

日光をあてた葉にできたでんぷんを調べる

《植物の準備》

ほとんどの植物の葉は緑色をしています。その葉が日光を浴びて養分であるでんぷんをつくっています。その様子を実験がしやすい植物であるジャガイモ、ホウセンカ、コリウスの葉を使って調べましょう。

《導入》

でんぷんについて調べたのは、5年生の時にインゲン豆を使った時でしたね。そのとき出てきた養分は「でんぷん」でした。やわらかくした豆を割れ目に沿って半分にします。それにヨウ素液をかけると、半分にしたところが青むらさき色になりました。葉について、このヨウ素液を使って、日光とでんぷんのでき方の関係を調べます。

《こんなこと、あるのですね》

以前に、子どもから「なんで、青むらさき色になるんですか」と聞かれたことがあります。「なんでだろうかなあ」といういい加減な答えをしませんでした。先ず、不思議に思ったこと自体が大変すばらしい疑問・着想であると褒めました。

《回答例》 以下の難しいところは言わずに色が見えるところを中心に答えました。

この発見は古くて新しいのです。(最初の発見は200年以上前(1814年)ですが、*¹⁾ 20年あまり前(1999年)に、*²⁾ ようやく正確なそして大変小さな粒(分子)の形が分かりました。)でんぷんの形は植物のつるのようにぐるぐる巻いた形(らせん)です。*³⁾ その中央にヨウ素が入るとヨウ素はならんで青むらさき色になります。前にならえ！をしているようですね。ところが、青むらさき色になったでんぷんを温めると、色が消えます。これはでんぷんの中にあるヨウ素が整列せず、固まったり離れたりするためです。冷やすとまた元の形になりますので、青むらさき色が見えてきます。*⁴⁾ 結局、ヨウ素分子がでんぷんのらせんの中できれいにならぶと青むらさき色になるのですね。

*¹⁾印は最後に《参考資料》にまとめました。

《でんぷんを調べるために》

葉にある、でんぷんを検出するためにヨウ素液を用います。ところが、直に、葉にヨウ素液をかけても、クロロフィルの緑色が強いのでヨウ素・でんぷん反応による青むらさき色を見ることはできません。この青むらさき色を明らかにするため、クロロフィルの色を除去します。クロロフィルの色を除去すると、ヨウ素・でんぷん反応による青むらさき色を鮮明に見ることができます。この除去の簡易な方法には、2つあります。すなわち、アルコールによる脱色と漂白剤による脱色です。

《葉のでんぷんを調べ方》

ここで、教科書に書かれているアルコール法とたたき染め法は、手法（やり方）の違いであって、必ずしもクロロフィル脱色方法を言ったものではありません。もし、教科書の手法を分類するなら、でんぷんを含む葉自体の脱色手法か、葉のでんぷんの写し取る手法になります。さらに、葉のでんぷんを調べる手法として、葉をすりつぶし漂白後1滴ろ紙にとりヨウ素液を加えるやり方もあります。（橋口：啓林館）

これらの手法の代表的な特色と欠点を表にして比較しました。

葉のでんぷんを検出する手法の特色と欠点の比較					
手法	特色1	特色2	欠点1	欠点2	欠点3
エタノール法	葉自体に脱色できる	元の葉の形が分かる	熱エタノールを使う	脱色に時間がかかる	脱色した後の葉がこわれやすい
たたき染め法	青むらさき色が浮く	実験時間が短い	たたき音がする	危険な漂白剤を使う	でんぷんがない部分が見えづらい
すりつぶし法	少量の葉でできる	実験時間が短い	葉のでんぷん部分が分からない	危険な漂白剤を使う	

【コメント】

- ・たたき染め法について 詳細を後述します。

教科書では、漂白剤を用いない手法が紹介されていますが、これは危険性を配慮したものです。漂白は教員が行うようにすれば、授業時間内に3種類の葉をすべて行うことができます。

