

8

果実と光合成（パプリカ）

| 難易度 | 可能時期 | 教材の入手日数 | 準備時間 | 実施時間 |
|-----|------|---------|------|------|
| ★★☆ | 一年中 | 1日 | 40分 | 40分 |

目的と内容

葉緑体があれば葉でなくても光合成するか、また、緑色以外の色素をもつ材料でも光合成は行われているか確認する。

生徒達は、葉緑体が主に葉に存在し、葉で光合成が行われていることを学習している。そのため、光合成は葉でしか行われていないと考える生徒もいる可能性が高い。葉以外の果実にも葉緑体が存在し光合成をすること、また、葉緑体以外の色素も存在するが光合成は行われていないことを確認できるものである。

「葉緑体と光合成」の応用にあたる。数研出版の光合成に関する探究を参考にこの観察、実験を構成した。果実の切片の観察から葉緑体の有無が確認でき、BTB溶液の色の変化から光合成による二酸化炭素の吸収が葉緑体によって行われていることがわかる。緑色のピーマンと黄色や赤色のパプリカが同じ種で比較しやすいため材料としたが、別の材料でも問題はない。

既習事項

中学校：植物の生活と種類

葉において光合成が行われていることについて学習している。

動物の生活と生物の変遷

生物の体が細胞でできていること、呼吸ではエネルギーが取り出され、二酸化炭素が排出されることを学習している。

オオカナダモの葉緑体を観察している中学校が多い。

留意点

【指導面】

- ・「生命活動に必要なエネルギーと代謝について理解すること」がこの単元の目標である。光合成によって光エネルギーを用いて有機物がつくられ、呼吸によって有機物からエネルギーが取り出されることを意識して指導する。
- ・葉緑体があれば葉でなくても光合成するか、また、緑色以外の色素をもつ材料でも光合成は行われているか確認することがねらいである。顕微鏡操作やプレパラート作成の練習と熟達も兼ねて、果実の切片の観察を含めた手順④～手順⑥は生徒に実習させたい。手順①～手順③を演示することで時間短縮も可能である。試験管やゴム栓、試験管立てなど多く使うので、学校の状況に合わせて班編成を変える、比較する試験管の数を少なくするなど工夫が必要である。
- ・当日の光量不足により単位時間内に試験管のB T B溶液の色に変化が見られない可能性が高いため、教員があらかじめ手順①～手順③を行い、十分な光を当てておいたものを別に用意するとよい。生徒のものに変化が見られなかった場合に見せると正しい認識を与えることができる。

-
- ・「葉でなくとも、緑色をした果実などには葉緑体が存在するだろうか」「葉以外の部分でも光合成が行われていることだろうか」など実験の意義に触れるように導入を工夫し、生徒自身が疑問をもち主体的に実験に取り組むように指導する。
 - ・B T B溶液の性質と二酸化炭素が溶け込むと酸性になることをわかっていることが、この観察、実験の前提になる。理解していない場合に備えて、酸、塩基の水溶液を用意して演示する。
 - ・「対照実験を用意する意味は何だろうか」「絵の間違い探しでは、2枚の絵が用意されている、なぜだろうか」「明所と暗所に分けるのは、どうして必要だろうか」など、比較することが実験の基本であることに気付かせ、用意した試験管の意味を生徒が理解するように指導する。
 - ・「駒込ピペットを適切に操作しているか」「試験管へ正しく投入しているか」「試験管の栓や、遮光は適切に行っているか」「適切なプレパラートを作成しているか」「顕微鏡の操作を手際よく行っているか」などの観察にかかわる操作ができているか、スケッチはスケッチの仕方に従って描いているか、プリントやレポートなどに過程や結果の記録、整理をしているかなどを机間巡視して適宜指導する。

【安全面】

- ・B T B溶液を駒込ピペットで入れる際、試験管を倒さないように注意する。
- ・試料の切片をつくる際、カミソリで手や指を傷付けないように注意する。
- ・顕微鏡操作に慣れていないと考えられる場合、太陽を見てはいけないことなど、基本事項を確認する。
- ・カバーガラスを割らないように注意する。

