

Avenaを用いた光屈性に関する実験の教材化

ーダーウィン父子の実験を教材として実施するためにー

高桑 純

ダーウィン父子が行ったAvena（マカラスムギ）の光屈性の実験の教材化を行った。この実験は、古くから教科書に取り入れられており、授業で実施できれば、生徒の科学的な思考力を育てるために大変効果的な実験だと考える。そこでこの研究では、これまでこの実験が実施しにくかった原因を解消するために、利用しやすい栽培容器の開発と、できるだけ長さが均一で直立した芽生えを得るための処理方法、屈曲を数値化する方法などに重点をおいて検討し実験を組み立てた。

〔キーワード〕 高等学校理科 生物Ⅰ マカラスムギ ダーウィン父子 光屈性

はじめに

高等学校生物Ⅰにおける「植物の反応と調節」では、多くの教科書においてマカラスムギ（*Avena sativa*）を用いた光屈性の実験が取り上げられている。この実験は、光屈性のしくみを理解する上で非常に優れた教材であるため、過去の学習指導要領における教科書でも必ず紹介されていた。

この実験に最初に取り組んだのは、進化論で有名なチャールズ・ダーウィンとその息子フランシス・ダーウィンであった。彼らは最初、植物の芽生えが光によって曲がることに興味を持ち、カナリヤクサヨシ（*Phalaris canariensis*）と、このマカラスムギを用いて実験を行った。この実験結果から、彼らは、光の照射によってある影響が芽の先端から下部に伝わって屈曲が起こると結論した。^{※1)2)3)}

以上の実験がこれほど有名で、しかも科学的な思考力を育むのに適した教材でありながら、どの教科書においてもこれらの実験を探究活動や課題研究の素材として取り上げることがほとんどないのは、この実験の素材を準備したり、安定した結果を導き出すことに困難が伴うためと思われる。そこで、本研究では、これらの実験を授業の中で取り上げるための準備の方法や実験装置に工夫を加えて、できる限り手軽で

安定した結果を得るための一連の実験方法を検討し、この教材を取り入れた実験の展開例を示す。

A 実験方法に関する検討

この実験を実施するに当たり、いくつかの問題点がある。以下に、それらの問題点を解消するための方法を示す。

1 種子を入手する

マカラスムギは、原産植物のカラスムギ（*Avena fatua* L.）から育成された栽培種で、一般に「エンバク」と呼ばれて栽培されている。^{※4)}種子を販売している業者から入手すれば、系統の明らかな種子が得られるが、学校で使用するには購入しやすいことが重要である。そこでここでは、ペット用品売り場で販売されているイヌやネコの健康食品（「ねこの草の種」 西種商店）を利用した。同様の商品であればほとんどがエンバクの種子を利用している。種子のほぼ半分が浸る程度の水につけ、25℃で24時間後の発芽率は87%であった。

2 簡単な栽培容器を準備する

植物の栽培には鉢が必要であるが、この実験ではできるだけ数多くのデータをとらなければならぬため、できるだけ小さくて、光の照射や屈曲の測定がしやすい容器である必要がある。

ここでは、フロッピーケースを用い、1つのケースで5サンプル栽培できるようにくふうした。

3 幼葉鞘の長さをそろえる

数多くのデータをとるには、長さがそろった幼葉鞘を育てなければならない。実際に種子を発芽させ、適温（25℃）^{※1)4)}で育てるだけでは長さのばらつきが大きく、使えるサンプルがごく一部になってしまう。そこで、25℃で24時間水につけた種子を容器に植え付けてから、冷蔵庫（5℃）で低温処理し、低温処理した時間ごとに、幼葉鞘の長さの平均値（20サンプル）とその標準偏差を求めた。図1はその結果である。

