

左上一箇所でホチキス留め

3306

筑波大学

朝永振一郎記念

第13回「科学の芽」賞 応募用紙

応募部門：中学生部門

応募区分：個人応募

題名：ハスの葉柄内にみられた謎の膜用構造に迫る

学校名：慶應義塾中等部

学年：1年生

代表者名：小平 菜乃

ハスの葉柄内にみられた 謎の膜様構造に迫る

～ハスの葉柄にもセルフクリーニング力があるのか～



②9

慶應義塾中等部 1年

小平 菜乃

●研究の動機●

昨年、祖父のお墓参りのとき、近くのため池でハスが自生している場所を通りかかりました。あまりにも綺麗だったので、家族で立ち寄ることにしました。両親はハスの花、弟はため池の中の魚に釘付けになっていましたが、私はハスの葉が気になりました。じっと見てみると、ハスの葉の上ののっている水が面白いようにはじかれながら動きまわり、流れ落ちました！しかも、水が流れたあとも葉の表面は全くぬれずに乾いているのです！

そこから、私のハスの研究が始まりました。調べると、ハスの葉は自動的に表面をきれいにできる力＝セルフクリーニング力があることが分かりました。私は昨年、ハスの葉のセルフクリーニング力について研究をし、次のことが分かりました。

撥水力

- ①ハスの葉には細かい凹凸が沢山あり、それが葉の表面の水をはじいていた。
- ②ハスの葉の裏側も強い撥水力があり、表とはまったく別の構造をしていた。

排水力

- ①ハスは、葉の振れを利用して、水をまとめて一気に排水していた。
- ②模型実験で、上向きのお椀型の葉の形は、下向きのお椀型、平坦型と比べると、振れ幅が大きく、ゆっくり振れ、水を排水しやすいことが分かった。
- ③葉の外周は山がいくつかある。模型実験で、外周山あり椀型の葉の形は、外周山なし椀型と比べると、振れ幅が大きく、ゆっくり振れ、水を排水しやすいことが分かった。
- ④模型実験で、外周山あり椀型の葉の形は、外周山なし椀型と比べると、少量の水で振れて、水を排水しやすいことが分かった。

殺菌力

- ①ハスの葉の切断部を培地にこすりつけ、培養し、ほかの植物の菌の培養状況と比較した。その結果、ハスの葉に殺菌力は無いことが分かった。

以上、昨年は、ハスの葉の魅力について多くのことを発見し、ハスの葉は泥の中でも自分の身を綺麗に保つ力を持つように進化し、昔から仏教や様々な文化で重宝されてきた理由が分かりました。

そこで今年は、ハスの長い葉柄について、ただ日光を浴びやすくなるように進化して長く伸びただけなのか、それとも、セルフクリーニングに関係するような何か機能があるのか調べたいと思いました。

