

## 体細胞分裂が観察できる生物教材の研究

— 根端の分裂組織を用いて —

遠 藤 寿 紀

山形県尾花沢市立常盤中学校

鈴 木 隆

地域教育文化学部 地域教育学科

加 藤 良 一

地域教育文化学部 生活総合学科

(平成18年9月22日受理)

### 要 旨

体細胞分裂が観察できる根端の分裂組織として、タマネギ（鱗茎）から発根させた根以外に、ヒマワリの種子から発根した主根がそれに適していることが分かった。そして、午後の3時に種子からその根を切り取り、固定液に入れておくことで、体細胞分裂している細胞が最も数多く観察できた。4月から5月に新タマネギではないタマネギ（鱗茎）を入手し、それを常温で1週間程度保存した後、表面の茶色の外皮を除いて、発根する箇所が常に水に浸っているようにして暗下条件にすると、発根率が最も高くなることが分かった。そして、発根したこの根を体細胞分裂の材料とする場合は、午前9時にタマネギ（鱗茎）からこの根を切り取り、固定液に入れておくことで、体細胞分裂している細胞が最も数多く確認できた。

### I はじめに

細胞分裂には、減数分裂と体細胞分裂があり、減数分裂を生物教材とした研究には、ユリ科の多年草であるツルボの花粉母細胞を観察した例<sup>1)</sup>、アロエ科の属間F1雑種の花粉母細胞を観察した例<sup>2)</sup>、及び根深ネギの花蕾（ネギボウズ）の花粉形成時を観察した例<sup>3)</sup>などがある。実際に減数分裂を教える中学校の教育現場では、観察や実験は行わず、図、スライド及びビデオを用いて教授することが多い。一方、体細胞分裂を教材とした報告は、容易に入手可能な21科58属81種の植物の根端の分裂組織を観察した例<sup>4)</sup>、ミカヅキモの細胞分裂を教材化した例<sup>5)</sup>、ヒガンバナ科キズイセン他4種の植物の根端の分裂組織を観察した例<sup>6)</sup>、及びソラマメの側根の根端の分裂組織を観察した例<sup>7)</sup>などがある。体細胞分裂を取り上げる中学校の現場では、3年次の6月上旬ごろ（1分野と2分野を並行して進めた場合）に、タマネギ（鱗茎）から発根させた根の根端の分裂組織を材料にして、光学顕微

鏡で観察させている<sup>8),9),10),11),12)</sup>。この時の問題点としては、タマネギの発根には時間がかかり、5月上旬～下旬にかけてそれを準備する必要がある。しかも、生徒数を考慮して、数多く発根させなければならない。また、高等学校及び大学での生物教育でも、タマネギ（鱗茎）から発根させた根を材料にして体細胞分裂を観察する例が多く、同じ問題が生じている。

そこで本研究では、体細胞分裂が観察できる生物教材の研究として、(1)タマネギ（鱗茎）から発根させた根以外に、適応可能な他の材料を見つけ出すこと。(2)タマネギ（鱗茎）から発根させた根を材料とする場合に、その最適な発根条件、発根させる時期、及び根の最適な採取時間などを調べた。

## Ⅱ 研究方法

### 1. 材料

①キュウリ（商品名「節成夢みどり」、株式会社トーホク、発芽率90%以上）、②インゲンマメ（商品名「つるなしいんげん豆」、株式会社アタリヤ農園、発芽率85%以上）、③エダマメ（商品名「幸福えだまめ」、株式会社トーホク、発芽率80%以上）、④ラディッシュ（商品名「赤丸二十日」、株式会社トーホク、発芽率80%以上）、⑤ブロッコリー（商品名「ブロッコリースプラウト」、株式会社アタリヤ農園、発芽率80%以上）、⑥ホウセンカ（商品名「八重椿咲・混合」、カネコ種苗株式会社、発芽率70%以上）、⑦トマト（商品名「トマト甘太郎」、株式会社トーホク、発芽率85%以上）、⑧ニンジン（商品名「鮮紅一尺人参」、株式会社トーホク、発芽率70%以上）、⑨インパチェンス（一代交配種、株式会社アタリヤ農園、発芽率80%以上）、⑩ネギ（商品名「一本太葱」、株式会社アタリヤ農園、発芽率80%以上）及び⑪ヒマワリ（商品名「大輪ひまわり」、株式会社トーホク、発芽率75%以上）の合計11種類の種子は、平成18年5月7日に購入した。⑫タマネギ（商品名「赤玉葱」及び「玉ゆたか」、株式会社アタリヤ農園、発芽率75%以上）は、平成18年7月18日に購入した。

タマネギ（鱗茎）は、新タマネギでないものを、平成18年5月8日及び同年5月22日に山形市内の青果店より購入した。新タマネギ（鱗茎）は、同年7月20日及び同年9月4日に山形市内の青果店より購入した。

### 2. 発根

#### (1)上記①～⑫の種子

ガラス製のペトリ皿（直径：95mm、高さ：20mm）に、リード・クッキングペーパー（50mm×65mm、株式会社ライオン）を2枚重ねて敷き、その中に水道水を約10ml入れて、そのクッキングペーパーを湿らせた。次に、上記①～⑪の種子を、そのクッキングペーパー上にそれらがお互いに重ならないように等間隔に置き、ペトリ皿に蓋をして、室温（約26℃）で遮光して保った。そして、毎日失われた量の水を加え、それらを発根させた。そして、その根を切り取り、固定液（エタノール：酢酸＝3：1）に入れた。なお、根が極端に細かったり短かったりした材料（上記の⑧、⑨、⑩、⑫種子）では、その後の処理中に根を見失う恐れがあるので、根を種子から切り離さずにそのまま処理した。

#### (2)上記⑪のヒマワリの種子

2つのコンテナ（400mm×230mm×53mm）の中に上記のリード・クッキングペーパーを

2枚重ねてそれぞれ敷き、水道水を約80mlずつ入れて、そのクッキングペーパーを湿らした。1つのコンテナ当たり73個のヒマワリの種子（上記①）を、そのクッキングペーパー上にそれらがお互いに重ならないようにおおよそ等間隔に置き（図1）、そのコンテナにアルミ箔を覆い被せて遮光した。そして、毎日失われた量の水を加え、室温（約26℃）で保った。なお、種子を蒔いたのは、平成18年5月15日10時30分であった。



図1 ヒマワリの種子の播種  
コンテナ(400×230×53mm)の中に、リード・クッキングペーパーを2枚重ねて敷き、水道水を約80mlずつ入れて、そのペーパーを湿らした後、1つのコンテナ当たり73個のヒマワリの種子を、ペーパー上にそれらがお互いに重ならないように置いた。