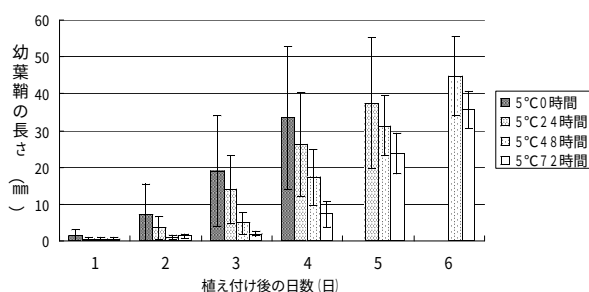


図1 幼葉鞘の長さの平均値とその標準偏差

図1からわかるように、低温処理の時間が短いほど成長が早いですが、長さのばらつきは大きくなっていく。この実験を行うためには、一般に長さ20mm～30mm程度の幼葉鞘を使うが^{※1)2)}、そのためには、植え付け後5日（最初の72時間5℃で低温処理したもの）の幼葉鞘を用いるのが望ましいと思われる。

4 芽生えを直立させる

マカカスムギの種子を暗黒中で成長させると、幼葉鞘の下部に成長してくる中胚軸により、芽生えが直立せず、光屈性の実験に用いにくくなる。^{※4)}中胚軸の成長は赤色光によって抑制することができるので^{※1)2)4)}、上部に赤色のセロハンを貼った窓付きの箱を厚紙で作し、その中に実験に用いる1日前から実験容器を入れて栽培し、できる限り直立した芽生えを育てる工夫をした。

B 実験方法

1 栽培容器の製作

準備

フロッピーケース、インクジェットプリンタ用透明シート、寒天、ピーカー、ガラス棒、インクジェットプリンタ、パソコン、電子レンジ

方法

- (1) 作図ソフトを用いてグラフ用紙を作り、インクジェットプリンタ用透明シートに印刷する。
- (2) 印刷後透明シートを適当な大きさに切り、図2のようにフロッピーケースの蓋の外側に貼り付ける。

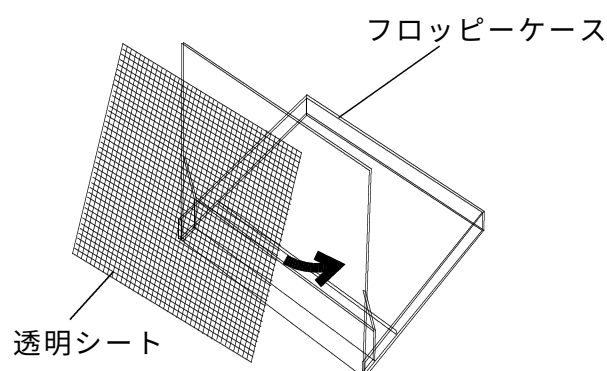


図2 透明シートの貼り付け

- (3) 1%の濃度になるように寒天を水でとき、電子レンジで加熱して、寒天を溶かす。
- (4) 寒天が50℃以下に冷えたら、図3のようにフロッピーケースのポケット状になっている部分に寒天を流し込み、寒天が固まるまで静置する。

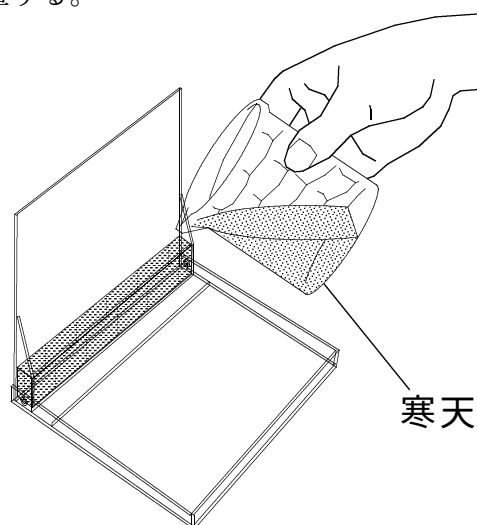


図3 寒天の流し込み

留意点

- (1) 寒天をガスバーナーで加熱して溶かす場合は、焦げ付かないよう湯煎して溶かす。
- (2) 寒天をフロッピーケースに注ぐとき、50℃程度まで冷やしてから行わないと、フロッピーケースの隙間から寒天が漏れてしまう。

