

「光合成実験」を考える

文京区立第六中学校 川島 紀子

1 光合成実験について

光合成に関する学習が第2学年に移行しました。第2学年の学習が「つくり」から「はたらき」に焦点があてられたことにより、光合成に関する学習も「光による作用」をより実感できるような学習にしていく必要がある。

ただ、私が感じている光合成の授業の課題として、次のような点が挙げられる。

- (1) そもそも、オオカナダモを続けて育てることが意外に難しいときがある。
- (2) 光を当てたオオカナダモと光を当てないオオカナダモのデンプン反応の差がなぜか出ないことがある。
- (3) タブレットPCで顕微鏡写真を撮影させてみたいが、顕微鏡の視野にタブレットのカメラをほどよく当てはめて撮影することが結構難しい。

以上のような課題を解決するために、検討をしたことを報告する。

2 光合成の実験に関する各教科書の取扱いについて(令和3年発行教科書)

観察3 光合成が行われる場所

目的 光合成は葉のどの部分で行われるか調べよ。

ねらい 葉の細胞のどの部分でヨウ素デンプン反応が見られるか。

必要なもの ロオオカナダモ、ヨウ素液、ロビンセット、ロビンポット、ロビーカー、ヨウ素紙、ヨウ素液、顕微鏡、顕微鏡用紙

1 オオカナダモを用意する。
 数時間日光を当てたオオカナダモAと、光を当てないようにしたオオカナダモBを用意する。

2 顕微鏡で葉を観察する。
 A, Bの葉の近くの葉を1枚ずつとり、スライドガラスにのせる。水を1滴落としてカバーガラスをかぶせ、顕微鏡で観察する。

3 葉にヨウ素液をつけて観察する。
 葉を熱湯に数分ひたす。その葉をスライドガラスにのせ、ヨウ素液を1滴落としてカバーガラスをかぶせ、顕微鏡で観察する。

結果の整理
 葉の内側のようすをスケッチして、ヨウ素液と反応して色が変わった部分を記録する。

1. 葉の細胞のどの部分で光合成が行われたと考えられるか。
2. p.94図1で、葉の緑色ではないところでデンプンができなかったのは、なぜだと考えられるか。

結果の例

光を当てたオオカナダモの葉

光を当てなかったオオカナダモの葉

結果からわかること
 光を当てたオオカナダモの葉では、細胞の中にある葉緑体でヨウ素デンプン反応により色が変化していることから、光合成は葉緑体で行われていることがわかる。

※光合成が行われる場所 観察3から、光合成は葉の緑色にある葉緑体で行われることがわかる。p.94-図1の実験で、葉の緑色ではないところでデンプンができなかったのは、その部分の細胞に葉緑体がないからである(図2)。

ためしてみよう

葉の細胞の中で光合成が行われる場所を確かめる実験

- オオカナダモを1週間前に置いておく。
- 先端近くの若い葉が2〜4枚ついた葉を2つ切りとり、水の入ったペトリ皿に浮かべ、1つは光によく当てて、もう1つは暗室に置く。
- 葉から葉をとり、水を1滴落としてプレパラートをつくり、顕微鏡で観察する。
- それぞれの葉からとった葉を熱湯に短時間つけた後、スライドガラスにのせ、軽く水分をとる。
- うすいヨウ素液を1滴落としてプレパラートをつくり、顕微鏡で観察する。

⑤ 熱湯でやけどをしないように、葉のついでにはりやうすらに注意する。

⑥⑦⑧ オオカナダモがついていたダンブンをなくすために、葉の表面はじゅうぶんに熱湯に置いておく。
- 光を当てると赤褐色に変化が望ましい。

光によく当てた葉 **暗室に置いた葉**

⑥ (H 320倍) ⑦ (H 320倍)

⑧ (H 320倍) ⑨ (H 320倍)

⑧⑨ 葉の表面が黒く染められ、⑧⑨葉の表面が黄色く染められている。

⑩ 葉緑体でデンプンがつくられるようす

オオカナダモの葉の細胞には葉緑体がたくさんある。葉緑体にはヨウ素溶液の反応が現れていることから、光合成は葉緑体で行われていることがわかる。そして、暗室においたオオカナダモの葉緑体では、デンプンがつくられていないこともわかる(⑩⑪)。

