

ペットボトルを用いた光合成実験装置の製作

渡辺 克己

神奈川県立教育センター

On the Preparation of the Apparatus to confirm the Effect of Pphotosynthesis by Using PET Bottles

Katumi WATANABE

KANAGAWA PREFECTURAL EDUCATION CENTER

はじめに

酸素があれば火は燃え、酸素がなくなれば火は消える。この明快な事実に基づき、光合成や呼吸による酸素の増減を、ロウソクの燃焼により確かめる実験ができれば、児童・生徒は、植物のこれらの働きをより直接的に理解することができると思われる。

光合成に関する授業への導入に必ずと言ってよいほど紹介される1722年発表のプリーストリの論文には、「1771年8月17日に、私はロウソクが燃え尽きた一定量の空気中へハッカの小枝を入れた。同月の27日に、その中で別のロウソクを燃やしたところよく燃えたのを見つけた」「植物が元気なときにはこの空気を回復させるには5日か6日で十分であることがわかった」と記載されている。

1779年にインヘンフースは、「日光の下では空気を純化し、日陰や夜間には有害にする偉大な力を明らかにする植物に関する実験」という論文を発表した。この中で彼は、「呼吸によって(ロウソクを消すくらいに)汚れた空気で満たされた硝子鐘にハッカの小枝を入れ、太陽に当てた。すると、3時間でこの空気をきれいにし、ロウソクが燃えるくらいにした」「イラクサの小枝をロウソクが消えるくらい呼吸によって汚された空気で満たされたガラス鐘の中に入れ、一晩中部屋の中においた。翌朝、空気は前よりも悪くなっていた。ガラス鐘を朝の9時に日光にさらした。わずか2時間のうちに空気はきれいにな

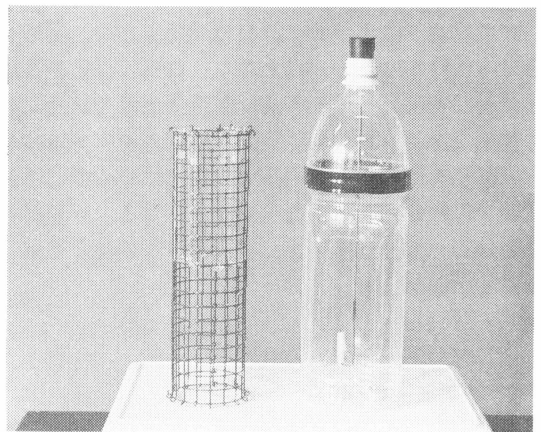
り、普通の空気とほとんど同じように思われた」¹⁾と述べている。

光合成に関するこれらの歴史的実験を、授業時間内に再現し、導入の実験として利用することを目指して、実験装置の開発を行った。また、これを用いて基礎資料を得たので報告する。

材料と方法

1) 実験装置の作製

この装置は、金網で円筒を作り、その表面に植物を固定し、これをペットボトルの中に入れ、密封する。明条件または暗条件で一定時間処理した後、この容器中でロウソクを燃やし、燃焼時間により酸素の増減を調べようとするものである。



第1図 材料固定装置(左)と反応容器(右).

(1) 材料(実験装置1個分)

- ① ペットボトル(烏龍茶等の空容器で、容量は1500mlのもの) 1個
- ② 金網(目の大きさが1cm程度のもの) 22cm×22cm 1枚
- ③ 針金(太さ 2.5mm程度) 31cm 2本
- ④ ゴム栓(6号) 2個
- ⑤ ビニールテープ 31cm
- ⑥ 試験管(直径12mm長さ12cm) 8本
- ⑦ 細い針金

(2) 実験装置の作製

① 反応容器

植物に光合成や呼吸を行わせるための密閉容器である。ペットボトルを床面から20.5cmのところまで水平に、目の細かいのこぎりやカッターを用いて丁寧に切る。ペットボトルにも種類があるため、利用する前にタイプを確認する。(第1図参照)

② 材料固定装置

植物を葉が重ならないように固定し、反応容器全体からなるべく多くの光を受けられるようにするための装置である。金網を直径約7cm、高さ21cmの円筒に加工する。

③ ロウソク固定装置

反応容器の口から火のついたロウソクを入れ、同時に容器を密閉するための装置である。針金の先端1cm程度をコの字形に曲げロウソクの固定部分とする。基端を6号のゴム栓の中央に1cm程刺し込む。ロウソクを反応容器に入れる際の操作性を高め、炎の揺れを防ぐ意味から、針金はある程度太く重さがあるものが適している。これを2本作製する。

④ 温度上昇防止装置

ロウソクが数十秒間にわたり燃焼する際、反応容器の上部はかなりの高温となり、材料に傷害を及ぼすことがある。この一時的な温度の上昇を防ぐための装置である。材料固定装置上部の内側に8本の小形試験管を細い針金で固定する。実験する際には各試験管に水を入れ有害な熱を吸収させる。同じ材料を用いてくり返し実験する場合にはこの装置を取りつける必要がある。