播種後2日目にそれらの種子を取り出し、①主根が根毛の部分から15mm以上に伸びた種子、②主根が根毛の部分から9mm～11mmに伸びた種子（図2）、③主根が根毛の部分から5mm以下に伸びた種子及び④全く発根しなかった種子の4種類に分けた。そして、その当日の9時、11時、13時、15時、17時及び19時に、前記②主根が根毛の部分から9mm～11mmに伸びた種子のみから、根毛の部分で主根を切り、その先端の根を各時間に5本ずつ上記の固定液に入れた。

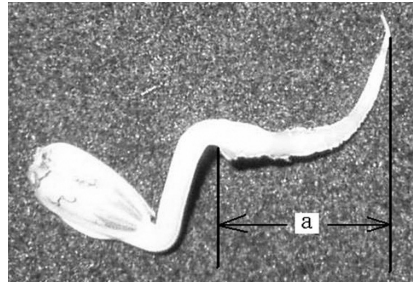


図2 ヒマワリの主根から切り取る部分  
根の先端から根元の毛根の生え際までの部分(a)を切り取った。

### (3)タマネギ（鱗茎）

平成18年5月22日に購入したタマネギ20個は室温（約26℃）に、同じタマネギ25個は低温（約5℃）に、それぞれ1週間置いた。次に、それらのタマネギで、乾燥した古い根を根元からハサミで切り落とし、その部分を指の腹で擦りながら水道水で良く洗浄した。100ml（下記の⑨以外）のビーカーに水道水を十分に入れ、発根する箇所が常に水に浸っているように、それらのタマネギをそのビーカーの上部に乗せた。室温に置いていた20個のタマネギは、①表面の茶色に変色している外皮を除かないで明下条件のもの、②茶色の外皮を除いて明下条件のもの、③茶色の外皮を除かないで暗下条件のもの及び④茶色の外皮を除いて暗下条件のものに、それぞれ5個ずつ分けた。低温に置いていたタマネギの20個は、⑤茶色の外皮を除かないで明下条件のもの、⑥茶色の外皮を除いて明下条件のもの、⑦茶色の外皮を除かないで暗下条件のもの及び⑧茶色の外皮を除いて暗下条件のものに、それぞれ5個ずつ分けた。低温に置いていたタマネギの残り5個は、⑨茶色の外皮を除き、ビーカー（300ml）内の水道水に茶色の外皮8gを浸したものに入れた。①、②、⑤、⑥及び⑨は明下条件として、16時間照明（約850ルクス）／8時間消灯とした。一方、③、④、⑦及び⑧は暗下条件として、ダンボール箱（300mm×480mm×300mm）の中に入れた。そして、①～⑨の全ては、25℃に設定してある恒温培養室内に置いた。なお、ビーカー内の水道水の交換は、⑨以外は毎日1回行った。発根数のカウントは発根実験開始の翌日から4日間行い、毎日のカウント時間は午前10時～11時の間とした。

平成18年7月20日及び同年9月4日に購入したタマネギ各5個を、それぞれ直ぐに室温（約23℃）に1週間置き、古い根を根元からハサミで切り落とし、その部分を水道水で良く洗浄した。100mlのビーカーに水道水を入れ、発根する箇所が水に浸っているように、タマネギをそのビーカーの上部に乗せた。そして、それらを前記④の条件で発根させた。なお、ビーカー内の水道水は毎日1回交換した。発根数のカウントは発根実験開始の翌日から4日間行い、毎日のカウント時間は午前10時～11時の間とした。

平成18年5月8日に購入した4個のタマネギを室温（約26℃）に1週間以上置き、古い根を根元からハサミで切り落とし、その部分を水道水で良く洗浄した。100mlのビーカーに水道水を入れ、発根する箇所が水に浸っているように、タマネギをそのビーカーの上部に乗せた。そして、それらを前記④の条件で発根させた。なお、ビーカー内の水道水は毎日1回交換した。発根処理開始から3日後（平成18年5月25日）の9時、11時、13時、15時、17時及び19時に、発根率の良かったタマネギ2個から、長く伸びた同じ長さ（約20mm）の根を3本ずつ切り取り、上記の固定液に入れた。

### 3. プレパラートの作製

根を固定液から出し、その先端を約10mm切り取った。次に、それらを1 N塩酸（10ml用ビーカーに2 mlの1 N塩酸）に入れ、約45℃で1分間、湯煎した後、根を取り出し、蒸留水で洗った。そして、その根1本をスライドガラス上に置き、先端から3 mmを剃刀で切り離し、基部の残った部分は除いた。その先端3 mmの根を柄付き針で丁寧に解した。次に、酢酸オルセイン液を1滴加え10分間放置した後に、カバーガラスを被せて、ろ紙で上から強く押し付けた。

### 4. 体細胞分裂の観察

作製したプレパラートを、光学顕微鏡（OLYMPUS BK41）を用いて、400倍で観察した。上記①～⑫の材料の根及びタマネギ（鱗茎）の根において、体細胞分裂中の細胞の大きさ、見やすさ及び分裂細胞の探しやすさを比較した。また、上記⑪のヒマワリ及びタマネギ（鱗茎）の材料では、1本の根において、体細胞分裂中の中期から終期Iまでの細胞数を、9時、11時、13時、15時、17時及び19時の時間ごとに数えた。

### Ⅲ 結 果

#### 1. 各種植物の比較

##### (1) キュウリ

播種後2日で発根し、発根率は100%、根の太さ(直径)は約2mm、長さは10~20mmであった(図3)。根を固定するときや塩酸処理するときには、その根は太くて長いので扱いやすかった。プレパラートを作製するときには、根は崩れやすく細胞がバラバラになりやすかったが、酢酸オルセインで染色されにくかった。根の細胞の大きさは $40\mu\text{m} \times 25\mu\text{m}$ で、体細胞分裂中の細胞を探しやすいが、その分裂している細胞数はかなり少なかった(図16)。

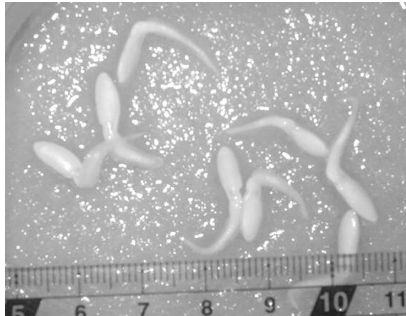


図3 キュウリの種子の発根

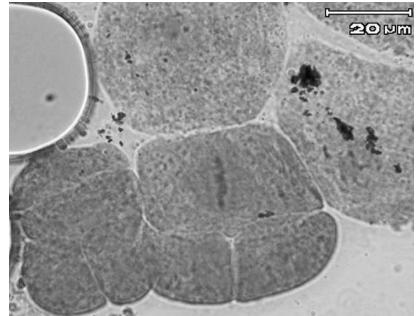


図16 キュウリの体細胞分裂中の細胞

##### (2) インゲンマメ

播種後2日で発根し、発根率は86%、根の太さ(直径)は約2mm、長さは15~20mmであった(図4)。根を固定するときや塩酸処理するときには、その根は太くて長いので扱いやすかった。プレパラートを作製するときには、根は崩れやすく細胞がバラバラになり、酢酸オルセインで染色しやすかった。根の細胞の大きさは $17\mu\text{m} \times 15\mu\text{m}$ で、体細胞分裂中の細胞を探しやすいが、その分裂している細胞数はかなり少なかった(図17)。