- ・エタノール法について

エタノールは高価であり、熱エタノールを使うため、火気厳禁と換気をせねばなりません。授業時間内に収まらないことがあります。エタノールを用いると、脱色と共に脱水も行います。その結果、脱色した葉を移し替えるときに葉がこわれやすくなります。また、



子どもたちがつくったたたき染めしたコリウスの葉

漂白後の緑色のエタノールを処理する手間がかかります。通常、単蒸留で9割以上無色のエタノールを回収できますが、リービッヒ冷却管の準備など手間と時間がかかるので、蒸留することは敬遠されます。なお、活性炭やシリカゲルによる脱色はうまくいきません。

手法の選択

経験として、時間内に行え、ヨウ素液をかけると像が現れるときに感動の点で、エタノール法より「たたき染め」の方が優れていた。

調査：でんぷんの水溶解性について

- でんぷんを検出するため、ヨウ素液を使います。でんぷんの分子構造は複雑ですが、部分的にアミロースの螺旋構造をしています。この螺旋構造にヨウ素が入ってきてヨウ素が並ぶことによって青むらさき色に見えるのです。ヨウ素は水に溶けません。そのため、ヨウ化カリウムを1：1に混ぜると水に溶けるようになります。これは KI_3 という分子に変わるためです。 I_3^- というイオンは、でんぷんの中の、水を嫌うらせん構造（疎水性）に入ると、ヨウ素分子が取り込まれます。ヨウ素とヨウ素イオンがきれいにならぶと、青むらさき色になります。
- でんぷんは水にほとんど溶けません。もし、でんぷんが水によく溶けるなら、たたき染めで細胞を壊せば、でんぷんは水に溶けてなくなります。水に溶けないなら、ヨウ素液（水溶液）で色がつかないはずで、でんぷんの溶解度を SDS（Safety Data Sheet）で調べてみますと、

水にほとんど溶けない。 水を加えて加熱すると溶ける。 冷水には溶けない。

と書かれています。少し温度を上げると少し溶けるようになります。市販の薬品であるデンプンを試験管に入れ、水を加えた後、ヨウ素液を加えても青むらさき色が直ぐに見えません。こんな経験がありませんか。もし、ヨウ素液を加えた濁ったでんぷんの液を少し温めると、少し時間がたてば、青むらさき色が見えてきたことの経験です。葉にでんぷんがあるかどうか調べるときに、お湯にしばらく浸けるというのは、その理由です。

《葉のでんぷんを調べる実験に使う植物について》

ジャガイモについて

多くの小学校では葉の光合成実験のために、ジャガイモを畑で栽培しています。しかし、実験の季節が合わない時やジャガイモの連作障害によって実験用の葉が得られないこともあります。土壌は酸性土壌が良いとされ、苦土を用いてアルカリ性にすると、そうか病になります。他にも黒あざ病やモザイク病などあり、症状が出た時には直しようがありません。ジャガイモ畑は畑選びから始まりますと言っても良さそうです。輪作年限内には同じ科目

の植物を植えないようにします。たとえば，

ナス科	トマト・ナス・ピーマン・ジャガイモなど	3～4年
ウリ科	キュウリ・ゴーヤ・ズッキーニ・カボチャなど	2～3年

このことを考慮して，ジャガイモをベランダや理科室の近くで栽培します。そのため，プランター（深さ 40 cm ほど）や麻袋が必要になります。場所は，風通しの良い，適度な雨と日光があるスペースを選びます。

参照： 麻袋を使ったジャガイモの栽培について

<https://lovegreen.net/homegarden/p117800/>

ジャガイモ以外の植物について

実験にジャガイモの葉を使うことができない場合，他の植物を利用します。たたき染めを行う場合，葉が柔らかい植物を使います。その例を愛媛県総合教育センターにおいて調べられています。手近な植物の内，光合成実験に適した植物は「カタバミ」と分かりました。

https://center.esnet.ed.jp/uploads/07shiryo/05rika/08_kyouka_tatakizome.pdf

教科書に出てくるジャガイモの他に、アサガオ、ハウセンカ、コリウス、サルビア、セイタカアワダチソウ、ヨモギ、ゼラニウム、ヘクソカズラ、ナワシロイチゴ、オオバコ、イノコヅチ、ヤブガラシ、イタドリ、イヌタデ、ママコノシリヌグイ、クズ、インゲンマメ、サクラソウ、シロツメクサ、マルバツユクサ、ヤブマオ、アオジソ、カタバミ、ヒメジョオン、オオモミジ、クロガネモチ、サンゴジュ、オオキンケイギク、ヒイラギモクセイ、ランタナなど