●研究の目的●

ハスの葉柄には、泥の中でも身を綺麗に保つセルフクリーニング力に関係する機能を担う構造があるのか、について調べる。

●実験1●

<目的>

ハスの葉柄の表面を観察し、セルフクリーニング力に関係しそうな構造があるかを調べる。

<材料>

食用ハスの葉柄、単眼光学顕微鏡（ケンコー社製・STV-A200SPM・スマートフォン用アダプター付）、ピンセット、スマートフォンカメラ

（本研究で使用するハスは、茨城県土浦市のれんこん農家の方から提供していただいた食用ハスを使用した。）

<方法>

- ①ハスの葉柄表面を、肉眼で観察した。
- ②ハスの葉柄表面を、光学顕微鏡で観察した。

<結果>

① 肉眼

- ◎葉柄の表面には、先端の茶色い多くの突起があった。
- ◎葉柄の上から下まで分布していたが、分布はバラバラで規則性は明らかではなかった。

② 光学顕微鏡

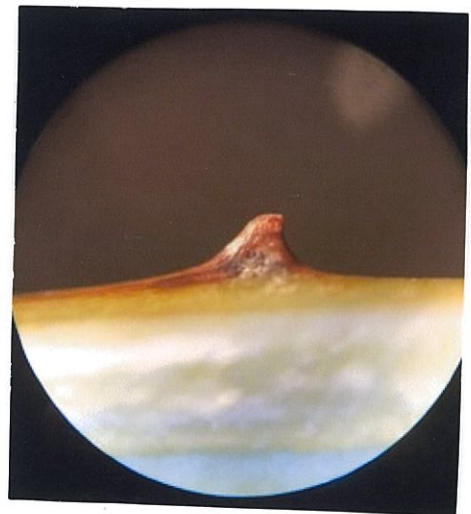
- ◎突起は、全て下向きのトゲになっていた。
- ◎突起の先は、とがっていた。

<考察>

植物のトゲは、何かにくっつく役目と、食べられるのを防ぐ役目がある。葉柄は一本ずつ離れて生えていて、くっつきながら伸びる必要はないので、バラのトゲのように、泥地や水中に生息する草食、雑食生物によって食べられるのを防いでいるのではないかと考えた。これも一種のセルフクリーニング力か？



(肉眼)



(100倍)

●実験2●

<目的>

ハスの葉柄の断面を観察し、セルフクリーニング力に関係しそうな構造があるかを調べる。

<材料>

食用ハスの葉柄、カッター、単眼光学顕微鏡、スマートフォンカメラ、ピンセット

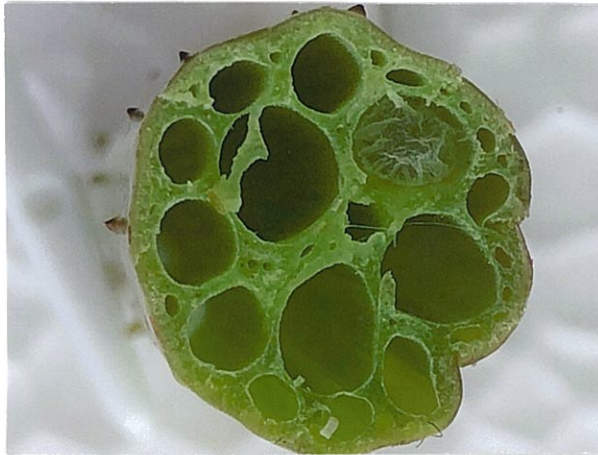
<方法>

- ①葉柄を、横方向（輪切り）に切って横断面を作成し、肉眼で観察した。縦方向にも切って縦断面を作成し、肉眼で観察した。
- ②葉柄横断面を、光学顕微鏡で観察した。

<結果>

①肉眼

- ◎葉柄横断面には、多くの管がみられた。4つの大きな管と、5つの中程度の管、6つの細かい管、6~8個の極細管で出来ていた。4つの大きな管の中心にも、1個の細かい管があった。
- ◎4つの大きな管の内部には、白くて短い毛のようなものが散在していた。同様に、いくつかの管の内部に、白い短い毛があった。全く毛がない管もあった。
- ◎複雑な管の構造だが、何本か観察しても、葉柄断面は、同様の分布構造をしていた。
- ◎大きな管の内部には、一部白くて短い毛が密集している場所があり、その奥に膜のようなものがあった！
- ◎膜は、ピンと張っておらず、大きな膜がしぼまれて管に張っているようになっていた。
- ◎膜を含む位置で、葉柄の縦断面を作成してみると、膜は付着部位が段になっているものが多かった。



60倍



60倍で撮影した写真を拡大

②光学顕微鏡

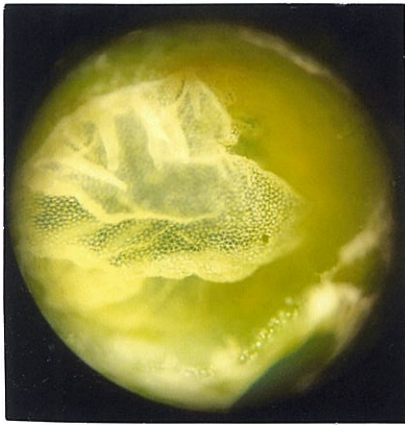
- ◎4つの大きな管の内面の毛は、管の内壁から直角に生えて、先のやや丸い細長い円錐形をしていた。色は、薄い黄緑~白色っぽい半透明だった。
- ◎毛の密集している場所の奥に、しぼんだようにしわの入った膜のような、黄緑~半透明の膜がみられた。
- ◎さらに倍率を上げると、膜は三角形の骨組みが集合して出来ていた。三角形が集合して、五角形、六角形、七角形などを作成し、全体で膜のような構造を作っていた。