2) 実験準備と材料の調整

(1) 照明装置の準備

照明装置としては蛍光灯が適している。30Wの蛍光スタンドなどを反応容器をはさむ形で左右に2本

ずつ、合計で4本用いると、蛍光管から5～8cmの所の照度が15000lux程度になり、照明装置内全域で十分な光が得られる。蛍光スタンドの傘の内側および照明装置の床面と両端にアルミホイルを貼るとさらに照明効果上がる。



第2図 照明装置。

(2) ロウソクの調整

炎の大きさを一定にするためにロウソクの芯の長さを一定に調整する必要がある。ロウソクは、太さ6mm、長さ5cmのものを使用する。ロウソクに火をつけると2～3分で炎の大きさが3cm程になり安定する。これを吹き消すと芯の長さが9～10mmになっているので、芯が真っ直ぐなものを選びこれを用いる。芯が長すぎる場合は切り落とし調整する。

(3) 材料の調整

材料固定装置に巻きつけることが可能な植物ならば何でもよい。ただし、茎や枝が太いと反応容器に入らない。材料としては葉を含め全体の長さが30cm程の植物が適当であり、水切りし十分水を吸わせておく。大きい葉や細長い葉、小さい葉をたくさんつけた茎が使いやすい。木の葉を用いる場合、新しい葉よりはる程度時間が経ち充実したものの方が好結果が得られる。

3) 実験方法

(1) 反応容器の準備

材料となる植物が吸水するための水として、反応容器内に水道水50mlを入れる。

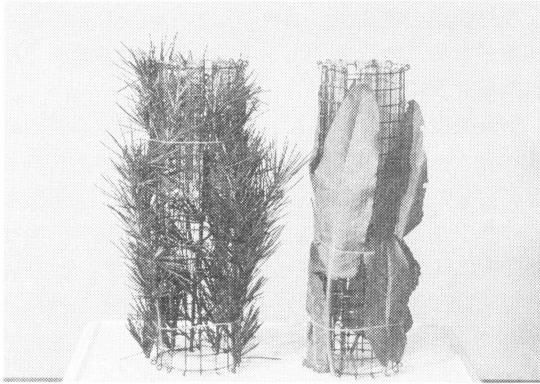
(2) 材料固定装置への植物の固定

① 材料固定装置を逆さにし机の上に置く。

② 材料の基部を持ち、材料固定装置に輪ゴムで仮止めする。

③ 植物の先端が材料固定装置の上端に一致し、植物が装置の全面に一様になるように移動させ、輪ゴムで固定する。

④ 植物の基端で装置からはみ出している部分を水切る。



第3図 材料固定装置に材料を固定した状態。

(3) 材料固定装置の反応容器内への挿入と8本の試験管への水の注入。

(4) 反応容器の上部と下部とのビニールテープによる接続

(5) 反応容器内でのろうソクの燃焼

① ろうソク固定装置2本のうち、一方に調整済みのろうソクをさし込み、点火する。

② 炎が安定したらろうソクを真上から静かに容器の中に入れ、固定装置のゴム栓で軽く栓をする。

③ 炎が容器の口を通過すると同時にストップウォッチを押し、炎が消えるまでの時間を測定する。容器のなかで炎がだんだん小さくなった後、白い煙が上がる瞬間を炎が消えた時刻とする。

(6) 固定装置のゴム栓の締め直しと照明装置の中への移動

(7) 反応容器内でのろうソクの再燃焼による光合成・呼吸結果の確認

① 30分間照明した後、反応容器を取り出す。

② 残る1本のろうソク固定装置に調整済みのろうソクをつけ、点火して炎が安定するのを待つ。

③ 反応容器からろうソク固定装置を静かにはずし、②のろうソク固定装置と入れかえ、(5)の②、③の操作をくり返す。

④ 燃焼時間を測定し、光合成・呼吸量の目安とする。なお、(7)の③において、ゴム栓を20秒間はずしたままでも燃焼時間に大きな影響はない。

結果と考察

1) ペットボトル内での燃焼時間

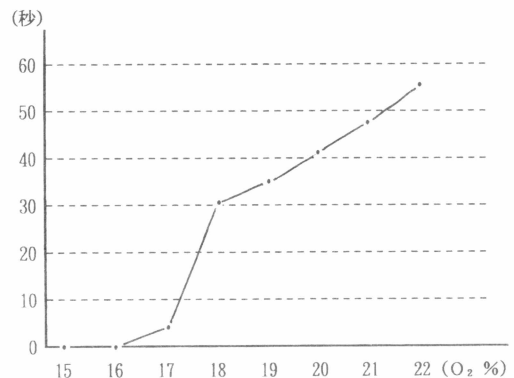
容積1570mlのペットボトルを空気で充たした場合の、調整済みろうソクの10回の燃焼時間は第1表の通りであった。平均は47.7秒であり、実験方法のわりには結果のばらつきが少ない。また、この数値は材料を入れた場合よりも大きくなっている。

