

蒸散量が正確に測定できる教材の開発

遠藤 寿紀¹⁾ 鈴木 隆²⁾

加藤 良一³⁾

蒸散量を正確に測定でき、蒸散をリアルタイムで観察でき、安全で容易にそれを準備できる教材を開発した。それは、内径の異なるシリコンチューブをつなぎ合わせ、その中に水を入れて、それを植物の茎につなぐ方法である。また、気孔を塞ぐ材料として、市販されている障子のりが、白色ワセリンと同様に適していることが分かった。

キーワード：シリコンチューブ、障子のり、蒸散量の測定、白色ワセリン

1. 緒言

蒸散は、植物体が根から吸収した水分を、主に葉に存在する気孔から水蒸気として発散する現象である。これに関わる気孔の観察についてはいくつか報告¹⁾²⁾³⁾があるが、蒸散そのものを取り上げている実験例⁴⁾は極めて少ない。中学校1年次では、植物の生活や種類を学習し、中学校理科教科書2分野1単元にその記載がある。その中で蒸散を扱った教材としては、数枚の葉が付いたアジサイの枝を、それぞれ水が入った試験管⁵⁾⁶⁾、ガラス管⁷⁾⁸⁾またはメスシリンダー⁹⁾に入れて、その水が減る様子を観察する実験である。これには、葉の表に白色ワセリンを塗ったもの、葉の裏に白色ワセリンを塗ったものおよび白色ワセリンを塗らないもの、と少なくとも三つの異なるアジサイの枝を用意して行う。この時の問題点としては、三つのアジサイの枝に付いている葉の面積が同一ではないことで、それらの蒸散量にバラツキが生じ、正確な比較実験にはならないことである。また、試験管、ガラス管またはメスシリンダーを用いることから、それらガラス器具が破損して生じる怪我が危惧される。

本研究では、一つのアジサイの枝だけを使用して正確に蒸散量が測定でき、かつ、リアルタイムに蒸散を観察でき、ガラス器具ではなく安全な材料を用いる教材の開発を試みた。また、気孔を塞ぐ材料として、白色ワセリン以外の有効な材料を模索した。

2. 実験の方法

(1) 材料

①ガラス管（内径：3 mm，外径：5 mm，長さ：200mm），②ストロー（商品名：ペットストロー，株友栄，直径：6 mm，長さ：245mm），③パスツールピペット（CORNING社製，Code No：7095-9，長さ：225mm），④塩化ビニールチューブ（商品名：Hi-Softアクアリウムホース，（株）貝沼産業，内径：4 mm，外径：6 mm，長さ：300mm），⑤シリコンチューブの4種類（内径：1 mm，外径：2 mm，長さ：1000mm），（内径：2 mm，外径：3 mm，長さ：30mm），（内径：3 mm，外径：5 mm，長さ：30mm），（内径：5 mm，外径：7 mm，長さ：30mm）およびゴム管（内径：5 mm，外径：7 mm，長さ：80mm）を入手した。数枚の葉が付いたアジサイの枝は、山形大学小白川キャンパス内で採取した。白色ワセリン（試薬一級，和光純薬工業株，Code No：224-00165），洗濯のり（商品名：グラミー洗濯用のり，日本合成洗剤株）および障子のり（商品名：はけ用障子のり，建具用でんぶん系接着剤，ニッペホームプロダクツ株）も入手した。

(2) 蒸散量の測定装置の組み立て

① ガラス管を使用する場合

安全のためにガラス管の切り口をバーナーで焼き、ゴム管の一方の端にガラス管を入れ、水の張った水槽の中で、空気を入れないようにガラス管内に静かに水を入れる。次に、そのままの状態、そのゴム管の他方の端にアジサイの枝を入れる。蒸散量が目視できるように、定規等をガラス管の脇に置く（図1）。