光合成に必要な物質

小学校6年では、植物の葉に日光が当たるとデンプンができることを学習した。また、植物と空気の間で酸素や二酸化炭素の出入りが起こっていることも学習した。

植物が光合成を行うとき、どのような物質が必要なのだろうか。

啓林館「未来へひろがるサイエンス」

実験1

葉の細胞の中で光合成が行われている部分

実験の目的 光を当てた部分の葉と、当てていない植物の葉を顕微鏡で観察し、葉緑体や葉の細胞の中での部分で行われているかを調べる。

実験の方法 準備する物 ①オオカナダモ(オオカナダモを1週間前に置いておく) ②スライドガラス ③ヨウ素液(ヨウ素とヨウ化カリウム) ④熱湯 ⑤ペトリ皿

実験1

光合成を行った水草と行っていない水草を用意する

- 大きめのビーカーを用意し、くみ置した水を入れ、ビーカーに水草を入れ、暗いところに置いておく(ビーカー①)と、アルミホイルで覆ったビーカー②を用意する。
- ①と②それぞれから、先端近くの葉をとり、プレパラートをつくり、顕微鏡で観察を始める。
- ①と②それぞれは、葉の表面を熱湯でやけどをさせ、ヨウ素液を1滴落としてプレパラートをつくり、顕微鏡で観察を始める。

実験2

脱色してヨウ素液をたらす

- 脱色させたお湯のビンの中に入れて、脱色させる。
- 脱色させた後、水でよくすすぐ。

実験3

顕微鏡で観察する

- スライドガラスで脱色した葉をスライドガラスの中央に、ヨウ素液を1滴落とす。ヨウ素液を1滴落とす。
- 脱色していない葉をスライドガラスにのせ、ヨウ素液を1滴落とす。顕微鏡で観察する。

観察の仕方 ①②③、④から葉の中央の部分がヨウ素液で黄色く染められている。

実験のポイント ①②の葉は、顕微鏡で観察する前に脱色している。葉の中央の部分が黄色く染められていることを確認する。

観察していないもの **光を当て、脱色した後、ヨウ素液にひたしたもの** **光を当てずに、脱色した後、ヨウ素液にひたしたもの**

①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺

実験から 葉を顕微鏡で観察すると、小さな葉脈のようなものに分かれているのが見える。①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺の観察でも見たように、この葉脈のようなものは細胞であり、葉は細胞からできている。葉の細胞の中にある緑色の粒は葉緑体である。光が当たると光合成を行った葉の細胞の葉緑体が、ヨウ素液で青褐色に変化したことは、葉緑体の中にデンプンがあることを示している。しかし、光を当てなかった葉の葉緑体は色が変化しなかった。これらのことから、光合成は葉緑体で行われていることがわかる。

対照実験

実験1の①(本実験)に対して、②のように、葉脈を切り取り、葉脈以外を覆い隠して行う実験のことを、対照実験という。本実験の結果と、対照実験の結果を比較することで、2つの実験結果のちがいが、その条件によるものであることが明らかになる。

対照の仕方 ①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺

	光源	脱色	ヨウ素液 染色
大日本図書	「光」(自然光)	無	熱湯 後 染色
啓林館	「光」	無	熱湯 後 染色
東京書籍	「光」(自然っぽい)	有 温めたエタノール	水洗い 後 染色
教育出版	「日光によく当てる」	有 温めたエタノール	水洗い 後 染色
学校図書	「日光」「LED3日間」	有 温めたエタノール	水洗い 後 染色

表1 教科書の蒸散実験の取扱いのまとめ

3 光合成の実験に関する学習指導要領の記載について

中学校理科 学習指導要領、学習指導要領解説の記載(平成29年公示)

(3)生物の体のつくりと働き

(イ)植物の体のつくりと働き

ア○ 葉・茎・根のつくりと働き

植物の葉、茎、根のつくりについての観察を行い、それらのつくりと、光合成、呼吸、蒸散の働きに関する実験の結果とを関連付けて理解すること。

イ アの(イ)のア○については、光合成における葉緑体の働きにも触れること。また、葉、茎、根の働きを相互に関連付けて扱うこと。

(解説)