【その他】

- ・各試験管の比較がしやすいように、試験管を順番に並べるように指導する。
- ・B T B溶液を駒込ピペットで入れる際、試験管に駒込ピペットが接触しないように注意するように指導する。
- ・試料片を試験管に入れる際、B T B溶液に付かないようにしながら、試験管の底の方に入れるように指導する。

◎準備

準備の流れ

1ヶ月前～

(発注, 調製, 代替の検討時間含む)

- 器具の在庫確認
- 実験室の備品確認

～前日

- ピーマン, パプリカの購入
- BTB溶液の調製, 小分け
- 実験プリント作成・印刷

当日

- ピーマン, パプリカの小分け
- 器具・教材・薬品の分配

☆教材の入手方法

・ピーマンの入手方法

①スーパーマーケットで1年中手に入る。季節により値段が変動する。

1個 20円前後

②種または苗から育てる。春にホームセンターや種苗店の店頭に並ぶ。

1袋 300円前後



ピーマン



赤パプリカ

・パプリカの入手方法

スーパーマーケットで入手する。ほぼ1年中手に入るが置いていないことがあるので、確保してから観察, 実験を行う必要がある。

1個 100円前後



黄パプリカ

・葉の入手方法

この観察, 実験例ではネギを用いたが, 緑色で大きめの葉片が得られるものであればなんでもよい。他に入手しやすいものとしてホウレンソウ, 小松菜などがある。

スーパーマーケットで1年中手に入る。材料や季節により値段が変動する。

教材の情報

・ピーマン

ナス科トウガラシ属トウガラシ科 (2n=24)

学名は *Capsicum annuum* var. *angulosum* であり, トウガラシの変種である。果肉は種子以外ほとんど空洞である。緑色は未成熟の果実のためであり, 成熟すると一般的なものは赤色のほか黄色, 橙色に変わるものもある。

・パプリカ

ナス科トウガラシ属トウガラシ科 (2n=24)

学名は *Capsicum annuum* cv. であり, トウガラシの栽培品種に分類され, ピーマンとともに種の分類上はトウガラシとなる。パプリカは肉厚で柔らかく甘みがあり, 部屋数が3-4室に分かれた綺麗なベル形を形成する品種である。「パプリカ」はトウガラシを指すハンガリー語で, パプリカの品種をつくり育てたのはハンガリーである。

準備

当日のセット

| | | |
|--|---------|----|
| ☆生徒用 | | |
| <input type="checkbox"/> 検鏡セット | 1組 | |
| <input type="checkbox"/> 光源装置 | 1台 | |
| <input type="checkbox"/> 9cm ペトリ皿 | 1組 | |
| <input type="checkbox"/> 両刃カミソリ | 1本 | |
| <input type="checkbox"/> 厚紙 | 1枚 | |
| <input type="checkbox"/> バット | 1つ | |
| <input type="checkbox"/> 試験管 | 12本 | |
| <input type="checkbox"/> ゴム栓 (またはパラフィルム) | 12つ | |
| <input type="checkbox"/> 試験管立て | 2つ | |
| <input type="checkbox"/> 駒込ピペット, キャップ (2mL) | | 1本 |
| <input type="checkbox"/> ストロー | 1本 | |
| <input type="checkbox"/> 定規 | 1つ | |
| <input type="checkbox"/> アルミホイル (30cm×60cm 程度) | | 1枚 |
| <input type="checkbox"/> 材料 (ピーマン, パプリカ (赤, 黄), 葉) | | 1組 |
| <input type="checkbox"/> (晴れていない場合) 電気スタンド | | 1つ |
| <input type="checkbox"/> ろ紙 (2つまたは4つ切り) | 多め | |
| <input type="checkbox"/> B T B 溶液 | 70mL 程度 | |

★教員用

生徒用と同じもの 1組

(生徒の B T B 溶液の理解が弱い場合)

