶解が見られた場合を○，見られなかった場合を×として評価した。実験は3回ずつ繰り返し行った。

3. リモネン抽出における抽出液の採取量の検討

5mm角にみじん切りしたオレンジの外果皮40gと水50mLを200mL三角フラスコに入れ，ガラス管付きゴム栓をし，ガスバーナーで加熱した。沸騰後の抽出液を1mLまたは2mLずつ4本の試験管に採取した。抽出液が入った試験管に発泡ポリスチレン片を入れ，20分間静置し，溶解の有無を調べた。

4. 各種柑橘類から抽出したリモネンの発泡ポリスチレン溶解の比較

各種柑橘類：スウィーティー，パール柑，メロゴールド，伊予柑，晩白柚，レモン，グレープフルーツ，オレンジおよび紅八朔の外果皮40gを包丁で剥き，5mm角にみじん切りした。刻んだ外果皮と水50mLを200mL三角フラスコに入れ，ガラス管付きゴム栓をし，ガスバーナーで加熱した。沸騰後の抽出液を1mLずつ4本の試験管に採取した。抽出液が入った試験管に棒状の発泡ポリスチレン（0.5cm×0.5cm×15.0cm）を入れ，20分間静置し，溶解量を比較した。

発泡ポリスチレンの溶解が見られた場合を○，見られなかった場合を×とし，さらに発泡ポリスチレンの溶解した長さを算出した。なお，発泡ポリスチレン（15.0cm）がすべて溶解した場合には直ちに2本目を追加した。実験は3回ずつ繰り返し行い，データは平均±標準偏差で示した。



図1 水蒸気蒸留装置

5. リモネン抽出における果皮量の少量化の検討

5mm角にみじん切りしたスウィーティーの外果皮10，20，30または40gと，それぞれの外果皮重量の1.25倍量の水（12.5，25，37.5または50mL）を200mL三角フラスコに入れ，ガラス管付きゴム栓をし，ガスバーナーで加熱した。沸騰後の抽出液を1mLずつ4本の試験管に採取した。抽出液が入った試験管に棒状の発泡ポリスチレンを入れ，20分間静置し，溶解量を調べた。

6. リモネン抽出における果皮の保存期間の検討

剥いたスウィーティーの外果皮をジップロック（旭化成）に入れ，冷凍庫で保存した。保存開始から1，2，3および4週間後に凍った外果皮20gを取り出し，5mm角にみじん切りした。刻んだ外果皮と水25mLを200mL三角フラスコに入れ，ガラス管付きゴム栓をし，ガスバーナーで加熱した。沸騰後の抽出液を1mLずつ4本の試験管に採取した。抽出液が入った試験管に棒状の発泡ポリスチレンを入れ，20分間静置し，溶解量を調べた。

結果と考察

1. 各種柑橘類の果皮を用いた発泡ポリスチレンの溶解

教科書で採用されている実験，すなわち果皮を直接発泡ポリスチレンにこすりつける実験を行い，発泡ポリスチレンの溶解の様子を比較した（図2）。

試験したすべての柑橘類で溶解は観察されたものの，種類によって溶解の程度は異なった。教科書等で紹介されているオレンジよりもレモンが大きな溶解を示し，グレープフルーツとオレンジは同程度であった。

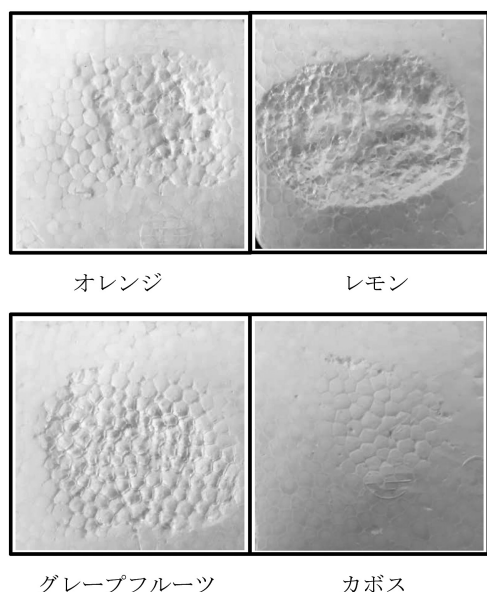


図2 各種柑橘類の果皮を用いた発泡ポリスチレンの溶解

また、カボスは微かに溶解が見られた。

果皮を発泡ポリスチレンに直接こすりつけた場合、発泡ポリスチレンは糸を引くような形で溶解した。この実験では溶解が見られたことでリモネンの存在は確認できたが、リモネン自体を視覚的に確認することはできなかった。