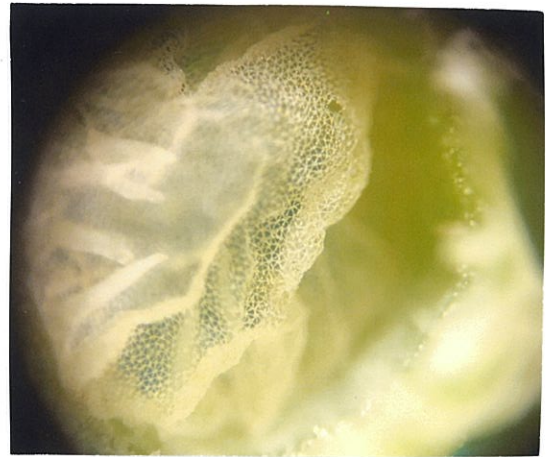
100倍



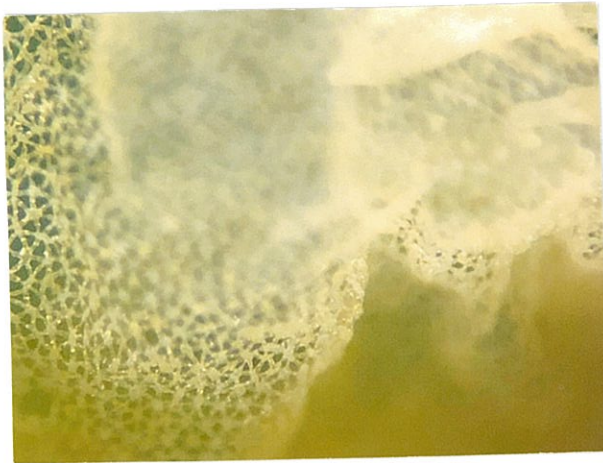
200倍



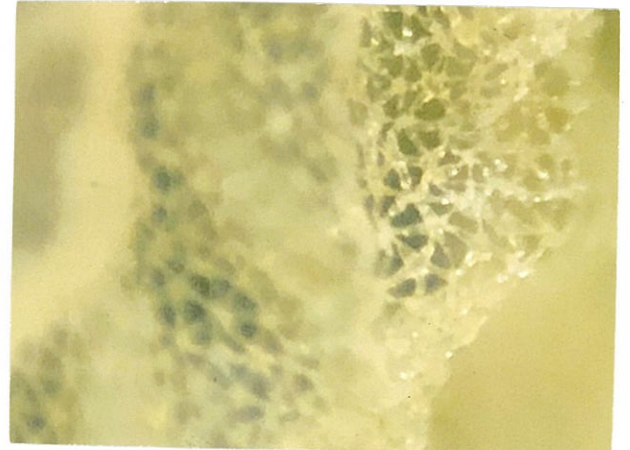
60倍



100倍



200倍



200倍で撮影した写真を拡大

<考察>

ハスは水生植物であるので、植生上の必要から通気組織がよく発達している。ハスには縦に貫通した数本の通気孔があり、全て地下茎に連絡している。葉柄には、基幹気孔が4個あることがすでに知られている。今回の観察で見られた4つの大きな管は、この通気孔であると考えられた。

しかし、通気孔内面に膜のような構造があることは、どの文献を探してもみつからず、今回、初めての発見だと思われる。膜は、しぼんで無造作に折りたたまれたようになって通気孔内腔をふさいでいたことから、実際の通気孔の断面積よりも大きな面積の膜であることが想像された。

この膜部では、外からの大気を流入させる時、大気中の有害な粒子、細菌などを、濾過して取り除いているのではないだろうか。しぼんでいることは、膜が大きく広がって濾過効果を高めるのにも役に立つし、ピンと張っているよりも破けにくい役にも立つと考えた。

膜を作っている三角形の骨組みは、四角形よりも強く、安定した形と言われている。そのため、破けにくい膜に役立っているのではないか。また、三角形は多面体を作りやすいため、通気孔の中で無造作に折りたたまれやすいのではないだろうか。