1) 山形県尾花沢市立常盤中学校

2) 地域教育文化学部地域教育学科

3) 地域教育文化学部生活総合学科

② ストローを使用する場合

ストローの蛇腹部分を90度折り曲げて、水の張った水槽の中で、空気を入れないようにストローに内に静かに水を入れる。次に、そのままの状態、ストロー

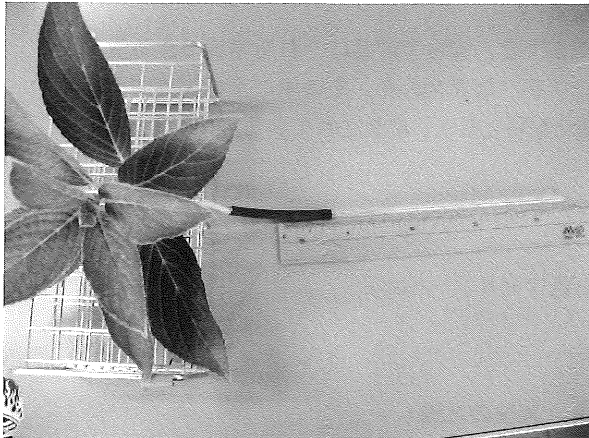


図1 ガラス管を使用する蒸散量の測定装置

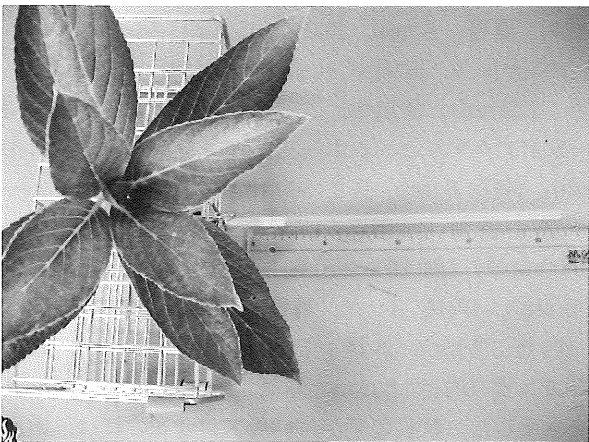


図2 ストローを使用する蒸散量の測定装置

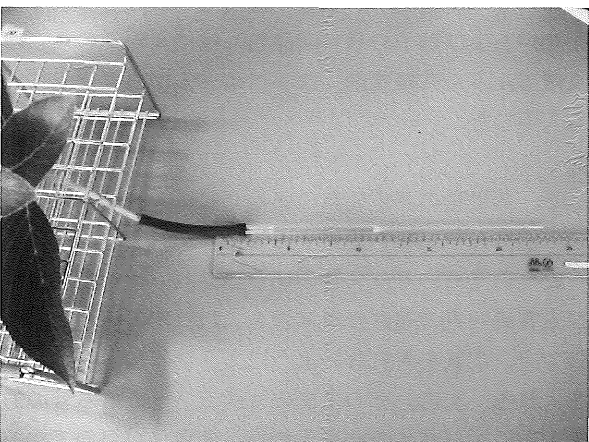


図3 パスツールピペットを使用する蒸散量の測定装置

の短い方にアジサイの枝を入れる。蒸散量が分かるように、定規等をストローの脇に置く(図2)。

③ パスツールピペットを使用する場合

パスツールピペットの太いほうの端にゴム管を取り付け、水の張った水槽の中で、空気を入れないようにパスツールピペット内に静かに水を入れる。次に、そのままの状態、そのゴム管の他方の端にアジサイの枝を入れる。蒸散量が分かるように、定規等をパスツールピペットの脇に置く(図3)。

④ 塩化ビニールチューブを使用する場合

水の張った水槽の中で、空気を入れないように塩化ビニールチューブ内に静かに水を入れる。次に、そのままの状態、塩化ビニールチューブの端にアジサイの枝を入れる。蒸散量が分かるように、定規等を塩化ビニールチューブの脇に置く(図4)。