《試み 1》コリウス

これらの中で，葉の大きさ，形，丈などを考慮すると，コリウスやハウセンカが利用できます。ここでは，コリウスを用いる実験を試みました。（問題点があった）

《実験》

授業は朝 1 ～ 4 限にあることが多いので，葉を前日までに採取しておきました。採取した葉はアルミホイルで包み，冷蔵庫で保管しました。このとき，冷蔵庫保管で葉のでんぷんが保持されることを，前日に日光を当てた葉を使って確かめました。（たたき染め法とエタノール法）

実験の準備を前々日から次のように準備しました。（㊦～㊩は教科書に合わせました）

1. 前々日朝にアルミホイルを使ってコリウスの一つの枝に覆いをしました。

2. 前日朝に覆いをした枝の葉を採り，㉗の条件の葉とし，冷蔵庫保管しました。
3. 前日夕方に，覆いをしていない葉を採り，㉘の条件の葉とし，冷蔵庫保管しました。
4. 前日夕方に，覆いを枝の葉を採り，㉙の条件の葉とし，冷蔵庫保管しました。

《結果》

当日朝の授業で㉗～㉙の葉について，たたき染め法ででんぷんの有無を確かめました。ところが，少しの濃淡こそあれ，すべての葉において，ヨウ素—でんぷん反応を示しました。

《教科書とちがう結果？》

この結果は，日光に当てることに関係なく，でんぷんができることを示唆しています。なぜ，このような結果になったのか，明らかにすることが問題です。

《問題を解決する実験》

そこで，次のような検討をしました。（エタノール法）

- A. 枝を用いず，葉を1枚ずつ覆い，1日間，日光に当てる
- B. 部分覆いをして，日光に1週間に当てる

《結果》

Aを行った結果：

写真で示すように，

左：日光を当てない葉

右：日光に当てた葉

両者でほとんど変わらなかった。

このことから，覆い方の問題ではなさそうと推察しました。



Bを行った結果：



1枚の葉を使って、日光が当たっていないところと当てたところが明瞭に示すことができました。

これらの結果から、日光に当てない時間を1週間にすると、覆いをした葉の部分が青むらさき色にならないことが分かりました。

《また疑問が出てきた》

部分覆いの実験から、1枚の葉を使って日光を当てると、でんぷんができる証明ができるのですね。この実験では、同じ葉を使うということで、同一条件になっています。日光が当たるか当たらないだけの条件を変えた実験になります。これによって日光とでんぷんの関係が分かるので、㊦～㊧のように違う葉という条件の違いも抑えることができます。この実験の方がいいのではないかと。

しかし、よく考えてください。部分覆いをする方法は、本当に1枚の葉で良いのでしょうか。すなわち、㊦に相当する実験をしなくて良いのでしょうか。

いいえ、やはり、㊦の実験が必要です。スタートを確かめないと、初めからでんぷんができていたこともあり得ます。つまり、部分覆いと全部覆いの2種類の葉を用意することになります。ここで、教科書の実験を見直しておきましょう。教科書では㊦～㊧の3種類の葉を使っています。部分覆いにするなら2種類です。ところが、部分覆いの場合、厳密に言えば、覆いをしておいた葉を使う際、部分覆いしてさらに覆いをする作業をすることになります。もしこのようなことをすると、㊦に相当する実験を強調することになって、課題がボケてしまいます。光合成を主眼とするような構成のため、教科書の3種類の実験になったのでしょう。