膜の付着部位が段になっている理由は、分からなかった。

●実験3●

<目的>

葉柄の通気孔内の膜様構造は、1本の葉柄の中にどれ位あるのかを調べる。

<材料>

葉柄、カッター

<方法>

- ①葉柄を縦方向切断し、通気孔の縦断面を作成し、肉眼で膜様組織を探して観察した。
- ②通気孔内に、膜様構造は何個あるか観察した。
- ③通気孔内の膜様構造は、葉柄のどのあたりにあるか、葉の裏面からの距離を測定した。
- ④①、②、③を同様に4本行った。



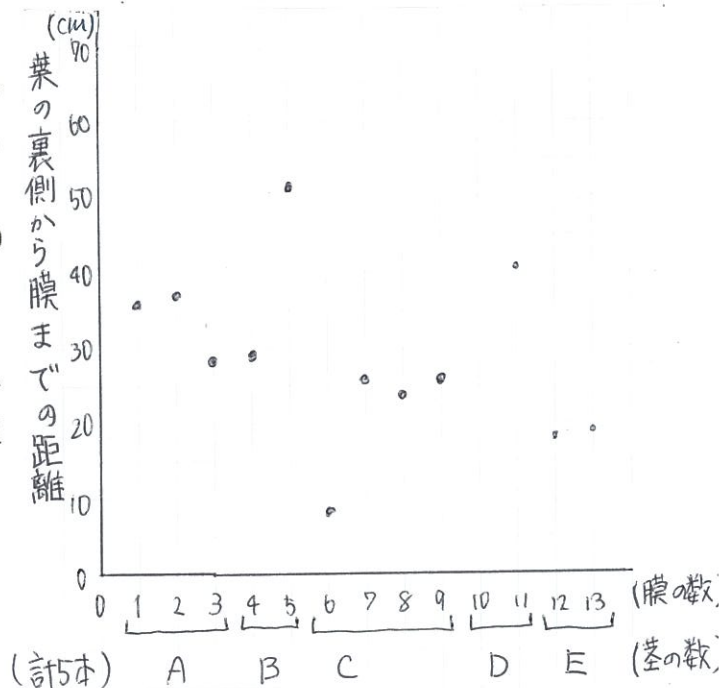
<結果>

◎膜様構造は、約 1~1.2mに切り取った葉柄中では、一つの通気孔内に、1~2か所あるのみであった。

◎葉の付着部直下には少なく、付着部から 20~50 cm程の位置にみられた。

<考察>

膜様構造は、通気孔内に多くあるものではなかった。通気システム上、膜様構造が多くあると、通気効率が悪くなるためと考えた。



●実験4●

<目的>

葉柄の断面を、走査電子顕微鏡で観察してもらい、通気孔内の膜様構造及び突起について、さらに詳しく調べる。

<材料>

乾燥させた葉柄の切断標本、走査電子顕微鏡 (シルラボアカデミー、SU-70)

<方法>

- ①通気孔内の膜様構造がある部分を見つけ、膜を傷つけないように注意しながら、その上下で葉柄を切断した。
- ②十分に乾燥させた切断標本の表面を、金属 (白金とパラジウム) でコーティングして、走査電子顕微鏡 (加圧電圧 5kV) で観察していただいた。

<結果>

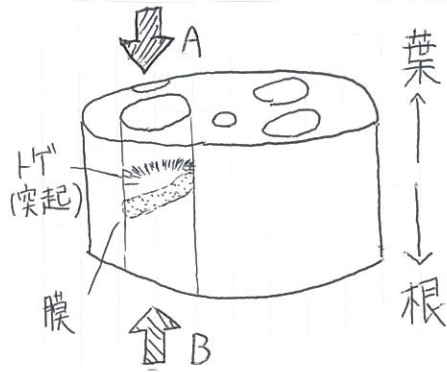
◎膜様構造の手前にある毛には、先細りの短い繊維が寄り集まったような浅い筋が縦に数本みられた。端は薄い膜が被ったようになっており、更に先端は円盤状になっており、円盤周囲には外に向かって突出する小さなとげが数本あった。