⑤ シリコンチューブを使用する場合

上記(1)に記載の⑤の4種類のシリコンチューブを、内径：1mm、内径：2mm、内径：3mm、内径：5mmの大ききの順に1本につなぎ合わせる(図5)。

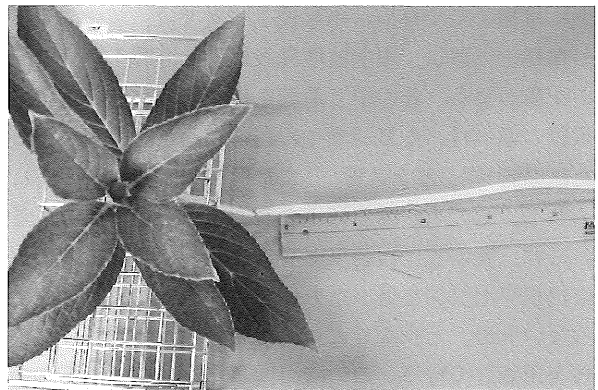


図4 塩化ビニールチューブを使用する蒸散量の測定装置

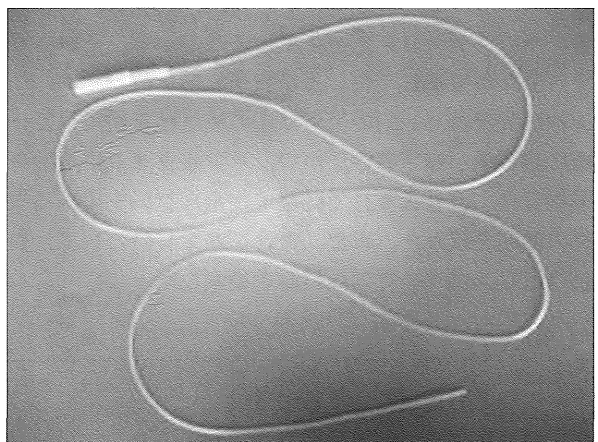


図5 4種類のシリコンチューブをつなぎ合わせたもの

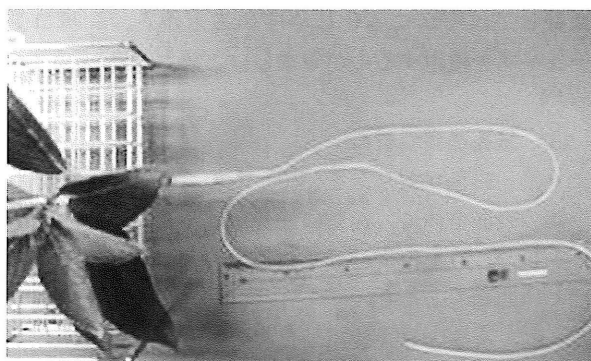


図6 シリコンチューブを使用する蒸散量の測定装置

内径：1 mmのシリコンチューブの端を水に入れ、簡易注射器を内径：5 mmのシリコンチューブの端にセットし、静かにチューブ内に水を吸い入れる。その後、水の張った水槽の中で、簡易注射器を取り外し、その代わりにアジサイの枝を入れる。蒸散量が分かるように、定規等を内径：1 mmのシリコンチューブの脇に置く（図6）。

(3) 蒸散量の測定

上記(2)に記載の①～⑤の測定装置においては、次のようにしてそれぞれ測定した。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、その葉の表及び裏の気孔を塞いで、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、蒸散量を測定した。最後に、葉をすべて取り除いて、蒸散量を測定した。なお、気孔を塞ぐ材料としては、白色ワセリン、洗濯のりまたは障子のりを使用した。

(4) 葉面積の測定

上記(3)に記載の取り除かれた葉は、一般的なコピー機械を用いて等倍でコピーされた。同時に、方眼紙もコピーした。葉のコピー部分は丁寧にハサミで切り出され、その紙の重さを電子天秤（A&D社製、Model：FA-2000）で測定した。同様に、方眼紙のコピーのある一定面積の部分をハサミで切り出し、その重さも電子天秤で測定した。葉のコピーの重さと方眼紙のコピーの重さを比較して、葉面積を算出した。

3. 結果および考察

(1) 蒸散量の測定装置

① ガラス管を使用した場合

蒸散によるガラス管内の水の移動を確認するには、10～20分程度の時間を要し、リアルタイムで蒸散の様

子を観察するのは困難であった。また、ガラス管が破損した場合、怪我をする恐れがあるので、生徒が自ら実験する場合は注意を要すると思われる。しかし、中学校理科教科書に記載されている試験管を用いた蒸散の実験⁵⁾⁶⁾と比較して、短時間で蒸散量を確認できた。

② ストローを使用した場合

内径が6 mmと大きいので、蒸散によるストロー内の水の移動を確認するのに20分以上を要し、リアルタイムで蒸散の様子を観察するのは難しい。また、ストローの内径はその太さがほぼ一定であるため、実験に用いるアジサイの茎も限定されてしまう問題がある。しかし、以前に報告された⁴⁾ように、ストローの蛇腹の部分で折り曲げることができるので、ゴム管を使用する必要はなく、簡単に装置が組み立てられた。また、上記①に記載のような破損による怪我の心配もなく、材料費が安価でほとんどの雑貨店でいつでも購入が可能である。