2. リモネン抽出における果皮量と水量の検討

オレンジの果皮と水 25, 50 または 100mL を混合し、抽出した液体を試験管に 2mL ずつ採集したときの各試験管における発泡ポリスチレンの溶解について検討した (表 1)。

水量が 25mL の場合、水量が少ないことによる果皮の焦げ付きが見られたため、実験は 1 回で中止した。水量が 50mL の場合では、1 本目の試験管において発泡ポリスチレンの溶解が見られたが、2 本目以降の試験管では溶解は見られなかった。水量が 100mL の場合では、すべての試験管において発泡ポリスチレンの溶解は見られなかった。

以上の結果から、オレンジ果皮 40g に対して水量が 50mL の場合、最初の抽出液 (2mL) で発泡ポリスチレンの溶解が見られることがわかった。したがって、以後の実験では果皮重量の 1.25 倍量の水を用いて抽出を行った。

表1 リモネン抽出における水量の検討

水量 (mL)	発泡ポリスチレンの溶解			
	1 本目	2 本目	3 本目	4 本目
25	×(〇--)	×(×--)	×(×--)	×(×--)
50	〇(〇〇〇)	×(×××)	×(×××)	×(×××)
100	×(×××)	×(×××)	×(×××)	×(×××)

3. リモネン抽出における抽出液の採取量の検討

抽出液 1mL または 2mL ずつ採取したときの発泡ポリスチレンの溶解について検討した (表 2)。

抽出液を 1mL ずつ採取した場合、最初の試験管においてリモネンの油滴が確認され、発泡ポリスチレンの溶解が見られた。しかし、2 本目以降の試験管ではいずれも油滴は確認されず、発泡ポリスチレンの溶解も見られなかった。また、2mL ずつ採取した場合においても 1 本目の試験管においてのみ油滴が確認され、発泡ポリスチレンの溶解が見られた。

以上の結果から、本実験条件でリモネンの抽出を行った場合、1mL 以降の抽出液にはほとんどリモネンは含まれていないことがわかった。

表2 リモネン抽出における抽出液の採取量の検討

採取量 (mL)	発泡ポリスチレンの溶解			
	1 本目	2 本目	3 本目	4 本目
1.0	〇(〇〇〇)	×(×××)	×(×××)	×(×××)
2.0	〇(〇〇〇)	×(×××)	×(×××)	×(×××)

4. 各種柑橘類から抽出したリモネンの発泡ポリスチレン溶解の比較

種々の柑橘類からリモネンを抽出したときの発泡ポリスチレンの溶解について比較検討した (表 3)。

用いた柑橘類の中でスウィーティーが最も大きな溶解を示し、1 本目の試験管では 15cm の発泡ポリスチレンがすべて溶解し、トータルで 15.5cm の溶解が見られた。また、スウィーティーのみ 2 本目の試験管で

表3 各種柑橘類から抽出したリモネンの発泡ポリスチレン溶解の検討

種類	発泡ポリスチレンの溶解 (cm)		
	1 本目	2 本目	3 本目
スウィーティー	〇(〇〇〇) 15.5±2.11	〇(〇〇〇) 0.9±0.46	×(×××) 0.00±0.00
パール柑	〇(〇〇〇) 13.2±1.72	×(×××) 0.00±0.00	×(×××) 0.00±0.00
メロゴールド	〇(〇〇〇) 13.1±0.86	×(×××) 0.00±0.00	×(×××) 0.00±0.00
伊予柑	〇(〇〇〇) 12.8±1.30	×(×××) 0.00±0.00	×(×××) 0.00±0.00
晩白柚	〇(〇〇〇) 12.0±4.60	×(×××) 0.00±0.00	×(×××) 0.00±0.00
レモン	〇(〇〇〇) 11.7±2.02	×(×××) 0.00±0.00	×(×××) 0.00±0.00
グレープフルーツ	〇(〇〇〇) 7.1±1.71	×(×××) 0.00±0.00	×(×××) 0.00±0.00
オレンジ	〇(〇〇〇) 4.3±0.86	×(×××) 0.00±0.00	×(×××) 0.00±0.00
紅八朔	〇(〇〇〇) 2.4±1.73	×(×××) 0.00±0.00	×(×××) 0.00±0.00