◎膜様構造には、大きなしわがあった。拡大してみると、三角形の軸が張り巡らされており、その軸に膜が被ったような様子が観察された。

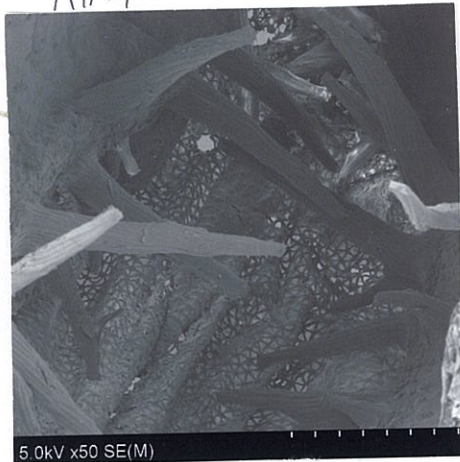
◎膜は、表面、裏面に2枚あり、三角形の軸を挟んでいるように見えた。

◎膜の、表面上、また2枚の膜の間には、付着物があるように見えた。

◎膜が破れているところがあるが、一つの三角形内で収まっている所が多かった。



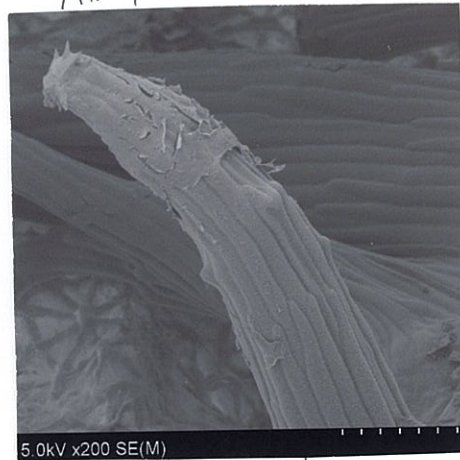
Aから



50 倍

ハスの葉柄を上から観察

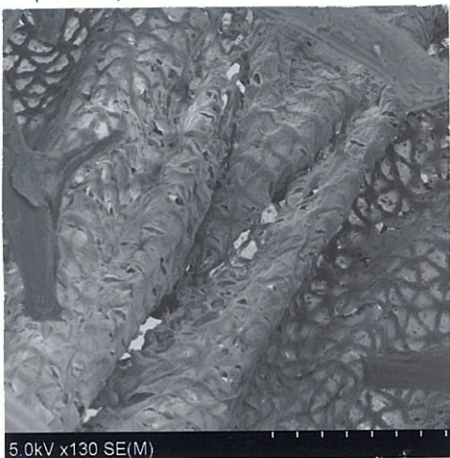
Aから



200 倍

トゲ(突起)のようなものの先端

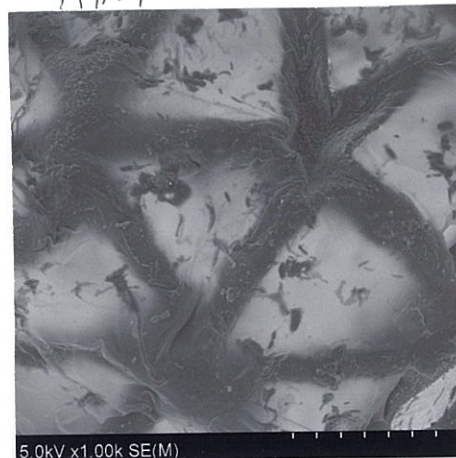
Aから



130 倍

膜のようなものの写真(弱)

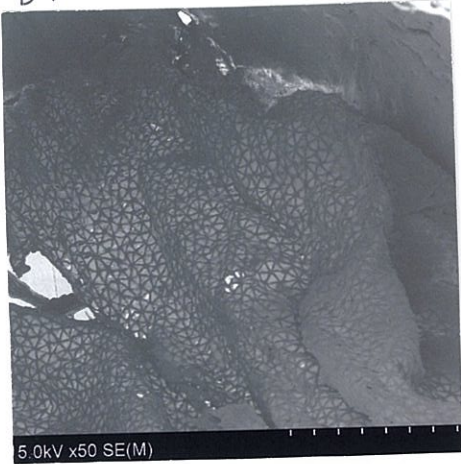
Aから



1000 倍

膜のようなものの写真(強)