- 中性の B T B 溶液
- 酸, 塩基の水溶液
- 駒込ピペット
- 250mL ビーカー

準備に必要な用具

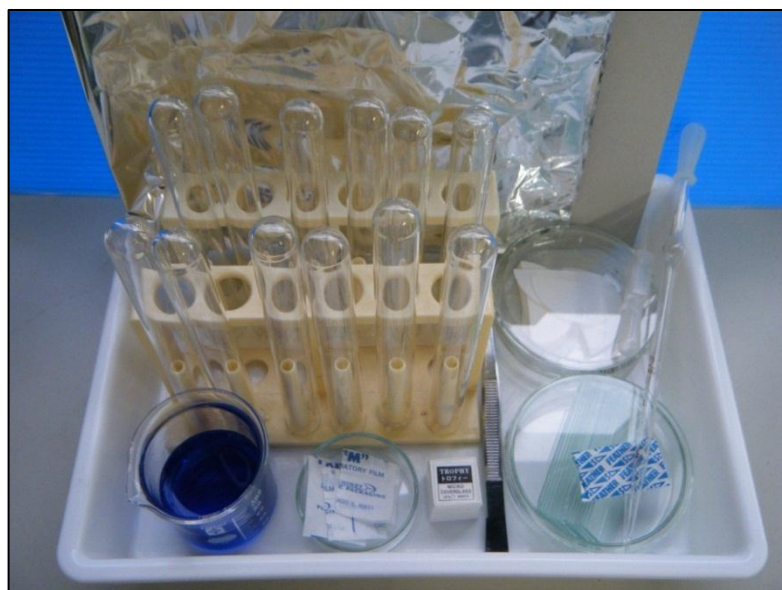
※検鏡セット

- ・光学顕微鏡 1台
- ・スライドガラス 1組
- ・カバーガラス 1箱
- ・先尖ピンセット 1つ
- ・柄付き針 1つ




容器, 試験管を密閉するもの, 遮光するものなどは代わりにするものを工夫してかまわない。

- ・包丁
- ・容器
- ・はさみ
- ・9cm ペトリ皿
- ・メスシリンダー
- ・駒込ピペット
- ・2L ビーカー
- ・100mL ビーカー
- ・水酸化カリウム水溶液
- ・蒸留水



①前日まで

ピーマン、パプリカ、B T B 溶液、ろ紙を用意する。

市販の B T B 溶液の濃度は実験に用いるには高いため、水で希釈し 0.002% 程度の B T B 溶液をつくる。この実験は二酸化炭素の溶解量によって、光合成に二酸化炭素が使われていることを示すため、B T B 溶液の初めの状態を塩基性にする必要がある。水酸化カリウム水溶液や水酸化ナトリウム水溶液など、塩基性水溶液を微量加え、緑色の B T B 溶液を青色に変色させる。青色にした B T B 溶液を 50mL ビーカーに 35mL 程度ずつ小分けする。塩基性水溶液を加えすぎると、息を吹き込んで黄色にする際、変色しにくい。 → 状態 1 (p.99)



青色にした B T B 溶液

ろ紙を切りペトリ皿に入る大きさに 2 つまたは 4 つ切りにする。

②当日

器具・教材・薬品を分配してセットを用意する。

果実は 1 / 8 ~ 1 / 2 個 (組織片は 2 つずつつくることになるので、試験管の太さと材料の大きさとで判断する) に切り分ける。葉は、葉片が果実の切片と同じ大きさに 2 つずつつくることができる量に分ける。

薬品の情報

・ B T B 溶液

ブロモチモールブルーの頭文字をとって、B T B という。pH 指示薬のひとつで、色の変化は酸性 (pH6.0 以下) で黄色、中性 (pH6.0~7.8) で緑、アルカリ性 (pH7.8 以上) で青色を示す。

B T B は水に非常に溶けにくく、淡黄色または淡紅色の粉末である。B T B 溶液は、粉末 B T B 0.1g ~ 1g を 90~95% エタノール 20mL に溶かし、水を加えて 100mL にした液である。光で変性するため、遮光容器に保存する。

B T B 溶液 (UCHIDA, NaRiKa, ケニス 500mL 2,900 円)

B T B (粉末) (ケニス 1g 2,500 円)



B T B 溶液

◎観察, 実験

観察, 実験の流れ

□導入

- ・ B T B 溶液の性質はどうだったか 答) 酸性で黄色, 中性で緑色, 塩基性で青色を示す
- ・ 葉でなくとも, 緑色をした果実などには葉緑体が存在するだろうか 答) 存在する
- ・ 葉以外の部分でも光合成が行われているだろうか 答) 葉緑体があれば光合成は行われている
- ・ 違いを知るためには, 何が必要か 答) 対照実験が必要
- ・ 既習事項の確認

