

## カキの発芽 一胚の成長と胚乳の利用一

愛光中学校 第3学年 佐藤華子  
指導教諭 佐藤 晃

### 1 はじめに

中学1年生の理科の授業で有胚乳種子と無胚乳種子について学習した。有胚乳種子は、発芽後に植物体になる胚と、胚が成長するために使われる栄養が蓄えられた胚乳が種子内に存在する。対して無胚乳種子は、種子内に胚乳は存在せず、胚が成長するために使われる栄養は子葉に蓄えられている。裸子植物の中から、被子植物が進化してきたということから、「有胚乳種子をつくる植物の一部が無胚乳種子をつくるようになった」と考えられる。そこで、無胚乳種子への進化の過程として、次のような仮説を立てた。

仮説：子葉が成長せず、胚乳が種子内に残った状態で活動を休止し種子になったものが有胚乳種子であり、種子内で子葉が成長し、胚乳が無くなった状態で活動を休止し種子になったものが無胚乳種子である。

この仮説を検証するために、下の2点について調べた。

- ① 有胚乳種子内での胚の成長…予想：種子内部で子葉が成長したあと、胚軸が伸びて発根する。
- ② 胚乳の変化…予想：胚の成長と共に胚乳中のデンプンが分解・消費され、胚乳が減少する。

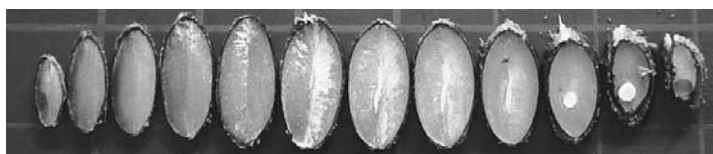
### 2 方法

- (1) 次郎柿から種子を集め、春化处理も兼ねて冷蔵庫に保管しておいた。
- (2) 一般的な種子の発芽条件は、適温・酸素・水を与えられることなので、脱脂綿に水を含ませ種子を挟んで苗床とした。
- (3) 1日ごとに一つの苗床を取り出し、内部のすべての種子について
  - ① 種子を観察し、写真を撮る。
  - ② 種子を切断し、内部観察後に写真を撮る。

予備実験…種子内の胚と胚乳についていくつか疑問があったので、次郎柿の種子を解剖した。

疑問1 胚は種子内にどのように入っているのか

種子を約1mm間隔で包丁を使って切断し、種子の連続横断層面を観察した。

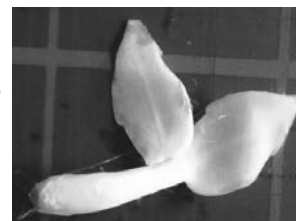
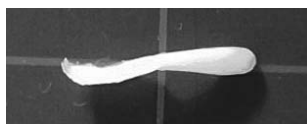


- ・子葉は非常に薄く、断面中の存在は気付きづらい。
- ・胚軸は丸い棒状で、断面中でも分かりやすい。

★結論：胚は葉や茎と同じ形状で種子内に入っている。ミニチュアの植物体のようにある。

疑問2 胚と胚乳は接着しているのか

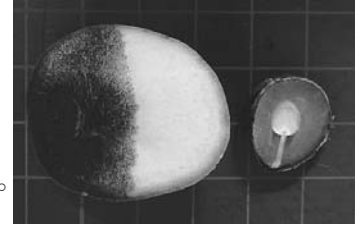
縦切断した種子内の胚をつまようじで取り出してみた。



★結論：胚と胚乳は接着していないが、胚乳から胚を簡単にはぎ取ることはできない。

- ③ ヨウ素液をかけて、ヨウ素デンプン反応を調べ、写真を撮る。

予備実験…種子の切断面にヨウ素液をかけて、ヨウ素デンプン反応を観察したが、カキの種子断面はいくら待っても黄色いヨウ素液の色のままで、青紫色には変色しなかった。



その理由として、下の二つの仮説を立て、検証してみた。

仮説①：うがい葉ではヨウ素量が少なく反応しない。

仮説②：カキの胚や胚乳にはデンプンではなく他の物質で栄養分が蓄えられている。

仮説の検証…ジャガイモとカキの種子を切断し、両方にうがい葉をかけた。

その結果、『仮説①は間違いで、仮説②が正しい』と一度は結論付けたが、カキの種子を水洗いしティッシュでその水分を拭き取ったところ、ティッシュが青紫色になっていた。このことから、カキの胚乳は非常に硬く、表面の薄い層だけでヨウ素デンプン反応が起こり、見た目では判断できないくらいの弱い変色があったのではないのかと考えた。そこで、表面のヨウ素デンプン反応を他のものに写し取る方法を考えた。

方法：種子切断面にうがい葉をかけた後、1分待ってうがい葉を水で洗い流し、種皮に付着した水分をふき取って書道の半紙にスタンプする。以後、この方法を『スタンプ法』と呼ぶ。