葉については、葉の構造を観察し、その観察結果と光合成、蒸散とを関連させて考察し、葉のつくりと働きについて理解させる。

葉の働きについては、光合成を行う器官であることや、光合成は光のエネルギーを利用して、二酸化炭素と水からデンプンなどの有機物と酸素を生じる反応であることを理解させる。また、光合成が細胞中にある葉緑体で行われていることにも触れる。さらに、呼吸により酸素が吸収され二酸化炭素が放出されていること、葉では気孔で気体の出入りが起こっていることを理解させる。その際、光合成と呼吸が気体の出入りに関して逆の関係にあることに注目させることが大切である。

例えば、光合成に必要な物質や環境条件について、小学校での植物に関する学習を基に、見通しをもって実験の条件を検討し、実験の計画を立案させることが考えられる。その際、植物の成長に影響すると思われる要因を複数挙げて、どの要因が光合成に影響するかを考えさせた上で、具体的な実験の方法について検討させる。さらに、検討した方法で実験を行わせ、得られた結果を分析して解釈し、光合成と植物の体のつくりとの関係性を見いださせ、それらをレポートにまとめさせたり、発表させたりすることも考えられる。

→ここでできる理想的な学習は、見通しをもった実験条件の検討、実験計画の立案、自分で立案した実験の実施、分析・解釈をするという探究のプロセスを踏むこと。

2年生の生命領域の学習の順序性でいうと、顕微鏡を使った細胞観察の次の学習内容であり、探究のプロセスを植物分野で踏ませやすい学習内容(動物分野ではだ液によるデンプンの消化実験)であると考えられる。生物分野を学年のはじめにもってくるのであれば、2年生のはじめの探究的な学習になる可能性もある。

3 検討

(1) オオカナダモの維持について



水槽用の電灯で照射している様子

オオカナダモの育て方を調べたところ、オオカナダモを水槽の中に入れて理科室に置いておくような場合、水槽にメダカなどの生物と一緒に入れない場合はエアレーションをしない方が良いことがわかった。エアレーションをしてしまうと、水中に溶けている二酸化炭素が抜けてしまい、光合成をする材料がなくなり、オオカナダモがとけるように弱っていく。生物が入っている場合にはエアレーションをした方がよい。

(2) 「光」の検討

顕微鏡用のラボライト（本校は蛍光灯）は光合成によるヨウ素デンプン反応が出るまでの照射時間が数日と長くかかる。ヨウ素デンプン反応が出ても反応している場所の数が少ないことも多い。電気スタンド等の電灯でも同じような印象である。

目的：① 光を当てたオオカナダモと光を当てないオオカナダモのデンプン反応の差が明らかに光の照射方法を探る。

② この実験で条件制御をした実験手法を探る。

結果

① 使いやすい光源の提案



Akarina 15

灯菜
家庭室内菜園用光源

特徴：

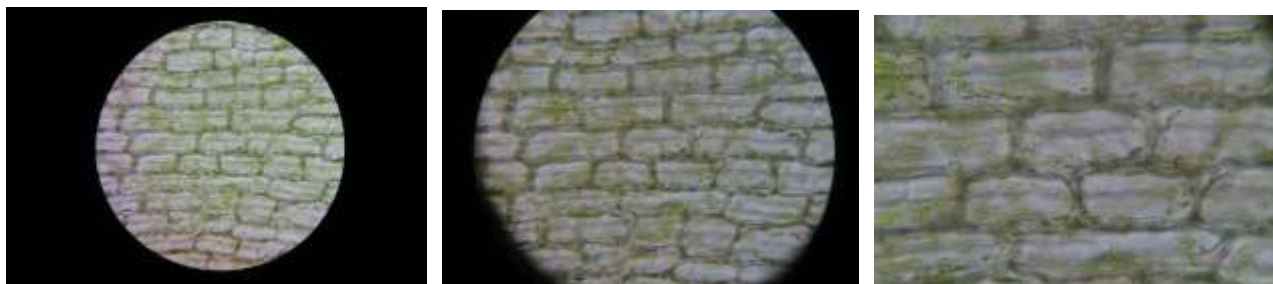
光源の高さと照度を4段階（100%、50%、10%、2.5%）変えられるLED光源。点灯16時間、消灯8時間を毎日繰り返すタイマーがついている。