□目的を理解させる

□観察, 実験

- ・ 実験手順の指導
- ・ 生徒へのアドバイス
- ・ 安全面への注意
- ・ 果実と光合成の関係を確認する (本実験)

□結果のまとめ, 考察

- ・ 観察からわかったこと

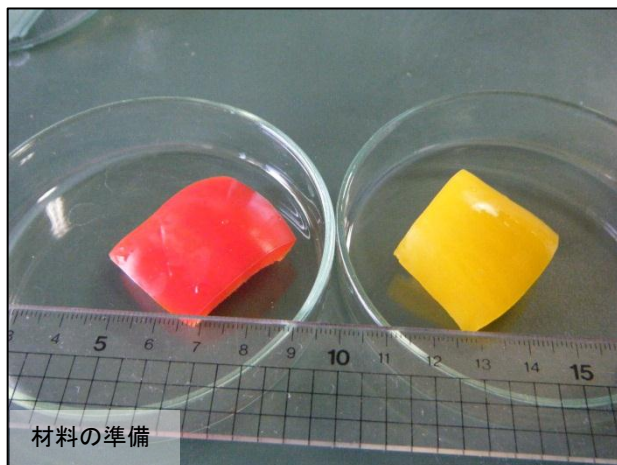
□後片付けの指示

手順 時間のめど (およそ 40 分)

※詳しい手順は付録「08 果実と光合成.pptx」を参照

① 組織片の採取 (4分)


それぞれの材料をちょうど試験管に入る太さに両刃カミソリで切り, 同じ長さにそろえた同面積程度のものを2本ずつ, 葉片を2枚ずつつくる。





カミソリで手や指を傷付けないように注意する。試験管より細い材料だと, B T B 溶液に入ってしまうので, 試験管の外径に合わせて組織片をつくる。定規を使うと, 同じ大きさにそろえやすい。

同面積程度の葉片が2枚ずつできるように, 5 cm 程度の長さで用意する。


② B T B溶液への吹込（3分）

呼気を吹き込んで黄色にする。 →状態1，状態2
の原因1（p.99）

 付録のスライド9に動画あり

 動画ファイル「呼気の吹込」に動画あり




 **大事な** 泡がまわりに飛ぶ可能性が高いので、近くに物を置かないように指示する。


呼気によって、BTB溶液を青色から黄色にするが、準備で加えた塩基性水溶液が強いと、全く色が変わらないので調製が大切である。呼気を入れてしばらくすると緑色に変化し、さらに呼気を吹き込むと黄色になる。緑色から黄色に変わった時点で呼気を入れるのを止めないと、時間内で色の変化がわからない可能性が高くなる。

BTB溶液への呼気の吹込は演示として、授業者が行い、色が変わったものを生徒に分配してもよい。

③ 試験管の設置（5分）

12本の試験管に黄色にしたBTB溶液を5 mLずつ入れる。
2つの試験管立てに6本ずつ試験管を並べ、BTB溶液に入らないように、それぞれの組織片を試験管立ての同じ位置の試験管に入れる。それぞれの試験管をゴム栓（図はパラフィルム）で閉じる。一方の試験管立てをアルミホイルで遮光し、試験管立てを窓際などの明所に置く。 →状態2（p.99）



 **大事な** 試験管の1つは何も入れず、対照実験とする。この例では、右からピーマン、赤パプリカ、黄パプリカ、ネギの緑色部分、ネギの白色部分、対照である。

天候が悪い場合は、電気スタンドなどで光を当てる必要がある。

ピンセットで試験管の中頃まで押し込む。きつすぎる場合はカミソリで少し削って入れる。

組織片によってBTB溶液の色が変わったのではないことがわかるように、BTB溶液に入れない。実際には、BTB溶液に組織片が付いてもあまり影響はない。

試験管に合うゴム栓があればいいが、無い場合はパラフィンなど気密性の高いものでガスの出入りをなくす。ラップは水や空気を通すため使えない。

④ プレパラートの作成 (10分)