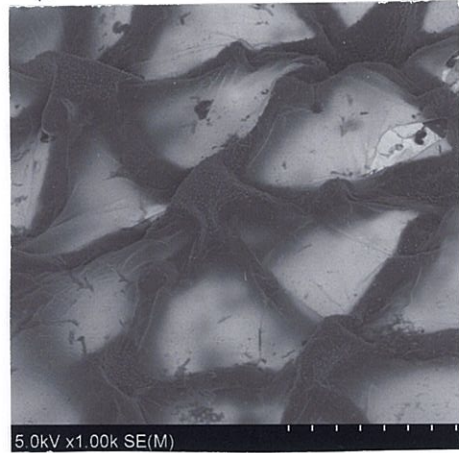
Bから



50倍

ハスの葉柄を下から観察
(突起がない)

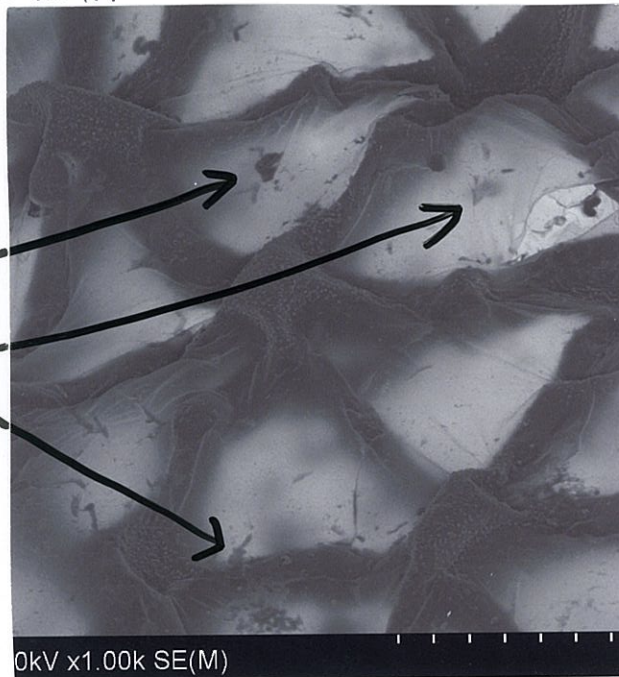
Bから



1000倍

膜のようなもの(強)

2重膜の間に
よごれが付着
しているのか
わかる。



膜がやぶれて
奥にも膜がある
のがみえる。

50μm

<考察>

毛は、一つのものでできておらず、短い繊維の集合体のように見えた。筋肉のように見え、毛は状況に応じて先端の向きを変えている可能性があると思った。先端にはとげの付いた円盤があり、とげをあちらこちらに向かせ、異物をとらえるのに役に立っている可能性がある。

また、膜様構造は、走査電子顕微鏡写真で本当に膜であることが分かった。驚くべきことに、膜は二重になっており、おそらく濾過で取り除かれたと思われる物質が、表面の膜の上と、二重膜の間に観察された。写真から、5~40μmの大きさの物質が取り除かれると推察できた。

膜が破れている部分が見られたが、膜の破れの広がり、は、三角形の軸によって最小限に抑えることが出来ていると思われた。

とても高性能の濾過膜と思われ、膜の手前にある毛の構造と合わせ、葉柄内部でも十分なクリーニングシステムが機能していると考えた。

●実験5●

<目的>

葉柄の通気孔内の膜様構造は、液体（代表で水）を通過させるか調べる。

<材料>

カッター、葉柄（膜様構造を含む部分）、紙粘土、注射器（5cc）、水

<方法>

- ①葉柄の通気孔内の膜様構造を探し、約10cmの長さで切り出した。
- ②念のため、膜様構造がある通気孔以外は、紙粘土で上端、下端をふさいだ。
- ③膜様構造がある通気孔上端から、注射器を用いて水を注入し、下端から水が出てくるかを調べた。

