

「蒸散実験」を考える

文京区立第六中学校 川島 紀子

1 蒸散実験について

植物の蒸散実験について次のようなご質問を頂いた。

1年生（今年から2年生）で学習する「植物のからだのつくりとはたらき」の単元で、植物の葉の蒸散について調べる実験があります。東京書籍では、ワセリン塗布なし・葉の表のみワセリン塗布・葉の裏のみワセリン塗布・葉を除去の4つに関して、水で満たしたチューブに接続して吸水の対照実験を行ったと思うのですが、その際に葉の裏側にワセリンを塗布したものが吸水して、予想と結果が逆転してしまったという事はなかったでしょうか。

ワセリン散布による植物の蒸散実験のデータのばらつきについて、自分の今までの経験の中からこの質問に答えられそうなことは次の点である。

- ① 植物の個体差（枝）によるものが大きいのではないか。例えばアジサイの場合、どこかの部位の枝葉を採取するかも大事で、根元の方の部分よりより先端部の位置に近い部位の方が蒸散しやすいという印象がある。採取する部位をバラバラにしない方が良い。
- ② 実験を仕込む際に必ず「水切り」をすることで、水中で切り口に空気が入らぬように斜めに切断し、静置しておき枝先の吸水の条件を整える。前日に採取して理科室で水切りして一晩静置し、翌日の授業で実施としている。例えば実験当日が雨だった場合に採取してもそもそも植物の気孔が閉じていて蒸散量が下がっているため、吸水量の差異がはっきり出ないことが多い。雨でも採取して部屋の中に入れて朝まで水切りして放置しておく、部屋の方が外より乾燥して吸水が起こるので、実験は大抵うまくいく。その場で採取してその場で実験スタートをすることは植物の環境が急激に変わっている中で行うことになるので、実験条件としてあまり良いものではないと思う。
- ③ 試験管や三角フラスコなど吸水先の容器が大きすぎた実験の方が個体差によるばらつきが小さく、シリコンチューブを使った実験は短時間で実験結果が出る良さはあるものの、個体差がとても大きく出やすい。
- ④ 昨年、私が自分の学校で行ったシリコンチューブを使った実験では、1学級で12班の生徒実験を3学級で実施したが、クラスで1、2班ぐらいはワセリンを塗った方が吸水量が多くなる結果が生じた。こういうエラーも実験としてはよくあることだという認識だったので、「だからこそ実験では条件を揃えた実験の数をこなすことが大事」「植物はとても複雑な機構で生活しているので、単純に1種類の実験で蒸散実験について結論付ける事はできない」というような指導につなげていた。

⑤ シリコンチューブ実験の他に、試験管での実験も必ず仕込んで一週間ぐらい置いておく実験をして生徒には自分の実験結果と比較するために見せるようにしている。

⑥ シリコンチューブの径の問い合わせが教科書会社・教材会社に多く入っている。

私がやってみた感じでは、シリコンチューブの径が重要なのではなく、枝の太さをシリコンチューブを合わせる事が大切かと思う。空気が入らずに密着できれば吸水はうまくいくので、シリコンチューブより少し直径が大きい枝を採取してはめ込めば良い。

6mmのシリコンチューブを生徒実験用に用意した場合、実験に使うシリコンチューブを持ちながらアジサイのほど良い太さの枝を探していく。採取の段階でシリコンに合わせて選ぶ。