も発泡ポリスチレンの溶解が僅かながら認められた。

次いで、パール柑では 13.2cm, メロゴールドでは 13.1cm, 伊予柑では 12.8cm, 晩白柚では 12.0cm, レモンでは 11.8cm の溶解が見られた。

また、グレープフルーツでは 7.1cm, オレンジでは 4.3cm, 紅八朔では 2.4cm の溶解が見られ、種類によって溶解量に大きな差が見られた。

今回用いた柑橘類すべてにおいて、発泡ポリスチレンを抽出液に入れた直後から溶解が始まり、溶解したポリスチレンが無色の粘性のある液体に変化する様子が観察された。

以上の結果から、今回用いた柑橘類の中ではスウィーティーが最も大きな発泡ポリスチレンの溶解を示すことがわかった。

5. リモネン抽出における果皮量の少量化の検討

リモネン抽出に用いる果皮量を少なくしたときの発泡ポリスチレンの溶解について検討した (表 4)。

発泡ポリスチレンの溶解は、果皮 10g の場合では 10.0cm, 20g では 15.7cm, 30g では 14.6cm, 40g では 15.5cm であった。果皮量を 10g から 20g に増量すると発泡ポリスチレンの溶解量は増加したが、果皮量を 30g 以上に増量しても発泡ポリスチレンの溶解量は 20g の場合と比較してほとんど変わらなかった。

本実験において抽出に使用する三角フラスコを 50, 100 および 200mL 容量で行ったところ、50 および 100mL 容量では小さく不安定なため、転倒などのトラブルが発生した。また、容積が小さいため抽出液に水が混入し、採取したリモネンが希釈された。したがって、果皮の量に関わらず、三角フラスコは 200mL のものを使用することが好ましいと考えられた。

以上の結果から、スウィーティーのような大きな発泡ポリスチレン溶解を示す柑橘の場合、果皮量は 20g で十分であると思われた。

表 4 リモネン抽出における果皮量の少量化の検討

果皮 (g)	発泡ポリスチレンの溶解 (cm)
10	○(○○○) 10.0±0.54
20	○(○○○) 15.7±0.94
30	○(○○○) 14.6±0.57
40	○(○○○) 15.5±2.11

6. リモネン抽出における果皮の保存期間の検討

前述のすべての実験において、果皮は剥いた直後に実験に使用した。予備実験において、果皮を剥いてか

ら室温で 3 時間放置した後に実験を行ったところ、発泡ポリスチレンの溶解はほとんど見られなかった (データ未掲載)。これは外果皮中のリモネンが空気中に揮発したことによるものと考えられた。そこで、剥いた果皮を冷凍保存したときの発泡ポリスチレンの溶解について検討した (表 5)。

保存開始 0 日の溶解量を 100% としたとき、1 週間後では発泡ポリスチレンの溶解量は 78.6% に減少した。さらに、2 週間後では発泡ポリスチレンの溶解量は 56.9% に、3 週間後では 59.4% に減少し、4 週間後では溶解は全く見られなかった。

以上の結果から、スウィーティーのような大きな発泡ポリスチレン溶解を示す柑橘の場合、3 週間程度の保存であれば十分に発泡ポリスチレンの溶解を観察することが可能であると思われる。

表 5 リモネン保存における果皮の保存期間の検討

保存期間 (週間)	発泡ポリスチレンの溶解 (cm)	割合 (%)
0	○(○○○) 15.7±0.94	100
1	○(○○○) 12.3±1.28	78.6
2	○(○○○) 8.9±2.86	56.9
3	○(○○○) 9.3±0.73	59.4
4	×(×××) 0	0

おわりに

本研究では、水蒸気蒸留を用いたリモネンの抽出および抽出したリモネンの発泡ポリスチレン溶解について実験条件の設定を行った。本実験は生徒が比較的安安全で簡便に行うことができ、実感を伴った発泡ポリスチレンの溶解を観察することができるものと思われる。

参考文献

- 1) 文部科学省：高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編, 実教出版, pp. 68-69, 2009.
- 2) 齋藤烈 他. 化学, 2013, 啓林館.
- 3) 井口洋夫 他. 化学, 2013, 実教出版.
- 4) 竹内敬人 他. 新編化学, 201, 東京書籍.
- 5) 松本洋介 他. スクエア 最新図説化学, 2013, 第一学習社.