オオカナダモに光を当てた条件と光を当てない条件の要素でデンプン反応の差がわかるようにしたい。オオカナダモの葉を入れたペトリ皿や容器に高さ10cmの位置から光（照度100%）を一晩（16～20時間程度）照射したものと、暗所に置いたものを用意し、翌日にデンプン反応を確かめる実験を行い、比較して観察した。

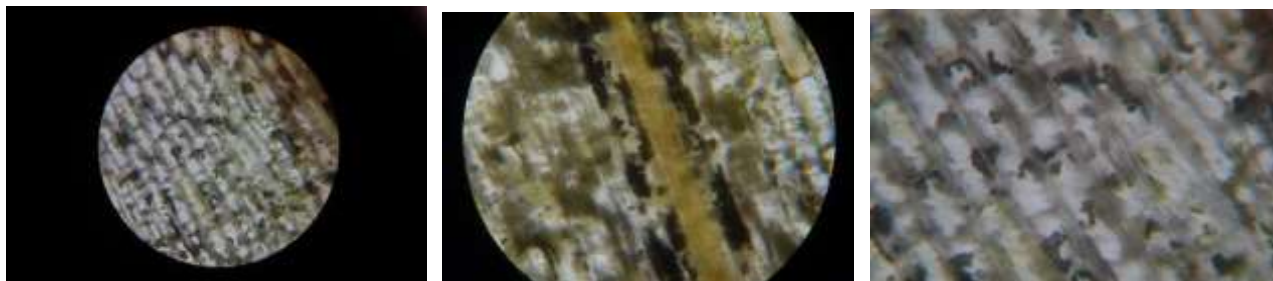
結果1 一晩（16～20 時間程度）照射した場合



照射している様子



暗所に一晩（16～20 時間程度）置いたオオカナダモ（左：100倍 中：100倍 右：400倍）



照射（16～20 時間程度）したオオカナダモ（左：100倍 中：100倍 右：400倍）

※中は顕微鏡視野にあてて撮影しているカメラのズームにより拡大されている

この室内菜園用光源を使えば、光合成の観察・実験授業の実施を行うためには前日からの準備で明瞭なヨウ素デンプン反応の対比が観察できることがわかった。

そこで、生徒が実験計画を立てることを想定して、授業の実験時間内に生徒が光に関する条件制御をして行う実験を試せないかを検討した。

この室内菜園用光源を使って光に関して制御できること

- 光の照度 4段階（100%, 50%, 10%, 2.5%）
- 照射時間

室内菜園用光源を購入したのが2台だったため、照度は100%と10%の比較で行うことにした。また、生徒実験が可能な照射時間として、15分と、45分（例えば、前の授業時間の休み時間に点灯しに理科室に来るなどを想定）照射時間による比較を行った。

結果2 室内菜園用光源で 10 cmの高さから葉に光を当て、15 分間照射した場合

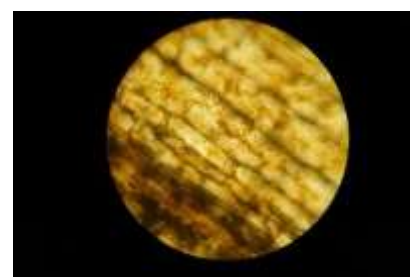
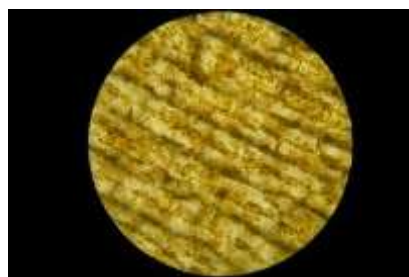
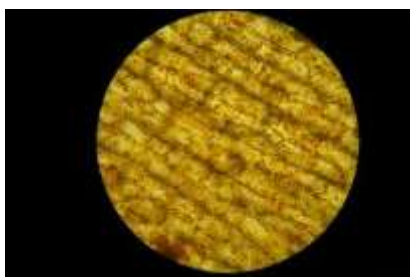