頂いた質問は私自身もとても不思議に思っていた現象でもあったので、質問を頂いたこの機会に調べてみることにした。

2 蒸散実験の各教科書の取扱いについて（令和3年発行教科書）



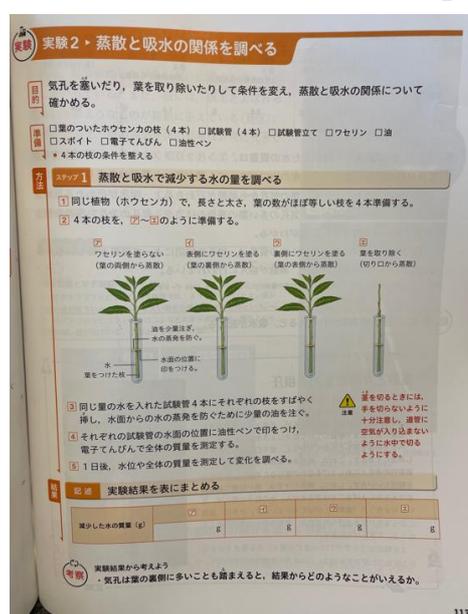
大日本図書「理科の世界2」



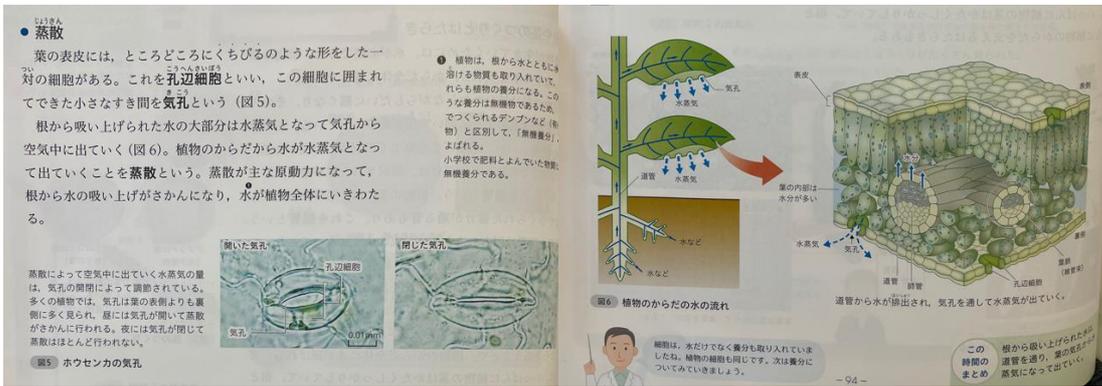
東京書籍「新しい科学2」



啓林館「未来へひろがるサイエンス」



教育出版「自然の探究 理科2」



学校図書「中学校 科学2」

表1 教科書の蒸散実験の取扱のまとめ

	本実験 生徒実験の扱い	軽微な実験 実験の紹介程度	実験無し
シリコンチューブ	大日本図書 (アジサイ) 東京書籍 (サクラ)		
試験管での実験	教育出版 (アジサイ)	啓林館 (アジサイ)	
蒸散する場所の取扱無し			教育出版

(参考) 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。
 ※中学校学習指導要領解説理科編
 蒸散については、蒸散が行われると、吸水が起こることを実験の結果に基づいて理解させる。その際、葉の断面や気孔の観察と吸水の実験の結果を分析して解釈させ、吸水と蒸散とを関連付けて理解させる。

→「蒸散が行われると吸水が起こることを実験の結果に基づいて理解すること」とはあるが、蒸散の場所が葉の裏に多くある気孔であることまで押さえるとは記載されていない。「葉の断面や気孔の観察と吸水の実験の結果を分析して解釈させ、吸水と蒸散とを関連付けて理解させる」の文面の解釈が教科書会社によって異なることがわかる。

3 生物教育に詳しい先生、専門家の先生に相談してご助言頂いたこと

私が考えた次の2つの仮説を和田亜矢子先生（筑波大附属中学校）と岡田仁先生（東京学芸大学附属世田谷中学校）にお伝えした上で、ご相談させて頂いた。

仮説1) 葉の裏側をワセリンで塞がれると表側の少ない気孔がいつもより、より活発に蒸散するようになる（顔にパックをしてサウナに入ると、パックをしている方がより汗をかくというようなイメージ）

仮説2) ワセリンを塗ると気孔の開閉に関係するというホルモンのアブシジン酸の量が変わり、気孔が開くセンサーが開くような誤作動が起きた結果、蒸散量が増える。

お二人の先生のご意見をまとめると次のようになる。

- 1 個体差（事前にどれだけ体内に水を含んでいたか）があるのではないかと
- 2 水揚げができていない可能性がある→空気中で茎を切ってしまうと道管に空気が入ってしまい、水が吸い上げにくくなってしまう。
- 3 チューブに気泡が入ってしまった可能性がある。水槽の中で丁寧に気泡が入らないようにし、そっと水平のまま取り出し、置く場所も葉とチューブが水平になるように置かないと結果が狂ってしまう印象がある。