- ④ 種子内から胚を取り出し、大きさを測定し写真を撮る。

測定にはノギスを使用し、

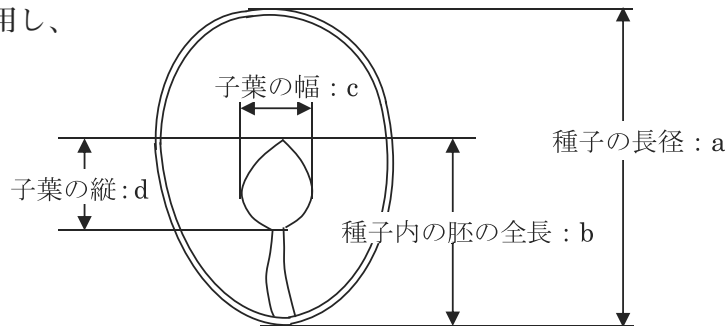
種子の長径：a

胚の全長：b

子葉の幅：c

子葉の縦：d

の4か所を計測した。



- 種子や胚の大きさにバラつきがあったため、胚の大きさを種子の長径に対する比率で示した。

$$\text{種子内の胚の大きさ} = \text{種子中の胚の全長} \div \text{種子の長径} = b \div a$$

- 子葉の大きさにもバラつきがあったため、子葉の大きさを表すために下の3種類の比率を求めた。

$$\text{胚に占める子葉の縦の大きさ} = \text{子葉の縦} \div \text{種子中の胚の全長} = d \div b$$

$$\text{子葉の幅の広さ} = \text{子葉の幅} \div \text{種子中の胚の全長} = c \div b$$

$$\text{子葉の形} = \text{子葉の幅} \div \text{子葉の縦} = c \div d$$

- 胚軸の長さも種子の長径に対する比率で示すことにした。

$$\text{胚軸の長さ} = (\text{種子中の胚の全長} - \text{子葉の縦}) \div \text{種子の長径} = (b - d) \div a$$

★ 胚を取り出してみでの感想

胚は茹でた葉物野菜のようにとっても柔らかく、ふにゃふにゃしているのかと思っていたが、割としっかりしていて皮をむいたタケノコの先のような感じだった。匂いも似ており、表面はネバネバしていた。子葉はととても薄いのに対し、胚軸は子葉に比べるとしっかりしていて太かった。いくつかの種子を切断してみて、胚や胚軸は真っ直ぐなものだけでなく、たまに軽く曲がっている（湾曲している）ものがあった。その場合、子葉を取り出すために胚乳を取り除かなければならず、胚乳が思っている以上に固く、胚を傷めずに胚乳を取り除くのは大変だった。

### 3 結果

#### (1) 胚の成長と発芽の関係

◎ 種子内の胚の大きさ = 種子内の胚の全長  $b$  ÷ 種子の長径  $a$  (%) より、胚の大きさが種子長径のどれくらいを占めるかを調べると、それぞれの日の平均値の分布において、実験前半で65%未満…14日中9日、実験後半で65%未満…14日中3日であった。

また発根についても、胚の大きさが先程の値である種子長径の65%を占めるかどうかを調べると、65%未満で発根…36個中2個(12日目と24日目)、65%以上で発根…53個中8個で65%以上の胚は89個中53個(60%)、発根種子のうち65%以上の胚は10個中8個(80%)であった。

★ 結論：65%以上の大きさの胚の出現頻度より発根頻度の方が高くなっているため、胚がある程度成長すれば発根すると考えられる。

◎ 胚に占める子葉の縦の大きさ = 子葉の縦の長さ  $d$  ÷ 種子中の胚の全長  $b$  (%) より、子葉の縦の長さが胚全長のどれくらいを占めるのかを調べると、それぞれの日の平均値の分布において、実験前半で50%未満…14日中5日、実験後半で50%未満…14日中13日であった。

★ 結論：日数経過に連れ胚に占める子葉の縦の大きさが小さくなる。子葉の縦長より、胚軸の長さの方が長く成長したからだ。それを確認するために、胚軸の長さの変化を調べた。

◎ 胚軸の長さ = (種子中の胚の全長  $b$  - 子葉の縦  $d$ ) ÷ 種子の長径  $a$  (%) より、胚軸の長さが種子の長径のどれくらいを占めるのかを調べると、それぞれの日の平均値の分布において、実験前半で35%未満…14日中11日、実験後半で35%未満…14日中3日であった。