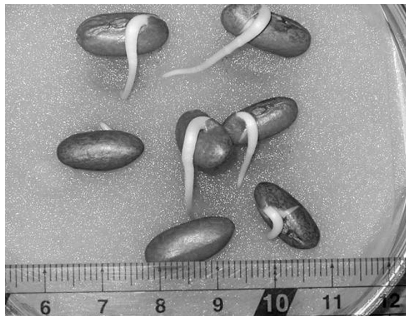


図4 インゲンマメの種子の発根

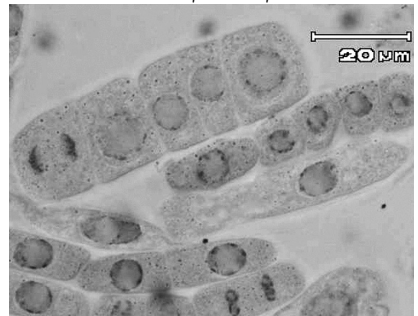


図17 インゲンマメの体細胞分裂中の細胞

##### (3) エダマメ

播種後2日で発根し、発根率は89%、根の太さ(直径)は約2mm、長さは10~20mmであった(図5)。根を固定するときや塩酸処理するときには、その根は太いので扱いやすかった。プレパラートを作製するときには、根は崩れやすく細胞がバラバラになり、酢酸オルセインで染色しやすかった。根の細胞の大きさは $17\mu\text{m} \times 15\mu\text{m}$ で、体細胞分裂中

の細胞を探しやすいが、その分裂している細胞数はかなり少なかった(図18)。

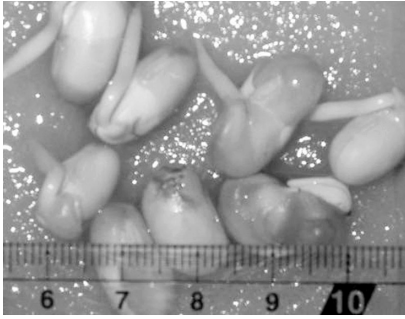


図5 エダマメの種子の発根

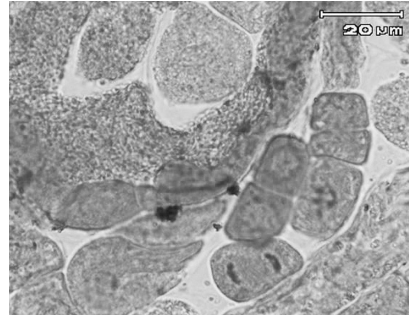


図18 エダマメの体細胞分裂中の細胞

#### (4)ラディッシュ

播種後2日で発根し、発根率は90%、根の太さ(直径)は約1mm、長さは10~15mmであった(図6)。根を固定するときは、根が細く扱いにくかった。塩酸処理は種子ごとに行ったが、根が種子から分離し、その根が溶けてしまうことが多くあった。プレパラートを作製するときには、根は崩れやすく細胞がバラバラになり、酢酸オルセインで染色しやすかった。根の細胞の大きさは $17\mu\text{m} \times 15\mu\text{m}$ で、体細胞分裂中の細胞を探しやすいが、その分裂している細胞数はかなり少なかった(図19)。

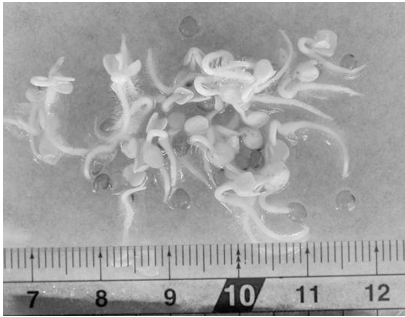


図6 ラディッシュの種子の発根

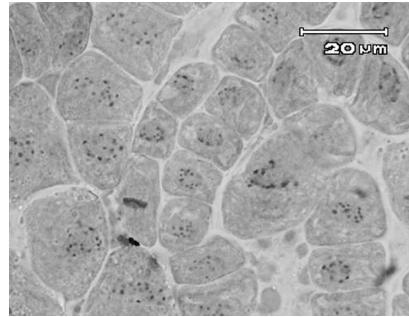


図19 ラディッシュの体細胞分裂中の細胞

#### (5)ブロッコリー

播種後2日で発根し、発根率は80%、根の太さ(直径)は0.8mm、長さは10~15mmであった(図7)。

根を固定するときは、根が細く扱いにくかった。塩酸処理は種子ごとに行ったが、根が種子から分離し、

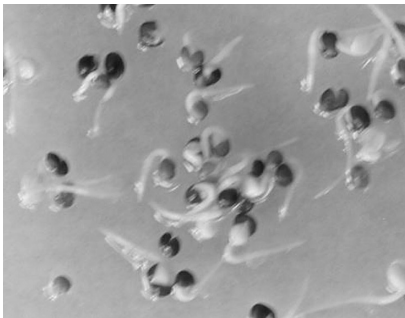


図7 ブロッコリーの種子の発根

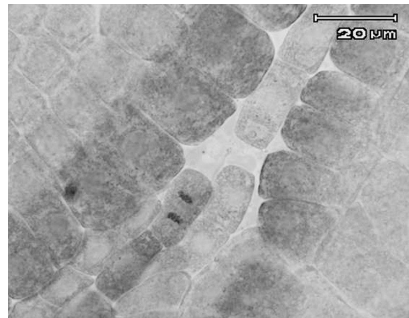


図20 ブロッコリーの体細胞分裂中の細胞

その根を見失うことがあった。プレパラートを作製するときには、根は大変崩れやすく細胞がバラバラになり、酢酸オルセインで染色しやすかった。根の細胞の大きさは $20\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$ で細長く、体細胞分裂中の細胞は探しにくく、その分裂している細胞数はかなり少なかった(図20)。

#### (6)ホウセンカ

播種後3日で発根し、発根率は100%、根の太さ(直径)は約1mm、長さは5~10mmであった(図8)。根を固定するときには、根が短く扱いにくいことがあった。塩酸処理は種子ごと行っても、種子と根が分離することはなかった。プレパラートを作製するときには、根は大変崩れやすく細胞がバラバラになり、酢酸オルセインで染色しやすかった。根の細胞の大きさは $17\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ で、体細胞分裂中の細胞は探しにくく、その分裂している細胞数は少なかった(図21)。