左：照度 10%

右：照度 100%



照射している様子

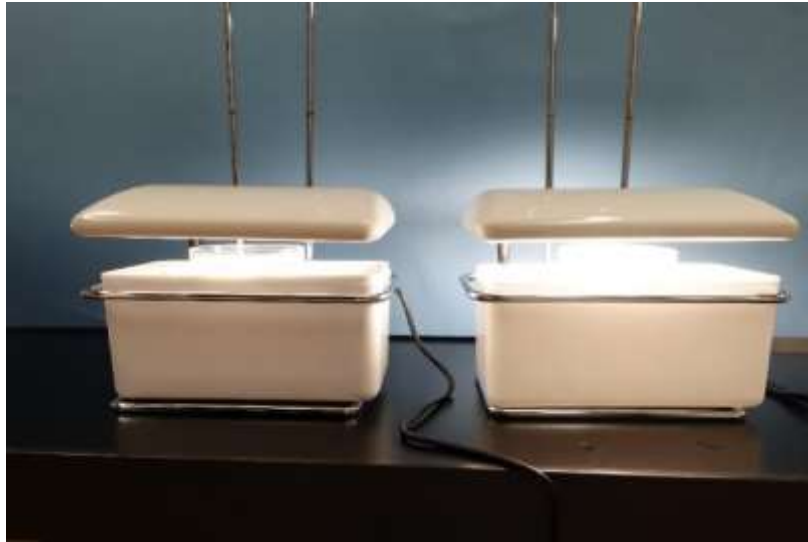


水槽自然光 15 分間 高さ 10cm 照度 25% 15 分間 高さ 10cm 照度 100% 15 分間
(顕微鏡倍率 左：100 倍 中：100 倍 右：100 倍)

光源の高さ 10 cmで照射時間 15 分間の場合、多少の差異はでるが、条件の違いによる明瞭な差が出るとまではいかないことがわかった。

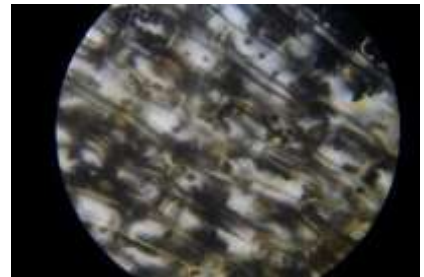
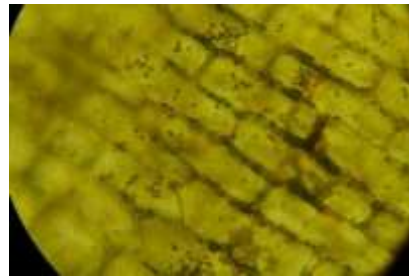
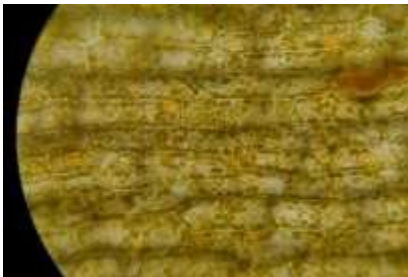
15 分間の照射時間で条件の違いによる差異を出したいと考え、光源の高さを変えて、至近距離から葉に光が当たるように試すことにした。

結果3 室内菜園用光源で高さ 2 cmの高さから光を 15 分当てた場合



左：照度 10%

右：照度 100%

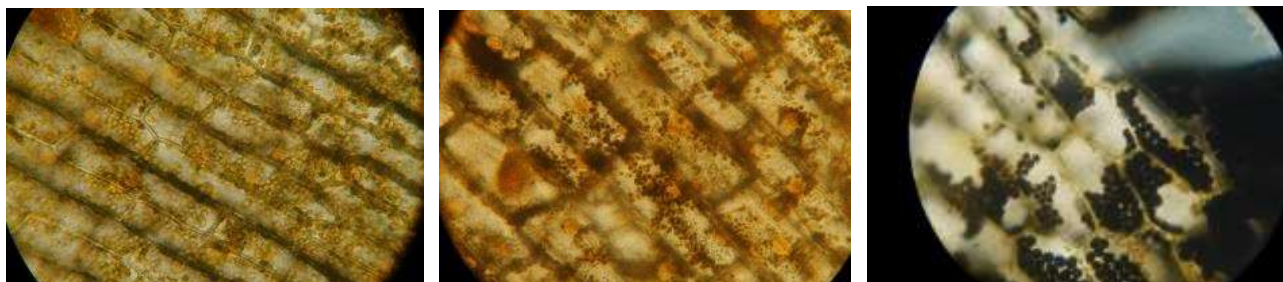


高さ 2cm 水槽ライト 15 分間 高さ 2cm 照度 10%15 分間 高さ 2cm 照度 100%15 分間
(顕微鏡倍率 左：100 倍 中：100 倍 右：100 倍)