4 ワセリンに対するストレス応答

→資料に「ワセリンを塗ると一時的に蒸散量が増えてしまう」とある。グラフからすると、実験時間を長く取ることで解決できるかもしれない。

参考文献1) 遠藤寿紀・鈴木隆・加藤良一「蒸散量が正確に測定できる教材の開発」
山形大学教職・教育実践研究 2,53-58,(2007)

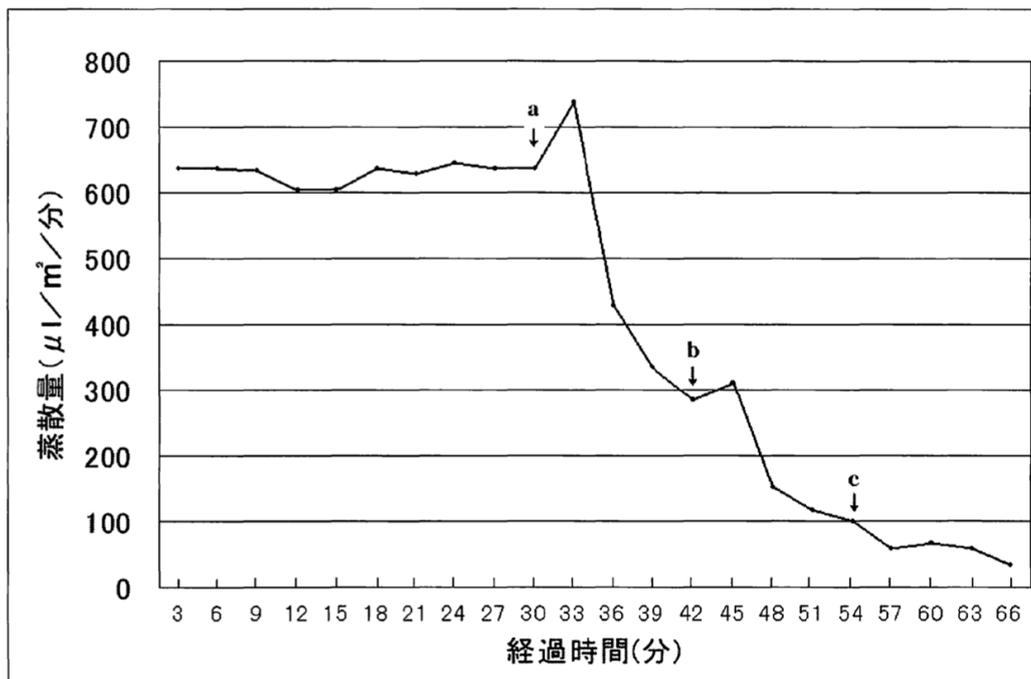


図8 シリコンチューブを使用した1つの枝の蒸散量の正確な測定

アジサイの枝を切り取った状態での蒸散量を、一定時間測定した。次に、その葉の表の気孔を塞いで(aの箇所)、蒸散量を測定した。さらに、その表及び裏の気孔を共に塞いで(bの箇所)、蒸散量を測定した。最後に、葉を全て取り除いて(cの箇所)、蒸散量を測定した。この枝には葉が4枚付いており、葉の総面積は0.0156m²で、測定中の室温は28.5℃であった。なお、気孔を塞ぐ材料としては、白色ワセリンを使用した。この測定は、異なるアジサイの枝を用いて他に2回行われ、それらすべてがこれとほぼ同じ結果であった。

↑文献に引用されている図である。確かに、和田先生がご指摘されている通り、経過時間30分～36分(a)でワセリン 散布による蒸散量の上昇が見られる。授業時間50分の中でこの現象にあたるところを観察している班もあるかもしれない。

5 葉をベタベタ触ることに対する（温度）応答

→植物にとって、私たちの体温（36℃）は高温なので、ワセリンを塗っているときベタベタ触っていることがストレスになっていたり、植物体を高温にしてしまっているかも。植物体が高温になると、蒸散が多くなる。

この相談の段階で岡田先生から、シリコンチューブの蒸散実験の考案者が東京学芸大学の中西史先生（植物学）であることを教えて頂いたので、中西先生に直接当たって蒸散実験についてのご指導を頂いてみた。

<東京学芸大学 中西 史先生から頂いたご指導>

（中西先生にご相談させて頂き、ご了解を頂きましたのでご紹介します。）

気孔の開閉制御は複雑で、まだわかっていないことが多く、思わぬ結果が得られることはよくあります。下記の点ご検討いただければと思います。

1) ワセリンを塗布する前の蒸散量は測定しているでしょうか？塗布することで上がっているのか、もともと高いのか、気になるところです。もし差し支えなければ、生徒さんの測定の生データがあると具体的な検討ができると思います。