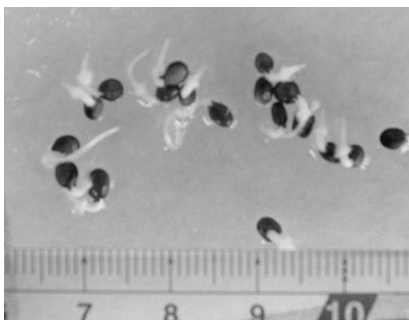


図8 ホウセンカの種子の発根

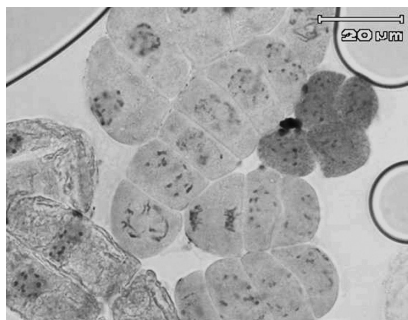


図21 ホウセンカの体細胞分裂中の細胞

#### (7)トマト

播種後3日で発根し、実験での発根率は85%、根の太さ(直径)は約0.5mm、長さは10~15mmであった(図9)。根を固定するときには、根が細く扱いにくかった。塩酸処理は種子ごと行ったが、根がすぐに種子から分離し、その根を見失うことがあった。プレパラートを作製するときには、根は大変崩れやすく細胞がバラバラになり、酢酸オルセインで染色しやすかった。根の細胞の大きさは $20\mu\text{m} \times 17\mu\text{m}$ で、体細胞分裂中の細胞は探しやすいが、その分裂している細胞数は少なかった(図22)。

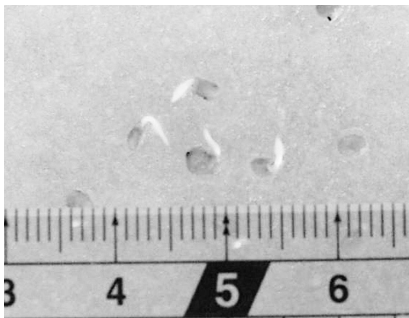


図9 トマトの種子の発根

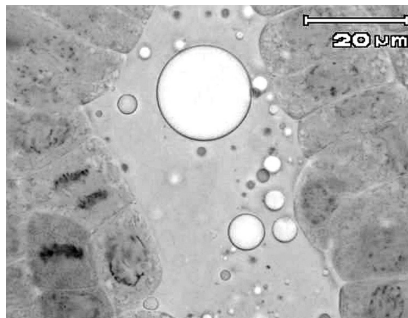


図22 トマトの体細胞分裂中の細胞

## (8)ニンジン

播種後4日で発根し、発根率は88%、根の太さ(直径)は約0.3mm、長さは4~10mmであった(図10)。根を固定するときは、根が細く短いので扱いにくいことがあった。塩酸処理は種子ごと行っても、種子と根が分離することはなかった。プレパラートを作製するときには、根は大変崩れやすく細胞がバラバラになり、酢酸オルセインで染色しやすかった。根の細胞の大きさは $15\mu\text{m} \times 7\mu\text{m}$ で、体細胞分裂中の細胞は探しにくく、その分裂している細胞数は少なかった(図23)。

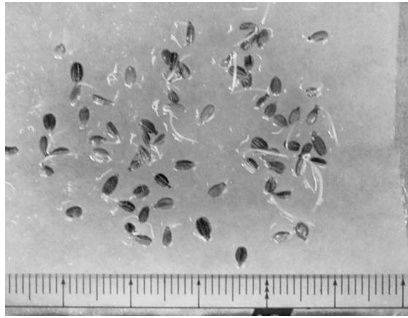


図10 ニンジンの種子の発根

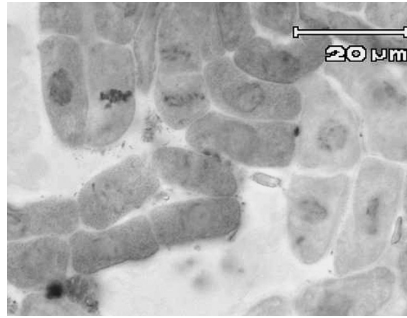


図23 ニンジンの体細胞分裂中の細胞

## (9)インパチェンス

播種後7日で発根し、発根率は80%、根の太さ(直径)は約0.3mm、長さは2~3mmであった(図11)。根を固定するときは、根が細く短いので扱いにくいことがあった。塩酸処理は種子ごと行っても、種子と根が分離することはなかった。プレパラートを作製するときには、根は大変崩れやすく細胞がバラバラになり、酢酸オルセインで染色しやすかった。根の細胞の大きさは $20\mu\text{m} \times 15\mu\text{m}$ で、体細胞分裂中の細胞は探しやすく、その分裂している細胞数は多かった(図24)。

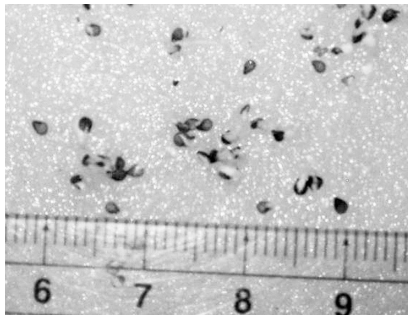


図11 インパチェンスの種子の発根

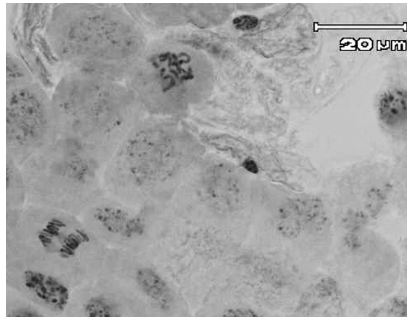


図24 インパチェンスの体細胞分裂中の細胞

## (10)ネギ

播種後2日で発根し、発根率は80%、根の太さ(直径)は約0.3mm、長さは3~4mmであった(図12)。根を固定するときは、根が細く短いので扱いにくいことがあった。塩酸処理は種子ごと行っても、種子と根が分離することはなかった。プレパラートを作製するときには、根は大変崩れやすく細胞がバラバラになり、酢酸オルセインで染色しやすかった。根の細胞の大きさは $20\mu\text{m} \times 15\mu\text{m}$ で、体細胞分裂中の細胞は探しやすく、そ



の分裂して  
いる細胞数  
はかなり多  
かった (図  
25)。

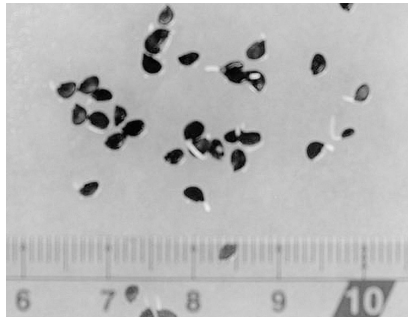


図12 ネギの種子の発根

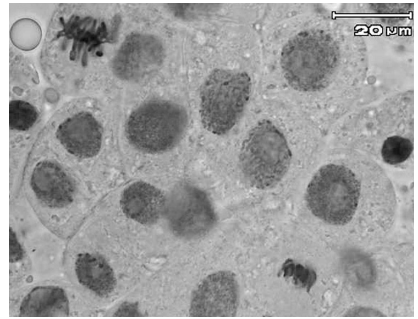


図25 ネギの体細胞分裂中の細胞

(11)ヒマワリ

播種後2日で発根し、発根率は100%、根の太さ(直径)は約1.5mm、長さは15~20mmであった(図13)。根を固定するときや塩酸処理するときには、その根は太くて長いので扱いやすかった。プレパラートを作製するときには、根は崩れやすく細胞がバラバラになり、酢酸オルセインで染色しやすかった。根の細胞の大きさは25μm×15μmで、体細胞分裂中の細胞は探しやすく、その分裂している細胞数はかなり多かった(図26)。