《さらに疑問》

なぜ、ジャガイモと比べて、コリウスは暗くしておく時間がかかるのでしょうか？

《仮定》

コリウスは少し日が当たる日陰に置く植物なので、少しでも日光が当たるとでんぷんができ、できたでんぷんは葉に保存されるのではないかと。

《支持する記載文》

この仮定を支持すると思われる記載文がありましたので紹介します。

日本植物生理学会「みんなの広場」登録番号 0633

(回答) ジャガイモの場合、デンプンを合成する場所が2箇所あります。葉と地下茎(イモ)です。葉の細胞の中(葉緑体)では光合成が進行し、光のエネルギーを用いて炭水化物の合成が行われます。時として、これがデンプンとなります(デンプン葉)。一般的に言って、葉のデンプンは炭水化物の一時的な貯蔵形態です。夜などには、葉の

デンプンは低分子の（簡単な）糖類に分解され、糖類は篩管を通してイモの部分に輸送されます。イモの部分では、ATP などの化学的なエネルギーを用いてデンプンの再合成が行われます。長期的な貯蔵のためのデンプンの合成となる訳です。なお、化学構造の上でデンプンは一種類ではありません（総称です）。もし、更に詳しい情報が必要でしたら、今一度質問をお寄せ下さい。 0633 JSPP サイエンスアドバイザー 佐藤 公行

https://jspp.org/hiroba/q_and_a/detail.html?id=633&key=0633&target=full

《ジャガイモの葉のでんぷん》

ジャガイモの葉にできたでんぷんは一度小さなつぶ（糖）になって根茎（イモ）まで運ばれます。根茎において、また、でんぷんにつくり直されます。これは、ちょっと驚きですね。つくったでんぷんをバラバラにして、また、でんぷんをつくり直すという手間のかかることをしています。どうしてでしょうか？ でんぷんは水にほとんど溶けないので、葉でできたでんぷんを運ぶことができません。そこで、水に溶ける糖に変え、運びます。糖のままにしておくとさらにバラバラになりますので、必要な時に少しずつ使うように、根茎でもう一度、でんぷんの形にして蓄え（貯蔵し）ます。

結局わかったこと

葉ばかり注目してきた実験ですが、根茎まで役割をしているのですね。これで、教科書においてジャガイモが使われる理由もよく分かりました。それでは、コリウスを実験に使えないかという点、実をつけたコリウスは、実にでんぷんが必要なため、葉にできたでんぷんを送るはずですが、コリウスを使うときには、これらの点を考慮しましょう。ジャガイモ以外の植物で実験する場合、でんぷんを貯蔵するところが、葉以外に、根茎（イモ）や実（ホウセンカなどの実）があることを知って、植物を選ぶことも重要になります。

【コメント】

実験をすると色々な疑問がでてきます。それを解決するには、自分が考えた仮説をたて、実験で仮説どおりになるかどうかを調べます。自分で仮説をたてるにはもう少し知識が必要な時には WEB で調べます。こんなやり方は世界の研究者はしているのです。

調べたこと

《たたき染め法について》

たたき染めを植物で行うことは知られていましたが、でんぷんの検出を考えられたのは当時、岐阜県教育センター専門研修主事でした森 英信（もり ひでのぶ）さんでした。森さんは 1981 年に東レ科学振興会の理科教育賞を中学第 2 分野（生物学的領域）「たたき染めによる緑葉での同化でんぷんの検出」という題目で受賞されました。2010 年には瑞宝双光章