③ パスツールピペットを使用した場合

先端が細いガラス管になっているため、リアルタイムで蒸散による水の移動を確認することができた。しかし、ガラス製のパスツールピペットが破損した時、怪我をする恐れがあるので、生徒が自ら実験する場合は注意を要する。また、先端の内径はパスツールピペットごとに異なっており、細い部分の長さも限られているので、これを測定装置に使用するのは適していないと思われる。

④ 塩化ビニールチューブを使用した場合

蒸散によるガラス管内の水の移動を確認するには、10～20分程度の時間を要し、リアルタイムで蒸散の様子を観察するのは困難であった。塩化ビニールチューブは、魚飼育のショップには置いてあり、安価で購入できる。また、これは柔らかく曲げることもでき、破

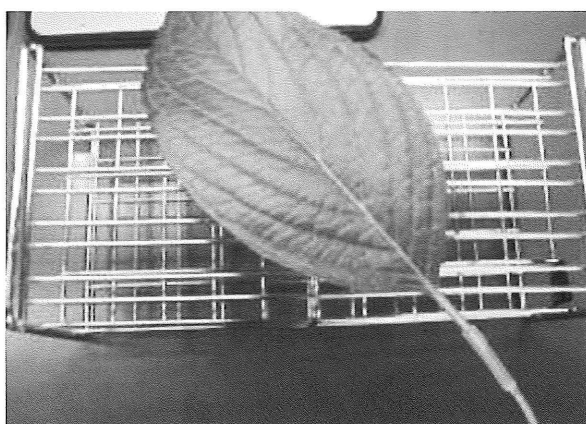


図7 シリコンチューブを使用する葉1枚の蒸散量の測定装置

損することもないので、生徒が自ら実験する場合には適している。さらに、アジサイの茎径がばらついていても、接続部分に弾力があるので対応は可能である。

⑤ シリコンチューブを使用した場合

観察する部分の内径が1mmと小さいために、蒸散によるチューブ内の水の移動は、短時間で確認できた。実際には、1分間に20~40mm移動した。さらに、葉が1枚でも、その葉柄をシリコンチューブに接続すれば(図7)、リアルタイムで蒸散の様子を観察できた。実際には、3分間に1.5~3.5mm水が移動した。シリコンチューブは、実験器具として安価で購入でき、柔らかく曲げることもでき、破損することもないので、生徒が自ら実験する場合にも適している。また、アジサイの茎径がばらついていても、接続部分に弾力があるのでそれに対応できる。

以上の結果から、蒸散量の正確な測定、リアルタイムでの観察、安全性、価格等を総合的に判断すると、上記⑤のシリコンチューブを使用して、その測定装置を組み立てるのが最も適していると思われる。塩化ビニールチューブにおいて、その内径が1mm程度のものを使用すれば、上記⑤と同様に適した結果となるように考えられる。しかし、塩化ビニールはシリコンと

比較してはるかに劣化しやすいことから、シリコンチューブを使用するのが望ましいと思われる。

(2) 気孔を塞ぐ材料

① 白色ワセリンを使用した場合

葉の表面全体に、適切に塗り付けることができた。しかし、これを指に付けて塗るので、べたついて落ちにくい問題もあった。

② 洗濯のりを使用した場合

葉の表が水をはじく性質があるために、それを塗るとムラができやすく、そのため何度も塗り重ねる必要があった。ただし、刷毛で塗ることができ、手を汚さないで済む利点はあった。

③ 障子のりを使用した場合

これを希釈せずに原液を使用することで、上記①と同様に、葉の表面全体に、適切に塗り付けることができた。また、これを指に付けて塗ったのだが、この成分がでんぷんであるので、水洗いで簡単に落とすことができた。