の細胞は探  
しやすく、  
その分裂し  
ている細胞  
数はかなり  
多かった (図  
26)。

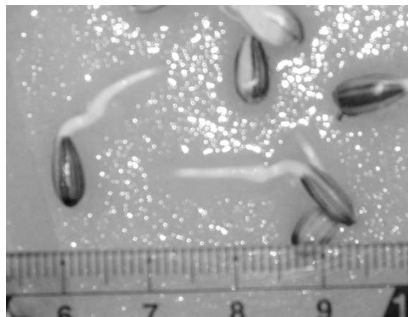


図13 ヒマワリの種子の発根

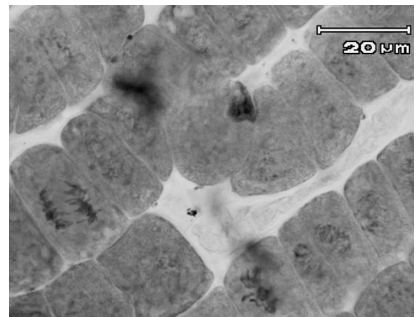


図26 ヒマワリの体細胞分裂中の細胞

(12)タマネギ(種子)

播種後2日で発根し、発根率は60%、根の太さ(直径)は約0.3mm、長さは3~4mmであった(図14)。根を固定するとき、根が細く短いので扱いにくいことがあった。塩酸処理は種子ごと行っても、種子と根が分離することはなかった。プレパラートを作製するときには、根は大変崩れやすく細胞がバラバラになり、酢酸オルセインで染色しやすかった。

には、根は  
大変崩れや  
すく細胞が  
バラバラに  
なり、酢酸  
オルセイン  
で染色しや  
すかった。

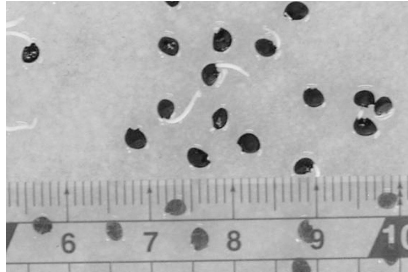


図14 タマネギの種子の発根



図27 タマネギ(種子)の体細胞分裂中の細胞

根の細胞の大きさは $20\mu\text{m} \times 18\mu\text{m}$ で、体細胞分裂中の細胞は探しやすく、その分裂している細胞数はかなり多かった(図27)。

### (13)タマネギ(鱗茎)

発根する箇所を水に浸してから2日後に発根し始め、発根率は100%、根の太さ(直径)は約1.5mm、長さは10~30mmであった(図15)。根を固定するときや塩酸処理するときには、その根は太くて長いので扱いやすかった。プレパラートを作製するときには、根は崩れやすく細胞がバラバラになり、酢酸オルセインで染色しやすかった。根の細胞

の大きさは $30\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ で、体細胞分裂中の細胞は探しやすく、その分裂している細胞数はかなり多かった(図28)。



図15 タマネギの鱗茎からの発根



図28 タマネギ(鱗茎)の体細胞分裂中の細胞

上記の各種植物での結果について、発根の様子を表1に、体細胞分裂の観察の様子を表2に、それぞれまとめて記載した。

表1 各種植物の発根結果

材 料	入手時期	発根に要した 日数	発根率	根の太さ (直径)	根の長さ	図の No
①キュウリ	4～7月頃	2日	100%	約2mm	10～20mm	図3
②インゲンマメ	4～8月頃	2日	86%	約2mm	15～20mm	図4
③エダマメ	5～7月頃	2日	89%	約2mm	10～20mm	図5
④ラディッシュ	3～10月頃	2日	90%	約1mm	10～15mm	図6
⑤ブロッコリー	1年中	2日	80%	約0.8mm	10～15mm	図7
⑥ホウセンカ	4～5月頃	3日	100%	約1mm	5～10mm	図8
⑦トマト	3～5月頃	3日	85%	約0.5mm	10～15mm	図9
⑧ニンジン	5～7月頃	4日	88%	約0.3mm	4～10mm	図10
⑨インパチェンス	4～6月頃	7日	80%	約0.3mm	2～3mm	図11
⑩ネギ	3～10月頃	2日	80%	約0.3mm	3～4mm	図12
⑪ヒマワリ	1年中	2日	100%	約1.5mm	15～20mm	図13
⑫タマネギ(種子)	7～12月頃	2日	60%	約0.3mm	3～4mm	図14
⑬タマネギ(鱗茎)	2～4月頃	3日	100%	約1.5mm	10～30mm	図15

表2 各種植物の分裂細胞の見つけやすさと扱いやすさ

材 料	細胞の大きさ (長×短)	分裂細胞の数の 多さ (⑬と の比較)	総合評価		備 考	図の No
			教師の デモ用	生徒の 教材		
①キュウリ	40 $\mu$ m×25 $\mu$ m	かなり少ない	×	×	染色が困難。	図16
②インゲン	17 $\mu$ m×15 $\mu$ m	かなり少ない	○	×	根は崩れやすく、染色しやすい。	図17
③エダマメ	17 $\mu$ m×15 $\mu$ m	かなり少ない	×	×	分裂細胞を探すのが困難。	図18
④ラディッシュ	17 $\mu$ m×15 $\mu$ m	かなり少ない	×	×	根が細く、塩酸処理をすると溶けてしまう。	図19
⑤ブロッコリー	20 $\mu$ m×8 $\mu$ m	かなり少ない	○	×	塩酸処理をするとき、根を見失う可能性がある。	図20
⑥ホウセンカ	17 $\mu$ m×10 $\mu$ m	少ない	○	×	種子ごと塩酸処理をすると、根は容易に取り出せる。	図21
⑦トマト	20 $\mu$ m×17 $\mu$ m	少ない	○	×	種子ごと塩酸処理をすると、根は種子から外れてしまい見えなくなる。	図22
⑧ニンジン	15 $\mu$ m×7 $\mu$ m	少ない	○	×	発根に4日を要した	図23
⑨インパチェンス	20 $\mu$ m×15 $\mu$ m	同じ	◎	×	発根に7日を要した。根が細いので、塩酸処理が困難。	図24
⑩ネギ	20 $\mu$ m×15 $\mu$ m	同じ	◎	○	根が細く短い、分裂細胞は多い。	図25
⑪ヒマワリ	25 $\mu$ m×15 $\mu$ m	同じ	◎	◎	根が太く、塩酸処理がしやすい。分裂細胞が大きく探しやすい。	図26
⑫タマネギ(種子)	20 $\mu$ m×18 $\mu$ m	同じ	◎	◎	分裂細胞が大きく探しやすい。	図27
⑬タマネギ(鱗茎)	30 $\mu$ m×20 $\mu$ m		◎	◎	分裂細胞が最も大きく探しやすい。	図28