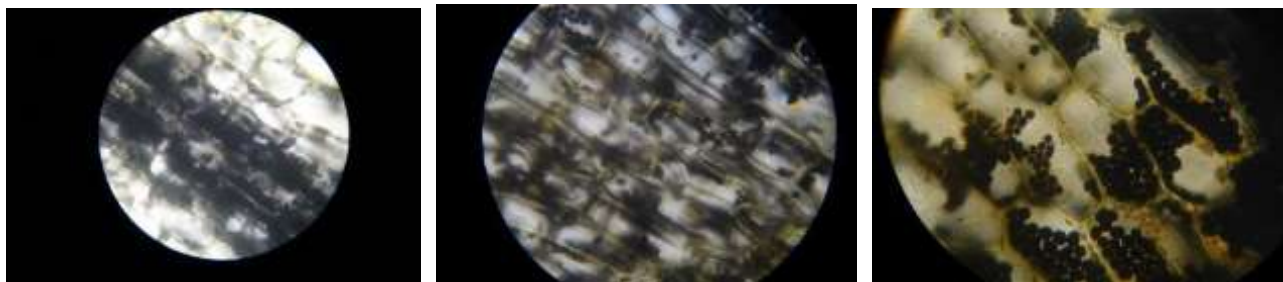
光源までの高さが 2 cm と至近距離であれば、照射時間 15 分間で照度による違いは明瞭にわかる結果が得られた。

結果4 室内菜園用光源で高さ 2 cmで光を 45 分当てた場合

照射時間を 45 分間にした場合



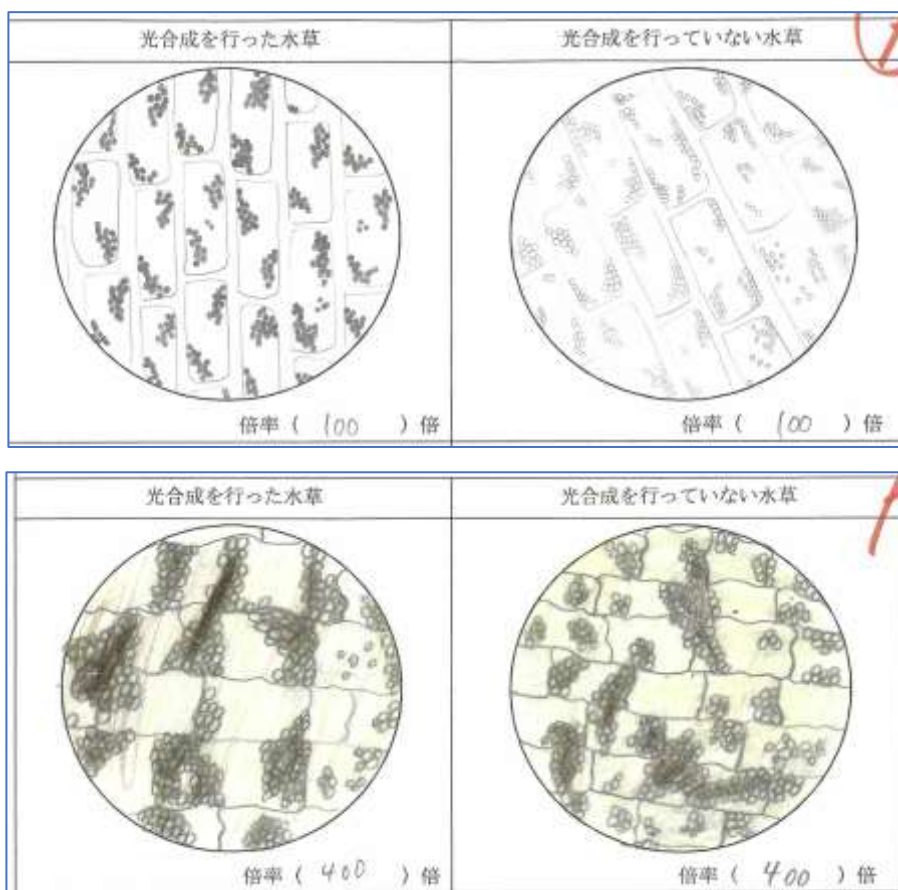
高さ 2cm 水槽ライト 45 分間 高さ 2cm 照度 10% 45 分間 高さ 2cm 照度 100% 45 分間