★ 結論：日数が経過すると胚軸が長くなった。発根するためには、胚軸の成長が必要なのだろう。

◎ 子葉の幅の広さ = 子葉の幅  $c$  ÷ 種子中の胚の全長  $b$ 、子葉の形 = 子葉の幅  $c$  ÷ 子葉の縦  $d$

★ 結論：発根との関係が見られなかった。

まとめ…発根のために胚軸は成長するが、子葉はあまり成長しない。

#### (2) 日数経過と胚乳中のデンプンの変化をスタンプ法で調べた結果

7日目…スタンプ法で種子断面を処理したところ、胚の周辺部が濃い紫色になった。

13日目…消滅しかけの胚が濃い紫色になった。胚が柔らかくなり、ヨウ素液が胚内部まで侵入しやすかったためだと思う。

16日目…この頃から、スタンプしたとき胚の周りの紫色の発色が薄くなってきた。胚周辺のデンプンが分解されて胚に利用されているのではないかと思う。

22日目…スタンプ法を行うために、種子断面にヨウ素液を垂らしたら、胚がヨウ素液に浮いて流れた。胚周辺の胚乳が消費され、周囲にすき間ができたためだと考えられる。

まとめ…胚の成長には、胚の周囲にあるデンプンが利用されている。

#### (3) 28日間の観察中、発芽に至るような成長は無く、長い根を持つ種子内の胚では胚が消滅していた。原因として、下の3点が考えられる。

① 実験を夏休み期間中(8月)に実施したため、温度が高すぎた。

② 実験途中から苗床にカビが繁殖してしまった。

③ 苗床を水道水に浸したため、栄養分が不足し成長できなかった。

①のカキの発芽時期について調べると、種時に適した時期は10月～3月頃で、4月頃に発芽するようだ。今回は、冷蔵庫で春化処理をしたが、発芽温度については4月頃の土中温度より高すぎた。また、高温で発芽しやすいとの記載はあったが高温すぎたのは

否めない。更に、実験後半でもあまり変化していなかった種子は、冷蔵庫内から夏の室温へという急激な温度変化に対応できず、今年の発芽を諦めたのかもしれない。実際に、カキでは蒔いた翌年以降に発芽するものがあるらしい。

②のカビは予想しており、苗床を浸している水を替えていたが防ぐことはできなかった。胚を取り出すときに何度も手で触ったが、柔らかくネバネバしており、分解者であるカビにとって発根・発芽して間もない植物は栄養源として利用しやすいと感じた。対して種皮は非常に硬く、発根していない種子に見た目の変化が現れなかったのは、種皮による保護の役割が大きいと思う。また、カビの一種では抗生物質による片害作用が知られているし、植物の中には自己の生存に有利なように化学物質を使って周囲の植物の生育を阻害する種類もあるので、その可能性も否定できない。

③は胚の成長と胚乳利用の解明が目的だったため加えなかったが、発根後の成長には影響があったと思う。胚乳のデンプンは、呼吸や植物体の体内成分に利用されるが、成長に関係するタンパク質を作るためには、外部からその材料を与える必要があり、一般に肥料と言われている。化学肥料には窒素とリンとカリウムが高濃度で含まれているが、その中の窒素がタンパク質合成に欠かせない材料だ。タンパク質は酵素の主成分であり、物質の分解や合成のために働いていることを考えると、胚乳だけでは発根することはできても、それ以降の成長はできないのかもしれない。

★ これらより、長い根を持つ種子内の胚が消滅した原因について考えてみた。

種子は発芽の条件が満たされたことにより、種子内部で胚が成長する。その後、種子を保護している固い種皮の一部（胚軸が伸びていく側）が柔らかくなり発根する。土中であれば、発根することで種子の外側にある栄養分が胚に吸収され、成長に必要な物質が合成されるのだが、今回の実験では水しか与えていないため、胚は十分な成長を行うことができなかった。そればかりか、種子の外側に生息していたカビや細菌が、発根により種皮外に出た根を伝わって種子内に入り込み柔らかい胚を分解したため、根が長く伸びている種子で種子内の胚が無くなったのではないだろうか。

#### 4 まとめ

今回の実験より、『子葉が成長せず、胚乳が種子内に残った状態で活動を休止し種子になったものが有胚乳種子であり、種子内で子葉が成長し、胚乳が無くなった状態で活動を休止し種子になったものが無胚乳種子である。』という私の仮説は間違っていることが分かった。カキの種子では子葉の成長より、胚軸の成長が早かったからである。これより、発根までは種子内にある胚乳の栄養分を使って効率よく胚軸が成長し、発根後は胚乳に残された栄養分と外部から根が取り込んだ栄養分を利用して発芽するのではないかと予想できる。また、胚乳の変化をスタンプ法で観察した結果から、胚乳のデンプンは胚周辺から分解され、利用されているのではないと思われる。

#### 5 反省点

今回の実験では、たくさんの種子を使って時間経過による種子内部の変化を観察した。その結果、種子の個体差による影響があったのは間違いない。胚を傷めず、胚が見えるように切断した種子を用いて、胚の成長を追跡する方法を同時にやればよかったと思う。

#### 6 参考文献

- ・ フーズリンク 旬の果物百科
- ・ NHK出版 みんなの趣味の園芸
- ・ 柿を種から育てるとどんな実になる？ [www.pref.nara.jp](http://www.pref.nara.jp)
- ・ 柿（カキ）の木の育て方！種まきや苗木の栽培、収穫や保存方法は？ [horti.jp](http://horti.jp)
- ・ 肥料の三要素とその役割 [www.denningfourcade.com](http://www.denningfourcade.com)
- ・ 浜島書店 最新 理科便覧
- ・ 実教出版 サイエンスビュー 生物総合資料