の叙勲を受けられておられます。たたき染めの詳細は、東レ科学振興会のページにおいて紹介されています。

森英信さんのたたき染め 東レ科学振興会 WEB ページ：

https://www.toray-sf.or.jp/awards/education/pdf/s56_08.pdf

また、動画もあり、たたき染めの実験がビデオ（1981 年のところ）で示されています。

<https://www.toray-sf.or.jp/awards/education/winners.html?#>

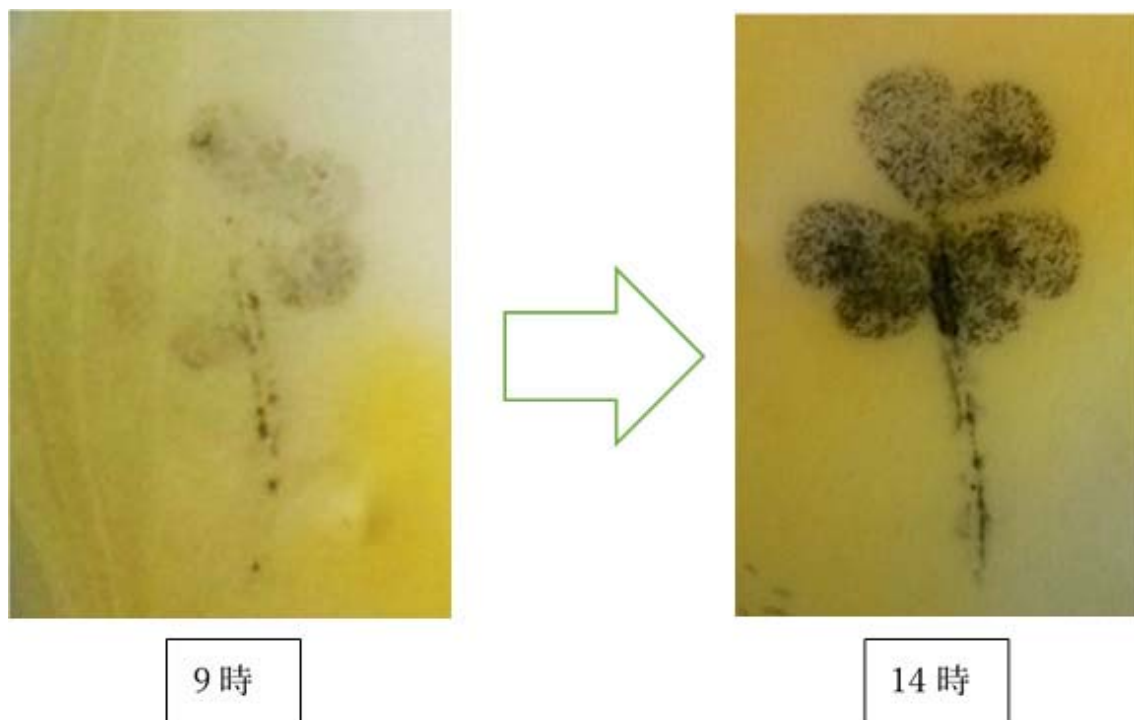
その中で、小学生にでもでき、発展した自由研究があります。

《試み 2》カタバミ

時刻による日光とでんぷん関係

最近のたたき染めによるでんぷんの検出手法は、オリジナルである森さんの「たたき染め」に基づいています。特に、ビデオでも示されたように、朝 7 時・昼 12 時・夕方 19 時・夜 24 時の時刻においてヤブマメとカタバミの葉のでんぷん量の検出です。ヤブマメとカタバミの違いはありますが、凡そ、でんぷんができるのは午後に盛んになり、夜 24 時には、葉からでんぷんがなくなることを示されています。

この実験結果から、秋の秋分の日近くでは、葉のでんぷんは、午前でなく、夕方ごろにははっきりと見られます。植物によってこの傾向は大きく外れませんので、午後にでんぷんを調べると書かれている教科書の意味も分かります。



朝 9 時には少しでんぷんができていますが、午後 2 時には形がはっきりほどでんぷんがで

きています。午前の授業には、前々日と前日に、教科書⑦～⑨のカタバミを準備し、冷蔵庫保管をすると、当日、でんぷん検出実験ができます。

《たたき染めの特徴》

たたき染めの実験はうまく進行するのですが、教科書でははっきりしない写真がでています。このため、実験が難しいのではないかと危惧されることがあります。写真がはっきりしない理由は、漂白剤を使わないためです。漂白剤は10倍～20倍ほど薄めるのですが、水酸化ナトリウムを含むため、目に入る危険性を配慮して使わないようにしていると思われます。もしこの操作を教員が行えば、問題は解決します。ヨウ素液を加えるところを子どもたちがした時、漂白して白くなったろ紙に青むらさき色の像が現れてきました。そのとき歓声がしました。（余分なことですが、理科のArtsになりました）