1 cm 程度の太さにしたピーマン、パプリカの組織片をカミソリで薄く切る。薄片を、水を入れておいたペトリ皿に浮かべる。白色部分の葉も同様に薄片をつくり、別のペトリ皿の水に浮かべる。薄片をスライドガラスに移し、空気が入らないようにカバーガラスをかける。余分な水はろ紙で吸い取る。

大事 それぞれの組織の断面を観察する。ピーマンやパプリカの組織は適度に固く、カミソリを手前に引いて簡単に薄い切片をつくるができる。いくつか切片をつくり、うまく切れたものでプレパラートを作成する。**失敗** →状態3 (p.99)



薄片の作成



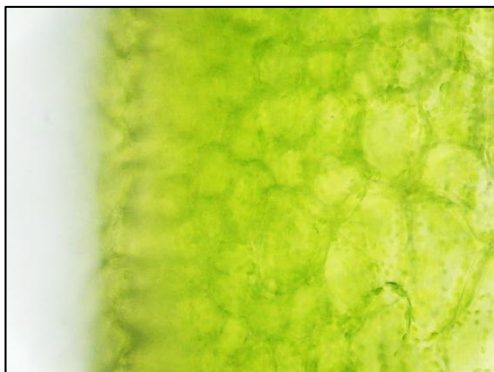
薄片を水に浮かべる

⑤ 観察・スケッチ (15分)

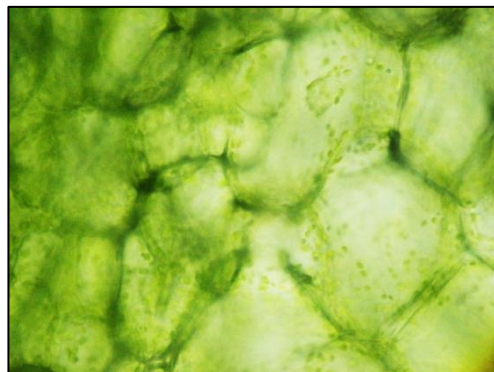
それぞれのプレパラートを観察し、スケッチする。

それぞれのプレパラートで表皮、表皮近く、内部のように構造とともに葉緑体や有色体の有無を確認する。特徴ある細胞をスケッチする。

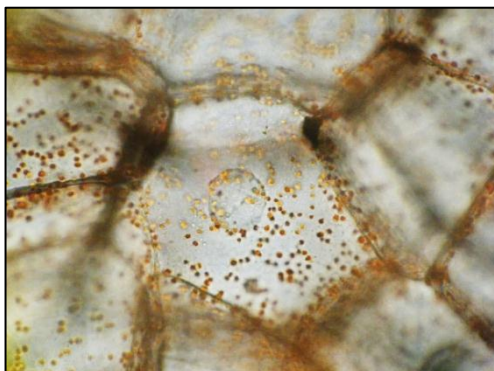
失敗 →状態4 (p.99)



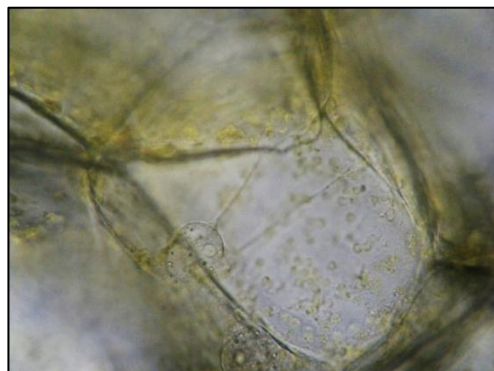
ピーマン (低倍率)



ピーマン (高倍率)



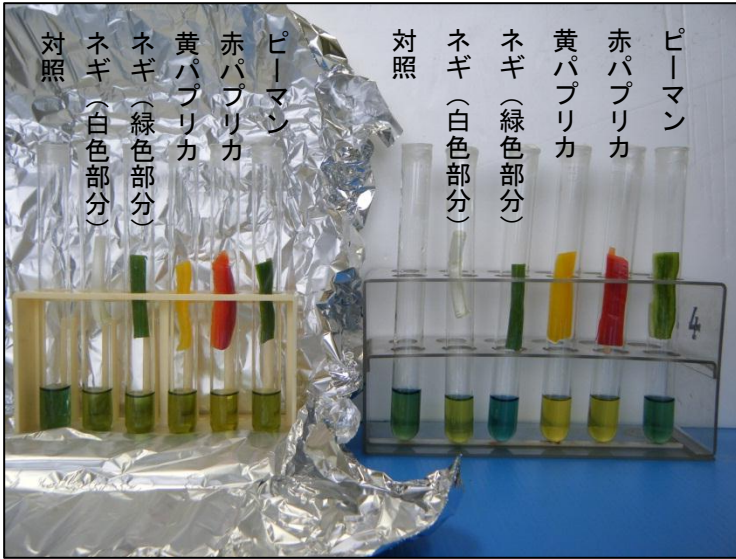
赤パプリカ (高倍率)