2 芽生えの準備

準備

マカラスムギの種子、ペトリ皿、ろ紙、ピンセット、アルミニウムはく、厚紙、セロハン（赤色）、カッターナイフ、定規、のり（またはセロハンテープ）、柄付き針、恒温器

方法

- (1) ペトリ皿にろ紙を敷き、マカラスムギの種子を蒔いて、種子が半分ほど浸る程度に水をかけ、25℃で24時間恒温器に入れて発芽させる。
- (2) 24時間後、種子の穎（籾の部分）をはぎ取り、図4のように胚の部分がやや長くなって白みを帯びた種子を選ぶ。

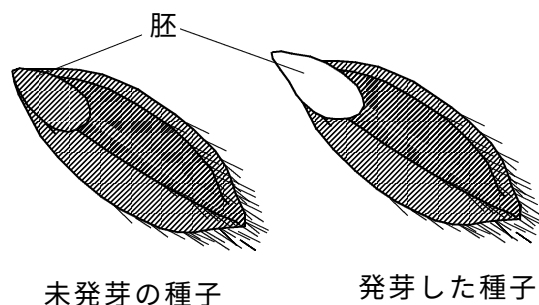


図4 未発芽の種子と発芽した種子

- (3) 栽培容器の寒天に、1cm間隔で5カ所に、図5のように柄付き針を用いて約45°の角度で切れ目を入れ、そこに胚の部分を下にして発芽した種子を植え付ける。

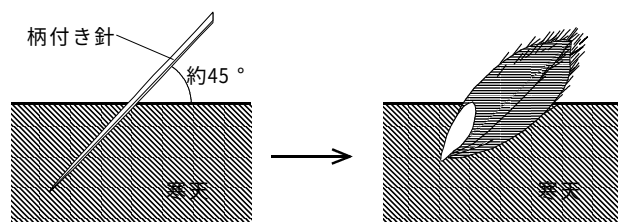


図5 種子の植え付け

- (4) 種子を5個ずつ植え付けた栽培容器を、アルミニウムはくでしっかり包み、約5℃の冷蔵庫に72時間入れる。
- (5) 図6のような箱を作り、栽培容器を入れて、光を当てながら48時間25℃恒温器の中に入れておく。この時箱の横の窓から光が入らないよう、横の窓の部分だけアルミニウムはくなどを用いて遮光しておく。

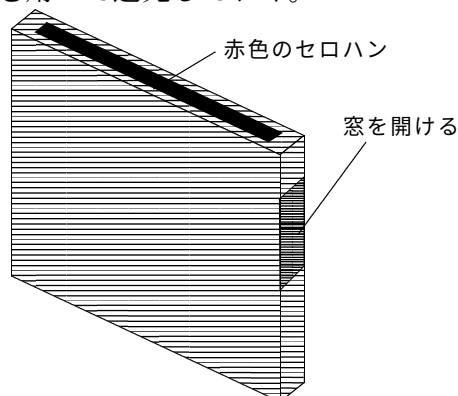


図6 栽培容器を入れる箱

- (6) 図7のように、ほぼ直立した芽生えが5本ずつ得られる。



図7 芽生え

参考

- (1) 寒天に柄付き針で切れ目を入れるのは、発根したときに根が種子を持ち上げるのを防ぐためである。
- (2) 種子を約45°の角度で植え付けると、芽はほぼ鉛直上方に向かって伸びてくる。

3 ダーウィン父子の実験

準備

栽培容器の中で芽生えたマカラスムギ、メス

(またはカッターナイフ)、アルミニウムはく、ラップフィルム、はさみ、サインペン、照明(白色光)