◎はかなり適している。○は適している。×は適していない。

## 2. タマネギ（鱗茎）の発根

タマネギの発根する箇所が水に浸っているように、タマネギを水道水の入ったピーカーの上部に乗せ、前記Ⅱ-2-(3)に記載された①～⑨のようにして発根させた。最も発根数が多かったのは、室温（約26℃）保存後、外皮を除き、暗下で発根させた④であった（図29）。低温保存後、外皮を除き、外皮からの抽出物を含ませた水を発根する箇所当てて、明下で発根させた⑨は、最も発根数が少なかった（図29）。

平成18年5月8日に購入した新タマネギではないもの、同年7月20日及び同年9月4日に購入した新タマネギを、室温でそれぞれ保存した後、前記Ⅱ-2-(3)に記載された④のようにして発根させた。発根数が最も多かったのは、5月に購入した新タマネギではないものであった（図30）。

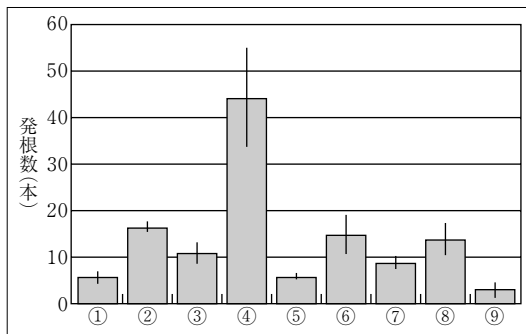


図29 タマネギ（鱗茎）からの発根数

室温に1週間置いていた20個のタマネギは、①表面の茶色に変色している外皮を除かないで明下条件のもの、②茶色の外皮を除いて明下条件のもの、③茶色の外皮を除かないで暗下条件のもの及び④茶色の外皮を除いて暗下条件のものに、それぞれ5個ずつ分けた。低温に1週間置いていたタマネギの20個は、⑤茶色の外皮を除かないで明下条件のもの、⑥茶色の外皮を除いて明下条件のもの、⑦茶色の外皮を除かないで暗下条件のもの及び⑧茶色の外皮を除いて暗下条件のものに、それぞれ5個ずつ分けた。低温に1週間置いていたタマネギの残り5個は、⑨茶色の外皮を除きピーカー（300ml）内の水道水に外皮8gを浸したのものに入れた。各グラフは、タマネギ（鱗茎）1個当たりの平均発根数とその標準誤差を示している。

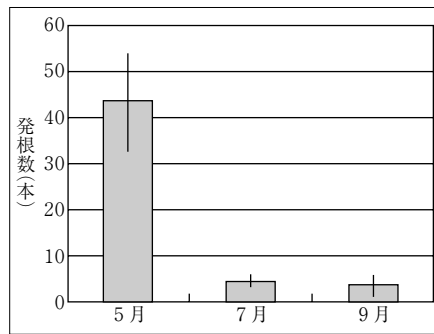


図30 各月に購入したタマネギ（鱗茎）からの発根数

5月、7月及び9月に購入したタマネギ（鱗茎）各5個を室温に1週間置いた後、茶色の外皮を除いて暗下条件のもので発根させた。各グラフは、タマネギ（鱗茎）1個当たりの平均発根数とその標準誤差を示している。

## 3. ヒマワリにおける根の採取時間ごとの体細胞分裂の細胞数

ヒマワリの146個の種子を播種し、その2日後における発根の結果は次のとおりである。①主根が根毛の部分から15mm以上に伸びた種子は15個（10.3%）、②主根が根毛の部分から9mm～11mmに伸びた種子は36個（24.7%）、③主根が根毛の部分から5mm以下に伸びた種子は64個（43.8%）、④全く発根しなかった種子は31個（21.2%）で、全体の発根率は78.8%であった。

播種後2日目の9時、11時、13時、15時、17時及び19時に、上記②の種子において、根毛の部分で主根をそれぞれ5本ずつ切り取り、それらを直ぐに固定液に入れた。そして、上記6つの時間ごとに、体細胞分裂中の中期～末期Ⅰの細胞数を、顕微鏡を覗いて数えた。

その結果、9時、11時、13時及び19時に切り取った根において、分裂している細胞数は同程度であった(図31)。最も数多くの分裂細胞が確認されたのは15時に切り取った根で、17時に切り取った根では分裂細胞数が最も少なかった(図31)。

#### 4. タマネギ(鱗茎)における根の採取時間ごとの体細胞分裂の細胞数

発根処理開始から3日後の9時、11時、13時、15時、17時及び19時に、発根率の良かったタマネギ2個から、約20mmに伸びた根を3本ずつ切り取り、それらを直ぐに固定液に入れた。そして、上記6つの時間ごとに、体細胞分裂中の中期~末期Iの細胞数を、顕微鏡を覗いて数えた。その結果、最も数多くの分裂細胞が確認されたのは9時に切り取った根で、その次に分裂細胞数が多かったのは11時及び13時に切り取った根であった(図32)。15時、17時及び19時に切り取った根では、分裂細胞数は同程度で少なかった(図32)。

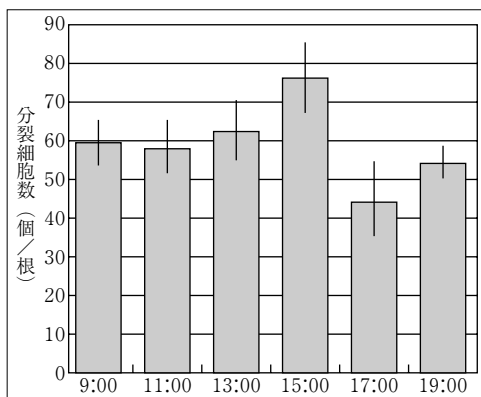


図31 各時間におけるヒマワリの体細胞分裂中の細胞数

ヒマワリを播種して2日目の9時、11時、13時、15時、17時及び19時に、主根をそれぞれ5本ずつ切り取り、それらを直ぐに固定液に入れた。そして、6つの時間ごとに、体細胞分裂中の中期~末期Iの細胞数を、光学顕微鏡を覗いて数えた。各グラフは、体細胞分裂中の平均細胞数とその標準誤差を示している。