黄パプリカ (高倍率)

⑥ 試験管の観察（3分）

アルミホイルを巻いた試験管からアルミホイルを取る。
明所に置いた試験管のBTB溶液の色の変化を確認する。



試験管の比較



対照実験が実験開始に比べ、緑色に変化している。これは暖かかったため、二酸化炭素がBTB溶液から抜けたためと思われる。

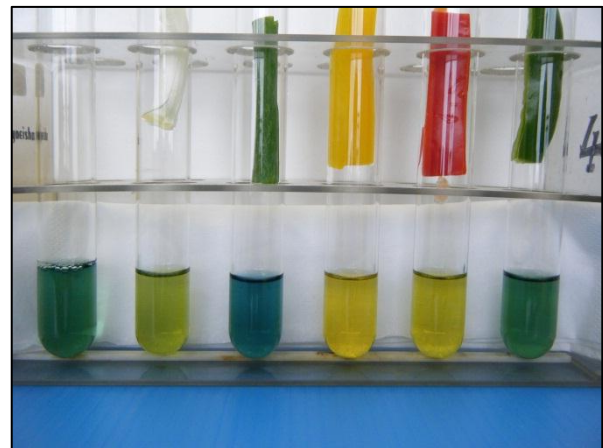
暗所の試験管を見ると、すべての試験管で対照より酸性よりを示し、暗所で光合成が行われず、呼吸のみ行われたと考えられる。

比較とした葉（ネギの緑色部分）が光合成を行い二酸化炭素を吸収したため、青色に変化した。

緑色のピーマンでは、ネギほどではないが、暗所の試験管よりも二酸化炭素を吸収したと考えられる。赤や黄のパプリカでは対象に比べ酸性を示したことから、二酸化炭素が放出され、光合成は行われなかったと考えられる。



暗所の試験管



明所の試験管

まとめ

- ① 緑の果実には葉緑体が、赤や黄の果実には葉緑体と同じくらいの大きさの有色体が含まれていることがわかった。
- ② 緑の果実は葉緑体があるため、光合成によって、二酸化炭素が吸収されることがわかった。
- ③ 有色体のある果実は、二酸化炭素が放出され光合成が行われていないことがわかった。

◎後片付け

■後片付けのさせ方

- ・切片にした材料は、生ゴミとして回収する。
- ・バットを水洗いしてから、中に洗ったものを入れさせる。
- ・試験管は、試験管ブラシで洗わせる。
- ・スライドガラス、カバーガラスなどは洗剤で洗わせ、回収する。
- ・洗った器具は回収し、洗い方が不十分なものは再提出させる。
- ・異臭の原因になるため流しをきれいにさせ、十分な水で流させる。
- ・実験後、石けんで手を洗わせる。

■器具等の管理

- ・学校の処理に従ってゴミを捨てる。
- ・試験管、ピンセットは教員で再度洗い、種類毎に分ける。乾燥後、所定の器具置き場に戻す。
- ・スライドガラス、カバーガラスは乾かし回収する。

失敗例

●状態1 呼気で、BTB溶液の色が青色から黄色に変化しなかった

原因 BTB溶液に塩基性水溶液を加えすぎた

酸性水溶液を加え中和してから、改めて微量のBTB溶液で塩基化する。呼気の二酸化炭素による酸性化は時間がかかるので、pH7.8の青色の状態がこの観察、実験に適している。