以上の結果をまとめると、葉への塗りやすさから、上記①の白色ワセリンまたは上記③の障子のりを使用するのが適していた。

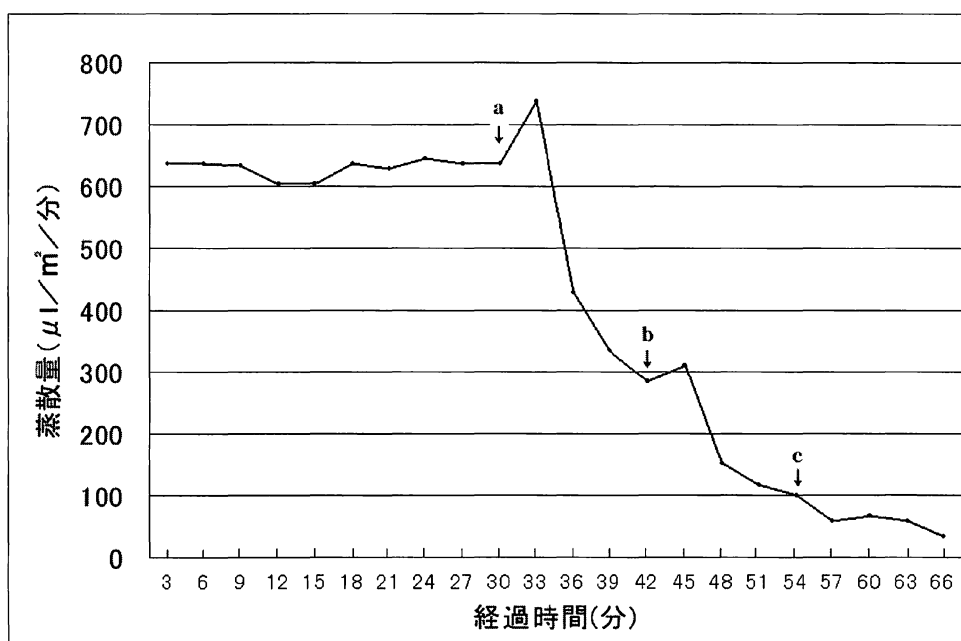


図8 シリコンチューブを使用した1つの枝の蒸散量の正確な測定

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。

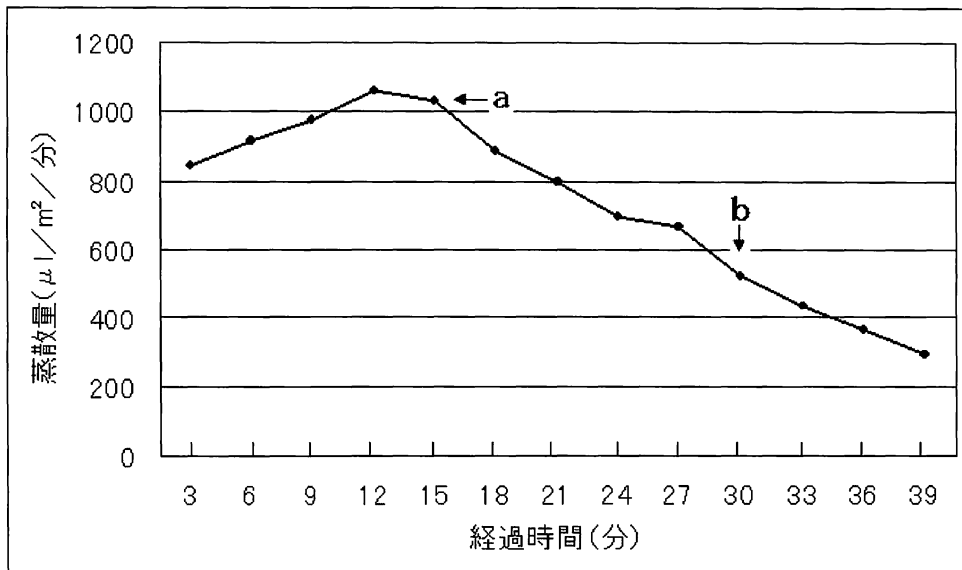


図9 シリコンチューブを使用した葉1枚の蒸散量の正確な測定

アジサイの葉1枚の蒸散量を、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、その表および裏の気孔を共に塞いで (bの箇所)、蒸散量を測定した。その葉面積は0.009m²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、異なる葉を用いて他に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。