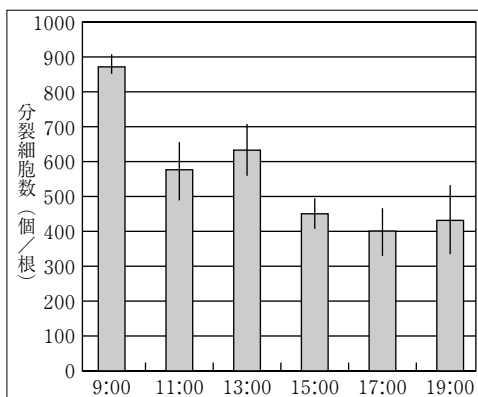


図32 各時間におけるタマネギ(鱗茎)の体細胞分裂中の細胞数

タマネギ(鱗茎)を室温に1週間置いた後、茶色の外皮を除いて暗下条件のもとで発根させた。発根3日目の9時、11時、13時、15時、17時及び19時に、主根をそれぞれ3本ずつ切り取り、それらを直ぐに固定液に入れた。そして、6つの時間ごとに、体細胞分裂中の中期~末期Iの細胞数を、光学顕微鏡を覗いて数えた。各グラフは、体細胞分裂中の平均細胞数とその標準誤差を示している。

## IV 考 察

### 1. 各種植物の比較

発根に要した日数が2日の植物は、キュウリ、インゲンマメ、エダマメ、ラディッシュ、ブロッコリー、ネギ、ヒマワリ及びタマネギ(種子)であった(表1)。発根の日数が3日のものは、タマネギ(鱗茎)、ホウセンカ及びトマトであった(表1)。インパチェンスは、最も発根に時間がかかり、7日を要した(表1)。キュウリ、インゲンマメ、エダマメ、ヒマワリ及びタマネギ(鱗茎)の根は太く長いので、塩酸処理時に扱いやすかった(表1)。次に扱いやすかった根は、ラディッシュ及びブロッコリーのものであった(表1)。最も扱いにくかったのは、インパチェンスとネギの根であり、さらに発根させ続けると根

はそれ以上に伸びるが、太くはならなかった。45℃の1 N塩酸に1分間浸す塩酸処理が適切に行えた根は、タマネギ（鱗茎）及びヒマワリのものであった。ブロッコリー、ホウセンカ、ニンジン、インパチェンス及びネギでは、種子ごと塩酸処理を行えば根を見失うことがなかった。ラディッシュ及びトマトでは、塩酸処理の時間を1分間以内に短くすると、根と種子が分離しなかったかもしれない。なお、本実験では根端の固定はしていないが、もしもこれを固定すれば、塩酸処理の時間は長くする<sup>7)</sup>必要がある。分裂細胞が最も多く確認されたのはタマネギ（鱗茎）の根であり、次に多かったのはヒマワリの根であった（表2）。ネギ及びインパチェンスの根でも、分裂細胞が多く見られた（表2）。分裂細胞の大きさでは、それが最も大きいのはキュウリの根であり（図16）、次に大きいのはタマネギ（鱗茎）の根であった（図28）。ニンジンの根では、分裂細胞が最も小さかった（図23）。また、染色体の長さでは<sup>13),15)</sup>、L型（7 μm）に属するのがタマネギ（種子及び鱗茎）、ネギ及びヒマワリで、M型（6 μm～4 μm）に属するのがホウセンカ、トマト及びインパチェンスで、S型（3 μm以下）がキュウリ、インゲンマメ、エダマメ、ラディッシュ、ブロッコリー及びニンジンであった。

以上の結果から、生徒が自ら観察・実験を行うことを前提に、発根させやすく、プレパラートが安易に作製でき、顕微鏡下で分裂細胞や染色体を確認しやすい等の条件を考慮して、生徒用の教材として適しているのは、タマネギ（鱗茎）及びヒマワリの根であると結論づけられる。

従来の報告では、タマネギ自体から発根させた根を材料にして、体細胞分裂を観察する例が最も多かった<sup>8),9),10),11),12)</sup>。この例に替わる材料としては、ネギ、ニンニク、ソラマメ及びタマネギの種子を発根させ、それらの根を材料として体細胞分裂を観察することが望ましいとの報告があった<sup>7),14)</sup>。しかし、本研究のように、ヒマワリの根を材料として体細胞分裂を観察した報告は今までに全くなかった。ヒマワリを材料とする利点としては、ペットショップなどでは購入時期が一年中であり、手に入れやすく、安価であることも上げられる。また、ヒマワリは、学校の花壇などに地植えしても、病気になりにくくて育てやすく、秋には種子を多量に収穫できる。ところで、中学校の理科の授業で、体細胞分裂を取り扱う時期は一般に6月上旬である。ソラマメの種子は4月には販売を終えてしまい、タマネギの種子は7月末から販売される。ニンニクは、発根日数にバラツキが生じ、安価ではない。よって、これらを材料として体細胞分裂の実験を生徒にさせることは、実態に合っていない。

## 2. タマネギ（鱗茎）の発根

タマネギの発根する箇所が水に浸っているように、前記Ⅱ-2-(3)に記載された①～⑨のようにして発根させた。発根させる前に、タマネギを室温（約26℃）に1週間置いた場合と、低温（約5℃）に同期間置いた場合で、発根数に違いがあるか調べた。①と⑤、②と⑥及び③と⑦をそれぞれ比較すると、発根数に違いがなかったが、④と⑧では発根数に大きな差が生じた（図29）。すなわち、外皮を除き、暗下で発根させるには、それ以前のタマネギの保存を室温でした方が、発根数が多くなることが分かった。次に、外皮を除かない場合とそれを除いた場合で、発根数が違うか調べた。①と②、③と④、⑤と⑥及び⑦と⑧をそれぞれ比較すると、②、④、⑥及び⑧の方がそれぞれ多く発根した（図29）。よって、表面の茶色に変色している外皮を除くことで、発根数が多くなることが分かった。ま

た、明下条件と暗下条件で、発根数に違いがあるか調べた。①と③、②と④、⑤と⑦及び⑥と⑧をそれぞれ比較すると、③、④及び⑦の方がそれぞれ多く発根したが、⑥と⑧では発根数に差はなかった(図29)。このことから、暗下条件で発根させると、発根数が多くなることが分かった。

水道水に外皮を浸したものをビーカーに入れ、その上部に外皮を除いたタマネギを乗せて発根させると、最も発根数は少なかった(図29)。これは、発根阻害物質が茶色の外皮に含まれていることを示している。よって、上記の結果のように、外皮を除かないと発根数が少ないのは、その外皮からその物質が水に溶け出し、それによって発根が阻害されたことによる可能性が高い。

5月に購入した新タマネギではないもの、7月及び9月に購入した新タマネギを、室温で保存した後、外皮を除き、暗下で発根させた。結果は、5月に購入した新タマネギでないものが、最も発根数が多かった(図30)。よって、新タマネギが市場に供給される直前に入手できる新タマネギでないものが、最も発根率が高い可能性がある。