●状態2 光合成で、BTB溶液の色が黄色から青色に変化しなかった

原因1 BTB溶液に呼気を加えすぎた

呼気を加えて、緑色に変わったら呼気を入れる量を加減して黄色になったところで止める必要がある。

水溶液中に二酸化炭素が多すぎると、短時間の光合成ではまだ酸性の状態で見ることができない。

原因2 光が弱い

晴れた日に直射日光が当たるところに置か、電気スタンドで強い光を当てる必要がある。弱い光では、光合成が十分進まず、授業時間内で観察できない。

原因3 光を当てる時間が短い

できるだけ授業開始から早い段階で光を当てるようにする。同じ日に2回授業を行い初めの時間で設置して次の時間で確認する、導入を簡単にして設置がすんでから説明するなど、時間の使い方を工夫する。

原因4 材料が古い

材料が生きている必要がある。新鮮なもの入手する。

原因5 操作に問題がある

試験管は密閉する必要がある。密閉されていないと空気の出入りがあり、色が変わらないことがある。大きさの合ったゴム栓を用意する。パラフィンの場合は、何度も覆って密閉度を高める。

●状態3 切片がつかれない

原因 カミソリが古い

両刃カミソリは新しいものを使う。薄片をつくる組織片の幅は5~10mm程度でよい。カミソリを手前に引くように切るとよい。カミソリが透き通って見える程度に薄ければ、観察に使える。刃の上に切片があるので、水の上でカミソリをゆすいで切片を得る。

●状態4 果実の断面を観察できない

原因1 切片の向きが悪い

果実の切片が断面を観察できる向きになっていないことがある。向きを変えるように作り直すよりも、数枚プレパラートを作成して観察できるものを選ぶほうが早い。

原因2 顕微鏡の操作が未熟である

顕微鏡操作が未熟なために観察ができない。基本的な操作を確認した上で観察する。低倍率で観察できるので、比較的観察しやすい。

別法

別法は特にはないが、材料を様々に変えてもよい。ゆでた材料を用いれば、植物が生きていないと変化が起きないことも確認できる。また、BTB溶液以外のpH指示薬を使ってもよい。

トピック 辛みの無いトウガラシ

ピーマン、パプリカ、シシトウガラシはすべて「トウガラシ」（学名 *Capsicum annuum*）という同じ種であり、お互いに交配できる栽培品種である。しかし、これらは果実に辛みをもたない。

唐辛子の主な辛み成分はカプサイシンという物質である。このカプサイシンは劣性遺伝子であるために、劣性ホモでなければ発現しない。

カプサイシンは種子の付く胎座に最も多く含まれる。トウガラシは胎座でカプサイシンをつくり出している。トウガラシの種子にはカプサイシンがほとんど含まれていないため、種子だけを食べてまったく辛味を感じない。カプサイシンは果皮にも含まれるが、胎座ほど多くない。

ちなみに、島唐辛子、タバスコペッパーは別種キダチトウガラシの品種、ハバネロは別種シネンセの品種である。

器具の取り扱い

・メスシリンダー（準備で使用）

主に液体の体積を量るときに用いる、円筒形で目盛りが付いている計量器。倒れないように、机の上のほぼ中央に置くようにする。目盛りを読むときには、水平に見通す位置に目を置き、目盛りの1/10まで正確に読み取る。

正確な計量ができなくなるため、メスシリンダー内で固形物を溶かす、液を混ぜる、高温な液体を入れる、長い時間液を入れたままにするなどは行ってはならない。

溶液の調製は、ビーカーで混合するようにし、メスシリンダーの内側に付いた液体は蒸留水で洗ってビーカーに加える。



メスシリンダー

・ピンセット

人間の手や指では困難な程度の、緻密な作業を行うために用いられる道具。先端の形状としては、図の上のもののように先端部に滑り止めのギザギザの加工がされているものが一般的であるが、図の下の先尖ピンセットのように極細で尖ったものもある。生物の顕微鏡観察では細かい作業をするため、先尖ピンセットが使用されることが多い。尖った形状のピンセットも、AA（標準）、GG（極細）、RR（先端ロング）などの型に分けられる。値段は160円～4,000円程度と様々である。

先端がしっかりと合うように整備する必要がある。落としたり、ぶついたりすると使えなくなることがあるので注意する。保護のため、先端部にエアポンプチューブを5cm程度に切ったものを付けると、怪我の防止にもなる。