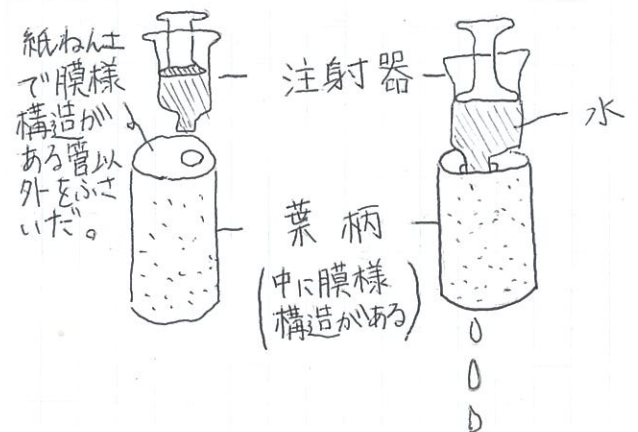
<結果>

- ◎下端から、水がポタポタと出てきた。

<考察>

膜様構造は、水を通過させると考えられた。ポタポタとたれるように出てきたことから、膜様構造は、水を通過させるが、勢いを弱める可能性はあると思われた。今回の実験では、水中の不純物をろ過しているかどうかまでは、分からなかった。

通気孔の中に膜様組織があることが分かって、一番不思議だったのは、象鼻杯という祭りのイベントでは、葉の中心部に穴をあけ、葉の上にお酒を注いで、下端の葉柄切断部から落ちてきたお酒を飲むそうだが、途中で膜があるのに何故お酒が飲めるのかということだった。この実験により、膜は水を通過させるので、お酒も通過できる可能性が高いと分かった。



●実験6●

<目的>

葉柄の通気孔内の膜様構造は、気体（代表で煙）を通過させるか調べる。

<材料>

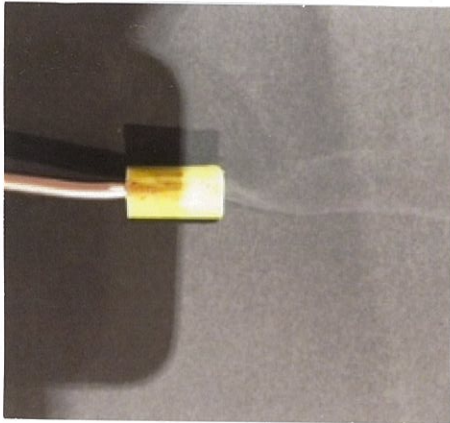
カッター、葉柄（膜様構造を含む部分）、紙粘土、線香、ライター、油さし用の空ボトル、黒い紙、単眼光学顕微鏡

<方法>

- ①葉柄の通気孔内の膜様構造を探し、約10cmの長さで切り出した。
- ②念のため、膜様構造がある通気孔以外は、紙粘土で上端、下端をふさいだ。
- ③まず、油さし用空ボトルの先端を、膜様構造のある通気孔上端に差し込み、通気孔内に空気を流し込み、膜の様子を、下端から肉眼で観察した。
- ③下端から出る煙が分かりやすいよう、黒い紙をした。
- ④線香の煙を油さし用空ボトルに充満させて蓋をした。

⑤煙の充満した油さし用空ボトルの先端を、膜様構造のある通気孔上端に差し込み、通気孔内に煙を流し込み、下端の様子を肉眼で観察した。

⑥煙を通したあとの、膜様構造部分を、単眼光学顕微鏡で観察した。



手で油さしを押し
けりを出した。



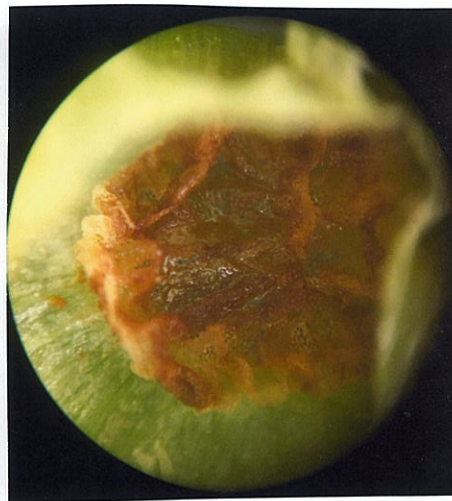
線香のけりをつめた
油さし

<結果>

◎空気を注入すると、しわになってしぼんでいた膜がふくらんで広がり、注入をやめると再び膜がしぼんだ。

◎煙を注入すると、下端から、煙が出てきた。

◎煙を通したあとの膜様構造は、茶色く変色していた。また、顕微鏡で観察すると、膜の一部では三角形の軸の構造が不鮮明になり、一面に溶けた茶色いロウのようなものが広がっていた。