以上のことから、タマネギ(鱗茎)から発根した根を最も多く得るには、4月から5月に新タマネギではないものを入手し、それらを常温で保存した後、その茶色の外皮を除き、暗下で発根させることであった。このようにすれば、1個のタマネギ(鱗茎)から約40本の根が確保できる。体細胞分裂を中学校理科の教材として取り上げる時期は、1、2分野並行型で、3年生の6月上旬ごろである。毎年4月から5月にかけて、上記のようにして、タマネギ(鱗茎)から根を発根させ、それらを固定液に入れてストックしておくのが望ましい。

### 3. ヒマワリにおける根の採取時間ごとの体細胞分裂の細胞数

播種後2日目に主根が根毛の部分から9mm~11mmに伸びたヒマワリにおいて、9時、11時、13時、15時、17時及び19時に、主根をそれぞれ5本ずつ切り取り、それらを直ぐに固定液に入れた。そして、上記6つの時間ごとに、体細胞分裂中の細胞数を数えた。各時間の体細胞分裂の細胞数はほぼ同程度であったが、15時に切り取った根では最も数多くの分裂細胞が見られた(図31)。この結果は、この根の成長率はほぼ一定だが、15時にはその率が高くなっている可能性を示している。よって、ヒマワリの種子から発根させた根を材料に体細胞分裂を観察する場合は、15時にそこから主根を切り出して固定液に入れておくことで、体細胞分裂が最も確認しやすくなると結論づけられる。

### 4. タマネギにおける根の採取時間ごとの体細胞分裂の細胞数

発根処理開始から3日後の9時、11時、13時、15時、17時及び19時に、約20mmに伸びた根を3本ずつ切り取り、それらを直ぐに固定液に入れた。そして、上記6つの時間ごとに、体細胞分裂中の中期~末期Iの細胞数を数えた。9時に切り取った根で最も数多くの分裂細胞が見られ、11時及び13時に切り取った根ではその次に分裂細胞数が多かった(図32)。このことは、この根の成長率は常に一定ではなく、9時かそれ以前の時間に成長率が最大となり、時間経過と共にその率が下がっていく可能性を示している。そこで、タマネギ自体から発根させた根を材料に体細胞分裂を観察する場合は、遅くとも9時にそこから根を切り出して固定液に入れておくことで、体細胞分裂が確認しやすくなると結論づけられる。

## V 要 約

キュウリ、インゲンマメ、エダマメ、ラディッシュ、ブロッコリー、ホウセンカ、トマト、ニンジン、インパチェンス、ネギ、ヒマワリ、及びタマネギの種子を発根させた。また、タマネギ（鱗茎）からも発根させた。それらの根端の分裂組織を材料として、体細胞分裂を観察し、ヒマワリの根及びタマネギ（鱗茎）の根がその教材として適していることが分かった。

室温（約26℃）又は低温（約5℃）に1週間置いたタマネギ（鱗茎）を、表面の茶色の外皮を除かない又はそれを除いて、明下条件又は暗下条件で、その発根する箇所が水に浸っているようにして発根させた。タマネギ（鱗茎）を室温で保存した後、外皮を除いて、暗下条件にすると、発根率が最も高くなることが分かった。また、タマネギ（鱗茎）の発根する箇所に、その外皮だけを含ませておいた水が浸っているようにすると、その発根は強く阻害された。さらに、5月に購入した新タマネギではないタマネギ（鱗茎）、7月及び9月に購入した新タマネギ（鱗茎）を、室温で保存した後、外皮を除き、暗下条件で発根させた。結果は、5月に購入したタマネギが、最も発根数が多かった。

ヒマワリの種子から発根した根及びタマネギ（鱗茎）から発根した根を、9時、11時、13時、15時、17時及び19時にそれぞれ切り取り、それらを直ぐに固定液に入れた。そして、時間ごとに体細胞分裂中の細胞数を数えた。ヒマワリでは15時に切り取った根で、タマネギでは9時に切り取った根で、それぞれ最も数多くの分裂細胞が見られた。

## 引用・参考文献

- 1) 荒木弘人、知識文子、山元一伸、北岡正嗣 (1987)「ツルボを用いた減数分裂の観察」生物教育27(2):113-116
- 2) 高橋ちぐさ (2003)「減数分裂教材の開発—G I S H法を用いて染色体数還元および組換えの視覚的理解を図る—」生物教育44(1):2-9
- 3) 岡邦広 (2005)「切り抜いて調べる細胞分裂—減数分裂の過程からDNA量の変化を推察する—」遺伝 別冊18号、pp.15-17
- 4) 藤島弘純、河中俊文 (1986)「体細胞分裂観察法と教材植物の検討」生物教育27(1):51-60
- 5) 捨田利謙、小川茂 (2001)「接合藻ミカヅキモ (Closterium) の細胞分裂とその教材化」生物教育41(3,4):90-99
- 6) 米澤義彦 (2003)「植物の染色体を見よう」遺伝57(3):62-66
- 7) 鈴木恵子 (2005)「ソラマメの根端細胞を使った核型分析」遺伝 別冊18号、p.14
- 8) 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分野下」東京書籍、pp.39-43
- 9) 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分野下」大日本図書、pp.42-44
- 10) 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分野下」新興出版社啓林館、pp.43-47



- 11) 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分野下」教育出版、pp.43-47
- 12) 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分野下」学校図書、pp.42-45
- 13) 藤島弘純 (1971) 細胞核分裂観察を一考する－中期染色体の観察について－ 科学の実験、pp.317-321
- 14) 岩波洋三、森脇美武 (1983)「絵をみてできる 生物実験 Part II」講談社サイエンティフィック、p.20
- 15) 福田重夫、新津恆良、佐藤やす子、田口茂敏、渡辺宗孝 (1990)「生物科学実験法」東京教学社、pp.57-67

## Summary

**Toshinori Endo<sup>1)</sup>, Takashi Suzuki<sup>2)</sup>, Ryoichi Kato<sup>3)</sup>:**

**A study of teaching materials  
that somatic cell division can be observed in a meristem of root tip.**

A primary root of sunflower seedling is good for the material of a meristem of root tip in which somatic cell division can be observed, with the exception of root developed from an onion. The primary roots are cut off from the seeds at three o'clock in the afternoon and directly immersed in a fixing solution. And, the most division cells are detected in the root tip.

Old type of an onion are bought at April or May and preserved at a room temperature for one week. The brown skin of an onion is removed, a part where roots develop in the onion is immersed in water and they are incubated under the dark. And, the rate of root development is highest under the condition described above. The roots are cut off from the onion at nine o'clock in the morning and directly immersed in a fixing solution. And, the most division cells are detected in the root tip.

1)Tokiwa Junior High School, Obanzawa City, Yamagata Prefecture

2)School Education, Faculty of Education, Art and Science, Yamagata University

3)Food and Nutrition, Faculty of Education, Art and Science, Yamagata University