高さ 2 cm 照度 100% 45 分照射してヨウ素デンプン反応が出ていることが観察できる
 いろいろな視野（エタノールによる脱色はしていない）。

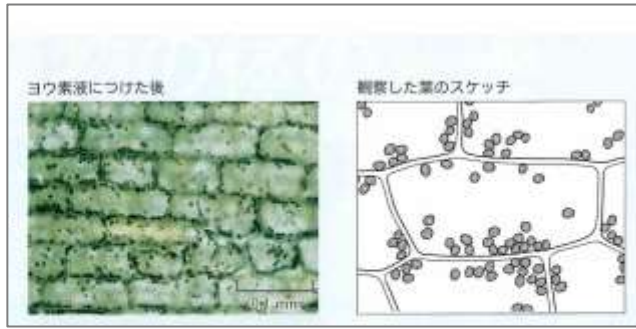
照射時間が 45 分間の場合、照度 10% のヨウ素デンプン反応がより多く見られ、差異は
 より明瞭になった。また、照度 100% では、葉緑体が凝集していることが確認された。

生徒が葉緑体の凝集を観察していたことがあったことを思い出し、過去の生徒の観察
 記録を見たところ、下のような観察記録があった。

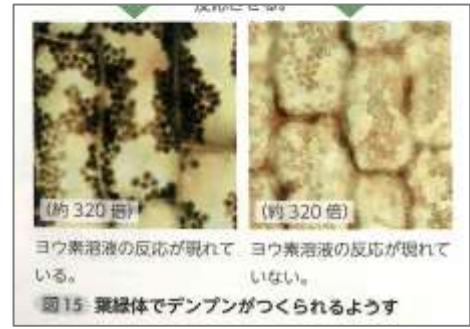


5 日間電気スタンドで照射したときの生徒の観察記録

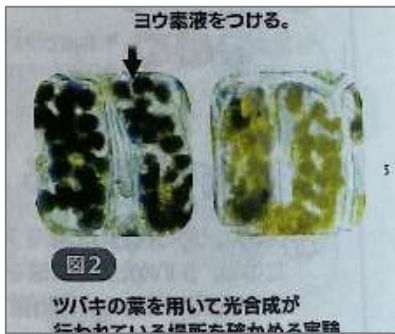
教科書に掲載されている写真も、明所に置いたものや光を当てたオオカナダモの葉緑体が凝集していることが確認される。そこで、葉緑体が凝集する理由を調べた。