《たたき染めのマニュアル：温度、時間、濃度などの設定》

詳しいことは、愛媛県総合教育センターがマニュアルをWEBに紹介しています。ご参考ください。

https://center.esnet.ed.jp/uploads/07shiryo/05rika/08_kyouka_tatakizome.pdf

《家庭でできるたたき染め》

なお、家庭にあるもので、実験するには、漂白には洗濯用の漂白剤（ハイター）を希釈して使い、ヨウ素液はイソジンや希ヨードチンキを希釈して使うことができます。ろ紙の代わりに白いコーヒーフィルターが使えます。必ず、大人といっしょに、保護メガネをして実験します。

日本化学会 「化学だいすきクラブ」にはくわしく紹介しています。

https://kdc.csj.jp/learning/item_2022.html

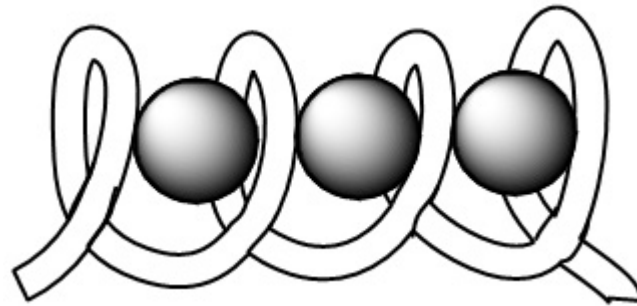
《参考資料》

- * 1) J.J. Colin, H.F. Gaultier de Claubry, “Mémoire sur les Combinaisons de l'Iode avec les Substances Végétales et Animales” *Ann.Chim.*, **90**, 87-100 (1814).

この論文はフランス語で書かれています。J.J.Colinの業績の紹介は、Jaime Wisniakによって *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, **48**, 112-120 (2017)に英語で書かれています。

- * 2) K. Gessler, et al, “V-Amylose at atomic resolution: X-ray structure of a cycloamylose with 26 glucose residues (cyclomaltohexacosaoase), *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **96**, 4246-4251 (1999).

- * 3) デンプンの中に左巻き (反時計巻き) のアミロースという構造を持つでんぷんの中央に、ヨウ素 (● 印) が一列に並んでいます。このヨウ素は電子的な負電荷が電荷のないところへ移動を起こします。あたかも、ヨウ素の鎖の中を電子 (負電荷) が行ったり来たりするのです。この CT (Charge Transfer) によって青むらさき色が見えてきます。



- * 4) こんな実験をやってみました。質問です。

質問実験 1 : でんぷんにヨウ素液を加えて青むらさき色にします。この色の液を温めると、どうなるだろうか？

ここで考える

ヒント : 温めるとヨウ素の列がゆるんで、少し乱れます。

実験 1 の結果 : 少し高い温度ですが、60 付近にすると、青むらさき色は消えてしまいます。

質問実験 2 : これを氷水で冷やすと変わるでしょうか？

ここで考える

ヒント : 冷えるとヨウ素はならびます。

実験結果 : 元の青むらさき色があらわれます。

この実験なら家庭でもできますね。くわしいやり方は次の WEB にあります。

日本化学会 : 「化学だいすきクラブ」のページ :

https://kdc.csj.jp/learning/item_856.html

おわりに

理科は実験・観察に基づいています。子どもたちが実際にやってみることがなければ、疑問やふしぎの発想が出てきません。これはオンライン教育では出てきません。自分で仮説を

たてるためには、現実の実験・観察を土台としなければなりません。五感の二感しか使わないバーチャル世界は五感すべてが登場する実験・観察には及びません。五感を生かした実験・観察には、感覚の発想と「生きる力」の原点があります。