自分が研修等で行う際には、塗る前の移動距離に対する相対値で比較しています。

2) 先生も書かれている通り、接触刺激等が気孔の開度に影響すると考えられますが、それに関する研究の蓄積はまだあまりありません。ただ、近年、下記のような知見が得られています。

・植物に触れたり一定の圧力を加えると、Ca²⁺濃度上昇が主に表皮細胞と孔辺細胞で生じることを見出された。

摂南大学他

<https://kaken.nii.ac.jp/grant/KAKENHI-PROJECT-17H03968/>

・音刺激は気孔開度に影響する

岡山大学

<http://mama.agr.okayama-u.ac.jp/kenkyu/96/kohei/yousi.htm>

これらの影響かどうかは不明ですが、ワセリンの塗布作業やそのために植物を持ち上げたり降ろしたりすると、吸水量が不安定になります。塗布作業を終えて静置後数分間水の移動量を測定し、安定してから測定するようにするとばらつきが少ないようです。

3) 多くの場合、葉が切除されると吸水量は1割以下になりますが、それなりの吸水量があるにもかかわらず、葉の切除の前後でほとんど吸水量が変わらない枝があります。その場合、茎の気孔が開いていると考えられます。きちんと検証していませんが、同じ株に病気に感染したような褐変が見られる葉があると、そのような傾向があるように思います。微生物の攻撃を受けると（感染シグナルによって）気孔は閉じるのですが、茎と葉で、気孔の反応が違うのではないかと、といったイメージを持っています。

データのばらつきが多いと扱いにくい実験となってしまいますが、それだけ複雑なことを植物もしているのだ、というふうに子供達に捉えてもらえたらと思っております。

4) チューブ法のオリジナルの方法

<http://www.alphakikaku.com/works/morality/html/6-02.html>

東京学芸大学 総合的道德教育プログラム推進プロジェクト 小学校理科生物分野における「生命尊重の態度」を育む教材

ケニスさんがキットを販売してくれるときに、色々改良してみたのがこちらの動画です。
<https://search.yahoo.co.jp/video/search?p=%E3%82%B1%E3%83%8B%E3%82%B9%20%E3%82%B7%E3%83%AA%E3%82%B3%E3%83%B3%E3%83%81%E3%83%A5%E3%83%BC%E3%83%96&rkf=2&dd=1#9a238aeb8989ea4a0e535eb6f7583a6f>

ケニスさんはシリコンチューブを内径 1 mm だけのものを使うことにこだわってキットを作ってくれたのですが、私の研修では、チップ（植物の茎や葉柄の太さに合わせて 1000 μ L、もしくは 200 μ L）の太い方にあったシリコンチューブをつけて、植物体にはシリコンチューブで接続するようにしています。

5) 切り花では水揚げをよくするために、切り口を叩いたり割ったりしますが、ぎゅうぎゅう押し込むのは、道管を潰してしまうような気がして抵抗があります。硬い枝には向かないのかとも思います。

チューブの末端をシリンジから離して（水槽から取り出して）持ち上げた際に、植物体との接続部から空気が入らない、チューブ末端から水が流れ出ない、というのが一つの目安で、それができるならチップに押し込むでも良いのだと思います。

6) 教科書のイラストで気になるのが、葉の部分が重なっていたりチューブの接続の際に葉が水に濡れていたりする点です。葉の濡れは蒸散量を低下させるのが一般的なようなので、その辺りも結果に影響するように思います。

4 まとめ

今後の実践に向けて、次のことを検討してみたい。

- (1) ワセリンを塗布する前の蒸散量を測定する。
- (2) (1) のデータを用いて、[塗る前の移動距離に対する相対値で蒸散量を比較する。](#)
- (3) 生徒実験のワセリン散布による吸水量のばらつきの頻度をデータとして記録する。

シリコンチューブの実験は 50 分間の授業の中で給水量が明らかにわかる実験である。対照実験の実験計画を立案や、実験の結果に基づいてデータを解釈する生徒実験としてとても良い実験なので、今後、実験教材の理解を深めてみたい。