第1表 ペットボトル内での燃焼時間

燃焼時間 (秒)		平均 (秒)	標準偏差
43.2	45.2	47.4	2.2607
46.4	47.1		
47.8	48.5		
48.7	18.8		
49.4	51.8		

2) 気体の酸素濃度と燃焼時間の関係

ペットボトルを酸素と窒素の混合気体で充たした場合の、調整済みろうソクの燃焼時間は第4図の通りであった。



第4図 気体の酸素濃度と燃焼時間

この結果は、気体容器内でろうソクを燃焼させた後、気体検知管を用いて酸素と二酸化炭素の濃度を測定した結果(第2表)ともほぼ一致する。ペットボトル内では、ろうソクの燃焼には18%以上の酸素濃度が必要であると思われる。また、酸素濃度が1%増加する毎に平均で約6.1秒の燃焼時間の増加が見られた。

第2表 気体検知管による測定

燃焼時間 秒	酸素濃度 %	二酸化炭素濃度%
41.8	18.2	2.8
37.2	17.9	2.7
45.5	18.8	2.7

3) 照明時間と燃焼時間の関係

ネズミモチを用いて照明時間と燃焼時間の関係を連続して測定した結果は次の通りである。

第3表 照明時間と燃焼時間の関係

照明時間	燃焼時間	照明時間	燃焼時間
30分	16.4秒	1時間	30.7秒
30分	22.9秒	2時間	31.4秒
30分	19.7秒	2.5時間	35.7秒
30分	17.9秒	3時間	25.3秒

1時間の授業で展開可能な照明時間は30分程であると考えられるが、この場合は燃焼時間が近い値を示す。また、照明時間を長くしても好結果が得られないのは、容器内の二酸化炭素量が限られているためと思われる。

4) 30分間照明した後の燃焼時間の比較

12種類の植物について、30分間照明した後の燃焼時間を3回連続して測定した結果、その平均値は次の通りである。

第4表 30分間照明した後の燃焼時間

植物名	燃焼時間(秒)	植物名	燃焼時間(秒)
ネズミモチ	19.7	カラスノエンドウ	26.3
アオキ	18.2	ハナダイコン	25.9
ヒマラヤシダ	16.3	ギンギン	24.6
キョウチクトウ	14.4	ホウレンソウ	19.0
アベリヤ	10.4	キャベツ	17.3
ヤブツバキ	8.1	スイセン	12.6

照度は10000~15000lux, 反応容器内の温度は32~35℃, 3月に自然に生育している植物を用いて測定した結果である。燃焼時間が20秒を越えた場合

の前半の炎はかなり大きく、植物が酸素を出していることを示す説得力のある結果となる。

5) 呼吸による二酸化炭素量の増加の確認

光合成による酸素の増加量に比べて、呼吸による二酸化炭素の増加量は小さいため、かなりの時間が必要となる。カラスノエンドウを用いた実験の方法と結果を次に示す。

実験装置を2個用意し、それぞれに20gの材料を入れる。一方の実験装置(A)でろうソクの燃焼時間を測定したところ40.3秒であった。他方の実験装置(B)をアルミホイルで包み光を遮断し、両方とも照明装置に入れ、3時間後に燃焼時間を測定した。Bの燃焼時間は20.9秒であり、Aの燃焼時間との差だけ呼吸により酸素が消費されたと考えられる。また、Aは36.7秒であり、実験前の状態に戻っていた。

教材化についての検討

(1) 身近にある植物とペットボトルを利用した実験装置を用いることにより、プリーストリヤインヘンフースが行った歴史的実験を授業時間内に再現できることが確かめられた。

(2) 密閉容器内でろうソクが燃焼すると、容器内の酸素をすべて消費してしまうように誤解されがちであるが、実際には一定濃度以上の酸素がなければ燃焼は起こらない。また、2)の気体の酸素濃度と燃焼時間の関係結果から、一定時間内に材料の植物が出した酸素の量を推測することもできる。

(3) 呼吸による二酸化炭素量の増加を光合成と同じ条件の実験で確認するのは難しいと思われる。暗条件を12時間にした場合、二酸化炭素量はネズミモチでは3.0%、ダイコンとキャベツでは4.0%に増加した。

(4) 照明装置を用いなくても、実験装置の後方に反射板を置き窓際にセットすれば、直射日光によって同様の結果を得ることができる。

引用文献

- 1) 鈴木善次 1970 生物学の歩み 第一法規出版