大日本図書



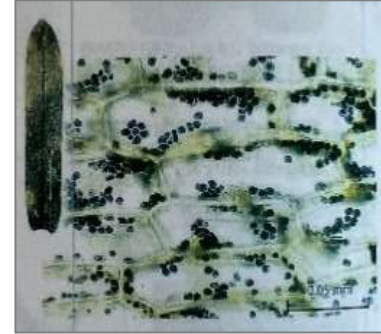
啓林館



東京書籍

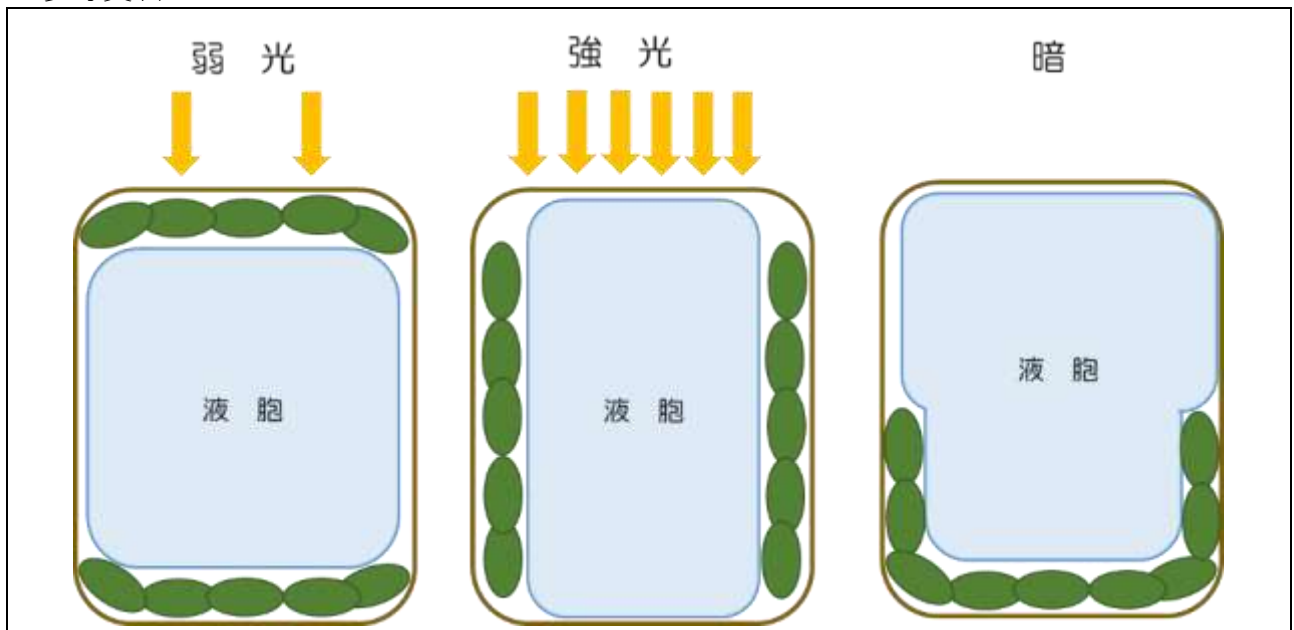


教育出版



学校図書

<参考資料>



異なる強さの光に応答するシロイヌナズナの柵状組織の葉緑体の分布に関する模式図。弱光条件では、葉緑体は柵状組織細胞の上面または下面に集合して、光吸収を最大にする。強光条件では、葉緑体は柵状細胞の側面に移動して、太陽光を避ける。暗の中では、葉緑体は細胞の底面に移動する (Wada 2013)。

ティツ/ザイガー 植物生理学・発生学 原著第6版 p.469 (2017)

つまり、葉緑体の凝集は強光下における太陽光からの逃避によるものである可能性が高いと考えられる。

(3) タブレット PC による顕微鏡写真の撮影

タブレット PC で顕微鏡写真を撮影させてみたいが、顕微鏡の視野にタブレットのカメラをほどよく当てはめて撮影することが結構難しい。下記の資料を参考にして作成してみた。



50ml シリンジ（注射器）を鏡筒のサイズより少し長めに切り、接眼レンズより 5 mm 程度浮かせる。シリンジにタブレット PC をあてて撮影する。この写真はうまくいっているように見えるが、カメラの視野にうまく顕微鏡像を入れるのはまだ難しい。



資料はシリンジにアクリル板をカーペット用の粘着剤で貼り付けているが、切ったシリンジにディスプレイのペトリ皿をセロハンテープで貼り付けて作成した。これであれば、安価の材料で生徒でも割と簡単に顕微鏡画像をタブレット PC で撮影することができる。それでもまだ、撮影をより簡単にできる改良ができそうではある。

（参考資料）

茂原伸也「生物学教育における ICT を活用した顕微鏡観察」

2015 年東レ理科教育賞 文部科学省受賞作品より

https://www.toray-sf.or.jp/awards/education/pdf/h27_01.pdf

4 まとめと提案

- (1) 今回の実験で用いた室内菜園用の光源を使えば、前日からの照射で明所と暗所においたオオカナダモの光合成によるヨウ素デンプン反応の差異は明瞭にわかる。教科書に記載されている実験を確実に進められる。エタノールによる脱色や、湯につける手順を踏まなくても、ヨウ素デンプン反応が出ていることが確認できる。
- (2) 条件制御をする実験計画を生徒に立てさせるような探究のプロセスを踏ませる学習を行い場合、照射時間 15 分間で照度による差異を確認することができる。家庭内菜園用光源の台数が複数台あれば、照度、光源までの高さ、照射時間の 3 つの要素で条件制御を行う実験計画を立てることが可能である。
- (3) 1 人 1 台端末を用いて顕微鏡写真を撮影する方法として、シリンジを使う方法を参考にして撮影の補助になる部品を作成してみたが、より簡単に撮影するにはもう少し改良が必要そうである。