方 法

- (1) マカラスムギの芽生えが育っている栽培容器を5個準備する。
- (2) 図8のように、実験開始時点での芽生えの先端の位置を、サインペンで栽培容器のグラフ上にマークする。

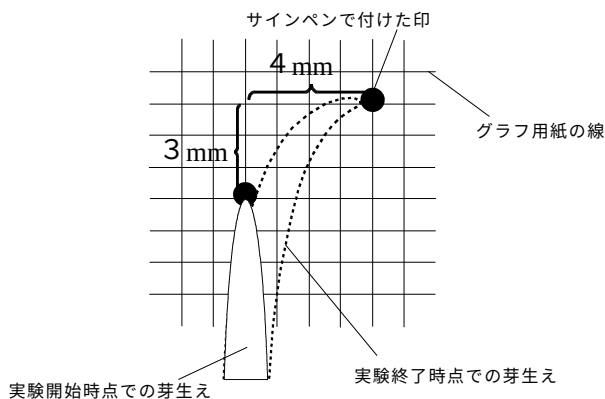


図8 芽生えの先端の記録方法

- (3) 各栽培容器を図6のような箱に入れ、A～Eの記号をつける。この時、上のセロハンの部分は、アルミニウムはくなどで遮光しておく。
- (4) Aはコントロールとして、箱全体を遮光する。B～Eは箱の横の窓を開けておく。
- (5) Cでは、各芽生えの先端を5mm切り取る。
- (6) Dでは、各芽生えの先端から5mmまでの部分に、アルミニウムはくで作った筒をかぶせる。
- (7) Eでは、各芽生えの先端から5mmまでの部分を、ラップフィルムで作った筒をかぶせる。
- (8) A～Eの実験装置を立てたまま、横から白色光を当て、図8のように12時間後の先端の位置を書き込む。
- (9) それぞれの実験装置において、すべての芽生えのY軸方向の生長量(図8の場合3mm)とX軸方向の生長量(図8の場合4mm)をそれぞれ合計し、Y軸方向の生長量の合計でX軸方向の生長量の合計を割った値を屈曲率と

定義して、各条件での屈曲率を求める。この場合、X軸方向の生長量は、光が当たっている方向を正(+)とすると、屈曲率が正の場合は正の光屈性を示したことになる。

- (10) 各条件での屈曲率の違いを比較する。

留意点

- (1) 使用する照明の明るさは特に強い光である必要はないが、光を照射している時間が長くなると、内部の幼葉が成長して、先端を切り取ったCの芽生えでも正の光屈性が現れてくる場合があるので、12時間以内に結果を調べるようにする。
- (2) 重力屈性の影響を避けるために、実験中は栽培容器を傾けたり倒したりしないように注意する。

考 察

B～Eの各栽培容器の屈曲率をAの結果と比較して分析する。理論的には先端を切り取ったCと先端に光が当たらないDでは屈曲率が低いが、先端に光が当たっているBとEでは屈曲率が高くなる。この結果からどのようなことがわかるか生徒に考えさせる。また、それぞれの実験は何を調べるために行っているのかを理解させることが需要である。

参 考

Cで先端を切り取る場合、すでに分泌され下部に移動している成長ホルモンの影響がわずかに現れることがある。

参考文献

- 1) 細野英夫 生物教育についての一考察 ―歴史的事例の取り入れについて(その3)― 生物教育 14巻9号 pp9-15 日本生物教育学会 1974
- 2) 砂川徹・山田卓三 ダーウィンの実験(1) 芽生えの先端の切断 遺伝 42巻4号 pp89-90 裳華房 1988
- 3) 砂川徹・山田卓三 ダーウィンの実験(2) 芽生えの先端をキャップで覆う 遺伝 42巻5号 pp64-65 裳華房 1988
- 4) 増田芳雄 オートムギ(アベナ) 遺伝 50巻12号 pp63-64 裳華房 1996

(たかくわ まこと 生物研究室長)