上からみた膜様構造
(60倍)

下からみた膜様構造
(60倍)

膜様構造 強拡大
(100倍)

<考察>

膜様構造は、気体を通過させると考えられた。気体を通過させるとき、膜様構造はふくらんで、面積を広げ、ろ過の機能が最大に発揮できるようになっているのではないかと考えた。

気体は通過させるが、線香の煙に対しては、ろ過の機能が働き、大きな粒子が取り除かれたと思われた。線香の煙を集めた空ボトルは、私の手では全く熱さを感じなかったが、ロウが溶けたように広がっている様子から、ハスは少しの熱にも敏感である可能性が考えられた。

●まとめの考察●

今回の実験により、ハスは、葉だけでなく、葉柄にも、自らを綺麗に保とうとするセルフクリーニングの驚くべき力があることが分かった。葉は、葉の上に乗った汚れを水と一緒に弾いてまとめて排水する力を持ち、葉柄は、気孔から入ってきた大気中のごみや汚れを膜様構造で取り除く力を持つと考えられた。

この通気孔内の膜様構造は、これまでどの文献にも書かれてなく、『ロータスナノフィルター (Lotus Nano Filter)』と名付けてみたい。自然界の中に、三角形でこんなにきれいな形が作られていることに感動した。小さくしぼんでいるが、空気が流れるとふくらんでフィルターの役割を発揮する。破れても広がりにくく、交換があまり必要なさそうな構造は、これから真似して、役に立つフィルターとして使えるかもしれない。

何故、ハスにはこれほどのセルフクリーニングシステムを発達したのか。それだけ、泥の中で生き抜いていくリスクは大きいのではないだろうか。水中と空中の両方に、外敵がいる。また、湿度が高いために、細菌も増えやすい。もし、通気孔内に外敵が侵入して、地下茎まで届いてしまうと、大きなダメージがあるのかもしれない。以前には、琵琶湖などのハスが、一斉に消滅してしまうこともある。

今後、さらにハスのセルフクリーニング力について調べていきたい。

●参考文献●

- | | | |
|--|-----------------------------|--------------------------------------|
| ・そだててあそぼう レンコン (ハス) の絵本 | おざきゆきお | 農文協 |
| ・日本水生植物図鑑 | 大滝末男、石戸忠 | 北隆館 |
| ・野菜園芸大百科 13巻 | 農山漁村文化協会 | 農文協 |
| ・五感で楽しむ蓮図鑑 | 高畑公紀 | 淡文社 |
| ・スイレンとハスの世界 | 赤沼敏春、宮川浩一 | エムビージェー |
| ・蓮—ハスをたのしむ | 北村文雄 | ネット武蔵野 |
| ・ハス葉身における表面温度の分布特性 | 巽二郎、野田千代ら | 日作東海支部報 128(1999) |
| ・ハスの葉身中央部における開口構造の形態と機能 | 野田千代、巽二郎 | 日作東海支部報 126(1998) |
| ・食用ハスの通気システムに関する研究 | 大熊真一郎、巽二郎 | 日作東海支部報 113(1992) |
| ・Stomata activity regulate internal aeration of sacred lotus <i>Nelumbo nucifera</i> | Philip GD Mattherws, et al. | Plant, Cell and Environment 37(2014) |

●お世話になった方●

- | | |
|---------------------|-------------------------------------|
| ・JA 土浦れんこんセンター菅野雄一様 | 今回の実験に使用した、食用ハスの葉柄を、提供してくださいました。 |
| ・草津市立水生植物公園みずの森の皆様 | ハスの葉柄の構造について、参考になる文献について教えてくださいました。 |
| ・シルラボアカデミー (日立化成) | 走査電子顕微鏡の検査をしていただきました。 |