(3) 蒸散量の正確な測定

上記2(2)⑤に記載されたように、内径の大きさの順に1本につなぎ合わせたシリコンチューブを使用して、蒸散量の測定装置を組み立てた。なお、気孔を塞ぐために、白色ワセリンを用いた。葉の表の気孔を塞いで蒸散量を測定し、次に、その表および裏の気孔を共に塞いでその量を測定し、最後に、葉をすべて取り除いて測定すると、その度ごとに蒸散量が減少していく様子を確認できた(図8)。このようにすれば、一つのアジサイの枝だけを使用して、正確に蒸散量が測定できることが確かめられた。さらに、1枚の葉の葉柄をシリコンチューブに接続しても、同様に3段階の蒸散量の変化が観察できた(図9)。ところで、葉に白色ワセリンを塗った時、一時的に蒸散量が増えてしまう現象も捉えられ(図8)、これを何度繰り返しても同様な現象が観察された。これは、葉に白色ワセリンが塗られたことによる、アジサイの枝全体の生理的なストレス反応と考えられる。

一つのアジサイの枝を使用した結果の図8において、葉に白色ワセリンを塗る前の1分間葉面積当たりの蒸散量は平均694 μl / m² / 分で、葉の表の気孔を塞いだ場合のその蒸散量は平均447 μl / m² / 分で、葉の表および裏の気孔を共に塞いだ場合のその蒸散量は平均170 μl / m² / 分で、葉をすべて取り除いた場合のそ

の蒸散量は平均3 μl / m² / 分であった。

1枚の葉を使用した結果の図9において、葉に白色ワセリンを塗る前の1分間葉面積当たりの蒸散量は平均965 μl / m² / 分で、葉の表の気孔を塞いだ場合のその蒸散量は平均715 μl / m² / 分で、葉の表および裏の気孔を共に塞いだ場合のその蒸散量は平均363 μl / m² / 分であった。

(4) 蒸散の植物生理学的な研究課題

上記(3)に記載されたように、内径の大きさの順に1本につなぎ合わせたシリコンチューブを使用すれば、蒸散量を正確に測定できる。そこで、チューブ内の水に各種植物ホルモンや成長調節物質を含ませれば、蒸散に及ぼすこれらの物質の影響を調べることができる。この結果が、すでに知られている気孔の開閉に及ぼすこれらの物質の影響¹⁰⁾と異なれば、気孔の開閉条件を除いた蒸散のみの生理反応を捉えることができるであろう。

4. まとめ

一つのアジサイの枝を、水の入ったガラス管、ストロー、パスツールピペット、塩化ビニールチューブ、またはシリコンチューブにそれぞれ差し込んで、蒸散の実験を行った。蒸散量の正確な測定、リアルタイム

での観察，安全性，価格等から，内径1～5 mmのシリコンチューブをつなぎ合わせて使用するのが最も適していると分かった。また，気孔を塞ぐ材料としては，葉への塗りやすさから，白色ワセリンまたは障子のりを使用するのが適していた。

引用文献

- 1) 太田茂，竹下政範 (1991)，教材化のための四季咲きペゴニアにおける気孔の形態学的研究，生物教育31巻3号pp.171-177
- 2) 川上昭吾，山田詠美子 (1993)，気孔の多様性に関する研究，生物教育33巻1号pp.40-41
- 3) 猪狩嗣元 (2005)，観葉植物を使った顕微鏡観察入門—トラデスカンチアの気孔の観察—，遺伝別冊18号p.8
- 4) 岩波洋三，森脇美武，渡辺克己 (1999)「生物実験 Part II」，講談社サイエンティフィックpp.20-21
- 5) 竹内敬人，山極隆，森一夫，他45名 (2006)，「文部科学省検定済教科書 中学校理科用2分野上」，新興出版社啓林館p.38
- 6) 細谷治夫，養老孟司，下野博，福岡敏行，他25名 (2006)，「文部科学省検定済教科書 中学校理科用2分野上」，教育出版p.25
- 7) 戸田盛和，他49名 (2006)，「文部科学省検定済教科書 中学校理科用2分野上」，大日本図書p.31
- 8) 日高敏隆，他28名 (2006)，「文部科学省検定済教科書 中学校理科用2分野上」学校図書p.26
- 9) 三浦登，岡村定矩，他44名 (2006)，「文部科学省検定済教科書 中学校理科用2分野上」，東京書籍p.23
- 10) 島崎研一郎 (2001)，「朝倉植物生理学講座⑤，環境応答」，朝倉書店，pp.40-49